

*На правах рукописи*



**Золотенков Дмитрий Дмитриевич**

**Судебно-медицинская оценка возрастных изменений  
костно-хрящевых структур коленного сустава**

3.3.5. Судебная медицина

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Москва – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

**Научный руководитель:**

член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук,  
профессор

**Пиголкин Юрий Иванович**

**Официальные оппоненты:**

**Божченко Александр Петрович** – доктор медицинских наук, профессор, федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, кафедра судебной медицины и медицинского права, профессор кафедры

**Пинчук Павел Васильевич** – доктор медицинских наук, доцент «111 Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз» Министерства обороны Российской Федерации, начальник центра

**Ведущая организация:** федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита состоится «11» апреля 2024 года в 12.00 часов на заседании диссертационного совета ДСУ 208.001.32 при ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной учебной библиотеке ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) по адресу: 119034, г. Москва, Зубовский бульвар, д. 37/1 и на сайте [www.sechenov.ru](http://www.sechenov.ru)

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ » 2024 года

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор медицинских наук, доцент



**Конева Елизавета Сергеевна**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования

Возраст человека помимо биологической характеристики, является одним из условий реализации права, поэтому его судебно-медицинская диагностика представляет собой экспертную задачу, имеющую важные юридические и социальные последствия (Пичугин С.А., 2010; Полякова, Н.В., 2016; U. Lockemann et al., 2015; Schmeling A. et al., 2016; Schmeling, A., 2018). Рост числа экспертиз по установлению возраста напрямую связан с миграционной активностью (World Migration Report, 2022). В 2020 году в мире насчитывалось около 281 млн. международных мигрантов, из которых порядка 18% – моложе 20 лет. Численность беженцев в мире к концу 2020 года – 26,4 млн. человек, из которых около 38% – лица в возрасте до 18 лет. По данным МВД в России на миграционный учет в 2018 году было поставлено 17,8 млн. иностранных граждан и лиц без гражданства, в 2019 году – 19,5 млн. человек, в 2020 году – 9,8 млн. (число снизилось по причине введенных ограничений в связи с пандемией COVID-19), а в 2021 году, после снятия ограничений по коронавирусной инфекции зафиксирован значительный прирост – 13,4 млн., в 2022 – 16,8 млн. Число нелегальных мигрантов в 2021 году в пределах 800 тысяч – 1 миллиона человек. Глобальная транснациональная миграция представляет серьезную государственную проблему, оказывая непосредственное влияние не только на демографические процессы в стране, но и на ее безопасность. За 2021 год количество иностранных граждан и лиц без гражданства, совершивших преступления, увеличилось на 7,2%, а в 2022 году (за период с января по апрель) прирост данного показателя составил уже 12,2%. В последние годы иностранные граждане и лица без гражданства все чаще пребывают на территорию Российской Федерации с несовершеннолетними детьми, помимо этого большое количество детей и подростков в возрасте от 14 до 18 лет приезжают в Россию без сопровождения взрослых. Количество преступлений, совершенных несовершеннолетними мигрантами, в январе-апреле 2022 года увеличилось на 30,5% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. Официальные источники отмечают увеличение доли особо тяжких преступлений с участием несовершеннолетних (в 2019 году – 24,3%, в 2020 году – 25,9%, в 2021 году – 28,4%), констатируется значительный удельный вес несовершеннолетних лиц, совершивших преступления в группе (в 2019 году – 47,1%, в 2020 году – 46,8%, 2021 году – 45,2%). Стабильно высоким остается число преступлений против половой неприкосновенности и половой свободы личности несовершеннолетних: в 2021 году – 16,8 тыс., в 2020 году – 15,8 тыс., в 2019 году – 14,7 тыс. преступлений. По данной категории дел отмечается и рост числа потерпевших несовершеннолетних: в 2021 году – 12,3 тыс. (+8,1% к

2020 году и +79% – к 2012 году). При этом 47% указанного вида преступлений совершены в отношении лиц, не достигших 14-летнего возраста (<https://deti.gov.ru>). В настоящее время существует целый ряд проблем, возникающих в правоприменительной деятельности органов внутренних дел при определении правового положения несовершеннолетних мигрантов. В профильных публикациях поднимается вопрос о необходимости урегулирования процедуры установления личности, возраста несовершеннолетнего мигранта в случае отсутствия у него документов, удостоверяющих личность и гражданство (Зиненко Ю.В., 2021; Полякова Н.В., 2017). Без участия судебно-медицинских экспертов, решить данную проблему невозможно.

Для решения вопросов, связанных с экспертной оценкой возраста человека, необходим комплексный подход, с привлечением современного потенциала не только медико-биологических, но и технических, математических наук (EASO, 2018-2021).

### **Степень ее разработанности**

На протяжении десятилетий исследователи осуществляют поиск лучших маркеров, которые могли бы обеспечить максимально надежную оценку возраста. Одним из таких биомаркеров является показатель эпифизарной зрелости. Взаимосвязь между стадиями созревания дистального эпифиза бедренной кости, проксимальными эпифизами большеберцовой и малоберцовой костей и хронологическим возрастом изучалась рядом авторов, в том числе и с использованием гистоморфометрии (Алексина Л.А., 2021; Пиголкин, Ю.И. и др., 2020; Глыбочко П.В. и др., 2016). Доказана диагностическая значимость рентгенологического исследования эпифизарного синостозирования для оценки скелетного возраста и последующего прогнозирования хронологического возраста детей, подростков (Schmeling A. et al., 2018). Опубликованы результаты тестирования существующих систем учета стадий эпифизарных сращений по рентгеновским снимкам коленного сустава на различных популяциях (Galić I. et al., 2019; Ghonem M.M. et al., 2019; Welson N.N., 2019). В тоже время, имеется ряд публикаций, отмечающих низкую воспроизводимость подобных методик из-за сложности дифференциации стадий и, как прямое следствие, высокий процент ошибок при повторной экспертной оценке (Mostad P., Tamsen F., 2019). В отечественных изданиях встречаются справочные данные о сроках наступления синостозов, однако они, в большинстве случаев, датируются прошлым веком и вызывают сомнение в их соответствии секулярному тренду развития современных детей и подростков российской популяции, следовательно, требуют обновления.

В настоящее время, используемые в мировой практике методы диагностики возраста базируются на применении технологий цифровой медицинской визуализации для определения

костных изменений, происходящих по мере роста и развития человека, а также искусственного интеллекта для их анализа (Scendoni R. et al., 2022; Meza B.C. et al., 2021; Heldring N. et al., 2022; Dallora A.L. et al., 2019; Diete V. et al., 2021; Daghighi M.H. et al., 2021; Mauer M.A. et al., 2021; Boeyer M.E. et al., 2017; Chowdhuri S. et al., 2020; et al., 2022; Krämer J.A. et al., 2014; Fan F. et al., 2016; Ekizoglu O. et al., 2021; Gurses M.S. et al., 2020; Iglovikov V.I. et al., 2018; Mutasa S. et al., 2018; J. De Tobel et al., 2020; Ording L.S. et al., 2023; Wittschieber D. et al., 2022; Demircioğlu A. et al., 2022). В отечественной и зарубежной литературе отсутствуют сведения о возможностях прогнозирования хронологического возраста детей, подростков и молодых людей на основании результатов исследования стадий эпифизарного синостозирования по данным КТ коленного сустава. Вместе с тем компьютерная томография имеет ряд уникальных особенностей, повышающих доказательную базу проводимого исследования. Изучение возрастных изменений является междисциплинарной научной проблемой, результаты которой будут востребованы в различных областях биологии и медицины.

### **Цель исследования**

Совершенствование судебно-медицинской диагностики возраста детей, подростков и молодых людей по возрастным изменениям костно-хрящевых структур коленного сустава с помощью медицинской визуализации (компьютерная томография) и нейросетевых технологий.

### **Задачи исследования**

1. Проанализировать динамику судебно-медицинской экспертной деятельности по установлению возраста живых лиц в Российской Федерации за период с 2003 по 2021 годы и дать сравнительный анализ методического обеспечения экспертной оценки возраста детей, подростков и молодых людей в российской и международной практике.
2. Изучить возрастную динамику костно-хрящевых структур (зон эпифизарного роста) по данным КТ коленного сустава и определить судебно-медицинские диагностические критерии для установления целевых возрастных групп.
3. Разработать судебно-медицинский алгоритм установления возраста детей, подростков и молодых людей с использованием методов медицинской визуализации и нейросетевых технологий.

### **Научная новизна**

Впервые проведено изучение и аналитическое обобщение количественных показателей судебно-медицинской экспертной практики в части экспертизы возраста живых лиц в России в

целом и по отдельным федеральным округам, субъектам России за период с 2003 по 2021 гг. Выполнено систематическое (с элементами метаанализа) обзорное исследование литературы, посвященной научно-методическому обеспечению судебно-медицинской экспертизы по установлению возраста живых лиц.

В работе впервые представлен метод судебно-медицинского установления возраста (возрастной группы) детей, подростков и молодых людей на основе метрической оценки сегментов эпифизарного сращения (синостоза) по данным КТ колена с использованием программного обеспечения. Разработаны диагностические критерии установления возраста (целевой возрастной группы) детей, подростков и молодых людей для использования в рамках комплексной судебно-медицинской экспертизы возраста. Изучено влияние физической активности на динамику возрастных изменений костно-хрящевых структур (эпифизарного синостоза) дистального эпифиза бедренной, проксимальных эпифизов большеберцовой и малоберцовой костей. Разработан алгоритм судебно-медицинской оценки возраста по данным КТ коленного сустава с применением искусственных нейронных сетей и компьютерного зрения, предложена структурно-функциональная конструкция для его реализации. Представленный алгоритм интеллектуальной оценки возраста не имеет аналогов среди отечественных и зарубежных работ. Инновационный подход, реализованный в нем, заключается в одновременном применении искусственных нейронных сетей, компьютерного зрения и четко формализованных математических процедур вычисления свойств эпифизарной линии.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Полученные данные имеют важное теоретическое значение и в значительной степени расширяют возможности судебной медицины при производстве экспертиз по установлению возраста. В ходе работы были получены новые данные о возрастной динамике синостозирования изученных структур: дистального эпифиза бедренной кости, проксимальных эпифизов большеберцовой и малоберцовой костей для современной популяции РФ. Сформирована база данных количественных характеристик эпифизарного синостозирования в зависимости от возраста.

В результате использования нового расчетного показателя получены данные, позволяющие рассматривать метрическую характеристику сегментов эпифизарного сращения в качестве дополнительного информационно значимого диагностического критерия для установления возраста (целевой возрастной группы) детей подростков и молодых людей при проведении судебно-медицинской экспертизы.

Разработанный метод количественного анализа сегментов эпифизарного сращения по данным компьютерной томографии коленного сустава представляет собой переход от предыдущих качественных методов к количественному анализу, дает сопоставимые численные результаты, полезные для целей судебной экспертизы. Предложенный метод количественного анализа сегментов эпифизарного сращения по данным компьютерной томографии коленного сустава обеспечивает воспроизводимость, объективность и диагностическую точность результатов при использовании его в рамках комплексной оценки возраста (возрастной группы) детей подростков и молодых людей при производстве судебно-медицинской экспертизы.

### **Методология и методы исследования**

Работа выполнена на кафедре судебной медицины Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) Протокол исследования одобрен Этическим комитетом Сеченовского Университета (протокол № 01-21 от 22.01.2021).

Методология исследования базируется на системном анализе и использовании фундаментальных положений биологии, анатомии, морфологии о развитии организма человека. Работа выполнена с соблюдением основных принципов доказательной медицины.

Сформированный дизайн исследования представлен следующими этапами.

На первом этапе для актуализации темы диссертационной работы и формирования дизайна, научной программы исследования выполнен систематический с элементами метанализа обзор тематических публикаций.

На втором этапе изучены данные подразделений судебно-медицинской экспертизы живых лиц бюро судебно-медицинской экспертизы, за период с 2003 по 2021 годы, входящие в ежегодные сводные отраслевые отчеты о деятельности государственных судебно-медицинских экспертных учреждений России (форма № 42, утвержденная приказом Минздрава России от 22.10.2001 № 385).

На третьем этапе проведено наблюдательное ретроспективное поперечное исследование. Была изучена возрастная динамика синостозирования по данным компьютерной томографии коленного сустава с использованием полуколичественного и количественного морфометрического анализа; проведено сравнительное исследование влияния физической активности на процесс метаэпифизарного сращения и его связь с зубным возрастом (индексом третьего моляра); изучена морфология эпифизарного рубца и ее ассоциативная взаимосвязь с химическим составом костной ткани у лиц зрелого возраста; изучена возможность использования методов глубокого обучения для решения задачи классификации – установления

целевой возрастной группы по данным компьютерной томографии коленного сустава, разработан алгоритм прогнозирования возраста индивидуума на основе анализа данных КТ коленного сустава с применением искусственных нейронных сетей и компьютерного зрения. Для анализа результатов использовались статистические методы исследования.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Организационно-методическое обеспечение судебно-медицинской экспертизы по установлению возраста живых лиц в РФ имеет ресурсы по оптимизации и совершенствованию.

2. Предложенный метод количественной оценки сегментов метаэпифизарного соединения по данным КТ коленного сустава, позволяет объективно оценить возрастную динамику синостозирования дистального эпифиза бедренной кости, проксимальных эпифизов большеберцовой и малоберцовой костей и дает возможность использовать метрическую характеристику сегментов эпифизарного сращения в качестве информационно значимого диагностического критерия для установления возраста (целевой возрастной группы) детей, подростков и молодых людей при проведении судебной медицинской экспертизы.

3. Разработанный и обоснованный алгоритм программной масштабируемой интеллектуальной системы оценки возраста индивидуума, базирующийся на вычислении посредством компьютерного зрения свойств эпифизарной линии на исходных данных КТ коленного сустава, повышает диагностическую точность и объективности экспертных выводов.

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Научные положения диссертации соответствуют паспорту научной специальности 3.3.5. Судебная медицина (медицинские науки): пункту 9. Разработка методов идентификации личности, в том числе с использованием визуализации и цифровой диагностики общегрупповых и индивидуальных признаков; 14. Совершенствование судебно-медицинской экспертизы трупов и живых лиц, экспертизы по материалам следственных и судебных дел с целью решения вопросов правоохранительных органов, в том числе в случаях неблагоприятных исходов при оказании медицинской помощи.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Достоверность полученных результатов обусловлена большим объемом изученного материала, использованием комплекса доказательных методов исследования и корректным выполнением статистической обработки полученных результатов.



Материалы диссертации доложены на Международном конгрессе «Актуальные вопросы судебной медицины и экспертной практики – 2022» (Москва, 2022), XVI Всероссийском национальном конгрессе лучевых диагностов и терапевтов «Радиология – 2022», Научно-практической конференции, посвященной 205-летию со дня рождения Д.Е. Мина «Актуальные проблемы судебной медицины» (Москва, 2023), X Юбилейном Международном конгрессе «Актуальные вопросы судебной медицины и экспертной практики – 2023» (Москва, 2023), XVII Всероссийском национальном конгрессе лучевых диагностов и терапевтов «Радиология – 2023» (Москва, 2023).

Апробация работы состоялась на заседании кафедры судебной медицины Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (протокол №1 от 28 августа 2023 года).

### **Внедрение результатов исследования в практику**

Результаты исследований внедрены в учебный процесс на кафедрах судебной медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) и ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России; в практическую работу отделения медико-криминалистических исследований ГБУЗ «Бюро судебно-медицинской экспертизы Департамента здравоохранения города Москвы», практическую работу отдела судебно-медицинской экспертизы потерпевших, обвиняемых и других лиц, отделение медико-криминалистических исследований и отдела сложных экспертиз ГБУЗ СК «Краевое бюро судебно-медицинской экспертизы».

### **Личный вклад автора**

Диссертант непосредственно участвовал в разработке, организации и проведении всех этапов исследования: самостоятельно проанализировал данные отечественной и зарубежной литературы, обосновал актуальность, сформулировал цель и задачи исследования, разработал дизайн исследования; произвел сбор материала, его исследование, учет, интерпретацию, математический анализ, обобщение полученных результатов, которые изложил в опубликованных статьях.

### **Публикации по теме диссертации**

По результатам исследования автором опубликовано 15 работ, в том числе: 7 научных статей в журналах, индексируемых в международных базах (Web of Science, Scopus), они же включенные в Перечень рецензируемых научных изданий Сеченовского Университета /

Перечень ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и 8 иных публикаций, в том числе в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация изложена на 160 страницах машинописного текста, состоит из введения, 4-х глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы; иллюстрирована 28 таблицами и 44 рисунками; список литературы включает 224 источника, в том числе 51 отечественных и 173 иностранных.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Материал исследования**

Для решения первой задачи материалом для исследования послужили сведения от подразделений судебно-медицинской экспертизы живых лиц бюро судебно-медицинской экспертизы отдельных федеральных округов и Российской Федерации в целом, за период с 2003 по 2021 годы, входящие в ежегодные сводные отраслевые отчеты о деятельности государственных судебно-медицинских экспертных учреждений России (форма № 42, утвержденная приказом Минздрава России от 22.10.2001 № 385).

Материалом для исследования на последующем этапе послужили обезличенные КТ снимки коленных суставов, выполненные в отделениях лучевой диагностики ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России в период с 2018 по 2021 годы. Общее количество изученных КТ-снимков – 714.

Критерии невключения: аномалии развития, повреждения колена, признаки общей патологии соединительной ткани, эндокринные нарушения.

Для полуколичественной (в баллах) оценки стадий эпифизарного сращения ДЭБК, ПЭБК, ПЭМБК были использованы КТ-снимки от 445 человек обоего пола с известным хронологическим возрастом от 13 до 24 лет, из которых 45% составили лица женского пола, средний возраст выборки 18,2 года и 55 % мужского пола, средний возраст выборки 18,7 лет.

Для полуколичественной (в баллах) оценки персистенции эпифизарного рубца были использованы КТ снимки от 200 человек обоего пола с известным хронологическим возрастом от 20 до 60 лет, из которых 50% составили лица женского пола, средний возраст выборки 41,7 года и 50% мужского пола, средний возраст выборки 40,9 лет.

Для разработки нового количественного метода оценки возраста выполнен метрический анализ зоны эпифизарного сращения на КТ снимках коленного сустава субъектов обоего пола в возрасте от 13 до 21 года, из которых 58% составили лица мужского пола, средний возраст 16,25 лет; 42% – женского, средний возраст 16,75 лет. Для проверки точности результатов исследования была сформирована независимая тестовая выборка из 99 субъектов, из которых мужчины – 57, женщин – 42.

Для оценки влияния физической активности на возрастную динамику эпифизарного сращения были сформированы две группы: 1 группа (контроль) – лица мужского пола в возрасте от 14 до 19 лет (74); 2 группа (случай) – лица мужского пола в возрасте от 14 до 19 с высокой физической активностью (70). Для оценки физической активности использовалась методика международного опросника по оценке физической активности: International Physical Activity Questionnaire (IPAQ).

Для оценки взаимосвязи костного возраста и стоматологического возраста была сформирована группа (91), в которую были отобраны субъекты, имевшие помимо КТ снимков, ортопантограммы.

Для изучения возрастной динамики микроэлементного состава использовался аутопсийный материал: фрагменты костной ткани (размерами 1,5x1,5x0,1 см) от 85 субъектов мужского и женского пола в возрасте от 21 до 91 года, средний возраст лет 56 лет (Q1=39, Q3=74). Пробоподготовка включала в себя промывку образцов костной ткани в дистиллированной воде, механическую обработку корундовым абразивом с формированием шлифа размерами 0,5x1,0 см, повторную промывку и высушивание.

### **Методы исследования**

**Компьютерная томография.** В работе использовались результаты исследований, выполненных на спиральных компьютерных томографах: CANON (Toshiba) Aquilion One 640, толщина среза 0,5 мм с 640 срезами; LightSpeed VCT (производитель GE Medical Systems), толщина среза 0,625мм, 64-срезовой; CANON (Toshiba) Aquilion Prime SP – 160-срезовой, толщина среза 0,5 мм. Изображения хранились в формате DICOM. Анализ изображений компьютерной томографии коленного сустава осуществлялся с использованием программного обеспечения InVesalius 3.1.1.

**Рентгенография.** Панорамные рентгеновские снимки зубов – ортопантограммы – были получены с помощью KaVo Pan eXam PLUS системное устройство (Kavo Dental GmbH, Берлин, Германия), технические характеристики: 66кВ, 2,5мА и 17с. Снимки были записаны и перенесены в электронный формат в виде JPG.

**Энергодисперсионная рентгеновская спектрометрия.** С помощью энергодисперсионного рентгеновского спектрометра Energy-dispersive X-ray spectrometer (EDS) Oxford X-Max 50 в режиме низкого вакуума (EP, 70 Pa) при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе на образце 220 pA, проводился полуколичественный химический микроанализ для оценки содержания химических элементов. Исследование проводилось в режиме принудительного нормирования получаемых содержаний к 100%. Для трех участков поверхности шлифа (площадью 50x50 мкм) были получены данные о весовом содержании химических элементов: ( $C_{Ca}^{6ec}$ ,  $C_{Mg}^{6ec}$  и  $C_{Na}^{6ec}$ ), с последующим расчетом нормативных содержаний катионов в апатите. Расчеты проводились в формульных единицах (Ф.Е.) на нормативный гидроксил(хлор)апатит – доминирующую кристаллическую минеральную фазу костной ткани.

#### **Полуколичественная оценка возрастной динамики стадий эпифизарного синостоза.**

Дистальный эпифиз бедренной кости, проксимальные эпифизы большеберцовой и малоберцовой костей оценивались отдельно по стадиям согласно методике R. Cameriere: 0, 1, 2 баллы были присвоены 1, 2, 3 стадиям соответственно.

Стадия 1 – эпифизарное слияние отсутствует, рентгенопрозрачная хрящевая пластина отделяет эпифиз от диафиза (0 балл) (Рисунок 1, а). Стадия 2 – стадия активного соединения диафиза и эпифиза, представлена рентгеноплотной линией сращения между ними (эпифизарный рубец); к этой же стадии относились случаи неполного сращения, с рентгенопрозрачными участками на боковых (латеральных и медиальных) поверхностях (1 балл) (Рисунок 1, б). Стадия 3 – полное сращение, различная степень видимости эпифизарного рубца, эпифизарная оссификация (2 балла) (Рисунок 1, в).

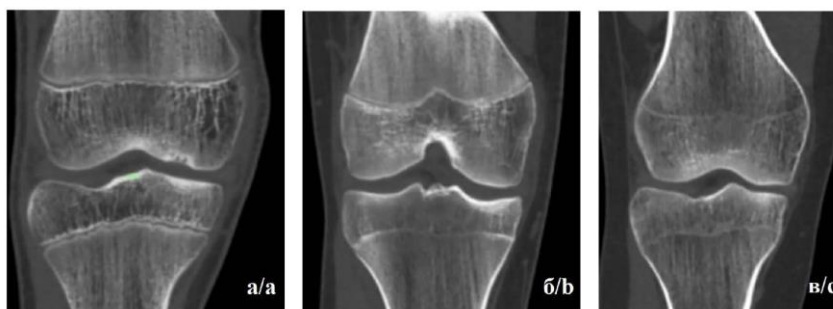


Рисунок 1 – КТ коленного сустава, фронтальная проекция: стадии окостенения дистального эпифиза бедренной кости и проксимального эпифиза большеберцовой кости: а) 1 стадия, б) 2 стадия, в) 3 стадия

Производился подсчет общего (суммарного) балла эпифизарного сращения (СБ, 0-6), который представлял собой сумму баллов ДЭБК, ПЭБК и ПЭМБК, полученных при их отдельном исследовании.

**Полуколичественная оценка возрастной динамики эпифизарного рубца.** Используя графический редактор Adobe Photoshop, на отобранных изображения ДЭБК и ПЭББК производилась разбивка на равноценные участки и последующая оценка в баллах степени персистенции эпифизарного рубца в пределах каждого из размеченных отрезков: 0 баллов – отсутствие рубца; 1 балл – частичный (прерывистый) рубец; 2 балла – хорошо различимый эпифизарный рубец по всей длине участка. Затем производился расчет общей суммы баллов (СБП – суммарный балл персистенции), максимальный оценка СБП = 12 соответствует хорошо различимому эпифизарному рубцу по всей длине метаэпифизарного участка; СБП = 0 баллов – рубец отсутствует.

**Количественная оценка возрастной динамики сегментов эпифизарного сращения.** Для разработки нового **количественного** метода оценки возраста был проведен метрический анализ сегментов эпифизарной линии на КТ снимках коленного сустава. Для каждой кости (бедренной, большеберцовой и малоберцовой костей) рассчитывались следующие показатели:

а) L - общая длина метаэпифизарной линии: для ДЭБК – FeL; для ПЭББК – TiL; для ПЭМБК – FiL; (Рисунок 2)

б) l - длина метаэпифизарного соединения (синостоза) – участков на которых отмечается сращение эпифиза и метафиза для ДЭБК – Fel; для ПЭББК – Til; для ПЭМБК – Fil (Рисунок 3)

Затем был произведен расчет соотношения между двумя длинами: FemurR (FeR) = Fel/FeL; TibiaR (TiR) = Til/TiL; FibulaR (FiR) = Fil/FiL; FTF =FemurR + TibiaR + FibulaR. Полный набор данных был сохранен программным обеспечением в файле в формате Excel.

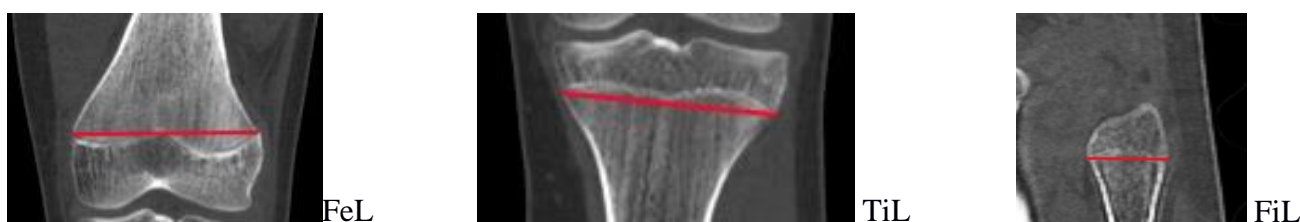


Рисунок 2 – КТ коленного сустава, фронтальная проекция: разметка выполняемых измерений – общей длины метаэпифизарной линии (FeL, TiL, FiL)

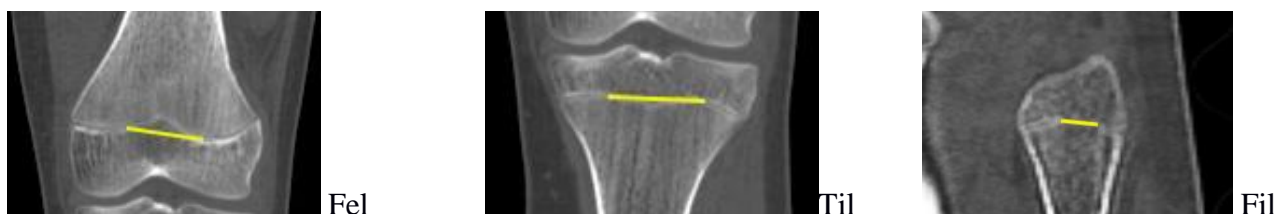


Рисунок 3 – КТ коленного сустава, фронтальная проекция: разметка выполняемых измерений – длины участка метаэпифизарного сращения (Fel, Til, Fil)

**Количественная оценка стоматологического возраста по индексу третьего моляра (ИТМ).** Измерения выполнялись посредством программы ImageJ (Graphics Suite) 38 зуба (38 ИТМ) и 48 зуба (48 ИТМ). Расчет индекса третьего моляра (индекса Cameriere) осуществлялся по формуле, в зависимости от сформированности корневой части зуба:  $ИТМ = АВ/L$  и  $ИТМ = (Ad+Am)/L$ , где: L= длина зуба, АВ=ширины апикального конца, Am=ширина медиального и Ad=дистального корней.

**Методы статистического анализа.** Анализ данных выполнен с использованием: Microsoft Excel и IBM SPSS Statistics 21; IBM SPSS Statistics 23.0 (IBM Corp., Армонк, Нью-Йорк, США); SofaStatistics 1.5.4. Производился расчет среднего значения (Mean) стандартного отклонения (SD), минимального (Min) и максимального (Max) значений, медианы (Median), коэффициента корреляции (R), коэффициента детерминации линейного регрессионного анализа ( $R^2$ ), t-критерия Стьюдента; уровень значимости  $p < 0,05$ . Непрерывные и категориальные переменные были представлены в виде медианы (межквартильный диапазон, IQR) или n (%). Для попарного сравнения количественных характеристик использовался непараметрический метод и рассчитан U-критерий Манна-Уитни. Для оценки значимости различий между категориальными переменными были выполнены тесты  $\chi^2$  или точный критерий Фишера (если было менее 10 наблюдений); для оценки надежности на основе согласованности показателей был рассчитан коэффициент альфа Кронбаха, коэффициент корреляции (ICC) как для всей когорты участников, так и для мужчин и женщин отдельно. Реальный возраст был классифицирован как бинарная переменная, разделенная на взрослых (>18 лет) и несовершеннолетних (0-17,99 лет); детей (0-13,99 лет) и подростков (>14 лет). Для определения значений параметров (FTF; FeR; TiR; FiR), при достижении которых будет приниматься решение о принадлежности к целевой группе, использовалась логистическая регрессия, ROC-анализ.

**Методы интеллектуального анализа данных.** Дизайн данного этапа исследования: 1. предобработка и разметка данных соответственно поставленной задаче; 2. формирование обучающей и тестовой выборок; 3. настройка алгоритмов обучения – выбор и подбор параметров алгоритма градиентной оптимизации; 4. обучение нейросети; 5. расчет метрик на тестовой выборке. Для решения задачи установления возраста применялись методы машинного обучения – нейронные сети. Рассматривались задачи бинарной классификации (0-18 лет против 18+ лет) и многоклассовой (4) классификация (0-14 лет, 15-16 лет, 17-18 лет, 18+ лет). Использовалось осреднение предсказаний для каждой двумерной классификационной подзадачи фронтального сечения колена. Имея предсказание каждой двумерной задачи, определялось наиболее частое предсказание, которое и было итоговым ответом. Для решения

задач классификации двумерных изображений были протестированы три нейросетевые архитектуры: Resnet101, Densenet121, Efficientnet-b0 и их ансамбли. Для оценки точности и эффективности решаемой задачи классификации использовалась визуализация данных – матрица ошибок. Для разработки и экспериментальной апробация алгоритма прогнозирования биологического возраста индивидуума на основе анализа КТ коленного сустава с применением искусственных нейронных сетей и компьютерного зрения использовалась искусственная нейронная сеть модели YOLOv5.

### **Результаты исследования**

В целом по Российской Федерации с 2003 по 2021 гг. было выполнено суммарно 4522 экспертизы по определению возраста живых лиц (среднее значение – 238). За исследуемый период общее количество выполняемых экспертиз в отношении живых лиц характеризовалось снижением, при этом долевое соотношение сохранялось на протяжении всего периода наблюдения, что свидетельствует о стабильном «спросе», экспертиз по установлению возраста. С 2018 года отрицательная динамика сменилась тенденцией к росту данного вида экспертиз. Из общего числа экспертиз по установлению возраста живых, выполняемых в Российской Федерации, на долю Центрального федерального округа приходится 26,45%, среднее значение за период изучения – 54,53. С 2017 зафиксирован устойчивый тренд прироста данного показателя: в 2017 выполнено 38 экспертиз, что составило 0,02% от общего количества экспертиз в отношении живых лиц, а в 2021 году показатель достиг 101 экспертизы (0,07%).

На основании статистического анализа результатов полуколичественного анализа возрастной динамики стадий эпифизарного сращения по КТ снимкам коленного сустава установлена сильная корреляционная связь между стадиями (при их оценке в баллах) сращения и возрастом, как для отдельной кости, так и для суммарного балла. Для лиц мужского пола: ДЭБК  $R = 0,85$ , ПЭБК  $R = 0,84$ ; ПЭМБК  $R = 0,83$ , СБ  $R = 0,88$ ; для лиц женского пола ДЭБК  $R=0,82$ , для ПЭБК  $R = 0,8$ ; ПЭМБК  $R = 0,84$ , СБ  $R = 0,88$ .

Средний возраст лиц мужского пола с СБ= «0» составил  $13,98 \pm 0,64$  года; «1» =  $15,11 \pm 0,42$ ; «2» =  $15,44 \pm 0,78$ ; «3» =  $16,73 \pm 0,67$ ; «4» =  $17,82 \pm 0,26$ ; «5» =  $18,2 \pm 0,23$ ; «6» =  $21,37 \pm 1,96$ . Средний возраст лиц женского пола с СБ= «0» составил  $13,46 \pm 0,33$ ; «1» =  $15,28 \pm 0,65$ ; «2» =  $15,07 \pm 0,72$ ; «3» =  $16,7 \pm 0,7$ ; «4» =  $17,39 \pm 0,59$ ; «5» =  $18,19 \pm 0,2$ ; «6» =  $20,89 \pm 1,98$ . Согласно полученным результатам, минимальный возраст эпифизарного сращения (3 стадия) составляет для ДЭБК 17,58 лет у лиц мужского пола и 17,42 лет у женского; ПЭБК 17,42 лет у мужчин, 15,75 лет у женщин; ПЭМБК 18,08 лет, у мужчин, 18,67 лет у женщин; а для СБ «6» = 18,17 лет у мужчин и 18,08 лет у женщин. СБ «3»  $Me = 15,13$  лет, у мальчиков СБ «3»  $Me = 15,25$  и в более старшем возрасте: СБ «6» у женщин  $Me = 20,89$ , у мужчин  $Me = 21,37$



лет. На Рисунке 4 представлена диаграмма в виде коробок с усами, отображающих возрастные диапазоны для всех суммарных баллов.

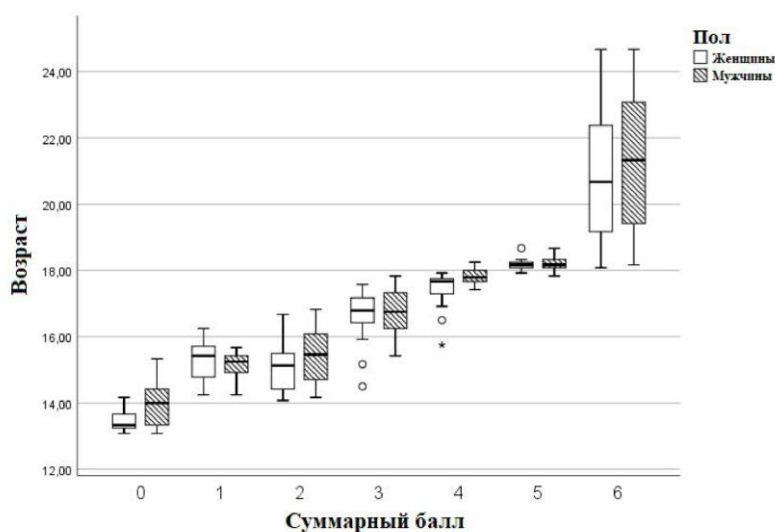


Рисунок 4 – Блочная диаграмма суммарного балла и хронологического возраста с усредненными и межквартильными диапазонами, усы обозначают минимальный и максимальный возраст для данного балла

СБП для ДЭБК: возраст\*пол\*топография участка:  $p=0,301$ ,  $R^2=0,297$ , скорректированный  $R^2=0,159$ ); для ПЭБК: возраст\*пол\*топография участка:  $p=0,267$ ,  $R^2=0,315$ , скорректированный  $R^2=0,174$ ). При рассмотрении хронологического возраста, как независимого фактора, было установлено, что он отвечает только за 11,7% вариаций для ДЭБК (возраст:  $p=0,031$ ,  $R^2=0,197$ , скорректированный  $R^2=0,117$ ) и 15,4 % для ПЭБК (возраст:  $p=0,07$ ,  $R^2=0,215$ , скорректированный  $R^2=0,154$ ). Разница расчетных значений СБП между возрастными группами 20-30 и 30-40 лет была недостоверной, так же, как и между возрастными группами: 30-40 и 40-50 лет, 40-50 и 50-60 лет. Достоверные различия ( $p<0,05$ ) были установлены между СБП возрастных групп 20-30 лет и 50-60 лет. Возрастная динамика по данным энергодисперсионной рентгеновской спектрометрии характеризуется потерей  $Ca^{2+}$  и увеличением  $Mg^{2+}$  среди катионов костного минерала. Это подтверждает связь минерального состава апатита исследуемых образцов костной ткани с возрастом. В ходе математического анализа расчетной доли катионов в нормативном гидроксилapatите установлено, что в костном минерале фиксируется статистически значимое снижение доли ионов  $Ca^{2+}$  ( $R=-0.33$ ,  $p=0.008$ ), выявляется статистически значимое увеличение ионов  $Mg^{2+}$  ( $R=0.43$ ,  $p=0.0005$ ) при неизменном содержании ионов  $Na^+$  ( $R=0.10$ ,  $p=0.42$ ). Установлено, что достоверные изменения атомного и валового весового состава  $Ca^{2+}$  отмечаются у лиц старше 50-60 лет. До этого возраста регистрируемые изменения оказались статистически недостоверными.



Установлена сильная корреляционная связь с возрастом, как отдельных показателей, так и суммарного (FTF). Для всей выборки (n=303) FeR  $R^2=0.86$ ; TiR  $R^2=0.8$ ; FiR  $R^2=0.81$ ; FTF  $R^2=0.87$ ; для женской n=128 FeR  $R^2=0.86$ , TiR  $R^2=0.8$ , FiR  $R^2=0.85$ , FTF  $R^2=0.88$ ; для мужской n=175 FeR  $R^2=0.85$ , TiR  $R^2=0.8$ , FiR  $R^2=0.78$ , FTF  $R^2=0.86$ . Значения альфа Кронбаха для всей когорты участников = 0.85,  $p=0.0001$ ; для мужчин = 0.86,  $p=0.0001$ ; для женщин 0.86,  $p=0.0001$ .

Графики на Рисунках 5, 6, 7 наглядно демонстрируют корреляционную зависимость значений параметров FemurR, TibiaR и FibulaR от значения возраста [Age].

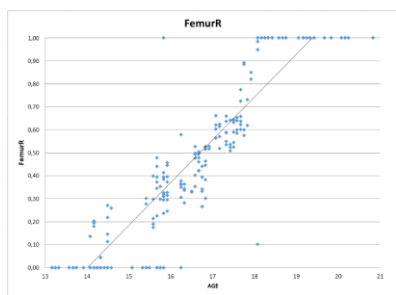


Рисунок 5 – Совместное распределение показателя FemurR и возраста [Age]

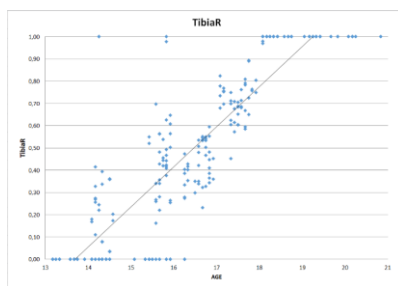


Рисунок 6 – Совместное распределение показателя TibiaR и возраста [Age]

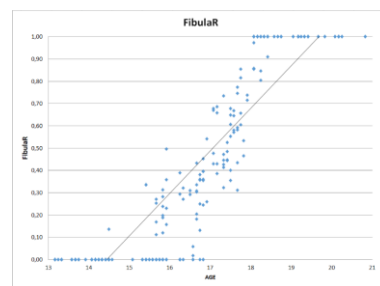


Рисунок 7 – Совместное распределение показателя FibulaR и возраста [Age]

На анализируемых КТ снимках в 66% случаев были изображены оба (правое и левое) колена. Статистически выявляемых различий между цифровыми показателями (FeR, TiR, FiR, FTF) костей разных сторон (право/лево) не установлено. Была произведена оценка взаимосвязи между хронологическим возрастом и параметром FTF для всех субъектов. Данные представлены на Рисунке 8.

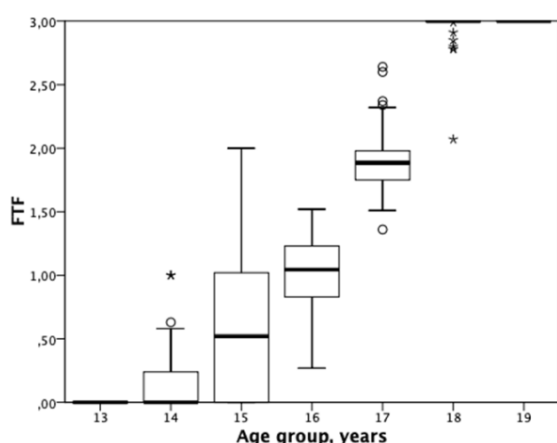


Рисунок 8 – Блочная диаграмма взаимосвязи между хронологическим возрастом и FTF для всех субъектов

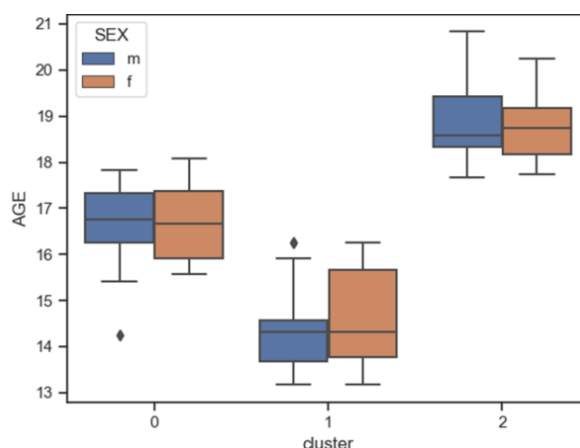


Рисунок 9 – Блочная диаграмма, отражающая распределение выделенных кластеров (групп) по возрасту и полу

Была выполнена кластеризация цифровых значений FemurR, TibiaR, FibulaR, FTF. Наивысшую оценку качества кластеризации (silhouette score) со значением 0.67 продемонстрировал метод KMeans с 3-мя кластерами. К полученным результатам были добавлены характеристики пола и возраста, чтобы оценить подобные кластеры между собой. Результаты кластеризации числовых значений параметров: возрастные границы кластера «0» для лиц женского пола: 16.32 - 17.11 лет, для лиц мужского пола: 16.44 – 16.98; кластера «1» – для лиц женского пола: 14.19 – 15.07 лет, для лиц мужского пола 14.09 – 14.67 лет; кластера «2» - для лиц женского пола: 18.5 - 19.11, для лиц мужского пола: 18.52 – 19.35 лет (рисунок 9).

Реализация метода SHAP с построением диаграммы важности признаков позволило оценить вклад каждого показателя в конечный результат. Наиболее значимыми оказались показатели FibulaR, затем - TibiaR и замыкает список FemurR. Высокие значения TibiaR больше всего сдвигают прогноз модели к старшему возрасту.

В результате проведения поисковых исследований диагностических значений (точек отсечения) и оценки информативности были получены следующие результаты.

FTF >2.71 для всей выборки (n=303) диагностическая точность показателя (Acc) 0.87 [95% ДИ 0.85-0.91], чувствительность показателя Se = 0.96 [95%ДИ 0.92-0.98], специфичность Sp = 0.85 [95% ДИ 0.83-0.92]. Была проанализирована эффективность и достоверность пороговых значений FTF для определения целевой группы (дифференцировки субъектов исследования на взрослых и несовершеннолетних) в зависимости от пола. Наилучшие показатели продемонстрировали значения FTF >2.17 для мужчин и FTF >2.5 для женщин. Среди 175 субъектов мужского пола – 167 были правильно классифицированы по FTF >2.17; при этом: диагностическая точность показателя (Acc) 0.95 [95% ДИ 0.91-0.97], чувствительность показателя Se = 0.95 [95% ДИ 0.89-0.97], специфичность Sp = 0.96 [95% ДИ 0.90-0.97]; PPV = 0.94 [95% ДИ 0.92-0.98]. У женщин из 128 участников – 115 были правильно классифицированы при значении точки отсечения FTF >2.5; при этом диагностическая точность показателя (Acc) 0.90 [95% ДИ 0.85-0.94], чувствительность показателя Se = 0.92 [95% ДИ 0.84-0.92], специфичность Sp = 0.88 [95% ДИ 0.87-0.97]; PPV 0.92 [95% ДИ 0.88-0.96]. (Таблица 1).

Таблица 1 – Показатели эффективности значения диагностического критерия определения целевой возрастной группы (>18 лет) FTF >2.17 для мужчин и FTF >2.5 для женщин

| Признаки        | TP | FP | FN | TN | Se                  | Sp                  | J                   | PPV                 | NPV                 |
|-----------------|----|----|----|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| мужчины (n=175) | 90 | 3  | 5  | 79 | 0.95<br>[0.89-0.97] | 0.96<br>[0.90-0.97] | 0.91<br>[0.82-0.95] | 0.96<br>[0.92-0.99] | 0.94<br>[0.85-0.95] |
| женщины (n=128) | 56 | 5  | 8  | 59 | 0.92<br>[0.84-0.92] | 0.88<br>[0.87-0.97] | 0.8<br>[0.71-0.88]  | 0.92<br>[0.88-0.96] | 0.88<br>[0.86-0.93] |

Проверка точности работы предложенных значений показателей на тестовой выборке подтвердила диагностическую значимость предложенных значений FTF.

При использовании  $FTF > 0.685$  в качестве точки отсечения возрастной группы лиц, достигших 14 летнего возраста  $Se=96\%$ ,  $Sp=72\%$  для всей выборки (AUC 0.83 [0.78-0.87],  $p=0.0001$ ). Для лиц мужского пола  $FTF > 0.655$  в качестве точки отсечения возрастной группы 14 летних  $Se=94\%$ ,  $Sp=71\%$  (AUC 0.83 [0.77-0.89],  $p=0.0001$ ); для лиц женского пола  $FTF > 0.500$   $Se=100\%$ ,  $Sp=75\%$  (AUC 0.83 [0.76-0.90],  $p=0.0001$ ).

Средний возраст субъектов 1 группы – 16.22 года, Me (медиана возраста) = 16.25 [15.33-17.06]; 2 группы (повышенная физическая активность) – 16.27 лет; Me (медиана возраста) = 16.25 [15.17-17.25]. Выполнено сопоставление возраста в исследовательских группах ( $p$ , Mann-Whitney) статистически достоверные различия не установлены ( $p=0,734$ ). Исследование метаэпифизарного сращения было выполнено в обеих группах с использованием полуколичественного и количественного методов. Статистически достоверных различий ( $p < 0,05$ ) между параметрами, характеризующими возрастную динамику синостозирования по данным КТ коленного сустава у субъектов группы 1 и группы 2, не установлено: FTF  $p=0.832$ ; FeR  $p=0.733$ ; TiR  $p=0.962$ ; FiR  $p=0.915$ ; СБ  $p=0.548$ .

Установлено, что исследуемые показатели, характеризующие костный (FeR, TiR, FiR) и зубной (38ИТМ, 48ИТМ) возраст имеют между собой корреляционную связь средней силы ( $r$  находится в пределах от -0,499 до -0,619,  $p=0.0001$ ). При использовании комбинации результатов количественной оценки стадий эпифизарного сращения ( $FTF > 2.71$ ) и значений  $38ИТМ < 0,08$ ;  $48ИТМ < 0,08$ ) для установления возрастной группы  $> 18$  лет чувствительность составляет 100%, специфичность - 95% (AUC 0.99 [0.99-1.00],  $p=0.0001$ ) для лиц обоего пола.

Полученные результаты доказали эффективность использования в работе алгоритмов машинного обучения для решения задачи классификации: определения целевой возрастной группы. В задаче бинарной классификации лучший результат продемонстрировала архитектура Resnet101, четырехклассовой – Densenet121; ансамблирование в обоих случаях улучшало показатели точности и полноты. Среднее гармоническое точности и полноты определения заданной возрастной группы ( $> 18$  лет) при бинарной классификации составляет 0,88, при четырехклассовой – 0,87.

Для получения более интерпретируемых, прозрачных сетевых решений реализован инновационный комплексный подход: одновременное применение и искусственных нейронных сетей, компьютерного зрения и четко формализованных математических процедур вычисления свойств эпифизарной пластины. Применение процедур компьютерной обработки изображения области эпифизарной пластины в пространстве и в каждом двумерном оптическом срезе на

основе технического (компьютерного) зрения позволяет минимизировать ложные результаты при оценке свойств эпифизарной линии и реализовать численное измерение геометрических свойств и косвенную оценку плотности эпифизарной пластины. Уникальный подход предлагаемой технологической интеллектуальной системы оценки возраста позволяет обеспечить рациональное принятие решения в условиях малого объема исходной выборки для обучения и максимально точного результата оценки возраста, описываемый также доверительным интервалом, то есть реализовать, математически корректное представление результат. Аналитическое обобщение результатов исследования использовано для построения алгоритма оценки возраста по данным КТ коленного сустава и структурно-функциональная организация интеллектуальной системы для его реализации (Рисунок 10).

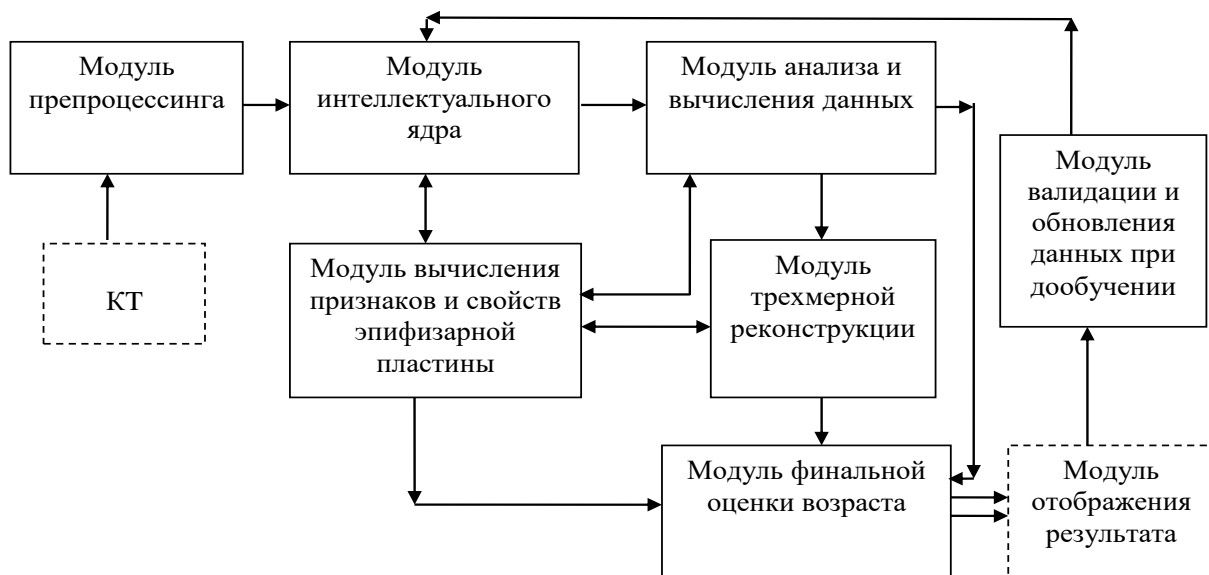


Рисунок 10 – Структурно-функциональная организация интеллектуальной системы оценки возраста

Внедрение современных цифровых технологий (интеллектуальный анализ данных, компьютерное зрение в комплексе с математическим инструментарием) позволит устранить недостатки в исследованиях при «ручной» оценке данных компьютерной томографии, касающиеся внутри и межэкспертной вариабельности, разночтения при определении стадий, повысить доказательную базу экспертных исследований.

Данная работа соответствует общегосударственному тренду социально-экономического развития – цифровая трансформация. Предложенное решение задачи по установлению возраста на основе искусственного интеллекта может использоваться в формировании цифрового контура в здравоохранении.

## **ВЫВОДЫ**

1. Экспертизы по установлению возраста живых лиц постоянно встречаются в судебно-медицинской практике, их количество имеет территориальную специфику; начиная с 2018 года, отмечается рост данного показателя, наиболее выраженный в ЦФО.

2. В основе возрастной динамики синостозирования дистального эпифиза бедренной кости, проксимальных эпифизов большеберцовой и малоберцовой костей определены следующие закономерности:

- стадии и количественные метрики сегментов эпифизарного синостоза коррелируют с возрастом, сила корреляционной связи суммарной оценки синостоза по трем костям больше, чем при отдельной;
- динамика синостозирования не зависит от физической активности;
- динамика эпифизарного синостоза имеет корреляционную связь с зубным возрастом (индексом третьего моляра) средней силы;
- у лиц женского пола синостоз наступает раньше (половой диморфизм);
- эпифизарный рубец не является информационно значимым признаком для прогнозирования возраста у лиц зрелого возраста (20-50 лет).

3. Разработанный метод количественной оценки сегментов метаэпифизарного соединения по данным компьютерной томографии коленного сустава характеризуется валидностью и доказывает принципиальную возможность использования нейросетевых технологий для решения задачи классификации: определения целевой возрастной группы по данным КТ коленного сустава с высокой прогностической точностью (0,87-0,88).

4. Диагностические критерии, отражающие возрастную динамику трансформации костно-хрящевых структур метаэпифизарных зон по данным КТ коленного сустава, положены в основу предложенного алгоритма установления возраста живых лиц и могут использоваться в комплексной судебно-медицинской диагностике возраста (установление целевой возрастной группы) для повышения воспроизводимости и объективности результатов.

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

Экспертная оценка возраста (целевой возрастной группы) является комплексной процедурой и должна включать:

- 1) исследование представленных документов,
- 2) сбор анамнеза (выяснить сведения о перенесенных заболеваниях, травмах колена, условиях жизни в прошлом и настоящем, учебе, работе, профессиональных вредностях, вред-

ных привычках, уточнить сведения о применяемых лекарственных препаратах, а также препаратах, повышающих работоспособность и которые могут повлиять на развитие, скелетный возраст);

3) осмотр подэкспертного (антропометрическое исследование: оценка физического (физиологического) развития, учет массы тела, роста, конституционального типа и половой зрелости; исключение видимых признаков заболеваний, травм и их последствий, которые могут повлиять на экспертную оценку; акцентировать внимание на области скелета, подлежащей оценке: не подвержена ли она хроническому перенапряжению и травмированию)

4) компьютерная томография коленного сустава:

– оценка наличия/отсутствия аномалий развития, патологических, травматических и посттравматических изменений, влияющих на возрастное развитие и итоговую оценку возраста;

– оценка синостозирования ДЭБК, ПЭБК и ПЭМБК полуколичественным (подсчет СБ) и количественным (расчет показателя FTF) методами;

5) рентгенографическое исследование зубного ряда (ОПТГ): расчет индекса третьего моляра справа (38ИТМ) и слева (48ИТМ);

6) итоговая экспертная оценка возраста.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Золотенкова Г.В., Гридина Н.В., **Золотенков Д.Д.** Место «молодости» в возрастных периодизациях. В книге: Внезапная смерть в молодом возрасте: факторы риска // Сборник тезисов Первой научно-практической конференции. – Москва, 2019. С. 9-11.

2. **Золотенков Д.Д.**, Огарев Е.В., Cameriere R. Оценка возраста МСКТ колена: предварительное исследование // Актуальные вопросы судебной медицины и экспертной практики – 2022: Материалы международного конгресса / под. ред. проф. В.А. Клеёного. – М.: Ассоциация СМЭ, 2022. С.84-85.

3. **Золотенков Д.Д.** МСКТ коленного сустава для оценки возраста: исследование российской популяции // Материалы 76-ой Международной научно-практической конференции студентов медицинских вузов и молодых учёных- Самарканд, 20-21 мая 2022 г. – С.615

4. Золотенкова Г.В., Герасимов А.Н., **Золотенков Д.Д.**, Ковалев А.В. Статистический анализ показателей медико-криминалистических подразделений бюро СМЭ в Российской Федерации // **Судебно-медицинская экспертиза**. 2022. Т.65. №5. С.5-10. [Scopus]

5. Kravchik MV, Zolotenkova GV, Grusha YO, Pigolkin YI, Fettser EI, **Zolotenkov DD**, Gridina NV, Badyanova LV, Alexandrov AA, Novikov IA. Age-related changes in cationic compositions of human

cranial base bone apatite measured by X-ray energy dispersive spectroscopy (EDS) coupled with scanning electron microscope (SEM) // *Biometals*. 2022 Oct;35(5):1077-1094.

6. **Золотенков Д.Д.**, Огарев Е.В., Валетов Д.К., Нефедова С.М., Золотенкова Г.В., Пиголкин Ю.И. Оценка возраста с использованием КТ коленного сустава и нейросетевых технологий // **Судебно-медицинская экспертиза**. 2023. Т.66. №4. С.34-40. [**Scopus**]

7. Полетаева М.П., Суворов А.Ю., **Золотенков Д.Д.**, Золотенкова Г.В., Пиголкин Ю.И. Судебно-медицинская диагностика возраста по методу Cameriere // **Судебно-медицинская экспертиза**. 2023. Т.66. №4. С.41-45. [**Scopus**]

8. Нефедова С.М., Новиков И.А., Кравчик М.В., **Золотенков Д.Д.**, Суббот А.М., Пиголкин Ю.И. Прогнозирование возраста на основании изучения элементного состава костной ткани с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии // **Судебно-медицинская экспертиза**. 2023. Т.66. №4. С.52-57. [**Scopus**]

9. Золотенкова Г.В., Макаров И.Ю., Минаева П.В., **Золотенков Д.Д.**, Полетаева М.П. Судебно-медицинская экспертиза по установлению возраста живых лиц в России: проблемные аспекты и пути решения // **Судебно-медицинская экспертиза**. 2023. Т.66. №5. С.11-17. [**Scopus**]

10. Scendoni R., Giuseppe C., Zolotenkova G., **Zolotenkov D.**, Rosamaria De Vivo, D'Aguanno G., Recchia L., Cameriere R. Medico-legal indicators and cut-offs in different age classes through quantitative analysis of epiphyseal fusion segments on knee CT scans // **Legal medicine**. 2023;(65):102318 [**Scopus, Web of Science**]

11. **Золотенков Д.**, Труфанов М., Солодовников В. Установление возраста индивидуума на основе анализа КТ коленного сустава с применением искусственных нейронных сетей и компьютерного зрения. Предварительные результаты // **Судебная медицина**. 2023. Т.9. №4 С.403-412. [**Scopus**]

12. Ломакин Ю.В., Золотенкова Г.В., Ходулапов А.В., **Золотенков Д.Д.** Становление и начальный этап развития судебно-медицинской антропологии в Московском университете // **Судебно-медицинская экспертиза**. 2023. Т.66. №4. С.73-76.

13. **Золотенков Д.Д.**, Труфанов М.И., Валетов Д.К. Использование искусственного интеллекта для оценки возраста на основе анализа КТ коленного сустава // **Актуальные вопросы судебной медицины и экспертной практики – 2023: тезисы X Юбилейного международного конгресса / под ред. проф. В.А. Клевно. – М.: Ассоциация СМЭ, 2023. – С. 121-122.**

14. Нефедова С.М., **Золотенков Д.Д.**, Мехоношина О.О. Оценка возраста с помощью рентгенографии коленного сустава. Систематический обзор и мета-анализ: предварительное исследование // **Актуальные вопросы судебной медицины и экспертной практики – 2023: тезисы X Юби-**

лейного международного конгресса / под ред. проф. В.А. Клевно. – М.: Ассоциация СМЭ, 2023. С.184-185.

15. **Золотенков Д.Д.** Оценка возраста с помощью рентгенограмм и КТ коленного сустава: сравнительное исследование // Актуальные проблемы судебной медицины: сборник научных трудов научно-практической конференции, посвященной 205-летию со дня рождения Д.Е. Мина. – Москва, 2023. – С.40-42.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ББК – большеберцовая кость

БК – бедренная кость

ДИ – доверительный интервал

ДЭБК – дистальный эпифиз бедренной кости

ИТМ – индекс третьего моляра

КТ – компьютерная томография

МБК – малоберцовая кость

МРТ – магнитно-резонансная томография

ОПТГ – ортопантограмма

ПЭББК – проксимальный эпифиз большеберцовой кости

ПЭМБК – проксимальный эпифиз малоберцовой кости

СБ – суммарный балл

СБП – суммарный балл персистенции

AGFAD – Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik – рабочая группа по судебно-медицинской диагностике возраста