ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЦЕНТРАЛЬНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ»
УПРАВЛЕНИЯ ДЕЛАМИ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

Васильев Олег Станиславович

Восстановление функции нижней конечности при повреждениях от перегрузки у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения

14.03.11 – Восстановительная медицина, спортивная медицина,
лечебная физкультура, курортология и физиотерапия

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора медицинских наук

Научные консультанты:
доктор медицинских наук, профессор
Ачкасов Евгений Евгеньевич
доктор биологических наук, профессор
Левушкин Сергей Петрович

Москва – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....5

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....21

1.1 Особенности повреждений нижней конечности от перегрузки ассоциированные с «зонами роста».....21

1.2 Морфология и биомеханика выворотности.....30

1.3 Дисплазия тазобедренных суставов и диспластический тип развития.....46

1.4 Кокцигодиния как пример повреждения от перегрузки области таза и тазобедренного сустава.....51

1.5 Гипермобильность и объем движения в суставах.....53

1.6 Повреждения от перегрузки области голеностопного сустава и стопы.....55

1.7 Восстановление опорно-двигательного аппарата средствами спортивной подготовки и природно-географическими факторами.....59

1.8 Поуровневый подход к организации восстановления.....65

1.9 Биокибернетический подход к восстановлению опорно-двигательного аппарата.....66

1.10 Восточные двигательные практики в восстановлении опорно-двигательного аппарата.....67

Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....73

2.1 Общая характеристика пациентов.....73

2.2 Распределение пациентов на группы в зависимости от тактики реабилитации на этапах исследования.....76

2.3 Методы исследования.....85

2.3.1 Клинико-функциональные методы исследования.....85

2.3.2 Методы инструментальной диагностики.....90

2.3.3 Клинико–биомеханическое исследование с использованием мультисуставного роботизированного лечебно-диагностического комплекса «Biodex System 4 Pro».....94

2.3.4 Клинико–биомеханическое исследование с использованием оптико-электронной системы трёхмерного захвата и анализа движения «Qualisys».....97

2.3.5 Функциональное соматоподоскопическое исследование.....99

2.3.6 Методы педагогического спортивно-хореографического тестирования.....100

2.3.7 Методы компьютерного моделирования, математического и статистического анализа.....102
2.4 Методы реабилитации.....105
2.4.1 Медицинская реабилитация типичных повреждений от перегрузки в амбулаторно-поликлинических условиях.....107
Глава 3. ДИАГНОСТИКА ПОВРЕЖДЕНИЙ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ И МОРФОЛОГИЯ ТАЗОБЕДРЕННЫХ СУСТАВОВ.....116
3.1 Алгоритм комплексной диагностики повреждений от перегрузки нижних конечностей 116
3.2 Конституционные особенности строения тазобедренных суставов у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения.....124
3.3 Идиопатическая кокцигодиния как маска повреждения от перегрузки в видах двигательной активности, связанных с искусством движения 135
Глава 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ СПОРТИВНОЙ ПОДГОТОВКИ И ПРИРОДНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ФУНКЦИИ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ 141
4.1 Использование проприоцептивных упражнений при восстановлении функции нижней конечности 141
4.2 Использование эксцентрических и плиометрических упражнений при восстановлении функции нижней конечности 152
4.3 Использование природно-географических факторов при восстановлении функции нижней конечности 160
Глава 5. ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ПОУРОВНЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ И РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ФУНКЦИИ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ.....175
5.1 Разработка концепции поуровневой диагностики и реабилитации опорно-двигательного аппарата.....175
5.2 Использование концепции поуровневой диагностики и реабилитации при восстановлении функции нижних конечностей....185
Глава 6. БИОКИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВОССТАНОВЛЕНИЮ ФУНКЦИИ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ.....191
6.1 Исследование локальной нагрузки и построение математической модели реабилитационных траекторий.....191

6.2 Разработка математического подхода оценки меры «гладкости» траектории движения 198
Глава 7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИМНАСТИКИ ТАЙЦЗИЦУАНЬ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАТТЕРНЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИИ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ 207
7.1 Разработка комплекса упражнений восстановления функции нижней конечности на основе гимнастики Тайцзицюань 207
7.2 Биомеханические паттерны восстановления функции нижней конечности 216
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ 241
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 259
ВЫВОДЫ 275
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....279
БЛАГОДАРНОСТИ 284
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ 286
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 289
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 290
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Локализации триггерных точек и «отраженных болей» при типичных повреждениях от перегрузки области таза и бедра 334
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Рентгенологические исследования нижних конечностей при повреждениях от перегрузки.....337
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Применение средств спортивной подготовки. Упражнения на гимнастическом бревне.....340
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Применение средств спортивной подготовки. Упражнения в бассейне 342
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Примеры шаблонов кривых разной степени гладкости и формулы их расчетов 344

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

Повреждения опорно-двигательного аппарата от перегрузок хорошо известны в спортивной и *балетной медицин*е[1]. Основной причиной таких повреждений являются многократные («репетиционные») *локальные нагрузки* низкой интенсивности на опорно-двигательный аппарат (Баднин И.А., 1987; Миронова З.С. и др., 1976, 1982; Миронов С.П. и Ломтатидзе Е.Ш. 1989; Миронов С.П. и Цыкунов М.Б., 1998; Бойко И.П. и др., 2012; Дальский Д.Д. и др., 2015; Ачкасов Е.Е. и др., 2016; Рябов В.П. и др., 2017; Нечаев В.А. и др., 2020; Debenham J. et al., 2016; Arnold A. et al., 2017; Fuller M. et al., 2020; Verulava T. et al., 2021).

Повреждения от перегрузки среди взрослых спортсменов и артистов балета составляют порядка 51-54% от всех травм опорно-двигательного аппарата; среди детей и подростков – порядка 50% (Valovich McLeod T.C. et al., 2011; DiFiori J.P. et al., 2016; Neil E.R. et al., 2018; Mattiussi A.M.et al., 2021). Повреждения от перегрузки нижних конечностей встречаются почти в два раза чаще, чем иные травматические повреждения (Chéron C. et al., 2016; Han J.S. et al., 2018); 77% травм в танце приходятся на нижние конечности (Rietveld A.B., 2013). Наиболее частым диагнозом повреждения нижней конечности от перегрузки являются тракционные апофизиты и повреждения мягких тканей (Jespersen E. et al., 2015; Midtiby S.L. et al., 2018; Cassel M. et al., 2019). В период полового созревания девочки имеют более высокую долю повреждений от перегрузки, чем до пубертатного периода (Bowerman E. et al., 2014, 2015; Stracciolini A. et al., 2016).

Для представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения (классический танец, художественная и спортивная гимнастика, акробатика, синхронное плавание, фигурное катание на коньках и др.) характерен особый вид повреждений от перегрузки, возникающий преимущественно на повышенных *объемах движения*[2] в суставах нижней конечности и

---

[1] термин «балетная медицина» является принятым в западной литературе; см. « International Association for Dance Medicine & Science» (IADMS) https://iadms.org/

[2] термин «объем движения», англ. «range of motion» (ROM), синоним – амплитуда движения

характеризуется повторяющимся характером движений (Аркаев Л.Я., Сучилин Н.Г., 2004; Середа А.П., 2020; Coplan J.A., 2002; van Merkensteijn G.G. et al., 2015; Hafiz E. et al., 2016; Jones P. et al., 2017; Brogden C.M. et al., 2018; Gram M.C.D. et al., 2020).

Для осуществления исполнительской деятельности артисту балета необходимо наличие тренированных физических качеств, высокой анаэробной и аэробной работоспособности (Миронов С.П. и Цыкунов М.Б., 1998; Russell J.A., 2013; Toby O.S. et al., 2016; Jones P. et al., 2017; McCormack M.C. et al., 2018). Опорно-двигательный аппарат артистов балета подвергается значительным биомеханическим нагрузкам и имеет высокий уровень травматизма, и эти травмы можно рассматривать как спортивные, а проблемы балетной медицины рассматривать в рамках спортивной медицины (Миронова З.С. и др., 1976, 1982; Миронов С.П. и Ломтатидзе Е.Ш. 1989; Миронов С.П. и Цыкунов М.Б., 1998; Shnitser I. et al., 2001; Stracciolini A. et al., 2013–2016; Trentacosta N. et al., 2017).

Специфику *повреждений от перегрузки* у представителей *искусства движения* определяют профессиональные требования к структуре движения, в основе которых лежит *классическая хореография* (Нечаев В.А. и др., 2018, 2020; Procházková M. et al., 2014; Caine D. et al., 2015; Storm J.M. et al., 2018). Биомеханическую уникальность структуры движения в этих видах двигательной активности определяют в той или иной степени *выворотные* движения (то есть движения с максимальной внешней ротацией нижней конечности, преимущественно от тазобедренного сустава), «натянутость» всей конечности и движения на *полупальцах* и *пальцах* (то есть в положении максимального сгибания в голеностопном суставе и стопе, которому нередко предшествует положение максимального разгибания в голеностопном суставе) (Ваганова А.Я., 1934; Котельникова Е. Г., 1980; Нечаев В.А. и др., 2018, 2020; Jenkins J.B. et al., 2013; Sherman A.J. et al., 2014, 2017; Paxinos O. et al., 2019; Angioi M. et al., 2021).

Выворотные положения ни в онтогенезе, ни в филогенезе не встречаются. Поэтому базовая биомеханическая структура движений в видах двигательной активности, связанных с искусством движения, является «искусственной», то есть не естественной природе человека (Васильев О.С., 2002). Если положение на

полупальцах хоть и не типично в онтогенезе (ходьба на *полупальцах* встречается в первые годы жизни ребенка и относится к условной возрастной норме), но встречается в филогенезе (пальцеходящие животные), то положение на *пальцах* доступно только копытным животным, либо человеку в специальной обуви. Сочетание двух неестественных для человеческого организма типов движений, присутствующих в классическом танце – *выворотные* движения и движения на *пальцах*, видоизменяют биомеханику движения опорно-двигательного аппарата исполнителя, создавая угрозу перегрузки в тех структурах, которые редко «перегружаются» при естественных движениях.

Указанная биомеханическая уникальность структуры движения предъявляет специфические анатомо-физиологические требования к опорно-двигательному аппарату представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения (Масленников П.Ю., 2014; Степаник И.А., 2015; Shnitser I. et al., 2001; Vera A.M. et al., 2020), которые реализуются в ходе профессионального отбора в эти виды двигательной активности, когда предпочтение неявно отдается детям с диспластическим типом конституции (Дембо Н.А., 1941; Коловарский П.Б., 1974; Силкин П.А., 2008, 2010; Фомкин А.В. и др., 2011; Степаник И.А., 2015; Березуцкий В.И., 2016; Ahonen J., 2008; Завалишин Д.С. и др., 2015; Масленников П.Ю., 2018). Особую важность приобретает вопрос о нормах и особенностях диспластического статуса тазобедренного сустава у данного контингента лиц, получающих значительную осевую нагрузку, особенно на высоких и нефизиологических, в силу требования к «выворотному» исполнению, объемах движения (Шевцов В.И., 2006; Аббакумова Л.Н. и др., 2016; Тихилов Р.М., Шубняков И.И. и др., 2017; Нечаев В.А. и др., 2018; Mayes S. et al., 2017; Vaudreuil N.J. et al., 2020).

Эпидемиологические наблюдения последних лет свидетельствуют о неуклонном росте детей с диспластическим фенотипом (Калаева Г.Ю. и др., 2017). Г.А. Макарова (2008) отмечает, что среди детей и подростков в возрасте от 7 до 16 лет более половины являются носителями критического количества антропометрических и фенотипических маркеров дисплазии соединительной ткани. При этом доля девочек с фенотипическими признаками дисплазии

соединительной ткани в два раза больше, чем мальчиков (Виленская Т.Е., 2006). А в видах двигательной активности, связанных с искусством движения, процент такой стигматизации еще выше (Силкин и др., 2013; Ивянский С.А. и др., 2016; Тимохина В. Э. и др., 2018). Как правило, не все юные представители видов двигательной активности, связанных с искусством движения, обладают полным набором требуемых физических данных (способностей), в силу недостаточности которых у них резко повышается риск перегрузки в соответствующих звеньях опорно-двигательного аппарата (Procházková M. et al., 2014; Shnitser I. et al., 2001; Vosseller J.T. et al., 2019), приводящий к специфическим нетипичным повреждениям, диагностика и реабилитация которых требует особого подхода (Миронов С.П. и Ломтатидзе Е.Ш. 1989; Миронов С.П. и Цыкунов М.Б., 1998; Цыкунов, М.Б. и др., 2017; Smith et al., 2015; Vera A.M. et al., 2020).

К такого рода повреждениям относятся микротравмирование хрящевых структур зон роста, приводящее к специфическим апофизитам (костей таза, тазобедренных суставов, костей стопы и др.), редко или практически не встречающимся в обычной детской популяции. Считается, что в повседневной жизни апофизиты костей таза достаточно редкая патология. Однако, у представителей искусства движения среди повреждений от перегрузки апофизиты нижней конечности занимают ведущее место (Midtiby S.L. et al., 2018).

Реабилитация повреждений опорно-двигательного аппарата у юных спортсменов и артистов балета во многом отличается от таковой для лиц, не получающих высокие физические нагрузки на повышенных объемах движения в суставах (Баднин И.А., 1987; Миронов С.П. и Цыкунов М.Б., 1998; Епифанов В. А., 2013, 2015, 2020; Дальский Д.Д. и др., 2015; Дидур М.Д., 2016; Цыкунов, М.Б. и др., 2017; Achar S. et al., 2019).

Все больше исследователей и клиницистов отмечают, что физическая нагрузка, применяемая в ходе реабилитации спортсменов, должна обладать тренирующим эффектом, повышающим функциональные возможности восстанавливающегося (Пашаева И.Г., 2004; van den Bekerom M.P. et al., 2012; Hotfiel T. et al., 2018). Такой эффект можно получить путем использования концентрических, эксцентрических и плиометрических упражнений, которые

хорошо совместимы с другими видами терапии и реабилитации (Дидур М.Д., 2012; Ерёмушкин М.А. 2014, 2016; Пучко А.А. и др., 2019; Lievens M. et al., 2019; Rhim H.C. et al., 2020). По мнению ряда авторов, связующим звеном между реабилитацией и последующей высокоинтенсивной физической активностью в спорте и балете могут осуществить плиометрические упражнения (Черкасов А.А., 2002; Кулиненков, О. С., 2016; Пучко А.А. и др., 2019).

Санаторно-курортное лечение является одним из компонентов восстановительного лечения, причина недостаточной эффективности которого заключается в отсутствии нацеленности на преодоление барьера адаптации в процессе восстановления функции опорно-двигательного аппарата (Ачкасов Е.Е. и др., 2018; Brooks G. et al., 2015). При этом ряд авторов подчеркивают, что задействование природно-географических факторов может восстановить функцию опорно-двигательного аппарата до высокой степени готовности переносить профессиональные тренировочные нагрузки (Ерёмушкин М.А., 2016; Gibson A.J. et al., 2015; Carayannopoulos A.G. et al., 2020).

Оптимальный эффект от тренирующей нагрузки может быть достигнут при строго индивидуальном подходе, учитывающем характер повреждения, вид двигательной активности и функциональное состояние восстанавливаемого спортсмена, которому помимо клинического следует ставить *реабилитационный диагноз* (Цыкунов, М.Б., 2007; 2019). При этом, вопрос дозирования *локальной* физической нагрузки на восстанавливаемую область опорно-двигательного аппарата, когда объем движений в суставе еще не полный, а окружающие его мягкие ткани (мышцы, сухожилия, связки) не могут воспринять физическую нагрузку в должном объеме, остается мало изученным. Другим вопросом является определение оптимальных *характеристик траектории движения* при выполнении упражнений лечебной гимнастики.

Все вышеизложенное диктует необходимость проведения комплексного исследования феномена повреждения от перегрузки нижней конечности у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения.

Цель исследования

Повышение эффективности профилактики, диагностики и профессионально ориентированной реабилитации повреждений нижней конечности от перегрузки у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения.

Задачи исследования

1. Определить основные *рентгено-морфологические типы* строения тазобедренных суставов у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения.

2. Выявить специфику механизма повреждений от перегрузки и разработать алгоритм комплексной диагностики повреждений от перегрузки у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения.

3. Разработать подходы к использованию *средств спортивной подготовки* и *природно-географических факторов* при восстановлении функции нижней конечности у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения.

4. Разработать алгоритм *поуровневой диагностики и реабилитации* при восстановлении функции опорно-двигательного аппарата у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения.

5. Определить показатели дозирования *локальной физической нагрузки* и разработать *математическую модель* проектирования оптимальных траекторий движения при восстановлении функции нижней конечности у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения.

6. Обосновать возможности применения китайской гимнастики Тайцзицюань, при восстановлении функции нижней конечности у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения.

7. Установить диагностическое значение изокинетического тестирования в определении адекватности проводимого восстановления и выявить основные биомеханические паттерны функции нижней конечности (коленного и голеностопного суставов) при проведении физической реабилитации.

Научная новизна

Впервые рассмотрены особенности диагностики и реабилитации повреждений от перегрузки *на неестественных для обычной жизнедеятельности паттернах движения*, но типичных для видов двигательной активности, связанных с искусством движения («выворотные» движения и работа на *полупальцах* и *пальцах* и др.).

Предложено оценивать исполнение базовых хореографических элементов и наличие профессиональных способностей в диагностических целях; применение алгоритма клинического осмотра и тестирования (в том числе соматоподоскопии) на профессиональных движениях позволило установить клинический диагноз 65% пациентам с подозрением на повреждения от перегрузки в области нижней конечности.

Показано, что не столько профессиональные требования («выворотность» в тазобедренных суставах, работа на *полупальцах* и *пальцах* и др.), сколько недостаточность конституционно обусловленных способностей, порождающая применение компенсационных биомеханических стратегий, является причиной повреждений от перегрузки у обсуждаемого контингента лиц. Компенсационные стратегии наблюдали у 94% пациентов с жалобами на неспецифический болевой синдром в области нижней конечности.

Показано, что мышечный гипертонус является основным предиктором повреждений от перегрузки и ассоциированных с ним функциональных состояний; мышечный гипертонус в области таза и тазобедренных суставов наблюдался в 100% при повреждениях от перегрузки в данной области.

Выявлены рентгено-морфологические типы строения тазобедренных суставов и показано, что типичное морфологическое строение тазобедренных суставов у данного контингента лиц относится к диспластическому типу развития как крайней разновидности нормы – 96% обследованных, остальные 4% обследованных имели пограничную ацетабулярную дисплазию с углом Виберга 24–25°.

Разработаны профессионально ориентированные модифицированные *пробы*

Ромберга (в том числе с применением трехмерного компьютеризированного анализа движения): равновесие на гимнастическом бревне в *passé* по шестой позиции на полной стопе и на *полупальцах*, руки вверх; равновесие стоя на полу на двух ногах/на одной ноге в *passé* с открытыми/закрытыми глазами, руки вперед.

Показана эффективность применения в реабилитационных целях физической нагрузки с *тренирующим эффектом* с использованием средств *спортивной подготовки* и *природно-географических факторов* (экономия времени восстановления пациентов составила 30–60 %).

Предложены референтные показатели дозирования и оценки адекватности *локальной физической нагрузки на* восстанавливаемое звено опорно-двигательного аппарата: *гладкость* и *кривизна* траектории движения. Эти параметры позволяют определить оптимальную траекторию движения при проведении физической реабилитации (и позволили сократить время восстановления на 25-35%).

Показано, что поступательно-возвратные движения вызывают биомеханическую перегрузку в «точках возврата» (т.н. «особые точки» траектории, где $(x')^2 + (y')^2 + (z')^2 = 0$). Поэтому поступательно-возвратные траектории не рекомендуются к использованию в реабилитационных целях.

Разработан алгоритм *поуровневой реабилитации,* который позволил сократить время восстановления до 45% в зависимости от характера повреждения, возраста и уровня спортивного мастерства (экономия времени восстановления при тракционных апофизитах составила 35–45 %).

Выявлены основные изокинетические паттерны восстановления функции нижней конечности и показано диагностическое значение *функциональных* показателей мышечной активности: «Время к Пику ВМ», «Угол Пика ВМ», «Время замедления».

Обосновано применение гимнастики Тайцзицюань при восстановлении профессиональных «выворотных» движений в тазобедренном суставе, и амплитуды движений в коленном и голеностопном суставе.

Теоретическая и практическая значимость работы

Разработаны критерии и объективные кинематические характеристики адекватности *локальной* физической нагрузки и дифференциально-геометрические показатели траектории восстановительного движения при проведении физической реабилитации опорно-двигательного аппарата. Показано, что *гладкость* и *кривизна* траектории движения могут быть эффективными показателями адекватности проводимой физической реабилитации. Разработаны общие биомеханические принципы и предложена оригинальная прогностическая модель оценки локальной физической нагрузки и прогнозирования оптимальных характеристик траектории движения восстанавливаемого звена ОДА.

Дается ответ на дилемму между ацетабулярной дисплазией тазобедренных суставов (в том числе и пограничной дисплазией) и диспластическим типом строения (конституции) тазобедренных суставов у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения. Показано, что для представителей данной категории лиц характерен диспластический тип развития по бедренному типу (Coxa valga), который более оптимален для выполнения специфических профессиональных движений.

Показано, что физическая нагрузка с использованием *средств спортивной подготовки* и *природно-географических факторов* на фоне *физиологического стресса* (то есть нагрузка с тренирующим эффектом) позволяет эффективно восстанавливать функцию нижней конечности у данного контингента лиц. Показано, что применение *концепции поуровневой диагностики и реабилитации,* а также элементов китайской гимнастики Тайцзицюань позволяет значительно повысить эффективность реабилитационных мероприятий.

Выявленные в ходе кластерного анализа основные биомеханические паттерны восстановления функции нижней конечности (коленного и голеностопного суставов) позволяют оценивать динамику и адекватность проводимой физической реабилитации у обсуждаемого контингента лиц.

Разработаны практические рекомендации по использованию проприоцептивных упражнений как средства спортивной подготовки в ходе

восстановления функции ОДА у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения; по использованию концентрических, эксцентрических и плиометрических упражнений как средства спортивной подготовки в ходе восстановления функции ОДА у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения; по применению водной среды при планировании физической нагрузки в ходе восстановления функции ОДА у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения; по использованию треккинговой, скандинавской ходьбы и скалолазания при планировании физической нагрузки в ходе восстановления функции ОДА у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения; по применению концепции *поуровневой диагностики и реабилитации* при планировании физической нагрузки в ходе восстановления функции ОДА у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения, имеющих диспластический тип конституции; по применению комплекса упражнений с использованием движений китайской гимнастики Тайцзицюань при восстановления функции ОДА.

Материалы диссертации могут использоваться в учебно-клиническом процессе, на циклах повышения квалификации врачей по спортивной медицине, физической и реабилитационной медицине, физиотерапии, педиатрии, травматологии и ортопедии.

Положения, выносимые на защиту

1. Специфику механизма повреждения от перегрузки у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения, определяет биомеханика профессиональных движений, основанная на *выворотной* структуре движения классического танца, требовании к *натянутости* линии ног, и доминирующая работа на *полупальцах* и *пальцах*, которые предъявляют маргинальные в рамках анатомо-физиологической нормы требования к опорно-двигательному аппарату занимающегося, реализующиеся в ходе профессионального отбора в эти виды двигательной активности, когда предпочтение неявно отдается диспластическому типу развития тазобедренного

сустава по бедренному типу (Coxa valga).

2. При проведении клинико-функциональных методов исследования следует использовать диагностические алгоритмы, предусматривающие как общепринятые в спортивной медицине, травматологии и ортопедии средства и методы обследования, так и специфические виду двигательной активности тесты, способствующие оценке фенотипических признаков проявления диспластического типа конституции; проводить исследования функции и выравнивания оси нижней конечности как в общепринятом (нейтральном), так и в профессиональном *выворотном* положении, в том числе и «под нагрузкой» в положении на *пальцах* и *полупальцах*; оценивать степень компенсации и вовлечения компенсаторных стратегий недостающей выворотности по всей нижней конечности. При проведении диагностики и реабилитации важно учитывать результаты педагогического спортивно-хореографического тестирования, мнение личного тренера и педагога-хореографа обсуждаемого контингента лиц.

3. Физическая нагрузка с тренирующим эффектом (то есть на фоне физиологического стресса), предусматривающая использование средств *спортивной подготовки* и *природно-географических факторов,* позволяет повысить эффективность восстановления функции нижней конечности после повреждения от перегрузки у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения.

4. Реализация концепции *поуровневой реабилитации* позволяет индивидуально и специфически практикуемому виду двигательной активности организовать проведение реабилитации повреждений от перегрузки как с использованием классических средств и методов восстановления (медикаментозной терапии, лечебного массажа, мануальной терапии, остеопатии, физиотерапии и др.), так и с использованием средств *спортивной подготовки* и *природно-географических факторов*. Разработанный алгоритм поуровневой диагностики позволяет диагностировать «скрытые» повреждения и оценивать динамику реабилитационных мероприятий.

5. Референтными показателями *локальной физической нагрузки на* восстанавливаемое звено опорно-двигательного аппарата являются

функциональные дифференциально-геометрические показатели траектории движения (*гладкость* и *кривизна* траектории движения). Эти показатели позволяют оценивать адекватность получаемой нагрузки и определить оптимальную траекторию движения при выполнении упражнения лечебной гимнастики при восстановления функции нижней конечности у рассматриваемой категории лиц.

Разработанный математический подход оценки локальной физической нагрузки и прогнозирования оптимальных характеристик траектории движения восстанавливаемого звена опорно-двигательного аппарата позволяет персонифицировать и повысить эффективность проводимой реабилитации.

6. Медленные плавные сложнокоординационные движения традиционной китайской гимнастики Тайцзицюань оптимально дополняют физическую реабилитацию, восстанавливая функциональность активации мышц нижней конечности у представителей данной категории лиц. Специально разработанный комплекс упражнений на основе элементов (движений) гимнастики Тайцзицюань стиля Ян позволяет эффективно восстанавливать функцию нижней конечности на специфических профессиональных паттернах движения, требующих выворотности в нижней конечности и повышенного разгибания в голеностопном суставе.

Личный вклад автора

Автор лично разработал концепцию и методологию проводимого исследования и поэтапно её реализовывал в течение ряда лет: анализировал материалы отечественной и зарубежной литературы, лично проводил обследование пациентов как врач травматолог-ортопед, врач детский хирург и врач по спортивной медицине. Лично проводил клинико-функциональные методы обследования, анализировал результаты инструментальных методов обследования (рентгенография, ультразвуковая, магнито-резонансная томография, компьютерная томография), лично проводил клинико-биомеханические виды обследования на лечебно-диагностическом комплексе «Biodex System 4 Pro» и оптико-электронной системе трёхмерного захвата и анализа движения «Qualisys»

и анализировал полученные результаты; совместно с тренерами, тренерами-хореографами и педагогами-хореографами проводил спортивно-хореографическое тестирование, лично проводил реабилитацию и участвовал на всех этапах восстановительного лечения, лично выполнял математическую обработку результатов, компьютерное моделирование, разработку и построение математической модели. Положения, выносимые на защиту, выводы, научную новизну и практические рекомендации по комплексной реабилитации повреждений от перегрузки у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения также были лично сформулированы автором.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных результатов обоснована достаточным объемом исследовательского материала, применением современных методов исследования, в том числе апробированных и сертифицированных клинико-биомеханических методов и современными способами компьютерного анализа данных с учетом требований доказательной медицины. Результаты исследований анализировали с использованием алгоритмических языков *R и Python* и в среде функционального программирования *Wolfram Mathematica*. Анализ рентгенограмм выполняли с использованием программного обеспечения *Horos*.

Апробация и реализация результатов исследования

Результаты проведённых исследований были представлены на XII Международном научном конгрессе «Современный Олимпийский и Паралимпийский спорт и спорт для всех» (Москва, 2008), на XXXII научно-практической конференции детских травматологов-ортопедов Московского региона, посвящённой памяти профессора Немсадзе Вахтанга Панкратьевича (Москва, 2009), V Международной научной конференции по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений (Москва, 2010); на Всероссийской научно-практической конференции «Реабилитация при патологии опорно-двигательного аппарата», посвящённой 95–летию со дня рождения Алексея Фёдоровича Каптелина (Москва, 2011), на I–III Всероссийских

конгрессах с международным участием «Медицина для спорта» (Москва, 2011–2013); на XVII Съезде педиатров России «Актуальные проблемы педиатрии» (Москва, 2013); на VIII, IX Международных конгрессах «Нейрореабилитация» (Москва, 2016, 2017); на I–III Конгрессах «Медицина чрезвычайных ситуаций. Современные технологии в травматологии и ортопедии, обучение и подготовка врачей» (Москва, 2016–2018); на V–IX Всероссийских научно-практических конференциях «Актуальные вопросы реабилитации в медицине и спорте» (Ивановская обл., 2016–2021); на I Всероссийской научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования физической культуры, спорта, олимпизма: традиции и инновации» (Москва, 2017); на IV, VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Безопасный спорт» (Санкт–Петербург, 2017, 2021); на XII–XIV Международных научных конференциях по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений «СпортМед» (Москва, 2018–2020); на Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы медико-биологического сопровождения хореографии и спорта» (Санкт–Петербург, 2019), Всероссийской научно-практической конференции «Современные аспекты санаторно-курортного лечения и медицинской реабилитации детского и взрослого населения» (Есентуки, 2019), IV Национальном Конгрессе с международным участием «Физическая и реабилитационная медицина в педиатрии: традиции и инновации» (Москва, 2021), на XXIII Международной научно-технической конференции «Нейроинформатика-2021» (Москва, 2021), на V Международном конгрессе «Vita Rehab Week» (Екатеринбург, 2021).

Данное исследование поэтапно выполняли в рамках серии **прикладных научно-исследовательских работ (НИР) совместно с ФМБА России** за 2015–2019 гг.: «Разработка методик физической реабилитации опорно-двигательного аппарата и восстановления функциональных состояний организма высококвалифицированных спортсменов после соревновательных и тренировочных нагрузок» (2015 г.); «Разработка комплекса методик нейрореабилитации малых повреждений опорно-двигательного аппарата у квалифицированных спортсменов» (2016 г.); «Разработка комплекса методик

медико-биологической реабилитации опорно-двигательного аппарата у квалифицированных спортсменов, основанных на концепции минимальной сверхнагрузки средствами и методами спорта и экстремальных *природных факторов*» (2017 г.); «Ранняя диагностика, реабилитация, медико-биологическое сопровождение и профилактика состояний, связанных с «болезнями роста» у юных спортсменов» (2018 г.); «Разработка комплекса методик и математической модели оценки параметров локальной нагрузки на опорно-двигательный аппарат спортсменов при планировании реабилитационных мероприятий» (2019 г.).

Публикации по теме диссертации

По теме диссертационного исследования опубликовано **52** научных работ, в том числе **28** статей в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, из них **7** публикаций, индексируемых в базе Scopus, а также **3** монографии.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация является многоаспектным исследованием, посвященным разработке комплексного подхода к восстановлению функции нижней конечности при повреждениях от перегрузки у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения, и соответствует пунктам №1, 2, 3, 5 паспорта научной специальности 14.03.11 – Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на **347** страницах машинописного текста, состоит из введения, глав материалы и методы исследования, собственного исследования, обсуждения результатов исследования, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений, списка литературы. Диссертация иллюстрирована **69** таблицами и **92** рисунками. Список литературы содержит **464** источников, из которых **99** отечественных авторов и **365** зарубежных.

При написании данной главы использовались следующие публикации автора:

Васильев, О.С. Концепция геовосстановления как новейшая научно-практическая технология восстановления спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2016. № 2. С. 141-145.

Васильев, О.С. Хореографическая «выворотность» как фенотипический маркер дисплазии соединительной ткани в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. Т. 6. № 3. С. 48-53.

Васильев, О.С Об эффективности использования медикаментозной терапии в рамках поуровневой реабилитации опорно-двигательного аппарата спортсменов / О.С. Васильев, А.С. Самойлов, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2017. № 2. С. 130-133.

Васильев, О.С. Поуровневая нейрореабилитация типичных повреждений опорно-двигательного аппарата у квалифицированных спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, И.А. Берзин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2017. Т. 7. № 4. С. 55-62.

Васильев, О.С. Средства спортивной подготовки в медицинской реабилитации травм опорно-двигательного аппарата у спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2018. № 1. С. 86-90.

Васильев, О.С. Ранняя диагностика повреждений от перегрузки опорно-двигательного аппарата у юных спортсменов / О.С. Васильев, И.Т. Выходец, С.П. Левушкин // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2018. № 5(150). С. 28-33.

Васильев, О.С. Мышечный гипертонус в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, В.И. Лях // Теория и практика физической культуры. – 2021. № 4. С. 75-77.

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Особенности повреждений нижней конечности от перегрузки ассоциированные с «зонами роста»

По биомеханике возникновения повреждения опорно-двигательного аппарата у спортсменов подразделяются на две категории – *острую травму*, как результат однократного стрессорного воздействия, и *хроническую травму* («микротравму»), как результат повторяющихся однотипных стрессорных воздействий от низкоинтенсивных до субмаксимальных (Debenham J. et al., 2016). Хроническая спортивная травма клинически проявляется как *синдром профессиональной перегрузки***.** Поэтому, такой тип травм всё чаще называют *повреждением от перегрузки* (Ачкасов Е.Е. и др., 2016; Debenham J. et al., 2016).

Повреждение от перегрузки должно удовлетворять следующим условиям (Chéron C. et al., 2016; O'Kane J.W. et al., 2017): (1) наличие жалоб на болевой синдром или дискомфорт в области повреждения, создающий трудности в профессиональной деятельности либо вызвавший потерю тренировочного времени (ограничение тренировочного процесса); (2) не должно быть предшествующего травматического повреждения указанной области; (3) в анамнезе должны прослеживаться повторяющиеся микротравмы; (4) типично постепенное развитие симптоматики; (5) физическая нагрузка, предшествующие жалобе, должна превышать толерантность тканей.

Следует учитывать, что травмы, которые классически происходят от острых механизмов, могут также происходить по механизму повреждения от перегрузки (Roos K.G. et al., 2014).

Понятие *повреждение от перегрузки* может подразумевать как *механизм травмы* (в этом случае повреждения от перегрузки является причиной), так и диагноз – тогда повреждение от перегрузки является следствием. Когда *повреждение от перегрузки* используется в качестве категории диагноза, механизм травмы подразумевается, но не уточняется. Если механизм травмы не определен, то надо ставить вопрос об его уточнении (Roos K.G. et al., 2014). Тем

не менее, большинство стандартизированных систем мониторинга травм не идентифицируют *повреждения от перегрузки* (International Olympic Committee Injury and Illness Epidemiology Consensus Group, 2020).

По болевому синдрому повреждение от перегрузки подразделяют на 4 стадии (Launay F., 2015; Cavallerio F. et al., 2016): (1) боль после физической активности; (2) боль во время физической активности без влияния на функцию конечности; (3) боль во время физической активности, которая длится весь день и оказывает влияние на функцию; (4) боль при любой физической активности. Клинический осмотр при подозрении на повреждение от перегрузки должен быть направлен на воспроизведение боли при пальпации; следует также проверить ригидность мышц и сухожилий (Launay F., 2015). Важно учитывать, что представители художественной гимнастики и балета обладают высокой толерантностью к боли и ежедневно тренируются с некоторой степенью дискомфорта, часто не понимая разницы между болью от утомления и болью от повреждения, что нередко приводит к повреждениям от перегрузки (Roberts K., 2009).

Изначально повреждения от перегрузки были характерны для профессиональных костнозрелых спортсменов и проявлялись преимущественно в виде стрессовых переломов костей, растяжений и микроразрывов мышц, сухожилий, связок и фасций (Миронов С.П. и Ломтатидзе Е.Ш. 1989; Миронов С.П. и Цыкунов М.Б., 1998; Рябов В.П. и др., 2017). В последние десятилетия, на фоне резкого омоложения спорта повреждения от перегрузки все чаще стали встречаться у костнонезрелых спортсменов, и особенно, у представителей видов двигательной активности связанных с *искусством движения* (Cavallerio F. et al., 2016; Costa e Silva C.L. et al., 2017; Lee L. et al., 2017; Varjokari R., 2019).

Классический танец составляет биомеханический фундамент ряда эстетических видов спорта: художественная, эстетическая и спортивная гимнастика, акробатика, синхронное плавание, фигурное катание на коньках и др. По структуре движения ближе всего к классическому балету располагается художественная гимнастика (Han J.S. et al., 2018; Varjokari R., 2019; dos Reis Furtado N. et al., 2020; Skopal L. et al., 2020). Художественная гимнастика сочетает в себе красоту и элегантность классического балета с силой и *физическими*

требованиями спортивной гимнастики (Roberts K., 2009; Martínez-Rodríguez A. et al., 2020). Несмотря на то, что соревновательные программы в художественной гимнастике непродолжительны, интенсивность нагрузки в некоторые моменты максимальна (Batista et al., 2018). Элементы классического танца являются неотъемлемой частью тренировочного процесса и входят в соревновательные программы индивидуальных и групповых упражнений (FIG, 2020). В соревновательном цикле 2017–2020 гг. отмечается увеличение использования элементов классического танца в программах высококвалифицированных гимнасток: в динамических элементах с вращением (saut de basque, chainés, pas de chat en tournant), в «Мастерстве» (build battu derriére) и в некоторых «Трудностях тела» (grand jeté en tournant, arabesque penché) и продолжают использоваться более «привычные» элементы классического танца (galop, pas de bourée couru, pirouette passé en dehors, pirouette attitude, passé, arabesque). Наиболее полный список используемых элементы классического танца в художественной гимнастике следующий: arabesque penché, assemblé battu derriére, chainés, developpé, enveloppé, fouetté en second, grand fouetté en tournant, fouetté italiano, galop, grand battement, grand jeté, grand jeté en tournant, grand sissone, pas de bourrée couru, pas de chat en tournant, passé, pirouette passé en dehors (en dedans), pirouette cou de pied en dehors, pirouette attitude (en dedans), relevé, retiré, saut de basque, soutenu, temps levé, tour en l'air и др. (dos Reis Furtado N. et al., 2020). Поэтому, к художественной гимнастике можно применить те же методы анализа, что и для классического танца, поскольку они очень похожи по своей биомеханике и фундаментальным компонентам (Roberts K., 2009).

Классический танец, являющийся одной из старейших и наиболее организованных и систематизированных систем обучения, лежит в основе обучения в художественной гимнастике (dos Reis Furtado N. et al., 2020). И в классическом танце, и в художественной гимнастике большинство элементов требуют значительной силы и гибкости (Batista A. et al, 2017). Например, Grand battement и Grand jeté задействуют максимальный объем движения тазобедренном суставе (Skopal L. et al. 2020). Grand battement может выполняться вперед (devant),

в сторону (à la seconde) и назад (derrière). Чтобы выполнить подобные элементы гимнастки с помощью специальных упражнений на гибкость повышают объем движения в суставе, далее тренируют взрывную силу ног и прыгучесть (Batista A. et al. 2018).

Повреждения от перегрузки в видах двигательной активности, связанных с искусством движения в подавляющем большинстве случаев вызваны неправильной техникой выполнения движения (DiFiori J.P. et al., 2016; Neil E.R. et al., 2018). Чтобы оценить эти технические проблемы, необходимо понимать биомеханику классического танца, поскольку многие двигательные навыки, выполняемые в программе художественной гимнастики, заимствованы из него (Roberts K., 2009). Неправильная техника в классическом танце часто обусловлена использованием *компенсацией* физических ограничений (выворотности и др.), которые формируют структурную предрасположенность к травмам (Rietveld A.B., 2013; Kaufmann J.E. et al., 2021). Повреждения от перегрузки у представителей искусства движения могут быть результатом плохого планирования тренировочного процесса, недостаточной технической подготовленности на фоне частого выполнения повторяющихся движений без адекватного времени восстановления. Индивидуальные анатомические особенности и воздействие различных условий окружающей среды (обувь, поверхность) также могут способствовать возникновению повреждения от перегрузки (Sobrino F.J. et al., 2017).

Основным этиологическим фактором, приводящим к повреждениям от перегрузки является изменение биомеханических условий выполнения упражнения. Разработка спортсменом/ танцором хорошей техники, адаптированной к его биомеханическому состоянию, является одним из эффективных способов предотвращения этих повреждений (Sobrino F.J. et al., 2017). Детальный анамнез и тщательное физическое обследование, включая специальные тесты с использованием хореографических элементов, являются обязательными для установления диагноза (Rietveld A.B., 2013).

Незрелая опорно-двигательная система у детей в меньшей степени справляется с повторяющимися биомеханическими нагрузками, приводящими к

повреждениям в местах быстрого роста кости (эпифиз, апофиз и физис), а также в местах соединений хряща с сухожилием или с костью (Малахов О.А. и др., 2005; Кадурина Т.И. и др., 2016; Carl R.L., 2012; Lehman P.J. et al., 2017). Средний возраст юношей-спортсменов, страдающих от повреждений от перегрузки, составляет 11–12 лет (Малахов О.А. и др., 2005; Lau L.L. et al., 2008; Chéron C. et al., 2017), юные спортсменки страдают раньше, в 9–11 лет (Greydanus D.E. et al., 2002; Lau L.L. et al., 2008; Kantanista A. et al., 2018). Пик повреждений от перегрузки чаще приходится на так называемые скачки роста (Maffulli N. et al., 2010; Blume K. et al., 2019). При этом если до скачка роста травмы от перегрузки преимущественно локализуются в области «стопа-голеностопный сустав/голень/колено», то после скачка роста – в области «бедро/тазобедренный сустав/таз/позвоночник/верхняя конечность» (Stracciolini A. et al., 2013–2016; Trentacosta N. et al., 2017).

Эпифизарные травмы от перегрузки как правило возникают на фоне компрессионных воздействий, а апофизарные – на фоне повторяющегося тракционного напряжения крепящихся к апофизу мышц. Тем самым, эпифизарные травмы чаще возникают на фоне осевой перегрузки, а апофизарные – на фоне повышенной осевой мышечной тракции (Абальмасова Е.А., 1981; Valovich McLeod T.C. et al., 2011; Arnold A. et al., 2017; Jayanthi N.A. et al., 2019).

Апофиз – это вторичный центр окостенения. Большинство апофизов закрывается к 20–и годам. Поэтому, при всех повреждениях суставов у детей следует заподозрить дисфункцию апофиза (Абальмасова Е.А., 1981; Peck D.M., 1995; Gillespie H., 2010; Stricker P.R. et al., 2002; DiFiori J.P. et al., 2016). У растущего организма апофиз представляет собой биомеханически слабую точку прикрепления сухожильно-мышечного блока к кости (Wilson J.C. et al., 2011; Lehman P.J. et al., 2017). Апофиз у детей и подростков в два–пять раз слабее, чем окружающая фиброзная ткань; следовательно, сила, вызывающая разрыв связок у взрослых, может вызвать повреждение апофиза у детей (Schwab S.A., 1977; Cassel M. et al., 2019). Типичный возрастной диапазон апофизарных повреждений варьируется в зависимости от места расположения конкретного апофиза, но наиболее часто повреждения встречается в возрасте от 9 до 15 лет (Paluska S.A.,

2005; Heiderscheit B. et al., 2016).

Такие биомеханические факторы, как пронация стопы или вальгусное отклонение оси нижних конечностей по типу *genu valgum*, могут усугубить аномальные силы, воздействующие на апофиз при профессиональной деятельности, что нередко приводит к его микротравмированию с последующим развитием апофизита (Stricker P.R. et al., 2002; Wilson J.C. et al., 2011; Steinberg N. et al., 2006, 2017). Повторяющиеся микротравматические воздействия также приводят к хроническому микротравмированию апофиза и его асептическому воспалению – *апофизиту* (Абальмасова Е.А., 1981; Stricker P.R. et al., 2002; Kocher M.S. et al., 2006; Carl R.L., 2012; Otto A. et al., 2020), который может протекать во многих областях опорно-двигательного аппарата у скелетнонезрелых спортсменов (Stricker P.R. et al., 2002; Kocher M.S. et al., 2006; Gillespie H., 2010; Wilson J.C. et al., 2011; Otto A. et al., 2020). Апофизит чаще всего возникает в результате тракционного повреждения апофиза прикрепляющимися к нему сухожильно-мышечными пучками как повреждение от перегрузки на фоне пониженной гибкости (эластичности) связанных с апофизом мышц и сухожилий (Achar S. et al., 2019). При многократных сокращениях мышц апофиз может раздражаться и расширяться (Carl R.L., 2012; Achar S. et al., 2019). Однако все больше наблюдений говорят о том, что тракционный апофизит возможен лишь при условии «слабого» апофиза. Такая структурно-функциональная слабость может возникнуть на фоне дисгормональных или иных нарушений (Romer U., 1972; Memminger M.K., 2018), которые достаточно типичны в спорте и балете, особенно в пубертатном периоде (Коловарский П.Б., 1974; Баднин И.А., 1984, 1987; Гордиенко О.А., 2002; Fuller M. et al., 2020). Апофизит чаще встречается в нижних конечностях (болезнь Ларсена–Йоханссона, б. Осгуда–Шлаттера, б. Севера, б. Изелина и др.) и намного реже в костях таза. Поэтому апофизит костей таза и тазобедренных суставов нередко «пропускают», и он протекает под маской дисторсии и тендинита ассоциированных с апофизом сухожильно-мышечных структур (Launay F., 2015; Achar S. et al., 2019).

Тазобедренные суставы (ТС) у танцоров и спортсменов во многих видах спорта являются одними из наиболее задействованных суставов, так как они

контролируют движения туловища и конечностей (Quarrier N.F. et al., 1998; Vazquez E. et al., 2013; Caine D. et al., 2015). Повреждения в области таза и тазобедренного сустава составляют порядка 10% от всех повреждений в балете (Reid D.C. et al., 1988; Caine D. et al., 2015). Симптомы, связанные с апофизитом гребня подвздошной кости, можно спутать с симптомами растяжения мышц живота или с раздражением проксимальной части илиотибиального тракта (Carl R.L., 2012; Hart E. et al., 2019). Апофизит передней части таза и ТС (передне-верхней и передне-нижней ости подвздошной кости, ветвей лобковой кости, малого бедренного вертела) следует дифференцировать с растяжением и тендинопатией ассоциированных с ним мышц, синдромом щелкающего бедра, разрывом вертлужной губы тазобедренного сустава, феморо-ацетабулярным импинджментом и стрессовыми (усталостными) переломами ветвей лобковой кости, вертлужной впадины или шейки бедренной кости. Апофизит седалищного бугра следует дифференцировать с растяжением и тендопатией сухожилий мышц-хамстрингов и миофасциальным болевым синдромом в этой области. Отраженная боль от пояснично-крестцового отдела позвоночника также может маскировать симптомы апофизита седалищного бугра, малого или большого вертела (Середа А.П., 2020; Carl R.L., 2012; Midtiby S.L. et al., 2018).

Коварность апофизитов заключается в том, что симптомы могут частично утихнуть с 2–3 днями отдыха, и такая неполная ремиссия дает возможность юному спортсмену или танцору вернуться к привычной физической нагрузке (Koutedakis Y. et al., 2004; Arnaiz J. et al., 2011; Bedoya M.A. et al., 2015; Jha S.C. et al., 2016). Однако, при несвоевременном возвращении к профессиональной двигательной активности симптомы апофизита быстро возвращаются. При своевременно начатом адекватном лечении прогноз у апофизитов достаточно благоприятный (Schwab S.A., 1977; Cassel M. et al., 2019). Ранняя диагностика апофизитов приводит к более быстрому выздоровлению и возвращению к профессиональной двигательной активности (Кадурина Т.И. и др., 2016; Frush T.J. et al., 2009; Papastergiou S. et al., 2019). Рентгенография может быть полезна для исключения других патологий, но обычно не является необходимой при постановке диагноза «апофизит». Неспособность своевременно распознать

апофизарные повреждения, как и неспособность назначить правильное лечение, могут серьезно помешать карьере молодого спортсмена или артиста балета (Коловарский П.Б., 1974; Баднин И.А., 1987; Гордиенко О.А., 2002; Schwab S.A., 1977; Papastergiou S. et al., 2019).

Диагноз апофизита в подавляющем большинстве случаев может быть поставлен на основе клинической картины и результатов физического обследования (Atanda A. et al., 2009, 2011, 2012; Carl R.L., 2012; Fröhlich S. et al., 2020; Turati M. et al., 2020). При анализе истории болезни следует учитывать особенности видов двигательной активности, уровня спортивных нагрузок, условий тренировочного процесса и наличия скачка роста и уровня минерализации костной ткани (Wielandt T. et al. 2019). Всё это является факторами риска развития апофизита. В ходе сбора анамнеза спортивной деятельности нередко выясняется, что в большинстве случаев «атравматического» начала апофизита у спортсменов и танцоров лежат повторяющиеся *субмаксимальные нагрузки* на апофиз (Anderson K. et al., 2001; Ooral M.N. et al., 2005; Paluska S.A., 2005; Kocher M.S. et al., 2006; Todd C. et al., 2018; Wielandt T. et al. 2019). Типичными для апофизита являются болевой синдром или изменение чувствительности в области апофиза, синдром нарушения двигательной функции и травматический синдром (Peck D.M., 1995; Carl R.L., 2012; Launay F., 2015; Wu M. et al., 2016; Patel D.R. et al., 2017).

Дифференциальную диагностику болевого синдрома при состояниях, связанных с «болезнями роста», всегда следует проводить с так называемыми *ростовыми болями,* являющимися распространенным состоянием повторяющегося дискомфорта у детей. Ростовые боли наиболее часто встречается в возрасте от 2 до 10 лет с частотой от 3 % до 37 % (Duey–Holtz A.D. et al., 2012; Harris E.J. et al., 2012; West E.Y. et al., 2019).

Отдельные клиницисты полагают, что, апофизиты даже при отсутствии должных реабилитационных мероприятий, самостоятельно разрешаются с наступлением скелетной зрелости (Stricker P.R. et al., 2002; Uvelli K. et al., 2017). Однако, случаи достаточно продолжительного болевого синдрома в области апофизов, продолжающиеся у скелетнозрелых пациентов (как спортсменов, так и

не спортсменов) позволяет усомниться в простоте этой логики (Atanda A. et al., 2011; Young S.W. et al., 2015). Нелеченый апофизит может привести к хроническому воспалению и фрагментации апофиза. Поэтому спортсмен должен прекратить виды двигательной активности, которые вызывают повреждение апофиза, до тех пор, пока воспаление не будет полностью остановлено. Ограничение физической активности обычно занимает 3–4 недели (Frush T.J. et al., 2009; Papastergiou S. et al., 2019). Как правило, апофизиты хорошо поддаются консервативной терапии, и спортсмены, после курса реабилитации могут восстановить прежнюю спортивную форму, предшествующую травме (Башкиров В.Ф., 1984; Carl R.L., 2012; Midtiby S.L. et al., 2018).

Типичный план лечения включает в себя активный отдых и последующее растяжение ассоциированных с апофизом мышц и сухожилий (Suzue N. et al., 2015; Achar S. et al., 2019). В случае легких проявлений апофизита спортсмен или танцор могут быть частично допущены до тренировочного процесса. При этом двигательная активность пациента должна быть модифицирована. *Активный отдых* предполагает прекращение любой специализированной физической нагрузки, связанной с перегрузкой указанных сухожильно-мышечных структур (Achar S. et al., 2019). По мере купирования болевого синдрома спортсмены могут приступить к дозированным упражнениям на растяжение ассоциированных с поврежденным апофизом мышц. В дальнейшем показаны упражнения на восстановление силы мышц. Прогрессирование физической активности должно быть постепенным до применения плиометрических упражнений с участием мышц, ассоциированных с поврежденным апофизом, которые следует нагружать в последнюю очередь (Пучко А.А. и др., 2019; Carl R.L., 2012; Turner R. et al., 2012; Asadi A. et al., 2016; Dallas, G.C. et al, 2020).

Критерии возвращения спортсмена к повседневному тренировочному, а далее – к соревновательному процессу, являются дискутабельными до сих пор. Клиницисты, придерживающиеся консервативных взглядов, полагают, что спортсмен не должен быть допущен к спортивной деятельности до полного купирования симптоматики; другие полагают, что модификации тренировочной нагрузки может быть достаточно (Stricker PR. et al., 2002; Laor T. et al., 2006;

Scharfbillig R.W. et al., 2008; Young S.W. et al., 2015).

При *профилактике* травм и планировании тренировочной нагрузки следует учитывать как фенотип танцора (например, объем пассивных движений суставов и т. д.), так и динамические кинематические данные (например, трехмерный анализ движения) (Armstrong R. et al., 2018; Yin, A.X.et al., 2019). Чтобы поддерживать тело в должной форме, травмированный танцор может тренироваться на полу (*партер –barre*), избегать *relevé* и тренироваться в бассейне (*бассейн–barre*) (Rietveld A.B., 2013).

Тем не менее, профилактика повреждений от перегрузки является открытой проблемой. Так эффективные программы профилактики острых травм коленного сустава не продемонстрировали никакого профилактического эффекта на снижение повреждений от перегрузки (Åkerlund I. et al., 2020).

1.2 Морфология и биомеханика выворотности

«*Выворотность* — анатомическая неизбежность для всякого сценического танца, желающего охватить весь объем движений, мыслимых для ног и *неисполнимых* без выворотности» (Ваганова А.Я., 1934). В балетной медицине под выворотностью понимают *en dehors*, как способность к расположению нижней конечности с внешней ротацией от тазобедренного сустава, которая используется в классическом танце и связанных с ним видах двигательной активности по эстетическим и хореографическим причинам, при этом поясничный отдел позвоночника, таз, тазобедренные, коленные, голеностопные суставы и суставы стоп влияют на принятие выворотного положения (Kaufmann J.E. et al., 2021). Ваганова подчеркивала, что выворотность – «это не эстетическое понятие, а профессиональная необходимость» (Ваганова А.Я., 1934). *Выворотность*, повышая свободу движения, придает исполнителю дополнительные эстетические качества (например, возможность удерживать ногу в вытянутом положении *arabesque* или *développé à la seconde*) и позволяет производить более легкий перенос веса при перемещении вбок, вперед и назад (Ваганова А.Я., 1934; Силкин П.А., 2006, 2007; Sherman A.J. et al., 2014, 2017; Gontijo N.S. et al., 2017; Angioi M.

et al., 2021). Способность достичь полного разворота стоп на 180° основывается на особенностях структурной анатомии, мышечной силе ротаторов тазобедренного сустава и растяжимости мягких тканей. Порядка 50% – 70% вклада в выворотность вносят тазобедренные суставы, вклад нижних конечностей оценивается как 10% – 40% (Нечаев В.А. и др., 2018; Huwyler J., 1999; Champion L.M. et al., 2008; Greene A. et al., 2019; Bronner S. et al., 2020). Поэтому, ***выворотность*** **- это сложная динамическая концепция, зависящая от сложного взаимодействия нескольких суставов,** каждый из которых участвует с разной угловой скоростью, когда танцор движется в выворотном положении ног. *Функциональная выворотность* - это максимально выворотное положение ног при сохранении анатомического выравнивания позвоночника, таза и всей нижней конечности (Kaufmann J.E. et al., 2021). Чем меньше функциональная выворотность, тем больше риск повреждений и травмы нижней конечности (Armstrong R. et al., 2018). Тоже касается выравнивания оси нижних конечностей, чем хуже выравнивание – тем выше риск повреждений от перегрузки (Bowerman E. et al., 2014, 2015). *Пассивная выворотность* представляет собой количество внешней ротации ног, определяемая строением костных структур и связочного аппарата. Этот вид выворотности нельзя изменить педагогическими тренировочными воздействиями (Kaufmann J.E. et al., 2021). *Активная выворотность* представляет собой количество разворота ног, определяемая возможностью его мышечного аппарата. Этот вид выворотности можно улучшить педагогическими тренировочными воздействиями. Этот вид выворотность как правило измеряется в положении лежа на спине или на вращающих дисках в положении стоя с осевой нагрузкой (Kaufmann J.E. et al., 2021).

А. *Костные факторы, определяющие выворотность.*

I. *Ориентация и глубина вертлужной впадины тазобедренного сустава.* Чем больше вертлужная впадина обращена назад (*ретроверсия*) и чем меньше её глубина, тем больше внешняя ротация тазобедренных суставов и, соответственно, тем больше выворотность. Считается, что ретроверсия вертлужной впадины является благоприятным морфологическим фактором для профессиональных

занятий балетом (Watkins A. et al., 1989; Champion L.M. et al., 2008; Mayes S. et al., 2016–2018). Более глубокая впадина тазобедренного сустава обеспечивает бо́льшую устойчивость, но может существенно ограничивать внешнюю ротацию (Clippinger K., 2007; Champion L.M. et al., 2008; Merckaert S. et al., 2019). Исследования показывают, что средняя глубина вертлужной впадины у профессиональных артистов балета меньше, чем у контрольных участников (Duthon V.B. et al., 2013; Mayes S. et al., 2016–2018). Неполное покрытие головки бедренной кости при уплощении вертлужной впадины делает её особо уязвимой к дегенеративно-дистрофическим изменениям при повышенных осевых нагрузках на опорно-двигательный аппарат.

II. *Величина бедренной антеверсии.* Чем меньше антеверсия бедренной кости, тем проще принять выворотное положение ног. Антеверсию бедренной кости меньше 15° называют *ретроверсией*. При антеверсии выше 20° человек в нейтральном положении стоит «колени внутрь» (Champion L.M. et al., 2008; Quanbeck A.E. et al., 2016). Такое состояние является профессиональной непригодностью к занятием классическом танцем. Клинически у детей и взрослых при увеличении бедренной антеверсии наблюдается ходьба «колени–носки внутрь», так называемая, «хореографическая косолапость», не путать с врожденной косолапостью как аддукто-эквино-варусной деформацией стопы. При уменьшении бедренной антеверсии (то есть при бедренной ретроверсии) типичными являются положение и ходьба колени–носки наружу, т.н. «походка моряка» (Crane L., 1959; Tönnis D. et al., 1991, 1999; Quanbeck A.E. et al., 2016; Gorwa J. et al., 2020).

В эмбриональном развитии происходит деротация бедренной кости от 35–45° антеверсии на момент рождения до 10–15° к пубертатному возрасту и сохраняется постоянной во взрослой жизни (Hamilton W., 1977, 1982, 1992; Cibulka M.T., 2004; Gruskay J.A. et al., 2019). Версия бедренной кости одним из первых была описана Микуличем (von Mikulicz) в 1878 году как проецируемый угол между касательной к дорсальной поверхности бедренной кости и осью шейки бедренной кости. Если шейка бедренной кости направлена вентрально, говорят об антеверсии, если дорзально – о ретроверсии (Grisch D. et al., 2019). Бедренная антеверсия оказывает

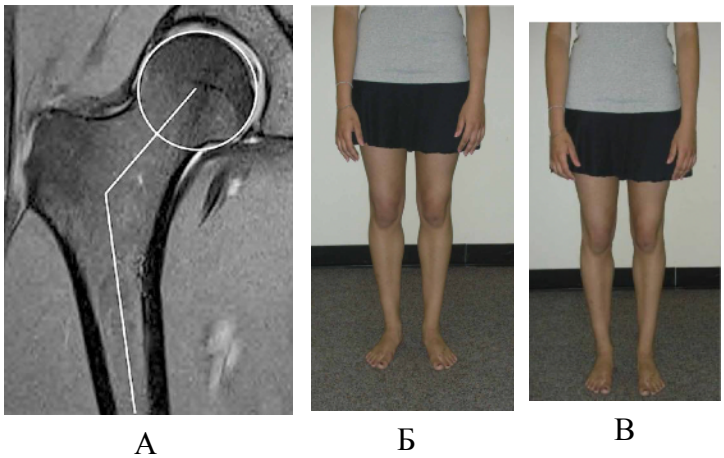
значительно большее влияние на внешнюю ротацию бедра, чем антеверсия ацетабулярная (Tönnis D. et al., 1999; Grisch D. et al., 2019). Исследования показывают, что при ретроверсии бедра у детей десяти лет на фоне ходьбы с внешней ротацией стоп наблюдается уменьшение внешней ротации бедра. При этом, суммарный объем внутренней и внешней ротации тазобедренных суставов при нормоверсии и при ретроверсии обычно сохраняется постоянным и составляет 80–90° (Huguenin P. et al., 1980, 1982; Tönnis D. et al., 1991, 1999; Steinberg N. et al., 2016).

Принцип сохранения полного объема ротации тазобедренных суставов наблюдается и у артистов балета: танцоры имеют бо́льшую внешнюю ротацию ТС (в среднем 84°) по сравнению с не-танцорами (в среднем 63°), и значительно меньшую внутреннюю ротацию (49° в сравнении с 56°), и для танцоров характерна ретроверсия бедренной кости. Однако, наличие бо́льшей ретроверсии бедренной кости нельзя признать благоприятным фактором для артистов балета, так как повышенная бедренная ретроверсия представляет риск развития фемороацетабулярного импинджмента, эпифизиолиза головки бедренной кости (встречается крайне редко в балете) и намного боле часто встречающегося остеоартроза тазобедренного сустава (Середа А.П., 2020; Reid D.C. et al., 1987; Tönnis D. et al., 1999; Khan K.M. et al., 1995, 1997, 2000; Hamilton D. et al., 2006; Steinberg N. et al., 2016; Grisch D. et al., 2019).

III. *Форма шейки бедренной кости.* Длинная шейка по типу *соха valga* по сравнению с нормальной дает преимущества во внешней ротации бедренной кости (Clippinger K., 2007; Champion L.M. et al., 2008; Mayes S. et al., 2016, 2017). Шеечно-диафизарный угол (ШДУ) у новорождённого составляет 134–140°. Поэтому, выложить новорождённого ребёнка в выворотную «лягушку» (положение *Лоренц-1*) не представляет трудности. С возрастом ШДУ постепенно уменьшается и стабилизируется к 10–11 годам на уровне 126–130°. Принять в этом возрасте положение Лоренц-1 может далеко не каждый ребёнок. Повышенные углы шейки бедренной кости позволяют производить бо́льшую абдукцию бедра (Siebenrock K.A. et al., 2013; Lerch T.D. et al., 2020). Распространенность соха valga в нормальной популяции составляет 5% (Doherty

M. et al., 2008). Среди профессиональных артистов балета порядка 24% имеют coxa valga (ШДУ >140°) (Mayes S. et al., 2017). При МРТ–исследованиях ШДУ вычисляют на среднекорональных изображениях тазобедренных суставов (Рисунок 1.1 А). По данным МРТ средний ШДУ у взрослых артистов балета составляет 134,6°±4,6 и ни у одного из них не было coxa vara, то есть ШДУ <116° (Mayes S. et al., 2017). Многие ошибочно полагают, что coxa valga должна ассоциироваться с повышенной антеверсией бедренной кости, но это не так. Coxa valga может наблюдаться при нормальной, уменьшенной и даже значительно уменьшенной антеверсии бедренной кости (Tönnis D. et al., 1999).

IV. *Торсия большеберцовой кости.* Голень и стопа у новорождённых находятся практически в одной плоскости (0–5° внешней ротации). В процессе своего развития большеберцовая кость постепенно скручивается вдоль продольной оси во внешнюю сторону, отводя тем самым стопу наружу. К 10–11 годам наружная торсия большеберцовой кости голени достигает 15°–20° (Gruskay J.A. et al., 2019). Косвенно торсию можно оценить, анализирую постановку стоп при положении с параллельными коленями (коленные чашечки направлены вперед) и по направлению коленных чашечек в положении по шестой позиции (Рисунок 1.1 Б, В).



А Б В

Рисунок 1.1 – А. Коронарная проекция МРТ демонстрирует шеечно-диафизарный угол: угол между линией, проходящей через центр головки бедренной кости и шейку, с линией**,** проходящей вдоль оси бедренной кости. Цит. с адаптацией по (Mayes S. et al., 2017); Б. – Положение с параллельными коленями, ступни расположены с внешней ротацией. В. – Положение с параллельными коленями, ступни расположены параллельно. Разница в направлениях стоп и коленей косвенно характеризует торсию большеберцовой кости

Торсию большеберцовой кости можно также измерить на основании угла поворота стопы в положении лежа на животе с согнутым на 90° коленным суставом. Однако деформация стопы может исказить этот метод исследования (Grisch D. et al., 2019). Hamilton W.G. с коллегами (1977, 1982, 1992) предполагают, что 58% выворотности происходит выше коленного сустава и 42% ниже коленного сустава. Торсия большеберцовой кости вносит основной, после тазобедренных суставов, вклад в принятие выворотного положения ног (20% от его значения), добавляя 15–20° во внешнюю ротацию нижней конечности и не создавая стрессов от *скручивания* в коленном суставе (Stephens R.E., 1987; Huwyler J., 1999; Khan K.M. et al., 2000; Hamilton D. et al., 2006; Clippinger K., 2007; Grossman G. et al., 2003, 2008, 2017). Чем больше торсия большеберцовой кости, тем проще принять выворотные позиции. Важно учитывать, что избыточная внешняя торсия голени более чем на 20° может привести к пателлофеморальному синдрому (Stephens R.E., 1987; Steinberg N. et al., 2017). Избыточная торсия также не желательна в классическом танце по причине нарушения хореографической линии ног в *demi-plié.*

Б. ***Мягкотканные факторы, определяющие выворотность:*** капсула, связки тазобедренного сустава (особенно, *подвздошно-бедренная связка* или «Y-связка»), гипертонус мышц-аддукторов, ограничивающих внешнюю ротацию бедра, недостаточность мышц-ротаторов, обеспечивающих принятие выворотного положения (Gilbert C.B. et al., 1998; Huwyler J., 1999; Clippinger K., 2007; Champion L.M. et al., 2008; Sherman A.J. et al., 2017). Наиболее важными *мышцами, участвующих в выворотности* являются глубокие наружные ротаторы ТС (m. piriformis, m.obturatorius internus/externus, m.quadratus femoris, m. gemellus superior /inferior), которые вместе с поверхностными наружными ротаторами ТС (m. gluteus maximus, задние волокна m. gluteus minimus /medius, m. sartorius), синергично осуществляют внешнюю ротацию ТС (Gorwa J. et al., 2020).

Многосуставные мышцы, которые охватывают более одной зоны роста, такие как m. rectus femoris, m. sartorius и «подколенные сухожилия» в период скачков роста временно не соответствуют по длине выросшим костям и теряют свою

функциональность. Из-за этого в период скачков роста становится затруднительно поднять ноги (*à la seconde*) или сделать высокие махи ногами. При вовлечении m.sartorius подъем выворотной ноги обычно болезнен, в то время как подъем в нейтральном или в положении внутренней ротации безболезнен. Локальная болезненность возникает в передней верхней подвздошной ости (Rietveld A.B., 2013).

Связки являются мощными стабилизаторами тазобедренного сустава. Подвздошно-бедренная связка благодаря своей Y-образной форме и спиральной траектории волокон поперек передней стороны капсулы представляет собой дополнительный динамический стабилизирующий механизм. Она растягивается при разгибании и внешней ротации тазобедренного сустава. Лобково-бедренная связка сопротивляется внешней ротации при сгибании или абдукции. Ишиофеморальная связка сопротивляется внутренней ротации при сгибании или разгибании (Kalisvaart M.M. et al., 2015; Vera A.M. et al., 2020).

Компенсации выворотности

Если в XVII веке требуемая выворотность составляла всего 90° (Macintyre J. et al., 2000), то к XVIII веку величина идеальной выворотности уже достигла современных требований в 180° (Ваганова А.Я., 1934; Hammond S.N. et al., 1993; Carter S.L. et al., 2019). Достичь таких показателей в выворотности становится проблематичным для многих артистов балета. Согласно исследованию E.Thomasen (1982), принять идеально выворотное положение возможно при наличии 70° внешней ротации в тазобедренном суставе, 5° внешней торсии большеберцовой кости и 15° внешней ротации в голеностопном суставе. Многочисленные исследования показывают, что в среднем, у балерин внешняя ротация в тазобедренном суставе находится в промежутке от 39° до 52° (Hamilton W.G., 1977; Bauman P.A. et al., 1994; Gilbert C.B. et al., 1998; Khan K.M. et al., 1997, 2000; Bennell K.L. et al., 1999, 2001; Carter S.L. et al., 2019). Поэтому, совсем немного современных артистов балета могут продемонстрировать должную выворотность без применения *компенсаций* в других частях опорно-двигательного аппарата (Нечаев В.А. и др., 2018; Gilbert C.B. et al., 1998; Pata D. et al., 2014;

Mayes S. et al., 2016, 2017). Типичными компенсациями, используемыми при недостающей конституциональной выворотности являются:

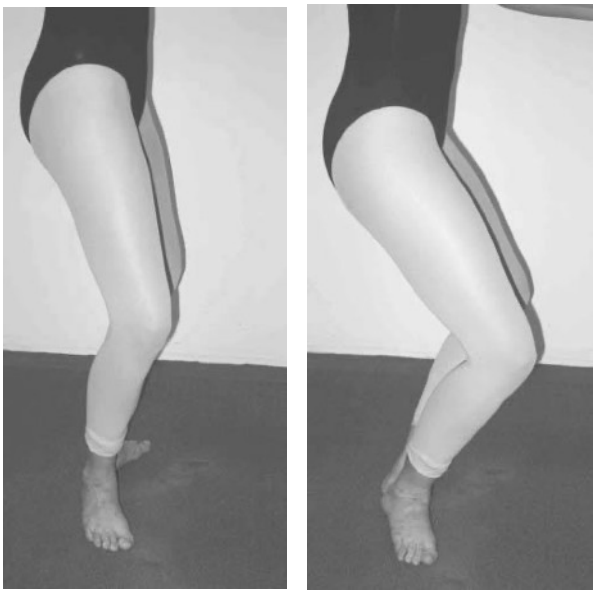
1. Увеличение угла наклона таза вперед, который увеличивает величину внешней ротации тазобедренного сустава за счет:

а) Имитации принятия положения ацетабулярной ретроверсии. В норме задне-верхний (*posterior superior*) сектор вертлужной впадины намного глубже, чем задне-нижний (*posterior inferior*). При наклоне таза вперед задне-верхний сектор освобождает место задне-нижнему и внешняя ротация тазобедренного сустава значительно облегчается (Solomon R. et al., 2000; Coplan J.A., 2002).

б) Ослабление натяжения Y-связки. Y-связки связка тазобедренного сустава ограничивает разгибание и внешнюю ротацию ТС в положении стоя с ровным тазом. Наклон таза вперед имитирует сгибание бедра, что уменьшает натяжение Y-связки, облегчая ноге принятие выворотного положения (Grossman G., 2017). Увеличенный наклона таза вперед изменяет биомеханику действия мышц, усиливает *поясничный лордоз,* который на нагрузках является фактором риска повреждения поясничного и пояснично-крестцового отделов позвоночника с появлением болевого синдрома, образованием спондилолиза и др. повреждений (Henn, E.D. et al., 2020), а далее, по биомеханической цепи, приводит к перегрузке и повреждению медиальных отделов коленного и голеностопного суставов и стопы вплоть до образования Hallux valgus (Кожевников А.Н. и др., 2018; Bejjani F.J., 1987; Grossman G., 2017).

2. «Скручивание» коленного сустава (так называемая «средняя выворотность»), осуществляемое за счет упора и трения стоп о пол, обычно используется положениях с полусогнутой в коленном суставе опорной ноги, например, в *demi-plié* (Teitz C.C., 1982; Khan K.M. et al., 1995; Bennell K.L. et al., 2001; Grossman G., 2003; Negus V. et al., 2005; Campbell R.S. et al., 2019). В безопорном положении ног использовать среднюю выворотность практически невозможно. Тоже можно сказать и о натянутом положении полностью разогнутой (выпрямленной) ноги, которое приводит к «замку» надколенника, не позволяющему производить ротационные движения в коленном суставе. При полном разгибании колено фиксируется и достигает максимальной устойчивости,

так как связки натянуты, а костная ткань имеет максимальную конгруэнтность. Большеберцовая кость разблокируется в течение первых нескольких градусов сгибания колена путем внешнего вращения на бедренной кости. При 20° сгибания колена голень поворачивается наружу примерно на 10°. Это действие, известное как винтовой механизм (*screw-home mechanism*), вызвано формой костей и конфигурацией связок. При сгибании колена (на уровне *demi-plié*) происходит уменьшение натяжения в связках коленного сустава, а костные поверхности перестают соответствовать друг другу, поэтому становится возможной внешняя ротация большеберцовой кости за счет наличия трения стоп о пол (Grossman G., 2003; Kim H.Y. et al., 2015). В этом заключается компенсационный механизм «средней выворотности» (Рисунок 1.2).



А Б

Рисунок 1.2 – Plié по первой позиции: А – правильно и Б – неправильно, но выворотность нижних конечностей значительно больше чем возможный объем внешней ротации в тазобедренном суставе. Цит. по (Negus V. et al., 2005)

Использование средней выворотности приводит к возникновению крутящего момента в коленном суставе, когда большеберцовая кость ротируется относительно фиксированной на максимуме внешней ротации бедренной кости. Такое состояние приводит к патологическому смещению надколенника, провоцирующее его нестабильность и образование пателлофеморального синдрома, к повреждению внутренних структур коленного сустава, особенно,

медиальной коллатеральной связки и медиального мениска (Шевцов В.И., 2006; Кожевников А.Н. и др., 2018; Teitz C.C., 1982; Reid D.C. et al., 1987; Ryan A.J. et al., 1987; Khan K.M. et al., 1995; Macintyre J. et al., 2000; Sobrino F. et al., 2017; Aksu N. et al., 2019).

При «скручивании» в согнутом коленном суставе мениск повреждается в силу его ущемления между мыщелком бедренной кости и суставной поверхностью большеберцовой кости. Сгибание коленного сустава с нагрузкой вызывает болевой синдром в месте повреждения заднего рога медиального мениска; разгибание с нагрузкой – в месте повреждения переднего рога медиального мениска (Aksu N. et al., 2019).

Исследование Barnes M.A. с коллегами (2000) показывает, что наибольшей внешней ротации коленный сустав подвергается при выполнения *grand plié* по IV позиции, чуть меньший – по III и наименьшей – по II-й позиции. Следовательно, *grand pliés* могут быть более опасными по повреждающим воздействиям на структуру коленного сустава, чем *demi-pliés*. Более того, *grand-plié* не является простым продолжением *demi-plié*, в этих *pliés* ноги задействуют различные паттерны движения (Barnes M.A. et al., 2000).

3. Гиперротация стопы в голеностопном суставе (так называемая «нижняя выворотность») предполагает абдукцию и пронацию стопы, которые в дальнейшем провоцируют опускание продольного свода стопы и возникновение плосковальгусной деформации стопы (плосковальгусного плоскостопия). Все это является фактором риска повреждений от перегрузки в *подтаранном* и *плюснефаланговых* суставах с дальнейшим развитием *метатарзалгии.* К тем же результатам приводят торсионные нагрузки, с которыми сталкивается нижняя конечность на фоне выворотности во время танца. Эти нагрузки увеличивают вероятность того, что танцор будет двигается с вальгусным положением оси нижней конечности (Coplan J.A., 2002). Пронирование и опускание свода стопы приводит к растяжению её связок с вовлечением в нефизиологический режим работы мышц и сухожилий заднемедиальной поверхности голени, особенно, длинного сгибателя большого пальца, а также приводит к развитию подошвенного фасцита и пяточного апофизита (Шайхутдинов И.И. и др., 2018). Далее, по

биомеханической цепи, возникают крутящие силы, приводящие к растяжению *медиальной коллатеральной связки* и повреждению *медиального мениска* (Hamilton W.G., 1977; Ryan A.J. et al., 1987; Smidt G., 1990; Khan K.M. et al., 1995; Schon L.C. et al., 1996; Macintyre J. et al., 2000; Sherman A.J. et al., 2017).

Использование компенсации выворотности в случае недостающей внешней ротации в тазобедренном суставе является источником травм и повреждений в поясничном и пояснично-крестцовом отделах позвоночника, в тазобедренных суставах и суставах нижних конечностей. *Чем больше компенсация превышает объём внешней ротации тазобедренных суставов, тем больше риск травмы* (Нечаев В.А. и др., 2018; Ryan A.J. et al., 1987; Bauman P.A. et al., 1994; Khan K.M. et al., 1995; Huwyler J., 1999; Coplan J.A., 2002; van Merkensteijn G.G. et al., 2015; Hafiz E. et al., 2016). Хирурги-ортопеды придерживаются мнения, что с учетом естественного увеличения выворотности по мере развития организма, к 15 годам требуется как минимум 60° внешней ротации бедра для дальнейшей безопасной профессиональной деятельности в балете (Brown T. et al., 1998; Huwyler J., 1999; Carter S.L. et al., 2018, 2019). Перегрузки, или нетравматические повреждения, часто связывают с ошибками в технике, при этом плохая выворотность и ненадлежащие компенсационные стратегии многими авторами указываются в качестве основной причины такой перегрузки (Negus V. et al., 2005; Armstrong R. et al., 2018). Распространенность нетравматических повреждений в большей степени связана с функциональными или динамическим показателями выворотности, чем только с внешней ротацией ТС. Поэтому, делать заключения на основании одной только внешней ротации тазобедренного сустава будет неправильным. Hamilton W.G. с коллегами (1992) обнаружили, что нетравматические повреждения были ассоциированы с повышенной двусторонней внешней ротацией ТС у мужчин и пониженной внешней ротацией у женщин.

Все больше исследователей полагают, что тяжесть нетравматических повреждений нижней конечности у артистов балета связана со статико-динамическими вариациями выворотности в различных положениях (позициях) (Coplan J.A., 2002; Negus V. et al., 2005; Storm J.M. et al., 2018). Поэтому,

диагностика, лечение и профилактические мероприятия должны быть сосредоточены на силе и контроле внешней ротации ТС в различных позициях, а не на гибкости. Танцоров следует поощрять использовать адекватные объёмы движений в суставах в выворотных позициях. Это уменьшит задействованность компенсационной выворотности и, как следствие, снизит хроническую перегрузку тканей (Negus V. et al., 2005; Storm J.M. et al., 2018). В видах двигательной активности, связанных с искусством движения, для выполнения как простых, так и сложных движений необходимы высокие степени сгибания, разгибания, внешней ротации и абдукции в тазобедренных суставах, которые могут вызывать затруднения даже при наличии нормальных морфологических характеристик (Duthon V.B. et al., 2013; Novais E.N. et al., 2018). Представительницы художественной гимнастики имеют б*о*льший пассивный объем, чем активный объем суставов, что нередко приводит к функциональному импинджменту, особенно у молодых гимнасток. (Roberts K., 2009). В ходе выполнения хореографических движений фемороацетабулярный импинджмент (ФАИ) и подвывих в тазобедренном суставе могут возникнуть у лиц с нормальной костной морфологией, при этом подвывих всегда сочетается с импинджментом (Поздникин И.Ю. и др., 2019; Середа А.П., 2020; Charbonnier C. et al., 2011; Audenaert E.A. et al., 2012; Weber A.E. et al., 2015; Harris J.D. et al., 2016; Mitchell R.J. et al., 2016). Charbonnier и соавторы (2011) сообщили о результатах трехмерного оптического анализа движения и МРТ–анализа тазобедренных суставов при выполнении базовых элементов классического танца и показали, что такие элементы, как *développé à la seconde*, *grand écart facial*, *grand écart latéral* и *grand plié* оказывают особо значимый стресс на тазобедренные суставы, соответствующий высокому числу обнаруженных импинджментов и подвывихов головки бедренной кости (Рисунок 1.3, 1.4).

При выполнении *developpe a la secondde* у 45% обследуемых возникал импинджмент по верхнему (superior) и задне-верхнему (posterosuperior) краю вертлужной губы и 25% обследуемых имели подвывих, в среднем на 4,6±1,1 мм (Charbonnier C. et al., 2011).

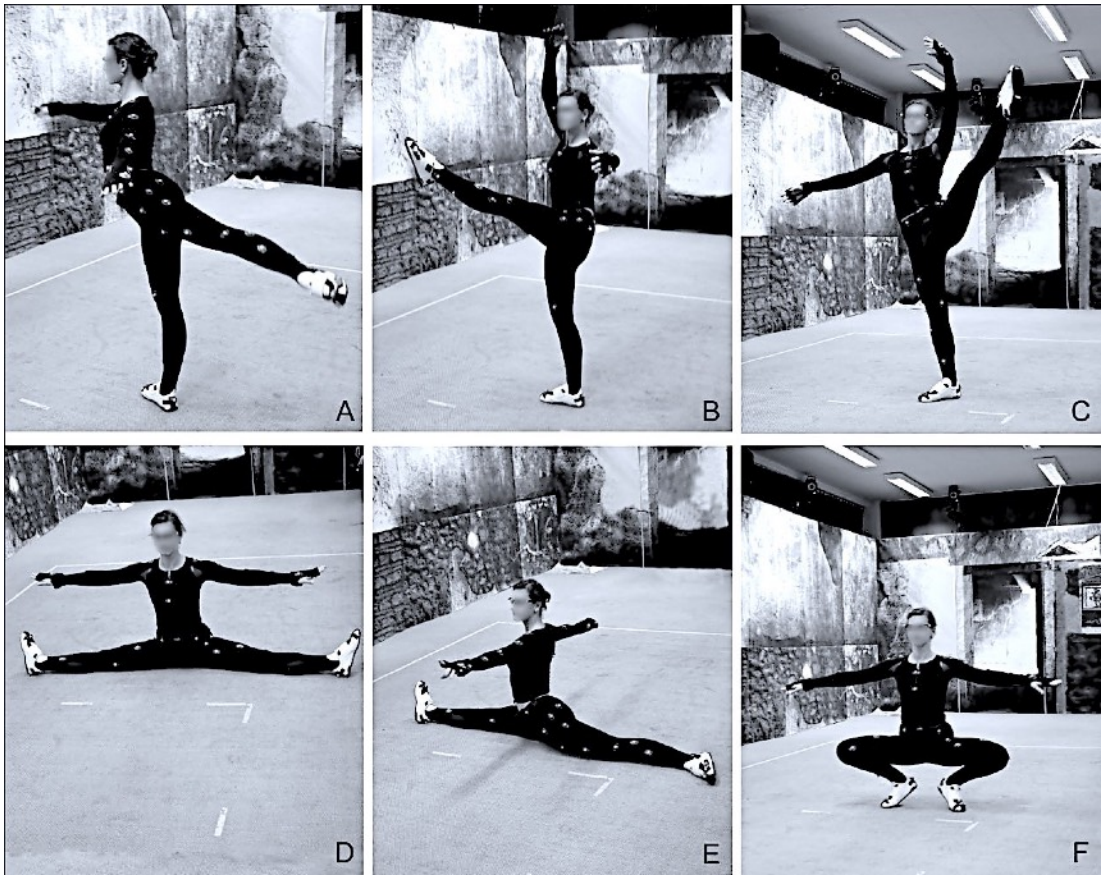
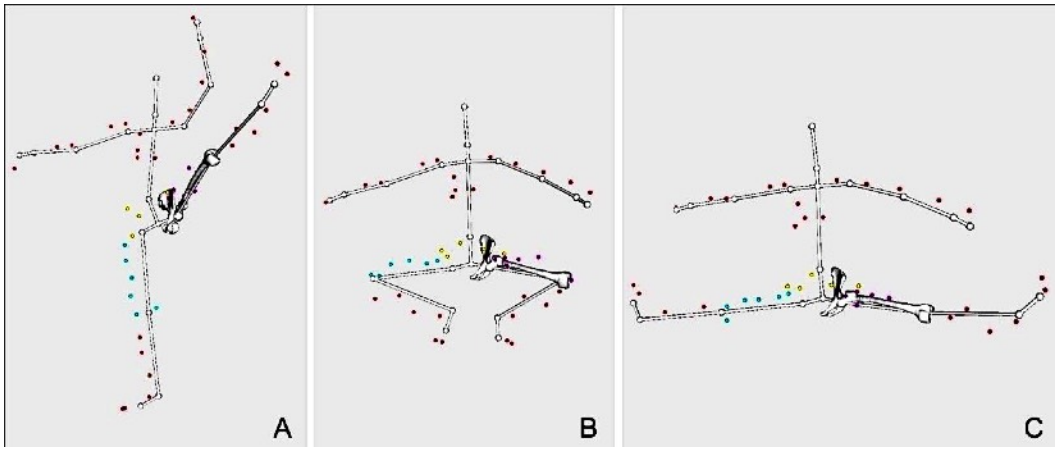


Рисунок 1.3 – Типичные элементы, отражающие специфику классического танца. A – *arabesque*, B – *développé devant*, C – *développé à la seconde*, D – *grand écart facial* (прямой шпагат), E – Правый *grand écart latéral* (шпагат правой), F – g*rand plié*. Цит. по (Charbonnier C. et al., 2011).



Риснок 1.4 – Кинеграмма оптического захвата движения с маркерами: A –*développé à la seconde* левой, B – *Grand plié*, C – *Grand écart facial*. Цит. по (Charbonnier C. et al., 2011)

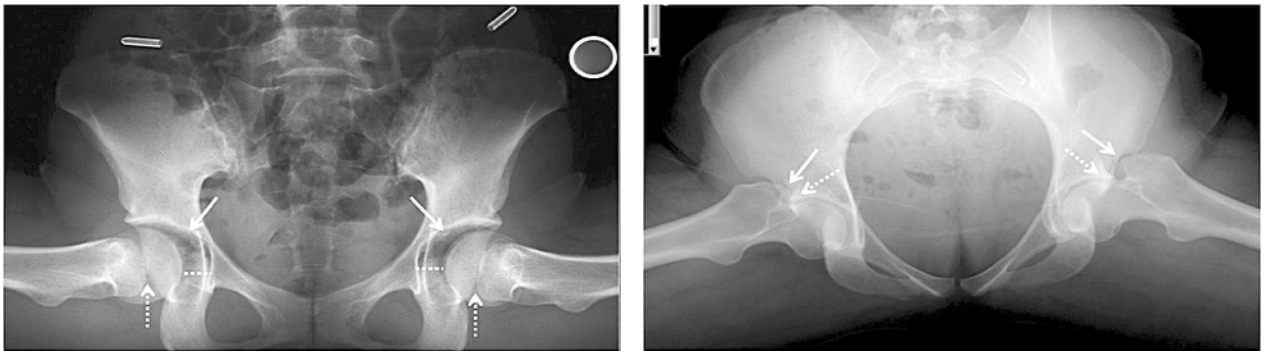
Kolo F.C. с коллегами (2013) полагают, что у профессиональных артистов балета истинно патологические повреждения по типу ФАИ встречаются редко. Обнаруженные патологические изменения они объясняют повседневной

высокоамплитудной физической активностью артистов балета, провоцирующей ацетабулярный механизм импинджмента с линейным контактом между верхним или задне-верхним краем вертлужной впадины и шейкой бедренной кости.

Наличие бедренных или ацетабулярных деформаций не означают наличия бедренного или ацетабулярного типа ФАИ (Harris J.D. et al., 2016). Наличие аномальных результатов при визуализации костной ткани (бедренной или ацетабулярной) не приравнивается к клиническим симптомам; то есть, бедренные или ацетабулярные деформации не приравнивают к бедренному или ацетабулярному типам ФАИ, соответственно (Harris J.D. et al., 2016). Все больше исследователей соглашаются, что в отношении импинджментов не может быть четкой корреляции между клиническими и рентгенологическими данными (Duthon V.B. et al., 2013; Yang Y. et al., 2020).

В целом, для танцоров обоих полов характерны более низкие значения версии (ретроверсия) вертлужной впадины и верхнего угла Альфа, чем в популяции не-танцоров. Танцоры с более высоким углом версии вертлужной впадины имели более высокий уровень болевого синдрома. Тем самым, профессиональные артисты балета имеют костную морфологию, способствующую оптимальной функции тазобедренных суставов в балете. Для танцоров обоих полов типичны более высокие углы ШДУ и ретроверсия вертлужной впадины (Mayes S. et al., 2017).

Изучение тазобедренного сустава во время выполнения шпагата (Рисунок 1.5), в том числе и прыжка в шпагат в художественной гимнастике (Putra R.B. et al, 2020) дает экстремальную модель функционального фемороацетабулярного импинджмента из-за чрезмерного сгибания ТС в этом положении (Kolo F.C. et al., 2013; Mayes S. et al., 2018). Согласно исследованию Charbonnier с коллегами (2011), при выполнении выворотного, то есть с внешней ротацией бедер, прямого шпагата (*grand écart facial*) и выворотного продольного шпагата (*grand ecart lateral*) у 61% и 70% профессиональных танцовщиц, соответственно, возникали импинджменты по верхнему–задневерхнему (superior–posterosuperior) краю вертлужной губы и у 39% и 31% танцовщиц, соответственно, возникал подвывих в размере 3,4±1,6 и 5,1±1,3 мм.



А Б

Рисунок 1.5 – Обзорная рентгенография костей таза и ТС в прямой проекции: А – Прямой шпагат (*grand écart facial*), бедра находятся во внешней ротации. На рентгенограмме признак «вакуума» (сплошные стрелки), большевертельно-тазовый импинджмент на заднему краю вертлужной впадины (пунктирные стрелки), и латеральный подвывих головки бедренной кости (пунктирные линии). Величина латеризации головки бедренной кости 11,0 мм (слева) и 11,2 мм (справа); Б – Прямой шпагат (*grand écart facial*), бедра находятся по внутренней ротации. На рентгенограмме большевертельно-тазовый импинджмент по верху ацетабулярной впадины на 12–часах (сплошные стрелки) и динамический Pincer–импинджмент бедренной кости (пунктирные стрелки). Цит. по (Harris J.D. et al., 2016)

Аналогичные данные получили Kolo с коллегами (2013) и Duthon с коллегами (2013), они проанализировали результаты МРТ–исследования положения продольных шпагатов (grand écart lateral), сообщая о возникновении 2,1 мм подвывиха в шпагатах и о высокой распространенности верхнего–задне-верхнего (superior-posterosuperior) хондролабрального повреждения и грыжевых ямок, без признаков импинджмента бедренного или ацетабулярного (Cam или Pincer) типов. При этом для ноги «спереди» в продольном шпагате характерны более экстремальные значения объема движения в ТС, чем для ноги сзади. Спереди: сгибание 131,51±6,04°, отведение 30,29±5,29°, внешняя ротация 14,46±7,40; сзади подвывих практически не наблюдался (Assassi L. et al., 2016).

При рентгенологическом исследовании *прямых шпагатов* (*grand écart facial*) у профессиональных артистов балета на прямой рентгенограмме обнаруживали (Harris J.D. et al., 2016):

– при внешней ротации ТС (при принятии выворотного положения) возникал боковой и нижний подвывих из-за большевертельно-тазового импинджмента и развитие вакуум-феномена (vacuum sign) у некоторых участников (Рисунок 1.5);

– при внутренней ротации («завернутое положение») возникал большевертельно-тазовый импинджмент по верхнему краю вертлужной губы, динамический Pincer–импинджмент бедренной кости и развитие вакуум-феномена у некоторых участников (Рисунок 1.5).

Подвывих бедра в положении *прямого шпагата* (положительный *признак вакуума* на рентгенограмме шпагатов) наблюдался у большинства профессиональных артистов балета, причем у женщин величина подвывиха коррелирует с уменьшением шеечно-диафизарного угла и увеличением угла Альфа (Mitchell R.J. et al., 2016). Этот феномен, свидетельствующий о микронестабильности тазобедренного сустава, значительно чаще встречался у женщин-танцовщиц, чем у танцоров-мужчин. Кадавральные исследования предоставляют дополнительные доказательства, что сочетания абдукции и внешней ротации тазобедренных суставов, как при сгибании, так и при разгибании, вызывают увеличение деформации вертлужной губы и передний подвывих бедренной кости (Wassilew G.I. et al., 2013; Burke C.J. et al., 2019).

Когда технические требования к объёму движений в тазобедренном суставе гимнаста или танцора больше, чем физиологический объем движения (ROM) компенсаторные стрессовые напряжения и последующий болевой синдром могут развиваться в соседних анатомических структурах. Последствия компенсаторного повреждения могут возникать в поясничном отделе позвоночника, лонном сочленении, крестцово-подвздошных суставах и заднем отделе вертлужной впадины (Briggs J. et al., 2009; Sieńko–Awierianów E. et al., 2020). Компенсаторный стресс возникает в периартикулярной мускулатуре, что может привести к повреждению длинных аддукторов, проксимальных хамстрингов, мышц-абдукторов, подвздошно-поясничной мышцы и сгибателей бедра (Larson C.M. et al., 2013, 2015). Поясничная мышца может также функционировать в качестве динамического стабилизатора для пациентов с легкой передней нестабильностью (Шевцов В.И., 2006; Fabricant P.D. et al., 2012; Möckel G. et al., 2018). Подвздошно-бедренная связка является основным стабилизатором для внешней ротации и переднего перемещения тазобедренного сустава, которые являются ключевыми движениями в классическом танце (Myers C.A. et al., 2011; Tsutsumi M. et al.,

2020).

1.3 Дисплазия тазобедренных суставов и диспластический тип развития

Дисплазия тазобедренного сустава всегда проявляется ***нестабильностью*** тазобедренного сустава, в силу присущей этому состоянию неглубокой вертлужной впадины. Такая вертлужная впадина недостаточно покрывает головку бедренной кости, приводя к значимому увеличению механического давления на край вертлужной впадины с дальнейшей гипертрофией и повреждением её губы (Kamenaga T. et al., 2020). Gupta A. с коллегами (2015) сообщают, что размер губы вертлужной впадины значительно больше у диспластических бедер по сравнению с недиспластическими бедрами, особенно, в *задне-нижнем* квадранте вертлужной впадины. Чем более нестабильно бедро, тем ранее появляются клинические симптомы неблагополучия. Менее диспластичные тазобедренные суставы, имеющие недостаточное покрытие, могут демонстрировать патологическую симптоматику спустя годы и даже десятилетия, когда патологическая биомеханика движения вызовет достаточно серьезные внутрисуставные структурные повреждения. Такая клиническая картина характерна для ***подростковой (ацетабулярной) дисплазии***, когда их опорно-двигательный аппарат хорошо функционирует в течение многих лет, с рождения и до появления первых симптомов (Шевцов В.И., 2006; Макушин В.Д. и др. 2010; Камоско М. М. и др., 2014; Тихилов Р.М., Шубняков И.И. и др., 2017; Зоткин В.В. и др., 2019; Pun S., 2016; Zhou Y. et al., 2019). Понятие «пограничная дисплазия» вертлужной впадины относится к субнормальным типам охвата вертлужной впадины, которые могут предрасполагать к механической дисфункции и нестабильности, но могут отражать разновидность нормы. Пограничная дисплазия обычно характеризуется углом Виберга 18–24°, при котором необходимо провести дополнительную оценку других рентгенографических показателей, прежде чем можно будет выдать заключение на наличии нормы или патологии (Макушин В.Д. и др. 2010; Зоткин В.В. и др., 2020; McClincy M.P. et al., 2019; Upasani V.V., 2019; Irie T. et al., 2020).

Средний угол Виберга у профессиональных артистов балета составляет 21–

24° (Mitchell J.C. et al., 1999; Harris J.D. et al., 2016), по другим исследованиям – порядка 25°–29° (Turner R. et al., 2012; Mayes S. et al., 2016).

Исследование Harris J.D. и коллег (2016) среди профессиональных артистов балета показало, что 96% женщин-танцоров и 81% мужчин-танцоров имели ацетабулярную дисплазию или пограничную ацетабулярную дисплазию по крайней мере в одном бедре. Кроме того, 92% танцовщиц и 82% танцоров имели двустороннюю дисплазию. При этом 87% имели угол Виберга менее 25°, 51% участников имели угол Виберга менее 20°. Семьдесят четыре процента участников имели угол Tönnis более 10° и девятнадцать процентов участников – более 15 °. Шестьдесят два процента участников имели передний центрально-краевой угол менее 25 ° и пятнадцать процентов участников – менее 20 °. Сорок пять процентов участников имели индекс экструзии головки бедренной кости более 25% (Harris J.D. et al., 2016). Определение обсуждаемых рентгенологических показателей тазобедренного сустава проиллюстрировано на рентгенограмме профессионального артиста балета (Рисунок 1.6).

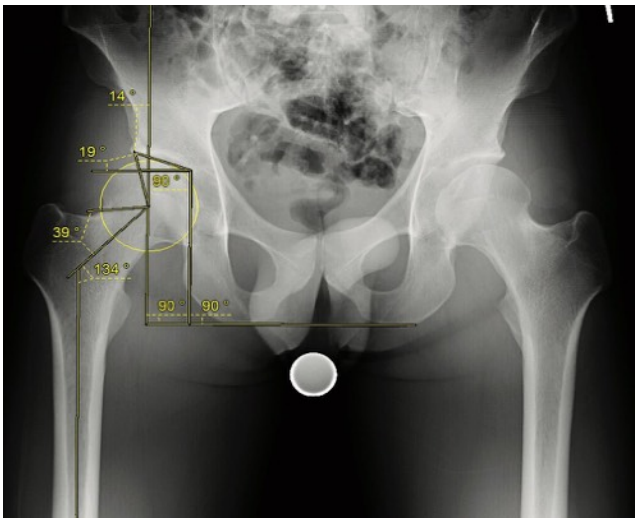


Рисунок 1.6 – Рентгенограмма тазобедренных суставов в прямой проекции у профессионального артиста балета иллюстрирует измерение шеечно-диафизарного угла – 134°, угла Виберга – 14°, угла Tönnis – 19° и угла Альфа – 39°. Цит. по (Harris J.D. et al., 2016).

Иной результат продемонстрировало исследование Frank J.M. с коллегами (2015) и Lubowitz JH. с коллегами (2015) которые показали, что частота возникновения дисплазии вертлужной впадины и пограничной дисплазии у

танцоров сопоставима с таковой в общей популяции. Сходные результаты были получены в исследовании Mayes S. и соавторов (2017), которые показали, что среди профессиональных артистов балета обоих полов только у 3% наблюдается дисплазия вертлужной впадины, у 15% – пограничная дисплазия, у 24% *Coxa valga* и у 21% – ретроверсия вертлужной впадины. При этом, костные рентгено-морфологические показатели у профессиональных артистов балета были по большей части разновидностью нормы и характеризовались относительно недостаточным ацетабулярным покрытием, умеренно повышенным ШДУ и наличием ацетабулярной и бедренной ретроверсии.

Важно учитывать, что классическая дисплазия вертлужной впадины и ретроверсия вертлужной впадины представляют собой две различные патоморфологии вертлужной впадины (Gala L. et al., 2016). В исследовании Tannast M. и соавторов (2015) показано, что *передней наклон таза* (столь типичный для танцоров и гимнастов) значительно увеличивает проекционную ретроверсию вертлужной впадины и провоцирует повышенный положительный «Crossover» признак, выраженный *признак седалищной ости* и *признак задней стенки*. Однако угол Виберга, угол *версии вертлужной впадины*, *ацетабулярный индекс* и *индекс экструзии* головки бедренной кости мало подвержены влиянию наклона или вращению таза.

В ряде исследований с привлечением средств компьютерной томографии сообщается о высокой распространенности «Crossover» признака и *признака задней стенки* (posterior wall sign) на рентгенограммах среди условно нормальных тазобедренных суставов с нормальным покрытием вертлужной впадины; 15% бедер, имеющих положительный *кроссовер признак* и 30% – имеющие *признак задней стенки*, имели нормальное латеральное покрытие (Larson C.M. et al., 2015; Anderson L.A. et al., 2017; Piuzzi N.S., 2017). В связи с чем, все больше авторов предостерегают от использования обзорных рентгенограмм в качестве единственного источника информации при постановке диагноза патоморфология бедра (Зоткин В.В. и др., 2019; Larson C.M. et al., 2015). При отсутствии рентгенологических признаков дисплазии ТС положительный *признак задней стенки* следует рассматривать как первичный признак *неглубокой вертлужной*

впадины (Vahedi H. et al., 2018). Основные деформации бедренной кости при дисплазии тазобедренного сустава становятся все более узнаваемыми, но трехмерная геометрия проксимального отдела бедренной кости и ее изменчивость еще плохо охарактеризованы (Wells J. et al., 2017; Reddy N. et al., 2020). Исследования показывают, что даже бессимптомные пациенты могут иметь рентгенографические показатели из диапазона лиц с дисплазией (Тихилов Р.М., Шубняков И.И. и др., 2017; Anderson L.A. et al., 2017). Это свидетельствует о том, что некоторая степень вариабельности 3-D морфологии вертлужной впадины является нормальной. Для того, чтобы эти новые эталонные стандарты можно было считать надежными индикаторами патологии, необходимо провести валидацию этих показателей с помощью дополнительных средств визуализации как МРТ или КТ и более продолжительного наблюдения (Bixby S.D. et al., 2019). Дети и подростки, имеющие дискомфорт или болевой синдром в области тазобедренных суставов должны быть осмотрены с учетом характера и локализации боли и пройти всестороннее физическое обследование, включающее в себя оценку ходьбы, положения таза и объема движений в суставах (Зоткин В.В. и др., 2020; Bixby S.D. et al., 2019).

В исследовании McClincy M.P. et al. (2019) среди *пациентов* женского пола было выделено 3 кластера: «Задне-латеральная вертлужная недостаточность с глобальной Cam–морфологией», «Задне-латеральная вертлужная недостаточность с фокальной Cam–морфологией», и «Передне-латеральный ацетабулярный дефицит». Кроме того, для большинства пациентов женского пола была характерна лигаментарная слабость.

В исследовании Vaudreuil N.J. с коллегами (2020) пациенты женского пола также разбились на 3 морфологических кластера: «Импинджмент» (высокий угол Альфа на рентгенограммах в прямой и Dunn–проекции), «Передне-боковой дефицит вертлужной впадины» (низкий угол Виберга, низкий *индекс передней стенки*, низкий *передний центрально-краевой угол*, высокий *бедренно-эпифизарный индекс крыши вертлужной впадины*), «Изолированный боковой дефицит вертлужной впадины» (низкий угол Виберга). Три кластера пациентов, два у мужчин («Глобальный импинджмент» и «Фокальный импинджмент») и

один у женщин («Импинджмент») имели рентгено-морфологические особенности, согласующиеся с диагностическими признаками ФАИ. Кластер «Передне-бокового дефицита вертлужной впадины» у женщин выявил многочисленные признаки дисплазии вертлужной впадины. Авторы сообщают, что не редки случаи неоптимального переднего покрытия при нормальных углах Виберга (Vaudreuil N.J. et al., 2020). Оценка наличия дисплазии по углу Виберга является чрезмерно упрощенным подходом, который может поставить под угрозу надлежащую классификацию и может предоставить недостаточные данные для лечения тазобедренных суставов с дополнительными особенностями дисплазии или нестабильности (McClincy M.P. et al., 2019). В ходе исследования Fischer C.S. и соавторов (2018) при обследовании 21–90 летних лиц было обнаружено, что для некоторых популяций возраст, пол, рост и индекс массы тела (ИМТ) являются факторами, коррелирующими со «смещением» нормы в диспластический диапазон. В этом исследовании наблюдалась ассоциация между углом Виберга и возрастом (чем старше пациент, тем больше у него угол Виберга), ростом (на каждые 10-см высоты, угол Виберга уменьшается приблизительно на 1°) и ИМТ (чем ниже ИМТ, тем ниже угол Виберга). Напротив, вес не имел ассоциации с углом Виберга. Исследователи показали, что связь аномальных рентгенографических показателей с истинной клинической патологией тазобедренных суставов в лучшем случае незначительна (Fischer C.S. et al., 2018).

Угол Виберга является надежной мерой бокового вертлужного покрытия, но не является мерой для глобальной морфологии вертлужной впадины. При пограничной дисплазии важно оценивать переднее и заднее покрытие вертлужной впадины, проксимальную морфологию бедра и его ротационное выравнивание в вертлужной впадине (Vaudreuil N.J. et al., 2020). Недостаточность и чрезмерность покрытия являются двумя крайним патологическими формами морфологии вертлужной впадины, которые сопровождаются двумя граничными патомеханизмами: статической перегрузкой (при недопокрытии) и динамическим ФАИ конфликтом (при сверхпокрытии) (Поздникин И.Ю. и др., 2019; Tannast M. et al., 2015).

1.4 Кокцигодиния как пример повреждения от перегрузки области таза и тазобедренного сустава

По данным Kalstad A.M. и соавторов (2020) выявлено, что у подростков от 11 до 17 лет часто выявляются жалобы на болевой синдром в области тазобедренных суставов, который расценивают как кокцигодинию. Это составляет порядка 12% от всех пациентов с хронической кокцигодинией; соотношение девочек-подростков к мальчикам составило примерно как и у взрослых 5:1.

Кокцигодиния – это группа состояний, характеризуемая болевым синдромом в области копчика и вокруг него. Но нередко болевой синдром может иметь более широкую локализацию, начиная от поясничного отдела позвоночника и заканчивая проксимальной областью бедра (Manotas J.A. et al., 2020). Идиопатическая кокцигодиния - это диагноз исключения после тщательного клинического и, если есть показания, лабораторного и инструментального обследования на выявление иных причин болевого синдрома. Диагноз почти всегда основывается на анамнезе и тщательном клиническом исследовании (Manotas J.A. et al., 2020). Для нетравматической кокцигодинии характерно отсутствие патологических находок при лучевой диагностике (Fogel G.R. et al., 2004). Если у обычных людей кокцигодиния может иметь разные причины, то кокцигодиния у спортсменов в подавляющем большинстве случаев связана с некомпенсированным мышечным гипертонусом тазового пояса на фоне необходимости выполнения повышенного объема движения в тазобедренном суставе (Finsen, 2020).

История идиопатической *кокцигодиния* берет свое начало с исследований хирурга J. Y. Simpson, который в 1859 году ввел термин *кокцигодиния*. Он одним из первых заподозрил, что возможно, «болезнь ограничена сухожилиями мышц», ассоциированных с копчиком. Спустя три года T.G. Thomas (1872) уточнил, что болевой синдром может быть вызван «гиперчувствительным состоянием волокнистых тканей, окружающих копчик, или того, что составляет сухожильные расширения мышц». Спустя 50 лет известный специалист по лечению кокцигодинии G.H. Thiele (1935) сообщил, что «мышечный спазм сам по себе

вызывает сильнейшую боль» и у шестидесяти четырех из шестидесяти девяти пациентов, кокцигодиния сопровождалась спазмом m. levator ani и m. coccygeus. Спазм грушевидной мышцы (m. piriformis) был обнаружен у тридцати одного из тридцати трех пациентов с болью в надъягодичной области или по задней поверхности бедра (Thiele G.H., 1935). Спустя годы наблюдений Thiele (1963) пришел к заключению, что за исключением случаев острой травмы, копчик не является источником боли, называемой кокцигодинией; боль возникает при спазме в ассоциированных с ним мышцах. А сам болевой синдром может распространяться по надъягодичной области, грушевидной мышце и по задней поверхности бедра. Он утверждал, что купирование болевого синдрома инъекциями анестетиков достигается за счет результирующего расслабления спазмированных мышц (Thiele G.H., 1963). Следует учитывать, что в художественной гимнастике и балете типичны мышечные дисбалансы между внутренними и внешними ротаторами тазобедренного сустава. Особенно это сказывается в предпубертатныом периоде и в период скачка роста (Roberts K., 2009).

Несмотря на то, что этиология идиопатической *кокцигодинии* до сих пор не известна (Carter C., 2020; Manotas J.A. et al., 2020), все больше клиницистов полагают, что причина идиопатической кокцигодинии кроется в чрезмерном напряжении ассоциированных с крестцово-копчиковой областью глубоких мышц таза и от раздражения lig. sacrococcygeum, lig. sacrospinale и lig. sacrotuberale (Dampc B. et al., 2017). А в качестве основных факторов риска выделяют хронические микротравмы указанной области (Dayawansa S. et al., 2019), нестабильность опорно-двигательного аппарата в данной области (Foye PM., 2017); слабость связочного аппарата, приводящую к болезненной *гипермобильности* (Cameron H.U. et al., 1975); физические нагрузки, особенно у молодых и юных спортсменов (Mabrouk A. et al., 2020). Mabrouk A. et al. (2020) сообщают, что на долю гипермобильности приходится 25% случаев кокцигодинии; и это как правило представители женского пола с низким или нормальным индексом массы тела (ИМТ).

1.5 Гипермобильность и объем движения в суставах

Гипермобильность суставов - это состояние превышения объема движения в суставе за пределы нормального диапазона движений (ROM), обычно вторичного по отношению к слабости пассивных связочно-капсульных ограничений. Это условие не следует путать с гибкостью (Batista, A. et al., 2019; Biernacki, J.L. et al., 2021; van Rijn, R.M. et al., 2021), которая является функцией как суставного ROM, так и длины мышц. Синдром гипермобильности суставов относится к состоянию, при котором четыре или более суставов способны двигаться за пределы своего нормального физиологического диапазона (Skwiot M. et al., 2019). Гипермобильные суставы, слабая мышечная сила нижних конечностей, значительное вальгусное отклонения колена повышают риск развития повреждений от перегрузки (O'Kane J.W. et al., 2017; van Rijn, R.M. et al., 2021).

Гипермобильность суставов является преимуществом и обязательным условием для танцоров и представителей художественной гимнастики, которые обычно набирают 5 или более баллов из девяти по критерию Бейтона. Тем не менее, на сегодняшний день еще не разработаны специализированные критерии, которые позволили бы точно диагностировать гипермобильность у профессиональных танцоров (Skwiot M. et al., 2019).

Контроль и координация этой гипермобильности достигается годами интенсивных тренировок и поддерживается в ежедневном «классе» (Roberts K., 2009; Rietveld A.B. 2013; Biernacki, J.L. et al., 2021). Распространенность гипермобильности суставов значительно выше среди танцоров по сравнению с контрольными испытуемыми, не являющимися танцорами (Steinberg N. et al., 2016). От 20% до 66% профессиональных танцоров имеют гипермобильность суставов; возможно, врожденная или приобретенная гипермобильность позволяет этим спортсменам достичь профессионального статуса (Weber A.E. et al., 2015). Исследователи, посвятившие свою научную карьеру проблеме чрезмерной гибкости у танцоров, всегда сталкивались с загадочным вопросом: является ли гипермобильность генетически обусловленной или это просто результат напряженных тренировок, которым танцоры подвергаются с детства? К

сожалению, этот вопрос до сих пор остается без ответа (Skwiot M. et al., 2019).

Танцоры с неудовлетворительным для их профессиональной деятельности объемом движений в суставах нередко повышают этот объем движений выходя за морфологические / физиологические пределы, создавая микроповреждения с дальнейшим образованием рубцовой ткани. Все это в дальнейшем приводит к ограничению наличествующего объема движений, инициируя порочный круг, который может подвергнуть танцора травме (Steinberg N. et al., 2018). Гипермобильность суставов создает повышенный риск травм и порождает более длительное время на восстановление (Weber A.E. et al., 2015; Tinglea A. et al., 2018). Танцоры и гимнасты, независимо от того, врожденная или приобретенная у них гипермобильность, выполняют движения в суставах в потенциально неблагоприятных или нестабильных положениях, необходимых для их данной профессиональной деятельности. Такие экстремальные движения могут привести как к внутрисуставному, так и к внесуставному импинджменту, а также к компенсаторной костной и мышечной патологии (Weber A.E. et al., 2015).

У спортсменов и танцоров симптомы ФАИ наблюдались на фоне нормальной морфологии костей (Fraser J.L. et al., 2017). Высокая степень сгибания, разгибания, внешней ротации и отведения в тазобедренных суставах может создавать чрезмерную нагрузку на внутри- и околосуставные структуры сустава даже в условиях нормальной морфологии костей (Fraser J.L. et al., 2017). В танцевальной дисциплине даже нормальная морфология костей может приводить к появлению симптомов и может быть отрицательным предиктором перехода на более высокий уровень (Fraser J.L. et al., 2017).

Для бессимптомных артистов балета как и для обычных детей в норме характерно сохранение полного объема ротационных движений в тазобедренных суставах 80-90°: танцоры имеют большую внешнюю ротацию ТС (в среднем 84°) по сравнению с не танцорами (в среднем 63°), и значительно меньшую внутреннюю ротацию (49° в сравнении с 56°) и для танцоров характерна ретроверсия бедренной кости (Hamilton D. et al., 2006). Увеличение внутренней ротации на фоне характерной для танцоров повышенной внешней ротации можно рассматривать как признак гипермобильности тазобедренных суставов.

Объективная оценка максимального пассивного диапазона движений суставов посредством *трехмерного кинематического анализа* в сочетании с физическим обследованием несет ряд полезной биомеханической информации (Сучилин, Н.Г. 1996) и необходима для учета анатомических отклонений, диагностике повреждений от перегрузки, и исследования основных механизмов этих повреждения (Quanbeck A.E. et al., 2017; Sarah L. et al., 2018; Kaufmann J.E. et al., 2021). Юные танцовщицы демонстрируют различные паттерны активации мышц бедра по сравнению с юношами. Повреждения могут быть связаны с увеличением переднего наклона таза, слабой мускулатурой живота и удлинением позвоночника и нижних конечностей во время роста и созревания (Stracciolini A. et al., 2016).

1.6 Повреждения от перегрузки области голеностопного сустава и стопы

Травмы нижних конечностей составляют от 66% до 91% всех травм опорно-двигательного аппарата (Smith PJ et al., 2015). Травмы голеностопного сустава и стопы являются одними из самых распространенных среди танцоров и составляют 50% от всех травм, полученных во время танца (Conti S. F. et al, 2001; Vosseller J.T. et al., 2019). Многие из этих травм отражают специфику движений классического танца. Все положения и позы, используемые в классическом балете, в той или иной мере потенциально травмоопасны для голеностопного сустава, стопы и всей ноги в целом (Tax H., 1985). Чтобы понять высокую частоту повреждений и деформаций стопы у танцоров, необходимо более детально понимать природу компенсационных стратегий, используемых для достижения балетных позиций (Рисунок 1.7), и, соответственно, понять их интеграцию в стереотипы движения (Нечаев В.А. и др., 2020; Procházková M. et al., 2014).

Основными факторами риска повреждений голеностопного сустава и стопы являются недостаточный для выполнения профессиональной деятельности объем движений, специфические выворотные хореографические позиции, перегрузка за счет длительной работы с полным весом тела на кончиках пальцев ног (Рисунок 1.7), избыточное время репетиций, многократные повторения однотипных

движений и погрешности в технике (Нечаев В.А. и др., 2020; Shnitser I. et al., 2001; Vosseller J.T. et al., 2019). *Недостаточный объем движений*, особенно *первого плюсне-фалангового сустава* или подошвенного сгибания голеностопного сустава будет препятствовать принятию положения *demi-pointe* или *en pointe* (Рисунок 1.7) или будет приводить к травмированию при насильственном увеличении объема движений в этих суставах (Vosseller J.T. et al., 2019). Повышенный объем движений, особенно в силу гиперэластичности мягких тканей может давать некоторые преимущества в танце, но значительно понижает стабильность суставов, что может привести к травме или её хронизировать. Hiller et al. (2008) обнаружили, что из ряда факторов риска только наличие предыдущего растяжения голеностопного сустава в анамнезе коррелировала с повышенным риском его будущего растяжения. Следует учитывать, что в ходе многолетнего профессионального отбора в классическом танце доминируют представители, имеющие специфические анатомо-физиологические способности, предъявляемые в частности к стопе и голеностопному суставу (Дембо Н.А., 1941; Коловарский П.Б., 1974; Силкин П.А., 2008, 2010; Фомкин А.В., и др., 2011; Березуцкий В.И., 2016; Ahonen J., 2008; Масленников П.Ю., 2018).



А Б В

Рисунок 1.7 – Основные положения стопы в классическом танце: А – положение *demi relevé*; Б – положение *en pointe*; В – положение *demi plié* по первой позиции. Цит. по (Vosseller J.T. et al., 2019).

Relevé является базовым элементом классического танца и встречается во многих эстетических видах спорта (т.н. «выход на *полупальцы*). *Relevé* сочетает в себе максимальное подошвенное сгибание в голеностопном суставе и 90° разгибания в первом плюснефаланговом суставе (Rietveld A.B., 2013).

Во многих видах спорта требуются экстремальные движения в

голеностопном суставе (например, футбол и гимнастика). Однако, только в классическом танце присутствует сочетание максимального разгибания в положении *demi plié* и максимального сгибания в *en pointe* (Рисунок 1.7). Биомеханическая особенность этих положений и их многократные повторения предрасполагают к суммарной повреждающей нагрузке на опорно-двигательный аппарат голеностопного сустава и стопы (Нечаев В.А. и др., 2020; Russell J.A. et al., 2008, 2010–2013, 2015). Никакая позиция голеностопного сустава и стопы в классическом танце не является более экстремальной, чем *en pointe*, характеризующееся экстремальным сгибанием на фоне осевой нагрузки (Russell J.A. et al., 2010). Общее давление на пальцы стопы при работе на пуантах составляет 1,5 MPa, при этом б*о*льшая часть веса приходится на первый палец ноги и составляет от 0,14 до 0,58 MPa (Kadel N.J., 2006, 2014).

Barnett и Napier (1952) показали, что существует две разные оси в голеностопном суставе: одна – для тыльного сгибания, другая – для подошвенного. Более 35 лет спустя Lundberg (1989), реконструируя трехмерное изображение на основании рентгенографии в двух плоскостях, развил наблюдения Barnett, Napier и Hicks (1953) и показал, что эти две оси пересекаются внутри блока таранной кости (trochlea tali). В этой же точке или рядом с ней пересекаются оси пронации и супинации голеностопного сустава. Эту точку Lundberg (1989) назвал «втулкой, вокруг которой голеностопный сустав обладает большей свободой движения, чем это часто предполагается».

Купол таранной кости представляет собой не цилиндр, а усеченный конус более узкий сзади, чем спереди, что делает большеберцово-таранный сустав потенциально нестабильным при подошвенном сгибании. Эта нестабильность исчезает в положение полного *en pointe,* в котором происходит блокировка голеностопного (большеберцово-таранного) сустава, при которой нестабильность или вывих практически невозможны (Hamilton W.G., 1982; Macintyre J. et al., 2000). По всей видимости, стабильность положение *en pointe* достигается «замком» конвергенции большеберцовой, таранной и пяточной кости (Hamilton W.G., 1982; Russell J.A., 2015).

Разблокирование голеностопного сустава из положения *en pointe* происходит

уже при нескольких градусах разгибания (тыльного сгибания). При этом голеностопный сустав становится крайне нестабильным (Hamilton W.G., 1982). Тем самым становится понятным требование тренеров и педагогов-хореографов максимально натягивать стопу и работать на максимально «высоких» *полупальцах* или *пальцах*. Достаточно чуть ослабить натяжение стопы, и угроза повреждения сустава от нестабильности будет возрастать в разы.

В исследовании, проведенном Russell J.A. и его коллегами (2010), исследуя балерин (возраст, 21±2,9 лет; танцевальный стаж, 16±4,1 лет; стаж *en pointe* 7±4,9 лет), сообщают, что конвергенция заднего края большеберцовой кости, заднего аспекта таранной кости и верхнего аспекта пяточной кости была обнаружена в 100% случаев. Считается, что из нейтрального положения у не-танцоров активное разгибание голеностопного сустава составляет 20°, а активное сгибание – 50° (Floyd R.T., 2004; Russell *J.A.* et al., 2008). У профессиональных балерин среднее подошвенное сгибание в голеностопном суставе составляет 113°, что более чем в два раза превышает нормальное значение 50° (Steinberg N. et al., 2015).

Lundberg с коллегами (1989) обнаружили, что до 40% сгибания в голеностопном суставе происходит в суставах средней части стопы, однако относительные показатели, связанные с каждым из этих суставов, сильно различались у разных людей; так в большеберцово-таранном суставе сгибание составляет в среднем 28°, а тыльное – 23°. На Рисунке 1.8 показаны углы сгибания большеберцово-таранного сустава (угол φ) и стопы (угол θ) в движение *en pointe*.

Для принятия положения *en pointe*, необходимо максимальное, но не избыточное сгибание голеностопного сустава и стопы. Избыточное (так называемая «over-pointed» стопа), что провоцирует растяжение и несостоятельность сухожильно-связочного аппарата этой области. При «over-pointed» стопа выстраивается на уровне предплюсне-плюсневых суставов, так что чрезмерная нагрузка ложится на капсулы и связки тыла стопы. Это связано с тем, что линия центра тяжести проецируется перед пальцами ног. Для поддержания стабильности «over-pointed» голеностопного сустава и стопы, её сухожильно-мышечно-связочный должны работать в повышенном режиме (Russell J.A., 2015).

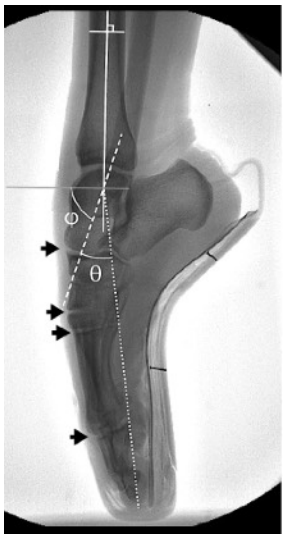


Рисунок 1.8 – Рентгенограмма голеностопного сустава артиста балета на пуантах в боковой проекции Цит. с (Russell J.A., 2015)

Поскольку на предплюсне-плюсневые суставы накладывается значительное напряжение на растяжение дорсальной поверхности стопы, то в этой области может произойти повреждение (Albisetti W. et al., 2010). Способность правильно удерживать голеностопный сустав и стопу в положении en pointe обеспечивается укреплением мышц, расположенных на голени и простирающихся своими сухожилиями к стопе, и мышц, полностью расположенных на стопе (Russell J.A., 2015).

1.7 Восстановление опорно-двигательного аппарата средствами спортивной подготовки и природно-географическими факторами

Профессиональные школы художественной гимнастики используют элементы танцевальной подготовки в дополнение к своим тренировкам (Batista A. et al. 2018), и точно так же танцоры нередко вводят упражнения художественной гимнастики в свою учебную программу (Skopal L. et al. 2020). По сообщению Skopal L. et al. (2020) программа дополнительных тренировок на основе художественной гимнастики улучшила гибкость и силу нижних конечностей у представителей современного танца.

Многочисленные исследования показали, эффективность применения **проприоцептивных упражнений** при проведении физической реабилитации спортсменов после травм опорно-двигательного аппарата (Орджоникидзе З. Г. и

др., 1999; Ачкасов Е.Е. и др., 2014; Ерёмушкин М.А. и др., 2014; Кулиненков, О. С., 2016, Cooper R. L. et al., 2005; Borghuis J. et al., 2008). Проприоцепция определяется как чувство местоположения, которое ориентирует тело или части тела в пространстве или относительно других объектов. К числу наиболее эффективных проприоцептивных упражнений следует отнести *упражнения на нестабильной платформе*, позволяющей сформировать оптимальный сухожильно-мышечный корсет для обеспечения динамической стабильности суставов (Попов С. Н. и др., 2013; Ерёмушкин М.А. и др., 2014; Солодянкин Е.Е. и др., 2014; Ачкасов Е.Е. и др., 2018). Оптимальным средством восстановления и дальнейшей тренировки координации, равновесия, укрепления и повышения тонуса мышц-стабилизаторов является балансировочная платформа – диск, крепящийся на полусферической базе.

Эксцентрические упражнения являются эффективным средством и методом реабилитации при атрофии мышц, их дисфункции при лечении заболеваний сухожилий (Stanish W. D. et al., 1986; Tesch P.A. et al., 2017). Эксцентрические упражнения эффективно дополняют, а в ряде случаев значительно превосходят традиционные упражнения на растяжку (Svernlov B. et al., 2001; Batista A. et al, 2017). В рамках реабилитационных программ рекомендуется эффективная комбинация Сильбернагеля (Silbernagel) состоящая из двух этапов (Silbernagel K.G. et al., 2001; McCormack R. et al., 2015): концентрически-эксцентрические комплексы упражнений и переход к преимущественно эксцентрическим упражнениям. Стандартный протокол выполнения концентрически-эксцентрических упражнений предполагает их выполнение через день, так как синтез коллагена достигает максимума через 24 часа; альтернативный «ускоренный» протокол реабилитации – каждый день или два раза в день (Murtaugh B., 2013; Frizziero A. et al., 2014, 2016). Согласно ускоренному протоколу при тендопатии ахиллова сухожилия реабилитация средствами спортивной подготовки проводится дважды в день (3 подхода по 15 повторений) в течение 12 недель (Alfredson H. et al., 1998). Реабилитация средствами спортивной подготовки (посредством концентрических и эксцентрических упражнений) хорошо совместима с другими видами лечения и реабилитации (Zhang B.M. et al.,

2013; Rhim H.C. et al., 2020): функциональной иммобилизацией (назначение ортопедических ортезов и бандажей, тейпирование), лечебным массажем, мануальной терапией, рефлексотерапией, физиотерапевтическим лечением (в том числе ударно-волновой терапией), инъекционной терапией (всевозможными блокадами, введение аутологичной обогащенной тромбоцитарной плазмы и др.) (Резник Л.Б. и др., 2016).

Упражнения, во время которых мышцы последовательно находятся в эксцентрическом и концентрическом видах сокращения (с приоритетом эксцентрического сокращения), относят к *плиометрическим упражнениям* (Пучко А.А. и др., 2019; Rassier, D.E. et al., 2005; Davies G. et al., 2015). Плиометрические упражнения широко применяются как средство спортивной подготовки, в том числе и в художественной гимнастике (Agostini, B.R. et al., 2017), а в последнее время – как вид восстановительных упражнений в реабилитации (Пучко А.А. и др., 2019; Chu, D.A., 1983; Lievens M. et al., 2019). В спортивной подготовке плиометрические упражнения выполняются на субмаксимальном уровне и используются для совершенствования скоростной или «взрывной» силы» (Верхошанский Ю. В., 1968, 1976). Высокая специфическая нагрузка, развиваемая при выполнении этих упражнений, оптимальна на заключительных этапах реабилитации спортсмена (Пучко А.А. и др., 2019; Cascio B. M. et al., 2004; Tseng S.C. et al., 2017). Для плиометрических тренировок частота занятий определяется временем восстановления, которое обычно составляет 48 и/или 72 часа между занятиями (Sole CJ., 2017).

Традиционные комплексы лечебной гимнастики способствуют восстановлению опорно-двигательного аппарата не-спортсмена, однако они не могут осуществить переход обсуждаемого контингента лиц к повышенной физической активности (Ерёмушкин, М.А. 2016). Связующим звеном между лечебной гимнастикой и последующей высокоинтенсивной физической активностью в спорте могут стать плиометрические упражнения (Черкасов А.А., 2002; Кулиненков О. С., 2016; Пучко А.А. и др., 2019). Известно, что скоростные и силовые физические качества находятся в состоянии взаимодополняющей оппозиции. Эта оппозиция обусловлена тем, что скорость движений и степень

преодолеваемого отягощения связаны обратно пропорционально (Rassier D.E. et al., 2006).

Плиометрические упражнения являются одним из средств сбалансированного восстановления скоростно-силовых качеств (Черкасов А.А., 2002). Эти упражнения рекомендуются к выполнению в посттравматической реабилитации, так как они значительно повышают работоспособность опорно-двигательного аппарата, снижают риск повторного травматизма и способствуют скорейшему возвращению пострадавших спортсменов в тренировочный процесс (Анастасиева Е.А. и др., 2020; Chu D.A., 1983; Cascio B. M. et al., 2004;).

Мощность, развиваемая в плиометрическом упражнении, намного выше, чем сумма мощностей раздельно выполняемых движений сгибания, изометрического напряжения и разгибания. Поэтому говорят, что плиометрические упражнения обладают мультипликативным эффектом относительно его составляющих. Верхошанский под плиометрическим упражнением понимал двухфазное упражнение, состоящее из фазы эксцентрического и последующей фазы концентрического мышечного сокращения. В настоящее время в международной реабилитационной практике в плиометрических упражнениях выделяют три фазы: эксцентрического сокращения, квази-изометрического сокращения и концентрического сокращения (Анастасиева Е.А. и др., 2020; Chmielewski, T.L., 2006; Mackala K. et al., 2020).

Приступать к выполнению плиометрических упражнений как средству спортивной реабилитации можно только после восстановления сухожильно-мышечного корсета вовлеченных в повреждение суставов и восстановления в них полного объёма движений (Попов С. Н. с и др., 2013; Кулиненков О. С., 2016). Оптимальным критерием допуска к реабилитационной плиометрической тренировке является способность пациента присесть один раз с весом от 1,5 массы тела, и способность приседать 5 раз за 5 секунд с 60% массы тела (Chmielewski T.L., 2006). Для предотвращения травмирования восстанавливаемых мягких тканей рекомендуется придерживаться соотношения между нагрузкой и отдыхом как 1:5, при этом отдых должен быть активным, например, динамичные упражнения на растяжку, прыжки со скакалкой малой интенсивности и др.

(Черкасов А.А., 2002). Общая рекомендация – повышать нагрузку не ранее, чем после 2–3 занятий. Продолжительность реабилитации повреждений в области коленных суставов может занять до 12 недель (Черкасов А.А., 2002; Анастасиева Е.А. и др., 2020).

Абсолютным противопоказанием к использованию плиометрических упражнения как средства реабилитации спортсменов являются воспаление в острой фазе, интенсивный болевой синдром, ранний послеоперационный период, нестабильность суставов; относительным противопоказанием – артрит, ушиб кости или мягких тканей, сухожильно-мышечные травмы, повреждение хряща и др. (Пучко А.А. и др., 2019; Wilk K. E., 1993).

Одним из этапов восстановительного лечения повреждений опорно-двигательного аппарата (ОДА) у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения, является санаторно-курортное лечение, после которого требуется дополнительный этап адаптации к повышенным физическим нагрузкам. Причина недостаточной эффективности традиционного санаторно-курортного лечения заключается в отсутствии нацеленности на преодоление барьера адаптации в процессе восстановления функции ОДА (Ачкасов Е.Е. и др., 2018; Brooks G. et al., 2015). С другой стороны, такая форма организации восстановления спортсменов, как спортивно-оздоровительные сборы, нацелена на восстановление функции ОДА до высокой степени готовности переносить профессиональные тренировочные нагрузки. Но спортивно-оздоровительные сборы рассчитана на изначально здоровых спортсменов, то есть на лиц, не нуждающихся в реабилитации ОДА после полученных травм и повреждений (Виленский А.В. и др., 2016; Chan C.W. et al., 2016).

При ходьбе с палками человек задействует не две, а четыре точки опоры, что оптимизирует весь рисунок ходьбы, значительно повышает устойчивость и стабилизирует опорно-двигательный аппарат (Ачкасов Е.Е. и др., 2018; Chan C.W. et al., 2016). Согласно данным ряда исследований при ходьбе с палками до 30 процентов весовой нагрузки перераспределяется с нижних конечностей на верхний плечевой пояс (Ачкасов Е.Е. и др., 2018; Chan C.W. et al., 2016).

Применение нагрузочных *природно-географических факторов* в

реабилитации лиц, связанных с повышенными профессиональными психофизическими нагрузками, все больше приходит на смену малоинтенсивным природно-географических факторов, используемых в традиционной системе реабилитации и санаторно-курортного лечения. Основным вопросом при планировании нагрузочных мероприятий с использованием *природно-географических факторов* является их дозирование, которое возможно лишь в определенных рамках (Ачкасов Е.Е. и др., 2018; Gibson A.J. et al., 2015; Carayannopoulos A.G. et al., 2020).

Экологический подход, разработанный Urie Bronfenbrenner (1977) основывается на том, то человеческое развитие является результатом динамических отношений между человеком и окружающей средой, которое реализуется на уровнях макросистемы, мезосистемы, экзосистемы и микросистемы. Экологический подход может быть использован для повышения эффективности развития физических качеств и при организации различных видов двигательной активности (Hull R. et al., 2018), в том числе при оптимизации тренировочного и восстановительный процесса у юных спортсменок в художественной гимнастике (Botti M. et al., 2021).

Одним из перспективных направлений реабилитации является *спортивно-ориентированная аквареабилитация* с успехом применяемая во многих зарубежных восстановительных центрах (Wicker A., 2011, Rewald S. et al., 2020). В России также накоплен большой опыт проведения реабилитации в водной среде - гидротерапии (Епифанов В.А., 2013, 2015, 2020; Виленский А.В. и др., 2016; Ахунова Р. Р и др., 2019). *У*пражнения лечебной гимнастики в воде (гидротерапия) с успехом используются в различных программах реабилитации спортсменов (Ахунова Р.Р. и др., 2019; Kim E., 2010; Mattacola C.G. et al., 2002). Использование воды в качестве терапевтического метода основано на ее свойствах: подъёмной силе, вязкости, физиологии погружения и температуре воды. Гидротерапия является предпочтительным методом восстановления повреждений голеностопного сустава (Hoogenboom B. J. et al., 2007; Kinch M. et al., 2007; Kim E., 2010). Упражнения, выполняемые в направлении, противоположном силе сопротивления воды, чаще всего вызывают концентрические сокращения мышц.

Эксцентрические сокращения мышц могут быть вызваны с помощью плавучести, если в достаточной степени задействуется флотация. Например, восходящее движение ноги в сторону вызовет эксцентрическое сокращение приводящих мышц, если на голень надет надутый «нарукавник» для плавания (Munukka M. et al., 2020; Rewald S. et al., 2020).

В результате действия гидростатического давления при погружении в воду происходит перераспределение потока крови к голове, увеличение венозного давления в правом предсердии, что приводит по закону Фрэнка Старлинга последующему увеличению ударного объема и централизация периферического кровотока (Thein J.M. et al., 1998). Исследования показали, что частота сердечных сокращений во время глубоководных упражнений уменьшается примерно на 17 ударов в минуту, чем при подобных упражнениях на суше. Поэтому, рекомендуется, чтобы спортсмен выполнял упражнения с частотой сердечных сокращений на 17–20 ударов в минуту ниже, чем на суше. Уровень воспринимаемого напряжения часто ненадежен из-за стереотипов движения спортсмена и комфорта водной среды. Упражнения в прохладной воде увеличивают ударный объем и снижают частоту сердечных сокращений, что повышает эффективность упражнений. Выполнение упражнений в прохладной воде может быть показано лишь на завершающих этапах спортивной реабилитации (Thein J.M. et al., 1998; Igarashi et al., 2018).

1.8 Поуровневый подход к организации восстановления

Многочисленные исследования, проводимые в Казанской государственной медицинской академии (КГМА), показали эффективность реабилитационных мероприятий, основывающихся на теории построении движения Н.А. Бернштейна для больных с функциональной и органической патологией, сопровождающейся синдромом двигательных нарушений (Аухадеев Э.И. и др., 2007, 2014**).** Этот синдром проявляется в двух взаимосвязанных и взаимообусловленных видах биомеханических нарушений: постуральных (осаночных, позиционных) и локомоторных (переместительных). Учеными КГМА показано, что

биомеханические нарушения всегда имеют под собой морфологическую основу (стойкие изменения форм и размеров скелета, мышц и фиброзных структур). При этом мышечно-тонические, нейрососудистые и нейромиодистрофические клинические синдромы всегда будут сопровождаются биомеханическими нарушениями (Аухадеев Э.И. и др., 2007, 2014; Пухов А. М. и др., 2019).

Идея исследования структуры профессионального движения не нова. Ещё в первой половине прошлого века наш соотечественник, биомеханик Н.А. Бернштейн (1929, 1990, 1997) разработал метод специальной кино-фото съёмки выполняемого движений - циклограмму. В дальнейшем этот метод был существенно доработан, появилась новая аппаратура. Подход к анализу сложного многосуставного движения человека через исследование движения одной точки конечности был выдвинут Бернштейном (1947). Он фактически утверждал, что управление движением руки в пространстве осуществляется в терминах траектории *конечного эффектора*.

1.9 Биокибернетический подход к восстановлению опорно-двигательного аппарата

Использование видео анализа значительно облегчает понимания кинематики спортивного движения в высококоординационных видах двигательной активности, к которым относится классический танец и художественная гимнастика (Coppola S. et al., 2020). Исследование пространственно-временных характеристик движения и мышечной активности позволяет намного глубже дифференцировать условно патологические состояния опорно-двигательного аппарата ребенка (Иваненко Ю.П., 2016).

Движение здорового человека, отличается грациозностью, пластичностью и плавностью (Simion F. et al., 2008). *Гладкость* траектории движения часто рассматривается как отличительная черта умелого, скоординированного движения (Hogan N. et al., 2009; Habas C. et al., 2020). Она увеличивается с развитием нервной системы (Berthier N.E. et al., 2006), в процессе обучения двигательным навыкам (Balasubramanian S. et al., 2015). Гладкость, обеспечивающая плавность

движения конечности в привычных условиях, удерживается после адаптации в измененных условиях (Sejnowski T.J., 1998). Прерывистость движения конечности может наблюдаться при движениях у детей младше 6 месяцев (Berthier N.E. et al., 2006), при достаточно медленных движениях (Doeringer J.A. et al., 1998), при движениях, требующих особой точности (Burdet E. et al., 1998), и у пациентов с нарушением моторного контроля, вызванного неврологическими повреждениями, такими как *инсульт* (Michmizos K.P. et al., 1998), *рассеянный склероз* (Carpinella I. et al., 2009), *болезнь Паркинсона* (Dayan E. et al., 2012) и т. д. Однако нейрофизиологическая основа нарушения гладкости движения при неврологических повреждениях остается неясной (Balasubramanian S. et al., 2015).

В нейрофизиолгии считается, что гладкие движения являются результатом минимизации физических усилий (Harris C.M. et al., 1998), что на *языке математики* характеризуется минимизацией некоторой производной по времени от положения (Flash T. et al., 2019; Habas C. et al., 2020). Так, производной по времени первого порядка является *скорость* ($\dot{r}$), второго – *ускорение* ($\ddot{r}$), третьего – *рывок* ($\dddot{r}$), четвертого – *щелчок* (англ. *snap*) и т.д. Многочисленные исследования показали, что максимальной гладкости траектории движения человека достигают при минимизации третьей производной от перемещения, то есть при *минимизации рывка* ($\dddot{r}$) вдоль траектории движения (Flash T. et al., 1985). В дальнейшем, концепция «минимального рывка» была развита в многочисленных исследованиях (Wann J. et al., 1988; Todorov E. et al., 1998; Habas C. et al., 2020).

1.10 Восточные двигательные практики в восстановлении опорно-двигательного аппарата

Традиционный комплекс Тайцзицюань стиля Ян обычно выполняется как высоко хореографическая серия медленных, непрерывных, плавных спиралеобразных движений (Гагонин С.Г., 1997; Вон Кью-Кит, 1998; Jahnke R. et al., 2010). Тайцзицюань включает в себя два уровня воздействия: 1) выполнение набора движений; и 2) ментальное намерение при выполнении этих движений

(Sartori L. et al., 2020). В систему практики Тайцзицюань входят разогревающие упражнения, упражнения на релаксацию, повышение гибкости с постепенным увеличением объема нагрузки и интенсивности. Тайцзицюань можно практиковать как индивидуально, так и в группе (Lan C. et al., 2000, 2013). Движения Тайцзицюань представляют собой комбинации выполняемых в ***полуприседе*** шагов вперед, назад, вбок, вверх и вниз, поворота и фиксации позы, которые аналогичны задачам контроля равновесия, возникающим в повседневной деятельности (Mao D.W. et al., 2006). В положении *полуприседа* происходит перемещение веса, ротация тела и положение на одной ноге в разных позициях, что задействуются различные степени концентрических и эксцентрических сокращений мышц (Lan C. et al., 2000, 2013).

Передвижение («шаги») в Тайцзицюань сильно отличаются от нормальной ходьбы человека по пространственным, временным и нервно-мышечным паттернам. По сравнению с обычной ходьбой шаги Тайцзицюань имеют (Wu G. et al., 2008, 2009; Hall A. et al., 2017): (1) более длительную продолжительность цикла, и более долгое положение на одной ноге; (2) б*о*льший объем сгибания и разгибания в голеностопном суставе и больший объем сгибания, разгибания и абдукции тазобедренного сустава; (3) б*о*льшее боковое передвижение тела; (4) значительное вовлечение разгибателей голеностопного сустава, разгибателей коленного сустава, сгибателей и абдукторов тазобедренного сустава, более длительные изометрические и эксцентрические мышечные сокращения и более продолжительная активация мышц.

В отличие от обычной ходьбы «шаги» в Тайцзицюань несут более низкую ударную нагрузку, которая объясняться медленной скоростью движений, выполняющихся мягко и плавно в положениях разной глубины «приседа» (Law N.Y. et al., 2014). Самые высокие нагрузки на коленный сустав при выполнении движений Тайцзицюань не превышают 1,2–кратной массы тела (Wu G. et al., 2008). Исследование Li и соавторов (2019) продемонстрировало, что обычная ходьба и бег трусцой имеют б*о*льший пик реакции опоры, чем «шаг вперед с обмахиванием колена» (Рисунок 1.9); пик реакции опоры во время ходьбы составляет 121% массы тела, бег трусцой – 187% массы тела и «шаг вперед с

обмахиванием колена» – 98% массы тела. Из этих результатов видно, что пик реакции опоры во время движения «шаг вперед с обмахиванием колена» никогда не превышает 100% массы тела. Mao D.W. et al. (2006) показали, что движение «шаг вперед с обмахиванием колена» задействует б*о*льший объем движения в суставах нижней конечности и меньшую нагрузку на коленный сустав, чем обычная ходьба или бег; производит более равномерно распределенную контактную нагрузку на мениск и хрящ, чем ходьба или бег трусцой в здоровом коленном суставе. При моделировании движения пик реакции опоры при выполнении «шаг вперед с обмахиванием колена» достигался, когда колено было согнуто до 82˚ (Li Y. et al., 2019).

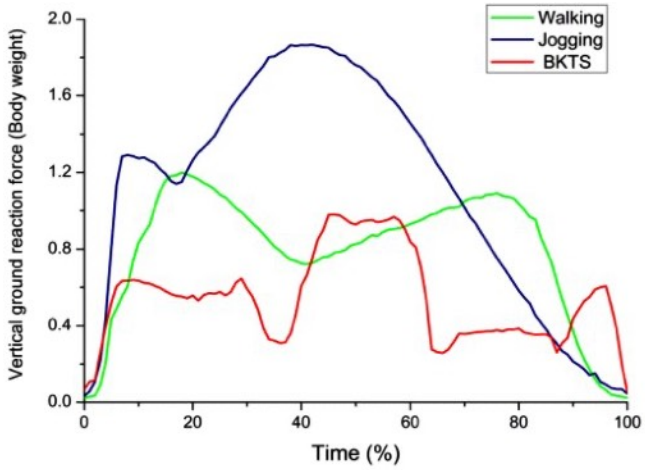


Рисунок 1.9 – Осевая нагрузка в единицах веса при ходьбе, беге и выполнении движения Тайцзицюань «шаг вперед с обмахиванием колена». Цит. по (Li Y. et al., 2019)

Анализ движения «шаг вперед с обмахиванием колена» показал, что движения испытуемых имели тенденцию замедляться при касании стопой пола, что снижало нагрузку пи постановке стопы на пол. Эта особенность Тайцзицюань оправдана необходимостью выполнять движения медленно и плавно с очень малым ускорением центра масс (Hong Y. et al., 2007). В момент касания испытуемый смещал центр масс в сторону другой ноги, таким образом балансируя реакцию опоры на обеих ногах. При фазе движения Тайцзицюань с опорой на две конечности, всегда происходит «перетекание веса» тела в сторону ноги с меньшей реакцией опоры, что эффективно уменьшает влияние силы реакции на мениск и хрящ и, тем самым, значительно снижает риск получения травмы при выполнении

Тайцзицюань (Li Y. et al., 2019). Умеренное контактное стрессовое давление улучшает генерацию коллагена и белков в полисахаридах хряща и внеклеточном матриксе, а также упругость хряща (Waldman S. D. et al., 2004).

Занятия Тайцзицюань Ян сказываются на увеличении ***изокинетической силы*** концентрических и эксцентрических сокращений коленного сустава с преимущественным увеличением силы разгибателей коленного сустава под разными углами (Lan C. et al., 2000, 2013; Wu G., 2008; Zhang Z. et al., 2020). Так, по сравнению с естественной ходьбой шаги в Тайцзицюань имеют повышенные силу сдвига и вращающий момент во фронтальной плоскости в суставах нижних конечностей, но за счет изменения высоты позы, сила сдвига может сильно уменьшаться (Wu G. et al., 2008). В исследовании Lu с коллегами (2012, 2013) изокинетическим методом измерили мышечную силу колена при 30°/с и показали, что практикующие Тайцзицюань продемонстрировали б*о*льшую эксцентрическую мышечную силу как в разгибателях, так и в сгибателях коленного сустава по сравнению с контрольной группой. Авторы также сообщают, что что 6 месяцев занятий Тайцзицюань Ян повысили силу разгибателей коленного сустава под разными углами и увеличили изокинетическую силу концентрических и эксцентрических сокращений коленного сустава на 13,5–24,2% и на 15,1–23,8%, соответственно.

В реабилитационных целях рекомендуется практиковать не всю форму (весь стандартизированный комплекс), а лишь отдельные движения (Lan C. et al., 2013). Пять движений Тайцзицюань («Толчок вперед с обмахиванием колена», «Игра на лютне», «Шаг назад с отталкиванием обезьяны», «Схватить Воробья за хвост», «Руки колышутся подобно облакам») показали свою эффективность при реабилитации пациентов с остеоартритом/ортрозом коленного сустава (Li Y. et al., 2019; Zhang Z. et al., 2020). Во время выполнения этих движений коленные суставы оставались согнутыми и имели б*о*льший угол отведения и приведения, чем при обычной ходьбе (Law N.Y. et al., 2014).

Тайцзицюань рекомендуется при заболеваниях опорно-двигательного аппарата, однако данные о его клинической эффективности до сих пор остаются неопределенными (Hall A. et al., 2017). Нагрузку при выполнении упражнений

можно дозировать, изменяя глубину приседа позы, а также скорость выполнения движения (Wu G. et al., 2009; Lan C. et al., 2013; Hall A. et al., 2017). Занятия Тайцзицюань оптимизируют функцию полусухожильных мышц, что влияет на поддержание вертикальной позы, постурального контроля и баланса. Упражнения Тайцзицюань уделяют большое внимание точным положениям суставов, и это может улучшить проприорецепцию нижних конечностей (Lan C. et al., 2013).

Таким образом, Тайцзицюань обеспечивает оптимальный уровень нагрузки для лиц с разными исходными кондициями и является низкоударной и аэробной формой физической реабилитации (Zhang Z. et al., 2020). Медленные плавные движения Тайцзицюань, эффективно коррегируют нарушения построения движения по Н.А. Бернштейну на базовых уровнях А и В (Майер Б. О. и др., 2015; Мурашова А. В. и др., 2017). Тем не менее, все больше исследователей соглашаются с тем, что несмотря на свою эффективность, Тайцзицюань следует рассматривать как вспомогательное средство по отношению к проводимой реабилитации (Лю Шухуэй, 1999).

Выполненный анализ литературы подчеркивает актуальность проведения исследования среди учащихся балетных школ, хореографических училищ, и юных спортсменов (художественная гимнастика и др.), целью которого является повышение эффективности профилактики, диагностики и профессионально ориентированной реабилитации повреждений нижней конечности от перегрузки у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения.

При написании данной главы использовались следующие публикации автора:

Васильев, О.С. Концепция геовосстановления как новейшая научно-практическая технология восстановления спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2016. № 2. С. 141-145.

Васильев, О.С. Хореографическая «выворотность» как фенотипический маркер дисплазии соединительной ткани в видах двигательной активности, связанных с

искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. Т. 6. № 3. С. 48-53.

Васильев, О.С Об эффективности использования медикаментозной терапии в рамках поуровневой реабилитации опорно-двигательного аппарата спортсменов / О.С. Васильев, А.С. Самойлов, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2017. № 2. С. 130-133.

Васильев, О.С. Поуровневая нейрореабилитация типичных повреждений опорно-двигательного аппарата у квалифицированных спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, И.А. Берзин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2017. Т. 7. № 4. С. 55-62.

Васильев, О.С. Средства спортивной подготовки в медицинской реабилитации травм опорно-двигательного аппарата у спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2018. № 1. С. 86-90.

Васильев, О.С. Ранняя диагностика повреждений от перегрузки опорно-двигательного аппарата у юных спортсменов / О.С. Васильев, И.Т. Выходец, С.П. Левушкин // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2018. № 5(150). С. 28-33.

Васильев, О.С. Особенности реабилитации тракционных апофизитов у юных спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2018. № 4. С. 61-65.

Васильев, О.С. Ранняя диагностика повреждений от перегрузки опорно-двигательного аппарата у юных спортсменов / О.С. Васильев, И.Т. Выходец, С.П. Левушкин // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2018. № 5(150). С. 28-33.

Васильев, О.С. Ишиофеморальный синдром как маска апофизита малого вертела у юного спортсмена / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, В.П. Косихин // Вопросы практической педиатрии. – 2020. Т.15. № 4. С. 105-109.

Васильев, О.С. Мышечный гипертонус в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, В.И. Лях // Теория и практика физической культуры. – 2021. № 4. С. 75-77.

Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Диссертационное исследование выполнено на кафедре физической и реабилитационной медицины с курсом клинической психологии и педагогики ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации, на базе НИИ спорта и спортивной медицины ФГБОУ ВО Российского государственного университета физической культуры, спорта, молодёжи и туризма (ГЦОЛИФК) Министерства спорта Российской Федерации и на базе ФГБНУ «Института возрастной физиологии РАО» Министерства просвещения Российской Федерации.

Настоящее исследование является многоаспектным медико-реабилитационным, носит ретроспективный и проспективный характер. Для решения задач исследования разработана комплексная методика, включающая шесть этапов. Исследование на всех этапах – сплошное.

Методы исследования и протоколы исследования одобрены этическим комитетом ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации (протокол № 01-1/2021 от 04.02.20201).

2.1 Общая характеристика пациентов

Объектом исследования являлись учащиеся балетных школ, хореографических училищ, спортсмены (художественная гимнастика, спортивная гимнастика, акробатика, синхронное плавание, фигурное катание на коньках и др.) 347 представительниц женского пола, в возрасте 10–16 лет (средний возраст 12,7 лет, интерквартильный интервал [10,5; 14,5] лет), профессионально занимающиеся двигательной активностью не менее 1 года.

Предметом исследования являлись медико-биологические особенности проявления феномена повреждения от перегрузки нижней конечности и особенности восстановления её функции у данного контингента лиц.

Под **повреждением от перегрузки** понимали постепенно возникающий и длительно протекающий (более месяца) болевой синдром, дискомфорт, скелетно-

мышечные дисфункции в опорно-двигательном аппарате (см. Приложение А), возникающие на фоне повторяющегося микротравмирования опорно-двигательного аппарата, снижающие профессиональное мастерство и вынуждающие к модификации или отстранению от профессиональной деятельности (Negus V. et al. 2005; Roos K.G. et al., 2014; Neil E.R. et al. 2018).

Заключение о наличии повреждения от перегрузки ставили на основании разработанного алгоритма комплексной диагностики повреждений от перегрузки нижних конечностей при наличии:

– не менее года профессиональной физической активности связанной с искусством движения в анамнезе;

– «длительного» (1–3 мес.) неспецифического болевого синдрома/ дискомфорта в области нижней конечности и таза, ассоциированного с профессиональными движениями;

– немотивированного ухудшения профессионального (спортивного) мастерства или длительного отсутствия его роста.

Критерии включения в исследование:

– учащиеся балетных школ, хореографических училищ, спортсмены (художественная гимнастика, спортивная гимнастика, акробатика, синхронное плавание, фигурное катание на коньках и др. виды двигательной активности, биомеханическая структура движения в которых в той или иной мере основывается на классической хореографии), профессионально занимающиеся не менее 1 года до получения повреждения от перегрузки;

– наличие клинически и, при необходимости, инструментально подтвержденного повреждения от перегрузки;

– возраст на момент предъявления жалоб на повреждение 10–16 лет.

Критерии исключения из исследования:

– наличие иных сопутствующих травм, повреждений и заболеваний, требующих специфического лечения;

– наличие иных, кроме полученного повреждения противопоказаний или ограничений к продолжению профессиональной деятельности, связанной с получением повышенной физической нагрузки;

– наличие патологических состояний, могущих возникнуть на фоне перегрузки (б. Кенига, б. Легга–Кальве–Пертеса и др.) и требующих специфической коррекции осевой нагрузки вплоть до её исключения.

Относительным критерием исключения было наличие синдрома перетренированности.

При подсчете статистики, двусторонние повреждения классифицировали как одиночные, если они происходили одновременно, и как два независимых повреждения, если они происходили в разное время. В исследовании приняло участие **347** представительниц видов двигательной активности, связанных с искусством движения, в возрасте 10–16 лет (средний возраст 12,7 лет, интерквартильный интервал [10,5; 14,5] лет), из них 107 (31%, n = 347) принимали участие однократно, 181 (52%, n = 347) принимали участие повторно так как имели независимые повторные повреждения, 59 (17%, n = 347) – участвовали три раза так как получали три независимых повреждения в период проведения исследования. Итого, было 646 обращений по поводу подозрений на наличие повреждений от перегрузки. Из них 536 (83%) обращений были диагностированы как повреждения от перегрузки, остальные 110 (17%) имели иную причину (перетренированность, иные повреждения ОДА и заболевания).

Основной контингент исследования из 292 (84%, n = 347) участниц составляли представительницы художественной гимнастики и хореографии, при этом некоторые гимнастки в последствии поступали в хореографические училища и, в случае повторного обращения, принимали участие в обследовании как представители хореографии.

В настоящем исследовании повреждения от перегрузки соответствовали следующим нозологиям и условно патологическим состояниям:

– повреждения «по типу» остеохондропатии костей таза и нижней конечности (апофизит малого вертела, нижнего полюса надколенника, бугра пяточной кости и др. – 288 (58%) от всех обнаруженных в исследовании повреждений от перегрузки (МКБ 10 –M92.5,7-8; M93,8-9);

– тендопатии, лигаментопатии, дисторсии сухожильно-мышечного-связочного аппарата нижней конечности, кокцигодиния 159 (32%) (МКБ 10 – M65,

67, 68; M93.8-M93.9);

– повреждения мягких тканей капсулы тазобедренного сустава без разрыва 30 (6%) (МКБ 10 – S70-79); повреждения менисков коленного сустава без разрыва 20 (4%) (МКБ 10 – M23).

2.2 Распределение пациентов на группы в зависимости от тактики реабилитации на этапах исследования

В зависимости от видов обследования, методов реабилитации и характера повреждения все участники исследования были поделены на группы (Таблица 2.1)

Таблица 2.1 – Характеристика групп и условия включения в группу

Группа, п/группа	Характеристика пациентов групп (подгрупп) по этапам исследования	Me [Q_1; Q_3], n*
Этап I. Разработка *алгоритма комплексной диагностики повреждений от перегрузки* нижней конечности и проведение рентгено-морфологической типизации строения тазобедренного сустава		
I	Пациенты с жалобами на **неспецифический болевой синдром** (дискомфорт) в области нижней конечности	13,1 [10,6; 14,4] лет, **n=320**
I(о)	Пациенты с жалобами на неспецифический болевой синдром (дискомфорт) в крестцово-копчиковой области, в области таза и тазобедренных суставов (D.S. Коцигодиния).	12,4 [10,3; 13,1]) лет, n=34
I(к)	Бессимптомные (практически здоровые) пациенты, тренирующиеся в тех же коллективах, что и пациенты из группы I(о).	12,2 [10,1; 13,2]) лет, n=12
II	Пациенты с жалобами на неспецифический болевой синдром (дискомфорт) в области тазобедренных суставов, которым по показаниям было проведено **рентгенологическое исследование** – обзорная рентгенография костей таза и тазобедренных суставов в прямой проекции	12,4 [10,9; 15,1] лет, **n=104**
Этап II. Оценка значения и разработка подходов к использованию *средств спортивной подготовки* при восстановлении функции нижней конечности		
III (о)	Пациенты с повреждениями от перегрузки в области голеностопного сустава (D.S. тендинит/тендопатия, лигаментит связочного аппарата голеностопного сустава, болезнь Севера и др.), которым на фоне стандартного лечения выполняли курс физической реабилитации в **зале спортивной гимнастики** и на прилегающей территории с использованием **проприоцептивных** упражнений.	11,2 [10,5; 12,9] лет, **n=27**

Таблица 2.1 – Продолжение

Группа, п/группа	Характеристика пациентов групп (подгрупп) по этапам исследования	Me [Q_1; Q_3], n*
Этап II. Оценка значения и разработка подходов к использованию *средств спортивной подготовки* при восстановлении функции нижней конечности		
IV (к)	Пациенты с повреждениями от перегрузки в области голеностопного сустава (D.S. тендинит/тендопатия, лигаментит связочного аппарата голеностопного сустава, болезнь Севера и др.), которым на фоне стандартного лечения выполняли курс физической реабилитации в **зале ЛФК** с максимальным вовлечением доступных **проприоцептивных** упражнений.	11,4 [11,1; 13,4] лет, **n=27**
V (о)	Пациенты с повреждениями от перегрузки, имеющие (D.S. тендинит/ тендопатия, лигаментит связочного аппарата тазобедренного, коленного и голеностопного суставов, болезнь Севера, болезнь Осгуда–Шляттера и другие апофизиты нижней конечности), которым на фоне стандартного лечения выполняли курс физической реабилитации в **зале спортивной гимнастики** и на прилегающей территории с использованием **эксцентрических и плиометрических** упражнений в тренирующем режиме.	13,2 [11,4; 14,1] лет, **n=82**
VI (к)	Пациенты с повреждениями от перегрузки (D.S. тендинит/тендопатия, лигаментит связочного аппарата тазобедренного, коленного и голеностопного суставов, болезнь Севера, болезнь Осгуда–Шляттера и другие апофизиты нижней конечности), которым выполняли стандартный курс физической реабилитации в **зале ЛФК** с максимальным использованием **эксцентрических и плиометрических** упражнений, но без выхода на тренирующую стресс-нагрузку.	13,7 [11,3; 14,4] лет, **n=82**
Этап III. Оценка значения и разработка подходов к использованию *природно-географических факторов* при восстановлении функции нижней конечности		
VII (о)	Пациенты с диагностированным повреждением от перегрузки в течение 3-х месяцев до начала реабилитационных мероприятий (восстановления функции нижней конечности) с использованием **природно-географических факторов** на границе барьера адаптации (физиологическая стресс-нагрузка).	12,8 [11,6; 13,7] лет, **n=51**
VIIа	Пациенты с повреждением в области **тазобедренного сустава**, которым выполняли курс восстановления функции сустава с использованием природно-географических факторов	n=14
VIIб	Пациенты с повреждением в области **коленного сустава,** которым выполняли курс восстановления функции сустава с использованием природно-географических факторов	n=12
VIIв	Пациенты с повреждением в области **голеностопного сустава**, которым выполняли курс восстановления функции сустава с использованием природно-географических факторов	n=25
VIII (к)	Пациенты с диагностированным повреждением от перегрузки, которым выполняли стандартный курс физической реабилитации (восстановления функции нижней конечности) в **амбулаторно-поликлинических условиях**.	12,6 [11,2; 13,1] лет, **n=51**

Таблица 2.1 – Продолжение

VIIIа	Пациенты с повреждением в области **тазобедренного сустава**, которым выполняли курс восстановления функции сустава в амбулаторно-поликлинических условиях	n=12
VIIIб	Пациенты с повреждением в области **коленного сустава**, которым выполняли курс восстановления функции сустава в амбулаторно-поликлинических условиях	n=20
VIIIв	Пациенты с повреждением в области **голеностопного сустава**, которым выполняли курс восстановления функции сустава в амбулаторно-поликлинических условиях	n=19
Этап IV. Оценка значения и разработка рекомендаций по использованию *принципа поуровневой диагностики и реабилитации* при восстановлении функции нижней конечности		
IX	Пациенты **с подозрениями на повреждения** от перегрузки нижней конечности	12,2 [10,8; 13,7] лет, n=**168**
IXа	Пациенты с незначительными повреждениями от перегрузки, **не требующие отстранения** от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения	n=83
IXб	Пациенты с повреждениями от перегрузки, **требующие отстранения** от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения	n=46
IXб(о)	Пациенты с повреждениями от перегрузки, отстраненные от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения согласно концепции **поуровневой реабилитации**	n=22
IXб(к)	Пациенты с повреждениями от перегрузки, отстраненные от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения **традиционными средствами и методами**	n=24
IXв	Пациенты с повреждениями от перегрузки, требующие **уточнения диагноза** и допуска к тренировочному процессу	n=39
Этап V. Разработка математических подходов к оценке *локальной физической нагрузки* через *меру гладкости движения* и подходов к проектированию оптимальных траекторий восстановительного движения		
X	Пациенты с повреждениями от перегрузки области **тазобедренного сустава и голеностопного сустава**, нуждающиеся в восстановлении функции сустава	12,5 [11,3; 14,1] лет, **n=55**
Xа(о)	Пациенты с повреждениями от перегрузки тазобедренного сустава, восстанавливающиеся при помощи индивидуально моделируемых **эллиптических траекторий движения**	n=12
Xа(к)	Пациенты с повреждениями от перегрузки тазобедренного сустава, восстанавливающиеся **стандартными средствами и методами физической реабилитации**	n=13
Xб(о)	Пациенты с повреждениями от перегрузки голеностопного сустава, восстанавливающиеся при помощи индивидуально моделируемых **эллиптических траекторий движения**	n=14

Таблица 2.1 – Продолжение

Группа, п/группа	Характеристика пациентов групп (подгрупп) по этапам исследования	Me [Q_1; Q_3], n*
Хб(к)	Пациенты с повреждениями от перегрузки голеностопного сустава, восстанавливающиеся **стандартными средствами и методами физической реабилитации**	n=16
Этап VI. Оценка значения и разработка подходов к использованию китайской гимнастики Тайцзицюань при восстановлении функции нижней конечности и исследованию биомеханических паттернов этого восстановления		
XI	Пациенты, имеющие повреждения от перегрузки в области коленного и голеностопного суставов и нуждающиеся в восстановлении их функции	12,4 [10,9; 13,3] лет, **n=76**
XI (о)	Пациенты, имеющие повреждения от перегрузки в области коленного и голеностопного суставов и восстанавливающие их функцию с применением разработанного комплекса гимнастики на базе **Тайцзицюань**	n=38
XI (к)	Пациенты, имеющие повреждения от перегрузки в области коленного и голеностопного суставов и восстанавливающие их функцию с применением **стандартных средств и методов физической реабилитации**	n=38

Примечание: * – данные представлены в стандарте «Me [Q_1; Q_3], n», где Me – медиана данных; Q_1 – 1-й квартиль; Q_3 – 3-й квартиль; n – объем выборки; п/гр. – подгруппа; (о) – основная подгруппа, (к) – контрольная подгруппа.

На **I этапе** (2014 – 2019 гг.) разрабатывали *алгоритм комплексной диагностики повреждений от перегрузки* нижней конечности (группа I, n = 320, средний возраст 13,1 интерквартильный интервал [10,6; 14,4]) и выполняли рентгено-морфологическую типизацию строения тазобедренного сустава (группа II, n = 104, средний возраст 12,4 лет, [10,9; 15,1]).

Используемые методы исследования на I этапе: физикальное травматолого-ортопедическое обследование, функциональное соматоподоскопическое обследование, клинико–биомеханическое исследование с использованием мультисуставного роботизированного лечебно-диагностического комплекса «Biodex System 4 Pro», методы инструментальной диагностики (рентгенография, МРТ, УЗИ), методы педагогического спортивно-хореографического тестирования, методы компьютерного анализа.

На **II этапе** (2015 – 2019 гг.) оценивали значение и разрабатывали подходы к использованию *средств спортивной подготовки* при восстановлении функции

нижней конечности.

В исследовании по использованию *проприоцептивных* упражнений при восстановлении функции нижней конечности участвовало 54 представителя обсуждаемой категории лиц 10–16 лет (средний возраст 11,3 года, [11,2; 13,1]), имеющих повреждения от перегрузки в области голеностопного сустава (D.S. тендинит/тендопатия, лигаментит связочного аппарата голеностопного сустава, болезнь Севера и др.) и нуждающихся в реабилитации. Пациенты были случайным образом поделены на основную (III) и контрольную (IV) группы.

Пациентам основной (III) группы (n = 27) на фоне стандартного лечения выполняли курс физической реабилитации в зале спортивной гимнастики и на прилегающей территории с использованием проприоцептивных упражнений. Пациентам контрольной (IV) группы (n = 27) на фоне стандартного лечения выполняли курс физической реабилитации в зале ЛФК с максимальным вовлечением доступных проприоцептивных упражнений. Длительность курса в обеих группах составляла 2 недели.

В исследовании по использованию *эксцентрических* и *плиометрических* упражнений при восстановлении функции нижней конечности участвовало 164 представителя обсуждаемой категории лиц 10–16 лет (средний возраст 13,6 года, [11,2; 14,2]), имеющих повреждения от перегрузки (D.S. тендинит/тендопатия, лигаментит связочного аппарата тазобедренного, коленного и голеностопного суставов, болезнь Севера, болезнь Осгуда–Шляттера и другие апофизиты нижней конечности) и нуждающихся в реабилитации. Пациенты были случайным образом поделены на основную и контрольную группы.

Пациентам основной (V) группы на фоне стандартного лечения выполняли курс физической реабилитации непосредственно в спортивном зале (зал спортивной гимнастики) и на прилегающей территории использованием эксцентрических и плиометрических упражнений с выходом на тренировочную стресс нагрузку. Пациентам контрольной (VI) группы выполняли стандартный курс физической реабилитации в зале ЛФК с максимальным вовлечением доступных эксцентрических (*плиометрических* упражнений) упражнений, но без выхода на стресс-нагрузку. Длительность курса в обеих группах составляла 2

недели.

Используемые методы исследования на II этапе: клинико–биомеханическое исследование с использованием комплекса «Biodex System 4 Pro», клинико–биомеханическое исследование с использованием оптико-электронной системы трёхмерного захвата и анализа движения «Qualisys», методы врачебно-педагогического сопровождения и педагогического спортивно-хореографического тестирования, методы компьютерного анализа.

На **III этапе** (2015 – 2019 гг.) оценивали значение и разрабатывали подходы к использованию *природно-географических факторов* при восстановлении функции нижней конечности у представителей обсуждаемой категории лиц. В исследовании приняло участие 102 представителя обсуждаемой категории лиц в возрасте от 10 – 16 лет (средний возраст 12,7 лет, [11,4; 13,3]), нуждающихся в восстановлении функции нижней конечности после полученных повреждений от перегрузки.

В основную (VII) группу включили пациентов (n = 51), с диагностированным повреждением от перегрузки в течение 3 месяцев до начала реабилитационных мероприятий с использованием природных факторов на границе барьера адаптации (физиологическая стресс-нагрузка), которые выполняли в течение 2–х недель. В контрольную (VIII) группу (n = 51) включили пациентов с повреждением от перегрузки, которым выполняли стандартный курс физической реабилитации в амбулаторно-поликлинических условиях в течение 2–3 недель. Повреждения в основной и контрольной группах были примерно идентичными: повреждения мягких тканей тазобедренного сустава (n = 13), мягких тканей коленного сустава (n = 16), мягких тканей голеностопного сустава и стопы (n = 22).

Используемые методы исследования на III этапе: клинико–биомеханическое исследование с использованием комплекса «Biodex System 4 Pro», методы врачебно-педагогического сопровождения и педагогического спортивно-хореографического тестирования, методы компьютерного анализа.

На **IV этапе** (2016 – 2018 гг.) изучали особенности и разрабатывали рекомендации по использованию *принципа поуровневой диагностики и*

реабилитации при восстановлении функции нижней конечности после повреждений от перегрузки у представителей обсуждаемой категории лиц. В исследовании в составе IX группы приняли участие 168 обследуемых 10–16 лет (средний возраст 12,2 лет, [10,8; 13,7]).

Для оценки взаимосвязи характера повреждений от перегрузки нижней конечности и уровней нарушения построения движения представителей IX группы поделили на три подгруппы: IXа – пациенты с незначительными повреждениями от перегрузки, не требующие отстранения от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения (n = 83); IXб – пациенты с повреждениями от перегрузки, требующие отстранения от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения (n = 46); IXв – пациенты с повреждениями от перегрузки, требующие уточнения диагноза и допуска к тренировочному процессу (n = 39).

Для оценки эффективности проведения лечения и реабилитации с применением концепции поуровневого построения движения пациентов группы IXв случайным образом поделили на две примерно равные подгруппы: основную IXб(о) и контрольную IXб(к). Основная IXб(о) подгруппа получала восстановительные мероприятия согласно концепции поуровневой реабилитации, пациентов контрольной подгруппы – реабилитировали традиционными средствами и методами в амбулаторно-поликлинических условиях.

Используемые методы исследования на IV этапе: физикальное травматолого-ортопедическое обследование, функциональное соматоподоскопическое обследование, методы инструментальной диагностики (рентгенография, МРТ, УЗИ), методы педагогического спортивно-хореографического тестирования, методы компьютерного анализа.

На **V этапе** (2017–2020 гг.) разрабатывали математические подходы к оценке *локальной физической нагрузки* через *меру гладкости движения* и подходы к проектированию оптимальных траекторий движений в физической реабилитации. В исследовании приняли участие 55 (10–16 лет, средний возраст 12,5 лет, [11,3; 14,1]) представителей видов двигательной активности, связанных искусством движения (группа X), имеющих повреждения от перегрузки в области

тазобедренного (n = 25) и голеностопного (n = 30) суставов и нуждающихся в восстановлении функции поврежденного сустава. Пациенты с повреждениями в области тазобедренного сустава были случайным образом распределены на две подгруппы: основную Ха(о), (n = 12) и контрольную Ха(к), (n = 13). Пациенты с повреждениями в области голеностопного сустава также были случайным образом распределены на две подгруппы: основную Хб(о), (n = 14) и контрольную Хб(к), (n = 16). Пациентам основных подгрупп восстанавливали функцию поврежденного сустава при помощи индивидуально моделируемых эллиптических траекторий движения, пациентам контрольных подгрупп восстанавливали функцию поврежденного сустава стандартными средствами и методами ЛФК в амбулаторно-поликлинических условиях.

Используемые методы исследования на V этапе: физикальное травматолого-ортопедическое обследование, клинико–биомеханическое исследование с использованием оптико-электронной системы «Qualisys», методы врачебно-педагогического сопровождения и педагогического спортивно-хореографического тестирования, методы математического и компьютерного моделирования и анализа данных.

На **VI этапе** (2018–2020 гг.) разрабатывали адаптированный комплекс упражнений на основе китайской гимнастики Тайцзицюань для восстановлении функции нижней конечности и исследования биомеханических паттернов восстановления функции у представителей обсуждаемой категории лиц.

В ходе разработки комплекса выполняли типизацию основных биомеханических паттернов восстановления функции нижней конечности (коленного и голеностопного суставов) при проведении физической реабилитации у представителей обсуждаемой категории лиц.

В исследовании приняли участие 76 представителей обсуждаемой категории лиц от 10 до 16 лет (средний возраст 12,4 лет, [10,9; 13,3]), имеющих повреждения от перегрузки в области нижней конечности и нуждающихся в восстановлении её функции (группа XI). Все пациенты были случайным образом поделены на основную – XI(о) и контрольную XI(к) подгруппы. Пациентам основной XI(о) подгруппы выполняли физическую реабилитацию с

использованием специально разработанного комплекса движений Тайцзицюань (занятия выполняли 2–3 раза в неделю по 40 – 45 минут в течение 2–х недель с рекомендацией выполнять отдельные упражнения дома). Пациентам контрольной XI(к) подгруппы выполняли курс физический реабилитации с учетом специфики вида спорта 2–3 раза в неделю по 40–45 минут в течение 2–х недель с рекомендацией выполнять отдельные упражнения дома. В случае необходимости, по медицинским показаниям, физическую реабилитацию как в основной, так и в контрольной подгруппе пролонгировали, однако контрольным этапом оценки эффективности основной и контрольной подгруппы был выбран двухнедельный период, так как именно в этот период подгруппы обследуемых сохранялись в наиболее полном составе.

После прохождения курса физической реабилитации всем пациентам исследования (основной XI(о) и контрольной XI(к) подгрупп) выполняли клинико-биомеханическое тестирование с использованием комплекса «Biodex System 4 Pro».

В отдельных случаях при отсутствии выраженного болевого синдрома и готовности мягких тканей к нагрузочному тестированию, обследование с помощью комплекса «Biodex System 4 Pro» выполняли до прохождения курса физической реабилитации.

При оценке эффективности физической реабилитации в основной и контрольной подгруппах принимали параметры тестирования после прохождения двухнедельного курса физической реабилитации.

Используемые методы исследования на VI этапе: физикальное травматолого-ортопедическое обследование, клинико–биомеханическое исследование с использованием комплекса «Biodex System 4 Pro», методы врачебно-педагогического сопровождения и педагогического спортивно-хореографического тестирования, методы компьютерного анализа.

2.3 Методы исследования

В исследовании использовали следующим методы**:**

1. Клинико-функциональные методы исследования.

2. Методы инструментальной диагностики: рентгенологическая, ультразвуковая, магнито-резонансная томография, компьютерная томография;

3. Клинико-биомеханические исследования: лечебно-диагностический комплекс «Biodex System 4 Pro», оптико-электронная система трёхмерного захвата и анализа движения «Qualisys», функциональная соматоподоскопия;

4. Методы педагогического спортивно-хореографического тестирования;

5.Методы компьютерного моделирования, математического и статистического анализа.

2.3.1 Клинико-функциональные методы исследования

При проведении клинико-функциональных методов исследования применяли как общепринятые в спортивной медицине, травматологии и ортопедии средства и методы так и специфические виду двигательной активности тесты (Маркс В.О. 1978; Steinberg N. et al., 2006):

1. **Комбинированное пассивное сгибание голеностопного сустава и стопы** *в* положении (*en pointe*) на *пальцах*/на пуантах (Рисунок 2.1А). Испытуемый находится в положении лежа на спине, с тазобедренными, коленными и голеностопными суставами в нейтральном положении. Врач пассивно сгибает голеностопный сустав и стопу. Ось гониометра размещается на пальпируемой медиальной лодыжке большеберцовой кости. Неподвижный рычаг гониометра выравнивается вдоль медиального края большеберцовой кости, а подвижный рычаг выравнивается по головке первой плюсневой кости.

2. **Пассивное сгибание голеностопного сустава.** Испытуемый располагается так же, как и в тесте, выполняемом в положении *en pointe* (Рисунок 2.1А). Неподвижный рычаг гониометра выравнивается вдоль медиальной стороны голени. Подвижный рычаг выравнивается по пальпируемой ладьевидной кости (Рисунок 2.1В).

3. **Пассивное разгибание голеностопного сустава.** Это измерение относится к гибкости трехглавой мышцы голени и используется при диагностике импинджмента голеностопного сустава. Испытуемый располагается так же, как и в тесте для положения *en pointe* – с вытянутыми коленями. Исследователь выполняет пассивное разгибание голеностопного сустава и стопы в нейтральном положении (Рисунок 2.1 C). Ось гониометра размещается на медиальной лодыжке большеберцовой кости. Неподвижный рычаг гониометра выравнивается вдоль медиальной стороны голени, а подвижный рычаг выравнивается вдоль медиального края стопы. Угол разгибания рассчитывается из вертикального нейтрального положения.

4. **Пассивная внешняя ротация тазобедренного сустава** (Рисунок 2.1D). Испытуемый располагается лежа на животе с тазобедренным суставом в нейтральном положении, коленный сустав согнут на 90°. Врач осуществляет пассивную внешнюю ротацию бедра, а ассистент стабилизирует контралатеральную сторону таза. Ось гониометра помещается на пальпируемую срединную область коленной чашечки. Неподвижный рычаг гониометра выравнивается по визуально определенной вертикальной оси. Подвижный рычаг выравнивается по пальпируемой передней стороне голени.

5. **Пассивная внутренняя ротация тазобедренного сустава.** Положение испытуемого такое же, как и при измерении внешней ротации, за исключением того, что экзаменатор пассивно вращает бедро внутрь до физиологического предела (Рисунок 2.1E).

6. **Пассивное отведение (абдукция) тазобедренного сустава.** В положении лежа на спине таз стабилизируется путем свешивания контралатеральной голени со стола. Нога, подлежащая измерению, поддерживается в положении нейтральной ротации со стопой, перпендикулярной полу (невыворотно). Затем производится её пассивное отведение во фронтальной плоскости до физиологического предела (Рисунок 2.1F). Объем отведения измеряется с помощью неподвижного рычага гониометра на линии между пупком и лобковым симфизом и подвижного рычага, установленного вдоль продольной оси отведенного бедра, по направлению к надколеннику.

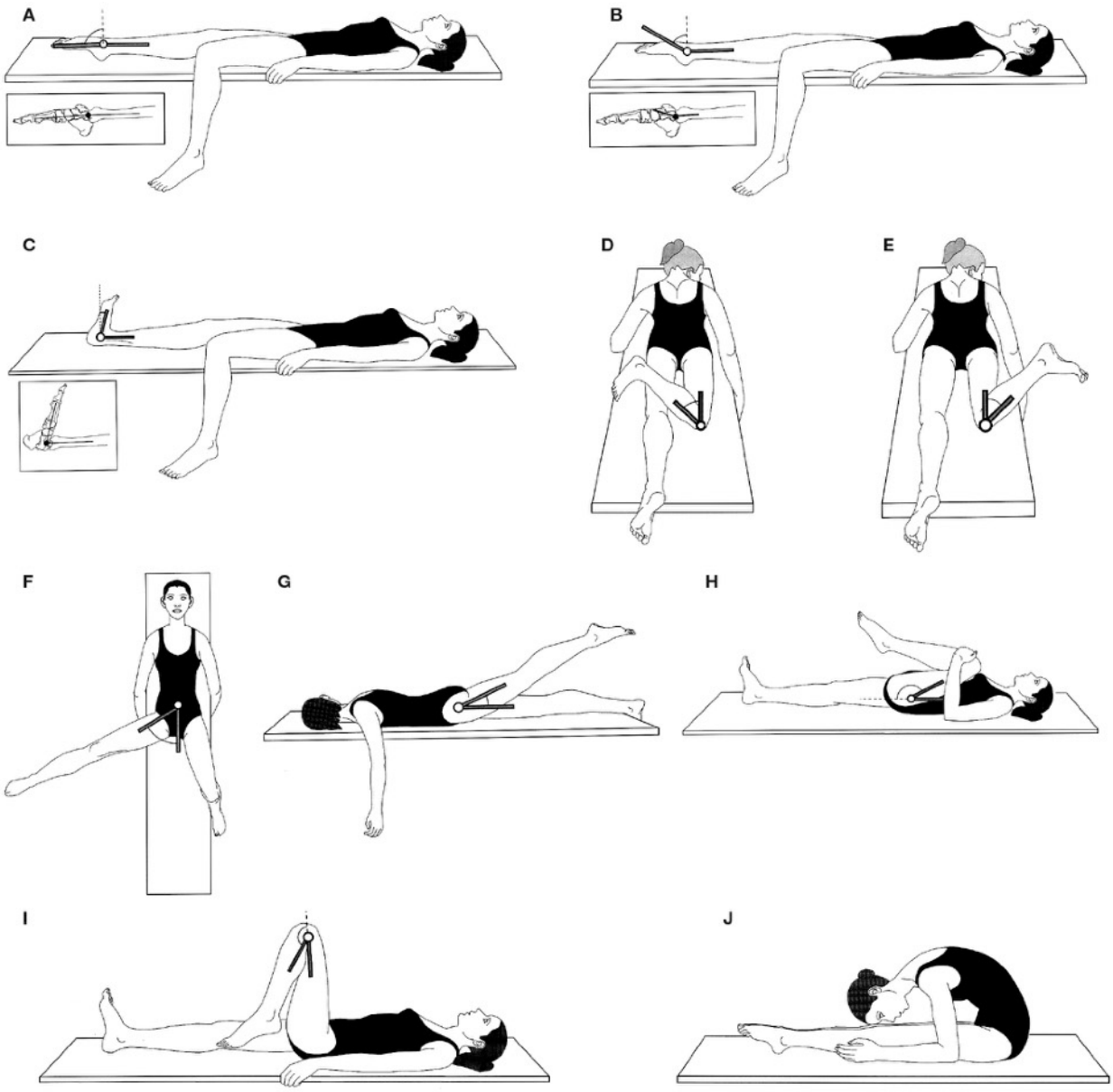


Рисунок 2.1 – Клинико-функциональное обследование нижней конечности, специфической видам двигательной активности, связанных с искусством движения (Цит. по Steinberg N. et al., 2006).

7. **Активное разгибание тазобедренного сустава.** Испытуемый располагается лежа на животе, таз стабилизируется путем прижатия обеих передних верхних подвздошных остей к столу. Испытуемый выполняет движение ногой по типу *arabesque*, когда бедро находится в нейтральном положении, а колено выпрямлено. Неподвижный рычаг гониометра располагали от большого вертела вдоль поверхности стола, а подвижный рычаг располагали параллельно длинной оси бедра между большим вертелом и латеральным надмыщелком бедра

(Рисунок 2.1G).

8. **Пассивное разгибание тазобедренного сустава.** В положении лежа на спине испытуемому производят разгибание тазобедренного сустава (при согнутом коленном суставе) до физиологического предела или до тех пор, пока таз не начет поворачиваться. Гониометр располагали как при активном разгибании тазобедренного сустава (Рисунок 2.1 H).

9. **Пассивное сгибание коленного сустава.** Испытуемый располагается лежа на спине, специалист сгибает бедро и колено до физиологического предела (невыворотно). Ось гониометра помещается между боковыми мыщелками бедра и голени. Неподвижный рычаг гониометра располагается вдоль продольной оси бедра, а подвижный рычаг - вдоль продольной оси голени (Рисунок 2.1I).

10. **Активная гибкость нижней части спины и мышц-хамстрингов.** Испытуемый находится в положении седа с прямыми ногами, ступни в положении сгибания на *en pointe*. Врач прижимает оба колена испытуемого к столу, а испытуемый медленно наклоняется вперед, лбом к коленям. Расстояние между лбом и коленями измеряется с помощью измерительной ленты; 0 означает, что испытуемый может коснуться коленей лбом (Рисунок 2.1 J).

Фенотипические признаки проявления диспластического типа конституции в области нижней конечности оценивали по степени рекурвации коленного сустава (Рисунок 2.2 А, Б) и седу с внутренней ротацией тазобедренных суставов (Рисунок 2.2 В).



А Б В

Рисунок 2.2 – Проявления диспластического типа конституции: А, Б – рекурвация коленных суставов; В – поза «W» или «Сирены» – сед с внутренней ротацией тазобедренных суставов

Исследование вклада бедренной антеверсии при принятии выворотного положения по первой позиции оценивали по соотношению углов направления коленных чашечек, голеней и стоп (Рисунок 2.3).



А Б В Г

Рисунок 2.3 – исследование профессионального анатомо-физиологического строения нижней конечности при принятии выворотного положения: А – VI-II позиция, ноги «не натянуты», коленные чашечки направлены чуть внутрь; Б – та же позиция, но «ноги натянуты», коленные чашечки направлены вперед; В – «свободная позиция», ноги «натянуты»; Г - I позиция, ноги «натянуты», коленные чашечки максимально «развернуты»

Исследование функции голеностопного сустава и стоп в профессиональных положениях (*pointe, demi-pointe)* приведено на Рисунке 2.4



А Б В

Рисунок 2.4 – Исследование профессиональных способностей и анатомо-физиологического строения стоп: А – активное сгибание голеностопного сустава и стопы; Б – активное разгибание пальцев стопы в положении максимального сгибания голеностопного сустава; В – пассивное разгибание пальцев стопы в положении максимального активного сгибания голеностопного сустава

Для оценки интенсивности и динамики болевого синдрома применялась визуальная аналоговая шкала боли (Рисунок 2.5), где 0 баллов соответствовало

отсутствию болевого синдрома, 10 баллов – максимальному болевому синдрому.

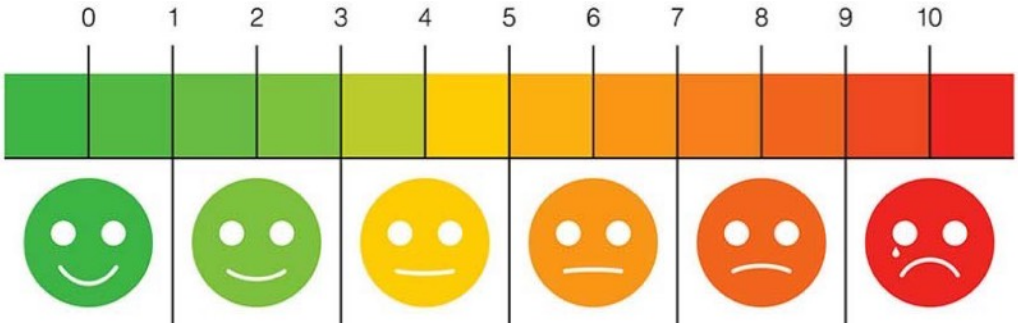
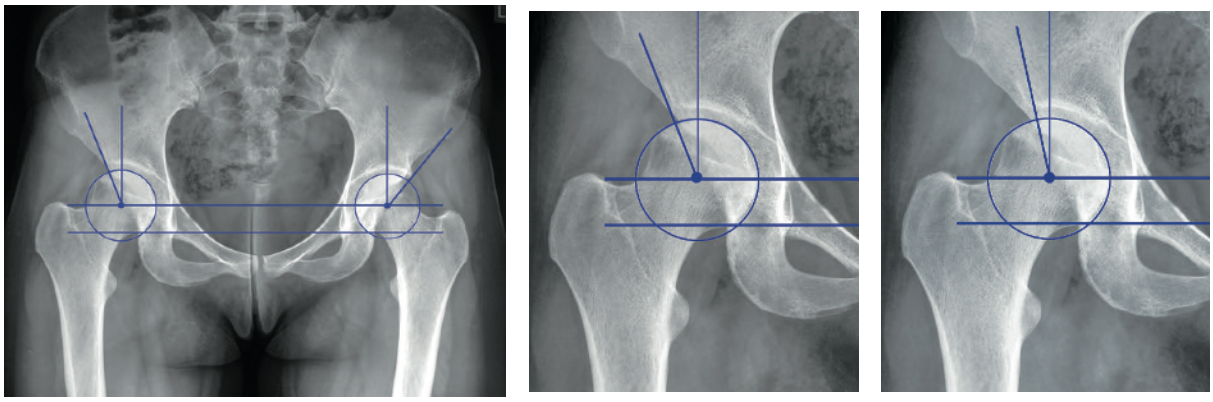


Рисунок 2.5 – Визуальная аналоговая шкала боли (ВАШ)

2.3.2 Методы инструментальной диагностики

При проведении исследования анализировали основные количественные и качественные рентгенографические, сонографические, МРТ, КТ и сцинтиграфические признаки как на доступных изображениях и носителях, так и по результатам заключений (см. Приложение Б).

Рентгенографию тазобедренных суставов (в прямой проекции) выполняли по медицинским показаниям после обследование врачом спортивной медицины и врачом травматологом-ортопедом для уточнения диагноза неспецифического болевого синдрома в области тазобедренных (ТС) и коленных (КС) суставов при наличии физикальных признаков вовлеченности тазобедренных суставов (значимые асимметрии и ограничения в объемах движения ТС).



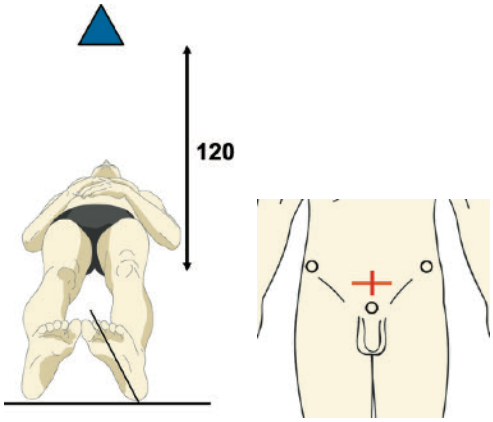
А Б В

Рисунок 2.6 – Схема определения покрытия крыши вертлужной впадины: А – общая схема определения угла Виберга; Б – классическое определение угла Виберга; В – определение угла Виберга в модификации Ogata (Цит. по Тихилов Р.М., Шубняков И.И. и др. 2017)

Точное определение угла Виберга во многом зависело от субъективного мнения рентгенолога, так как однозначная трактовка края вертлужной впадины зачастую затруднительна. В исследовании ориентировались на методику подсчета угла Виберга в модификации Ogata (Ogata S. et al., 1990), когда за край вертлужной впадины принимается латеральный край *sourcil* (Рисунок 2.6).

Показатель ШДУ особенно важен для обследуемого контингента лиц, так как именно он при нормальном покрытии головки бедренной кости составляет значимый вклад в наличие выворотности у обследуемого контингента. В данном исследовании Coxa valga определяли при ШДУ >135° (Clohisy J.C. et al., 2009; Vahedi H. et al., 2018).

В исследовании учитывали, что значение ШДУ по рентгенограммам в прямой проекции зависит от укладки (Рисунок 2.7). К сожалению, далеко не все рентгенограммы тазобедренных суставов были сделаны с правильной укладкой. По данным настоящего исследования более трети рентгенограмм были сделаны с неправильной укладкой.



А Б

Рисунок 2.7 – Укладка пациента для выполнения обзорной рентгенограммы таза в прямой проекции: А – положение пациента; Б – направление луча при исследовании (Цит. по Тихилов Р.М., Шубняков И.И. и др. 2017)

В исследовании анализировали рентгенограммы, выполненные как в стандартных, так и в нестандартных проекциях, раскрывающих профессиональную специфику повреждений от перегрузки (Рисунок 2.8, Приложение Б).



А Б

Рисунок 2.8 – Рентгенограммы костей голеностопного сустава и стоп в профессиональных положениях: А – рентгенограмма в пуантах в прямой проекции учащейся хореографического училища 15 лет; Б – рентгенограмма в положении *en pointe* в боковой проекции учащейся хореографического училища 13 лет.

В случае возникновения спорных вопросов и/или неоднозначных рентгенологических заключений, а также при неполном описании рентгенограмм (отсутствии посчитанных углов, отмеченных признаков и т.д.) рентгенограммы на пленочных носителях анализировали с использованием негатоскопа, рентгенограммы на цифровых носителях анализировали с использованием программного обеспечения для обработки DICOM–изображений в научных целях «Horos», распространяемого по свободной лицензии (GNU Lesser General Public License, Version 3). Во всех спорных случаях рентгенограммы анализировали совместно с врачом-рентгенологом.

Если пациент обращался повторно не менее, чем через год и на рентгенограмме у него определяли иные рентгенологические признаки (угол Виберга, шеечно-диафизарный угол и т.п.), отражающие физиологическое взросление, то при анализе рентгенограмм такой пациент воспринимали как «новый».

При **ультразвуковом исследовании (УЗИ)** анализировали наличие неспецифических признаков хронического повреждения мягких тканей, тендо/ лигаментопатии, остеохондропатии и исключали признаки острой патологии (разрывов капсульно-связочного аппарата, авульсионные переломы и др.).

При проведении УЗИ суставов нижней конечности определяли следующие сонографические признаки: наличие свободной жидкости в суставе, и иные признаки синовита, отёк (эксудацию) в периартикулярной клетчатке, межмышечных пространствах, утолщение, деформацию капсулы сустава, признаки фиброза, дегенерации мягких тканей, расширение суставной щели, увеличение толщины сухожилий/связок, неровность и нечеткость контуров мягкотканных структур, снижение/повышение их эхогенности, изменение структуры, нарушение структуры менисков и т.д.

В случае необходимости уточнения характера повреждения мягких тканей рекомендовали проведение МРТ-исследование.

Магнито-резонансная томография (МРТ) была наиболее информативным видом исследования при выявлении микроповреждений мягких тканей, строения костных структур и исключения более тяжелой патологии (разрывов капсульно-связочного аппарата, повреждение менисков, авульсионные переломы, б. Легга–Кальве–Пертеса и др.). Оптимальными для визуализации микроповреждений мягких тканей были МРТ-исследования, выполненные на аппаратах не менее 1,5Т. Однако, при проведении анализа данных использовали результаты всех доступных МРТ-исследований.

При МРТ тазобедренных суставов анализировали:

– структуру/размеры /форму головок бедренных костей, наличие субхондральной патологии;

– структуру/форму шейки бедренных костей, шеечно-диафизарный угол;

– высоту/структуру суставного хряща; суставные щели;

– наличие свободной жидкости справа и слева;

– форму/контуры вертлужных впадин;

– состояние капсулы сустава, параартикулярных мягких тканей;

– контуры/структуру костей таза, крестцово-подвздошных сочленений.

Анализ МРТ-исследований коленного и голеностопного суставов выполняли аналогично.

В случае наличия у пациентов КТ-исследований или сцинтиграфических исследований заключения этих исследований также анализировались. Однако,

ввиду высокой лучевой нагрузки и отсутствия значимых показаний, участников данного исследования на эти виды обследования не направляли.

2.3.3 Клинико–биомеханическое исследование с использованием мультисуставного роботизированного лечебно-диагностического комплекса «Biodex System 4 Pro»

Для оценки эффективности проводимых восстановительных мероприятий выполняли клинико-биомеханическое тестирование суставов нижней конечности с использованием мультисуставного роботизированного лечебно-диагностического комплекса «Biodex System 4 Pro» – Biodex Medical Systems Inc., США (Рисунок 2.9).

При изокинетических режимах мышцы сокращаются с постоянной скоростью против заданного сопротивления, но длина мышцы меняется. Изокинетические сокращения позволяют работающим мышцам и мышечным группам создать высокую степень напряжения на всех участках диапазона движения. Данный тип сокращения эффективен для равномерного развития силы мускулатуры при любых углах движения.



Рисунок 2.9 – Лечебно-диагностический комплекс «Biodex System 4 Pro»

При тестировании мышечного сокращения в изокинетическом режиме конечность двигается с постоянной, заранее установленной скоростью. Для

обеспечения тестирования в этом режиме на комплексе «Biodex System 4 Pro» используется система аккомодационной резистентности по диапазону производимого движения (ROM – the range of motion). Таким образом, увеличение мышечной отдачи способствует увеличению сопротивления, а не увеличению ускорения (скорости), которое достигается в гравитационных (изотонических) системах регистрации. Поэтому, использование изокинетического тестирования позволяет наиболее адекватно проводить мониторинг реабилитационных мероприятий (Hannon J.P. et al, 2019).

При проведении тестирования обследуемых размещали на специальном кресле с переменным наклоном спинки (100º при тестировании сидя коленного и голеностопного суставов и лёжа при тестировании тазобедренного сустава) со стабилизацией торса, живота и бедер специальными ремнями для предотвращения компенсаторных движений (Рисунок 2.6). При проведении тестирования коленного сустава место приложения усилия фиксировали в нижней трети голени, на 3 см выше лодыжки большеберцовой кости (Teixeira J. et al, 2014). При проведении тестирования голеностопного сустава место приложения усилия фиксировали специальным стабилизатором стопы при фиксировании коленного сустава в среднем физиологическом положении (Huynh B. et al, 2019). При обследовании была выбрана программы изокинетического тестирования с угловыми скоростями от 30º/с до 300°/С (3–6 повторений), в зависимости от функции исследуемой конечности и практикуемого вида двигательной активности с применением субмаксимальных усилий на диапазоне имеющегося на момент тестирования объёма движения (Rhodes D. et al, 2020).

Тестирование выполняли по следующему протоколу:

– объяснение процедуры тестирования и техники безопасности;

– разминка 10 минут с акцентом на разогрев тестируемых мышц;

– стабилизация обследуемого в кресле;

– калибровка системы.

Биомеханическое тестирование поврежденной стороны выполняли с прилагаемым усилием тестируемой конечности до повышения болевого синдрома не более, чем на 1–2 единицы по визуальной аналоговой шкале боли (ВАШ). При

изокинетическом тестировании определяли следующие параметры:

– «Пик ВМ» (Н/м) определяется как самый высокий пик вращающего момента производимый мышцей из всего набора тестовых повторений. Этот показатель отражает максимальную силу мышц;

– «Пик ВМ/МТ» (%) – это выраженное в процентах отношение, пика вращающего момента (Пик ВМ) к массе тела и отражает функциональную активность тестируемых мышц. Чем выше это отношение, тем в лучшей функциональной форме находится данная группа мышц;

– «Время к Пику ВМ» (мс) – мера времени от начала мышечного сокращения до момента наивысшего развития вращающий момента (Пик ВМ). Это значение является показателем функциональной способности мышц быстро вырабатывать вращающий момент;

– «Угол Пика ВМ» (град) – определяется как угол в ходе достижения объема движения (ROM), когда пик вращающего момента (Пик ВМ) максимален. При достижении этого угла по диапазону движения (ROM) мышечное напряжение максимально. В норме этот угол располагается в середине диапазона движения, то есть равен ROM/2;

– «Время ускорения» (мс) – суммарное время достижения изокинетической скорости. Указывает на нейромышечные двигательные возможности конечности в начале диапазона движения;

– «Время замедления» (мс) – суммарное время перехода от изокинетической скорости к нулю. Указывает на нейромышечные возможности при эксцентрическом движении конечности в конце диапазона движения;

– Билатеральный мышечный дисбаланс – разница в контралатеральных усилиях мышц агонистов / антагонистов (отношение Пиков ВМ/МТ при сгибании / разгибании на здоровой и восстанавливаемой конечности).

При анализе результатов тестирования значимым оказались «Пик вращающего момента» (ВМ), нормированный по массе тела (МТ) – «Пик ВМ/ МТ», «Время к пику вращающего момента», «Угол пика вращающего момента», «Время замедления». У здоровых людей пик (ВМ) располагаться между 60^0 и 90^0 сгибания коленного устава (Рисунок 2.10). Если восходящий участок кривой

располагается ниже 60^0, это означает, что начальный этап мышечного сокращения замедлен и пациент не готов к полноценной физической активности.

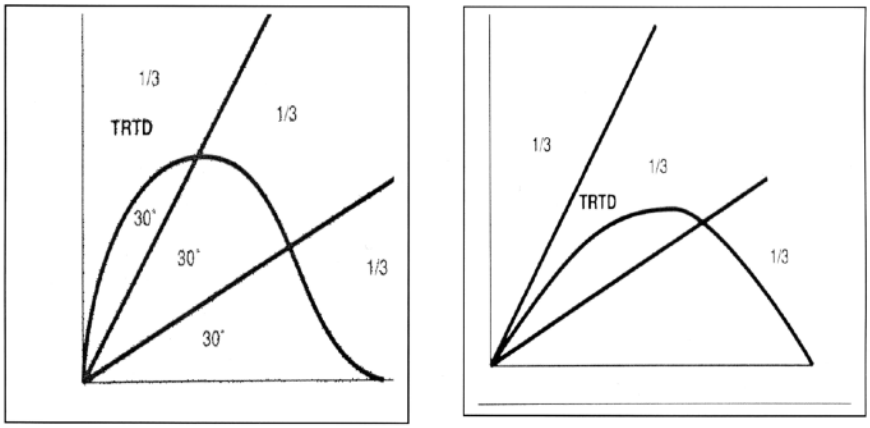
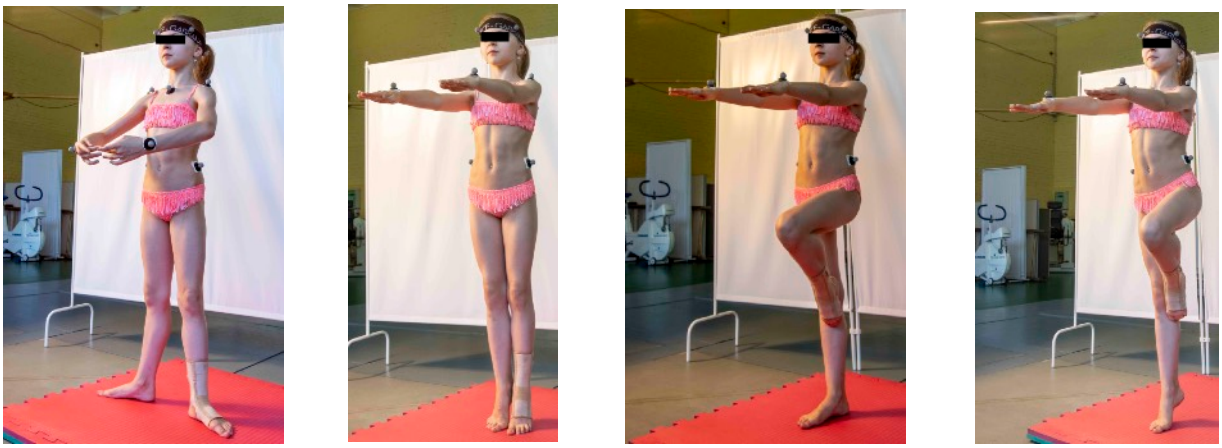


Рисунок 2.10 – Показатель нарастания вращающего момента TRTD в норме (слева) и с замедлением (справа)

Билатеральный мышечный дисбаланс считали нормализованным в случае усредненной разницы в контралатеральных усилиях мышц агонистов / антагонистов не более 10 –15 %, что является нормой для видов двигательной активности с доминирующей нижней конечностью; для неспортсменов норма билатерального мышечного дисбаланса – до 10 % (Cabri J.M.H. et al., 1991).

2.3.4 Клинико–биомеханическое исследование с использованием оптико-электронной системы трёхмерного захвата и анализа движения «Qualisys»

В исследовании использовали оптико-электронную систему трёхмерного захвата и анализа движения «Qualisys» (Швеция), состоящую из 8 инфракрасных камер и персонального компьютера с программным обеспечением «Qualisys Track Manager» для сбора и обработки данных. Камеры были расположенные вокруг испытуемого и определяли трёхмерные координаты маркеров–отражателей, которые крепили на теле обследуемого. Определение координат происходило с частотой 500 кадров в секунду, что позволяло с высокой точностью рассчитывать основные кинематические характеристики движения – скорость, ускорение, перемещение (Рисунок 2.11).



А Б В Г

Рисунок 2.11 – Тестирование с использование системы «Qualisys»: А – II позиция; Б – VI позиция на *полупальцах*; В –VI позиция, невыворотное *passé* на полной стопе; Г – VI позиция, невыворотное *passé* на *полупальцах*

Согласно протоколам построения цифрового скелета человека (Davis R.B. et al., 1996; Stief F. et al., 2013), светоотражающие маркеры были размещены в области поврежденного сустава и, на контралатеральной стороне, а также на опорных зонах тела следующим образом: передний верхний гребень подвздошной кости с обеих сторон, большой вертел бедренной кости с обеих сторон, латеральный и медиальный надмыщелки бедренных костей обеих ног, латеральные лодыжки голеней обеих ног, бугор пяточной кости на каждой ноге, в проекции первой и пятой плюсневых костей по тыльной стороне каждой стопы.

Дополнительно маркеры были размещены на следующих областях: по центру затылочной и лобной костей, на 7–м шейном позвонке (C7), на рукоятке грудины, на правой и левой боковых сторонах акромионов (латеральный конец ости лопатки), 6–м и 12–м грудных позвонках (Th6, Th12), 2–м и 4–м поясничных позвонках (L2, L4), 2–м крестцовом позвонке (S2), бугристостях большеберцовых костей на обеих ногах.

Первичный компьютерный анализ данных выполняли с использованием программного комплекса «Qualisys Track Manager», позволяющего по закрепленным на теле испытуемого светоотражающим маркерам восстановить цифровой скелет испытуемого. Последующий анализ данных выполняли при помощи специально построенной математической модели.

2.3.5 Функциональное соматоподоскопическое исследование

Функциональное соматоподоскопическое исследование заключалось в осмотре осевого скелета и сводов стоп в следующих профессиональных положениях:

– при обычной осевой нагрузке стоя на двух стопах (рис 2.12 А, 2.13 А);

– под типичной нагрузкой (стоя на одной ноге), как при рентгенологическом исследовании с нагрузкой (Рисунок 2.13 Б);

– при «выходе» на *полупальцы* на двух ногах (Рисунок 2.13 В);

– стоя на *полупальцах* на одной ноге (Рисунок 2.13 Г);

– в положении рабочей осанки (позы) стоя по V позиции (Рисунок 2.12 Б) и т.п.


А


Б

Рисунок 2.12 – Оценка состояния стоп в рабочих (профессиональных) положениях: А – стоя на двух стопах, Б – стоя по V позиции


А


Б


В

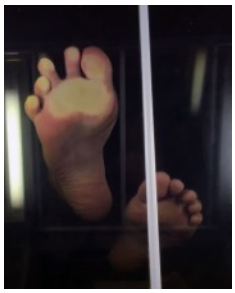

Г

Рисунок 2.13 – Оценка состояния стоп в рабочих (профессиональных) положениях: А – стоя на двух стопах, Б – стоя на одной стопе, В – стоя на двух стопах на *полупальцах*, Г– стоя на одной стопе на *полупальцах*

2.3.6 Методы педагогического спортивно-хореографического тестирования

В рамках врачебно-педагогического сопровождения выполняли тестирование по 10 бальной шкале, где 10 баллов – максимальная оценка (Рисунок 2.14; 2.15; 2.16):

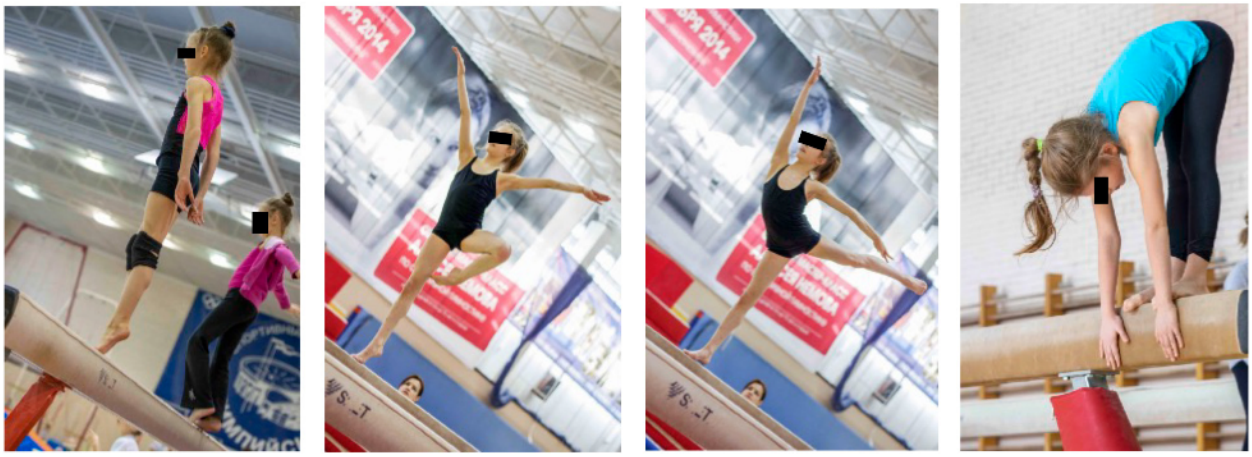
– уровня физических качеств (гибкость, сила, ловкость/координация, скорость, выносливость) и готовности к возвращению к полноценному тренировочному процессу;

– наличие хореографических качеств (активной / пассивной выворотности, способности работать на *пальцах*/*полупальцах* и т.п.);

– способность выполнять базовые хореографические элементы: *demi-plié*, *grand plié*, *battement développé*, *grand battement*, *sauté*, *grand sissonne*, *grand jeté*;

– способность выполнять базовые гимнастические элементы: шпагаты, переднее/заднее/боковое равновесия и т.п.

– физическую подготовленность представительниц художественной гимнастики оценивали согласно рекомендациям Gateva, M., и соавторов (2019) (Рисунок 2.16).



А Б В Г

Рисунок 2.14 – Элементы тестирования хореографических и гимнастических качеств на высокой опоре: А – равновесие на двух ногах на *полупальцах* по VI позиции; Б – равновесие в *passé* на *полупальцах*; В – равновесие в *arabesque* на полной стопе; Г – наклон вперед стоя



А Б

Рисунок 2.15 – Пример педагогического тестирования хореографических качеств: А – в положении *passé*; Б – в положении *a la seconde*

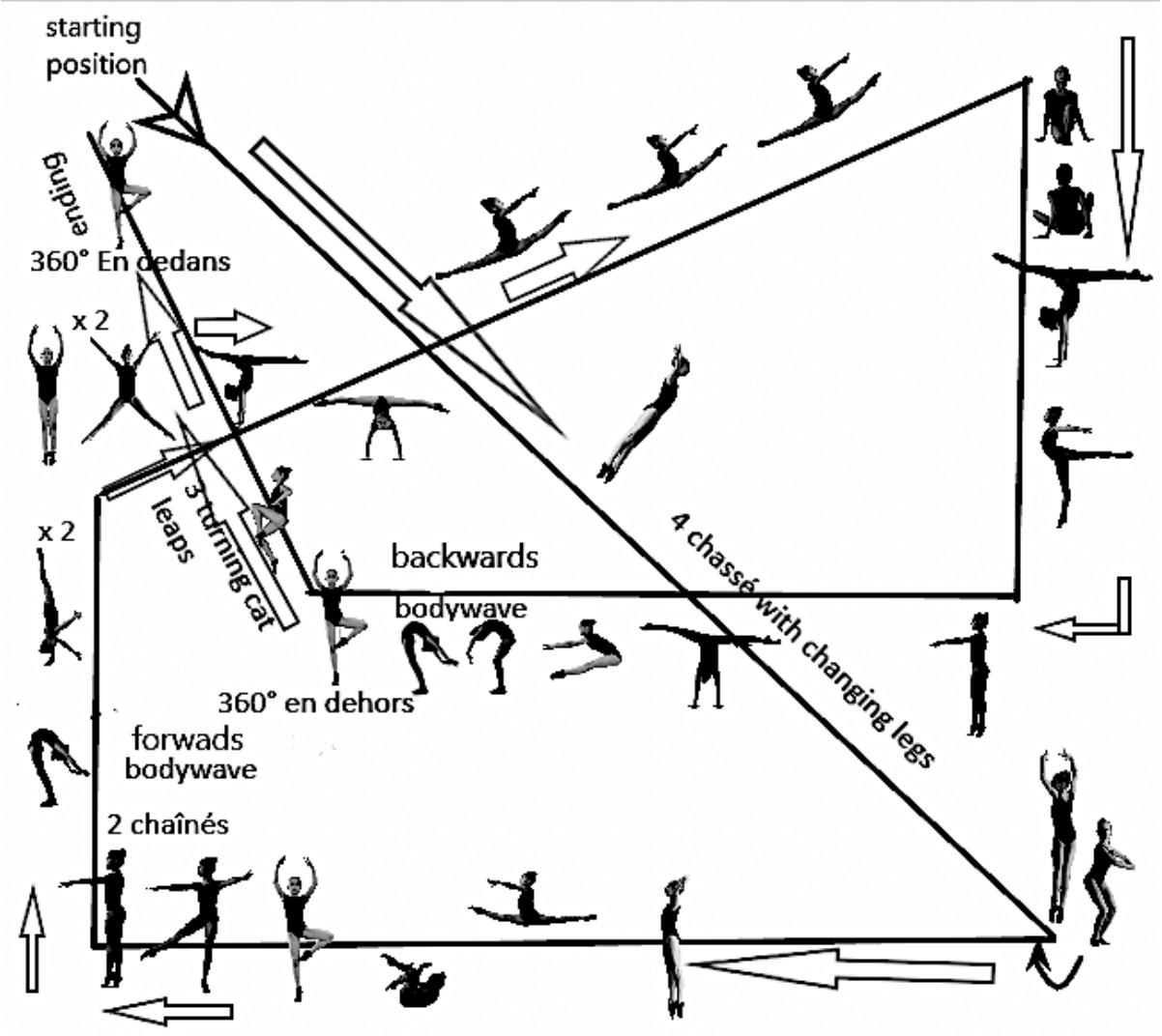


Рисунок 2.16 – Пример педагогического тестирования физических качеств качеств в художественной гимнастике по авторскому тесту M.Gateva. Цит. по (Gateva M., 2019)

В оригинальном тесте M.Gateva оценивалась специальная аэробная выносливость в художественной гимнастике на основе специально составленной последовательности базовых элементов художественной гимнастики из разных «групп тела». Тест M.Gateva должен выполняется на стандартном ковре для художественной гимнастики 13 х 13 м., контрольное время должно составлять 1,58 мин, темп выполнения задается музыкой в 84 ударов в минуту (Рисунок 2.16).

В данном исследовании по 10 – бальной шкале (где 10 максимально правильное исполнение) оценивали только способность выполнить элементы разных «групп тела» как готовность к тренировочному процессу. Поэтому ограничений на время и темп выполнения тестовых движений не было; величину ЧСС при выполнении теста не оценивали.

Дневник самоконтроля спортсмена, являясь педагогическим средством оценки физического состояния, рассматривался как эффективное дополнение к медицинскому анамнезу. При этом, если в рамках традиционного сбора анамнеза выделяют анамнез болезни (anamnesis morbi) и анамнез жизни (anamnesis vitae), то дневник самоконтроля позволяет эффективно дополнить *анамнез реабилитации,* как совокупность субъективных (самочувствие, настроение, характер болевого синдрома и т.п.) и объективных (пульс, количество выполненных упражнений и т.п.) данных процесса реабилитации.

2.3.7 Методы компьютерного моделирования, математического и статистического анализа

Математическое и компьютерное моделирование, анализ данных и их статистическую обработку выполняли с использованием:

– среды научно-статистического анализа *RStudio* Version 1.2.1335 © 2009–2019, распространяемой по свободной лицензии (GNU AFFERO General Public License, Version 3);

– высокоуровневого языка программирования *Python 3* в интерактивной среде анализа данных *JupyterLab* Version 3.0.16, распространяемой по свободной лицензии;

– системы функционального программирования, компьютерной алгебры и символьной математики *Wolfram Mathematica*, Version 12, 2020 г. (Macintosh, License №: L4484–8218);

– системы анализа DOCOM – изображений *Horos* (GNU Lesser General Public License, Version 3 LGPL–3.0).

Для непараметрически распределенных данных в качестве меры рассеяния использовали медиану и квартили; данные представлены в стандарте «*Me* [Q_1; Q_3], n», где *Me* – медиана данных; Q_1 – 1-й квартиль; Q_3 – 3-й квартиль; n – объем выборки.

Для нормально распределенных данных в качестве меры рассеяния использовали среднее и стандартное отклонение; данные представлены в стандарте «$M \pm \sigma$», где M – среднее значение, σ – стандартное отклонение.

Проверку нормальности распределения выполняли по **критерию Лиллиефорса** (Lilliefors, функция lillie.test() в *R*), который является модификацией классического *критерия согласия* Колмогорова-Смирнова.

Достаточность объема выборки при общепринятых в медицинской статистике мощности 0,80 и уровне значимости 0,05 оценивали по формуле **Лера** (Lehr R., 1992):

$$n = \frac{16}{h}, \text{ где } h = \left| \frac{M1 - M2}{\sigma} \right|, \text{ где } M1, M2 \text{ – среднее арифметическое}$$

признака в сравниваемых выборках, σ – стандартное отклонение сравниваемого признака. А также при помощи пакета *PWR* среды *R,* основанного на **алгоритмах Кохена** (Cohen J., 1988).

Для оценки различий между двумя независимыми выборками использовали непараметрический **U-критерий Манна–Уитни** (MWW – Mann-Whitney-Wilcoxon/ WMW – Wilcoxon–Mann–Whitney test / Wilcoxon-rank-sum test). Данный критерий использовали для малых выборок (n ≥5).

Оценку различий между двумя связанными выборками выполняли по непараметрическому **критерию Вилкоксона** (Т-критерий Уилкоксона для связанных выборок, Wilcoxon signed-rank test). Данный критерий использовали

для малых выборок (n ≥5). Различия между тремя связанными выборками оценивали по непараметрическому критерию **Фридмана**.

Корреляционный анализ выполняли при помощи рангового критерия **Спирмена**. Силу связи оценивали при $|\rho| \leq 0{,}25$ как слабую, при $|\rho| \in (0{,}25; 0{,}75)$ – как умеренную, при $|\rho| \geq 0{,}75$ – как сильную.

Анализ сопряженности проявления признаков (сравнение частот) выполняли с использованием критерия **хи-квадрат Пирсона**.

Кластерный анализ выполняли с использованием неиерархическиех алгоритмов (алгоритм k-средних) в среде научно-статистического анализа *RStudio*. Суть проводимого кластерного анализа - формирование из n наблюдений k-групп (кластеров), имеющих сходные между собой параметры, но отличающиеся от других кластеров.

На I этапе кластеризация рентгено-морфологических показателей выполняли по двум параметрам (средний угол Виберга по обеим суставам и средний ШДУ по обеим суставам) для предполагаемого количества кластеров от 3 до 6 с использованием метода **k-средних Мак-Кина**:

kmeans (df, centers = 5, nstart = 25), где df – фрейм данных, centers – количество центров кластеризации (кластеров), nstart – число итераций.

Физиологическим критерием проводимой кластеризации было выделение маргинального типа развития тазобедренных суставов – пограничной ацетабулярной дисплазии, представителей которой было крайне мало – 5 (4%, n = 104), а также соотнесение выделенных типов строения тазобедренного сустава с основными профессиональными качествами (выворотность, гибкость). За наличие взаимосвязи между типом и профессиональными качествами принимали наличие этих качеств у не менее 75% представителей данного типа.

На VI этапе кластеризация биомеханических показателей выполняли по параметрам «Пик ВМ», «Угол Пика ВМ», «Время замедления» для предполагаемого количества кластеров от 3 до 6 с использованием метода k-средних Мак-Кина.

2.4 Методы реабилитации

Пациентам всех контрольных групп выполняли медицинскую реабилитацию в амбулаторно-поликлинических условиях, которая состояла из ортопедического режима, физической реабилитации средствами лечебной гимнастики, лечебного массажа, мануальной терапии, физиотерапевтического лечения, медикаментозного лечения и санаторно-курортного лечения по общепринятым методикам (Миронов С.П., Цыкунов М.Б., 1998; Дидур М.Д. и др., 2016). Представители основной группы получали модифицированное, по отношению к контрольной группе и согласно этапу исследования, восстановительное лечение.

1. ***Ортопедический режим*** являлся ведущим при лечении повреждений от перегрузки и восстановлении функции нижней конечности. Целью ортопедического режима являлось устранение влияния вероятных этиологических факторов, приводящих к повреждению от перегрузки. В рамках ортопедического режима выполняли:

– модификацию тренировочного процесса при отсутствии показаний к его прекращению;

– функциональное ортезирование (тейпирование, ношение ортопедической обуви или специально подобранной спортивной обуви, ортопедические стельки–супинаторы и т.д.);

– назначение диеты **(**белково-кальциевая диета в виде приоритета сыра, творога, сметаны, рыбы и др.).

2. ***Физическая реабилитация*** состояла из комплексов упражнений лечебной гимнастики, закаливающих процедур (воздушные ванны, обтирание, обливание и др.), упражнений на тренажерах в качестве которых выступало современное компьютеризированное реабилитационное оборудование (Рисунок 2.17), лечебного массажа и мануальной терапии по общепринятым методикам.



А Б

Рисунок 2.17 – Реабилитационное оборудование, используемое при проведении реабилитации в контрольной группе: А – компьютеризированная многофункциональная система нейромышечной реабилитации «Huber» компании LPG (Франция), Б – система Balance System компании SD компании Biodex Medical Systems Inc. (США)

Целью физической реабилитации являлось восстановление функции нижней конечности после повреждения от перегрузки. В рамках физической реабилитации решали задачи по устранению мышечного гипертонуса, восстановлению недостаточной эластичности мышц, устранению дефицита силы, увеличению объёма движений в поврежденной области, повышению микроциркуляции.

Лечебная гимнастика (проводилась от 2–х до 4–х раз в сутки №10-30 курсами 1-3 через 1-2 недели) составляла основу физической реабилитации в контрольной группе.

3. *Физиотерапевтическое лечение* (ФТЛ) в виде аппаратной физиотерапии выполняли по стандартным методикам. Целью ФТЛ являлось купирование воспаления, болевого синдрома, улучшение микроциркуляции, коррекция минерального обмена. При проведении ФТЛ курсами через 1–3 недели, назначали: лазеротерапию №10, магнитотерапию №10–15, ультразвуковую терапию с диклофенаковым гелем или нафталановой мазью №10, ультравысокочастотную терапию №10–15, ультрафиолетовое облучение в субэритемной дозе №10–15, электрофорез с 2–5% с CaCl и 3% NaP №15.

4. ***Медикаментозное лечение*** состояло из назначения комплексов витаминов и микроэлементов, НПВС в разных формах, преимущественно в виде мазей или гелей (особенно, для детей до 12 лет) и микроинъекционной терапии по показаниям (см. Приложение А): обкалывание ассоциированных с повреждением областей с использованием растворов «Траумель–С», «Цель–Т» и проведение блокад раствором новокаина (0,25-0,5%).

Последовательность проведения лечебных мероприятий реабилитации определяли индивидуально согласно клинико-физиологическим особенностям воздействия проводимых процедур.

2.4.1 Медицинская реабилитация типичных повреждений от перегрузки в амбулаторно-поликлинических условиях

Медицинскую реабилитацию повреждений от перегрузки проводили в зависимости от наличия вальгусной или варусной установки оси нижней конечности по следующей схеме.

При повреждении от перегрузки **в области голеностопного сустава и стоп** на фоне их *вальгусной установки* назначали:

– *лечебный массаж* №10-15 курсами (2-3) через 2-3 недели на *укрепление* мышц-сухожилий внутренней поверхности стоп, задней группы мышц голени, передне-латеральной группы мышц бедра и на *повышение эластичности* мышечно-связочного аппарата по наружной поверхности стоп, передне-латеральной поверхности голени;

– *лечебную гимнастику* №10-30 курсами (1-3) через 1-2 недели с акцентом на круговые вращения в голеностопном суставе, дополненными упражнениями профессионально ориентированной «партерной гимнастики» (3 раза в день по 20-45 минут).

При повреждении от перегрузки **в области голеностопного сустава и стоп** на фоне их *нормальной или варусной установки* назначали:

– *лечебный массаж* №15 курсами (2-3) через 2-3 недели на *укрепление ослабленных мышц,* преимущественно наружной поверхности стоп, передне-

латеральной группы мышц голени, передне-медиальной группы мышц бедра и на *повышение эластичности* мышечно-связочного аппарата по внутренней поверхности стоп и задне-медиальной поверхности голени;

– *лечебная гимнастика* №10-30 курсами (1-3) через 1-2 недели с акцентом на пассивные упражнения на разгибание голеностопного сустава и стопы (2-3 раза в день по 20-45 минут).

При повреждении от перегрузки в области **коленного сустава и тазобедренного** на фоне *варусной* установки оси нижней конечности назначали:

– *лечебный массаж* №15 курсами (2-3) через 2-3 недели на укрепление латеральной поверхности бедра и на расслабление находящихся в гипертонусе мышц;

– *лечебная гимнастика* №10-30 курсами (1-3) через 1-2 недели с акцентом на укрепления мышечно-связочного аппарата нижних конечностей, включающие упражнения на шведской стенке (2-3 раза в день по 20-45 минут).

При повреждении от перегрузки в области **коленного и тазобедренного сустава** на фоне *вальгусной* установки оси нижней конечности назначали:

– *лечебный массаж* №15 курсами (2-3) через 2-3 недели на укрепление медиальной поверхности бедра и на расслабление находящихся в гипертонусе мышц;

– *лечебную гимнастику* №10-30 курсами (1-3) через 1-2 недели с акцентом на укрепления мышечно-связочного аппарата нижних конечностей, дополненную партерной гимнастикой в положении седа в «лягушке», «по-турецки» с исключением всех положений с внутренней ротация тазобедренного сустава по типу позы «W» (Рисунок 2.2В) 2-3 раза в день по 45 минут.

Медицинскую реабилитацию тракционных апофизитов назначали по следующей схеме:

1) *Ортопедический режим.* Исключали или максимально ограничивали локальную тракционную нагрузку на область пострадавшего апофиза путём коррекции тренировочного процесса и функционального ортезирования. Показанием к отмене ортопедического режима и переходу к полноценному тренировочному процессу являлось купирование болевого синдрома и отсутствие

хромоты, если таковая наблюдалась, без нагрузки (во время обычной ходьбы) и под нагрузкой (во время или после получения тестовой физической нагрузки).

2) *Физическая реабилитация* была нацелена на восстановление недостаточной эластичности мышц, купирование мышечного гипертонуса и устранение дефицита силы мышц в области пострадавшего апофиза. Назначали:

– *лечебный массаж* №15 курсами (2-3) через 2 недели на расслабление находящихся в гипертонусе мышц;

– *мануальную терапию* №5-7 (метод ишемической компрессии, метод пост-изометрической релаксации и др.);

– *лечебную гимнастику* №14 курсами (1-2) через 1-2 недели с применением активных и пассивных упражнений, нацеленых на восстановление недостаточной эластичности ассоциированных с пострадавшим апофизом мышц и восстановление дефицита мышечной силы и мышечного дисбаланса в восстанавливаемой конечности (2-3 раза в день по 20-45 минут).

3) *Физиотерапевтическое лечение* проводили курсами через 1–3 недели. Назначали: магнитотерапию №10–15, ультразвуковую терапию с диклофенаковым гелем или нафталановой мазью №10 курсами, ультравысокочастотную терапию №10–15, ультрафиолетовое облучение в субэритемной дозе №10–15, электрофорез с 2–5% с CaCl и 3% NaP №15; криотерапию – прикладывание, локальное обертывание, «массаж льдом» (в защитном хлопчатобумажном футляре).

4) *Медикаментозное лечение.* Назначали: комплексы витаминов и микроэлементов, нестероидные противовоспалительные препараты (НПВС) в разных формах, микроинъекционную терапию – обкалывание ассоциированных с повреждением областей с использованием растворов «Траумель–С», «Цель–Т» и проведение блокад раствором новокаина (0,25-0,5%).

Примеры медицинской реабилитации частной патологии

Болезнь Келлера – остеохондропатия костей стопы; Келлера I (M92.6 Юношеский остеохондроз предплюсны – остеохондропатия ладьевидной кости); Келлера II (M92.7 Юношеский остеохондроз плюсны – остеохондропатия головок

плюсневых костей, чаще II–III плюсневые кости). Целью реабилитации являлось купирование болевого синдрома, недопущение деформации ладьевидной кости и возвращение пациента к профессиональной деятельности в максимально короткие сроки.

Медицинская реабилитация. Ортопедический режим (понижение осевой нагрузки на пострадавшую область, ортопедическая обувь/стельки). ФТЛ курсами (2-3) через 1–3 недели: магнитотерапия №10–15, электрофорез с 2–5% с CaCl и 3% NaP с гидрокортизоном №15.



Рисунок 2.18 – Прокатывание массажного мячика по стопе сидя с дозированным давлением на стопу

Лечебную гимнастику назначали 2-3 раза в день по 45 минут с целью повышения микроциркуляции в области стопы: упражнения на прокатывание массажного мячика стопой сидя без нагрузки и с дозированной осевой нагрузкой (Рисунок 2.18); упражнения на сгибание-разгибание пальцев стопы и голеностопного сустава с сопротивлением (без и с использованием сопротивления движению ассистента или эластического бинта); упражнения на удержание скомканного полотенца пальцами ног, собирание полотенца или «сминание» расстеленной на полу газеты пальцами стоп, рисование карандашом, зажатым в пальцах стоп, перекладывание мелких предметов пальцами стоп, топтание на массажном коврике, в ящике с мелкой галькой.

Болезнь Излена *(*M92.7 Юношеский остеохондроз плюсны – апофизит V плюсневой кости стопы). Целью реабилитации являлось купирование болевого синдрома в области V плюсневой кости стопы и возвращение пациента к профессиональной деятельности в максимально короткие сроки.

Медицинская реабилитация. Ортопедический режим (разгрузка стопы, ортопедическая обувь), ФТЛ курсами (2-3) через 1–3 недели: магнитотерапия №10–15, электрофорез с 2–5% с CaCl и 3% NaP с гидрокортизоном №15. *Лечебную гимнастику* назначали 2-3 раза в день по 45 минут с акцентом на упражнения, направленные на повышение микроциркуляции в области стопы, упражнения на прокатывание массажного мячика по стопе сидя без нагрузки и с дозированной осевой нагрузкой (Рисунок 2.18), упражнения (активные и пассивные) на повышение эластичности подошвенных сгибателей, и укрепление мышц-разгибателей стопы.

Болезнь Севера (M92.8 Пяточный апофизит – апофизит бугра пяточной кости). Целью реабилитации являлось купирование болевого синдрома и возвращение пациента к профессиональной деятельности в максимально короткие сроки.

Медицинская реабилитация. Ортопедический режим состоял из ортезирования (пяточные ортопедические стельки, подушечки под пятки), тейпирования и иных средств, уменьшающих напряженность в месте прикрепления ахиллова сухожилия к апофизу. ФТЛ курсами (2-3) через 1–3 недели: магнитотерапия №10–15, электрофорез с 2–5% с CaCl и 3% NaP с гидрокортизоном №15. *Лечебную гимнастику* назначали 2-3 раза в день по 45 минут с акцентом на упражнения (активные и пассивные) на повышения эластичности мышц задней поверхности голени (камбаловидной и икроножной мышцы) (2-3 раза в день по 45 минут). Для повышения эластичности и микроциркуляции мышц задней поверхности голени также использовали массажный ролик (Рисунок 2. 19).



Рисунок 2.19 – Разминание массажным роликом мышц задней поверхности голени

Болезнь Осгуда–Шлаттера (M92.5 Юношеский остеохондроз большой и малой берцовых костей – апофизит бугристости большеберцовой кости). Целью реабилитации являлось купирование болевого синдрома апофизита бугристости большеберцовой кости и возвращение пациента к профессиональной деятельности в максимально короткие сроки.

Медицинская реабилитация. Ортопедический режим назначали в виде коррекции тренировочного процесса (ограничение приседаний, глубоких прыжков, интенсивных разгибаний коленных суставов) и функционального ортезирования (ношение наколенника, фиксирующего ремешка, тейпирование и др.). Целью ортопедического режима являлось поддержание максимально допустимой физической активности с прицельным ограничением определённых биомеханических нагрузок (приседание, глубокие прыжки, интенсивные разгибания коленных суставов). Тейпирование являлось одним из основных способов перераспределения нагрузки с собственной связки надколенника, передающей тракционное воздействие на апофиз бугристости большеберцовой кости. Другим эффективным ортезом являлся *фиксирующий ремешок* собственной связки надколенника, представляющий собой небольшую подушечку, крепящуюся эластичным фиксирующим ремешком ниже коленного сустава в зоне прикрепления сухожилия четырёхглавой мышцы бедра (Рисунок 2.20).

ФТЛ курсами (2-3) через 1–3 недели: магнитотерапия №10–15, электрофорез с 2–5% с CaCl и 3% NaP с гидрокортизоном №15.



Рисунок 2.20 – Фиксирующий ремешок для сухожилия собственной связки наколенника при двустороннем течении болезни Осгуда–Шлаттера

Лечебную гимнастику назначали 2-3 раза в день по 45 минут с акцентом на упражнения (активное и пассивное) на повышение эластичности четырёхглавой мышцы бедра и икроножных мышц, упражнения на укрепление мышц боковой поверхности бедра (область илиотибиального тракта). Повышение эластичности четырёхглавной мышцы бедра выполняли с использованием *метода постизометрической релаксации* (Рисунок 2.21).



Рисунок 2.21 – Растягивание четырехглавой мышцы бедра методом постизометрической релаксации

На заключительных этапах реабилитации назначали *провокационные* упражнения по типу «разминания» области бугристости большеберцовой кости на массажном валике стоя на коленях (Рисунок 2.22).



Рисунок 2.22 – «Провокационное» разминание области бугристости большеберцовой кости на массажном валике

Синдром Синдинга-Ларсена Йохансена (МКБ 10 – М93.8-М93.9 – уточненные и не уточненные остеохондропатии). Целью реабилитации являлось купирование апофизита нижнего полюса надколенника и возвращение пациента к профессиональной деятельности в максимально короткие сроки.

Медицинская реабилитация. Ортопедический режим назначали в виде коррекции тренировочного процесса и функционального ортезирования (ношение наколенника, тейпирование и т.п. как и при болезни Осгуда-Шляттера). Лечебную гимнастику назначали 2-3 раза в день по 45 минут с акцентом на упражнения на повышение эластичности четырёхглавый мышцы бедра, мышц задней поверхности бедра и голени. Повышение эластичности мышц задней поверхности бедра и голени, а также и снятие с них повышенного тонуса выполняли при помощи массажного ролика (валика). На начальных этапах реабилитации повышение эластичности четырёхглавной мышцы бедра выполняли методом постизометрической релаксации.

ФТЛ курсами (2-3) через 1–3 недели: магнитотерапия №10–15, электрофорез с 2–5% с CaCl и 3% NaP с гидрокортизоном №15. Криотерапию как анелгизирующее, противовоспалительное и микроциркуляторное средство назначали в виде прикладывания, локального обертывания, «массажа льдом» (в защитном хлопчатобумажном футляре).

При написании данной главы использовались следующие публикации автора:

Васильев, О.С. Хореографическая «выворотность» как фенотипический маркер дисплазии соединительной ткани в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. Т. 6. № 3. С. 48-53.

Васильев, О.С. Поуровневая нейрореабилитация типичных повреждений опорно-двигательного аппарата у квалифицированных спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, И.А. Берзин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2017. Т. 7. № 4. С. 55-62.

Васильев, О.С Об эффективности использования медикаментозной терапии в рамках поуровневой реабилитации опорно-двигательного аппарата спортсменов / О.С. Васильев, А.С. Самойлов, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2017. № 2. С. 130-133.

Васильев, О.С. Ранняя диагностика повреждений от перегрузки опорно-двигательного аппарата у юных спортсменов / О.С. Васильев, И.Т. Выходец, С.П. Левушкин // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2018. № 5(150). С. 28-33.

Васильев, О.С. Средства спортивной подготовки в медицинской реабилитации травм опорно-двигательного аппарата у спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2018. № 1. С. 86-90.

Васильев, О.С. Особенности реабилитации тракционных апофизитов у юных спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2018. № 4. С. 61-65.

Васильев, О.С. Перегрузки от объема движений в хореографии и спорте (систематический анализ). Сообщение I. Морфология выворотности / О.С. Васильев, И.А. Степаник, С.П. Левушкин, А.В. Рохлин // Новые исследования. – 2020. № 1(61). С. 98-125.

Васильев, О.С. Мышечный гипертонус в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, В.И. Лях // Теория и практика физической культуры. – 2021. № 4. С. 75-77.

Глава 3. ДИАГНОСТИКА ПОВРЕЖДЕНИЙ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ И МОРФОЛОГИЯ ТАЗОБЕДРЕННЫХ СУСТАВОВ

3.1 Алгоритм комплексной диагностики повреждений от перегрузки нижних конечностей

Неспецифический болевой синдром, дискомфорт (см. Приложение А) в области нижней конечности является типичным проявлением повреждения от перегрузки, поэтому он всегда требует диагностического ответа (постановки или исключения диагноза).

При обследовании представителей группы I с жалобами на неспецифический болевой синдром (дискомфорт) в области нижней конечности (тазобедренного, коленного, голеностопного суставов) был разработан алгоритм комплексной диагностики, состоящий из клинического физикального обследования, дополненного функциональным соматоподоскопическим обследованием и тестированием на профессиональных движениях, и инструментальным биомеханическим тестированием.

В ходе клинического физикального обследования диагностировали следующие синдромы:

1. *Болевой синдром или изменение чувствительности* в области сустава, постепенно усугубляющийся на фоне двигательной активности и/или негативно отражающийся на качестве профессиональной деятельности. Боль может быть вызвана пассивным растяжением или мануальным мышечным тестированием с сопротивлением, а также при выполнении отдельных профессиональных элементов у 304 (94%, n = 320) обследуемых;

2. *Синдром нарушения двигательной функции.* Объём движений в суставах может не изменяться или незначительно уменьшаться. Может наблюдаться нарушение функции заинтересованной мышцы и/или анталгическая ходьба на фоне профессиональной деятельности, прогрессирующая до повседневной жизни, например, при спуске и подъеме по лестнице у 198 (62%, n = 320) обследуемых;

3. *Травматический синдром.* Болевой синдром может нарастать как без явной

предшествующей травмы, так и после небольшого однократного травматического повреждения у 54 (17%, n = 320) обследуемых.

В ходе проведения анализа синдромов выяснили, что неспецифический болевой синдром (дискомфорт) в области нижней конечности у обследуемой категории лиц характеризуется следующим распределением синдромов (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Распределение синдромов при неспецифическом болевом синдроме в области нижней конечности в группе I (n = 320)

Синдромы	Количество (доля, %) пациентов
Изолированный болевой синдром	77 (24 %)
Изолированный синдром нарушения двигательной функции	57 (18%)
Изолированный травматический синдром	-
Сочетанные болевой синдром и синдром нарушения двигательной функции	157 (49 %)
Сочетанные болевой синдром, синдром нарушения двигательной функции и травматический синдром	29 (9%)
Итого (n = 320):	320 (100%)

Все три синдрома наблюдали у 29 (9%, n = 320) обследуемых. Изолированный травматический синдром не наблюдали. Изолированные болевой синдром наблюдали у 77 (24%, n = 320) обратившихся, синдром нарушения двигательной функции – 57 (18%, n = 320).

У 28 (11%, n = 320) обратившихся постановка клинического диагноза на основании обнаруженных синдромов не вызывала сомнения и была подтверждена в ходе дальнейшей реабилитации: б. Осгуда–Шляттера – 12, б. Севера – 9, апофизит бугра седалищной кости – 7. У оставшихся 292 (89%, n = 320) обследуемых постановка клинического диагноза вызывала сомнения и для уточнения диагноза было проведено **функциональное соматоподоскопическое обследование** осевого скелета и сводов стоп в различных профессиональных и тестовых положениях (Рисунок 3.1): стойка на двух стопах, стойка на одной стопе, стойка на двух ногах на *полупальцах* (*demi-pointe*), стойка на одной ноге на *полупальцах* (*demi-pointe*).

При проведении функциональной соматоподоскопии были обнаружены

диагностически значимые признаки, позволяющие подтвердить или опровергнуть рабочий диагноз, либо получить основания для дальнейшего направления на инструментальные виды обследования (рентгенографию, УЗИ, МРТ – исследование).



А Б В

Рисунок 3.1 – Примеры функционального соматоподоскопического обследования в профессиональных (А, Б) и тестовых (В) положениях: А – *passé* на полной стопе, Б – положение по V–позиции, В – положение Тренделенбурга на одной ноге в *passé* по VI позиции

В ходе проведения соматоподоскопического обследования процент поставленного клинического диагноза в I группе возрос до 65% (208 обследуемых) от изначально 320 обратившихся. Поставленные диагнозы были выборочно верифицированы инструментальными методами исследования и повторным осмотром, проведенным независимым специалистом. Для этого случайным образом были выбраны 21 (10%, n = 208) пациент, которым были проведены уточняющие УЗИ, МРТ– исследования области повреждения, а также 22 (20%, n = 208) пациента, которым бал проведен повторный физикальный осмотр с использованием функциональной соматоподоскопии независимым специалистом. Уточнение (верификацию) поставленных диагнозов мониторировали в ходе дальнейших лечебно-реабилитационных мероприятий. Диагностически значимые для последующей реабилитации физикальные признаки (нарушение осанки, плоскостопие, функциональная асимметрия длины

конечностей и др.) по данным функционального соматоподоскопического обследования приведены в Таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Диагностически значимые признаки функциональной соматоподоскопии (n = 292)

Рабочие диагнозы, количество обследуемых, %	Диагностически значимые признаки
Апофизиты костей таза и тазобедренных суставов – 20 (7%)	асимметрия длины конечностей, перекос таза, нарушения осанки покоя и рабочей осанки на профессионально выполняемых элементах (*passé, arabesque, attitude, a la seconde* и т.д.) и равновесиях (переднее, заднее, боковое и т.д.) на полной стопе, нарушение распределения нагрузки на стопы
Повреждения мягких тканей области таза и тазобедренного сустава без разрывов и др. –102 (35%)	
Болезнь Осгуда–Шляттера, синдром Синдинга–Ларсена – Йохансена – 23 (8%)	нарушение установки оси нижних конечностей и распределения нагрузки на стопы, нарушение рабочей осанки при равновесии на одной ноге и при выполнении профессиональных элементов с *plié.*
Повреждения мягких тканей коленного суставаот перегрузки, повреждения менисков без разрывов и др. – 41 (14%)	
Болезнь Севера – 47 (16%)	нарушение установки оси нижних конечностей и распределения нагрузки на стопы, варусная/ вальгусная установка голеностопного сустава и стоп, пронирование/супинирование стоп, нарушение рабочей осанки (установки нижних конечностей) при выполнении профессиональных элементов с *plié- relève*
Повреждения мягких тканей голеностопного сустава и стоп – 59 (20%)	

Уточнение рабочего диагноза потребовалась 112 (35%, n = 320) обследуемым, для которых было рекомендовано проведение обследования на комплексе «Biodex System 4 Pro». В случае наличия болевого синдрома биомеханическое тестирование поврежденного сустава выполняли с прилагаемым усилием до повышения болевого синдрома не более, чем на 1–2 единицы по визуальной аналоговой шкале боли (ВАШ).

В ходе проведения биомеханического тестирования были подтверждены диагнозы у 79 (71%, n = 112) обследуемых. У 33 (29%, n = 112) обследуемых потребовалась корректировка рабочего диагноза, которая была подтверждена при дальнейшем наблюдении, проводимом лечении и реабилитации (Таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Рабочие диагнозы, полученные после проведения тестирования («Biodex System 4 Pro») и их подтверждение инструментальными методами исследования (n = 112)

Диагноз	Количество пациентов с данным рабочим диагнозом	Количество пациентов с подтвержденным диагнозом	Количество пациентов с несовпаденим рабочего и окончательного диагнозов
Апофизиты костей таза и тазобедренных суставов	32 (29%)	23 (21%)	9 – перетренированность, дисторсии мышц области тазобедренных суставов и таза
б. Легга–Кальве–Пертеса	4 (3%)	0	4 – транзиторный синовит, перетренированность, дисторсии мышц области тазобедренных суставов и таза
б. Осгуда–Шляттера	10 (9%)	10 (9%)	нет
Синдинга–Ларсена–Йохансена синдром	6 (5%)	4 (4%)	2 – перетренированность, дисторсии собственной связки надколенника
б. Севера	14 (13%)	12 (11%)	2 – перетренированность, дисторсии ахиллова сухожилия
б. Келлера I	8 (7%)	6 (5%)	2 – перетренированность, продольное плоскостопие
Другие неспецифические повреждения мягких тканей от перегрузки	38 (34%)	24 (21%)	4 – состояние после ОРВИ
Итого (n=112)	112 (100%)	79 (71%)	33 (29%)

Тем самым, проведение биомеханического обследования позволило повысить число уточненных диагнозов в группе I до 297 (93%, n = 320), но не прояснило диагностической картины в 33 (7%, n = 320) случаев.

При проведении исследования на комплексе «Biodex System 4 Pro» статистически значимыми согласно U-критерию Манна–Уитни ($p<0,05$) оказались билатеральные процентные сравнения пика вращающего момента (Пик ВМ) «здоровой» и «поврежденной» стороны – билатеральный мышечный дисбаланс как отношение Пиков ВМ/МТ при сгибании на здоровой и восстанавливаемой конечности (Таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Усредненные процентные данные билатерального мышечного дисбаланса при подтвержденных апофизитах (n = 49)

Диагноз	Билатеральный мышечный дисбаланс	
	Слабо выраженный болевой синдром	Выраженный болевой синдром
Апофизиты костей таза и ТС (n = 23)	10 %	70%
Болезнь Осгуда–Шляттера (n=10)	10 %	85%
Синдром Синдинга–Ларсена– Йохансена (n = 4)	15 %	60%
Болезнь Севера (n=12)	10%	60%

Абсолютные данные биомеханического тестирования, в силу разности в возрасте, выраженности симптоматики, вида двигательной активности и локализации поражения сравнению не подлежали.

При последующем совместном с тренерско-преподавательским составом анализе результатов биомеханического тестирования выяснили, что примерно те же снижения динамических показателей поврежденной конечности отмечали личные тренеры (хореографы) у пострадавших учеников. Тренеры (хореографы) в подавляющем большинстве случаев назначали щадящий тренировочный режим на пораженный сустав ученикам, которые при обследовании показали билатеральную разницу более 30%; и отстраняли от тренировочный нагрузки тех, у кого билатеральная разница была более 50%.

В ходе сбора анамнеза профессиональной двигательной активности у представителей группы I, у которых были диагностированы повреждения от перегрузки, по сообщению самих обратившихся и/или мнению личных тренеров (хореографов) были той или иной степени нарушения техники выполнения типичных профессиональных движений. При дальнейшем медико-педагогическом обследовании, компенсации выворотности наблюдали у 301 (94%, n = 320) обратившихся с жалобами на неспецифический болевой синдром в области нижней конечности (см. Приложение А).

У всех обследуемых группы I, имеющих повреждения от перегрузки в области тазобедренных суставов, был диагностирован мышечный гипертонус в области таза и тазобедренных суставов, при этом выраженность гипертонуса

глубоких мышц, участвующих в выворотности, соответствовала степени использования компенсаторных стратегий выворотности. Гипертонус камбаловидной мышцы голени был обнаружен у 285 (89%, n = 320) обследуемых, гипертонус латеральной группы мышц голени – у 230 (72%, n = 320), гипертонус приводящих мышц бедра – у 195 (61%, n = 320), гипертонус мышц задней поверхности бедра (полусухожильной, двуглавой, полуперепончатой) – у 154 (48%, n = 320).

В ходе исследования выяснилось, что 35–55% случаев повреждений от перегрузки сопровождаются «негативной инструментально-диагностической картиной», и с рабочим диагнозом «неспецифический болевой синдром (дискомфорт) в области нижней конечности» остаются под наблюдением спортивного врача до появления более яркой симптоматики. Тем самым упускается время, когда реабилитация таких повреждений могла бы пройти более эффективно, а сами повреждения не усугублялись бы.

Рассматриваемый *алгоритм комплексной диагностики повреждений от перегрузки* нижних конечностей у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения позволил с высокой степенью достоверности диагностировать повреждения от перегрузки (в данном исследовании достоверный диагноз был поставлен у 297 (93%) от изначально обследуемых). Указанный алгоритм может быть поэтапно реализован в рамках непрерывного медико-биологического сопровождения и реабилитации спортсменов следующим образом (Таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Этапы комплексной диагностики и медико-биологического сопровождения

Этап	Действие
1.	Осмотр (наблюдение в ходе медико-биологического сопровождения) врачом спортивной медицины. Далее **этап 1.1**
1.1	Если спортсмен полностью здоров, то даются рекомендации для продолжения тренировочного процесса. Переход на **этап 5**.

Таблица 3.5 – Продолжение

Этап	Действие
1.2	Если у спортсмена диагностированы повреждения, требующие стационарного/амбулаторного лечения, то спортсмен направляется в соответствующее по профилю лечебное заведение;
1.3	Если у спортсмена диагностированы повреждения, допускающие восстановление в рамках скорректированного тренировочного процесса (либо он пришёл на этап спортивной реабилитации после стационарного лечения/амбулаторного лечения), то осуществляется переход на **этап 4**.
1.4	Если требуются уточнения в диагнозе – то переход на **этап 2.**
2.	Консультация специалистов (травматолог-ортопед, детский хирург и др. специалисты).
2.1	Если диагноз установлен, то переход на **этап 1.**
2.2	Если требуются дополнительные инструментальные методы исследования, то осуществляется переход на **этап 3.**
3.	Проведение инструментальной диагностики (Рентгенография, МРТ и др.). Переход на **этап 2**.
4.	Врач по спортивной медицине совместно с личным тренером спортсмена осуществляют коррекцию тренировочного/соревновательного процесса на фоне его функционального ортезирования (тейпирование, ношение ортезов) и проведения физической реабилитации (коррегирующая гимнастика, массаж, доступные средства физиотерапии) в рамках непрерывного медико-биологического сопровождения спортсмена. Далее **этап 4.1**
4.1	Спортсмен осуществляет скорректированную спортивную деятельность на фоне проведения физической реабилитации в рамках непрерывного медико-биологического сопровождения тренировочного/соревновательного процесса. Далее – **этап 4.2**
4.2	Проведение этапной диагностики (осмотр и тестирование спортсмена врачом спортивной медицины) в рамках непрерывного медико-биологического сопровождения спортсмена. Если имеется необходимость уточнения текущего состояния юного спортсмена у врачей специалистов, то осуществляется переход на **этап.2**. Если имеется необходимость уточнения текущего состояния юного спортсмена путём проведения дополнительных инструментальных методов обследования, то осуществляется переход на **этап 3**. Если согласно текущему состояния спортсмен может перейти к осуществлению спортивной деятельности без ограничений, то осуществляется переход на **этап 5**.
5.	Спортсмен осуществляет спортивную деятельность без ограничений в рамках непрерывного медико-биологического сопровождения тренировочного/соревновательного процессов

3.2 Конституционные особенности строения тазобедренных суставов у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения

Морфологическое строение тазобедренных суставов у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения, имеет свои особенности, определяемые спецификой профессиональной деятельности и реализуемые в ходе педагогического отбора в эти виды деятельности.

Рентгенологическое обследование (рентгенография тазобедренных суставов в прямой проекции) по медицинским показаниям назначали в качестве дифференциальной диагностики пациентам группы II, в которой 96 (92%, n = 104) – представительницы классического танца и художественной гимнастики. Типичными рабочими диагнозами, требующими уточнения, были импинджмент-синдром 64 (62%, n = 104), апофизит костей таза 13 (12%, n = 104), ушиб мягких тканей 12 (11%, n = 104) и другие неспецифические повреждения мягких тканей 15 (14%, n = 104).

В ходе проведенного рентгенологического исследования только 5 (4%, n = 104) обследуемых имели угол Виберга в диапазоне 20–24°, что можно рассматривать как признак пограничной ацетабулярной дисплазии (McClincy MP. et al., 2018). При этом не было обследуемых с углом Виберга менее 20°, что можно было бы рассматривать как признак дисплазии тазобедренных суставов. Остальные 99 (95%, n = 104) обследуемых имели угол Виберга в достаточно широких пределах 26–40°, что представляет собой разновидность нормы морфологии тазобедренных суставов (Макушин В.Д. и др. 2010).

Шеечно-диафизарный угол (ШДУ) у данного контингента лиц имел значительный разброс – 130-150°. Поэтому, ШДУ был выбран как второй (после угла Виберга) ранжирующий фактор в определении морфологических типов тазобедренных суставов у всех обследуемых. Заключение о наличии Coxa valga ставили при ШДУ >135°; всего в исследовании 79 (76%, n = 104) обследуемых имели в одном или двух бедрах той или иной степени выраженности вальгусную

деформацию бедренных костей. Однако, если за границу Coxa valga признать ШДУ >139°, то таких представителей оказалось порядка 31 (30%, n = 104).

На основании 2–мерного кластерного анализа (k-средних Мак-Кина, $\alpha = 0{,}80; p = 0{,}05$), проведенного в среде статистических компьютерных вычислений R (RStudio) по признакам покрытия головки бедренной кости (угол Виберга) и шеечно-диафизарному углу (ШДУ) у обследуемых выделили 5 морфологических типов строения тазобедренных суставов (Рисунок 3.2, таблица 3.6), причем 4-й тип представлял объединение двух подтипов, мало различимых по своим функциональным профессиональным качествам (выворотность, амплитуда движения в ТС).

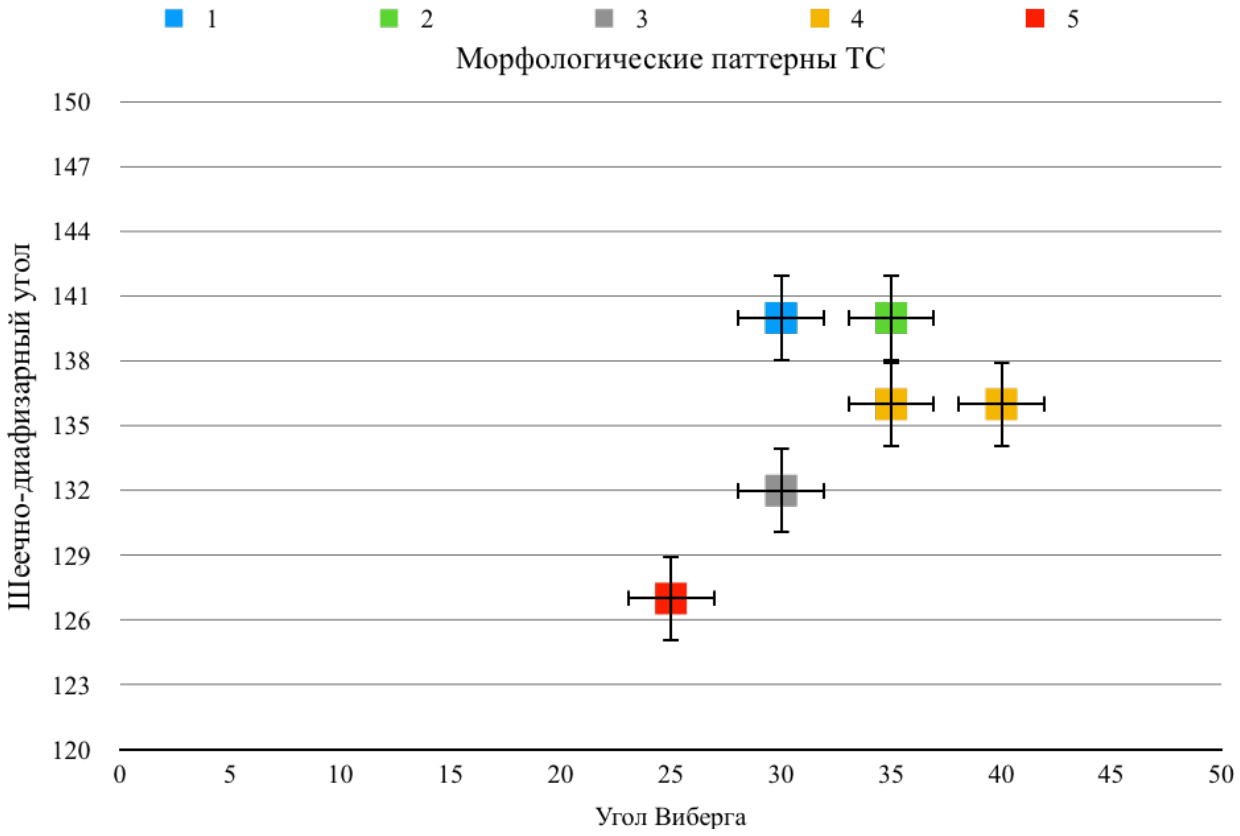


Рисунок 3.2 – Рентгено-морфологические типы строения тазобедренных суставов, выделенные на основании 2–х мерного кластерного анализа (k-средних Мак-Кина, $\alpha = 0{,}80; p = 0{,}05$) по углу Виберга и шеечно-диафизарному углу

Выявленные рентгено-морфологические типы имели высокую взаимосвязь с предъявляемыми к обследуемому контингенту лиц специфическими профессиональными требованиями и качествами (выворотность, амплитуда

движения), которую субъективно определяли по 10-бальной шкале согласно мнению личного тренера, тренера-хореографа и педагога-хореографа. Указанное субъективное мнение выборочно подтверждали при обследовании спортивного врача и врача травматолога-ортопеда.

Сводная характеристика морфологических типов строения тазобедренных суставов согласно углу Виберга и шеечно-диафизарному углу у представителей обсуждаемой категории лиц приведена в Таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Рентгено-морфологические типы строения тазобедренных суставов у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения (группа II)

Типы строения тазобедренных суставов	Угол Виберга, град.	ШДУ, град.	Количество (n=104)
1. Минимальное в пределах нормы ацетабулярное покрытие, повышенный ШДУ	26–30°	137–145°	34 (33%)
2. Умеренно увеличенное в пределах нормы ацетабулярное покрытие, несколько повышенный ШДУ	32–35°	137–142°	35 (34%)
3. Нормальное ацетабулярное покрытие, нормальный ШДУ	27–32°	131–133°	21 (20%)
4. Повышенное в пределах нормы ацетабулярное покрытие, незначительно повышенный ШДУ	36–40°	135–137°	9 (9%)
5. Пограничная ацетабулярная дисплазия, нормальный ШДУ	24–25°	123–130°	5 (4%)

Следует учитывать, что весь обследуемый контингент в силу изначального профессионального отбора в практикуемый вид двигательной активности имел показатели гибкости выше среднего по популяции. Кроме того их профессиональная деятельность была направлена на совершенствование профессиональных физических качеств (выворотности, амплитуды объема движений).

Взаимосвязь между выделенными рентгено-морфологическими типами строения тазобедренных суставов и степенью выраженности пассивной

выворотности в ТС и пассивной гибкости в ТС определялась как присутствие данного качества у более 75% представителей данного типа ТС (Таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Взаимосвязь рентгено - морфологических типов ТС с профессиональными требованиями и качествами (группа II)

Типы строения ТС	Пассивная выворотность в ТС	Пассивная гибкость в ТС
1. Минимальное в пределах нормы ацетабулярное покрытие, повышенный ШДУ – 34 (33%, n = 104)	+++	+++
2. Умеренно увеличенное в пределах нормы ацетабулярное покрытие, несколько повышенный ШДУ – 35 (34%, n = 104)	++	+++
3. Нормальное ацетабулярное покрытие, нормальный ШДУ – 21 (20%, n = 104)	+	+
4. Повышенное в пределах нормы ацетабулярное покрытие, незначительно повышенный ШДУ – 9 (9%, n = 104)	++	+++
5. Пограничная ацетабулярная дисплазия, нормальный ШДУ – 5 (4%, n = 104)	+/++	++/+++

Примечание: через «+++» обозначено высокое проявление качества, «++» – достаточное проявление качества, «+» – умеренное проявление качества.

Характеристика рентгено-морфологических типов строения тазобедренных суставов

Рентгено-морфологический тип 1. Минимальное в пределах нормы ацетабулярное покрытие головок бедренных костей, умеренный или повышенный ШДУ (Coxa valga) (Рисунок 3.3 А, Б, В, Г).

Общая характеристика. Данный тип строения ТС наиболее благоприятен для демонстрации профессиональных хореографических качеств. Представителям данного типа развития ТС свойственны астенический тип конституции, наличие достаточной выворотности в тазобедренных суставах, но несколько ограниченный набор силовых качеств (например, силы мышц на удержание ноги выше 90°–

développé à la seconde). Для обладателей данного типа развития ТС характерна локальная мышечная дистония в области таза и тазобедренных суставов, то есть локальный мышечный гипертонус на фоне локальной мышечной гипотонии (мышечной слабости). Как правило, оптимальным видом коррекции такого гипертонуса являются метод ишемической компрессии, метод постизометрической релаксации, новокаиновые /лидокаиновые блокады на фоне эксцентирически-концентрических упражнений на ассоциированные с гипертонусом группы мышц.

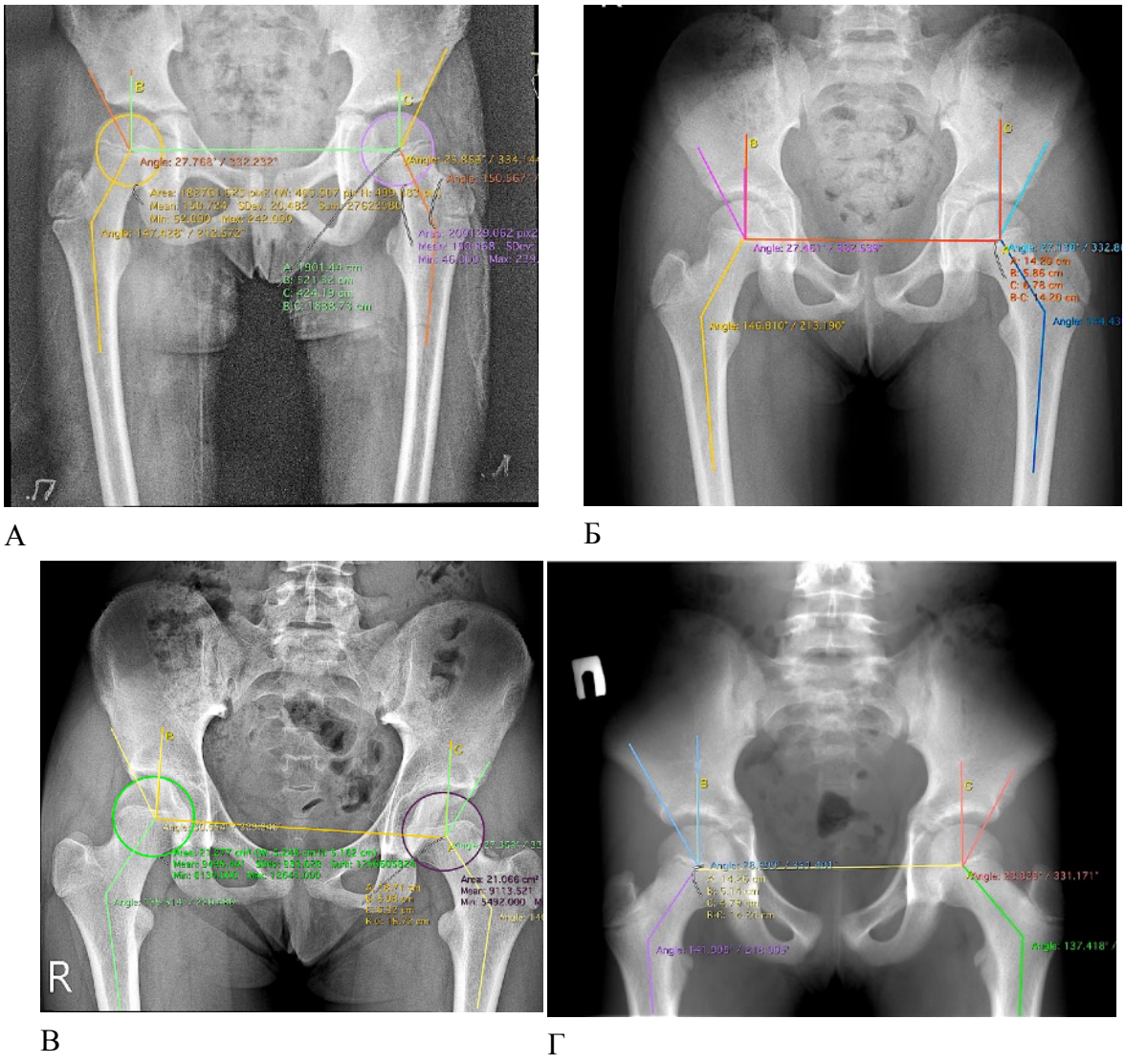


Рисунок 3.3 – Обзорная рентгенография костей таза и тазобедренных суставов в прямой проекции: А – юной танцовщицы 10 лет; Б – рентгенограмма того же пациента в 12 лет (будучи учащейся хореографического училища); В – рентгенограмма того же пациента в 15 лет (учащаяся хореографического училища); Г – спортсменки 10 лет (художественная гимнастика)

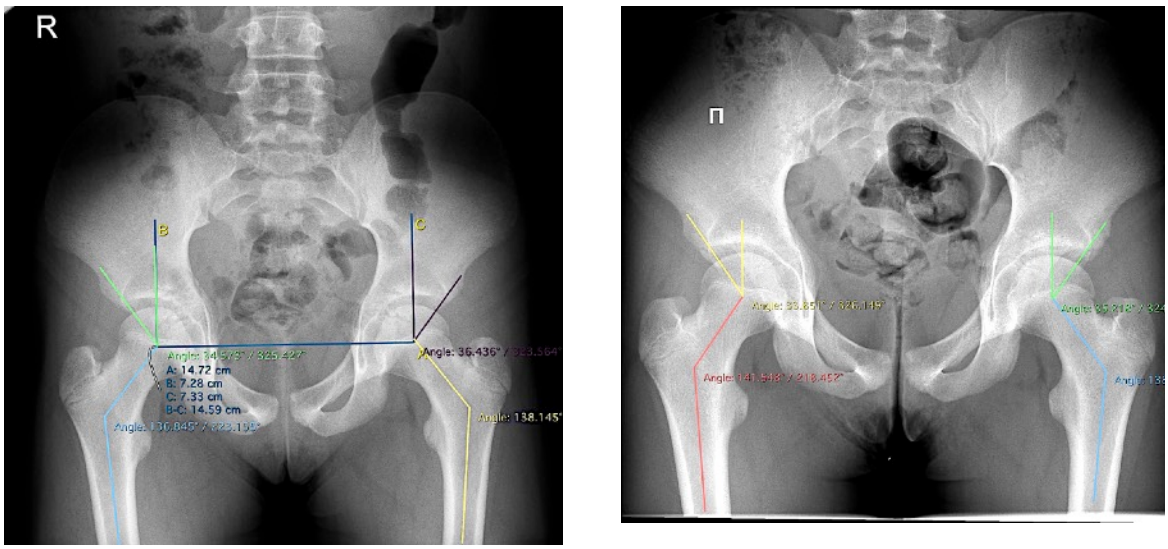
Тип 1 не оптимален для высоких спортивных нагрузок, но наиболее благоприятный для профессиональных занятий хореографией (классическим танцем). Обладателей такого типа развития ТС составляют порядка 33% в когорте видов двигательной активности, связанных с искусством движения.

Пример 1.1. На рентгенограмме тазобедренных суставов в прямой проекции юной танцовщицы 10 лет (Рисунок 3.3 А) костных травматических и деструктивных изменений не выявлено. Суставные щели тазобедренных суставов не сужены. Крыши вертлужных впадин не изменены. Головки бедренных костей без особенностей. Ростковые зоны - соответствуют возрасту. Отмечается увеличение шеечно-диафизарных углов, справа – до 147°, слева –до 150°. Углы Виберга – около 26–28°. Заключение. R–признаки вальгусной деформации бедренных костей.

Пример 1.2. На рентгенограмме тазобедренных суставов в прямой проекции учащейся хореографического училища 15 лет (Рисунок 3.3 В) форма и положение костей правильные. Гребень правой подвздошной кости выше левого на 1 см.; ось крестца совпадает с осью лобкового симфиза. Структура и плотность костной ткани в норме, оссификация по возрасту. Рентгеновская суставная щель левого илиосакрального сочленения прослеживается на всем протяжении, контуры четкие, справа частично скрыта тенью кишки. Тазобедренные суставы: контуры вертлужных впадин волнистые четкие, наружные костные углы сформированы симметрично, глубина вертлужных впадин достаточная, головки бедренных костей правильной округлой формы, контуры четкие, ровные. Рентгеновские суставные щели нормальной ширины. Линия Шентона непрерывная с обеих сторон. Углы Виберга – справа 30°, слева – 27°; ЩДУ (проекционный!) справа – 140°, слева – 140°. Мягкие ткани без особенностей. Заключение. Незначительная асимметрия таза. R–признаки вальгусной установки бедренных костей.

Рентгено-морфологический тип 2. Умеренно увеличенное в пределах нормы ацетабулярное покрытие головок бедренных костей, умеренная Coxa valga (Рисунок 3.4 А, Б). *Общая характеристика*. Данный тип строения ТС позволяет

демонстрировать хореографические качества на среднем уровне (наличие выворотности в тазобедренных суставах), но позволяет демонстрировать силовые мышечные качества на хорошем уровне и хорошо переносить осевые нагрузки. Обладатели данного типа развития ТС более склонны к нормостеническому типу конституции. Данный тип строения ТС, оптимален для видов спорта, связанных с искусством движения, но менее оптимален для хореографии (классического танца).



А Б

Рисунок 3.4 – Обзорная рентгенография костей таза и тазобедренных суставов в прямой проекции: А – учащейся хореографического училища 12 лет; Б – рентгенограмма того же пациента, выполненная через год (13 лет)

Пример 2.1. На рентгенограмме тазобедренных суставов в прямой проекции учащейся хореографического училища 12 лет (Рисунок 3.4 А) костных травматических и деструктивных изменений не выявлено. Суставные щели тазобедренных суставов не сужены. Крыши вертлужных впадин не изменены. Головки бедренных костей без особенностей. Ростковые зоны соответствуют возрасту. Шеечно-диафизарные углы, справа до 137°, слева до 138°. Углы Виберга справа 35°, слева – 36°. Заключение. R–признаки Coxa valga.

Рентгено-морфологический тип 3. Нормальное ацетабулярное покрытие головок бедренных костей, нормальный ШДУ (Рисунок 3.5).

Общая характеристика. Данный тип строения ТС соответствует

педиатрической норме, но не позволяет демонстрировать хореографические (выворотность) и эстетические конституционные качества в полном объеме. Обладатели этого типа развития ТС более склонны к нормостеническому типу конституции. Вместе с тем, это достаточно устойчивый к осевым нагрузкам на тазобедренные суставы тип строения ТС. Реабилитация повреждений от перегрузок области таза и ТС у данного контингента лиц обычно не представляет затруднений и проводится по общим принципам физической реабилитации.

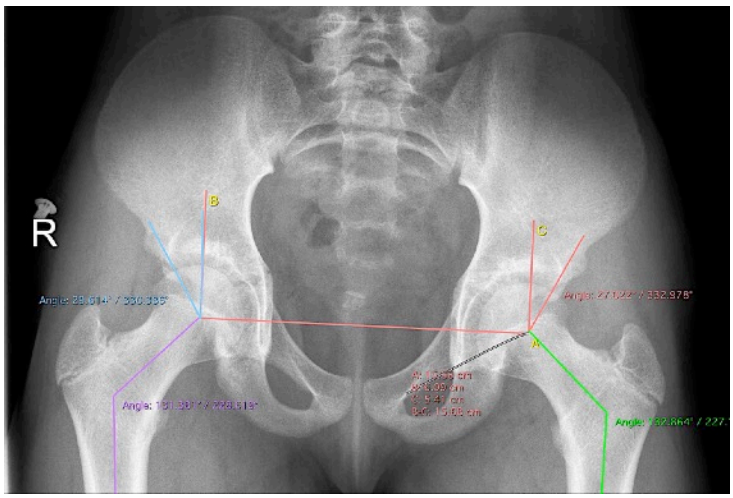


Рисунок 3.5 – Обзорная рентгенография костей таза и тазобедренных суставов в прямой проекции учащейся хореографического училища 12 лет

Пример 3.1. На рентгенограмме тазобедренных суставов в прямой проекции учащейся хореографического училища 12 лет (Рисунок 3.5) костно-деструктивных и травматических изменений не обнаружено. Тазовое кольцо симметричное. Соотношения костей в тазобедренных суставах сохранено. ШДУ 131° справа и 133° слева. Угол Виберга 30° справа, 27° слева. Рентгеновская суставная щель равномерной ширины с умеренно выраженным остеосклерозом субхондральных отделов вертлужной впадины, без остеофитов. Головка обычной формы, контуры четкие ровные. Вертелы бедренных костей без особенностей. Структура однородная с обеих сторон. Соотношение костей в лонном сочленении не нарушено. Мягкие ткани не изменены. Заключение. Рентгенологических данных за наличие костно-деструктивных и травматических изменений нет.

Рентгено-морфологический тип 4. Несколько повышенное в пределах нормы ацетабулярное покрытие головок бедренных костей, умеренная Coxa valga (Рисунок 3.6).

Общая характеристика. Угол Виберга в данном типе ТС отражает повышенное покрытие бедренной кости. Наличие умеренной Coxa valga позволяет обладателям этого типа ТС демонстрировать необходимые хореографические качества.

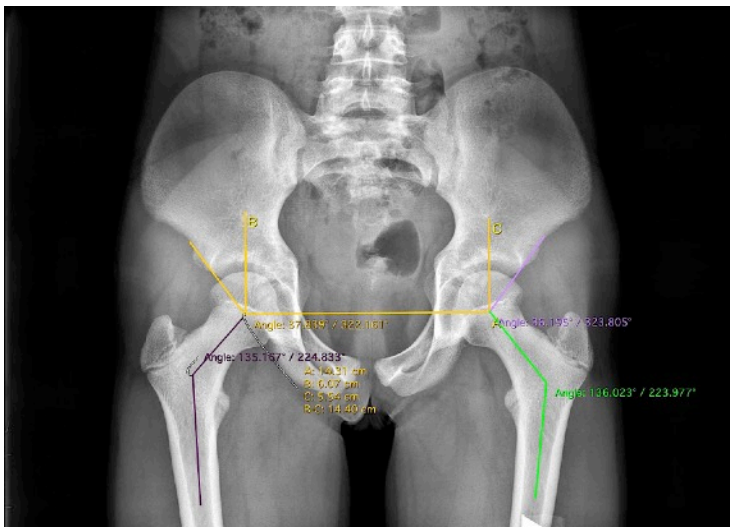


Рисунок 3.6 – Обзорная рентгенография костей таза и тазобедренных суставов в прямой проекции юной спортсменки 11,5 лет (художественная гимнастика) с повышенным ацетабулярным покрытием и признаками Coxa valga

Несмотря на несколько повышенное покрытие головки бедренной кости обладатели этого типа развития ТС могут иметь астенический тип конституции, который является приоритетным во многих видах двигательной активности, связанных с искусством движения. Данный тип строения ТС оптимален для представителей эстетических видов спорта.

Пример 4.1. На рентгенограмме тазобедренных суставов в прямой проекции юной спортсменки(художественная гимнастика) 11,5 лет (Рисунок 3.6) отмечается поперечносуженный таз, некоторая антеторсия бедренных костей. Центрация головок обычная, головки «грибовидной» формы. Крыши вертлужных впадин хорошо развиты. ШДУ справа – 135-136°, слева – 136°. Угол Виберга справа – 38°, слева – 36°. Заключение. Повышенное ацетабулярное покрытие, тенденция к Coxa valga. Spina bifida S1.

Рентгено-морфологический тип 5. Пограничная ацетабулярная дисплазия, нормальный ШДУ (Рисунок 3.7).

Общая характеристика. Представители данного типа развития ТС могут составлять до 10 % в видах двигательной активности, связанных с искусством движения; в данном исследовании – 4 (4%, n = 104). Следует заметить, что угол Виберга, соответствующий пограничной дисплазии может относиться как к разновидности нормы, так и к близким к дисплазии состояниям, когда неадекватная физическая нагрузка может провоцировать развитие патологического процесса. Такие дети и подростки требуют повышенного внимания как со стороны личного тренера и педагога-хореографа, так и со стороны спортивного врача и врачей при этапных медицинских освидетельствованиях (диспансеризациях, обследованиях и т.п.).

Типичным парадоксом для такого типа развития ТС является недостаточная выворотность или недостаточный прямой шпагат при хороших внешних профессиональных данных (астенический тип конституции, достаточно «тонкие кости» и отсутствие мышечной гипертрофии в нижних конечностях). Причина недостаточной выворотности и/или не полного поперечного шпагата часто кроется в шеечно-диафизарном угле, нормальное значение которого может быть недостаточным при пограничном с дисплазией покрытии вертлужной впадины.

С недостающей гибкостью в тазобедренных суставах следует разбираться всегда индивидуально, проведя максимально полное физикальное обследование и тестирование. Применять напрямую спортивно-хореографические средства и методы улучшения гибкости к обладателям такого типа развития ТС недопустимо – слишком высока вероятность травмирования с развитием состояний, вплоть до инвалидизирующих.

В ряде случаев неполная выворотность и/или прямой шпагат остаются индивидуальной конституционной особенностью спортсмена или танцора и он продолжает свою профессиональную деятельность с учетом этих анатомических особенностей (о которых следует поставить в курс личного тренера или педагога-хореографа).

Другой крайностью, свойственной этому типу строения ТС являются повышенные гибкость и выворотность. Наличие сверхоптимальных гибкостных качеств (в том числе и выворотности) должно насторожить спортивного врача, так как повышенная физическая нагрузка на высоких объемах движений в суставах у такого контингента лиц нередко приводит к тяжелым травмам и повреждениям.

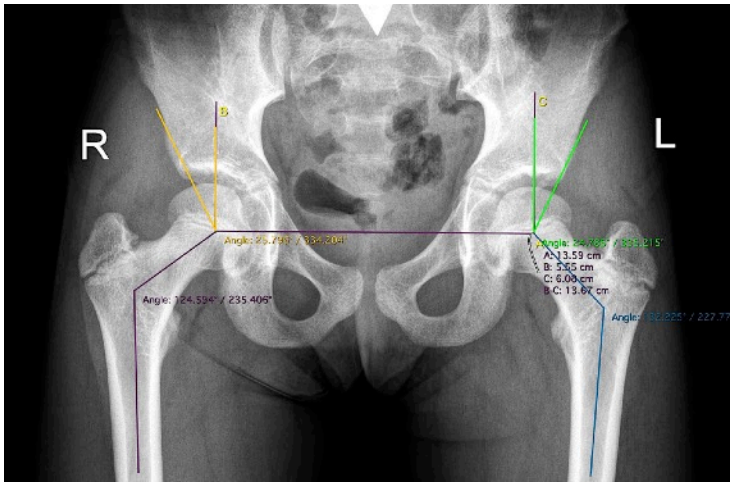


Рисунок 3.7 – Обзорная рентгенография костей таза и тазобедренных суставов в прямой проекции юной спортсменки 11,5 лет (художественная гимнастика) с признаками пограничной дисплазии

Пример 5.1. На рентгенограмме тазобедренных суставов в прямой проекции юной спортсменки (художественная гимнастика) 11,5 лет с признаками пограничной дисплазии (Рисунок 3.7) костно-деструктивных и травматических изменений не обнаружено. Тазовое кольцо симметричное. Соотношения костей в тазобедренных суставах сохранено. ШДУ 124° справа и 132° слева. Угол Виберга 25° справа, 24° слева. Рентгеновская суставная щель равномерной ширины. Головка обычной формы, контуры четкие ровные. Вертелы бедренных костей без особенностей. Структура однородная с обеих сторон. Соотношение костей в лонном сочленении не нарушено. Мягкие ткани не изменены. Заключение. R– признаки пограничной ацетабулярной дисплазии (по углу Виберга слева).

Следует учитывать, что рассмотренные рентгено-морфологические типы строения тазобедренных суставов у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения обладают условной

прогностической педагогической значимостью. То есть для оценки хореографической выворотности, являющейся пространственным (3D) качеством движения в суставе, двумерные (2D) оценки строения тазобедренных суставов, к которым относится рентгенография, использовать нельзя. Более того, рентгенография тазобедренных суставов является медицинским исследованием и проводится строго по показаниям. Другое дело, что при рентгенологическом исследовании можно визуализировать костные признаки (дисплазия ТС, феморо-ацетабулярный импинджмент и др.), ограничивающие профессиональные возможности и качества.

3.3 Идиопатическая кокцигодиния как маска повреждения от перегрузки в видах двигательной активности, связанных с искусством движения

Мышечный гипертонус может встречаться практически во всех видах двигательной активности. Но особое значение приобретает гипертонус области таза и тазобедренных суставов в видах двигательной активности, связанных с искусством движения, когда в ходе тренировочного /репетиционного процесса многократно выполняются выворотные и высокоамплитудные движения нижней конечностью с кратковременным удержанием рабочей ноги.

В исследовании приняли участие 46 юных спортсменов и танцоров от 10 до 14 лет (художественная гимнастика, хореография, средний возраст 12,4 лет, интерквартильный разброс [10,3; 13,1]). В основную I(о) группу включили 34 подростка с дискомфортом и/или болевым синдром в крестцово-копчиковой области, области таза и тазобедренных суставов, усиливающимся при выполнении профессиональных движений и не имеющих в анамнезе травматических повреждений указанной области. Контрольную I(к) группу составили 12 здоровых подростков, тренирующихся в тех же коллективах, которые не предъявляли жалобы на боли.

Пациентам основной I(о) группы был проведен 2-х недельный курс реабилитационных мероприятий, направленных на купирование мышечного

гипертонуса. Курс включал модификацию тренировочного процесса с приоритетным снижением изотонической нагрузки на ассоциированную с болевым синдромом область, инъекционную терапию (Лидокаин, 0.1 % 2мл. + Траумель С, 2.2 мл., см. Приложение А), мануальное лечение (методы ишемической компрессии, постизометрической релаксации) и выполнение специально подобранных упражнений на релаксацию спазмированных мышц. Решение модификации тренировочного процесса и подбор упражнений физической реабилитации принимали совместно с личным тренером-хореографом пациента и с учетом результатов спортивно-хореографического тестирования.

Оценку локального мышечного гипертонуса в области таза и тазобедренного сустава выполняли пальпаторно в соответствии со степенью выраженности болевого синдрома по шкале ВАШ. Обследование групп выполняли до и после курса реабилитации, проводимой в основной I(о) группе. Пациенты контрольной I(к) группы тренировались в обычном режиме. В ходе обследования на наличие локального мышечного гипертонуса в области таза и тазобедренных суставов были получены достоверные различия между представителями основной I(о) и контрольной I(к) групп ($\chi 2$ – Пирсона, $p<0,001$; таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Сравнительная характеристика распределения локального мышечного гипертонуса по обследуемым группам до и после проведения физической реабилитации

Группы обследуемых	Количество (%) обследуемых, имеющих мышечный гипертонус в данной локализации (до / после) курса реабилитации			χ^2, p-значение
	Медиально, в крестцово-копчиковой области	По гребню подвздошной кости	Латерально, в области тазобедренных суставов	
Основная I(о) (n = 34)	30 (88%) / 10 (29%)	25 (74%) / 12 (35%)	16 (47%) / 8 (24%)	$\chi^2 = 5.991$, $p<0.05$/ $\chi^2 =1.948$, $p>0.05$
Контрольная I(к)(n = 12)	3 (25%) / 4 (33%)	4 (33%) / 3 (25%)	2 (17%) / 2 (17%)	

Примечание. Анализ сопряженности проявления признаков (сравнение частот) выполняли с использованием критерия хи-квадрат Пирсона.

До проведения реабилитации в основной группе наблюдали достоверное статистическое различие между основной и контрольной (χ^2 = 5.991, $p<0.05$; таблица 3.8). После проведенного 2-х недельного курса физической реабилитации представителям основной I(о) группы, различия между основной I(о) и контрольными I(к) группами практически отсутствовали (χ^2 =1.948, $p>0.05$; таблица 3.8), что косвенно подтверждает предположение, что именно локальный мышечный гипертонус является ведущей причиной данного состояния.

Всем пациентам исследования (I(о) и I(к) группы) совместно с тренером-хореографом выполняли *спортивно-хореографическое тестирование*, в рамках которого по 10 - балльной визуальной аналоговой шкале боли (ВАШ) оценивали наличие болевого синдрома, а также по 10 - балльной шкале оценивали качество выполнения базовых хореографических элементов: *arabesque* (положение с максимальным разгибанием бедра выпрямленной рабочей ноги в положении наружной ротации), *développé devant* (положение с сгибанием бедра выпрямленной рабочей ноги в положении наружной ротации), *développé à la seconde* (положение с максимальным отведением бедра выпрямленной рабочей ноги в положении наружной ротации), g*rand écart facial* (прямой шпагат), *grand écart latéral* (шпагат правой, левой), *grand plié* (приседание до положения отведения бедра в наружной ротации под прямым углом).

Оценку гипермобильности тазобедренных суставов выполняли в положении лежа на спине, бедра и голени согнуты под прямым углом. Оценивали степень выраженности внутренней ротации при условии увеличения диапазона полной ротации как суммы величин внешней и внутренней ротацией.

В ходе оценки гипермобильности тазобедренных суставов выяснилось, что 25 (74%) пациентов основной I(о) группы и 3 (25%) – контрольной I(к) группы имели ротационную гипермобильность в виде повышенной внутренней ротации на фоне увеличения общего объема ротационных движений в ТС. Все пациенты контрольной I(к) группы с данным признаком гипермобильности имели гипертонус и болевой синдром при пальпаторном тестировании (см. Приложение А).

Достоверных зависимостей между данными спортивно-хореографического тестирования и ротационной гипермобильностью ТС ни в основной, ни в контрольной группах выявлено не было ($p>0,1$). Но была обнаружена достоверная зависимость ($p<0,01$) между бальной оценкой результатов спортивно-хореографического тестирования и бальной оценкой болевого синдрома по шкале ВАШ в основной группе.

Сравнительная оценка болевого синдрома по шкале ВАШ в области максимального мышечного гипертонуса и в ходе спортивно-хореографического тестирования и бальная оценка по результатов спортивно-хореографического тестирования по обследуемым группам до и после проведения физической реабилитации приведена в Таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Сравнительная бальная оценка по шкале ВАШ и по результатам спортивно-хореографического тестирования по обследуемым группам до и после проведения физической реабилитации

Группы обследуемых	Бальные оценки до и после курса реабилитации			χ^2, p-значение
	Баллы по шкале ВАШ в области максимального гипертонуса	Баллы по шкале ВАШ при выполнении спортивно-хореографического тестирования	Баллы согласно спортивно-хореографическому тестированию	
Основная I(о) (n = 34)	5,6±1,3/ 3,2±0,4	4,1±0,4/ 2,6±0,3	3,7±2,1/ 5,8±1,6	$\chi^2 = 39.774$, $p<0.01$/ $\chi^2 = 6.360$, $p=0.042$
Контрольная I(к)(n = 12)	2,6±0,8 / 2,8±0,5	1,8±0,3 / 1,6±0,4	8,4±1,4 / 8,2±1,6	

Примечание. Анализ сопряженности проявления признаков (сравнение частот) выполняли с использованием критерия хи-квадрат Пирсона.

В ходе проведения изокинетического тестирования на «Biodex System 4 Pro» после курса физической реабилитации в основной I(о) группе выяснилось, что билатеральная разница для «Пика вращающего момента отнесенного к массе тела» (Пик ВМ/МТ) была примерно одинаковой в обеих группах, однако

билатеральная разница для «Угла Пика вращающего момента» и «Времени замедления» были достоверно различны в основной I(о) и контрольной I(к) группах (Таблица 3.10). Это косвенно свидетельствует, что для восстановления функциональности активации мышц двухнедельного курса физической реабилитации недостаточно.

Пациентам из основной группы назначений на лучевые и иные виды инструментального обследования не давали так как при клиническом осмотре для этого не было достаточных показаний. Вместе с тем, 11 (32%) пациентам основной группы выполнили инструментальные обследования крестцово-копчиковой области (УЗИ, МРТ и рентгенологические исследования) в сторонней медицинской организации, которые не выявили никаких специфических патологических изменений в указанной области.

Таблица 3.10 – Количество и процент обследуемых с билатеральной разницей показателей изокинетического тестирования в контрольной и основной группе после проведения курса физической реабилитации

Параметры	Количество и процент обследуемых с билатеральным мышечным дисбалансом		p – значение
	Основная I(о) группа	Контрольная I(к) группа	
Пик ВМ/МТ (%)	7 (21 %)	3 (23 %)	0,521
Угол Пика ВМ (град)	11 (32) %	2 (17 %)	0,016
Время замедления (мс)	13 (38 %)	2 (17 %)	0, 023

Примечание: Наличие билатерального мышечного дисбаланса засчитывали при билатеральная разница показателей изокинетического тестирования более 20%. p – значение согласно непараметрическому U – критерий Манна-Уитни.

При написании данной главы использовались следующие публикации автора:

Васильев, О.С. Хореографическая «выворотность» как фенотипический маркер дисплазии соединительной ткани в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. Т. 6. № 3. С. 48-53.

Васильев, О.С. Концепция геовосстановления как новейшая научно-практическая

технология восстановления спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2016. № 2. С. 141-145.

Васильев, О.С. Поуровневая нейрореабилитация типичных повреждений опорно-двигательного аппарата у квалифицированных спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, И.А. Берзин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2017. Т. 7. № 4. С. 55-62.

Васильев, О.С. Ранняя диагностика повреждений от перегрузки опорно-двигательного аппарата у юных спортсменов / О.С. Васильев, И.Т. Выходец, С.П. Левушкин // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2018. № 5(150). С. 28-33.

Васильев, О.С. Средства спортивной подготовки в медицинской реабилитации травм опорно-двигательного аппарата у спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2018. № 1. С. 86-90.

Васильев, О.С. Перегрузки от объема движений в хореографии и спорте (систематический анализ). Часть II. Импинджменты и нестабильность/ О.С. Васильев, И.А. Степаник, С.П. Левушкин, А.В. Рохлин // Новые исследования. – 2020. № 2(62). С. 81-107.

Васильев, О.С. Перегрузки от объема движений в хореографии и спорте (систематический анализ). Часть III. Дисплазия тазобедренных суставов и диспластический тип конституции О.С. Васильев, И.А. Степаник, С.П. Левушкин, А.В. Рохлин // Новые исследования. – 2020. № 2(62). С. 108-130.

Васильев, О.С. Морфологические паттерны строения тазобедренных суставов у учащихся хореографических училищ и юных спортсменов в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов // Вопросы практической педиатрии. – 2020. Т.15. № 6. С. 90-93.

Васильев, О.С. Мышечный гипертонус в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, В.И. Лях // Теория и практика физической культуры. – 2021. № 4. С. 75-77.

Васильев, О.С. Идиопатическая кокцигодиния как «маска» повреждения от перегрузки в видах двигательной активности, связанных с искусством движения /О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, О.А. Султанова, Л.А. Гридин // Вопросы практической педиатрии. – 2021. Т. 16. № 3. С. 110–114.

Глава 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ СПОРТИВНОЙ ПОДГОТОВКИ И ПРИРОДНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ФУНКЦИИ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

4.1 Использование проприоцептивных упражнений при восстановлении функции нижней конечности

При проведении физической реабилитации использовали упражнения на равновесие (проприоцептивные упражнения, Приложение В):

1. упражнения на неустойчивой (нестабильной) платформе;
2. упражнения на стабильной поверхности в сложных условиях;
3. упражнения в условиях зрительной депривации.

1. **Упражнения на неустойчивой (нестабильной) платформе** выполняли на твердой и мягкой неустойчивых баланс-платформах.

Твёрдая неустойчивая баланс-платформа (Рисунок 4.1) – балансировочный диск, балансировочная доска. Неустойчивость при работе на такой платформе возникает в самой платформе, при этом восстанавливаемый спортсмен стоит на платформе устойчиво.



А Б В

Рисунок 4.1 – Проприоцептивные упражнения: А – на балансировочном диске в переднем равновесии на одной ноге с опорой о станок; Б – на твёрдой балансировочной платформе (балансировочной доске) в положении «затяжка в кольцо» на одной ноге с опорой о шведскую стенку; В – совершенствование баланса в стойке на руках на твёрдой балансировочной доске

Мягкая неустойчивая баланс-платформа – балансировочная массажная подушка, мягкая балансировочная полусфера и др. (Рисунок 4.2). Неустойчивость при работе на такой платформе возникает в контакте спортсмена с платформой, при этом сама платформа, стоит на полу устойчиво. Спортивно-тренировочным аналогом мягкой платформы являются прыжки на батуте, ходьба по мягкой поверхности (по толстому слою матов), бег по песку и др. На практике иногда используется комбинация твёрдой и мягкой баланс-платформ. В этом случае мягкую баланс платформу кладут на твердую.



Рисунок 4.2 – Восстановление функции (гибкости) нижней конечности на мягкой балансировочной платформе

Проприоцептивные упражнения на неустойчивой платформе при проведении физической реабилитации области голеностопного сустава применяли по следующей схеме – таблица 4.1.

Таблица 4.1 – Схема применения упражнений на равновесие неустойчивой платформе

Упражнение	Содержание упражнения	Частота, длительность выполнения	Комментарии
Упражнения на балансировочном диске	Вращение диска по и против часовой стрелки на одной и/или двух ногах стоя вертикально или в рабочих положениях (*passé*, *relève*, переднее/боковое равновесие и т.д.)	5–10 повторений, либо по 2–3 минуты на выполнении упражнения. Объем за подход 5–10 минут, выполнять 2–3 подхода 2–3 раза в день	Упражнения могут быть выполнены с закрытыми глазами и с открытыми, с опорой о станок/шведскую стенку или без опоры, с использованием сопротивления и без него
Упражнения на балансировочной доске	Покачивание доски, перемещение по доске, удержание равновесия на одной и/или двух ногах стоя вертикально или в рабочих положениях (*passé*, *relève*, переднее/боковое равновесие и т.д.)	5–10 повторений, либо по 2–5 минуты на выполнении упражнения. Объем за подход 10–15 минут, 1–2 подхода 2–3 раза в день	Упражнения могут быть выполнены с закрытыми глазами и с открытыми, с опорой о станок/шведскую стенку или без опоры. Начинать упражнения рекомендуется с помощью инструктора
Упражнения мягкой балансировочной платформе	Выполнение *relève* в разном темпе с задержками на удержание равновесия на одной и/или двух ногах стоя вертикально или в рабочих положениях (*passé*, переднее/боковое равновесие и т.д.)	5–8 повторений, либо по 1–2 минуты на выполнении упражнения. Объем за один подход 1–2 минут, выполнять 3–5 подходов 2–3 раза в день	Упражнения могут быть выполнены с опорой о станок/шведскую стенку или без опоры, с сопротивлением (утяжелители, эластические ленты) или без них

2. Упражнения на стабильной поверхности в сложных условиях (гимнастическое бревно). Гимнастическое бревно представляет собой стабильную поверхность в сложных условиях: высота над уровнем пола (1.25 м), ширина (10 см.), длина (5 м). Проприоцептивные упражнения на стабильной поверхности в сложных условиях (гимнастическое бревно) при проведении физической реабилитации области голеностопного сустава применяли по следующей схеме – таблица 4.2.

Таблица 4.2 – Схема применения упражнений на равновесие на стабильной поверхности в сложных условиях (на снаряде с предметом или без предмета – Приложение В)

Ходьба и равновесие на бревне без предмета (Рисунок 4.3А)	Передвижение (шаги) по гимнастическому бревну с остановками для выполнения простейших равновесий на одной ноге по типу *passé, arabesque* и т.п.	Выполнить 4–6 «дорожек» за тренировку; 3–5 раз в неделю	Рекомендуется разучивать упражнение на низком бревне. Перед выполнением повторить все равновесия в хореографическом зале перед зеркалом
Ходьба и равновесие на бревне с предметом (Рисунок 4.3Б)	Передвижение (шаги) по гимнастическому бревну с остановками для выполнения простейших равновесий на одной ноге, выполняя манипуляции с предметом	Выполнить 4–6 «дорожек» за тренировку; 3–5 раз в неделю	Перед выполнением упражнения на гимнастическом бревне восстанавливаемый спортсмен должен хорошо владеть техникой манипуляции с предметом на ковре
Ходьба с бросками предмета (Рисунок 4.3В)	Передвижение (шаги) по гимнастическому бревну с выполнением простейших бросков предметом (скакалка, обруч, мяч, булавы)	Выполнить 4–6 «дорожек» за тренировку; 3–5 раз в неделю	Перед выполнением упражнения на гимнастическом бревне восстанавливаемый спортсмен должен хорошо владеть техникой бросков предметов на ковре

На бревне выполняли простейшие хореографические и гимнастические упражнения на месте или с продвижением; разного рода маховые движения, ходьба по прямой, приставным шагом, на *полупальцах*, в глубоком приседе, а также работа с предметом (манипуляции, броски).

Выполнение движений на бревне вызывает так называемую *активизацию глубокого мышечного корсета*, то есть значительно повышают тонус и включают в работу глубокие тонические мышцы, нежели фазические мышцы. Осваивать упражнения на бревне следует на низко лежащем бревне (Рисунок 4.3).



А Б В

Рисунок 4.3 – Примеры упражнений на стабильной поверхности в сложных условиях (гимнастическое бревно): А – равновесие *arabesque*; Б – манипуляция со скакалкой «мельница» в переднем равновесии; В – броски мяча на месте

Техника безопасности: под бревном должны быть уложены в достаточном количестве маты, на бревне работают только босиком, обсуждаемый контингент лиц должен владеть техникой спрыгивания с бревна.

3. Упражнения в условиях зрительной депривации. Упражнения с *депривацией зрительного контроля* выполняли на:

1) обширных поверхностях разного рельефа (Рисунок 4.4 А);

2) на пружинящих поверхностях по типу батута/минитрампа (Рисунок 4.4 Б);

3) на ограниченных поверхностях по типу гимнастического бревна (Рисунок 4.4 В).



А Б В

Рисунок 4.4 – Зрительная депривация. А – ходьба с закрытыми глазами по слабопересеченной местности. Б – прыжки на минитрампе с закрытыми глазами. В – равновесие с закрытыми глазами на гимнастическом бревне в положении «*passé* – руки вверх»

Общая **схема прогрессирования** сложности при выполнении проприорецепторных упражнений:

1. упражнение выполняется на устойчивых платформах,
2. на неустойчивых платформах,
3. на них же, но на одной ноге,
4. то же, но с закрытыми глазами,
5. выполнение динамических действий на неустойчивых платформах.

Используемая схема применения проприоцептивных упражнений со зрительной депривацией при проведении физической реабилитации области голеностопного сустава приведена в Таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Схема применения проприоцептивных упражнений со зрительной депривацией

Упражнение	Описание	Дозирование	Пояснение
Хождение по пересеченной местности с закрытыми глазами	Хождение в обуви с закрытыми глазами (вперед/назад/вбок) с разной скоростью по слабо пересеченной местности на полной стопе/на пятках/на носках по команде останавливаясь для выполнения на одной ноге в рабочих положениях (*passé*, *relève* и т.д.)	Однократно в течение 5–20 минут 1– 2 раза в день, 3–5 раз в неделю	Перед выполнением упражнения с закрытыми глазами следует выполнить эти же упражнения с открытыми глазами. Площадка для выполнения упражнений должна быть безопасной (без ям, выступающих предметов), огороженной.
Прыжки на батуте/ минитрампе	Выполняются небольшие прыжки на батуте (без вращения и с вращением); прыжки на минитрампе с не большим продвижением (вперед/назад/боком) без вращения и с вращением	В первую неделю выполняются по 2–4 подхода за занятие, 2–4 раза в неделю. Далее нагрузка планируется индивидуально	Перед выполнением упражнений с закрытыми глазами обсуждаемый контингент лиц должен хорошо владеть техникой выполнения упражнения с открытыми глазами.
Упражнения на гимнастическом бревне	Передвижение (шаги) по гимнастическому бревну с остановками для выполнения простейших равновесий на одной ноге по типу *passé*	Выполнить 4–6 «дорожек» за тренировку. 3–5 раз в неделю	Перед выполнением упражнений с закрытыми глазами обсуждаемый контингент лиц должен хорошо владеть техникой выполнения упражнений с открытыми глазами.

При оценке эффективности использования проприоцептивных упражнений в физической реабилитации была разработана *модифицированная проба Ромберга* – равновесие на бревне в *passé* по шестой позиции на полной стопе и на *полупальцах* (Рисунок 4.4В), руки вверх (Таблица 4.4, 4.5) и выработаны медико-педагогические нормативы её применения. Указанные нормативы отражают степень готовности восстанавливаемого к получению тренировочных нагрузок.

Таблица 4.4 – Нормативы тестирования по модифицированной пробе Ромберга на бревне на полной стопе с закрытыми и открытыми глазами (в *passé* по шестой позиции) на высокой опоре

Показатель	Равновесие с закрытыми глазами на «здоровой» / «восстанавливаемой» ноге (с)	Равновесие с открытыми глазами на «здоровой» / «восстанавливаемой» ноге (с)
Отлично	20/15 и более	30/ 20 и более
Хорошо	15/10	20/15
Удовлетворительно	10/5	15/10

Таблица 4.5 – Нормативы тестирования по модифицированной пробе Ромберга на бревне на *полупальцах* с закрытыми и открытыми глазами (в *passé* по шестой позиции)

Показатель	Равновесие с закрытыми глазами на «здоровой» / «восстанавливаемой» ноге (с)	Равновесие с открытыми глазами на «здоровой» / «восстанавливаемой» ноге (с)
Отлично	7/5	10/7 и более
Хорошо	7/3	7/5
Удовлетворительно	3/2	5/3

По окончании курса физической реабилитации с использованием проприоцептивных упражнений выполняли тестирование по модифицированной пробе Ромберга на бревне на полной стопе и на *полупальцах* восстанавливаемой конечности (в *passé* по шестой позиции). Тестирование засчитывали в случае выполнения нормативов как с открытыми, так и с закрытыми глазами при условии возможности выполнения нормативов стоя на «здоровой» ноге (Таблицы 4.6, 4.7).

Таблица 4.6 – Результаты тестирования по модифицированной пробе Ромберга на бревне на полной стопе (в *passé* по шестой позиции)

Показатель	Основная (III) группа (n = 27)	Контрольная (IV) группа (n = 27)	p – значение
Отлично	4 (15%)	2 (8%)	p = 0,099
Хорошо	8 (31%)	6 (24%)	
Удовлетворительно	15 (54%)	19 (68%)	

Примечание: При анализе процентной сопряженности основной и контрольной групп число степеней свободы равно 2; значение критерия χ^2 составляет 4,628; критическое значение χ^2 при уровне значимости p = 0,05 составляет 5,991; уровень значимости p = 0,099.

Таблица 4.7 – Результаты тестирования по модифицированной пробе Ромберга на бревне на *полупальцах* (в *passé* по шестой позиции)

Показатель	Основная III(о) группа (n = 27)	Контрольная IV(к) группа (n = 27)	p – значение
Отлично	0	0	
Хорошо	11 (40%)	2 (8%)	p<0,001
Удовлетворительно	10 (36%)	9 (34%)	
тест не выполнили	6 (24%)	16 (58%)	

Примечание: При анализе процентной сопряженности основной и контрольной групп число степеней свободы равно 2; значение критерия χ^2 составляет 35,488; критическое значение χ^2 при уровне значимости p = 0,01 составляет 9,21; уровень значимости p<0,001.

В ходе проведения реабилитации болевой синдром в основной III(о) группе пиково нарастал, но быстрее падал, чем в контрольной IV(к) группе, что косвенно подтверждало лучшую готовность к дальнейшим физическим нагрузкам обсуждаемого контингента лиц в основной III(о) группе (Рисунок 4.5). Усредненная динамика болевого синдрома по шкале ВАШ в ходе 14–дневного курса физической реабилитации приведена на Рисунке 4.5.

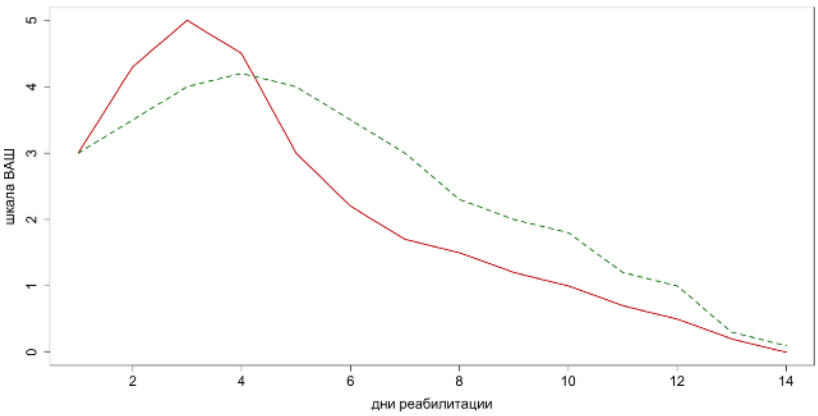


Рисунок 4.5 – Усредненная динамика болевого синдрома по шкале ВАШ. Сплошная линия – основная III(о) группа, пунктирная линия – контрольная IV(к) группа

Согласно непараметрическому U-критерию Манна–Уитни статистически достоверная (p<0,05) нормализация изокинетических параметров тестирования наблюдалась в основной III(о) группе и в контрольной IV(к) группе, при этом билатеральный мышечный дисбаланс (отношение Пиков ВМ/МТ при сгибании на здоровой и восстанавливаемой конечности) в основной группе был значимо

меньше, чем в контрольной. Объем движения (ROM) в контрольной IV(к) и основной III(о) группах ожидаемо был достигнут примерно на одинаковом уровне. Показатели изокинетического тестирования голеностопного сустава с использованием комплекса «Biodex System 4 Pro» на скоростях 90 град/с и 120 град/с после курса физической реабилитации в основной III(о) группе приведены в Таблице 4.8, для контрольной IV(к) группы – в Таблице 4.9.

Таблица 4.8 – Средние показатели изокинетического тестирования голеностопного сустава в основной III(о) группе (n = 27) после курса физической реабилитации

Тестирование		Сгибание (плантафлексия)		Разгибание (дорсифлексия)	
Скорость 90 град/с		Здоровая	Восстанавли-ваемая	Здоровая	Восстанавли-ваемая
Пик ВМ	Н/м	31,4±2,2	29,8±2,1***	5,9±1,4	5,5±2,3***
Пик ВМ/МТ	%	94,6±1,9	88,9±2,8 **	20,1±2,1	17,1±1,8**
Время к Пику ВМ	мс	270,0±22,4	355,0±29,2 *	169,4±9,4	161,0±12,5***
Угол Пика ВМ	град	15,4±1,9	12,3±2,6 ***	22,4±3,2	18,5±4,6**
Время ускорения	мс	76,8±5,5	103,5±9,4 *	105,2±8,3	121,7±11,4 *
Время замедления	мс	303,4±11,2	202,0±14,8*	320,1±12,5	127,6±6,7*
ROM	град	40,6±1,9	42,3±3,2 ***	36,3±2,6	41,4±3,7**
Скорость 120 град/с		Здоровая	Восстанавли-ваемая	Здоровая	Восстанавли-ваемая
Пик ВМ	Н/м	25,4±2,1	25,6±2,6***	3,8±0,9	3,2±0,8***
Пик ВМ/МТ	%	80,2±7,5	88,5±10,4*	14,7±1,9	13,8±2,2***
Время к Пику ВМ	мс	280,2±25,8	245,3±34,6 *	355,2±25,6	151,5±14,8*
Угол Пика ВМ	град	15,2±3,2	5,4±2,4 *	14,1±1,2	16,1±3,1 **
Время ускорения	мс	166,1±15,8	74,2±12,4*	272,5±18,2	143,7±14,3*
Время замедления	мс	69,2±5,6	205,7±14,4*	177±12,2	193,2±13,6 *
ROM	град	38,6±1,2	39,5±1,8 ***	38,8±1,9	40,2±2,4***

Примечание: данные представлены в виде $M \pm \sigma$, M - среднее, σ – стандартное отклонение; * – $p < 0,05$; ** – $0,1 > p > 0,05$, *** – $p > 0,1$ сравнение здоровой и восстанавливаемой конечности по критерию Вилкоксона.

Таблица 4.9 – Средние показатели изокинетического тестирования голеностопного сустава в контрольной IV(к) группе (n = 27) после курса физической реабилитации

Тестирование		Сгибание (плантафлексия)		Разгибание (дорсифлексия)	
Скорость 90 град/с		Здоровая	Восстанавливаемая	Здоровая	Восстанавливаемая
Пик ВМ	Н/м	30,1±1,3	22,4±1,2***	5,8±1,2	5,1±2,3***
Пик ВМ/МТ	%	95,2±2,4	78,4±3,5 *	19,2±1,8	15,2±2,1**
Время к Пику ВМ	мс	255,0±15,6	395,0±20,3 *	167,4±11,7	155,0±15,3**
Угол Пика ВМ	град	13,3±1,7	8,5±2,4 *	21,3±4,4	15,4±5,1*
Время ускорения	мс	65,4±8,5	112,0±11,8 *	114,8±11,5	122,4±14,9 *
Время замедления	мс	314,4±14,3	192,0±11,3*	314,5±16,7	140,0±11,6*
ROM	град	41,2±2,7	43,5±4,3 ***	34,4±3,7	42,5±4,3*
Скорость 120 град/с		Здоровая	Восстанавливаемая	Здоровая	Восстанавливаемая
Пик ВМ	Н/м	24,1±2,2	25,2±3,1***	3,3±0,3	3,4±0,7***
Пик ВМ/МТ	%	77,4±8,4	86,4±9,5*	11,2±2,5	12,1±2,1***
Время к Пику ВМ	мс	278,8±39,7	215,4±55,8 *	334,9±35,6	145,4±24,6*
Угол Пика ВМ	град	16,3±4,6	4,6±3,8 *	12,3±1,0	15,8±4,2 **
Время ускорения	мс	144,2±29,3	62,6±14,8*	289,4±22,7	123,2±18,9*
Время замедления	мс	66,8±9,9	235,5±20,3*	170±16,4	183,1±10,2 **
ROM	град	36,3±1,3	40,4±2,8 *	37,7±2,9	40,3±3,6**

Примечание: данные представлены в виде $M \pm \sigma$, M - среднее, σ – стандартное отклонение; * – $p < 0,05$; ** – $0,1 > p > 0,05$, *** – $p > 0,1$ сравнение здоровой и восстанавливаемой конечности по критерию Вилкоксона.

4.2 Использование эксцентрических и плиометрических упражнений при восстановлении функции нижней конечности

При проведении восстановления функции нижней конечности после повреждений от перегрузки пациентам основной V(o) группы использовали адаптированные из специальной физической подготовки эксцентрические и плиометрические упражнения: глубокие прыжки с выпрыгиванием, прыжки с места в группировку, выпады двумя ногами из упора присев в упор лёжа, пружинящие выпады со сменой ног, многоскоки по типу «прыжков касаясь» на мягкой поверхности и на минитрампе, прыжки на батуте со сменой ног в шпагат (в том числе в утяжелителях), маховые смены ног (с эластическими лентами и в утяжелителях) и др.(Рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – Примеры адаптированных из специальной физической подготовки эксцентрических и плиометрических упражнений: А – прыжки на батуте на двух ногах по шестой позиции; Б – то же, но в гимнастической лонже; В – прыжки на батуте на голени; Г – гимнастическая растяжка тазобедренных суставов на выворотность (в *demi-plié*) на батуте; Д – гимнастическая растяжка аддукторов бедра в седе с наклоном вперед ноги в стороны на минитрампе; Е – прыжки на батуте в прямой шпагат (без и с утяжелителями на голени)

Физическая реабилитация в основной V(o) группе приводилась с использованием адаптированных эксцентрических и плиометрических упражнений по специально разработанной схеме (Таблица 4.10). Перед выполнением упражнений проводили тщательную разминку, с упором на гибкость.

Таблица 4.10 – Схема применения эксцентрических и плиометрических упражнений при проведении физической реабилитации в основной V(o) группе

Упражнение	Содержание упражнения	Частота, длительность выполнения	Комментарии
Прыжки на батуте стоя	Выполняются серии прыжков на батуте по шестой позиции разной амплитуды.	Выполняются по 2–4 подхода по 20–30 прыжков за подход; 2–4 раза в неделю	Упражнение рекомендуется выполнять в ортезе. При прогрессировании нагрузки допускаются утяжелители
Прыжки на батуте на голени (в седе)	Выполняются серии прыжков на батуте на голени (в седе). Прыжки могут комбинироваться с прыжками стоя	Выполняются по 2–4 подхода по 20–30 прыжков за подход; 2–4 раза в неделю	Упражнение рекомендуется выполнять в ортезе. При прогрессировании нагрузки допускаются утяжелители
Упражнения на батуте (минитрампе) на повышение эластичности мышц-аддукторов	Выполняется серия покачивающих движений в положении лежа в *demi–plié*, в седе с наклоном вперед ноги в стороны	Выполняются по 1–2 подхода по 30–60 «качей» за подход; 2–4 раза в неделю	При прогрессировании нагрузки допускаются усиление амплитуды давления/кача партнером
Пыжки в шпагат на батуте	Выполняется серия прыжков в шпагат (правой, левой, прямой) с/без чередования прыжков стоя ноги вместе	Выполняются по 1–2 подхода по 20–30 прыжков за подход; 2–4 раза в неделю	При прогрессировании нагрузки допускаются утяжелители на голени

В ходе проведения реабилитации был разработан набор критериев оптимальной тренировочной нагрузки, который верифицировали (post factum) после проведения восстановительного занятия в ходе осмотра врачом

травматологом-ортопедом. В качестве критериев выхода на физиологическую стресс-нагрузку использовали результаты динамических исследований самочувствия (дневник самонаблюдений спортсмена, визуальная шкала боли), мониторинг ЧСС, а также клинические травматолого-ортопедические тесты оценки состояния мышечно-связочного аппарата спортсмена (Таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Критерии выхода на оптимальную эксцентрическую (плиометрическую) физиологическую стресс-нагрузку

Признаки\ Нагрузка	Нагрузка недостаточная	Оптимальная физиологическая нагрузка	Избыточная нагрузка
Показатели ВАШ в баллах	1–2 балла	3–4, реже 5 баллов	5–6 баллов и выше
ЧСС	ЧСС постоянно в процессе выполнения комплекса	ЧСС **плавно** повышается в процессе выполнения комплекса до 50%, плавно понижается по его завершении. Восстановление пульса до 3-5 минут.	ЧСС **скачкообразно** повышается в процессе выполнения комплекса до 100%, кривая понижения ЧСС неравномерна. Восстановление пульса замедлено (больше 5 мин).
Пальпация сухожильно-мышечно-связочного аппарата в области повреждения после выполнения упражнения	Адекватная умеренная болезненность	Болезненность повышена, но характер болевого синдрома адекватный	Болезненность резко повышена, характер болевого синдрома неадекватный
Отёчный синдром через 10–15 мин после выполнения комплекса	не меняются	не меняются	нарастает
Отёчный синдром на следующий день перед тренировкой	не меняются	не меняются или уменьшается	увеличен
Самочувствие на следующий день перед тренировкой	может быть неудовлетворительным в силу, недостаточности нагрузки на предыдущей тренировке	хорошее, реже, удовлетворительное	неудовлетворительное в силу перегрузки на предыдущей тренировке

По окончании 14-дневного курса реабилитации спортсменам основной V(о) и контрольной VI(к) групп выполняли врачебно-педагогическое тестирование, состоящее из трех блоков:

1) тестирование на комплексе «Biodex System 4 Pro» для оценки биомеханических характеристик восстанавливаемой области ОДА;

2) тестирование при помощи оптико-электронной системы «Qualisys»;

3) выполнение педагогического тестирования, как оценки физических качеств спортсмена и готовности к возвращению к полноценному тренировочному процессу (прыжок в длину с места, челночный бег, прыжки через скакалку и т.п.).

Статистически достоверная разница в нормализации билатерального мышечного дисбаланса наблюдалась при незначительных и умеренных нарушениях (Таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Результаты оценки билатерального мышечного дисбаланса по окончании реабилитационных мероприятий

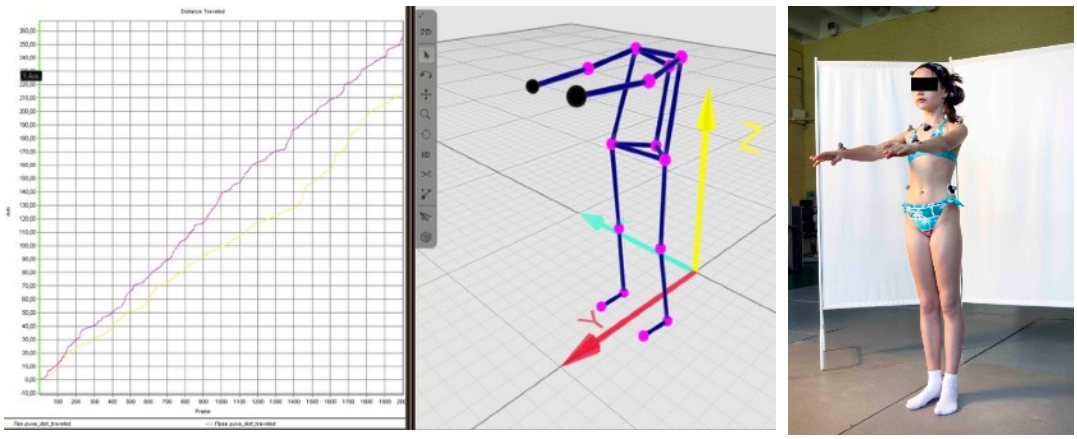
Билатеральный мышечный дисбаланс (степень нарушения)	Основная (V) группа (n = 82)	Контрольная (VI) группа (n = 82)	p – значение
Незначительные (< 15%)	63 (77%)	43 (52%)	p = 0.003
Умеренные (15–20%)	13 (16%)	32 (39%)	
Значительные (>20%)	6 (7%)	7 (9%)	

Примечание: Число степеней свободы равно 2; значение критерия χ^2 составляет 11,873; критическое значение χ^2 при уровне значимости p = 0,01 составляет 9,21; уровень значимости p = 0,003.

Значимые нарушения при диагностике билатерального мышечного дисбаланса в основной V(о) и контрольной VI(к) группах были обнаружены у обследуемых, возвращение которых к полноценной профессиональной деятельности было проблематичным, и требовало специфического лечения. Примерно одинаковое количество таких обследуемых 6 (7%, n = 82) в основной V(о) группе и в контрольной VI(к) – 7 (9%, n = 82) группе косвенно указывает на независимость распределения испытуемых по группам. Незначительный мышечный дисбаланс в основной V(о) группе обнаружили у 63 (77%, n = 82)

обследуемых, в отличие от контрольной VI(к) группы – 43 (52%, n = 82); умеренный мышечный дисбаланс в основной V(о) группе обнаружили у 13 (16%, n = 82) обследуемых, в отличие от контрольной VI(к) группы – 32 (39%, n = 82), что косвенно подтверждает эффективность проводимых в основной V(о) группе реабилитационных мероприятий. В рамках тестирования при помощи оптико-электронной системы «Qualisys» были разработаны и выполнены разновидности пробы Ромберга.

Проба Ромберга – I с вытянутыми вперед руками, стоя на двух ногах с закрытыми глазами (Рисунок 4.7). Основная задача пробы состояла в удержании статического положения, стоя с вытянутыми вперед руками на уровне плечевых суставов в течение 10 секунд.



А., Б. В.

Рисунок 4.7 – Измерение амплитуды движения правой и левой кисти при удержании статической позиции в течение 10 с. в пробе Ромберга–I, стоя на двух ногах *с закрытыми глазами*: А – пример графика пути колебания запястья у представителя основной V(о) группы за 10 с. Линейность графика отражает равномерность колебаний запястья; Б – цифровой скелет тестируемого; В – проведение теста

В ходе теста производили трехмерную биомеханическую съемку и определяли *коэффициент асимметрии* (КА) движения лучезапястных суставов:

$$KA = \frac{AON - AOD}{AOD} \cdot 100\%, \qquad (4.1)$$

где *AOD* – амплитуда колебаний доминантной руки за время тестирования (правой для правшей), *AON* – амплитуда колебаний недоминантной руки. Амплитуду движения рассчитывали как траекторию маркеров на этих суставах в трехмерной системе координат. Погрешность измерения перемещения этих точек

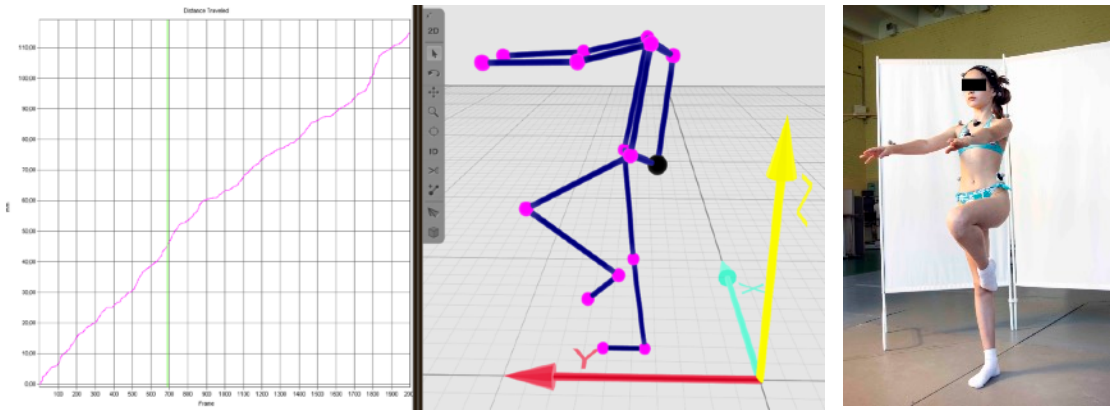
не превышала 1,6 мм. Частота съемки составляла 150 Гц. Полученные данные представлены в Таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Средняя амплитуда колебаний правого и левого запястья, средний коэффициент асимметрии в пробе Ромберга–I, стоя на двух ногах *с закрытыми глазами* с вытянутыми вперед руками в основной V(о) и контрольной VI(к) группе

Группы	Параметры тестирования ($M \pm \sigma$)		
	AON (мм)	*AOD* (мм)	*KA* (%)
Основная (V)	105 (±12)	99 (±15)	6,1 (±2,3)
Контрольная (VI)	227 (±9)	203 (±7)	13,1 (±4,1)
p – значение	0,024	0,012	0,015

Примечание: p – значение по U-критерию Манна–Уитни

Проба Ромберга–II, стоя на одной ноге (другая в passé в VI позиции) с закрытыми глазами – удержание статического положения, стоя поочередно на правой и левой ноге с открытыми глазами (Рисунок 4.8).



А Б В

Рисунок 4.8 – Измерение амплитуды движения правой и левой кисти при удержании статической позиции в течение 10 с. в пробе *Ромберга–II*, стоя на одной «здоровой» опорной ноге: А – пример графика пути колебания запястья у представителя основной группы за 10 с. Линейность графика отражает равномерность колебаний запястья; Б – цифровой скелет тестируемого; В – проведение теста

Основная задача теста заключалась в удержании данной позы в течение 10 секунд. В дальнейшем определяли амплитуду движения лучезапястных суставов правой и левой рук. Амплитуда движения рассчитывали как траекторию маркеров на этих суставах в трехмерной системе координат. Погрешность измерения перемещения этих точек не превышала 1,6 мм. Частота съемки составляла 150 Гц.

Для определения коэффициента асимметрии (КА) определяли соотношение в амплитуде колебания лучезапястного сустава при удержании позы, стоя на восстанавливаемой после повреждения ноге. Коэффициент асимметрии рассчитывали по формуле (4.1) для положений, стоя на восстанавливаемой после повреждения ноге (Таблица 4.14) и стоя на «здоровой» ноге (Таблица 4.15).

Таблица 4.14 – Средняя амплитуда колебаний правого и левого запястья и коэффициент асимметрии при тесте Ромберга с вытянутыми вперед руками стоя на восстанавливаемой после повреждения опорной ноге *с закрытыми глазами*

Группы	Параметры тестирования ($M \pm \sigma$)		
	AON (мм)	*AOD* (мм)	*KA* (%)
Основная (V)	230 (±10)	191 (±7)	20,4 (±5,2)
Контрольная (VI)	294 (±9)	183 (±8)	68,5 (±12,7)
p – значение	0,041	0,052	0,012

Примечание: p – значение по U-критерию Манна–Уитни

Таблица 4.15 – Средняя амплитуда колебаний правого и левого запястья и коэффициент асимметрии при тесте Ромберга с вытянутыми вперед руками стоя на одной «здоровой» опорной ноге *с закрытыми глазами*

Группы	Параметры тестирования ($M \pm \sigma$)		
	AON (мм)	*AOD* (мм)	*KA* (%)
Основная (V)	152 (±8)	143 (±11)	8,3 (±1,8)
Контрольная (VI)	254 (±7)	176 (±6)	44,3 (±14,6)
p – значение	0,017	0,024	0,016

Примечание: p – значение по U-критерию Манна–Уитни

Согласно непараметрическому U-критерию Манна–Уитни по окончании курса реабилитации средние коэффициенты асимметрии (КА) по всем тестам в основной V(о) группе были достоверно меньше, чем в контрольной VI(к) группе. При этом стоя на здоровой ноге коэффициент асимметрии был достоверно ниже, чем стоя на восстанавливаемой ноге как в контрольной VI(к), так и основной V(о) группе.

Согласно данным спортивно-педагогического тестирования, к завершению курса реабилитации 66 (81%, n = 82) представителей основной V(о) группы были допущены к полноценному тренировочному процессу, 8 (10%, n = 82) допущены к

тренировкам с ограничениями, 7 (9%, n = 82) требовали специфического лечения. В то время как в контрольной VI(к) группе только 51 (62%, n = 82) пациент были допущены к полноценному тренировочному процессу, 16 (19%, n = 82) были допущены с ограничениями и с рекомендацией продолжить курс реабилитации, 9 (11%, n = 82) требовали специфического лечения (Таблица 4.16).

При продолжении курса реабилитации в основной V(о) и контрольной VI(к) группе до полного восстановления время реабилитации в контрольной группе было в среднем больше на 30–60% в зависимости от характера повреждения и индивидуальных особенностей спортсмена. Таким образом, несмотря на широкий возрастной диапазон, разницу в характере и степени повреждений от перегрузки, проведение реабилитационных мероприятий с применением средств спортивной подготовки дает выигрыш по продолжительности процесса реабилитации и степени готовности восстанавливаемого к полноценному тренировочному процессу.

Таблица 4.16 – Показатели эффективности реабилитационного процесса в основной V(о) и контрольной VI(к) группах согласно данным педагогического тестирования

Уровень допуска к тренировочному процессу	Группы		p – значение
	Основная V(о), (n = 82)	Контрольная VI(к), (n = 82)	
Допущены к полноценному тренировочному процессу	66 (81%)	51 (62%)	p = 0,040
Допущены к тренировочному процессу с ограничениями	8 (10%)	16 (19%)	
Не допущены; требовали специфического лечения	7 (9%)	9 (11%)	

Примечание: Число степеней свободы равно 1; значение критерия χ^2 составляет 4,253; критическое значение χ^2 при уровне значимости p = 0,05 составляет 3,841; уровень значимости p = 0,040.

4.3 Использование природно-географических факторов при восстановлении функции нижней конечности

Формой организации восстановительных (реабилитационных) мероприятий с использованием природно-географических факторов в VII группе были избраны спортивно-восстановительных сборы. В ходе проведения курса восстановления с использованием факторов природы были разработаны следующие **гигиенические рекомендации**.

При проведении реабилитации в водной среде следили, чтобы её температура была оптимальной (24–27 градусов). Более прохладная вода тонизировала мышцы, что становится препятствием к соединительно-тканной растяжке. Восстановительный эффект значительно повышался, когда восстанавливаемый был способен совершить длительные заплывы (более 45 минут нахождения в воде, либо преодоление боле 1–1,5 километров). При длительных заплывах гидрокостюм предохранял организм обсуждаемого контингента лиц от переохлаждения, которое может наступить даже при температуре выше 24 градусов по Цельсию, если заплыв длительный.

После выполнения упражнений в воде морскую соль не смывали в душе. Так морская вода оказывала более выраженный тонизирующий эффект на тело. При выполнении упражнений в воде, следили за температурным балансом воздух-вода и учитывали силу ветра. Упражнения на берегу выполняли как на сухую, так и на влажную кожу; как в безветренную погоду, так и при легком ветре, на солнце и без него, при разной температуре воздуха, что вызывало выраженный закаливающий эффект.

При организации восстановительных мероприятий учитывали, что упражнения лечебной гимнастики на открытом воздухе в летний период времени следует выполнять либо утром до 11–12 часов, либо, во второй половине дня, после 16 часов, когда спадает жара. Во избежание теплового \ солнечного удара не выполняли упражнения под палящем в зените солнце. При планировании ходьбы босиком учитывали, что с 12 до 16 часов песок или галька могут быть горячими. Перед началом занятия тщательно осматривали пляж и прилегающее морское дно

на предмет наличия острых камней и иных травмирующих предметов.

При организации восстановления функции нижней конечности с задействованием фактора водной среды выполняли следующие комплексы упражнений: ходьба босиком по неравномерному береговому рельефу, ходьба и бег в воде, длительное плавание с минимальным сопротивлением воде, гимнастические /хореографические упражнения в воде, прыжковые упражнения в водной среде, прыжки в воду.

Длительная **ходьба босиком** по галечном берегу (20-45 мин.) оказывала тонизирующий и релаксирующий эффекты на свод стопы (Рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 – Ходьба босиком по галечном берегу

Ходьба босиком по песочному берегу проявлялась в атипичной для спортсменов и танцоров работе мышц нижней конечности, что приводило к значительному уменьшению гипертонуса мышц голени и стабилизации сухожильно-связочного аппарата голеностопного сустава. Наиболее эффективными для мышечно-связочного аппарата голеностопного сустава и стоп были «контрастные» прогулки вдоль моря, когда чередовали передвижение по прибрежному мокрому от волн берегу с кратковременным выходом на горячий сухой берег. Ходьба вдоль берега с разным рельефом (галька, валуны разного размера) активизировала работу мышц тазобедренного сустава и нижней конечности в зависимости от перепада высот рельефа местности.

В ходе исследования были получены показатели вовлеченности суставов

нижней конечности при ходьбе по поверхности разного рельефа местности, а также разработаны ориентировочные рекомендации по начальному использованию такого вида ходьбы в реабилитационных целях (Таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Вовлечение суставов и рекомендуемый режим ходьбы по поверхности разного рельефа местности

Рельеф местности (перепад высот h в см.)	Вовлечение суставов	Рекомендуемый режим
песок, мелкая галька (h < 10 см.)	преимущественно голеностопный сустав	ходьба в темпе 4–6 км/час в течение 30–90 мин 1–2 раза в день
крупная галька, небольшие валуны (10 <h < 20 см.)	голеностопный, коленный суставы	ходьба в умеренном темпе 3–4 км/ час общим объемом течение 15–60 мин 1–2 раза в день
крупные валуны (20 < h см.)	преимущественно тазобедренный и коленный суставы	ходьба в медленном темпе 2–3 км/ час общим объемом течение 10–30 мин 1–2 раза в день

Ходьба и бег в воде (5-15 мин.) эффективно дополняли ходьбу босиком по берегу. При выполнении бега в воде следили за поддержанием имитации классической техники бега по суше; избегали чрезмерного наклона корпуса, при котором начиналась имитация плавательных движений. Бег в глубокой воде требовал минимального диапазона движений в плечах и большого мышечного усилия при движении в тазобедренном и коленном суставах. Заканчивали упражнения на берегу принятием «**песочной ванны**» в течение 10–15 минут. Для этого в песке вырывали небольшое углубление для тела, давали песку в яме прогреться, затем ложились в эту ямку и сверху тело присыпали горячим песком, оставляя открытыми область головы и сердца.

Периодически песочную ванну заменяли элементами глинотерапии. Аппликации из глины оказывали комплексное воздействие на опорно-двигательный аппарат. Глину разводили тёплой водой до консистенции сметаны, обмазывали тело и давали высохнуть на солнце в течение примерно 10 минут. После чего её смывать в море. Для проведения глинотерапии использовали только чистую глину и следили, чтобы, на теле не было болячек, ссадин и порезов перед её нанесением.

Плавание с минимальным сопротивлением воде выполняли по адаптированной методике Т. Лафлина (Terry Laughlin) «Total Immersion – Полное погружение» для совершенствования техники плавания на длинные дистанции в триатлоне (Лафлин Т., 2014). Суть её заключалась в том, что обсуждаемый контингент лиц должен стараться плыть с минимальным сопротивлением водной среде. Один из ключевых моментов методики, который и дал ей название «Полное погружение» – при выполнении упражнений следует удерживать всё тело под водой. Основная направленность адаптируемой методики «Total Immersion – Полное погружение» – формирование мышечного чувства баланса при скольжении в воде на груди и на спине с опорой руками на предмет – плавательную доску или мяч и т.п.. (Рисунок 4.10) (Приложение Г).



Рисунок 4.10 – Скольжение в воде на груди с «опорой» на предмет (гимнастический мяч)

Сопротивление воды позволяло не только ощутить «вытянутость» тела, но и естественным образом выстраивало линию в теле. Как только обсуждаемый контингент лиц начинал достаточно уверенно выполнять упражнения на скольжение с предметом, приступали к выполнению тех же скольжений без предмета (доски, колобашки и т.п.). При этом следили, чтобы голова и шея располагались по оси туловища, пятки держали вместе, носки оттягивали. При скольжении на груди после выполненного вдоха лицо опускали под воду, куда и производился выдох. Следили, чтобы скольжение выполняли плавно, с минимумом брызг.

Одним из важнейших упражнений на скольжение в воде являлось скольжение на боку в положении «супермена» (Рисунок 4.11А, Б): одна рука вытянута по линии движения, другая – на бедре, голова «свешивается» вниз, движение ногами

производили как в кроле.



А



Б

Рисунок 4.11 – Положение «супермен»: А – отработка положения на гимнастическом ковре; Б – выполнение скольжения в воде

Гимнастические/хореографические упражнения в воде включали специальные упражнения на укрепление мышц туловища и ног (подъемы ног с опорой о бортик бассейна и др.)(Приложение Г).

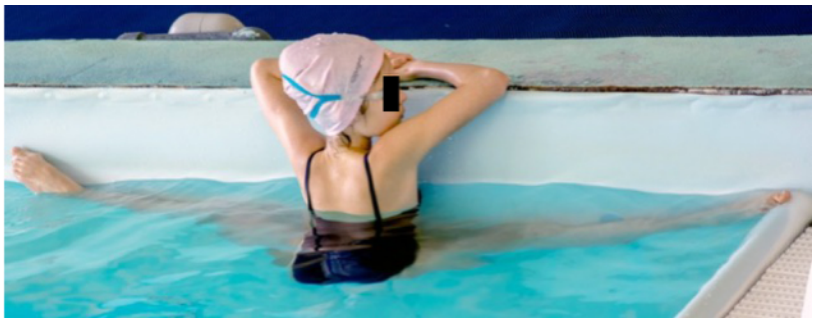


Рисунок 4.12 – Растяжка аддукторов бедра в воде на прямой шпагат

При подъеме ног вперед, напряжение передается на прямые мышцы живота, а при подъеме с разведением ног в стороны «V» работают в основном косые мышцы живота. Эксцентрическую работу мышц живота задействовали с помощью резинового мяча, выполняя сгибание / разгибание туловища с гимнастическим мячом в прямых руках. На рисунках 4.12 – 4.14 приведен используемый комплекс хореографической гимнастики в воде).



А Б

Рисунок 4.13 – Упражнения в воде: А – вис с максимальным сгибание ТС, Б – повышение гибкости при наклонах во фронтальной плоскости

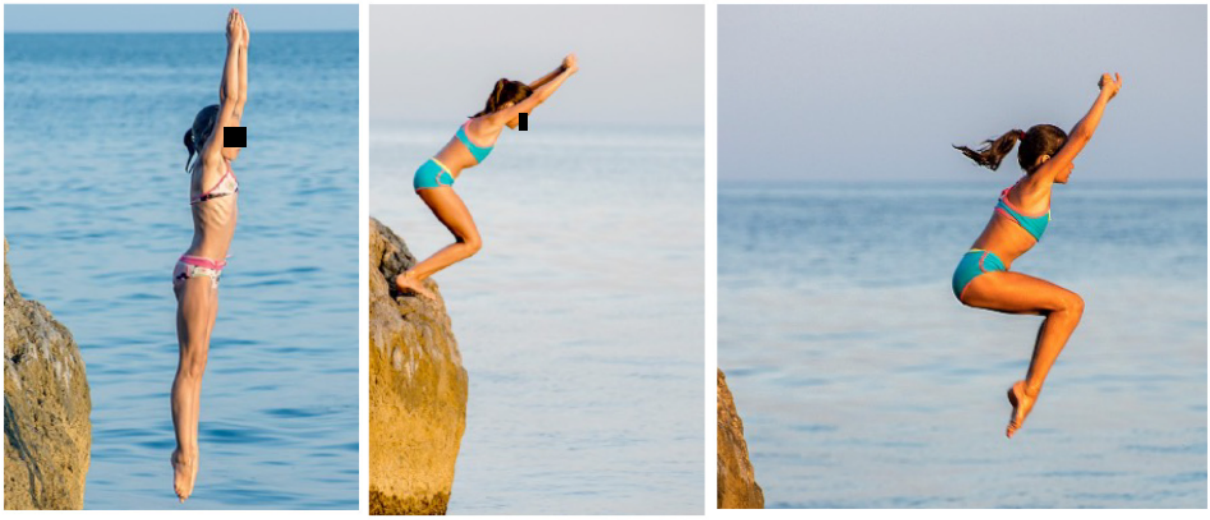


А Б

Рисунок 4.14 – Упражнение на повышение объёма движений в тазобедренном суставе: А – на разгибание в тазобедренном суставе; Б – на отведение в тазобедренном суставе

Прыжковые упражнения в водной среде особенно важны для восстановления функции нижней конечности в видах двигательной активности, где прыжки и повороты являются важными элементами технического мастерства. В рамках реабилитации выполняли прыжки на двух ногах с переходом к прыжкам на одной ноге с прогрессированием к прыжкам с поворотами на 90° и 180° в обе стороны. Прыжки в воду с небольшого возвышения в море или с мостика в бассейне являлись дальнейшим прогрессированием прыжковых упражнений в рамках реабилитации ОДА. Ключевым звеном в этих упражнениях являлась «выстройка тела» (формирование сухожильно-мышечного тонуса) при входе в воду (Рисунок 4.15).

Прыжки в воду в реабилитационных целях производили с высоты не более 2–х метров, при глубине водоёма была более 3–5 метров. Никаких защитных средств при прыжках в воду не использовалось: и очки, и шапочка при входе в воду срываются. Если в бассейне трамплин для прыжков в воду нависает над водой, то при прыжках в открытой воде мест с таким нависанием практически не встречается и при прыжках в море отталкивались как можно дальше вперед (Рисунок 4.15Б).



А Б В

Рисунок 4.15 – Элементы упражнений на прыжки в воду: А – «выстройка тела» при входе в воду «солдатиком»; Б – типичное отталкивание при прыжках в открытую воду со скал; В – начальная фаза принятия группировки (тело сохраняется максимально натянутым)

Исходные положения для большинства простых прыжков («солдатик», «солдатик с группировкой», «спад вперёд», «рыбка» и т.п.) были следующими: руки в стороны, чуть вперед ладонями вниз, чтобы видеть кончики пальцев периферическим зрением. На замахе, сохраняя натянутость рук, опускали их к бёдрам и делали быстрый энергичный взмах руками по дуге вперёд-вверх ладонями вниз (тыльной частью вверх), в верхней точке взмаха ладони слегка ротировали наружу. В исходном положении смотрели вперёд, а не вниз на воду – так было лучше сосредоточиться на прыжке.

В рамках физической реабилитации ОДА выполняли следующие виды прыжков в воду:

1. *Прыжок «Солдатик»* (Рисунок 4.15А). Указание: линию тела держать натянутой, руки вверх на оттяжку. Не наклонять голову, не заваливать плечи и корпус вперёд, грудную клетку втянуть («проваливать») внутрь, втянуть живот, поджать копчик. При прыжке в воду солдатиком даже с небольшой высоты 1–2 метра эффективно нарабатывалось чувство оси, баланса и равновесия, так как любое, даже незначительное отклонение от оси при свободном падении сразу ощущалось потерей баланса.

2. *Прыжок «Солдатик с группировкой»*. Указание: спина прямая, не отклонять тело назад, руки держать натянутыми строго вверх, таз ровно (без наклона вперед/назад). При взятии группировки колени подтягивать выше к плечам.

3. *Упражнение «спад вперёд» (*Рисунок 4.15Б). Исходное положение – руки в стороны, чуть вперед. Тело наклоняется вперёд, сгибаясь строго в тазобедренных суставах как в упражнении «складка» (наклон вперед в седе). Далее следует выйти на *полупальцы* и, теряя равновесие, совершить свободное падение вперёд как можно быстрее вытянув ноги и распрямиться до положения лодочка с вершиной в грудном отделе позвоночника.

Типичная ошибка – непроизвольное отталкивание от поверхности (бортика, скалы) в момент потери равновесия. Указание: в момент свободного падения важно удерживать лодочку в теле, сильно втягивать грудную клетку ребрами вверх и зажать ягодицы, сохраняя максимальной оттяжку рук. Руки оттянуть дальше вверх, за голову по касательной к воде. При входе в воду руки держать прямыми, вдоль ушей, оттягивая их вверх и немного назад. Ладони – в замок. Возможная ошибка – опускать руки вниз в свободном падении и при входе в воду.

4. *Прыжок «Рыбка»* (прыжок-спад вперёд прямым телом). Указание: важно выпрыгивать «холкой» вверх с округлёнными лопатками и округлённой поясницей как в лодочке. Чётче и быстрее производить замах руками вверх перед прыжком. При спаде вперёд и рыбке в момент отхода от опоры смотреть в воду чуть дальше места входа – потом в место входа, четче разворачивать ладонь натянутых рук на

вход. Ладони всегда смотрят в воду, руки напряжены и оттянуты, локти прямые. Носки ног оттянуть, ноги и всё тело максимально натянуто. А в момент входа в воду тело натянуть ещё сильнее.

5. *Прыжок «козёл вперёд».* Техника: выпрыгнуть как солдатиком, но тянуться холкой вверх и на излёте взять группировку, выполнить полусальто (перевернуться на 180^0) и войти в воду руками как при спаде вперёд. Указание: важно после полусальто смотреть в воду в точку входа и держать лодочку на входе, не прогибать корпус в пояснице назад.

В бассейне, при выполнении «спад вперёд» и «козел вперёд» прыгуны уходят как бы «под доску» (трамплин), поэтому при выполнении этих элементов на открытой воде с естественных возвышений выполняли выпрыгивание с достаточным запасом вперёд.

Треккинговая (и скандинавская) ходьба – вид физической активности, вовлекающий до 90 процентов мышц всего тела (Рисунок 4.16–4.17).

При ходьбе с палками, задействуются не две, а четыре точки опоры, что вызывает мягкое вытяжение позвоночника, минимизируется нагрузка на суставы нижней конечности. В итоге оптимизируется весь рисунок ходьбы, естественным образом удлиняется шаг, увеличивается подвижность и пластичность сухожильно-связочного аппарата тазобедренного, коленного и голеностопного суставов. При выстраивании восстановительного процесса с использованием треккинговой/ скандинавской ходьбы дозировали темп движения, дистанцию, характер грунта и рельеф местности.



А Б

Рисунок 4.16 – Скандинавская ходьба по слабо пересечённой местности в средней полосе России: А – в летнее время года; Б – в зимнее время года

Скандинавскую ходьбу выполняли по слабопересеченной местности и применялась на ранних этапах реабилитации (Рисунок 4.16). *Треккинговая ходьба* по пересечённой местности являлась дальнейшим видом прогрессирования нагрузки. Этот вид ходьбы более энергозатратен, чем скандинавская ходьба и его применяли на заключительных этапах реабилитации (Рисунок 4.17).



А Б

Рисунок 4.17 – Треккинговая ходьба с палками по сильно пересечённой местности : А – по холмистой местности в средней полосе России; Б. – справа – по скалистой местности (Южный берег Крыма)

Треккинговая ходьба в жаркую погоду позволяла, с одной стороны, снять локальную нагрузку с восстанавливаемой области нижней конечности, с другой стороны, на фоне повышенной температуры и сложности рельефа местности такая ходьба вызвала высокую тренирующую нагрузку на весь организм спортсмена вплоть до субмаксимальной (Рисунок 4.17).

Скалолазание относится к видам двигательной активности, в которых важна не столько физическая сила, сколько умение управлять своим телом (использовалась как разновидность упражнения лазания в лечебной гимнастике). Скалолазание задействует максимальное количество мышц человеческого тела, с минимальным нарастанием мышечной массы. Реабилитационная сущность скалолазания заключалась в рабочей позе лазания, во многом подобной передвижению на четвереньках, что являлось наиболее оптимальным для восстановления повреждённых суставов нижней конечности (тазобедренного, коленного и голеностопного) за счет снижения осевой нагрузки на суставы нижней конечности.



А Б

Рисунок 4.18 – Рабочее положении при лазании по открытым скалам с верхней страховкой. Относительно равномерное использование пояса верхних и нижних конечностей при лазании по открытым скалам: А – «выворотная» постановка нижней конечности при лазании; Б – «выворотная» техника лазания

При восстановлении функции тазобедренного сустава в видах двигательной активности, связанных с искусством движения, особую важность приобретает восстановление объема движения (и мышечного корсета) в тазобедренном суставе на хореографическую выворотность. Лазание с «выворотной техникой» позволяет эффективно решать эту задачу (Рисунок 4.18). На начальных этапах восстановления функции ОДА производили компенсацию осевой нагрузки при помощи натяжения динамической веревки верхней страховки.

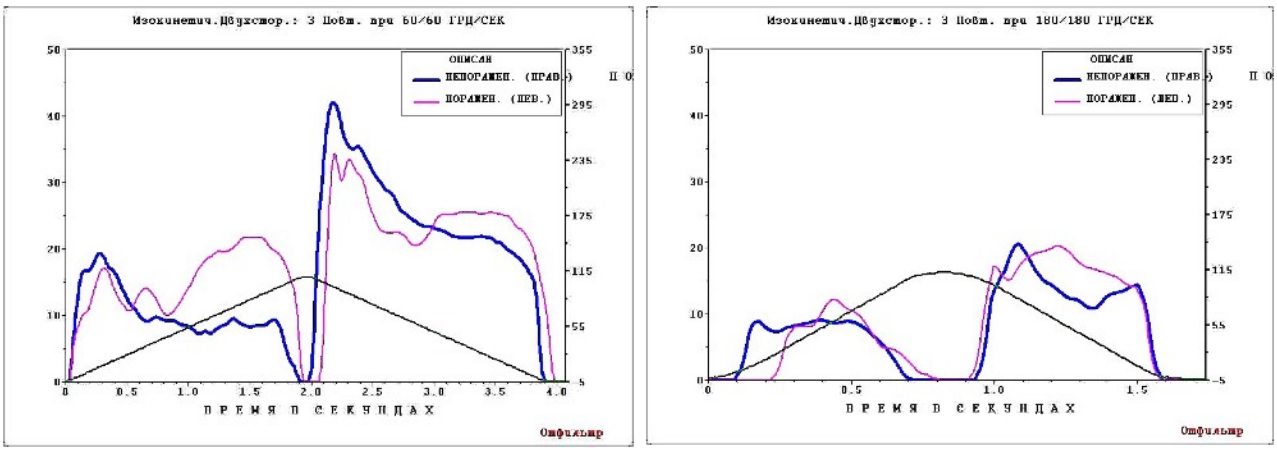
В по окончании восстановительных мероприятий в основной VII(о) группе (спортивно-восстановительные сборы) и контрольной VIII(к) группе (физическая реабилитация в амбулаторно-поликлинических условиях) выполняли сравнительное тестирование. Согласно данным клинико-биомеханического тестирования с использованием комплекса «Biodex System 4 Pro» клинически и статистически значимым согласно U-критерию Манна–Уитни показателем восстановления была нормализация *билатерального мышечного дисбаланса* в области повреждения. Результаты тестирования основной VII(о) и контрольной VIII(к) групп после курса реабилитации приведены в Таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Результаты нормализации билатерального дисбаланса в основной VII(о) и контрольной VIII(к) группах по локализации повреждений

Локализация повреждений	Нормализация билатерального дисбаланса в %	
	Основная VII(о) группа (n = 51)	Контрольная VIII(к) группа (n = 51)
Повреждения мягких тканей тазобедренного сустава (n = 26)	12 (84 %, n =14)	8 (68 %, n =12)
Повреждения мягких тканей коленного сустава (n = 32)	9 (78 %, n = 12)	11 (56 %, n = 20)
Повреждения мягких тканей голеностопного сустава и стопы (n = 44)	21 (85 %, n = 25)	12 (64 %, n = 19)
Итого нормализовалось:	44 (86%, n =51)	29 (57%, n =51)
Уровень значимости	p = 0,021	

Примечание: Число степеней свободы равно 2, значение критерия χ^2 составляет 7,748; критическое значение χ^2 при уровне значимости p = 0,05 составляет 5,991; уровень значимости p = 0,021.

Показатели изокинетического тестирования тазобедренного сустава (D.S. Повреждения мягких тканей тазобедренного сустава от перегрузки) на скорости 60 град/с и 180 град/с в подгруппе VIIa основной группы VII(о) после спортивно-восстановительных сборов приведены в Таблице 4.19 и на Рисунке 4.19, показатели в подгруппе VIIIa контрольной группы VIII(к) приведены в Таблице 4.20.



А Б

Рисунок 4.19 – пример паттерна и изокинетического тестирования ТС в подгруппе VIIa основной VII(о) группы: А – на скорости 60 град/с, Б – 180 град/с.

Таблица 4.19 – Показатели изокинетического тестирования тазобедренных суставов в подгруппе VIIa (n=14) основной группы VII(o), ($M \pm \sigma$)

Тест		Сгибание		Разгибание	
Показатель\ конечность Скорость 60 град/с		Здоровая	Восстанавливаемая	Здоровая	Восстанавливаемая
Пик ВМ	н/д	19,3±0,3	21,7±0,4**	42,0±1,4	34,3±2,3*
Пик ВМ/МТ	p< 0,05	69,7±7,3	78,4±8,2*	151,8±10,6	123,7±11,9*
Время к Пику ВМ	p< 0,05	290,0±15,3	1340,0±150*	220,0±20,1	170,0±15,2*
Угол Пика ВМ	p< 0,05	21,0±1,3	52,0±5,8*	98,0±12,3	96,0±14,2***
Время ускорения	н/д	70,0±16,1	71,0±16,3***	70,0±13,2	90,0±17,6*
Время замедления	p< 0,05	80,0±12,2	123,6±15,4*	190,0±23,2	100,0±12,6*
ROM	н/д	116,0±12,2	116,7±14,6***	116,0±12,2	116,7±14,6***
Тест		Сгибание		Разгибание	
Показатель\ конечность Скорость 180 град/с		Здоровая	Восстанавливаемая	Здоровая	Восстанавливаемая
Пик ВМ	p< 0,05	9,0±2,4	12,1±5,3*	20,5±9,2	19,3±8,4***
Пик ВМ/МТ	н/д	32,7±14,7	29,7±15,3**	74,0±23,8	73,2±24,2***
Время к Пику ВМ	p< 0,05	400,0±25,4	410,4±41,2**	250,0±21,5	350,0±32,9*
Угол Пика ВМ	p< 0,05	51,0±4,6	34,0±3,3*	84,0±8,4	50,0±7,2*
Время ускорения	p< 0,05	140,0±17,2	270,0±28,5*	150,0±12,5	80,0±9,3*
Время замедления	p< 0,05	150,0±18,2	120,0±10,2*	180,0±15,6	190,0±18,9**
ROM	н/д	115,3±8,2	107,3±9,3**	115,3±8,2	106,3±9,3**

Примечание: данные представлены в виде $M \pm \sigma$, M - среднее, σ – стандартное отклонение; * – $p < 0,05$; ** – $0,1 > p > 0,05$, *** – $p > 0,1$ сравнение здоровой и восстанавливаемой конечности по критерию Вилкоксона.

Согласно данным изокинетического тестирования на скоростях 60 и 180 град/с полный объем движений в ТС и примерно одинаковый Пик ВМ были достигнуты в обеих подгруппах VIIa и VIIIa (согласно U-критерию Манна–Уитни различия Пика ВМ в подгруппах VIIa и VIIIa находились в рамках статистической нормы). Однако динамические показатели («Время к Пику ВМ», «Угол Пика ВМ», «Время замедления») были статистически достоверно более нормализованными в подгруппе VIIa (U-критерий Манна–Уитни, p< 0,05).

Таблица 4.20 – Показатели изокинетического тестирования тазобедренных суставов в VIIIа подгруппе (n=12) контрольной VIII(к) группы, ($M \pm \sigma$)

Тест		Сгибание		Разгибание	
Скорость 60 град/с		Здоровая	Восстанавливаемая	Здоровая	Восстанавливаемая
Пик ВМ	н/д	18,2±1,3	20,4±1,4 **	41,0±10,1	30,2±9,7*
Пик ВМ/МТ	н/д	68,3±10,8	75,5±12,9*	142,5±20,2	120,1±18,6**
Время к Пику ВМ	p< 0,05	281,0±20,3	1500,0±55,9*	210,0±26,3	163,3±12,5*
Угол Пика ВМ	p< 0,05	20,0±2,4	70,2±12,3 *	78,4±14,2	76,5±13,4***
Время ускорения	н/д	60,2±12,4	54,4±10,7 **	65,6±15,4	76,8±15,9***
Время замедления	p< 0,05	78,0±11,4	140,0±15,9*	168,3±17,3	92,4±18,8*
ROM	н/д	111,3±10,6	112,8±14,3***	111,3±10,6	112,8±14,3***
Скорость 180 град/с		Здоровая	Восстанавливаемая	Здоровая	Восстанавливаемая
Пик ВМ	н/д	8,2±3,2	11,4±3,8**	17,5±9,2	18,3±9,3***
Пик ВМ/МТ	н/д	30,5±9,2	30,3±12,2***	70,4±20,2	70,6±18,2***
Время к Пику ВМ	p< 0,05	350,6±45,8	450,0±30,6*	220,4±29,4	320,4±30,2*
Угол Пика ВМ	p< 0,05	50,3±7,5	30,2±9,8*	76,3±21,3	45,2±12,2*
Время ускорения	p< 0,05	120,3±14,2	240,3±21,7*	124,5±15,2	68,4±12,2*
Время замедления	p< 0,05	144,3±21,2	110,3±10,1*	160,0±20,1	140,3±16,2*
ROM	н/д	111,4±8,3	112,3±6,3***	111,4±8,3	112,3±6,3***

Примечание: данные представлены в виде $M \pm \sigma$, M - среднее, σ – стандартное отклонение; * – p < 0,05; ** – 0,1 > p > 0,05, *** – p > 0,1 сравнение здоровой и восстанавливаемой конечности по критерию Вилкоксона.

Согласно данным **итогового педагогического тестирования** (n=102) 43 (84%, n = 51) представителя основной VII(о) группы и 32 (63%, n = 51) представителя контрольной (VIII) группы были допущены к полноценному тренировочному процессу. Остальные, 8 (16%, n = 51) из основной VII(о) группы и 19 (33%, n = 51) из контрольной VIII(к) группы были допущены к тренировочному процессу с ограничениями.

При написании данной главы использовались следующие публикации автора:

Васильев, О.С. Концепция геовосстановления как новейшая научно-практическая технология восстановления спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2016. № 2. С. 141-145.

Васильев, О.С. Восстановление опорно-двигательного аппарата спортсменов методом минимальной сверхнагрузки и использованием факторов природы / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2017. № 2. С. 133-136.

Васильев, О.С. Средства спортивной подготовки в медицинской реабилитации травм опорно-двигательного аппарата у спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2018. № 1. С. 86-90.

Васильев, О.С. Реабилитация спортсменов с повреждениями опорно-двигательного аппарата с использованием экстремальных факторов окружающей среды / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2018. № 1. С. 90-93.

Васильев, О.С. Физическая нагрузка как концептуальный фактор реабилитации спортсменов после полученных травм и повреждений опорно-двигательного аппарата / О.С. Васильев, И.А. Степаник, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2019. № 1. С. 26-30.

Васильев, О.С. Дилемма «отдыха» и мобилизации при проведении реабилитации у юных спортсменов с повреждениями от перегрузок / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Д.С. Медведев // Курортная медицина. – 2020. № 1. С. 100-106.

Васильев, О.С. Перегрузки от объема движений в хореографии и спорте (систематический анализ). Часть II. Импинджменты и нестабильность/ О.С. Васильев, И.А. Степаник, С.П. Левушкин, А.В. Рохлин // Новые исследования. – 2020. № 2(62). С. 81-107.

Васильев, О.С. Мышечный гипертонус в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, В.И. Лях // Теория и практика физической культуры. – 2021. № 4. С. 75-77.

Глава 5. ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ПОУРОВНЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ И РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ФУНКЦИИ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

5.1 Разработка концепции поуровневой диагностики и реабилитации опорно-двигательного аппарата

Концепция поуровневой реабилитации заключается в специфически организованном и индивидуально выстроенном двигательном режиме (как пассивном, так и активном) и лечебной гимнастики, которые дополняются классическими средствами и методами восстановления: медикаментозной терапии, лечебным массажем, мануальной терапии, остеопатии, физиотерапии и др. При таком подходе реабилитация проводится, начиная с самого начального повреждённого уровня построения движения.

Н.А. Бернштейн выделял следующие уровни построения движения, которые нами использовались в качестве биомеханических критериев диагностики повреждений и степени восстановления обследуемых (Бернштейн Н.А., 1990, 1997)**:**

УРОВЕНЬ А (субкортикальный, рубро-спинальный уровень палеокинетических регуляций). При любых нарушениях в работе тонических мышц корпуса происходит дисбаланс поддержания мышечного тонуса позы и рабочей осанки, то есть происходит нарушение построения любого движения на уровне А. Первичная кинезиологическая диагностика нарушений построения движений на уровне А при типичных повреждениях опорно-двигательного аппарата проявлялась в следующих признаках:

– нарушение рабочей осанки, особенно в безопорном положении;

– нарушение рабочей осанки по сколиотическому типу, асимметрия движения в верхних и/или нижних конечностях при ходьбе, беге и т.п.;

– трудности в поддержании вертикального положения и «выстройки» оси на вращение и повороты;

– сложность в управлении центром тяжести, особенно в безопорных положениях;

– в силу нарушения тонуса движения становились угловатыми и несбалансированными.

УРОВЕНЬ В (субкортикальный, таламо-палиадарный уровень неокинетических регуляций). При наличии типичных повреждений опорно-двигательного аппарата нарушения построения движений на уровне В могут проявляться следующим образом:

– неспособность «владения своим телом», потеря грациозности и пластичности в движениях, требующих контроля центра тяжести и поддержания вертикального положения;

– нарушения согласованности и ритма выполнения движения, в верхних или нижних конечностях;

– не поддающаяся спортивно-педагогической коррекции нерациональность движения и рабочей осанки, нередко сопровождающаяся сколитической асимметрией в позвоночном столбе;

– сложности с поддержанием вертикальной позы на ограниченной опоре; с закрытыми глазами;

– сложности с формированием и поддержанием двигательных навыков, нестабильность двигательных навыков особенно на равновесиях и вращениях вокруг вертикальной оси;

– немотивированное нарушение привычных паттернов движения либо появление «паразитарных» паттернов движения особенно на равновесиях и вращениях вокруг вертикальной оси.

УРОВЕНЬ С (пирамидно-стриальный уровень пространственного поля). На уровне С представлены в основном базовые спортивно-гимнастические и акробатические движения. Все нарушения на уровне С связаны с нарушением координации движения тела или перемещаемых им предметов в пространстве.

Первичную кинезиологическую диагностику нарушений построения движения на уровне С1 при типичных повреждениях опорно-двигательного аппарата выполняли по следующим критериям. Определяли наличие:

– нарушения локомоции, чаще в нижних конечностях при обычной ходьбе, а также при выполнении профессиональных движений;

– нарушения нелокомоторных движений всего тела в пространстве, требующих контроля центра тяжести и распрямлённого положения тела в акробатических и гимнастических упражнениях;

– нарушение перемещения предметов в пространстве путём работы верхней или нижней конечностью (манипуляции с предметами художественной гимнастики руками или ногами).

Первичную кинезиологическую диагностику нарушений построения движения на уровне С2 при типичных повреждениях опорно-двигательного аппарата выполняли по следующим критериям. Оценивали качество выполнения:

– движения прицеливания при движении рукой или ногой (например, удар ногой, отталкивание на прыжок, бросок предмета);

– подражательные и копирующие движения в конечностях.

Первичная кинезиологическая диагностика комплексных нарушений построения движений на уровне С1 и С2 выполняли по следующим критериям. Качество выполнения:

– баллистических движений, например, бросок мяча со скруткой тела (преимущественно, уровень С1).

– жонглирования руками или ногами предметами (преимущественно, уровень С2).

Нарушения построения движения на вышестоящих уровнях Д и Е требовали медицинской реабилитации и корректировали психолого-педагогическими средствами.

Для диагностики повреждений от перегрузки у представителей видов двигательной активности, связанный с искусством движения, а также для оценки достаточности проведения реабилитации использовали следующий **лечебно-диагностический алгоритм**:

1. Консультация врача спортивной медицины:

1.1 Если обследуемый полностью здоров, то выдача рекомендаций для продолжения тренировочного процесса;

1.2 Если у обследуемого диагностированы повреждения, требующие стационарного лечения, то обследуемый направляется в соответствующую по профилю клинику;

1.3 Если у обследуемого диагностированы повреждения, требующие реабилитации (либо он пришёл на реабилитацию после стационарного лечения), то переход к пункту 4;

1.4 Если требуются уточнения в диагнозе, то необходимо перейти к пункту 2.

2. Консультация специалистов (травматолог-ортопед, детский хирург, невролог и др. специалисты):

2.1 Если специалист устанавливает диагноз, то следует перейти к пункту 1;

2.2 Если требуется использование дополнительных инструментальных методов исследования, то переходим к пункту 3.

3. Применение инструментальных методов диагностики (рентгенография, УЗИ, КТ, МРТ и др.). Переход к пункту 2.

4. Врачебно-педагогическое кинезиологическое тестирование и разработка реабилитационной программы врачом спортивной медицины (при необходимости, консультация врача физиотерапии, врача мануальной терапии и др. специалистов):

4.1 Проведение реабилитации, начиная с самого нижнего повреждённого уровня;

4.2 Оценка состояния уровней построения движения реабилитируемого и, при необходимости, коррекция средств и методов реабилитации;

4.3 Если процесс реабилитации окончен, то переходим к пункту 1.

При проведении диагностики повреждений от перегрузки опирались на следующие **критерии нарушений уровней построения движения**.

На уровне А – нарушение тонуса (гипертонус вплоть до образования локального миофасциального синдрома и триггерных точек, мышечный гипотонус, мышечная дистония). За диагностически значимые нарушения на уровне А принимали стойкий мышечный гипертонус и сопряжённый с ним гипотонус в области повреждения. Диагностируемый локальный гипертонус всегда сопровождался той или иной степени выраженности гипотонусом в сопряжённых звеньях, что является патологическим основанием для

нестабильности ОДА.

На уровне В – мышечный дисбаланс и нарушение рабочей осанки и осанки покоя (по кифотическому, лордическому, сколиотическому типу, уплощение физиологических изгибов). За значимые нарушения на уровне В принимали сочетанные нарушения рабочей осанки и осанки покоя, биомеханически связанные с областью жалоб на наличие повреждений ОДА.

На уровне С – нарушение координации и биомеханическая асимметрия при выполнении профессиональных движений (функции равновесия, вращения, прыжки и ориентировки в пространстве). За диагностически значимые нарушения на уровне С принимали нарушения объёма пассивных движений в суставах, наличие асимметрии работы мышц и объёма движений в суставах при выполнении профессиональных движений (то есть хорошо усвоенных движений, которые обследуемый потенциально мог выполнять на «обе стороны» симметрично). Под мышечной асимметрией понимали использование разных (асимметричных) групп мышц, при выполнении симметричных движений (например, при выполнении одинаковых по форме поворотов в разные стороны или при выполнении равновесий на одной и на другой ноге).

Основные диагностические показатели, специфические для каждого уровня построения движения приведены в Таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Основные показатели нарушений уровней построения движения

Уровень построения движения	Показатель нарушения / восстановления
A	Состояние мышечного тонуса
B	Состояние осанки покоя
C	Координация и симметрия движения

В ходе проводимых исследований были установлены эффективные **средства и методы коррекции повреждений** опорно-двигательного аппарата для каждого уровня построения движения (Таблица 5.2).

Для уровня А – ортопедический режим, ортезирование, медикаментознозная терапия, физиотерапия, лечебный массаж, остеопатия, мануальная терапия (в том числе метод ишемической компрессии и др.), специально организованное

плавание, тракционная терапия (метод подводного вытяжения).

Для уровня B – мануальная терапия (мобилизация суставов), Войта–терапия, активно-пассивная гимнастика (в том числе, метод постизометрической релаксации), упражнения партерной гимнастики Б. Князева, специально организованное лечебное плавание, треккинговая ходьба, изометрически-растягивающая гимнастика Клаппа.

Для уровня C – индивидуально подобранные комплексы упражнений с предметом и на снаряде (бревно, перекладина, кольца, батут, минитрамп и др.), частично, треккинговая ходьба.

В рамках спортивно-педагогической деятельности (тренировочного процесса) возможно проведение коррекции нарушений на уровнях C, D и E. Но нарушения, лежащие на низших уровнях (A и B) педагогическими методами воздействия коррегировались минимально. На этих уровнях были эффективны медицинские реабилитационные средства и методы, изложенные в Таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Средства и методы реабилитации в зависимости от восстанавливаемого уровня построения движения

№	Средства и методы реабилитации	Уровень коррекции
1	Ортопедический режим и ортезирование (корректоры осанки, поясничные корсеты, ортезы и т.п.)	A, B
2	Медикаментозная терапия (нестероидные и стероидные противовоспалительные препараты, препараты, улучшающие микроциркуляцию тканей, миорелаксанты, хондропротекторы, витаминно-минеральные комплексы и др.)	A
3	Блокады и микроинъекционная терапия	A
4	Физиотерапия (УФО, электростимуляция мышц, индуктотермия, магнитотерапия, электрофорез, фонофорез, лазеротерапия, озокеритотерапия, бальнеотерапия)	A
5	Массаж лечебный	A, частично B
6	Метод ишемической компрессии	A
7	Тракционная терапия (подводное вытяжение и т.п.).	A, частично B

Таблица 5.2 – Продолжение

№	Средства и методы реабилитации	Уровень коррекции
8	Мануальная терапия, остеопатия, иглорефлексотерапия, метод постизометрической релаксации, кинезиотейпирование	А, частично В
9	Войта–терапия	В и частично А
10	Лечебная гимнастика, физические упражнения на тренажерах, лечебное плавание, физические упражнения в воде, элементы спортивно-прикладного плавания, лечебная ходьба, скандинавская, треккинговая ходьба; партерная гимнастика Б. Князева, изометрически–растягивающая гимнастика Клаппа; средства спортивной подготовки (упражнения с предметом и на снаряде – бревно, перекладина, кольца, батут, минитрамп и др.); китайская гимнастика Тайцзицюань.	В и С
11	Традиционная медицина: апитерапия, гирудотерапия, глинотерапия, стоун терапия, китайская гимнастика Тайцзицюань.	А, В, С
12	Санаторно-курортное лечение	А, В, частично, С
13	Специально организованные спортивно-восстановительные сборы	А, В, С

В ходе исследования были определены оптимальные этапы реабилитации восстановления функции нижней конечности после повреждений от перегрузки (Таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Этапы проведения поуровневой реабилитации

Этап	Восстановление уровня А	Восстановление уровня В	Восстановление уровня С
1	До 50 % от нормы	Не проводится	Не проводится
2	До 75 % от нормы	До 50 % от нормы	Не проводится
3	До 100 % от нормы	До 75 % от нормы	До 50 % от нормы
4	Не проводится	До 100 % от нормы	До 75 % от нормы
5	Не проводится	Не проводится	До 100 % от нормы

Средняя продолжительность каждого этапа составляла: 5–7 дней. Средняя продолжительность всего курса поуровневой реабилитации составляла 25–35 дней. Полное исключение физической нагрузки, как правило, требовалось не более недели, после чего процесс реабилитации выполняли лишь с частичным

отрывом от основного места тренировочного процесса, что обеспечивало наиболее комфортные для реабилитируемого условия восстановления и облегчало дальнейшее вхождение в тренировочный процесс.

Краткое содержание применяемых этапов поуровневой реабилитации:

Этап 1. Реабилитация на уровне А. Средняя продолжительность этапа 5–7 дней. На этом этапе применяли специфические для данного повреждения средства и методы реабилитации, преимущественно задействующие уровень А. Наибольшую эффективность показали следующие средства и методы реабилитации:

– ортопедический режим и ортезирование;

– медикаментозная терапия (в том числе и новокаиновые блокады);

– тракционное лечение;

– лечебный массаж с элементами мягкой мануальной терапии.

На этом этапе происходило купирование болевого синдрома. Переход к следующему этапу осуществляли при достижении 50 % коррекции уровня А. Если коррекция не достигалась за 5–7 дней, реабилитационные мероприятия модифицировали следующим образом:

– меняли схему медикаментозной терапии;

– добавляли или корректировали физиотерапевтические лечение;

– добавляли новые методы восстановления (например, сауна).

Этап 2. Реабилитация на уровне В. На этом этапе выполняли восстановление уровня В до 50 % от нормы с довосстановлением уровня А до 75 % от нормы. Средняя продолжительность этапа составляла 5–7 дней. Использовали следующие средства и методы реабилитации, преимущественно задействующие уровень В и довосстанавливающие уровень А:

– ортопедический режим и ортезирование (продолжали с первого этапа с коррекцией на расширение двигательного режима; в случае назначения ортезирования – меняли ортез на более мягкий или производили переход к кинезиотейпированию);

– медикаментозная терапия (продолжали с первого этапа, с постепенным снижением доли противовоспалительной терапии и повышением доли

микроциркуляторной терапии);

– лечебный массаж, мануальная терапия (делали акцент на методе постизометрической релаксации), Войта–терапия;

Если за 5–7 дней необходимую коррекцию уровней А и В не достигали, то корректировали средства и методы реабилитации на этом уровне следующим образом:

– меняли тип ортезирования на более функциональный (например, схему кинезиотейпирования);

– меняли двигательный режим в сторону повышения общей физической работоспособности;

– добавляли средства гидротерапии, бальнеотерапии (например, прикладное лечебное плавание в воде);

– добавляли новые методы восстановления (баня, сауна по показаниям).

Этап 3. Являлся центральным в курсе поуровневой реабилитации. На этом этапе восстанавливали уровень С до 50 % от нормы, с довосстановлением уровня В до 75 % от нормы и полным восстановлением уровня А. Средняя продолжительность этапа составляла 5–7 дней. Ведущим средством и методом реабилитации на третьем этапе являлась лечебная гимнастика (специальное прикладное плавание, треккинговая ходьба и др.). В качестве сопутствующих оставались средства и методы, довосстанавливающие уровни А и В (например, лечебный массаж).

Этап 4. Восстановление уровня С до 75 % от нормы, с довосстановлением уровня В до нормы. Средняя продолжительность этапа составляла 5–7 дней. Переход на этот этап осуществляли только при полном восстановлении уровня А, поэтому специфические для уровня А средства и методы реабилитации (медикаментозная терапия, физиотерапевтическое лечение и др.) на этом этапе не применялись. Ведущими средствами и методами реабилитации на этом этапе являлись кинезиотерапия в виде общей физической подготовки (ОФП), партерная гимнастика Б. Князева, изометрически-растягивающая гимнастика Клаппа. В качестве сопутствующих оставались средства и методы, способствующие восстановлению до уровня В (прикладное плавание, мягкое функциональное

ортезированиие в виде тейпирования).

Этап 5. Завершающий этап медицинской поуровневой реабилитации. На данном этапе преобладали средства и методы спортивно-педагогической реабилитации. Цель этапа – обеспечение перехода к профессиональным тренировочным нагрузкам. На этом этапе завершали восстановление уровня С до нормы. Средняя продолжительность этапа составляла 5–7 дней. Специфические уровням А и В средства и методы на этом этапе как правило не применяли. Ведущими на этом уровне являлись спортивно-педагогические средства и методы физической реабилитации, которые использовали тренеры и методисты под *руководством* медицинского персонала: средства и методы ОФП и специальной физической подготовки (СФП), а также специализированные профессиональные движения, например, упражнения с предметом и на снаряде (бревно, перекладина, кольца, батут, минитрамп и др.). При необходимости, восстановление на этом этапе, а также первые 2–4 недели возврата к тренировочным нагрузкам назначали функциональное ортезированиие в виде обычного тейпирования или кинезиотейпирования. Следует заметить, что непосредственное участие врача спортивной медицины на всех этапах реабилитации не требовалось. Обученный средний медицинский персонал (в том числе и инструктор ЛФК со средним медицинским образованием) могли проводить большую часть манипуляций и процедур, за исключением врачебных (мануальная терапия и др.). Участие личного тренера восстанавливаемого спортсмена на 4–м этапе реабилитации было необходимо, а на 5 этапе ему отводилась решающая роль (Таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Специалисты, задействованные в поуровневой реабилитации

Этап	Специалисты, проводящийе реабилитацию
1.	Средний медицинский персонал под наблюдением врача
2.	Врач при участии среднего медицинского персонала
3.	Врач при участии среднего медицинского персонала
4.	Средний медицинский персонал под наблюдением врача и при участии спортивно-педагогического состава (тренер, методист)
5.	Спортивно-педагогический состав (тренер, методист) под наблюдением среднего медперсонала

5.2 Использование концепции поуровневой диагностики и реабилитации при восстановлении функции нижних конечностей

При исследовании пациентов IX группы (n = 168) с подозрениями на повреждения от перегрузки нижней конечности изучали распределение характера диагностированных повреждений, рекомендаций по ограничению тренировочного процесса и нарушений уровней построения движения.

Нарушения на уровне А были обнаружены у 44 (26%, n=168) обследуемых из исходной группы IX: у 13 (15%, n = 83) из подгруппы IXа –пациентов с незначительными повреждениями от перегрузки, не требующих отстранения от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения; у 28 (60%, n = 46) из подгруппы IXб – пациентов с повреждениями от перегрузки, требующих отстранения от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения; у 13 (34 %, n = 39) из подгруппы IXв – пациентов с повреждениями от перегрузки, требующих уточнения диагноза и допуска к тренировочному процессу (Таблица 5.5).

Нарушение на уровне В были обнаружены у 108 (64%, n=168) пациентов группы IX: у 15 (18%, n = 83) из подгруппы IXа, у 35 (75 %, n = 46) из подгруппы IXб и у 18 (45 %, n = 39) из подгруппы IXв. У 24 (52%, n = 46) обследуемых из подгруппы IXб с однотипным нарушением рабочей осанки и осанки покоя при дальнейшем инструментальном исследовании (УЗИ, МРТ, рентгенография и др.) были диагностированы более значимые изменения, нежели у обследуемых, имеющих разнотипные нарушения рабочей осанки и осанки покоя, либо только нарушения рабочей осанки (чаще по причине ошибок тренировочного процесса), либо только нарушения осанки покоя (Таблица 5.5).

Нарушение на уровне С были обнаружены у 155 (92 %, n = 168) представителей IX группы: у 47(56 %, n = 83) из подгруппы IXа, у 45 (98 %, n = 46) из подгруппы IXб и у 27 (70 %, n = 39) из подгруппы IXв (Таблица 5.6).

Таблица 5.5 – Взаимосвязи характера повреждений от перегрузки нижней конечности и уровней нарушения построения движения в группе IX

Под-группы	Характеристика подгрупп	Доля пациентов по уровням нарушения построения движения, %			p-значение
		A	B	C	
IXа	Пациенты с незначительными повреждениями от перегрузки, не требующие отстранения от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения (n = 83)	13 (15%)	15 (18%)	47(56 %)	p=0,024
IXб	Пациенты с повреждениями от перегрузки, требующие отстранения от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения (n = 46)	28 (60 %)	35 (75 %)	45 (98 %)	p=0,024
IXв	Пациенты с повреждениями от перегрузки, требующие уточнения диагноза и допуска к тренировочному процессу (n = 39)	13 (34 %)	18 (45 %)	27 (70 %)	p=0,024
Итого, в исходной группе IX (n=168)		44 (26 %)	108 (64 %)	155 (92 %)	

Примечание: При сравнении процентной сопряженности число степеней свободы равно 4; значение критерия χ^2 составляет 11,328; критическое значение χ^2 при уровне значимости p = 0,05 составляет 9,488; уровень значимости p = 0,024.

Во всех группах обследуемых выявленные нарушения уровней построения движения имели следующую закономерность:

– нарушения построения движения на уровне А всегда сопровождались нарушениями на уровнях В и С;

– нарушения на уровне В всегда сопровождались нарушениями на уровне С;

– не было ни одного обследуемого, имеющего нарушения на уровне А и С, при норме на уровне В.

Поэтому, диагностировать нарушения уровней построения движения следует с уровня С, далее, при обнаружении нарушения, диагностировать уровень В, и при обнаружении нарушения на этом уровне диагностировать уровень А.

Все обследуемые IXв подгруппы, с учётом выявленных нарушений

построения движения были повторно обследованы врачом спортивной медицины и врачом траматологом-ортопедом, и, в случае необходимости, для уточнения характера повреждения были направлены на дополнительные инструментальные методы обследования (УЗИ, МРТ, рентгенография и др.). Сравнительные результаты инструментального обследования и вовлечённости уровней нарушения построения движения представлены в IXв подгруппе (Таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Доля пациентов с выявленной патологией, требующей дополнительных восстановительных мероприятий, при нарушениях уровней построения движения в подгруппе IXв (n = 39)

Нарушения уровней построения движения	Доля пациентов с выявленной патологией, %
Нарушены уровни С, В и А у 13 (33%)	11 (86 %)
Нарушены уровни С и В у 5 (13%)	3 (58 %)
Нарушен только уровень С у 9 (23%)	2 (25 %)
Итого(n = 39)	16 (41%)

Согласно дальнейшим диагностическим обследования представителей IXв подгруппы у 11 (86 %, n = 13 – имеющих нарушения на уровнях А, В и С), у 3 (58 %, n = 5 – имеющих нарушения только на уровнях В и С) и у 2 (25 %, n = 9 – имеющих нарушения только на уровне С) обнаружили патологические нарушения в нижней конечности (апофизиты костей таза, повреждения менисков без разрывов и др.), требующие специализированных лечебно-восстановительных мероприятий.

Таким образом, среди пациентов с повреждениями от перегрузки, требующих уточнения диагноза и допуска к тренировочному процессу (подгруппа IXв), до 41% (n = 39) нуждались в отстранении от тренировочного процесса и проведения лечебно-восстановительных мероприятий.

При исследовании восстановления функции нижней конечности с применением концепции поуровневой диагностики и реабилитации среди пациентов подгруппы IXб (n = 46) распределение характера нарушений уровней построения движения по окончании курса реабилитации было следующим (Таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Доля пациентов по уровням нарушения построения движения до и после курса реабилитации в подгруппе IXб (n = 46) пациентов с повреждениями от перегрузки, требующих отстранения от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения

Под-группы	Характеристика подгрупп	Доля пациентов по уровням нарушения построения движения, %			p-значение
		A	B	C	
IXб	до курсов реабилитации (n = 46)	28 (60 %)	35 (75 %)	45 (98 %)	p<0,001
IXб	после курсов реабилитации (n = 46)	11 (23 %)	17 (49 %)	31 (67 %)	

Примечание: При сравнении процентной сопряженности число степеней свободы равно 2; значение критерия χ^2 составляет 21,350; критическое значение χ^2 при уровне значимости p = 0,01 составляет 9.21; уровень значимости p<0,001.

После курса реабилитации как в основной IXб(о), так и в контрольной IXб(к) подгруппах количество нарушений на всех уровнях (A, B, C) построения движения уменьшилось. Но коррекция нарушений построения движения в основной подгруппе IXб(о) была более значимой, чем в контрольной подгруппе IXб(к). После курса реабилитации нарушения на уровне A в основной подгруппе сохранялись у 3 (14 %, n = 22) пациентов против 8 (35 %, n = 24) контрольной, нарушения на уровне B в основной подгруппе у 5 (22 %, n = 22) против 12 (51 %, n = 24) контрольной, на уровне C в основной подгруппе – у 14 (62 %, n = 22) против 17 (71 %, n = 24) контрольной (Таблица 5.8).

Несмотря на относительную неоднородность участников подгрупп, выигрыш по времени полного восстановления до тренировочного уровня у представителей основной IXб(о) подгруппы по отношению к контрольной IXб(к) был от 20% до 45% в зависимости от характера повреждения, возраста и уровня спортивного мастерства. При этом максимальный эффект поуровневой реабилитации достигали при реабилитации тракционных апофизитов (экономия времени полного восстановления достигла 35–45 %).

Таблица 5.8 – Доля пациентов по уровням нарушения построения движения в основной IXб(о) и контрольной IXб(к) подгруппах после курса реабилитации

Под-группы	Характеристика подгрупп	Доля пациентов по уровням нарушения построения движения, %			p-значение
		A	B	C	
IXб(о) (n = 22)	Пациенты с повреждениями от перегрузки, отстраненные от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения согласно концепции поуровневой реабилитации	3 (14 %)	5 (22 %)	14 (62 %)	p=0,020
IXб(к) (n = 24)	Пациенты с повреждениями от перегрузки, отстраненные от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения традиционными средствами и методами	8 (35 %)	12 (51 %)	17 (71 %)	

Примечание: При сравнении процентной сопряженности число степеней свободы равно 2; значение критерия χ^2 составляет 7,902; критическое значение χ^2 при уровне значимости p = 0,05 составляет 5,991; уровень значимости p = 0,020.

В рамках медикаментозной терапии для всех пациентов подгруппы IXб по показаниям назначали нестероидные противовоспалительные препараты, препараты, улучшающие микроциркуляцию тканей, миорелаксанты и др. Применяемая по стандарту медикаментозная терапия в подгруппе IXб(о), начиная с 3–го этапа поуровневой реабилитации (то есть с уровня В построения движения) не показала значимого клинического эффекта.

При написании данной главы использовались следующие публикации автора:

Васильев, О.С. Природные факторы как средство профилактики, лечения и реабилитации (оздоровительный туризм – опыт неэкстремального выживания) / О.С. Васильев // Физкультура в профилактике, лечении и реабилитации. – 2007. №3(22). С. 24-27.

Васильев, О.С. Хореографическая «выворотность» как фенотипический маркер

дисплазии соединительной ткани в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. Т. 6. № 3. С. 48-53.

Васильев, О.С. Поуровневая нейрореабилитация типичных повреждений опорно-двигательного аппарата у квалифицированных спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, И.А. Берзин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2017. Т. 7. № 4. С. 55-62.

Васильев, О.С Об эффективности использования медикаментозной терапии в рамках поуровневой реабилитации опорно-двигательного аппарата спортсменов / О.С. Васильев, А.С. Самойлов, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2017. № 2. С. 130-133.

Васильев, О.С. Диагностика малых повреждений опорно-двигательного аппарата квалифицированных спортсменов методом поуровневого анализа построения движения / О.С.Васильев, А.С. Самойлов, С.П. Левушкин // Медицина экстремальных ситуаций. – 2018. Т. 20. № 2. С. 197-202.

Васильев, О.С. Поуровневая нейрореабилитация спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин. – Москва: Издательство «ОнтоПринт», 2018 – 130 с.

Васильев, О.С. Поуровневая коррекция психофизиологического перенапряжения у спортсменов / О.С. Васильев, И.А. Берзин, С.П. Левушкин // Экстремальная деятельность человека. – 2019. № 1(51). С. 16-19.

Васильев, О.С. Ишиофеморальный синдром как маска апофизита малого вертела у юного спортсмена / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, В.П. Косихин // Вопросы практической педиатрии. – 2020. Т.15. № 4. С. 105-109.

Васильев, О.С. Мышечный гипертонус в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, В.И. Лях // Теория и практика физической культуры. – 2021. № 4. С. 75-77.

Глава 6. БИОКИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВОССТАНОВЛЕНИЮ ФУНКЦИИ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

6.1 Исследование локальной нагрузки и построение математической модели реабилитационных траекторий

Под ***локальной физической нагрузкой*** будем понимать *работу*, произведенную в восстанавливаемом суставе посредством активных мышечных сокращений. Такая работа представляет собой суперпозицию *динамических* и *кинематических* показателей. На этапе спортивной реабилитации, как и в дальнейшем тренировочном процессе, нагрузку оценивают преимущественно в *динамических* показателях. Однако, на ранних этапах реабилитации, когда ведущее значение приобретает восстановление объема движений в суставе, большое значение приобретают *кинематические* показатели выполненной работы, под которыми понимаются геометрические характеристики траектории движения (её *кривизна*) и показатели движения по этим траекториям (скорости, ускорения и так далее, отражающие *гладкость* движения).

В физическом движении скорость перемещения точки по кривой никак не связана с геометрическими свойствами кривой (её *кривизной* для движения в плоскости и *кручением* для движения в пространстве). Но в биологическом движении обнаруживается устойчивая зависимость между скоростью и характером траектории движения.

В 1982–1983 годах *Viviani*, *Terzuolo и Lacquaniti* представили описание феномена зависимости скорости от *кривизны* траектории биологического движения в виде *степенного закона: тангенциальная скорость* $V(t)$ пропорциональна *радиусу кривизны* $R(t)$ траектории движения: $V(t) \propto R(t)^{1/3}$. Поскольку *угловая скорость* $A(t) = V(t)/R(t)$ и *кривизна* $\kappa(t)$ обратно пропорциональны мгновенному радиусу траектории движения $\kappa(t) = 1/R(t)$, то соотношение $V(t) \propto R(t)^{1/3}$ может быть записано как $A(t) = K \cdot \kappa(t)^{2/3}$, где K – коэффициент пропорциональности (именуемый в англоязычной литературе как

коэффициент *усиления скорости*). В дальнейшем, это соотношение стало именоваться как *степенной закон двух третей*.

В общем случае коэффициент *усиления скорости* $K(t)$ – является кусочно-постоянной функцией времени, зависящей от *темпа* и продолжительности движения. Этот коэффициент может оставаться неизменным на достаточно длинных отрезках траектории движения и имеет свойство меняться на точках перегиба.

Степенной закон двух третей фактически утверждает, что геометрическая форма траектории определяет оптимальную кинематику движения по ней. То есть, для биологических объектов на основании геометрической формы траектории движения можно количественно предсказать кинематику их движения.

При проведении физической реабилитации, траектории движения, удовлетворяющие соотношению степенному закону можно признать «биологическими» по движению и физиологическими по локальной нагрузке на опорно-двигательный аппарат спортсменов. Такие движения выполняются только в одном направлении. Это могут быть зацикленные движения по замкнутым траекториям, но без смены направления обхода (например, от направления «против часовой стрелки» до направления «по часовой стрелке»).

Поступательно-возвратные движения в конечной точке имеют особенность, поэтому они исключены из данного модельного подхода. Указанному подходу удовлетворяет большой набор плоских кривых: эллиптические кривые, Лемниската Бернулли, листок клевера и т.п.

Эллиптические траектории движения используются в эллиптических тренажерах и имеют положительный опыт использования в спортивной реабилитации. На основании разрабатываемого модельного подхода можно показать, что эллиптические траектории движения являются оптимальными при проведении физической реабилитации опорно-двигательного аппарата спортсменов.

Алгоритм проектирования оптимальной персонифицированной эллиптической реабилитационной кривой

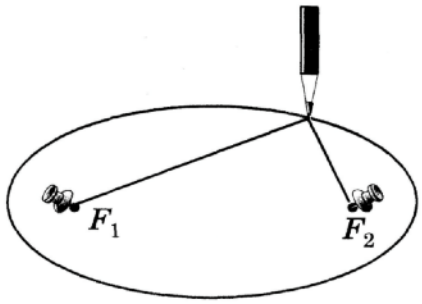
1. Пациенты основных подгрупп IXа(о) и IXб(о) выполняли произвольные дуговые движения на максимуме наличествующего объема движений в нуждающемся в реабилитации суставе при условии отсутствия болевого синдрома или небольшого болевого синдрома до 3–х баллов по визуальной аналоговой шкале боли (ВАШ), либо при усилении болевого синдрома по ВАШ не более, чем на 1 балл от исходного.

2. Траектории движения захватывали 3D системой «Qualisys» и для каждой траектории рассчитывали её *кривизну* в области восстановления объема движения в суставе. Из всех *кривизн* вычисляли среднюю *кривизну*, которая соответсвовала *кривизне* на большой полуоси искомой эллиптической траектории восстановительного движения.

3. По вычисленным на основании *кривизн* параметрам эллипса выстраивали прототип эллиптического тренажера (Рисунок 6.1).

В течение проводимого курса реабилитации, по мере увеличения объема движения и снижения болевого синдрома, выполняли повторную коррекцию траектории по данному алгоритму.

На Рисунке 6.1Б показан пример восстановления функции тазобедренного сустава на разгибание и отведение во внешней ротации по полуэллитической траектории (полной эллиптической траектории для восстановления функции тазобедренного сустава не требуется). В качестве демпфера выбрана не «жесткая нить», а эластическая лента, позволяющая дополнительно сглаживать приложения силы к траектории движения. Так как ситуация с «рывками силовых усилий» может возникать в областях смены мышечных ансамблей движения на профессиональных движениях (например, при «выворотных» движениях в тазобедренном суставе на разгибание и отведение во внешней ротации).



А



Б

Рисунок 6.1 – Эллиптические траектории движения: А – построение эллиптической траектории исходя из данных о наличии расстояния между фокусами F_1, F_2 и длины нити l; Б – прототип эллиптического тренажера для восстановления функции тазобедренного сустава на разгибание и отведения во внешней ротации

Все эллиптические траектории были рассчитаны с шагом увеличения каждой из полуосей на 10 см. Причина выбора такого шага заключается в эластичности ленты, используемой при практической реализации эллиптических движений. Правильно подобранная эластическая лента растягивала большую полуось в направлении увеличения объема движений не более, чем на 10 см. на фоне увеличения болевого синдрома не более, чем на 1 балл по шкале ВАШ. При этом, растягивание ленты до 10 см. производили постепенно по мере физиологического увеличения объема движения.

Поэтому оптимальными для восстановления объема движений в суставах нижней конечности можно признать 6 шаблонов эллиптических траекторий (Таблица 6.1), которые применяли в данном исследовании. В Таблице 6.1 четыре приведенные траектории, являются окружностями, и представляют собой вырожденный случай эллиптических траекторий движения (две полуоси эллипса одинаковы и равны радиусу окружности). Траектории по окружности показали свою неоптимальность при восстановлении, что вполне согласуется с анатомическими представлениями об эллиптическом строении суставных поверхностей.

Таблица 6.1 – Параметры шаблонов эллиптических траекторий, применяемых для восстановления объема движений в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах

Вид траектории	Большая полуось *a,* (см.)	Малая полуось *b,* (см.)	Расстояние между фокусами $\lvert F_1F_2 \rvert$ (см.)	Длина нити *l,* (см.)	Большая *кривизна* $\kappa_e(A)$	Малая *кривизна* $\kappa_e(B)$
окружность	10	10	0	20	0,1	0,1
эллипс	20	10	35	40	0,2	0,03
окружность	20	20	0	40	0,05	0,05
эллипс	30	10	57	60	0,3	0,01
эллипс	30	20	45	60	0,075	0,02
окружность	30	30	0	60	0,03	0,03
эллипс	40	10	78	80	0,4	0,01
эллипс	40	20	69	80	0,1	0,01
эллипс	40	30	53	80	0,04	0,02
окружность	40	40	0	80	0,03	0,03

Пример 1. *Восстановление функции тазобедренного сустава* (*разгибание с внешней ротацией*) (Рисунок 6.2). Концы эластичной ленты закрепляли на «станке» и удерживали руками восстанавливаемого. Вес тела находится на опорной ноге, рабочая нога совершала эллиптические движения на разгибание и отведение во внешней ротации (Рисунок 6.2Б) и на «сгибание-разгибание» в сагиттальной плоскости (Рисунок 6.3А).

При выполнении упражнения вес тела находился на опорной ноге, рабочая нога совершала эллиптические движения с использованием эластичной ленты. Желтая эластичная лента обеспечивает разгрузку нижней конечности, синяя эластичная лента обеспечивает эллиптическую траекторию движения «от стопы». Концы эластичной ленты закрепляли на рукоятках упора (фокусы эллипса). Упор стопы в шведскую стену создавал замкнутую кинематическую цепь. На рисунке 6.2Б показано эллиптическое движение в замкнутой кинематической цепи на сгибание-разгибание с отведением - приведением стопы; на Рисунке 6.2А представлено движение в открытой кинематической цепи (стопа свободно движется в пространстве), на Рисунке 6.3Б – в замкнутой кинематической цепи

(пальцы стопы упираются в перекладину). Закрепление концов эластичной ленты может быть произведено за любые неподвижные фиксаторы или иные приспособления в стандартном гимнастическом зале (зале ЛФК).

А  Б 

Рисунок 6.2 – Прототип комплексного эллиптического тренажера для восстановление функции тазобедренного и голеностопного суставов: А – «сгибание-разгибание» в поперечной плоскости в положении отведения во внешней ротации; Б – на сгибание-разгибание с отведеним-приведеним стопы

Пример 2. *Восстановление функции голеностопного сустава* (Рисунок 6.2Б, 6.3).

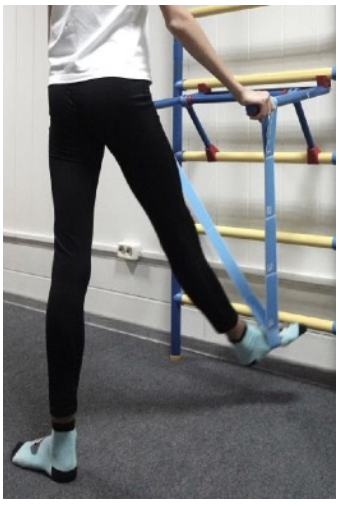
А  Б 

Рисунок 6.3 – Выполнение упражнений лечебной гимнастики на восстановление функции в голеностопном суставе по эллиптическим траекториям: А – движения по открытой кинематической цепи; Б – движения по замкнутой (присутствует упор о перекладину) кинематической цепи

Согласно U-критерию Манна–Уитни средняя продолжительность восстановления объема движений при проведении курса реабилитации в основной Ха(о) и контрольной Ха(к) подгруппах (с повреждениями от перегрузки тазобедренного сустава) и в основной Хб(о) и контрольной Хб(к) подгруппах (с повреждениями от перегрузки голеностопного сустава) статистически различимы (Таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Средняя продолжительность восстановления функции тазобедренного и голеностопного суставов в основной и контрольной подгруппах ($M \pm \sigma$)

Область повреждения от перегрузки	Время восстановления функции сустава (сутки)		p-значение
	в основных подгруппах	в контрольных подгруппах	
Тазобедренный сустав (n = 25)	14,3±2,5 (п/гр. Ха(о), n = 12)	18,2±4,8 (п/гр. Ха(к), n = 13)	p=0,024
Голеностопный сустав (n = 30)	8,4±3,2 (п/гр. Хб(о), n = 14)	12,1±4,1 (п/гр. Хб(к), n = 16)	p=0,013

Примечание: p – значение по U-критерию Манна–Уитни.

Косвенным показателем эффективности рассматриваемого способа восстановления функции нижней конечности после повреждений от перегрузки была динамика болевого синдрома по шкале ВАШ и субъективная оценка личными тренерами/хореографами физических кондиций воспитанников после курса реабилитации (Таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Средняя оценка физических кондиций и готовности к получению тренировочной физической нагрузки (по опросу тренеров по 10–бальной шкале) ($M \pm \sigma$)

Область повреждения от перегрузки	Готовность к тренировочному процессу (баллы)		p-значение
	Основная подгруппа	Контрольная подгруппа	
Тазобедренный сустав (n = 25)	8,4±1,2 (п/гр. Ха(о), n = 12)	5,8±0,9 (п/гр. Ха(к), n = 13)	p=0,036
Голеностопный сустав (n = 30)	7,8±1,1 (п/гр. Хб(о), n = 14)	4,9±1,8 (п/гр. Хб(к), n = 16)	p=0,028

Примечание: p – значение по U-критерию Манна–Уитни.

Приведенные в таблице 6.3 данные отражали субъективные мнения личного тренера/хореографа обсуждаемого контингента лиц. Тем не менее, для каждой из рассматриваемых локализаций повреждения (тазобедренный и голеностопный суставы) статистически достоверно (по U-критерию Манна–Уитни) отмечали наличие лучших физических кондиций и способности переносить профессиональную физическую нагрузку среди пациентов основных подгрупп.

6.2 Разработка математического подхода оценки меры «гладкости» траектории движения

Гладкость движения – это качество, связанное с непрерывностью движения, вне зависимости от его амплитуды и продолжительности. Гладкие движения производятся без резких попеременных замедлений и ускорений, типичных для *неравномерных* движений. В неравномерных движениях наблюдаются значительные перепады в профиле скорости движения и/или ненулевые по времени периоды остановки (*пауз*) в движении. При паузах в движении обнуляются скорость, ускорение и все высшие производные от координаты по времени, которые при последующем движении скачкообразно возрастают. Периоды пауз представляет собой крайнюю форму прерывистости движения. Это не означает, что состояние покоя (например, при иммобилизации конечности) представляет собой крайнюю форму прерывистости.

Естественные движения здорового человека характеризуются *гладкими* траекториями. В то время как поврежденное звено опорно-двигательного аппарата производит прерывистые движения и не способно производить гладкие движения на доступном ему объеме движений. Максимальной гладкости траектории движения человека достигают при минимизации третьей производной от перемещения, то есть при *минимизации рывка* $\dddot{r}(t)$ вдоль траектории движения (Flash & Hogan, 1985). Так, производной по времени первого порядка от радиус-вектора траектории $r(t)$ является *скорость* $\dot{r}(t)$, второго – *ускорение* $\ddot{r}(t)$, третьего – *рывок* $\dddot{r}(t)$, четвертого – snap («изменение рывка») и т.д.

Модель оценки локальной нагрузки на ОДА при планировании реабилитационных мероприятий

В данном исследовании реализовывалась следующая математическая модель оценки локальной нагрузки на опорно-двигательный аппарат спортсменов при планировании реабилитационных мероприятий: для оценки гладкости траектории $r(t) = (x(t), y(t), z(t))$ движения маркера, закрепленного на теле обследуемого минимизируется функционал *логарифмического безразмерного рывка* (Gulde P., et al, 2018):

$$log(J_N) = log\left(\frac{(t_2 - t_1)^3}{v_{mean}^2} \int_{t_1}^{t_2} \left(\dddot{x}(t)^2 + \dddot{y}(t)^2 + \dddot{z}(t)^2 \right) dt \right) \rightarrow min,$$

где v_{mean} – средняя скорость на отрезке $[t_1, t_2]$. Значения этого функционала, усредненного по всем маркерам, принимали за *меру гладкости движения* на отрезке $[t_1, t_2]$. Важно учитывать, что координатные функции $x(t), y(t), z(t)$ должны иметь третью производную по параметру t и удовлетворять *условию регулярности* $(x')^2 + (y')^2 + (z')^2 > 0$, где $x' = dx/dt, y' = dy/dt, z' = dz/dt$.

Точки, в которых нарушается условие регулярности называются *особыми точками*. Примерами особых точек для плоской кривой являются «клюв» (Рисунок 6.4А) и точки самопересечения на Лемнискате Бернулли (Рисунок 6.4Б).

Движения восстанавливаемой конечности по траекториям по типу «клюв» крайне неблагоприятны, так как в особой точке происходит скачкообразное изменение производных движения (скорости, ускорения и т.д.), влекущее биомеханическую перегрузку тканей.

Заметим, что многие из традиционно применяемых упражнений лечебной гимнастики используют поступательно-возвратные движения, которые на концах траектории имеют особые точки по типу «клюв» (Рисунок 6.4А, 6.5). В особых точках по типу «клюв» происходит значительная перегрузка восстанавливаемых тканей. В то время, как траектории движения по типу Лемнискаты Бернулли (Рисунок 6.4Б) представляют собой гладкие, зацикленные траектории (см. Приложение Д).

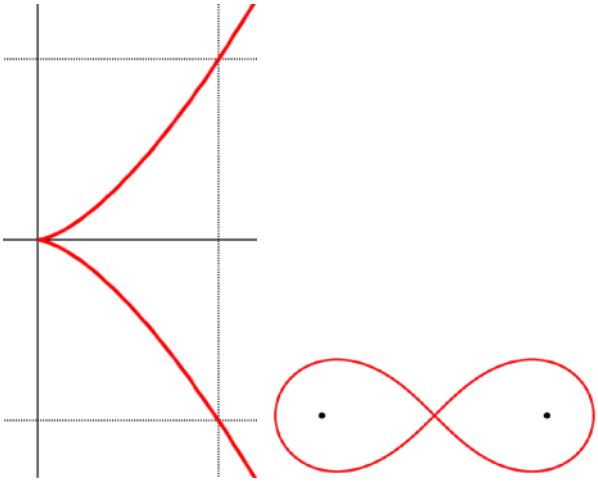


Рисунок 6.4 – Примеры особых точек: А – особая точка по типу «клюв» на полукубической параболе; Б – особая точка «самопересечения» на Лемнискате Бернулли

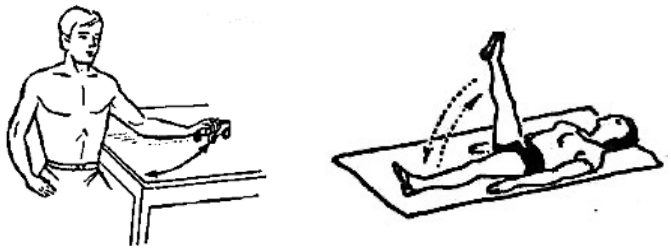


Рисунок 6.5 – Примеры типичных возвратно-поступательных упражнений лечебной гимнастики на восстановление объема движений в суставах

Мы провели сравнения фонового болевого синдрома по шкале ВАШ при движении в тазобедренном суставе (подгруппа Ха(о)) по траектории Лемнискаты Бернулли (Рисунок 6.4Б) и по поступательно-возвратной траектории «Клюв» (Рисунок 6.4А). Результаты сравнения (Рисунок 6.6) иллюстрируют феномен перегрузки в особых точках при движении по траектории «Клюв», в то время как при движении по «Лемнискате» перегрузка по шкале ВАШ была значительно ниже. При движении по траектории «Клюв» достоверно ($p = 0{,}013$ по U-критерию Манна–Уитни) повысился болевой синдром по шкале ВАШ (медиана): с 3,5–х баллов по «Лемнискате» до 4,5–х баллов по траектории «Клюв».

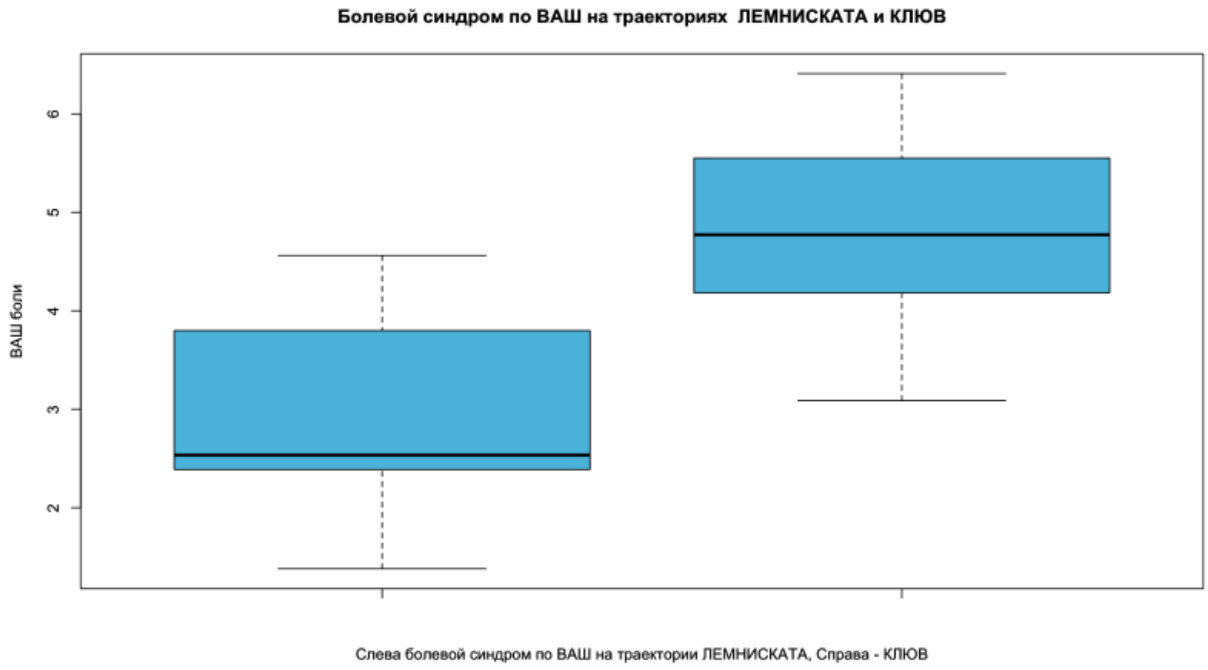


Рисунок 6.6 – Болевой синдром по шкале ВАШ при выполнении движения по траекториям: Слева – «Лемниската» (медиана = 3, интерквартильный интервал [2,3; 3,8], n = 12), Справа – «Клюв» (медиана = 4, интерквартильный интервал [4,2; 5,6], n = 12); p = 0,013 по U-критерию Манна–Уитни

Оценку гладкости движения в восстанавливаемой области опорно-двигательного аппарата в основных подгруппах тазобедренного сустава Ха(о) и голеностопного сустава Хб(о) при выполнении набора стандартных хореографических движений производили с использованием системы 3D–захвата движения «Qualisys» с дальнейшим подсчетом меры гладкости $log(J_N)$.

Все движения входили в систему хореографической подготовки видов двигательной активности, связанных с искусством движения и, тем самым были хорошо знакомы обследуемому контингенту восстанавливаемых спортсменов (*arabesque*, *développé devant*, *développé à la seconde*, *grand plié),* но за основное тестовое движение было выбрано *grand-plié* так как в нем симметрично (билатерально) нагружаются тазобедренные, коленные и голеностопные суставы на требуемом для профессиональной деятельности объеме движений (Рисунок 1.3F, 6.7).

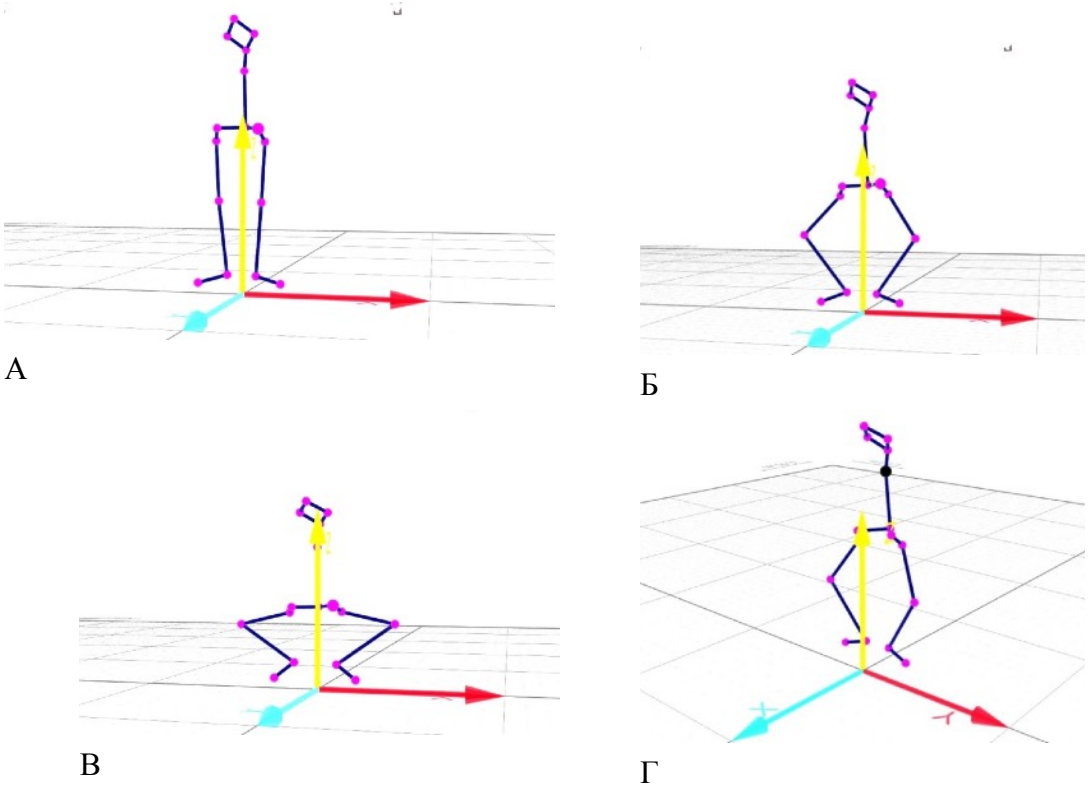


Рисунок 6.7 – Пример «цифрового скелета» тестового движения *grand-plié* по второй позиции: А – исходное положение; Б – промежуточная фаза *demi-plié* при движении вниз; В – положение *grand- plié*; Г – промежуточная фаза *demi-plié* при движении вверх

В случае выполнения несимметричных тестовых элементов (*arabesque*, *développé devant*, *développé à la seconde)*, все движения с одной опорной ноги по возможности повторяли на другой опорной ноге. Движения рабочей ногой производили на имеющихся на момент обследования объемах движения в восстанавливаемой конечности в пределах увеличения болевого синдрома не более, чем на 1 балл по шкале ВАШ. Для минимизации риска травмирования испытуемым рекомендовали провести разминку до и после прикрепления маркеров, а также немного отдохнуть после завершения теста. Перед каждым заданием обследуемому предоставляли возможность произвести пробную попытку.

Пример траекторий координат x(t), y(t), z(t) маркеров при выполнении тестового движения *grand-plié* (Рисунок 6.8).

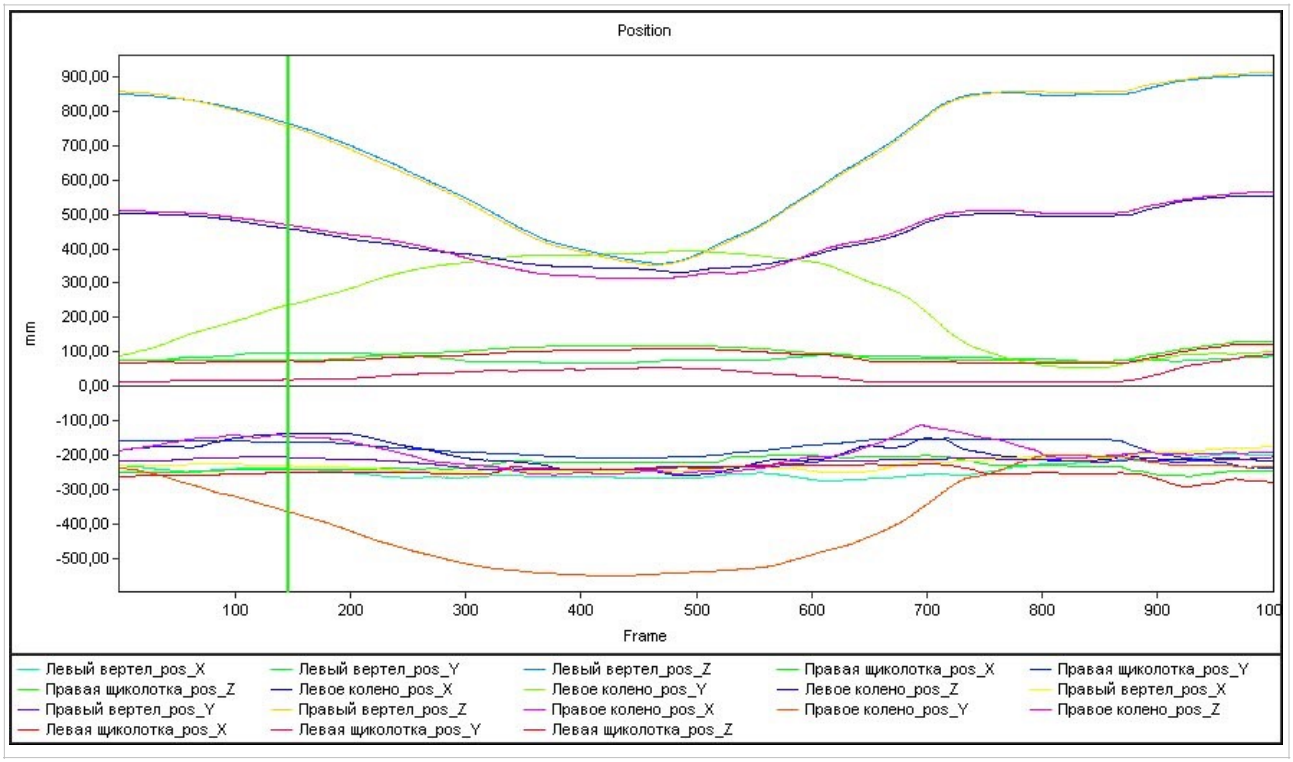


Рисунок 6.8 – Пример траекторий координат x(t), y(t), z(t) маркеров (левой щиколотки, правой щиколотки, левого мыщелка бедра, правого мыщелка бедра, левого большого вертела, правого большого вертела) при выполнении тестового движения *grand-plié*

После выполнения каждого задания для дальнейшего анализа адекватности нагрузки её сопоставляли с гладкостью траектории движения и величиной болевого синдрома по шкале ВАШ. На следующий день после каждого исследования выполняли травматолого-ортопедический осмотр конечности с целью выявления различных признаков перегрузки (отек, покраснение, локальное повышение температуры, локальная болезненность, нарушение функции).

Результаты корреляционного анализа (критерий Спирмена) при разных видах повреждений между наличием болевого синдрома по шкале ВАШ, этапами восстановления и нормированной по бальной шкале от 0 до 10 *мерой гладкости* $log(J_N)$ при выполнении тестового движения *grand-plié* приведены в Таблице 6.4. Где под этапами восстановления условно подразумевали начало, середину и конец курса проводимой физической реабилитации (Рисунок 6.9). Следует отметить, что движение *grand-plié* отражает функциональность суставов нижних конечностей, но может представлять значительную нагрузку при специфических повреждениях

нижней конечности. Поэтому, воспринимать движение *grand-plié* как индикатор восстановления для всех повреждений от перегрузки нельзя.

Таблица 6.4 – Корреляционные связи между динамикой восстановления и нормированной по 10-бальной шкале *мерой гладкости* $log(J_N)$ при выполнении хореографического движения *grand-plié*

Область повреждения от перегрузки	Корреляционные связи $\lvert\rho\rvert$	
	ВАШ – нормированная *гладкость*	Восстановление – нормированная *гладкость*
Тазобедренный сустав, Ха(о) (n = 12)	0,85	0,96
Голеностопный сустав, Хб(о) (n = 14)	0,74	0,62

Примечание: Расчет коэффициента корреляции выполняли по критерию Спирмена при уровне значимости p=0,05.

В ходе проводимого исследования были выявлены характеристики *меры гладкости* функционала $log(J_N)$ при движении по разным траекториям, как более гладкими по форме (например, Лемниската Бернулли), так и менее гладкими (например, «Клюв»). Оказалось, что движение по «гладким» по форме шаблонам траекторий может различаться по *мере гладкости* $log(J_N)$ в силу возможной прерывистости самого движения (см. Приложение Д).

Динамика увеличения гладкости при выполнении тестового движения *grand-plié* в ходе восстановления функции тазобедренного сустава в основной подгруппе Ха(о) (n = 12) оценивалась по критерию *Фридмана* (p = 0,012) и проиллюстрирована на нормированном (по бальной шкале от 0 до 10) *функционале безразмерного логарифмического рывка* $log(J_N)$, где 0 соответствует минимальной мере гладкости, а 10 – максимальной (Рисунок 6.9).

Временной период проводимого курса реабилитации был условно поделен на три этапа: начало, середина и конец курса реабилитации. Такая нормировка по шкале *меры гладкости* $log(J_N)$ и по продолжительности прохождения курса реабилитации наиболее адекватно отражала динамику восстановления функции нижней конечности вне зависимости от характера и степени тяжести имеющихся повреждений.

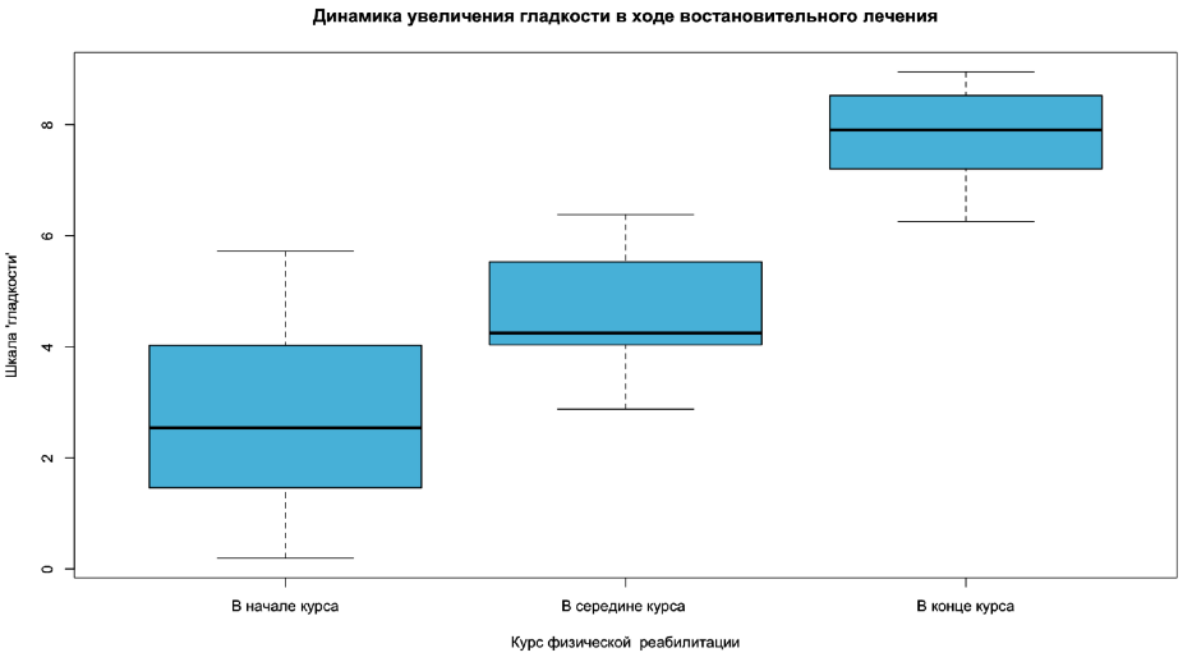


Рисунок 6.9 – Динамика увеличения гладкости при выполнении тестового движения *grand-plié* в ходе восстановления функции тазобедренного сустава в основной подгруппе Xa(o) (n = 12, p = 0,012)

При написании данной главы использовались следующие публикации автора:

Васильев, О.С. Структурно-конструктивный подход в методологии построения реабилитационных программ (философско-методологический анализ) / О.С. Васильев // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2009. № 4(64). С. 29-34.

Васильев, О.С. Хореографическая «выворотность» как фенотипический маркер дисплазии соединительной ткани в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. Т. 6. № 3. С. 48-53.

Васильев, О.С. Физическая нагрузка как концептуальный фактор реабилитации спортсменов после полученных травм и повреждений опорно-двигательного аппарата / О.С. Васильев, И.А. Степаник, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2019. № 1. С. 26-30.

Васильев, О.С. Математические подходы к дозированию нагрузки и построению оптимальной траектории движения при реабилитации опорно-двигательного аппарата

спортсменов / О.С. Васильев, Е.Е. Ачкасов, С.П. Левушкин // Теория и практика физической культуры. – 2020. № 8. С. 57.

Васильев, О.С., Левушкин С.П., Ачкасов Е.Е. Кинематические показатели нагрузок на опорно-двигательный аппарата при реабилитации спортсменов и учащихся хореографических училищ / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов // Курортная медицина. – 2020. № 3. С. 112-121.

Васильев, О.С. Кривизна кривой как показатель оптимальности траектории движения в физической реабилитации. Эллиптические реабилитационные движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2020. №10(2). С. 5-13.

Васильев, О.С. Биомеханические особенности повреждения голеностопного сустава и стопы у учащихся хореографических училищ и артистов балета (Теоретическое исследование) / О.С. Васильев, И.А. Степаник, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, А.В. Рохлин // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2020. №1(155). С. 49-57.

Васильев, О.С. Мера «гладкости» движения как показатель локальной нагрузки на опорно-двигательный аппарат в реабилитации спортсменов и учащихся хореографических училищ / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, И.И. Гайдамака, А.А. Столяров // Теория и практика физической культуры. – 2021. № 1. С. 17-19.

Vasilyev O. Generation an Annotated Dataset of Human Poses for Deep Learning Networks Based on Motion Tracking System / I. Artamonov, Y. Artamonova, A. Efitorov, V. Shirokii, O. Vasilyev // In: Kryzhanovsky B., Dunin-Barkowski W., Redko V., Tiumentsev Y. (eds) NEUROINFORMATICS 2020. Studies in Computational Intelligence, Advances in Neural Computation, Machine Learning, and Cognitive Research IV. Springer, Cham. 2021. – Vol.925. – P. 198-204.

Глава 7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИМНАСТИКИ ТАЙЦЗИЦУАНЬ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАТТЕРНЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИИ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

7.1 Разработка комплекса упражнений восстановления функции нижней конечности на основе гимнастики Тайцзицюань

Китайская гимнастика Тайцзицюань (стиль Ян) характеризуется сложно координационными непрерывными, плавными, танцевальными движениями, выполняемыми по дугообразным или спиралевидным траекториям в медленном темпе. Движения Тайцзицюань представляют собой комбинации перемещений веса тела (шагов) вперед, назад, вбок, вверх и вниз, поворотов и фиксации, которые могут рассматривается в реабилитации как эффективное средство улучшения функциональных возможностей ОДА. Практически все движения в Тайцзицюань выполняется в положение *полуприседа* (уровень *demi-plié*). В этом положении происходит как концентрический, так и эксцентрический тип мышечных сокращений (Рисунок 7.1).

Стандартная короткая форма (комплекс) Тайцзицюань стиля Ян состоит из 24 движений (Таблица 7.1, Рисунок 7.2). В реабилитационных целях рекомендуется практиковать не всю форму, а лишь отдельные, зацикленные в непрерывное повторение движения.

Для восстановления функции суставов нижней конечности (преимущественно, коленного сустава) оптимально выполнять дорожки из классических шагов Тайцзицюань, где координация рук во многом дополняет движение ног за счет перераспределения веса. Соблюдение правильности движения рук при реабилитации нижних конечностей имеет второстепенное значение. Однако, при усвоении координации движения рук, движения ног происходят в более оптимальном режиме. Занятия гимнастикой Тайцзицюань рекомендуется проводить в группе под медленную музыку (не обязательно китайскую).

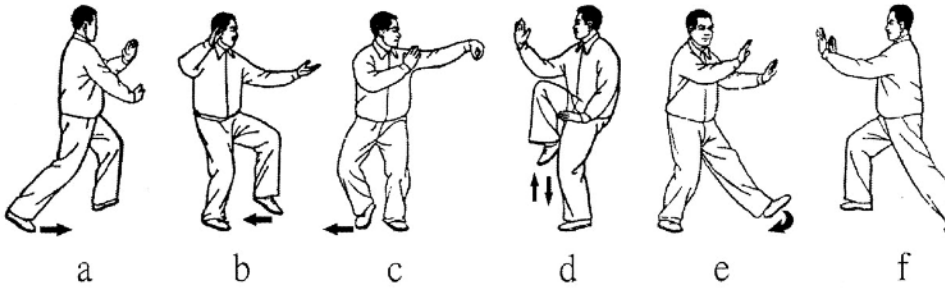


Рисунок 7.1 – Сверху. Типы движения ног: (a) полная загрузка двух ног, (b) загрузка одной левой ноги, (c) загрузка одной справой ноги, (d) левая нога загружена, правая – касание пола носком ноги, (e) левая загружена, правая – касанием пола пяткой, (f) правая загружена с частичной загрузкой левой ноги, (g) правая загружена с частичной загрузкой пятки левой ноги. Снизу. Категории направления шага: (a) шаг вперед – переднее движение рабочей ноги по отношению к опорной ноге, (b) шаг назад – заднее движение рабочей ноги по отношению к опорной ноге, (c) шаг вбок – боковое движение рабочей ноги по отношению к опорной ноге, (d) шаг вверх и вниз – подъем рабочей ноги вверх выше высоты колена опорной ноги, (e) шаг с поворотом с переносом веса на рабочую ногу, (f) фиксированный шаг (стойка) – обе ноги загружены без. Цит. с адаптацией по (Mao D.W. et al., 2006)

При проведении реабилитационных мероприятий с использованием китайской гимнастики Тайцзицюань на контингенте лиц, не имеющего опыта в сложнокоординационных движениях, наибольшую сложность представляет освоение координационной структуры выполняемых движений, на изучение которой порой приходится тратить недели и даже месяцы. В то время как для представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения освоение координационной структуры движений Тайцзицюань представляет намного меньшие трудности и с первых занятий становится доступной реабилитационная направленность выполняемых упражнений.

Таблица 7.1 – Последовательность движений Тайцзицюань Ян (24 форма)

Движения	Направление движения
1. «Пробуждение сил (Ци)»	на месте
2. «Разглаживание гривы дикой лошади»	влево, вправо, влево
3. «Белый журавль раскрывает крылья»	на месте
4. «Шаг вперед с обмахиванием колена»	влево, вправо, влево
5. «Игра на китайской лютне»	на месте
6. «Отталкивание обезьяны»	шаги назад с полуповоротом влево, вправо, влево, вправо
7. «Поймать воробья за хвост»	влево
8. «Поймать воробья за хвост»	в обратную сторону
9. «Одиночный хлыст»	влево
10, «Руки колышутся подобно облакам»	3 раза влево
11. «Одиночный хлыст»	влево
12. «Поглаживание лошади»	влево
13. «Толчок ногой»	вправо
14. «Два горных пика проходят через уши»	вправо
15. «Толчок ногой»	влево
16. «Змея в траве (чайка), Золотой петушок»	влево
17. «Змея в траве (чайка), Золотой петушок»	вправо
18. «Продевать челнок»	вправо, влево
19. «Игла на дне моря»	на месте
20, «Челнок»	влево
21. «Повернуть тело, переместить, преградить и ударить»	в обратную сторону
22. «Запечатать плотно как конверт»	влево
23. «Пересечение рук»	на месте
24. «Собирание сил»	на месте

При восстановлении функции нижних конечностей был разработан следующий **комплекс лечебной гимнастики с использованием движений Тайцзицюань**. Этот комплекс состоит их четырех движений нарастающей сложности (нагрузки), каждое из которых представляет собой движения единой биомеханической направленности.

1. Движение «Руки колышутся подобно облакам» (движения 114–131 на Рисунке 7.2). Движение зацикливается в дорожку из четырех–восьми движений влево вбок и стольких же движений вправо вбок.



Рисунок 7.2 – Последовательность движений Тайцзицюань (24 форма) стиль Ян (Цит. по taichi.tigernose.com)

Исходное положение: ноги в полуприседе (уровень *demi-plié*) в невыворотной или слабовыворотной широкой второй хореографической позиции ног.

Выполнение. Осуществляется движение в сторону (вбок) приставными шагами с медленным равномерным переносом веса тела с одной ноги на другую. Движение выполняется непрерывно без остановок в одном темпе. Корпус прямой, вертикальный. Руки выполняют непрерывное зацикленное спиралеобразное движение «Руки колышутся подобно облакам» по округленным траекториям (*кривизна* траектории как в первой хореографической позиции рук).

Указание. Колени и стопы находятся в одной плоскости. В голеностопном, коленном и тазобедренном суставах совершается низкоамплитудное сгибание и разгибание в саггитальной плоскости. За счет постоянного переноса веса каждая

конечность периодически плавно полностью разгружается и нагружается до полного веса тела.

Дозирование. Рекомендуется выполнять по 2–4 полных дорожек с периодическим отдыхом – обычная ходьба по залу 2–3 минуты.

2. Движения «Разглаживание гривы дикой лошади» (движения 010–025 на Рисунке 7.2). Движение осуществляется маятникообразным дугообразным продвижением вперед. Количество движений за дорожку ограничивается длиной зала; рекомендуемая длина дорожки 4–8–16 шагов вперед.

Исходное положение: правая нога в полуприседе (уровень *demi-plié*), вес на правой ноге, левая нога расположена рядом с опорой носком о пол не более 10% веса тела. Корпус расположен перпендикулярно (фронтально) по отношению к опорной (нагруженной) правой ноге. Руки «держат шар», сохраняя округлость как в первой хореографической позиции (Рисунок 7.3).

Выполнение. Левая не нагруженная нога по дугообразной траектории отводится в сторону над полом и без фиксации ставится на пол на пятку (голеностопный сустав расслаблен) с дальнейшим переносом веса на неё до 90% веса тела (10% веса тела остаётся на правой ноге). Одновременно с переносом веса тела осуществляется движение корпусом и руками «трансформация шара» по типу разглаживания гривы дикой лошади (Рисунок 7.3).



Рисунок 7.3 – Движения «Разглаживание гривы дикой лошади»

Далее, не прерывая плавность движения, выполняется обратный перенос веса на правую ногу, при этом левая нога ротируется наружу в тазобедренном суставе; после чего происходит повторный накат на левую ногу с приведением правой ноги без веса и исполняющий движение плавно без фиксации принимает исходное

положение, но уже зеркально, на левой ноге. Далее движения зацикливаются, образуя непрерывную дорожку.

Указание. При выполнении движения «Разглаживание гривы дикой лошади» в суставах нижней конечности (тазобедренном, коленном, голеностопном) совершаются плавные без фиксации ротационные движения на внешнюю ротацию с осевой нагрузкой на опорную ногу повышающейся до полного веса тела. Ротационные движения совершаются как в опорной ноге с постоянно уменьшающейся осевой нагрузкой, так и в рабочей ноге. При этом в опорной ноге с возрастанием угла ротации осевая нагрузка обратно пропорционально падает так, что на максимум ротации в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах приходится минимальная осевая нагрузка. Примечательно, что движение «Шаг вперед с обмахиванием колена» делается по той же схеме движения ног; меняется только структура движения рук (Рисунок 7.4).

Дозирование. Рекомендуется выполнять по 2–4 полных дорожки с периодическим отдыхом: обычная ходьба по залу 2–3 минуты, небольшая растяжка мышц бедра и голени, перекаты стоя с пяток на носки ног.

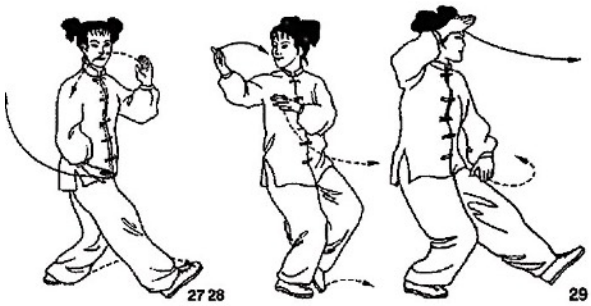


Рисунок 7.4 – Движения «Шаг (толчок) вперед с обмахиванием колена»

3. Движение «Отталкивание обезьяны» (движения 053–076 на Рисунок7.3). Движение выполняется только назад и всегда на обе стороны (то есть выполняется всегда четное количество шагов). Количество движения за дорожку ограничивается длиной зала; рекомендуемая длина дорожки 4–8–16 шагов назад.

Исходное положение: ноги в полуприседе (уровень *demi-plié*), вес на правой ноге, левая нога на носке отведена в сторону с опорой о пол не более 10% веса тела. Корпус расположен перпендикулярно (фронтально) по отношению к

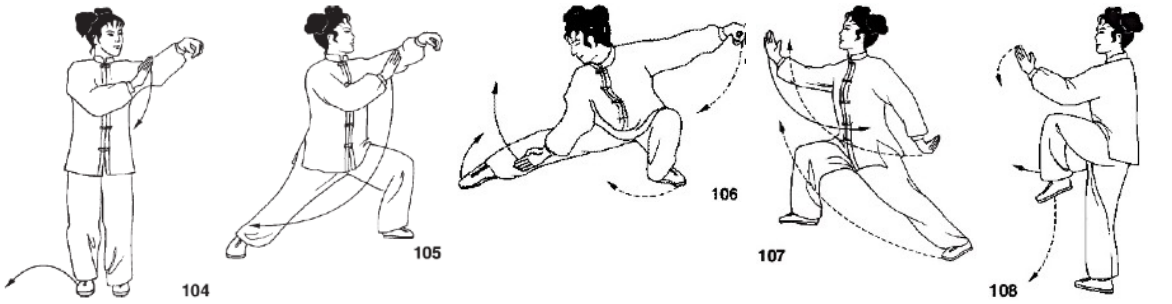
опорной правой ноге. Руки разведены в широкую вторую позицию ладонями вверх (как будто держат большой шар).

Выполнение. Руки выполняют движение «отталкивание обезьяны»: правая рука по дуге с небольшим подъемом (*кривизна* подъема траектории как в первой позиции) выполняет толкающее движение вперед, левая рука по дуге с небольшим спадом (*кривизна* спада траектории как в первой позиции) уходит назад в широкую вторую позицию с ладонями вверх. Одновременно с движением рук осуществляется разворот корпуса фронтально к левой ноге. В этот момент в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах максимально загруженной опорной ноги возникает небольшое напряжение на «скрутку» на внешнюю ротацию по типу принятия выворотных хореографических позиций ног в *demi-plié*. Далее, не нагруженная весом левая нога по дугообразной траектории выполняет шаг назад с дальнейшим переносом веса на неё и разворотом корпуса фронтально к теперь уже нагруженной весом левой ноге. В итоге достигается зеркальное исходное положение на левой ноге. Далее движения циклически повторяются.

Указание. В голеностопном, коленном и, в какой-то степени, тазобедренном суставах совершаются ротационные движения на внешнюю ротацию с осевой нагрузкой на опорную ногу повышающейся до полного веса тела. За счет постоянного переноса веса тела нагрузка осуществляется плавно, без фиксации на максимуме.

Дозирование. Рекомендуется выполнять по 2–4 полных дорожек с периодическим отдыхом: обычная ходьба по залу 2–3 минуты, небольшая растяжка мышц бедра и голени.

4. Движение «Змея в траве» («Чайка над гребнем волны») с переходом в положение «Золотой петушок» (движения 156–169 на Рисунке 7.2 и 7.5) является значительно прогрессирующим по нагрузке по отношению к предыдущим движениям данного комплекса и движениям всей 24–формы Тайцзицюань. Это движения выполняется только дважды, симметрично на обе стороны. И, в силу повышенной нагрузки на суставы в виде дорожки не выполняется.





А Б В

Рисунок 7.5 – Вверху: комплексное движении «Змея в траве (Чайка над гребнем волны) с переходом в положение «Золотой петушок»; Внизу: фазы выполнения движения на практике

В отличие от предыдущих движений в этом комплексном движении осуществляется значительная осевая нагрузка при сгибании-разгибании тазобедренного и коленного суставов на опорной ноге; также присутствует максимальное пассивное разгибание голеностопного сустава и внешняя ротация тазобедренного сустава в положении максимального приседа (положение «Пу бу»).

Исходное положение: Стойка по широкой шестой позиции, левая рука округлена по 2–й хореографической позиции, кисть собрана в положение «клюв». Правая рука несколько округлена по эллипсу, кисть открыта к верху, пальцы направлены на «клюв» левой руки.

Выполнение. Вес тела переносится на левую ногу одновременно, с некоторым запаздыванием происходит глубокое приседание на левой ноге с отведением правой ноги в сторону. Правая рука выполняет дугообразное

раскрытие – движение «Змея в траве» («Чайка над гребнем волны»). Не прекращая движение вес тела в глубоком присяде плавно переносится с левой опорной ноги на правую проходя через промежуточное положение «Гунбу» и далее с дальнейшим подъемом на правой опорной ноге в положение невыворотного Passé («Дулибу» – «Золотой петушок»). Далее движение зеркально выполняется на другую сторону (ногу).

Указание. При глубоком приседании на опорную ногу под нагрузкой веса тела достигается наибольшая амплитуда сгибания в коленном и тазобедренном суставе и разгибания в голеностопном суставах. Требование медленности и плавности выполнения движения приводит к значительной нагрузке на мышцы сгибатели, так и разгибатели нижней конечности. Далее, в положении максимального сгибания в тазобедренном суставе выполняется его внешняя ротация (на хореографическую «выворотность»). В заключительной фазе движения при вставании на одну ногу происходит значительная нагрузка на мышцы разгибатели нижней конечности.

Дозирование. В реабилитационных целях данное комплексное движение можно выполнять на заключительных этапах реабилитации, но не более 2–3 подходов за занятие. Выполнение данного комплексного движения 4 раза и более влечет спортивно-тренировочную нагрузку, которая будет избыточной при проведении физической реабилитации.

Анализ нагрузки пациентам основной XI(o) подгруппы при выполнении комплекса реабилитации с использованием движений Тайцзицюань стиля Ян оценивали при помощи оптико-электронной системы трёхмерного кинематического захвата и анализа движения «Qualisys» и субъективного опроса по визуальной шкале боли ВАШ. Результаты анализа приведены в Таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Характер нагрузки на суставы нижней конечности при выполнении комплекса реабилитации с использованием движений Тайцзицюань

Движение	Нагрузка на сгибание/разгибание	Ротационная нагрузка на суставы
1.«Руки колышутся подобно облакам»	Минимальная нагрузка на тазобедренный и коленный суставы. Нагрузка на голеностопный сустав практически отсутствует.	Практически отсутствует
2. «Разглаживание гривы дикой лошади»	Минимальная нагрузка на тазобедренный и коленный и голеностопный суставы.	Минимальная ротационная нагрузка (на внешнюю ротацию) в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах.
3. «Отталкивание обезьяны»	Минимальная нагрузка на тазобедренный и коленный суставы. Умеренная нагрузка на голеностопный сустав.	Умеренная ротационная нагрузка (на внешнюю ротацию) в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах.
4. «Змея в траве» («Чайка над гребнем волны»)	Значительная нагрузка на тазобедренный и коленный суставы. Умеренная нагрузка на голеностопный сустав.	Высокая ротационная нагрузка (на внешнюю ротацию) в тазобедренном суставе, умеренная – в коленном и голеностопном суставах.

7.2 Биомеханические паттерны восстановления функции нижней конечности

В ходе проведения кластерного анализа (методом k-средних Мак-Кина) параметров сравнительного изокинетического тестирования с использованием комплекса «Biodex System 4 Pro» контралатеральной интактной («здоровой») и восстанавливаемой (поврежденной) конечности коленного и голеностопного суставов после двухнедельного прохождения курса физической реабилитации в основной XI(о) подгруппе (восстанавливающейся при помощи разработанного комплекса гимнастики на базе Тайцзицюань) и контрольной XI(к) подгруппе (восстанавливающейся в амбулаторно-поликлинических условиях) были выявлены 5 типовых изокинетических паттернов движения.

1–й Изокинетический паттерн движения (типичен для голеностопного сустава, таблица 7.3): характерен для контрольной XI(к) подгруппы: замедление активации сгибания на средних скоростях (60–90 град/с) на фоне достаточно полного восстановления динамических (силовых) параметров (Таблица 7.3). При относительно восстановленном пике вращающего момента (Пик ВМ) поврежденной конечности отмечается уменьшение угла пика вращающего момента (Угол Пика ВМ) и «Времени замедления» преимущественно на сгибании. То есть поврежденная конечность развивает максимум мышечного напряжения практически в начале диапазона сгибания сустава, что является нерациональным с позиции биомеханики движения.

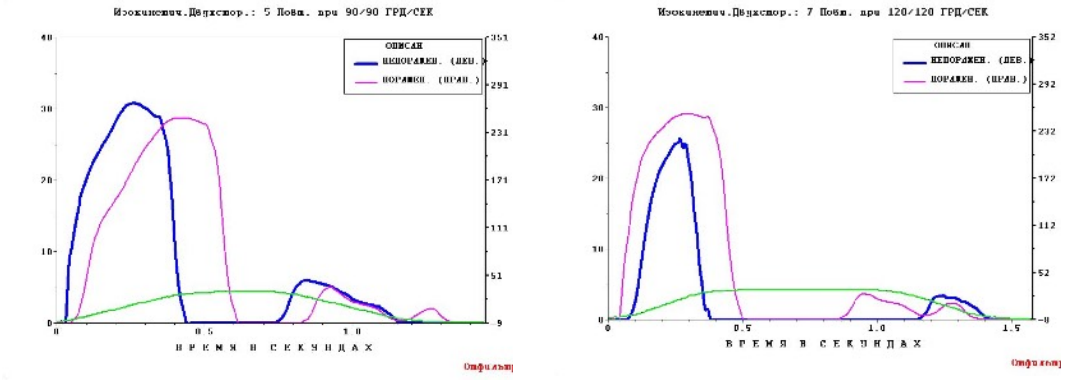
Рекомендация: продолжить реабилитацию с акцентом на функциональную активность мышц сгибателей с добавлением элементов из основной подгруппы.

Таблица 7.3 – **Характеристика 1–го паттерна** изокинетического тестирования голеностопных суставов на разных скоростях

Тестирование	Сгибание (плантафлексия)		Разгибание (дорсифлексия)	
Скорость (град/с)	Разница показателей поврежденной стороны относительно здоровой			
	60	120	60	120
Пик ВМ	н/з ***	н/з ***	н/з ***	н/з ***
Пик ВМ/МТ	н/з ***	н/з ***	н/з ***	н/з ***
Время к Пику ВМ	больше или н/з **	н/з ***	н/з ***	меньше или н/з **
Угол Пика ВМ	меньше*	меньше*	меньше или н/з **	н/з ***
Время ускорения	больше **	меньше **	н/з	меньше или н/з **
Время замедления	меньше*	меньше*	меньше или н/з **	н/з ***
ROM	н/з ***	н/з ***	н/з ***	н/з ***

Примечание: * – $p<0,05$; ** – $0,1>p> 0,05$; н/з – незначимая билатеральная разница (до 15 – 20%), *** – $p> 0,1$ по U-критерию Манна–Уитни.

Пример 1 (Паттерн–1). Восстановление функции правого голеностопного сустава у учащейся хореографического училища (возраст 11,5 лет) после курса физической реабилитации в контрольной XI(к) подгруппе (D.S. тендопатия правого ахиллова сухожилия). См. (Рисунок 7.6).



А Б

Рисунок 7.6 – Графики изокинетического тестирования голеностопных суставов учащейся хореографического училища (возраст 11,5 лет): А. – график «здоровой» конечности, справа – «поврежденной». Скорость: 90 град/с.; Б. – график «здоровой» конечности, выше – «поврежденной». Скорость: 120 град/с.

Таблица 7.4 – Параметры изокинетического тестирования голеностопных суставов у учащейся хореографического училища (возраст 11,5 лет)

Тестирование		Сгибание (плантафлексия)		Разгибание (дорсифлексия)	
Скорость 90 град/с		Здоровая	Поврежденная	Здоровая	Поврежденная
Показатель		Левая	Правая	Левая	Правая
Пик ВМ	Н/м	30,7	28,7	6,0	5,2
Пик ВМ/МТ	%	94,1	87,7	18,2	16,0
Время к Пику ВМ	мс	270,0	390,0	170,0	150,0
Угол Пика ВМ	град	14,0	9,0	22,0	16,0
Время ускорения	мс	60,0	100,0	110,0	120,0
Время замедления	мс	310,0	190,0	310,0	140,0
ROM	град	38,2	43,5	38,2	43,5
Скорость 120 град/с		Здоровая	Поврежденная	Здоровая	Поврежденная
Показатель		Левая	Правая	Левая	Правая
Пик ВМ	Н/м	25,5	29,1	3,4	3,6
Пик ВМ/МТ	%	78,1	89,0	10,3	11,1
Время к Пику ВМ	мс	280,0	220,0	340,0	150,0
Угол Пика ВМ	град	18,0	4,0	13,0	16,0
Время ускорения	мс	140,0	60,0	290,0	130,0
Время замедления	мс	620,0	240,0	190,0	180,0
ROM	град	37,3	41,0	37,3	41,0

Параметры изокинетического тестирования правого и левого голеностопных суставов на скорости 90 град/с и 120 град/с учащейся хореографического училища (возраст 11,5 лет) после курса физической реабилитации правого голеностопного сустава, полученного в контрольной XI(к) подгруппе (D.S. тендопатия правого ахиллова сухожилия) приведены в Таблице 7.4.

В силу разнонаправленности изменений (больше–меньше) на скоростях 90 град/с и 120 град/с в параметрах «Время к Пику ВМ» и «Время ускорения» на сгибании, изменения в этих параметрах нельзя принять за значащие. Также нельзя принять за значащий параметр «Угол Пика ВМ» на разгибании. Значащими параметрами являются «Угол Пика ВМ» на сгибании и «Время замедления» на сгибании (Таблица 7.5).

Таблица 7.5 – Анализ параметров изокинетического тестирования голеностопных суставов

Тестирование		Сгибание (плантафлексия)		Разгибание (дорсифлексия)	
Скорость 90 град/с		Разница показателей поврежденной стороны относительно здоровой			
Пик ВМ	Н/м	1 %	меньше	13 %	меньше
Пик ВМ/МТ	%	7 %	меньше	12 %	меньше
Время к Пику ВМ	мс	30 %	больше	12 %	меньше
Угол Пика ВМ	град	36 %	меньше	37 %	меньше
Время ускорения	мс	40 %	больше	3 %	больше
Время замедления	мс	39 %	меньше	55 %	меньше
ROM	град	12 %	больше	12 %	больше
Голеностопный сустав		Сгибание (плантафлексия)		Разгибание (дорсифлексия)	
Скорость 120 град/с		Разница показателей поврежденной стороны относительно здоровой			
Пик ВМ	Н/м	12 %	больше	3,5%	больше
Пик ВМ/МТ	%	12 %	больше	7 %	больше
Время к Пику ВМ	мс	21 %	меньше	56 %	меньше
Угол Пика ВМ	град	89 %	меньше	19 %	больше
Время ускорения	мс	57 %	меньше	55 %	меньше
Время замедления	мс	61 %	меньше	5 %	меньше
ROM	град	9 %	больше	9 %	больше

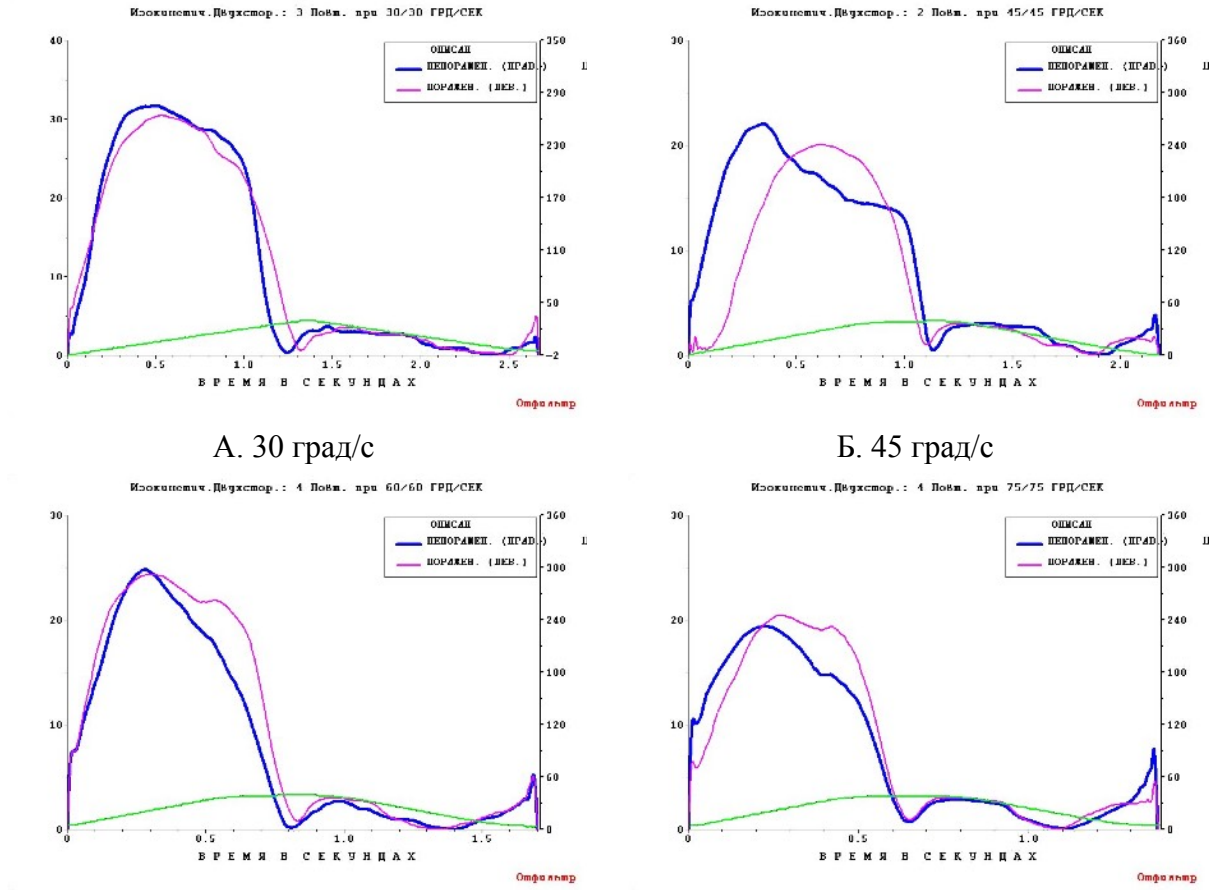
Примечание. Параметры изокинетического тестирования голеностопных суставов на скорости 90 град/с и 120 град/с учащейся хореографического училища (возраст 11,5

лет) после курса физической реабилитации правого голеностопного сустава, полученного в контрольной XI(к) подгруппе (D.S. тендопатия ахиллова сухожилия)

Пример 2 (Паттерн – 1). Восстановление функции левого голеностопного сустава юной спортсменки (возраст 10 лет, художественная гимнастика) после курса физической реабилитации в контрольной XI(к) подгруппе (D.S. лигаментопатия связочного аппарата левого голеностопного сустава) (Рисунок 7.7). Параметры изокинетического тестирования на разных скоростях правого и левого голеностопных суставов юной спортсменки (возраст 10 лет, художественная гимнастика), после курса физической реабилитации левого голеностопного сустава, полученного в контрольной XI(к) подгруппе (D.S. лигаментопатия связочного аппарата левого голеностопного сустава) приведены в таблицах 7.6–7.7.

Таблица 7.6 – Параметры изокинетического тестирования голеностопных суставов юной спортсменки (возраст 10 лет), после курса физической реабилитации левого голеностопного сустава, полученного в контрольной XI(к) подгруппе

Тестирование	Сгибание (здоровая –правая)				Сгибание (поврежд. –левая)			
Скорость град/с	**30**	**45**	**60**	**75**	**30**	**45**	**60**	**75**
Пик ВМ	31,7	22,0	24,8	19,4	30,4	20,1	24,3	20,4
Пик ВМ/МТ	122,4	85,1	95,8	74,8	117,6	77,5	93,9	79,0
Время к Пику ВМ	490,0	360,0	290,0	230,0	530,0	580,0	290,0	290,0
Угол Пика ВМ	12,0	16,0	20,0	19,0	7,0	21,0	14,0	16,0
Время ускорения	60,0	50,0	50,0	40,0	40,0	80,0	50,0	60,0
Время замедления	100,0	400,0	340,0	270,0	120,0	330,0	320,0	280,0
ROM	40,2	37,9	38,5	37,8	39,8	33,9	33,4	34,9
Скорость град/с	**30**	**45**	**60**	**75**	**30**	**45**	**60**	**75**
Пик ВМ	3,6	3,4	4,4	6,2	4,3	3,0	4,5	3,3
Пик ВМ/МТ	14,0	13,3	16,9	23,9	16,6	11,6	17,2	12,7
Время к Пику ВМ	100,0	н/з	н/з	н/з	н/з	100,0	н/з	н/з
Угол Пика ВМ	35,0	2,0	3,0	3,0	-2,0	30,0	-2,0	-4,0
Время ускорения	60,0	110,0	150,0	180,0	70,0	100,0	140,0	170,0
Время замедления	140,0	160,0	170,0	130,0	90,0	180,0	170,0	180,0
ROM	40,2	37,9	38,5	37,8	39,8	33,9	33,4	34,9



А. 30 град/с Б. 45 град/с

В. 60 град/с Г. 75 град/с

Рисунок 7.7 – Графики изокинетического тестирования на малых скоростях (30–45–60–75 град/с) голеностопных суставов юной спортсменки (возраст 10 лет, художественная гимнастика), после курса физической реабилитации левого голеностопного сустава, полученного в контрольной XI(к) подгруппе (D.S. лигаментопатия связочного аппарата голеностопного сустава)

Анализ параметров изокинетического тестирования на разных скоростях правого и левого голеностопных суставов юной спортсменки (возраст 10 лет, художественная гимнастика) после курса физической реабилитации левого голеностопного сустава, полученного в контрольной XI(к) подгруппе (D.S. лигаментопатия связочного аппарата голеностопного сустава) приведен в Таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Анализ параметров изокинетического тестирования голеностопных суставов юной спортсменки (возраст 10 лет) после курса физической реабилитации, полученного в контрольной XI(к) подгруппе

Скорость (град/с)	Сгибание (плантафлексия)				Разгибание (дорсифлексия)			
	Разница показателей поврежденной стороны относительно здоровой							
	30	45	60	75	30	45	60	75
Пик ВМ	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	47% меньше
Пик ВМ/ МТ	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	28% меньше
Время к Пику ВМ	н/з	38% больше	н/з	н/з	90% меньше	90% больше	90% меньше	90% меньше
Угол Пика ВМ	42 % меньше	н/з	30% меньше	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з
Время ускорения	33% меньше	38% больше	н/з	33% меньше	н/з	н/з	н/з	н/з
Время замедления	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з
ROM	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з

Примечание: н/з – незначимая разница (15 – 20%).

2–й Изокинетический паттерн движения (типичен для голеностопного сустава, таблица 7.8): характерен для основной XI(о) подгруппы, когда больше недовосстановлена функция разгибателей голеностопного сустава. На фоне относительного недовосстановления пика вращающего момента (Пик ВМ) разгибателей поврежденной конечности угол пика вращающего момента (Угол Пика ВМ) практически синхронизирован. Временные параметры («Время ускорения», «Время замедления», «Время к пику вращающего момента») сгибателей и разгибателей нуждаются в дальнейшей синхронизации.

Рекомендация: продолжить реабилитацию с акцентом на восстановление функции разгибателей с добавлением элементов контрольной XI(к) подгруппы.

Таблица 7.8 – **Характеристика 2–го паттерна** изокинетического тестирования голеностопных суставов на разных скоростях

Тестирование	Сгибание (плантафлексия)		Разгибание (дорсифлексия)	
Показатель	Разница показателей поврежденной стороны относительно здоровой			
	60 град/с	120 град/с	60 град/с	120 град/с
Пик ВМ	н/з ***	н/з ***	меньше *	меньше *
Пик ВМ/МТ	н/з ***	н/з ***	меньше *	меньше *
Время к Пику ВМ	меньше или н/з **	н/з ***	больше**	меньше **
Угол Пика ВМ	н/з ***	н/з ***	н/з ***	н/з ***
Время ускорения	меньше или н/з **	больше или н/з **	н/з ***	меньше или н/з **
Время замедления	н/з ***	н/з ***	больше или н/з **	меньше или н/з **
ROM	н/з ***	н/з ***	н/з ***	н/з ***

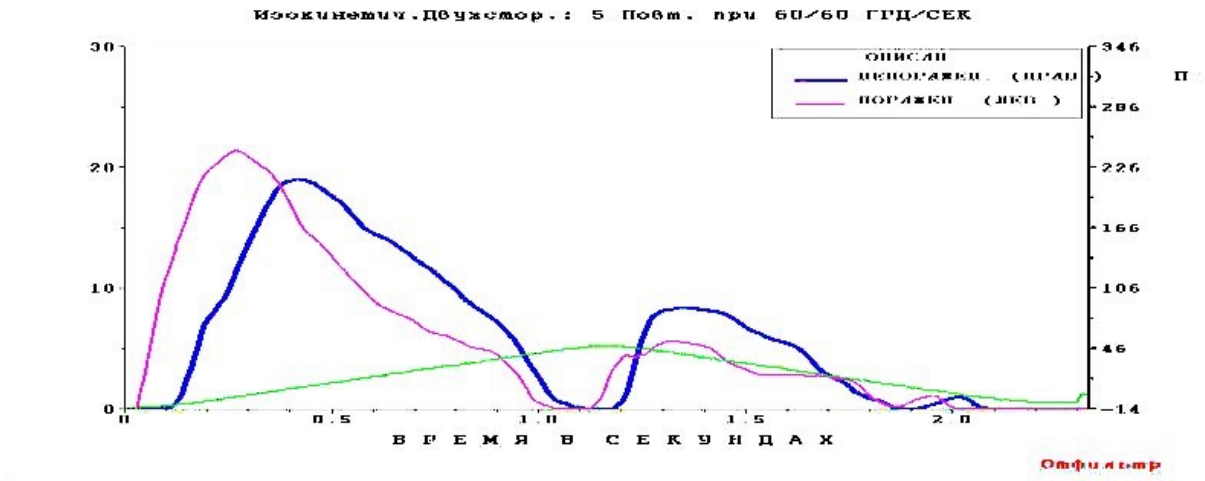
Примечание: * – $p<0,05$; ** – $0,1>p> 0,05$; н/з – незначимая билатеральная разница (до 15 – 20%), *** – $p> 0,1$ по U-критерию Манна–Уитни.

Пример 3 (Паттерн – 2). Восстановление функции правого и левого голеностопных суставов у учащейся хореографического училища (возраст 12 лет) после курса физической реабилитации правого голеностопного сустава в основной XI(o) подгруппе (D.S. лигаментопатия связочного аппарата голеностопного сустава). См. (Рисунок 7.8, таблица 7.9–7.10). Изокинетическое тестирование на средних скоростях (60–120 град/с).

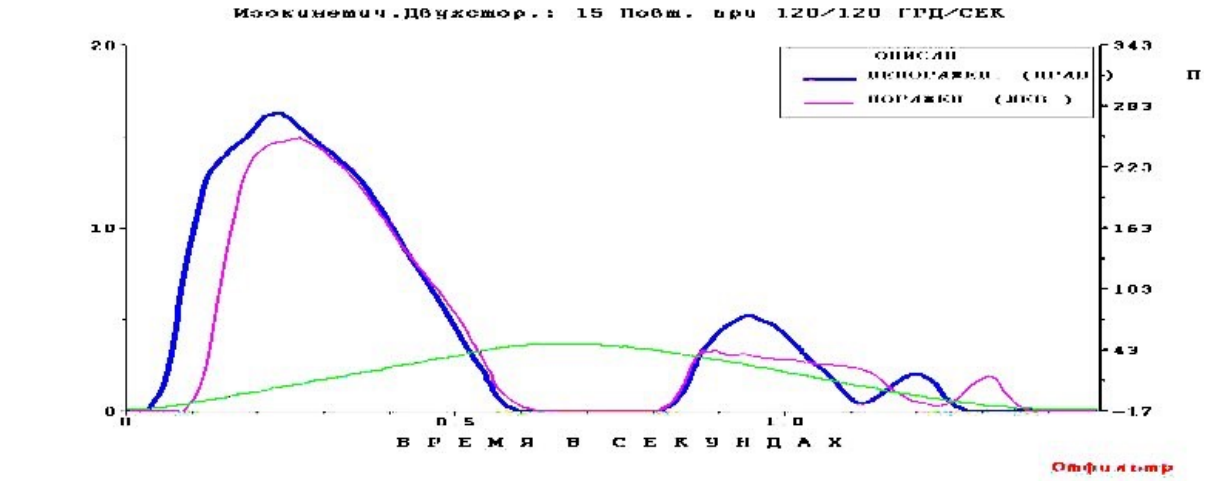
Параметры изокинетического тестирования правого и левого голеностопных суставов учащейся хореографического училища 12 лет после курса физической реабилитации левого голеностопного сустава, полученного в основной XI(o) подгруппе (D.S. лигаментопатия связочного аппарата правого голеностопного сустава) приведены в Таблице 7.9.

На фоне недовосстановления силовых характеристик «Пик ВМ» и «Пик ВМ/МТ» разгибателей и их разно направленного изменения по отношению к сгибателям отмечается практически полное восстановление угла пика вращающего момента (Угол Пика ВМ) левого голеностопного сустава. Параметр

«Время ускорения» на сгибателях несбалансирован по направлению на скоростях 60 и 120 град/с (Таблица 7.10).



А. Левая кривая– «поврежденная» конечность, правая– «здоровая» конечность.



Б. Левая кривая– «здоровая» конечность, правая– «поврежденная» конечность.

Рисунок 7.8 – Графики изокинетического тестирования голеностопных суставов учащейся хореографического училища (возраст 12 лет) после курса физической реабилитации левого голеностопного сустава, полученного в основной XI(о) подгруппе (D.S. лигаментопатия связочного аппарата правого голеностопного сустава). А – тестирование на скорости 60 град/с, Б – тестирование на скорости 120 град/с

Таблица 7.9 – Параметры изокинетического тестирования голеностопных суставов учащейся хореографического училища (возраст 12 лет) после курса физической реабилитации, полученного в основной XI(о) подгруппе

Тестирование	Сгибание (60 град/с)		Разгибание (60 град/с)		Сгибание (120 град/с)		Разгибание (120 град/с)	
Показатель	Здор.	Повр.	Здор.	Повр.	Здор.	Повр.	Здор.	Повр.
	Прав.	Левая	Прав.	Левая	Прав.	Левая	Прав.	Левая
Пик ВМ	19,0	21,3	8,4	5,6	16,3	14,9	5,2	3,3
Пик ВМ/МТ	68,6	77,1	30,2	20,1	58,9	53,8	18,8	11,9
Время к Пику ВМ	430,0	300,0	190,0	240,0	240,0	280,0	290,0	190,0
Угол Пика ВМ	7,0	6,9	38,0	40,0	6,0	6,0	30,0	41,0
Время ускорения	160,0	70,0	70,0	80,0	90,0	150,0	200,0	150,0
Время замедления	90,0	90,0	270,0	380,0	100,0	110,0	240,0	130,0
ROM	61,0	67,4	61,0	67,4	66,7	67,2	66,7	67,2

Таблица 7.10 – Анализ параметров изокинетического тестирования голеностопных суставов на скорости 60 град/с у учащейся хореографического училища (возраст 12 лет) после курса физической реабилитации левого голеностопного сустава, полученного в основной XI(о) подгруппе

Тестирование	Сгибание (плантафлексия)		Разгибание (дорсифлексия)	
Скорость 60 град/с	Разница показателей поврежденной и здоровой стороны			
Пик ВМ	11 %	больше	33 %	меньше
Пик ВМ/МТ	11 %	больше	33 %	меньше
Время к Пику ВМ	30 %	меньше	63 %	больше
Угол Пика ВМ	1 %	меньше	5 %	больше
Время ускорения	56 %	меньше	12,5%	больше
Время замедления	0 %	равно	29 %	больше
ROM	9,5%	больше	9,5%	больше
Скорость 120 град/с	Разница показателей поврежденной и здоровой стороны			
Пик ВМ	8,6%	меньше	37	меньше
Пик ВМ/МТ	8,7%	меньше	37	меньше
Время к Пику ВМ	14 %	больше	35	меньше
Угол Пика ВМ	0 %	равно	27	больше
Время ускорения	40 %	больше	25	меньше
Время замедления	9 %	больше	46	меньше
ROM	0,7%	больше	0,7	больше

3–й Изокинетический паттерн движения (типичен для коленного сустава, таблица 7.11): характерен для основной XI(о) подгруппы, когда при относительно полном восстановлении функции разгибателей на средних скоростях (60–120 град/с) отмечается недовосстановление пика вращающего момента (Пик ВМ) и «Времени замедления» сгибателей и разгибателей на высоких скоростях (180–240 град/с), а также увеличение угла пика вращающего момента (Угол Пика ВМ) сгибателей на средне–высоких скоростях (90–240 град/с).

Рекомендация продолжить реабилитацию с акцентом на упражнения на высоких скоростях с добавление элементов из контрольной XI(к) подгруппы.

Таблица 7.11 – **Характеристика 3–го паттерна** изокинетического тестирования коленного сустава на разных скоростях

Разгибание				
Скорость (град/с)	90	120	180	240
Пик ВМ	н/з***	н/з***	меньше*	меньше*
Пик ВМ/МТ	н/з***	н/з***	меньше*	меньше*
Время к Пику ВМ	н/з***	н/з***	н/з***	н/з***
Угол Пика ВМ	н/з***	н/з***	н/з***	н/з***
Время ускорения	н/з***	н/з***	н/з***	н/з***
Время замедления	н/з***	н/з***	больше*	больше*
ROM	н/з***	н/з***	н/з***	н/з***
Сгибание				
Скорость (град/с)	90	120	180	240
Пик ВМ	н/з***	н/з***	меньше*	меньше*
Пик ВМ/МТ	н/з***	н/з***	меньше*	меньше*
Время к Пику ВМ	н/з***	н/з***	н/з***	н/з***
Угол Пика ВМ	больше*	больше*	больше*	больше*
Время ускорения	н/з***	н/з***	н/з***	н/з***
Время замедления	н/з***	н/з***	больше*	больше*
ROM	н/з***	н/з***	н/з***	н/з***

Примечание: * – $p< 0,05$; ** – $0,1>p> 0,05$; н/з – незначимая билатеральная разница (до 15 – 20%), *** – $p> 0,1$ по U-критерию Манна–Уитни.

Пример 4 (Паттерн – 3). Восстановление функции коленного сустава у учащейся хореографического училища (возраст 12 лет) после курса физической

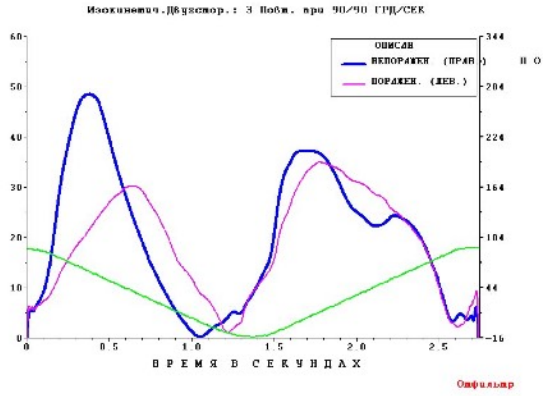
реабилитации в основной XI(o) подгруппе (D.S. остеохондропатия левого надколенника) (Таблица 7.12–7.14), Рисунок 7.9. Изокинетическое тестирование на средних скоростях (90–120 град/с) до прохождения курса физической реабилитации и на средне-высоких скоростях (90–120–180–240–300/180 град/с).

Таблица 7.12 – Параметры изокинетического тестирования коленного сустава (D.S. остеохондропатия левого надколенника) учащейся хореографического училища (возраст 12 лет) при разных скоростях (Рисунок 7.9 A, B) до начала восстановительного лечения в основной XI(o) подгруппе

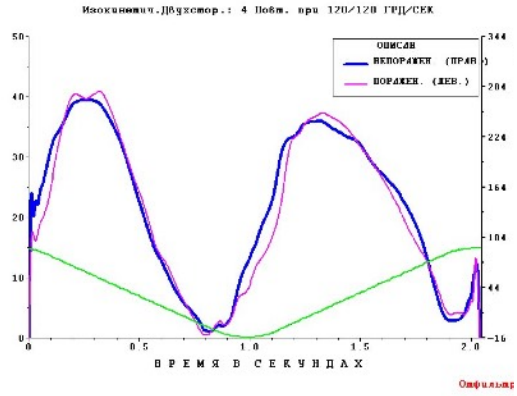
Тестирование	Разгибание (90 град/с)		Сгибание (90 град/с)		Разгибание (120 град/с)		Сгибание (120 град/с)	
	Здор.	Повр.	Здор.	Повр.	Здор.	Повр.	Здор.	Повр.
Показатель	Прав.	Левая	Прав.	Левая	Прав.	Левая	Прав.	Левая
Пик ВМ	48,5	30,2	37,2	35,0	39,4	40,9	36,0	37,3
Пик ВМ/МТ	148,4	92,4	113,8	107,0	120,6	125,0	110,1	114,1
Время к Пику ВМ	390,0	630,0	300,0	390,0	280,0	330,0	330,0	330,0
Угол Пика ВМ	63,0	41,0	6,0	13,0	61,0	56,0	16,0	14,0
Время ускорения	140,0	150,0	100,0	100,0	70,0	80,0	90,0	110,0
Время замедления	200,0	130,0	130,0	120,0	140,0	140,0	120,0	110,0
ROM	105,7	105,5	105,7	105,5	105,5	104,9	105,5	104,9

Таблица 7.13 – Анализ параметров изокинетического тестирования коленного сустава при разных скоростях до начала восстановительного лечения

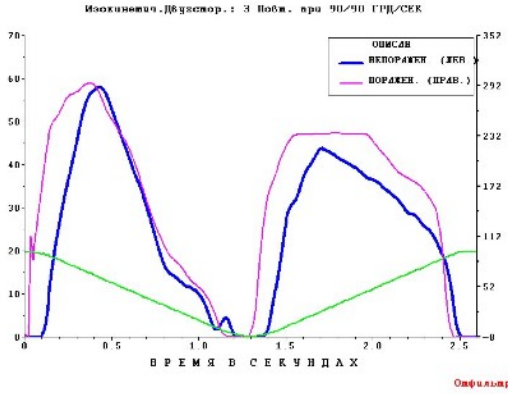
Тестирование/ скорость	Разгибание		Сгибание	
	Разница показателей поврежденной и здоровой стороны			
	90 град/с	120 град/с	60 град/с	120 град/с
Пик ВМ	38 % меньше	н/з	н/з	н/з
Пик ВМ/МТ	38 % меньше	н/з	н/з	н/з
Время к Пику ВМ	38 % больше	33 % больше	н/з	н/з
Угол Пика ВМ	35 % меньше	68 % больше	н/з	н/з
Время ускорения	н/з	н/з	н/з	н/з
Время замедления	35 % меньше	н/з	н/з	н/з
ROM	н/з	н/з	н/з	н/з



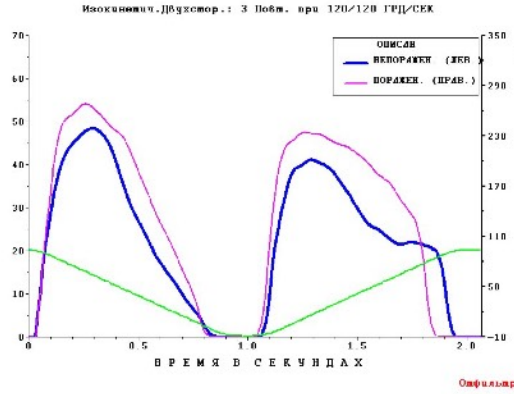
А. Левее кривая «здоровой» конечности, правее– «пораженной». Скорость 90/90 град/с.



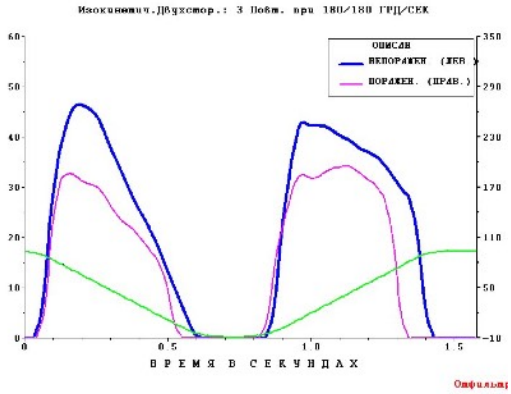
Б. Левее кривая «здоровой» конечности, правее– «пораженной». Скорость 120/120 град/с.



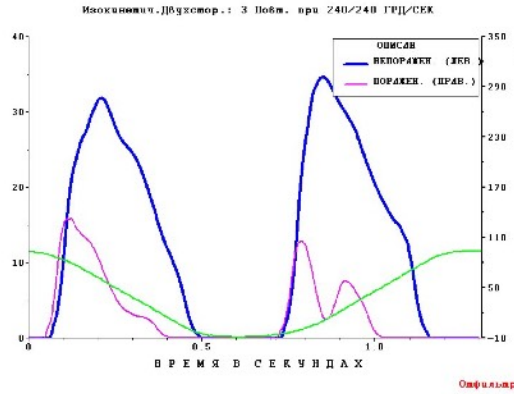
А1. Левее кривая «здоровой» конечности, правее– «пораженной». Скорость 90/90 град/с.



Б1. Левее кривая «здоровой» конечности, правее– «пораженной». Скорость 120/120 град/с.



В1. Выше – кривая «здоровой» конечности, ниже– «пораженной». Скорость 180/180 град/с.



Г1. Выше – кривая «здоровой» конечности, ниже– «пораженной». Скорость 240/240 град/с.

Рисунок 7.9 – Графики изокинетического тестирования коленного сустава у учащейся хореографического училища (возраст 12 лет, D.S. остеохондропатия левого надколенника): А, Б – до начала восстановительного лечения; А1, Б1, В1, Г1 – к окончанию восстановительного лечения.

Таблица 7.14 – Анализ параметров изокинетического тестирования коленного сустава к окончанию восстановительного лечения

Разгибание					
Скорость (град/с)	90	120	180	240	300
Пик ВМ	н/з	н/з	30% меньше	52% меньше	н/з
Пик ВМ/МТ	н/з	н/з	30% меньше	50% меньше	н/з
Время к Пику ВМ	23% меньше	н/з	15% меньше	32% меньше	н/з
Угол Пика ВМ	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з
Время ускорения	67% меньше	н/з	н/з	н/з	н/з
Время замедления	н/з	н/з	36% больше	39% больше	н/з
ROM	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з
Сгибание					
Скорость (град/с)	90	120	180	240	180
Пик ВМ	н/з	н/з	30% меньше	65% меньше	15% меньше
Пик ВМ/МТ	н/з	н/з	30% меньше	63% меньше	15% меньше
Время к Пику ВМ	15% больше	н/з	43% больше	н/з	15% меньше
Угол Пика ВМ	47% больше	45% больше	80% больше	36% больше	46% больше
Время ускорения	25% меньше	н/з	н/з	н/з	17% меньше
Время замедления	н/з	36% больше	37% больше	53% больше	н/з
ROM	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з

Примечание: н/з – незначимая билатеральная разница (15 – 20%).

4–й Изокинетический паттерн движения (типичен для коленного и голеностопного суставов, таблица 7.15): характерен для основной XI(о) и контрольной XI(к) подгрупп. На фоне практически полного восстановления основных параметров на средних скоростях (90–120 град/с) отмечается уменьшение «Времени к Пику ВМ» на высоких скоростях (120–240 град/с) на разгибании и «Времени замедления» на средних скоростях (90–120 град/с) на сгибании.

Таблица 7.15 – **Характеристика 4–го паттерна** изокинетического тестирования коленного сустава на разных скоростях

Движение	Разгибание					Сгибание				
Показатель\ скорость в град/с	Разница показателей поврежденной стороны относительно здоровой									
	90	120	150	180	240	90	120	150	180	240
Пик ВМ	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з
Пик ВМ/МТ	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з
Время к Пику ВМ	н/з	н/з	н/з	**меньше***	**меньше***	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з
Угол Пика ВМ	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з
Время ускорения	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з
Время замедления	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	**больше***	**больше***	н/з	н/з	н/з
ROM	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з

Примечание: * – $p< 0,05$; н/з – незначимая билатеральная разница (до 15 – 20%); $0,1>p> 0,05$ по U-критерию Манна–Уитни.

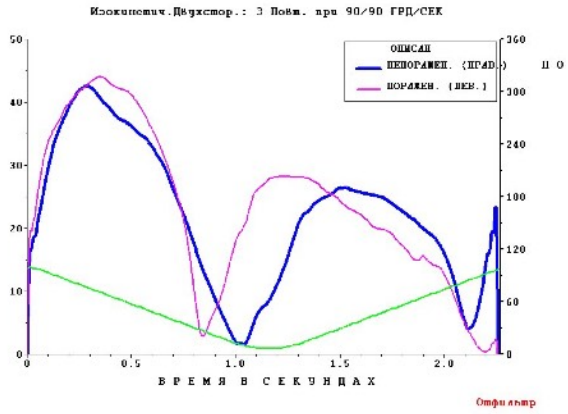
Пример 5 (Паттерн – 4). Восстановление функции коленного сустава у юной спортсменки (возраст 10 лет, художественная гимнастика), после курса физической реабилитации левого коленного сустава, полученного в контрольной XI(к) подгруппе (D.S. повреждение от перегрузки мягких тканей левого коленного сустава).

Параметры изокинетического тестирования на разных скоростях сгибания и разгибания обоих коленных суставов юной спортсменки 10 лет (художественная гимнастика) после курса физической реабилитации левого коленного сустава в контрольной XI(к) подгруппе (D.S. повреждение от перегрузки мягких тканей

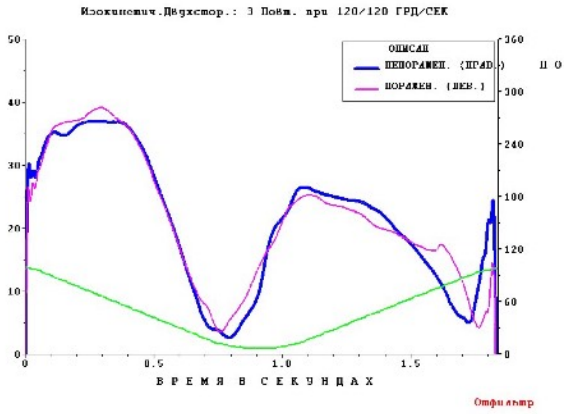
левого коленного сустава) приведены в Таблице 7.16 и на Рисунке 7.10.

Таблица 7.16 – Параметры изокинетического тестирования коленного сустава юной спортсменки (возраст 10 лет) после курса физической реабилитации

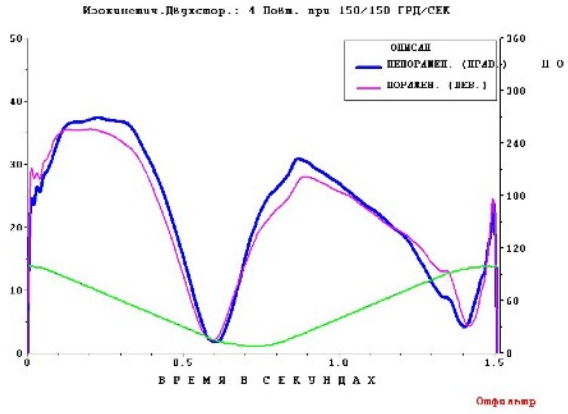
Разгибание	Здоровая (правая)					Поврежденная (левая)				
Скорость в град/с	**90**	**120**	**150**	**180**	**240**	**90**	**120**	**150**	**180**	**240**
Пик ВМ	42,6	37,0	37,4	33,1	30,6	44,0	39,2	35,5	36,1	31,9
Пик ВМ/МТ	164,5	142,8	144,4	127,8	118,3	170,1	151,3	137,4	139,5	123,3
Время к Пику ВМ	290,0	310,0	240,0	220,0	150,0	380,0	320,0	210,0	150,0	50,0
Угол Пика ВМ	77,0	66,0	71,0	67,0	76,0	67,0	65,0	71,0	67,0	94,0
Время ускорения	70,0	50,0	80,0	80,0	110,0	60,0	50,0	70,0	70,0	80,0
Время замедления	150,0	200,0	140,0	170,0	180,0	120,0	170,0	140,0	170,0	190,0
ROM	93,1	92,2	92,7	91,9	92,9	89,7	92,3	92,0	90,1	91,1
Сгибание	Здоровая (правая)					Поврежденная (левая)				
Скорость в град/с	**90**	**120**	**150**	**180**	**240**	**90**	**120**	**150**	**180**	**240**
Пик ВМ	26,5	26,4	30,9	26,1	24,4	28,2	25,3	28,0	28,3	25,6
Пик ВМ/МТ	102,2	102,1	119,3	100,8	94,1	109,1	97,7	108,2	109,3	98,8
Время к Пику ВМ	370,0	160,0	140,0	180,0	110,0	270,0	250,0	160,0	180,0	580,0
Угол Пика ВМ	34,0	19,0	20,0	26,0	14,0	31,0	27,0	21,0	24,0	97,0
Время ускорения	100,0	90,0	90,0	110,0	160,0	80,0	130,0	110,0	120,0	150,0
Время замедления	90,0	120,0	150,0	180,0	190,0	380,0	210,0	150,0	170,0	150,0
ROM	93,1	92,2	92,7	91,9	92,9	89,7	92,3	92,0	90,1	91,1



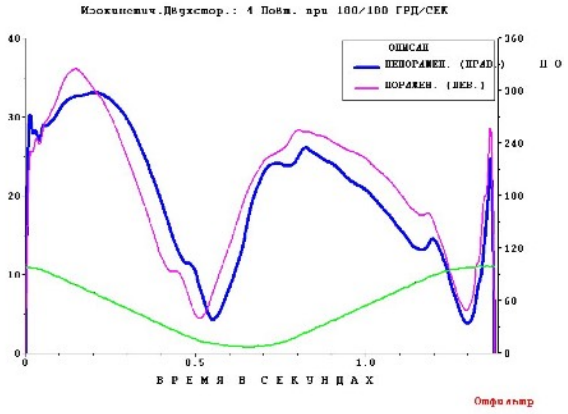
A. Скорость 90 град/с.



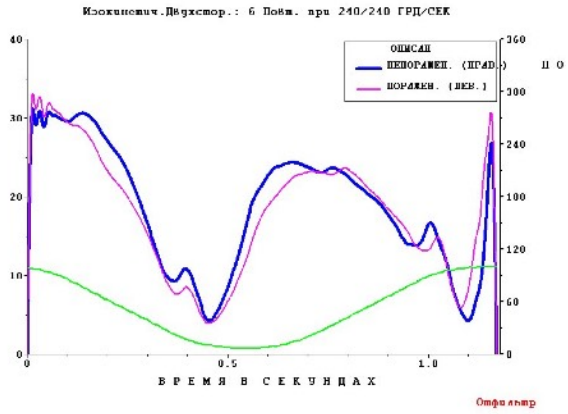
B. Скорость 120 град/с.



C. Скорость 150 град/с.



D. Скорость 180 град/с.



E. Скорость 240 град/с.

Рисунок 7.10 – Графики изокинетического тестирования коленного сустава юной спортсменки (возраст 10 лет, художественная гимнастика), после курса физической реабилитации левого коленного сустава, полученного в контрольной XI(к) подгруппе

Анализ параметров изокинетического тестирования на разных скоростях тестирования правого и левого коленных суставов юной спортсменки 10 лет (художественная гимнастика), после курса физической реабилитации левого коленного сустава в контрольной XI(к) подгруппе (D.S. повреждение от перегрузки мягких тканей левого коленного сустава) приведены в Таблице 7.17.

Таблица 7.17 – Анализ параметров изокинетического тестирования на разных скоростях коленного сустава юной спортсменки (возраст 10 лет), после курса физической реабилитации левого коленного сустава в контрольной XI(к) подгруппе

Тестирование / скорость в град/с	Разгибание					Сгибание				
	Разница показателей поврежденной стороны относительно здоровой									
	90	120	150	180	240	90	120	150	180	240
Пик ВМ	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з
Пик ВМ/МТ	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з
Время к Пику ВМ	н/з	н/з	н/з	32 % меньше	67 % меньше	32% меньше	36% больше	н/з	н/з	н/з
Угол Пика ВМ	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	30% больше	н/з	н/з	н/з
Время ускорения	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	20% меньше	31% меньше	18% меньше	н/з	н/з
Время замедления	20% меньше	н/з	н/з	н/з	н/з	76% больше	91% больше	н/з	н/з	н/з
ROM	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з	н/з

Примечание: н/з – незначимая билатеральная разница (15 – 20%).

5–й Изокинетический паттерн движения (типичен для коленного и голеностопного сустава, таблица 7.18): характерен для недовосстановления в основной XI(о) подгруппе. Отмечается относительно равномерная нормализация основных параметров «Пик ВМ», «Пик ВМ/МТ», «Время к Пику ВМ», «Угол Пика ВМ», «Время ускорения» на разгибании коленного сустава на средних скоростях 90 град/с, 120 град/с. Рекомендуется продолжить курс физической реабилитации.

Пример 6 (Паттерн – 5). Восстановление функции коленного сустава у учащейся хореографического училища (возраст 13 лет) до (Рисунок А, В) и после (Рисунок А1, В1) курса, физической реабилитации левого коленного сустава в основной XI(о) подгруппе (D.S. повреждение левого медиального мениска от перегрузки).

Графики изокинетического тестирования на разных скоростях правого и левого коленного сустава у учащейся хореографического училища (возраст 13 лет)

до (Рисунок 7.11 А, В) и после (Рисунок 7.11 А1, В1) курса физической реабилитации левого коленного сустава в основной XI(о) подгруппе (D.S. повреждение левого медиального мениска от перегрузки) представлены на Рисунке 7.11.

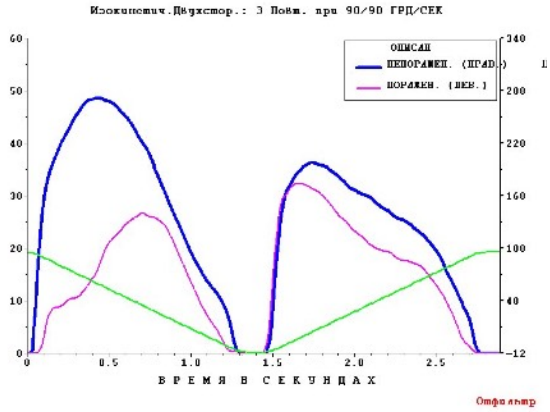
Таблица 7.18 – **Характеристика 5–го паттерна** изокинетического тестирования коленного сустава на разных скоростях

Тестирование	Разгибание		Сгибание	
Показатель	Разница показателей поврежденной стороны относительно здоровой			
	90 град/с	120 град/с	90 град/с	120 град/с
Пик ВМ	меньше*	н/з***	н/з***	н/з***
Пик ВМ/МТ	меньше*	н/з***	н/з***	н/з***
Время к Пику ВМ	больше/меньше**	больше/меньше**	н/з***	н/з***
Угол Пика ВМ	больше/меньше**	больше/меньше**	н/з***	н/з***
Время ускорения	н/з***	н/з***	н/з***	н/з***
Время замедления	н/з***	н/з***	н/з***	н/з***
ROM	н/з***	н/з***	н/з***	н/з***

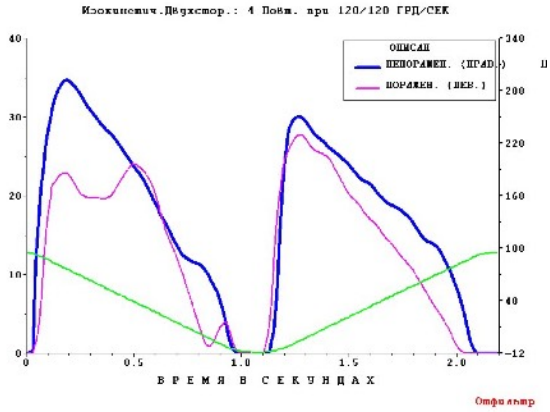
Примечание: * – p< 0,05; ** – 0,1>p>0,05; н/з – незначимая билатеральная разница (до 15 – 20%), *** – p> 0,1 по U-критерию Манна–Уитни.

Параметры изокинетического тестирования на разных скоростях правого и левого коленных суставов у учащейся хореографического училища (возраст 13 лет) до (Рисунок 7.11 А, В) и после (Рисунок 7.11 А1, В1) курса физической реабилитации левого коленного сустава в основной XI(о) подгруппе (D.S. повреждение левого медиального мениска от перегрузки) представлены в Таблице 7.19.

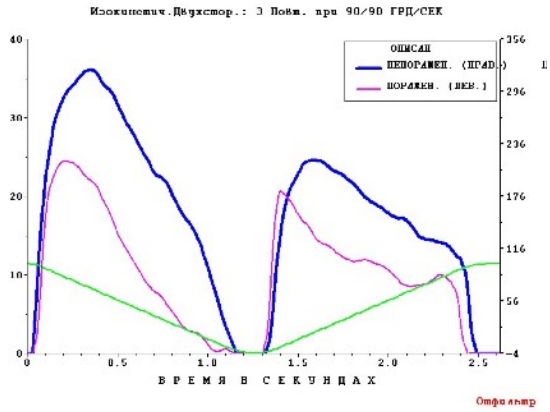
Качественно проведенная физическая реабилитация в амбулаторно-поликлинических условиях хорошо восстанавливает силовые (динамические) параметры движения в коленном и голеностопном суставах, особенно, на высоких скоростях. Но функциональность активации мышц (параметры «Угол Пика ВМ», «Время замедления» на средних скоростях) намного лучше восстанавливались в основной XI(о) подгруппе Тайцзицюань.



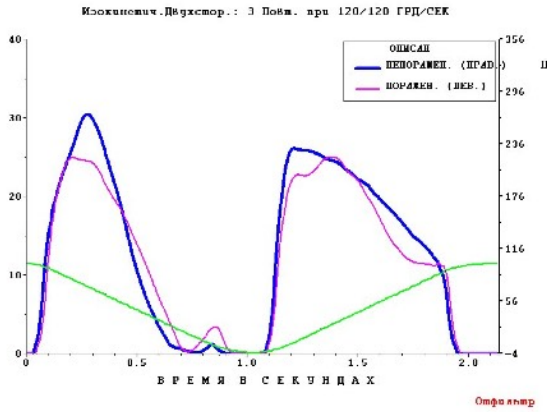
A. Скорость 90 град/с



B. Скорость 120 град/с



A1. Скорость 90 град/с



B1. Скорость 120 град/с

Рисунок 7.11 – Графики изокинетического тестирования коленного сустава учащейся хореографического училища (возраст 13 лет) до (A, B) и после (A1, B1) курса физической реабилитации

Параметры изокинетического тестирования правого и левого коленных суставов у учащейся хореографического училища 13 лет до (Рисунок 7.11 A, B) и после (Рисунок 7.11 A1, B1) курса физической реабилитации левого коленного сустава в основной XI(o) подгруппе (D.S. повреждение медиального мениска от перегрузки) приведены в Таблице 7.19.

Таблица 7.19 – Параметры изокинетического тестирования коленного сустава у учащейся хореографического училища (возраст 13 лет) до и после курса физической реабилитации в основной XI(o) подгруппе

До курса реабилитации	Разгибание (90 град/с)		Сгибание (90 град/с)		Разгибание (120 град/с)		Сгибание (120 град/с)	
	Здор.	Повр.	Здор.	Повр.	Здор.	Повр.	Здор.	Повр.
Показатель	Прав.	Левая	Прав.	Левая	Прав.	Левая	Прав.	Левая
Пик ВМ	48,6	26,7	36,3	32,3	34,7	24,0	30,0	27,7
Пик ВМ/МТ	162,1	89,1	121,2	107,9	115,8	80,2	100,1	92,4
Время к Пику ВМ	430,0	700,0	340,0	230,0	200,0	510,0	180,0	210,0
Угол Пика ВМ	68,0	44,0	12,0	5,0	84,0	46,0	3,0	8,0
Время ускорения	70,0	120,0	110,0	80,0	60,0	90,0	100,0	90,0
Время замедления	140,0	130,0	140,0	160,0	150,0	120,0	120,0	160,0
ROM	114,7	112,1	114,7	112,1	114,2	111,3	114,2	111,3
После курса реабилитации	Разгибание (90 град/с)		Сгибание (90 град/с)		Разгибание (120 град/с)		Сгибание (120 град/с)	
	Здор.	Повр.	Здор.	Повр.	Здор.	Повр.	Здор.	Повр.
Показатель	Прав.	Левая	Прав.	Левая	Прав.	Левая	Прав.	Левая
Пик ВМ	36,1	24,5	24,5	20,6	30,4	25,0	26,1	25,0
Пик ВМ/МТ	130,5	88,3	88,6	74,4	109,8	90,1	94,2	90,2
Время к Пику ВМ	360,0	220,0	320,0	150,0	290,0	210,0	180,0	340,0
Угол Пика ВМ	71,0	91,0	18,0	14,0	72,0	89,0	10,0	39,0
Время ускорения	70,0	90,0	110,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Время замедления	160,0	160,0	160,0	220,0	200,0	170,0	240,0	210,0
ROM	103,2	100,5	103,2	100,5	25,7	23,7	26,0	20,1

Анализ параметров изокинетического тестирования правого и левого коленных суставов у учащейся хореографического училища (возраст 13 лет) до (Рисунок 7.11 A, B) и после (Рисунок 7.11 A1, B1) курса физической реабилитации левого коленного сустава в основной XI(o) подгруппе (D.S. повреждение медиального мениска от перегрузки) приведен в Таблице 7.20.

Таблица 7.20 – Анализ параметров изокинетического тестирования коленного сустава до и после курса физической реабилитации левого коленного сустава в основной XI(о) подгруппе

Коленный сустав	Разгибание		Сгибание	
До курса реабилитации	Разница показателей поврежденной стороны относительно здоровой			
	90 град/с	120 град/с	90 град/с	120 град/с
Пик ВМ	45% меньше	31% меньше	н/з	н/з
Пик ВМ/МТ	45% меньше	31% меньше	н/з	н/з
Время к Пику ВМ	53% больше	61% меньше	32% меньше	14% больше
Угол Пика ВМ	35% меньше	45 % меньше	58% меньше	63% больше
Время ускорения	42% больше	33% больше	27% меньше	н/з
Время замедления	н/з	20% меньше	н/з	25% больше
ROM	н/з	н/з	н/з	н/з
Коленный сустав	Разгибание		Сгибание	
После курса реабилитации	Разница показателей поврежденной стороны относительно здоровой			
	90 град/с	120 град/с	90 град/с	120 град/с
Пик ВМ	32% меньше	н/з	н/з	н/з
Пик ВМ/МТ	31% меньше	н/з	н/з	н/з
Время к Пику ВМ	39% меньше	28% меньше	53% меньше	47% больше
Угол Пика ВМ	22% больше	20% больше	22% меньше	75% больше
Время ускорения	22% больше	н/з	н/з	н/з
Время замедления	н/з	27% больше	н/з	н/з
ROM	н/з	н/з	н/з	н/з

Примечание: н/з – незначимая билатеральная разница (до 15 – 20%).

В ходе проведения типизации основных параметров изокинетического тестирования коленного и голеностопного суставов с применением кластерного анализа в среде статистических компьютерных вычислений R (RStudio Version 1.2.1335 © 2009–2019) получили следующую сводную матрицу паттернов (Таблица 7.21).

Таблица 7.21 – Сводная матрица паттернов изокинетического тестирования коленного и голеностопного суставов

Параметры	Сгибание		Разгибание	
	средние скорости	высокие скорости	средние скорости	свысокие скорости
Пик ВМ	н/з	П3 меньше	П2 меньше, П5 меньше	П3 меньше
Пик ВМ/МТ	н/з	П3 меньше	П2 меньше, П5 меньше	П3 меньше
Время к Пику ВМ	П3 больше	н/з	П5 больше/меньше	П4 меньше
Угол Пика ВМ	П1 меньше, П3 больше	П3 больше	П5 больше/меньше	н/з
Время ускорения	н/з	н/з	н/з	н/з
Время замедления	П1 меньше, П4 больше	П3 больше	н/з	П3 больше
ROM	н/з	н/з	н/з	н/з

Примечание: н/з – незначимая билатеральная разница (до 15 – 20%), П – паттерн.

Распределение по изокинетическим паттернам принимавших в исследовании представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения и сравнительная характеристика паттернов приведена в таблицах 7.22, 7.23, 7.24.

Таблица 7.22 – Сравнительная характеристика паттернов

Паттерны	Типичная локализация по суставам	Характеристика восстановления функции суставов
П1	голеностопный	недостаточность функции сгибателей
П2	голеностопный	недостаточность функции разгибателей
П3	коленный	недостаточность силовых показателей, недостаточность функции на высоких скоростях
П4	коленный и голеностопный	практически полное восстановление функции суставов
П5	коленный и голеностопный	промежуточное оптимального восстановление функции суставов

Таблица 7.23 – Сравнительная характеристика значимых параметров паттернов изокинетического тестирования

Параметры	Паттерны				
	П1	П2	П3	П4	П5
Пик ВМ	н/з	меньше на разгибании	меньше на сгибании и разгибании	н/з	меньше на разгибании
Пик ВМ	н/з	меньше на разгибании	меньше на сгибании и разгибании	н/з	меньше на разгибании
Время к Пику ВМ	н/з	н/з	н/з	меньше на разгибани и	больше/меньше на разгибании
Угол Пика ВМ	меньше на сгибании	н/з	больше на сгибании	н/з	больше/меньше на разгибании
Время замедления	меньше на сгибании	н/з	больше на сгибании и разгибании	больше на сгибании	н/з

Примечание: н/з – незначимая билатеральная разница (до 15 – 20%), П – паттерн.

Таблица 7.24 – Сравнительная характеристика распределения паттернов изокинетического тестирования по обследуемым подгруппам

Параметры	Паттерны					
	П1	П2	П3	П4	П5	р-значение
Основная XI(о) (n = 38)	3	9	8	7	11	0,003
Контрольная XI(к) (n = 38)	14	2	2	11	9	

Примечание: При сравнении сопряженности основной и контрольной подгрупп число степеней свободы равно 4; значение критерия χ^2 составляет 16,261; критическое значение χ^2 при уровне значимости p = 0,01 составляет 13,277; уровень значимости p = 0,003.

Двухнедельный курс физической реабилитации в контрольной XI(к) подгруппе в целом был результативнее, чем аналогичный по времени курс Тайцзицюань в основной XI(о) подгруппе. Возможно, это связано с тем, что Тайцзицюань ориентировано на более пролонгированные занятия. Разработанный курс гимнастики Тайцзицюань может быть эффективным дополнением единого комплекса мероприятий, направленых на восстановление функции ОДА у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения на ранних этапах реабилитации.

При написании данной главы использовались следующие публикации автора:

Васильев, О.С. Хореографическая «выворотность» как фенотипический маркер дисплазии соединительной ткани в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. Т. 6. № 3. С. 48-53.

Васильев, О.С. Концепция геовосстановления как новейшая научно-практическая технология восстановления спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2016. № 2. С. 141-145.

Васильев, О.С Об эффективности использования медикаментозной терапии в рамках поуровневой реабилитации опорно-двигательного аппарата спортсменов / О.С. Васильев, А.С. Самойлов, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2017. № 2. С. 130-133.

Васильев, О.С. Диагностика малых повреждений опорно-двигательного аппарата квалифицированных спортсменов методом поуровневого анализа построения движения / О.С.Васильев, А.С. Самойлов, С.П. Левушкин // Медицина экстремальных ситуаций. – 2018. Т. 20. № 2. С. 197-202.

Васильев, О.С. Биомеханические особенности повреждения голеностопного сустава и стопы у учащихся хореографических училищ и артистов балета (Теоретическое исследование) / О.С. Васильев, И.А. Степаник, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, А.В. Рохлин // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2020. №1(155). С. 49-57.

Васильев, О.С. Мышечный гипертонус в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, В.И. Лях // Теория и практика физической культуры. – 2021. № 4. С. 75-77.

Васильев, О.С. Оценка эффективности гимнастики тайцзицюань в физической реабилитации коленного сустава у юных гимнасток и учащихся хореографических училищ / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, В.И. Лях, А.Н. Шарапов // Журнал медико-биологических исследований. – 2021. Т. 9. № 2. С. 115-125.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Виды двигательной активности, связанные с искусством движения (классический танец, художественная гимнастика, акробатика, фигурное катание на коньках, синхронное плавание и др.), предъявляют экстремальные требования к объёму движений в тазобедренном суставе. Возникает естественный вопрос, какими *морфологическими данными* должен располагать идеальный спортсмен или танцор, чтобы удовлетворить все возрастающим техническим требованиям?

Можно было бы предположить, что наличие таких «идеальных данных», как, например, неглубокая ретроверсированная вертлужная впадина, ретроверсия бедренной кости, строение проксимального отдела бедренной кости по типу *Coxa Valga* и врожденная гиперэластичность мягких тканей, обеспечит максимальный объём движений в тазобедренном суставе. Однако, это не так. Чем выраженнее будут такие данные, тем больше они будут ограничены в своём проявлении функциональным импинджментом и нестабильностью тазобедренных суставов. Так ретроверсия вертлужной впадины может провоцировать ацетабулярный и/или подостный импинджмент, которые будут ограничивать сгибание и порождать заднюю нестабильность тазобедренного сустава (de Sa D. et al., 2014; Larson C.M. et al., 2013, 2015; Harris J.D. et al., 2016; Nakano N. et al., 2017). К тем же результатам может приводить повышенная ретроверсия бедренной кости. В итоге выполнить гимнастические элементы по типу «переднего равновесия» будет проблематично. Увеличенный угол наклона шейки бедренной кости по типу *Coxa Valga* провоцирует ишиофеморальный импинджмент в положениях разгибания, отведения и внешней ротации, что ограничит целый спектр элементов по типу «заднего равновесия» (Ali A.M. et al., 2011, 2013; Tosun O. et al., 2012; Bredella M.A., et al, 2015; Nakano N. et al., 2017). Неглубокая вертлужная впадина и повышенная эластичность мягких тканей (часто эти состояния сочетаются) создают постоянную угрозу нестабильности тазобедренного сустава. Тем более, что ряд гимнастических элементов (шпагаты) и элементов классического танца по типу *développé à la seconde* и *grand plié* сами провоцируют микронестабильность и подвывихи при их выполнении (Harris J.D. et al., 2016; Mitchell R.J. et al., 2016).

Поэтому, **«сверхфизиологические» морфологические данные никакого выигрыша в объеме профессиональных движений в тазобедренном суставе не дадут.** С выходом за границы физиологической нормы все морфологические преимущества в объеме движений будут пропорционально ограничиваться функциональным импинджментом и нестабильностью тазобедренных суставов (аналогичные рассуждения верны и для голеностопного сустава). Тем самым, в каждом конкретном случае необходим баланс данных на границе конституциональной физиологической нормы. Однако вариабельность нормы морфологии тазобедренного сустава чрезвычайно широка и до конца не изучена. Возможно, что переход от плоскостных (2D) к пространственным (3D) и, далее, к топологическим пространственным способам оценки морфологии тазобедренного сустава даст б*о*льшее понимание границ конституциональной физиологической нормы. Заметим, что такие инструментальные методы исследования как КТ и МРТ в своем заключении опираются на двухмерные срезы (проекции). Это же касается всевозможных «углов», которые являются плоскостными характеристиками. Трехмерные (и тем более, дифференциально-геометрические) морфологические характеристики строения тазобедренных суставов еще не разработаны.

Хореографическая выворотность является фундаментальным, конституционально обусловленным физическим качеством, в значительной степени задействованным в видах двигательной активности, связанных с искусством движения. Выворотность позволяет значительно расширить не только объем движений в суставе, но и топологию пространства движения суставов нижней конечности, что является особо востребованным и в хореографии, и в спорте (художественная гимнастика, акробатика, фигурное катание на коньках, синхронное плавание и др.). Движения классического танца рассчитаны на их выворотное исполнение. При отсутствии выворотности многие технические элементы, её требующие, спортсмен или танцор либо не выполнит, либо будет выполнять на иных, совершенно не приспособленных для этого сухожильно-мышечных ансамблях, что является фактором риска повреждений от перегрузки.

Важно понимать, что **выворотные движения в естественной природе ни в**

онтогенезе, ни в филогенезе не встречаются (так у тетрапод развернут весь пояс задних конечностей, что не является выворотным положением). Поэтому, повреждения от перегрузки, возникшие на выворотных движениях, отличаются от аналогичных повреждений, возникших на естественных, не выворотных движениях. В ходе исследования выяснилось, что повреждения от перегрузки на выворотных движениях характеризуются смазанной или атипичной диагностической картиной, в большинстве случаев характеризующейся длительным неспецифическим болевым синдромом на фоне негативной рентгенологической, УЗИ, МРТ, КТ-диагностической картины, либо картины неспецифических структурных изменений в рамках допустимой в спорте и балете разновидности возрастной/профессиональной нормы.

Повреждения от перегрузки как микротравматические повреждения опорно-двигательного аппарата часто связаны с ошибками в технике, при этом плохая выворотность и ненадлежащие компенсационные стратегии недостающих профессиональных качеств наиболее часто сопровождают повреждения от перегрузки. Примером тому служит *идиопатическая кокцигодиния,* которая у исследуемого контингента лиц приобретает особую форму, так называемую, «спортивную кокцигодинию», либо как «маску» классической идиопатической кокцигодинии, когда патологический процесс протекает в виде стойкого локального гипертонуса и повреждения от перегрузки ассоциированных гипертонусом сухожильно-мышечно-связочного аппарата, как правило, ассоциированного в принятии выворотного положения. Введение понятия «спортивная кокцигодиния» позволяет сосредоточить лечащего врача на определенном спектре лечебно-диагностических мероприятий, избежать ненужного инструментального обследования и, тем самым, сократить время возвращения к тренировочному или репетиционному процессу. По данным НИИ Спорта и спортивной медицины РГУФКСМиТ (2020) до 20-25% юных гимнасток и танцовщиц с жалобами на неспецифический болевой синдром в области тазобедренных суставов имели той или иной степени выраженности симптоматику идиопатический кокцигодинии, что намного больше встречаемости кокцигодинии во всей подростковой популяции.

Хореографически правильное выворотное положение можно принять при биомеханическом *выравнивании* широкого спектра внутренних взаимоотношений в опорно-двигательном аппарате, когда недостаточность одного качества, например, объёма внешней ротации в тазобедренном суставе или версии вертлужной впадины может компенсироваться другими качествами, версией бедренной, торсией большеберцовой кости и т.д. Сложность и поливалентность возможных физиологических *выравниваний* (в англоязычной травматолого-ортопедической литературе это называют *alignment*, в хореографии – *линией*) опорно-двигательного аппарата при принятии выворотного положения в разных хореографических позициях порождает сложности в объективной оценке выворотности применительно ко всей нижней конечности. Важно отметить, что для каждого индивидуума существует единственно возможное, уникальное, физиологически адекватное *выравнивание* (или выстраивание биомеханической цепи) опорно-двигательного аппарата. Такое биомеханическое выравнивание опорно-двигательного аппарата при принятии выворотного положения важно не путать с *компенсациями*, к которым нередко прибегают юные танцоры и спортсмены в случае недостаточной конституциональной выворотности (в первую очередь в тазобедренном суставе и, далее, по всей нижней конечности).

Компенсации выворотности особенно легко воспроизводятся в силу присущей юному возрасту пластичности опорно-двигательного аппарата. Тренеры и педагоги должны понимать, что многие из их воспитанников, следуя представлению об идеальной форме движения, могут использовать компенсации неосознанно. Использование компенсаций задействует нефизиологическую биомеханику движений, которая постепенно приводит к повреждениям опорно-двигательного аппарата от накопившейся перегрузки вплоть до профессиональной непригодности. Использование компенсации выворотности в случае недостающей внешней ротации в тазобедренном суставе является основным источником травм и повреждений в поясничном и пояснично-крестцовом отделе позвоночника, в тазобедренных суставах и суставах нижних конечностей. Настоящее исследование подтвердило, что **чем больше компенсация выворотности превышает объём физиологической внешней ротации тазобедренных суставов, тем больше**

риск травмы (Ryan A.J. et al., 1987; Bauman P.A. et al., 1994; Khan K.M. et al., 1995; Huwyler J., 1999; Coplan J.A., 2002; Clippinger K. 2007; van Merkensteijn G.G. et al., 2015; Biernacki, J.L.et al., 2021). Так, недостаточная выворотность в тазобедренном суставе вынуждает использовать нефизиологические компенсаторные стратегии в виде «скручивания» (англ. хореографич. термин *screwing*) в коленном суставе и пронации («завал», «навал» на первый палец, англ. хореографич. термин *rolling in*) в голеностопном суставе и стопе, которые являются фактором риска повреждений. Тренерам и педагогам-хореографам следует следить, чтобы их ученики использовали адекватные объёмы движений в суставах в выворотных позициях. Это уменьшит потребность в компенсационной выворотности и, как следствие, снизит хроническую перегрузку тканей.

Использование в научной литературе спектра понятий, описывающих характеристики выворотности (функциональная, активная, пассивная, динамическая и т.д.) говорит лишь о многогранности и комплексности самого понятия выворотность (Angioi M. et al., 2021). Вопрос о количественной оценке выворотности до сих пор остается открытым. С начала XXI века все больше привлекаются инструментальные методы оценки выворотности (рентгенография, магнито-резонансная томография, компьютерная томография). Но эти методы исследования могут быть назначены только по показаниям и в скрининговых обследованиях применяться не могут. Более того, каждый из этих методов дает свою уникальную анатомическую картину которая может не совпадать с диагностическими картинами других методов обследования. Поэтому **«золотого стандарта» медико-биологической оценки выворотности до сих пор не выработано**. Исследователи как правило используют доступные им средства и методы косвенной оценки выворотности.

Выворотность нередко связывают с разновидностью дисплазии тазобедренных суставов, что является упрощенным и, в большинстве случаев, неверным взглядом. *Дисплазия тазобедренных суставов* до сих пор остается открытой проблемой в детской ортопедии и, следовательно, спортивной медицине. Нередко, изменения морфологии тазобедренного сустава, сопровождающееся нарушением покрытия головки бедренной кости,

необоснованно относят к его дисплазии. В то время как такие изменения могут соответствовать разновидностям возрастной (и даже профессиональной) нормы, то есть маргинальным разновидностям конституции.

Рентгенологические критерии дисплазии тазобедренных суставов все больше вызывают сомнения (McClincy M.P. et al., 2019; Vaudreuil N.J. et al., 2020). Двумерные проекционные изображения КТ- и МРТ-исследований значительно расширяют визуальную картину тазобедренного сустава, но эта картина все равно остается двумерной; в то время как диспластические нарушения морфологии происходят в пространственном, то есть на трехмерном уровне, критериев оценки которых еще не выработано (McClincy M.P. et al., 2019; Vaudreuil N.J. et al., 2020). Не исключено, что сложность сопоставления количественных характеристик тазобедренного сустава при оценке дисплазии заключается в качественном характере патологических изменений. Тем самым **идентифицировать дисплазию тазобедренных суставов следует не метрическими, а дифференциально-геометрическими или топологическими характеристиками**. Тоже можно сказать про оценку конституционных особенностей тазобедренных суставов, относительно характера выворотности и функциональных импинджментов.

Сами рентгенологические характеристики, получаемые на основании обзорной рентгенограммы тазобедренных суставов в прямой проекции, следует воспринимать как неотъемлемый шаг в диагностическом поиске, а не как основание для постановки диагноза. Актуальность подробного сбора анамнеза и всестороннего физического обследования врачом-специалистом, разбирающимся в профессиональной биомеханике движений спортсменов или артистов балета, все больше возрастает.

Формально, оптимальные показатели выворотности (неглубокая ретроверсированная вертлужная впадина, пограничная *Coxa valga* и ретроверсия бедренной кости, гипермобильность и гиперэластичность связочного аппарата) являются фенотипическими маркерами дисплазии тазобедренного сустава. Но так ли это на самом деле? Проведенное исследование показывает, что представители видов двигательной активности, связанных с искусством движения, в подавляющем большинстве представляли маргинальную разновидность

физиологической нормы. Не исключено, что типичные фенотипические маркеры дисплазии тазобедренных суставов, присущие детям с хореографической выворотностью, но не имеющим симптоматики (как пассивной, то есть в покое, так и активной, проявляющейся в профессиональной деятельности или при нагрузочном тестировании), следует рассматривать как разновидность диспластического типа развития (а может и патоморфологии тазобедренного сустава), но не дисплазии как патологии. Поэтому есть все основания полагать, что ***хореографическая выворотность является конституционно обусловленным анатомо-физиологическим качеством строения опорно-двигательного аппарата, относящимся к разновидности нормы диспластического типа развития, позволяющим выполнять определённые профессиональные задачи в видах двигательной активности, связанных с искусством движения.***

Причина высокой диспластической стигматизации среди представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения, кроется в специфических анатомо-физиологических требованиях, предъявляемых к данной категории лиц. Эти требования выражаются в наличии у претендентов определённых способностей, значительно реже встречающиеся у лиц без диспластического типа конституции. Поэтому, при проведении профессионального отбора в хореографические училища будущих артистов балета, следует расширить педагогическое тестирование на первом туре и медицинское обследование - на втором туре. То же касается этапных и углубленных медицинских осмотров представителей эстетических видов спорта, особенно художественной гимнастики.

Спортсмены и танцоры с диспластическим типом развития тазобедренных суставов очень чувствительны к неадекватной физической нагрузке, которая может привести к серьёзным заболеваниям опорно-двигательного аппарата. Им следует избегать осевой перегрузки тазобедренных суставов и в обязательном порядке проводить специальные компенсирующие восстановительные мероприятия в течение всего учебного года и, особенно, на каникулах. Несоблюдение этих правил может грозить серьёзными заболеваниями,

вплоть до инвалидизирующих. Поэтому среди данного контингента детей всегда следует проявлять повышенную диспластическую настороженность.

При медико-биологическом сопровождении представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения следует чётко различать диспластический тип развития (строения) тазобедренных суставов как крайнюю разновидность физиологической нормы и дисплазию тазобедренных суставов и, тем более, синдром дисплазии соединительной ткани, являющийся абсолютным противопоказанием к любого рода повышенным физическим нагрузкам и профессиональным занятиям спортом или танцем.

Диспластический тип развития тазобедренных суставов как правило сопровождается мышечной дистонией, проявляющейся наличием сухожильно-мышечных ансамблей, находящихся в состоянии гипертонуса и, «компенсирующих» их ансамблей в гипотонусе. Сухожильно-мышечный гипертонус может существенно ограничивать проявление выворотности. Нормализация сухожильно-мышечного гипертонуса области тазобедренных может повысить «проявление» пассивной и активной выворотности, но саму выворотность как конституционно-обусловленное качество улучшить не может. Тоже можно сказать о педагогических мероприятиях по «совершенствованию гибкости» в тазобедренных суставах – улучшить конституционально обусловленное строение тазобедренных суставов они также не могут. Тем самым, основной педагогической ошибкой, порождающей немало повреждений в области тазобедренного сустава и всей нижней конечности, являются так называемые гимнастические мероприятия по «совершенствованию выворотности». Возможно, ортопедические методы воздействия могут в какой-то степени скорректировать выворотность. Однако, в рамках педагогического процесса такие воздействия недопустимы.

Высокоамплитудные движения, присутствующие спорте и в балете, значительно повышают нагрузку на сухожильно-мышечно-связочный аппарат таза и тазобедренных суставов и всей нижней конечности. В сенситивные периоды окостенения апофизов повышенная сухожильно-мышечная тракционная нагрузка нередко вызывает их хроническое микротравмирование с дальнейшей

перестройкой костной ткани и развитием асептического воспаления – *апофизитов*. Среди детей, не получающих регулярные и повышенные физические нагрузки апофизиты костей таза достаточно редкая патология. Эстетические требования к выполнению движений в выворотном положении ног значительно видоизменяют биомеханику движений опорно-двигательного аппарата, создавая перегрузки в тех структурах, которые редко «перегружаются» при естественных (не выворотных) движениях. Без четкого понимания биомеханики выворотных движений, идентифицировать такие перегрузки крайне сложно. Поэтому, большинство апофизитов (особенно апофизитов костей таза и тазобедренных суставов) остаются нераспознанными и протекают под масками банальных спортивных повреждений (растяжений мышечно-связочного аппарата, тендинитов, ушибов и т.д.). Точный диагноз нередко ставится постфактум, когда происходит типичное травматические осложнение апофизитов – отрывной перелом апофиза (авульсия). Примером такой диагностической сложности является апофизит малого вертела, когда на выворотных движениях ассоциированная с ним подвздошно-поясничная мышца функционирует в состоянии перегрузки.

Сложность диагностики апофизитов у спортсменов и танцоров состоит в том, что практически все современные методы инструментальной диагностики (рентгенография, КТ, УЗИ, МРТ, сцинтиграфия и др.) дают неспецифическую картину и, как правило, визуализируют разновидности возрастной нормы. Тем самым инструментальная визуализация апофизитов по большей части проводится для дифференциальной диагностики, то есть как диагноз «исключения», а не для подтверждения наличия апофизита как такового. Эффективным способом диагностики остается расширенный клинический осмотр и тестирование на профессиональных движениях, провоцирующих специфическую тракционную нагрузку. Такой осмотр заключается в глубоком понимании диагностирующим врачом биомеханики вида двигательной активности, практикуемого спортсменом или танцором, и умении подобрать диагностически значимые положения и движения, в которых симптоматика будет наиболее клинически значима.

Неправильное представление тренеров и хореографов о биомеханике

движения коленного сустава является одной из основных причин его повреждений от перегрузки. Ошибочное педагогическое представление о «средней выворотности» является одним из ведущих факторов травмирования коленного сустава. Физиологической «средней выворотностью» обладает в той или иной степени любой человек. Так при сгибании коленного сустава у всех людей происходит небольшая естественная внешняя ротация голени, которая может лишь незначительно увеличена за счет мышечных усилий. Как правило, танцоры и спортсмены неосознанно используют этот эффект, чтобы улучшить выворотное положение ног (Rietveld Boni, 2017). Этот эффект и есть естественная или *природная средняя выворотность*. Но если этот эффект искусственно усилить за счет растяжения связочного аппарата коленного сустава, то мы получим *искусственную среднюю выворотность*.

Искусственная средняя выворотность позволяет при недостатке данных принимать внешне приемлимые хореографические позиции путем фиксирования стоп к полу за счет трения. Но в таких случаях происходит значительная скручивающая перегрузка в коленных суставах, постепенно их повреждающая (Rietveld Boni, 2017). Искусственно сформированная средняя выворотность является одной из ведущих причина возникновения hallux valgus.

При недостатке данных искусственная средняя выворотность позволяет после прыжка приземляться во внешне «правильные» выворотные позиции (например, при выполнении прыжков по типу *grand échappé*). Однако накапливающаяся перегрузка в коленных суставах обязательно проявится болевым синдром с последующим повреждением мягких тканей за счет накопления скручивающих напряжений в коленном суставе; повреждению менисков, смещению надколенника вплоть до его подвывиха и др. (Shrader K.E., 1996; Rietveld Boni, 2017). Классическое ортопедическое обследование при таких жалобах обычно не выявляет признаков патологии. Ключевой метод обследования – попросить танцора или спортсмена выполнить plié (особенно в пятой позиции) и наблюдать за появлением компенсационных скручивающих движений в коленном суставе (Shrader K. E., 1996).

Искусственно увеличивать амплитуду внешней ротации голени, часто

именуемой как «работа над средней выворотностью», ни в коем случае делать нельзя – возникает угроза патологических повреждений в коленном суставе вплоть до несовместимых с дальнейшей профессиональной деятельностью.

Профессиональные повреждения области голеностопного сустава и стопы у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения, чаще всего вызываются осевой перегрузкой в положении максимального сгибания голеностопного сустава и стопы (*demi-pointe* и *en pointe*), чередующееся с положением максимального разгибания голеностопного сустава (*demi-* и *grand-plié*) на фоне выворотного положения всей нижней конечности. В отличие от выворотности, ходьба на *полупальцах* (*demi-pointe*) нередко встречается в раннем возрасте, то есть в онтогенезе, а сами положения *demi-pointe* и *en pointe* встречаются в филогенезе. Так *пальцеходящие* (Digitigrada: лисы, кошки, собаки и др.) фактически передвигаются в *demi-pointe*, а копытные животные (Euungulata: олень, газель, лань и др.) – в *en pointe*. Тем самым, **в видах двигательной активности, связанных с искусством движения мы наблюдаем сочетание двух неестественных для человеческого организма типов движений: выворотные движения и движения на *пальцах* (в пуантах). Биомеханическая неестественность этих движений является основным фактором риска повреждений от перегрузки нижней конечности.**

Стопа человека устроена не совсем симметрично. Возможность некоторого отведения стопы наружу в суставах предплюсны позволяет выстроить биомеханически симметричную ось всей нижней конечности. Такое отведение стопы, на фоне максимального натяжения всей ноги и при наличии должного балетного подъема создает видимый эффект «птички». В каком-то смысле «птичка» - это индикатор наиболее эстетически и биомеханически правильной *выстройки* линии всей нижней конечности. Но чрезмерная или эвертированная «птичка» приводит к нефизиологической работе *en pointe* и травмам.

С другой стороны, повышенная гибкость в стопе и голеностопном суставе в положении *en pointe* приводит к повышенному сгибанию в стопы в костях предплюсны (в англ. балет литературе - «over-pointe»), в силу чего линия центра тяжести будет проецироваться перед «пятаком», а капсулы и связки тыла стопы

будут подвергаться чрезмерной нагрузке. Чрезмерное напряжение на суставной и связочный аппарат стопы в положении «over-pointe» является фактором риска повреждения от перегрузки суставов нижней конечности.

«**Балетная стопа» и «подъем» во многом схожи с выворотностью – они конституционально обусловлены.** Как и выворотность, подъем и объем движений в голеностопном суставе и стопе могут быть как недостаточными, так и избыточными (как, например, в «over-pointe»). Формирование балетной стопы и, в какой-то степени, выворотности по всей нижней конечности могут быть скорректированы долгими усилиями по типу ортопедических, но к гимнастической гибкости и методам её совершенствования такое формирование не имеет никакого отношения. Педагогические средства и методы могут помочь должным образом продемонстрировать наличествующие конституционально обусловленные физические качества, но не корригировать их подобно ортопедии.

Как обосновывалось выше, **биомеханика классического танца сильно разнится с биомеханикой естественных движений человека в повседневной жизни.** Поэтому ключ к пониманию травм и повреждений в классическом танце и эстетических видах спорта лежит в понимании специфики биомеханики профессиональных движений. Реабилитация опорно-двигательного аппарата у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения отличается от традиционной реабилитации лиц не занимающихся профессиональной двигательной активностью по своим конечным целям – восстановлению специфических двигательных качеств и навыков, а также способности переносить высокие по объему и интенсивности тренировочные и репетиционные нагрузки. Поэтому физическая нагрузка, применяемая в ходе реабилитации, должна обладать тренирующим эффектом, повышающим функциональные возможности реабилитируемого. Оптимальный эффект от такой нагрузки может быть достигнут при строго индивидуальном подходе, учитывающем характер повреждения, вид двигательной активности и функциональное состояние восстанавливаемого спортсмена или танцора.

Адекватная физическая нагрузка, вызывающая *физиологический стресс,* повышает адаптационные возможности реабилитируемого. Такого рода нагрузки

приводят к оптимальному восстановлению функции нижней конечности, вызывая положительный тренировочный эффект. Физические нагрузки, вызывающие дистресс, приводят к истощению резервов адаптации. Поэтому дистрессовые нагрузки не могут применяться в процессе реабилитации.

Одним из путей введения тренирующей нагрузки в физическую реабилитацию спортсменов является применение *средств спортивной подготовки*. При этом реабилитируемый получает узконаправленные стрессорные физические воздействия, приводящие к преодолению наличествующего барьера адаптации (с дальнейшей суперкомпенсацией). Это способствует восстановлению его работоспособности и физической формы в целом.

Одним из этапов восстановительного лечения повреждений опорно-двигательного аппарата у спортсменов и танцоров является санаторно-курортное, после которого требуется дополнительный этап адаптации к повышенным физическим нагрузкам. Причина недостаточной эффективности традиционного санаторно-курортного лечения заключается в отсутствии нацеленности на преодоление барьера адаптации в процессе восстановления функции опорно-двигательного аппарата. Если в спортивной тренировке стрессорной нагрузке целенаправленно подвергаются определенные звенья опорно-двигательного аппарата и лишь опосредованно организм спортсмена в целом, то *природно-географические факторы* осуществляют комплексное стрессорное воздействие. При выполнении упражнений на фоне действия природно-географических факторов происходит перераспределение нагрузки с восстанавливаемой области опорно-двигательного аппарата на весь организм. Тем самым локальная нагрузка на восстанавливаемую область может быть снижена.

Основное отличие спортивно-восстановительных сборов на природе от рутинного тренировочного процесса заключается в использовании нагрузочного фактора окружающей среды. К таким факторам относятся составляющие микроландшафта места проведения сборов: температурно-климатические условия, особенности рельефа местности, фактор морской среды. Все эти факторы позволяют понизить локальную тренировочную нагрузку на восстанавливаемую область опорно-двигательного аппарата с сохранением

достаточно высокой общей нагрузки на организм спортсмена.

Поэтому основным вопросом при планировании нагрузочных мероприятий с использованием естественных природно-географических факторов является их дозирование, которое возможно в определенных рамках. В этом состоит искусство и умение сопровождающего такие сборы врача по спортивной медицине планировать восстановительные нагрузочные воздействия на фоне природно-географических факторов (Ачкасов Е.Е. и др., 2018; Gibson A.J. et al., 2015; Carayannopoulos A.G. et al., 2020). Кроме того врач по спортивной медицине должен обладать компетентностью не только в практикуемом его подопечными виде искусства движения, но и в привлекаемых для восстановления видах двигательной активности: плавание, скалолазание, горный туризм, треккинговая ходьба и др.

Применение метода *поуровневого анализа построения* движения позволяет выделить из контингента «наблюдаемых» с неспецифической симптоматикой повреждений опорно-двигательного аппарата группу лиц, нуждающихся в срочных дополнительных видах обследования, лечения и реабилитации. Что позволяет своевременно приступить к коррекции тренировочного процесса и/или лечебно-восстановительным мероприятиям на ранних сроках развития болезни. Причиной эффективности реабилитации, организованной по уровням построения движения Н.А. Бернштейна (поуровневая реабилитация), заключается в том, что целью реабилитации для представителей обсуждаемой категории лиц является не столько восстановление нормального функционирования поврежденного звена опорно-двигательного аппарата, сколько способность к выполнению профессиональной деятельности.

Для медикаментозной терапии, можно определить диапазон её применения, в рамках которого, при грамотно подобранных лекарственных средствах и схемах, её назначение будет заведомо эффективным. С другой стороны, вне коридора компетентности медикаментозной терапии, никакие лекарственные средства заведомо не будут значимо сказываться на времени и качестве проводимой реабилитации. Коридор эффективности медикаментозной терапии как правило заканчивается при восстановлении на уровне А и В по Бернштейну.

Динамические характеристики движения являются основными параметрами дозирования физической нагрузки при проведении реабилитации спортсменов. Учет кинематических и, в большей степени, *геометрических характеристик движения* при восстановлении объема движения в суставе является особенно важным. Еще Н.А. Бернштейном (1947) было подмечено, что характер движения человека является наиболее чувствительным индикатором функционирования его организма. Идеи Бернштейна подтвердились в многочисленных последующих исследованиях в области нейробиологии движения (Иваненко Ю.П., 2016; Hogan N. et al., 2009; Habas C. et al., 2020). Гладкость траектории движения может быть одним из важных показателей характера (адекватности и оптимальности) двигательной активности человека. При любых нейромоторных нарушениях гладкость движения будет меняться. Однако исследования гладкости как диагностического критерия реабилитации опорно-двигательного аппарата еще не проводились. На идее меры «гладкости» как критерия качества профессионального движения основан развиваемый в данном исследовании подход к оценке и дозированию локальной физической нагрузки. Несмотря на интуитивную ясность понятия гладкость, способы её количественной оценки (то есть меры гладкости) еще не стандартизированы. В исследования представлен способ оценки гладкости на основе наиболее изученной меры гладкости – «интегральный квадратичный рывок».

В исследовании было показано, что некоторые общепринятые упражнения лечебной гимнастики имеют «нефизиологические» траектории движения (например, траектории по типу «Клюв»), в то время как траектории по типу «восьмерки» (Лемниската Бернулли) являются достаточно физиологичными по нагрузке. На основании изложенного подхода с учетом индивидуальных анатомо-физиологических особенностей и практикуемого вида двигательной активности могут быть «спроектированы» оптимальные физиологические паттерны движения восстанавливаемой конечности. Эти паттерны могут быть реализованы в процессе выполнения упражнений с использованием специальных тренажеров и без них. В исследовании разработан математический модельный подход по построению персонифицированных траекторий движения при восстановлении функции

нижней конечности. При этом хорошо изученные в восстановительной медицине эллиптические движения являются одним из возможных оптимальных типов траекторий движений. Другие типы траекторий движения (Лемниската, «Листки клевера» и др.) не менее эффективны и могут быть использованы при персонифицированном планировании реабилитационных мероприятий.

Китайская гимнастика Тайцзицюань является органичным объединением подхода максимальной «гладкости» траектории восстановительного движения и принципа поуровневой реабилитации, призывающего начинать восстановление функции с базовых по Бернштейну уровней А и В (Майер Б.О. и др., 2015; Мурашова А. В. и др., 2017). Возможно, эффект Тайцзицюань объясняется тем, что «одним из основополагающих принципов, свидетельствующих о рекреационно-реабилитационной направленности занятий тайцзицюань, является принцип релаксации, лежащий в основе большинства движений. В процессе тренировок происходит постоянное растяжение, расслабление мышц и сухожилий, оказывается поэтапное расслабляющее воздействие на все суставы и сочленения тела, развиваются физические и психические качества занимающихся, происходит восстановление функционального состояния центральной нервной системы» (Лю Шухуэй, 1999).

Движения рук в гимнастике Тайцзицюань согласуются с движениями рук в классической хореографии. Ноги в Тайцзицюань движутся по «гладким» эллипсообразным траекториям, большей частью в положении полуприседа на уровне *demi-plié* с периодическим принятием близкого к выворотному положения. Скованность и «зажатость» движения, поднятые плечи, острые локти и многое другое является ошибкой как в Тайцзицуане, так и в хореографии. «Текучесть, мягкость движений принадлежит к числу качеств первого рода», – это высказывание М.В. Левина не о Тайцзицуане, а о преподавании гимнастики в хореографической школе (Левин М.В., 2001).

При написании данной главы использовались следующие публикации автора:

Васильев, О.С. «Выворотность» как способ расширения топологии пространства движения / О.С. Васильев // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – 2002. №4. С. 47.

Васильев, О.С. Выворотность как конституционально-физическое качество (взгляд с позиции детской спортивной травматологии и ортопедии) / О.С. Васильев // Физкультура в профилактике, лечении и реабилитации. – 2011. №1-2(36-37). С. 81-89.

Васильев, О.С. Диспластический статус спортсмена как фактор эндогенной экстремальности / О.С. Васильев // Экстремальная деятельность человека. – 2014. Т.30. №1. С. 47-48.

Васильев, О.С. Сравнительный анализ антропометрических параметров как фенотипических маркеров синдрома дисплазии соединительной ткани у спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Медицина экстремальных ситуаций. – 2015. Т.54. №4. С. 75-80.

Васильев, О.С. Балетная «Выворотность» как фенотипический маркер дисплазии соединительной ткани / О.С. Васильев // Кафедра травматологии и ортопедии. 2016. Спецвыпуск. С. 129-131.

Васильев, О.С. Балетный «подъем» как фенотипическиий маркер дисплазии соединительной ткани / О.С. Васильев // Кафедра травматологии и ортопедии. 2016. Спецвыпуск: Тезисы Конгресса «Медицина чрезвычайных ситуаций. С. 131.

Васильев, О.С. Хореографическая «выворотность» как фенотипический маркер дисплазии соединительной ткани в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. Т. 6. № 3. С. 48-53.

Васильев, О.С. Концепция геовосстановления как новейшая научно-практическая технология восстановления спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2016. № 2. С. 141-145.

Васильев, О.С. Поуровневая нейрореабилитация типичных повреждений опорно-двигательного аппарата у квалифицированных спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, И.А. Берзин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2017. Т. 7. № 4. С.

55-62.

Васильев, О.С Об эффективности использования медикаментозной терапии в рамках поуровневой реабилитации опорно-двигательного аппарата спортсменов / О.С. Васильев, А.С. Самойлов, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2017. № 2. С. 130-133.

Васильев, О.С. Средства спортивной подготовки в медицинской реабилитации травм опорно-двигательного аппарата у спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2018. № 1. С. 86-90.

Васильев, О.С. Диагностика малых повреждений опорно-двигательного аппарата квалифицированных спортсменов методом поуровневого анализа построения движения / О.С.Васильев, А.С. Самойлов, С.П. Левушкин // Медицина экстремальных ситуаций. – 2018. Т. 20. № 2. С. 197-202.

Васильев, О.С. Медико-педагогические вопросы выворотности. Материалы V-й международной научно-практической конференции актуальные вопросы медико-биологического сопровождения хореографии и спорта. СПб: / О.С. Васильев // Академия Русского балета имени А. Я. Вагановой. – 2019. С. 65-76.

Васильев, О.С. Перегрузки от объема движений в хореографии и спорте (систематический анализ). Сообщение I. Морфология выворотности / О.С. Васильев, И.А. Степаник, С.П. Левушкин, А.В. Рохлин // Новые исследования. – 2020. № 1(61). С. 98-125.

Васильев, О.С. Перегрузки от объема движений в хореографии и спорте (систематический анализ). Часть II. Импинджменты и нестабильность/ О.С. Васильев, И.А. Степаник, С.П. Левушкин, А.В. Рохлин // Новые исследования. – 2020. № 2(62). С. 81-107.

Васильев, О.С. Перегрузки от объема движений в хореографии и спорте (систематический анализ). Часть III. Дисплазия тазобедренных суставов и диспластический тип конституции О.С. Васильев, И.А. Степаник, С.П. Левушкин, А.В. Рохлин // Новые исследования. – 2020. № 2(62). С. 108-130.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повреждения от перегрузки нижней конечности являются достаточно новым и вместе с тем распространенным видом повреждений среди юных представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения, таких как классический танец, хореография, художественная и спортивная гимнастика, акробатика, синхронное плавание, фигурное катание на коньках и др. Изучению особенностей восстановления функции нижней конечности после повреждений от перегрузки у данного контингента лиц посвящено данное диссертационное исследование.

В исследовании приняло участие 347 представительниц видов двигательной активности, связанных с искусством движения, в возрасте 10–16 лет (средний возраст 12,7 лет, интерквартильный интервал [10,5; 14,5] лет). Основной контингент исследования 292 (84%, n = 347) составили представительницы художественной гимнастики и хореографии при этом некоторые гимнастки в последствии поступали в хореографические училища и, в случае повторного обращения, принимали участие в обследовании как представители хореографии.

В настоящем исследовании повреждения от перегрузки соответствовали следующим нозологиям и условно патологическим состояниям:

– по типу *остеохондропатии* костей таза и нижней конечности (апофизит малого вертела, нижнего полюса надколенника, бугра пяточной кости и др.) – 58% от всех обнаруженных в исследовании повреждений от перегрузки;

– функциональные *импинджменты* и *повреждения мягких тканей* суставов (сухожильно-мышечно-связочного корсета) нижней конечности без разрывов, *кокцигодиния* – 42%.

Диагностика повреждений от перегрузки представляет определенную трудность в силу неспецифической симптоматики и отсутствия значимых признаков патологии при проведении инструментальных исследований. В ходе исследования выяснилось, что 35–55% случаев повреждений от перегрузки сопровождаются «негативной инструментально-диагностической картиной», и с

рабочим диагнозом «неспецифический болевой синдром (дискомфорт) в области нижней конечности» остаются под наблюдением врача по спортивной медицине до появления более яркой симптоматики.

В данном исследовании, более 80% УЗИ и рентгенографических исследований визуализировали разновидность профессиональной (спортивной) нормы; МРТ–исследования с разрешением более 1.5Т позволяли визуализировать признаки микротравматических повреждений (структурные нарушения).

На **I этапе** был разработан *алгоритм комплексной диагностики повреждений от перегрузки* нижних конечностей и проведена рентгено-морфологическая типизация строения тазобедренного сустава у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения.

Согласно разработанному алгоритму проведения клинического осмотра и тестирования на профессиональных движениях с использованием функциональной *соматоподоскопии* среди 320 представителей искусства движения (средний возраст 13,1 лет, интерквартильный интервал [10,6; 14,4]) клинический диагноз был поставлен 208 (65%, n = 320) обследованным, который в дальнейшем был подтвержден в ходе проведения реабилитации и/или выполнения уточняющих инструментальных исследований. Проведение клинико-биомеханического исследования с использованием комплекса «Biodex System 4 Pro» позволило повысить количество подтвержденных клинических диагнозов до 297 (93%, n = 320).

У всех обследуемых I группы болевой синдром (пальпаторно) в области максимального мышечного гипертонуса составлял 5,6±1,3 балла по шкале ВАШ до проведения реабилитации и 3,2±0,4 после; болевой синдром при выполнении спортивно-хореографического тестирования составил 4,1±0,4 балла по шкале ВАШ до проведения реабилитации и 2,6±0,3 после. Гипертонус камбаловидной мышцы голени был обнаружен у 285 (89%, n = 320) обследуемых, гипертонус латеральной группы мышц голени (длинная и короткая малоберцовые) – у 230 (72%, n = 320), гипертонус приводящих мышц бедра – у 195 (61%, n = 320), гипертонус мышц задней поверхности бедра (полусухожильной, двуглавой, полуперепончатой) – у154 (48%, n = 320).

У всех обследуемых I группы с повреждениями от перегрузки в области тазобедренных суставов был диагностирован мышечный гипертонус в области таза и тазобедренных суставов, при этом выраженность гипертонуса глубоких мышц таза, участвующих в принятии выворотного положения соответствовала степени использования компенсационных стратегий выворотности.

У обследуемых I(о) группы с диагнозом *кокцигодиния* (средний возраст 12,4 лет, интерквартильный разброс [10,3; 13,1], n=34) мышечный гипертонус в крестцово-копчиковой области обнаружили у 30 (88%) обследуемых, по гребню подвздошной кости – у 25 (74%), в области тазобедренных суставов (грушевидная мышца и др.) – у 16 (47%) обследуемых.

В ходе проведения обследования на I этапе выяснилось, что специфику повреждений от перегрузки у рассматриваемой категории лиц определяли профессиональные требования к структуре движения, в основе которых лежат *выворотнные* движения (то есть движениями с максимальной внешней ротацией в нижней конечности, преимущественно от тазобедренного сустава), требование к *выравниванию* и *натянутости* линии ног, максимальное разгибание (дорсифлексия) в голеностопном суставе в положении *grand plié* и доминирующая работа на *полупальцах* и *пальцах*.

Согласно данным обзорной рентгенографии тазобедренных суставов в прямой проекции, проведенной по показаниям 104 обследуемым (II группа, средний возраст 12,4 [10,9; 15,1] лет), 79 (76%, n=104) обследуемых имели ШДУ >135°, 31(30%, n=104) имели ШДУ >139–140° и всего 4% обследуемых имели признаки в той или иной степени выраженности пограничной ацетабулярной дисплазии (угол Виберга 24–25°). При этом, лиц с ацетабулярной дисплазией тазобедренных суставов обнаружено не было. Возможно, это было связано с тем, что обследуемые не первый год профессионально занимались двигательной активностью и проходили ежегодные медицинские обследования, на которых могла быть выявлена данная особенность строения.

В ходе проведения двумерного кластерного анализа рентгенограмм по параметрам *угол Виберга* и *шеечно-диафизарный угол* (ШДУ) были выделены пять рентгено-морфологических типов строения тазобедренных суставов, имеющих

высокую взаимосвязь с предъявляемыми к обследуемому контингенту лиц специфическими профессиональными требованиями и качествами (выворотность, амплитуда движения в тазобедренном суставе):

1-й тип (33%, n = 104). Минимальное в пределах нормы ацетабулярное покрытие (угол Виберга 26–30°), повышенный ШДУ (137–145°) – оптимальный тип строения ТС для представителей классического танца и несколько менее оптимальный для представителей художественной гимнастики;

2-й тип (34%, n = 104). Умеренно увеличенное в пределах нормы ацетабулярное покрытие (угол Виберга 32–35°), несколько повышенный ШДУ (137–142°) – оптимальный тип строения ТС для представителей художественной гимнастики и несколько менее оптимальный для представителей классического танца;

3-й тип (20%, n = 104). Нормальное ацетабулярное покрытие (угол Виберга 27–32°), нормальный ШДУ (131–133°) – нормальный педиатрический тип строения ТС, которому типичны «средние» профессиональные данные;

4-й тип (9%, n = 104). Повышенное в пределах нормы ацетабулярное покрытие (угол Виберга 36–40°), незначительно повышенный ШДУ (135–137°) – оптимальный для представителей эстетических видов спорта тип строения ТС;

5-й тип (4%, n = 104). Пограничная ацетабулярная дисплазия (угол Виберга 24–25°), нормальный ШДУ 123–130° – представители этого типа развития ТС требуют наблюдения и должны избегать повышенной осевой нагрузки.

Оптимальным для дальнейших профессиональных занятий классическим танцем можно полагать рентгено-морфологический тип 1, а для художественной гимнастики – рентгено-морфологический тип 2. На основании проведенного рентгено-морфологического исследования можно заключить, что для представителей классического танца и художественной гимнастики типичен и является оптимальным для их профессиональной деятельности диспластический тип развития ТС по бедренному типу (Coxa valga).

На **II этапе** были разработаны схемы использования ***проприоцептивных упражнений*** на твердой и мягкой неустойчивых баланс-платформах, на стабильной поверхности в сложных условиях (гимнастическое бревно) и в

условиях зрительной депривации, используемых при восстановления функции нижней после повреждений от перегрузки.

Для оценки эффективности использования проприоцептивных упражнений в физической реабилитации была разработана модифицированная проба Ромберга – равновесие на гимнастическом бревне в *passé* по шестой позиции на полной стопе и на *полупальцах*, руки вверх, выполняемая как с открытыми, так и с закрытыми глазами. Тестирование засчитывали в случае его выполнения как с открытыми, так и с закрытыми глазами, стоя на восстанавливаемой конечности.

По окончании курса физической реабилитации с использованием средств проприоцептивных упражнений по модифицированной пробе Ромберга на бревне на полной стопе (в *passé* по шестой позиции) с открытыми и закрытыми глазами в основной III(о) группе (11,2 [10,5; 12,9] лет, n = 27), в которой на фоне стандартного лечения выполняли курс физической реабилитации в зале спортивной гимнастики и на прилегающей территории с использованием проприоцептивных упражнений, 15 (54%, n = 27) обследуемых получили оценки «удовлетворительно» против 19 (68%, n = 27) контрольной IV(к) группы (11,4 [11,1; 13,4] лет, n = 27), пациентам которой на фоне стандартного лечения выполняли курс физической реабилитации в зале ЛФК с максимальным вовлечением доступных проприоцептивных упражнений; 8 (31%, n = 27) пациентов основной группы получили оценки «хорошо» против 6 (24%, n = 27) контрольной группы; 4 (15%, n = 27) пациента основной группы получили оценки «отлично» против 2 (8%, n = 27) контрольной группы (χ^2, p = 0,099).

По модифицированной пробе Ромберга на бревне на *полупальцах* с открытыми и закрытыми глазами в основной III(о) группе 10 (36%, n = 27) получили оценки «удовлетворительно» против 9 (34%) контрольной IV(к) группы; 11 (40%, n = 27) пациентов основной группы получили оценки «хорошо» против 2 (8%, n = 27) контрольной группы; 6 (24%, n = 27) в основной группе и 16 (58%, n = 27) в контрольной группе тест не выполнили (χ^2, p<0,001).

Согласно непараметрическому U-критерию Манна–Уитни статистически достоверная (p<0,05) нормализация изокинетических параметров тестирования (комплекс «Biodex System 4 Pro») наблюдалась в основной III(о) группе и в

контрольной IV(к) группе, при этом билатеральный мышечный дисбаланс как отношение Пиков ВМ/МТ при сгибании на здоровой и восстанавливаемой конечности в основной группе был значимо меньше (среднее 14%), чем в контрольной (среднее 21%). Объем движения (ROM) в основной III(о) и контрольной IV(к) группах ожидаемо был достигнут примерно на одинаковом уровне.

При разработке алгоритмов и схем использования ***эксцентрических и плиометрических упражнений*** участвовало 164 представителя видов двигательной активности, связанных с искусством движения, 10–16 лет (группы V(о) + V(к), средний возраст 13,6 [11,3; 14,4] года), имеющих повреждения от перегрузки (D.S. тендинит/тендопатия, лигаментит связочного аппарата тазобедренного, коленного и голеностопного суставов, болезнь Севера, болезнь Осгуда–Шляттера и другие апофизиты нижней конечности) и нуждающихся в реабилитации. В качестве *критериев выхода на физиологическую стресс–нагрузку* использовали результаты динамических исследований самочувствия (дневник самонаблюдений спортсмена, визуальная шкала боли), мониторинг частоты сердечных сокращений (ЧСС), а также клинические травматолого-ортопедические тесты оценки состояния мышечно-связочного аппарата спортсмена.

Согласно результатам изокинетического тестирования на комплексе «Biodex System 4 Pro» по окончании курса реабилитации билатеральный мышечный дисбаланс (отношение Пиков ВМ/МТ при сгибании на здоровой и восстанавливаемой конечности) достоверно (χ^2, p = 0,003) уменьшился в основной V(о) группе (13,2 [11,4; 14,1] лет, n = 82): незначительный мышечный дисбаланс (< 15%) в основной группе наблюдали у 63 (77%, n = 82) против 43 (52%, n = 82) обследуемых контрольной VI(к) группы (13,7 [11,3; 14,4] лет, n = 82), умеренный мышечный дисбаланс (15–20%) в основной группе наблюдали у 13 (16%, n = 82) против 32 (39%, n = 82) обследуемых контрольной, значительный мышечный дисбаланс (>20%) в основной группе наблюдали у 6 (7%, n = 82) против 7 (9%, n = 82) обследуемых контрольной группы. Значимые нарушения при диагностике билатерального мышечного дисбаланса в основной V(о) и контрольной VI(к) группах были обнаружены у обследуемых, возвращение которых к полноценной

профессиональной деятельности было проблематичным, и требовало специфического лечения. Примерно одинаковое количество таких обследуемых 6 (7%, n = 82) в основной V(о) группе и 7 (9%, n = 82) в контрольной VI(к) группе косвенно указывает на независимость распределения испытуемых по группам.

В рамках тестирования с использованием оптико-электронной системы трёхмерного кинематического анализа «Qualisys» были разработаны и выполнены разновидности пробы Ромберга: проба Ромберга с вытянутыми вперед руками, стоя на двух ногах и стоя на одной ноге (другая в passé в VI позиции) с *закрытыми глазами*. Оценивали *коэффициент асимметрии* (КА) по амплитудам движения маркеров, установленных на лучезапястных суставах. Погрешность измерения не превышала 1,6 мм. Частота съемки составляла 150 Гц. *Коэффициент асимметрии* рассчитывали следующим образом: $KA = \frac{AON - AOD}{AOD} \cdot 100\%$, где *AOD* – амплитуда колебаний доминантной руки за время тестирования (правой для правшей), *AON* – амплитуда колебаний недоминантной руки (левой для правшей).

По окончании курса физической реабилитации с использованием *эксцентрических и плиометрических упражнений* согласно модифицированной пробе Ромберга-I, стоя на двух ногах с закрытыми глазами и вытянутыми вперед руками, коэффициент асимметрии в основной V(о) группе составил 6,1 ± 2,3% против 13,1 ± 4,1% контрольной VI(к) группы (χ^2, p=0,015); согласно пробе Ромберга-II стоя на полной стопе «восстанавливаемой» ноги (другая нога – в passé в VI позиции) с закрытыми глазами и вытянутыми вперед руками коэффициент асимметрии в основной группе составил 20,4 ± 5,2% против 68,5 ± 12,7% контрольной группы (p=0,012), а стоя на «здоровой» ноге – 8,3 ± 1,8% в основной группе против 44,3 ± 14,6% контрольной группы (χ^2, p=0,016).

Согласно данным спортивно-педагогического тестирования, к завершению курса реабилитации с использованием *эксцентрических и плиометрических упражнений* 66 (81%, n = 82) представители основной V(о) группы были допущены к полноценному тренировочному процессу, остальные 8 (10%, n = 82) допущены к тренировочному процессу с ограничениями, и 7 (9%, n = 82) были

допущены условно и продолжали восстановительные мероприятия. В то время как в контрольной VI(к) группе только 51 (62%, n = 82) представитель были допущены к полноценному тренировочному процессу, 16 (19%, n = 82) были допущены с ограничениями, и 9 (11%, n = 82) были допущены условно (χ^2, p = 0,040). При продолжении курса реабилитации в основной и контрольной группах до полного восстановления время реабилитации в контрольной группе было в среднем больше на 30–60% в зависимости от характера повреждения и индивидуальных особенностей спортсмена.

На **III этапе** при разработке алгоритмов и схем восстановления функции нижней конечности с использованием **природно-географических факторов** участвовало 102 представителя обсуждаемой категории лиц, 10–16 лет (группы VII(о)+VII (к), средний возраст 12,7 лет), имеющих повреждения от перегрузки (D.S. тендинит/тендопатия, лигаментит связочного аппарата тазобедренного, коленного и голеностопного суставов, болезнь Севера, болезнь Осгуда–Шляттера и другие апофизиты нижней конечности) и нуждающихся в реабилитации.

По окончании восстановительных мероприятий пациентам основной VII(о) группы (12,8 [11,6; 13,7] лет, n = 51), восстанавливающимся в условиях спортивно-восстановительных сборов, и пациентам контрольной VIII(к) группы (12,6 [11,2; 13,1] лет, n = 51), восстанавливающимся в амбулаторно-поликлинических условиях, выполняли сравнительное клинико-биомеханическое тестирование с использованием комплекса «Biodex System 4 Pro». Согласно данным тестирования, клинически и статистически значимая нормализация *билатерального мышечного дисбаланса* (χ^2, p = 0,021) при повреждении мягких тканей *тазобедренного* сустава наблюдалась у 12 (84 %, n =14) обследуемых основной VIIa подгруппы против 8 (68 %, n =12) обследуемых контрольной VIIIa подгруппы; при повреждения мягких тканей *коленного* сустава – у 11 (56 %, n = 20) обследуемых основной VIIa подгруппы против 9 (78 %, n = 12) обследуемых контрольной VIIIa подгруппы; повреждения мягких тканей *голеностопного* сустава и стопы – у 21 (85 %, n = 25) обследуемых основной VIIa подгруппы против 12 (64 %, n = 19) обследуемых контрольной VIIIa подгруппы. В итоге из всех обследуемых (n = 102) нормализацию *билатерального мышечного*

дисбаланса в основной VII(о) группе наблюдали у 42 (82%, n =51) обследуемых против 29 (57%, n =51) обследуемых контрольной VIII(к) группы.

Согласно данным изокинетического тестирования *тазобедренного* сустава на скоростях 60 и 180 град/с полный объем движений в ТС и примерно одинаковый Пик ВМ были достигнуты в обеих подгруппах (основной VIIа и контрольной VIIIа). Однако динамические показатели («Время к Пику ВМ», «Угол Пика ВМ», «Время ускорения», «Время замедления») были более оптимальными в основной VIIа подгруппе. При изокинетическом сгибании восстанавливаемого тазобедренного сустава на скорости 60 град/с:

– «Время к пику вращающего момента (с)» в основной VIIа подгруппе 1340,0± 150 (n = 14) против 1500,0± 55,9 (n = 14) контрольной VIIIа подгруппы. При этом, при тестировании «здорового» тазобедренного сустава «Время к пику вращающего момента» было примерно одинаковым в основной (290,0 ± 15,3) и контрольной (281,0 ± 20,3) подгруппах;

– «Угол пика вращающего момента (град)» в основной VIIа подгруппе 52,0±5,8 (n=14) против 70,2±12,3 (n = 12) контрольной VIIIа подгруппы. При этом, при тестировании здорового тазобедренного сустава «Угол пика вращающего момента» был примерно одинаковым в основной (21,0±1,3) и контрольной (20,0±2,4) подгруппах;

– «Время замедления (с)» в основной VIIа подгруппе составило 123,6±15,4 (n=14) против 140,0±15,9 (n=12) контрольной VIIIа подгруппы. При этом, при тестировании здорового тазобедренного сустава «Время замедления» было примерно одинаковым в основной (80,0±12,2) и контрольной (78,0±11,4) подгруппах.

Согласно данным *итогового педагогического тестирования* (n=102) 43 (84%, n = 51) представителя основной VII(о) группы и 32 (63%, n = 51) представителя контрольной VIII(к) группы были допущены к полноценному тренировочному процессу. Остальные, 8 (16%, n = 51) основной VII(о) группы и 19 (33%, n = 51) контрольной VIII(к) группы были допущены к тренировочному процессу с ограничениями.

На **IV этапе** при разработке **концепции поуровневой диагностики и**

реабилитации при восстановлении функции нижней конечности участвовало 168 (группа IX, средний возраст 12,2 [10,8; 13,7] лет) представителей обсуждаемой категории лиц, с подозрениями на повреждения от перегрузки – группа IX. Среди обследуемых с незначительными повреждениями от перегрузки, не требующих отстранения от тренировочного процесса (подгруппа IXа, n = 83), нарушения на уровне А имели 13 (15%, n = 83), на уровне В – 15 (18%, n = 83), на уровне С – 47 (56 %, n = 83) пациентов. Среди обследуемых с повреждениями от перегрузки, требующих отстранения от тренировочного процесса (подгруппа IXб, n = 46), нарушения на уровне А имели 28 (60 %, n = 46), на уровне В – 35 (75 %, n = 46), на уровне С – 45 (98 %, n = 46) пациентов. Среди обследуемых с повреждениями, требующих дальнейшего уточнения с допуском к тренировочному процессу (подгруппа IXв n = 39), нарушения на уровне А имели 13 (34 %, n = 39), на уровне В – 18 (45%, n = 39), на уровне С – 27 (70%, n = 39) пациентов. Среди всех пациентов IX группы (n = 168) нарушения на уровне А имели 44 (26 %, n=168), на уровне В – 108 (64 %, n=168), на уровне С – 155 (92 %, n=168) пациентов.

Все подгруппы (IXа,, IXб,, IXв,) были статистически не независимы (χ^2, p = 0,024) по признакам нарушения уровней построения движения (А, В, С). Нарушения уровней построения движения в этих подгруппах имели следующую закономерность: нарушения построения движения на уровне А всегда сопровождались нарушениями на уровнях В и С; нарушения на уровне В всегда сопровождались нарушениями на уровне С; не было ни одного обследуемого, имеющего нарушения на уровне А и С, при норме на уровне В. Поэтому, диагностировать нарушения уровней построения движения следует с уровня С, далее, при обнаружении на нем нарушения, диагностировать уровень В, и при обнаружении нарушения на этом уровне диагностировать уровень А.

Среди пациентов с повреждениями от перегрузки, требующих уточнения диагноза и допуска к тренировочному процессу (подгруппа IXв) в ходе дальнейшего диагностического поиска у 11 (86 %, n = 13) пациентов, имеющих нарушения на уровнях А, В и С, у 3 (58 %, n = 5) – имеющих нарушения только на уровнях В и С и у 2 (25 %, n = 9) – имеющих нарушения только на уровнях С обнаружили патологические изменения в нижней конечности, требующие

специализированных лечебно-восстановительных мероприятий (апофизиты костей таза, повреждения менисков без разрывов и др.). Таким образом, среди пациентов с повреждениями от перегрузки, требующих уточнения диагноза и допуска к тренировочному процессу, 16 (41%, n = 39) нуждались в отстранении от тренировочного процесса и проведении лечебно-восстановительных мероприятий.

После курса реабилитации пациентов с повреждениями от перегрузки, требующих отстранения от тренировочного процесса для проведения восстановительного лечения, количество нарушений как в основной IXб(о), так и в контрольной IXб(к) подгруппах на всех уровнях (A, B, C) построения движения уменьшилось (χ^2, $p<0,001$). Но коррекция нарушений построения движения в основной подгруппе IXб(о) была более значимой (χ^2, $p=0,020$), чем в контрольной подгруппе IXб(к): нарушения на уровне А в основной подгруппе были диагностированы у 3 (14 %, n = 22) обследуемых против 8 (35 %, n = 24) контрольной подгруппы, нарушения на уровне В в основной подгруппе – у 5 (22 %, n = 22) против 12 (51 %, n = 24) контрольной, на уровне С в основной подгруппе – у 14 (62 %, n = 22) против 17 (71 %, n = 24) контрольной подгруппы.

Несмотря на относительную неоднородность пациентов подгрупп, выигрыш по времени полного восстановления до тренировочного уровня у представителей основной IXб(о) подгруппы по отношению к контрольной IXб(к) был от 20% до 45% в зависимости от характера повреждения, возраста и уровня спортивного мастерства. При этом максимальный эффект поуровневой реабилитации достигали при реабилитации тракционных апофизитов (экономия времени полного восстановления достигла 35–45 %).

На **V этапе** при разработке математических подходов к оценке *локальной физической нагрузки* через *меру гладкости движения* и подходов к проектированию оптимальных траекторий движения при восстановлении функции нижней конечности участвовало 55 (группа X, средний возраст 12,5 [11,3; 14,1] лет) представителей обсуждаемой категории лиц (группа X), имеющих повреждения в области тазобедренного сустава (n = 25) и голеностопного сустава (n = 30)**.**

Средняя продолжительность восстановления функции *тазобедренного* сустава в основной Ха(о) подгруппе (n = 12) при проведении реабилитационных мероприятий с использованием персонифицированно подобранных эллиптических траекторий составил 14,3 ± 2,5 суток, в то время как в контрольной Ха(к) подгруппе (n = 13), восстанавливающейся стандартными средствами и методами – 18,2 ± 4,8 суток (p = 0,024). При восстановлении функции *голеностопного* сустава в основной Хб(о) подгруппе (n = 14) было затрачено 8,4 ± 3,2 суток, в контрольной Хб(к) подгруппе (n = 16) – 12, 1 ± 4,1 суток (p = 0,013).

Средняя оценка физических кондиций и готовности к получению тренировочной физической нагрузке (согласно опросу тренеров по 10–бальной шкале) при восстановлении функции *тазобедренного* сустава в основной Ха(о) подгруппе была 8,4±1,2 балла, в контрольной Ха(к) подгруппе – 5,8±0,9 балла (p = 0,036); при восстановлении функции *голеностопного* сустава в основной Хб(о) подгруппе – 7,8±1,1 балла, в контрольной Хб(к) подгруппе – 4,9±1,8 балла (p = 0,028).

Кинематически, ***гладкость*** движения – это качество, связанное с непрерывностью движения, вне зависимости от его амплитуды и продолжительности. Естественные движения здорового человека кинематически характеризуются *гладкими* траекториями. В то время как поврежденное звено ОДА производит прерывистые движения и не способно производить гладкие движения на доступном ему объеме движений. Максимальной гладкости траектории движения человека достигают при минимизации третьей производной от перемещения, то есть при *минимизации рывка* ($\dddot{r}$) вдоль траектории движения (Flash & Hogan, 1985).

Реализуемый в данном исследовании **математический подход** к оценке локальной нагрузки на ОДА при планировании реабилитационных мероприятий следующий: для оценки гладкости траектории $r(t) = (x(t), y(t), z(t))$ движения маркера, закрепленного на теле обследуемого минимизируется следующий функционал *логарифмического безразмерного рывка*:

$$log(J_N) = log\left(\frac{(t_2 - t_1)^3}{v_{mean}^2} \int_{t_1}^{t_2} \left(\overset{\dots}{x(t)}^2 + \overset{\dots}{y(t)}^2 + \overset{\dots}{z(t)}^2 \right) dt \right) \rightarrow min,$$

где v_{mean} – средняя скорость на отрезке $[t_1, t_2]$. Значения этого функционала, усредненного по опорным маркерам сустава, принимали за *меру гладкости движения* на отрезке $[t_1, t_2]$.

Координатные функции $x(t), y(t), z(t)$ в функционале *логарифмического безразмерного рывка* должны иметь третью производную по параметру t и удовлетворять *условию регулярности* $(x')^2 + (y')^2 + (z')^2 > 0$, где $x' = dx/dt, y' = dy/dt, z' = dz/dt$. Точки, в которых нарушается условие регулярности называются *особыми точками*. Примером особой точки для плоской кривой является вершина траектории «клюв». Движение восстанавливаемой конечности по траектории «клюв» крайне неблагоприятны, так как в особой точке происходит скачкообразное изменение производных движения (скорости, ускорения и т.д.), влекущее биомеханическую перегрузку тканей. Заметим, что многие из традиционно применяемых упражнений лечебной гимнастики используют поступательно-возвратные движения, которые на концах траектории имеют особые точки по типу «клюв».

В настоящем исследовании подтверждено, что при восстановлении функции тазобедренного сустава по траектории «клюв» происходит значительная перегрузка восстанавливаемых тканей (ВАШ: Me = 4, интерквартильный интервал [4,2; 5,6], n = 12), относительно движения по траектории Лемнискаты Бернулли (ВАШ: Me = 3, интерквартильный интервал [2,3; 3,8], n = 12).

При выполнении тестового хореографического движения *grand-plié* были получены корреляционные связи (критерий Спирмена, p = 0,05) между характером повреждения, симптоматикой по шкале ВАШ и динамикой восстановления по бальной шкале от 0 до 10 *меры гладкости* $log(J_N)$. При повреждении от перегрузки в области тазобедренного сустава (n = 12): Cor (ВАШ – «Гладкость») = 0,85; Cor (Восстановление – Гладкость) = 0,96. При повреждения от перегрузки в области голеностопного сустава (n = 14): Cor (ВАШ – «Гладкость») = 0,74; Cor (Восстановление – Гладкость) = 0,62.

На **VI этапе** при разработке значения и разработке подходов к использованию китайской гимнастики Тайцзицюань при восстановлении функции нижней конечности и при исследовании биомеханических паттернов проводимого восстановления приняли участие 76 представителей обсуждаемой категории лиц, от 10 до 16 лет (группа XI, средний возраст 12,4 [10,9; 13,3] лет), имеющих повреждения от перегрузки в области коленного или голеностопного суставов и нуждающихся в восстановлении их функции. В ходе анализа нагрузки при выполнении разработанного комплекса реабилитации с использованием движений Тайцзицюань стиля Ян проводимого при помощи оптико-электронной системы захвата и анализа движения «Qualisys» выяснились следующие особенности:

1. Движение «Руки колышутся подобно облакам» предъявляет минимальную нагрузку на сгибание-разгибание в тазобедренном и коленном суставах и практически отсутствие нагрузки на голеностопный сустав;

2. Движение «Разглаживание гривы дикой лошади» предъявляет минимальную нагрузку на сгибание-разгибание в тазобедренном и коленном суставах и минимальную ротационную нагрузку (на внешнюю ротацию) в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах;

3. Движение «Отталкивание обезьяны» предъявляет минимальную нагрузку на сгибание-разгибание в тазобедренном и коленном суставах, умеренную нагрузку на сгибание-разгибание в голеностопном сустав, умеренную ротационную нагрузку (на внешнюю ротацию) в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах;

4. Движение «Змея в траве» («Чайка над гребнем волны») предъявляет значительную нагрузку на сгибание-разгибание в тазобедренном и коленном суставах, умеренную нагрузку на сгибание-разгибание в голеностопном суставе, высокую ротационную нагрузку (на внешнюю ротацию) в тазобедренном суставе, умеренную ротационную нагрузку (на внешнюю ротацию) в коленном и голеностопном суставах.

Качественно проведенная физическая реабилитация хорошо восстанавливает силовые (динамические) параметры движения в коленном и голеностопном суставах, особенно, на высоких скоростях. Но *функциональность активации*

мышц (параметры «Угол Пика ВМ», «Время замедления» на средних скоростях) намного лучше восстанавливались в основной XI(о) группе Тайцзицюань (χ^2, p=0,003).

В ходе проведения кластерного анализа параметров сравнительного изокинетического тестирования с использованием комплекса «Biodex System 4 Pro» контралатеральной интактной («здоровой») и восстанавливаемой конечности после двухнедельного прохождения курса физической реабилитации в основной группе (восстанавливающейся при помощи разработанного комплекса гимнастики на базе Тайцзицюань) и контрольной группе XI(к), восстанавливающейся в амбулаторно-поликлинических условиях, были выявлены 5 типовых **изокинетических паттернов** восстановления функции сустава на «сгибание-разгибание», имеющих прогностическую ценность. Паттерны 4 и 5 являются наиболее оптимальными при восстановления функции сгибания-разгибания коленного и голеностопного суставов. Значимыми параметрами кластеризации были: «Пик ВМ», «Пик ВМ/МТ», «Время к Пику ВМ», «Угол Пика ВМ», «Время замедления».

Профилактика повреждений от перегрузки у рассматриваемого контингента лиц заключается понимании и разъяснении педагогам-хореографам и тренерам-преподавателям особенностей и специфики рассматриваемых повреждений, в постоянном медико-биологическом сопровождении тренировочного/ репетиционного процесса с применением разработанных в исследовании диагностических алгоритмов и, при необходимости, модификации тренировочного процесса, а, также, в выстраивании восстановительных мероприятий с использованием средств спортивной подготовки, природно-географических факторов и элементов гимнастики Тайцзицуань.

В ходе проведения исследования были получены косвенные данные, подтверждающие, что еженедельное в течение 2-х месяцев проведение восстановительных мероприятий с использованием водной среды (бассейна) позволило снизить количество повреждений от перегрузки на 25-30%.

При написании данной главы использовались следующие публикации автора:

Васильев, О.С. Хореографическая «выворотность» как фенотипический маркер дисплазии соединительной ткани в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. Т. 6. № 3. С. 48-53.

Васильев, О.С Об эффективности использования медикаментозной терапии в рамках поуровневой реабилитации опорно-двигательного аппарата спортсменов / О.С. Васильев, А.С. Самойлов, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2017. № 2. С. 130-133.

Васильев, О.С. Средства спортивной подготовки в медицинской реабилитации травм опорно-двигательного аппарата у спортсменов / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2018. № 1. С. 86-90.

Васильев, О.С. Реабилитация спортсменов с повреждениями опорно-двигательного аппарата с использованием экстремальных факторов окружающей среды / О.С. Васильев, С.П. Левушкин // Курортная медицина. – 2018. № 1. С. 90-93.

Васильев, О.С. Диагностика малых повреждений опорно-двигательного аппарата квалифицированных спортсменов методом поуровневого анализа построения движения / О.С.Васильев, А.С. Самойлов, С.П. Левушкин // Медицина экстремальных ситуаций. – 2018. Т. 20. № 2. С. 197-202.

Васильев, О.С. Мышечный гипертонус в видах двигательной активности, связанных с искусством движения / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, В.И. Лях // Теория и практика физической культуры. – 2021. № 4. С. 75-77.

Васильев, О.С. Мера «гладкости» движения как показатель локальной нагрузки на опорно-двигательный аппарат в реабилитации спортсменов и учащихся хореографических училищ / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, И.И. Гайдамака, А.А. Столяров // Теория и практика физической культуры. – 2021. № 1. С. 17-19.

ВЫВОДЫ

1. У представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения, выявлены 5 *рентгено-морфологических* типов строения тазобедренных суставов: 1-й тип – минимальное в пределах нормы ацетабулярное покрытие (угол Виберга 26–30°), повышенный шеечно-диафизарный угол (ШДУ) (137–145°); 2-й тип – умеренно увеличенное в пределах нормы ацетабулярное покрытие (угол Виберга 32–35°), несколько повышенный ШДУ (137–142°); 3-й тип – нормальное ацетабулярное покрытие (угол Виберга 27–32°), нормальный ШДУ (131–133°); 4-й тип – повышенное в пределах нормы ацетабулярное покрытие (угол Виберга 36–40°), незначительно повышенный ШДУ (135–137°); 5-й тип – пограничная ацетабулярная дисплазия (угол Виберга 24–25°), нормальный ШДУ (123–130°). Их биомеханические (спортивно–хореографические) характеристики имеют прогностическую силу в плане дальнейшей адаптации к профессиональной физической нагрузке и по профессиональному объему движения (в том числе наличию способности к «выворотности»).

Наиболее полно отвечает эстетическим и биомеханическим профессиональным требованиям классической хореографии 1-й – диспластический тип развития тазобедренного сустава по бедренному типу (Coxa valga).

2. Специфику повреждений нижней конечности от перегрузки у представителей видов двигательной активности, связанных с искусством движения, определяют биомеханика профессиональных движений, основанная на *выворотной* структуре движения классического танца, требования к *выравниванию* и *натянутости* линии ног, максимальное разгибание (дорсифлексия) в голеностопном суставе в положении *grand plié* и доминирующая работа на *полупальцах* и *пальцах*, которые предъявляют маргинальные в рамках анатомо-физиологической нормы требования к опорно-двигательному аппарату занимающегося, реализующиеся в ходе профессионального отбора в эти виды двигательной активности.

3. При проведении клинико-функциональных методов исследования следует использовать диагностические алгоритмы, включающие как общепринятые в спортивной медицине, травматологии и ортопедии средства и методы, так и специфические виду двигательной активности тесты: оценивать фенотипические признаки проявления диспластического типа конституции, проводить исследование функции и выравнивания оси нижней конечности как в общепринятом (нейтральном), так и в профессиональных *выворотных* положениях (в том числе и «под нагрузкой» в положении на *пальцах* и *полупальцах*), оценивать степень компенсации и вовлечения компенсаторных стратегий недостающей выворотности по всей нижней конечности. При проведении диагностики и реабилитации важно учитывать результаты педагогического спортивно-хореографического тестирования, мнение личного тренера и педагога-хореографа.

4. Физическая нагрузка с *тренирующим эффектом* (на фоне физиологического стресса) с использованием средств *спортивной подготовки* позволяет повысить эффективность восстановления функции нижней конечности после повреждений от перегрузки. Оптимальной формой использования средств спортивной подготовки являются адаптированные тренировочные занятия в профессионально оборудованном спортивно-гимнастическом зале и в бассейне. Контролировать оптимальность применяемой нагрузки следует как при помощи медико-биологических, так и спортивно-педагогических методов.

Проприоцептивные упражнения могут быть использованы на ранних этапах физической реабилитации. Эксцентрические и плиометрические упражнения с дозированным прогрессированием должны в обязательном порядке включаться на завершающих этапах реабилитации. Ведущим физиологическим механизмом реабилитации с использованием средств *спортивной подготовки* является адаптация опорно-двигательного аппарата и всего организма в целом к воздействию индивидуально подобранных тренировочных нагрузок.

5. Использование *природно-географических факторов* (на фоне физиологического стресса) при восстановлении функции нижней конечности эффективно на завершающих этапах реабилитации. Оптимальной формой

использования природно-географических факторов являются спортивно-восстановительные сборы, в рамках которых следует по возможности задействовать длительное прикладное плавание и упражнения в теплой воде и на берегу, треккинговую ходьбу по пересеченной местности, элементы скалолазания. Ведущим физиологическим механизмом реабилитации в рамках спортивно-восстановительных сборов является адаптация опорно-двигательного аппарата и всего организма в целом к круглосуточному воздействию *природно-географических факторов*.

6. Разработанный *алгоритм поуровневой диагностики*, основанный на анализе нарушения уровней построения движения по Н.А. Бернштейну, позволяет диагностировать «скрытые» повреждения и оценивать динамику проведения реабилитации. Концепция *поуровневой реабилитации* позволяет индивидуально и специфически практикуемому виду двигательной активности организовывать проведение реабилитации повреждений от перегрузки с использованием как классических средств и методов восстановления (медикаментозная терапия, инъекционная терапия, лечебный массаж, мануальная терапия, физиотерапия и др.), так и с использованием средств *спортивной подготовки* и *природно-географических факторов*.

При восстановлении функции нижней конечности после повреждений от перегрузки значимым является нормализация уровней А, В и С *построения движения* по Бернштейну.

7. Референтными показателями дозирования *локальной физической нагрузки на* восстанавливаемое звено опорно-двигательного аппарата являются функциональные (*гладкость* траектории) и дифференциально-геометрические показатели траектории движения (*кривизна* плоской траектории). Эти показатели позволяют оценить адекватность получаемой нагрузки и найти оптимальную траекторию движения при выполнении упражнений лечебной гимнастики при восстановлении функции нижней конечности у рассматриваемой категории лиц.

8. Математическая модель оценки локальной нагрузки и прогнозирования оптимальных характеристик траектории движения восстанавливаемого звена опорно-двигательного аппарата может быть описана как минимизация

функционала *логарифмического безразмерного рывка*:

$$log(J_N) = log\left(\frac{(t_2 - t_1)^3}{v_{mean}^2}\int_{t_1}^{t_2}\left(\overset{\cdots}{x(t)}^2 + \overset{\cdots}{y(t)}^2 + \overset{\cdots}{z(t)}^2\right)dt\right) \to min,$$

где $r(t) = (x(t), y(t), z(t))$ – траектория движения маркера, закрепленного на теле обследуемого, v_{mean} – средняя скорость движения на отрезке $[t_1, t_2]$. Значения функционала, усредненного по траекториям всех маркеров, принимали за *меру гладкости движения* на отрезке $[t_1, t_2]$. Разработанный модельный подход позволяет диагностировать скрытые повреждения, оценивать динамику реабилитации, оптимизировать и персонифицировать процесс восстановления функции нижней конечности.

9. Гимнастика Тайцзицюань отличается оптимальной гладкостью траекторий движения и эффективно восстанавливает нарушения функции нижних конечностей на уровне А и В построения движения по Бернштейну. Разработанный комплекс упражнений на базе гимнастики Тайцзицюань позволяет восстанавливать выворотные траектории движения в тазобедренном суставе, профессионально-обусловленные движения в коленном и голеностопном суставе и нормализует функциональность активации мышц.

10. Биомеханическое *изокинетическое тестирование* нижней конечности является объективным методом диагностики и оценки адекватности процесса восстановления функции нижней конечности после повреждения от перегрузки у рассматриваемой категории лиц. Несмотря на важность традиционно анализируемых динамических показателей тестирования, таких как «Пик ВМ», «Пик ВМ/МТ», для данной категории лиц всё б*о*льшее значение приобретают функциональные показатели мышечной активности: «Время к Пику ВМ», «Угол Пика ВМ», «Время замедления».

Показатели изокинетического тестирования могут быть кластеризованы на паттерны, имеющие физиологический и прогностический смысл для оценки и оптимизации процесса реабилитации.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При *неспецифическом болевом синдроме* (дискомфорте, влияющем на профессиональную деятельность) в области нижней конечности рекомендуется использовать разработанный «алгоритм комплексной диагностики повреждений от перегрузки», ведущее место в котором занимает функциональное соматоподоскопическое обследование в профессионально принимаемых положениях. Ввиду профессиональной обусловленности этиологии и патогенеза повреждений от перегрузки весь диагностический поиск и планирование восстановительных мероприятий следует проводить в тесном контакте с личным тренером или педагогом-хореографом.

2. Для уточнения конституциональных особенностей строения тазобедренных суставов и при наличии показаний к проведению обзорной рентгенографии тазобедренных суставов в прямой проекции, полученную рентгенограмму рекомендуется типизировать согласно выявленным в исследовании рентгено-морфологическим типам строения тазобедренных суставов. Такая типизация может помочь определиться с дальнейшей тактикой восстановительных мероприятий и планированием осевой нагрузки в ходе реабилитации. При наличии диспластического типа развития тазобедренных суставов программу реабилитации следует дополнять специальными мероприятиями на укрепление мышечно-связочного корсета тазобедренных суставов.

3. При проведении клинической диагностики следует обращать особое внимание на наличие, характер и локализацию мышечного гипертонуса в области таза и нижних конечностей, который рекомендуется купировать мануальными методами (и, при необходимости, на фоне новокаиновых блокад) с обязательным последующим назначением специально подобранных упражнений физической реабилитации.

4. При использование *проприоцептивных* упражнений как средств реабилитации рекомендуется задействовать упражнения на нестабильной опоре,

упражнения на стабильной опоре в сложных условиях (например, гимнастическое бревно), упражнения в условиях зрительной депривации (как на снарядах, так и вне помещения в условиях разного рельефа местности). При проведении физической реабилитации в рамках спортивно-гимнастического зала рекомендуется выполнять партерную гимнастику и хореографию на гимнастическом бревне, прыжки на батуте/минитрампе в различных профессиональных положениях. Эффективность проприоцептивных упражнений может быть повышена за счет их выполнения в условиях зрительной депривации.

5. При проведении физической реабилитации с использованием *эксцентрических* и *плиометрических* упражнений, их следует подбирать и дозировать строго индивидуально. Тренирующий эффект нагрузки следует контролировать по наличию физиологической стресс-реакции, в качестве критериев выхода на которую можно использовать результаты динамических наблюдений самочувствия спортсмена, визуальную шкалу боли, мониторинг частоты сердечных сокращений, термометрию и клинические травматолого-ортопедические тесты оценки состояния мышечно-связочного аппарата спортсмена.

Оптимальными плиометрическими упражнениями при восстановлении функции нижней конечности являются индивидуально подобранные прыжки на батуте (на месте) и на минитрампе (с продвижением) в профессиональных положениях (прыжок «шагом», «касаясь», «в складку», «в поперечный шпагат» и др.).

6. Оценку эффективности использования проприоцептивных, эксцентрических и плиометрических упражнений как средств физической реабилитации рекомендуется проводить при помощи *модифицированной пробы Ромберга* – равновесие на гимнастическом бревне в passé по шестой позиции на полной стопе и на *полупальцах* с открытыми и закрытыми глазами как на «здоровой», так и на восстанавливаемой ноге.

7. При использовании *природно-географических факторов* как средств реабилитации рекомендуется строго соблюдать *гигиенические условия*: температуру воздуха, воды, волнение моря, наличие ветра, время суток (характер

солнечной инсоляции), характер и безопасность рельефа берега и дна. В рамках спортивно-восстановительных сборов рекомендуется использовать длительное прикладное плавание, упражнения воде и на берегу, треккинговую ходьбу по пересеченной местности, элементы скалолазания.

8. При проведении реабилитации с использованием *водной среды* рекомендуется опираться на методику Т. Лафлина «Полное погружение» разработанную для совершенствования техники плавания на длинные дистанции. В случае реализации данной методики в бассейне её следует адаптировать и дополнять упражнениями «на бортике» (в прилегающем гимнастическом зале). Плавание рекомендуется выполнять как в ластах, так и без ласт, с использованием *доски* и *колобашки* для выравнивания оси нижних конечностей и оптимального распределения нагрузки на опорно-двигательный аппарат.

При восстановлении функции тазобедренного сустава в открытой воде и в условиях бассейна рекомендуется прикладное плавание на груди и на спине с *доской* в ластах для браса (ноги работают по типу *plié*). Данный вид плавания рекомендуется дополнять выполнением упражнений *plié* на суше. В комплекс упражнений лечебной гимнастики, проводимой в воде рекомендуется включать хореографические упражнения («станок» в воде), маховые, прыжковые упражнения и упражнения *на растяжку*. В упражнения на суше рекомендуется включать партерную гимнастику и упражнения *на растяжку* (при наличии, использовать сауну 3-5 мин.).

Следует учитывать, что прикладное плавание и упражнения в воде эффективны при их выполнении в теплой воде (оптимально 28-30°). Общее время нахождения в водной среде должно превышать 45 минут. Оптимальная схема реабилитации с использованием водной среды (цикл «вода-суша»): суша 5-10 минут (разминка), вода 35-45 минут, суша 15-30 минут (упражнения на бортике или в рядом располагающемся гимнастическом зале), вода 35-45 мин. Далее возможно индивидуальное прогрессирование нагрузки за счет увеличения числа циклов «вода-суша».

9. При формировании сухожильно-мышечного корсета с применением техники *прыжков в воду* рекомендуется использовать прыжки без вращения,

требующие максимального выравнивания и натяжения тела (прыжок «солдатик», «солдатик с группировкой», «рыбка»); в качестве координационного прогрессирования можно использовать прыжок с половинным вращением – «козел вперед». Прыжки следует проводить с высоты не более 2-х метров при глубине водоема более 3-5 метров.

10. *Скандинавскую* ходьбу по слабо пересеченной местности рекомендуется использовать на ранних этапах реабилитации. Прогрессированием нагрузки является переход к *треккинговой* ходьбе по пересеченной, вплоть до горной местности. При использовании техники скандинавской или треккинговой ходьбы следует обращать внимание на правильность выбора палок, их постановки и достаточность опоры на палки при ходьбе.

11. При проведении физической реабилитации с использованием элементов *скалолазания* следует использовать верхнюю страховку на динамической веревке, позволяющей дозировано компенсировать вес тела. На начальных этапах использования скалолазания рекомендуется применять технику «лифта» – стимулирование лазания натяжением верхней страховки. При восстановлении функции тазобедренного сустава рекомендуется лазание «выворотной техникой» (тазобедренные суставы находятся в состоянии внешней ротации).

12. При использовании поуровневой реабилитации следует обращать внимание на тщательность восстановления уровней *А* и *В* построения движения. При оценке уровней построения движения следует рассматривать специфические виду двигательной активности профессиональные движения. Оптимально уровень *А* восстанавливают длительное (более 45 минут) специально организованное плавание в теплой воде, метод постизометрической релаксации, упражнения на растяжку на фоне новокаиновых блокад. При восстановлении уровня *В* рекомендуется партерная гимнастика Б. Князева, китайская гимнастика Тайцзицюань.

13. При наличии технического обеспечения рекомендуется использовать разработанный модельный подход кинематической диагностики и оценки *локальной физической нагрузки* и проектирования оптимальных траекторий восстановительного движения. При прогнозировании персонифицированных

эллиптических траекторий движения их можно реализовать на прототипах эллиптических тренажеров, основанных на геометрических свойствах эллипса. Реабилитацию рекомендуется проводить по клинически подобранным (с учетом болевого синдрома и наличествующего объема движения) эллиптическим траекториям или траекториям Лемнискаты Бернулли и, по возможности, избегать поступательно-возвратных движений.

14. При восстановлении функции нижней конечности с применением традиционной китайской гимнастики Тайцзицюань стиль Ян рекомендуется использовать следующие движения: «Руки колышутся подобно облакам», «Разглаживание гривы дикой лошади», «Отталкивание обезьяны», «Чайка над гребнем волны». Эти движения оптимально задействуют объем движений в коленном суставе, выворотность в тазобедренном и разгибание в голеностопном суставе.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает глубокую благодарность своим научным консультантам, д.м.н., профессору Ачкасову Евгению Евгеньевичу, и д.б.н., профессору Левушкину Сергею Петровичу за помощь в проведении диссертационного исследования.

Автор благодарит научно-клинический коллектив ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации за поддержку данного исследования.

Автор выражает искреннюю благодарность ведущему специалисту в области детской спортивной медицины д.м.н., профессору Хрущеву Сергею Васильевичу, который вдохновил на написание данной работы и дал массу ценных советов об особенностях проявления дисплазии в спорте; главному детскому хирургу Москвы Немсáдзе Вахтáнгу Панкрáтовичу за наставления в области спортивной травматологии и ортопедии; моему первому научному руководителю по аспирантуре, обучившего меня клинической медицине, д.м.н., профессору Земскову Владимиру Михайловичу, ведущему специалисту в области теории и методики сложнокоординационных видов спорта д.п.н., профессору Сучилину Николаю Георгиевичу за помощь в изучении *средств спортивной подготовки* на примере спортивной гимнастики и профессору РГУФКСМиТ Новик Марии Григорьевне за помощь в изучении средств спортивной подготовки на примере художественной гимнастики.

Автор также выражает глубокую признательность ведущему балетоведу России, к.филос.н., Заслуженному деятелю искусств Уральской Валерии Иосифовне за более, чем 15-летние консультации в области классической хореографии; к.п.н., профессору кафедры балетмейстерского образования Академии русского балета им. А.Я. Вагановой (АРБ) Силкину Петру Афанасьевичу; к.м.н., доценту, заведующей лабораторией медико-биологического сопровождения хореографии АРБ Степаник Ирине Анатольевне и старшему преподавателю кафедры классического и дуэтно-классического танца АРБ Бадаевой Ирине Ивановне за ценные замечания и обсуждения специфики

классического танца; доценту кафедры классического танца Московской государственной академии хореографии, Заслуженному деятелю искусств РФ Куликовой Вере Николаевне за консультации по «выстройке тела» при обучении классическому танцу; учёному секретарю Московского городского отделения Русского географического общества к.географ.н. Пузановой Татьяне Алексеевне за помощь в исследовании влияния *природно-географических факторов*; руководителям гимнастического клуба «Динамо – Москва» им. М.Воронина Зудину Андрею Георгиевичу и Мельникову Виктору Ивановичу за помощь в исследовании влияния *средств спортивной подготовки;* ЗМС и ЗТР Гурному Владимиру Борисовичу за помощь в использовании средств спортивной гимнастики в реабилитации; Мастеру боевых искусств, д.п.н., профессору кафедры физического воспитания Шэньчжэньского технологического университета Лю Шухуэй за обучение и консультации по Тайцзицюань; д.ф-м.н., профессору Мищенко Александру Сергеевичу за обучение дифференциальной геометрии, основные положения которой автор использовал при разработки математического подхода; д.филос.н, профессору Казарян Валентине Павловне и д.филос.н. профессору Герасимовой Ирине Алексеевне за консультации по применению междисциплинарного подхода в научно-клинической деятельности; к.филолог.н доценту Рохлину Андрею Викторовичу за помощь в многочисленных переводах используемой литературы.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Ввиду того, что рентгенологические критерии дисплазии тазобедренных суставов все больше вызывают сомнения (McClincy M.P. et al., 2019; Vaudreuil N.J. et al., 2020), а трехмерные КТ- и МРТ-исследования дают двумерные проекционные характеристики (Wells J. et al., 2017), имеет смысл переходить к разработке пространственных *топологических* и/или *дифференциально-геометрических* ортопедических характеристик дисплазии ТС. То же можно сказать про оценку конституционных особенностей строения тазобедренных, коленных и голеностопных суставов, хореографической выворотности, функциональных импинджментов и др.

2. Н.А. Бернштейн (1929, 1947) одним из первых предложил анализировать траектории движения суставов человеческого тела не метрическими, а топологическими категориями. Исследования конца XX – начала XXI века показали, что биологические организмы, в отличие от неживых физических объектов, движутся в рамках *аффинной геометрии* (Habas C. et al., 2020; Bennequin D. 2021). Поэтому анализировать, диагностировать и разрабатывать физиологически адекватные траектории восстановления суставов следует выходя за рамки классической биомеханики в пользу *аффинной геометрии*.

3. Традиционно физическая нагрузка на восстанавливаемый сустав оценивается с динамических позиций. Данное исследование показало, что нагрузка может быть оценена с функциональных (*гладкость* траектории) и дифференциально-геометрических (*кривизна* и *кручение* траектории) позиций. Однако движение по траектории может иметь различные *ритмические* характеристики (Habas C. et al., 2020), которые будут оказывать различную нагрузку на восстанавливаемые ткани. Поэтому изучение ритмических характеристик восстановительного движения также может представлять интерес.

4. В ходе проведенного исследования были получены косвенные данные по снижению неспецифического болевого синдрома, коррекции нестабильности тазобедренных суставов и улучшения качества жизни (Gambling T. et al., 2019) среди детей с пограничной и слабовыраженной дисплазией тазобедренных

суставов, восстанавливающихся адаптированными и индивидуально дозированными средствами спортивной подготовки. Процент таких детей в художественной гимнастике и школах классического танца намного выше, чем в среднем по популяции, и связано это с особенностями профессионального отбора. Дальнейшее получение профессиональной нагрузки для таких детей должно рассматриваться индивидуально, а коррекция данного состояния средствами спортивной подготовки может иметь место. Изучение возможности адаптированного применения средств спортивной подготовки и природно-географических факторов в рамках консервативного лечения дисплазии тазобедренных суставов у детей и подростков может быть перспективным.

5. В ходе проведенного исследования были получены косвенные данные, подтверждающие, что стрессовое недержание мочи у юных спортсменов и артистов балета может происходить по механизму «повреждения от перегрузки» сухожильно-мышечно-связочного аппарата в ходе профессиональной деятельности (Васильев О.С. и др., 2021). Gram M.C.D., Bø K., сообщают, что 31,8% спортсменок в художественной гимнастике 12–21 лет (n = 133), средний возраст возраст 14,5 лет имели недержанием мочи (Gram M.C.D., Bø K., 2020). Примерно те же данные сообщаются относительно юных артистов балета. На сегодняшний день нет рандомизированных контролируемых исследований или отчетов характеризующих лечение стрессового недержания мочи у спортсменок (Bø K. et al., 2020; Rzymski P. et al., 2020). Поэтому дальнейшее изучение стрессового недержания мочи у данного контингента лиц в контексте реабилитации повреждения от перегрузки обладает актуальностью.

6. В ходе проведенного исследования были получены косвенные данные в пользу немедикаментозных методов лечения функциональных нарушений желудочно-кишечного тракта, в частности эвакуаторной функции у детей с хроническим идиопатическим запором (Tang J. et al., 2021); эффективность показали применение средств спортивной подготовки, специально организованное плавание и упражнения в воде, треккинговая ходьба по пересеченной местности. Поэтому есть основания провести исследование применения средств спортивной подготовки и как вспомогательных методов

терапии обозначенных функциональных состояний среди педиатрического населения.

7. Костная зрелость у представителей искусства движения наступает значительно позже, чем в среднем по педиатрическому населению (Stracciolini A. et al. 2016). Поэтому рассмотренные в данном исследовании подходы к реабилитации повреждений опорно-двигательного аппарата от перегрузки могут быть экстраполированы на более взрослый контингент. В ходе проведенного исследования были получены косвенные данные, свидетельствующие за наличие повреждений от перегрузки у юных спортсменов и танцоров более младшего возраста (например, б. Севера). Поэтому разработанные подходы к реабилитации повреждений от перегрузки могут быть рассмотрены на более широком возрастном диапазоне. Тоже касается перспективности изучения повреждений от перегрузки в других локализациях опорно-двигательного аппарата.

8. Проведенное исследование подтвердило, что компенсационные стратегии недостающих «способностей» (*выворотности*, *натяжения и выравнивания линии* ног, *подъема*, формы стопы, объема движений в голеностопном суставе и стопе для *plié и en pointe* и др.) являются основными факторами риска повреждений от перегрузки. Эти способности являются конституционно обусловленными и могут быть лишь минимально скорректированы педагогическими средствами и методами без вовлечения патологических компенсаций. Предметом дальнейших исследований может являться медико-педагогический анализ спортивно-гимнастических и хореографических средств и методов «совершенствования» конституционно обусловленных способностей, многие из которых (педагогические средства и методы) могут крайне пагубно отразиться на дальнейшей профессиональной деятельности юных спортсменов и артистов балета. Не менее актуальным является продолжение исследований по профессиональному отбору в системе хореографического образования (Силкин П.А. 2008, 2010; Масленников П.Ю. 2018), особенно в контексте различения природных и искусственно сформированных способностей, которые (искусственно сформированные) по большей части являются патологическими компенсациями недостающих природных данных.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АКД – амплитуда колебаний доминантной руки

АКНД – амплитуда колебаний не доминантной руки

б. – болезнь

ВАШ – визуальная аналоговая шкала боли

ВМ – вращающий момент

ДСТ – дисплазия соединительной ткани

КА – коэффициент асимметрии

КС – коленный сустав

КТ – компьютерная томография

ЛФК – лечебная физическая культура

МРТ – магнито-резонансная томография

МТ – масса тела

НПВС – нестероидные противоововспалительные средства

н/з – статистически незначимые отличия

ОДА – опорно-двигательный аппарат

П – паттерн

ТС – тазобедренный сустав

УЗИ – ультразвуковое исследование

ШДУ – шеечно-диафизарный угол

ФАИ – феморо-ацетабулярный импинджмент

ФТЛ – физиотерапевтическое лечение

ЧСС – частота сердечных сокращений

AOD – амплитуда колебаний доминантной руки за время тестирования,

AON – амплитуда колебаний не доминантной руки

Cor – корреляция

M – среднее

Me – медиана данных

Q_1 – 1-й квартиль, Q_3 – 3-й квартиль

ROM – объем движения в суставе

σ – стандартное отклонение

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.Абальмасова, Е.А. Остеохондропатии. Детская артрология / Е.А. Абальмасова. – М.: Медицина, 1981. – С. 284-303.

2.Аббакумова, Л.Н. Полиорганные нарушения при дисплазиях соединительной ткани у детей. Алгоритмы диагностики. Тактика ведения. Проект российских рекомендаций / Л.Н. Аббакумова и др. // Педиатр. – 2016. – №7(4). – С. 5-36.

3.Анастасиева, Е.А. Актуальные вопросы хирургического лечения повреждений передней крестообразной связки (обзор литературы) / Е.А. Анастасиева, Р.О. Симагаев, И.А. Кирилова // Гений ортопедии. – 2020.– Т. 26, №1. – С. 117-128.

4.Аркаев, Л.Я. Как готовить чемпионов [Текст]: теория и технология подготовки гимнастов высшей квалификации / Л.Я. Аркаев, Н.Г. Сучилин. – М.: Физкультура и спорт, 2004. – 325с.

5.Аухадеев, Э.И. Идеи Н.А. Бернштейна – методологическая основа разработок восстановительного лечения в неврологии / Э.И. Аухадеев, Г.А. Иваничев, Ф.А. Хабиров. // Казанский медицинский журнал. – 2007. – Т. 88, №5. – С. 426-430.

6.Аухадеев, Э.И. Системное восстановление двигательных, речевых, психических и вегетативных функций на основе построения концепции Н.А. Бернштейна о построении движений / Э.И. Аухадеев, Г.Е. Иванова, Р.А. Бодрова // Цереброваскулярная патология и инсульт: Материалы III Рос. междунар. конгр. – Журн. неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2014. – Т. 114, №8. – С. 317.

7.Ахунова, Р.Р. Лечебная физкультура в медицинской реабилитации пациентов с анкилозирующим спондилитом / Р.Р. Ахунова, Р.А. Бодрова // Вестник Ивановской медицинской академии. – 2019. – №24 (1). – С. 37-41.

8.Ачкасов, Е.Е. Медико-биологические аспекты восстановления в профессиональном и любительском спорте / Ачкасов Е.Е. и др. // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2018. – №11. – С. 126-132.

9.Ачкасов, Е.Е. Влияние вида спорта и возраста спортсменов на особенности патологических изменений опорно-двигательного аппарата / Е.Е. Ачкасов, С.Н. Пузин, А.С. Литвиненко // Вестник РАМН. – 2014. – №11-12. – С. 80-83.

10.Ачкасов, Е.Е. Повреждения сухожилий малоберцовых мышц у спортсменов (обзор литературы) / Е.Е. Ачкасов, А.П. Середа, А.Д. Репетюк // Травматология и ортопедия России. – 2016. – №4. – С.146-154.

11.Баднин, И. А. Хроническая микротравма мышц, сухожилий и костной ткани у спортсменов и артистов балета: автореф. дисс. … канд. д-ра мед. Наук: 14.00.02; 14.00.12 / Иван Аверьянович Баднин. – М., 1984 – 33с.

12.Баднин, И.А. Охрана труда и здоровья артистов балета: учебное пособие / И.А. Баднин. – М.: Медицина, 1987. – 208 с.

13.Башкиров, В.Ф. Комплексная реабилитация спортсменов после травм опорно-двигательного аппарата / В.Ф. Башкиров. – М.: Физкультура и спорт, 1984. – 238 с.

14.Березуцкий, В.И. Синдром гипермобильности суставов у артистов балета (Ч. 1) / В.Н. Березуцкий // Вестник Академии русского балета им. А.Я. Вагановой. – 2016. – Т. 3, №44. – С. 147-157.

15.Березуцкий, В.И. Синдром гипермобильности суставов у артистов балета (Ч. 2) / В.Н. Березуцкий // Вестник Академии русского балета им. А.Я. Вагановой. – 2016. – Т. 4, №45. – С. 62-66.

16.Бернштейн, Н.А. О ловкости и её развитии / Н.А. Бернштейн. – М.: Физкультура и спорт, 1991. – 288 с.

17.Бернштейн, Н.А. Физиология движений и активность / Н.А. Бернштейн. – М., 1990. – 496 с.

18.Бернштейн, Н.А. Биомеханика и физиология движений / Н.А. Бернштейн; под ред. В.П. Зинченко. – М.: Издательство «Институт практической психологии». Воронеж: НПО «МОДЭК», 1997. – 608 с.

19.Бернштейн, Н.А. О построении движения / Н.А. Бернштейн. – М.: Государственное издательство медицинской литературы, 1947. – 254 с.

20.Бернштейн, Н.А. Клинические пути современной биомеханики / Н.А. Бернштейн // Сб. тр. Гос. ин-та усовершенст. врачей им. В.И. Ленина. Казань. – 1929. – Т.1. – С. 249-270.

21.Бернштейн, Н.А. Очерки по физиологии движения и физиологии активности / Н.А. Бернштейн. – М.: Медицина, 1966. – 350 с.

22.Бойко, И.П. Профессиональные заболевания опорно-двигательного аппарата от воздействия физических нагрузок / И.П. Бойко, С.А. Гребеньков, В.В. Ретнев // Медицинская газета. – 2012. – №14. – С. 8-12.

23.Ваганова, А.Я. Основы классического танца / А.Я. Ваганова; Вступ. статья И.И. Соллертинского. – Л. : ГИХЛ. Ленингр. отд-ние, 1934. – 192 с.

24.Васильев, О.С. «Выворотность» как способ расширения топологии пространства движения /О.С. Васильев // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – 2002. – №4. – С. 47.

25.Васильев О.С. Стрессовое недержание мочи у юных гимнасток и танцовщиц как нарушение функции от перегрузки (пилотное исследование) / О.С. Васильев, С.П. Левушкин, Е.Е. Ачкасов, А.В. Рохлин // Вопросы практической педиатрии. – 2021. Т. 16. № 4. С. 136-110.

26.Верхошанский, Ю.В. «Ударный» метод развития «взрывной» силы мышц / Ю.В. Верхошанский // Теория и практика физической культуры. – 1968. – №8. – С. 59-63.

27.Верхошанский, Ю.В. Ударный метод развития взрывной силы хоккеистов / Ю.В. Верхошанский // Научно-спортивный вестник. – 1976. – №1. – С. 31-34.

28.Виленская, Т.Е. Соединительнотканные дисплазии опорно-двигательного аппарата у современных детей младшего школьного возраста // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – 2006. – №3. – С. 63.

29.Виленский, А.В. Нуждаются ли в реабилитации методы физиотерапии и реабилитации? / А.В. Виленский. Е.Н. Лозовая, А.Н. Деханова // Ремедиум. Журнал о российском рынке лекарств и медицинской технике. – 2016. – №4. – С. 22-27.

30.Вон Кью-Кит. Тай-Цзи Цюань, Полное руководство по теории и практике / Пер. с англ. Ю. Бондарева. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 1998. – 384 с.

31.Гагонин, С. Г. Спортивно-боевые единоборства: от древних ушу и будзюцу до профессионального кикбоксинга / С.Г. Гагонин. – СПб.: СПБГАФК им. П. Ф. Лесгафта, 1997. – 352 с.

32.Глянц, С. Медико-параметрическая статистика. / С. Глянц., пер. с англ. – М.: Практика, 1998. – 459 с.

33.Гордиенко, О.А. Современные аспекты медицинского обеспечения работы цирковых артистов / О.А. Гордиенко. // Здоровье и работоспособность артистов цирка: сб. тр. – М., 2002.– С. 56-57.

34.Дальский, Д.Д. Программы реабилитации спортсменов с профессиональными заболеваниями / Д.Д. Дальский и др. // Ученые записки университета Лесгафта. – 2015. – №11(129). – С.76-80.

35.Дембо, Н.А. Основы медицинского отбора поступающих в хореографические училища. – Ленинградское государственное ордена Трудового Красного Знамени хореографическое училище, 1941. – 56 с.

36.Дидур, М.Д. Спортивно-оздоровительные технологии современное состояние и перспективы инновационного развития / М.Д. Дидур, А.А. Потапчук, С.В. Матвеев// СПб: Изд-во НГУ им. П.Ф. Лесгафта, 2012. – 120с.

37.Дидур, М.Д. Организация медицинской реабилитации, физиотерапевтической помощи и ЛФК: Методические рекомендации / под ред. Г.Н.Пономаренко. – Изд-е 6-е перераб. и доп. – СПб: Человек. – 2016. – 142 с.

38.Епифанов, А.В. Медицинская реабилитация / Епифанов А.В., Ачкасов Е.Е., Епифанов В. А. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 672 с.

39.Епифанов, В.А. Восстановительная медицина: учебник. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 304 с.

40.Епифанов, В.А. Основы реабилитации / под ред. Епифанова В.А., Епифанова А.В. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. - 640 с.

41.Ерёмушкин, М.А. Проприоцептивные тренировки при повреждениях капсульно-связочного аппарата голеностопного сустава у детей и подростков / Ерёмушкин, В.Т. Стужина, Т.О. Савиных, Ф.У. Кусова, Н.В. Муравьева // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2014. – №1 (121). – С. 16-20.

42.Ерёмушкин, М.А. Двигательная активность и здоровье. От лечебной гимнастики до паркура / Ерёмушкин Михаил Анатольевич — «Спорт». – 2016.

43.Завалишин, Д.С. Инновации в балетном образовании на основе новых знаний о физиологии человека / Д.С. Завалишин, М.В. Макаренко // Вестник Академии русского балета им. А.Я. Вагановой. – 2015. – №. 5(40). – С. 96-101.

44.Зоткин, В.В Диагностическая эффективность способа комплексной оценки степени диспластических изменений тазобедренного сустава у детей / В.В. Зоткин, Д.И. Анисимов, Е.А. Анисимова // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. – 2020. – №2(44). – С. 104-111.

45.Зоткин, В.В. Изменчивость и связи параметров, характеризующих дисплазию тазобедренного сустава у детей 4-7 лет / В.В. Зоткин и др. // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2019. – №15 (1). – С. 61-66.

46.Иваненко, Ю.П.Структурно-функциональная и информационная организация моторного выхода системы управления позой и ходьбой человека : автореферат дис. ... доктора биологических наук : 03.01.09 / Иваненко Юрий Петрович; [Место защиты: Ин-т проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН]. - Москва, 2016. - 38 с.

47.Ивянский, С.А. Нарушения соединительной ткани у детей и подростков, занимающихся спортом / С.А. Ивянский и др. // Педиатрия. Приложение к журналу Consilium Medicum. – 2016. – №4. – С. 94-101.

48.Кадурина, Т.И. Полиорганные нарушения при дисплазиях соединительной ткани у детей. Алгоритмы диагностики. Тактика ведения. Проект Российских рекомендаций. Часть 2. / Т.И. Кадурина, С.Ф. Гнусаев, В.Г. Арсентьев // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2016. – №11(2-2). – С. 239-263.

49.Калаева, Г.Ю. Распространенность и клиническая характеристика дисплазии соединительной ткани у подростков / Г.Ю. Калаева и др. // Педиатрическая фармакология. – 2017. – №14(5). – С. 373-379.

50.Камоско, М.М. Консервативное лечение дисплазии тазобедренных суставов / М.М. Камоско, М.С. Познович // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2014. – №2(4). – С. 51-60.

51.Кожевников, А.Н. Боли в суставах у детей / А.Н. Кожевников и др. // Лечащий врач. – 2018. – №4. – С. 50-55.

52.Коловарский П.Б. Ориентация и отбор одарённых детей для профессионального обучения хореографии. Автореф. дисс. … канд. искусствоведения. / Коловарский Пётр Борисович. – М., 1974. – 19 с.

53.Котельникова, Е.Г. Биомеханика хореографических упражнений: учеб. пособие / Е.Г. Котельникова. – Л.: ЛГИК, 1980. – 95 с.

54.Кулиненков, О.С. Медицина спорта высших достижений / О.С. Кулиненков. – М.: Спорт, 2016. – 230 с.

55.Лафлин, Т. Полное погружение. Как плавать лучше, быстрее и легче / Т. Лафлин, Дж. Делвз; пер. с англ.: 4-е изд. – М.: Манн. Иванов и Фербер, 2014. – 208 с.

56.Левин, М.В. Гимнастика в хореографической школе / М.В. Левин. – М.: «Терра-Спорт», 2001. – 96 с.

57.Лю Шухуэй, Пути адаптации тайцзицюань к системе физической культуры России: Дис. ... канд. пед. наук / Лю Шухуэй, СПБГАФК им. П. Ф. Лесгафта. – СПб., 1999. – 60 с.

58.Майер, Б.О. Тайцзицюань как объект научного исследования / Б.О. Майер, А.В. Мурашова // Вестн Новосиб. гос. ун-та. Серия: История, филология. – 2015. – Т. 14, №4: Востоковедение. – С. 86-91.

59.Макарова, Г.А. Справочник детского спортивного врача: клинические аспекты / Г.А. Макарова. – М.: Советский спорт, 2008. – 440 с.

60.Макушин, В.Д. Рентгенологическая классификация врожденной дисплазии тазобедренного сустава / В.Д. Макушин, М.П. Тепленький // Гений ортопедии. – 2010. – №2. – с. 103–108.

61.Малахов, О.А. Остеохондропатии костей конечностей у подростков спортсменов / О.А. Малахов, А.В. Иванов // Медицина и спорт. – 2005. – №1. – С. 28-29.

62.Маркс, В.О. Ортопедическая диагностика (руководство-справочник). / В.О. Маркс. – М.: «Наука и техника», 1978. – 512с.

63.Масленников, П.Ю. Роль А.Я. Вагановой в развитии медико-биологической составляющей хореографии / П.Ю. Масленников. // Вестник АРБ им. А.Я. Вагановой. – 2014. – №32. – С.63-70.

64.Масленников, П.Ю. Содержание начального профессионального отбора в системе хореографического образования: диссертация … кандидата Педагогических наук: 13.00.08 / Масленников Павел Юрьевич;[Место защиты: ФГБОУ ВО «Национальный государственный Университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург»], 2018.– 269 с.

65.Миронов, С.П. Стрессовые переломы у спортсменов и артистов балета / С.П. Миронов, Е.Ш. Ломтатидзе. - Волгоград.– 1989. -–200 с.

66.Миронов, С.П. Основы реабилитации спортсменов и артистов балета при повреждениях и заболеваниях ОДА / С.П. Миронов, М.Б. Цыкунов. – М.: НИВЦ. Физкультура и спорт, 1998. – С.11-24.

67.Миронова, З.С. Повреждения и заболевания опорно-двигательного аппарата у артистов балета / З.С. Миронова, И.А. Баднин: под ред. М. В. Волкова. – М.: Медицина, 1976.– 320 с.

68.Миронова, З.С. Перенапряжение опорно-двигательного аппарата у спортсменов / З.С. Миронова. – М.: ФиС, 1982. – 95 с.

69.Мурашова, А.В. Этапы освоения навыков тайцзицюань и уровни управления движениями человека / А.В. Мурашова и др. // Вестник НГПУ. – 2017. – №6. – С. 37-53.

70.Нечаев, В.А. Лучевая диагностика патологии тазобедренного сустава у артистов балета (обзор литературы) / В.А. Нечаев, А.Ю. Васильев // Радиология - Практика. – 2018. – №3(69). – С. 51-60.

71.Нечаев, В.А. Лучевая диагностика патологических изменений голеностопного сустава у артистов балета (обзор литературы) / В.А. Нечаев, А.Ю. Васильев // Гений ортопедии. – 2020. –Т. 26, №1. – С. 137-140.

72.Орджоникидзе, З.Г. Реабилитация футболистов после оперативной реконструкции крестообразных связок / З.Г. Орджоникидзе, М. И. Гершбург // Вестник спортивной медицины России. – 1999. – №2(23). – С. 25-28.

73.Пашаева, И.Г. Особенности реабилитации спортсменов после травм опорно-двигательного аппарата / И.Г. Пашаева, Е.В. Свиягина. // Труды Дальневосточного государственного технического университета. – 2004. – №!38. – С. 124-126.

74.Поздникин, И.Ю. Гипертрофия большого вертела и вертельно-тазовый импинджмент-синдром у детей (причины формирования, рентгеноанатомическая характеристика) / И.Ю. Поздникин и др. // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2019. – Т. 7, №3. – С. 15-24.

75.Попов, С.Н. Проприоцептивные и плиометрические упражнения в реабилитации спортсменов после реконструкции передней крестообразной связки / С.Н. Попов, М. Хайдари, М.И. Гершбург // Доктор.Ру. – 2013. – №10. – С. 31-36.

76.Пухов, А.М. Пластичность моторной системы человека под воздействием локальной физической нагрузки / А.М. Пухов и др. // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2017. – №1. – С. 114-122.

77.Пучко, А.А. Анализ уровня и структуры травм коленного сустава в различных видах спорта / А.А. Пучко и др. // Прикладная спортивная наука. – 2019. – №1(9). – С. 65-75.

78.Резник, Л.Б. Локальная инъекционная терапия при повреждениях и заболеваниях опорно-двигательной системы / Л.Б.Резник, М.А.Турушев, С.А.Ерофеев, Г.Г.Дзюба. – М. : МЕДпресс-информ, 2016. – 128 с. : ил.

79.Рябов, В.П. Профессиональные травмы и заболевания у спортсменов: метод. Пособие / В.П. Рябов и др. – Казань: Казан. ун-т., 2017. – 22 с.

80.Рябов, В.П. Фемороацетабулярный импинджмент: естественная история / В.П. Рябов // Травматология и ортопедия России. – 2020. – №26(3). – С.182-192.

81.Середа, А.П. Фемороацетабулярный импинджмент: естественная история/ А.П. Середа//Травматология и ортопедия России. – 2020. – №3(26). – С.182-192.

82.Силкин, П.А. Особенности профессиональных данных абитуриентов, поступающих в хореографические учебные заведения в современных условиях / П.А. Силкин // Вестник Академии русского балета им. А.Я. Вагановой. – 2006. – 16. – С. 81-100.

83.Силкин, П.А. Рекомендации по развитию физических (функциональных) данных обучающихся на подготовительном отделении и в младших классах на основе системы Бориса Князева / П.А. Силкин // Вестник Академии русского балета им. А.Я. Вагановой. – 2007. – 17. – С. 160-182.

84.Силкин, П.А. О становлении и развитии критериев по отбору детей для профессионального обучения специальности «хореографическое искусство», квалификация «артист балета» / П.А. Силкин // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. – 2008. – №60. – С.455-462.

85.Силкин, П.А. Педагогическая диагностика детей для обучения искусству танца (на примере академии русского балета им. А.Я. Ваганова). Дисс. … канд. пед. наук. / Силкин Пётр Афанасьевич. – СПб., – 2008. – 153 с.

86.Силкин, П.А. Рекомендации по проведению приёма детей в профессиональные хореографические учебные заведения для подготовки по направлению «хореографическое искусство», образовательная программа «артист балета»; изд. 2-е испр / П.А. Силкин. – СПб: АРБ имени А.Я. Вагановой, 2010. – 30 с.

87.Солодянкин, Е.Е. Нейромышечная активация с применением подвесных систем в реабилитации пациентов / Е.Е. Солодянкин и др. // Международные обзоры: клиническая практика и здоровье. – 2014. – №5(11). – С.54-59.

88.Степаник, И.А. Актуальные проблемы медико-биологического сопровождения хореографии / И.А. Степаник // Вестник Академии русского балета им. А.Я. Вагановой. – 2015. – 5 (40). – С. 127-134.

89.Сучилин, Н. Г. Педагогико-биомеханический анализ техники спортивных движений на основе программно-аппаратного видеокомплекса / Н.Г. Сучилин // Теория и практика физической культуры. 1996. №4. С. 12-20.

90.Тимохина, В.Э. Дисплазия соединительной ткани у юных и молодых спортсменов: обзор литературы / В.Э. Тимохина, К.Р. Мехдиева, Ф.А. Бляхман // Человек. Спорт. Медицина. – 2018. – №18(3). – С. 101-112.

91.Тихилов, Р.М. Возможности рентгенографии в ранней диагностике патологии тазобедренного сустава / Р.М. Тихилов, И.И. Шубняков, Д.Г. Плиев, О.Е. Богопольский, М.С. Гуацаев // Травматология и ортопедия России. – 2017. – №1. – С.117-131.

92.Фомкин, А.В. Основы учения о конституции и пропорциях тела артиста балета. Учебное пособие / А.В. Фомкин, И.А. Степаник – СПб.: Академия Русского балета имени А. Я. Вагановой, 2011. – 88 с.

93.Цыкунов, М.Б. Система оценки функционального состояния конечностей при их повреждениях у детей и подростков / М.Б. Цыкунов, В.Н. Меркулов, Н.Б. Дуйсенов // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. –2007.– №3. – С. 52–59.

94.Цыкунов, М.Б., Меркулов В. Н., Саутенко А.А. Реабилитация детей с хронической нестабильностью надколенника / М.Б. Цыкунов, В.Н. Меркулов, А.А. Саутенко // Вестник восстановительного лечения. – 2017. – №4.– С. 50–52.

95.Цыкунов, М.Б. Реабилитационный диагноз при патологии опорно-двигательной системы с использованием категорий международной классификации функционирования / Цыкунов Михаил Борисович // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. – 2019.– Т. 1.– №. 2.– С. 107-125.

96.Цыкунов, М.Б. Шкалы оценки нарушений при патологии опорно-двигательной системы с использованием категорий международной классификации функционирования (дискуссия) / Цыкунов Михаил Борисович // Вестник восстановительной медицины.– 2019.– №2 (90).– С. 2-12.

97.Черкасов, А.А. Педагогические технологии реабилитации футболистов после артроскопической аутопластики крестообразных связок : автореф. дис. канд. пед. наук. / Черкасов Александр Алексеевич. – М., 2002. – 51 с.

98.Шайхутдинов, И.И. К вопросу о лечении пяточной боли. / И.И Шайхутдинов, М.В. Малеев, Ф.Ф. Ахмерова // Практическая медицина. – 2018. – Т. 16, №7-1

99.Шевцов, В.И. Рентгеноанатомические критерии, определяющие нестабильность тазобедренного сустава у детей / В.И. Шевцов, В.Д. Макушин, М.П. Тепленький // Гений ортопедии. – 2006. – №2. – С.105-108.

100.Achar, S. Apophysitis and Osteochondrosis: Common Causes of Pain in Growing Bones / S. Achar, J. Yamanaka // Am Fam Physician. – 2019. – Vol. 15, – №99(10). – P. 610-618.

101.Agostini, B.R. Analysis of the influence of plyometric training in improving the performance of athletes in rhythmic gymnastics/B.R. Agostini, E.M. de Godoy Palomares, R. de Almeida Andrade, F.N.M. Uchôa, N. Alves //Motricidade.–2017.– Vol. 13.– No. 2.–P 71-80.

102.Ahonen, J. Biomechanics of the foot in dance: A literature review / J. Ahonen // J Dance Med Sci. – 2008. – №12. – P. 99-108.

103.Angioi, M. An Updated Systematic Review of Turnout Position Assessment Protocols Used in Dance Medicine and Science Research / M.Angioi, K.Hodgson, K. Okholm Kryger //J Dance Med Sci. 2021 Mar 15;25(1):55-71.

104.Åkerlund, I. Forty-five per cent lower acute injury incidence but no effect on overuse injury prevalence in youth floorball players (aged 12-17 years) who used an injury prevention exercise programme: two-armed parallel-group cluster randomised controlled trial/ I. Åkerlund, M. Waldén, S. Sonesson, M. Hägglund// Br J Sports Med. 2020.– Vol.;54(17) –P.1028-1035.

105.Aksu, N. Traumatic knee injury patterns in Anatolian folk dancers: a case series and literature review/N.Aksu, B.Akgonul, T.Aksu, V.Atansay, A.N.Kara// Int J Occup Med Environ Health. –2019.– Oct 16;32(5).– P.585-593.

106.Albisetti, W. Stress fractures of the base of the metatarsal bones in young trainee ballet dancers / W. Albisetti et al. // Int Orthop. – 2010. – №34(1). – P. 51–55.

107.Alfredson, H. Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment ofchronic Achilles tendinosis / H. Alfredson et al.// Am J. Sports Med. – 1998. – №26. – P. 360-366.

108.Ali, A.M. Case report: imaging and surgical treatment of a snapping hip due to ischiofemoral impingement / A.M. Ali, D. Whitwell, S.J. Ostlere // Skeletal Radiol. – 2011. – №40. – P. 653-656.

109.Ali, A.M. Ischiofemoral impingement: a retrospective analysis of cases in a specialist orthopaedic centre over a four-year period / A.M. Ali et al. // Hip Int. – 2013. – №23. – P.263-268.

110.Anderson, K. Hip and groin injuries in athletes / K. Anderson, S.M. Stricktand, R. Warren // Ат J Sports Med. – 2001. – №29(4). – P. 521-533.

111.Anderson, L.A. Acetabular Wall Indices Help to Distinguish Acetabular Coverage in Asymptomatic Adults With Varying Morphologies / L.A. Anderson et al. // Clin Orthop Relat Res. – 2017. – Vol. 475, №4. – P. 1027-1033.

112.Armstrong, R. Screening Tools as a Predictor of Injury in Dance: Systematic Literature Review and Meta-analysis / R. Armstrong, N. Relph // Sports Med Open. – 2018. – Vol. 18, №4(1). – P. 33.

113.Arnaiz, J. Imaging findings of lower limb apophysitis / J. Arnaiz et al. // AJR Am J Roentgenol. – 2011. – Vol. 196, №3. – P. 316-25.

114.Arnold, A. Overuse Physeal Injuries in Youth Athletes / A. Arnold et al. // Sports Health. – 2017. – Vol. 9, №2. – P.139-147.

115.Asadi, A. The Effects of Plyometric Training on Change-of-Direction Ability: A Meta-Analysis / A. Asadi et al. // Int J Sports Physiol Perform. – 2016. – Vol. 11, №5. – P.563-73.

116.Assassi, L. Assessment of cartilage contact pressure and loading in the hip joint during split posture / L. Assassi, N. Magnenat-Thalmann // Int J Comput Assist Radiol Surg. – 2016. – Vol. 11, №5. – P. 745-56.

117.Atanda, A. Jr. Injuries and chronic conditions of the knee in young athletes / A.Jr. Atanda et al. // Pediatr Rev. – 2009. – Vol. 30, №11. – P.419-428.

118.Atanda, A.Jr. Osteochondrosis: common causes of pain in growing bones / A.Jr. Atanda, S.A. Shah, K. O'Brien // Am Fam Physician. – 2011. – Vol. 83, №3. – P. 285-91.

119.Atanda, A.Jr. Approach to the activepatient with chronic anterior knee pain / A.Jr. Atanda et al. // The Physician and Sportsmedicine. – 2012. – Vol. 40, №1. – P. 41-50.

120.Audenaert, E.A. Hip morphological characteristics and range of internal rotation in femoroacetabular impingement / E.A. Audenaert et al. // Am J Sports Med. – 2012. – Vol. 40. – P.1329-1336.

121.Balasubramanian, S. On the analysis of movement smoothness / S. Balasubramanian et al. // J Neuroeng Rehabil. – 2015. – Vol. 9, №12. – P.112.

122.Barnes, M.A. Knee rotation in classical dancer during the grand plie / M.A. Barnes et al. // J Medical Problems of Performing Artists. – 2000. – Vol. 15, №4. – P. 140-147.

123.Barnett, C.H. The axis of rotation at the ankle joint in man: its influence upon the form of the talus and the mobility of the fibula / C.H. Barnett, J.R. Napier // J Anat. – 1952. – Vol. 86, №1. – P.1-9.

124.Batista, A. Strength in young rhythmic gymnasts/A. Batista, R. Garganta, L. Avila-Carvalho // Journal of Human Sport and Exercise.–2017.– 12.– P.1162-1175.

125.Batista, A. Training intensity of group in rhythmic gymnastics/ A. Batista, R. Garganta, L. Avila-Carvalho // Science, movement and health.– 2018.–Vol.18 – №1. – P.17-24.

126.Batista, A. Flexibility and Functional Asymmetry in Rhythmic Gymnastics/ A.Batista, G.Rui, L.Avila-Carvalho. // Athens Journal of Sports. –2019. - Vol. 6,– Issue 2. – P. 77-94.

127.Bauman, P.A. Femoral neck anteversion in ballerinas / P.A. Bauman, R. Singson, W.G. Hamilton // Clin Orthop. – 1994. – №302. – P. 57-63.

128.Bedoya, M.A. Overuse injuries in children / M.A. Bedoya, D. Jaramillo. N.A. Chauvin // Top Magn Reson Imaging. – 2015. – Vol. 24, №2. –P.67-81.

129.Bejjani, F.J. Occupational biomechanics of athletes and dancers: a comparative approach / F.J. Bejjani // Clin Podiatr Med Surg. – 1987. – №4. – P.671-711.

130.Bennell, K. Hip and ankle range of motion and hip muscle strength in young female ballet dancers and controls / K. Bennell et al. // Br J Sports Med. – 1999. – №33. – P.340-346.

131.Bennell, K.L. Changes in hip and ankle range of motion and hip muscle strength in 8-11-year-old novice female ballet dancers and controls: a 12 month follow up study / K.L. Bennell et al. // Br J Sports Med. – 2001. – №35. – P.54-59.

132.Bennequin, D. Variety of Brains Geometries for Action/Perception. In: Flash T., Berthoz A. (eds) Space-Time Geometries for Motion and Perception in the Brain and the Arts. Lecture Notes in Morphogenesis. Springer, Cham.– 2021.–P. 51-67.

133.Berthier, N.E., Keen R. Development of reaching in infancy / N.E. Berthier, R. Keen // Exp Brain Res. – 2006. – Vol. 169, №4. – P.507-18.

134.Biernacki, J.L. Risk Factors for Lower-Extremity Injuries in Female Ballet Dancers: A Systematic Review/Biernacki J.L., Stracciolini A., Fraser J., J.L. Micheli, D. Sugimoto// Clin J Sport Med. – 2021– Mar 1;31(2) – P.e64-e79.

135.Bixby, S.D. The borderline dysplastic hip: when and how is it abnormal? / S.D. Bixby, M.B. Millis // Pediatr Radiol. – 2019. – Vol. 49, №12. – P. 1669-1677.

136.Blume, K. Identification of Potential Performance-Related Predictors in Young Competitive Athletes /K. Blume, B. Wolfarth // Front Physiol. – 2019. – Vol. 15, №10. – P.1394.

137.Botti, M. The teaching-learning-training process in rhytmic gymnastics supported by the ecological theory/ M.Botti, Vieira do Nascimento, Juarez// Science of gymnastics journal (Spletna izd.). –2021.– Vol. 3, –N1.–P.35-48.

138.Borghuis, J. The importance of sensory-motor control in providing core stability: implications for measurement and training / J. Borghuis, A.L. Hof, K.A. Lemmink // Sports Med. – 2008. – Vol. 38, №11. – P. 893-916.

139.Bowerman, E. Are maturation, growth and lower extremity alignment associated with overuse injury in elite adolescent ballet dancers?/ E. Bowerman, C.Whatman, N.Harris, E.Bradshaw, J.Karin//Phys Ther Sport.–2014.– Vol. 15(4).– P.234-41.

140.Bowerman, E.A. A review of the risk factors for lower extremity overuse injuries in young elite female ballet dancers. /E. Bowerman, C.Whatman, N.Harris, E.Bradshaw //Journal of dance medicine & science : official publication of the International Association for Dance Medicine & Science. – 2015.– Vol. 19(2).– P.51–56.

141.Bø, K. Is Physical Activity Good or Bad for the Female Pelvic Floor? A Narrative Review/K. Bø, I.E. Nygaard //Sports Med 50, – 2020: 471–484.

142.Bredella, M.A. Pelvic morphology in ischiofemoral impingement / M.A. Bredella et al. // Skelet Radiol. – 2015. – №44(2). – P. 249-53.

143.Briggs, J. Injury and joint hypermobility syndrome in ballet dancers–a 5-year follow-up / J. Briggs, M. McCormack, A.J. Hakim // Rheumatology. – 2009. – №48. – P. 1613-1614.

144.Brogden C.M., Armstrong R, Page R, Milner D, Norris D, Greig M. Use of Triaxial Accelerometry During the Dance Aerobic Fitness Test: Considerations for Unit Positioning and Implications for Injury Risk and Performance. //J Dance Med Sci. 2018.– Vol.15;22(3) –P.115-122.

145.Bronfenbrenner, U. Toward an Experimental Ecology of Human Development// American Psychologist.– 1977.– Vol. 32. – P. 513-531.

146.Bronner, S. Intra- and Inter-Rater Reliability of a Ballet-based Dance Technique Screening Instrument / S. Bronner et al. // Med Probl Perform Art. – 2020. – Vol. 35, №1. – P. 28-34.

147.Brooks, G. Rehabilitation of Musculoskeletal Injuries in Young Athletes / G. Brooks, J. Almquist // Adolesc Med State Art Rev. – 2015. – №26(1). – P. 100-115.

148.Brown, T. Dance: where artistry meets injury / T. Brown, L. Micheli // Biomechanics. – 1998. – №5(9). – P. 12-25.

149.Burdet, E. Quantization of human motions and learning of accurate movements. / E. Burdet, T.E. Milner // Biol Cybern. – 1998. – Vol 78, №4. – P. 307-18.

150.Burke, C.J. Real-Time Assessment of Femoroacetabular Motion Using Radial Gradient Echo Magnetic Resonance Arthrography at 3 Tesla in Routine Clinical Practice: A Pilot Study / C.J. Burke et al. // Arthroscopy. – 2019. – Vol. 35, №8. – P. 2366-2374.

151.Cabri, J.M.H. Isokinetic exercise in rehabilitation / J.M.N. Cabri, J.P. Clarys // Ergonomics and Sports. – 1991. – №22. – P. 295-298.

152.Caine, D. Epidemiological review of injury in pre-professional ballet dancers / D. Caine // J. Dance Med Sci. – 2015. – №19. – P.140-148.

153.Cameron, H.U. Coccygodynia/ H.U. Cameron, V.L. Fornasier, J. Schatzker // Canadian Medical Association Journal.–1975.– Vol. 112, №3, – P. 557-558.

154.Campbell, R.S. Intrinsic modifiable risk factors in ballet dancers: Applying evidence based practice principles to enhance clinical applications / R.S. Campbell et al. // Phys Ther Sport. – 2019. – №38. – P. 106-114.

155.Carayannopoulos, A.G. The benefits of combining water and land-based therapy / A.G. Carayannopoulos, A. Han, I.N. Burdenko // J Exerc Rehabil. – 2020. – №16(1). – P. 20-26.

156.Carl, R.L. Apophysitis and apophyseal avulsion of the pelvis / R.L. Carl // Athletic Therapy Today. – 2012. – Vol. 1, №17(2). – P. 5-9.

157.Carpinella, I. Robot-based rehabilitation of the upper limbs in multiple sclerosis: feasibility and preliminary results / I. Carpinella et al. // J Rehabil Med. – 2009. – Vol. 41, №12. – P. 966-70.

158.Carter, C. //Treating Coccydynia Using Primal Reflex Release Technique TM Case Report. Annals of Physiotherapy & Occupational Therapy.– 2020, –Vol. 3.– Issue 1: 000145.

159.Carter, S.L. Lower leg and foot contributions to turnout in female pre-professional dancers: A 3D kinematic analysis/Sarah L. Carter, Rebekha Duncan, Andries L. Weidemann, Luke S. Hopper. // Journal of Sports Sciences.– 2018–Vol. 36:19, –P.2217-2225.

160.Carter, S.L. Lower leg and foot contributions to turnout in female pre-professional dancers: A 3D kinematic analysis / S.L. Carter et al. // J Sports Sci. – 2018. – Vol. 36, №19. – P. 2217-2225.

161.Carter, S.L. An analysis of the foot in turnout using a dance specific 3D multi-segment foot model / S.I. Carter, A.R. Bryant, L.S. Hopper // J Foot Ankle Res. – 2019. – Vol. 4, №12. – P. 1-11.

162.Cascio, B.M. Return to play after anterior cruciate ligament reconstruction / B.M. Cascio, L Culp, A.J. Cosgarea // Clin Sports Med. – 2004. – №23. – P. 395-408.

163.Cassel, M. Orthopedic Injury Profiles in Adolescent Elite Athletes: A Retrospective Analysis From a Sports Medicine Department / M. Cassel et al. // Front Physiol. – 2019. – №10. – P. 544.

164.Cavallerio, F.Understanding overuse injuries in rhythmic gymnastics: A 12-month ethnographic study/ F. Cavallerio., Ross Wadey, C.R.D. Wagstaff//Psychology of Sport and Exercise.– 2016.– Volume 25.– P.100-109.

165.Champion, L.M. Measurement of turnout in dance research: a critical review / L.M. Champion, S.J. Chatfield // J Dance Med Sci. – 2008. – Vol. 12, №4. – P. 121-35.

166.Chan, C.W. Incidence and risk factors associated with acute mountain sickness in children trekking on Jade Mountain, Taiwan / C.W. Chan et al. // J Travel Med. – 2016. – Vol. 23, №1. – P. tav008.

167.Charbonnier, C. Assessment of congruence and impingement of the hip joint in professional ballet dancers: a motion capture study / C. Charbonnier et al. // Am J Sport Med. – 2011. – №39. – P. 557–566.

168.Chéron, C. Association between sports type and overuse injuries of extremities in children and adolescents: a systematic review / C. Chéron, C. Le Scanff, C. Leboeuf-Yde // Chiropr Man Therap. – 2016. – Vol. 15, №24. – P. 41.

169.Chéron, C. Leisure-time sport and overuse injuries of extremities in children age 6-13, a 2.5 years prospective cohort study: the CHAMPS-study DK / C. Chéron et al. // BMJ Open. – 2017. – Vol. 13, №7(1). – P. e012606.

170.Chmielewski, T.L. Plyometric Exercise in the Rehabilitation of Athletes: Physiological Responses and Clinical Application / T.L. Chmielewski // J. Orthop. Sports Phys. Ther. – 2006. – №36(5). – P. 308-319.

171.Chu, D.A. Plyometrics: the link between strength and speed / D.A. Chu // Nat Strength Cond Assoc J. – 1983. – №5. – P. 20-21.

172.Cibulka, M.T. Determination and significance of femoral neck anteversion / M.T. Cibulka // Phys Ther. – 2004. – Vol. 84, №6. – P. 550–558.

173.Clippinger, K. Dance Anatomy & Kinesiology. / K. Clippinger. – Champaign.: Illinois Human Kinetics, 2006. – 546 p.

174.Clohisy, J.C. Incidence and characteristics of femoral deformities in the dysplastic hip / J.C. Clohisy et al. // Clin Orthop Relat Res. – 2009. – Vol. 467, №1. – P. 128–34.

175. Cohen, J. The t test for means / J. Cohen // Statistical power analysis for the behavioral sciences. – 1988. – Vol. 2. – P. 20-26.

176.Conti, S.F. Foot and ankle injuries in the dancer / S.F. Conti, Y.S. Wong // Journal of Dance Medicine and Science. – 2001. – №5(2). – P. 43-50.

177.Cooper, R.L. A systematic review of the effect of proprioceptive and balance exercises on people with an injured or reconstructed anterior cruciate ligament / R.L. Cooper, N.F. Taylor, J.A. Feller // Res. Sports Med. – 2005. – Vol. 13, №2. – P. 163-178.

178.Coplan, J.A. Ballet dancer's turnout and its relationship to self-reported injury / J.A. Coplan // J Orthop Sports Phys Ther. – 2002. – Vol. 32, №11. – P. 579-584.

179.Coppola, S. Biomechanical analysis of a rhythmic gymnastics jump performed using two run-up techniques/ S. Coppola, D. Albano, I.Sivoccia, R.Vastola//Journal of Physical Education and Sport.– 2020.– 20(1).– P.37-42.

180.Costa e Silva, C.L. Physical activity-related injury profile in children and adolescents according to their age, maturation, and level of sports participation / C.L. Costa e Silva, M.I. Fragoso, J. Teles // Sports Health. – 2017. – №9. – P.1 18-125.

181.Crane, L. Femoral torsion and its relation to toeing-in and toeing-out / L. Crane // J. Bone and Joint Surg. – 1959. – Vol. 41, №3. – P. 421-428.

182.Dallas, G.C., Pappas P, Ntallas CG, Paradisis GP, Exell TA. The effect of four weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness is sport dependent./G.C. Dallas, P.Pappas, C.G.Ntallas et al.,//J Sports Med Phys Fitness. – 2020.– 60(7).–P.979-984.

183.Dampc, B. Coccygodynia - pathogenesis, diagnostics and therapy/ B. Dampc, K.Słowiński.// Review of the writing. Pol Przegl Chir.– 2017.– Vol. 89(4). – P. 33-40.

184.Dayawansa, S. Management of coccydynia in the absence of X-ray evidence: Case report. / S.Dayawansa, D. Jr. Garrett, M. Wong, J.H. Huang// Int J Surg Case Rep. 2019; Vol. 54. – P. 63-65.

185.Davies, G. Current concepts of plyometric exercise / G. Davies, B.L. Riemann, R. Manske // Int J Sports Phys Ther. – 2015. – Vol. 10, №6. – P. 760-86.

186.Dayan, E. Altered perceptual sensitivity to kinematic invariants in Parkinson's disease /E. Dayan, R. Inzelberg, T. Flash // PLoS One. – 2012. – Vol. 7, №2. – P. 30369.

187.de Sa, D. Extra-articular hip impingement: a systematic review examining operative treatment of psoas, subspine, ischiofemoral, and greater trochanteric/pelvic impingement / D. de Sa et al. // Arthroscopy. – 2014. – Vol. 30, №8. – P. 1026-41.

188.Debenham, J. Eccentric fatigue modulates stretch-shortening cycle effectiveness - a possible role in lower limb overuse injuries / J. Debenham et al. // Int J Sports Med. – 2016. – Vol. 37, №1. – P. 50-55.

189.DiFiori, J.P. Overuse Injuries of the Extremities in Pediatric and Adolescent Sports. In: Caine D., Purcell L. (eds) Injury in Pediatric and Adolescent Sports / J.P. DiFiori, J.S. Brenner, N. Jayanthi // Contemporary Pediatric and Adolescent Sports Medicine. - Springer, Cham. – 2016. – P. 93-105

190.Doeringer, J.A. Intermittency in preplanned elbow movements persists in the absence of visual feedback / J.A. Doeringer, N. Hogan // J Neurophysiol. – 1998. – Vol. 80, №4. – P. 1787-99.

191.Doherty, M. Nonspherical femoral head shape (pistol grip deformity), neck shaft angle, and risk of hip osteoarthritis: a case-control study / M. Doherty et al. // Arthritis Rheum. – 2008. – Vol. 58, №10. – P. 3172–3182.

192.dos Reis Furtado N. Ballet movements in rhythmic gymnastics routines: an analisys from the last two code of points (2013-2016 and 2017-2020)/ L. Nabanete dos Reis Furtado et al. //Science of Gymnastics Journal.– 2020.– Vol. 12, №3.– P. 395 – 406.

193.Duey-Holtz, A.D. Acute and non-acute lower extremity pain in the pediatric population: part I / A.D. Duey-Holtz et al. // J Pediatr Health Care. – 2012. – Vol. 26, №1.– P. 62-8.

194.Duey-Holtz, A.D. Acute and non-acute lower extremity pain in the pediatric population: part II / A.D. Duey-Holtz et al. // J Pediatr Health Care. – 2012.– Vol. 26, №3. – P.216-30.

195.Duey-Holtz, A.D. Acute and non-acute lower extremity pain in the pediatric population: part III / A.D. Duey-Holtz et al. // J Pediatr Health Care. – 2012c. – Vol. 26, №5. – P. 380-92.

196.Duthon, V.B. Correlation of clinical and magnetic resonance imaging findings in hips of elite female ballet dancers / V.B. Duthon et al. // Arthroscopy. – 2013. – №29. – P. 411–419.

197.Fabricant, P.D. Clinical outcomes after arthroscopic psoas lengthening: the effect of femoral version / P.D. Fabricant et al. // Arthroscopy. – 2012. – Vol. 28, №7. – P. 965-971.

198.Federation Internationale de Gymnastique (FIG). 2017-2020 *Code of Points – Rhythmic Gymnastics*. Retrieved Feb./26/2021 from: https://www.gymnastics.sport

199.Finsen, V. The effect of injection therapy and operation of coccydynia on the schooling and physical activity of adolescent patients / V. Finsen, A.Kalstad, R.G. Knobloch// Orthop Rev (Pavia). –2020.– Vol. 12(3). – P. 8619.

200.Fischer, C.S. What Are the Reference Values and Associated Factors for Center-edge Angle and Alpha Angle? A Population-based Study / C.S. Fischer et al. // Clin Orthop Relat Res. – 2018. – Vol. 476, №11. – P. 2249-2259.

201.Flash, T. The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model / T. Flash, N. Hogan // J Neurosci. – 1985. – Vol 5, №7. – P. 1688-703.

202.Flash, T. Motor Compositionality and Timing: Combined Geometrical and Optimization Approaches / T. Flash et al. // Biomechanics of Anthropomorphic Systems. – Springer, Cham. – 2019. – P. 155-184.

203.Floyd, R.T. Manual of Structural Kinesiology (15th ed) / R.T. Floyd, C.W. Thompson. – Boston: McGraw-Hill., 2004. – 320 p.

204.Fogel, G.R. Coccygodynia: evaluation and management /G.R.Fogel, P.Y.Cunningham, S.I. Esses // J Am Acad Orthop Surg.– 2004.–Vol. 12. – P. 49-54.

205.Foye, P.M. /Coccydynia: Tailbone Pain. Phys Med Rehabil Clin N Am. – 2017.–Vol. 28 (3). – P. 539-549.

206.Frank, J.M. Prevalence of Femoroacetabular Impingement Imaging Findings in Asymptomatic Volunteers: A Systematic Review / J.M. Frank et al. // Arthroscopy. – 2015. – Vol. 31, №6. – P. 1199-204.

207.Fraser J.L., Sugimoto D., Yeng Y.M., d'Hemecourt P.A., Stracciolini A. Bony Morphology of Femoroacetabular Impingement in Young Female Dancers and Single-Sport Athletes. // Orthop J Sports Med. 2017.– Vol. 10;5(8):2325967117723108.

208.Frizziero, A. Efficacy of eccentric exercise in lower limb tendinopathies in athletes / A. Frizziero et al. // J Sports Med Phys Fitness. – 2016. – Vol. 56, №11. – P. 1352-1358.

209.Frizziero, A. The role of eccentric exercise in sport injuries rehabilitation / A. Frizziero et al. // Br Med Bull. – 2014. – Vol. 110, №1. – P. 47-75.

210.Fröhlich, S. Remarkably high prevalence of overuse-related knee complaints and MRI abnormalities in youth competitive alpine skiers: a descriptive investigation in 108 athletes aged 13-15 years / S. Fröhlich et al. // BMJ Open Sport Exerc Med. – 2020. – Vol. 30, №6(1). – P e000738.

211.Frush, T.J. Peri-epiphyseal and overuse injuries in adolescent athletes / T.J. Frush, T.N. Lindenfeld // Sports Heallh. – 2009. – №1(3). – P. 201-211.

212.Fuller, M. Injuries during transition periods across the year in pre-professional and professional ballet and contemporary dancers: A systematic review and meta-analysis / M. Fuller et al. // Phys Ther Sport. – 2020. – Vol. 44. – P. 14-23.

213.Gala, L. Hip Dysplasia in the Young Adult / L. Gala, J.C. Clohisy, P.E. Beaulé // J Bone Joint Surg Am. – 2016. – Vol. 6, №98(1). – P. 63-73.

214.Gambling, T. Development and validation of a patient-centered outcome measure for young adults with pediatric hip conditions: the "Quality of Life, Concerns and Impact Measure»/T.Gambling, A.F. Long // Patient Relat Outcome Meas. –2019 – 10:187-204.

215.Gateva, M. Modified field test for determining the specific endurance in rhythmic gymnastics/M. Gateva // Journal of Applied Sciences.– 2019.– Vol. 1,– P. 3-12.

216.Gibson, A.J. Effects of aquatic therapy and land-based therapy versus land-based therapy alone on range of motion, edema, and function after hip or knee replacement: a systematic review and meta-analysis / A.J. Gibson, N. Shields // Physiother Can. – 2015. – Vol. 67, №2. – P. 133–141.

217.Gilbert, C.B. Relationship between hip external rotation and turnout angle for the five classical ballet positions / C.B. Gilbert, M.T. Gross, K.B. Klug // J Orthop Sports Phys Ther. – 1998. – Vol. 27, №5. – P. 339–347.

218.Gillespie, H. Osteochondroses and apophyseal injuries of the foot in the young athlete / H. Gillespie // Curr Sports Med Rep. – 2010. – №9(5). – P. 265-268.

219.Gontijo, N.S. Methods used to evaluate the en dehors or turnout of dancers and classical ballet dancers: a literature review / N.S. Gontijo et al. // Fisioter Pesqui. – 2017. – Vol. 2, №4(4). – P. 444-452.

220.Gorwa, J. On the track of the ideal turnout: Electromyographic and kinematic analysis of the five classical ballet positions / J. Gorwa et al. // PLoS One. – 2020. – Vol. 25, №15(3). – P. e0230654.

221.Gram, M.C.D. Injuries and illnesses among competitive Norwegian rhythmic gymnasts during preseason: a prospective cohort study of prevalence, incidence and risk factors / V.C.D. Gram, B. Clarsen, K. Bø // British Journal of Sports Medicine Published Online First: 31 August 2020. doi: 10.1136/bjsports-2020-102315.

222.Greene, A. Inter-rater and intra-rater reliability of a clinical protocol for measuring turnout in collegiate dancers / A. Greene et al. // Physiother Theory Pract. – 2019. – №35(1). – P. 94-99.

223.Greydanus, D.E. The female athlete. Before and beyond puberty/ D.E. Greydanus, D.R. Patel // Pediatr Clin North Am. – 2002. – №49. – P. 553-80.

224.Grisch, D. Torsion and torsional development of the lower extremities / D. Grisch, T. Dreher // Orthopade. – 2019. – Vol. 48, №6. – P. 523-530.

225.Grossman, G. Measuring dancer's active and passive turnout / G. Grossman // J Dance Med Sci. – 2003. – №7. – P. 49-55.

226.Grossman, G. Reliability and validity of goniometric turnout measurements compared with MRI and retro-reflective markers / G. Grossman et al. // J Dance Med Sci. – 2008. – №12(4). – P. 142-52.

227.Grossman, G. Turnout in Dancers A Comprehensive Overview of Active and Passive Turnout / G. Grossman // The IADMS Bulletin for Dancers and Teachers. – 2017. – Vol. 7, №1. – P. 4-9.

228.Gruskay, J.A. Idiopathic rotational abnormalities of the lower extremities in children and adults / J.A. Gruskay, A.T. Fragomen, S.R. Rozbruch // Jbjs Rev. – 2019. – №7(1). – P. 3

229.Gulde, P. Smoothness Metrics in Complex Movement Tasks / P. Gulde, J. Hermsdörfer // Front Neurol. – 2018. – Vol. 12, №9. – P. 615.

230.Gupta, A. Does Labral Size Correlate With Degree of Acetabular Dysplasia? / A. Gupta et al. // Orthop J Sports Med. – 2015. – Vol. 3, №2. – P. 2325967115572573.

231.Habas, C. Does the Cerebellum Implement or Select Geometries? A Speculative Note/ C. Habas, A, Berthoz, T, Flash, D.Bennequin//. Cerebellum. –2020.– №19(2). –P. 336-342.

232.Hafiz, E. Femoral Shaft Torsion in Injured and Uninjured Ballet Dancers and Its Association with Other Hip Measures: A Cross-sectional Study / E. Hafiz et al. // J Dance Med Sci. – 2016. – №20(1). – P. 3-10.

233.Hall, A. Effectiveness of Tai Chi for Chronic Musculoskeletal Pain Conditions: Updated Systematic Review and Meta-Analysis / A. Hall et al. // Physical Therapy. – 2017. – Vol. 97, №2. – P. 227-238.

234.Hamilton, D. Dance training intensity at 11-14 years is associated with femoral torsion in classical ballet dancers/ D. Hamilton et al. // Br J Sports Med. – 2006. – Vol. 40, №4. – P. 299-303.

235.Hamilton, W.G. Tendonitis about the ankle joint in classical ballet dancers / W.G. Hamilton // Am J Sports Med. – 1977. – №5. – P. 84-88.

236.Hamilton, W.G. Nature's choice: The best body for ballet / W.G. Hamilton // Dance Magazine. – 1982. – №10. – P. 82-83.

237.Hamilton, W.G. Sprained ankles in ballet dancers / W.G. Hamilton // Foot Ankle. – 1982. – №3(2). – P. 99-102.

238.Hamilton, W.G. A profile of the musculoskeletal characteristics of elite professional ballet dancers / W.G. Hamilton et al. // Am J Sports Med. – 1992. – №20. – P. 267-273.

239.Hammond, S.N. Ballet Basics (3rd ed.) / S.N. Hammond. – Mountain View, CA: Mayfield Publishing Company, 1993. – 224 p

240.Han, J.S. Epidemiology of Figure Skating Injuries: A Review of the Literature/ J.S. Han, E.T. Geminiani, L.J. Micheli // Sports health,– 2018,–10.(6). –P.532–537.

241.Harris, C.M. Signal-dependent noise determines motor planning / C.M. Harris, D.M. Wolpert // Nature. – 1998. – Vol. 394, №6695. – P. 780-4.

242.Harris, E.J. Complex regional pain syndrome of the pediatric lower extremity: a retrospective review / E.J. Harris, K.E. Schimka, R.M. Carlson // J Am Podiatr Med Assoc. – 2012. – Vol. 102, №2. – P. 99-104.

243.Harris, J.D. Radiographic Prevalence of Dysplasia, Cam, and Pincer Deformities in Elite Ballet / J.D. Harris et al. // Am J Sports Med. – 2016a. – Vol. 44, №1. – P. 20-7.

244.Harris, J.D. Microinstability of the Hip and the Splits Radiograph / J.D. Harris et al. // Orthopedics. – 2016b. – Vol. 39, №1. – P. 169-75.

245.Hart, E. The Young Injured Gymnast: A Literature Review and Discussion / E. Hart et al. // Curr Sports Med Rep. – 2018. – Vol. 17, №11. – P. 366-375.

246.Heiderscheit, B. Evaluation and Management of Hip and Pelvis Injuries / B. Heiderscheit, S. McClinton // Phys Med Rehabil Clin N Am. – 2016. – Vol. 27, №1. – P. 1-29.

247.Hicks, J.H. The mechanics of the foot. I. The joints / J.H. Hicks // J Anat. – 1953. – Vol. 87, №4. – P. 345-57.

248.Hiller, C.E. Intrinsic predictors of lateral ankle sprain in adolescent dancers: A prospective cohort study / C.E. Hiller et al. // Clin J Sport Med. – 2008. – №18. – P. 44-48.

249.Henn, E.D. Low back pain and injury in ballet, modern, and hip-hop dancer: A systematic review/ E.D. Henn, T.Smith, J.P.Ambegaonkar, M. Wyon // International journal of sports physical therapy,– 2020– 15(5), 671–687.

250.Hogan, N. Sensitivity of smoothness measures to movement duration, amplitude, and arrests / N. Hogan, D. Sternad // J Mot Behav. – 2009. – Vol. 41, №6. – P. 529-34.

251.Hong, Y. Biomechanics of Tai Chi: A review / Y. Hong, X. Li J // Sports Biomech. – 2007. – №6. – P. 453-464.

252.Hoogenboom, B.J. Aquatic therapy in rehabilitation. In: Voight M.L., Hoogenboom B.J., Prentice W.E. editors. Musculoskeletal interventions; techniques for therapeutic exercise / B.J. Hoogenboom, N.E. Lomax. – McGraw.: Hill, 2007. – 919 p

253.Hotfiel, T Nonoperative treatment of muscle injuries - recommendations from the GOTS expert meeting / T. Hotfiel et al. // J Exp Orthop. – 2018. – Vol. 22, №5(1). – P. 24.

254.Hull, R. An Ecological Approach to Exploring Physical Activity Interventions Aimed at Young UK-Based Females: A Narrative Systematic Review. /R. Hull, R. de Oliveira, L. Zaidell //*Psychology*,– 2018.–Vol. 9.–P. 2795-2823.

255.Huwyler, J. The Dancer's Body: A Medical Perspective on Dance and Dance Training / J. Huwyler. – McLean, Virginia: International Medical Publishing Inc, 1999. – 162 p

256.Igarashi, Y. The effect of regular aquatic exercise on blood pressure: A meta-analysis of randomized controlled trials / Y. Igarashi, Y. Nogami // Eur J Prev Cardiol. – 2018. Vol. 25, №2. – P. 190-199.

257.International Olympic Committee Injury and Illness Epidemiology Consensus Group, Bahr R., Clarsen B., Derman W., Dvorak J., Emery C.A., Finch C.F., Hägglund M., Junge A., Kemp S., Khan K.M., Marshall S.W., Meeuwisse W., Mountjoy M., Orchard J.W., Pluim B., Quarrie K.L., Reider B., Schwellnus M., Soligard T., Stokes K.A., Timpka T., Verhagen E., Bindra A., Budgett R., Engebretsen L., Erdener U., Chamari K. International Olympic Committee Consensus Statement: Methods for Recording and Reporting of Epidemiological Data on Injury and Illness in Sports 2020 (Including the STROBE Extension for Sports Injury and Illness Surveillance (STROBE-SIIS)). Orthop J Sports Med. 2020.– Vol.18;8(2):2325967120902908.

258.Irie, T. Three-dimensional curvature mismatch of the acetabular radius to the femoral head radius is increased in borderline dysplastic hips / T. Irie et al. // PLoS One. – 2020. – Vol. 6, №5(4). – P. e0231001.

259.Jahnke, R. A comprehensive review of health benefits of qigong and tai chi / R. Jahnke et al. // Am J Health Promot. – 2010. – Vol. 24, №6. – P. e1-e25.

260.Jayanthi, N.A. Health Consequences of Youth Sport Specialization / N.A. Jayanthi et al. // J Athl Train. – 2019. – Vol. 54, №10. – P. 1040-1049.

261.Jenkins, J.B. Can turnout measurements be used to predict physiotherapist-reported injury rates in dancers? / J.B. Jenkins, M. Wyon, A. Nevill // Med Probl Perform Art. – 2013. – Vol. 28, №4. – P. 230-235.

262.Jespersen E., Rexen C.T., Franz C., Møller N.C., Froberg K., Wedderkopp N. Musculoskeletal extremity injuries in a cohort of schoolchildren aged 6-12: a 2.5-year prospective study. Scand J Med Sci Sports. 2015.– Vol. 25(2) –P.251-8.

263.Jha, S.C. Stress fracture of the thoracic spine in an elite rhythmic gymnast: A case report / S.C. Jha et al. // J Med Invest. – 2016. – Vol. 63, №(1-2). – P. 119-21.

264.Jones P., Sparkes V. // Lumbar and Pelvis Posture Changes Due to the Degree of Turnout in Ballet Dancers. World J Phys Rehabil Med. 2017.– Vol. 1(1) –P.1004.

265.Junge, T. Risk Factors for Knee Injuries in Children 8 to 15 Years: The CHAMPS Study DK / T. Junge et al. // Med Sci Sports Exerc. – 2016. – Vol. 48, №4. – P. 655-62.

266.Kadel, N.J. Foot and Ankle Injuries in Dance / N.J. Kadel / Phys Med Rehabil Clin N Am. – 2006. – Vol. 17, №4. – P. 813-826.

267.Kadel, N.J. Foot and Ankle Problems in Dancers / N.J.Kadel // Phys Med Rehabil Clin N Am. – 2014. – Vol. 25, №4.– P. 829-844.

268.Kalisvaart, M.M. Microinstability of the hip-it does exist: etiology, diagnosis and treatment / M.M. Kalisvaart, M.R. Safran // J Hip Preserv Surg. – 2015. – Vol. 2, №2. – P. 123-35.

269.Kalstad, A.M. The treatment of coccydynia in adolescents: A case-control study/A.M.Kalstad, R.G.Knobloch, V. Finsen// Bone Jt Open. –2020.–Vol. 1(5). – P. 115-120.

270.Kamenaga, T. Larger Acetabular Labrum Is Associated With Hip Dysplasia, Joint Incongruence, and Clinical Symptoms / T. Kamenaga et al. // Arthroscopy. – 2020. – Vol. 36, №9. – P. 2446-2453.

271.Kantanista, A. Body Image of Highly Trained Female Athletes Engaged in Different Types of Sport / A. Kantanista et al. // Biomed Res Int. – 2018. – Vol. 31. – P. 6835751.

272.Kaufmann, J.E. Does forced or compensated turnout lead to musculoskeletal injuries in dancers? A systematic review on the complexity of causes/J.E. Kaufmann, R.G.H.H. Nelissen, E. Exner-Grave, M.G.J. Gademan// J Biomech. 2021.– Vol. 4;114 – P.110084.

273.Khan, K. Overuse injuries in classical ballet / K. Khan et al. // Sports Med. – 1995. – Vol. 19, №5. – P. 341-57.

274.Khan, K.M. Can 16-18-year-old elite ballet dancers improve their hip and ankle range of motion over a 12-month period? / K.M. Khan et al. // Clin J Sport Med. – 2000. – Vol. 10, №2. – P. 98-103.

275.Khan, K. Hip and ankle range of motion in elite classical ballet dancers and controls / K. Khan et al. // Clin J Sport Med. – 1997. – Vol. 7, №3. – P. 174-9.

276.Kim, E. Aquatic versus land-based exercises as early functional rehabilitation for elite athletes with acute lower extremity ligament injury: a pilot study / E. Kim // PMR. – 2010. – №2. – P. 703-712.

277.Kim, H.Y. Screw-Home Movement of the Tibiofemoral Joint during Normal Gait: Three-Dimensional Analysis / H.Y. Kim et al. // Clin Orthop Surg. – 2015. – Vol. 7, №3. – P. 303-9.

278.Kinch, M. Principles of rehabilitation. In: Brukner P and Khan K, editors. Clinical sports medicine. 3rd edition / M. Kinch, A. Lambart. – Sydney: McGraw-Hill, 2007. – 1268 p.

279.Kocher, M.S. Pediatric athlete hip disorders / M.S. Kocher, R. Tucker // Clin Sports Med. – 2006. – Vol. 25, №2. – P. 241-253.

280.Kolo, F.C. Extreme hip motion in professional ballet dancers: dynamic and morphological evaluation based on magnetic resonance imaging / F.C. Kolo et al. // Skeletal Radiol. – 2013. – Vol. 42, №5. – P. 689-98.

281.Koutedakis, Y. The dancer as a performing athlete: physiological considerations / Y. Koutedakis, A. Jamurtas // Sports Med. – 2004. – Vol. 34, №10. – P. 651-61.

282.Lacquaniti, F. The law relating the kinematic and figural aspects of drawing movements / F. Lacquaniti, C. Terzuolo, P. Viviani // Acta Psychol (Amst). – 1983. – Vol. 54, №1-3. – P. 115-30.

283.Lan, C. Tai Chi Chuan to improve muscular strength and endurance in elderly individuals: a pilot study / C. Lan et al. //Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. – 2000. – Vol. 81, №5. – P. 604-607.

284.Lan, C. Tai chi chuan in medicine and health promotion / C. Lan et al. // Evid Based Complement Alternat Med. – 2013. Sep. 12. doi: 10.1155/2013/502131

285.Laor, T. Physeal widening in the knee due to stress injury in child athletes / T. Laor, E.L. Wall, I.P. Vu // AJR Am J Roentgenol. – 2006. – Vol. 186, №5. – P. 1260-1264.

286.Larson, C.M. Current concepts and trends for operative treatment of FAI: hip arthroscopy / C.M. Larson, R.M. Stone // Curr Rev Musculoskelet Med. – 2013. – Vol. 6, №3. – P. 242-249.

287.Larson, C.M. Are normal hips being labeled as pathologic? A CT-based method for defining normal acetabular coverage / C.M. Larson et al. // Clin Orthop Relat Res. – 2015. – Vol. 473, №4. – P. 1247-54.

288.Lau, L.L. Common Lower Limb Sports-related Overuse Injuries inYoung Athletes / L.L. Lau, A. Mahadev, J.H.P. Hui //Annals Academy of Medicine. – 2008. – Vol. 37, №4. – P. 315-319.

289.Launay, F. Sports-related overuse injuries in children/ F. Launay // Orthop Traumatol Surg Res. – 2015. – Vol. 101, №1. – P. 139-47.

290.Law, N.Y. The temporospatial and kinematic characteristics of typical tai chi movements: repulse monkey and wave-hand in cloud / N.Y. Law, J.X. Li / Research in Sports Medicine. – 2014. – Vol. 22, №2. – P. 111-123.

291.Lee, L. Palmer P. Injury incidence, dance exposure and the use of the movement competency screen (Mcs) to identify variables associated with injury in full-time pre-professional dancers / L. Lee et al. // Int J Sports Phys Ther. – 2017. – Vol. 12, №3. – P. 352-370.

292.Lehman, P.J. Growing Pains: When to Be Concerned / P.J. Lehman, R.L. Carl // Sports Health. – 2017. – Vol. 9, №2. – P. 132-138.

293.Lehr, R. Sixteen S-squared over D-squared: a relation for crude sample size estimates / R. Lehr // Stat Med. – 1992. – Vol. 11, №8. – P. 1099-102.

294.Lerch, T.D. Femorale Torsionsfehler bei Patienten mit femoroazetabulärem Impingement: Die dynamische 3D Impingementsimulation kann bei der Planung der chirurgischen Hüftluxation und der Hüftarthroskopie behilflich sein [Torsional deformities of the femur in patients with femoroacetabular impingement: Dynamic 3D impingement simulation can be helpful for the planning of surgical hip dislocation and hip arthroscopy] / T.D. Lerch et al. // Orthopade. – 2020. – Vol. 49, №6. – P. 471-481.

295.Li, Y. Biomechanical analysis of the meniscus and cartilage of the knee during a typical Tai Chi movement-brush-knee and twist-step / Y. Li et al. // Math Biosci Eng. – 2019. – Vol. 16, №2. – P. 898-908.

296.Lievens, M. Periodization of Plyometrics: Is There an Optimal Overload Principle? / M. Lievens, J.G. Bourgois, J. Boone // J Strength Cond Res. – 2019. – Jul 1. doi: 10.1519/JSC.0000000000003231.

297.Lu, X. Tai Chi, arterial compliance, and muscle strength in older adults / X. Lu, C.W. Hui-Chan, W.W. Tsang // European Journal of Preventive Cardiology. – 2012. – Vol. 20, №4. – P. 613–619.

298.Lu, X. Effects of Tai Chi training on arterial compliance and muscle strength in female seniors: a randomized clinical trial / X. Lu, C.W. Hui-Chan, W.W. Tsang // European Journal of Preventive Cardiolog. – 2013. – Vol. 20, №2. – P. 238–245.

299.Lubowitz, J.H. Editorial Commentary: Hip Imaging Studies Suggest Significant Pathology in Asymptomatic / J.H. Lubowitz // Individuals. Arthroscopy. – 2015. – Vol 3, №1(6). – P. 1205-6.

300.Lundberg, A. Kinematics of the ankle and foot: in vivo roentgen stereophotogrammetry / A. Lundberg // Acta Orthop Scand. – 1989. – Vol. 60, №Sup 233. – P. 1-24.

301.Lundberg, A. The axis of rotation of the ankle joint / A. Lundberg et al. // J Bone Joint Surg Br. – 1989. – Vol. 71, №1. – P. 94-9.

302.Mabrouk, A., Pain In: StatPearls [Internet]. /A.Mabrouk, A.Alloush, P. Foye / Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. – 2020 Jan. (PMID: 33085286).

303.Macintyre, J. Foot and ankle injuries in dance / J. Macintyre, E. Joy // Clin Sports Med. – 2000. – №19. – P. 351–368.

304.Mackala, K. The Effect of Height on Drop Jumps in Relation to Somatic Parameters and Landing Kinetics / K. Mackala et al. // Int J Environ Res Public Health. – 2020. – Vol 13, №17-16. – P. 5886.

305.Maffulli, N. Long-term health outcomes of youth sports injuries / N. Maffulli et al. // Br J Sports Med. – 2010. – №44. – P. 21-25.

306.Manotas, J.A. Coccydynia: Quick Review/ J.A.Manotas, S.G. Pérez, M.J. Suaréz// Rheumatology (Sunnyvale).–2020.–Vol.10.– Iss.2 No(261). – P. 1-7.

307.Mao, D.W. The duration and plantar pressure distribution during one-leg stance in Tai Chi exercise / D.W. Mao, X.J Li, Y. Hong // Clinical Biomechanics. – 2006. –Vol. 21, №6. – P. 640–645.

308.Martínez-Rodríguez, A. Valoración del estado dietético-nutricional, la composición corporal, el comportamiento alimentario y la percepción de la imagen en deportistas de gimnasia rítmica [Assessment of nutritional-dietary status, body composition, eating behavior, and perceived image in rhythmic gymnastics athletes]. / Martínez-Rodríguez A, Reche-García C, Martínez-Fernández MDC, Martínez-Sanz JM. //Nutr Hosp. –2020.– 16;37(6).–P.1217-1225.

309.Mattacola, C.G. Rehabilitation of the ankle after acute sprain or chronic instability / C.G. Mattacola, M.K. Dwyer // J. Athl. Train. – 2002. – Vol. 37, №4. – P. 413-429.

310.Mattiussi, A.M. Injury epidemiology in professional ballet: a five-season prospective study of 1596 medical attention injuries and 543 time-loss injuries / Mattiussi AM, Shaw JW, Williams S*, et al //British Journal of Sports Medicine.*– 2021.– Vol. 55. – P. 843-850.

311.Mayes, S. Atraumatic tears of the ligamentum teres are more frequent in professional ballet dancers than a sporting population / S. Mayes et al. // Skeletal Radiol. – 2016. – Vol. 45, №7. – P. 959-67.

312.Mayes, S. Bony morphology of the hip in professional ballet dancers compared to athletes / S. Mayes et al. // Eur Radiol. – 2017. – Vol. 27, №7. – P. 3042-3049.

313.Mayes, S. Impingement-type bony morphology was related to cartilage defects, but not pain in professional ballet dancers' hips / S. Mayes, P. Smith, J. Cook // J Sci Med Sport. – 2018. – Vol. 21, №9. – P. 905-909.

314.McClincy, M.P. Periacetabular Osteotomy Improves Pain and Function in Patients With Lateral Center-edge Angle Between 18° and 25°, but Are These Hips Really Borderline Dysplastic? / M.P. McClincy et al. // Clin Orthop Relat Res. –2019a. – Vol. 477, №5. – P. 1145-1153.

315.McClincy, M.P. Mild or Borderline Hip Dysplasia: Are We Characterizing Hips With a Lateral Center-Edge Angle Between 18° and 25° Appropriately? / M.P. McClincy et al. // Am J Sports Med. – 2019b. – Vol. 47, №1. – P. 112-122.

316.McCormack, R. Early functional rehabilitation or cast immobilisation for the postoperative management of acute Achilles tendon rupture? A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials / R. McCormack, J. Bovard // Br J Sports Med. – 2015. – Vol. 49, №20. – P. 1329-35.

317.McCormack, M.C. The Physical Attributes Most Required in Professional Ballet: A Delphi Study./M.C.McCormack, H. Bird, A. de Medici, F. Haddad, J. Simmonds //Sports Med Int Open. 2018.– Vol. 20;3(1) –P.E1-E5.

318.Memminger, M.K. Avulsion fracture of the trochanter minor in the adolescent / Memminger M.K. // Acta Biomed. – 2018. – Vol. 90, №1-S. – P. 175-176.

319.Merckaert, S. Acetabular Labral Tear Secondary to Repeated Lateral "Grand Écart" Split Exercises in an Adolescent Ballet Dancer: Case Report and Review of the Literature / S. Merckaert, P.Y. Zambelli // J Dance Med Sci. – 2019. – Vol 23, №3. – P. 126-132.

320.Michmizos, K.P. Robot-Aided Neurorehabilitation: A Pediatric Robot for Ankle Rehabilitation / K.P. Michmizos et al. // IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. – 2015. – Vol. 23, №6. – P. 1056-67.

321.Midtiby, S.L. Effectiveness of interventions for treating apophysitis in children and adolescents: protocol for a systematic review and network meta-analysis / S.L. Midtiby et al. // Chiropr Man Therap. – 2018. – Vol. 23, №26. – P. 41.

322.Mitchell, J.C. A rare fracture-dislocation of the hip in a gymnast and review of the literature / J. C. Mitchell et al. // Br J Sports Med. – 1999. – Vol. 33, №4. – P. 283-4.

323.Mitchell, R.J. Radiographic Evidence of Hip Microinstability in Elite Ballet / R.J. Mitchell et al. // Arthroscopy. – 2016. – Vol. 32, №6. – P. 1038-1044.

324.Möckel, G. Arthroskopische Behandlung des Psoasimpingements [Arthroscopic treatment of psoas impingement] / G. Möckel, W. Miehlke // Oper Orthop Traumatol. – 2018. – Vol. 30, №2. – P. 72-79.

325.Munukka, M. Effects of progressive aquatic resistance training on symptoms and quality of life in women with knee osteoarthritis: A secondary analysis / M. Munukka et al. // Scand J Med Sci Sports. – 2020. – Vol. 30, №6. – P. 1064-1072.

326.Murtaugh, B. Eccentric training for the treatment of tendinopathies / B. Murtaugh, J.M. Ihm // Curr. Sports Med. – 2013. – №12. – P. 175-182.

327.Myers, C.A. Role of the acetabular labrum and the iliofemoral ligament in hip stability: an in vitro biplane fluoroscopy study / C.A. Myers et al. // Am J Sports Med. – 2011. – Vol. 39, №1. – P. 85-91.

328. Nakano, N. Current concepts in the diagnosis and management of extra-articular hip impingement syndromes / N. Nakano, G. Yip G, V. Khanduja // Int Orthop. – 2017. – Vol. 41, №7. –P. 1321-1328.

329.Negus, V. Associations between turnout and lower extremity injuries in classical ballet dancers / V. Negus, D. Hopper, N.K. Briffa // J Orthop Sports Phys Ther. – 2005. – Vol. 35, №5. – P. 307–318.

330.Neil, E.R. Defining the Term "Overuse": An Evidence-Based Review of Sports Epidemiology Literature/Neil ER, Winkelmann ZK, Edler JR.// J Athl Train. –2018.– Vol.53,№3.–P.279-281.

331.Novais, E.N. Do young female dancers improve symptoms and return to dancing after periacetabular osteotomy for the treatment of symptomatic hip dysplasia? / E.N. Novais et al. // J Hip Preserv Surg. – 2018. – Vol. 15, №5(2). – P. 150-156.

332.Ogata, S. Acetabular cover in congenital dislocation of the hip // S. Ogata et al. / J Bone Joint Surg Br. – 1990. – Vol. 72, №2. – P. 190-196.

333.O'Kane, J.W. Risk Factors for Lower Extremity Overuse Injuries in Female Youth Soccer Players/J.W. O'Kane, M.Neradilek, N.Polissar, SL.abado, A.Tencer, M.A.Schiff// Orthop J Sports Med. 2017.– Vol. 23;5(10):2325967117733963.

334.Ooral, M.N. Multiple osleochondroses and avulsion fraclure of anterior superior iliac spine in a soccer player / M.N. Ooral et al. // Br J Sports Med. – 2005. – Vol. 39, №3. – P. e16.-e16.

335.Otto, A. Biomechanical Comparison of Anterograde and Retrograde Lesser Trochanter Avulsion Repair / A. Otto et al. // Orthop J Sports Med. – 2020. – Vol. 8, – №1. – P. 2325967119892281.

336.Paluska, S.A. An overview of hip injuries in running / S.A. Paluska // Sports Med. – 2005. – Vol. 35, №11. – P. 991-1014.

337.Papastergiou, S. Apophysitis of the Ischial Tuberosity: A Case Report / S. Papastergiou et al. // J Orthop Case Rep. – 2019. – №10(1). – P. 82-85.

338.Pata, D. Improving turnout in university dancers / D. Pata et al. // J Dance Med Sci. – 2014. – Vol. 18, №4. – P. 169-77.

339.Patel, D.R. Epidemiology of sports-related musculoskeletal injuries in young athletes in United States / D.R. Patel, A. Yamasaki, K. Brown // Transl Pediatr. – 2017. – Vol. 6, №3. – P. 160-166.

340.Paxinos, O. Musculoskeletal injuries among elite artistic and rhythmic Greek gymnasts: A ten-year study of 156 elite athletes / O. Paxinos et al. // Acta Orthop Belg. – 2019. – Vol. 85, №2. – P. 145-149.

341.Peck, D.M. Apophyseal injuries in the young athlete / D.M. Peck // Am Fam Physician. – 1995. – Vol. 51, №8.– P. 1891-5, 1897-8.

342.Piuzzi, N.S. CORR Insights®: Acetabular Wall Indices Help to Distinguish Acetabular Coverage in Asymptomatic Adults with Varying Morphologies / N.S. Piuzzi // Clin Orthop Relat Res. – 2017. – Vol.475, №4. – P. 1034-1036.

343.Procházková, M. Analysis of foot load during ballet dancers' gait / M. Procházková et al. // Acta of bioengineering and biomechanics. – 2014. – Vol. 16, №2. – P. 41-5.

344.Pun, S. Hip dysplasia in the young adult caused by residual childhood and adolescent-onset dysplasia / S. Pun // Curr Rev Musculoskelet Med. – 2016. – Vol. 9, №4. – P. 427-434.

345.Putra, R.B. Basic Movements of The Split Leap Rhythmic Gymnastics/Putra, R.B., Soenyoto, T., Darmawan, A., & Irsyada, R.// Proceedings of the 5th International Seminar of Public Health and Education, ISPHE.– 2020.–July 22, Semarang, Indonesia.– P.434-442.

346.Quanbeck, A.E. Kinematic analysis of hip and knee rotation and other contributors to ballet turnout / A.E. Quanbeck et al. //J Sports Sci. – 2017. – Vol. 35, №4. – P. 331-338.

347.Quarrier, N.F. A ballet dancer with chronic hip pain due to a lesser trochanter bony avulsion: the challenge of a differential diagnosis/ N.F. Quarrier, A.B. Wightman // J Orthop Sports Phys Ther. – 1998. – Vol. 28, №3. – P. 168-73.

348.Rassier, D.E. Force enhancement and relaxation rates after stretch of activated muscle fibres / D.E. Rassier, W. Herzog // Proc. Biol. Sci. – 2005. – Vol. 272, №1562. – P.475-480.

349.Rassier, D.E. Relationship between force and stiffness in muscle fibers after stretch / D.E. Rassier, W. Herzog // J. Appl. Physiol. – 2005. – Vol. 99, №5. – P. 1769-1775.

350.Reddy, N. Sleep quality and nocturnal pain in patients with femoroacetabular impingement and acetabular dysplasia / N. Reddy et al. // BMC Musculoskelet Disord. – 2020. – Vol. 21, №1. – P. 1-7.

351.Reid, D.C. Lower extremity flexibility patterns in classical ballet dancers and their correlation to lateral hip and knee injuries / D.C. Reid et al. // Am J Sport Med. – 1987. – №15. – P. 347–52.

352.Rewald, S. Aquatic Cycling Improves Knee Pain and Physical Functioning in Patients With Knee Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial. / S. Rewald et al. // Arch Phys Med Rehabil. – 2020. – Vol. 101, №8. – P. 1288-1295.

353.Rhim, H.C. Comparative Efficacy and Tolerability of Nonsurgical Therapies for the Treatment of Midportion Achilles Tendinopathy: A Systematic Review With Network Meta-analysis / H.C. Rhim et al. // Orthop J Sports Med. – 2020. – Vol. 16, №7. – P. 2325967120930567.

354.Rietveld, A.B. Dancers' and musicians' injuries/A.B. Rietveld// Clin Rheumatol. – 2013.–Vol. 32(4) –P.425-34.

355.Rietveld A.B., Performing Arts Medicine : with a Focus on Relevé in Dancers /Boni A.B.M. Rietveld// Proefschrift, de auteur. – 2017.

356.Roberts, K. Spine injuries in rhythmic gymnastics // Sport Health, Australian Physiotherapy Association.-2009.– Vol 27, – №3.–, P 27-29.

357.Romer, U. Die Apophysenlosung am Trochanter minor / U. Romer // Arch. orthop. Unfall-Chir. – 1972. – Vol. 73, №2. – P. 114-119.

358.Roos, K.G. Definition and usage of the term "overuse injury" in the US high school and collegiate sport epidemiology literature: a systematic review/ Roos KG, Marshall SW. //Sports Med. –2014 –44(3)–P. 405-21.

359.Russell, J.A. Clinical anatomy and biomechanics of the ankle in dance / J.A. Russell et al. // J Dance Med Sci. – 2008. – Vol. 12, №3. – P. 75-82.

360.Russell, J.A. Measurement of the extreme ankle range of motion required by female ballet dancers / J.A. Russell et al // Foot Ankle Spec. – 2010. – Vol. 3, №6. – P. 324- 330.

361.Russell, J.A. Magnetic resonance imaging of the ankle in female ballet dancers en pointe / J.A. Russell et al // Acta Radiol. – 2010 – Vol. 51, №6. – P. 655-61.

362.Russell, J.A. Ankle and foot contributions to extreme plantar flexion and dorsiflexion in female ballet dancers / J.A. Russell et al. // Foot Ankle Int. – 2011. – Vol. 32, №2. – P. 183-188.

363.Russell, J.A. Injury occurrence in university dancers and their access to healthcare. Proceedings of the International Association for Dance Medicine and Science Annual Meeting /J.A. Russell, T.J. Wang. – Singapore, 2012. – P. 25-27.

364.Russell, J.A. Preventing dance injuries: current perspectives / J.A. Russell // Open Access J Sports Med. – 2013 – Vol. 30, №4. – P. 199-210.

365.Russell, J.A. Insights into the Position of the Ankle and Foot in Female Ballet Dancers En Pointe / J.A. Russell // The IADMS Bulletin for Dancers and Teachers. – 2015. – Vol. 6, №1. – P. 10-12.

366.Ryan, A.J. Dance Medicine A Comprehensive Guide / A.J. Ryan, R.E. Stephens. – Chicago.: IL: Pluribus Press Inc, 1987. – 3-5 p.

367.Rzymski, P. How to balance the treatment of stress urinary incontinence among female athletes?/P.Rzymski, B.Burzyński, M.Knapik, J.Kociszewski, MWilczak.// Arch Med Sci.– 2020 Oct 21;17(2):314-322.

368.Sartori, L. The Shape of Water: How Tai Chi and Mental Imagery Effect the Kinematics of a Reach-to-Grasp Movement / L. Sartori et al. // Front Physiol. – 2020. – №11. – P. 297.

369.Scharfbillig, R.W. Sever's disease: what does the literature really tell us? / R.W. Scharfbillig, S. Jones, S.D. Scutter // J Am Podiatr Med Assoc. – 2008. – Vol. 98, №3. – P. 212-223.

370.Schon, L.C. Lower extremity musculoskeletal problems in dancers / L.C. Schon, S.B. Weinfeld // Curr Opin Rheumatol. – 1996. – №8. – P. 130-142.

371.Schwab, S.A. Epiphyseal injuries in the growing athlete / S.A. Schwab // Can Med Assoc J. – 1977. – Vol. 117, №6. – P. 626-630.

372.Sejnowski, T.J. Neurobiology. Making smooth moves / T.J. Sejnowski // Nature. – 1998. – Vol.20. – №6695. – P. 725-6.

373.Sherman, A. Can a prescribed turnout conditioning program reduce the differential between passive and active turnout in preprofessional dancers? / A. Sherman, E. Mayall, S.L. Tasker // J Dance Med Sci. – 2014. – Vol. 18, №4. – P. 159-68.

374.Sherman, A. Can a prescribed turnout conditioning program reduce the differential between passive and active turnout in pre-professional dancers? / A. Sherman, E. Mayall, S.L. Tasker // The IADMS Bulletin for Dancers and Teachers. – 2017. – Vol. 7, №1. – P. 14-20.

375.Shnitser, I. The Point of Being "En Pointe": Biomechanical Stresses and Injury in Clasically Trained Ballet Dancers / I. Shnitser, A. Attanasio // NYCPM Podiatric Medical Review. – 2001. – №20. – P. 60–67.

376.Shrader K,E. Biomechanical Evaluation of the Dancer/Shrader K,E. // Orthopaedic Physical Therapy Clinics of North America. –1996, 5(4), №12; Physical Therapy for the Performing Artist. Part I: Dance, 455-475.

377.Siebenrock, K.A. Valgus hip with high antetorsion causes pain through posterior extraarticular FAI / K.A. Siebenrock et al. // Clin Orthop Relat Res. – 2013. – Vol. 471, №12. – P. 3774–3780.

378.Sieńko-Awierianów, E. Risk of Injury in Physically Active Students: Associated Factors and Quality of Life Aspects / E. Sieńko-Awierianów, M. Chudecka // Int J Environ Res Public Health. – 2020. – Vol. 8, №7. – P. 2564.

379.Silbernagel, K.G. Eccentric overload training for patients with chronic Achilles tendon pain-a randomised controlled study with reliability testing of the evaluation methods / K.G. Silbernagel et al. // Scand J Med Sci Sports. – 2001. – Vol. 11, №4. – P. 197-206.

380.Simion, F. A predisposition for biological motion in the newborn baby / F. Simion, L. Regolin, H. Bulf // Proc Natl Acad Sci USA. – 2008. – Vol. 105, №2. – P. 809-13.

381.Skopal, L. The effect of a rhythmic gymnastics-based power-flexibility program on the lower limb flexibility and power of contemporary dancers/L.Skopal, K.Netto, B.Aisbett, A.Takla, T. Castricum //Int J Sports Phys Ther. –2020.– May;15(3). – P.343-364.

382.Skwiot, M. Hypermobility of joints in dancers/M. Skwiot, G. Śliwiński, S. Milanese, Z. Śliwiński// PLoS One. – 2019.– Vol. 14(2):e0212188.

383.Smidt, G. Gait in Rehabilitation / G. Smidt. – New York, NY: Churchill Livingstone Inc, 1990. – 329 p.

384.Smith, P.J. Incidence and Prevalence of Musculoskeletal Injury in Ballet / P.J. Smith et al. // Orthop J Sports Med. – 2015. – Vol. 3, №7. – P. 1-9.

385.Smith T.O. Prevalence and profile of musculoskeletal injuries in ballet dancers: A systematic review and meta-analysis/Toby O. Smith, Davies Leigh, Akbar de Medici, Allan Hakim, Fares Haddad, Alex Macgregor// Physical Therapy in Sport.– 2016, –Vol. 19, –P.50-56.

386.Simpson, J. Clinical lectures on the diseases of women// Lecture XVII: coccydynia and diseases and deformities of the coccyx. Med Times Gaz. –1859.–Vol. 40. – P. 1–7.

387.Sobrino, F.J. Overuse Injuries in Professional Ballet: Influence of Age and Years of Professional Practice /F.J.Sobrino, P. Guillén //Orthop J Sports Med. 2017.– Vol. 28;5(6):2325967117712704.

388.Sole, C.J. Plyometric Training. In: Turner AC, P, ed. Advanced Strength and Conditioning: An Evidence- Based Approach.Milton: Routledge.–2017.–P.274-290.

389.Solomon, R. The young dancer / R. Solomon et al. //Clin Sports Med. –2000. – Vol. 19, №4. – P. 717-739.

390.Stanish, W.D. Eccentric exercise in chronic tendinitis / W/D. Stanish, R.M. Rubinovich, S. Curwin // Clin Orthop. Relat. Res. – 1986. – №. 208. – P. 65-68.

391.Steinberg, N. Range of joint movement in female dancers and nondancers aged 8 to 16 years: anatomical and clinical implications / N. Steinberg et al. // Am J Sports Med. – 2006. – Vol. 34, №5. – P. 814-23.

392.Steinberg, N. The association between hallux valgus and proximal joint alignment in young female dancers / N. Steinberg et al. // Int J Sports Med. – 2015. – Vol. 36, №1. – P. 67-74.

393.Steinberg, N. Joint Hypermobility and Joint Range of Motion in Young Dancers / N. Steinberg et al. // J Clin Rheumatol. – 2016. – Vol. 22, №4. – P. 171-8.

394.Steinberg, N. Lower extremity and spine characteristics in young dancers with and without patellofemoral pain / N. Steinberg et al. // Res Sports Med. –2017. – Vol. 25, №2. – P. 166-180.

395.Steinberg, N.The association between menarche, intensity of training and passive joint ROM in young pre-professional female dancers: A longitudinal follow-up study/N.Steinberg, S.Tenenbaum, M.Stern, A.Zeev, I. Siev-Ner //Phys Ther Sport. 2018.– Vol. 32 –P.59-66.

396.Stephens, R.E. The etiology of injuries in ballet // In: Ryan A.J., Stephens R.E. (eds): Dance Medicine. A Comprehensive Guide – Chicago: Pluribus Press, Inc, 1987. – P. 16-50.

397.Storm, J.M.The Relationship Between Range of Motion and Injuries in Adolescent Dancers and Sportspersons: A Systematic Review / J.M. Storm et al. // Front Psychol. – 2018. – №9. – P. 287.

398.Stracciolini, A. Pediatric sports injuries: an age comparison of children versus adolescents /. A. Stracciolini et al. / Am J Sports Med. – 2013. – Vol. 41, №8. – P. 1922–1929.

399.Stracciolini, A. Pediatric sports injuries: a comparison of males versus females / A. Stracciolini et al. // Am J Sports Med. – 2014. – Vol 42, №4. – P. 965-972.

400.Stracciolini, A. A closer look at overuse injuries in the pediatric athlete / A. Stracciolini et al. // Clin J Sport Med. – 2015. – №25. – P. 30-35.

401.Stracciolini, A. Etiology and body area of injuries in young female dancers presenting to sports medicine clinic: A comparison by age group / A. Stracciolini, A.X. Yin, D. Sugimoto // The Physician and Sportsmedicine. – 2015. – Vol. 43, №4. – P. 342-347.

402.Stracciolini, A. Sex and growth effect on pediatric hip injuries presenting to sports medicine clinic / A. Stracciolini et al. // J Pediatr Orthop B. – 2016. – Vol. 25, №4. – P. 315-21.

403.Stricker, P.R. Apophysitis. ln: Puffer J.C., ed. 20 Common Problems in Sports Medicine / P.R. Stricker, C. Wasilewski. – New York: McGraw-Hill, 2002. – P. 353-366.

404.Suzue, N. State-of-the-art ultrasonographic findings in lower extremity sports injuries / N. Suzue et al. // J Med Invest. – 2015. – Vol. 62, №3-4. – P. 109-13.

405.Svernlöv, B. Non-operative treatment regime including eccentric training for lateral humeral epicondylalgia / B. Svernlöv, L. Adolfsson // Scand J Med Sci Sports. – 2001. – Vol. 11, №6. – P. 328-334.

406.Tang, J. Efficacy of Non-pharmacologic Auxiliary Treatments in Improving Defecation Function in Children With Chronic Idiopathic Constipation: A Systematic Review and Network Meta-analysis/J.Tang, H.Li, W.Tang// Front Pediatr. – 2021.– Apr 27;9:667225.

407.Tannast, M. Which radiographic hip parameters do not have to be corrected for pelvic rotation and tilt? / M. Tannast et al. // Clin Orthop Relat Res. – 2015. – Vol. 473, №4. – P. 1255- 1266.

408.Tax, H. Ballet. In: Podopaediatrics. 2nd ed / H. Tax. – Baltimore: Williams & Wilkins, 1985. – P. 401-419.

409.Teitz, C.C. Sports medicine concerns in dance and gymnastics / C.C. Teitz // Pediatr Clin North Am. – 1982. – Vol. 29, №6. – P. 1399– 1421.

410.Tesch, P.A. Clinical Applications of Iso-Inertial, Eccentric-Overload (YoYo™) Resistance Exercise / P.A. Tesch, R. Fernandez-Gonzalo, T.R. Lundberg // Front Physiol. – 2017. – Vol. 8. – P. 241.

411.Thein, J.M. Aquatic-based rehabilitation and training for theelite athlete. J.M. Thein, L.T. Brody // J Orthop Sports Phys Ther. – 1998. – №27. – P. 32-41.

412.Thiele, G.H. Coccygodynia and pain in the superior gluteal region and down the back of the thigh: Causation by tonic spasm of the levator ani, coccygeus and piriformis muscles and relief by massage of these muscles //J.a.M.a. –1937.–Vol. 109. – P. 1271.

413.Thiele, G.H. Coccygodynia: Cause and treatment // Dis Colon Rectum,.– 1963.– Vol. 6. – P. 422–436.

414.Thomas, T.G. Coccyodynia IIn: A practical treatise on the diseases of women.//Publisher: Philadelphia, H. C. Lea. – 1872. – P. 121-125.

415.Thomasen, E. Diseases and Injuries of Ballet Dancers. / E. Thomasen E. Arhus, Denmark: Universitetsforlaget I Arhus, 1982. – 99 p.

416.Tinglea, A.The links between generalized joint laxity and the incidence, prevalence and severity of limb injuries related to physical exercise: a systematic literature review/A.Tinglea, O.Bennetta, A.Wallisa, S.Palmera// Phys Ther Rev. 2018.– Vol. 23(4–5) –P.259–272.

417.Todd, C. No difference in prevalence of spine and hip pain in young Elite skiers / C. Todd et al. // Knee Surg, Sports Traumatol. Arthrosc. – 2018. – Vol. 26, №7. – P. 1959-1965.

418.Todorov, E. Smoothness maximization along a predefined path accurately predicts the speed profiles of complex arm movements / E. Todorov, M.I. Jordan // J Neurophysiol. – 1998. – Vol. 80, №2. – P. 696-714.

419.Tönnis, D. Diminished femoral antetorsion syndrome: a cause of pain and osteoarthritis / D. Tönnis, A. Heinecke // J. Pediat. Orthop. – 1991. – Vol. 11, №4. – P. 419-431.

420.Tönnis, D. Acetabular and femoral anteversion: relationship with osteoarthritis of the hip / D. Tönnis, A. Heinecke // J Bone Joint Surg Am. – 1999. – Vol. 81, №12..– P. 1747–70.

421.Tosun, O. Ischiofemoral impingement in an 11-year-old girl / O. Tosun et al. // Diagn Interv Radiol. – 2012. – Vol. 18, №6. – P. 571-573.

422.Trentacosta, N. Hip and Groin Injuries in Dancers: A Systematic Review / N. Trentacosta, D. Sugimoto, L.J. Micheli // Sports Health. – 2017. – Vol. 9, №5. – P. 422-427.

423.Travell, J.G. Trigger Point Flip Charts/Janet G. Travell, David G. Simons. // LWW.– 1996.–P. 26.

424.Tseng, S.C. Speed, resistance, and unexpected accelerations modulate feed forward and feedback control during a novel weight bearing task / S.C. Tseng et al. // Gait Posture. – 2017. – Vol. 52. – P. 345-353.

425.Tsutsumi, M. New insight into the iliofemoral ligament based on the anatomical study of the hip joint capsule / M. Tsutsumi, A. Nimura, K. Akita // J Anat. – 2020. – Vol. 236, №5. – P. 946-953.

426.Turati, M. Clinical presentation and surgical treatment of distal fibular non-union with talus chondral lesions in a pediatric patient: a case report / M. Turati et al. // BMC Surg. – 2020. – Vol. 20, №1. – P. 125.

427.Turner, R. Hip dysplasia and the performing arts: is there a correlation? / R. Turner, E. O'Sullivan, J. Edelstein // Curr Rev Musculoskelet Med. – 2012. – №5. – P. 39-45.

428.Upasani. V.V. CORR Insights : Periacetabular Osteotomy Improves Pain and Function in Patients With Lateral Center-edge Angle Between 18° and 25°, but Are These Hips Really Borderline Dysplastic? / V.V. Upasani // Clin Orthop Relat Res. – 2019. – Vol.477, №5. – P. 1154-1156.

429.Uvelli, K. Treatment for Calcaneal Apophysitis / K. Uvelli, J.O. Neher, S. Safranek //Am Fam Physician. – 2017. – Vol. 96, №2. – P. 126-127.

430.Vahedi, H. The 'low-volume acetabulum': dysplasia in disguise / H. Vahedi // J Hip Preserv Surg. – 2018. – Vol. 5, №4. – P. 399-403.

431.Valovich McLeod, T.C. National Athletic Trainers' Association position statement: prevention of pediatric overuse injuries / T.C. Valovich McLeod et al. // J Athl Train. – 2011. – Vol. 46, №2. – P. 206-220.

432.van den Bekerom, M.P. What is the evidence for rest, ice, compression, and elevation therapy in the treatment of ankle sprains in adults?/ M.P. van den Bekerom et al. // J Athl Train. – 2012. – Vol. 47, №4. – P. 435-443.

433.van Merkensteijn, G.G. Assessment of compensated turnout characteristics and their relationship to injuries in university level modern dancers / G.G. van Merkensteijn, E. Quin // J Dance Med Sci. – 2015. – №19. – P. 57-62.

434.van Rijn, R.M. Generalized Joint Hypermobility and Injuries: A Prospective Cohort Study of 185 Pre-Professional Contemporary Dancers/ R.M. van Rijn, J.H. Stubbe //J Clin Med. –2021.– Mar 2;10(5) – P. 1007.

435.Varjokari, R. Training young skaters for healthier careers : primary prevention exercise program of knee overuse injuries for 9-10-year-old female skaters. /Riina Varjokari//Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences, Degree Programme in Physiotherapy.– 2019(12).– 33pp.

436.Vaudreuil, N.J. Evaluation and Treatment of Borderline Dysplasia: Moving Beyond the Lateral Center Edge Angle / N.J. Vaudreuil, M.P. McClincy // Curr Rev Musculoskelet Med. – 2020. – Vol. 13, №1. – P. 28-37.

437.Vazquez, E. Avulsion fracture of the lesser trochanter: an unusual cause of hip pain in an adolescent / E. Vazquez, T.Y. Kim, T.P. Young // CJEM. – 2013. – Vol. 15, №2. – P. 123-5.

438.Vera, A.M. An Injury Prevention Program for Professional Ballet: A Randomized Controlled Investigation / A.M. Vera et al. // Orthop J Sports Med. – 2020. – Vol. 8, №7. – P. 2325967120937643.

439.Verulava T. Health problems of professional ballet dancers./Verulava T, Tvalavadze K, Jorbenadze R. // Acta Facultatis Medicae Naissensis.– 2021– Vol.38(1) – P.77-84.

440.Viviani, P. Trajectory determines movement dynamics / P. Viviani, C. Terzuolo // Neuroscience. – 1982. – Vol. 7, №2. – P. 431-7.

441.Vivian, P. The relation between linear extent and velocity in drawing movements / P. Viviani, G. McCollum // Neuroscience. – 1983. – Vol. 10, №1. – P. 211-8.

442.Vosseller, J.T. Ankle Injuries in Dancers / J.T. Vosseller, E.R. Dennis, S. Bronner // J Am Acad Orthop Surg. – 2019. – Vol. 27, №16. – P. 582-589.

443.Waldman, S.D. Long-term intermittent compressive stimulation improves the composition and mechanical properties of tissue-engineered cartilage/ S.D. Waldman et al. // Tissue. Eng. – 2004. – Vol. 10, №9-10. – P. 1323–1331.

444.Wann, J. Relation between velocity and curvature in movement: equivalence and divergence between a power law and a minimum-jerk model / J. Wann, I. Nimmo-Smith, A.M. Wing // J Exp Psychol Hum Percept Perform. – 1988. – Vol. 14, №4. – P. 622-37.

445.Wassilew, G.I. Real time visualization of femoroacetabular impingement and subluxation using 320-slice computed tomography / G.I. Wassilew et al. // J Orthop Res. – 2013. – Vol. 31, №2. – P. 275-81.

446.Watkins, A. Lower extremity alignment and injury in young, pre-professional, college, and professional dancers: Part I. turnout and knee-foot alignment / A. Watkins et al. // Med Probl Perform Art. – 1989. – Vol. 4, №4. – P. 148-58.

447.Weber, A.E. The Hyperflexible Hip: Managing Hip Pain in the Dancer and Gymnast / A.E. Weber et al. // Sports Health. – 2015. – Vol. 7, №4. – P. 346-358.

448.Wells, J. Femoral Morphology in the Dysplastic Hip: Three-dimensional Characterizations With CT / J. Wells et al. // Clin Orthop Relat Res. – 2017. – Vol. 475, №4. – P. 1045-1054.

449.West, E.Y. Imaging of osteochondrosis / E.Y. West, D. Jaramillo // Pediatr Radiol. – 2019. – Vol. 49, №12. – P. 1610-1616.

450.Wicker, A. Sport-specific aquatic rehabilitation / A. Wicker // Curr Sports Med Rep. – 2011. – Vol. 10, №2. – P. 62-3.

451.Wielandt T. Bone mineral density in adolescent elite ballet dancers / T. Wielandt, T. van den Wyngaert, J.R. Uijttewaal, I.Huyghe, M. Maes, G. Stassijns// J Sports Med Phys Fitness. 2019 Sep;59(9):1564-1570.

452.Wilk, K.E. Stretch-shortening drills for the upper extremities: theory and clinical application / K.T. Wilk // J. Orthop. Sports Phys. Ther. – 1993. – №17. – P. 225-239.

453.Wilson, J.C. «Growing» pains: Apophysitis of the lower extremities / J.C. Wilson, R.E. Rodenberg // Contemp Pediatr. – 2011. – Vol. 28, №6. – P. 38-46.

454.Wu, G. Age-related differences in Tai Chi gait kinematics and leg muscle electromyography: a pilot study / G. Wu // Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. – 2008. – Vol. 89, №2. – P. 351-357.

455.Wu, G. Muscle action pattern and knee extensor strength of older Tai Chi exercisers / G. Wu // Medicine and Sport Science. – 2008. – Vol. 52. – P. 30–39.

456.Wu, G. Joint kinetics during Tai Chi gait and normal walking gait in young and elderly Tai Chi Chuan practitioners / G. Wu, D. Millon // Clinical Biomechanics – 2008 – Vol. 23, №6. – P. 787-795,

457.Wu, G. Speed effect of selected Tai Chi Chuan movement on leg muscle activity in young and old practitioners / G. Wu, X. Ren // Clinical Biomechanics. – 2009. – Vol. 24, №5. – P. 415-421.

458.Wu, M. Overuse Injuries in the Pediatric Population / M. Wu, R. Fallon, B.E. Heyworth // Sports Med Arthrosc Rev. – 2016. – Vol. 24, №4. – P. 150-158.

459.Yang, Y. How to judge pelvic malposition when assessing acetabular index in children? Three simple parameters can determine acceptability / Y. Yang // J Orthop Surg Res. – 2020. – Vol. 15, №1. – P. 12.

460.Yin, A.X. The Evaluation of Strength, Flexibility, and Functional Performance in the Adolescent Ballet Dancer During Intensive Dance Training./A.X.Yin, E. Geminiani, B. Quinn, M. Owen, S. Kinney, T. McCrystal, A. Stracciolini// PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation,– 2019,– Jul;11(7). – P. 722-730.

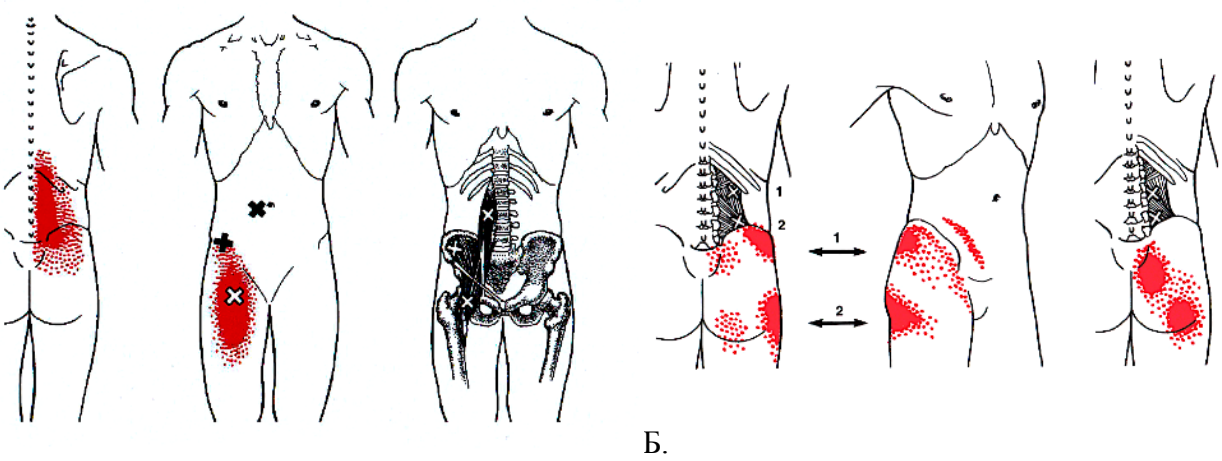
461.Young, S.W. Greater trochanter apophysitis in the adolescent athlete / S.W. Young, M.R. Safran // Clin J Sport Med. – 2015. – Vol. 25, №3. – P. 57-8.

462.Zhang, Z. Effect of Tai Chi Training on Plantar Loads during Walking in Individuals with Knee Osteoarthritis / Z. Zhang // Biomed Res Int. – 2020. – Vol. 2020. – P. 3096237.

463.Zhang, B.M. Acupuncture for chronic Achilles tendnopathy: a randomized controlled study / B.M. Zhang et al. // Chin J Integr Med. – 2013. – Vol. 19, №12. – P. 900-904.

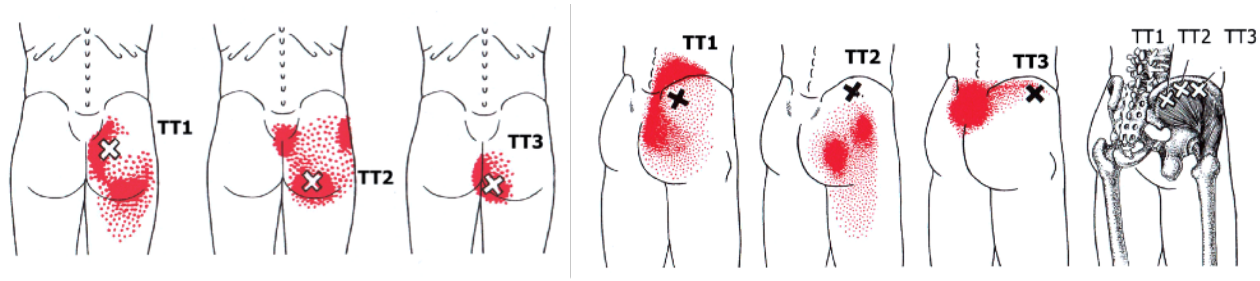
464.Zhou, Y. Analysis of acetabulum in children with developmental dysplasia of the hip by MRI scan / Y. Zhou et al. // Medicine (Baltimore). – 2019. – Vol. 98, №3. – P. e14054.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Локализации триггерных точек и «отраженных болей» при типичных повреждениях от перегрузки области таза и бедра



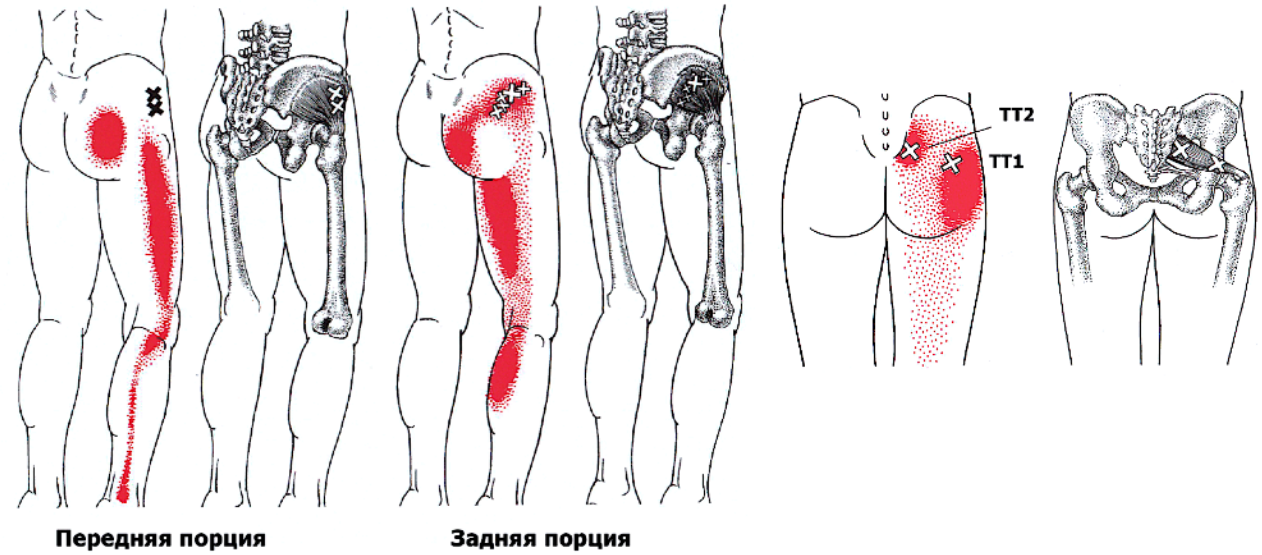
А. Б.

Рисунок А.1 – Картина отраженных «болей» (заштрихованная зона) и локализации триггерных точек (отмечено крестиком) при повреждении от перегрузки: А. – **подвздошно-поясничной мышцы**; Б. – **квадратной мышцы поясницы**. Цит. по (Travell J.G. et al., 1996)



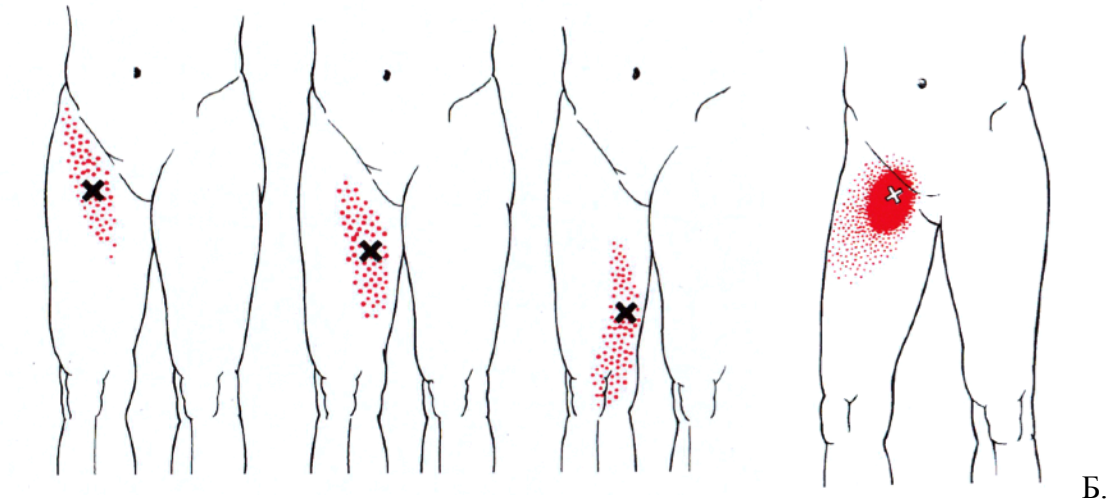
А. Б.

Рисунок А.2 – Картина отраженных «болей» (заштрихованная зона) и локализации триггерных точек (отмечено крестиком) при повреждении от перегрузки: А. – **большой ягодичной мышцы** (ТТ1– триггерная точка боли в верхне-медиальной порции мышцы, ТТ2 – в область седалищного бугра, ТТ3 – в нижне-медиальную порция мышцы); Б. – **средней ягодичной мышцы** (ТТ1– триггерная точка боли в медиальная область гребня подвздошной кости, ТТ2 – в область типичной ягодичной боли, ТТ3 – в область крестца и нижнепоясничный отдел позвоночника). Цит. по (Travell J.G. et al., 1996)



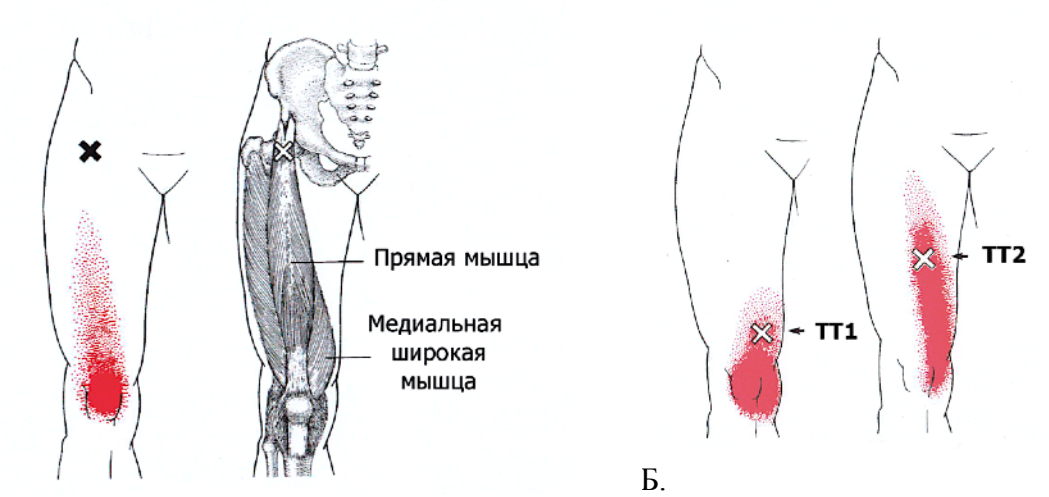
А. Б.

Рисунок А.3 – Картина отраженных «болей» (заштрихованная зона) и локализации триггерных точек (отмечено крестиком) при повреждении от перегрузки: А. – **малой ягодичной мышцы**; Б. – **грушевидной мышцы** (ТТ1– триггерная точка боли в латеральной области таза, ТТ2 – в области крестца). Цит. по (Travell J.G. et al., 1996)



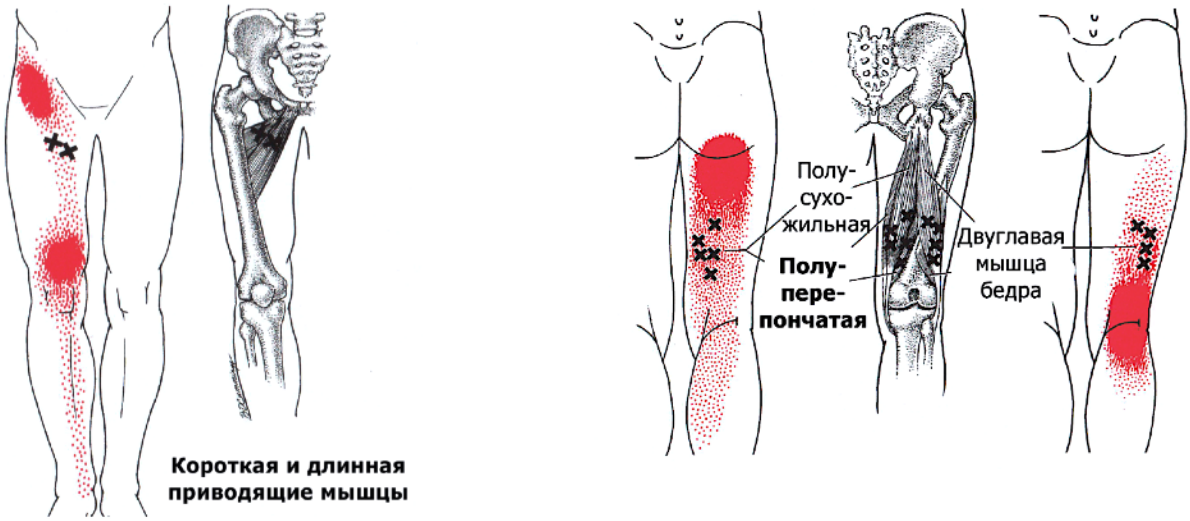
А. Б.

Рисунок А.4 – Картина отраженных «болей» (заштрихованная зона) и локализации триггерных точек (отмечено крестиком) при повреждении от перегрузки: А. – **портняжной мышцы**; Б. – **гребешковой мышцы**. Цит. по (Travell J.G. et al., 1996)



А. Б.

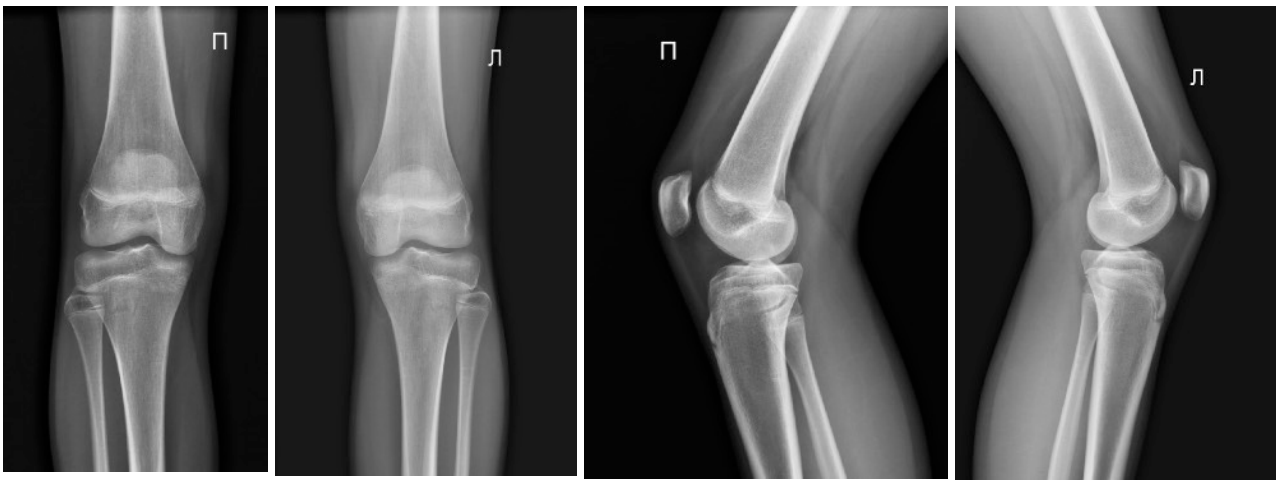
Рисунок А.5 – Картина отраженных «болей» (заштрихованная зона) и локализации триггерных точек (отмечено крестиком) при повреждении от перегрузки: А. – **прямой мышцы бедра;** Б. – **медиальной мышцы бедра**. Цит. по (Travell J.G. et al., 1996)



А. Б.

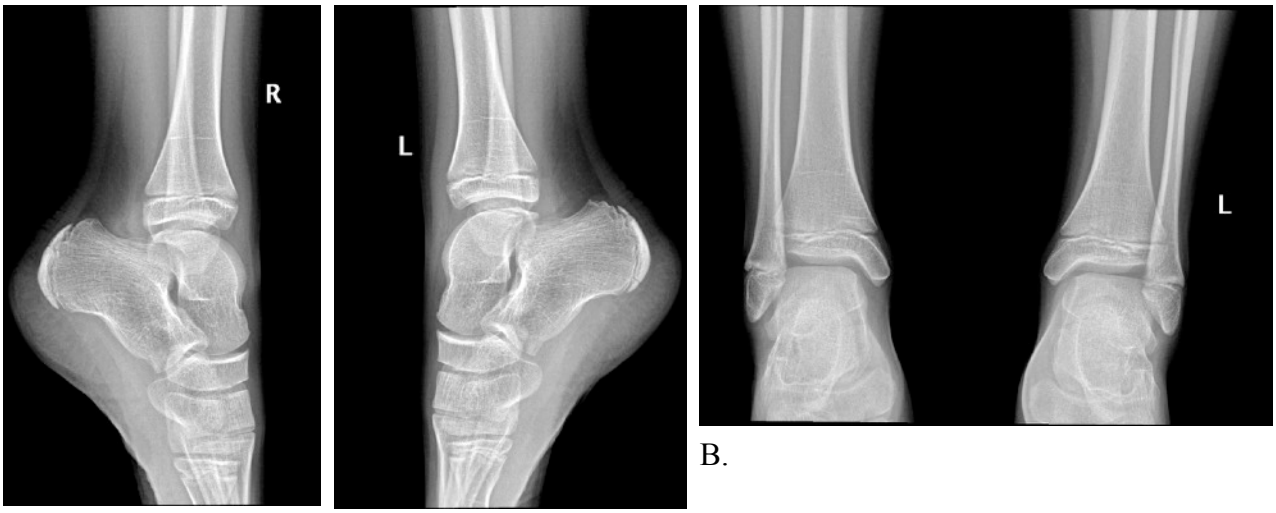
Рисунок А.6 – Картина отраженных «болей» (заштрихованная зона) и локализации триггерных точек (отмечено крестиком) при повреждении от перегрузки: А. – **короткой и длинной приводящих мышц бедра;** Б. – **мышц задней поверхности бедра**. Цит. по (Travell J.G. et al., 1996)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Рентгенологические исследования нижних конечностей при повреждениях от перегрузки



А. Б. В. Г.

Рисунок Б.1 – Рентгенограммы коленных суставов 16-летней учащейся хореографического училища в прямой и боковой проекциях. Q- угол (А., Б.) справа до 2 градусов, слева – до 4 градусов. Индекс Инсалл-Сальвати (В., Г.) справа до 1.3, слева до 1.4. Patella alta с двух сторон. DS – Пателлофеморальный болевой синдром, больше слева.



В.

А. Б.

Рисунок Б.2 – Рентгенограммы голеностопного сустава у 11-летней учащейся хореографического училища в положении максимального подошвенного сгибания (А, Б) и в стандартном положении (В). DS – Двусторонний импинджмент-синдром заднего отдела голеностопного сустава.

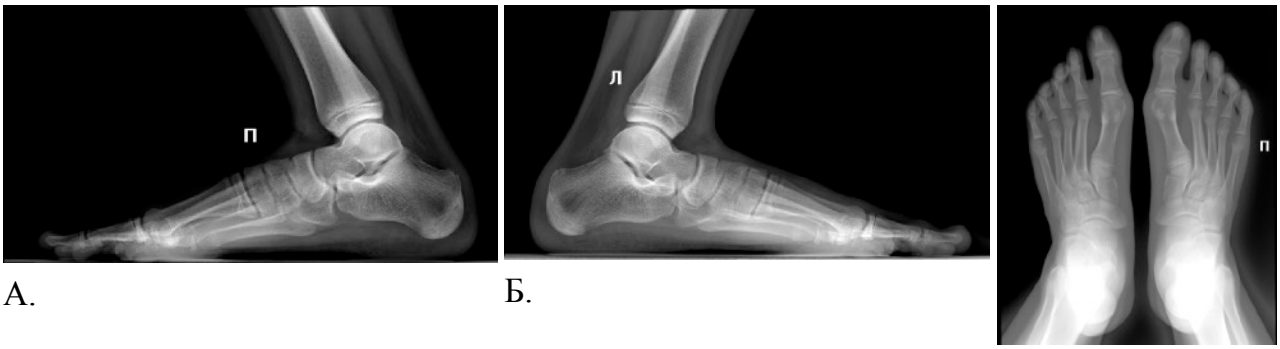


А1. Б1. В1.



А2. Б2. В2.

Рисунок Б.3 – Рентгенограммы левого голеностопного сустава у 13-летней учащейся хореографического училища в положении максимального подошвенного сгибания (А1,2) и в двух стандартных положениях (Б1,2; В1,2). Рентгенограммы (А1, Б1, В1) выполнены до курса физической реабилитации; рентгенограммы (А2, Б2, В2) – после 3-х месячного курса физической реабилитации. DS – Импинджмент-синдром заднего отдела левого голеностопного сустава.



А. Б. В.

Рисунок Б.4 – Рентгенограммы голеностопного сустава у 12-летней учащейся хореографического училища в положении максимального тыльного сгибания (А, Б): правая стопа (А.): Н=20 мм, La = 140 град, продольное плоскостопие 2-й степени; левая стопа (Б.): Н=16 мм, La = 155 град. продольное плоскостопие 3-й степени. В стандартном положении (В.): правая стопа Lb = 25 град, La = 8 град, Hallux valgus 1-2 степени; левая стопа Lb = 24 град, La = 7 град., Hallux valgus 1-2 степени. DS – Двусторонний передний импинджмент-синдром голеностопного сустава.

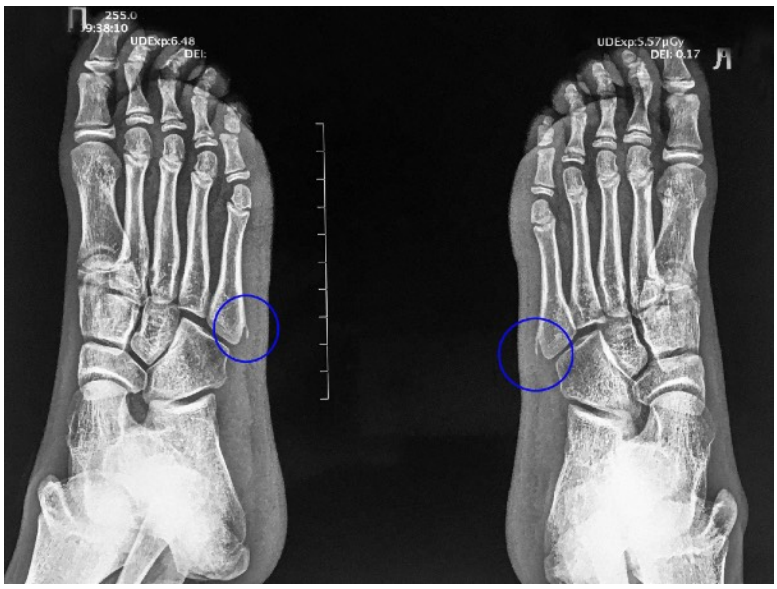


Рисунок Б.5 – Рентгенограммы костей стоп в прямой проекции у 11-летней гимнастки (художественная гимнастика). DS – б. Изелина по типу остеохондропатии основания пятой плюсневой кости с двух сторон.

ПРИЛОЖЕНИЕ В. Применение средств спортивной подготовки. Упражнения на гимнастическом бревне

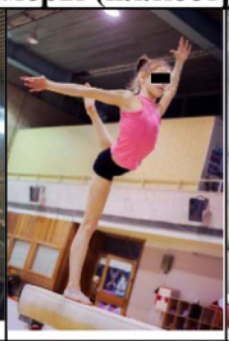
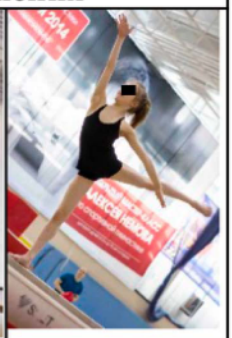
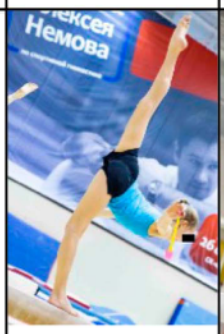
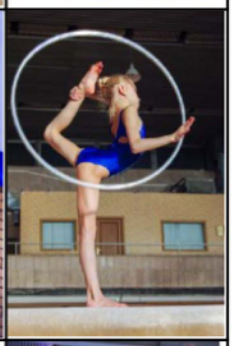
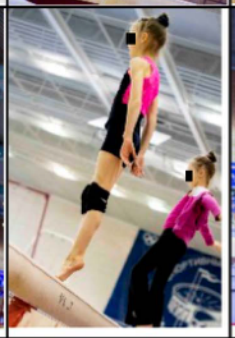
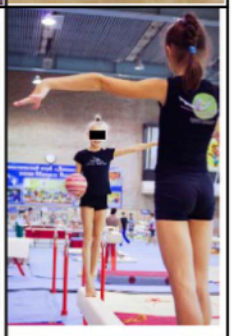
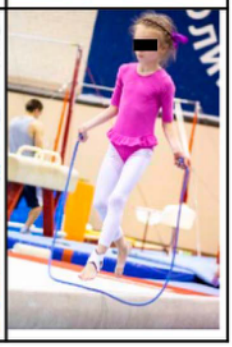
В таблице В.1 приведены упражнения на бревне как без предмета, так и с предметом выполняемые как в динамике, так и в статике в разных положениях (стоя, сидя, лежа). Упражнения выполняли на профессиональных гимнастических бревнах стандартных размеров, расположенных как на стандартной высоте, так и на учебных бревнах расположенных ниже по высоте. В целях безопасности под бревнами размещали гимнастические маты; упражнения выполнялись босиком.

Приведенные в Таблице В.1 упражнения рассчитаны на представителей видов двигательной активности, не имеющими опыта спортивной гимнастики.

Таблица В.1 – Базовые элементы без предмета и с предметом, выполняемые на гимнастическом бревне

Элементы	Примеры (иллюстрации) выполнения
Баланс на двух ногах на полной стопе без предмета и с предметом	
Ходьба на полной стопе и и ходьба с махами без предмета и с предметом	
Равновесие на полной стопе без предмета с предметом	

Таблица В.1 – Продолжение

Элементы	Примеры (иллюстрации) выполнения			
Равновесие на полной стопе без предмета в гимнастических и хореографических положениях				
Равновесие на полной стопе и манипуляции с предметом (булавы, скакалка, мяч, обруч)				
Равновесие на полупальцах; броски предмета в парах на полупальцах				
Ходьба на полупальцах и прыжки на бревне («шоссе», в скакалку)				

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Применение средств спортивной подготовки. Упражнения в бассейне

Таблица Г.2 – Базовые элементы без предмета и с предметом, выполняемые в водной среде (бассейн)

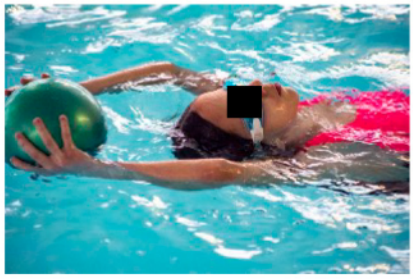
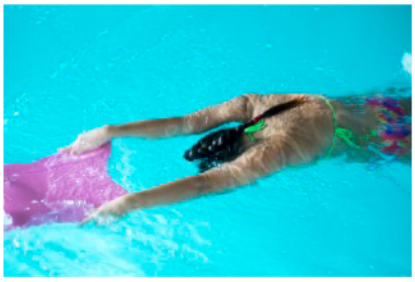
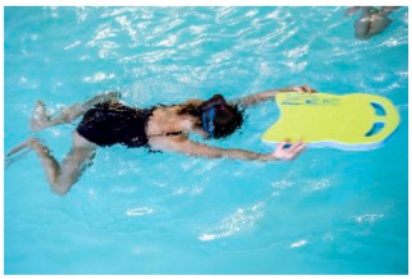
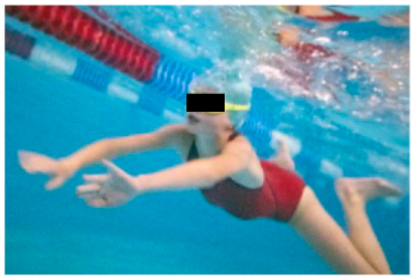
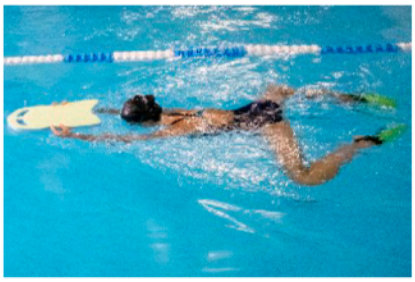
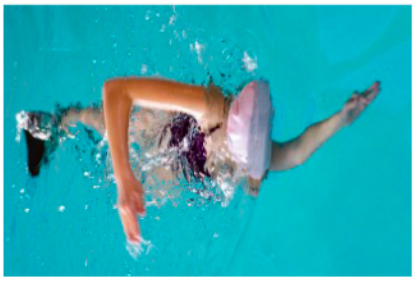
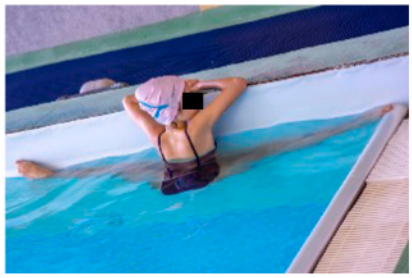
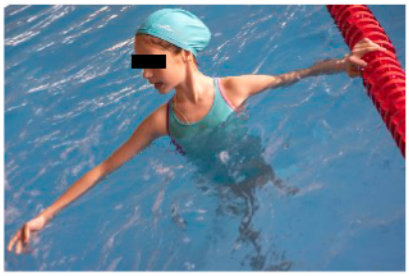
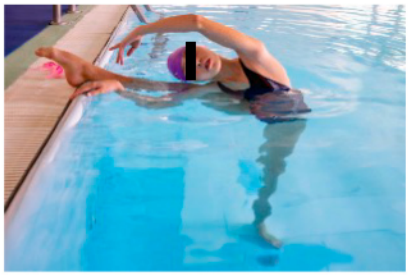
Примеры (иллюстрации) выполнения		
		
А	Б	В
		
Г	Д	Е
		
Ё	Ж	З
		
И	Й	К

Таблица Г.2– Продолжение

Примеры (иллюстрации) выполнения		
		
Л	М	Н
		
О	Р	Р
		
С	Т	У

Примечание: А, Б – скольжение на спине с доской, гимнастическим мячом; В – скольжение на груди с доской; Г – плавание способом *demi-plié* на груди с доской; Д – тоже, без доски; Е – плавание способом *demi-plié* на спине с доской и в ластах для брасса; Ё, Ж, – плавание способом *demi-plié* на спине с доской; З – кроль на груди; И – *demi-plié* в воде; Й, К – увеличение гибкости на поперечный (прямой) шпагат; Л, М – увеличение гибкости на шпагат правой с опорой на бортик; Н – тоже, левой; О, П – «станок» в воде; Р – arabesque в воде; С, Т, У – хореографические упражнения «на бортике».

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Примеры шаблонов кривых разной степени гладкости и формулы их расчетов

3.1 Шаблон семейства контурных кривых вида $|x|^a + |y|^a = 1$ при разных значениях параметра $a = \{2/3, 1, 1.3, 2, 5, 10\}$ (Рисунок Д.1).

Листинг Wolfram Mathematica: *ContourPlot[Abs[x]^# + Abs[y]^# == 1, {x, -1.1, 1.1}, {y, -1.1, 1.1}, ImageSize -> Small] & /@ {2/3, 1, 1.3, 2, 5, 10} //*
Row

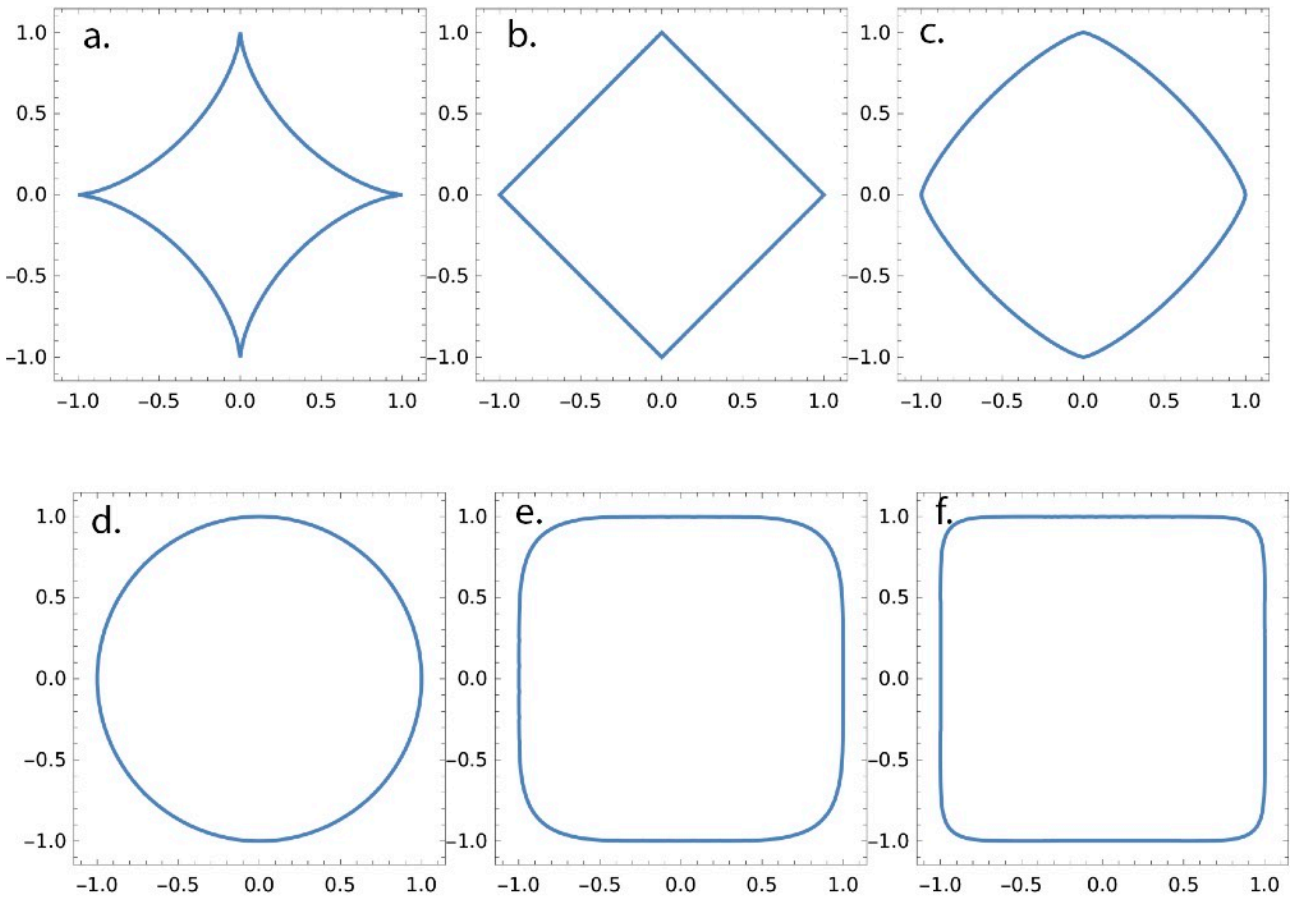


Рисунок Д.1 – Шаблон семейства контурных кривых вида $|x|^a + |y|^a = 1$ при разных значениях параметра: a. – астроида ($a = 2/3$), b. – квадрат ($a = 1$), c. – выпуклый квадрат ($a = 1.3$), d. – окружность ($a = 2$), e., f.– «сглаженный квадрат» ($a = 5; 10$)

3.2 Шаблон семейства контурных кривых вида $|x|^c + |2 \cdot y|^c = 1$ при разных значениях параметра $b = \{2/3, 1, 1.3, 2, 5, 10\}$ (Рисунок Д.2).

Листинг Wolfram Mathematica: *ContourPlot[Abs[x]^# + Abs[2 y]^# == 1, {x, -1.1, 1.1}, {y, -1.1, 1.1}, ImageSize -> Small] & /@ {2/3, 1, 1.3, 2, 5, 10} // Row*

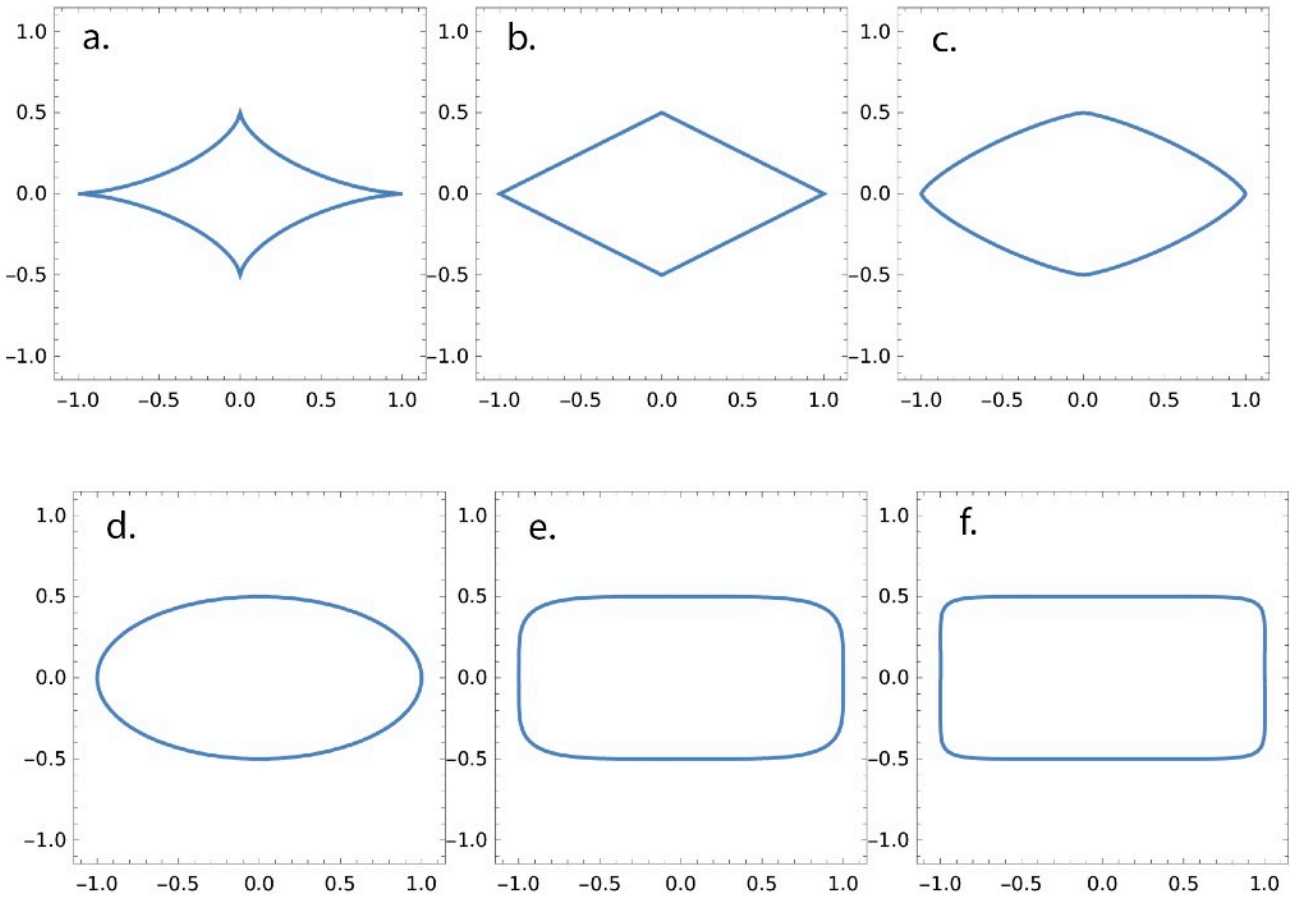


Рисунок Д.2 – Шаблон семейства контурных кривых вида $|x|^c + |2 \cdot y|^c = 1$ при разных значениях параметра: a. – астроида ($c = 2/3$), b. – ромб ($c = 1$), c. – выпуклый ромб ($c = 1.3$), d. – эллипс ($c = 2$), e., f.– «сглаженный прямоугольник» ($c = 5; 10$)

3.3 Шаблон семейства контурных кривых вида $(x)^2 + (b \cdot y)^2 = 1$ при разных значениях параметра $b = \{1, 1.5, 2, 5, 7, 10\}$ (Рисунок Д.3).

Листинг Wolfram Mathematica: *ContourPlot[Abs[x]^2 + Abs[# y]^2 == 1, {x, -1.1, 1.1}, {y, -1.1, 1.1}, ImageSize -> Small] & /@ {1, 1.5, 2, 5, 7, 10} // Row*

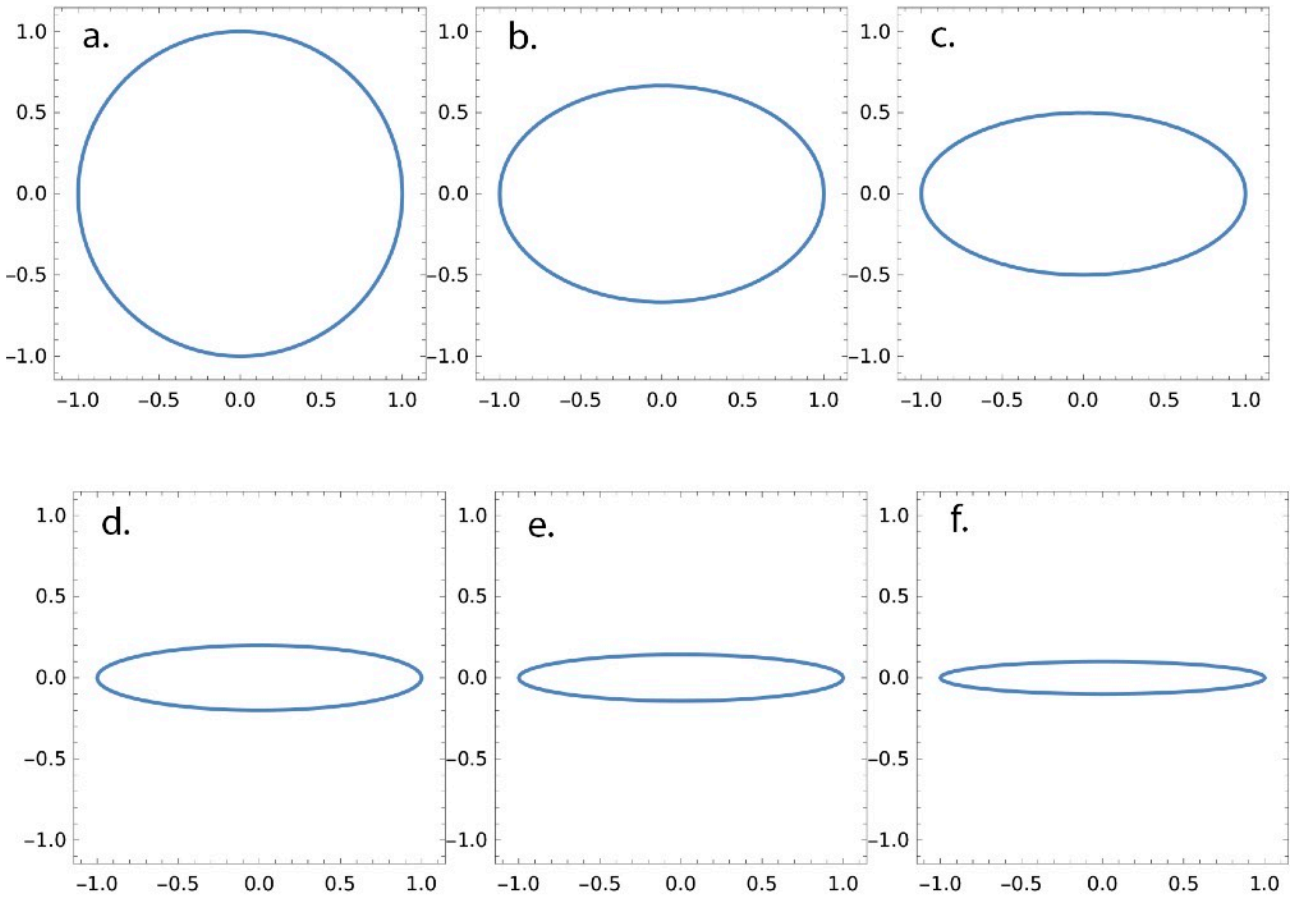


Рисунок Д.3 – Шаблон семейства контурных кривых вида $(x)^2 + (b \cdot y)^2 = 1$ при разных значениях параметра: a. – окружность ($b = 1$), b., c., d., e., f.– эллипсы с разной длиной полуоси ($b = 1.5, 2, 5, 7, 10$)

3.4 Шаблон семейства кривых вида $Sin^d(2\cdot\theta)+Cos^d(2\cdot\theta)$, заданных в полярных координатах, при разных значениях параметра $d=\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ (Рисунок Д.4).

Листинг Wolfram Mathematica: *PolarPlot[Sin[2 \[Theta]]^# + Cos[2 \[Theta]]^#, {\[Theta], 0, 2 Pi}, ImageSize -> Small] & /@ {1, 2, 3, 4, 5, 6} // Row*

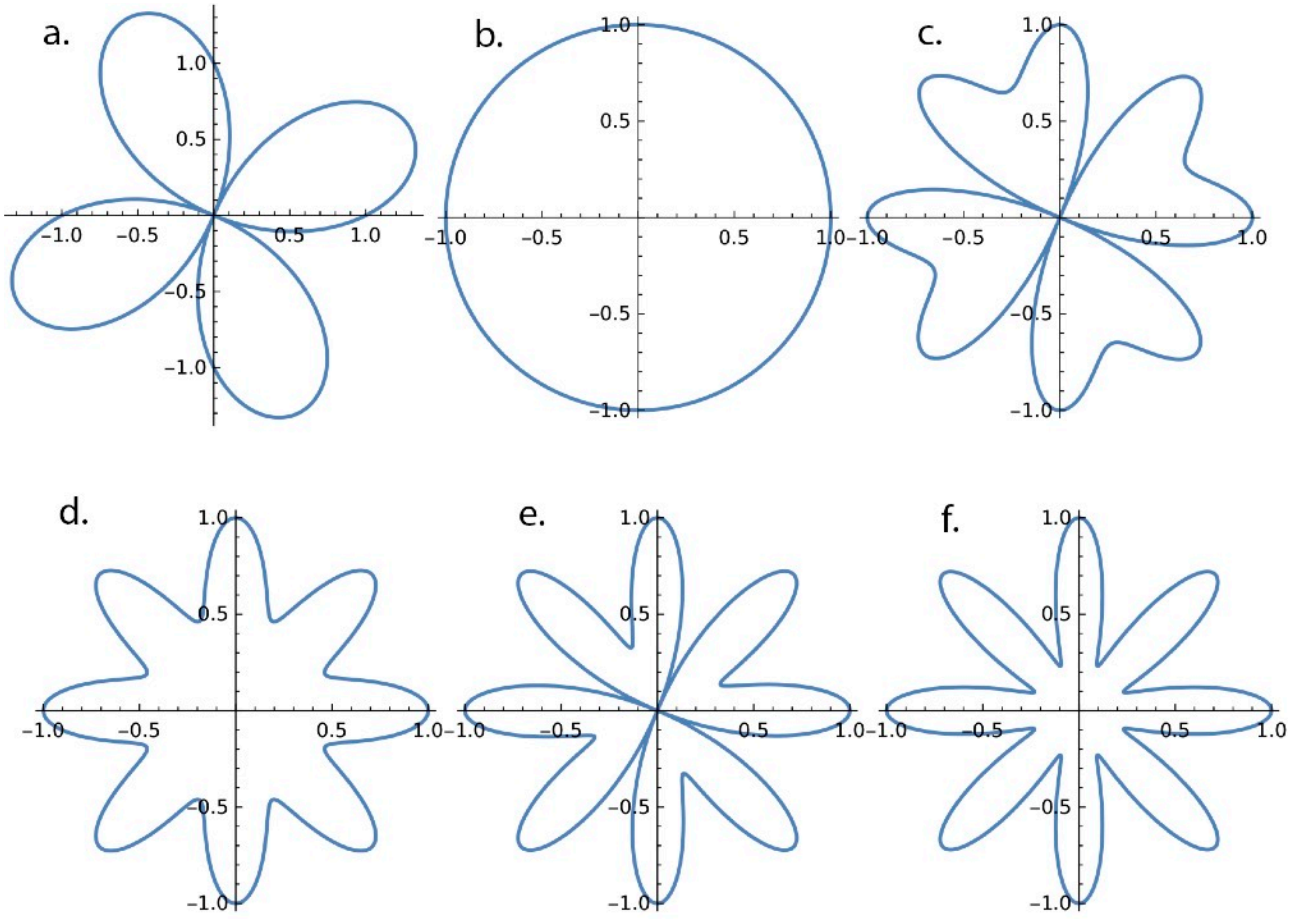


Рисунок Д.4 – Шаблон семейства контурных кривых вида $Sin^d(2\cdot\theta)+Cos^d(2\cdot\theta)$ при разных значениях параметра: a. – «Четырехлепестковая роза» ($d=1$), b. – окружность ($d=2$), c. – Лист клевера («Заячья капуста») ($d=3$), d.,e., f.– модификации Листа клевера ($d=4, 5, 6$)