

*На правах рукописи*



**Пиманчев Павел Вячеславович**

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

3.1.16. Пластическая хирургия

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Москва – 2022

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

**Научный руководитель:**

академик РАН, доктор медицинских наук,  
профессор

**Решетов Игорь Владимирович**

**Официальные оппоненты:**

**Алексян Тигран Альбертович** – доктор медицинских наук, доцент, Академия постдипломного образования Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства», кафедра онкологии и пластической хирургии, профессор кафедры

**Кириченко Ирина Михайловна** – доктор медицинских наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», Медицинский институт, кафедра оториноларингологии, профессор кафедры

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится «29» ноября 2022 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета ДСУ 208.001.15 при ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) по адресу: 119991, г. Москва, ул. Трубецкая, д.8, стр. 2

С диссертацией можно ознакомиться в ЦНМБ ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (119034, г. Москва, Зубовский бульвар, д.37/1) и на сайте организации <https://www.sechenov.ru>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор медицинских наук



**Ветшев Федор Петрович**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### 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 Boenninghaus (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 (Липский К.Б. и соавт., 2016). Это в дальнейшем может привести к таким эстетическим осложнениям как: седловидная деформация различной степени тяжести, потеря проекции кончика носа, ретракция колумеллы, 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 исследования**

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 работы**

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**

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 научных специальностей

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

### Структура и объем диссертации

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.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Материалы и методы

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 двухцентровое 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 оставшейся части носовой перегородки при вторичной ринопластике была создана пятисторонняя модель L-образной подпорки из синтетического материала, по свойствам схожего с хрящевой тканью перегородочного хряща.

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.

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.

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).  $FD=33\text{ mm}$ ,  $DB=16\text{ mm}$ ,  $BE=21\text{ mm}$ ,  $EA=14\text{ mm}$ ,  $AO=12\text{ mm}$ .

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.

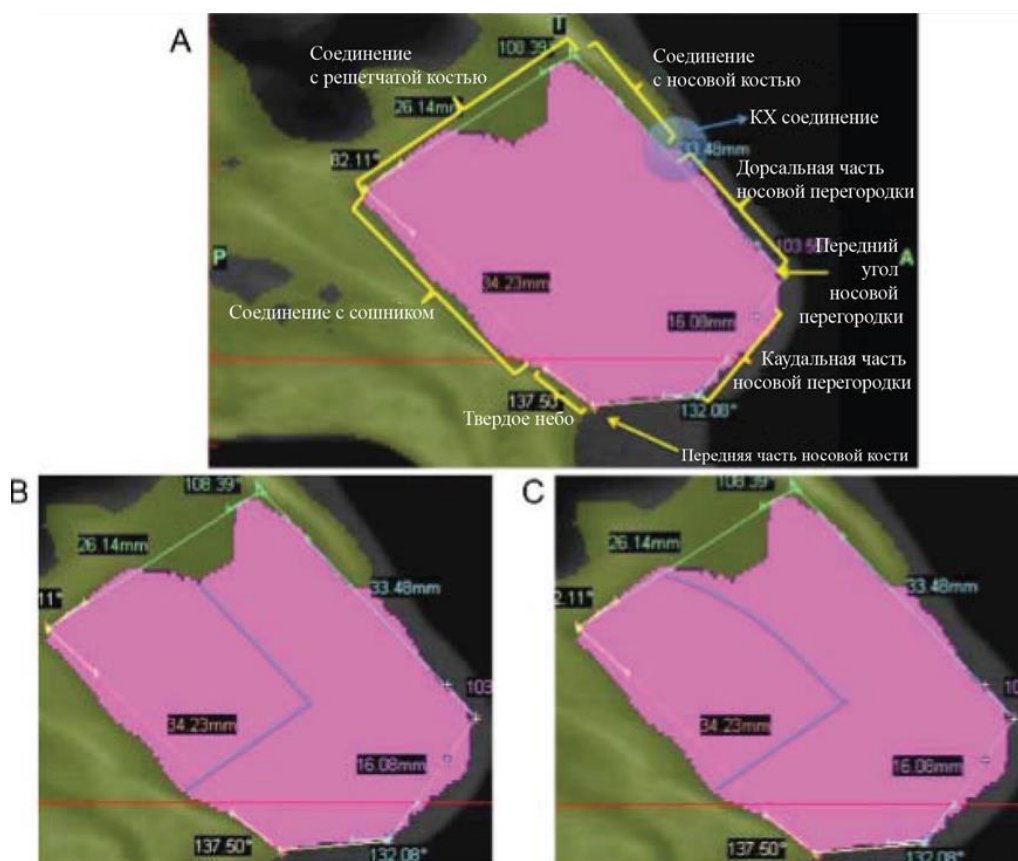


Рисунок 1 – КТ носовой перегородки: КТ с отмеченными анатомическими особенностями (А); КТ с наложенными контурами модели L-образного страта (В); КТ с наложенными контурами L-образного страта, включающая хрящевую дугу (С)

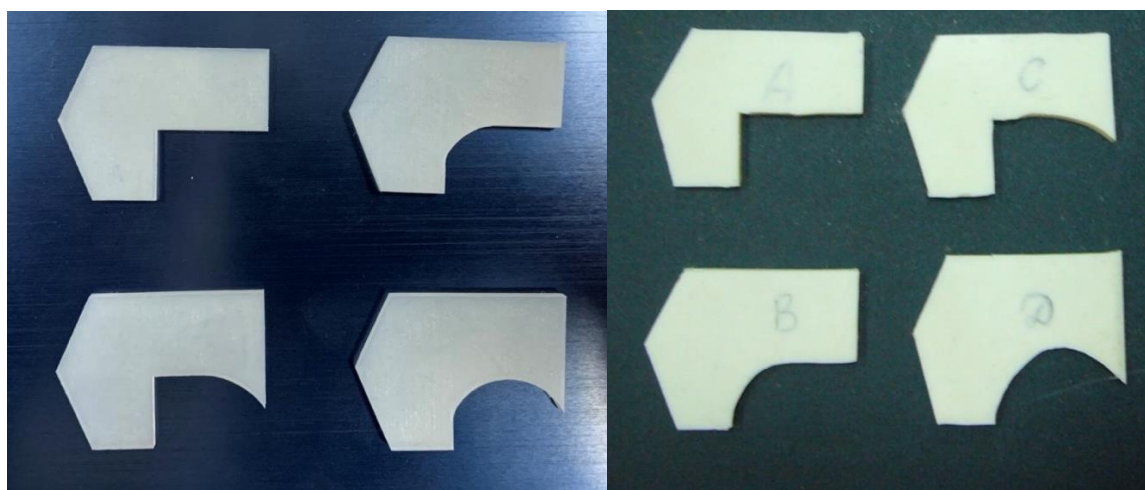


Рисунок 2 – Модели носовой перегородки: без хрящевой дуги (А), с хрящевой дугой во внутреннем углу (В), с хрящевой дугой в дорсальной части (С), с двумя хрящевыми дугами как в дорсальной части, так и во внутреннем углу (D)

#### 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

твёрдостью, чем сам хрящ носовой перегородки, представляется логичным допущение, согласно которому эти соединения являются жестко закрепленными (Рисунок 1А).

#### *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. В нашем эксперименте мы исходили из предположения, что кончик носа находится в относительно свободном состоянии, а дорсальный и каудальный конец имеют жесткую опору.

#### **Экспериментальное определение жесткости моделей на испытательной машине 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. Испытательная машина ZWICK Z100 зарегистрирована в Государственном реестре средств измерений под № 20385-00 и допущена к применению в Российской Федерации. 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 B069015.00.

Для проведения натурального эксперимента разработано специальное приспособление (модель) для нагрузки исследуемых моделей L-образных подпорок и оценки их жесткости (Рисунок 3). На этом рисунке цифрой 1 обозначена модель L-образной подпорки с хрящевыми дугами во внутреннем углу и в дорсальной части. 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.

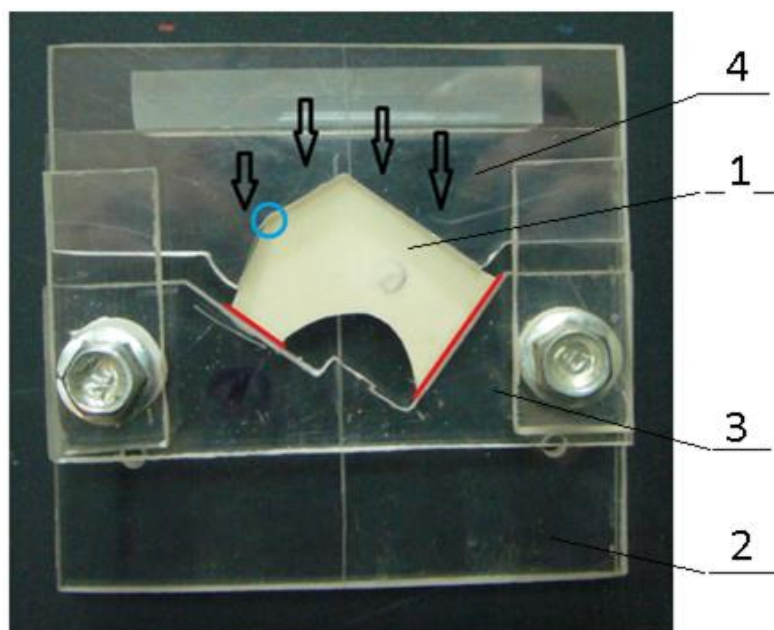


Рисунок 3 – Приспособление для натуральных испытаний моделей носовой перегородки

Для испытания исследованная модель была смонтирована в захваты установки ZWICK Z100. 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.

По результатам испытаний определены средние значения жесткости и максимальной силы в эксперименте для каждой модели (Таблица 1).

Таблица 1 – 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 <sup>2</sup>
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 <sup>3</sup> 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 4).

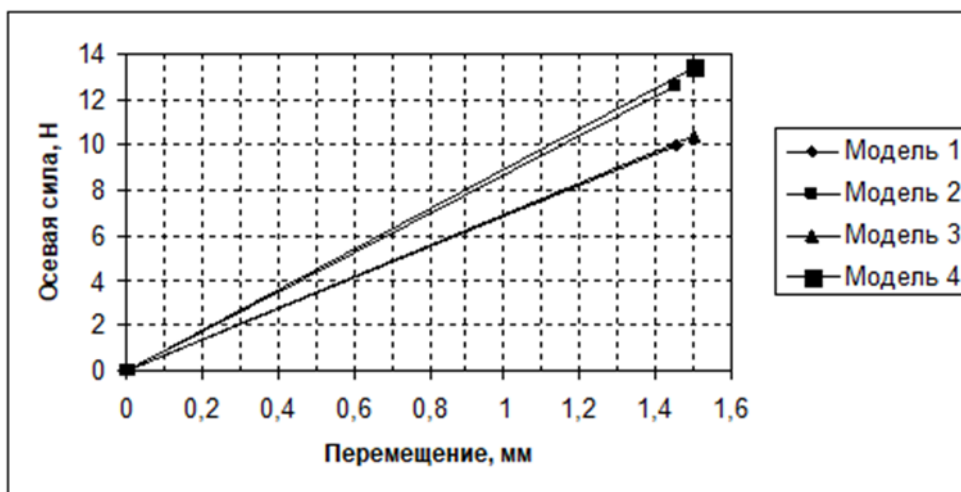


Рисунок 4 – Диаграммы «Сила – перемещение» для исследуемых моделей различного типа: 1 – модель типа А; 2 – модель типа В; 3 – модель типа С; 4 – модель типа D

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. Также мы пришли к выводу, что модели из листового силикона в целом являются более жесткими и опороспособными, чем модели из полидиметилсилоксана.

#### **Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния L-образной подпорки поляризационно-оптическим методом**

В данной работе был проведен ряд экспериментов с помощью поляризационно-оптических методов механики деформируемого твердого тела на большой поляризационной установке БПУ ИМАШ КБ2. 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 значимо не менялись от эксперимента к эксперименту для каждой модели (Рисунки 5—8).

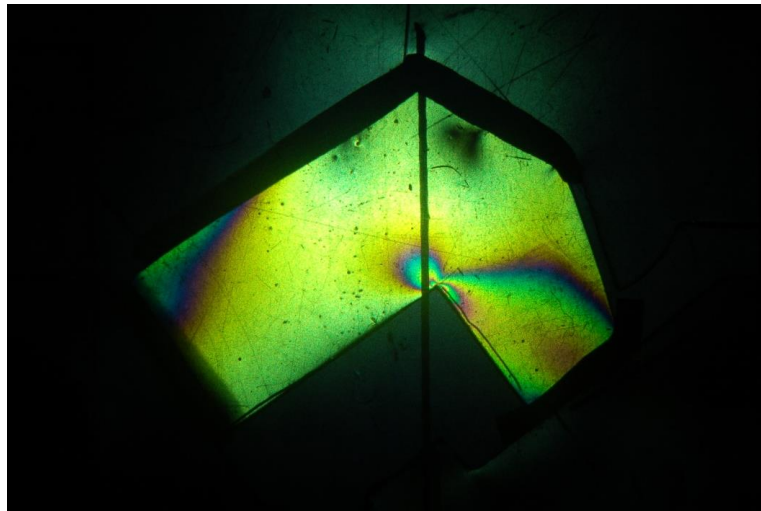


Рисунок 5 – Модель А, нагрузка 500 Н

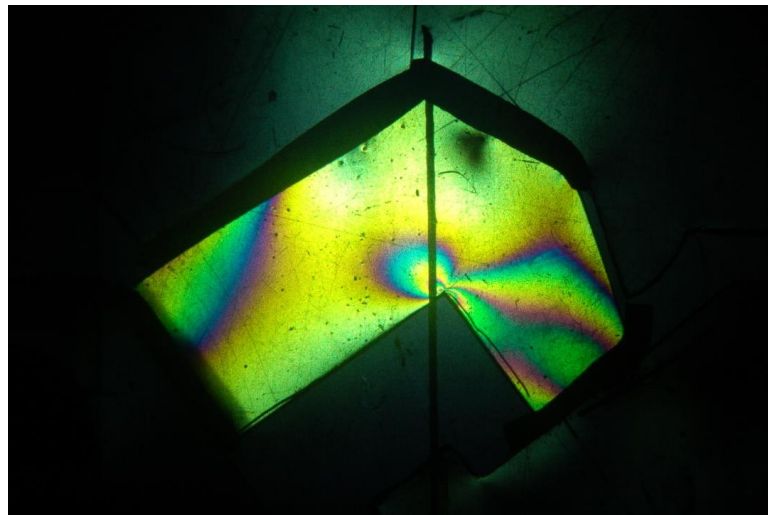


Рисунок 6 – Модель А, нагрузка 1000 Н

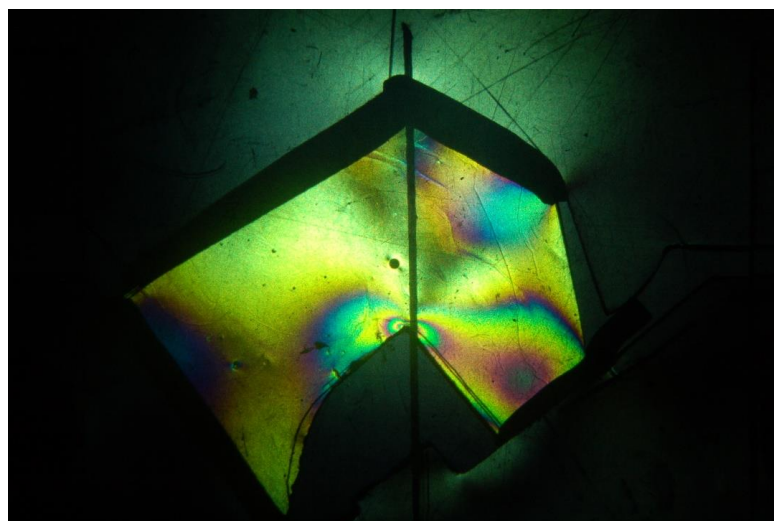


Рисунок 7 – Модель С, нагрузка 1000 Н



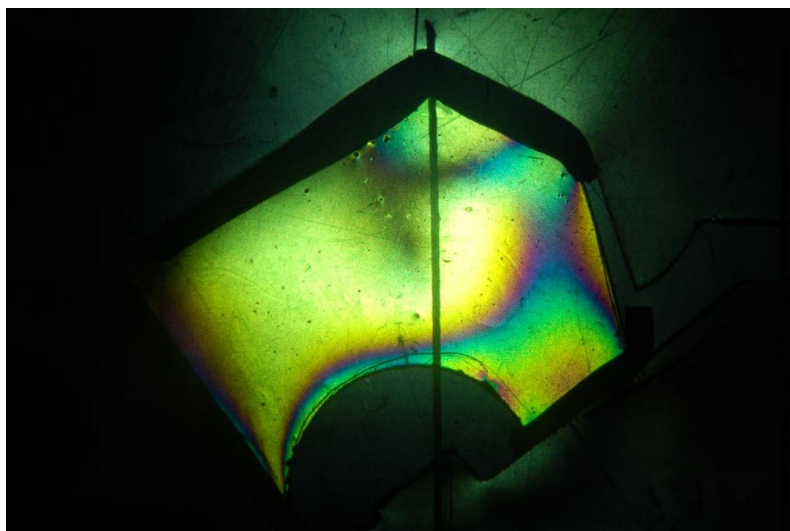


Рисунок 8 – Модель D, нагрузка 1000 Н

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.

#### **Сравнительный анализ экспериментальных моделей L-образных подпорок в программном комплексе ANSYS**

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 9). 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. 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.

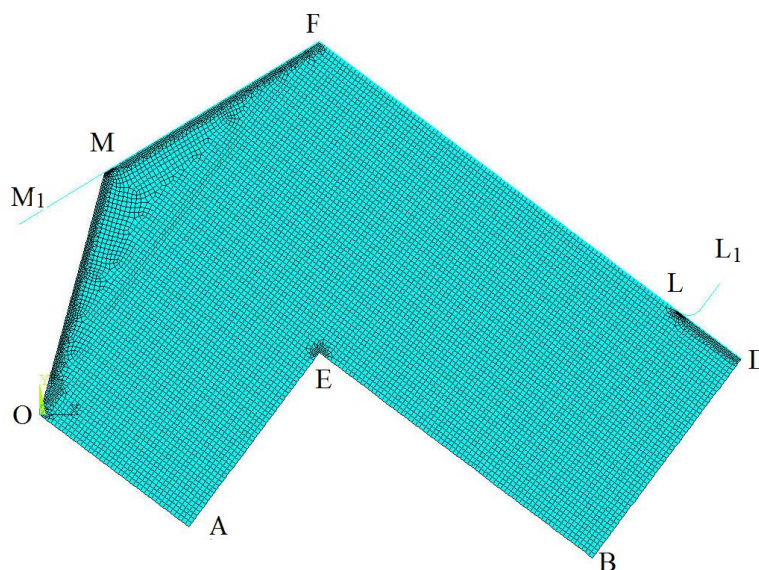


Рисунок 9 – Конечно-элементная модель L-образной подпорки вида А.  $FD=33\text{ mm}$ ,  $DB=16\text{ mm}$ ,  $BE=21\text{ mm}$ ,  $EA=14\text{ mm}$ ,  $AO=12\text{ mm}$

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 2, Таблица 3).

Таблица 2 – 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 3 – 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 2 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 С и D) значение силы наблюдается в случаях 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 – линий OA и BD. В Таблице 3 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 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 4 представлены значения силы. Можно сделать вывод, что, как и в случае, представленном в Таблице 2, максимальное увеличение жесткости дает наличие дополнительной дуги в «дорсальной» части подпорки.

Таблица 4 – Случай «жесткого закрепления с опорой» линий OA и BD и «приклеенной к штампу» верхней границей тела

Вариант	А	В	С	D
Сила, Н	3,09	3,106	3,27	3,29

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.

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. В связи с этим необходимо стабильно фиксировать носовую перегородку к носовым костям в дорсальной части и носовой оси 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.

Традиционно при формировании септального L-образного страта рекомендуется сохранять его ширину 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. По результатам данного исследования мы рекомендуем 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.

#### **Клинические аспекты применения моделирования носовой перегородки методом реального прототипирования**

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 послеоперационных осложнений.

Технический результат, достигаемый при использовании полезной модели, заключается в обеспечении оставляемой части носовой перегородки такой 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.

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 такой 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 10).

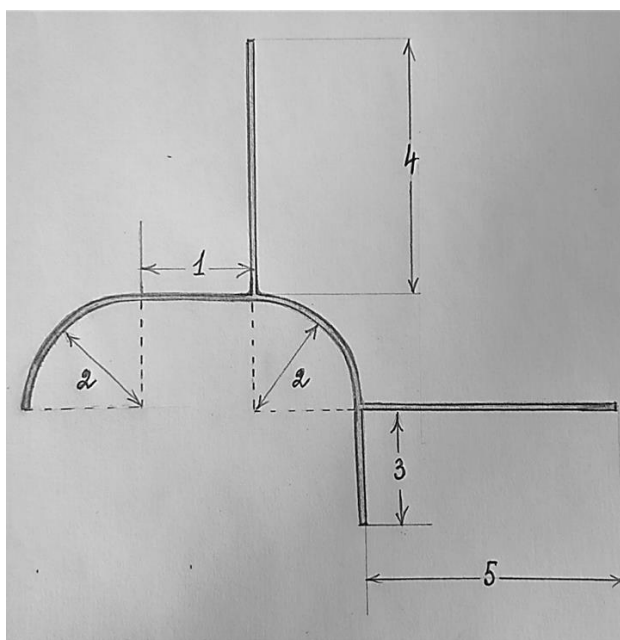


Рисунок 10 – Конструкция полезной модели: 1 — спинка основной части устройства, длиной 7 мм; 2 – боковые части основной части устройства (четверти окружности, радиусом 7 мм); 3 – нижняя ножка-упор, длиной 7 мм, являющаяся продолжением каудальной (дистальной) боковой части; 4 – верхняя ножка (дорсальная), упор устройства, длиной 16 мм; 5 – ножка каудальной (дистальной) части, боковая ножка длиной 16 мм

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,
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.

После получения трехмерной компьютерной модели носовой перегородки из программы Mimics (Materialise Technologies, 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. 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.

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). Полученные компьютерные трехмерные модели подвергаются верификации и дополнительной обработке перед изготовлением на лазерном стереолитографе. 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.

Наличие пресс-формы позволяет изготовить силиконовую модель носовой перегородки как интраоперационно в стерильных условиях, так и до операции с последующей стерилизацией модели. 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.

В нашем исследовании 30 пациентам с различными жалобами были выполнены предоперационное моделирование носовой перегородки методом реального прототипирования и методом лазерной стереолитографии. 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 11).



Рисунок 11– 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%. 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 Z 100.

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. 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.

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.

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 аутогенного трансплантата 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Липский, К.Б. Биомеханика деформаций септального L-образного страта / К.Б. Липский, И.В. Решетов, Д.А. Сидоренков, Г.А. Аганесов, **П.В. Пиманчев** // Сборник тезисов VIII Национального конгресса «Пластическая хирургия, эстетическая медицина и косметология». – М., Технопарк «Сколково», 5-7 декабря 2019. – С. 51.
5. **Пиманчев, П.В.** Биомеханика деформаций септального L-образного страта / **П.В. Пиманчев**, И.В. Решетов, Д.А. Сидоренков, К.Б. Липский, Г.А. Аганесов // Сборник тезисов VIII Национального конгресса «Пластическая хирургия, эстетическая медицина и косметология». – М., Технопарк «Сколково», 5-7 декабря 2019. – С. 108.
6. **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. [Scopus]
7. Чистяков, П.В. Анализ влияния геометрической формы на жесткость L-образной носовой перегородки / П.В. Чистяков, Н.В. Овчинникова, А.И. Жуков, **П.В. Пиманчев** // Ломоносовские чтения. Научная конференция. Секция механики. Октябрь 2020 года. Тезисы докладов. – М.: Издательство Московского университета, 2020. – С. 203-204.



**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