

на правах рукописи

Сазоненков Максим Александрович

**Анатомо-физиологическое обоснование
биопротезирования и реконструктивных операций
на клапанах сердца**

(14.01.26. - Сердечно-сосудистая хирургия)

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени доктора медицинских наук**

Москва – 2010 г.

Диссертационная работа выполнена в Научном Центре сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева РАМН.

Научные консультанты:

академик РАМН, профессор, доктор медицинских наук	Л.А. Бокерия
профессор, доктор медицинских наук	И.И. Скопин

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Иванов Виктор Алексеевич – д.м.н., профессор, заведующий отделением хирургии пороков сердца Российского Научного Центра хирургии им. акад. Б.В. Петровского РАМН.

Селиваненко Вилор Тимофеевич – д.м.н., профессор, руководитель отделения кардиохирургии Московского областного научно-исследовательского клинического института им. М.Ф. Владимирского.

Чиатурели Михаил Рамазович – д.м.н., профессор, главный научный сотрудник отделения хирургии детей старшего возраста врожденных пороков сердца Научного Центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН.

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: ГУ Федеральный Научный центр трансплантологии и искусственных органов МЗ и СРРФ им. академика В.И. Шумакова.

Защита диссертации состоится « 23 » апреля 2010 года в « 14.00 » часов на заседании диссертационного совета Д 001.015.01 при Научном Центре сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН (121552, Москва, Рублевское шоссе 135).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН.

Автореферат разослан «20» марта 2010 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор медицинских наук

Д. Ш. Газизова

Введение.

В мире ежегодно производится до трехсот тысяч протезирований клапанов сердца. Половина из них приходится на биологические протезы. Однако в отдаленном периоде к 15 годам после операции до 50% клапанов имеют выраженную степень структурной и неструктурной дегенерации.

Дегенеративные процессы проявляются тремя путями: внутритканевое отложение кальция, дегенерация коллагена, не связанная с кальцинозом, специфическое отложение кальция и разрывы створок в местах концентрации напряжений. Обсуждались 3 стратегии предотвращения минерализации 1) системная терапия антикальцифицирующими агентами 2) локальная терапия имплантированными лекарствомодоставляющими устройствами 3) модификации биоматериала: удаление кальцинирующихся компонентов, добавление экзогенных агентов или химическая обработка. Первые два метода имеют значительные побочные эффекты и, поэтому, в клинике не применяются. Постоянно совершенствуются методы отбора и обработки биотканей, благодаря чему время наступления значимых дегенеративных изменений увеличивается. Но, тем не менее, этот процесс полностью не устранен. В настоящее время актуально изучение влияния механического стресса на течение дегенерации, которое производят с помощью исследований в эксперименте и затем расчетов математическими методами.

Исследование анатомии и функции естественных клапанов сердца позволяет понять механизм формирования и распределения механического напряжения в них. Построение пространственных моделей естественных клапанов, различных типов биопротезов позволяет произвести расчеты величины и распределения напряжения в структурах клапанов, а также прогнозировать течение дегенерационных процессов. Для выполнения этой работы нам потребовалось исследовать клапаны сердца методами

морфометрии и эхокардиографии, выявить технические особенности каждого из биопротезов. Далее были построены пространственные модели корня аорты, митрального клапана и применяемых типов биологических протезов. С помощью математического аппарата были составлены формулы нагрузок, внося в которые известные переменные можно рассчитать величину и распределение нагрузок, предположить успешность и долговременность протезов для каждой позиции.

Изучение отдаленных результатов протезирования аортального клапана бескаркасными биопротезами, различных методик реконструктивных вмешательств на митральном клапане, биопротезирования трехстворчатого клапана позволит сопоставить результаты расчетов с данными клиники и обосновать выбор хирургических методик.

Цель исследования: выявить механизмы формирования и распределения механического напряжения в естественных клапанах и биологических протезах клапанов сердца. Сравнить результаты расчетов механических нагрузок с результатами биопротезирования и пластики клапанов сердца.

Задачи исследования.

1. Методами морфометрии и трансторакальной эхокардиографии изучить анатомию корня аорты и построить его пространственную модель.
2. Рассчитать систолическую нагрузку на створки аортального клапана и различных типов биопротезов в аортальной позиции. Вычислить эту нагрузку в покое, при обычной и при максимальной физической нагрузке.
3. Вычислить диастолическое напряжение в структурах корня аорты (створках и синусах Вальсальвы).

4. Методами морфометрии и трансторакальной эхокардиографии изучить анатомию митрального клапана, построить его пространственную модель и рассчитать нагрузку на элементы клапана в систолу.
5. Построить пространственную модель каркасного биопротеза, имплантируемого в митральную позицию, и рассчитать механическое напряжение в его створках.
6. На пространственной модели каркасного биопротеза рассчитать механическое напряжение в его створках при имплантации в трехстворчатую позицию.
7. Изучить отдаленные результаты имплантации в аортальную позицию бескаркасных аортальных биопротезов (аллографт, аутографт, ксенографт).
8. Изучить отдаленные результаты пластики митрального клапана различными техниками (безимплантационные методики, многокомпонентные реконструкции с имплантацией опорного кольца, протезирование хорд, имплантация криосохраненного аллографта).
9. Изучить отдаленные результаты имплантации в трехстворчатую позицию биопротезы (каркасный ксенобиопротез, криосохраненный аллографт митрального клапана).

Научная новизна и практическая значимость

Данная работа является первым отечественным научным исследованием, посвященным проблеме механических нагрузок в естественных клапанах и биологических протезах клапанов сердца и их влияния на дегенеративные процессы, и возможность реконструктивных операций. В проведенном исследовании впервые в нашей стране произведено изучение размеров, пропорций и формы клапанов сердца с целью построения их пространственных моделей, а также различных типов биопротезов. Точно созданные модели позволили применить математические

методы и получить расчетные данные нагрузок и их распределения в естественных клапанах и различных типах биопротезов. Результаты анатомических исследований и расчетов были сравнены с клиническими результатами протезирования аортального клапана бескаркасными биопротезами. Математические расчеты были сравнены с непосредственными и отдаленными результатами биопротезирования митрального и трехстворчатого клапанов, с рядом различных методов реконструктивных операций на митральном клапане. Была дана оценка возможности и успешности ряда методик пластики митрального клапана.

Результаты данного исследования могут быть использованы для расчетов нагрузок в различных создаваемых типах биологических протезов клапанов сердца и прогнозирования течения в них дегенеративных процессов. Позволяют оптимизировать выбор биопротеза.

Также они позволяют переоценить распределение нагрузки на фиброзное кольцо митрального клапана и предложить новые модели опорных колец. Результаты обосновали успешное применение в клинике ряда методик реконструкции митрального клапана способствуют более широкому их внедрению.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Исследование нормальных естественных клапанов сердца методами эхокардиографмм и морфометрии, позволяет получить набор данных. С их помощью можно построить адекватные пространственные модели естественных и биологических клапанов сердца.

2. Используя пространственные модели, можно рассчитать величину и распределение механических нагрузок в естественных и биологических клапанах сердца.

3. Естественный аортальный клапан испытывает практически только диастолическую нагрузку. Биопротезы в аортальной позиции испытывают диастолическую и систолическую нагрузку на створки, величина которых зависит от их дизайна и размера.

4. Оптимальными для аортальной позиции являются бескаркасные биопротезы. Степень их дегенеративных изменений наименьшая.

5. Естественный митральный клапан обладает особенностями формы, которые значительно снижают его механическую нагрузку. Наименее нагружены сосочковые мышцы и хорды. Наиболее нагружено фиброзное кольцо и особенно его участок в основании задней створки.

6. При реконструктивных операциях на митральном клапане наложение швов на сосочковые мышцы безопасно. При сохранении естественной формы и размеров фиброзного кольца имплантацией опорного кольца можно пренебречь. При их изменении имплантация опорного кольца обязательна.

7. Каркасные биопротезы в митральной позиции испытывают очень высокую гемодинамическую нагрузку, что приводит к их выраженной дегенерации.

8. В трехстворчатой позиции гемодинамическая нагрузка на клапан незначительная. Это позволяет безопасно производить различные реконструктивные операции. Биопротезы в трехстворчатой позиции подвергаются наименьшей степени тканевой дегенерации.

Реализация результатов исследования

Основные положения и практические рекомендации диссертации внедрены в работу отделения реконструктивной хирургии ППС, неотложной хирургии ППС, лечения интерактивной патологии, отделения хирургического лечения ИБС и малоинвазивной коронарной хирургии, отделения сочетанной патологии, отделение неинвазивной аритмологии, клинико-диагностического отделения, ППС НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН.

По теме диссертации опубликовано 44 печатные работы, в том числе 35 в изданиях, рекомендованных ВАК, из них 14 статей.

Структура и объем работы

Диссертация изложена на 336 страницах машинописного текста, состоит из введения, обзора литературы, глав анатомия корня аорты, митрального, трехстворчатого клапанов, глав построение пространственной модели корня аорты, митрального клапана, глав расчет систолическая и диастолическая механическая нагрузка в корне аорты, механическая нагрузка в митральном клапане, каркасных биопротезах в митральной и трехстворчатой позициях, глав непосредственные и отдаленные результаты применения бескаркасных биопротезов в аортальной позиции, различных методик реконструктивных вмешательств на митральном клапане, биопротезирования трехстворчатого клапана, заключения, выводов и практических рекомендаций, приложения. Список литературы включает 501 источник, в том числе 71 отечественных и 430 зарубежных авторов. Иллюстративный материал представлен рисунками, таблицами и графиками.

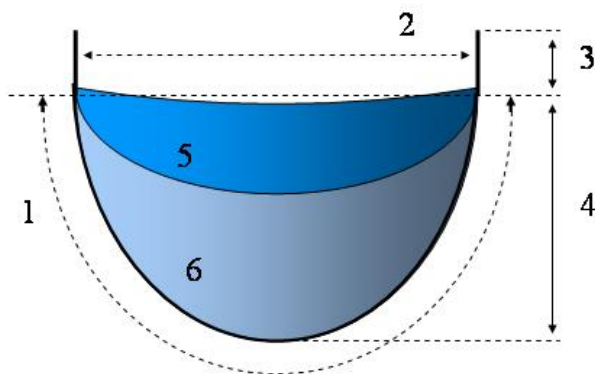
МАТЕРИАЛ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И КЛИНИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ.

1. Исследование анатомии корня аорты методами мiorфометрии и трансторакальной эхокардиографии.

Описана и исследована анатомия корня аорты. Морфометрически были изучены 30 нормальных корней аорты взрослых возрастом 35-50 лет, не имевших патологии сердца. Методом ТТЭХО были обследованы 35 взрослых добровольцев возрастом 18 – 69 лет. Достоверная разница между данными двух методов отсутствовала. При морфологическом исследовании корня аорты были измерены параметры аортальных створок и площади их зон

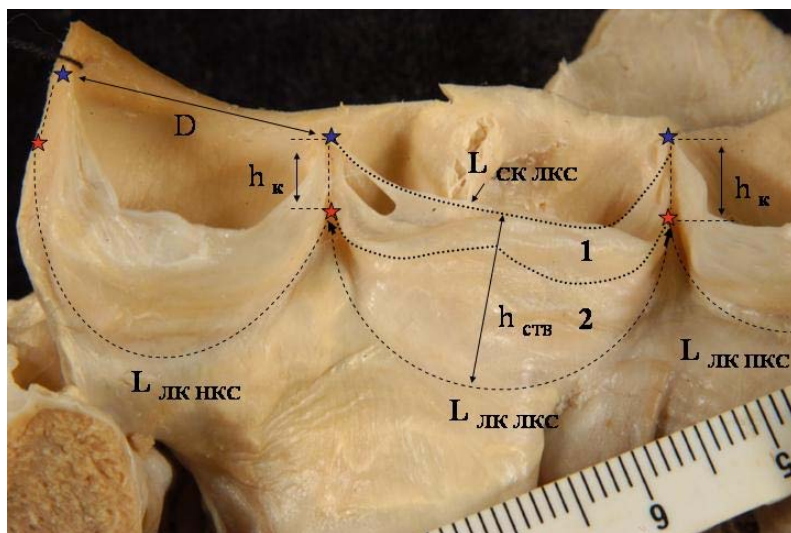
(гладкой и зоны сопоставления). Измерения были проведены как на плоских, так и на расправленных створках (Рисунки 1,2).

Рисунок 1. Параметры, измеренные в створках аортального клапана.



Линия крепления (1). Межкомиссуральное расстояние (2). Высота комиссур (3). Высота створки (4). Площадь зоны сопоставления (5). Площадь гладкой зоны (6).

Рисунок 2. Измерение длины линии крепления и комиссур створок аортального клапана.



Площадь зоны сопоставления (1). Площадь гладкой зоны (2). Длина линии крепления некоронарной створки ($L_{лк\ нкс}$). Длина линии крепления левой коронарной створки ($L_{лк\ лкс}$). Длина линии крепления правой коронарной створки ($L_{лк\ пкс}$). Высота комиссур ($h_{к}$). Межкомиссуральное расстояние (D). Длина свободного края левой

коронарной створки ($L_{ск\ нкс}$). Высота плоской створки ($h_{ств}$). Точка пересечения смежных дуг фиброзного кольца (★). Точка перехода комиссур в синотубулярное соединение (★).

Таблица 1. Параметры створок нормального аортального клапана взрослых.

Створка	Высота створки (мм)	Межкомиссуральное расстояние (мм)	Длина свободного края (мм)	Длина линии крепления (мм)	Площадь створки общая (мм ²)	Площадь гладкой зоны (мм ²)	Площадь зоны сопоставления (мм ²)
НКС	18.17 ± 2.30	24.03 ± 3.21	35.86 ± 4.29	39.93 ± 5.12	409.73 ± 104.68	328.3 ± 81.43 (80.13%)	81.07 ± 24.03 (19.87%)
ПКС	16.53 ± 2.64	21.5 ± 3.66	31.93 ± 4.86	36.87 ± 5.59	330.97 ± 113.17	261.13 ± 89.14 (78.89%)	68.93 ± 22.52 (21.1%)
ЛКС	16.3 ± 2.6	21.86 ± 3.39	32.1 ± 4.79	36.63 ± 5.42	317.77 ± 94.29	252.83 ± 77.66 (79.56%)	64.93 ± 18.59 (20.43%)
В среднем	17.18	22.46	33.3	37.81	352.82	280.75 (79.5%)	71.64 (20.5%)

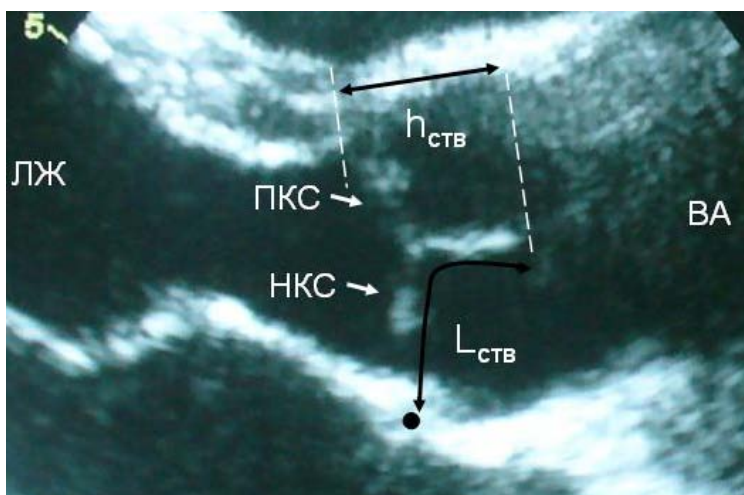
Морфометрически диаметр аортального составил кольца 20.05 ± 2.34 мм, а синотубулярного соединения 21.95 ± 2.43 мм. Отношение длины линии крепления ($1/2 L$), длины свободного края ($\leq 1/2L$), межкомиссурального расстояния (D), к высоте расправленных (объемных) створок в среднем составило **3.32 : 2.92 : 1.97 : 1**, что практически соответствует соотношениям между параметрами сферы **$2\pi R/2 : 2\pi R/2 : D : R = 3.14R : 3.14R : 2R : R = 3.14 : 3.14 : 2 : 1$** . Это исследование параметров створок показало, что они имеют форму $1/4$ части поверхности сферы (Таблица 1.).

При помощи трансторакальной эхокардиографии корня были обследованы 35 взрослых добровольцев возрастом 18 – 69 лет, в среднем 43.48 ± 13.9 лет. Рост 152 – 188 см., в среднем 169.71 ± 9.09 см. Вес 55 – 110

кг, в среднем 74.83 ± 12.42 кг. КДО ЛЖ 96 – 171 мл., в среднем 122.46 ± 21.69 мл. ФВ ЛЖ 51 – 74%, в среднем $61.91 \pm 7.0\%$.

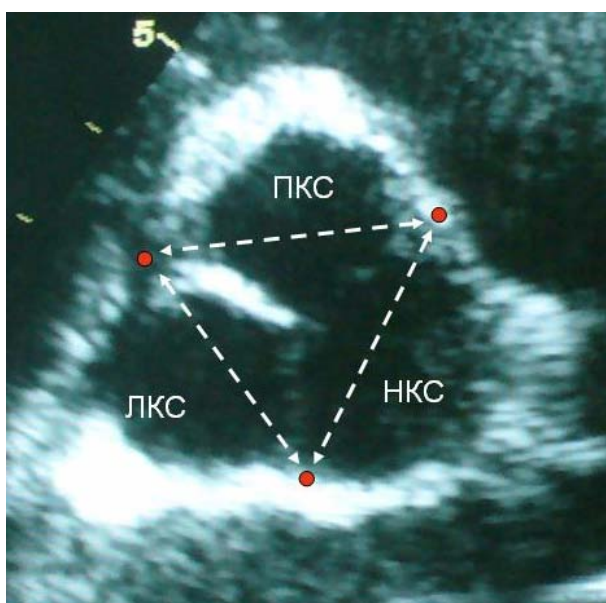
Рисунок 3. Измерение параметров створок аортального клапана парастернально в проекциях длинной (А) и короткой (Б) осей.

А.



Правая коронарная створка (ПКС). Левая коронарная створка (ЛКС). Высота створки ($h_{\text{ств}}$). Длина дуги створки ($L_{\text{ств}}$). Левый желудочек (ЛЖ). Восходящая аорта (ВА).

Б.



Межкоммиссуральное расстояние (белая прерывистая стрелка). Комиссуры (●). Правая коронарная створка (ПКС). Левая коронарная створка (ЛКС). Некоронарная

створка (НКС).

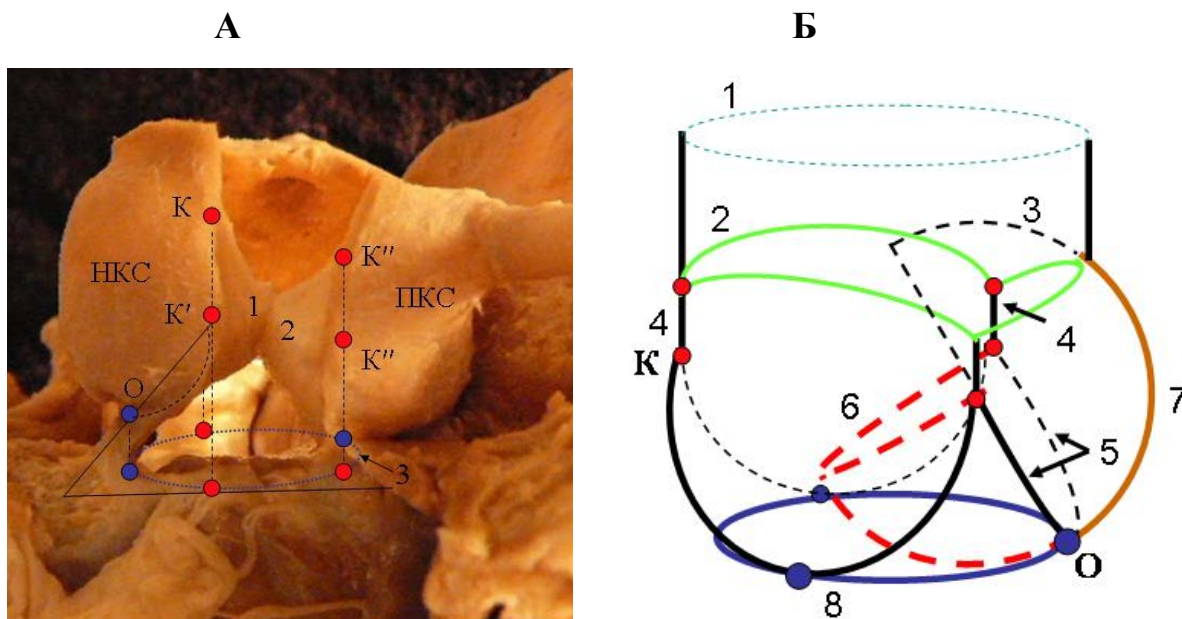
В проекции длинной оси сердца из парастерального доступа измерялись: некоронарная и правая коронарные створки (в них измерялись длина дуги и высота), диаметр аортального кольца, диаметр синотубулярного соединения. Длина межкомиссурального расстояния каждой створки измерялась парастерально в проекции короткой оси при закрытых створках (**Рисунок 3.**).

Среднее межкомиссуральное расстояние составило: НКС 23.09 ± 3.99 (16-32) мм, ПКС 21.74 ± 3.59 (15-32) мм, ЛКС 21.17 ± 2.90 (17-28) мм. Длина дуги створки составила: НКС 16.71 ± 3.04 (13-25) мм, ПКС 16.23 ± 2.79 (12-22) мм. Высота створки составила: НКС 11.06 ± 2.04 (7-16) мм, ПКС 10.66 ± 1.81 (7-15) мм. Средняя величина межкомиссурального расстояния для всех трех створок составила 21.99 мм. В диастолу диаметр аортального кольца был в 21.31 ± 1.87 мм, синотубулярного соединения 26.39 ± 2.93 мм. Систолическая растяжимость аортального кольца составила 7.1%, синотубулярного соединения 5.41%.

В полученных параметрах отношение длины дуги створки ($1/4 \times 2\pi R$), межкомиссурального расстояния (D) к высоте створки (R) составило: $2\pi R/4 : D : R = 2R : 1/2\pi R : R = 2 : 1.57 : 1$, что также соответствовало соотношениям параметров сферы.

На основании полученных данных была построена идеальная пространственную модель корня аорты. Корень имеет вид перевернутого усеченного конуса, в который встроены три полых незамкнутых сферических тела «створка + синус» (**Рисунок 4.**).

Рисунок 4. Анатомический препарат корня аорты. Вид сбоку после продольного рассечения и разведения краев (А). Схема строения идеального корня аорты (Б).



А. Корень аорты рассечен вертикально по комиссуре между правой коронарной и некоронарной створками. Иссечен межстворчатый треугольник выводного тракта ЛЖ, располагавшийся между ПКС и НКС. Некоронарные синус и створка оттянуты кнаружи. Степень оттягивания характеризуется расстоянием, появившимся между точками **К** и **К''**, которые ранее совпадали.

Некоронарный (НКС) и правый коронарный (ПКС) синусы Вальсальвы. Центр линии крепления створок (**О**, ●). Комиссура (**К-К'**, ●). Некоронарная створка (1). Правая коронарная створка (2). Проекция аортального кольца (3) и проекции на него комиссур (●) и центров линии крепления створок (**О**, ●). Наклон линии крепления НКС (**О-К'**).

Б. Горизонтальное сечение ВА (1). Дуги синотубулярного соединения (зеленые изогнутые линии) (2). Внутренний, отсутствующий участок поверхности синуса Вальсальвы (3). Вертикальный участок линии крепления створок (комиссуры) (4). Наклонная часть линии крепления створок (5). Створка клапана (6). Синус Вальсальвы (7). Аортальное кольцо (8).

2. Систолическая нагрузка в створках аортального клапана и биопротезов.

Результаты исследования нормального корня аорты, особенности строения биопротезов позволили построить их пространственные модели. Средняя и пиковая систолическая нагрузки створок были рассчитаны на моделях : 1). Каркасном биопротезе. 2). Бескаркасном биопротезе. 3). Нерастяжимом аортальноклапане и 4). Растяжимом аортальном клапане. Для демонстративности расчеты производились для состояния покоя, при обычной физической нагрузке (+30% УО) и при максимальной физической нагрузке (+70% УО). Систолическое напряжение развивается по линии крепления створок. Его величина прямо связано с ударным объемом, скоростью потока и типом биопротеза. Обратно связана с диаметром корня аорты и биопротеза. Величина напряжения (в кПа) и ее связь с наружным радиусом клапана на уровне аортального кольца показаны графически на **Рисунках 5-6.**

Рисунок 5. Среднее механическое напряжение створок: в покое (А), при обычной (Б) и максимальной (В) физической нагрузке.

А

Б

В

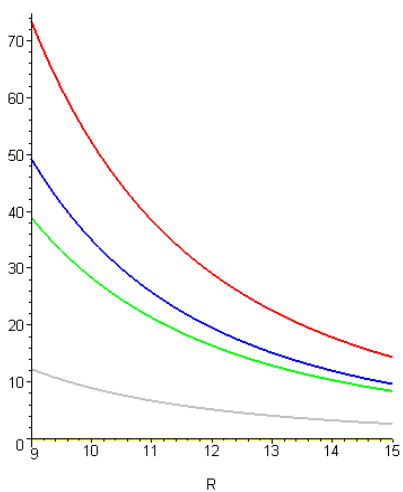
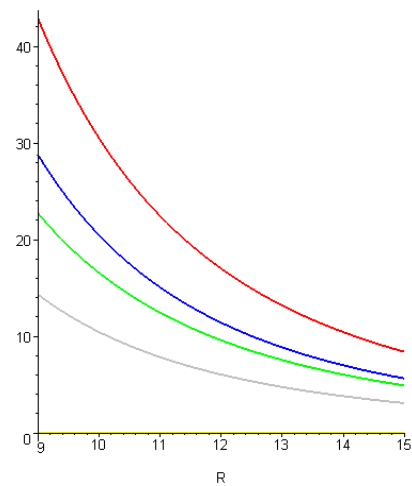
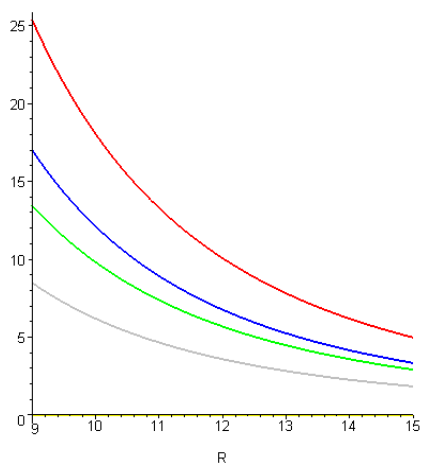
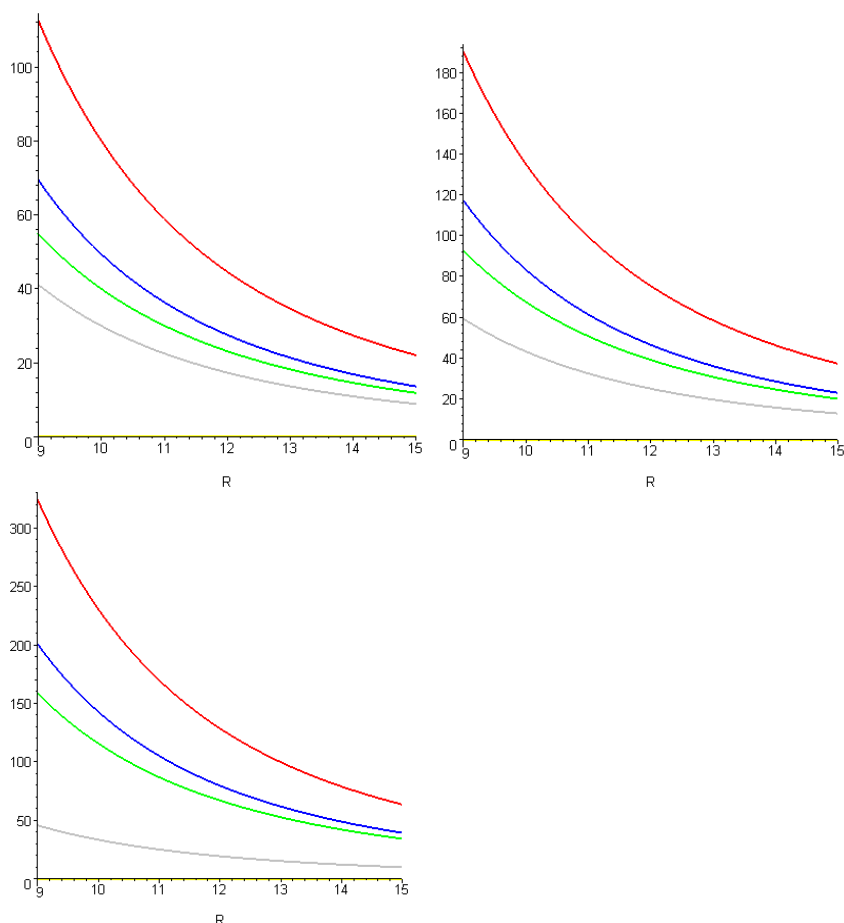


Рисунок 6. Пиковое механическое напряжение створок: в покое (А), при обычной (Б) и максимальной (В) физической нагрузке.

А

Б

В



Горизонтальная шкала - радиус внутреннего просвета аортального кольца. Вертикальная шкала - напряжение створок (кПа). Красный цвет – каркасные протезы. Синий цвет – бескаркасные протезы. Зеленый цвет – нерастяжимый естественный корень аорты. Серый цвет – растяжимый естественный корень аорты

Результаты расчетов показали, что при малых размерах биопротезов при физической нагрузке систолическая нагрузка по линии крепления створок может значительно возрасти. По величине она может возрасти даже до величин, сравнимых с диастолической нагрузкой створок. По результатам данной главы можно заключить следующее.

1. В биопротезах соотношение площадей внутреннего просвета корня аорты на уровне АК и СТС значительно менее выгодное, чем в естественном корне аорты.

2. При увеличении ударного объема сердца (обычная или максимальная физическая нагрузка) в обоих типах биопротезов, а также в нерастяжимом корне аорты наблюдается значительный рост пиковой и средней систолической нагрузки на створки клапанов. В растяжимом корне аорты при увеличении ударного объема на 30% и 70% прирост пиковой и средней систолической нагрузок незначительный

3. Растяжимость естественного корня аорты (АК и СТС) является защитным механизмом. Он позволяет иметь лишь незначительное увеличение механической нагрузки на створки при выраженном увеличении ударного объема. Биопротезы лишены этого защитного механизма.

4. При наружном радиусе биопротезов более 11 мм (наружном диаметре более 22 мм) негативное влияние типа биопротеза и его нерастяжимости на пиковые и средние скорости потока и механическое напряжение створок сглажены.

3. Диастолическая нагрузка на корень аорты.

Расчет потребовал применения модифицированного закона Лапласа. Каждая точка поверхности испытывает два вида напряжений. Постоянно

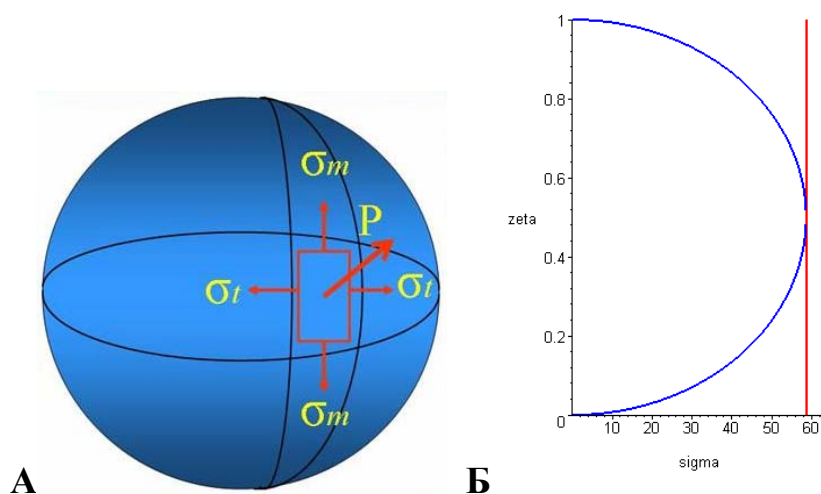
меридиональное напряжение. Оно рассчитывается по формуле $\sigma_m = \frac{p_0 R}{2h}$, где p – диастолическое давление, R – радиус аортального кольца, h – толщина стенки.

Окружное напряжение рассчитывается по формуле

$\sigma_t = \frac{p_0 \sqrt{2Rz - z^2}}{2h}$, где p – диастолическое давление, R – радиус аортального кольца, h – толщина стенки, Z – расстояние от полюса сферы до расположения конкретной точки по длине оси сферы. Окружное

напряжение увеличивается от основания створки до зоны сопоставления. В гладкой зоне створок оно составляет 197-271 кПа. В зоне сопоставления оно минимально (10.6 кПа). Величина диастолического напряжения прямо пропорциональна радиусу корня. Результаты расчетов для нескольких выбранных точек поверхности створок показаны на **Рисунке 5,6, Таблице 2.**

Рисунок 7. Схема действия двух главных сил на поверхности сферы (А). График зависимости величин окружного и меридионального напряжений стенки сферы от расположения конкретной точки (Б).



Красная вертикальная линия – меридиональное напряжение σ_m , Дугообразная синяя линия – окружное напряжение σ_t . По горизонтальной оси отложены напряжения в кПа, по вертикальной оси – относительная координата ξ .

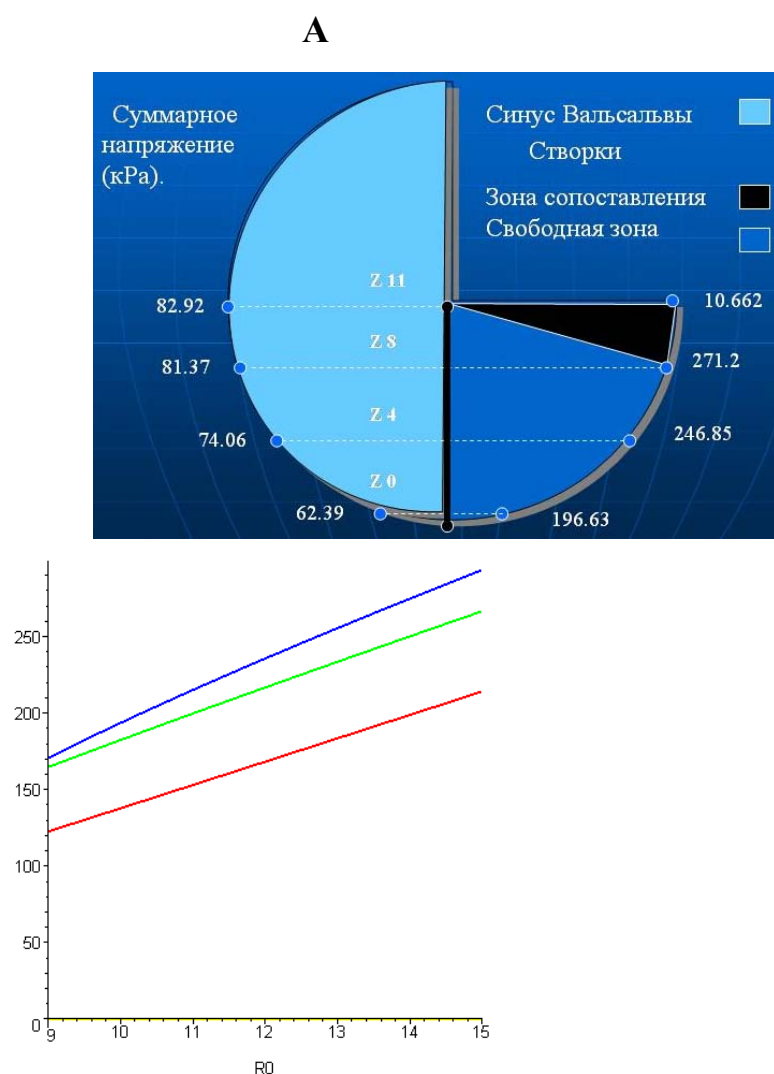
Таблица 2. Меридиональное, окружное и суммарное напряжения в свободной части синуса Вальсальвы и створки аортального клапана (кПа).

	Синус			Створка		
координата	σ_m	σ_t	σ	σ_m	σ_t	σ
$z = 11$	58.64	58.64	82.92	10.66	10.66	10.66

z = 8	58.64	56.42	81.37	195.47	188.01	271.2
z = 4	58.64	45.23	74.06	195.47	150.81	246.85
z = 0	58.64	0	62.39	195.47	0	196.63

Меридиональное напряжение (σ_m), окружное напряжение (σ_t), суммарное напряжение (σ).

Рисунок 8. Напряжения створки аортального клапана и стенки синуса в выбранных точках поверхности (А) и его зависимость ее внутреннего радиуса аортального кольца (Б).



Вертикальная шкала - напряжение (кПа). Горизонтальная шкала - радиус аортального кольца. Вершина гладкой зоны (точка Z8, синяя линия). Центр гладкой зоны (точка Z4, зеленая линия). Основание створки (точка Z0, красная линия).

В заключение данной главы мы должны отметить: 1. Расчет диастолического напряжения в корне аорты требует именно уточненного закона Лапласа. 2. Диастолическая механическая нагрузка приходится на тела створок клапана. 4. Она распределяется неравномерно: максимальна в гладкой части створок тотчас ниже зоны сопоставления и минимальна по линии крепления и в зонах сопоставления створок. 5. Величина диастолической нагрузки прямо пропорциональна диастолическому давлению и размерам клапана (биопротеза).

Данная методика вычислений имеет приоритет.

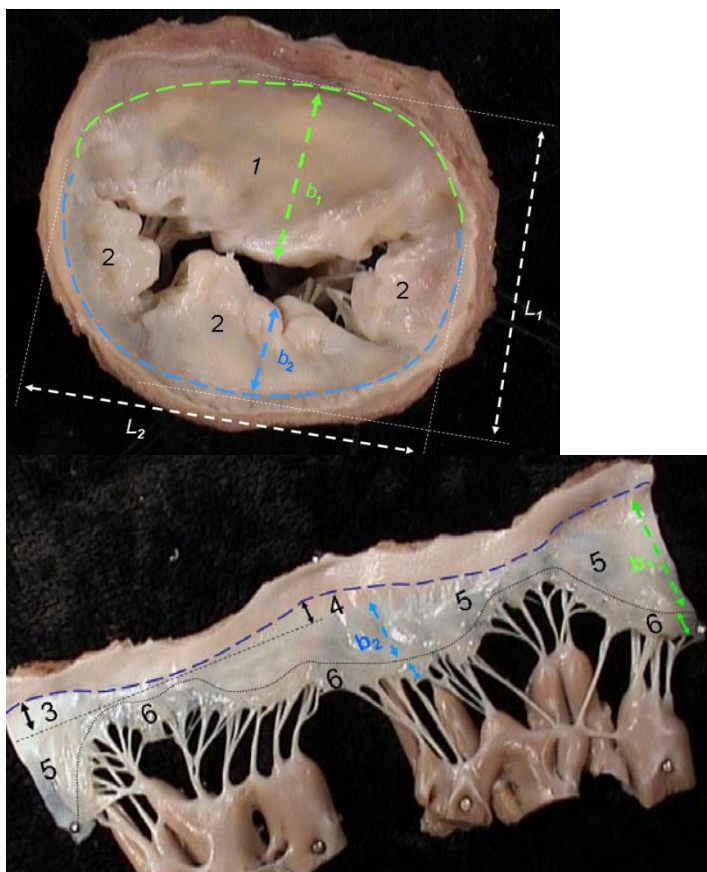
4. Исследование анатомии нормального митрального клапана методами морфометрии и трансторакальной эхокардиографии.

Морфометрически были изучены 34 препарата нормального МК лиц возрастом 35-50 лет без патологии сердца. При помощи ТТЭХО были исследованы 34 взрослых добровольца возрастом 14 – 72 лет (в среднем 41.20 ± 13.76 лет). Достоверная разница между данными двух методов исследования отсутствовала.

Рисунок 9. Методика измерения длины фиброзного кольца (А), площадей гладкой и шероховатой зон створок, разницы высоты между основаниями ПСМК, ЗСМК и комиссуральными зонами (Б).

А

Б



А. Участок фиброзного кольца, принадлежащий передней (зеленая прерывистая линия) и задней (голубая прерывистая линия) створкам клапана. Гладкая зона передней створки (1). Гладкая зона задней створки (2).

Б. Фиброзное кольцо клапана (фиолетовая прерывистая линия). Разница по высоте между участками ФК МК, лежащими в основании ПСМК (3), ЗСМК (4) и участком ФК МК, находящемся в комиссуральной зоне. Изогнутым контуром отделены площади гладкой (5) и шероховатой (6) зон обеих створок.

Ширина гладкой и шероховатой зон передней (зеленая стрелка) и задней (голубая стрелка) створок.

В передней створке площадь гладкой зоны составила 5.67 ± 1.47 ($4.12 - 9.8$) cm^2 , площадь шероховатой зоны - 1.5 ± 0.45 ($0.85 - 2.67$) cm^2 . Общая площадь передней створки составила 7.18 ± 1.75 ($5.03 - 11.17$) cm^2 . В задней створке средняя площадь гладкой зоны была 4.52 ± 1.12 ($2.34 - 5.81$) cm^2 , а площадь шероховатой зоны - 2.04 ± 0.54 ($1.12 - 3.27$) cm^2 . Общая площадь задней створки составила в среднем 6.57 ± 1.54 ($4.49 - 9.33$) cm^2 . Суммарная

площадь гладких зон передней и задней створок составила в среднем 10.19 ± 2.14 ($4.47 - 13.74$) см^2 . Площадь митрального отверстия, рассчитанная по среднему периметру ФК составила 10.54 ± 2.2 см^2 . Расчет показал, что в норме митральное отверстие перекрывается гладкими зонами створок.

Средний периметр фиброзного кольца 114.08 ± 12 мм. Основание передней створки занимало в среднем 44.0 ± 6.65 мм (38.5%), а задней - 69.88 ± 10.0 мм (61.5%). Ширина гладкой зоны ПСМК 19.88 ± 3.26 мм, ЗСМК 9.2 ± 2.39 мм. Передне-задний размер фиброзного кольца в среднем 29.47 ± 4.71 мм, а межкомиссуральный 38.2 ± 5.01 мм. Их отношение друг к другу 0.771. Центр основания ПСМК выше комиссур на 3.79 ± 1.12 мм., а центр основания ЗСМК - на 1.98 ± 0.58 мм. В ПСМК ширина гладкой зоны 19.88 ± 3.26 мм, в ЗСМК - 9.2 ± 2.39 мм. В ПСМК площадь гладкой зоны (S_1) 5.67 ± 1.47 см^2 , в ЗСМК (S_2) 5.14 ± 1.35 см^2 . В МК гемодинамическую нагрузку несут краевые, комиссуральные и псевдокомиссуральные хорды. В среднем мы получили 18 первичных хорд: 6 к ПСМК, 10 к ЗСМК, 2 комиссуральных.

Трансторакальная эхокардиография митрального клапана производилась на аппарате Hewlett-Packard Sonos 2500 датчиком 5 мГц. Были обследованы 34 взрослых добровольца возрастом 14 – 72 лет, в среднем 41.20 ± 13.76 лет. Рост 159 – 189 см, в среднем 170.08 ± 8.42 см. Вес 55 – 110 кг, в среднем 75.59 ± 12.52 кг. КДО ЛЖ 80 – 181 мл, в среднем 110.61 ± 21.22 мл. ФВ ЛЖ 48 – 74%, в среднем $61.18 \pm 8.26 \pm 7.0\%$.

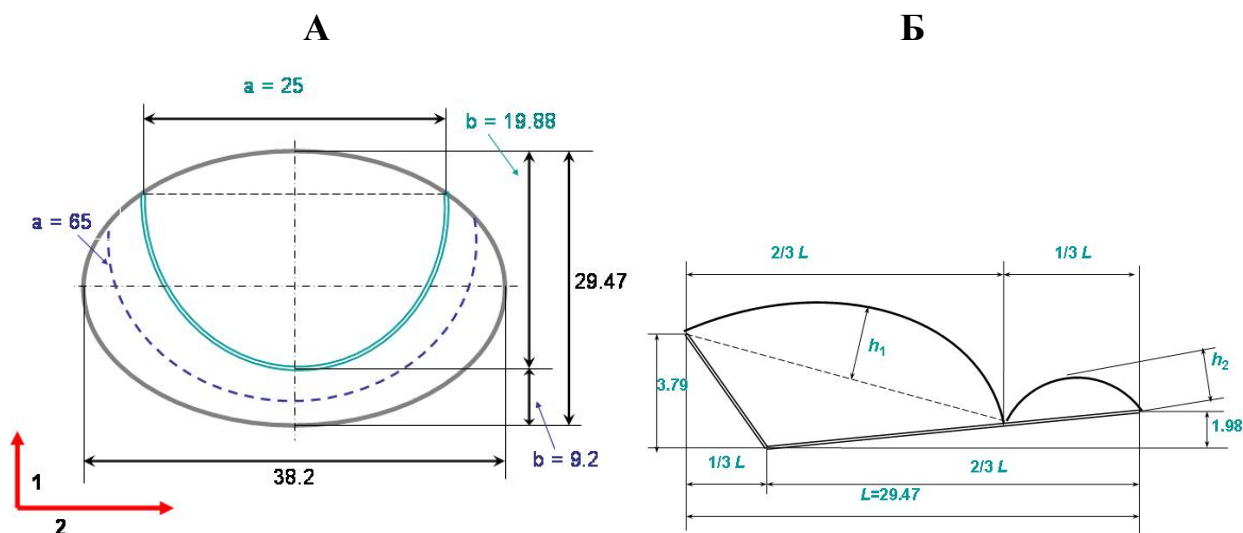
Межкомиссуральный диаметр кольца в диастолу в среднем был 34.85 ± 2.63 мм (28.5-40.1 мм). Межкомиссуральный диаметр кольца в систолу в среднем был 31.76 ± 2.16 мм (27.2-36.3 мм). Систолическое сокращение этого диаметра составило 9.41%. Переднезадний диаметр кольца в диастолу в среднем был 29.19 ± 2.58 мм (24.7-37.4 мм). Переднезадний диаметр

кольца в систолу в среднем был 25.78 ± 2.25 мм (21.1-30.1 мм). Систолическое сокращение этого диаметра составило 12.06%.

В диастолу переднезадняя ось ФК МК располагалась выше межкомиссуральной оси на 0.27 ± 0.09 см. В систолу переднезадняя ось ФК МК располагалась выше межкомиссуральной оси на 0.49 ± 0.04 см. Что говорит о том, что фиброзное кольцо митрального клапана имеет форму седла и в систолу данный изгиб увеличивается.

Используя полученные данные, была построена пространственная модель митрального клапана, позволившая произвести расчеты систолической нагрузки всех его элементов.

Рисунок 10. Схема модели МК в горизонтальном (А) и передне-заднем (Б) сечениях.



Длина (a) и ширина (b) передней створки (зеленый цвет). Длина (a) и ширина (b) задней створки (синий цвет), мм. Короткая ось клапана (1). Длинная ось клапана (2).

5. Расчет механической нагрузки в естественном митральном клапане и биопротезах в митральной и трехстворчатой позициях.

Для расчетов были взяты: толщина створок 1.2 мм, модуль упругости $E = 3$ Мпа, коэффициент Пуассона $\mu = 0.45$. Статическое нагружение створок давлением $p = 120$ мм Нг или 16.0×10^3 Па в замкнутой полости согласно

закону Лапласа. Расчет методом конечных элементов. После преобразований для определения напряжения в створках и фиброзном кольце МК были получены формулы:

$$\sigma_1 = p \frac{R_1 R_2 (\mu R_1 + R_2)}{\delta (R_1^2 + R_2^2 + 2\mu R_1 R_2)}, \quad \sigma_2 = p \frac{R_1 R_2 (R_1 + \mu R_2)}{\delta (R_1^2 + R_2^2 + 2\mu R_1 R_2)}$$

где σ_1 – это напряжение в направлении большого диаметра клапана, σ_2 – напряжение в направлении малого диаметра клапана, p – систолическое давление, R_1 и R_2 – больший и меньший радиусы клапана.

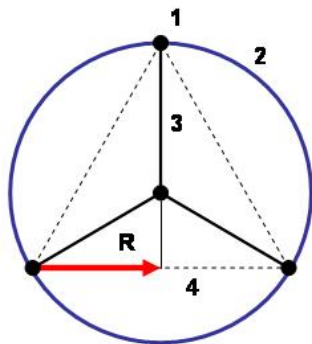
Для определения напряжения в сухожильных хордах и сосочковых мышцах кроме указанных выше использовались формулы:

$$F_1 = pS_1 \text{ и } F_2 = pS_2 \quad (\text{Н}).$$

где F_1, F_2 - силы, действующие на площади передней S_1 и задней S_2 створок. Н – сила в ньютонах.

В каркасном биопротезе в атриовентрикулярной позиции напряжение створок вычисляется с применением закона Лапласа по внутреннему радиусу одной створки по формуле. Согласно закону Лапласа для статических условий напряжение стенки будет равно: $\sigma = p R / 2\delta$, где p – гидростатическое давление, R – радиус створки $R = D \sqrt{3}/2$, δ – толщина створки.

Рисунок 11. Схема строения каркасного биопротеза для митральной позиции.



Стойки протеза (1). Кольцо каркаса протеза (2). Линия смыкания створок (3). Тело створки (4). Внутренний радиус створки (R).

Результаты. Расчеты показали, что при отсутствии седловидного изгиба ПСМК несет нагрузку 155.14 кПа вдоль малого радиуса ФК и 181.90 кПа вдоль большого радиуса ФК. Участок фиброзного кольца в основании ПСМК несет нагрузку 396 кПа. Задняя створка митрального клапана испытывает нагрузку 187.32 кПа вдоль малого и 399.52 кПа вдоль большого радиуса ФК, участок ФК МК в основании ЗСМК - 590 кПа.

Внесение в расчетные формулы подъема передней створки на 4 мм, а задней створки на 2 мм над плоскостью комиссур показало значительное снижение напряжения. В ПСМК нагрузка уменьшается до 72 кПа вдоль малого и 81 кПа вдоль большого радиуса ФК МК. В ЗСМК снижается напряжение до 47 кПа вдоль малого и 81 кПа вдоль большого радиуса ФК МК. Дальнейший подъем оснований створок над плоскостью комиссур не приводит к значимому снижению напряжений (**Таблицы 3,4**).

При плоском ФК МК напряжение в первичных хордах ПСМК было 648 кПа и в ЗСМК - 623 кПа. Внесение седловидной формы кольца и разветвления первичной хорды на три ветви показало, что напряжение в первичных хордах ПСМК будет составлять 108 кПа и 103.8 кПа в первичных хордах ЗСМК.

В сосочковых мышцах при плоском ФК МК напряжение сосочковых мышц в зависимости от их диаметра составило 29.4 - 64.8 кПа. При учете

изогнутого кольца и ветвления первичных хорд напряжение мышц составили 5 – 10.6 кПа.

Таблица 3. Численные значения напряжений створок митрального клапана.

Передняя створка					
h_1 , мм	0	4	6	10	15
Напряжение вдоль большей оси кольца, σ_1 , кПа	155	79	72	72	80
Напряжение вдоль меньшей оси кольца, σ_2 , кПа	182	89	81	78	84
Задняя створка					
h_2 , мм	0	1	2	4	6
Напряжение вдоль большей оси кольца, σ_1 , кПа	399	144	99	79	80
Напряжение вдоль меньшей оси кольца, σ_2 , кПа	187	68	47	38	40

Таблица 4. Напряжения фиброзного кольца МК.

В основании ПСМК.

h_1 , мм	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	3.79
σ_1 , кПа	396.02	330.34	283.99	249.70	223.46	202.84	186.30	172.81	166.09

В основании ЗСМК.

h_2 , мм	0	0.5	1	1.5	1.98
σ_2 , кПа	590.0	417.4	340.8	295.2	265.1

Высота подъема створок: передней (h_1) и задней (h_2) над плоскостью комиссур.

В створках каркасного биопротеза в митральной позиции напряжение составило 435 – 574.2 кПа (размеры кольца клапана 25-33 мм, давление 120

mm Hg). В створках каркасного биопротеза в трехстворчатой позиции напряжение составило 73.2 – 96.5 кПа (размеры клапанов те же, давление 20 mm Hg).

Таблица 5. Напряжение створок биопротеза в митральной (МП) и трехстворчатой (ТП) позициях с диаметром каркасного кольца 25-33 мм.

D, мм	25	27	29	31	33
R, мм	21.7	23.4	25.1	26.8	28.6
σ , кПа (МП)	435	469.8	504.6	539.4	574.2
σ , кПа (ТП)	73.2	78.9	84.7	90.5	96.5

6. Клинические результаты имплантации бескаркасных биопротезов в аортальную позицию.

В отделении приобретенных пороков сердца с декабря 1992 по май 2008 года в аортальную позицию *криосохраненный аортальный аллогraft* был имплантирован в 76 случаях, криосохраненный легочный аллогraft был имплантирован в 3 случаях. Средний возраст больных составил 38 лет (6-73 лет). Из них 61% мужчин и 39% женщин. У 53 больных показанием к операции явился активный инфекционный эндокардит, в том числе у 10 - протезный. У 20 больных с активным ИЭ аортального клапана имелись паравальвулярные абсцессы.

Методика имплантации аллогraftа отличалась в зависимости от характера поражения и распространенности процесса, а также анатомических особенностей корня аорты. Использовались четыре вида имплантации:

1. классическая субкоронарная методика с иссечением двух или трех синусов аллогraftа (38 больных);
2. внутриаортальный цилиндр («мини-корень») (8 больных);

3. протезирование восходящего отдела аорты («свободный корень»)
(30 больных).

Госпитальная летальность составила 6% (5 больных). Выполнено 5 повторных операции в связи с развитием позднего протезного эндокардита аллографта. В отдаленном периоде регургитация отсутствовала в 18 (46%), была минимальной в 9 (23%), незначительной в 7 (18%), умеренной в 5 (13%) случаях. В отдаленном периоде у аллографтов с внутренним диаметром 22 мм пиковый градиент составил 17.8 ± 3.7 mm Hg, средний – 8.13 ± 1.56 mm Hg. На аллографтах с внутренним диаметром 24 мм пиковый градиент составил 10.06 ± 2.3 mm Hg, средний – 8.75 ± 1.9 mm Hg. Актuarная выживаемость больных к сроку 10 лет после имплантации аортальных аллографтов составила 86%, свобода от регургитации 2 степени и более – 67%.

За период 2001-2008 выполнено 54 операций протезирования аортального клапана *легочным аутографтом* (операция Росса). Этиология порока: врожденный двустворчатый клапан - 41(76%), активный инфекционный эндокардит – 4 (5.6%), ревматический порок - 11(20,4%). У 3 пациентов имелось узкое фиброзное кольцо аортального клапана (менее 19 мм). В 2 случаях имелись сопутствующий ДМЖП и в 2- ОАП. У трех пациентов операция носила повторный характер после ранее выполненных открытых вмешательств.

В госпитальном периоде погибли 2 пациента (3.7%). У 3-х пациентов были выполнены повторные операции, 1 пациент оперирован по поводу эндокардита легочного аллографта через 18 месяцев п/о, 2-й пациент через 1 месяц п/о по поводу эндокардита ауто- и аллографта, 3-й пациент через 16

дней п/о по поводу раннего эндокардита аллогraftа. Длительность наблюдения составила в среднем 32 месяца (от 1 до 68 месяцев). Актuarная выживаемость и свобода от реопераций не рассчитывались в связи с недостаточно большим отдаленным периодом наблюдения. ЭхоКГ параметры на клапансодержащих протезах в позиции легочного ствола: клапанная регургитация 1 степени - 4 больных, регургитация 2-й степени - 2 больных. Систолический градиент на проксимальном анастомозе составил в среднем 8.5мм рт ст.

В НЦССХ им. А.Н. Бакулева был изготовлен *бескаркасный аортальный ксенобиопротез* «БиоЛАБ КС». В клинике была произведена имплантация биопротезов «БиоЛАБ КС» (n = 12) и «Neocor» (n = 10), изготовленного в Кемеровском кардиологическом центре. Наружный диаметр протезов был 25 – 28 мм. Этиология порока: дегенеративный стеноз аортального клапана с кальцинозом 2-3 степени 12 (54.5%), активный инфекционный эндокардит нативного 7 (31.8%) и искусственного 3 (13.7%) пациента. Сопутствующей сердечной патологией были стеноз митрального клапана (у 1 больного), недостаточность митрального и трикуспидального клапанов (1 больной), ИБС - один больной.

Госпитальной летальности не было. В непосредственном и отдаленном послеоперационных периодах не зарегистрировано ни одного случая тромбоэмболии или геморрагических осложнений. Отдаленный период составил от 2 до 6 лет (в среднем 3.4 ± 1.4 лет). При контрольных обследованиях не выявлено признаков дисфункции ксенографтов. На ЭХОКГ в 90% случаев не выявлено регургитации, изменений створок и нарушения их движений. В отдаленном периоде у ксенопротезов «БиоЛАБ КС»-23 пиковый градиент в среднем составил 18.18 ± 4.5 mm Hg, средний 10.16 ± 2.5 mm Hg. У ксенопротезов «БиоЛАБ КС»-26 пиковый градиент в среднем составил

11.87±1.89 mm Hg, средний 5.28±2.17 mm Hg. При этом площадь эффективного отверстия ксенографтов составила в среднем 2,44±0,37 см².

Приведенные результаты имплантации ауто-, алло- и ксеноаортальных клапанов в аортальную позицию говорят о физиологичности бескаркасных биопротезов. Кроме того, в отдаленном периоде в группах аллогraftов и ксенографтов выявлена обратная зависимость между пиковым и средним градиентами и диаметром клапана, показанная нами в предыдущих расчетах.

7. Клинические результаты различных методов реконструкции митрального клапана.

В главе, посвященной нагрузкам на митральный клапан, мы подробно описали их расчет. Главными выводами для практики из проведенного исследования служат: 1) Седловидная форма митрального кольца позволяет более чем вдвое снизить нагрузку на все остальные элементы клапана. 2). Наиболее нагруженным элементом митрального клапана является фиброзное кольцо (больше в основании задней створки). 3) Несколько менее нагружены сухожильные хорды. 4) Нагрузка на створки МК неравномерна (больше в задней створке). Она меньше нагрузки сухожильных хорд. 5) Наименее нагруженным элементом клапана являются сосочковые мышцы.

Данные выводы были применены в клинике отдела ППС НЦССХ им А.Н. Бакулева. Принято метод реконструкции избирать в зависимости от анатомии поражения клапана с целью максимального сохранения его естественной анатомии. В отделении применяются методики, использующие имплантацию опорных колец, безимплантационные методики, протезирование хорд митрального клапана а также многокомпонентная реконструкция.

В отделе ППС 80 пациентов было прооперировано с применением *безимплантационных техник* реконструкции митрального клапана. Возраст

больных в среднем составил $50,4 \pm 13,0$ года и колебался от 9 до 71 года. Большинство больных – 58 (72,5%) находились в 4 функциональном классе (NYHA), трое (3,7%) – во втором, остальные 19 (23,8%) в третьем. Недостаточность кровообращения 1 степени была у 7 пациентов (8,8%), 2А степени у 57 (71,2%), 2Б степени у 16 больных (20%). Среди причин, приведших к возникновению порока, наиболее часто отмечались соединительнотканые дисплазии (35%), ИБС (18%), митрализация при аортальном пороке (20%). В 24 (30%) случаях выполнялось аортокоронарное шунтирование - в среднем шунтировалось 2,3 артерии (от 1 до 4). Постинфарктная аневризма левого желудочка устранялась у 3 больных.

Анатомически ведущими причинами митральной регургитации были: отрыв хорд, пролапс створок, относительный пролапс передней створки с ограничением подвижности задней митральной створки. Во всех случаях расширение фиброзного кольца расценивалось как умеренное – средний размер составил $36,9 \pm 5,4$ мм, а площадь створок превышала площадь митрального кольца.

По типу выполненной безимплантационной реконструкции можно выделить три группы коррекций:

- Вальвулопластика край в край
- Безимплантационная локальная задняя аннулопластика
- Сочетанная безимплантационная локальная задняя аннулопластика и вальвулопластика край в край

Таблица 6. Анатомическая характеристика патологии и тип реконструкции митрального клапана.

	Край в край	Безимплантационная аннулопластика	Сочетание край в край и безимпл.аннулопластики	Всего	%

Пролапс ПМС	21			21	26,25
Пролапс ЗМС	2	5	3	10	12,5
Пролапс обеих створок	2		4	6	7,5
Расщепление ЗМС	1	2		3	3,75
Отрыв хорд ПМС		1	1	2	2,5
Отрыв хорд ЗМС	1	27	3	31	38,75
Пролапс створок и кальциноз ФК			2	2	2,5
Несмыкание створок при ревматизме	3			3	3,75
Сложная реконструкция при ИЭ	2			2	2,5
Всего	32	35	13	80	100

Отдаленные результаты прослежены у 93%. Время наблюдения составило в среднем $29,9 \pm 2,1$ месяца (от 6 месяцев до 5 лет). Два случая реоперации в отдаленном периоде (на 2 и 3 год), актуарная выживаемость к 5 году составила $92,5 \pm 3,9\%$ (ДИ-95%), стабильность результата к 5 году составила $89,4 \pm 7,6\%$.

Группа пациентов с **многокомпонентной реконструкцией МК и применением опорного кольца** составила 69 пациентов. Средний возраст больных составил 41 год (от 11 до 70 лет). Этиологическими причинами порока были: ревматизм 23 (33%), соединительно-тканная дисплазия – 12 (18.8%), ВПС – 12 (17.4%), ИЭ – 8 (11.6%), ИБС – 7 (10.1%), АГ – 3 (4.31%), травма грудной клетки – 3 (4.31%) случая.

Морфологической причиной недостаточности МК преимущественно были: удлинение хорд ПСМК в 22 (31,9%), отрыв хорд ПСМК - 18 (26,1%), укорочение подклапанного аппарата ЗСМК, приведшее к пролабированию

ПСМК - 17 (24,6%), удлинение самой ПСМК у 6 (8,7%) пациентов. У 59 (85,5%) пациентов имелось расширение ФК (в среднем до $38,6 \pm 5,5$ мм, по большему диаметру кольца в 4-х камерной проекции). Типы реконструкций: многокомпонентная в 51 (73,9%), пластика «край-в-край» - в 16 (23%) случаях, протезирование хорд ПСМК у 5 (7,2%) пациентов. Набор манипуляций многокомпонентной реконструкции показан в **Таблице 7**.

Таблица 7. Многокомпонентные реконструкции при пролапсе ПСМК.

Компонент реконструкции	Количество	%
Имплантация опорного кольца	51	73,9
Укорочение хорд подшиванием к краю ПСМК	16	29,6
Укорочение хорд погружением в папиллярную мышцу	6	11,1
Транслокация хорд от ЗСМК к ПСМК	5	7,2
Резекция ПСМК	3	9,3
Резекция ЗСМК	6	11,1
Комиссуротомия	8	14,8
Резекция вторичных хорд ЗСМК	7	13,0

Средний срок наблюдения составил $4,1 \pm 0,64$ года (от 1 до 10 лет). 3 случая реоперации. Актуарная выживаемость за 10 лет, включая госпитальную летальность, составила $93.29 \pm 3.25\%$, свобода от отдаленных реопераций $94.71 \pm 2.99\%$, стабильность отдаленных результатов $88.55 \pm 4.18\%$.

Анализируя опыт отдела ППС НЦССХ была выделена группа реконструкций митрального клапана, в которой в **обязательном порядке выполнялась имплантация опорных колец**. Было предпринято ретроспективное и проспективное исследование этой группы.

С июня 2005 года по июнь 2009 год 137 пациентам была выполнена реконструкция митрального клапана с использованием опорных колец. Из них 16 пациентам опорные кольца имплантировались одновременно в митральную и трикуспидальную позиции. Средний возраст больных на момент операции составил $48,1 \pm 13,6$ лет (в пределах от 18 до 72 лет). Среди пациентов женщин было 84 (61.3%), мужчин - 53 (38.7%). Функциональное состояние согласно классификации NYHA было следующим: II ФК 23 (16.8%), III ФК 84 (61.3%), IV ФК 30 (21.9%) пациентов. НК IIА по Стражеско – Василенко имели 101 (73.7%), IIБ 36 (26.3%) пациентов.

Патология митрального порока: соединительнотканная дисплазия 63 (45.9%), ревматизм 22 (16.1%), относительная недостаточность (вследствие аортального порока, миксом левых отделов сердца) 20 (14.6%), ишемическая недостаточность 19 (13.8%), инфекционный эндокардит 11 (8.02%), дилатационная кардиомиопатия 2 (1.58%). У 8 (5.8%) пациентов операция была повторной. Причина митральной регургитации по данным ТТЭХО: пролабирование задней створки наблюдалось в 61 (44.5%), пролабирование передней створки в 11 (8.02%), пролабирование обеих створок в 32 (23.4%) случаях. У 46 (33.6%) пациентов имелась относительную недостаточность трикуспидального клапана, потребовавшая его коррекции.

Госпитальная летальность составила 9 (6.6%) пациентов. Причиной летальности являлась послеоперационная сердечная недостаточность. Реоперации по поводу несостоятельности реконструкции встретились у 2 (1.5%) пациентов. Отдаленный период наблюдения был 5 - 47 месяцев, в среднем 23.52 ± 12.7 месяцев.

В отдаленном периоде имелось 5 случаев реоперации с протезированием клапана. Выживаемость в среднем к 4 годам, включая госпитальную летальность, составила 91.3%, свобода от реоперации с учетом госпитального периода 94.4%.

Одним из вариантов реконструкции митрального клапана является *протезирование сухожильных хорд*. В отделении имеется опыт 26 реконструкций митрального и 1 случая - трикуспидального клапанов и 49 случаев *протезирования хорд дополнительно к протезированию митрального клапана*. Госпитальной летальности не было. При контрольных исследованиях в отдаленном периоде (8 лет) функция искусственных хорд не нарушена (полнота наблюдения 94,4%, осложнений, связанных с прорезыванием швов и имплантацией протеза не было).

Важная особенность реконструктивной хирургии МК заключается в том, что производится наложение швов на разные его элементы. Искусственные нити прошивают ткань створок, хорд, сосочковые мышцы и затем, работая в системном кровотоке, несут полную гемодинамическую нагрузку. Клинические результаты реконструктивных операций, а также нашего случая *имплантации криосохраненного митрального аллогraftа в митральную позицию* (срок наблюдения 6 лет) подтверждают наши расчеты в том, что нагрузка на элементы нормального клапана не велика, а на сосочковые мышцы минимальна.

8. Клинические результаты биопротезирования трехстворчатого клапана.

В трехстворчатой позиции по нашим расчетам напряжение створок биопротеза составляет 73.2 – 95.6 кПа, что приблизительно соответствует напряжению в створках естественного митрального клапана. Мы провели анализ отдаленных результатов *биопротезирования трехстворчатого клапана* со сроком наблюдения до 10 лет. В отдаленном периоде от 2 до 10 лет, (в среднем 78.4 ± 12.7 мес) доступны для анализа были 108 пациентов из

130 (87.8%). Дегенерация биологических протезов, потребовавшая реоперации, встретилась в 2 случаях (2.7%).

Мы располагаем опытом 14 имплантаций криосохраненного митрального аллогraftа в трехстворчатую позицию (10 полных и 4 частичных аллогraftа). Длительность наблюдения от 44 до 119 месяцев (в среднем 83 ± 7.6). По данным трансторакальной эхокардиографии регургитация на аллогraftе: отсутствовала – в 4, минимальная – в 6, незначительная – в 3 случаях. В одном случае через 119 месяцев реоперация в связи с регургитация 3 ст. Данные результаты говорят о незначительной степени гемодинамической нагрузки в трехстворчатой позиции, менее предрасполагающей к тканевой дегенерации.

Выводы.

1. Корень аорты имеет вид усеченного конуса, расположенного большим основанием вверх. В конус встроены три полых незамкнутых сферических тела, которые представлены объединением аортальной створки и соответствующего синуса Вальсальвы. Ось каждой сферы имеет наклон по

отношению к оси корня.

2. Систолическое напряжение аортальных створок является динамическим. Оно прямо связано с ударным объемом, скоростью потока и типом биопротеза. Обратно связано с диаметром корня аорты и биопротеза.

3. Диастолическое напряжение в структурах корня аорты неоднородное. Постоянно меридиональное. Окружное минимально у основания створок, в зоне сопоставления и максимально у комиссур. В гладкой зоне створок напряжение растет от основания створки до зоны сопоставления. Величина диастолического напряжения прямо пропорциональна радиусу корня.

4. Естественный митральный клапан испытывает статический характер напряжений. Их распределение неравномерное. Седловидная форма кольца позволяет значительно снизить гемодинамическую нагрузку. Наиболее нагруженным элементом клапана является фиброзное кольцо в основании задней створки. Наименее нагружены в клапане сосочковые мышцы. Величина напряжения связана прямо: с размером митрального кольца, давлением в ЛЖ.

5. Биопротез в митральной позиции испытывает статическое нагружение. Нагрузка на створки биопротеза прямо пропорциональна величине внутрижелудочкового давления и его диаметру. Напряжения в его створках в несколько раз превышают напряжения в створках естественного МК.

6. Биопротез в трехстворчатой позиции испытывает статическое нагружение. Нагрузка на створки биопротеза прямо пропорциональна величине давления в полости правого желудочка и диаметру протеза. Напряжения в его створках несколько больше, чем в естественном МК, поэтому его дегенерация встречается, но значительно реже, чем в других позициях.

7. Бескаркасные аортальные биопротезы (аллографт, аутографт, ксенографт) обладают оптимальной гемодинамической функцией. Их использование позволило получить в отдаленном периоде хорошие результаты с низкой частотой дисфункции и реопераций.

8. Пластика митрального клапана (безимплантационные методики, многокомпонентные реконструкции с имплантацией опорного кольца, протезирование хорд, имплантация криосохраненного аллографта) при сохранении его естественных формы и пропорций позволяет получить низкую механическую нагрузку на элементы клапана и стабильные отдаленные результаты.

9. Биопротезы в трехстворчатой позиции (каркасный ксенопротез, криосохраненный аллографт митрального клапана) испытывают незначительную механическую нагрузку. Что обуславливает низкую частоту дегенерации и стабильно хорошие отдаленные результаты.

Практические рекомендации.

1. В аортальной позиции бескаркасные биопротезы предпочтительнее каркасных. Следует стремиться к имплантации биопротезов большего размера с большим эффективным отверстием.
2. При реконструктивных вмешательствах на корне аорты следует стремиться к сохранению синусов Вальсальвы. Реконструкция синусов позволяет сохранить естественным распределение диастолического напряжения на створки и, тем самым, уменьшить его.
3. При пластических операциях на аортальном клапане манипуляции целесообразно производить в зонах, имеющих минимальную нагрузку. А именно в зонах сопоставления створок комиссурах.
4. При отсутствии дилатации и сохранении естественной формы фиброзного кольца реконструкцию митрального клапана

необязательно дополнять имплантацией опорного кольца даже при дегенеративной природе поражения створок и хорд. Естественная форма кольца позволяет снизить нагрузку на все элементы клапана.

5. При аннулодилатации имплантация опорного кольца обязательна. Более выгодной для снижения напряжения на элементы клапана является седловидно изогнутая форма опорного кольца.
6. При необходимости безопасно могут быть использованы методики, включающие наложение швов на сосочковые мышцы.
7. В трехстворчатую позицию рекомендуется имплантация биологических протезов (каркасных биопротезов, полного или частичного митрального аллогraftа).

Список опубликованных работ по теме диссертации.

1. Скопин, И.И. Первый случай частичного замещения трикуспидального клапана криосохраненным митральным аллогraftом при активном инфекционном эндокардите. / И.И. Скопин, Р.М. Муратов, Г.А. Шамсиев, В.В. Зайцев, М.А. Сазоненков, Н.Н. Соболева. // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. - 2002. –N 1. с. 74 — 76.
2. Skopin, I.I. Primary rhabdomyosarcoma of the right atrium. / I.I. Skopin, R.A. Serov, A.A. Makushin, M.A. Sazonenkov. // Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery. – 2003. N 2. p. 316 — 318.
3. Скопин, И.И. Анатомия створок нормального трикуспидального клапана взрослых и ее значение для выбора метода аннулопластики при функциональной недостаточности. / И.И. Скопин, М.А. Сазоненков, А.Ф. Синев, И.Е. Галанкина. // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. – 2004. – N 3. с. 34 - 39.

4. Сазоненков, М.А. Топография первой септальной артерии передней межжелудочковой ветви применительно к выделению легочного аутографта при операции Росса. / М.А. Сазоненков, А.В. Лошаков, И.И. Скопин, А.А. Можина. // Анналы хирургии. – 2004. – N 2. с. 33 — 35.
5. Муратов, Р.М. Тактика хирургического лечения активного инфекционного эндокардита трикуспидального клапана. / Р.М. Муратов, И.И. Скопин, Г.А. Шамсиев, С.И. Бабенко, Н.Н. Соболева, М.А. Сазоненков. // Анналы хирургии. – 2005. – N 1. – с. 23 — 29.
6. Барбухатти, К.О. Два случая пластики ствола левой коронарной артерии в сочетании с протезированием восходящей аорты и аортального клапана. / К.О. Барбухатти, М.А. Сазоненков, С.Ю. Болдырев, С.А. Белаш, В.А. Порханов. // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. – 2005. – N 6. – с. 64 — 66.
7. Сазоненков, М.А. Строение отдельных элементов митрального клапана, способствующих уменьшению напряжения на фиброзные структуры клапана. / М.А. Сазоненков, И.И. Скопин. // Медицинские науки. - 2005. - N 4. - с. 95 — 99.
8. Сазоненков, М.А., Особенности анатомии и пропорций корня аорты. / М.А. Сазоненков, И.И. Скопин. // Медицинские науки. - 2005. - N 4. - с. 90 - 94.

9. Сазоненков, М.А. Современный взгляд на циклическую подвижность фиброзного кольца митрального клапана и корня аорты. / М.А. Сазоненков, В.Н. Терехин, И.И. Скопин. // Аспирант и соискатель. - 2005. - N 4. - с. 145 - 148.
10. Сазоненков, М.А. Выбор модели корня аорты для математических расчетов напряжений створок и синусов аортального клапана. / М.А. Сазоненков, И.И. Скопин, Е.Н. Тумаев, А.Ф. Синев. // Медицинские науки. - 2006. - N 3. - с. 63 - 68.
11. Бокерия, Л.А. Криосохраненный митральный аллогraft в митральной позиции. / Л.А. Бокерия, И.И. Скопин, М.А. Сазоненков. // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. - 2006. - N 6. - с. 69 - 71.
12. Бокерия, Л.А. К вопросу анатомии сосочковых мышц и хорд митрального клапана. / Л.А. Бокерия, И.И. Скопин, М.А. Сазоненков. // Клиническая физиология кровообращения. – 2007. – N 2. – с. 21 - 26.
13. Мальцев, С.Г. Хирургическая коррекция недостаточности артериовентрикулярных клапанов у пациента с КТМА. / С.Г. Мальцев, М.А. Сазоненков, Д.З. Убирия, О.Е. Овчаров, И.Б. Коваленко, И.В. Аскари, Д.В. Черноусов, Т.З. Донков. // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. - 2007. N 2. – с. 61 - 64.
14. Бокерия, Л.А. Расчет диастолического напряжения в элементах корня аорты с помощью уточненного закона Лапласа. / Л.А. Бокерия, И.И. Скопин, М.А. Сазоненков, Е.Н. Тумаев. // Клиническая физиология кровообращения. - 2008. – N 1. – с. 45 - 49.
15. Бокерия, Л.А. К вопросу об анатомии створок аортального клапана. / Л.А. Бокерия, И.И. Скопин, М.А. Сазоненков. // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. – 2008. – N 1.- с. 5 - 10.
16. Сазоненков, М.А. Напряжение в стенках незамкнутых сферических структур. Вывод формул уточненного расчета напряжения на основании

закона Лапласа. / М.А. Сазоненков, Е.Н. Тумаев, И.И. Скопин. // Медицинские науки. – 2008. - N 1. – с. 51 - 59.

17. Бокерия, Л.А. К вопросу об анатомии корня аорты. Соотношение диаметров аортального кольца и синотубулярного соединения в норме у взрослых. Идеальная геометрическая модель корня аорты. / Л.А. Бокерия, И.И. Скопин, М.А. Сазоненков, Е.Н. Тумаев. // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. – 2008. – N 4. – с. 77 - 85.

18. Бокерия, Л.А. Механическое напряжение в створках митрального клапана и биопротеза в митральной позиции. Влияние геометрии фиброзного кольца на величину напряжения створок. / Л.А. Бокерия, И.И. Скопин, М.А. Сазоненков, Е.Н. Тумаев. // Клиническая физиология кровообращения. - 2008. – N 2. – с. 73 - 80.

19. Бокерия, Л.А. Расчет максимальной растяжимости аортального кольца на пространственной модели корня аорты. / Л.А. Бокерия, И.И. Скопин, М.А. Сазоненков, Е.Н. Тумаев. Клиническая физиология кровообращения. – 2008. – N 3. – с. 60 - 64.

20. Сазоненков, М.А. Наружная фиксация синотубулярной зоны как способ интраоперационной коррекции выраженной аортальной регургитации, возникшей после иссечения субаортального стеноза. / М.А. Сазоненков, И.В. Аскари, Т.З. Донков, С.Г. Мальцев. // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. – 2008. N 6. – с. 70 — 72.

21. Сазоненков, М.А. Анатомия створок трехстворчатого клапана и ее значение для выбора метода пластической реконструкции. / М.А. Сазоненков // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Шестая ежегодная сессия Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН с Всероссийской конференцией молодых ученых. - 2002. - Т 3, N 5. - с. 229.

22. Skopin, I.I. Cryopreserved mitral valve allograft in the treatment of tricuspid valve endocarditis. / I.I. Skopin, M.A. Sazonenkov. // Abstracts for the World Congress of WSCT 13th Meeting, San Diego, USA. - 2003. – November 1 -5. – p. s7.
23. Сазоненков, М.А. Анатомия корня легочного ствола и первой септальной ветви ПМЖВ применительно к операции Росса у взрослых. / М.А. Сазоненков, А.В. Лошаков, А.Ф. Синев, А.А. Можина. // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Седьмая ежегодная сессия Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН с Всероссийской конференцией молодых ученых. - 2003, - Т 4, N 6. - с. 31.
24. Скопин, И.И. Анатомия первой септальной артерии ПМЖВ применительно к выделению легочного аутографта при операции Росса. / И.И. Скопин, М.А. Сазоненков, А.Ф. Синев, А.А. Можина, А.В. Лошаков. // Щорічник наукових праць Асоціації серцево-судинних хірургів України. Серцево-судинна хірургія. – 2004, Вип. 12. – К., - с. 363 - 364.
25. Гордеева, Р.М. Изменения структурных компонентов митрального клапана при простой транспозиции магистральных артерий и при сочетании ее с дефектом межжелудочковой перегородки. / Гордеева, А.Ф. Синев, В.Н. Ильин, М.А. Сазоненков. // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Восьмая ежегодная сессия Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН с Всероссийской конференцией молодых ученых. - 2004, - Т 5, N 5. - с. 22.
26. Скопин, И.И. Анатомия первой септальной ветви ПМЖВ применительно к выделению легочного аутографта при операции Росса. / И.И. Скопин, М.А. Сазоненков, А.В. Лошаков, А.Ф. Синев, А.А. Можина. // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Восьмая ежегодная сессия Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН с Всероссийской конференцией молодых ученых. - 2004, - Т 5, N 5. - с. 45.

27. Сазоненков, М.А. Особенности анатомии нормального митрального клапана. / М.А. Сазоненков // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Восьмая ежегодная сессия Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН с Всероссийской конференцией молодых ученых. - 2004. - Т 5, N 5. - с. 423.
28. Сазоненков, М.А. Непосредственные результаты хирургического лечения аневризм левого желудочка. / М.А. Сазоненков, С.Ю. Болдырев, С.А. Белаш, В.В. Ходунов, Е.Н. Антипов, Е.В. Россейкин, К.О. Барбухатти. Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. Одиннадцатый Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов. 2005. - Т 6, N 5. - с. 87.
29. Арзуманова, А.С. Результаты хирургического лечения многоклапанного и изолированного митрального пороков сердца, осложненных легочной гипертензией, к 1 году после операции. / А.С. Арзуманова, С.Н. Тышкевич, М.А. Сазоненков, Е.Н. Антипов, К.О. Барбухатти. // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. Одиннадцатый Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов. - 2005. - Т 6, N 5. - с. 39.
30. Сазоненков, М.А. К расчету механических напряжений в биологических структурах, имеющих сферическую форму. / М.А. Сазоненков, Е.Н. Тумаев. // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Десятая ежегодная сессия Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН с Всероссийской конференцией молодых ученых. - 2006. - Т 7, N 3. - с. 226.
31. Сазоненков, М.А. Систолическая нагрузка на створки нормального аортального клапана. / М.А. Сазоненков, Е.Н. Тумаев, И.И. Скопин. // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые

заболевания. Двенадцатый Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов. – 2006. - Т 7, N 5. - с. 276.

32. Сазоненков, М.А. Новый метод расчета диастолического напряжения створок аортального клапана и синусов Вальсальвы. / М.А. Сазоненков, Е.Н. Тумаев, И.И. Скопин // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. Двенадцатый Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов. – 2006. - Т 7, N 5. - с. 287.

33. Sazonenkov, M.A. Calculation of the aortic root diastolic load by the finite element method using the modified Laplas equation. / M.A. Sazonenkov, E.N. Tumaev, I.I. Skopin. // Abstracts for the Mediterranean Association of Cardiology and Cardiac Surgery 18th Meeting, Ayia Napa, Cyprus. - 2006. – October 5-7. – p. s74 - s75.

34. Sazonenkov, M.A. Calculation of the aortic valve systolic load by the finite element method. / M.A. Sazonenkov, E.N. Tumaev, I.I. Skopin. // Abstracts for the Mediterranean Association of Cardiology and Cardiac Surgery 18th Meeting, Ayia Napa, Cyprus. - 2006. – October 5-7. – p. s75 - s76.

35. Sazonenkov, M.A. Ideal geometric aortic root model. Finite element method in diastolic and systolic leaflet stress calculation. / M.A. Sazonenkov, E.N. Tumaev, I.I. Skopin, L.A. Bockeria. // Abstracts for the European Society for cardiovascular surgery 56th international congress, Venice, Italy. - 2007. - May 17 – 20. – p. s50.

36. Skopin, I.I. Implantation of cryopreserved mitral valve allograft in tricuspid and mitral positions. / I.I. Skopin, V.A. Mironenko, M.A. Sazonenkov. // Abstracts for the European Society for cardiovascular surgery 56th international congress, Venice, Italy. - 2007. - May 17 – 20. – p. s130.

37. Сазоненков, М.А. Систолическое напряжение в аортальном клапане и биопротезах в аортальной позиции в покое и при физической нагрузке. / М.А. Сазоненков, Е.Н. Тумаев, И.И. Скопин. // Бюллетень НЦ ССХ им.

А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. Четырнадцатый Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов. – 2008. - Т 9, N 6. - с. 34.

38. Корнелюк, М.Н. Опыт применения искусственных клапанов ON-X при протезировании клапанов сердца. / М.Н. Корнелюк, М.А. Сазоненков, Д.А. Басараб, С.Г. Мальцев, А.В. Лушкин, В.Ф. Куликовский. // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. Четырнадцатый Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов. – 2008. - Т 9, N 6. - с. 50.

39. Сазоненков, М.А. Геометрическая модель нормального митрального клапана. / М.А. Сазоненков, Е.Н. Тумаев, И.И. Скопин // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. Четырнадцатый Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов. – 2008. - Т 9, N 6. - с. 55.

40. Сазоненков, М.А. Расчет напряжений в структурах нормального митрального клапана. / М.А. Сазоненков, Е.Н. Тумаев, И.И. Скопин // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. Четырнадцатый Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов. – 2008. - Т 9, N 6. - с. 55.

41. Сазоненков, М.А. Опыт пластических реконструкций митрального клапана. / М.А. Сазоненков, Д.А. Басараб, Д.З. Убирия, Т.З. Донков, А.В. Павлоцкий, Ю.В. Копылов, О.Е. Овчаров, Р.В. Скрипченко, Д.В. Черноусов, И.В. Аскари, М.Н. Корнелюк. // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Десятая ежегодная сессия Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН с Всероссийской конференцией молодых ученых. - 2009. - Т 10, N 3. - с. 24.

42. Сазоненков, М.А. Случай повторной операции удаления миксомы левых камер сердца. / М.А. Сазоненков, Д.А. Басараб, А.В. Павлоцкий, И.В.

Аскари М.Н. Корнелюк. // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. Пятнадцатый Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов. – 2009. - Т 10, N 6. - с. 34.

43. Сазоненков, М.А. Непосредственные результаты хирургических операций у взрослых пациентов с кардиомегалией. / М.А. Сазоненков, Д.А. Басараб, Д.З. Убирия, Т.З. Донков, А.В. Павлоцкий, С.С. Криворот, О.Е. Овчаров, Ю.В. Копылов, Р.В. Скрипченко, Д.В. Черноусов, И.В. Аскари, Н.Н. Исайченко, А.В. Кузубова, С.Г. Мальцев, А.В. Лушкин, // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. Пятнадцатый Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов. – 2009. - Т 10, N 6. - с. 48.

44. Басараб, Д.А. Значение эхолокации коронарного кровотока в хирургии корня аорты. / Д.А. Басараб, Д.Д. Мациевский, М.Н. Корнелюк, Т.З. Донков, Д.З. Убирия, М.А. Сазоненков. // Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. Пятнадцатый Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов. – 2009. - Т 10, N 6. - с. 60.