

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПЕРВЫЙ МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
И.М. СЕЧЕНОВА МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (СЕЧЕНОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

На правах рукописи



Пиманчев Павел Вячеславович

**Моделирование опороспособности носовой перегородки методом реального
прототипирования (экспериментально-клиническое исследование)**

3.1.16 Пластическая хирургия

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
доктор медицинских наук,
профессор, академик РАН
Решетов Игорь Владимирович

Москва – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	12
1.1. Исторический экскурс и современные аспекты ринопластики.....	12
1.2. Современные методы ринопластики при утрате опорной функции перегородки	18
1.3. Ранние и отдаленные осложнения ринопластики: причины утраты опорной функции после ринопластики.....	27
1.4. Заключение	35
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	37
2.1. Характеристика экспериментального исследования.....	37
2.2. Свойства материалов и условия проведения экспериментов.....	41
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ МОДЕЛЕЙ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ ZWICK Z100.....	46
3.1. Техническая характеристика испытательной машины ZWICK Z100.....	46
3.2. Методика натурального эксперимента и сравнительный анализ экспериментальных моделей L-образных подпорок	49
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ L-ОБРАЗНОЙ ПОДПОРКИ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	58
4.1. Метод и характеристика установки БПУ ИМАШ КБ2	58
4.2. Результат экспериментального исследования поляризационно-оптическим методом	60
ГЛАВА 5. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ L-ОБРАЗНЫХ ПОДПОРОК В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS	64
5.1. Материалы и методы	64
5.2. Результаты сравнительного анализа экспериментальных моделей L-образных подпорок в программном комплексе ANSYS	65

ГЛАВА 6. КЛИНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НОСОВОЙ ПЕРЕГОРОДКИ МЕТОДОМ РЕАЛЬНОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ	69
6.1. Метод и техника реального прототипирования носовой перегородки в клинической практике	69
6.2. Результаты клинического использования моделирования носовой перегородки методом реального прототипирования	84
АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	100
ВЫВОДЫ	106
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	107
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	108
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	109

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Несмотря на современный прогресс пластической хирургии, послеоперационная утрата опороспособности костно-хрящевого скелета носа, остается одной из актуальных проблем хирургии носа. Число больных, нуждающихся в повторных корригирующих операциях, продолжает увеличиваться пропорционально количеству первичных оперативных вмешательств, а осложнения, связанные с утратой опороспособности костно-хрящевого скелета носа, занимают первые места в структуре обращаемости за повторными оперативными вмешательствами. По данным отечественной и зарубежной литературы частота повторных корригирующих операций с целью устранения осложнений, связанных с утратой опороспособности костно-хрящевого скелета носа, варьирует от 5 до 15% от общего числа повторных операций. К этим послеоперационным осложнениям относятся «клювовидная деформация» носа, «седловидная деформация» носа, девиации спинки носа и деформация в виде перевернутой буквы «V». Нередко такие осложнения могут потребовать нескольких повторных оперативных вмешательств с использованием ауто- и аллотрансплантатов для восполнения недостатка местных тканей. На сегодняшний день в отечественной и особенно зарубежной литературе представлен целый ряд исследований, посвященных осложнениям, связанным с избыточной резекцией опорных структур носа, и восстановлению опорных структур носа при вторичной ринопластике.

В качестве аналогов рассмотрены наиболее успешные оригинальные работы Bouaoud J. et al. (2018), а также Crosara P.F. et al. (2017).

Таким образом, к настоящему времени нет единых подходов к формированию «идеальной» конструкции носовой перегородки. В связи с этим попытка разработки реальной модели носовой перегородки позволит получить

новые знания для усовершенствования методик операций вторичной ринопластики.

Степень разработанности темы исследования

Первые задокументированные попытки повлиять на искривленную носовую перегородку появились еще в далеком 1757 году и постепенно претерпевали изменения методик. Попытки хирургического вмешательства на искривленной носовой перегородке не предпринимались вплоть до 1875, пока Adams не начал практиковать перелом и шинирование перегородки. Ingals в 1881 году прибег к более радикальной технике – удалению небольших треугольников искривленной части хрящевой перегородки вместе с слизистым лоскутом, которую назвал «окончатая резекция». В дальнейшем Krieg (1889), а затем и Voeninghaus (1890) усовершенствовали данную методику: резекции подвергалась вся искривленная часть перегородки, а в случаях более глубоких девиаций резекция включала в себя часть сошника и перпендикулярной пластины решетчатой кости. В начале XX века Freer (1902) и Killian (1904) предложили совершенно новый подход – подслизистую резекцию перегородки. Она сформировала основу современных техник. Эра современной септопластики берет свое начало в 40-х годах XX века. Cottle (1952), Goldman (1956) и Smith (1957) выявили недостатки метода подслизистой резекции и предложили более консервативное удаление костных и хрящевых структур перегородки носа. В дальнейшем Gubisch (1995) модернизировал предложенную в 50-е годы методику экстракорпоральной септопластики, которая подразумевала извлечение, ремоделирование, реконструкцию и имплантацию в заданном положении. Он предложил обязательную фиксацию перегородки в нижнем отделе к носовому отростку верхней челюсти и к треугольным хрящам в верхнем отделе.

Наиболее частым показанием для выполнения септопластики является нарушение носового дыхания, что зачастую связано с искривлением носовой перегородки. По данным литературы, частота деформации носовой перегородки

достаточно велика. У каждого взрослого человека в 96,5% случаев можно наблюдать искривление носовой перегородки в той или иной степени.

На сегодняшний день известны несколько основополагающих авторских хирургических методик, а также весьма солидное число их модификаций для исправления девиации носовой перегородки. В их основе лежат операции по Киллиану и Воячеку.

Согласно статистическим данным исследований зарубежных авторов, различные эстетические осложнения после септопластики наблюдаются в 22% случаев. При этом до 80% врачей не считают нужным обсуждать со своими пациентами возможные эстетические осложнения септопластики и не включают данный пункт в письменное согласие пациента на операцию.

Исторически сложилось такое мнение, что подслизистая резекция измененной хрящевой части перегородки и оставление L-образной подпорки шириной около 1 см не ведет к ослаблению или имеет незначительное влияние на опорную функцию структур носа.

Последние данные научных источников опровергают данную теорию и часто свидетельствуют об обратном. В частности, Mowlavi et al. (2006) сравнили на одиннадцати трупных материалах и высчитали средние значения толщины перегородки на всем ее протяжении. Оказалось, что наиболее тонким отделом перегородки является ее каудальная часть.

Оставшиеся дорзальная и каудальная часть перегородки под действием на нее различных сил: рубцевания, контрактуры кожного чехла и т. д., не способны обеспечить адекватную поддержку структур средней и нижней трети носа [27]. Это в дальнейшем может привести к таким эстетическим осложнениям как: седловидная деформация различной степени тяжести, потеря проекции кончика носа, ретракция колюмеллы, а также девиация кончика и спинки носа, вторичное нарушение носового дыхания.

Практическим обоснованием для выполнения диссертационного исследования является необходимость объективной оценки опороспособности различных конфигураций L-образной подпорки носовой перегородки, а также

применения модели-шаблона для забора пластического материала из хрящевой части носовой перегородки.

Цель исследования

Улучшить результаты реконструктивной ринопластики путем разработки предоперационной модели-шаблона для забора пластического материала из хрящевой части носовой перегородки.

Задачи исследования

1. Выяснить основные причины утраты опороспособности носовой перегородки после риносептопластики.
2. Изучить силовые характеристики хряща перегородки носа и подобрать адекватный синтетический материал для моделирования.
3. Разработать методику создания реального прототипа носовой перегородки.
4. Произвести перенос реального прототипа в виртуальную модель перегородки.
5. Апробировать методику прототипирования в клинике.

Научная новизна

Выявлены недостатки различных методик забора хрящевой части носовой перегородки при выполнении риносептопластики.

Разработана оптимальная модель для изучения опороспособности носовой перегородки.

Верифицирован материал, схожий по механическим свойствам с хрящевой частью носовой перегородки.

Проведено сравнение различных способов формирования хрящевого трансплантата из носовой перегородки.

Дана экспериментальная оценка и показана эффективность использования разработанного метода забора хрящевого трансплантата из носовой перегородки.

Усовершенствована методика моделирования за счет внедрения светооптических технологий и технологии компьютерного моделирования.

Теоретическая и практическая значимость

На основании сравнительного анализа проведенных экспериментов изучена опороспособность различных конфигураций L-образной подпорки после забора пластического материала из хрящевой части носовой перегородки.

Полученные данные наглядно демонстрируют точки напряжения, которые образуются в хрящевой части носовой перегородки после забора пластического материала.

Разработана модель-шаблон для интраоперационной разметки резецируемой части носовой перегородки, которая может быть индивидуально применена в качестве предоперационной репетиции у пациента.

Использование модели-шаблона повысит точность операции и поможет получить стойкий и предсказуемый результат.

Обучение моделированию носовой перегородки значительно повысит практические навыки хирургов.

Методология и методы исследования

Диссертационная работа была выполнена в соответствии с принципами и правилами доказательной медицины. В работе были использованы экспериментальные и клинические методы исследования. Исследование было разделено на 4 этапа:

1. Натуральное испытание групп экспериментальных моделей из 2-х различных материалов на аппарате ZWICK Z100.

2. Испытание экспериментальных моделей из оптически активного материала с помощью поляризационно-оптического метода на аппарате БПУ ИМАШ КБ2.
3. Сравнительный анализ экспериментальных моделей в программном комплексе ANSYS.
4. Клиническое применение метода реального прототипирования.

Предметом исследования явились клиническая и экспериментальная оценка опороспособности L-образной подпорки из хрящевой части носовой перегородки.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Разработанная экспериментальная модель является высокоточным инструментом для изучения опороспособности носовой перегородки.
2. Экспериментальный метод нагрузки на аппарате ZWICK Z100 может использоваться для изучения опороспособности носовой перегородки.
3. Поляризационно-оптический метод может использоваться для изучения напряжения возникающих в носовой перегородки при ринопластике.
4. Метод компьютерного моделирования в программном комплексе ANSYS может использоваться для изучения опороспособности носовой перегородки.
5. Разработанная методика прототипирования повышает качество и точность выполнения операции за счет внедрения в процесс лечения модели-шаблона.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность проведенного исследования определяется данными экспериментального исследования, а также клиническими результатами лечения 30 пациентов. Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации обоснованы результатами проведенного экспериментального и клинического исследования и не противоречат известным положениям наук, базируются на строго доказанных выводах, согласуются с известным опытом создания и совершенствования знаний. Работа выполнена на высоком

методологическом уровне с применением современного оборудования, соответствующего программного обеспечения, а также современных методов статистической обработки данных.

Основные положения диссертации были доложены на IV Национальном конгрессе «Пластическая хирургия» (4—5 декабря 2015 г., Москва), Конференции памяти Н.О. Миланова «Пластическая хирургия в России. Актуальные вопросы микрохирургии» (16—17 февраля 2017 г.), VIII Международном междисциплинарном конгрессе по заболеваниям органов головы и шеи (28—31 мая 2020 г.).

Апробация диссертационной работы проведена на заседании кафедры онкологии, радиотерапии и пластической хирургии и кафедры болезней уха, горла и носа Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (г. Москва, 24.12.2021, протокол № 13).

Внедрение результатов исследования

Результаты экспериментального исследования и практические разработки включены в лекционный курс и практические занятия на кафедре онкологии, радиотерапии и пластической хирургии Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет).

Личный вклад автора в выполнение работы

Личное участие автора в диссертационной работе основано на участии в экспериментальных исследованиях, выполнении оперативных вмешательств и оценке инструментальных методов диагностики. Подготовка клинического и архивного материала (использованы истории болезни 30 пациентов), обобщение полученных результатов и проведение анализа клинических показателей

пациентов проведено лично автором. Систематизация полученных данных и последующая статистическая обработка проведены лично автором.

Публикации

По результатам исследования автором опубликовано 7 работ, в том числе научных статей в журналах, включенных 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 наук – 3; статей в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus – 1; публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций – 3.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 3.1.16 – Пластическая хирургия, области наук: Медицинские науки, а также направлениям исследований согласно паспорту специальности.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав собственных исследований, анализа полученных результатов, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы. Диссертация содержит 119 машинописных страниц, 15 таблиц, 40 рисунков. Список литературы включает 110 наименований работ, из них 57 отечественных и 53 зарубежных авторов.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Пластическая и реконструктивная хирургия лица ввиду своей персонифицированной значимости задает высокие требования к эстетическому и функциональному результату. Это привело к значительному прогрессу в ряде областей, что позволило обеспечить не только прогнозируемые и высоко эстетичные результаты проводимого хирургического лечения, но и повысить качество жизни пациентов и их удовлетворенность лечением. Одной из таких областей является раздел ринопластических операций, так как их распространенность требует высоких стандартов оказания медицинских услуг [91].

1.1. Исторический экскурс и современные аспекты ринопластики

Стоит отметить, что первые упоминания о проведенных пластических операциях соотносят с древнейшей формой наказания убийц, насильников и неверных жен, а именно – с ампутацией носа [48]. Данный метод являлся наиболее действенным, так как, сохраняя человеку жизнь, делал его изгоем общества без права на восстановление. Первое засвидетельствованное упоминание о насильственной ампутации носа в мировой истории датируется 1500 годом до нашей эры, она была осуществлена в Индии [48]. После чего по указанию короля Индии была проведена первая в истории задокументированная операция по восстановлению носа [48,70].

В древнеегипетских папирусах, датируемых 3000 годом н. э., встречаются упоминания об оказании помощи при переломах костей носа. Основными используемыми материалами для фиксации и стабилизации костей носа являлись серебро и медь. Также использовались жесткие рулоны ткани, что послужило прообразом современной лангеты. В это же время предпринимались первые попытки коррекции врожденных деформаций носа [48,106].

Заложенные основы послужили отправными точками к дальнейшему развитию всех ринопластических операций вплоть до начала XIX века.

Закономерное усовершенствование методов восстановления ампутированного наружного носа за счет использования различных методов реконструкции, таких как индийский лоскут, итальянский лоскут и т. д., было неразрывно связано с именами великих хирургов того времени – Celsus, Galen, Tagliacozzi и других [48,109].

В 1828 году французский хирург Lisfrank, демонстрируя свой метод реконструкции носа, используя картонный шаблон для разметки, представил предоперационное планирование, которое доказывало важность учета топографических особенностей питающей сосудистой ножки лоскута для выполнения реконструкции носа [48,72].

Неоспоримый вклад в решение вопросов реконструктивных операций и, в частности, восстановления носа был внесен профессором Н.И. Пироговым. Его лекция «О пластических операциях вообще, о ринопластике в особенности», зачитанная в 1835 году, была тепло воспринята современниками, что в очередной раз вызвало интерес к данному вопросу.

Говоря об эстетической ринопластике, невозможно не упомянуть J.O. Roy, так как он впервые в мире описал методику эндоназальной хирургии, которая, в отличие от открытой методики, не оставляла рубцов в области носа [48].

В 1891 была опубликована работа, в которой он описывал необходимость развития методики подкожной ринопластики для уменьшения размеров носа, удаления горба спинки носа и изменения его профиля [48]. Стоит отметить, что автор неоднократно отмечал психологические проблемы, возникающие у пациентов ввиду физических дефектов.

Термин «ринопластика», который используется для обозначения всего блока пластических и реконструктивных операций в современном сообществе хирургов, был впервые применен Ferdinand Von Graefe. Он также был одним из разработчиков «бесперспективного» метода трансплантации тканей, что легло в основу современных представлений о пластической хирургии [101].

Существенный вклад в хирургию носа также внес R. Weir. Он предложил новый этап операции, который заключался в смещении костных структур носа вовнутрь, что позволяло уменьшить ширину его основания [48].

R. Weir был первым, кто использовал хрящ, полученный из каудальной части перегородки для коррекции опущенного кончика носа.

Стоит отметить, что данный метод значительно улучшил результаты эстетической ринопластики, что и способствовало дальнейшему развитию данного направления [48].

В свою очередь в 1934 году была опубликована статья A. Rethi, в которой он описывал возможности коррекции формы носа открытым доступом с использованием трансколумеллярного разреза, пересекая при этом медиальные ножки больших крыльчатых хрящей [48]. Однако данный метод вызвал неодобрение со стороны современников, так как приводил к утрате стабильности хрящевых структур в результате разрушения целостности хрящевой опоры [48,98]. Немного позднее A. Sercer усовершенствовал предложенную методику, соединив краевые разрезы с разрезом на колумелле, что позволило ему полностью обнажать спинку носа без нарушения целостности хрящевой опоры и выполнять коррекцию структур носа под прямым визуальным контролем [48,73].

Таким образом, хирурги того времени, занимавшиеся ринопластикой, стали отмечать необходимость не только более детального анализа предоперационной подготовки пациентов, но и усовершенствования методик септопластики. Значительный вклад в данный вопрос внесли M. Metzenbaum (1940) и M.H. Cottle (1970).

I. Padovan стал первым, кто ввел в практику методику подслизистой и поднадкостничной отслойки с использованием открытого доступа, а также предложил начинать любую коррекцию носа именно с септопластики [48]. В 1971 году был представлен его доклад «Открытый доступ в ринопластике», который подробно освещал данный вопрос. Принято считать, что именно это событие послужило толчком в развитии двух основных направлений в ведении любого

хирургического вмешательства по коррекции носа: «открытой» и «закрытой» ринопластике [66,68,93,100,101].

Как говорилось ранее, септопластика является одной из базовых составляющих эффективной хирургической коррекции носа. Вся суть данной манипуляции заключается в фразе М.Н. Cottle: «Как ведет себя перегородка, таким и будет нос».

Так, на сегодняшний день описаны многочисленные методы септопластики. Однако даже незначительные технические погрешности могут не только свести операцию к нулевому результату, но и привести к уродству. Следовательно, успешность операции, в том числе соблюдение передней носовой ости и поддержание опороспособности, зависит от знания и понимания основных анатомических ориентиров носа.

Как следствие своего закономерного развития на сегодняшний день современная хирургия носа занимается поиском и совершенствованием техник и методик проведения операций на носовой перегородке с целью сохранения или восстановления основных функций носа.

Заслуживает внимания работа китайских коллег, в которой было проведено перспективное одноцентровое исследование пациентов с симптоматической носовой обструкцией. Техника операции включала методы выделения мукоперихондриального и слизисто-надкостничного лоскутов с двух сторон без рассечения четырехугольного хряща перегородки. Такая техника получила название «круговой» [78]. По результатам исследования было выявлено, что у 85% пациентов отмечалось улучшение дыхания после операции, и никто из пациентов не высказывал каких-либо критических эстетических замечаний. Таким образом, данная методика зарекомендовала себя как эффективная и безопасная в исправлении девиаций перегородки, особенно при наличии прогибов.

Антропометрические параметры носа являются не только одним из параметров индивидуальности человеческого лица, но и принимают участие в обеспечении дыхательных и органолептических функций организма. Являясь наиболее выдающейся точкой на лице, носу необходима надежная опорная

структура, которую ему обеспечивает носовая перегородка. По ряду патогенетических причин эта опора может быть нарушена, что влечет за собой ее деформацию. К таким причинам относят врожденные аномалии, травматические, ятрогенные, инфекционные и дегенеративные факторы, а также злоупотребление медикаментозными препаратами местного применения, сосудосуживающими средствами и недавно обнаруженные побочные эффекты химиотерапевтического лечения [90].

Выделяют несколько типов перфорации в зависимости от размера и типа хрящевого или костно-хрящевого дефицита, а также местоположения:

- переднее;
- среднее;
- заднее.

Стоит отметить, что большинство хирургических методик закрытия перфорации неприменимы для отверстий малого и среднего размера, тогда как закрытие больших отверстий не всегда может быть обеспечено технически [57].

Важно понимать, что комбинированные приобретенные деформации лицевого скелета и носа, в частности, представляют наиболее значительные изменения его формы и особенно часто сопровождаются выраженными стойкими функциональными нарушениями [8,37].

Одним из наиболее частых показаний к ринопластике являются травмы костного аппарата носа, распространенность которых колеблется в пределах 34—96,2%. Для устранения этих дефектов с успехом применяется в том числе и эндоскопически ассистированная подслизистая септопластика, которая нивелирует необходимость вторичной риносептопластики [59].

Остается открытым вопрос об оправданности применения риносептопластики в педиатрической практике. В Македонии при обследовании 97 детей в возрасте 6—14 лет, которым была проведена риносептопластика и оценивали ее отдаленные последствия в течение 10 лет с 2006 по 2016 год, выяснили, что раннее исправление дефектов носа минимизировало отсроченные осложнения и снижало риск повторной ринопластики.

Основным параметром при проведении подобного лечения было сохранение центров роста носа, что благотворно сказывалось на формировании хрящей носа у пациентов в дальнейшем [80]. Эти данные были подтверждены и другими исследованиями, проведенными при анализе медицинской документации 202 детей в возрасте от 4 до 16 лет [85].

Еще одним немаловажным разделом современной ринопластики являются операции по феминизации лица в силу половых антропометрических особенностей [65].

До сих пор остается открытым прогноз результатов ввиду сложности и асимметричности морфофункционального и анатомического строения носа, а также учитывая его эстетические особенности [3]. По данным различных исследователей, частота тяжелых осложнений при ринопластике колеблется в диапазоне от 1,7 до 18% случаев, но чаще остается в пределах 4—5% [44,77,88]. Таким образом, вторичная послеоперационная деформация носа, различная по происхождению, степени выраженности и локализации встречается в 5,75% случаев и, как правило, является прямым показанием к повторному хирургическому лечению, так как является не только эстетически неприемлемой, но и влечет серьезные функциональные нарушения. Следует обратить внимание на то, что по данным зарубежных коллег проведение ревизионных хирургических вмешательств составляет от 11 до 34% [105]. По данным К.П. Пшенисного в России необходимость ревизионных вмешательств после ринопластик и риносептопластик составляет от 8 до 19% [46].

Так, основными показаниями для ревизионной (вторичной) ринопластики являются [12]:

- функциональные и эстетические нарушения, сопровождающиеся затруднением носового дыхания;
- сколиоз спинки носа;
- остаточная горбинка;
- асимметричность кончика носа;

- другие типичные постринопластические синдромы.

Проведение статистического анализа психологических реакций и ожиданий от лечения у пациентов, которые являлись кандидатами на ринопластику, выявило, что:

- 39,8% пациентов полагали, что после риносептопластики они будут чувствовать себя более уверенно;
- 29,63% ожидали глобальных жизненных изменений;
- 8,3% считали, что окружение будет вести себя с ними по-другому [80].

Таким образом, изначальное достижение взаимопонимания между пациентом и хирургом обеспечивало не только наилучшие результаты лечения и выбор адекватного метода оперативного пособия, но и гарантировало снижение риска осложнений в послеоперационном периоде. Стоит отметить, что отечественные коллеги неоднократно выступали в своих публикациях с инициативой психологического сопровождения пациентов при проведении ринопластики на всех этапах хирургического и реабилитационного периодов [34].

Не секрет, что за последнее десятилетие отмечается неукоснительный рост и популяризация ринопластики по всему миру [48]. Этот факт отражает не только потребность в данном виде вмешательства, но и свидетельствует о необходимости улучшения методик оперативного вмешательства, проводимого хирургами, что влечет за собой детальное понимание процесса [48,95].

1.2. Современные методы ринопластики при утрате опорной функции перегородки

Как говорилось ранее, все современные хирургические доступы ринопластических операций можно разделить на «закрытые» и «открытые». Основой для «открытой» ринопластики послужили работы I. Padovan, A. Secker, тогда как неоспоримый вклад в развитие «закрытой» ринопластики внесли J. Joseph и A. Роус внедрением эндоназальных оперативных техник.

Выбор той или иной методики всегда осуществляется индивидуально, в зависимости от сложности клинической ситуации, наличия в анамнезе проведенных ранее хирургических коррекций носа, опыта хирурга и требований, предъявляемых пациентом к окончательному результату работы. Стоит отметить, что проводимые исследования доказали отсутствие статистически значимой разницы в качестве проводимого лечения в зависимости от выбора методики [2,31,54,60,66,73].

Не теряет своей актуальности вопрос поиска оптимальных методик, гарантирующих предсказуемый результат с первой коррекции [58]. Большинство авторов сходятся во мнении, что получение предсказуемых результатов ринопластики возможно при проведении открытой ринопластики [27], так как данная методика позволяет хорошо визуализировать процесс операции. Однако данная методика сопряжена с большей травмой, что может повлечь нежелательные последствия. В свою очередь, при выполнении закрытой ринопластики получение предсказуемых функциональных и эстетических результатов возможно у сравнительно малого числа больных, особенно при повторных вмешательствах [27]. По статистическим данным лишь 5—7% пациентов остаются полностью удовлетворены результатами оперативного лечения, тогда как в иных случаях требуется вторичная ринопластика [1].

Основной сложностью повторного хирургического вмешательства являются рубцово-измененные ткани, нарушение анатомических структур и скудный объем пластического материала. Стоит учитывать тот факт, что наличие рубцов, а также нарушение архитектоники носа могут существенно затруднять первичные этапы подготовки операционного поля, что снижает возможности для полноценного проведения реконструктивного вмешательства.

Существует ряд основных принципов, которые должны быть учтены при повторном проведении ринопластики. В первую очередь, хирургу необходимо устранить возникшие патологические изменения, восстановить опорную функцию носовой перегородки и привести ее отклоненные части в их естественное положение [27]. Целью разрезов и дальнейшего препарирования тканей является

полная экспозиция нарушенных структур носовой перегородки. Однако не стоит забывать, что слизистая оболочка является ценным органом носа, и от ее сохранности будет зависеть исход хирургического вмешательства, поэтому необходимо бережное к ней отношение. Примечательно, что в отношении способов устранения деформации перегородки носа взгляды хирургов весьма разнообразны [27].

В недалеком прошлом для восстановления проходимости носовых путей и исправления искривления носовой перегородки активно использовалась методика широкой резекция ее костной и хрящевой части с высоким риском возникновения функциональных и эстетических осложнений [27].

Самой известной среди описываемых методик является «резекция по Киллиану» при которой рекомендовалось сохранение L-образной подпорки шириной не менее 1,5 см в дорсальной и каудальной частях четырехугольного хряща носовой перегородки [20, 27]. Данный технический аспект был необходим для прогнозируемого эстетического и функционального результата [27].

Несколько десятилетий спустя Metzenbaum, Peer, Huffmann и Lierle предложили проведение более консервативной септопластики с использованием септального трансплантата [21,27]. В 1958 году М.Н. Cottle внедрил максиллярно-премаксиллярный доступ, основанный на максимальном сохранении слизистой оболочки, недопустимости круговых разрезов и замене костных и хрящевых фрагментов для реконструкции перегородки [27].

На сегодняшний день наиболее популярной методикой является экстракорпоральная реконструкция перегородки, основанная на частичной резекции хрящевой перегородки при сохранении каудального L-лоскута размером примерно 0,5 см в высоту. Данный метод начал внедряться в практику в середине 50-х годов с работ Hardy C., Goga D. [53]. Он явился хорошей альтернативой предлагаемым ранее методам, особенно при повторных вмешательствах, а также сильных отклонениях перегородки. При данной методике хрящевая, а, при необходимости, и костная часть носовой перегородки удаляются одним блоком, после чего удаленная перегородка исправляется в соответствии с имеющимися

деформациями различными методами (путем нанесения насечек, стягивающих швов, шинированием с использованием аутоотрансплантатов), а далее происходит ее рефиксация [10,27].

Структурная поддержка при данном методе септопластики достигается без дестабилизации трапецеидальной области [94]. Таким образом, на сегодняшний день данная методика зарекомендовала себя как минимально инвазивный метод улучшения носовой перегородки как эстетически, так и функционально. Однако этот метод имеет ряд ограничений для пациентов с «крючковатым носом», вызванным деформацией носовых костей, латеральными хрящами и тяжелой деформацией перегородки [110].

В настоящее время, учитывая общепризнанный факт опорной функции перегородки и возможность ее применения как хондропластического материала, хирурги чаще прибегают к максимально консервативным методам.

Завершающим этапом реконструкции носовой перегородки является замещение и фиксация резецированного костно-хрящевого блока в сформированном слизистом перегородочном кармане. Стоит отметить, что именно на этом этапе могут сформироваться основные осложнения, которые могут повлечь за собой повторное хирургическое вмешательство. Так, потеря дорзальной или каудальной опороспособности носовой перегородки, обусловленная недостаточностью перегородочного хряща, может привести к седловидной деформации с втягиванием колумеллы и утратой опорной функции кончика носа [81].

На сегодняшний день активно идет работа, направленная на поиск хирургических методик, ассоциированных с меньшим риском возникновения эстетических осложнений вследствие потери опороспособности носовой перегородки. Так, классическая методика операции Киллиана, остающаяся одной из самых распространенных в современной ринопластике, все меньше удовлетворяет хирургов, так как имеет ряд нежелательных последствий, ограничивающих ее использование. В частности, в послеоперационном периоде часто возникает флотация носовой перегородки с последующим развитием

дегенеративно-дистрофических процессов в слизистой оболочке, формируются перфоративные отверстия, возникает атрофия слизистой оболочки с образованием корок, происходит затруднение носового дыхания и гиперплазия носовых раковин. Отметим, что повторные операции после данного хирургического метода технически сложно выполнимы [22,30,61]. Поэтому классическая операция Киллиана, несмотря на подробную методику выполнения, не должна применяться по шаблону [22,76].

Проведенные ранее исследования подтверждали мнение о том, что подслизистая резекция измененной хрящевой части перегородки и оставление L-образной подпорки шириной около 1 см не ведет к ослаблению или имеет незначительное влияние на опорную функцию структур носа. Однако последние полученные данные опровергают данное мнение, что подтверждалось ранее в единичных работах [5,26]. В частности, А. Mowlavi (2006) провел исследование на трупном материале для вычисления средних значений толщины перегородки на всем ее протяжении. Оказалось, что наиболее тонким отделом перегородки является ее каудальная часть. Таким образом, оставшиеся дорзальная и каудальная части перегородки после проведенной резекции под воздействием неблагоприятных факторов (рубцевания, контрактуры кожного чехла и т. д.) не способны обеспечить полноценную поддержку структур средней и нижней третей носа, что в дальнейшем может привести к таким эстетическим осложнениям [27,46,107], как:

- седловидная деформация различной степени тяжести;
- потеря проекции кончика носа;
- ретракция колумеллы;
- девиация кончика и спинки носа;
- вторичное нарушение носового дыхания [46].

К.Б. Липский и его соавторы указывают на тот факт, что традиционно подслизистая резекция перегородки носа выполняется с оставлением хрящевой подпорки L-образной формы. Эту конструкцию можно представить в виде двух

прямых, которые имеют сочленение под прямым углом и образуют треугольный (клиновидный) вырез перегородки. Наличие двух линий разреза (образование клиновидного выреза) приводит к появлению точек концентрации напряжения, которое усиливается при воздействии внешних сил на данную конструкцию и наиболее сильно выражено в местах сопряжения линий и граничащих с ними областях. Закономерно, что подобная нагрузка способствует образованию трещин и переломов, которые в итоге могут привести к деформации всей конструкции. В свою очередь, использование непрерывной линии разреза полукруглой формы исключает наличие угловых точек, что позволяет равномерно распределять напряжение по всей длине выреза. Также при использовании полукруглого выреза остается большее количество хрящевой ткани, препятствующей деформации конструкции перегородки под внешним воздействием. При этом сила напряжения рассеивается более равномерно по всей длине выреза, не образуются зоны с резкой концентрацией максимального напряжения, которое может привести к разрушению хрящевой конструкции [27]. Таким образом, по мнению авторов, равномерное распределение сил, действующих на перегородку, снижает риск возможных эстетических осложнений, связанных с нарушением ее опороспособности [10,27].

Учитывая возникающие осложнения, на современном этапе хирурги отдают предпочтение «минимально инвазивной хирургии» при коррекции деформации носовой перегородки [11]. Однако, несмотря на широкое использование щадящих способов септопластики по В.И. Воячку и М.Н. Коттле и их модификаций, избежать подслизистых резекций перегородки носа, которые оставляют значительные дефекты в ее хрящевом и костном отделах, не удастся [39].

В работах В.В. Диденко и его соавторов (2011) был проведен детальный анализ факторов, влияющих на возникновение дефектов носовой перегородки. Авторы выяснили, что флотация перегородки зависела не только от площади резецированного остова, но и от его формы, направленности и локализации. Так, при площади резекции остова перегородки, занимавшей хрящевой и костный отделы в пределах 6—6,5 см² и приближавшейся по форме к кругу или квадрату,

флотация наблюдалась всегда, а при той же площади резекции, но имеющей форму прямоугольника, расположенного параллельно дну полости носа, флотации не наблюдалось [12]. Также было отмечено, что при совпадении длинника дефекта остова с направленностью потока вдыхаемого воздуха, флотация почти всегда наблюдалась при вдохе. При горизонтальном характере дефекта, занимавшего нижние отделы перегородки, флотация возникала чаще всего на выдохе через нос. При овальной форме или форме, приближенной к кругу более 3 см в диаметре, захватывающей хрящевую и костную части остова перегородки, флотация наблюдалась как при вдохе, так и выдохе.

Сегодня многие хирурги, занимающиеся устранением деформаций носовой перегородки, зачастую прибегают к одномоментному восстановлению резецированного остова, используя различные пластические материалы биологического и небιологического происхождения [27].

Проведенный анализ литературы показывает, что основные подходы к восстановлению опороспособности перегородки носа можно разделить на два направления. С одной стороны, для этих целей используют различные биологические материалы: аутотрансплантаты [21,61], гомотрансплантаты и гетеротрансплантаты [74]. С другой стороны, одновременно с использованием биологических трансплантатов идут работы по использованию аллопластических материалов [27].

Естественно, аутопластический метод наиболее физиологичен, так как только при нем можно говорить об истинном приживлении трансплантата, однако существует возможность резорбции аутогенного трансплантата и необходимости повторной операции [27].

Несомненно, заслуживает отдельного внимания использование гомотрансплантатов и гетеротрансплантатов, так как данная методика позволяет обеспечивать неограниченные возможности заготовки пластического материала [27].

В последнее время наиболее часто стали использоваться аутохрящевые графты [27,83,102,103]. Основными их источниками являются перегородочный

хрящ, ушная раковина, реберный хрящ и цефалические фрагменты больших крыльных хрящей. Одним из специфических осложнений применения хрящевых аутографтов является повышенная степень резорбции, которая значительно ухудшает либо сводит на нет результаты операции [27,97]. Перспективным с точки зрения профилактики резорбции аутографтов является использование васкуляризированных несвободных аутохрящевых трансплантатов (ВНАХТ) [18,27]. К преимуществам данных видов трансплантатов можно отнести оптимизацию процессов заживления и хороший эстетический и функциональный результат ринопластики [27].

М.И. Жуковым и его соавторами (2011) были предложены варианты применения ВНАХТ из каудального отдела четырехугольного хряща (КО ЧХ) и цефалических отделов латеральных ножек большого крыльного хряща (ЦО БКХ) [18]. Основой их васкуляризации служит SMAS носа с сосудистой сетью, которая органически связана с надхрящницей указанных хрящей [27].

По данным исследователей использование ВНАХТ ЦО БКХ в сравнении с использованием свободных аутохрящевых трансплантатов (САХТ) при открытой ринопластике уменьшает относительный риск развития осложнений, в частности резорбции в отдаленном послеоперационном периоде на 78,8% [27].

Отдельно стоит обратить внимание на работы В.С. Куницкого (2008), который предложил использовать при септопластике трикотажный материал для восстановления костных и хрящевых структур с покрытием из биоактивного материала в виде слоя истонченной и перфорированной пластины аутохряща, смоделированной из извлеченных деформированных фрагментов хряща перегородки носа. Согласно данным авторов, при использовании описываемой методики повышается прочность и опорная функция перегородки носа, тем самым снижается риск развития послеоперационных осложнений [24,27].

Однако тканей собственно носовой перегородки при реконструкции не всегда достаточно для пластики спинки носа, а ткани, взятые из других участков организма, всегда связаны с дополнительной операцией и психической травмой, на что неохотно соглашаются пациенты. В этом плане перспективным является

применение гомохряща из носовой перегородки при условии его надежной консервации [27,32].

К основным недостатками хрящевого и костного аутотрансплантатов (реимплантатов) можно отнести их слабую приживляемость, чувствительность к инфекциям, рассасывание, неустойчивость и возможность формирования вторичной деформации перегородки носа [27].

В свою очередь костные и хрящевые аллотрансплантаты, чувствительные к нагноению и секвестрации, являясь чужеродной тканью, подвергаются резорбции [27].

В исследовании J.H. Wee et al. (2017) сравнили клинические результаты и провели анализ гистологических свойств хряща после ринопластики с применением аутологичного реберного трансплантата и облученного гомологичного реберного хряща. Было выявлено, что пациенты, которым проведена ринопластика аутоотканями, были более удовлетворены эстетическим результатом проведенной операции, а также в этой группе намного реже наблюдалось рассасывание трансплантата. В гистологическом отношении аутогенный реберный хрящ также имел преимущество перед гомологичным трансплантатом, так как при его микроскопии обнаруживалось большее содержание хондроцитов, коллагеновых волокон и протеогликана. Таким образом, по мнению исследователей, аутологичный реберный хрящ является идеальным материалом трансплантата [108].

История применения аллопластических материалов насчитывает уже более 100 лет. Одними из первых пластических материалов для исправления седловидной деформации носа были кремень, стекло, каучук, сталь, золото, серебро, платина, слоновая кость и другие материалы. В течение длительного времени отношение к использованию аллоимплантатов оставалось сдержанным, а порой и отрицательным из-за неудачных попыток их использования [27,71,84]. Однако с развитием химической промышленности стали появляться вещества, не существовавшие до того в природе и удовлетворяющие высоким запросам хирургов. Некоторые из полимеров, введенных в организм, «приживались»

значительно чаще и лучше ранее известных веществ, вызывая незначительную местную реакцию и не оказывая вредного воздействия на живой организм. Все это побудило хирургов к применению полимеров для аллопластики при восстановительных операциях [27,63].

Преимущество использования синтетических материалов, несомненно, связано с тем, что больному в связи с забором материала не наносится дополнительная травма, при этом материалу легко придается нужная форма до или во время операции. Однако стоит отметить, что при применении синтетических материалов остается высокий риск к инфицированию или вывихиванию материала [27,86].

Развитие трикотажного производства дало определенные надежды на внедрение в ринопластику химически чистых, биоинертных, достаточно упругих и прочных, оптимально пористых имплантатов, в которые могли бы беспрепятственно проникать в собственные ткани органов. Трикотажный способ находится вне конкуренции с другими текстильными процессами производства сетчатых полотен. Кроме того, трикотажное полотно имеет весьма ценные физические и механические свойства, которые могут изменяться в широких пределах [27,69].

Таким образом, применение новых технологий в ринопластике представляется перспективным направлением развития и позволяет значительно повысить эффективность операций за счет снижения процента остаточных и повторных деформаций носа [27,33].

1.3. Ранние и отдаленные осложнения ринопластики: причины утраты опорной функции после ринопластики

Систематический анализ литературы репрезентативного исследования об осложнениях и рисках их развития при первичной операции показал, что общая частота ранних послеоперационных осложнений составила 0,7%. Самым частым из них являлась гематома (включая кровотечения из носа или подслизистую гематому

в области перегородки носа) – 0,2% – и осложнения, связанные с работой дыхательной системы – 0,1%. Также было установлено, что пациенты в возрасте более 40 лет имеют относительный риск для любого серьезного осложнения. Исходя из этих данных, авторы сделали заключение, что частота ранних послеоперационных осложнений ринопластики считается низкой и не является значимой причиной отказа от операции [48,82].

Как говорилось ранее, при анализе данных отдаленных осложнений после ринопластики становится очевидным тот факт, что ринопластика является одной из самых малопредсказуемых операций в пластической хирургии [48].

В своих работах Сахокия Н.З. и соавторы (2013) проанализировали и выявили самые частые из всех возможных отдаленных осложнений ринопластики и разделил их на эстетические и функциональные [47,48].

К эстетическим осложнениям относят:

- «клюв попугая» или «pollybeak» (61,9%);
- синдром «открытой крыши» или «openroof» (62,5%);
- «перевернутая V-образная деформация» (22,5%);
- ретракция колумеллы (27,5%);
- «сдавленный нос» или «pinchednose» (15%) [48].

Из функциональных проблем преобладали:

- искривление перегородки носа (90%);
- дисфункция носового клапана (70%);
- синехии полости носа (7,5%);
- перфорация перегородки носа (2,5%) [48].

Таким образом, полученные авторами данные свидетельствуют о том, что отрицательные эстетические и функциональные проблемы встречаются часто после повторной ринопластики, однако все они имеют схожие проявления, которые можно нивелировать путем тщательной предоперационной подготовки и улучшения качества выполняемых манипуляций [3, 6, 8, 9, 13,48].

По данным анализа Т.А. Алексаняна и Е.В. Казанцева (2017) можно заключить, что количество вторичных риносептопластик прямо пропорционально зависит от числа проведенных первичных операций в области носа [2, 19, 25, 31, 35,48].

Так, по данным сравнительного метаанализа литературы, было выявлено, что процент повторных операций при первичной открытой риносептопластике составил 2,73%, тогда как при закрытой – 1,56% вне зависимости от методики проведения операции [48,67].

Ю.Ю. Русецкий (2015) провел исследование функциональных параметров дыхания у пациентов, которые перенесли эстетическую ринопластику в период с 2009 по 2014 год. По результатам исследования автором была обоснована необходимость адекватной коррекции анатомии и функции клапана носа в ходе выполнения эстетической ринопластики [46,48].

Стоит отметить, что искривление носовой перегородки зачастую не только вызывает затруднение носового дыхания, но и нарушает внешний вид наружного носа. Нередко их тесная взаимосвязь между деформированным наружным носом и носовой перегородкой делает невозможной их отдельную коррекцию [10,50].

Особое внимание при первичной ринопластике следует уделить состоянию дыхательной системы, так как ее несостоятельность провоцирует риск послеоперационных осложнений.

По проведенному анализу после первичного оперативного вмешательства на перегородке пациенты предъявляют жалобы на:

- предоперационную обструкцию дыхательных путей (65 %);
- асимметрию в верхней части (33%);
- асимметрию ноздрей (18%);
- общую асимметрию (14%).

Тогда как при осмотре хирург обращает внимание на:

- асимметрию спинки (65 %);
- ширину спинки (47%);

- асимметрию ноздрей (41%);
- горбинку (30%).

Таким образом, хирург видит значительно больше носовых деформаций, чем сам пациент, особенно в следующих областях:

- асимметрия спинки (65% против 33%);
- ширина спинки (47 % против 13%);
- асимметрия ноздрей (41% против 18%);
- горбинка (30 % против 9%);
- выступ колумеллы (25% против 6%) [10,88].

Среди наиболее частых причин повторного обращения пациентов для коррекции носа можно выделить наличие девиации кончика и/или спинки носа, седловидные деформации и нарушение носового дыхания [10]. Подобные состояния являются следствием потери опороспособности носовой перегородки при чрезмерной ее резекции и/или недостаточной фиксации в проекции срединной линии. Перечисленные выше методические погрешности во время операции могут являться следствием неполного предоперационного обследования пациента, не верифицированного диагноза, нечеткого предоперационного планирования и выбора неверной методики [10].

Как уже говорилось ранее, септопластика и подслизистая резекция, по Cottle и Killian, часто включают в себя резекцию перегородки и хряща с последующим изменением или размещением хрящевого трансплантата вместо резецированного. Самым большим недостатком этих методов является неудовлетворительная коррекция в каудальном направлении. По опыту авторов эти классические методы септопластики не подходят для колумеллярных отклонений и девиаций спинки носа, особенно при внутренней коррекции носового клапана с хрящевыми трансплантатами. В данном случае септопластика становится ключевой для исправления внешних дефектов носа. Именно поэтому носовая перегородка заслуживает внимания не только при функциональной, но и при эстетической хирургии [104].

К. Liong с соавторами поставили целью своего исследования детальный разбор биомеханики септальной деформации вследствие потери ее опорной функции. Авторы обнаружили, что, несмотря на воздействие на носовую перегородку нагрузок с разных сторон, возможны всего три формы деформации:

- наклонное положение;
- С-образная перегородка;
- S-образная перегородка.

Наличие данных паттернов напрямую согласовывается с клиническими наблюдениями. Так, возникновение наклонной перегородки ассоциировано с воздействием наименьшей силы, С-образной формы — с умеренной силой, S-образной формы — с высокой силой. Это клинически важная информация, позволяющая просчитать модель внутреннего перелома носовой перегородки, и, в соответствии с полученными данными, проводить реконструктивные вмешательства с целью создания прямой носовой перегородки [105].

Существует множество классификаций искривлений перегородки носа, в которых основной акцент делается на характеристику формы ее искривления: шип, гребень, S-образная, С-образная, канавка, турецкий ятаган, бугор и так далее [40].

Г.С. Протасевич (1979) выделял три степени выраженности деформации перегородки носа, в то время как R. Mladina, L. Bastaic (1997) приводят семь типов искривления [41, 89]. В свою очередь А.С. Лопатин (1994) предложил свое видение вопроса, так как считал имеющиеся классификации недостаточно удобными и точными [30,38]. Автор выделил пять видов деформаций перегородки носа, при этом подчеркивал, что посттравматические деформации перегородки носа ввиду причудливой формы сращения многооскольчатых переломов с острыми углами и линиями излома не укладываются для систематизации в описанные им виды. При этом автор отмечает, что посттравматический изгиб четырехугольного хряща, как правило, располагается не столько в горизонтальной, сколько в вертикальной плоскости [38].

По локализации А.Е. Белоусов (2010) выделил деформации перегородки носа по следующим разделам:

- деформации среднего и заднего отделов;
- переднего отдела;
- всего отдела (С-образные и S-образные) [4,38].

Наиболее актуальной на сегодняшний день является классификация, предложенная В.С. Пискуновым (2009), которая учитывала морфологию процесса [40]:

- I тип: были включены состояния, сопровождающиеся различной степенью сужения носового канала. Степень девиации каудального края четырехугольного хряща от медиального положения может варьироваться от закрытия угла носового клапана до полной его блокады;
- II тип: были включены деформации перегородки, граничащие краниальным краем четырехугольного хряща и с перпендикулярной пластинкой решетчатой кости. Утолщение перегородки при этом имеет Ф-образный вид. Такого вида деформация располагается впереди остиомеатального комплекса, блокирует общий носовой ход, закрывает среднюю носовую раковину [40];
- III тип: характерен наличием деформации перегородки в области соединения перпендикулярной пластинки решетчатой кости и сошника, проявляющееся формированием гребня, по вершине которого проходит хрящевая пластинка. Гребень возвышается каудально и, доходя до заднего конца нижней носовой раковины, вызывает обструкцию общего носового хода и хоаны. При этом типе деформации закрывается просвет общего носового хода, перегородка приобретает двухслойное строение;
- IV тип: деформации перегородки в задних отделах в месте соединения клиновидного клюва с перпендикулярной пластинкой решетчатой кости. Этот тип можно увидеть только при эндоскопическом исследовании задних отделов полости носа, когда выявляется смещение перегородки от средней линии – она прижимается к верхней носовой раковине, иногда – к заднему концу средней носовой раковины. Смещение перегородки от средней линии в этом отделе приводит к блокаде соустья клиновидной пазухи в узкой половине свода полости

носа и развитию изолированного сфеноидита. Вероятно, этот тип деформации развивается при избыточном распространении клиновидной пазухи кпереди в сторону перегородки носа, что приводит к смещению перпендикулярной пластинки решетчатой кости в ту или иную сторону;

- V тип: является сочетанной деформацией перегородки. Стоит отметить, что наиболее часто выявляется сочетание I и II, III и IV типов деформации [40].

Таким образом, различные нарушения архитектоники полости носа отмечаются у большинства пациентов со стойкими деформациями наружного носа, одной из наиболее частых форм которых является сколиоз. Его коррекция – одна из сложнейших проблем в хирургии носа. Хирургу необходимо не только улучшить форму носа, но и восстановить его физиологические функции. В связи с этим при предоперационном обследовании таких пациентов кроме анализа формы наружного носа обязательным условием является оценка патологических изменений носовой перегородки и внутриносовых структур [36,45].

В ходе пластики носовой перегородки нередко сохраняется или формируется септальная L-образная подпорка, имеющая форму L-образного хрящевого распорного элемента в дорсальной и каудальной областях носа. Основной задачей при этом является обеспечение структурной устойчивости и выпрямление носовой перегородки [45]. Деформация или чрезмерное искривление L-образного страта может стать причиной функциональных или эстетических осложнений, таких как искривление носа, смещение кончика носа, седловидная деформация и недостаточность носового клапана. Деформации в виде искривления или перекоса септального L-образного страта представляют собой механическую и структурную проблему [45]. Тем не менее, известно относительно небольшое количество исследований, в которых рассматриваются различные факторы, такие как конструкция септального L-образного страта и нагрузки, влияющие на его устойчивость. В работе May et al. описана упрощенная модель L-образного страта, построенная на основе (четырёхсторонней) прямоугольной модели носовой перегородки. В этой работе проведено численное моделирование влияния различных конфигураций на устойчивость L-образного страта. На основе данных

конечно-элементного анализа показано, что естественная эластичность перегородочного хряща, слизисто-надкостничный лоскут и перекрытие с костным сводом совместно обеспечивают необходимую жесткость и устойчивость L-образного страта (в нормальных условиях). Тем не менее, при случайных перегрузках такой уровень жесткости может привести к развитию недопустимых значений деформации носовой перегородки. Повышение жесткости и устойчивости всей конструкции носа возможно за счет сохранения небольшого сегмента хряща в костно-хрящевом сопряжении (КХС) дорсальной части L-образного страта. При этом данная модель является упрощенной, так как ее авторы исходят из того, что все опорные края хряща носовой перегородки являются незакрепленными, что не отражает реальных граничных условий, существующих в носовой перегородке [45].

Согласно Вестрайху и Лоусону, сочетание срединной ножки и нижних боковых хрящей (НБХ) формирует треногу, которая опирается на переднюю часть носовой ости. Кроме того, кончик носа обладает упругими свойствами благодаря наличию НБХ, создающих направленную вверх силу в виде сохраненной упругой потенциальной энергии. Таким образом, кончик носа не является полностью незакрепленным элементом. Другое существенное ограничение в исследованиях Мау – это исключение участка септальных хрящей, соединяющихся с носовой костью [45].

В работе Ли исходная прямоугольная модель носовой перегородки Мау заменена на пятистороннюю модель, которая более точно описывает форму реальной носовой перегородки [45].

Кроме того, в построенные имитационные модели было добавлено крепление носовой перегородки. Авторы пришли к выводу о том, что модель кончика носа с пружинным креплением дает более точное представление о граничных связях внутри носа. Было установлено, что как в незакрепленном, так и в закрепленном при помощи пружины кончике носа КХС и носовая ость являются основными точками напряжения (вне зависимости от свойств материала). Сохранение

хрящевой дуги и более широкий дорсальный страт повышают общую устойчивость конструкции [45].

Знание анатомии, физиологии и патофизиологии носа, четкое представление о художественных нормах лица, владение широким диапазоном хирургических вмешательств существенно увеличивают шансы на успешные результаты ринопластики [40, 43]. Однако, по мнению многих ринопластических хирургов, большее число вопросов корригирующих операций носа еще не нашло своего оптимального решения [1].

1.4. Заключение

Таким образом, несмотря на то что ринопластика является весьма распространенным вмешательством в пластической хирургии, вероятность возникновения осложнений и необходимость выполнения ревизионной операции весьма высока [27]. Одной из основных проблем является деформация носовой перегородки, при которой происходит потеря ее опорной функции, в результате чего эстетические результаты оказываются неудовлетворительными [27]. Именно это и является одной из основных причин выполнения вторичной ринопластики. Разнообразие вариантов хирургического пособия при первичной и вторичной риносептопластике лишь подтверждает утверждение о том, что нет унифицированного подхода к проведению этих операций. Анализируя обзор литературных данных, можно сделать вывод – индивидуальные структурные и генетические особенности пациентов, а также развитие и совершенствование методик ринопластики требуют консенсус между четким выполнением алгоритма тактики первичной и ревизионной операции и персонифицированным подходом с учетом индивидуальной клинической ситуации.

Резюмируя вышесказанное, можно с уверенностью сказать: фундаментальные исследования, проводимые в данной области пластической хирургии, имеют огромный потенциал для усовершенствования методик и разработок новых

методов реконструкции носа, что является основой для повышения качества оказываемой помощи.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Характеристика экспериментального исследования

Исследование проводилось на базе кафедры онкологии, радиотерапии и пластической хирургии ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университета имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), а также в Научно-исследовательском Институте Механики Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова.

Дизайн исследования: проспективное сравнительное двуцентровое экспериментальное исследование.

Схема исследования

Исследование было разделено на 4 этапа:

1. Натуральное испытание групп экспериментальных моделей из 2-х различных материалов на аппарате ZWICK Z100.
2. Испытание экспериментальных моделей из оптически активного материала с помощью поляризационно-оптического метода на аппарате БПУ ИМАШ КБ2.
3. Сравнительный анализ экспериментальных моделей в программном комплексе ANSYS.
4. Клиническое применение метода реального прототипирования.

С целью изучения опороспособности оставшиеся части носовой перегородки при вторичной ринопластике была создана пятисторонняя модель L-образной подпорки из синтетического материала, по свойствам схожего с хрящевой тканью перегородочного хряща [45].

Наша задача была проанализировать четыре конфигурации моделей L-образной подпорки носовой перегородки. Натуральный хрящ носовой перегородки имеет индивидуальные размеры, толщину и механические свойства у каждого человека, а также он не имеет однородную структуру и толщину на всем протяжении у одного человека. Отсутствие симметричной геометрии у моделей, созданных из натуральной хрящевой ткани, создают условия, не позволяющие

провести исследования на данных моделях. В связи с отсутствием возможности сравнивать 4 разные конфигурации моделей L-образной подпорки из натурального хряща носовой перегородки перед нами стояла задача подобрать материал/материалы, схожие по механическим свойствам с хрящевой тканью носовой перегородки. Для этого нам необходимо было определить механические свойства хрящевой ткани, такие как модуль упругости при растяжении, модуль упругости при сжатии, а также коэффициент Пуассона. После того как мы экспериментальным путем определили механические свойства хрящевой ткани, мы начали анализировать и проверять материалы, которые мы имели в открытом доступе и в достаточном количестве. Критерии отбора моделируемого материала были: схожие механические свойства с хрящевой тканью носовой перегородки, доступность, экономичность, простота обработки и использования.

В качестве модельного материала на первом этапе использовались 2 материала, схожих по механическим свойствам с хрящевой тканью перегородочного хряща:

- полидиметилсилоксан, упрочненный наночастицами диоксида кремния («Аэросил») с размерами частиц 5—40 нм. Содержание наполнителя в материале составляло около 15% по массе. Введение в состав материала наночастиц наполнителя приводит к повышению прочности и модуля Юнга эластомера и в то же время сохраняет его высокую эластичность;
- полупрозрачный листовой силикон.

Было изготовлено 4 конфигурации прототипов моделей L-образных подпорок. Специально для нашего исследования мы разработали прототип модели приспособления для натуральных испытаний L-образных подпорок, в нашем исследовании были закреплены каудальные и дорсальные концы L-образных моделей, так как в реальности эти места связаны с носовой костью верхней челюсти в каудальной части и с носовыми костями в дорсальной области [45].

При помощи компьютерной томографии (КТ) были получены изображения черепа одного из пациентов с не искривленной носовой перегородкой. Этот пациент был выбран в связи с тем, что раньше он не подвергался септопластике

или ринопластике, а также не имел травм носа в анамнезе. В результате КТ были получены радиографические изображения головы в виде тонких одномоментных срезов [45].

С использованием программного обеспечения Mimics (Materialise Technologies, Левен, Бельгия) методом наложения радиографических изображений получена трехмерная модель узла крепления носовой перегородки исследуемого пациента.

Геометрические параметры КТ и исследуемые модели носовой перегородки

Исследуемые модели носовой перегородки были построены с учетом КТ, различных анатомических особенностей и включают в себя костно-хрящевое сопряжение, где соединяются носовая кость и дорсальная часть носовой перегородки. Модели L-образного страта были получены после исключения прямоугольного элемента хряща. Чтобы исследовать влияние включения хрящевой дуги на возникающие в модели напряжения, была построена модель на основе изображений КТ (Рисунок 1). $FD=33\text{ mm}$, $DB=16\text{ mm}$, $BE=21\text{ mm}$, $EA=14\text{ mm}$, $AO=12\text{ mm}$ [45].

Все модели характеризуются стратом с дорсальной частью размером 16 мм (Рисунок 2). В классической резекции носовой перегородки по Киллиану рекомендуется оставлять остаток хрящевой части носовой перегородки толщиной не менее 10 мм, однако по данным новейших литературных источников, а также своего собственного клинического опыта рекомендованная толщина страта должна быть не менее 15 мм. Одна модель выполнена без хрящевой дуги (модель А), вторая – с хрящевой дугой во внутреннем углу (модель В), третья – с хрящевой дугой в дорсальной части (модель С), а четвертая – с двумя хрящевыми дугами как в дорсальной части, так и во внутреннем углу (модель D). Толщина моделей выбрана в соответствии с данными КТ и составляла усредненное значение в 2 мм [45].

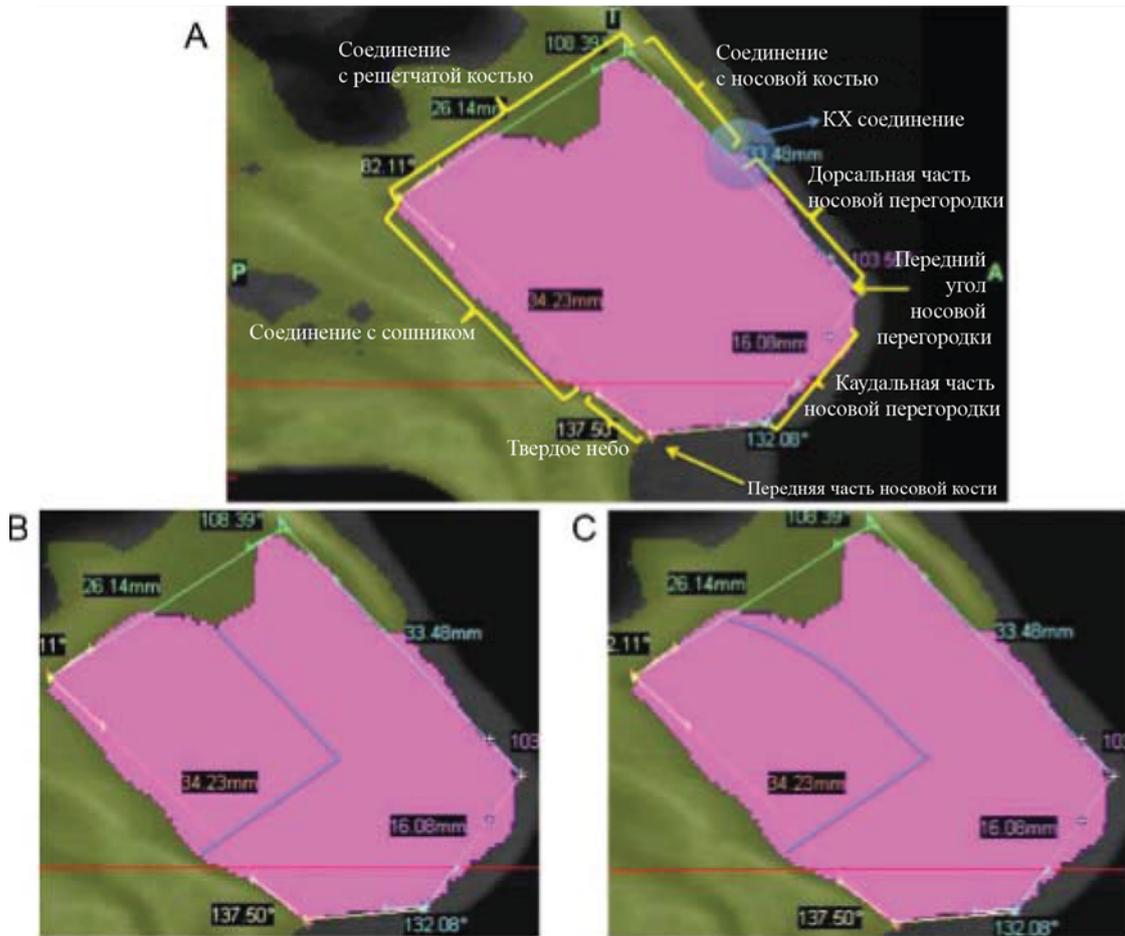


Рисунок 1 – КТ носовой перегородки: КТ с отмеченными анатомическими особенностями (А); КТ с наложенными контурами модели L-образного страта (В); КТ с наложенными контурами L-образного страта, включающая хрящевую дугу (С)

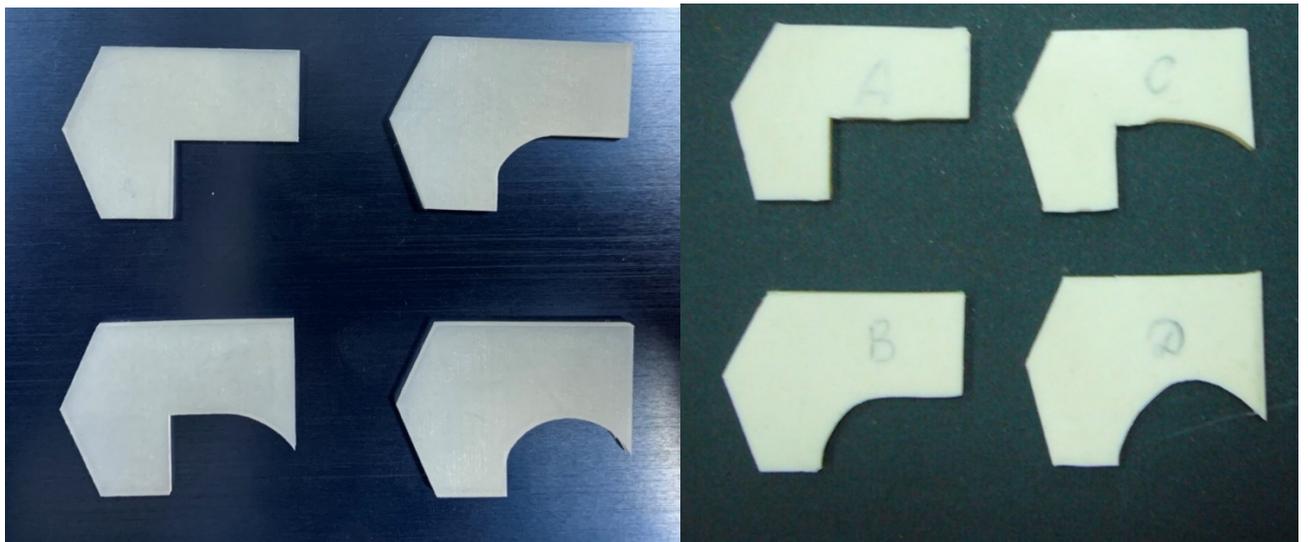


Рисунок 2 – Модели носовой перегородки: без хрящевой дуги (А), с хрящевой дугой во внутреннем углу (В), с хрящевой дугой в дорсальной части (С), с двумя хрящевыми дугами как в дорсальной части, так и во внутреннем углу (D)

2.2. Свойства материалов и условия проведения экспериментов

Хрящ, как и всякая живая ткань, отличается неоднородной, анизотропной, нелинейной структурой, и его свойства зависят от нагрузок, которые воздействовали на него ранее. Тем не менее, в данной работе для исследования влияния геометрии формы септальной подпорки на жесткость носовой перегородки целесообразно моделировать хрящ однородным упругим материалом с близкими механическими характеристиками. Это позволило нам упростить сравнение результатов физического моделирования [45].

Модуль упругости при растяжении

Модуль упругости – общее название нескольких физических величин, которые характеризуют способность твердого тела упруго деформироваться при приложении к нему силы. Как следует из работы Грелльманна и Ричмонда, диапазон значений модуля упругого растяжения хрящевой ткани варьируется в пределах от 2,5 до 11 МПа. Наше собственное исследование модуля упругости при растяжении показал меньший разброс, от 2,5 до 9 МПа. Подобный разброс значений связан с индивидуальными особенностями расположения волокон коллагена у различных людей. Волокна коллагена в тканях хряща определяют его поведение при упругом растяжении [45].

При небольших деформациях, связанных с растяжением, если создаваемое в хряще растягивающее напряжение невелико, на кривой напряжения-деформации наблюдается нелинейный верхний пиковый участок, связанный с восстановлением исходного состояния волокон коллагена. Но при более значительных деформациях после возвращения в исходное состояние волокна коллагена остаются растянутыми и создают более значительное растягивающее напряжение, обусловленное жесткостью волокон коллагена. Таким образом, возникающее в хряще растягивающее напряжение в значительной степени зависит от величины растяжения [45].

Модуль упругости при сжатии

Как следует из работы Ричмонда, а также из результатов собственного измерения носовой перегородки в вертикальном, каудально-цефалическом и медиальном направлениях, диапазон значений модуля упругости при сжатии варьирует в пределах от 0,4 до 0,9 МПа. Подобный широкий диапазон значений связан с наличием тканевой жидкости между волокнами коллагена и протеогликановой сетью (ПГС). По действию сжимающей нагрузки молекулы агрекана, соединенные с ПГС, смещаются и сближаются друг с другом. В результате увеличивается сила отталкивания между боковыми цепочками ПГС. Чтобы уравновесить эту силу, увеличивается приток воды, что приводит к повышению осмотического давления. В результате повышается жесткость на сжатие с одновременным уменьшением объема. Кроме того, различия в строении молекулярной сети предполагают различное поведение материала при сжатии [45].

Коэффициент Пуассона

Коэффициент Пуассона – это величина отношения относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению. Данный коэффициент зависит не от размеров тела, а от природы материала, из которого изготовлен образец. Из работы Грелльманна, а также нашего собственного измерения, коэффициент Пуассона варьирует в пределах от 0,26 до 0,38 МПа. Согласно Гарсия, эта изменчивость обусловлена ограничениями при сжатии, поскольку поле напряжений, создаваемое при испытаниях на растяжение, является в действительности двумерным, а также тем фактом, что коэффициент Пуассона зависит от соотношения длин сторон образца, использованного при постановке эксперимента [45].

Свойства модельного материала

В качестве материалов моделирующего свойства носового хряща в данной работе использованы:

- полидиметилсилоксан, упрочненный наночастицами диоксида кремния («Аэросил») с размерами частиц 5—40 нм. Содержание наполнителя в материале составляло около 15% по массе. Введение в состав материала наночастиц наполнителя приводит к повышению прочности и модуля Юнга эластомера и в то же время сохраняет его высокую эластичность [45];
- полупрозрачный листовой силикон (Рисунок 3).

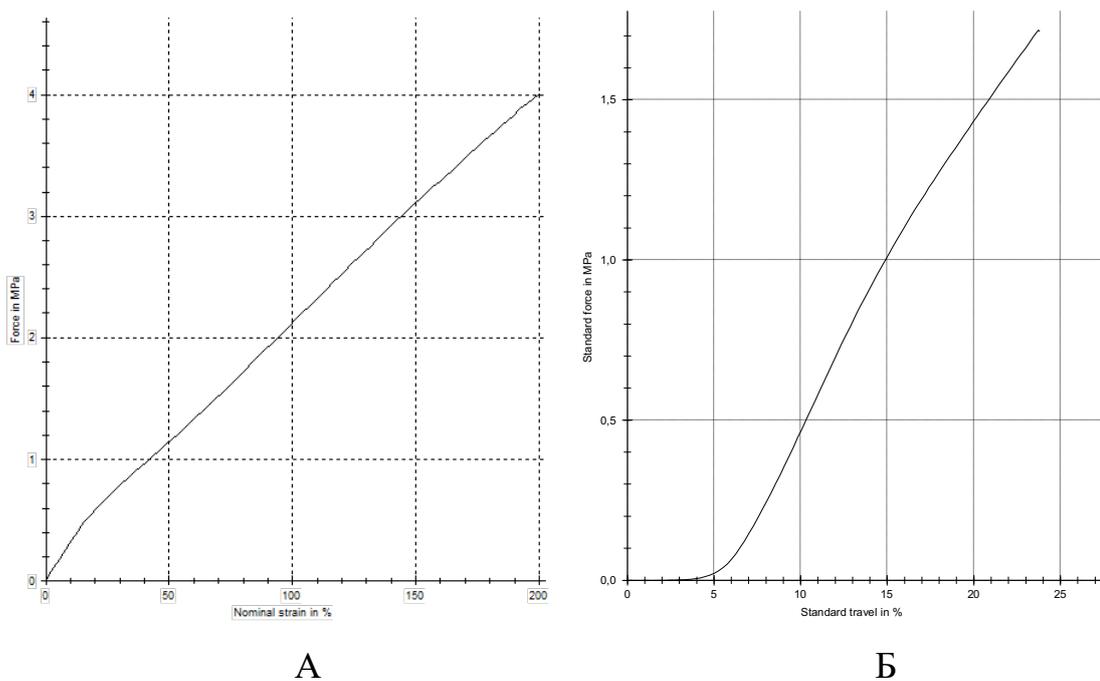


Рисунок 3 – Диаграммы растяжения: полидиметилсилоксан (А); листовой силикон (Б), которые принято использовать для моделирования свойств хряща носовой перегородки

Следует отметить некоторую нелинейность зависимости напряжения от деформации на начальном участке диаграммы растяжения полидиметилсилоксана, характерную для хрящевой ткани. Модуль упругости при растяжении для этого материала при деформации до 20% составляет 2,5 МПа, что соответствует нижней границе диапазона экспериментальных значений модуля Юнга для ткани хряща.

Для листового силикона модуль упругости на растяжение равняется 10 МПа, что ближе к верхней границе диапазона [45].

Модуль упругости при сжатии составляет около 1 МПа, что соответствует верхней границе диапазона экспериментальных значений модуля упругости для ткани носового хряща. Следует отметить, что выбранные модельные материалы проявляют различные значения модуля упругости при растяжении и сжатии, характерные для живой ткани носовой перегородки [45].

Граничные условия соединения перегородки с костной тканью

Поскольку соединения костной ткани с носовой перегородкой (соединения с решетчатой костью, сошником, твердым небом и носовой костью) отличаются значительно большей твердостью, чем сам хрящ носовой перегородки, представляется логичным допущение, согласно которому эти соединения являются жестко закрепленными (Рисунок 1А) [45].

Условия нагрузки кончика носа

В контексте настоящего исследования мы исходили из того, что передний угол носовой перегородки представляет собой кончик носа. В действительности кончик носа располагается спереди по отношению к переднему углу носовой перегородки в месте соединения нижних боковых хрящей. Однако данное допущение является обоснованным, поскольку расстояние до этой точки от переднего угла носовой перегородки невелико [45].

Согласно теории треноги, предложенной Адамсом и Фанком, срединная ножка и парные НБХ образуют треногу. Однако эта теория может успешно применяться только к тем пациентам, у которых все три ножки треноги одинаково прочны и одинаково надежно закреплены, что наблюдается только у небольшой группы пациентов. В остальных случаях, если одна из ножек треноги оказывается устойчивее других, основной является точка крепления самой устойчивой ножки.

Кроме того, как следует из работы Вестрайха и Лоусона, кончик носа обладает свойствами эластичности. Это связано с наличием НБХ, которые создают направленную вверх силу в виде сохраненной упругой потенциальной энергии. С учетом различной устойчивости ножек треноги это означает, что НБХ, которые также называют хрящами кончика носа, можно рассматривать в качестве пружины и консоли, поскольку они обладают способностью к деформации, реактивной силой и упругостью. В нашем эксперименте мы исходили из предположения, что кончик носа находится в относительно свободном состоянии, а дорсальный и каудальный конец имеют жесткую опору [45].

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ МОДЕЛЕЙ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ ZWICK Z100

3.1. Техническая характеристика испытательной машины ZWICK Z100

Машина универсальная испытательная серии Z100 предназначена для измерения силы, перемещения траверсы и деформаций при испытании металлов, пластмасс, резины, дерева и других материалов на растяжение, сжатие и изгиб [55]. Машина состоит из основания, на котором закреплена рама с подвижной и неподвижной траверсами [23]. Подвижная траверса перемещается по направляющим колоннам с помощью шариковинтовых пар. Винты шариковинтовых пар приводятся во вращение с помощью электродвигателя, расположенного в основании машины. Скорость перемещения подвижной траверсы регулируется с помощью электронного блока управления. Испытываемый образец устанавливается в захватах между подвижной неподвижной траверсами. Нагрузка, прикладываемая к испытываемому образцу, преобразуется тензорезисторным датчиком силы в электрический сигнал, который обрабатывается в электронном блоке и отображается в единицах силы на дисплее электронно-вычислительной машины (ЭВМ). Тензорезисторный датчик силы размещен на траверсе. С подвижной траверсой связан индикатор перемещения, выходной сигнал которого обрабатывается электронным блоком и выводится на дисплей. Машина укомплектована оптическим и индуктивным датчиками продольной деформации для измерения деформации на базе испытываемого образца и печью (максимальная температура нагрева 1000 град. С) [23,52] (Таблица 1—3).

Таблица 1 – Технические данные испытательной машины

Максимальная нагрузка	100 kN
Ширина рабочего пространства	640 мм
Высота нижнего рабочего пространства без оснастки	1360 мм
Скорость перемещения траверсы	0,0005–200 мм/мин
Точность установок скорости	0,003 % от $V_{ном}$
Разрешение перемещения траверсы	0,0206 мкм
Точность повторного позиционирования	< 1,0 мкм
Максимальная частота испытания	0,5 Hz

Таблица 2 – Технические данные двух динамометров на 10 kN и 100 kN, которыми укомплектована машина

Номинальное усилие $F_{ном}$	10 kN и 100 kN
Максимальная прилагаемая сила	150 % от $F_{ном}$
Предельная нагрузка	150 % от $F_{ном}$
Разрушающая нагрузка	>300 % от $F_{ном}$
Начальное значение диапазона измерения	
Класс 1	0,4 % от $F_{ном}$
Класс 0,5	2 % от $F_{ном}$

Таблица 3 – Технические данные оптического датчика, используемого для измерения продольной деформации при комнатной температуре

Начальная база прибора	10–100 мм
Максимальное перемещение щупов	80 мм
Разрешение	0,3 мкм/импульс
Максимальное усилие со стороны датчика на образец	0,08 N

Индуктивный датчик продольной деформации применяется для измерения деформации на базе при повышенных (до 1500 C⁰) температурах [17].

В комплект установки входят различные захваты для установки плоских и цилиндрических образцов при испытаниях на растяжение и специальные площадки для испытания образцов на сжатие.

Испытательная машина ZWICK Z100 зарегистрирована в Государственном реестре средств измерений под № 20385-00 и допущена к применению в Российской Федерации [17] (Рисунок 4).



Рисунок 4 – Испытательная машина ZWICK Z100 (общий вид)

Проведение экспериментов на испытательной машине ZWICK Z100 возможно только с помощью программы “TestXpert” с набором различных прикладных подпрограмм для проведения различных типов испытаний (растяжение, сжатие, изгиб, ползучесть, высокотемпературное растяжение и др.). При исследовании жесткости носовой перегородки использовалась подпрограмма V069015.00. Подготовку к проведению эксперимента с использованием данной программы можно разбить на несколько этапов [23].

1. Настройка оборудования – выбор необходимых датчиков, задание параметров работы каждого датчика.
2. Регистрация данных – выбор каналов измерения и размерности регистрируемых величин, задание частоты съема данных и файла для записи.
3. Ввод данных об образце.

4. Пошаговое задание самой программы эксперимента.
5. Задание критериев окончания экспериментов с выбором различных параметров (сила, падение силы, деформация и т. д.).
6. Заполнение протокола испытания [23].

Опишем более подробно четвертый этап работы с программой. На каждом шаге (число шагов неограниченно) эксперимента возможно задание одного из следующих параметров: скорость приложения нагрузки, скорость перемещения траверсы, скорость деформации, а также конечное значение нагрузки (деформации) на шаге. В конце каждого шага можно делать остановку на заданное время с удержанием постоянной нагрузки, деформации или неизменного положения траверсы, т. е. проведение экспериментов на ползучесть и релаксацию. Программа эксперимента может представлять произвольную комбинацию заранее выбранных шагов [23]. Существует возможность многократного повторения заданной последовательности шагов.

Во время эксперимента возможен графический вывод данных на монитор компьютера. Параметры вывода (выбор параметров, размерностей параметров, масштабы осей) можно менять в процессе эксперимента; это не влияет на выполнение программы эксперимента и регистрацию данных [29].

3.2. Методика натурального эксперимента и сравнительный анализ экспериментальных моделей L-образных подпорок

Для проведения натурального эксперимента разработано специальное приспособление (модель) для нагрузки исследуемых моделей L-образных подпорок и оценки их жесткости (Рисунок 5). На этой фотографии цифрой 1 обозначена модель L-образной подпорки с хрящевыми дугами во внутреннем углу и в дорсальной части [45]. Модель установлена на опорном элементе, обозначенном цифрой 3, жестко связанном с основанием приспособления под цифрой 2. Основание 2 монтируется в неподвижном захвате установки для испытаний материалов ZWICK Z100. Нагрузка модели осуществляется через

нагружающий элемент, обозначенный цифрой 4, перемещение которого с постоянной скоростью задается через подвижный захват установки. Кончик носа – это участок, обозначенный на фотографии маленьким голубым кружком. Красными линиями обозначены участки модели, соответствующие соединениям костной ткани с носовой перегородкой – соединения с решетчатой костью, сошником, твердым небом, носовой костью и носовой остью верхней челюсти. Черные стрелки обозначают распределенную нагрузку на исследуемую модель носовой перегородки [45].

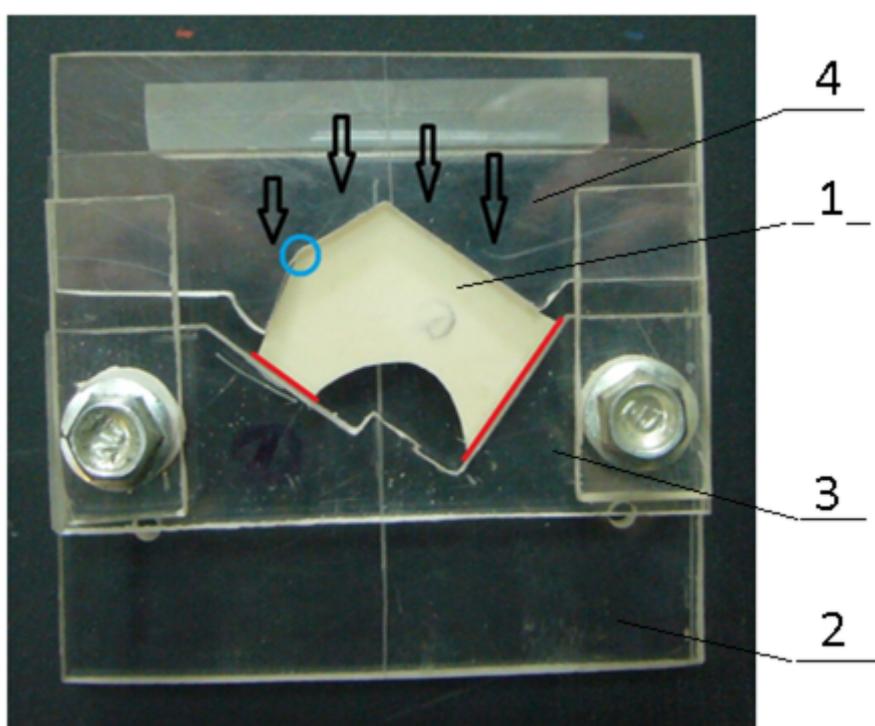


Рисунок 5 – Приспособление для натуральных испытаний моделей носовой перегородки:
1 – модель L-образного страта с сохранением хрящевых дуг во внутреннем углу и в дорсальной части; 2, 3, 4 – элементы приспособления для натуральных испытаний

Для испытания исследованная модель была смонтирована в захваты установки ZWICK Z100 (Рисунок 6). Испытание моделей осуществлялось в режиме постоянства скорости перемещения нагружающего элемента. Нагружение осуществлялось до потери устойчивости образца. Это соответствует максимальной нагрузке, которую может выдержать модель. В процессе испытания регистрировалась зависимость развиваемого усилия на нагружающий элемент от

величины его перемещения, которое соответствует перемещению внешнего контура испытуемой модели. Для каждой модели было проведено более 10 испытаний [45]. По результатам испытаний определены средние значения жесткости и максимальной силы в эксперименте для каждой модели (Таблица 4).



Рисунок 6 – Приспособление для оценки жесткости моделей носовой перегородки в захватах установки ZWICK Z100

Таблица 4 – Средние значения максимальной силы и жесткости моделей А, В, С, D для листового силикона и полидиметилсилоксана

Листовой силикон	Количество экспериментов	Среднее значение максимальной силы, Н	Среднее значение жесткости, Н/мм ²
Модель А	17	11,4	6,89
Модель В	15	16,4	8,7
Модель С	25	11,2	6,9
Модель D	25	15,8	8,94
Обобщение результатов сравнения жесткости моделей А, В, С, D			
Полидиметилсилоксан		Наибольшее значение силы при перемещении нагружающего элемента 1 мм (Н)	Жесткость модели (10 ³ Н/м)
Модель А		3,8	4,96
Модель В		5,4	6,44
Модель С		4	5,04
Модель D		6,2	7,27

Результаты натуральных испытаний исследуемых моделей носовой перегородки получены в виде диаграмм «Сила – перемещение» для моделей рассматриваемого типа (Рисунок 7).

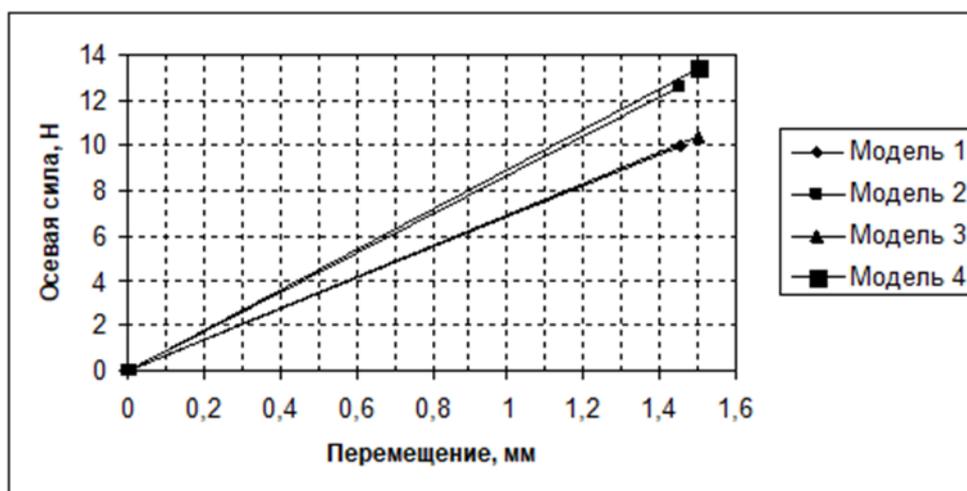


Рисунок 7 – Диаграммы «Сила – перемещение» для исследуемых моделей различного типа: 1 – модель типа А; 2 – модель типа В; 3 – модель типа С; 4 – модель типа D

Были выявлены кривые нагрузок и сформулированы результаты статистической обработки экспериментов для моделей А, В, С, D (Рисунки 8—11, Таблицы 5—8).

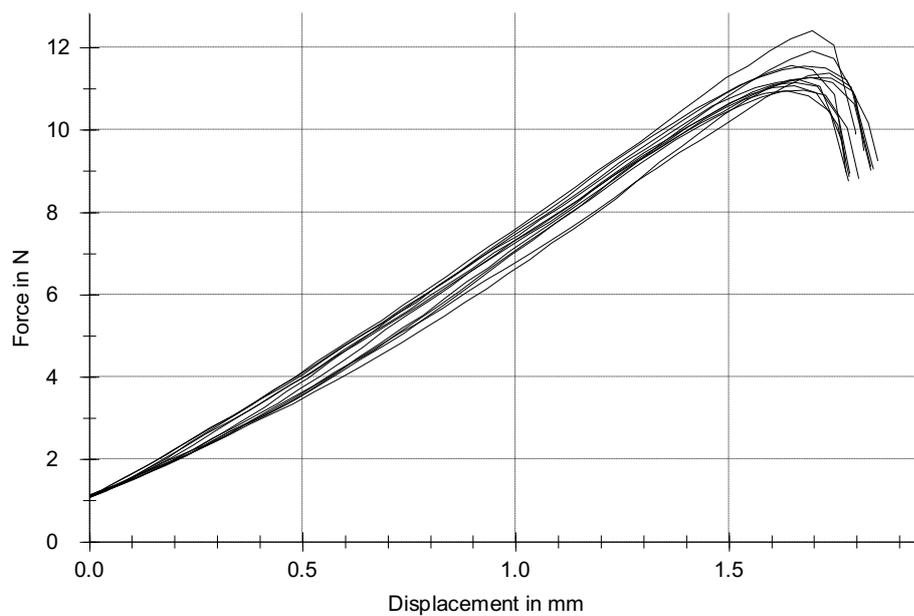


Рисунок 8 – Кривые нагрузок для модели А

Таблица 5 – Результаты статистической обработки экспериментов для модели А

Номер эксперимента	Максимальная сила, Н	Жесткость модели, Н/мм
2	11,56	7,009434
3	10,98	7,070707
4	11,08	6,891089
5	11,28	7,010417
6	11,27	6,960396
7	11,92	7,29703
8	12,41	7,178218
12	11,39	6,594059
14	10,9	6,541667
15	11,2	6,673267
16	11,1	6,683168
17	11,56	6,792079
Среднее значение	11,3875	6,891794
Дисперсия	0,18	0,06
Доверительный интервал для уровня значимости 0,01	0,32	0,18

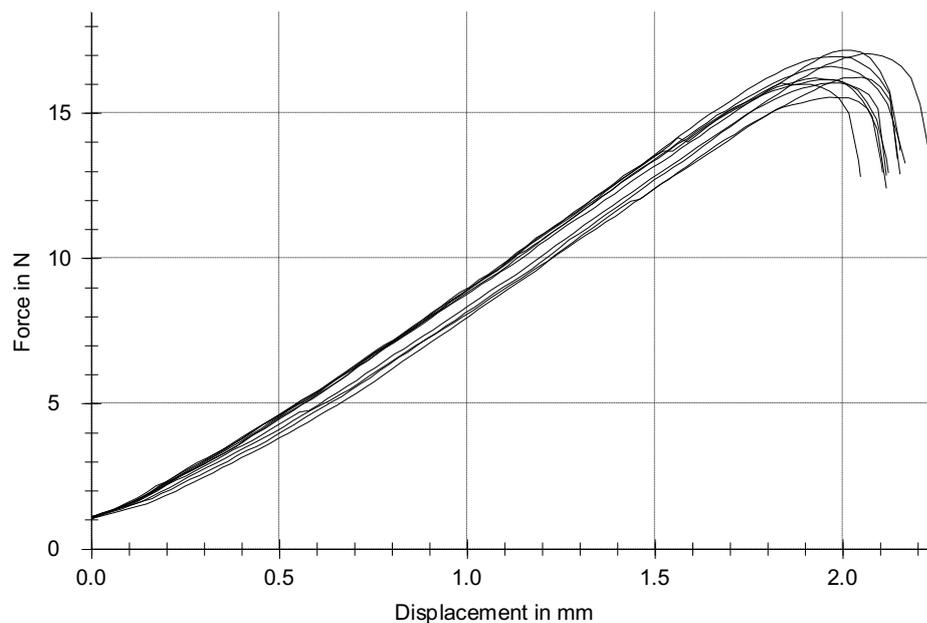


Рисунок 9 – Кривые нагрузок для модели В

Таблица 6 – Результаты статистической обработки экспериментов для модели В

Номер эксперимента	Максимальная сила, Н	Жесткость модели, Н/мм
2	16,17	8,85
3	16,2	9
4	16,6	8,85
6	16,96	9
7	15,55	8,6
8	15,99	8,93
9	16,05	8,55
10	17,05	8,75
14	17,17	8,55
15	16,24	8,35
Среднее значение	16,4	8,7
Дисперсия	0,28	0,05
Доверительный интервал для уровня значимости 0,01	0,43	0,18

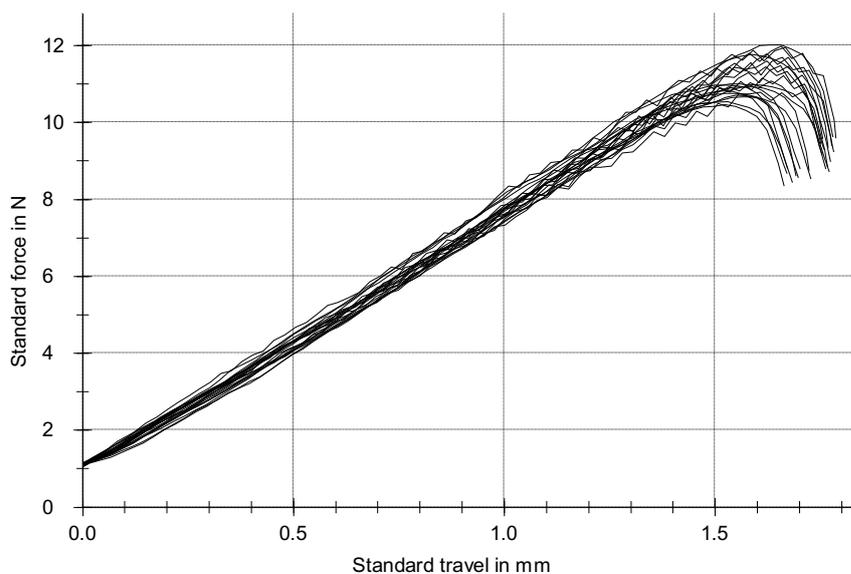


Рисунок 10 – Кривые нагрузок для модели С

Таблица 7 – Результаты статистической обработки экспериментов для модели С

Номер эксперимента	Максимальная сила, Н	Жесткость модели, Н/мм
3	12,02	7,25
4	11,77	7,3125
5	10,93	6,775
6	10,77	7
7	10,67	6,8
8	10,46	6,6
9	10,99	6,9375
10	10,55	6,6875
11	10,81	6,9125
12	11,01	7,05
13	10,97	7,125
14	10,7	6,75
17	11,96	6,9375
18	11,48	6,9375
19	11,21	6,8125
20	11,7	6,875
21	11,44	6,75
22	11,98	6,9875
23	11,78	6,725
24	11,61	6,975
25	11,08	6,8125
Среднее значение	11,2	6,9
Дисперсия	0,5	0,03
Доверительный интервал для уровня значимости 0,01	0,28	0,11

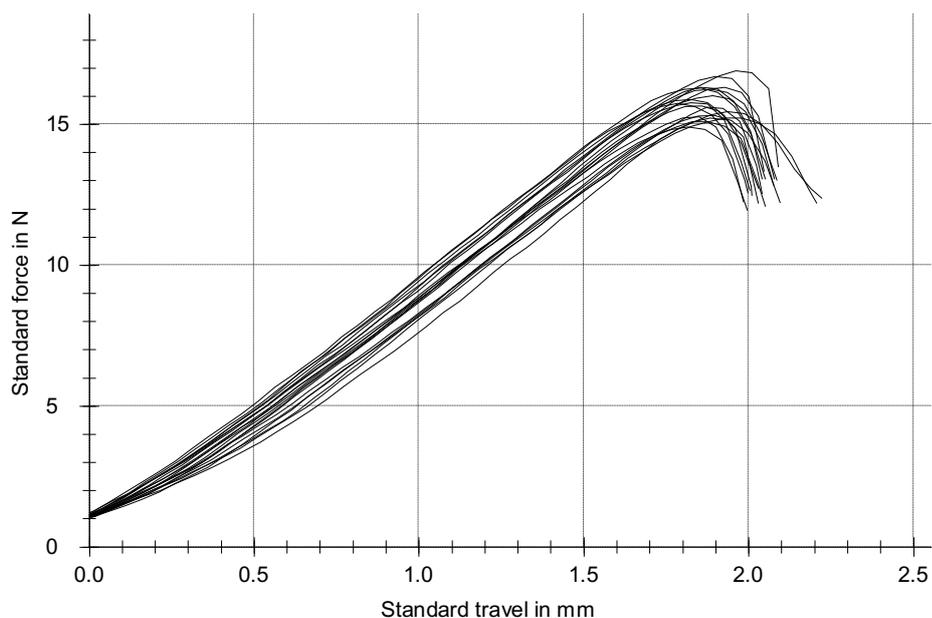


Рисунок 11 – Кривые нагрузок для модели D

Таблица 8 – Результаты статистической обработки экспериментов для модели D

Номер эксперимента	Максимальная сила, Н	Жесткость модели, Н/мм
3	15,28	8,8
4	16,91	8,81
5	15,46	8,55
7	16,3	9,35
8	14,91	8,65
9	16,33	8,8
10	15,78	9
11	16,31	9,1
12	15,61	8,9
13	15,66	9,2
14	15,23	8,45
15	16,03	8,85
16	15,24	8,7
17	15,88	9,05
18	15,31	9
19	15,75	9,15
22	16,7	9,2
25	16,25	9,4
Среднее значение	15,8	9,4
Дисперсия	0,3	0,07
Доверительный интервал для уровня значимости 0,01	0,34	0,16

В результате эксперимента мы можем сделать вывод, что модели L-образных подпорок В и D были более жесткими во время эксперимента [45]. Разница между ними была небольшая, что дает возможность сделать вывод, что хрящевая дуга во внутреннем углу придает конструкции больше жесткости и, соответственно, опороспособности. Самой жесткой моделью была модель D с двумя хрящевыми дугами – одной во внутреннем углу, а второй – в дорсальной части [45].

В результате сравнительного исследования моделей из полидиметилсилоксана (Аэросил) и моделей из листового силикона мы пришли к заключению, что модели из листового силикона в целом являются более жесткими и опороспособными. Также доступность листового силикона и его простота в моделировании позволяет нам провести на нем больше экспериментальных циклов. К тому же силикон является пластическим материалом, применяемым некоторыми хирургами во время ринопластики для спинки носа. Преимущество использования листового силикона, несомненно, связано с тем, что больному в связи с забором материала не наносится дополнительная травма, при этом силикону легко придается нужная форма до или во время операции [22]. Однако стоит отметить, что при применении синтетических материалов остается высокий риск к инфицированию или экструзии силикона. Автор считает, что листовой силикон является идеальным материалом для проведения мехатронных исследований на опороспособность моделей той или иной геометрической конфигурации, однако не рекомендует использовать его в клинической практике.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ L-ОБРАЗНОЙ ПОДПОРКИ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

4.1. Метод и характеристика установки БПУ ИМАШ КБ2

В 1813—1815 гг. Зеебек и Брюстер установили, что при воздействии нагрузки многие прозрачные материалы, получившие название оптически чувствительных, приобретают свойства, присущие двулучепреломляющим оптически анизотропным кристаллам. Однако в отличие от кристаллов, такие материалы при прекращении механического воздействия вновь становятся оптически изотропными. Поэтому обнаруженный факт был назван явлением временного двойного лучепреломления (ЯВДЛ). Именно это явление лежит в основе поляризационно-оптического метода исследования напряжений. ЯВДЛ возникает в результате поляризации диэлектриков, вызванной внешними воздействиями. Как известно, явление поляризации сводится к изменению расположения в пространстве электрически заряженных частиц, составляющих вещество диэлектрика, и к изменению внутреннего электрического поля [56].

Поляризационно-оптический метод исследования напряжений используется для определения напряжений в задачах теории упругости, пластичности, линейной и нелинейной вязкоупругости и других задачах нелинейного и неупругого деформирования, в том числе и при конечных деформациях [56]. В тех случаях, когда речь идет об упругих моделях, может быть применен термин «метод фотоупругости».

Развитие вычислительной техники и численных методов несколько сузили традиционную область применения поляризационно-оптического метода исследования напряжений [16]. Однако он продолжает играть важную роль при решении задач механики деформируемого твердого тела (МДТТ), в том числе в механике композитов, теории трещин, в задачах упруговязкопластичности и т. п. С точки зрения измерения характеристик напряженно-деформированного состояния

поляризационно-оптический метод исследования напряжений является одним из наиболее информативных и точных экспериментальных методов МДТТ. По этой причине он с большим эффектом может быть использован в качестве средства верификации аналитических, численных, а также других экспериментальных методов МДТТ [16]. Ценность метода фотоупругости заключается также в том, что он позволяет моделировать в прозрачных образцах напряженные состояния, возникающие в пластинах из оптически неактивных и вообще непрозрачных материалов, например, металлов. Возможность моделирования основана на теореме Леви-Митчелла, согласно которой для упругих тел в плоских задачах распределение напряжений при заданном нагружении на контуре не зависит от механических характеристик материала. Это верно для односвязных областей или для многосвязных областей, когда система сил, действующих на каждый граничный контур, статически эквивалентна нулю. Теорема имеет место при плоской деформации и обобщенном плоском напряженном состоянии (ОПНС), поскольку постановка задачи для средних по толщине характеристик напряженно-деформированного состояния в случае ОПНС математически идентична постановке задачи о плоской деформации [56].

Поляризационно-оптический метод позволяет определять распределение напряжений на прозрачных моделях в исследуемой области без использования аппарата математической теории упругости. С другой стороны, благодаря наглядности оптической информации он служит хорошей иллюстрацией решений, полученных в рамках этой теории.

В данной работе был проведен ряд экспериментов с помощью поляризационно-оптических методов механики деформируемого твердого тела на большой поляризационной установке БПУ ИМАШ КБ2 [51] (Рисунок 12, Рисунок 13).



Рисунок 12 – Общий вид установки БПУ ИМАШ КБ2

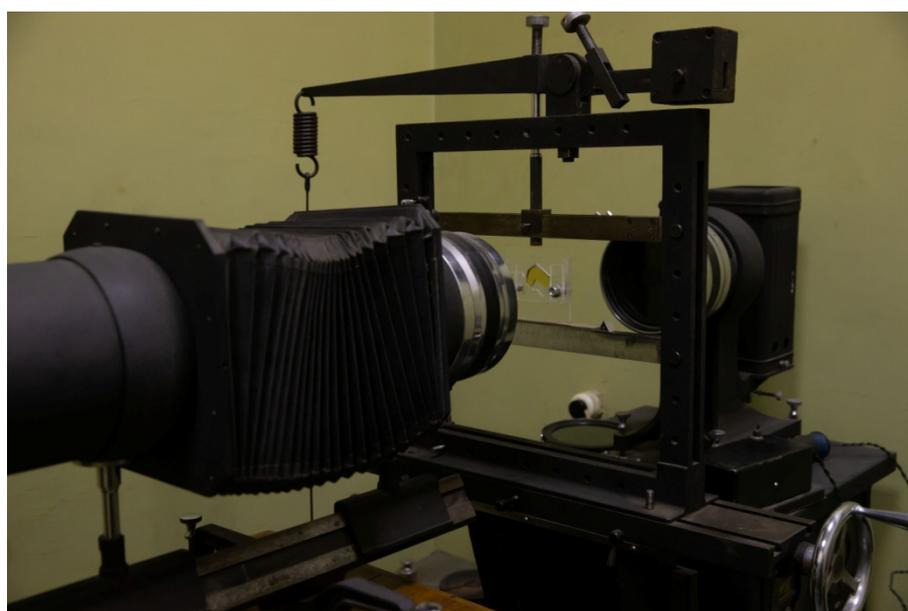


Рисунок 13 – Нагружающее устройство БПУ ИМАШ КБ2 с установленным образцом

4.2. Результат экспериментального исследования поляризационно-оптическим методом

Было проведено несколько серий экспериментов на четырех моделях разной формы при разных нагрузках. Модели были изготовлены из оптически активного материала (эпоксидная смола ЭД 20). Размеры и форма моделей совпадали с образцами, испытанными на установке ZWICK Z100. Было проведено минимум по

10 экспериментов на каждую модель. Линии концентрации напряжений значительно не менялись от эксперимента к эксперименту для каждой модели (Рисунки 14—17).

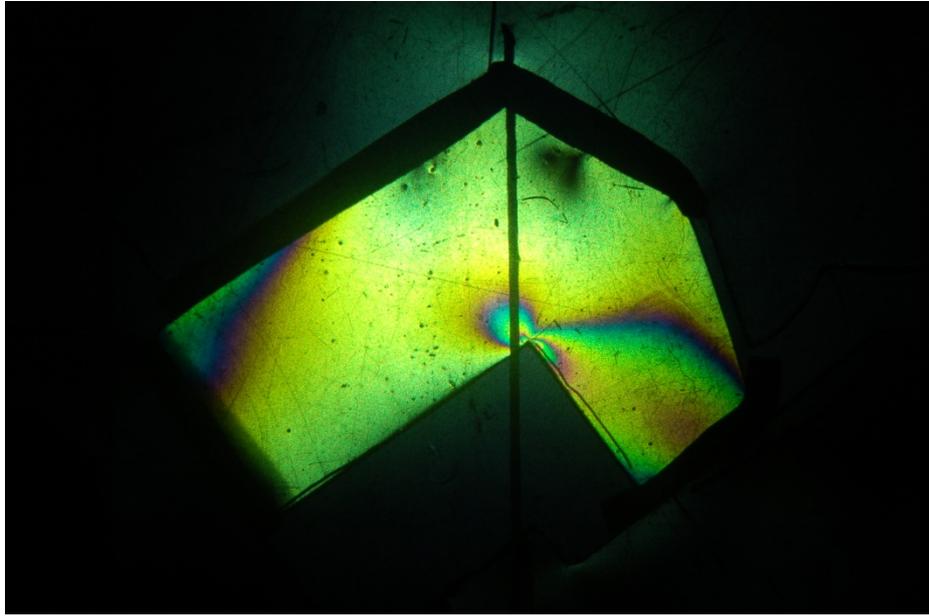


Рисунок 14 – Модель А, нагрузка 500 Н

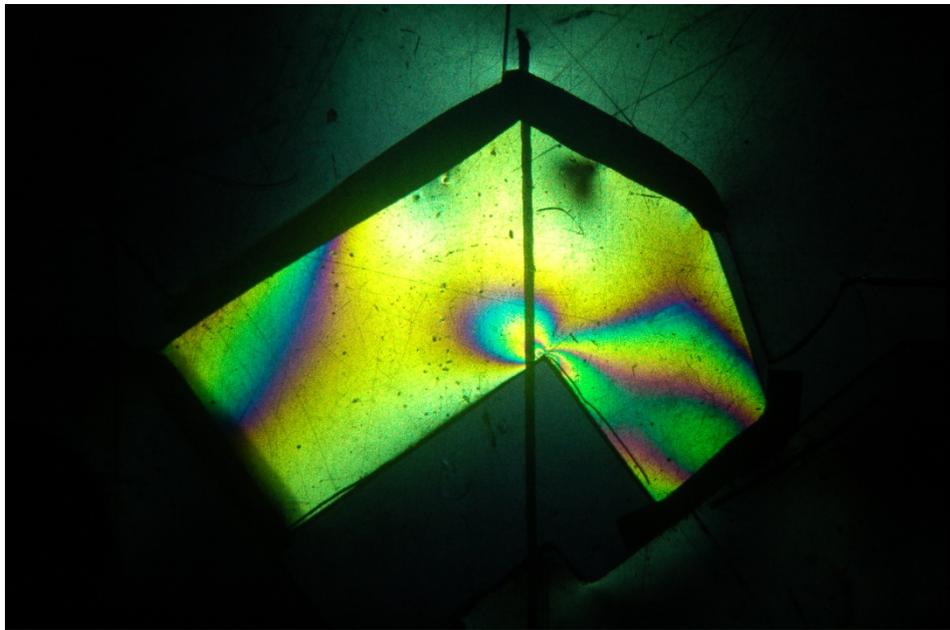


Рисунок 15 – Модель А, нагрузка 1000 Н

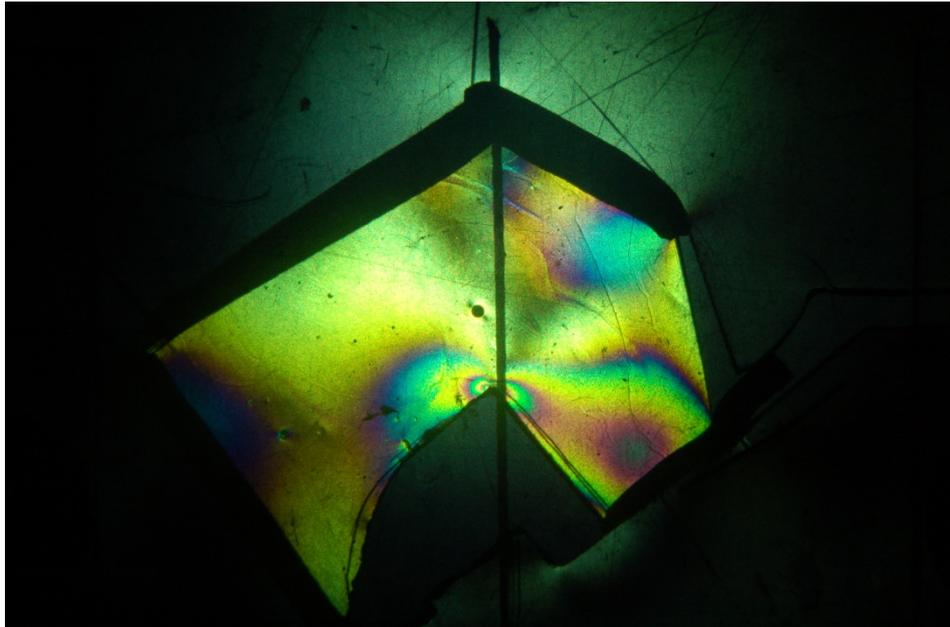


Рисунок 16 – Модель С, нагрузка 1000 Н

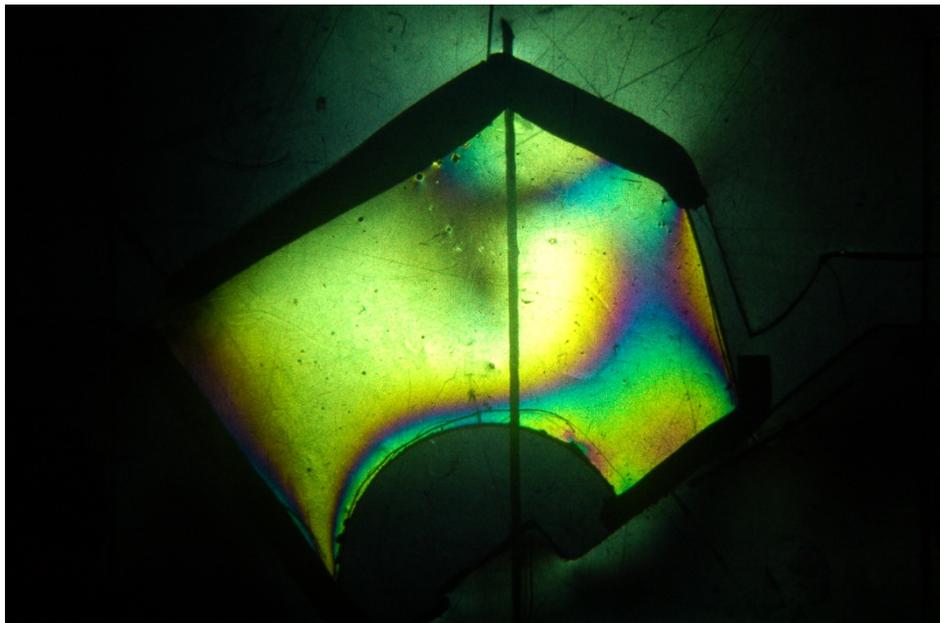


Рисунок 17 – Модель D, нагрузка 1000 Н

Для определения напряжений внутри образца используется метод полос. Для определения цены изохроматической полосы (оптической постоянной материала) использовался круглый диск из того же материала [51]. С увеличением нагрузки растет количество полос. Сгущение полос в угловой точке свидетельствует о концентрации напряжений (Рисунки 14—16). Напряжения вдоль контура с закруглением практически постоянные (Рисунок 17).

Таким образом, результат экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния L-образной подпорки поляризационно-оптическим методом подтверждает ранее проведенный эксперимент на аппарате ZWICK Z100 – дуги разгружают саму конструкцию и не создают точки концентрации напряжения. Модели В и D, имеющие дуги, не создавали точки концентрации напряжения в отличие от моделей А и С, у которых имелись точки концентрации напряжения во внутреннем углу. Также на основе данного метода мы понимаем, где находятся зоны максимального напряжения при формировании L-образной подпорки, тем самым мы можем укреплять данные зоны при операции, используя пластический материал. Самым подходящим материалом для укрепления данных зон является собственный хрящ носовой перегородки. Трансплантаты из хрящевой ткани носовой перегородки следует фиксировать в данных зонах максимальной концентрации напряжения с помощью шовного материала. Можно укреплять с одной либо с двух сторон в виде сендвича. Также необходимо жестко фиксировать каудальную часть к ости верхней челюсти, а дорсальную часть к носовым костям.

ГЛАВА 5. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ L-ОБРАЗНЫХ ПОДПОРОК В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

5.1. Материалы и методы

В программном комплексе ANSYS, основанном на использовании метода конечных элементов, проведено численное исследование влияния геометрической формы L-образной подпорки на ее жесткость. Рассмотрены четыре варианта формы тела подпорки: вида А, В, С, D. В расчете принято, что материал тела является упругим, модуль Юнга при сжатии и растяжении одинаков и равен 1 МПа, коэффициент Пуассона равняется 0,3. Задача решена в постановке обобщенного плоско-напряженного состояния. Рассмотрены условия нагрузки, близкие к осуществляемым в натурном эксперименте, а именно: верхнее нагружающее устройство моделировалось в виде абсолютно жесткого штампа – линии M_1FLL_1 (Рисунок 18). Задавалось его перемещение в вертикальном направлении (в направлении линии FE). В условиях контакта между штампом и телом принималось отсутствие трения. Соединения с решетчатой костью и с твердым небом смоделированы как жестко закрепленные концы. Все остальные области были смоделированы как незакрепленные концы [45]. Рассматривалось два варианта закрепления нижних границ ножек L-образной подпорки – линий OA и BD. В первом случае принималось, что перемещения точек этих линий равны 0 («жесткое закрепление с опорой»). Во втором случае рассматривалось «свободный упор ножек на опору», когда перемещение точек этих линий в нормальном направлении равно 0 и касательное напряжение на линиях OA и BD равно 0.

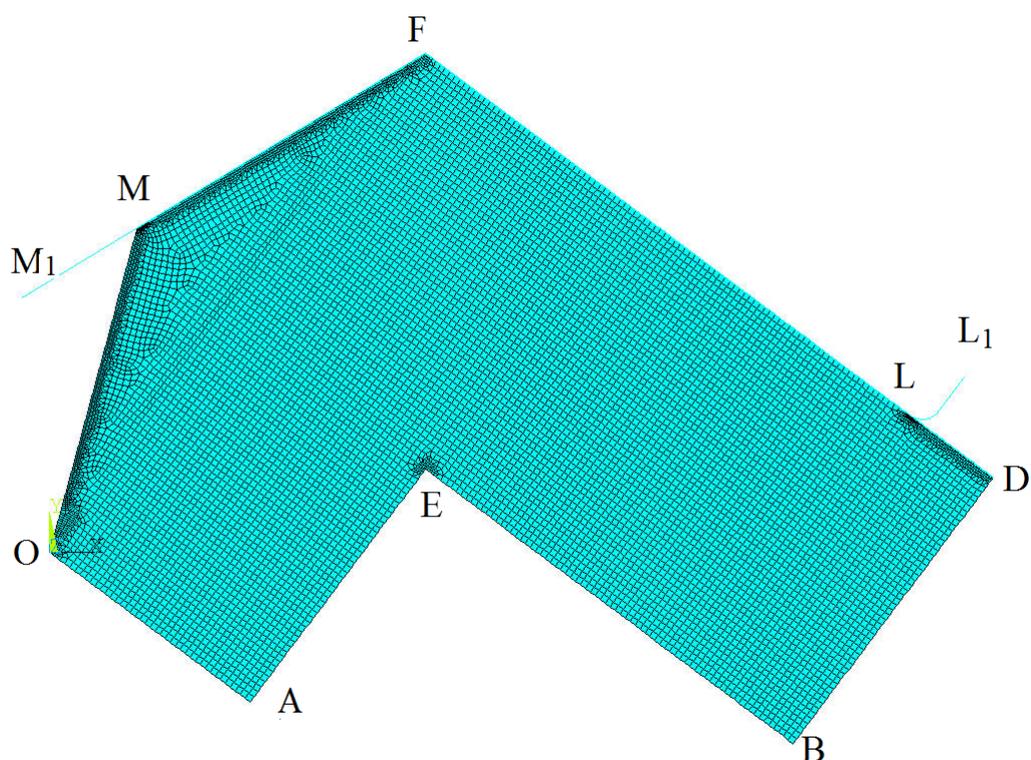


Рисунок 18 – Конечно-элементная модель L-образной подпорки вида А. $FD=33$ mm, $DB=16$ mm, $BE=21$ mm, $EA=14$ mm, $AO=12$ mm

5.2. Результаты сравнительного анализа экспериментальных моделей L-образных подпорок в программном комплексе ANSYS

Полученные в расчетах значения интегральной силы – реакции тела, соответствующей вертикальному перемещению штампа при вдавливании в тело L-образной подпорки на 1 мм. Чем больше значения силы, тем больше жесткость L-образной подпорки (Таблица 9, Таблица 10).

Таблица 9 – Случай «жесткого закрепления ножек с опорой» линий OA и BD

Вариант	A	B	C	D
Сила, Н	2,36	2,38	2,53	2,55

Таблица 10 – Случай «свободного упора ножек на опору» линий OA и BD

Вариант	A	B	C	D
Сила, Н	1,28	1,38	1,28	1,4

В Таблице 9 видно, что наибольшая жесткость достигается в случае D. Мало от нее (примерно на 1%) отличается жесткость в случае C. Меньшее (примерно на 7% для рассмотренных вариантов C и D) значение силы наблюдается в случаях B и A, близких между собой. Можно сделать вывод о том, что при жестком закреплении с опорой ножек L-образной подпорки наибольшее увеличение жесткости происходит при наличии дополнительной дуги в «дорсальной» части подпорки, то есть при увеличении поверхности закрепления. Наличие округления во внутреннем углу сказывается меньше.

Совсем другой вывод можно сделать в случае «свободного упора на опору» ножек L-образной подпорки – линий OA и BD. В Таблице 10 видно, что близки случаи A и C, B и D. Наличие округления во внутреннем углу сильнее увеличивает жесткость, чем наличие дополнительной дуги в «дорсальной» части подпорки.

В качестве третьего варианта граничных условий можно рассмотреть случай, когда ножки жестко закреплены с опорой, а верхняя часть L-образной подпорки (линии MF и FL) «приклеена» к штампу, то есть перемещения точек линий MF и FL равны заданным перемещениям штампа. В этом случае задача решается без моделирования штампа, вертикальные перемещения задаются для точек верхней границы тела. В Таблице 11 представлены значения силы. Можно сделать вывод, что как и в случае, представленном в Таблице 9, максимальное увеличение жесткости дает наличие дополнительной дуги в «дорсальной» части подпорки.

Таблица 11 – Случай «жесткого закрепления с опорой» линий OA и BD и «приклеенной к штампу» верхней границей тела

Вариант	A	B	C	D
Сила, Н	3,09	3,106	3,27	3,29

Ниже представлены распределения напряжений в теле при заданном смещении штампа, равном 1 мм, для случаев «жесткого закрепления ножек с опорой» и «свободного упора ножек на опору» (Рисунок 19, Рисунок 20).

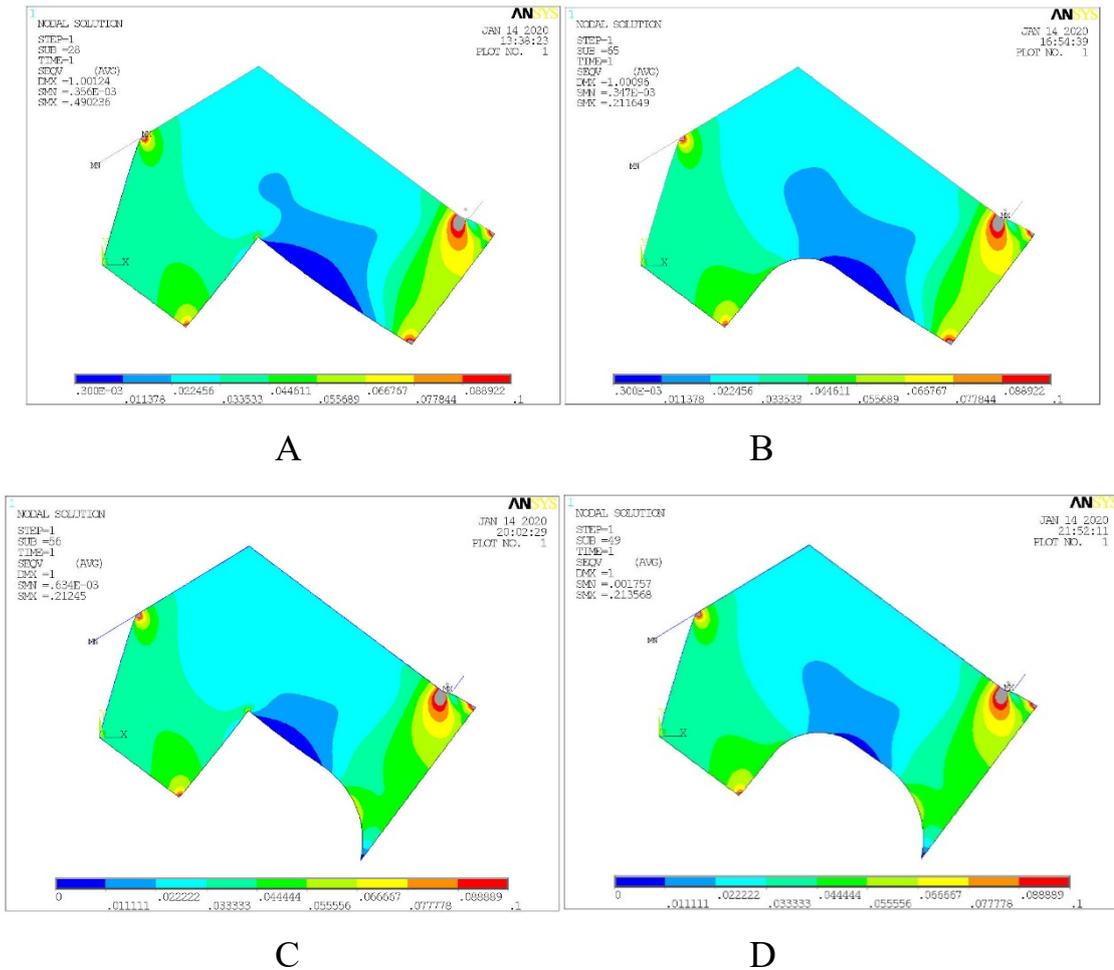
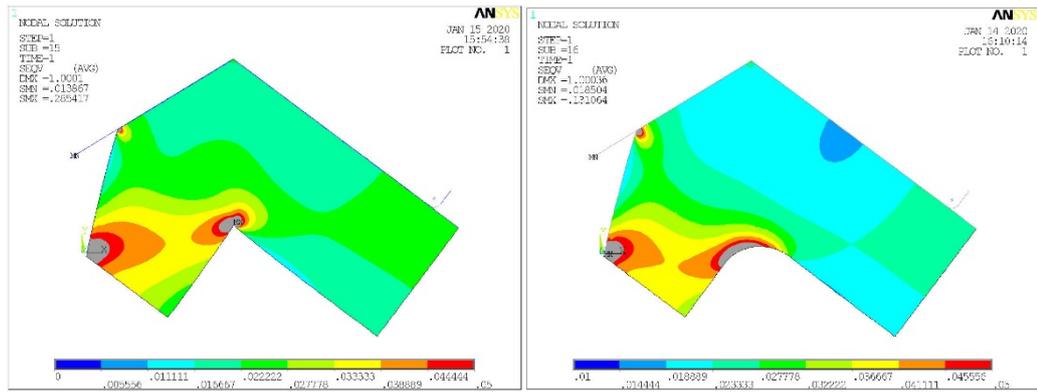


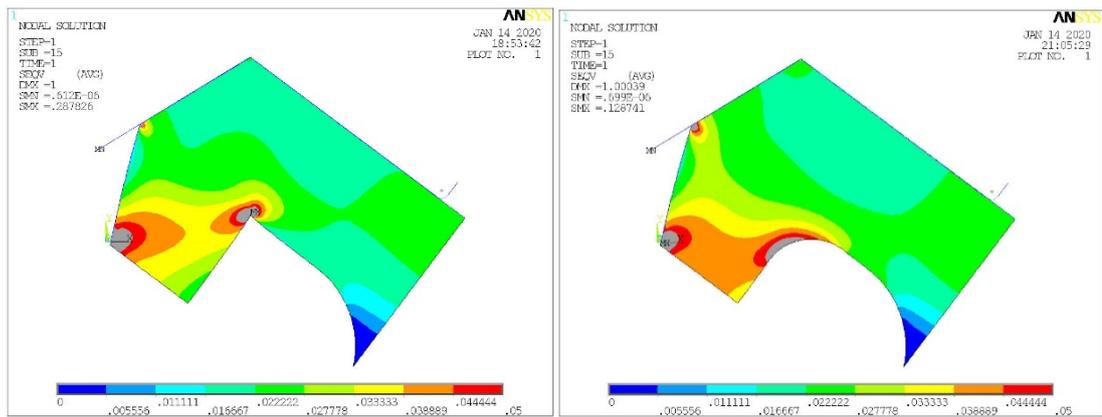
Рисунок 19 – Распределения интенсивности напряжений (Мпа) в теле в случае жесткого закрепления ножек с опорой

Менее «нагруженные» области тела представлены синим цветом, самые нагруженные – красным и серым цветом. Из сравнения В и D, А и С (Рисунок 19) видно, что наличие дуги в ножке «разгружает» ножку. Наличие округления во внутреннем углу убирает концентрацию напряжений в углу, делает распределение напряжений в этой области более равномерным.



A

B



C

D

Рисунок 20 – Распределения интенсивности напряжений (Мпа) в теле, в случае свободного упора ножек на опору

ГЛАВА 6. КЛИНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НОСОВОЙ ПЕРЕГОРОДКИ МЕТОДОМ РЕАЛЬНОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

6.1. Метод и техника реального прототипирования носовой перегородки в клинической практике

На основании результатов наших экспериментов нами предложена полезная модель, представляющая собой устройство (шаблон), обеспечивающее безопасный забор части носовой перегородки и оставление части носовой перегородки той формы и размера, которая, как показали наши исследования, является наиболее опороспособной, обеспечивая профилактику возникновения всех вышеупомянутых послеоперационных осложнений.

Технический результат, достигаемый при использовании полезной модели, заключается в обеспечении оставляемой части носовой перегородки таких формы и размера, которые являются наиболее опороспособными, а значит такой части носовой перегородки, которая обладает достаточной ригидностью и способностью выдерживать осевую нагрузку, что препятствует возникновению таких осложнений как: деформация, опущение кончика носа, вторичная девиация кончика и спинки носа, нарушение носового дыхания и др. [10].

Полезная модель представляет собой устройство, выполненное из нержавеющей стали толщиной 2 мм, которое накладывается на носовую перегородку, и позволяет выделить и забрать часть перегородочного хряща таких формы и размера (скругленные края, ширина оставляемой дорсальной и каудальной части не менее 16 мм), что оставшаяся часть остается наиболее опороспособной.

Устройство состоит из основной части и трех ножек-упоров.

Рассмотрим устройство в вертикальной плоскости при его расположении так, как оно должно быть установлено в полости носа.

Основная часть имеет форму буквы «С», где «спинка» «С» расположена сверху, выполнена прямолинейной и имеет длину 7 мм, а боковые части «С» (проксимальная и дистальная) представляют собой четверти окружностей с радиусом 7 мм.

В месте окончания четверти окружности, являющейся дистальной боковой частью буквы «С» (часть именуется дистальной, т. к. устанавливается дистально в полости носа, другая часть – проксимально), начинаются две ножки-упора, одна из них, длиной 7 мм, направлена по прямой линии вниз (нижняя ножка); другая, длиной 16 мм, расположена под углом 90 градусов к первой и направлена в наружную от буквы «С» сторону параллельно спинке (боковая ножка).

С верхней стороны устройства расположена третья ножка – упор. Третья ножка начинается в месте перехода дистальной боковой части буквы «С» в «спинку» буквы «С», имеет длину 16 мм и направлена строго вверх под углом 90 градусов к спинке (верхняя ножка) (Рисунок 21).

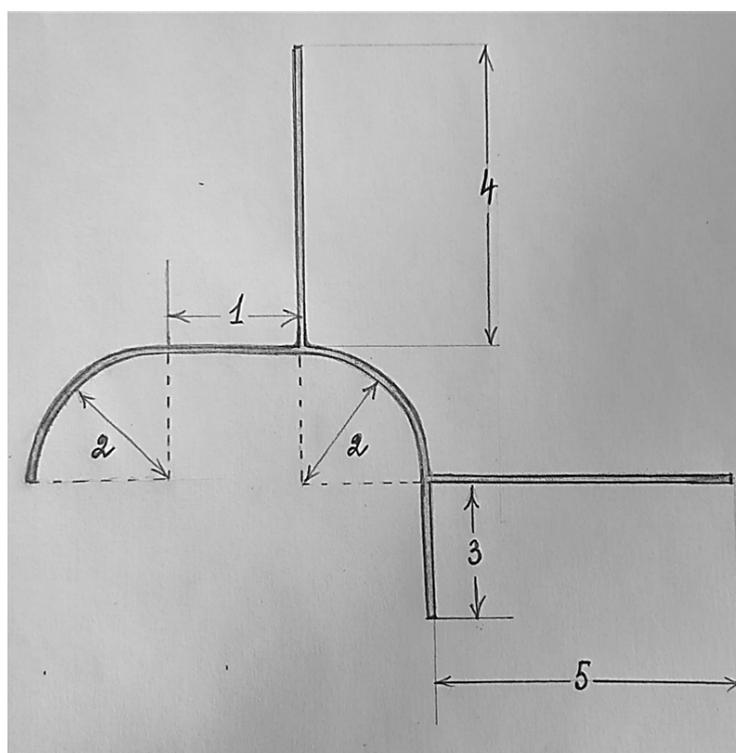


Рисунок 21 – Конструкция полезной модели: 1 — спинка основной части устройства, длиной 7 мм; 2 – боковые части основной части устройства (четверти окружности, радиусом 7 мм); 3 – нижняя ножка-упор, длиной 7 мм, являющаяся продолжением каудальной (дистальной) боковой части; 4 – верхняя ножка (дорсальная), упор устройства, длиной 16 м; 5 – ножка каудальной (дистальной) части, боковая ножка длиной 16 мм

Полезная модель используется следующим образом.

При проведении ринопластики открытым доступом после предварительной разметки, выполнения разреза кожи, поднадхрящичной диссекции тканей и осуществления доступа к перегородке носа в полости носа размещена полезная модель таким образом, чтобы проксимальный конец модели был расположен в области проксимальной части носовой перегородки, а дистальный, соответственно, в области дистальной (каудальной) части носовой перегородки. При этом ножка-упор размером 16 мм, находящаяся с верхней стороны устройства, обеспечивает достаточный отступ от верхней части перегородки, то есть достаточный размер дорсального края носовой перегородки, который останется после забора хряща; а ножка-упор, находящаяся на дистальном конце устройства, также имеющая размер 16 мм и идущая параллельно спинке буквы «С», обеспечивает достаточный размер каудального края носовой перегородки, который останется после забора хряща. Вторая ножка-упор, имеющая длину 7 мм, предназначена для правильного расположения устройства в полости носа в области каудальной части носовой перегородки.

После установки устройства по его внутреннему краю (внутренний контур буквы «С» и нижней ножки, являющейся продолжением каудальной (дистальной) части буквы «С»), проводят нанесение разметки на хрящ. После по разметке вырезают и удаляют необходимый отдел хрящевой части перегородки носа.

Оставшаяся часть носовой перегородки в каудальном и дорсальных отделах имеет достаточный размер (не менее 16 мм) и наиболее опороспособную (скругленную, без углов) форму.

Все оперативные вмешательства с использованием моделирования носовой перегородки методом реального прототипирования выполнялись по следующей схеме:

1. получение и обработка данных КТ носа,
2. создание компьютерной модели,
3. компьютерное моделирование,

4. изготовление методом лазерной стереолитографии пластиковых пресс-форм для формовки моделей носовой перегородки из силикона [15],
5. изготовление силиконовых моделей,
6. разработка тактики забора хрящевой части носовой перегородки с оставлением L-образной подпорки на силиконовой модели,
7. исследование опороспособности L-образной подпорки методом реального прототипирования.

Получение и обработка томографических данных

Качество изображения, получаемого в КТ, определяется пятью основными факторами: пространственным разрешением, контрастностью, шумом и пространственной однородностью, линейностью и наличием артефактов [15].

Пространственное разрешение используется для выражения степени пятнистости изображения и характеризует способность видеть объект определенной плотности в области, содержащей вещества с различной плотностью. Оно зависит от системы коллимации, размера детектора, выбранного размера пикселя, размера фокального пятна трубки [15].

Контрастное разрешение изображения — способность сканера показывать малые изменения контрастности тканей больших объектов, ограничено шумом, имеющим гранулированное проявление [15].

Шум и пространственная однородность — это различные КТ-числа для ткани с одинаковой плотностью. Они в основном связаны с эффектами прохождения фотонов через ткань. В зависимости от источника возникновения шум разделяют на квантовый (результат ограничения фотонов, достигающих датчиков), электронный (вызванный электрическим взаимодействием в самой системе), вычислительный (приближения, используемые в процессе измерения) и лучевой (вызванный рассеиванием излучения) [15].

Артефактами изображений в компьютерной томографии называют любое несоответствие между КТ-числами реконструированного изображения и истинными коэффициентами ослабления объекта. Технология реконструкции изображения такова, что измерения на всех детекторах суммируются, поэтому на изображениях проявляются любые ошибки измерений. Ошибки реконструкции могут быть вызваны как недостатком данных, так и наличием различных шумов. Артефакты могут проявляться в виде полос (ошибка в отдельном измерении), затемнений (постепенное отклонение группы каналов), колец (ошибки калибровки отдельного детектора), искажений (спиральная реконструкция). Довольно часто в исследуемой области присутствуют объекты с высокой плотностью, например, сделанные из металла, что вызывает на изображении появление артефактов в виде полос. Это вызвано тем, что плотность металла выходит за предел нормального диапазона значений, который томограф может отобразить, давая неполные профили ослабления [15].

Движение пациента также дает артефакты в виде полос или размывания изображения. Это вызвано тем, что при реконструкции изображения обычно полагаются на способность компьютера размещать значения коэффициентов ослабления в матрице пикселей, имеющей строки и столбцы. Если при сканировании происходит движение, компьютер не может поместить измеренное значения в правильную пространственную ячейку, что и приводит к искажению изображения [15].

Все отмеченные проблемы, связанные с получением высокоинформативных данных в компьютерной томографии, требуют применения специальных программ для обработки полутоновых изображений перед преобразованием их в компьютерные модели, соответствующие реальным биологическим объектам. Для этого используются различные методы и приемы обработки [15].

Так, для выделения определенных областей используется масочная технология. Различные виды биологических тканей выделяются наложением маски заданного цвета с использованием разных пороговых значений плотности отсечки [15] (Рисунок 22).

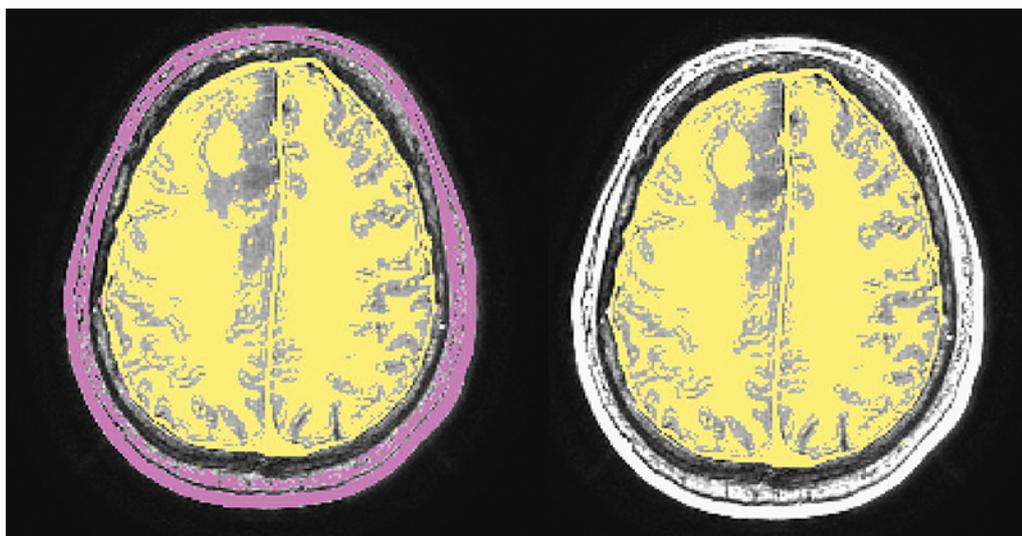


Рисунок 22 – Выделение биологических тканей разной плотности с помощью масок: розовый цвет – костные структуры, желтый цвет – мозговые клетки

Процедура пиксельного вычитания выделенных областей позволяла сформировать на выходе объект, содержащий ткани только определенного типа. Таким образом, на стадии обработки графических данных проводилось разделение объектов по их биологической принадлежности. Это значительно облегчало и ускоряло дальнейшую работу с трехмерными моделями [15].

Такой метод выделения хорошо работает, только если биологические ткани имеют большое различие в плотности и хорошо разделяются по пороговым значениям отсечки. В случае, когда объекты имеют практически одинаковые значения плотности, выделение возможно только в ручном режиме. В этом случае объект интереса на томограммах дополнительно закрашивается специальным маркером на всех срезах изображения [15] (Рисунок 23).

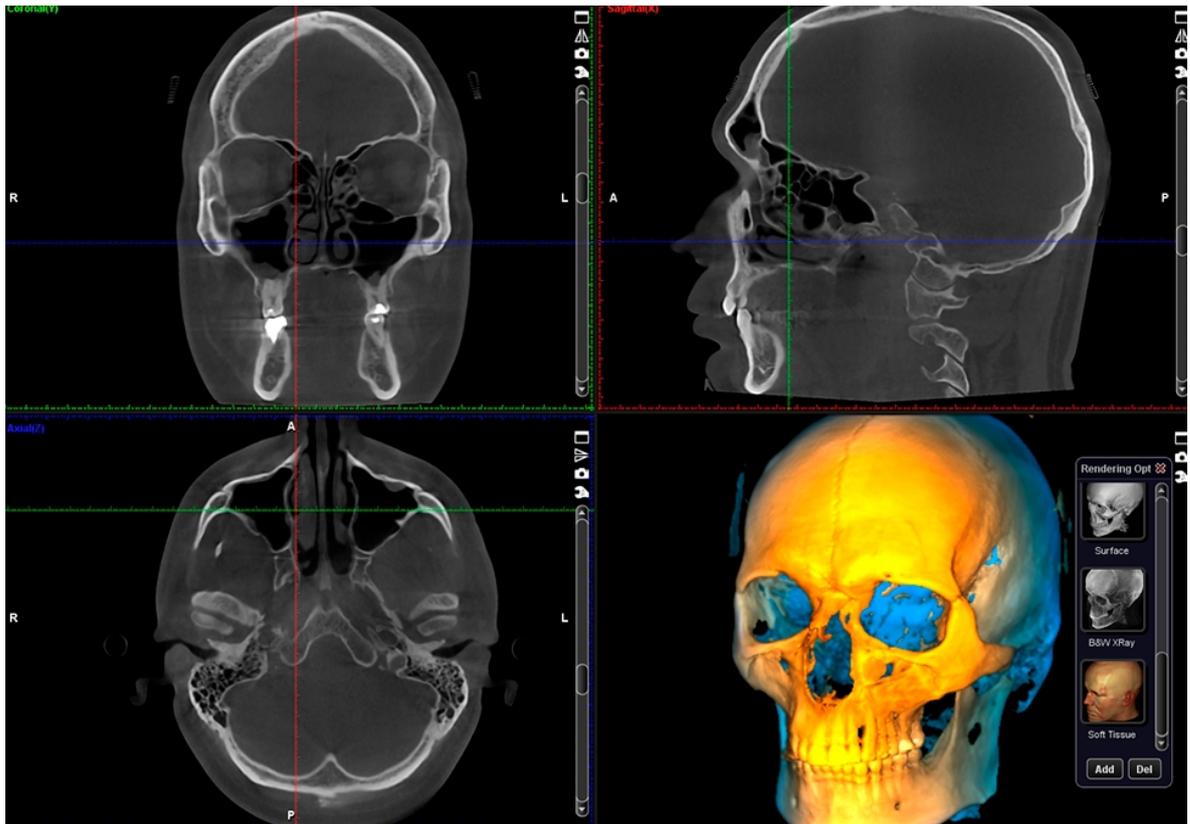


Рисунок 23 – Выделение биологических тканей одинаковой плотности с помощью рисования

Такой подход требует кропотливой работы и значительного времени, так как даже небольшие объекты требуют ручной обработки десятков изображений томограмм [15].

Для устранения шума на томографических изображениях применяется функция выделения связанных областей [15] (Рисунок 24).

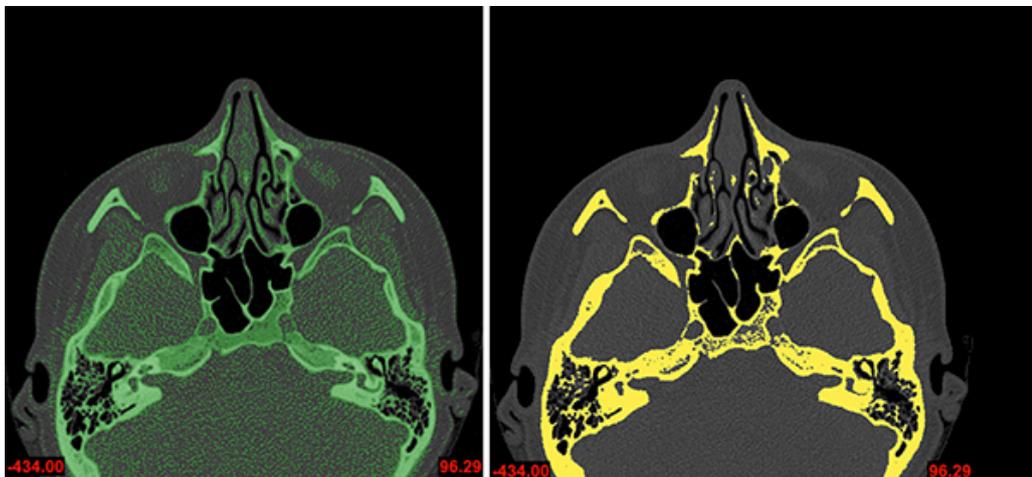


Рисунок 24 – Применение функции выделения связанных областей для удаления шума на томограммах

Например, для устранения артефактов, вызванных присутствием во рту пациента объектов, сделанных из металла, необходимо редактировать каждый срез отдельно, удаляя только ненужные полосы – блики [15] (Рисунок 25).

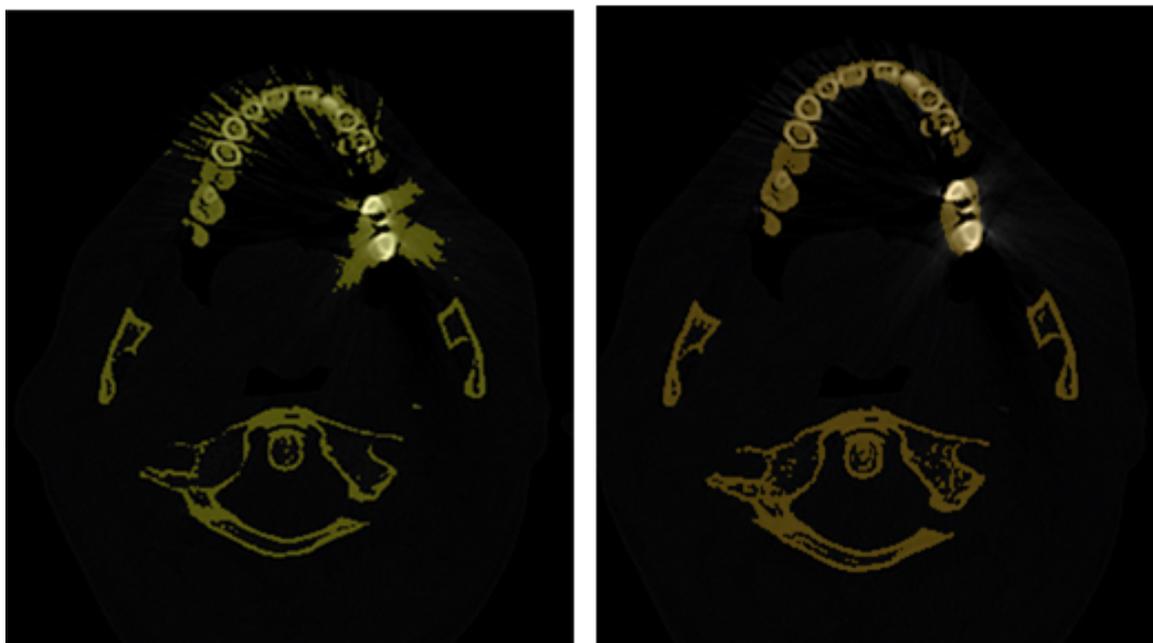


Рисунок 25 – Ручное удаление артефактов, вызванных наличием металла

Еще одним критерием качества изображения является контрастное разрешение изображения — способность сканера показывать малые изменения контрастности тканей больших объектов. Для данного набора томограмм этот параметр важен при построении тонких костных и хрящевых стенок [15] (Рисунок 26).

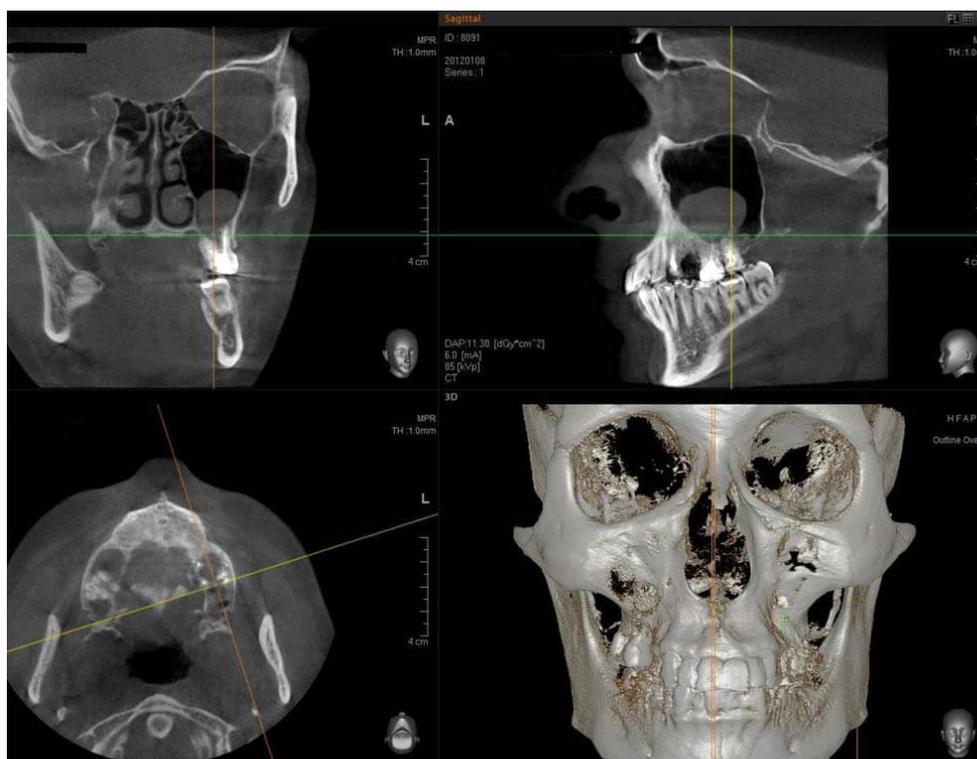


Рисунок 26 – Пример редактирования томограмм для восстановления тонких костных и хрящевых стенок. Модели, построенные по исходным данным (слева) и по прорисованным срезам с последующим сглаживанием (справа)

Разработанные методы обработки томографических данных позволяют построить на их основе компьютерные трехмерные модели высокой степени точности для использования в восстановительной хирургии и планировании особо сложных операций в нейрохирургии [15].

*Преобразование графических данных томографических обследований
в трехмерные компьютерные модели*

Следующим шагом является преобразование обработанных результатов обследования пациентов на рентгеновских, магнито-резонансных или ультразвуковых компьютерных томографах в трехмерную компьютерную модель [7].

Результаты КТ данных в формате DICOM обрабатываются с помощью программного обеспечения Mimics (MaterialiseTechnologies, Левен, Бельгия),

преобразовываются в трехмерную компьютерную модель в STL-формате, которая используется на установках лазерной стереолитографии [7].

Опыт изготовления моделей по томографическим данным [3] показал, что объект исследования (нос) — достаточно сложное образование, состоящее из биологических тканей разной плотности. В то же время с помощью лазерной стереолитографии пока возможно воспроизводить объекты только одной плотности, поэтому очень важно выбрать пороговое значение плотности отсечки (определенное значение яркости на томограмме), которое определяет, что все участки данной плотности и выше становятся твердым телом, а участки пониженной плотности отсекаются. Томограммы содержат большой объем информации (типичный результат томографического исследования — 100–500 томограмм), стратификация которой позволяет по результату одного исследования пациента построить несколько разных компьютерных моделей, например черепа или головы с кожным покровом в целом [7].

Томограммы, полученные на рентгеновском томографе, обычно представляют собой набор серых изображений массивов сечений (слоев) исследуемого объекта по координате z . Каждый элемент томограммы есть функция плотности объекта в соответствующей точке $q(x, y, z)$. В большинстве случаев диапазон от q_{\min} до q_{\max} в области значений функции $q(x, y, z)$ может быть представлен одним байтом. Таким образом, томограмму можно рассматривать как трехмерное изображение функции плотности, приведенной к однобайтовым значениям и записанной трехмерной матрицей яркости $Q(i, j, k)$ [14].

Для перевода томограммы в STL-формат необходимо построить математическую модель объекта как твердого тела. В общем виде такая модель может быть представлена как:

$$f(x, y, z) = \{$$

0, если не имеется никакого объекта в данной точке,

1, если имеется объект в данной точке [14].

В случае, если координаты x , y , z определены на дискретной сетке:

$$x_i = dx * i, i = 0, 1, \dots, N_x,$$

$$y_j = dy * j, j = 0, 1, \dots, N_y,$$

$$z_k = dz * k, k = 0, 1, \dots, N_z,$$

функция $F(x_i, y_j, z_k)$ имеет вид трехмерного с двумя градациями (0 или 1 — бит на пиксель) изображения. Таким образом, если представить пиксель изображения как куб с размерами $dx*dy*dz$, преобразование томографических данных к STL-формату может быть выполнено преобразованием $Q(i, j, k)$ к $F(x_i, y_j, z_k)$. При этом каждая внешняя сторона куба описывается двумя треугольниками [14].

Для корректности преобразования необходимо правильно определить границу реального объекта в томограмме. В простейшем случае соотношение (1) принимает вид

$$F(x_i, y_j, z_k) = \{$$

0, если $Q(i, j, k)$ меньше Q пороговая,

1, если $Q(i, j, k)$ больше Q пороговая [14].

Правильное определение границы объекта возможно только при знании всех нюансов механизма томографического сканирования конкретных типов объектов и представлении их изображений на томограмме. После определения границ объекта точность изготовленной модели полностью определяется числом точек изображения и числом слоев в исходных данных [15].

Программа Mimics (Materialise Technologies, Левен, Бельгия) выполняет следующие функции:

1. читает исходные данные компьютерных томографов в форматах DICOM, BMP, PCX;
2. формирует яркостное представление и приводит изображение к трехмерной матрице яркости;
3. определяет границу объекта на томограммах и формирует трехмерную твердотельную модель объекта с заданным коэффициентом сглаживания;
4. фильтрует твердотельную модель (удаляет малогабаритные одиночные фрагменты и замкнутые полости);

5. позволяет оператору-эксперту при необходимости выполнять интерактивное редактирование полученной твердотельной модели для удаления артефактов и внутренних закрытых полостей, которые не несут полезной информации;
6. транслирует трехмерную твердотельную модель в формат STL, который является общепринятым для установок лазерной стереолитографии [15,49].

Пакет Mimics (MaterialiseTechnologies, Левен, Бельгия) позволяет работать как с томограммами, представленными в формате DICOM, так и в любом стандартном графическом формате (BMP, PCX и т. п.) [49]. Для построения компьютерных моделей костных фрагментов скелета человека по данным, полученным на рентгеновском компьютерном томографе, в программе с использованием программного обеспечения Mimics (MaterialiseTechnologies, Левен, Бельгия) достаточно только правильно задать уровень яркости, соответствующий границе костной ткани [15,49].

Компьютерное моделирование имплантата

После получения трехмерной компьютерной модели носовой перегородки из программы Mimics (MaterialiseTechnologies, Левен, Бельгия) проводится построение компьютерной модели имплантата. Построение имплантатов проводится с использованием метода зеркальной симметрии, и работа ведется только с компьютерной моделью, полученной из томографического обследования данного пациента [15].

В итоге получается модель носовой перегородки пациента, максимально повторяющая его форму. На последнем этапе моделирования с помощью булевых операций формируется имплантат, уже полностью совпадающий с носовой перегородкой пациента. Задается толщина имплантата, достаточная для полного совпадения с носовой перегородкой пациента, при этом учитывается усилие сжатия пресс-формы, которое она должна выдержать при отливке силиконовых моделей носовой перегородки [15].

Чтобы создать пресс-формы носовой перегородки, нужно было дополнительно разделить имплантат на две плоские части, чтобы создать конфигурацию матрицы. Для правильного расположения частей имплантата делаются установочные пазы в виде ступени с зазором между стыковочными плоскостями не менее 0,1 мм [15] (Рисунок 27).

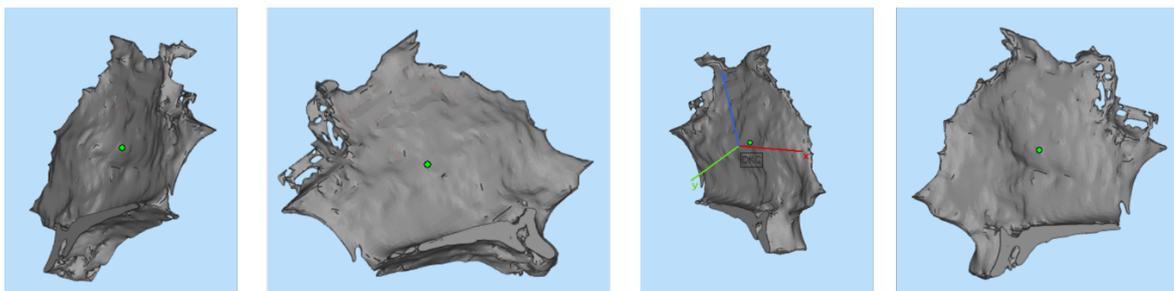


Рисунок 27 – Секционирование имплантата сложной пространственной конфигурации

Последний этап компьютерного моделирования — создание пресс-форм для формовки имплантатов из силикона (Рисунок 28).

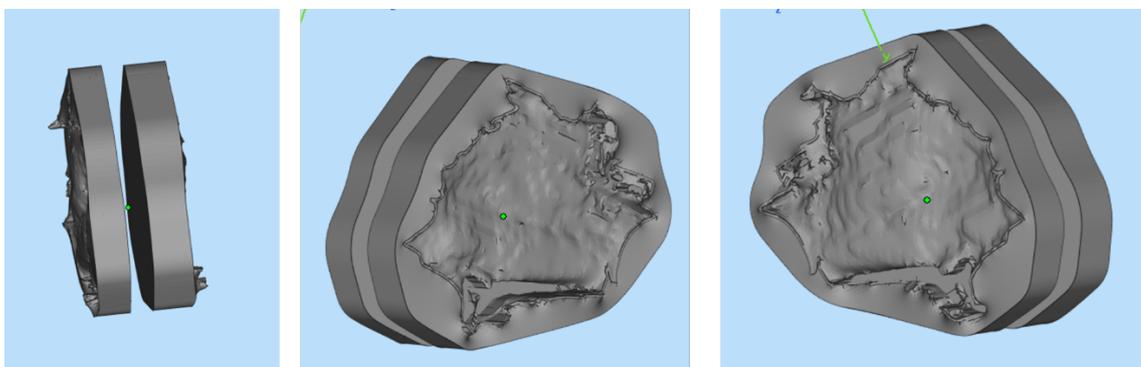


Рисунок 28 – Пресс-форма для формовки имплантатов из силикона и модель, созданная по данным компьютерной томографии того же пациента после операции

Важным преимуществом наших методов, в отличие от зарубежных аналогов, является не только моделирование имплантата, но и разработка модели пресс-формы имплантата [15].

Изготовление методом лазерной стереолитографии пластиковых биомоделей

Следующим этапом проводится прототипирование моделей носовой перегородки и пресс-форм из фотополимеризующих композиций на лазерном стереолитографе в УКБ №1 ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (Рисунок 29).

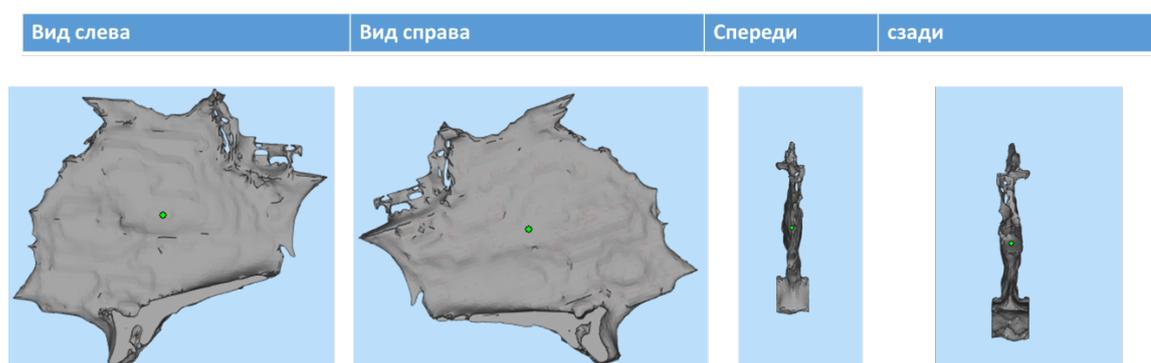


Рисунок 29 – Модель на рабочей платформе после изготовления на стереолитографе LC-250

Полученные компьютерные трехмерные модели подвергаются верификации и дополнительной обработке перед изготовлением на лазерном стереолитографе. Верификация включает в себя проверку целостности и связанности компьютерной модели, устранение разрывов и неправильно ориентированных поверхностей. После устранения дефектов модель разбивается на оболочки, затем выделяется и сохраняется одна основная оболочка, несущая самую полную информацию о модели. В связи с особенностями технологии лазерной стереолитографии нельзя изготовить модели с внутренними полностью замкнутыми полостями. После верификации модели проводится ее пространственная ориентация на рабочей платформе. Модель располагалась в положительном квадрате на расстоянии примерно 10 мм от края по осям X, Y для того, чтобы подпорки не падали в область отрицательных значений. В программе обработки есть опция автоматического размещения нескольких моделей после их ориентации на рабочей платформе [15].

Для изготовления необходимо сгенерировать систему подпорок. В специальной программе предусмотрена автоматическая генерация подпорок,

но при работе с биологическими объектами необходима ручная корректировка системы подпорок, предусмотренная программой [15].

После программной подготовки данные модели были изготовлены на лазерном стереолитографе ЛС-250. Время изготовления одного комплекта пресс-формы носовой перегородки слоями 150 мкм при мощности лазерного излучения в рабочей зоне 25 мВт составляет 8 часов. После изготовления полученные формы проходили специальную пост-обработку, удаление подпорок и ультрафиолетовую сушку в УФ-камере [15].

Важным моментом ринопластики является эстетическое совершенство операции на носовой перегородке, особенно при значительных девиациях носовой перегородки. Компьютерное моделирование и развитие технологий прототипирования кардинальным образом меняют возможности реконструктивной хирургии носовой перегородки и риносептопластики [28].

Наличие пресс-формы позволяет изготовить силиконовую модель носовой перегородки как интраоперационно в стерильных условиях, так и до операции с последующей стерилизацией модели [15,28]. Изготовление модели с использованием пресс-формы требует определенного опыта в силу быстро меняющейся текучести и пластичности материала. В процессе изготовления возможна его доработка с помощью высокоточных ножей. Точная пластиковая копия носовой перегородки пациента позволяет также интраоперационно изготовить имплантат из носового или реберного хряща, что сокращает время операции и улучшает ее качество [15].

В ряде случаев при отсутствии полноценной носовой перегородки (врожденный, посттравматический или ятрогенный дефект) даже использование предоперационного реального прототипирования носовой перегородки дает только удовлетворительный косметический результат (утрата опороспособности носовой перегородки). Для дальнейшего улучшения качества реконструктивных операций необходимо учитывать изменения в носовой перегородке, прежде всего обусловленных рубцово-атрофическими изменениями мягких тканей носа после ринопластики [15].

Таким образом, применение технологии реального прототипирования привнесло принципиально новые возможности в реконструктивную ринопластику и существенно улучшило качество операций при сложных по конфигурации и локализации дефектах и деформациях носа и носовой перегородки [28].

6.2. Результаты клинического использования моделирования носовой перегородки методом реального прототипирования

В нашем исследовании 30 пациентам с различными жалобами (Таблица 12) были выполнены предоперационное моделирование носовой перегородки методом реального прототипирования и методом лазерной стереолитографии.

Таблица 12 – Жалобы пациентов, участвующих в нашем исследовании

Пациент	Жалоба				
	Девияция спинки	Девияция кончика	Горбинка	Затруднение дыхания	Опущенный кончик
1.	+	+		+	
2.			+		+
3.		+			+
4.			+	+	
5.	+	+			
6.		+	+	+	
7.					+
8.	+				+
9.			+		+
10.			+		
11.		+			
12.	+			+	
13.			+		

Продолжение Таблицы 12

Пациент	Жалоба				
	Девиация спинки	Девиация кончика	Горбинка	Загруднение дыхания	Опущенный кончик
14.	+				
15.		+	+		
16.			+	+	
17.	+			+	
18.			+		
19.		+			+
20.	+				
21.			+	+	
22.					+
23.		+			+
24.	+			+	
25.	+				
26.			+		
27.		+			+
28.		+	+		
29.			+		+
30.	+				
Всего	10	10	13	8	10

Частота распределения жалоб была такая: горбинка 13 случаев (43,3%), девиация спинки 10 случаев (33,3%), девиация кончика 10 случаев (33,3%), опущение кончика 10 случаев (33,3%), нарушение дыхания 8 (8%). У большинства пациентов жалобы были сочетанные (Рисунок 30).

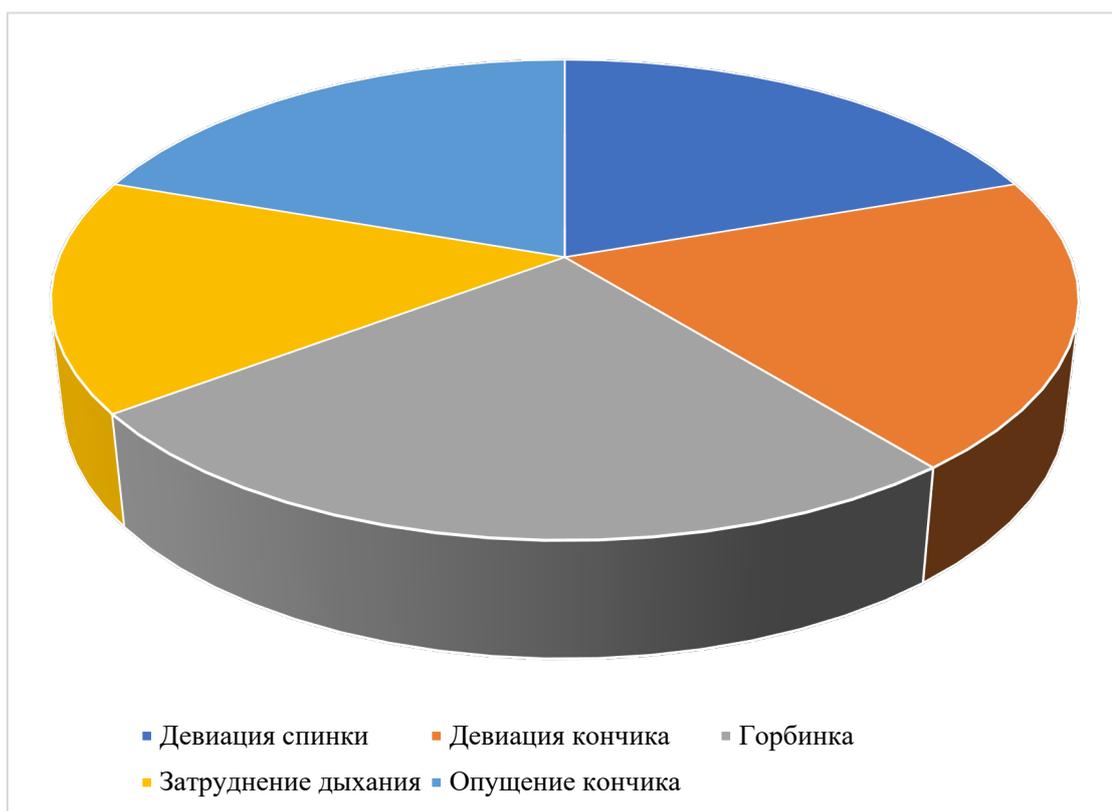


Рисунок 30 – Распределение жалоб среди пациентов

Мы сравнивали, насколько совпадают модели, созданные методом лазерной стереолитографии, методом реального прототипирования и натуральной перегородки. Так как силиконовые модели мы создавали из пресс-форм, созданных путем использования лазерной стереолитографии на основании КТ снимков, то в итоге модели из силикона, созданные путем стереолитографии модели, а также натуральная носовая перегородка совпадали на 99,9%. Такой результат является статистически не достоверным (Рисунок 31).

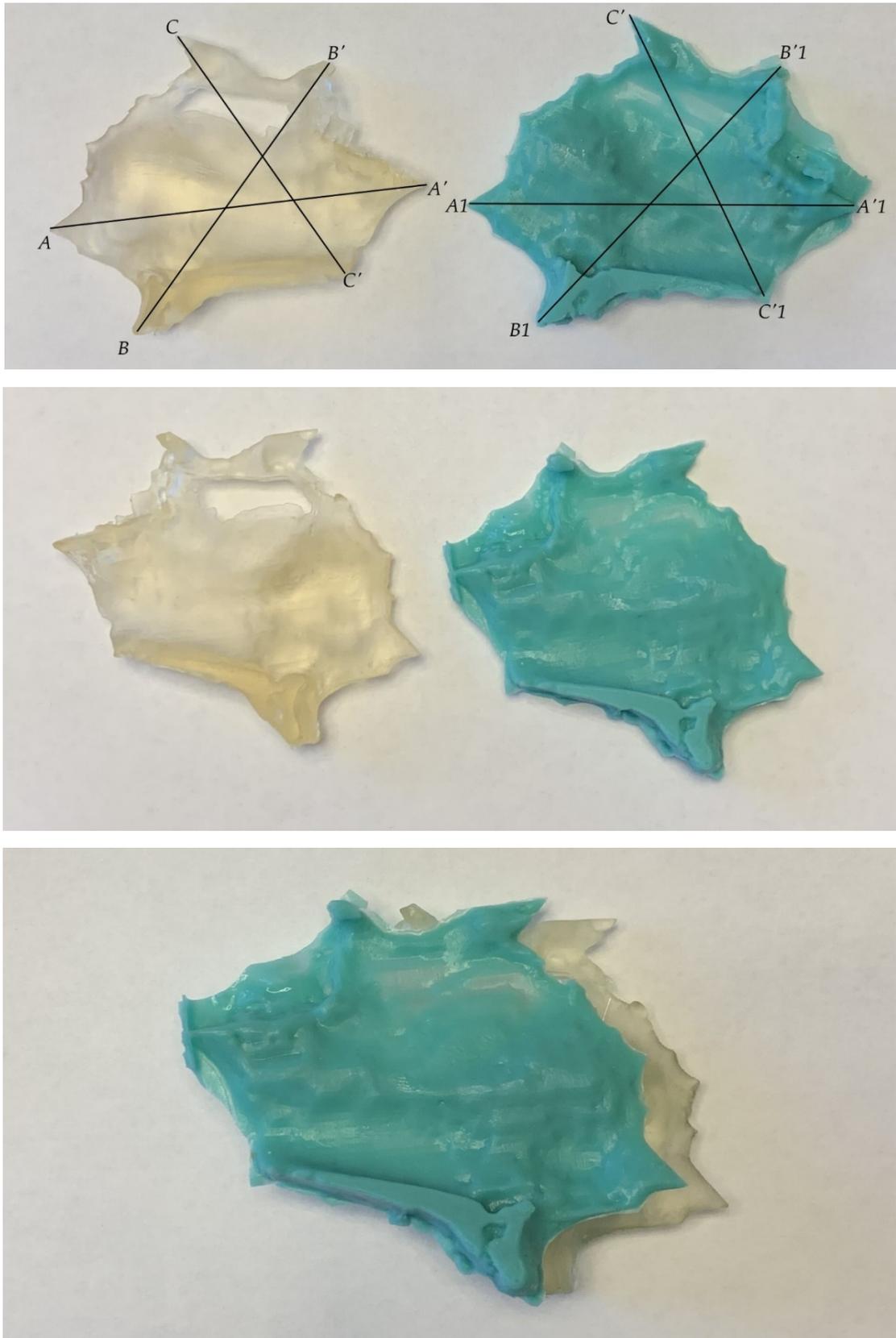


Рисунок 31 – Сравнение моделей из силикона и из пластика. А-А' 8,5 см; А1-А'1 8,51 см; В-В' 7,5 см; В1-В'1 7,5 см; С-С' 6,5 см; С1-С'1 6,5 см. Совпадение на 99% между собой и носовой перегородкой пациента

Силиконовые модели, полученные методом реального прототипирования, позволяли нам определиться с хирургической тактикой для каждого конкретного случая. Мы проводили предоперационные испытания опороспособности носовых перегородок с помощью нашего прототипа на аппарате ZWICK Z100.

На основе полученных данных мы планировали хирургическую тактику для конкретного пациента. Мы забирали хрящевые трансплантаты из носовой перегородки и оставляли L-образную хрящевую подпорку шириной от 15—20 мм. При заборе трансплантатов мы руководствовались нашими результатами, полученными на начальных этапах данной работы, и оставляли все углы закругленными. Создавая L-образную подпорку, надо стремиться сохранить хрящевые дуги, особенно во внутреннем углу. Это придает конструкции большую жесткость и тем самым уменьшает вероятность возникновения осложнений, связанных с утратой опороспособности L-образной подпорки (Рисунок 32).

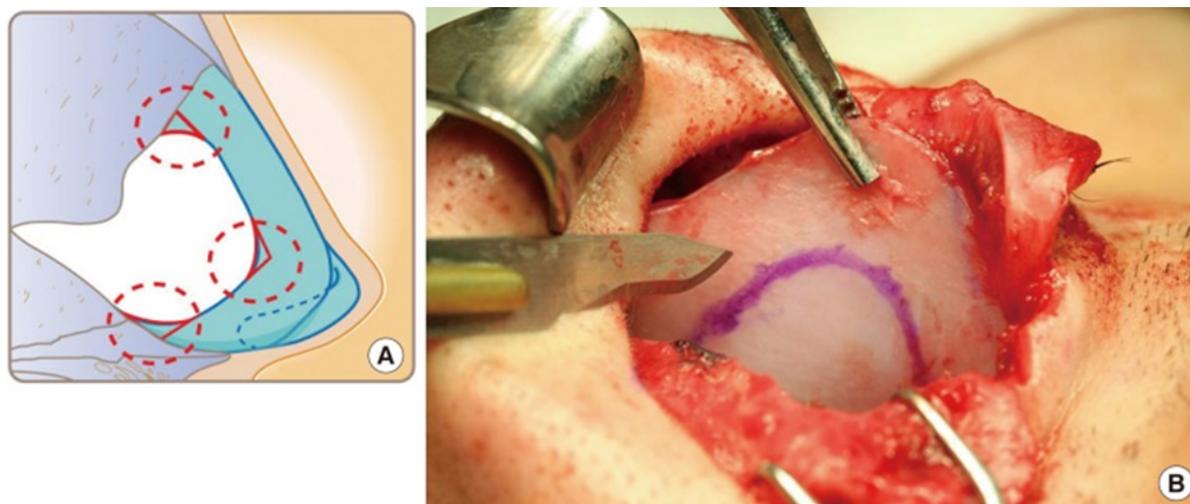


Рисунок 32 – Создание L-образной подпорки. А – схематичное изображение; В – интраоперационный снимок

Из хрящевой ткани носовой перегородки мы создавали следующие хрящевые трансплантаты: расширяющие/укрепляющие трансплантаты для спинки носа (28 случаев), колумеллярный трансплантат (26 случаев). На основании данных, полученных после проведения исследования силиконовых моделей в нашем

прототипе, мы укрепляли места, где возникали точки максимального напряжения (Рисунок 33).

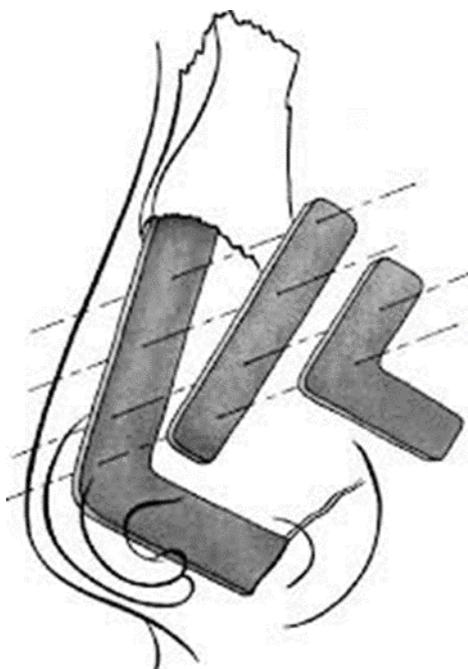


Рисунок 33 – Укрепление L-образной подпорки в точках возникновения максимального напряжения хрящевыми ауто трансплантатами из носовой перегородки

Наших пациентов мы наблюдали через 1, 3, 6 и 12 месяцев после операции. Во всех случаях мы получили хороший эстетический и функциональный результат. Критериями успеха операции считались стабильный внешний вид носа и свободное носовое дыхание в течение наблюдаемого периода.

Таким образом, мы можем утверждать, что метод реального прототипирования носовой перегородки может служить надежным путеводителем в предоперационной подготовке и выборе хирургической тактики для каждого конкретного пациента.

В завершении анализа полученных клинических результатов считаем необходимым подчеркнуть, что метод реального прототипирования носовой перегородки помог нам добиться стабильных и предсказуемых отдаленных результатов после риносептопластики.

Приводим результаты, доказывающие эффективность использования метода реального прототипирования носовой перегородки.

1) *Пациент К., 32 года*

Диагноз: Искривление носовой перегородки. Наличие горбинки и девиации спинки носа.

Обратилась с жалобами на неудовлетворительный внешний вид носа. Из анамнеза известно, что в детстве была травма.

Status localis: Девиация спинки носа вправо. Наличие костно-хрящевой горбинки. Искривление носовой перегородки вправо.

В предоперационном периоде было выполнено КТ-исследование носа. На основании снимка была сделана компьютерная модель носовой перегородки. После было выполнено компьютерное моделирование носовой перегородки и создание пресс формы. На основании компьютерной модели с помощью метода лазерной стереолитографии были отлиты пресс-формы. Следом за этим этапом мы залили в пресс-форму специальный материал для создания натуральной модели носовой перегородки. Натуральную модель носовой перегородки мы поместили в наш прототип и испытали на аппарате ZWICK Z100. После с помощью нашей полезной модели (шаблон) мы отметили на модели участки, которые необходимо вырезать, чтобы а) устранить искривление и б) забрать хрящевые ауто трансплантаты с целью укрепления спинки носа. Отставшую часть носовой перегородки в виде L-образной подпорки мы заново поместили в наш прототип с целью определения опороспособности конструкции.

После определения хирургической тактики мы приступили к самой операции. Ринопластику мы делаем через открытый доступ, так как считаем его наиболее удобным способом при реконструктивной ринопластике. По предварительной разметке мы выполнили разрез кожи. Осуществили поднадхрящичную диссекцию тканей и осуществили доступ к перегородке носа. Она была один в один как наша натуральная модель из силикона. С помощью нашей полезной модели мы выполнили разметку на перегородке и после по разметке вырезали необходимый отдел хрящевой части перегородки носа. Хрящевые ауто трансплантаты мы использовали в качестве укрепляющих трансплантатов дорсальной части L-образной подпорки. Операция прошла гладко.

Были выполнены все намеченные действия. Результат был стойким как в раннем, так и в позднем послеоперационном периоде. Эстетический, внешний вид носа удовлетворил и нас, и пациентку. Функционально пациентка стала лучше дышать (Рисунок 34).



Рисунок 34 – Пациентка К. до и через 12 месяцев после риносептопластики с использованием метода реального прототипирования в предоперационной подготовке

2) *Пациент Н., 32 года*

Диагноз: Искривление носовой перегородки. Наличие костнохрящевой горбинки носа.

Обратилась с жалобами на неудовлетворительный внешний вид носа. Из анамнеза известно, что в детстве травм не было. С юношеского возраста мечтает изменить нос.

Status localis: Наличие костно-хрящевой горбинки.

В предоперационном периоде было выполнено КТ-исследование носа. На основании снимка была сделана компьютерная модель носовой перегородки. После было выполнено компьютерное моделирование носовой перегородки и создание пресс формы. На основании компьютерной модели с помощью метода лазерной стереолитографии были отлиты пресс-формы. Следом за этим этапом мы залили в пресс-форму специальный материал для создания натуральной модели носовой перегородки. Натуральную модель носовой перегородки мы поместили в наш прототип и испытали на аппарате ZWICK Z100. После с помощью нашей полезной модели (шаблон) мы отметили на модели участки, которые необходимо вырезать, чтобы забрать хрящевые ауто трансплантаты с целью укрепления кончика носа. Отставшую часть носовой перегородки в виде L-образной подпорки мы заново поместили в наш прототип с целью определения опороспособности конструкции.

После определения хирургической тактики мы приступили к самой операции. Ринопластику мы делаем через открытый доступ, так как считаем его наиболее удобным способом при реконструктивной ринопластике. По предварительной разметке мы выполнили разрез кожи. Осуществили поднадхрящичную диссекцию тканей и осуществили доступ к перегородке носа. Она была один в один как наша натуральная модель из силикона. С помощью нашей полезной модели мы выполнили разметку на перегородке и после по разметке вырезали необходимый отдел хрящевой части перегородки носа. Хрящевые ауто трансплантаты мы использовали в качестве коллумелярного трансплантата и укрепляющих трансплантатов крыльных хрящей. Операция

прошла гладко. Были выполнены все намеченные действия. Результат был стойким как в раннем, так и в позднем послеоперационном периоде. Эстетический, внешний вид носа удовлетворил и нас, и пациентку. Функционально пациентка стала лучше дышать (Рисунок 35).



Рисунок 35 – Пациентка Н. до и через 6 месяцев после риносептопластики с использованием метода реального прототипирования в предоперационной подготовке

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате сравнительного экспериментального исследования жесткости моделей из 2-х групп материала на аппарате ZWICK Z100 мы пришли к заключению, что экспериментальная модель В, которая имеет дугу во внутреннем углу, а также экспериментальная модель D с двумя хрящевыми дугами как в дорсальной части, так и во внутреннем углу, являются более жесткими и опороспособными по сравнению с экспериментальными моделями А и С, которые с прямым углом и не имеют дуг [45]. Также мы пришли к выводу, что модели из листового силикона в целом являются более жесткими и опороспособными, чем модели из полидиметилсилоксана (Таблицы 13—15).

Таблица 13 – Сравнение значений жесткости моделей А, В, С, D из листового силикона

Листовой силикон	Среднее значение жесткости, Н/мм ²
Модель А	6,89
Модель В	8,7
Модель С	6,9
Модель D	8,94

Таблица 14 – Сравнение значений жесткости моделей А, В, С, D из полидиметилсилоксана (Аэросил)

Полидиметилсилоксан	Жесткость модели (10 ³ Н/м)
Модель А	4,96
Модель В	6,44
Модель С	5,04
Модель D	7,27

Таблица 15 – Сравнение средних значений жесткости моделей А, В, С, D из полидиметилсилоксана (Аэросил)

Материал экспериментальных моделей	Среднее значение жесткости моделей (10 ³ Н/м)
Листовой силикон	7,86
Полидиметилсилоксан	5,93

Результат второй фазы экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния L-образной подпорки поляризационно-оптическим методом подтверждает ранее проведенный эксперимент на аппарате ZWICK Z100: дуги разгружают саму конструкцию и не создают точки концентрации

напряжения. Также на основе данного метода мы понимаем, где находятся зоны максимального напряжения при формировании L-образной подпорки (внутренний угол, костно-хрящевое соединение и место соединения носовой перегородки с носовой остью), тем самым мы можем укреплять данные зоны при операции (Рисунки 36—38).

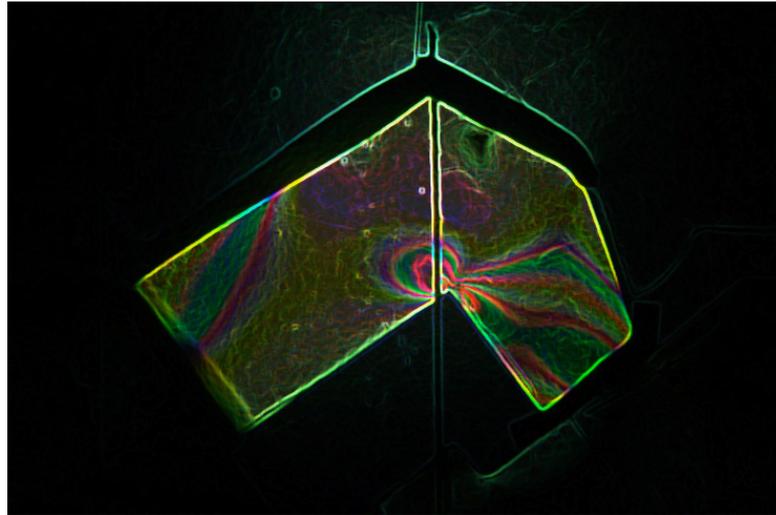


Рисунок 36 – Линии концентрации напряжения в модели А. Внутренний угол, костно-хрящевое соединение и место соединения носовой перегородки с носовой остью

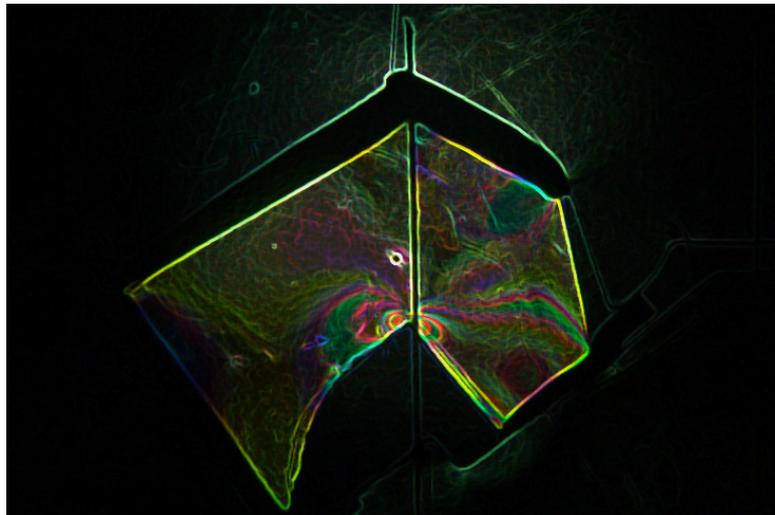


Рисунок 37 – Линии концентрации напряжения в модели С. Внутренний угол, костно-хрящевое соединение и место соединения носовой перегородки с носовой остью

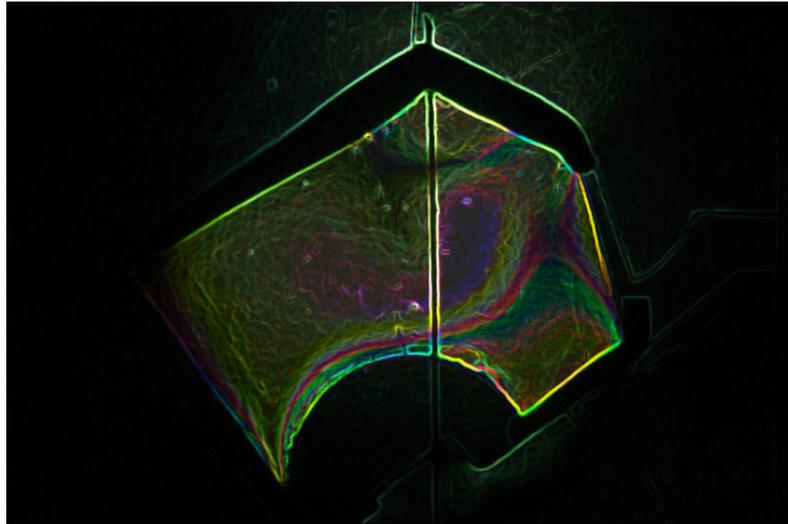


Рисунок 38 – Линии концентрации напряжения в модели С. Внутренний угол, костно-хрящевое соединение и место соединения носовой перегородки с носовой остью

В сравнительном анализе экспериментальных моделей L-образных подпорок в программном комплексе ANSYS мы получили очень интересные и противоречивые результаты. При жестком закреплении с опорой ножек L-образной подпорки наибольшее увеличение жесткости происходит при наличии дополнительной дуги в «дорсальной» части подпорки, то есть при увеличении поверхности закрепления. Наличие округления во внутреннем углу сказывается меньше. Совсем другой вывод можно сделать в случае «свободного упора на опору» ножек L-образной подпорки. Наличие округления во внутреннем углу сильнее увеличивает жесткость, чем наличие дополнительной дуги в «дорсальной» части подпорки (Рисунок 39, Рисунок 40).

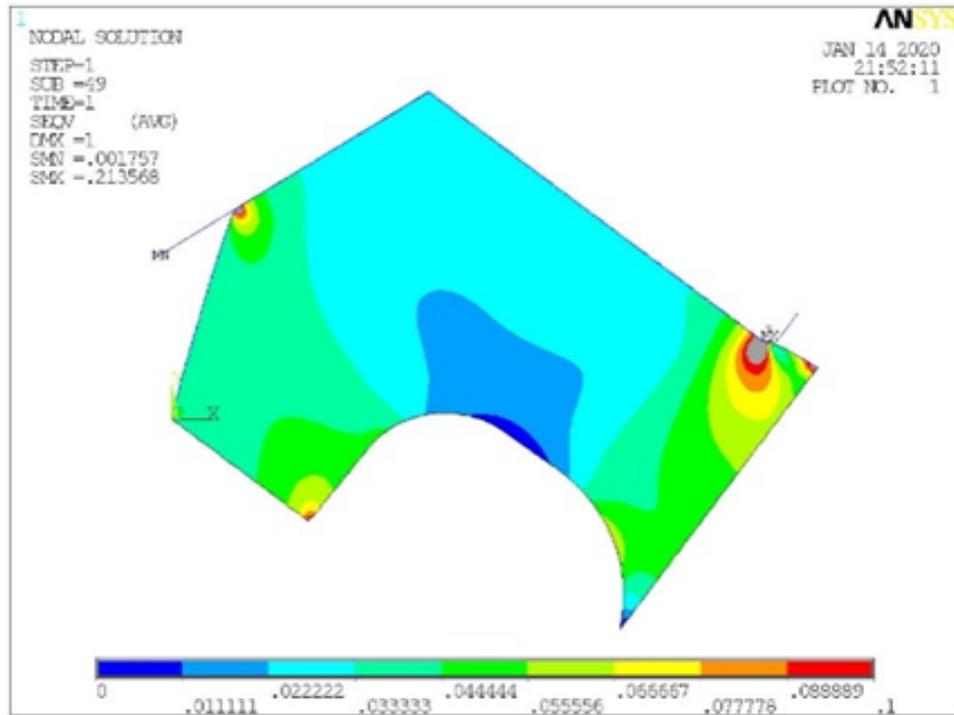


Рисунок 39 – Распределение интенсивности напряжений (Мпа) в модели D в случае жесткого закрепления ножек с опорой

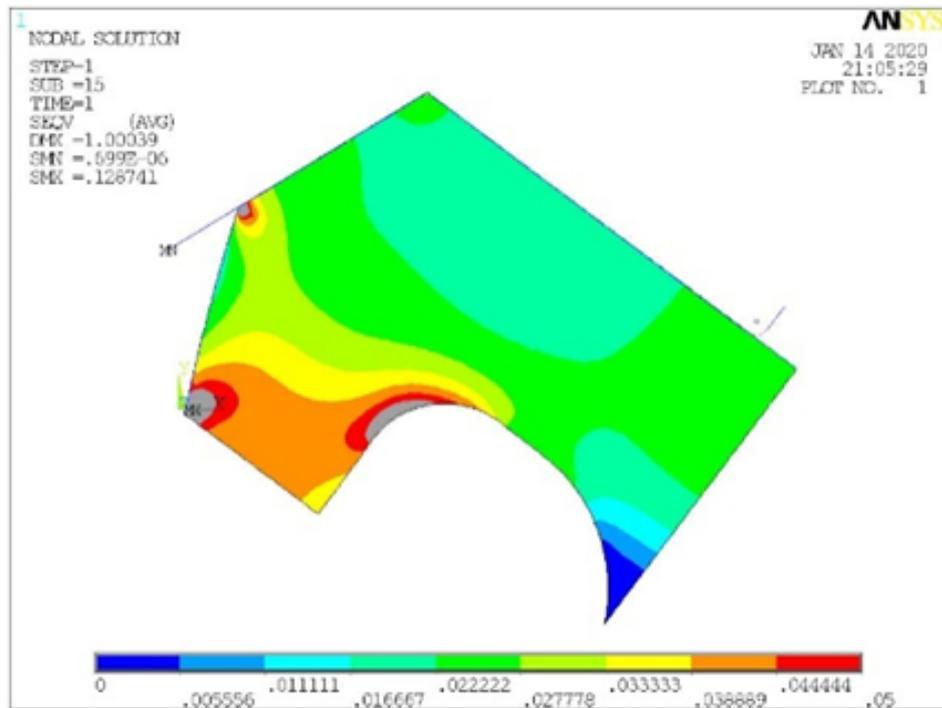


Рисунок 40 – Распределение интенсивности напряжений (Мпа) в модели D в случае свободного упора ножек с опорой

В обоих экспериментах с помощью компьютерной программы ANSYS – с незакрепленным кончиком носа и с кончиком носа с пружинным креплением – костно-хрящевое соединение и носовая ось являются точками формирования

максимального уровня напряжений в перегородке [45]. В связи с этим необходимо стабильно фиксировать носовую перегородку к носовым костям в дорсальной части и носовой ости верхней челюсти в каудальной части. Сохранение хрящевой дуги и увеличение ширины страта в дорсальной части обеспечивают повышение жесткости перегородки и общей устойчивости к ее деформации [45].

Традиционно при формировании септального L-образного страта рекомендуется сохранять ширину L-образного страта не менее 1 см, которая должна обеспечивать общую устойчивость конструкции. Результаты настоящего исследования подтверждают правильность этой рекомендации, поскольку при небольшой ширине L-образного страта повышается величина напряжения, и, что более важно, величина напряжения повышается при низкой механической прочности носовой перегородки. Поэтому в любом случае разумно формировать L-образный септальный страт максимально возможной ширины. Автор рекомендует не менее 15 мм. Кроме того, уровень жесткости L-образного септального страта можно увеличить за счет создания дуг. Таким образом, при сохранении больших объемов материала, особенно в области решетчатой кости и кончика носа, достигается большая устойчивость конструкции. Это может оказаться важным в случае травм, связанных с переломом хряща носовой перегородки и с ее искривлением S- или C-образной формы в связи с внутренним переломом хряща [45].

Ограничения

Ограничение, применяемое в настоящем исследовании, связано с тем, что мы не могли использовать в наших экспериментах модели, созданные из натурального перегородочного хряща, в связи с тем, что невозможно было создать абсолютно одинаковые модели по толщине и структуре из перегородочного хряща, так как хрящ имеет анизотропную, неоднородную и нелинейную структуру. В связи с чем мы приняли в данном исследовании допущение, согласно которому хрящ имеет однородную толщину и линейную структуру. Толщина носовой перегородки

изменяется от наиболее толстого участка в основании носовой перегородки, снижаясь в сторону спинки носа, центрального участка и переднего угла носовой перегородки [45]. Также нагрузка, которую мы давали, распределялась равномерно по всей поверхности MF-FL, что крайне редко бывает в реальности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пластическая и реконструктивная хирургия лица ввиду своей персонифицированной значимости задает высокие требования к эстетическому и функциональному результату. Это привело к значительному прогрессу в ряде областей, что позволило обеспечить не только прогнозируемые и высоко эстетичные результаты проводимого хирургического лечения, но и повысить качество жизни пациентов и их удовлетворенность лечением. Одной из таких областей является раздел ринопластических операций, так как их распространенность требует высоких стандартов оказания медицинских услуг.

Так, на сегодняшний день описаны многочисленные методы септопластики. Однако даже незначительные технические погрешности могут не только свести операцию к нулевому результату, но и привести к уродству. Следовательно, успешность операции, в том числе соблюдение передней носовой ости и поддержание опороспособности, зависит от знания и понимания основных анатомических ориентиров носа.

Таким образом, несмотря на то что ринопластика является весьма распространенным вмешательством в пластической хирургии, вероятность возникновения осложнений и необходимость выполнения ревизионной операции весьма высока. Одной из основных проблем является деформация носовой перегородки, при которой происходит потеря ее опорной функции, в результате чего эстетические результаты оказываются неудовлетворительными [27]. Именно это и является одной из основных причин выполнения вторичной ринопластики. Разнообразие вариантов хирургического пособия при первичной и вторичной риносептопластике лишь подтверждает утверждение о том, что нет унифицированного подхода к проведению этих операций. Анализируя обзор литературных данных, можно сделать вывод: индивидуальные структурные и генетические особенности пациентов, а также развитие и совершенствование методик ринопластики требуют консенсус между четким выполнением алгоритма

тактики первичной и ревизионной операции и персонифицированным подходом с учетом индивидуальной клинической ситуации.

Дизайн исследования: проспективное сравнительное двуцентровое экспериментальное исследование.

Схема исследования:

Исследование было разделено на 4 этапа:

1. Натуральное испытание групп экспериментальных моделей из 2-х различных материалов на аппарате ZWICK Z100.
2. Испытание экспериментальных моделей из оптически активного материала с помощью поляризационно-оптического метода на аппарате БПУ ИМАШ КБ2.
3. Сравнительный анализ экспериментальных моделей в программном комплексе ANSYS.
4. Клиническое применение метода реального прототипирования.

В качестве модельного материала на первом этапе использовались 2 материала, схожих по механическим свойствам с хрящевой тканью перегородочного хряща:

- а) полидиметилсилоксан, упрочненный наночастицами диоксида кремния («Аэросил») с размерами частиц 5—40 нм. Содержание наполнителя в материале составляло около 15% по массе. Введение в состав материала наночастиц наполнителя приводит к повышению прочности и модуля Юнга эластомера и в то же время сохраняет его высокую эластичность;
- б) полупрозрачный листовой силикон [45].

Было изготовлено 4 конфигурации прототипов моделей L-образных подпорок. Специально для нашего исследования мы разработали прототип модели приспособления для натуральных испытаний L-образных подпорок, в нашем исследовании были закреплены каудальные и дорсальные концы L-образных моделей, так как в реальности эти места связаны с носовой костью верхней челюсти в каудальной части и с носовыми костями в дорсальной области [45].

Следует отметить некоторую нелинейность зависимости напряжения от деформации на начальном участке диаграммы растяжения полидиметилсилоксана, характерную для хрящевой ткани. Модуль упругости при растяжении для этого материала при деформации до 20% составляет 2,5 МПа, что соответствует нижней границе диапазона экспериментальных значений модуля Юнга для ткани хряща. Для листового силикона модуль упругости на растяжение равняется 10 МПа, что ближе к верхней границе диапазона [45].

Модуль упругости при сжатии составляет около 1 МПа, что соответствует верхней границе диапазона экспериментальных значений модуля упругости для ткани носового хряща. Следует отметить, что выбранные модельные материалы проявляют различные значения модуля упругости при растяжении и сжатии, характерные для живой ткани носовой перегородки [45].

Для проведения натурального эксперимента разработано специальное приспособление (модель) для нагрузки исследуемых экспериментальных моделей L-образных подпорок и оценки их жесткости. Экспериментальная модель устанавливается на опорном элементе, жестко связанном с основанием приспособления. Основание монтируется в неподвижном захвате установки для испытаний материалов ZWICK Z100. Нагрузка экспериментальной модели осуществляется через нагружающий элемент, перемещение которого с постоянной скоростью задается через подвижный захват установки [45].

В результате эксперимента мы можем сделать вывод, что модели L-образных подпорок В и D были более жесткими во время эксперимента. Разница между ними была небольшая, что дает возможность сделать вывод, что хрящевая дуга во внутреннем углу придает конструкции больше жесткости и, соответственно, опороспособности. Самой жесткой моделью была модель D с двумя хрящевыми дугами – одной во внутреннем углу, а второй – в дорсальной части [45].

В результате сравнительного исследования моделей из полидиметилсилоксана (Аэросил) и моделей из листового силикона мы пришли к заключению, что модели из листового силикона в целом являются более жесткими и опороспособными. Также доступность листового силикона и его простота в

моделировании позволяют нам провести на нем больше экспериментальных циклов. К тому же силикон является пластическим материалом, применяемым некоторыми хирургами во время ринопластики для спинки носа. Преимущество использования листового силикона, несомненно, связано с тем, что больному в связи с забором материала не наносится дополнительная травма, при этом силикону легко придается нужная форма до или во время операции [22]. Однако стоит отметить, что при применении синтетических материалов остается высокий риск к инфицированию или экструзии силикона. Автор считает, что листовой силикон является идеальным материалом для проведения натуральных исследований на опороспособность моделей той или иной геометрической конфигурации, однако не рекомендует использовать его в клинической практике.

Результат экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния L-образной подпорки поляризационно-оптическим методом подтверждает ранее проведенный эксперимент на аппарате ZWICK Z100: дуги разгружают саму конструкцию и не создают точки концентрации напряжения. Модели В и D, имеющие дуги, не создавали точки концентрации напряжения в отличие от моделей А и С, у которых имелись точки концентрации напряжения во внутреннем углу. Также на основе данного метода мы понимаем, где находятся зоны максимального напряжения при формировании L-образной подпорки, тем самым мы можем укреплять данные зоны при операции, используя пластический материал. Самым подходящим материалом для укрепления данных зон является собственный хрящ носовой перегородки. Трансплантаты из хрящевой ткани носовой перегородки следует фиксировать в данных зонах максимальной концентрации напряжения с помощью шовного материала. Можно укреплять с одной либо с двух сторон в виде сэндвича. Также необходимо жестко фиксировать каудальную часть к ости верхней челюсти, а дорсальную часть к носовым костям.

Из сравнительного анализа экспериментальных моделей L-образных подпорок с вариантом «жесткого закрепления с опорой» видно, что наибольшая жесткость достигается в случае модели D. Мало от нее (примерно на 1%) отличается жесткость в случае модели С. Меньшее (примерно на 7% для

рассмотренных вариантов С и D) значение силы наблюдается в случаях с моделями В и А, близких между собой. Можно сделать вывод о том, что при жестком закреплении с опорой ножек L-образной подпорки наибольшее увеличение жесткости происходит при наличии дополнительной дуги в «дорсальной» части подпорки, то есть при увеличении поверхности закрепления. Наличие округления во внутреннем углу сказывается меньше.

Совсем другой вывод можно сделать в случае «свободного упора на опору» ножек L-образной подпорки. Видно, что близки случаи А и С, В и D. Наличие округления во внутреннем углу сильнее увеличивает жесткость, чем наличие дополнительной дуги в «дорсальной» части подпорки.

В качестве третьего варианта граничных условий мы рассмотрели случай, когда ножки жестко закреплены с опорой, а верхняя часть L-образной подпорки «приклеена» к штампу, то есть перемещения точек линий равны заданным перемещениям штампа. В этом случае задача решилась без моделирования штампа, вертикальные перемещения задались для точек верхней границы тела. Максимальное увеличение жесткости дает наличие дополнительной дуги в «дорсальной» части подпорки.

Таким образом, при сохранении больших объемов материала, особенно в области решетчатой кости и кончика носа, достигается большая устойчивость конструкции. Это может оказаться важным в случае травм, связанных с переломом хряща носовой перегородки и с ее искривлением S- или C-образной формы в связи с внутренним переломом хряща [45].

Ограничение, применяемое в настоящем исследовании, связано с тем, что мы не могли использовать в наших экспериментах модели, созданные из натурального перегородочного хряща, в связи с тем, что невозможно было создать абсолютно одинаковые модели по толщине и структуре из перегородочного хряща, так как хрящ имеет анизотропную, неоднородную и нелинейную структуру. В связи с чем мы приняли в данном исследовании допущение, согласно которому хрящ имеет однородную толщину и линейную структуру. Толщина носовой перегородки изменяется от наиболее толстого участка в основании носовой перегородки,

снижаясь в сторону спинки носа, центрального участка и переднего угла носовой перегородки [45]. Также нагрузка, которую мы давали, распределялась равномерно, по всей поверхности MF-FL, что крайне редко бывает в реальности.

Исходя из экспериментальных данных, полученных в ходе данной работы, можно заключить, что разработанная экспериментальная модель оказывает существенное прогностическое значение при проведении риносептопластики. Перед риносептопластикой необходимо на основе КТ исследования создавать силиконовую 3D модель носовой перегородки конкретного пациента и исследовать ее опороспособность с помощью разработанной экспериментальной модели. Благодаря данной методике моделирования мы получаем данные, которые позволят оптимально разработать операционную тактику забора хрящевого трансплантата у конкретного пациента, лучше спрогнозировать ход операции и послеоперационного периода, а также получить желаемые отдаленные эстетические и функциональные результаты.

ВЫВОДЫ

1. Костно-хрящевое соединение (КХС), кончик носа, внутренний угол и носовая ость являются точками возникновения максимального напряжения; при отсутствии хрящевых дуг и жесткой фиксации L-образной подпорки к ости верхней челюсти и носовым костям, а также ширина L-образной подпорки менее 1 см приводят к утрате опороспособности носовой перегородки при ринопластике.
2. Модуль упругости при сжатии хрящевой ткани перегородки носа варьирует в пределах от 0,4 до 0,9 МПа, а коэффициент Пуассона варьирует в пределах от 0,26 до 0,38 МПа, что по своим силовым характеристикам приближается к листовому силикону марки HCR.
3. Оптимальной методикой забора хрящевой части носовой перегородки для реконструкции является интраоперационная разметка с использованием модели-шаблона и забор хряща с сохранением хрящевых дуг, особенно во внутреннем углу и оставлением ширины L-образной подпорки не менее 15 мм в дорсальной части.
4. Разработанная методика создания реального прототипа носовой перегородки из листового силикона позволяет получить модель, на 99% схожую с характеристиками виртуальной модели конкретного пациента.
5. Апробированная методика моделирования забора хрящевой части носовой перегородки позволяет надежно прогнозировать результат операции, ускоряет время операция и снижает частоту осложнений до 3,3%.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При прогнозировании забора аутотрансплантата из хрящевой ткани носовой перегородки необходимо на основе КТ снимка носа и метода лазерной стереолитографии создать натуральную 3D модель носовой перегородки для моделирования предстоящей операции с помощью авторской экспериментальной модели (конструкции).
2. Натуральную 3D модель носовой перегородки для натуральных испытаний целесообразно создавать из листового силикона.
3. Отсутствие у L-образной подпорки жесткой фиксации, хрящевых дуг, а также ширина ножек менее 15 мм требуют пересмотра методики операции в сторону укрепления опорных конструкций.
4. При выполнении реконструктивной риносептопластики необходимо использовать модель (шаблон) для нанесения разметки на хряще носовой перегородки для повышения точности и качества операции.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВНАХТ – васкуляризированные несвободные аутохрящевые трансплантаты

КО ЧХ – каудальный отдел четырехугольного хряща

КТ – компьютерная томография

КХС – костно-хрящевое соединение

МДТТ – механика деформируемого твердого тела

НБХ – нижние боковые хрящи

ОПНС – обобщенное плоское напряженное состояние

ПГС – протоегликановая сеть

САХТ – свободные аутохрящевые трансплантаты

ЦО БКХ – цефалический отдел латеральных ножек большого крыльчатого хряща

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

ЯВДЛ – явление временного двойного лучепреломления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристархов, В.Г. Оценка результатов ринопластических операций, выполняемых пациентам с комбинированными посттравматическими деформациями носа / В.Г. Аристархов, В.А. Медведев // Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья. – 2007. – № 30. – С. 139—142.
2. Алексанян, Т.А. Вторичная закрытая ринопластика у пациента с посттравматической деформацией наружного носа / Т.А. Алексанян, Е.В. Казанцев // Вестник оториноларингологии. – 2017. – Т. 82. – № 2. – С. 80—83.
3. Белоусов, А.Е. Функциональная ринопластика. Очерки пластической хирургии [Текст] / А.Е. Белоусов. – Т. 2. – СПб: Изд-во СПбГПУ– 2010. – 18 с.
4. Белоусов, А.Е. Функциональная ринопластика [Текст] / А.Е. Белоусов. – СПб: Изд-во Политехнического университета — 2010. – С. 512.
5. Вальтер, К. Осложнения ринопластики / К. Вальтер // Российская ринология. — 1995. — № 2. — С. 4—17.
6. Вальтер, К. Эволюция ринопластики / К. Вальтер // Российская ринология. — 1996. — № 1. — С. 5—16.
7. Внук, В.В. Применение систем автоматизированного проектирования и аддитивных технологий в восстановительной хирургии / В.В. Внук, Е.В. Ипполитов, М.М. Новиков, С.А. Черобыло // Труды Международной конференции по компьютерной графике и зрению «Графикон». – 2019. – № 29. – С. 176—180.
8. Гюсан, А.О. Восстановительная риносептопластика: [Монография] / А.О. Гюсан // СПб: Диалог, 2000. — 191 с.
9. Говорунин, М.П. Диагностические возможности компьютерной риноманометрии в восстановлении функции носового дыхания / М.П. Говорунин, В.Г. Миронов // Всероссийская конференция с международным участием «Проблема реабилитации в оториноларингологии». – Самара, 2003. — С. 233—234.
10. Дайхес Н.О. Восстановление опороспособности носовой перегородки при вторичной ринопластике / Н.О. Дайхес, К.Б. Липский, Д.А. Сидоренков, Г.А.

Аганесов, П.В. Пиманчев, Н.К. Стрелкова // Медицинский совет. – 2015. – № 15. – С. 90—91.

11. Диденко, В.В. Эволюция морфо-функциональных проявлений флотации перегородки носа после хирургической коррекции ее деформации / В.В. Диденко, А.Д. Гусаков, В.И. Диденко // Российская оториноларингология. – 2011. – № 3 (52). – С. 40—45.

12. Диденко В.В. Реконструктивно-пластическая хирургия остова перегородки носа – эффективный способ профилактики и устранения её послеоперационной флотации / В.В. Диденко // Российская оториноларингология. – 2011. – № 5 (54). – С. 46—51.

13. Дутова, М.О. Методы визуализации наружного носа (обзор литературы) / М.О. Дутова, Д.В. Давыдов, Д.А. Лежнев // Head and Neck (Голова и шея). – 2016. – № 1—2. – С. 66—68.

14. Евсеев, А.В. Изготовление физических моделей методом стереолитографии / А.В. Евсеев, С.В. Камаев, Е.В. Коцюба [и др.] // Автоматизация проектирования. – 1999. – № 2. – С. 533.

15. Евсеев, А.В. Применение лазерной стереолитографии в медицине / А.В. Евсеев, Е.В. Ипполитов, М.М. Новиков, С.В. Чербыло // Аддитивные технологии. – 2019. – № 2. – С. 56—64.

16. Ермакова, И.Н. Процесс бескрасочной термопечати цветных изображений на прозрачных пленках полиэтилена: дис. ... канд. тех. наук: 05.02.13 / Ермакова Ирина Николаевна. – М., 2016. – 107 с.

17. Ершова, А.Ю. Экспериментальные исследования механических свойств мелкозернистых композитов на основе ненасыщенных полиэфиров: дис. ... канд. тех. наук: 01.02.06 / Ершова Алена Юрьевна. – М., 2010. – 109 с.

18. Жуков, М.И. Использование васкуляризованного несвободного перемещенного трансплантата из каудального отдела четырехугольного хряща при открытой эстетической ринопластике / М.И. Жуков, А.В. Бреславец // Пластична та реконструктивна хірургія. —2011. — № 2. — С. 16—19.

19. Заболотный, Д.И. Оториноларингология: учебник / Д.И. Заболотный, Ю.В. Митин, С.Б. Безшапочный, Ю.В. Деева. – Киев: ВСВ «Медицина», 2010. – 472 с.
20. Икромов, М.К. Эстетические и функциональные аспекты риносептопластики при различных патологиях носа / М.К. Икромов, Д.И. Холматов, М.И. Махмудназаров // Вестник Авиценны. – 2011. – № 2 (47). – С. 29—35.
21. Кицера, А.Е. Хондроинверсия – вариант реимплантации хряща носовой перегородки / А.Е. Кицера, А.А. Борисов // Актуальные вопросы оториноларингологии: сб. трудов. – Алма-Ата. – 1979. – С. 153—155.
22. Криштопова, М.А. Экспериментально-морфологическое обоснование применения в септопластике имплантата из полиэфирных комплексных волокон (диагностика, лечение) / М.А. Криштопова, В.С. Куницкий, О.Д. Мяделец // Новости хирургии. – 2006. – Т. 14. – № 2. – С. 45—54.
23. Кузнецов, В.В. Профилактика травмы зубочелюстного аппарата у спортсменов и лиц, выполняющих силовые упражнения: дис. ... канд. мед. наук: 14.00.21 / Кузнецов Владимир Владимирович. – М., 2008. – 115 с.
24. Куницкий, В.С. Септопластика с использованием трикотажного материала для восстановления костных и хрящевых структур / В.С. Куницкий, М.А. Криштопова, Д.А. Затолока // Новости хирургии. — 2008. — Т. 16. – №1. — С. 80—87.
25. Курбанов, У.А. Редукционная ринопластика / У.А. Курбанов, А.А. Давлатов, С.М. Джанобилова [и др.] // Вестник Авиценны. – 2016. – № 4 (69). – С. 29—33.
26. Липский, К.Б. Эстетические осложнения метода резекции носовой перегородки по Киллиану и его модификаций / К.Б. Липский, Д.А. Сидоренков, Г.А. Аганесов, А.А. Малахов // Российская оториноларингология. – 2014. – № 4 (71). – С. 62—66.
27. Липский, К.Б. Основные методики восстановления утраченной опороспособности носовой перегородки после первичной риносептопластики / К.Б. Липский, Д.А. Сидоренков, Г.А. Аганесов, П.В. Пиманчев // Медицинский совет. – 2016. – № 6. – С. 60—63.

28. Лихтерман, Л.Б. Черепно-мозговая травма. Диагностика и лечение / Лихтерман Л.Б. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 488 с.
29. Локощенко, А.М. Ползучесть и длительная прочность металлов [Текст] / А.М. Локощенко; Московский гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, Науч.-исслед. ин-т механики. – Москва: Физматлит, 2016. – 502 с.
30. Лопатин, А.С. Реконструктивная хирургия деформаций перегородки носа / А.С. Лопатин // Российская ринология. – 1994.— Приложение 1. – С. 3—28.
31. Маманов, М.А. Открытая септоринопластика: особенности, преимущества и недостатки / М.А. Маманов, Э. Инджи // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2014. – Т. 14. – № 10. – С. 155—158.
32. Махмудназаров, М.И. Современные методы хирургического лечения деформаций носовой перегородки / М.И. Махмудназаров, Ш.Ш. Туйдиев // Вестник Авиценны. —2012. — № 4 (53). — С. 56—61.
33. Медведев, В.А. Хирургическая коррекция ринодеформации в виде горба и опущения кончика носа / В.А. Медведев // Российская оториноларингология. — 2013. — № 5 (66). — С. 78—81.
34. Мелоян, А.Р. Эстетические и психологические аспекты в ринопластике / А.Р. Мелоян // Состояние здоровья: медицинские, социальные и психолого-педагогические аспекты: VII Международная научно-практическая интернет-конференция. Чита: Забайкал. Гос. ун-т, 2016. – С. 1156—1163.
35. Мишалов, В.Г. Эффективность эстетической ринопластики / В.Г. Мишалов, В.В. Храпач, О.В. Балабан, Д.А. Юрченко // Анналы пластической реконструктивной и эстетической хирургии. – 2004. – № 4. – С. 114.
36. Мишкорез, М.В. Особенности строения носовой перегородки у пациентов с риносколиозом / М.В. Мишкорез // Российская оториноларингология. – 2011. – № 3 (52). – С. 95.
37. Михельсон, Н.М. Косметические операции лица [Текст] / Н.М. Михельсон, Г.В. Кручинский, Л.А. Крикун [и др.]. — М.: Медицина, 1965. — 255 с.
38. Одинаева, М.С. Посттравматические деформации носа (обзор литературы) / М.С. Одинаева, У.А. Курбанов, А.А. Давлатов, С.М. Джанобилова // Известия

Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук. – 2011. – № 3. – С. 65—74.

39. Оганесян, С.С. Новый способ пластики носовой перегородки / С.С. Оганесян, Ю.К. Янов // Материалы XVII съезда оториноларингологов России. — СПб.: РИА-АМИ. — 2006. — С. 322–323.

40. Пискунов, В.С. О классификации деформаций перегородки носа / В.С. Пискунов // Российская оториноларингология. – 2009. – № 1 (38). – С. 112—116.

41. Протасевич, Г.С. Клиническая классификация деформаций перегородки носа / Г.С. Протасевич // Здоровоохранение Туркменистана. – 1979. – № 7. – С. 14—16.

42. Пшениснов, К.П. Секреты открытой ринопластики: Ринопластика II / К.П. Пшениснов // Избранные вопросы пластической хирургии. – 2004. – Т. 1. – № 10. – 55 с.

43. Пшениснов, К.П. Ринопластика III: осложнения в эстетической хирургии носа и вторичная ринопластика / К.П. Пшениснов // Избранные вопросы пластической хирургии. — 2001. — Т. 1. — № 6. — 41 с.

44. Пшениснов, К.П. Курс Пластической хирургии: [руководство для врачей] : Т. 1: Общие вопросы. Кожа и ее поражения. Голова и шея / [Е.А. Афонина и др.; под ред. К.П. Пшениснова]. – Ярославль; Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2010. – 753 с.

45. Решетов, И.В. Биомеханика деформаций L-образной подпорки носовой перегородки / И.В. Решетов, К.Б. Липский, Д.А. Сидоренков, Г.А. Аганесов, П.В. Пиманчев, Ю.П. Зезин, А.М. Локощенко // Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии. – 2016. – № 3. – С. 19—26.

46. Русецкий, Ю.Ю. Функциональные последствия ринопластики (обзор литературы) / Ю.Ю. Русецкий, Л.Л. Павлюченко, Э.А. Махамбетова [и др.] // Российская ринология. – 2015. – Т. 23. – № 4. – С. 39—45.

47. Сахокия, Н.З. Эстетические и функциональные последствия ринопластики / Н.З. Сахокия, В.П. Соболев, М.В. Шаройко, Ю.Ю. Русецкий // Российская ринология. – 2013. – Т. 21. – № 2. – С. 18.

48. Сафарян, Д.Л. Компьютерная 3D визуализация для планирования и проведения реконструктивной ринопластики: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.14 / Сафарян Давид Леонович. – М., 2019. – 109 с.
49. Современные лазерно-информационные и лазерные технологии: сб. тр. ИПЛИТ РАН / Рос. акад. наук, Ин-т проблем лазер. и информ. технологий; под ред. В.Я. Панченко и В.С. Голубева. – М.: Интерконтакт Наука, 2005. – 303 с.
50. Стакер, Ф.Д. Современная хирургия перегородки носа / Ф.Д. Стакер // Российская ринология. – 1997. – № 1. – С. 4—7.
51. Степанова, Л.В. Экспериментальное определение коэффициентов многопараметрического разложения поля напряжений у вершины трещины: метод фотоупругости / Л.В. Степанова, В.С. Долгих // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2017. – Т. 23. – № 1. – С. 59—68.
52. Типалин, С.А. Экспериментальное исследование механических свойств демпфирующего материала / С.А. Типалин, Н.Ф. Шпунькин, М.Ю. Никитин, А.В. Типалина // Известия МГТУ МАМИ. – 2010. – № 1 (9). – С. 166—170.
53. Ткаченко, А.Е. Клинико-психологическая характеристика пациентов клиник эстетической хирургии / А.Е. Ткаченко, Л.Т. Баранская, А.Г. Леонов [и др.] // Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии. – 2003. – № 2. – С. 63—68.
54. Чкадуа, Т.З. Компьютерное 3D-моделирование для планирования ринопластики / Т.З. Чкадуа, Д.Л. Сафарян, А.Н. Ряховский [и др.] // Институт стоматологии. – 2018. – № 4 (81). – С. 72—73.
55. Шанидзе, З.Л. Совершенствование ортопедического стоматологического лечения пациентов с полным отсутствием зубов и послеоперационными дефектами верхней челюсти: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.14 / Шанидзе Зураб Леванович. – М., 2019. – 209 с.
56. Шарафутдинов, Г.З. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений / Г.З. Шарафутдинов, Е.Д. Мартынова // Пособие по механическому практикуму. – Издательство Попечительского совета механико-математического факультета МГУ. – Москва, 2011. <http://lib.convdocs.org>

57. Щербаков, Д.А. Закрытие перфораций перегородки носа с использованием лазер-моделированных аллотрансплантатов / Д.А. Щербаков // Медицинский вестник Башкортостана. — 2012. — Т. 7. — № 6. — С. 76—79.
58. Aksakal, I.A. Preoperative Simulation in Planning Rhinoplasty: Evaluation from Patients' and Surgeons' Perspectives / I.A. Aksakal, M.K. Keles, M.S. Engin [et al.] // Facial Plast Surg. — 2017. — № 33 (3). — P. 324—328.
59. Andrades, P. A new approach to nasoseptal fractures: Submucosal endoscopically assisted septoplasty and closed nasal reduction / P. Andrades, N. Pereira, C. Borel [et al.] // J Craniomaxillofac Surg. — 2016. — № 44 (10). — P. 1635—1640.
60. Bagheri, S.C. An analysis of 101 primary cosmetic rhinoplasties / S.C. Bagheri, H.A. Khan, A. Jahangirnia [et al.] // J Oral Maxillofac Surg. — 2012. — № 70 (4). — P. 902—909.
61. Bailey, B.J. Nasal septal surgery 1896—1899: transition and controversy / B.J. Bailey // Laryngoscope. — 1997. — № 107 (1). — P. 10—16.
62. Ballert, J.A. Functional considerations in revision rhinoplasty / J.A. Ballert, S.S. Park // Facial Plast Surg. — 2008. — № 24 (3). — P. 348—357.
63. Banyard, D.A. Regenerative biomaterials: a review / D.A. Banyard, J.M. Bourgeois, A.D. Widgerow, G.R. Evans // Plast Reconstr Surg. — 2015. — № 135 (6). — P. 1740—1748.
64. Bouaoud, J. Functional and Aesthetic Factors Associated with Revision of Rhinoplasty / J. Bouaoud, M. Loustau, J.B. Belloc // Plast Reconstr Surg Glob Open. — 2018. — № 6 (9). — P. e1884.
65. Boucher, F. [Facial feminization surgery – middle and inferior thirds] / F. Boucher, A. Gleizal, A. Mojallal, J.T. Bachelet // Ann Chir Plast Esthet. — 2017. — № 62 (2). — P. 122—130.
66. Cafferty, A. Open and Closed Rhinoplasty / A. Cafferty, D.G. Becker // Clin Plast Surg. — 2016. — № 43 (1). — P. 17—27.
67. Crosara, P.F. Rhinoplasty Complications and Reoperations: Systematic Review / P.F. Crosara, F.B. Nunes, D.S. Rodrigues [et al.] // Int Arch Otorhinolaryngol. — 2017. — № 21 (1). — P. 97—101.

68. Daniel, R.K. Secondary rhinoplasty following open rhinoplasty / R.K. Daniel // *Plast Reconstr Surg.* – 1995. – № 96 (7). – P. 1539—1546.
69. Decambron, A. A comparative study of tissue-engineered constructs from *Acropora* and *Porites* coral in a large animal bone defect model / A. Decambron, M. Manassero, M. Bensidhoum [et al.] // *Bone Joint Res.* – 2017. – № 6 (4). – P. 208—215.
70. Eisenberg, I. A history of rhinoplasty / I. Eisenberg // *S Afr Med J.* – 1982. – № 62 (9). – P. 286–292.
71. Ferril, G.R. Management of complications from alloplastic implants in rhinoplasty / G.R. Ferril, J.M. Wudel, A.A. Winkler // *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* – 2013. – № 21(4). – P. 372—378.
72. Fomon, S. *Surgery of injury and plastic repair* / S. Fomon. – Baltimore: The Williams & Wilkins Co., 1939. – 1409 p.
73. Harrison, D.H. Reflections on the open and closed rhinoplasty / D.H. Harrison // *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* – 2013. – № 66 (10). – P. 1356–1359.
74. Hellmich, S. Reconstruction of the destroyed septal infrastructure / S. Hellmich // *Otolaryngol Head Neck Surg.* – 1989. – № 100 (2). – P. 92—94.
75. Honrado, C.P. Quantitative assessment of nasal changes after maxillomandibular surgery using a 3-dimensional digital imaging system / C.P. Honrado, S. Lee, D.S. Bloomquist, W.F. Larabee Jr // *Arch Facial Plast Surg.* – 2006. – № 8 (1). – P. 26—35.
76. Hwang, P.H. Endoscopic septoplasty: indications, technique, and results / P.H. Hwang, R.B. McLaughlin, D.C. Lanza, D.W. Kennedy // *Otolaryngol Head Neck Surg.* – 1999. – № 120 (5). – P. 678—682.
77. Klabunde, E.H. Incidence of complications in cosmetic rhinoplasties / E.H. Klabunde, E. Falces // *Plast Reconstr Surg.* — 1964. — № 34. — P. 192—196.
78. Kim, J.G. Absorbable plate as a perpendicular strut for acute saddle nose deformities / J.G. Kim, S.C. Rhee, P.D. Cho [et al.] // *Arch Plast Surg.* – 2012. – № 39 (2). – P. 113–117.
79. Kim, H.S. Problems associated with alloplastic materials in rhinoplasty / H.S. Kim, S.S. Park, M.H Kim [et al.] // *Yonsei Med J.* – 2014. – № 55 (6). – P. 1617–1623.

80. Kopacheva-Barsova, G. Justification for Rhinoseptoplasty in Children – Our 10 Years Overview / G. Kopacheva-Barsova, N. Nikolovski // *Open Access Maced J Med Sci.* – 2016. – № 4 (3). – P. 397—403.
81. Khan, N.A. Uses of Various Grafting Techniques in External Approach Rhinoplasty: An Overview / N.A. Khan, A. Rehman, R. Yadav // *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* – 2016. – № 68 (3). – P. 322—328.
82. Layliev, J. Incidence and Preoperative Risk Factors for Major Complications in Aesthetic Rhinoplasty: Analysis of 4978 Patients / J. Layliev, V. Gupta, C. Kaoutzanis [et al.] // *Aesthet Surg J.* – 2017. – № 37 (7). – P. 757–767.
83. Lin, G. Complications using grafts and implants in rhinoplasty / G. Lin, W. Lawson // *Otolaryngol Head Neck Surg.* — 2007. — № 18 (4). — P. 315—323.
84. Loyo, M. Safety of alloplastic materials in rhinoplasty / M. Loyo, L.E. Ishii // *JAMA Facial Plast Surg.* – 2013. – № 15 (3). – P. 162—163.
85. Maniglia, C.P. Rhinoseptoplasty in children / C.P. Maniglia, J.V. Maniglia // *Braz J Otorhinolaryngol.* – 2016. – № 83 (4). – P. 416—419.
86. Mendelson, A. Engineered nasal cartilage by cell homing: a model for augmentative and reconstructive rhinoplasty / A. Mendelson, J.M. Ahn, K. Paluch [et al.] // *Plast Reconstr Surg.* – 2014. – № 133 (6). – P. 1344—1353.
87. Menick, F.J. Aesthetic and reconstructive rhinoplasty: a continuum / F.J. Menick // *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* – 2012. – № 65 (9). – P. 1169—1174.
88. Miller, T. Immediate postoperative complications of septoplasties and rhinoplasties / T. Miller // *Trans Pac Coast Otoophthalmol Soc Annu Meet.* — 1976. — № 57. —P. 201—205.
89. Mladina, R. What do we know about Septal Deformities / R. Mladina, L. Bastaic // *Rhinology.* – 1997. – № 4 (2). – P. 79—89.
90. Mocella, S. Innovative technique for large septal perforation repair and radiological evaluation / S. Mocella, F. Muia, P.G. Giacomini [et al.] // *Acta Otorhinolaryngol Ital.* – 2013. – № 33 (3). – P. 202—214.

91. Nunes, FB. Classification of rhinoplasties performed in an otorhinolaryngology referral center in Brazil / F.B. Nunes, P.F. Crosara, I.S. Oliveira [et al.] // *Braz J Otorhinolaryngol.* – 2014. – № 80 (6). – P. 476—479.
92. Park, S.H. New application of three-dimensional printing biomaterial in nasal reconstruction / S.H. Park, B.G. Yun, J.Y. Won [et al.] // *Laryngoscope.* – 2017. № 127 (5). – P. 1036—1043.
93. Pawar, S.S. Modeling Our Way to Better Outcomes / S.S. Pawar, J.S. Rhee // *JAMA Facial Plastic Surgery.* – 2015. – № 17 (6). – P. 420—421.
94. Persichetti, P. Modified Extracorporeal Septoplasty: Functional Results at 6-Year Follow-up / P. Persichetti, V. Toto, F. Segreto [et al.] // *Ann Plast Surg.* – 2016. – № 76 (5). – P. 504—508.
95. Pietro P. Aesthetic Rhinoplasty as a Surface-Contour Operation: From Analysis to Surgery — Personal Concepts / P. Pietro, K. Iman, V. Irina // *Facial Plast Surg.* – 2016. – № 32 (6). – P. 587–598.
96. Pimanchev, P.V. Biomechanics of the deformity of septal L-struts / P.V. Pimanchev, I.V. Reshetov, D.A. Sidorenkov, N.C. Sukortseva, K.B. Lipsky, G.A. Aganesov, Y.P. Zezin, P.V. Chistyakov // *Eurasian Journal of Biosciences.* – 2020. – № 14 (1). – P. 219—225.
97. Quatela, V.C. Structural grafting in rhinoplasty / V.C. Quatela, A.A. Jacono // *Facial Plast Surg.* — 2002. — № 18 (4). — P. 223—232.
98. Rethi, A. Operation to shorten an excessively long nose / A. Rethi // *Rev Chir Plast.* – 1934. – № 2. – P. 85–87.
99. Rengaraja, D. As the Nasal Spine Goes, So Goes the Septum / D. Rengaraja, M. Jagade, V. Kale [et al.] // *J Clin Diagn Res.* – 2016. – № 10 (11). – MC04—MC06.
100. Rhee, J.S. Role of virtual surgery in preoperative planning: assessing the individual components of functional nasal airway surgery / J.S. Rhee, D.E. Cannon, D.O. Frank, J.S. Kimbell // *Arch Facial Plast Surg.* – 2012. – №14 (5). – P. 354—359.
101. Rinzler, C.A. *The Encyclopedia of Cosmetic and Plastic Surgery* / C.A. Rinzler. – New York City: Facts on File, 2009. – 264 p.

102. Rohrich, R.J. The alar contour graft: correction and prevention of alar rim deformities in rhinoplasty R.J. Rohrich, J. Raniere Jr, R.Y. Ha // *Plast Reconstr Surg.* — 2002. — № 109 (7). — P. 2495—2505.
103. Romo, T. 3rd. Nasal implants / T. Romo 3rd, J.M. Pearson // *Facial Plast Surg Clin North Am.* — 2008. — № 16 (1). — P. 123—132.
104. Siegel, N.S. Outcomes of septoplasty // N.S. Siegel, R.E. Gliklich, F. Taghizadeh, Y. Chang // *Otolaryngol Head Neck Surg.* — 2000. — № 122 (2). — P. 228—232.
105. Thomson, C. Reducing the incidence of revision rhinoplasty / C. Thomson, M. Mendelsohn // *J Otolaryngol.* — 2007. — № 36 (2). — P. 130—134.
106. Toriumi, D.M. Assessment of rhinoplasty techniques by overlay of before-and-after 3D images / D.M. Toriumi, T.K. Dixon // *Facial Plast Surg Clin North Am.* — 2011. — № 19 (4). — P. 711—723.
107. Vuyk, H.D. Aesthetic sequelae of septoplasty / H.D. Vuyk, K.J. Langenhuijsen // *Clin Otolaryngol Allied Sci.* — 1997. — № 22 (3). — P. 226—232.
108. Wee, J.H. Autologous vs Irradiated Homologous Costal Cartilage as Graft Material in Rhinoplasty / J.H. Wee, S.J. Mun, W.S. Na [et al.] // *JAMA Facial Plast Surg.* — 2017. — № 19 (3). — P. 183—188.
109. Whitaker, I.S. The birth of plastic surgery: the story of nasal reconstruction from the Edwin Smith Papyrus to the twenty-first century / I.S. Whitaker, R.O. Karoo, G. Spyrou, O.M. Fenton // *Plast Reconstr Surg.* — 2007. — № 120 (1). — P. 327—336.
110. Zuo, L. Tension-relaxing method – A simplified revision of the endoscopic septoplasty technique: For both aesthetic appearance and functionality / L. Zuo, S. Jing, C. Zhou [et al.] // *Am J Rhinol Allergy.* — 2015. — № 29 (4). — P. e105—111.