

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИМЕНИ В. А. АЛМАЗОВА»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

Филиппов Алексей Александрович

«ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТДАЛЕННЫХ
РЕЗУЛЬТАТОВ КЛАПАНСОХРАНЯЮЩИХ
РЕКОНСТРУКТИВНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА КОРНЕ АОРТЫ»

3.1.15 – сердечно-сосудистая хирургия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

Доктор медицинских наук, профессор,

Гордеев Михаил Леонидович

Санкт-Петербург

2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	14
1.1 ЭТИОЛОГИЯ И ЭПИДЕМИОЛОГИЯ АНЕВРИЗМ КОРНЯ И ВОСХОДЯЩЕГО ОТДЕЛА АОРТЫ.....	14
1.2 ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КЛАПАНСОХРАНЯЮЩЕГО ПРОТЕЗИРОВАНИЯ КОРНЯ АОРТЫ.....	17
1.3 АНАТОМИЯ КОРНЯ АОРТЫ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КЛАПАННО-АОРТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА	20
1.4 ПАТОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АОРТАЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ПРИ АНЕВРИЗМЕ КОРНЯ АОРТЫ	25
1.5 КЛИНИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПЛАНИМЕТРИЧЕСКИХ И СТЕРЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУР КЛАПАННО-АОРТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА	26
1.6 МЕДИКАМЕНТОЗНОЕ ЛЕЧЕНИЕ И НАБЛЮДЕНИЕ ПРИ АНЕВРИЗМЕ КОРНЯ АОРТЫ, ОСЛОЖНЕННОЙ АОРТАЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ	40
1.7 ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ АНЕВРИЗМ КОРНЯ АОРТЫ С СОХРАНЕНИЕМ НАТИВНОГО АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА.....	44
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	49
2.1 КРИТЕРИИ ОТБОРА ПАЦИЕНТОВ	49
2.2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	50
2.3 КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАЦИЕНТОВ.....	56
2.4 МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ.....	69
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ СТЕРЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОРНЯ АОРТЫ НА ОСНОВАНИИ МЕТОДА ВЫСОКОТОЧНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ РЕКОНСТРУКЦИЙ	70
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	80

4.1 АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ КЛАПАННО-АОРТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В ДООПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ	80
4.2 ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЙ И РАННИЙ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫЙ ПЕРИОДЫ.....	87
4.3 ОТДАЛЕННЫЙ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫЙ ПЕРИОД	92
4.4 КЛИНИЧЕСКАЯ И ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АОРТАЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ В ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ	94
4.5 ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ПРОГРЕССИРОВАНИЯ АОРТАЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ В ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ ОТ АНАТОМИЧЕСКИХ, КЛИНИЧЕСКИХ И ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	97
4.6 ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ПРОГРЕССИРОВАНИЯ ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ В ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ ОТ АНАТОМИЧЕСКИХ, КЛИНИЧЕСКИХ И ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ.	99
ГЛАВА 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	102
ВЫВОДЫ.....	111
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	112
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	113
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	114
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	116

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и степень разработанности темы исследования

Аневризма корня и восходящего отдела аорты является распространенным во всем мире заболеванием сердечно-сосудистой системы с частотой встречаемости от 60 до 100 случаев на один миллион населения ежегодно [1]. Наиболее опасным осложнением аневризмы восходящего отдела аорты является ее расслоение и разрыв. Летальность при его возникновении крайне высока и достигает 75% в течение 14 дней [2]. Отличительной особенностью данной патологии является отсутствие ярких патогномоничных клинических проявлений до возникновения расслоения стенки аорты, в большинстве случаев имеющего катастрофические последствия. В тех случаях, когда в формирование аневризмы вовлечен не только восходящий отдел аорты, но и ее корень, течение заболевания, как правило, осложняется явлениями недостаточности аортального клапана [3]. Зачастую именно клинические проявления аортальной недостаточности приводят пациента с аневризмой корня и восходящего отдела аорты на первичный прием кардиолога и кардиохирурга.

Единственным эффективным методом лечения аневризм корня и восходящего отдела аорты является протезирование аневризматически расширенного участка в условиях экстракорпорального кровообращения, кардиopleгии, и в ряде случаев – глубокой гипотермии и циркуляторного ареста. На современном этапе развития сердечно-сосудистой хирургии тактика и методы хирургической коррекции аневризм корня и восходящего отдела аорты хорошо разработаны, систематизированы и в значительной мере освоены кардиохирургами. Наиболее распространенной операцией при данной патологии является протезирование восходящей аорты и аортального клапана синтетическим кондуитом, содержащим интегрированный механический протез аортального клапана [4]. Эта методика, предложенная Bentall и De Bono в 1968 году, обладает рядом безусловных преимуществ,

основными из которых являются относительная простота выполнения, хорошая воспроизводимость, а также известные и прогнозируемые отдаленные результаты [5]. Однако, у операции Bentall-DeBono имеются и серьезные недостатки, связанные с заменой нативного аортального клапана механическим протезом – необходимость пожизненного приема антикоагулянтной терапии, риски развития протезного эндокардита, дисфункции механического протеза и тромбоэмболии в артерии большого круга кровообращения [6]. Важной особенностью большинства аневризм корня аорты, сопровождавшихся аортальной недостаточностью, также является то, что створки аортального клапана зачастую не имеют значимых изменений, а приобретенный порок клапана формируется вследствие расширения и деформации фиброзного кольца и стенки аорты в области синусов Вальсальвы и синутубулярного соединения [7].

Совокупность потенциальных преимуществ сохранения нативного аортального клапана и недостатков его замещения механическим протезом привела к разработке клапансохраняющих методик протезирования корня аорты в 80-х – 90-х годах прошлого века. В 1989 году Т.Е. David впервые выполнил операцию реимплантации аортального клапана в синтетический протез корня и восходящего отдела аорты. Методика отличается высокой технической сложностью исполнения, однако показывает очень хорошие непосредственные и отдаленные результаты. По результатам наблюдения 333 пациентов, оперированных автором методики, отсутствие тяжелой аортальной недостаточности на реимплантированном клапане составила более 95% в течение 20 лет после операции, а частота инфекционных и тромбоэмболических осложнений в зоне операции была на порядок меньше в сравнении с операцией Bentall – De Bono [8]. Одновременно с операцией David были разработаны и другие клапансохраняющие операции, такие как операция Yacoub (ремоделирование корня аорты) и операция Hess (техника Florida Sleeve), однако большинство хирургов в мире отдают предпочтение именно

методике T. David вследствие ее большей надежности и лучших отдаленных результатов.

Ежегодно число выполняемых в мире клапансохраняющих протезирований корня аорты растет, но несмотря на очевидные преимущества, их доля в структуре хирургии корня аорты остается небольшой [9]. Этот факт объясняется тем, что функционирование реимплантированного аортального клапана в послеоперационном периоде гораздо менее предсказуемо в сравнении с клапанным протезом, а оценка результатов реконструкции в ходе операции носит визуальный характер и зависит в основном от опыта хирурга [10]. Несмотря на небольшое количество случаев тяжелой аортальной недостаточности реимплантированного клапана и реопераций в отдаленном периоде, частота возникновения незначительной и умеренной аортальной недостаточности за 15-20 лет наблюдения достигает 20-25% [8]. Начиная с первых лет после появления операции David [11], пристальное внимание исследователей было приковано к факторам, вызывающим рецидив недостаточности реимплантированного АК. Многие клинические и операционные факторы были признаны предикторами высокого риска возникновения рецидива АН: высокая артериальная гипертензия, соединительнотканная дисплазия створок аортального клапана, ошибки в выборе размера протеза аорты и реимплантации в него аортального клапана [12].

В течение последнего десятилетия большой интерес вызывают стереометрические параметры элементов корня аорты, влияние которых на аортальную недостаточность прежде не было детально изучено. С одной стороны, такие основные линейные параметры аортального клапана как диаметр фиброзного кольца, высота зоны коаптации створок и высоты комиссур клапана были хорошо изучены еще в XX веке и легли в основу интра- и периоперационной оценки реимплантации аортального клапана [13]. С другой стороны, ряд исследовательских групп обратили внимание на то, что

не меньшее значение для функции АоК в отдаленном периоде имеют такие дооперационные характеристики аортального клапана как площадь и геометрическая высота каждой из створок, площади синусов аорты, периметр фиброзного кольца аортального клапана и другие параметры [14, 15]. Точное определение этих значений стало возможно лишь в последние несколько лет, благодаря разработке программного и аппаратного обеспечения для построения высокоточных трехмерных реконструкций клапанно-аортального комплекса на основании данных дооперационной МСКТ [16-18]. К сожалению, существующие на настоящий момент исследования стереометрических параметров корня аорты ограничиваются небольшими группами больных или единичными клиническими случаями, поэтому их данные не могут быть экстраполированы на всю популяцию больных, перенесших клапансохраняющие операции [19].

Эта работа была задумана как попытка выявить наиболее значимые прогностические факторы возникновения рецидива аортальной недостаточности после выполнения клапансохраняющего протезирования корня аорты по методике Т. David, взглянув на эту проблему через призму накопившихся за последние годы знаний о геометрических параметрах корня аорты. Новым подходом, примененным в данной работе, является разработка системы построения трехмерных реконструкций корня аорты, позволяющей с высокой точностью определять значения стереометрических параметров элементов клапанно-аортального комплекса. Мы надеемся, что полученные нами результаты позволят пополнить багаж знаний о функционировании реимплантированного в протез аортального клапана, выявить новые причины возникновения рецидива аортальной недостаточности, определить новые показания к клапансохраняющему хирургическому лечению аневризм восходящей аорты и улучшить его результаты.

Цель работы

Усовершенствование тактики хирургического лечения больных с аневризмой корня аорты и сохранным аортальным клапаном путем точного прогнозирования результатов клапансохраняющей оперативной коррекции аортальной недостаточности на основании клинических данных и анализа геометрических параметров корня аорты.

Задачи исследования

1. Используя исходные данные мультиспиральной компьютерной томографии - ангиографии пациентов, перенесших клапансохраняющую операцию на корне аорты по методике David I, разработать универсальный и легко воспроизводимый способ построения высокоточных трехмерных реконструкций всех структур клапанно-аортального комплекса. Используя разработанный способ, построить в средах автоматизированного проектирования дооперационные трехмерные графические реконструкции корня аорты.

2. Определить дооперационные анатомические параметры корня аорты, оказывающие наибольшее влияние на отдаленные результаты клапаносохраняющей хирургической коррекции аортальной недостаточности методом David I при патологии восходящего отдела аорты.

3. Оптимизировать выбор размера протеза корня аорты для реимплантации аортального клапана в ходе операции David I на основании измерения структур корня аорты на полученных высокоточных реконструкциях.

4. Оценить результаты клапаносохраняющих методов хирургической коррекции аортальной недостаточности в отдаленном периоде и выявить наиболее значимые предикторы рецидива аортальной регургитации и прогрессирования хронической сердечной недостаточности на основании анализа геометрических параметров структур корня аорты.

Научная новизна исследования

Впервые выполнено ретро-проспективное исследование по поиску прогностических факторов прогрессирования рецидивирующей аортальной недостаточности после выполнения операции David I, с анализом геометрических (планиметрических и стереометрических) дооперационных параметров клапанно-аортального комплекса. Разработана оригинальная, универсальная и легко воспроизводимая методика построения высокоточных трехмерных реконструкций всех структур корня аорты в средах автоматизированного проектирования. Созданный метод позволяет измерять все известные на сегодняшний день геометрические параметры корня аорты, а также осуществить выбор диаметра протеза для реимплантации аортального клапана в ходе операции David I на дооперационном этапе без использования сложных методик расчета и специальных инструментов. Выявлены факторы риска прогрессирования хронической сердечной недостаточности в отдаленном периоде после выполнения операции реимплантации аортального клапана по методике David I.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Разработан способ построения трехмерных графических реконструкций корня аорты, позволяющий рассчитывать и оценивать все известные в настоящее время линейные и стереометрические параметры структур корня аорты, и использовать полученные данные в клинической практике.

2. Установлены предикторы возникновения рецидивирующей аортальной недостаточности в отдаленном периоде после клапансохраняющего протезирования корня аорты по методике David I: асимметричный характер расширения корня аорты в сочетании с расширением синотубулярной зоны сопровождаются значимым увеличением риска прогрессирования аортальной недостаточности. Предложена формула

регрессии для расчета индивидуального риска возникновения рецидива аортальной недостаточности у каждого пациента при планировании клапансохраняющего вмешательства по методу David I.

3. Предложена методика выбора диаметра сосудистого протеза для реимплантации аортального клапана, не уступающая по точности интраоперационной оценке клапанно-аортального комплекса, и позволяющая производить все измерения на дооперационном этапе.

Методология и методы исследования

В исследовании принимали участие 50 пациентов с диагнозом аневризмы корня аорты, осложненной аортальной недостаточностью. Всем пациентам было выполнено клапансохраняющее протезирование корня аорты по методике David I в отделении сердечно-сосудистой хирургии №1 ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» в период с 2017 по 2021 г.г. Для оценки состояния пациентов использовались клинические, лабораторные и инструментальные методы исследования, рутинно применяющиеся при лечении и обследовании пациентов кардиохирургического профиля. Для оценки анатомических планиметрических и стереометрических параметров корня аорты использовалось построение высокоточных трехмерных реконструкций в средах автоматизированного проектирования. Использованные методы статистической обработки данных, а именно модель логистической регрессии, отвечают поставленной цели и задачам исследования.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Для оценки риска рецидива аортальной недостаточности, а также прогрессирования явлений хронической сердечной недостаточности после клапансохраняющего протезирования корня аорты по методике David I, на дооперационном этапе необходимо изучение анатомических (планиметрических и стереометрических) параметров корня аорты, а также

клинических и морфофункциональных характеристик. Оценка всех стереометрических анатомических параметров корня аорты в аспекте их связи с функцией аортального клапана возможна только при использовании данных высокоточной трехмерной реконструкции, построенной в среде автоматизированного проектирования на основании данных мультиспиральной компьютерной томографии корня аорты. Использование данных высокоточной реконструкции позволяет также осуществить выбор диаметра сосудистого протеза для реимплантации корня аорты на дооперационном этапе. Точность измерений при этом не уступает интраоперационной оценке клапанно-аортального комплекса.

2. У пациентов с сочетанием исходного расширения синотубулярной зоны и асимметричного характера аневризматического расширения корня аорты наблюдается повышенный риск возникновения рецидива аортальной недостаточности в отдаленном периоде после клапансохраняющего протезирования корня аорты. С целью профилактики прогрессирования аортальной и хронической сердечной недостаточности в отдаленном периоде, у данной группы пациентов рекомендован контроль уровня диастолического артериального давления, а также медикаментозная терапия сердечной недостаточности, нацеленная на сохранение сократительной способности левого желудочка после операции.

Степень достоверности и апробация результатов

По теме диссертации опубликовано 4 печатных работы, из них 3 статьи в изданиях, включенных в перечень ведущих рецензируемых научных изданий Высшей Аттестационной Комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации. Основные положения работы изложены, обсуждены и опубликованы в сборнике тезисов XXVI Всероссийского съезда сердечно-сосудистых хирургов (ФГБУ НЦССХ им. А.Н. Бакулева, Москва, 2020 г.), доложены и обсуждены на IV Инновационном Петербургском медицинском форуме (ФГБУ НМИЦ им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, 2021 г.), на 281-

м Заседании секции сердечно-сосудистых хирургов и ангиологов хирургического общества им. Н.И. Пирогова (ПСПбГМУ им. академика И.П. Павлова, Санкт-Петербург, 2022г.), а также на IX Международном конгрессе «Кардиоторакальная радиология» (Санкт-Петербург, 2022 г.).

Внедрение в практику

Научные положения и практические рекомендации, сформулированные по результатам диссертационного исследования, внедрены в клиническую практику и используются в отделении сердечно-сосудистой хирургии №1 ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» (г. Санкт-Петербург).

Личный вклад автора

Автор принимал участие во всех этапах выполненного исследования, проводил обследование и отбор пациентов, участвовал в операциях в качестве ассистента оператора, проводил обследование пациентов в послеоперационном периоде. Автором разработан метод построения и измерения высокоточных трехмерных реконструкций корня аорты, выполнено построение реконструкций корня аорты и аортального клапана всем пациентам, участвовавшим в исследовании. Автором выдвинуты научные гипотезы, проведен сбор ретроспективного архивного материала, анализ и интерпретация полученных данных.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 131 странице печатного текста, состоит из списка сокращений, введения, обзора литературы, глав описания материалов и методов исследования, методики измерения стереометрических параметров корня аорты на основании высокоточных трехмерных реконструкций, результатов исследования, раздела обсуждения полученных данных, заключения, выводов и практических рекомендаций. Список литературы

включает 134 источника: из них 17 отечественных и 117 иностранных.
Диссертация иллюстрирована 26 рисунками и 19 таблицами.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Этиология и эпидемиология аневризм корня и восходящего отдела аорты

Аневризма корня и восходящего отдела аорты является многофакторным заболеванием. Наиболее часто формирование аневризмы обусловлено следующими заболеваниями: наличие синдромов дисплазии соединительной ткани, врожденный двустворчатый аортальный клапан, приобретенные пороки аортального клапана, дегенеративные, инфекционные и травматические поражения сосудистой стенки аорты [20]. Артериальная гипертензия является наиболее значимым фактором риска прогрессирования аневризм восходящего отдела аорты. Формирование аневризмы аорты происходит под действием гидродинамической нагрузки на измененные патологическим процессом и утратившие эластичность и механическую прочность стенки аорты [21-23].

Наследственные нарушения структуры соединительной ткани представлены широкой группой заболеваний, включающей в себя как описанные моногенные синдромы (Марфана, Элерса-Данло, Нуана), так и недифференцированные диспластические фенотипы. Синдром Марфана является одним из наиболее распространенных представителей данной группы заболеваний [24, 25]. Причиной возникновения наследственного синдрома является генная мутация, приводящая к нарушению структуры гликопротеина Фибриллина-1 (fibrillin-1 – FBN1). Этот белок обеспечивает фиксацию гладкомышечных клеток сосудистой стенки к волокнам коллагена и эластина, обеспечивая таким образом структурную целостность стенки аорты. Дефицит фибриллина-1 приводит к гибели гладкомышечных клеток, дезорганизации и фрагментации эластических волокон и внеклеточного матрикса [26]. В настоящее время известно более 100 генных мутаций, приводящих к возникновению синдрома Марфана, при этом развитие аневризмы восходящей аорты встречается у 65-100% пациентов. Наиболее часто при синдроме

Марфана встречается расширение корня аорты [27]. Частота встречаемости синдрома составляет 1:10000 – 1:100000 в общей популяции [28].

Синдром Элерса-Данло объединяет группу наследственных разнородных заболеваний соединительной ткани с различными типами наследования, при которых нарушается синтез и структурная целостность волокон коллагена. Для синдрома характерна системность поражения соединительной ткани с формированием аневризм и расслоений стенок магистральных сосудов, эластичности кожи, патологической гипермобильности суставов. В зависимости от преобладающего поражения выделяют несколько типов заболевания. Формирование аневризм восходящей аорты характерно для IV (сосудистого) типа синдрома Элерса-Данло. Частота встречаемости составляет 1-2:10000 населения [29].

Двустворчатый аортальный клапан является наиболее часто встречаемым врожденным пороком сердца, ассоциированным с расширением корня и восходящего отдела аорты. Частота встречаемости ДАК в общей популяции составляет 0,5-2%, встречаются как наследственные, так и спорадические формы заболевания [30]. ДАК представляет собой сращение двух из трех створок аортального клапана, чаще всего левой и правой коронарных створок. Реже встречаются сращения с участием некоронарной и одной из коронарных створок. В подавляющем большинстве случаев линия сращения створок определяется в виде так называемой «ложной комиссуры», и лишь в 11% случаев такая линия отсутствует (истинно двустворчатый АК) [31, 32]. Различные варианты сращения створок аортального клапана («фенотипы ДАК») имеют разную степень влияния на прогноз функционального состояния АК и возникновения аневризмы восходящей аорты. Согласно данным последних исследований, сращение некоронарной и одной из коронарных створок (фенотип «RN» по классификации Н. Sievers и С. Schmidke) представляют большую опасность возникновения аневризмы и расслоения восходящей аорты [33-35]. Наиболее часто расширение

восходящей аорты при ДАК наблюдается в ее тубулярной части, дистальнее уровня синутубулярного соединения, однако может развиваться и на других уровнях ВА [36, 37].

Идиопатический («кистозный») медианекроз Эрдгейма был впервые описан в 1928-1930 г.г., и в настоящее время он является весьма частой находкой при гистологическом исследовании стенок аневризматически расширенной восходящей аорты [38]. Гистологические изменения стенки аорты при этом заболевании представлены апоптозом гладкомышечных клеток, уменьшением количества *vasa vasorum*, разрушением эластического каркаса меди аорты, а также формированием полостей, заполненных серомукоидом [39]. Дальнейшие исследования выявили отсутствие истинных кист и некроза сосудистой стенки при данном заболевании, поэтому в настоящее время наиболее корректным является использование термина дегенерация меди аорты [40, 41]. Дегенерация меди наблюдается как у больных с изначально неизменной сосудистой стенкой, так и у пациентов с синдромами дисплазии соединительной ткани и двустворчатым аортальным клапаном. Известно, что высокая артериальная гипертензия способствует прогрессированию дегенерации меди и, как следствие, возникновению аневризмы восходящей аорты. Еще одной причиной возникновения дегенерации меди аорты является нарушение функции протеолитических ферментов – матричных металлопротеиназ, поддерживающих соединительнотканый гомеостаз [42].

Менее распространенными факторами возникновения аневризм восходящей аорты являются системные артерииты (болезни Такаясу, Кавасаки, Бехчета), атеросклероз аорты, инфекционные (сифилитические, микотические) и травматические поражения стенки аорты [43-45].

1.2 История развития клапансохраняющего протезирования корня аорты

Современная история хирургического лечения аневризм восходящей аорты берет свое начало со второй половины XX века, когда благодаря использованию метода искусственного кровообращения (ИК) стали возможны операции на «открытом» сердце и магистральных сосудах. Первая операция на сердце в условиях ИК была выполнена Gibbon в 1953 году [46], а уже в 1956 году М. De Bakey и D. Cooley впервые выполнили надкоронарное протезирование аневризматически расширенного участка восходящей аорты, положив начало клапансохраняющей хирургии аорты [47]. Тем не менее, хирургическая коррекция аортальной недостаточности оставалась в то время трудноразрешимой задачей, даже при отсутствии значимых макроскопических изменений створок аортального клапана. В период с 1958 по 1962 год ряд хирургов предпринимали попытки устранения аортальной недостаточности путем редуционной пластики фиброзного кольца АК, бicusпидализации трехстворчатого АК и пликации корня аорты [48-50]. К сожалению, результаты этих попыток не приводили к надежному устранению аортальной недостаточности и не нашли широкого применения в клинической практике. По этой причине внимание хирургов на протяжении двух следующих десятилетий было уделено клапаноуносящему протезированию восходящей аорты. В 1963 году L. Groves и коллеги выполнили протезирование аортального клапана и восходящего отдела аорты с захватом в шов проксимального анастомоза аорты манжеты клапанного протеза по всему ее периметру [51]. Устья коронарных артерий были реимплантированы в боковые поверхности сосудистого протеза.

В 1968 году кардиохирурги Н. Bentall и De Bono выполнили операцию, на многие десятилетия ставшую золотым стандартом хирургического лечения аневризм корня и восходящего отдела аорты. Пациенту, страдавшему синдромом Марфана и аневризмой корня аорты, выполнили замещение

аневризматически расширенного участка комбинированным протезом, состоявшим из шарикового протеза аортального клапана и сосудистого протеза восходящей аорты, сшитых между собой [52]. Впоследствии такой протез получил название клапансодержащего кондуита. Устья коронарных артерий были также имплантированы в стенку кондуита. Позже методика реимплантации коронарных артерий была модифицирована N. Kouchoukos, предложившим выкраивать устья коронарных артерий на «площадках» из стенки нативной аорты, с последующей имплантацией «площадок» с устьями в стенку протеза корня аорты [53]. Данная техника значительно упростила и улучшила технику и результаты операций, значимо снизив количество осложнений, связанных с деформацией устьев коронарных артерий. Благодаря своей воспроизводимости, универсальности и предсказуемым отдаленным результатам операция Bentall-De Vono быстро завоевала предпочтение большинства хирургов и по настоящее время является наиболее распространенным методом коррекции аневризмы корня аорты в сочетании с пороком аортального клапана [54, 55].

Попытки разработать методику сохранения аортального клапана при протезировании корня аорты возобновились в 1980-х годах. В 1986 году Frater и его коллеги опубликовали ряд работ по коррекции аортальной недостаточности у больных с интактными створками и нерасширенным фиброзным кольцом аортального клапана [56]. Суть выполненных ими вмешательств сводилась к редукции синотубулярного соединения, размеры которого играли ведущую роль в формировании АН за счет увеличения расстояния между вершинами комиссур аортального клапана и изменения профиля свободных краев его створок. К сожалению, большинство больных с аневризмой корня аорты и аортальной недостаточностью имеют значимое расширение фиброзного кольца аортального клапана, при котором операция Frater является малоэффективной.

Эра клапансохраняющего протезирования корня аорты берет свое начало в 1983 году, когда коллектив авторов под руководством М. Yacoub опубликовал короткую статью с описанием методики протезирования корня аорты с сохранением аортального клапана при сочетанной патологии в виде аневризмы аорты и аортальной недостаточности [57]. Но наиболее выдающийся вклад в клапансохраняющую хирургию аортального клапана внес Т.Е. David, опубликовав в 1992 году методику протезирования корня аорты с сохранением АК путем его реимплантации в сосудистый протез [58]. Основным преимуществом метода явилась стабилизация корня аорты на всех уровнях (фиброзного кольца АК, синусов аорты, синотубулярного соединения). Реимплантация устьев коронарных артерий выполнялась на «площадках» по Kouchoukos, как и в операции Bentall – De Bono. Годом позже М. Yacoub описал метод ремоделирования корня аорты, также предполагающий протезирование синусов аорты с сохранением аортального клапана, но отличающийся от операции David отсутствием стабилизации фиброзного кольца аортального клапана [59]. Такой подход мотивировался тем, что фиброзное кольцо АК изменяет свою форму в ходе сердечного цикла, что, по мнению авторов методики, отражается и на функции сохраненного нативного аортального клапана. Тем не менее, сравнительный анализ двух клапансохраняющих методик и их отдаленные результаты продемонстрировали преимущество методики David, имевшей меньшее количество случаев рецидива аортальной недостаточности в отдаленном периоде [60]. Таким образом, операция David в настоящее время стала самой распространенной клапансохраняющей операцией на корне аорты, имеющей более шести различных модификаций. В 2005 году группа авторов под руководством Р. Hess предложила методику имплантации корня аорты в протез целиком, без иссечения синусов Вальсальвы [61]. Тщательный подбор диаметра сосудистого протеза аорты позволяет добиться полного восстановления запирающей функции аортального клапана. Метод получил название Florida Sleeve и показал обнадеживающие непосредственные и

среднесрочные клинические результаты [62]. Однако, для рассмотрения данной техники в качестве полноценной альтернативы операции David необходима оценка частоты рецидивов аортальной недостаточности в отдаленном периоде.

1.3 Анатомия корня аорты и физиологические основы функционирования клапанно-аортального комплекса

Грудная аорта состоит из трех отделов: восходящей аорты, дуги аорты и нисходящего отдела. В восходящей аорте выделяют два отдела: корень аорты, имеющий протяженность 2-2,5 см и расположенный проксимально, и собственно восходящий отдел аорты (тубулярная часть), расположенный дистально и имеющий длину 6-8 см [63]. Корень и восходящий отдел аорты отделены друг от друга синотубулярным гребнем. Корень аорты проксимально ограничен от выходного тракта левого желудочка (ВТЛЖ) по линии его перехода в стенку артериального ствола. Аортальный клапан является неотъемлемой частью корня аорты и образует с его структурами единый анатомо-функциональный комплекс [64]. Выделяют два типа структур корня аорты: жесткие фиброзные элементы, обеспечивающие функцию каркаса и поддерживающие механическую прочность комплекса (фиброзное кольцо аортального клапана, арочные дуги, синотубулярный гребень и комиссуральные стержни); и более эластичные оболочечные элементы, обеспечивающие перераспределение потоков крови и сглаживание (демпфирование) гидродинамических нагрузок (синусы Вальсальвы, створки аортального клапана) [65, 66].

Нормально сформированный аортальный клапан имеет в своей структуре три створки, представляющие собой полулунные заслонки, каждой из которых соответствует небольшое выпячивание стенки аорты – синус Вальсальвы. Анатомически выделяют левую коронарную, правую коронарную и некоронарную створки аортального клапана. Соответствующие им синусы аорты имеют одноименные названия и соответствуют отхождению

устьев левой и правой коронарных артерий, соответственно. Благодаря своему центральному расположению АК связан с каждой камерой и клапаном сердца, и является компонентом его фиброзного скелета [67]. Створки аортального клапана имеют сложную стереометрическую конфигурацию и прикрепляются своими фиксированными краями к фиброному кольцу аортального клапана, а их свободные края формируют зону коаптации клапана. Длина свободного края приблизительно в 1,5 раз больше основания створки [68]. В середине свободного края каждой створки есть утолщение треугольной формы, получившее название узелка Аранция [69]. Все створки аортального клапана состоят из трех слоев соединительнотканых волокон. Внутренний (желудочковый) слой состоит преимущественно из эластиновых волокон, промежуточный слой представлен относительно рыхлой соединительной тканью, а наружный (аортальный) слой состоит из более прочных и менее растяжимых коллагеновых волокон. Такое строение обеспечивает оптимальное выполнение створками АК его основных функций: более эластичные и растяжимые волокна желудочкового слоя обеспечивают достаточную подвижность и адекватное раскрытие аортального клапана в фазу систолы, а механически прочные коллагеновые волокна позволяют клапану выдерживать значительные гидродинамические нагрузки со стороны аорты после закрытия створок [70]. Слой рыхлой соединительной ткани выступает в этой структуре демпфером, а также обеспечивает соединение внешних слоев друг с другом. Такое гистологическое строение АК создает оптимальные условия для его надежной и долговременной работы. Зачастую аортальные створки имеют разные размеры. Правая коронарная и некоронарная створки в ряде случаев имеют немного большие размеры и площадь, чем левая коронарная [71,72]. Некоронарная и частично правая коронарная створка находятся в «фиброзном контакте» с передней створкой митрального клапана. Некоронарная створка находится в «фиброзном контакте» с центральным фиброзным телом и мембранозной частью межжелудочковой перегородки [73]. Место соединения свободного края

створки с основанием называется комиссурой. Верхние края комиссур находятся непосредственно на уровне синотубулярного соединения (СТС). СТС осуществляет поддержку комиссур АК. Корень аорты, формируя путь оттока крови из ЛЖ, выполняет опорную функцию для структур АК. Являясь «мостом» между ЛЖ и восходящей аортой, он состоит из синусов Вальсальвы, створок аортального клапана, комиссур и треугольников Генле [74-76].

Синусы Вальсальвы проксимально отграничены местом прикрепления створок аортального клапана к стенке аорты, дистально - синотубулярным соединением. Выделяют правый, левый коронарный и некоронарный синусы. Некоронарный синус является самым крупным [77]. Створки АК, будучи структурой корня аорты, разделяют непосредственно выходной отдел ЛЖ и аорту. Синусы Вальсальвы формируют пространство позади открытых створок АК, благодаря чему створки в систолу не закрывают устья коронарных артерий. Это пространство также способствует образованию вихревых токов между створками и стенкой синусов, тем самым позволяя створкам АК быстро закрываться в конце систолы. Таким образом, обеспечивается перераспределение напряжения между створками и синусами в диастолу и поддержание равновесия створок в систолу [78]. Промежутки между синусами Вальсальвы имеют треугольную форму и называются пространствами Генле. Они относятся к фиброзному скелету сердца. Эти межстворчатые треугольники позволяют синусам функционировать относительно независимо друг от друга, поддерживая единую геометрию корня аорты. При малых или ассиметричных треугольниках Генле развивается дисторсия клапана с нарушением коаптации створок, или формируется узкое фиброзное кольцо [79]. Гистологическая структура синусов Вальсальвы несколько отличается от структуры стенки тубулярной части аорты. Стенка тубулярной части восходящей аорты состоит из трех слоев: тонкого внутреннего эндотелиального слоя (*tunica intima*), толстого среднего слоя концентрически расположенных коллагеновых и эластиновых волокон (*tunica*

media), и наружного слоя, состоящего из коллагеновых волокон, вкраплений лимфатических сосудов и большого количества vasa vasorum (tunica adventitia). Стенка синусов Вальсальвы состоит только из резко утолщенной за счет большого количества коллагеновых волокон меди и интимы [80].

Фиброзное кольцо, аорчные дуги и синотубулярный гребень представляют собой прочные фиброзные структуры, обеспечивающие каркасную функцию клапанно-аортального комплекса. Фиброзное кольцо имеет форму «короны» с тремя вершинами, соответствующими наивысшим точкам комиссур АК. Согласно данным ряда исследований, фиброзное кольцо АК изменяет свою форму от более эллипсоидной в систолу до относительно правильной окружности в диастолу, что позволяет достичь оптимального режима функционирования створок АК и синусов аорты [81, 82]. Аорчные дуги формируют каркас синотубулярного соединения (синотубулярный гребень), соединяя вершины трех комиссур АК, расположенные на границе корня и восходящего отдела аорты. Комиссуральные стержни являются каркасом комиссур АК.

В целом, корень аорты имеет форму луковицы с максимальным диаметром в области синусов Вальсальвы. Размеры восходящей аорты у здоровых взрослых людей не превышают 4-4,5 см и зависят от многих анатомических и физиологических факторов (рост, вес, пол, уровень артериального давления и т.д.). Нормальные размеры аорты представлены в таблице 1 [83].

Таблица 1 - Нормальные размеры аорты у взрослых

Грудная аорта	Диаметр, мм
Фиброзное кольцо аортального клапана	20 – 31
Синусы Вальсальвы	29 – 45
Синотубулярное соединение	22 – 36
Восходящий отдел	22 – 36
Дуга аорты	22 – 36
Нисходящий отдел аорты	20 – 30

Примечание: адаптировано из Johnson K.W., Evangelista A. и соавт., 2010

Все структуры корня аорты имеют постоянные геометрические пропорции, знание которых имеет большое значение для выполнения клапансохраняющих операций. Например, диаметр синотубулярного соединения на 10-15% меньше диаметра фиброзного кольца, высота каждой створки АК находится в диапазоне 12-18 мм, а длина свободного края в 1,5 раза превышает длину фиксированного [81, 83, 84]. Тем не менее, многие стереометрические параметры и взаимоотношения элементов корня аорты сегодня остаются малоизученными, а стандартные методы исследований зачастую не позволяют полноценно реконструировать трехмерную структуру клапанно-аортального комплекса.

Функцию аортального клапана зачастую называют пассивной. Основным фактором, определяющим функционирование аортального клапана, является разность давления между аортой и желудочком. Давление, создаваемое ЛЖ в систолу, становится выше, чем в аорте, и створки АК открываются. Когда давление в ЛЖ снижается, створки закрываются, тем самым препятствуя обратному току крови. Однако, в действительности физиологический процесс функционирования АК является более сложным. АК вместе с корнем аорты представляет собой единую гемодинамическую систему. Дистальная часть корня аорты под воздействием изменяющегося давления в аорте в систолу расширяется, тем самым помогая створкам втягиваться и открываться. В диастолу градиент давления между аортой и ЛЖ создает нагрузку на створки АК. Это напряжение в направлении центральной части аорты сужает основание корня аорты [85]. Проксимальная часть корня аорты, подвергаясь изменениям давления в ЛЖ расширяется, уменьшая диаметр арочного кольца, помогая коаптации створок и предотвращая возникновение регургитации. В систолу при открытии АК образуются вихревые потоки в синусах Вальсальвы. Эти потоки постепенно двигаются вдоль стенки аорты сначала к основанию створки, а затем в направлении свободного края. В конце систолы, когда градиент давления выравнивается,

вихревые токи способствуют быстрому закрытию створок АК [86]. Таким образом, можно считать, что механизм закрытия клапана запускается в систолу с образования вихревых токов.

1.4 Патологические механизмы возникновения аортальной недостаточности при аневризме корня аорты

Патология восходящего отдела аорты часто сопровождается недостаточностью аортального клапана. При изменении геометрических параметров корня аорты меняется распределение напряжения между его структурами, и на створки аортального клапана приходится большая нагрузка, что может привести к их вторичным изменениям. Морфологическими изменениями самих створок аортального клапана являются растяжение, рестрикция или перфорация. При анатомически неизмененных створках регургитация формируется вследствие дилатации фиброзного кольца и/или синотубулярного соединения, когда створки растягиваются в стороны и не могут коапировать. Это приводит к формированию центральной струи регургитации, как и пролапс створок при дефекте межжелудочковой перегородки или артериальной гипертензии [87].

Наиболее значимо функция корня аорты нарушается при соединительнотканых дисплазиях, таких как синдром Марфана, Элерса-Данло и др. Нарушение структурного формирования фиброзного каркаса основания аорты происходит вследствие уменьшения количества эластических волокон и хаотического их расположения, и проявляется фрагментацией эластина, пузырьковым медианекрозом, изменением ориентации гладкомышечных клеток. При этом нарушается опорно-эластическая функция корня аорты, приводящая к аннулоаортальной эктазии, расширению корня аорты и вторичной аортальной недостаточности [88].

Наиболее полной, простой и имеющей обоснование на основе отдаленных результатов представляется классификация аортальной

недостаточности (АН) по Khoury G. [89]. Данная классификация подразумевает три типа развития АН. Первый тип – АН связана с поражением структур корня аорты, при котором створки аортального клапана не имеют грубых изменений. В ней выделяют четыре подтипа: 1a – АН вследствие расширения СТГ, 1b – расширение СТГ и синусов Вальсальвы, 1c – расширение фиброзного кольца АК, 1d – перфорация створки. Второй тип – АН связана с пролапсом створки в результате патологического удлинения свободного края или отрыва от комиссуры. Третий тип – АН связана с рестрикцией створки в результате утолщения, фиброза и кальциноза створок при двустворчатом аортальном клапане, дегенеративных изменениях или ревматизме. У пациентов может отмечаться как один тип АН, так и их сочетание. Преимущество данной классификации заключается в том, что на основании механизма развития АН она определяет показания к тому или иному виду операции, таким образом унифицируя подход к хирургическому лечению пациентов с аортальной недостаточностью.

1.5 Клиническая значимость планиметрических и стереометрических параметров структур клапанно-аортального комплекса

Планиметрические параметры корня аорты

Начало эры клапансохраняющих операций на корне аорты было положено в последнее десятилетие XX века, и уже с первых лет клинического применения этих методик хирурги уделяли большое внимание исходным геометрическим параметрам корня аорты и всех его элементов. Уже первые среднесрочные и отдаленные результаты операций реимплантации и ремоделирования аортального клапана показали, что ряд исходных планиметрических размеров и соотношений корня аорты являются ключевыми факторами в достижении оптимальной функции АК в отдаленном периоде и, соответственно, оказывают непосредственное влияние на решения и действия хирурга на этапе выполнения оперативного приема [90-92]. В

операционной хирург в подавляющем большинстве случаев имеет дело с патологией, характеризующейся неравномерным расширением фиброзного кольца аортального клапана, синусов Вальсальвы и зоны синотубулярного соединения; значительным растяжением створок аортального клапана и удлинением его комиссур [93]. Важнейшими плоскостными геометрическими параметрами АК и корня аорты являются диаметр фиброзного кольца (ФК) аортального клапана, высота зоны коаптации створок аортального клапана, геометрическая и эффективная высота створок аортального клапана, а также диаметр аорты в области синусов Вальсальвы и СТС [94].

Хорошо известно, что расширение корня аорты приводит к увеличению диаметра фиброзного кольца АК, а увеличение размера синотубулярной зоны уменьшает длину и площадь зоны коаптации створок. И то, и другое ведет к смещению створок клапана от центра зоны коаптации в сторону соответствующих синусов и формированию преимущественно центральной аортальной регургитации. При этом группа исследователей под руководством Marom G отметила особую важность соотношения диаметров СТС и синусов Вальсальвы. Было доказано, что увеличение этого соотношения приводит к увеличению натяжения створок, уменьшению длины и площади их контакта (зоны коаптации) и, как следствие, формированию АН (рисунок 1) [95].

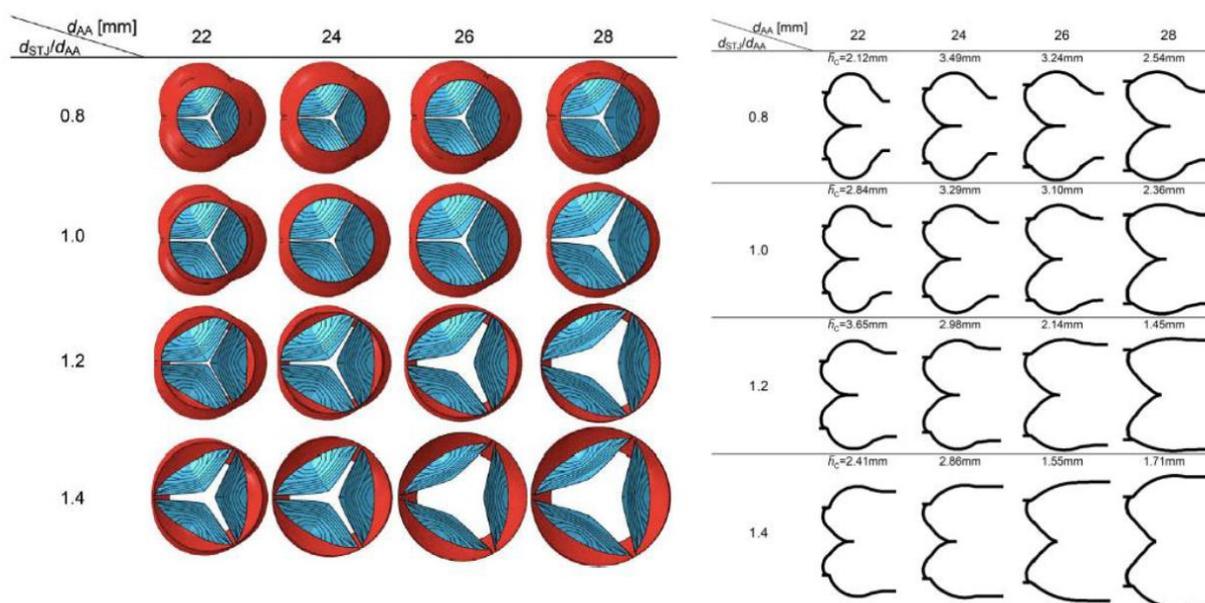


Рисунок 1 - Радиальное смещение створок аортального клапана и уменьшение длины и площади зоны коаптации по мере роста соотношения диаметров синотубулярного соединения и синусов Вальсальвы [97]

Примечание: d_{AA} – диаметр синусов аорты, d_{ST} – диаметр синотубулярного соединения, l_c – длина зоны коаптации

Диаметр синусов Вальсальвы, в свою очередь, непосредственно влияет не только на длину, но и на высоту зоны коаптации створок аортального клапана (рисунок 2) [96]. Высота зоны коаптации измеряется как кратчайшее расстояние между вершиной коаптации створок АК и плоскостью фиброзного кольца. Этот параметр также известен под названием эффективной высоты зоны коаптации и в норме составляет от 7 до 11 мм [94-96]. Ряд исследований показал, что в большинстве случаев эффективная высота соответствует высоте комиссуры между левой коронарной и некоронарной створками [95, 96]. Эффективная высота является важнейшим параметром, отражающим функциональную состоятельность аортального клапана как на дооперационном этапе, так и после выполнения вмешательства. Слишком большая эффективная высота свидетельствует об избытке ткани створок аортального клапана, что предрасполагает створки к пролапсу. При оценке

результатов выполненной клапансохраняющей операции большие значения эффективной высоты могут указывать как на ошибки в выборе диаметра протеза корня аорты (протез недостаточного диаметра), так и на интраоперационную недооценку размеров створок АК [97]. Недостаточное значение эффективной высоты зоны коаптации является гораздо более серьезным фактором и указывает на рестриктивные изменения створок АК или значительное расширение фиброзного кольца и синусов Вальсальвы, что значительно ограничивает возможности клапансохраняющих вмешательств. При реимплантации аортального клапана зона коаптации всегда должна находиться над плоскостью фиброзного кольца, это обеспечивает отсутствие резидуальной АН и является важнейшим принципом клапансохраняющей хирургии [98, 99].

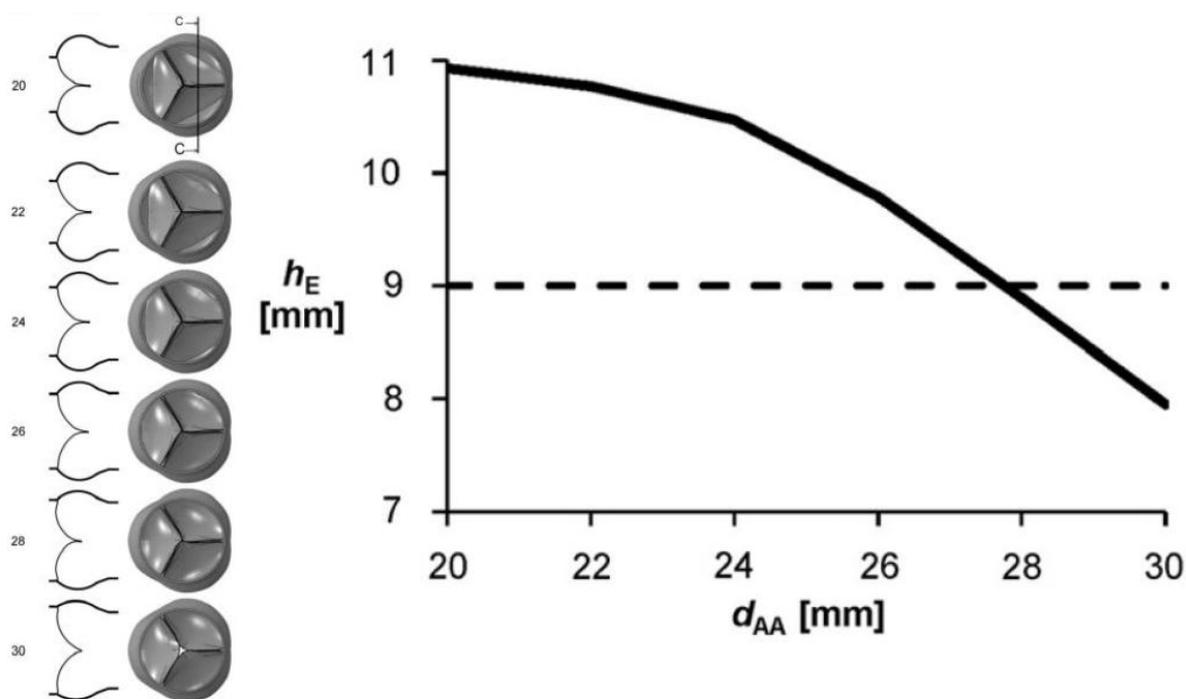


Рисунок 2 - Уменьшение высоты зоны коаптации при увеличении диаметра аорты на уровне синусов Вальсальвы [97]

Примечание: d_{AA} – диаметр синусов аорты, h_E – высота зоны коаптации («эффективная высота»)

Еще одним клинически значимым планиметрическим параметром является геометрическая высота створок аортального клапана. Этот термин был введен в клиническую практику в 2006 году коллективом под руководством Schafers H. J. [100]. Геометрическая высота представляет собой максимальную длину дуги (контура) створки аортального клапана, проведенной перпендикулярно от максимально удаленной точки свободного края створки в центре зоны коаптации до точки прикрепления створки к фиброзному кольцу. Эта величина позволяет более точно оценить размеры и избыток/недостаток свободной ткани створки, указывая таким образом на риск возникновения рецидива аортальной недостаточности за счет пролапса или рестриктивных изменений створок АК. Также автор работы предложил оригинальный инструмент для интраоперационного измерения геометрической высоты АК (рисунок 3) [101].

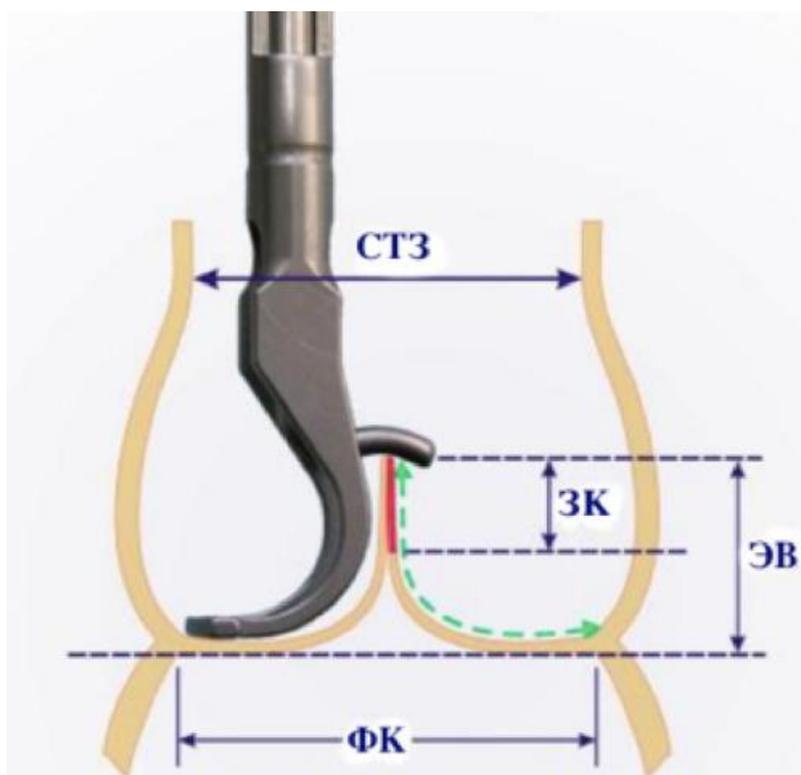


Рисунок 3 - Измерение геометрической высоты створки аортального клапана с помощью инструмента Schafers HJ [101]

Примечание: СТЗ – синотубулярная зона, ЗК – зона коаптации (отмечена красной сплошной линией), ЭВ – эффективная высота, ФК – фиброзное кольцо, Геометрическая высота отмечена зеленой пунктирной кривой

Геометрическая высота АК прямо коррелирует с полнотой створки, измеряемой как отношение ее эффективной высоты к кратчайшему расстоянию между свободным и фиксированным краем створки. Нормальные значения геометрической высоты трехстворчатого АК составляют от 17 до 24 мм для левой и правой коронарных створок, и от 18 до 25 мм для некоронарной створки [101]. Превышение этих значений указывает на необходимость редукции избыточной ткани створок АК путем их пликации. Малая геометрическая высота АК является более серьезной проблемой, указывая на то, что площадь его створок может оказаться недостаточной для обеспечения запирающей функции клапана после выполнения операции. При значениях геометрической высоты менее 17 мм авторы методики рекомендуют воздержаться от выполнения клапансохраняющего вмешательства [102].

Фиброзное кольцо аортального клапана, вопреки своему названию, имеет форму «трехлучевой короны». Его полулуния сформированы по линиям прикрепления створок АК, а вершины соответствуют уровню синотубулярного соединения. Анатомическое аорто-желудочковое соединение располагается выше уровня крепления оснований створок, поэтому с точки зрения планиметрии размеры фиброзного кольца корректно измерять на трех уровнях: на уровне синотубулярного соединения по вершинам комиссур, на уровне анатомического аорто-желудочкового соединения, а также «виртуального» или базального фиброзного кольца, образованного основаниями створок АК (рисунок 4) [103, 104]. В клинической практике чаще используется измерение виртуального фиброзного кольца, имеющего в большинстве случаев минимальный диаметр и служащего

важнейшим ориентиром при имплантации корня аорты в сосудистый протез, а также при имплантации протезов АК.

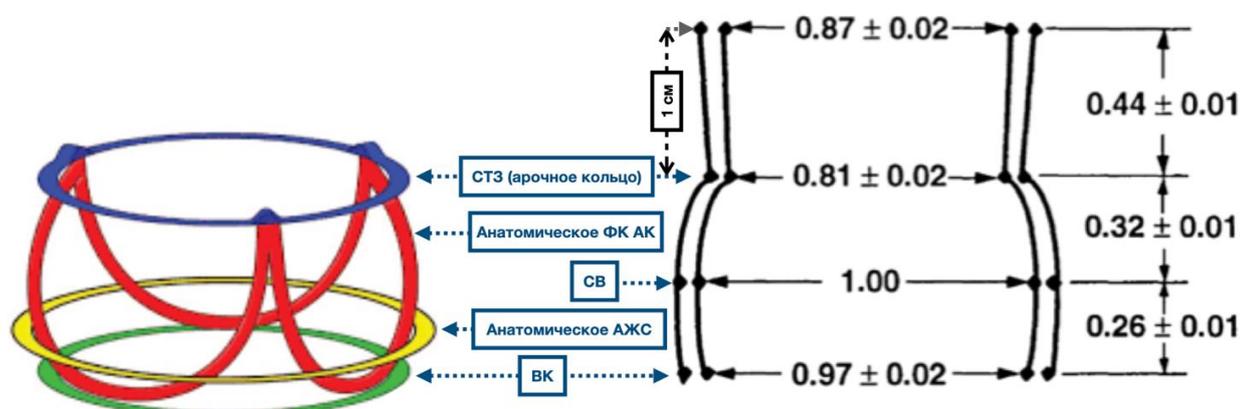


Рисунок 4 - Жесткие (стержневые) элементы корня аорты и соотношения между его разными отделами [103]

Примечание: АЖС – аортожелудочковое соединение, ВК – виртуальное кольцо (уровень нижних краев створок аортального клапана), СВ – синусы Вальсальвы, СТЗ – синотубулярная зона, ФК АК – фиброзное кольцо аортального клапана

Большое значение имеет форма ФК, которая изменяется в ходе сердечного цикла от более эллипсовидной во время диастолы желудочков до круглой во время систолы. Предполагается, что эти динамические изменения снижают сопротивление опорожнению желудочков во время систолы и уменьшают гидродинамическую нагрузку на створках во время диастолы за счет уменьшения площади отверстия (принимающего более эллипсовидную форму), без изменения периметра последнего. Данные изменения были детально описаны в работах Yasoub M, и легли в основу разработанной им операции ремоделирования корня аорты [105-106]. Эта методика не предполагает жесткой стабилизации корня аорты на уровне фиброзного кольца с целью сохранения его динамических изменений в ходе сердечного цикла. Разность максимального и минимального диаметров носит название индекс эллипсовидности фиброзного кольца, и рассчитывается при

выполнении клапансохраняющей операции по методике ремоделирования корня аорты [106].

В последние годы был опубликован ряд отдельных исследований, посвященных детальному анализу влияния изменения геометрических параметров всех компонентов реимплантированного клапанно-аортального комплекса на свободу от аортальной регургитации в отдаленном периоде. Например, было показано, что каждая створка аортального клапана имеет сложную трехмерную геометрию, похожую на «подвесной мост» с зоной прикрепления к аорте, телом и свободным краем створки, коаптирующим с соседними створками [108]. Одним из самых заметных эффектов успешной клапансохраняющей операции стало изменение формы створок от продолговатой, относительно плоской структуры до треугольной чашеобразной конфигурации с удлинением свободного края каждой створки и увеличением периметра зоны коаптации. С другой стороны, длина свободного края каждой створки находится в прямой зависимости от размеров фиброзного кольца аортального клапана и не должна быть избыточной [109]. Фиброзное кольцо АК, в свою очередь, также имеет ряд особенностей. Большое значение придается его форме, которая изменяется в ходе сердечного цикла от более овальной во время диастолы до круглой во время систолы. Интересно отметить, что при наиболее распространенной клапансохраняющей операции Дэвида эти динамические изменения минимальны за счет жесткой фиксации кольца аортального клапана протезом [110, 111]. Наконец, сохранение физиологичной конфигурации синусов аорты имеет большое значение для поддержания адекватного коронарного кровотока, а также резервуарной функции аорты. Частично эта проблема была решена использованием при операции Дэвида протезов восходящей аорты с аналогами синусов Вальсальвы [112].

Стереометрические параметры корня аорты

Опыт выполнения операций клапансохраняющего протезирования корня аорты в конце XX века и первом десятилетии XXI века показал, что данная анатомическая область является крайне сложной для комплексной оценки с помощью планиметрических параметров. В течение многих лет операции по методике David T и Yasoub M считались уделом исключительно крупных специализированных кардиохирургических центров и наиболее опытных хирургов. В начале XXI века начали публиковаться первые отдаленные результаты этих методик, показавшие наличие рецидивов аортальной недостаточности в 10-25% случаев [113, 114]. Во многих случаях отмечалось асимметричное расширение корня аорты, приводившее к грубому нарушению соотношений размеров и форм элементов клапанно-аортального комплекса. Следствием этого стало формирование эксцентричной рецидивирующей аортальной недостаточности у ряда пациентов после выполнения клапансохраняющих вмешательств (рисунок 5) [115].

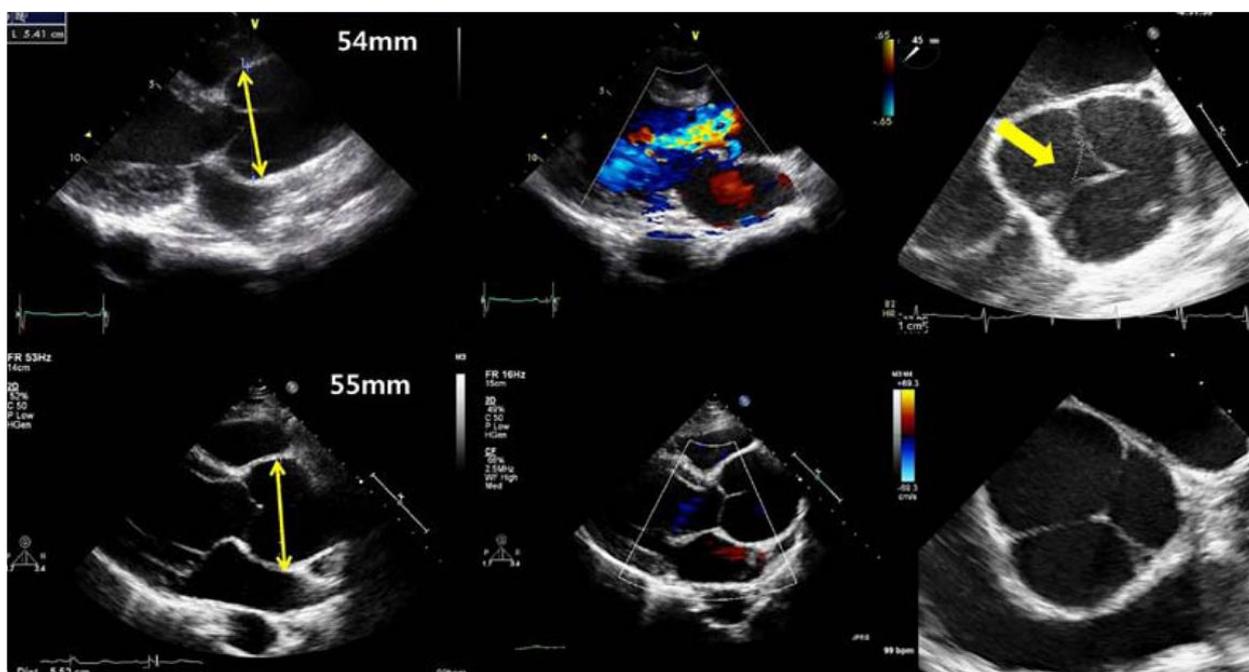


Рисунок 5 - Данные эхокардиографии пациентов с аневризмой корня аорты [119]

Примечание: На верхней серии снимков представлено исследование пациента с аневризмой аорты на уровне синусов Вальсальвы до 54 мм и выраженной аортальной регургитацией вследствие нарушения геометрических взаимоотношений структур корня аорты (нарушение коаптации створок указано желтой стрелкой). На нижней серии снимков приведено исследование пациента с аналогичным (до 55 мм) расширением корня аорты и сохранной функцией аортального клапана

Стало понятно, что оценка геометрии створок аортального клапана, фиброзного кольца и синусов Вальсальвы требует более прецизионных методов визуализации и реконструкции, чем рутинно используемые в клинической практике эхокардиография (ЭхоКГ) и мультиспиральная компьютерная томография (ангиография) корня аорты (МСКТ-ангиография). Для более целостной оценки стереометрических изменений аортального клапана и корня аорты до и после оперативного лечения в зарубежных исследованиях последнего десятилетия используется построение графических (трехмерных) реконструкций, создаваемых на основе данных МСКТ [116]. Создание высокоточных реконструкций стало возможно благодаря внедрению в клиническую практику специализированных программ для ЭВМ – сред автоматизированного проектирования (САП). Созданные с помощью САП реконструкции доступно и наглядно демонстрируют конфигурацию всех элементов клапанно-аортального комплекса и позволяют с максимальной высокой точностью определить значения их стереометрических параметров [117, 118]. На основании анализа высокоточных реконструкций были высказаны предположения, что ряд параметров могут являться независимыми предикторами успеха клапансохраняющей процедуры на дооперационном этапе, а также способствовать формированию более точного прогноза свободы от аортальной недостаточности в отдаленном периоде [116-118].

Одними из первых структур корня аорты, стереометрические параметры которых начали изучаться при помощи построения графических

реконструкций, стали створки аортального клапана и синусы Вальсальвы [118]. Данный выбор хирургов и исследователей был не случаен, так как интраоперационные данные часто свидетельствовали о значительных различиях размеров и форм этих структур при асимметричном расширении корня аорты. При построении трехмерных дооперационных реконструкций створок аортального клапана и определении длины зоны их коаптации было отмечено, что в некоторых случаях расширение корня аорты сопровождалось резким увеличением площади одной или двух створок клапана вследствие растяжения и гемодинамических нагрузок [119]. При этом третья створка оказывалась значительно (более чем на 40-70%) меньше, чем две соседние. Такое нарушение соотношений площадей створок приводило к значимому уменьшению площади зоны коаптации и, как следствие, формированию тяжелой АН (рисунок 6).

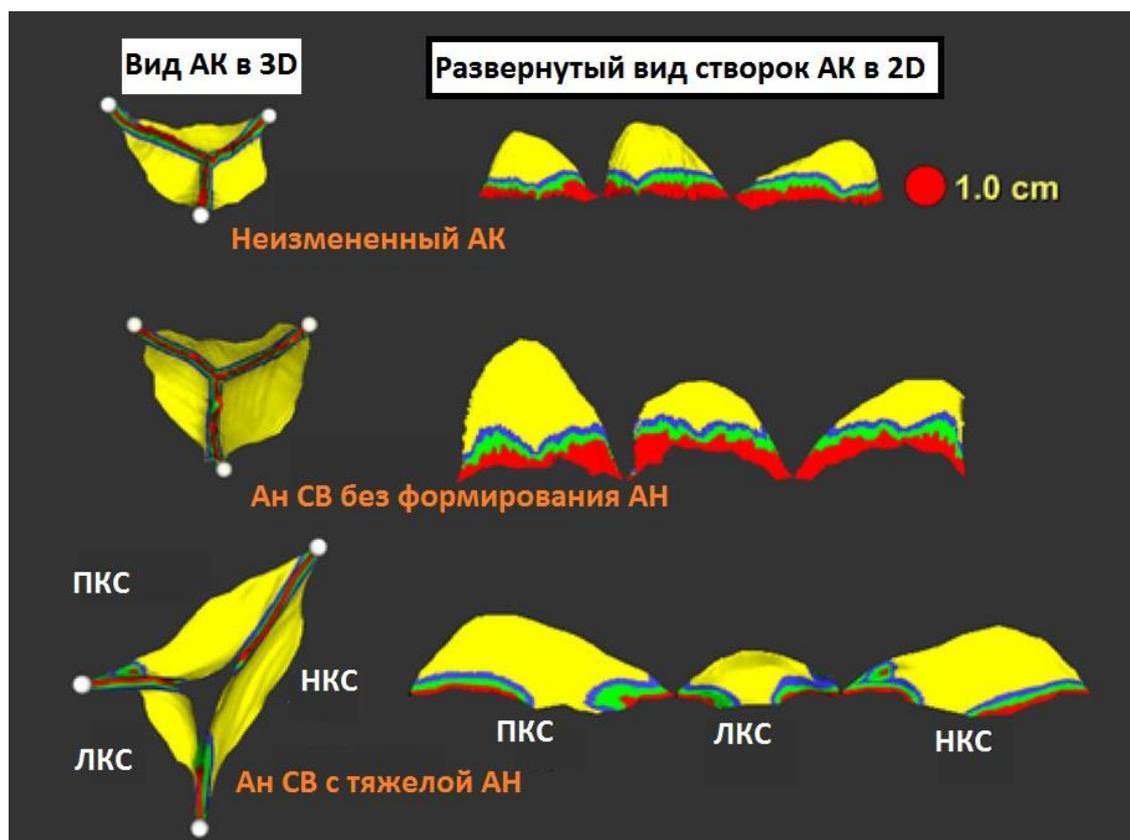


Рисунок 6 - Соотношение размеров створок аортального клапана у трех больных по данным высокоточной трехмерной реконструкции. Хорошо

заметно значительное увеличение правой и некоронарной створок у пациента с выраженной аортальной недостаточностью [119]

Примечание: Зона коаптации створок отмечена красным, зеленым и синим цветами. АК – аортальный клапан, АН СВ – аневризма аорты на уровне синусов Вальсальвы, АН – аортальная недостаточность, ЛКС – левая коронарная створка, ПКС – правая коронарная створка, НКС - некоронарная створка

Изучение стереометрических параметров синусов Вальсальвы также показало, что оболочечные элементы корня аорты в большинстве случаев расширяются неравномерно при формировании аневризмы. Примечательно, что у части пациентов с тяжелой АН не было выявлено значимой асимметрии створок АК, однако площади синусов аорты значительно различались. Также метод построения трехмерных реконструкций позволил определить точное расстояние между центром зоны коаптации АК и наиболее удаленной от него точкой каждого из синусов Вальсальвы [118-120]. У пациентов с АН эти параметры также значительно различались, в отличие от больных с сохранной функцией АК (рисунок 7).

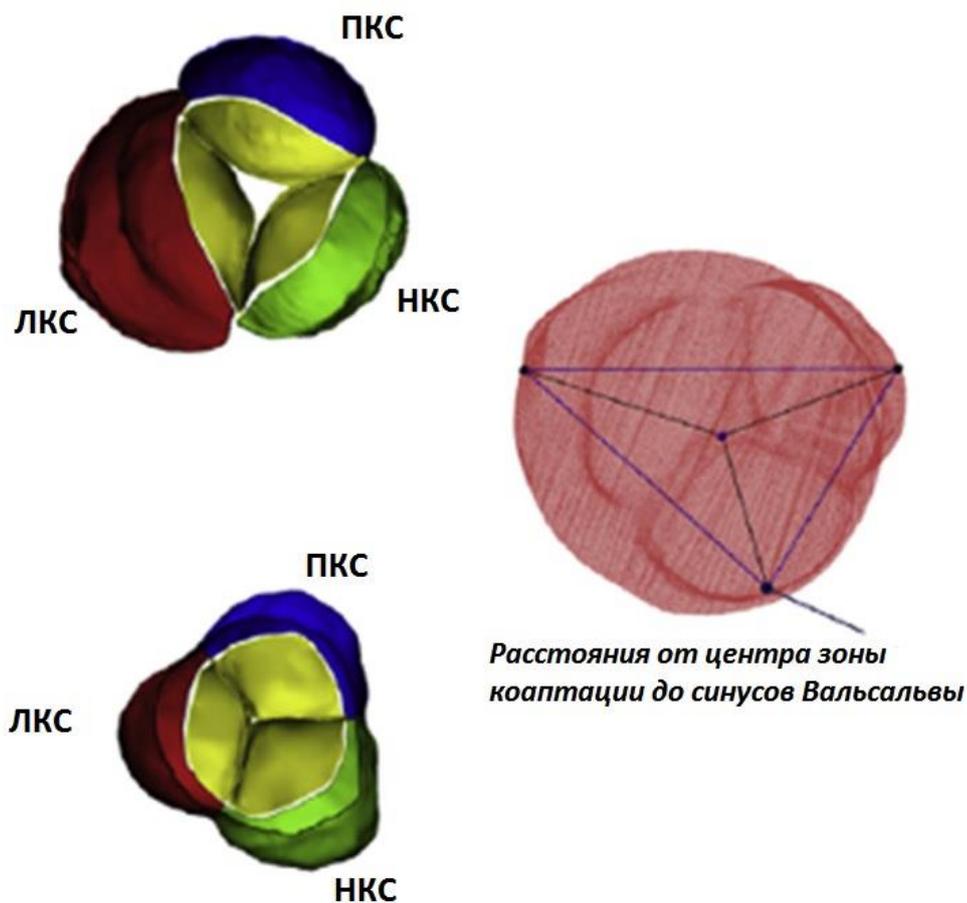


Рисунок 7 - Соотношение площадей синусов аорты у пациентов с тяжелой аортальной недостаточностью (левое верхнее изображение); и сохранной функцией аортального клапана (левое нижнее изображение) [105]

Примечание: Справа показано измерение расстояния от центра зоны коаптации до наиболее удаленных точек синусов Вальсальвы по данным метода высокоточных трехмерных реконструкций. ЛКС – левый коронарный синус аорты, ПКС – правый коронарный синус, НКС - некоронарный синус

Анализ стереометрических параметров фиброзного кольца АК также позволил получить новый взгляд на его роль в формировании аортальной недостаточности при аневризме корня аорты. В большинстве случаев фокус хирургов был сосредоточен на измерении диаметра ФК на разных уровнях, а также высоты комиссур АК. При построении объемных реконструкций с использованием САП было обнаружено, что периметр ФК играет значимую

роль в формировании аортальной регургитации. У отдельных пациентов аортальная недостаточность была выраженной при отсутствии расширения ФК и значимых изменений синусов аорты и створок АК. Механизм формирования АН был вызван расширением синотубулярного соединения, уплощением арочных дуг, отдалением вершин комиссур друг от друга и уменьшением эффективной высоты створок АК [121, 122]. Была выявлена прямая корреляция периметра ФК с данным типом регургитации [122]. До введения в клиническую практику высокоточных трехмерных реконструкций, расчет периметра ФК АК практически не выполнялся ввиду технической сложности, однако использование метода позволило измерять его во всех необходимых случаях (рисунок 8).

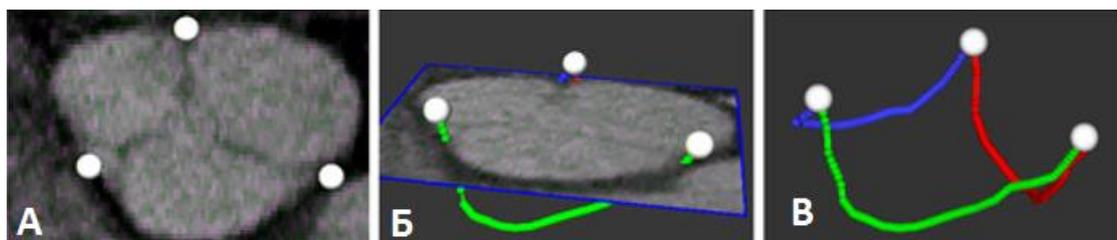


Рисунок 8 - Построение трехмерной реконструкции фиброзного кольца аортального клапана в среде автоматизированного проектирования [119]

Примечание: А – вид ФК АК на плоскостном срезе МСКТ, Б – наложение плоскости среза МСКТ на трехмерную реконструкцию АК, В – общий вид трехмерной реконструкции АК (вершины комиссур отмечены белыми точками)

Наиболее значимыми стереометрическими параметрами, по мнению большинства исследователей, являются: соотношение площадей створок аортального клапана, периметр фиброзного кольца АК, расстояние от наиболее удаленных точек синусов Вальсальвы до центра зоны коаптации створок АК, объем и площадь синусов аорты, а также межкомиссуральные расстояния [116-122]. Анализ стандартных данных эхокардиографии и МСКТ аорты не могут предоставить данных для полноценной оценки этих

параметров и обладают меньшей точностью измерений в сравнении с трехмерными моделями, созданными с участием специализированного программного обеспечения. Методики построения трехмерных реконструкций с использованием САП «Materialise Mimics» различных версий были подробно описаны в исследованиях Вах и соавторов, а также группы Schafers и коллег [101, 123]. Однако, в связи с технической сложностью, ни один из известных методов в настоящее время не использовался для точного измерения всех структур корня аорты у большого количества пациентов (приведенные работы включают анализ структур корня аорты у 1-5 больных). Таким образом, задача создания универсального, высокоточного и легко воспроизводимого способа построения трехмерной реконструкции клапанно-аортального комплекса на сегодняшний день остается нерешенной.

1.6 Медикаментозное лечение и наблюдение при аневризме корня аорты, осложненной аортальной недостаточностью

Диагностический процесс должен начинаться с выявления признаков и симптомов болезни. Тщательно собранный анамнез в ряде случаев позволяет выявить у родственников больного наличие аневризмы и/или расслоения аорты, ДАК, эпизодов внезапной смерти. Морфологическими предикторами в развитии аневризмы ВА и аортальной недостаточности являются дегенеративно-дистрофические процессы соединительной ткани, такие как синдром Марфана или Элерса-Данло. Характерный внешний вид больных с синдромом Марфана, усиленная пульсация дуги аорты в области рукоятки грудины, а также редкие случаи видимого на глаз выпячивания аневризматического мешка в области грудины или сзади паравертебрально (характерные для поздних стадий аневризм) позволяют заподозрить данную патологию [124].

При аневризме восходящей части аорты боли обычно локализуются за грудиной. Типичные давящие боли обусловлены либо компрессией коронарных артерий, либо их стенозированием, сопутствующим основному

патологическому процессу (аневризматическому расширению аорты). Симптомы сердечной недостаточности (одышка, сердцебиение, головокружение и пр.) характерны для больных с недостаточностью аортального клапана. При больших аневризмах восходящей части аорты, вызывающих компрессию верхней полой вены, больных обычно беспокоят головные боли и отечность лица, шеи и рук [125]. Внешний осмотр дает мало информации для предположительного диагноза расширения ВА. Физикальное обследование может быть обосновано симптоматикой и включает в себя пальпацию и аускультацию в поисках артериальных пульсаций или турбулентного кровотока, вызывающего шумы. Необходимо сравнить АД на обеих верхних конечностях, и следует искать патологические пульсации.

Стандартная скрининговая диагностика недостаточности аортального клапана включает ЭКГ, ЭхоКГ, рентгенографию органов грудной клетки. На электрокардиограмме в ряде случаев имеются признаки гипертрофии левого желудочка.

Основным методом диагностики аневризм ВА является неинвазивная трансторакальная (ТТ ЭхоКГ) и полуинвазивная чреспищеводная ЭхоКГ (ЧП ЭхоКГ). ЧП-ЭхоКГ требует седации, строгого контроля АД, а также исключения заболеваний пищевода [126]. Самые важные изображения восходящей аорты, корня аорты и аортального клапана получаются при высокой ЧП-ЭхоКГ по длинной оси (при 120-150°) и короткой оси (на 30-60°). ТТ-ЭхоКГ также позволяет оценить аортальный клапан, который часто вовлекается в поражение восходящей аорты. Для оценки грудной аорты первостепенное значение имеет супрастернальная проекция: анализ дуги аорты должен проводиться при всех ТТ-ЭхоКГ исследованиях. Эта проекция, прежде всего, позволяет получить изображения дуги аорты и трех основных супрааортальных сосудов с переменными длинами восходящей и нисходящей аорты [127]. ТТ-ЭхоКГ - отличный метод визуализации для последовательных измерений максимальных диаметров корня аорты, для оценки аортальной

недостаточности и выбора времени плановой операции при аневризме ВА. Поскольку преобладающей областью расширения является проксимальная аорта, ТТ-ЭхоКГ часто достаточно для скрининга. Аневризма дуги аорты, кальцинированная бляшка, тромб или расслоение стенки аорты в этой зоне могут быть обнаружены при использовании супрастернального окна, если качество визуализации является достаточным [128].

ЭхоКГ – «золотой стандарт» в оценке анатомии и функции клапанного аппарата, позволяет оценить следующие параметры:

- особенности строения аортального клапана (трех-, дву-, моно- либо четырехстворчатый; миксоматозная дегенерация, кальциноз, вегетации);
- размеры и анатомические особенности корня аорты;
- конечный диастолический объем ЛЖ зависит от тяжести аортальной недостаточности;
- конечный систолический объем ЛЖ зависит от функции ЛЖ и постнагрузки;
- Сократительная способность камер сердца. Фракция выброса (ФВ) ЛЖ позволяет судить о функции ЛЖ и степени компенсации АН;
- увеличение левого предсердия указывает на диастолическую дисфункцию ЛЖ или поражение митрального клапана.

Цветовое доплеровское исследование позволяет выявить аортальную недостаточность и полуколичественно оценить ее тяжесть (по ширине регургитирующей струи и глубине ее проникновения в ЛЖ, по времени полуспада градиента давления между аортой и ЛЖ, по наличию обратного кровотока в грудной аорте и подключичных артериях). Можно также сравнить кровотоки через аортальный клапан и клапан легочной артерии и рассчитать фракцию регургитации [129].

Одним из самых доступных и простых инструментальных методов исследования является рентгенологический. В передне-задней проекции на первый план выступают изменения контуров средостения: четко выраженные контуры однородной полуокруглой тени, примыкающей к обычной тени средостения справа и слева, иногда с обеих сторон. Выявление патологической тени в левой косой проекции, иногда локальное выпячивание в области восходящей аорты, изменение тени контура аорты, отклонение трахеи. При наличии выраженной аортальной недостаточности видна усиленная пульсация расширенной восходящей части аорты.

МСКТ-ангиография аорты и ее ветвей играет центральную роль в диагностике, стратификации риска и ведении пациентов с заболеваниями аорты. К ее преимуществам, в сравнении с другими методами исследования, относятся малое время, необходимое для получения и обработки изображений, возможность получения полного спектра 2D и 3D данных обо всей аорте (за исключением детальной визуализации структур клапанно-аортального комплекса), и ее широкое распространение в клинической практике. Выполнение МСКТ или МРТ необходимо для определения размеров аорты на всех уровнях, включая синусы Вальсальвы, синотубулярное соединение и восходящую аорту. Основные решения, касающиеся хирургической тактики лечения аневризм аорты, зависят от их диаметра. Кроме того, необходимо выявить вовлечение в аневризматическое поражение ветвей аорты. Преимущества МРТ и МСКТ-ангиографии в сравнении с ЭхоКГ заключаются в большем пространственном разрешении, но меньшем временном разрешении, и в возможности построения 3D реконструкции аорты. Это помогает не только с верификацией диагноза, но и с определением хирургической тактики и оценкой результатов оперативного лечения.

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) основана на распределении аналога глюкозы - ^{18}F -фтордезоксиглюкозы (ФДГ), который захватывается с высоким сродством гиперметаболическими клетками (например,

воспалительными клетками), и может использоваться для обнаружения сосудистого воспаления в магистральных сосудах. Использование ПЭТ с ФДГ позволяет оценить степень вовлечения аорты в воспалительное сосудистое заболевание (например, артериит Такаясу или гигантоклеточный артериит), а также отслеживать воспалительную активность в течение периода лечения [130]. В настоящее время значение этого метода для рутинной диагностики и лечения заболеваний аорты находится на стадии исследования.

Основной целью медикаментозной терапии при заболеваниях аорты является снижение воздействия деформирующего напряжения на пораженный сегмент аорты путем снижения АД и частоты сердечных сокращений. Поэтому лечение и профилактика пациентов с патологиями аорты включает в себя элиминацию факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний [131]:

- прекращение курения табака, нормализация АД (<140 /90 мм.рт.ст). Необходимо избавиться от лишнего веса и поддерживать активный образ жизни;
- важно исключить спортивные соревнования, связанные с подъемом тяжестей. Оправданным можно считать ограничения физической активности, контроль ЧСС и АД у пациентов с дисплазиями соединительной ткани.
- Применение В-адреноблокаторов рекомендовано больным с аневризмой грудной аорты и синдромом Марфана, ДАК.

1.7 Хирургическое лечение аневризм корня аорты с сохранением нативного аортального клапана

В настоящее время выделяют следующие показания к выполнению клапансохраняющего протезирования корня аорты:

- Диаметр корня и/или восходящего отдела аорты более 55 мм у пациентов с трехстворчатым аортальным клапаном и отсутствием

семейного анамнеза аневризм восходящей аорты и синдромов соединительнотканной дисплазии.

- У пациентов с синдромами соединительнотканной дисплазии, ДАК или семейным анамнезом аневризм аорты показано оперативное лечение при диаметре корня аорты более 45 мм.
- Увеличение диаметра аорты более чем на 3-5 мм в год.
- Наличие умеренной или выраженной аортальной недостаточности по данным трансторакальной ЭхоКГ.
- Отсутствие выраженных изменений структур клапанно-аортального комплекса (фиброза, кальциноза, признаков инфекционного эндокардита АК).

На современном этапе клапансохраняющая хирургия корня аорты включает в себя две основные оперативные методики и множество их модификаций.

Реимплантация аортального клапана (операция David)

Методика является наиболее популярной в мире клапансохраняющей операцией и предполагает устранение аневризмы корня аорты путем его протезирования с реимплантацией аортального клапана в сосудистый протез аорты. Стабилизация корня аорты осуществляется на всех уровнях (фиброзного кольца, аорто-желудочкового соединения, синутубулярной зоны) [58]. После выполнения хирургического доступа (срединная стернотомия) производится подключение аппарата искусственного кровообращения (АИК) по стандартной методике, инициация экстракорпорального кровообращения (ЭКК) и ретроградной фармакологической кардиopleгии. Выполнение основного этапа операции начинается с выделения корня аорты и резекции его синусов с оставлением бортиков шириной не менее 5 мм с каждой стороны комиссур АК. Производится выделение устьев коронарных артерий на «площадках» по Kouchoukos. Следующим важнейшим этапом вмешательства является выбор подходящего диаметра протеза корня аорты. Имплантация

створок АК в слишком узкий протез приведет к их пролапсу, использование чересчур широкого протеза – к нарушению коаптации створок. В настоящее время среди хирургов нет единого мнения по поводу методики выбора протеза корня аорты: Т.Е. David вычисляет примерный диаметр протеза, измеряя длину свободного края створки аортального клапана и вычитая из нее 10% [90]. Ряд хирургов используют для вычислений специальные математические формулы, другие авторы предлагают использовать для этого специально изготовленные инструменты [97, 101, 104]. На наш взгляд, разнообразные сложные методики расчета диаметра протеза малоприменимы на практике, особенно учитывая часто встречающиеся случаи асимметричного расширения различных компонентов клапанно-аортального комплекса. Тем не менее, необходимо признать, что на сегодняшний день не существует общепризнанной, универсальной и легко воспроизводимой методики выбора размера протеза аорты. В каждом конкретном случае выбор протеза зависит от опыта оперирующего хирурга и его умения корректно оценить конфигурацию и размер структур корня аорты в ходе операции. Мы считаем, что использование современных методов измерения структур корня аорты с использованием метода высокоточных трехмерных реконструкций способно в перспективе полностью решить задачу выбора размера протеза аорты еще на дооперационном этапе.

Протез аорты фиксируется к выходному тракту ЛЖ одиночными П-образными швами на прокладках таким образом, чтобы структуры аортального клапана оказались внутри протеза. Вершины комиссур фиксируются внутри протеза одиночными швами таким образом, чтобы обеспечить оптимальное функционирование и закрытие створок клапана. Особое внимание уделяется высоте зоны коаптации створок АК, которая во всех случаях должна располагаться выше уровня фиброзного кольца. Структуры аортального клапана фиксируются к протезу непрерывным обвивным швом за оставленные бортики. На заключительном этапе

производится реимплантация площадок с устьями коронарных артерий в сосудистый протез однорядными обвивными швами, а также накладывается дистальный анастомоз сосудистого протеза с восходящим отделом или дугой аорты.

Операция David имеет наиболее широкий спектр применения и лучшие отдаленные результаты среди всех клапансохраняющих методик. Существует более пяти модификаций данной операции. Показатели выживаемости, качества жизни в отдаленном периоде, свободы от рецидивов тяжелой аортальной недостаточности и повторных операций превосходят результаты клапаноуносящих вмешательств [60, 90].

Ремоделирование корня аорты (операция Yacoub)

Операция ремоделирования корня аорты отличается от операции David тем, что вместо позиционирования и реимплантации аортального клапана внутрь протеза аорты, производится фиксация протеза непрерывным швом к бортикам, оставленным по контурам комиссур и арочных дуг [59]. Протез аорты выкраивается в виде трехлепестковой короны, соответствующей иссеченным синусам Вальсальвы. Остальные этапы операции аналогичны операции David. Авторы данной методики считают ее более физиологичной, исходя из того, что в результате сохраняется естественная подвижность фиброзного кольца АК в ходе сердечного цикла. Ряд исследований с использованием 4D-моделирования потоков крови в зоне аортального клапана показали, что внутриаортальная гемодинамика после операции Yacoub ближе к таковой у неизмененного аортального клапана [105, 106]. Однако, отсутствие стабилизации на уровне фиброзного кольца имеет свои отрицательные стороны. Данная методика неприменима у пациентов с широким фиброзным кольцом АК, а свобода от аортальной недостаточности в отдаленном периоде чуть меньше, чем при реимплантации аортального клапана. Вероятно, это связано с тем, что даже небольшое увеличение диаметра или стереометрической конфигурации нестабилизированного ФК

АК в отдаленном периоде может привести к нарушению функции АК и рецидиву аортальной недостаточности.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Критерии отбора пациентов

Исследование носит ретро-проспективный характер. Проведен анализ исходного состояния и отдаленных результатов 50 случаев хирургической коррекции аневризмы восходящей аорты с сохранением нативного аортального клапана (операция David I). Материалы для исследования получены от пациентов с диагнозом аневризмы корня и восходящего отдела аорты, имеющими показания к клапансохраняющей хирургической коррекции. Каждому пациенту диагноз поставлен на основании данных ЭХОКГ и МСКТ.

Критерии включения в исследование:

1. Наличие подтвержденного диагноза аневризмы корня и восходящего отдела аорты с аортальной недостаточностью более второй степени, требующего хирургической коррекции.
2. Выполненная клапансохраняющая реконструктивная операция на корне аорты по методике David I в период с сентября 2017 по февраль 2020 г.г.
3. Принятие решения о включении пациента в исследование мультидисциплинарной командой специалистов.

Критерии исключения из исследования:

1. Невозможность сохранения нативного аортального клапана при хирургической коррекции аневризмы аорты
2. Двустворчатый или моностворчатый аортальный клапан
3. Расслоение восходящей аорты
4. Отсутствие данных МСКТ, пригодных для построения трехмерной реконструкции

5. Отсутствие возможности наблюдения в отдаленном послеоперационном периоде.

2.2 Методы исследования

На дооперационном этапе всем пациентам выполнялись следующие методы исследования:

1. Физикальное обследование
2. Стандартные клинико-лабораторные исследования
3. Рентгенография органов грудной клетки
4. Электрокардиография в 12 отведениях
5. Трансторакальная эхокардиография с дополнительной оценкой параметров аортального клапана и синутубулярной зоны.
6. Интраоперационная чреспищеводная эхокардиография
7. МСКТ-ангиография аорты

Исходное состояние пациентов перед операцией оценивалось с помощью опроса, стандартного физикального обследования, лабораторных и инструментальных методов исследования в соответствии с протоколом обследования перед оперативным лечением.

Электрокардиографическое (ЭКГ) исследование входит в стандартный протокол обследования больных перед оперативным вмешательством. Всем пациентам было выполнено данное исследование.

Рентгенологическое исследование также выполнялось всем пациентам. Исследование проводилось в стандартных передне-задней и левой боковой проекциях. Оценивалось, помимо отсутствия очаговых и инфильтративных изменений, состояние малого круга кровообращения, контуры сердца. Рентгенография органов грудной клетки является важным методом, так как с

его помощью можно заподозрить аневризму грудной аорты различной локализации.

Трансторакальная эхокардиография выполнялась в соответствии с рекомендациями Американской Ассоциации Сердца и Американского Кардиологического Колледжа по клиническому применению ЭХОКГ [132].

Исследование проводилось на аппарате Vivid 7, GE в положении пациента лежа на спине, со слегка приподнятой головой. При неоптимальном качестве визуализации больного укладывали на левый бок с приподнятым изголовьем. Стандартный протокол эхокардиографического исследования включал измерение размеров камер сердца, толщины межжелудочковой перегородки и задней стенки ЛЖ, конечно-систолического и конечно-диастолического размеров ЛЖ, ударный объем и ФВ ЛЖ, измеренную по методу Teicholz. Оценивались скоростные показатели, градиенты давления, а также структура АК, состояние и функция митрального, трехстворчатого и пульмонального клапанов. Диаметр аорты измерялся на уровне ФК АК, синусов Вальсальвы, синотубулярного соединения, восходящего отдела дистальнее синотубулярного гребня.

Всем пациентам до операции было выполнено МСКТ грудной аорты с внутривенным контрастированием, ЭКГ синхронизацией и базовой 3D реконструкцией грудной аорты. Исследование проводилось на компьютерном томографе «Somatom Definition 128, Siemens». Через периферическую вену вводился рентгенконтрастный раствор «Ultravist -300» в количестве 80-120 мл со скоростью 4 мл/сек. Исследование проводилось синхронно с введением контрастного вещества. В дальнейшем после получения двух- и трехмерных реконструкций оценивали размеры аорты на уровнях фиброзного кольца, синусов Вальсальвы, синотубулярного соединения, середины восходящего отдела (на уровне бифуркации легочной артерии), перед отхождением БЦС и на уровне отхождения ветвей дуги аорты, а также структуру и состояние ее

стенок, наличие или отсутствие расслоения, взаимоотношение с прилежащими органами.

Для уточнения анатомических и гемодинамических особенностей всем пациентам старше 40 лет, а также с подозрением на ишемическую болезнь сердца, проводилась коронарография, манометрия правых камер сердца. Исследование выполнялось под местной анестезией путем катетеризации сосуда доступом через лучевую или бедренную артерию по методике Сельдингера. В качестве рентгенконтрастного вещества использовался «Ultravist -300». При манометрии правых камер сердца в качестве доступа использовалась бедренная вена, также по методике Сельдингера. При необходимости исследование дополняли ангиографией брахиоцефальных артерий на экстракраниальном уровне. Рутинно больным старше 40 лет, согласно протоколу обследования, выполнялось дуплексное сканирование БЦА.

Также всем больным до операции выполнялась фиброгастродуоденоскопия (аппарат Olympus). При наличии показаний производилось исследование функции внешнего дыхания, ультразвуковое исследование брюшной полости.

Чреспищеводная эхокардиография выполнялась в интраоперационном периоде до ЭКК и после восстановления сердечной деятельности всем пациентам. Использовался аппарат Vivid I, GE. Данное исследование использовалось для оценки структуры АК, степени регургитации, размеров ФК АК, корня и восходящего отдела аорты, оценки функционирования остальных клапанов сердца, сократительной способности желудочков. Окончательное решение о необходимости выполнения клапансохраняющего протезирования корня аорты принималось непосредственно после интраоперационной оценки. На завершающем этапе операции производился контроль наличия и характера регургитации на реимплантированном

аортальном клапане, сократительной способности миокарда, эффективности профилактики воздушной эмболии.

Интраоперационно, а также во время нахождения в реанимационном отделении (в раннем послеоперационном периоде) проводился постоянный мониторинг электрокардиограммы, сатурации капиллярной крови, инвазивный мониторинг артериального давления (лучевая или бедренная артерия), оценивалось центральное венозное давление. С помощью катетера Swan-Ganz рассчитывались показатели центральной гемодинамики, вычисляемые методом термодилуции, контролировалось давление в легочной артерии. В интраоперационном и реанимационном периодах в образцах артериальной и венозной крови осуществлялся регулярный контроль кислотно-основного состояния, парциального давления газов, показателей свертывающей системы.

Материал, полученный интраоперационно (стенки синусов аорты) отправляли на гистологическое исследование в ходе основного этапа выполнения оперативного вмешательства. Забирались и маркировались фрагменты каждого синуса аорты. Один фрагмент стенки помещался в пробирку со средой для выполнения бактериального посева для определения наличия инфекционного агента. Остальные образцы фиксировались в 10% растворе нейтрального формалина, обезвоживались в спиртах восходящей концентрации и заливались в парафин. После заливки образцов ткани в парафин выполнялись серийные срезы ротационным микротомом Leica RM 2125RT. Готовые гистологические препараты изучались с помощью обычной световой и поляризационной микроскопии на микроскопе Leica DM 4000B. Поляризационная микроскопия проводилась для исключения дегенеративно-дистрофических изменений и амилоидоза. Микрофотографии были получены с помощью камеры Leica DFC 490 (Германия).

На основании данных МСКТ-ангиографии аорты для каждого пациента была создана трехмерная реконструкция корня и восходящего отдела аорты в

двух средах автоматизированного проектирования (САП): In Vesalius v 3.1.1 (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI)) и 3-Matic v. 13.0 (Materialise, Leuven, Belgium). У каждой САП имеются свои уникальные свойства и преимущества в выполнении отдельных этапов построения трехмерной реконструкции. Использование разработанной методики и применение САП для построения реконструкций в строго определенной последовательности позволило использовать преимущества всех программ и получить высокоточную реконструкцию с максимальной детализацией структур корня аорты. Построение реконструкции выполнялось для каждого исследуемого пациента до операции, с использованием стандартных алгоритмов вышеуказанного программного обеспечения с последующей детализацией и «обработкой» реконструкции в ручном режиме. Методика построения трехмерных реконструкций детально описана в главе 3.

В отдаленные сроки после операции контакт с больными осуществлялся по телефону. Во всех случаях пациенты приглашались для очного обследования, включающего трансторакальную ЭХОКГ по расширенному протоколу для детального изучения функции реимплантированного АК (рисунок 9).

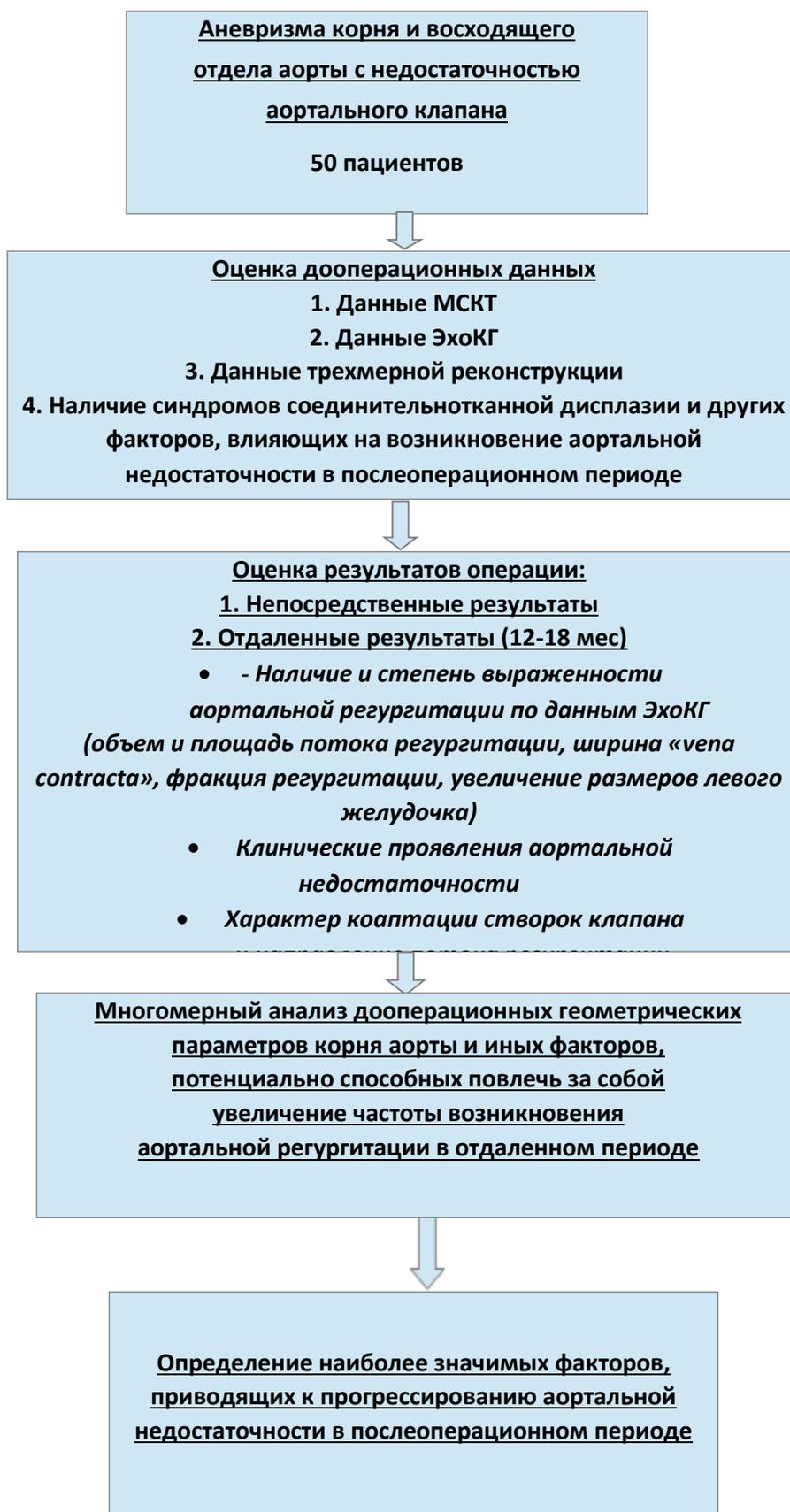


Рисунок 9 - Блок-схема плана выполнения исследования

2.3 Клиническая характеристика пациентов

В группе исследуемых пациентов по составу значительно преобладали мужчины (рисунок 10).



Рисунок 10 - Распределение исследуемых пациентов по полу

Сравнение пациентов по антропометрическим показателям проводилось отдельно для мужчин и женщин (таблица 2).

Таблица 2 - Антропометрические показатели пациентов

Показатели	Мужчины (n=43)	Женщины (n=7)
средний возраст, лет	60 (37; 69)	54 (44; 61)
рост, см	173 (164; 192)	165 (155; 179)
вес, кг	90 (68; 107)	74 (49; 97)
индекс массы тела	25,7 (20,1; 37,3)	24,2 (21,3; 37,4)

Примечание: в таблице отражена медиана, минимальное и максимальное значение параметров

Дооперационный период

Спектр жалоб у пациентов обуславливался наличием гемодинамически значимого порока АК. Выраженность клинической картины варьировала от отсутствия симптоматики до жалоб на выраженную одышку и приступы удушья, возникающие как при физической или психоэмоциональной нагрузке различной интенсивности, так и в покое. Жалобы на боли сжимающего характера за грудиной в области сердца предъявляли 4 человека (8%), у которых по данным коронарографии в ходе дообследования было диагностировано гемодинамически значимое поражение коронарного русла.

Чувство нехватки воздуха при выполнении физической нагрузки различной интенсивности беспокоило 32 пациентов (64%), из них 5 пациентов (10%) предъявляли жалобы на одышку при минимальной физической нагрузке. 11 больных (22%) отмечали чувство перебоев в работе сердца, не связанное с выполнением нагрузки. Головокружение беспокоило 18 пациентов (36%), а такие жалобы, как общую слабость, предъявляли 12 больных (24%).

Таким образом, клиническая картина аортального порока характеризовалась разнообразием симптоматики, определявшейся степенью декомпенсации порока, наличием ишемической болезни сердца, нарушений ритма сердца, проявлениями хронической сердечной недостаточности, выраженностью сопутствующей патологии.

Перед операцией пациентам была выполнена МСКТ-аортография грудной аорты с внутривенным контрастированием (таблица 2.3). По результатам исследования наибольшее расширение аорты наблюдалось в области синусов Вальсальвы (таблица 3).

Таблица 3 - Данные мультиспиральной компьютерной томографии - ангиографии аорты перед операцией

Показатель	Значение
Максимальный диаметр восходящего отдела аорты, мм	51; (47; 70)
Индекс восходящего отдела аорты	27,3; (23,5; 28,5)
ФК АК, мм	28,5; (24,5; 37,5)
Индекс ФК АК	16,7; (14,9; 19,3)
Синусы Вальсальвы, мм	51; (47; 70)
Индекс Синусов Вальсальвы	25,1; (22,8; 31,4)
Синотубулярное соединение	50; (43; 68)
Индекс Синотубулярного соединения	17,1; (15,0; 19,4)
Восходящая аорта на уровне бифуркации легочной артерии	49; (42; 65)
Индекс восходящей аорта на уровне бифуркации легочной артерии	27,3; (21,7; 28,5)

Примечание: в таблице отражена медиана, минимальное и максимальное значение параметров

Всем пациентам перед оперативным лечением выполнялась коронарография и манометрия правых камер сердца. У 42 больных (88%) в качестве доступа была использована лучевая артерия и лишь у 8 (12%) поверхностная бедренная. Левый тип коронарного кровообращения констатирован у 7 пациентов (14%), правый у 38 (76%), а сбалансированный в 5 случаях (10%). Гемодинамически значимое стенозирование ствола левой коронарной артерии не было диагностировано. Гемодинамически значимое поражение передней межжелудочковой и огибающей артерий (более 70% по диаметру) отмечалось у 6 (12%) пациентов. Гемодинамически значимое стенозирование правой коронарной артерии имели 3 (6%) больных. По данным манометрии правых камер сердца (таблица 4) случаев высокой легочной гипертензии вследствие декомпенсации аортального порока выявлено не было.

Таблица 4 - Данные манометрии правых камер сердца

Показатель	Группа I
Систолическое давление в ЛА	26; (22; 31)
Диастолическое давление в ЛА	11; (9; 14)
Систолическое давление в ПЖ	27; (22; 34)
Диастолическое давление в ПЖ	5; (4; 7)
Среднее давление вПП	8; (5; 11)
Систолическое АД	145; (121; 169)
Диастолическое АД	72,5; (67; 87)
Среднее АД	109; (101; 114)

Примечание: в таблице отражена медиана, минимальное и максимальное значение параметров

По спектру встречаемости сопутствующей патологии (таблица 5) наиболее часто встречались хронический гастрит, цереброваскулярная болезнь и варикозная болезнь вен нижних конечностей.

Таблица 5 - Спектр встречаемой сопутствующей патологии

Сопутствующие заболевания		Число случаев, (%)
Сахарный диабет, 2 типа		11; 22,0%
ХОБЛ	-легкое течение	4;8,0%
	-среднетяжелое	1; 2,0%
	- тяжелое	-
Мочекаменная болезнь		6; 12,0%
Желчекаменная болезнь		3; 6,0%
Заболевания щитовидной железы		4; 8,0%
Варикозная болезнь		12; 24,0%
ЦВБ		19; 38,0%
ОНМК в анамнезе		3; 6,0%
ИМ в анамнезе		5; 10,0%

Хронический гастрит	32; 74,0%
---------------------	-----------

Примечание: в таблице отражена медиана, минимальное и максимальное значение параметров

Периоперационный период

Вечером накануне хирургического вмешательства с целью премедикации пациенты принимали феназепам в дозе 1 мг. Индукция в наркоз осуществлялась с помощью пропофола (1 – 2 мг/кг) и фентанила (5 мкг/кг). Внутривенно вводился миорелаксант ардуан в дозировке 0,04 – 0,08 мг/кг. Поддержание наркоза выполнялось внутривенным введением пропофола (4 – 6 мг/кг/час). Искусственная вентиляция легких осуществлялась с помощью респираторов моделей Datex ADU в режиме CMV по полузакрытому контуру.

Использовалось положение больного на операционном столе лежа на спине, руки вдоль туловища. Устанавливались электроды ЭКГ. Перед наркозом проводилась катетеризация правой либо левой периферической вены предплечья, и катетеризация левой или правой лучевой артерии (при невозможности постановки использовалась бедренная артерия). После вводного наркоза выполнялась катетеризация правой яремной вены, в правые отделы сердца и легочную артерию проводился катетер Swan-Ganz. Датчики контроля температуры тела устанавливались в прямую кишку и носоглотку. Далее всем пациентам выполнялась чреспищеводная ЭХОКГ для анализа морфологии, структуры и функции клапанов сердца, сократимости миокарда, а также оценки диаметра ФК АК и восходящей аорты на разных уровнях. Эта информация в совокупности с данными визуальной оценки характера и степени расширения аорты использовалась для принятия окончательного решения о способе коррекции аневризматического расширения аорты и необходимости выполнения клапансохраняющего вмешательства.

В качестве аппарата искусственного кровообращения (АИК) использовался аппарат «Maquet» (Германия), мембранный оксигенатор «Maquet Quadrox». Для первичного заполнения АИК использовались

стандартные среды. При распространении аневризматического расширения восходящей аорты на уровень брахиоцефального ствола АИК подключался по схеме «правая подмышечная артерия – правое предсердие – ЛЖ». В случае, если дилатация аорты ограничивалась только восходящей аортой, осуществлялось стандартное подключение АИК по схеме «аорта – правое предсердие – ЛЖ». В качестве венозной использовалась двухступенчатая канюля, проведенная в нижнюю полую вену через правое предсердие.

Основной этап оперативного вмешательства выполнялся в условиях умеренной гипотермии. Изотермическая кровяная кардиоплегия проводилась с интервалом 15 минут посредством ретроградного введения в коронарный синус артериальной крови, обогащенной хлоридом калия. Кардиоплегия осуществлялась под контролем мониторинга давления в магистральной (40 - 60 мм рт. ст.). Для восстановления сердечной деятельности использовался сеанс ретроградной реперфузии.

В качестве способа хирургической клапансохраняющей хирургической коррекции аневризмы восходящего отдела аорты в нашем центре была избрана операция David I. Оперативная коррекция аневризмы корня и восходящего отдела аорты проводилась следующим образом: после срединной стернотомии, подключения аппарата искусственного кровообращения и проведения кардиopleгии выполняется операция реимплантации аортального клапана. Производится резекция синусов Вальсальвы с оставлением «бортиков» около 5 мм, затем выкраиваются устья коронарных артерий на площадках (рисунок 11).

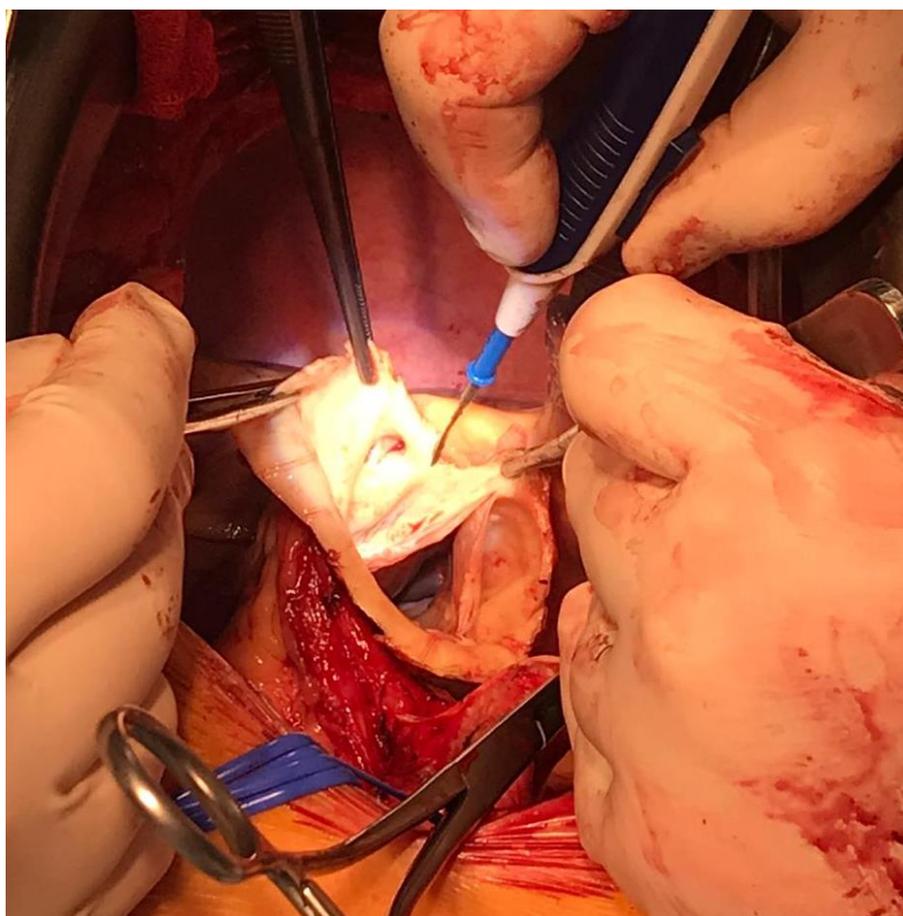


Рисунок 11 - Выделение устьев коронарных артерий на «площадках» по Kouchoukos

Следующим этапом выполнялся выбор подходящего диаметра протеза корня аорты. Мы использовали два типа протезов корня аорты: линейный дакроновый сосудистый протез фирмы Vascutek в 3 случаях, и протез корня аорты с аналогами синусов Вальсальвы (Gelweave Valsalva) в 47 случаях. В клинической практике НМИЦ им. В.А. Алмазова применяется оригинальная простая методика: выбор диаметра линейного протеза корня аорты осуществляется на основании сложения 3-5 мм (удвоенная толщина стенки аорты) и значения диаметра ФК АК, измеренного интраоперационно при ЧП-ЭхоКГ. Дополнительно выполняется контрольное прямое измерение диаметра ФК АК стандартными калибрами (сайзерами) и высоты корня аорты (высоты комиссуры между левой коронарной и некоронарной створками). При использовании протеза корня аорты со сформированными синусами (Valsalva) диаметр последнего превышал диаметр ФК АК на 1-2 мм.

Протез необходимого диаметра фиксировался к аортожелудочковому соединению П-образными швами на прокладках так, чтобы комиссуры с аортальным клапаном оказались внутри протеза (рисунок 12).

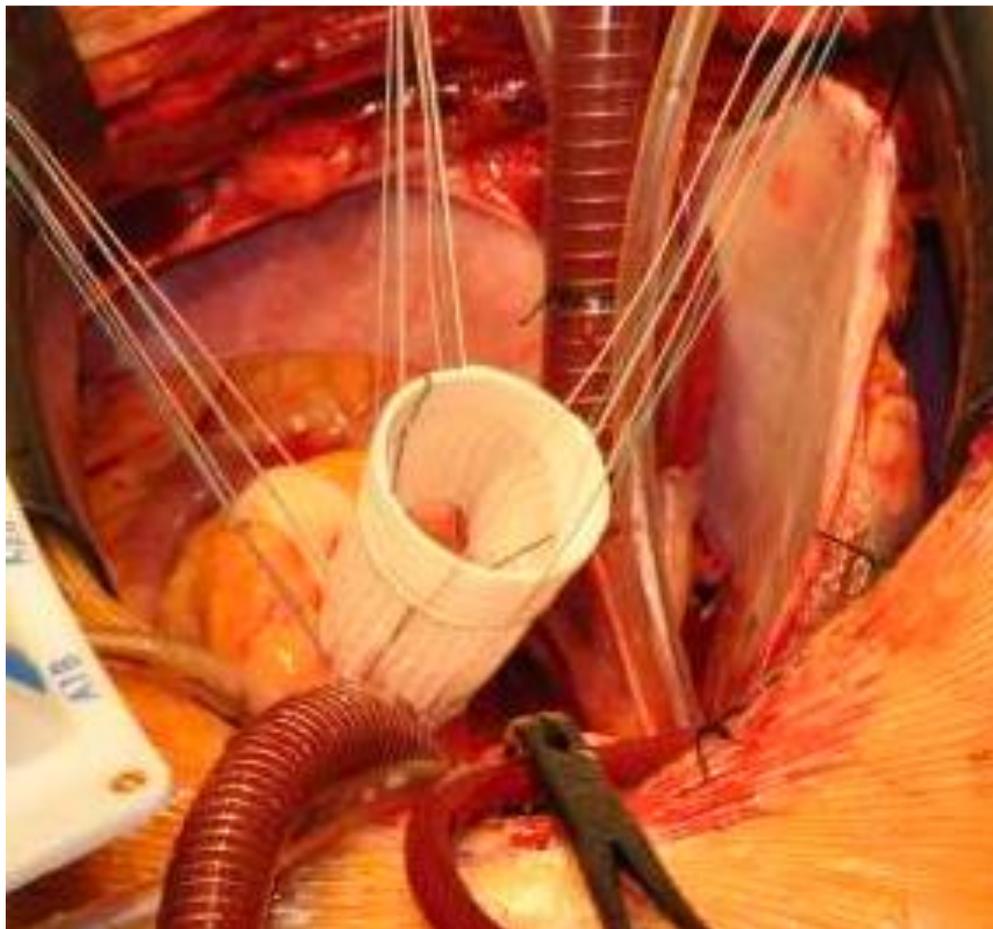


Рисунок 12 - Фиксация протеза аорты к аорто-желудочковому соединению

Затем выполнялась фиксация комиссур внутри протеза за бортики таким образом, чтобы сохранить стереометрию клапана и достичь его состоятельности (рисунок 13). Последним этапом производилась реимплантация коронарных артерий к соответствующему неосинусу.

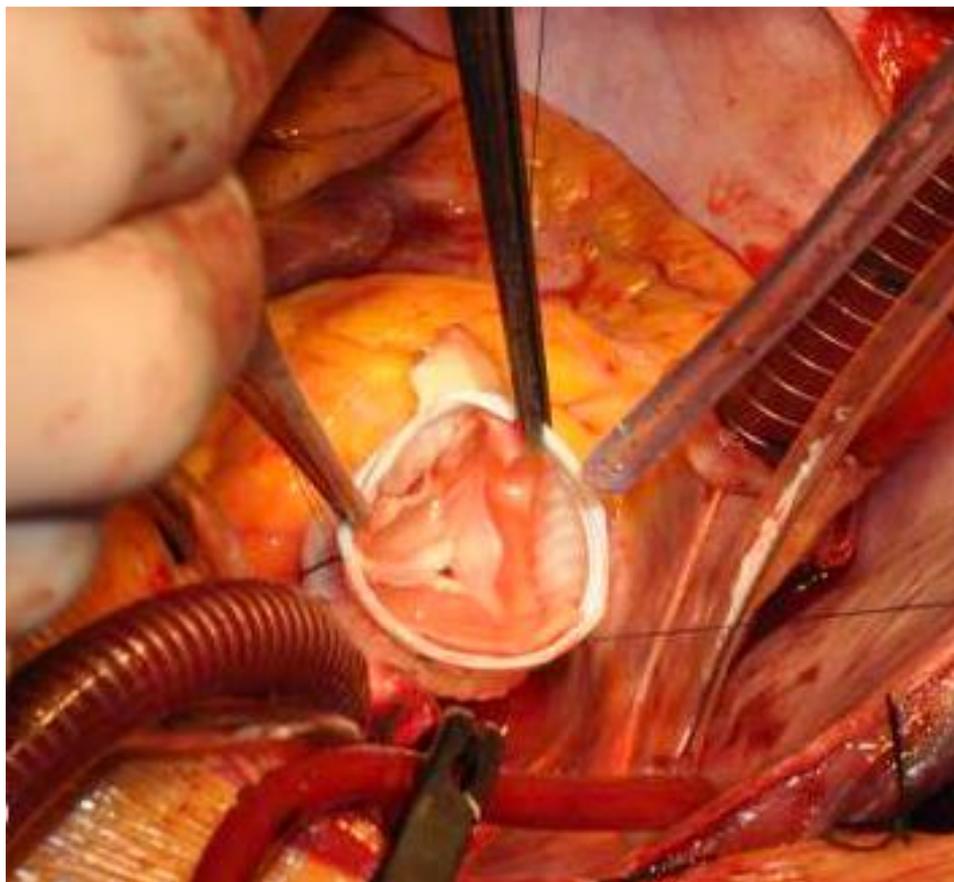


Рисунок 13 - Общий вид реимплантированного в протез аортального клапана

При распространении расширения восходящей части аорты на дугу выполнялось протезирование нижней части дуги аорты по типу «половинной дуги» (Hemiarch repair). В таком случае АИК подключался по схеме «правая подмышечная артерия - правое предсердие - ЛЖ». Производилось охлаждение больного до 28^oC. Дополнительно выделялся восходящий отдел аорты до левой общей сонной артерии, накладывалась резиновая держалка на брахиоцефальный ствол и левую общую сонную артерию. После пережатия аорты осуществлялось иссечение аневризматически измененного участка аорты. После охлаждения до необходимого уровня снижалась производительность АИК. Дополнительно опускался головной конец операционного стола под углом 15 - 20^o. После этого накладывался зажим на брахиоцефальный ствол и левую общую сонную артерию, зажим с аорты снимался. В период циркуляторного ареста постоянно проводилась антеградная моногемисферальная перфузия головного мозга через правую

общую сонную артерию с непрерывной оксиметрией. Формировался конец дистального сосудистого протеза под углом 20-40°. После окончательной подготовки иссеченной аорты выполнялось формирование дистального анастомоза сосудистого графта с аортой непрерывным швом нитью Prolene 4/0 таким образом, что «пятка» анастомоза находилась под брахиоцефальным стволом, а «носок» на уровне левой общей сонной артерии или, в более редких случаях, на уровне левой подключичной артерии. После выполнения профилактики воздушной эмболии сосудистый протез пережимался зажимом, восстанавливался кровоток по брахиоцефальному стволу путем снятия с него зажима, после чего производилось восстановление расчетной скорости системной перфузии. Одновременно начиналось постепенное согревание больного. Параллельно согреванию выполняли формирование проксимального анастомоза сосудистого протеза дуги аорты с сосудистым протезом корня аорты.

При необходимости выполнения АКШ хирургическое вмешательство расширяли и выполняли сочетанную операцию. После стернотомии производилось выделение левой внутренней грудной артерии и, параллельно, большой подкожной вены нижней конечности. Перед тем, как приступить к коррекции аневризматического расширения аорты и операции David I, осуществлялось формирование дистальных анастомозов аутовен и левой внутренней грудной артерии с коронарными артериями. После этого выполняли манипуляции на восходящей аорте. В завершение операции создавались проксимальные анастомозы аутовенозных шунтов с протезом восходящей аорты.

У некоторых пациентов операция также была дополнена пластикой митрального клапана (МК) по R. Batista. Суть пластики заключалась в прошивании задней полуокружности ФК МК двумя параллельными нитями (Ethibond 2/0) на тефлоновых прокладках в начале и в конце швов для достижения оптимального размера левого атриовентрикулярного отверстия.

Пластика трехстворчатого клапана (ТК) осуществлялась по такой же методике, как и МК. Разница состояла лишь в том, что для выполнения пластики ТК подключение АИК производилось по другой схеме. А именно, использовалась бикавальная канюляция с помощью «Г-образных» канюль, устанавливаемых в верхнюю и нижнюю полые вены.

После окончания реперфузии, согревания и выполнения профилактики воздушной эмболии снимался зажим с аорты. Останавливался АИК и производилось контрольное чреспищеводное ЭХОКГ исследование. Производили оценку функции реимплантированного аортального клапана, а также сократимости миокарда. Оценивали наличие и количество воздуха в камерах сердца для проведения дополнительной профилактики воздушной эмболии. После введения протамин-сульфата производился контроль гемостаза и удалялась аортальная канюля. Для возможности проведения временной электрокардиостимуляции пришивали два электрода к передней поверхности правого желудочка и перикарду. После постановки дренажей (в перикард, левую и правую плевральную полость) зашивали перикард, а затем послойно наглухо всю рану.

После завершения операции пациенты наблюдались в реанимационном отделении. При благоприятном течении раннего послеоперационного периода больные на следующий день переводились в общую палату, где наблюдались в течение 7 суток. Впоследствии пациенты проходили реабилитацию в условиях кардиологического отделения в течение 10–15 суток и выписывались из стационара.

Отдаленный период

В отдаленном (12-18 месяцев) послеоперационном периоде всем пациентам была выполнена контрольная трансторакальная ЭХОКГ для оценки функции реимплантированного аортального клапана с детальной оценкой следующих параметров:

- 1) характер коаптации створок клапана и направление потока регургитации (если имеется);
- 2) объем и площадь потока регургитации,
- 3) ширина «vena contracta»,
- 4) фракция регургитации,
- 5) увеличение размеров левого желудочка.

Полученные данные ЭхоКГ сопоставлялись с аналогичными показателями, полученными на ранних сроках (7-10 дней) после операции. Выявлены пациенты, у которых наблюдалось прогрессирование аортальной недостаточности в отдаленном периоде. Многофакторный анализ (логистическая регрессия) всех геометрических параметров клапанно-аортального комплекса на основании полученных данных выполнялся с целью определения изменений корня аорты, наиболее часто сочетающихся с рецидивом аортальной регургитации в послеоперационном периоде. Были проанализированы следующие геометрические характеристики корня аорты:

- Высота комиссур аортального клапана
- Максимальная длина свободного края створок аортального клапана
- Максимальная и минимальная площади створок аортального клапана и их соотношение
- Максимальная полнота створок аортального клапана (соотношение длины фиксированного края к эффективной высоте створки)
- Максимальное расстояние от центра дуги синуса Вальсальвы до центра зоны коаптации
- Параметры фиброзного кольца (диаметр, периметр, индекс эллипсовидности)

Кроме того, в ходе исследования проведен анализ влияния клинических и гистологических факторов на прогрессирование аортальной недостаточности в отдаленном послеоперационном периоде. На основании анализа данных анамнеза и медицинской документации были оценены следующие клинические факторы возникновения аортальной недостаточности:

- уровень артериального давления после операции (среднее и максимальное за период наблюдения),
- наличие тахисистолических нарушений ритма (все формы фибрилляция предсердий, желудочковая экстрасистолия),
- наличие предсердно-желудочковой блокады 1 и более степени,
- имплантация постоянного ЭКС в послеоперационном периоде,
- показатели сократительной способности левого желудочка по данным ЭхоКГ (КДО, КСО, фракция выброса),
- диаметр и тип сосудистого протеза, использованный для реимплантации аортального клапана (линейные протезы, протезы с аналогами синусов Вальсальвы);
- выполнение пликации любой из створок аортального клапана в ходе операции,
- наличие сочетанного поражения митрального и трикуспидального клапанов и его хирургическая коррекция.

По данным гистологического исследования операционного материала в расчеты логистической регрессии были включены следующие параметры:

- наличие кистозного медианекроза стенки аорты,
- наличие синдромов дисплазии соединительной ткани,
- атеросклероз аорты,
- гемодинамическая аневризма восходящей аорты.

Кроме того, было отдельно проанализировано влияние всех вышеуказанных факторов на прогрессирование хронической сердечной недостаточности в отдаленном периоде (также с использованием логистической регрессии).

2.4 Методы статистической обработки данных

Статистическая обработка данных проводилась в среде программирования R. Выполнен многомерный анализ (логистическая регрессия) влияния клинических, гистологических и анатомических факторов на показатели аортальной недостаточности в отдаленном послеоперационном периоде.

Первичная конечная точка исследования – наличие прогрессирования аортальной недостаточности в отдаленном послеоперационном периоде по данным контрольного инструментального исследования.

Вторичная конечная точка исследования - наличие прогрессирования хронической сердечной недостаточности в отдаленном послеоперационном периоде.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ СТЕРЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОРНЯ АОРТЫ НА ОСНОВАНИИ МЕТОДА ВЫСОКОТОЧНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ РЕКОНСТРУКЦИЙ

Целью создания методики является разработка высокоточного и легко воспроизводимого способа построения трехмерной реконструкции корня аорты, позволяющего произвести измерение всех его основных планиметрических и стереометрических параметров. Точное измерение этих величин позволит оптимизировать выбор тактики оперативного лечения и прогнозировать непосредственные и отдаленные результаты клапансохраняющего протезирования корня аорты.

В качестве основных геометрических параметров корня аорты были выбраны следующие:

- Высоты комиссур аортального клапана
- Максимальная длина свободного края створок аортального клапана
- Максимальная и минимальная площади створок аортального клапана
- Максимальное расстояние от центра дуги синуса Вальсальвы до геометрического центра аорты
- Параметры фиброзного кольца

Создание высокоточной 3D-реконструкции

Для создания 3D-реконструкции аортального клапана и восходящей аорты использовались данные МСКТ в формате DICOM. Всем пациентам до операции выполнялась МСКТ-ангиография грудной аорты (томограф Somatom Definition, “Siemens” – 128 slices). Все срезы КТ имели разрешение 512×512 пикселей и средний размер пикселя составил 0.8 ± 0.01 мм. Толщина среза составила 0.82 ± 0.01 мм.

Данные КТ были импортированы в среду автоматизированного проектирования (САП) InVesalius 3.1.1 (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI)) для построения 3D-реконструкции. Была проведена

первичная сегментация аортального клапана; для этого выполнялось формирование первичной реконструкции аорты и выделение корня аорты из изображений органокомплекса грудной клетки с удалением всех находящихся в непосредственной близости структур (камер сердца, трахеи, бронхов, пищевода, легких). Данное действие достигается подбором соответствующих значений рентгеновской плотности для тканей корня аорты (единицы Хаунсфилда, HU) в правом верхнем углу системного меню (шкала единиц Хаунсфилда и кнопка «Создать поверхность»). Суть действия заключается в том, что плотность тканей аорты и створок аортального клапана отличается от рентгеновской плотности окружающих их тканей, таким образом необходимо вручную подобрать диапазон единиц Хаунсфилда, оптимальный для корня аорты. Контроль подбора рентгеновской плотности осуществляется с помощью цветового заполнения изображений структур корня аорты на плоскостных срезах МСКТ (отображаются в центре экрана). Как правило, тканям аорты соответствуют плотности $-50 - +150$ HU, а для створок аортального клапана $+150 - +350$ HU (окрашиваются при корректном подборе рентгеновской плотности в светло-зеленый цвет). Необходимо максимально точно подобрать такую плотность, при которой будут одновременно и в полном объеме отображаться стенки аорты и створки АК (рисунок 14).

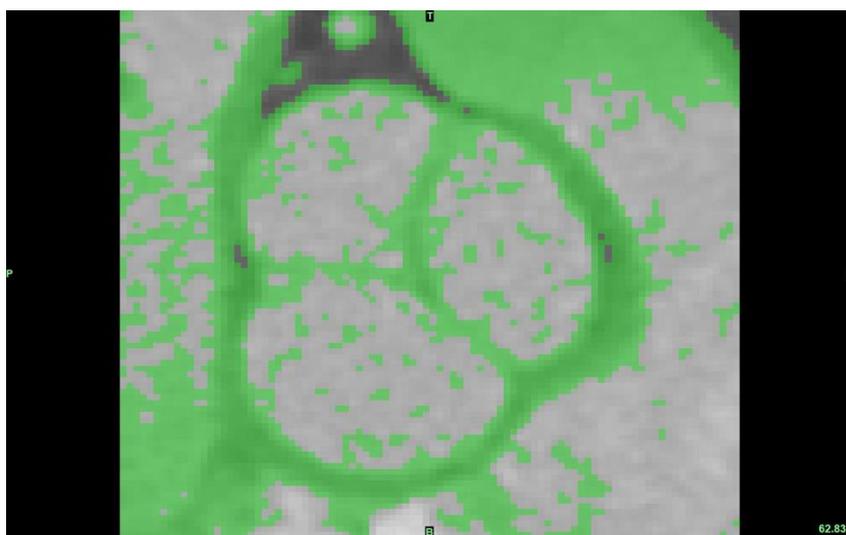


Рисунок 14 - Предварительное формирование «3D маски» корня аорты в среде автоматизированного проектирования In Vesalius v. 3.1.1

После подбора плотности нажатием кнопки «Создать поверхность» выполняется автоматическое построение первичного трехмерного изображения корня аорты. На полученной реконструкции должны обязательно отображаться все стенки аорты и створки АК без дефектов, кроме того, имеется значительное количество мелких зернистых структур в просвете аорты (вероятно, отражение рентгеновских лучей от контрастного вещества). При неполном отображении структур корня аорты или наличии дефектов створок необходимо повторно осуществить подбор их рентгеновской плотности до получения изображения соответствующего качества. Далее вручную выполняется удаление с плоскостных срезов МСКТ всех структур грудной клетки вокруг корня и восходящей аорты (инструмент «Brush» во вкладке ограничения, в верхней части программного меню). Искажения в просвете аорты также по возможности подлежат ручному удалению, однако при этом не должны быть удалены структуры корня аорты. При наличии на структурах корня аорты образований, значительно отличающихся по рентгеновской плотности от тканей аорты (кальцинаты, вегетации, полости абсцессов), возможно их отдельное выделение путем подбора соответствующего значения рентгеновской плотности с последующим созданием их реконструкции. Далее работа осуществляется в среде ванного проектирования 3-Matic (Materialise, Leuven, Belgium).

В САП 3-Matic v. 13.0 (номер лицензии программы: 6D12-F6AA-68A1-формате STL). Далее выполняется удаление всех оставшихся искажений и артефактов в просвете аорты и со стороны желудочковой поверхности створок аортального клапана (инструмент «Mark triangle» во вкладке «Mark» системного меню). При наличии искажений на внутренней поверхности стенок аорты и на структурах аортального клапана выполняется «сглаживание» их вручную (инструмент «Smooth» во вкладке «Fix» системного меню). Категорически запрещается обрабатывать таким образом структуры с максимальным размером более 0,3 мм. Далее осуществляется

выделение из целостной модели аорты створок аортального клапана (инструменты «Mark triangle» и «Paint» в верхней части меню). Необходимо помнить, что фиксированный край каждой створки прикрепляется к фиброзному кольцу, а свободный располагается в просвете аорты и коаптирует (смыкается) с соседними створками. Общий вид трехмерной реконструкции восходящей аорты после обработки в среде автоматизированного проектирования 3-Matic (Materialise, Leuven, Belgium) показан на рисунках 15 и 16.

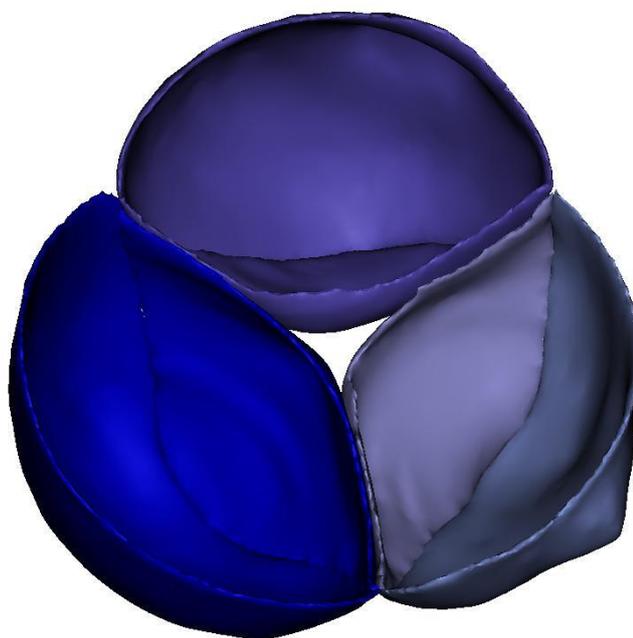


Рисунок 15 - Общий вид трехмерной реконструкции корня аорты после обработки в двух средах автоматизированного проектирования (In Vesalius v .1 и 3-Matic v 13.0 (Materialise, Leuven, Belgium))

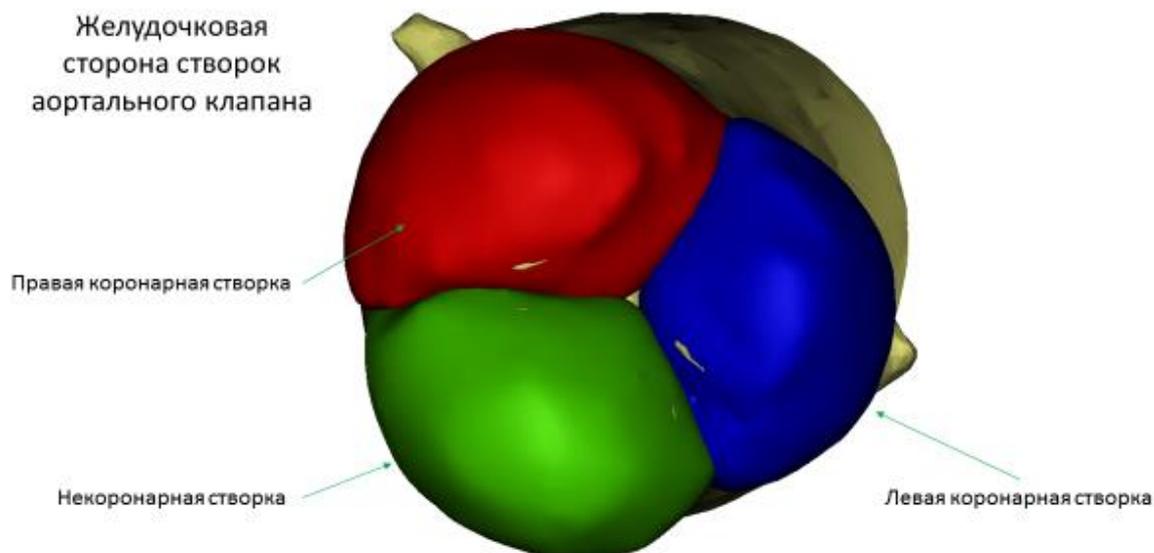


Рисунок 16 - Общий вид створок аортального клапана со стороны выходного отдела левого желудочка после выполнения сегментации структур корня аорты

Дальнейшая работа с реконструкцией восходящей аорты требует измерения деликатных структур корня аорты на основании общей модели, для чего используется САП In Vesalius v 3.1.1.

Методика измерения параметров клапанно-аортального комплекса

Все измерения выполнялись в среде программы In Vesalius v 3.1.1 (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI)).

Параметры фиброзного кольца включают в себя измерение диаметра виртуального фиброзного кольца, анатомического фиброзного кольца (на уровне аорто-желудочкового соединения) и синотубулярного соединения. Диаметр виртуального фиброзного кольца измерялся на уровне оснований створок аортального клапана. Диаметр анатомического фиброзного кольца измерялся на уровне прикрепления миокарда выходного отдела левого желудочка к фиброзным структурам аорты. Диаметр синотубулярного соединения измерялся на уровне высших точек комиссур. Также выполнялось

измерение максимального диаметра синусов Вальсальвы в зоне фиброзного кольца путем расчета диаметра описанной вокруг корня аорты окружности, центром которой являлся центр зоны коаптации (рисунок 17).

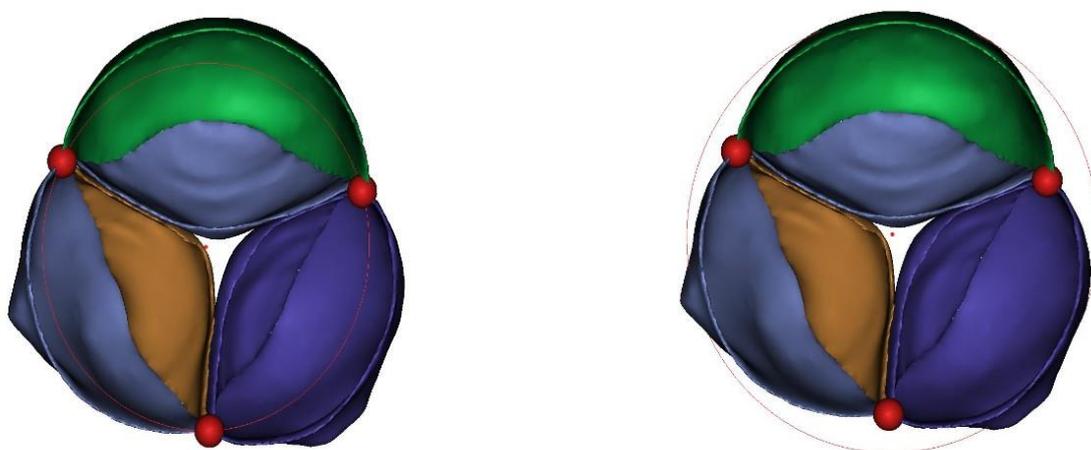


Рисунок 17 - Измерение диаметра фиброзного кольца на уровне синотубулярного соединения (слева) и максимального диаметра корня аорты путем построения описанной окружности

Периметр фиброзного кольца определялся как сумма длин фиксированных краев полулунных створок (рисунок 18). Площади створок аортального клапана определялись программой автоматически, при этом точность определения площади напрямую зависит от точности проведения сегментации створок клапана.

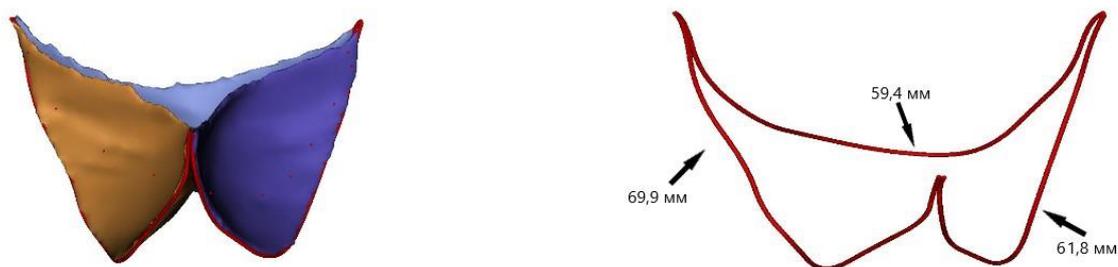


Рисунок 18 - Периметр фиброзного кольца

Для определения длин свободных краев створок клапана, между двумя точками прикрепления створок к стенке аорты строилась кривая линия по верхней границе соответствующей створки при помощи инструмента “Измерить расстояние” (рисунок 19). Далее ее длина определялась автоматически и принималась за длину свободного края створки.

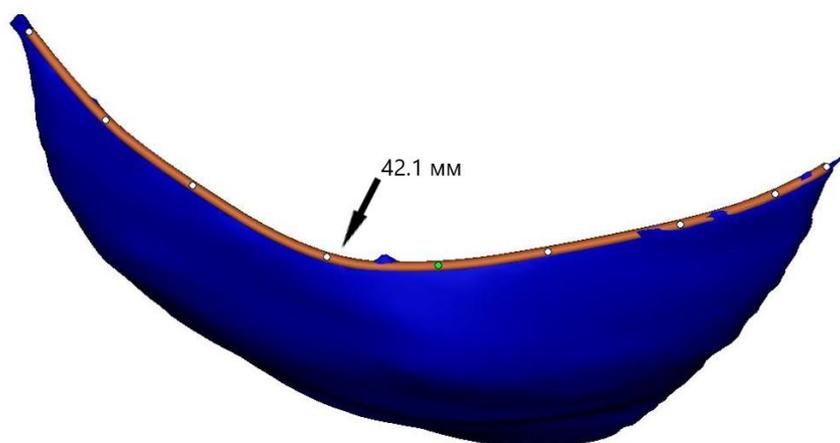


Рисунок 19 - Определение длины свободного края створки аортального клапана

Высоты комиссур АК определялись как наименьшее расстояние от точек прикрепления полулунных створок до плоскости виртуального фиброзного кольца (рисунок 20).

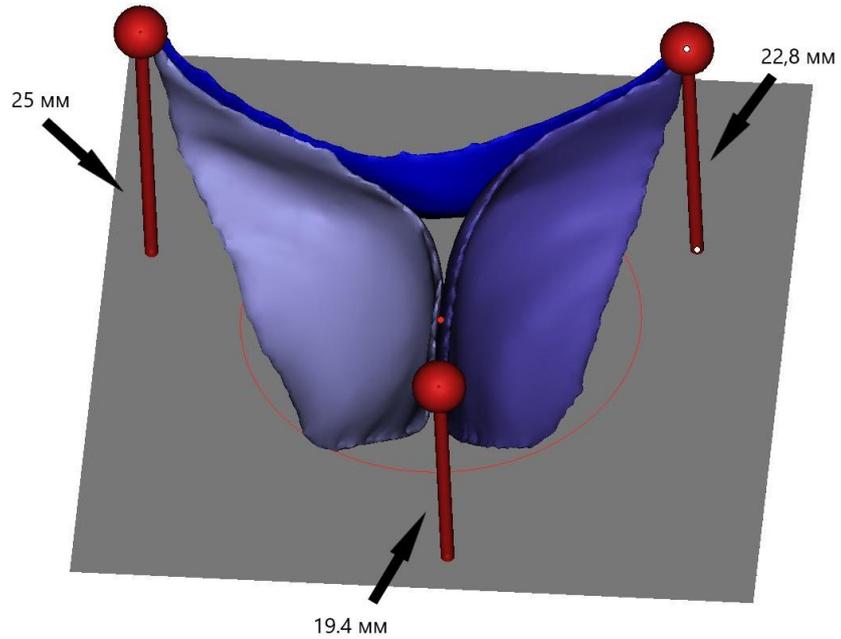


Рисунок 20 - Определение высот комиссур аортального клапана

За максимальное расстояние от геометрического центра аорты до синуса Вальсальвы принимался радиус сферы, описывающей синус в границах синотубулярного соединения с центром, совпадающим с геометрическим центром зоны коаптации (рисунок 21).

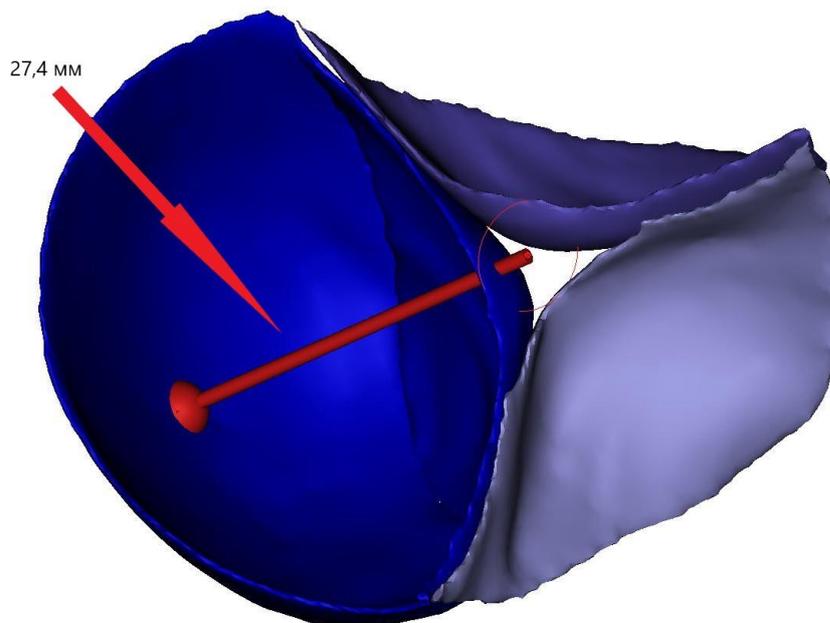


Рисунок 21 - Определение максимального расстояния от геометрического центра аортального клапана до синуса Вальсальвы

Перспективы применения методики высокоточных трехмерных реконструкций корня аорты

Основным результатом данной работы является разработка метода сегментации корня аорты и построения 3D-реконструкции аортального клапана, а также разработка метода измерения основных его геометрических параметров. Результаты измерения структур корня аорты и клапанно-аортального комплекса у исследуемых пациентов, а также их клиническая интерпретация, представлены в главах 4 и 5.

Описанный метод представляет ценность как для определения тактики и технических особенностей оперативного лечения пациента, так и для изучения влияния анатомии корня аорты на развитие рецидива аортальной недостаточности после операции. Метод позволяет построить высокоточную трехмерную реконструкцию внутренних структур корня аорты в течение нескольких часов. При этом 3D-реконструкция позволяет детально визуализировать область интереса, что позволяет лечащему хирургу получить полную картину состояния корня аорты и аортального клапана перед операцией.

При исследовании влияния геометрических параметров АК на развитие заболевания в послеоперационном периоде с помощью метода компьютерной томографии, точность измерений размеров аорты в значительной степени зависит от квалификации специалиста и от правильной ориентации поперечных «срезов» аорты перпендикулярно ее оси. 3D-реконструкция позволяет измерять расстояния между интересующими объектами с точностью до 0,2 мм. При этом используется метод аппаратного построения тангенциальной центральной оси аорты и измерения размеров сосуда производятся перпендикулярно ей. Исключается погрешность, обусловленная ориентацией срезов.

Еще одним преимуществом метода над стандартной интерпретацией данных МСКТ-ангиографии является возможность измерять такие параметры корня аорты как площади участков сложной формы (створки аортального

клапана и синусы аорты), длины объектов сложной формы (периметр фиброзного кольца АК), минимальные и максимальные расстояния между объектами, что, в свою очередь, предоставляет большее количество данных. При этом точность измерений также достигает 0,2 мм.

Наличие высокоточной 3D-реконструкции открывает дополнительные возможности в области оперативного лечения патологии корня аорты и аортального клапана. Построенные трехмерные реконструкции позволяют в полной мере оценить индивидуальные структурные особенности элементов корня аорты каждого конкретного пациента и произвести их точное измерение. Такой подход дает ряд преимуществ как в выборе индивидуальной пациент-ориентированной тактики оперативного лечения, так и в выборе параметров имплантируемого операционного материала. Возможность измерить диаметр фиброзного кольца на разных уровнях позволяет точно подобрать тип и размер протеза корня аорты при выполнении операции David I. При операциях протезирования створок аортального клапана измерение параметров нативных створок позволяет создать прецизионные выкройки имплантируемых неостворок.

Ограничения метода

Так как метод в своей основе использует данные МСКТ ангиографии, его точность напрямую зависит от разрешающей способности томографа и от качества выполненного исследования.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Анализ функции аортального клапана и геометрических параметров корня аорты в дооперационном периоде

Функциональная оценка аортального клапана

По данным трансторакальной ЭХОКГ на дооперационном этапе у всех больных отмечалась умеренная гипертрофия ЛЖ и увеличение его размера. Диаметр восходящего отдела аорты на уровне синусов Вальсальвы по данным МСКТ был значительно увеличен и составил от 47 до 59 мм. Также у большинства пациентов отмечалось расширение аорты на уровне синутубулярного соединения и тубулярной части. Скорость кровотока на АК и градиент давления не были существенно изменены. По характеру нарушения кровотока на АК полностью превалировала недостаточность. (Таблица 6).

Таблица 6 - Данные трансторакальной эхокардиографии и мультиспиральной компьютерной томографии перед оперативным вмешательством

Параметр ТТ ЭхоКГ	Значение (n=50 больных)
Правый желудочек, мм	26 (24; 30)
Межжелудочковая перегородка, мм	13 (8; 17)
Задняя стенка, мм	11 (9; 14)
Левое предсердие, мм	46 (43; 51)
КДР ЛЖ, мм	57 (51; 64)
КСР ЛЖ, мм	41 (31; 51)
КДО ЛЖ, мл	172 (120; 242)
КСО ЛЖ, мл	78; (36; 136)
Ударный объем ЛЖ, мл	90,5; (72; 124)
Фракция выброса ЛЖ (Teicholz), %	57,7;

	(47,5; 69,6)
ФК АК, мм	25; (23,5; 28)
Синусы Вальсальвы, мм	51,5; (47; 59)
Восходящий отдел аорты	49,5; (46; 57)
Скорость кровотока на АК, м/с	2,3; (1,7; 2,6)
Максимальный градиент на АК, мм рт ст	16; (8; 18,5)
Средний градиент на АК, мм рт ст	9; (6; 12)

Примечание: в таблице отражена медиана, минимальное и максимальное значение параметров

Тяжесть аортальной недостаточности варьировала от умеренной у 7 пациентов (14%) до максимальной у 5 пациентов (10%). У большинства больных (76%) по данным ЭхоКГ наблюдалась тяжелая аортальная недостаточность (регургитация 3 степени). Результаты эхокардиографической оценки аортальной недостаточности представлены на рисунке 22.



Рисунок 22 - Аортальная недостаточность у пациентов до оперативного лечения

Примечание: АН – аортальная недостаточность, ЭхоКГ – трансторакальная эхокардиография

У 28 пациентов отмечалась центральная регургитация, в 22 случаях был обнаружен эксцентричный характер обратного тока крови через клапан. Наличие эксцентричной регургитации у 44% пациентов было обусловлено асимметричным расширением корня аорты, приводившим к нарушению стереометрических взаимоотношений структур корня аорты, пролабированию или ретракции створок аортального клапана, а также смещению вершин его комиссур. Эксцентричный обратный ток крови в 12 случаях был направлен в сторону передней створки митрального клапана, в 8 случаях – в сторону межжелудочковой перегородки и в 2 случаях формировался по комиссуре между правой и некоронарной створками, имея направление в сторону верхушки ЛЖ (рисунок 23).

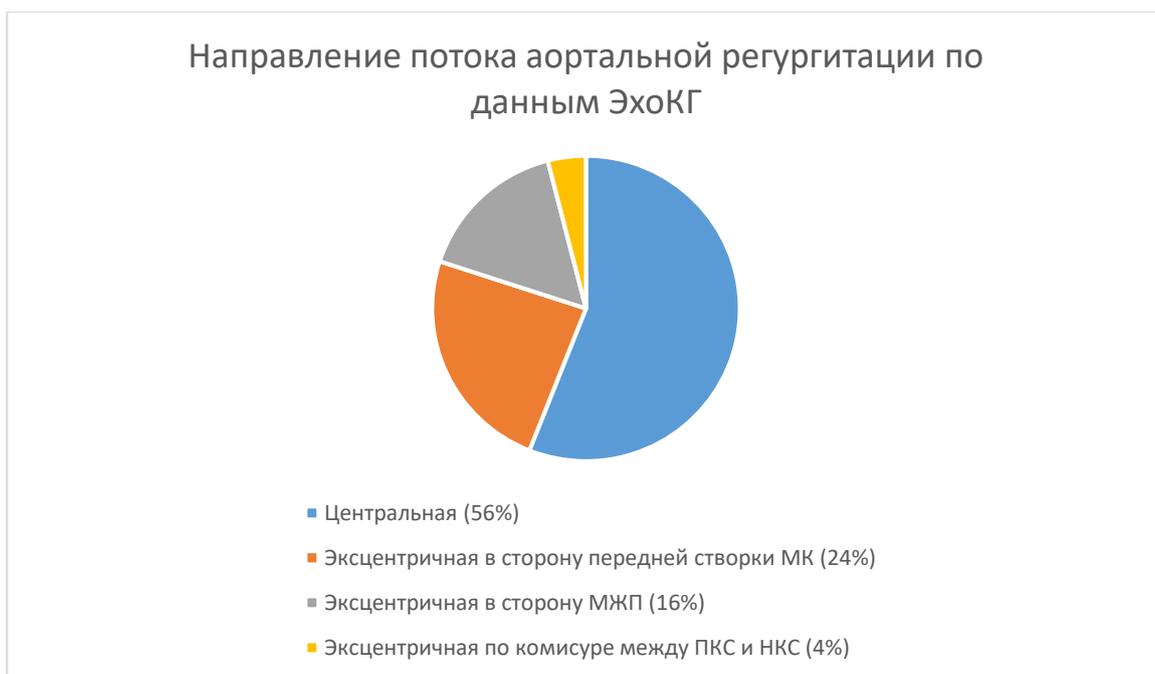


Рисунок 23 - Направление потока аортальной регургитации по данным дооперационной эхокардиографии

Примечание: МК – митральный клапан, МЖП – межжелудочковая перегородка, ПКС – правая коронарная створка аортального клапана, НКС – некоронарная створка

Таким образом, все отобранные пациенты не имели значительных различий по характеру порока аортального клапана и степени увеличения

размеров камер сердца, а также оценки его сократительной способности. Однако отмечались различия в степени выраженности аортальной недостаточности и направлении потока аортальной регургитации, обусловленные характером расширения корня аорты и изменения структур аортального клапана.

Оценка геометрических параметров корня аорты

На основании измерения построенных высокоточных трехмерных реконструкций у всех пациентов были измерены планиметрические и стереометрические дооперационные параметры клапанно-аортального комплекса. Планиметрические параметры корня аорты были представлены эффективной высотой, минимальным и максимальным значением геометрической высоты створок АК, высотами всех комиссур, а также максимальным диаметром фиброзного кольца на основных уровнях (таблица 7).

Таблица 7 - Планиметрические параметры корня аорты

Планиметрические параметры корня аорты		Значение
Эффективная высота, мм		10,8 (6,0; 18,0)
Геометрическая высота мин., мм		18,8 (10,0; 23,0)
Геометрическая высота макс., мм		21,7 (10,0; 27,0)
Высоты комиссур АК, мм	некоронарная/правая	21,8; (9,8; 25,4)
	некоронарная/левая	18,1; (7,1,0; 21,0)
	левая/правая	18,5; (7,6,0; 22,1)
Диаметр виртуального ФК АК, мм		24,6 (21,0; 29,1)
Диаметр ФК АК на уровне аорто-желудочкового соединения, мм		25,9 (21,3; 29,6)
Диаметр ФК АК на уровне вершин комиссур, мм		28,6 (24,9; 33,1)

Примечание: в таблице отражена медиана, минимальное и максимальное значение параметров

При анализе планиметрических параметров у подавляющего большинства пациентов отмечалось значительное расширение фиброзного

кольца на уровне арочных дуг (виртуальное ФК) и аорто-желудочкового соединения. Также отмечалось неравенство высот комиссур АК – у большинства исследуемых пациентов комиссура между правой и некоронарной створкой превосходила по высоте соседние комиссуры более чем на 3 мм (15%), что свидетельствует о несимметричном расширении фиброзного кольца и корня аорты. Геометрические и эффективные высоты створок аортального клапана имели достаточные значения для выполнения клапансохраняющего вмешательства.

Вычисление стереометрических параметров корня аорты включало расчет следующих значений: периметр фиброзного кольца АК, длины свободных краев каждой створки АК, площади створок АК, максимальные расстояния между центром зоны коаптации и максимально удаленными точками каждого из синусов аорты (таблица 8).

Таблица 8 - Планиметрические параметры корня аорты

Стереометрические параметры корня аорты		Значение
Длины свободных краев створок, мм	правая	27,2; (20,8; 37,6)
	левая	34,2; (25,0; 39,2)
	некоронарная	34,5; (24,3; 37,1)
Площади створок, мм ²	правая	336; (284; 439)
	левая	381; (276; 502)
	некоронарная	301; (198; 457)
Макс. расстояние от центра дуги СВ до центра зоны коаптации, мм	правый	24,7; (22,8; 29,4)
	левый	28,1; (23,2; 31,0)
	некоронарный	25,2; (23,6; 29,1)
Периметр фиброзного кольца АК, мм		182 (138; 231)

Примечание: в таблице отражена медиана, минимальное и максимальное значение параметров

При анализе полученных данных, в ряде случаев обратило на себя внимание неравномерное увеличение площади левой коронарной створки (ЛКС) в сравнении с соседними створками. Среднее и минимальное значение

ее площади составляло 381 мм² и 276 мм², соответственно. Эти значения были на 10-27% больше аналогичных параметров правой (ПКС) и некоронарной (НКС) створок. Похожая картина наблюдалась при сравнении расстояний между центром зоны коаптации и максимально удаленными от него точками синусов Вальсальвы. Максимальное и среднее значение этого параметра для левого коронарного синуса составило 28,2 мм и 31,0 мм соответственно, что также превосходило аналогичные параметры соседних синусов Вальсальвы на 15-22%. С другой стороны, среди исследуемых отмечалась относительно небольшая средняя длина свободного края правой коронарной створки, составившая лишь 27,2 мм. У отдельных пациентов это значение составило лишь чуть более 20 мм, что оказалось практически вдвое меньше длин свободных краев ЛКС или НКС.

Полученные данные свидетельствовали о несимметричном расширении корня аорты у ряда пациентов. Это приводило к грубому нарушению пропорциональных соотношений элементов клапанно-аортального комплекса и, как следствие, возникновению эксцентричной аортальной регургитации. У всех пациентов производился расчет доли площади каждой из створок АК в общей площади клапана (рисунок 24). Среднее значение доли площади ЛКС в общей площади аортального клапана у исследуемых больных составило 41%, ПКС – 31%, НКС – 28%.



Рисунок 24 - Соотношение площадей створок аортального клапана у исследуемых пациентов

Однако, при дальнейшем анализе данных отдельных пациентов было обнаружено, что у шести больных доля ЛКС в общей площади клапана составляла от 51% до 61%, при этом площадь НКС и ПКС была соответственно в 1,5-2 раза меньше. У двух больных площадь ПКС составила 53% и 57% от общей площади АК, соответственно. Один пациент имел НКС площадью 457 мм², что составило 65% от общей площади всех створок АК. Соотношения площадей синусов аорты и расстояний между ними и центром зоны коаптации имели у этих пациентов схожие пропорции. Таким образом, выраженная асимметрия аневризматически расширенного корня аорты у этой группы пациентов не вызывала сомнений.

При сопоставлении данных эхокардиографии и высокоточных трехмерных реконструкций было обнаружено, что все пациенты с нарушением пропорциональных соотношений структур корня аорты имели эксцентричный характер аортальной регургитации. Направление потоков регургитации у данных пациентов соответствовало характеру асимметрии корня аорты. В пяти случаях поток регургитации был направлен в стороны передней створки МК, в двух – в сторону МЖП и еще у двух пациентов располагался в области комиссур между створками АК и был направлен в сторону верхушки ЛЖ.

4.2 Интраоперационный и ранний послеоперационный периоды

Во время операции признаков инфекционного эндокардита не было обнаружено ни у одного пациента. Всем больным интраоперационно выполнялась ЧП ЭХОКГ. Данные ЧП ЭХОКГ преимущественно совпадали с данными, полученными на дооперационном этапе с помощью ТТ ЭХОКГ. У части больных по данным чреспищеводной ЭХОКГ отмечалась умеренная/выраженная митральная и/или трикуспидальная недостаточность, потребовавшая выполнения пластики клапанов (таблица 9). Реконструкция дуги по типу «Hemiarch repair» была осуществлена у 5 больных. Кроме того, 7 больным, в связи с имеющимся гемодинамически значимым стенозированием коронарных артерий, было выполнено АКШ.

Таблица 9 - Сопутствующие оперативные вмешательства

Операция	Количество
АКШ	7
Пластика МК по R. Batista	6
Пластика ТК по R. Batista	2
Реконструкция дуги по типу «Hemiarch»	5

Примечание: АКШ – аорто-коронарное шунтирование, МК – митральный клапан, ТК – трикуспидальный клапан

Длительность аноксии и ЭЖК была ожидаемо выше у больных, потребовавших выполнения двух и более процедур за счет большего объема оперативного вмешательства, а также необходимости выделения правой подмышечной артерии и периферического подключения АИК у 5 больных. Интраоперационная летальность составила 0%.

После отключения АИК выполнялась повторная ЧП ЭХОКГ с целью оценки функции сохраненного аортального клапана. Значимой регургитации на реимплантированном в протез аортальном клапане, потребовавшей повторного подключения и ревизии АК, не было выявлено ни у одного из больных.

Таблица 10 - Показатели интраоперационного периода

Параметр	Значение
Продолжительность операции (мин)	189 (168; 291)
Продолжительность ЭКК (мин)	121 (95; 169)
Время аноксии (мин)	64 (44; 118)
Гемоглобин до перфузии (г/л)	143 (132; 151)
Гематокрит до перфузии	0,46 (0,44; 0,47)
Гемоглобин после перфузии (г/л)	118; (102; 127)
Гематокрит после перфузии	0,38; (0,32; 0,44)

Примечание: в таблице отражена медиана, минимальное и максимальное значение параметров

Для протезирования корня и восходящего отдела аорты использовались сосудистые протезы диаметром 28 и 30 мм производителей Vascutek, а также протезы с аналогами синусов Вальсальвы Gelweave Valsalva 28 и 30 мм. Протезы Gelweave Valsalva были использованы в 47 случаях, из них в 8 случаях использовались протезы диаметром 28 мм и в 39 случаях – протезы диаметром 30 мм. Линейные протезы Vascutek были имплантированы трем больным, из них двум – диаметром 28 мм и одному пациенту – диаметром 30 мм.

После операции все больные переводились в отделение реанимации. Осложнениями в раннем послеоперационном периоде были сердечно-сосудистая недостаточность, потребовавшая проведения внутривенной инфузии катехоламинов; нарушения ритма сердца (ФП) и транзиторная АВ-блокада. Основные осложнения в раннем послеоперационном периоде представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Госпитальные осложнения в раннем послеоперационном периоде

Госпитальные осложнения		Всего (%)
Рестернотомия по поводу кровотечения, n (%)		1 (2)
Нарушения ритма и проводимости:	Впервые возникшие пароксизмы ФП-ТП, n (%)	12 (24)
	Наджелудочковая тахикардия, n (%)	1 (2)
	Транзиторная АВ блокада, n (%)	10 (20)
Инфекционные осложнения:	Нарушение заживления послеоперационной раны, n (%)	-
	Нозокомиальная пневмония, n (%)	3 (6)
	Инфекция кровотока, n (%)	-
ОИМ, n (%)		1(2)
Постперикадиотомный синдром, n (%)		8 (16)
Гидроторакс, n (%)		1 (2)
Цереброваскулярные нарушения, n (%)		-
Госпитальная летальность, n (%)		0 (0)

Примечание: ФП – фибрилляция предсердий, ТП – трепетание предсердий,
ОИМ – острый инфаркт миокарда

Нарушения ритма по типу впервые возникших пароксизмов ФП-ТП были отмечены в 24% случаев. Вероятнее всего, это связано с достоверно большим размером ЛП у этих больных, что, в свою очередь, являлось следствием длительно существовавшего аортального порока. Синусовый ритм был восстановлен у 11 пациентов на фоне внутривенной инфузии кордарона и лишь у одного больного потребовалось проведение электроимпульсной терапии с положительным эффектом.

АВ-блокада после операции возникла у 20% больных и носила транзиторный характер. Восстановление проводимости до 6 суток включительно было отмечено в 100% случаев. У одного пациента был зарегистрирован приступ частой желудочковой экстрасистолии (по типу бигимении), купированный самостоятельно.

Инфекционные осложнения, такие как нарушение заживления мягких тканей послеоперационной раны, нестабильность грудины, признаки медиастинита не наблюдали ни в одном случае. Нозокомиальная пневмония была диагностирована у 3 пациентов на 4, 7 и 10-е сутки после операции, соответственно. На фоне проводимой антибактериальной терапии была отмечена реконвалесценция всех больных.

У одного пациента на первые сутки после операции была диагностирована картина острого инфаркта миокарда (ОИМ) нижней стенки ЛЖ. Лабораторно отмечалось повышение тропонина I до 25,3 нг/мл с соответствующей ЭКГ картиной, явлениями сердечно-сосудистой недостаточности, длительным обеспечением инотропной поддержки с положительной динамикой. По данным контрольной коронарографии данных за деформацию устьев коронарных артерий и нарушение коронарного кровотока получено не было. Вероятнее всего, повреждение миокарда произошло в ходе операции и было связано с дефектом интраоперационной защиты миокарда. На 10 сутки после операции пациент был переведен в кардиохирургическое отделение.

Постперикадиотомный синдром (ППТС) был диагностирован в 16% случаев. Частота развития ППТС вероятнее всего связана с объемом оперативного вмешательства, а также со временем искусственного кровообращения. В основном явления ППТС регрессировали на фоне назначения нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВС), однако 1 (2%) пациенту, в связи с неэффективностью НПВС, были назначены глюкокортикостероиды (преднизолон) с положительным эффектом.

Средняя продолжительность пребывания больных в отделении реанимации и интенсивной терапии после операции составила 22,5 часов. Длительность нахождения пациентов на ИВЛ в среднем 12,5 часов (таблица 12).

Таблица 12 - Характеристика раннего послеоперационного периода

Показатель	Значение
Продолжительность ИВЛ (часы)	12,5; (9; 18)
Длительность пребывания в ОАиР (часы)	22,5; (20; 24)
Удаление дренажей позднее 5х суток, n (%)	4 (8)
Длительность инотропной поддержки более 24 часов, n (%)	3 (6)

Примечание: ИВЛ – искусственная вентиляция легких, ОАиР- отделение анестезиологии и реанимации. В таблице отражена медиана, минимальное и максимальное значение параметров

Перед переводом пациентов в кардиологическое отделение всем пациентам на 6-7 сутки после оперативного вмешательства проводилась трансторакальная ЭХОКГ (таблица 13).

Таблица 13 - Данные контрольной эхокардиографии на 6-7 сутки после операции

Показатель	Значение
Правый желудочек, мм	25 (23; 28)
Межжелудочковая перегородка, мм	12 (8; 16)
Задняя стенка, мм	11 (9; 13)
Левое предсердие, мм	44 (41; 49)
КДР ЛЖ	55 (50; 61)
КСР ЛЖ	39 (29; 48)
КДО ЛЖ, мл	169 (111; 215)

КСО ЛЖ, мл	72; (33; 127)
Ударный объем ЛЖ, мл	94,5; (76; 139)
Фракция выброса ЛЖ (Teicholz), %	59,8; (49,5; 71,3)

Примечание: в таблице отражена медиана, минимальное и максимальное значение параметров

После выполнения оперативной коррекции ни у одного из пациентов не наблюдалось рецидивирующей аортальной недостаточности в раннем послеоперационном периоде. Обращает внимание тенденция к уменьшению конечно-диастолического и конечно-систолического объемов у большинства пациентов, а также незначительное увеличение сократительной способности миокарда (фракции выброса). Госпитальная летальность составила 0%.

4.3. Отдаленный послеоперационный период

Летальность в отдаленном периоде составила 0%. У двух пациентов в отдаленном периоде отмечалась полная атриовентрикулярная блокада, потребовавшая имплантации постоянного ЭКС. В одном случае был диагностирован рецидив митральной недостаточности после выполненной пластики митрального клапана по R. Batista. Пациент оперирован повторно, выполнено протезирование митрального клапана механическим протезом. Послеоперационный период протекал без особенностей. Два пациента перенесли острый инфаркт миокарда через 10 и 15 месяцев после операции, соответственно. Причиной перенесенных ОИМ в обоих случаях явилось прогрессирование ИБС, атеросклероза коронарных артерий в отдаленном периоде. Структура осложнений в отдаленном периоде приведена в таблице 14.

Таблица 14 - Основные осложнения в отдаленном послеоперационном периоде

Осложнения	Всего (n=50)
АВ блокада 3 степени, n (%)	2(4)
Митральная недостаточность 3 степени, n (%)	1(2)
ОИМ, n (%)	2(4)
ОНМК, n (%)	0 (0)
Летальность, n (%)	0 (0)

Примечание: ОИМ – острый инфаркт миокарда, ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения

По данным гистологического исследования операционного материала, синусы аорты в 30% имели неизмененную гистоархитектонику. При этом синдромы дисплазии соединительной ткани в ней встречались чаще – в 38% случаев, и очень редко отмечались атеросклеротические изменения и дисконкомплексация мышечных волокон (таблица 15).

Таблица 15 - Результаты гистологического исследования корня аорты

Микроскопическая характеристика	Пациенты (n=50)
Нормальная гистоархитектоника аорты, n (%)	15 (30)
Кистозный медианекроз, n (%)	13 (26)
Атеросклероз, n (%)	3 (6)
Синдромы соединительнотканной дисплазии, n (%)	19 (38)

Кистозный медианекроз был обнаружен в 27% случаев. Патологические изменения больше всего захватывали медиальный слой. Нарушение гистоархитектоники медики заключалось в изменении слоистости за счет разрушения эластических волокон и возникновения кист различного размера

с гомогенной субстанцией внутри. Выявлялись очаги некроза и бесклеточного фиброза, с нарушением ориентации гладкомышечных клеток (располагались хаотично или перпендикулярно) между разрозненными эластическими волокнами. Также отмечалось истончение стенок и резкое расширение сосудов меди. Следует отметить, что в случаях сопутствующего атеросклероза аорты дифференциальная диагностика была затруднена. Помимо проявления кистозного медианекроза, имело место утолщение интимы с внеклеточным аккумулярованием липидов с массивной клеточной инфильтрацией лимфоцитами, пенистыми клетками, а также пролиферацией ГМК и фиброзированием интимы.

4.4. Клиническая и эхокардиографическая оценка аортальной недостаточности в отдаленном периоде

В отдаленном послеоперационном периоде было обследовано 50 пациентов. Контрольная трансторакальная ЭхоКГ была выполнена у них в сроки от 12 до 18 месяцев после операции (таблица 16).

Таблица 16 - Показатели трансторакальной эхокардиографии в отдаленном послеоперационном периоде

Показатель	Значение
ПЖ, мм	31,5 (26,0; 35,5)
МЖП, мм	11,5; (9; 14)
ЗС, мм	9,5; (7,5; 11)
ЛП, мм	44 (41; 48)
КДР, мм	50 (48; 53)
КСР, мм	32 (30; 37)
КДО, мм	135 (115; 145)
КСО, мм	50 (35; 53)
УО, мл	98 (78; 109)
ФВ (Teicholz), %	60,8

	(59,4; 68,7)
ФВ (Simpson), %	60 (56; 65)

Примечание: в таблице отражена медиана, минимальное и максимальное значение параметров

Скоростные показатели, а также градиенты давлений на реимплантированных клапанах находились в пределах нормы и значимо не отличались между собой. Итоговая степень аортальной недостаточности в отдаленном периоде оценивалась по сумме данных: фракции и объема регургитации, ширины Vena contracta, а также площади потока регургитации. Кроме того, оценивалось увеличение размеров левого желудочка, как косвенный признак длительно существующей АН. По результатам контрольной трансторакальной ЭхоКГ все показатели детальной оценки аортального клапана значительно варьировали у разных пациентов – от полного отсутствия данных за аортальную недостаточность до умеренной рецидивирующей АН (таблица 17).

Таблица 17 - Показатели детальной эхокардиографической оценки функции аортального клапана в отдаленном послеоперационном периоде

Показатель	Значение
Vena contracta, мм	2,4 (0,0; 6,0)
Rvol AP по PISA,мл	11,9; (0; 54)
Rvol AP по уравнению непрерывности потока MV SV-LVOT SV,мл	7,6; (0,0; 31)
EROA AP по PISA,см ²	0,076 (0,0; 0,5)
Фракция Регургитации по УНП,%	7,8 (0,0; 53)

Примечание: Rvol – объем регургитации, AP – аортальная регургитация, EROA – площадь потока регургитации, УНП – уравнение непрерывности потока. В таблице отражена медиана, минимальное и максимальное значение параметров

Итоговая степень аортальной недостаточности колебалась в широком диапазоне: у 14 (28%) пациентов отмечалась незначительная АН (до 1

степени); у 9 (18%) больных отмечалась умеренная АН (до 2 степени); у 27 (54%) больных АН отсутствовала. Ни у одного больного аортальная недостаточность по сумме данных не превышала вторую степень (рисунок 25).



Рисунок 25 - Аортальная недостаточность у пациентов в отдаленном периоде

Прогрессирование аортальной недостаточности по данным контрольного исследования наблюдалось у 12 (24%) пациентов. Во всех случаях прогрессирования АН имел место рецидив АН не более чем на одну степень – в 9 случаях АН рецидивировала от незначительной до умеренной и в 3 случаях – от отсутствия АН до незначительной АР. В отдаленном периоде отмечался регресс гипертрофии ЛЖ у 46 (92%) больных. Происходит нормализация показателей размеров и объема ЛЖ, таких как конечно-систолического и конечно-диастолического размеров ЛЖ, а также конечно-диастолического и конечно-систолического объемов ЛЖ.

Оценка проявлений хронической сердечной недостаточности (ХСН) в отдаленном периоде проводилось в ходе расспроса и физикального исследования в ходе визита пациентов в клинику НМИЦ им. В.А. Алмазова. Степень ХСН оценивалась по классификации New York Heart Association (NYHA). По результатам обследования 34 пациента (68%) не имели клинических проявлений ХСН, 10 пациентов (20%) имели проявления ХСН на уровне первого и 6 (12%) – на уровне второго функционального класса (ф.кл.).

Прогрессирование явлений ХСН в сравнении с ранним послеоперационным периодом было диагностировано у пяти (10%) пациентов (рисунок 26).

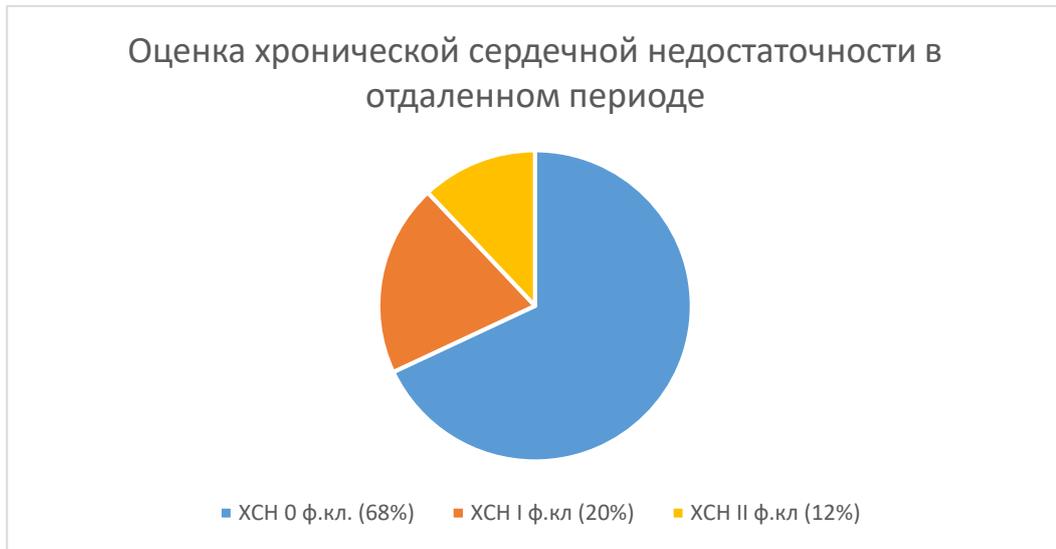


Рисунок 26 - Оценка хронической сердечной недостаточности в отдаленном периоде

4.5 Оценка зависимости прогрессирования аортальной недостаточности в отдаленном периоде от анатомических, клинических и гистологических факторов.

Для оценки зависимости прогрессирования аортальной недостаточности в отдаленном послеоперационном периоде от различных факторов был использован метод логистической регрессии. В качестве факторов, оказывающих влияние на прогрессирование АН были отобраны все анатомические параметры корня аорты, вычисленные на основании анализа трехмерных реконструкций, а также клинические и гистологические параметры, перечисленные в главе 2.

Используя данные факторы была разработана прогностическая модель:

$$P = 1/(1+e^{-z}), (1).$$

где P – прогностический уровень риска возникновения рецидива АН;

e – основание натуральных логарифмов, $e = 2,72$;

z – коэффициент регрессии.

$$Z = -0,2 * L_{\text{лкс}} - 0.16 * R_{\text{нкс}} + 0.17 * D_{\text{лкс}} + 0.27 C_{\text{тс}}, (2)$$

где $L_{\text{лкс}}$ – длина свободного края правой коронарной створки,

$R_{\text{нкс}}$ – доля площади некоронарной створки в общей площади аортального клапана,

$D_{\text{лкс}}$ – расстояние от центра дуги левого коронарного синуса Вальсальвы до центра зоны коаптации,

$C_{\text{тс}}$ – диаметр аорты на уровне синутубулярного соединения.

Коэффициент детерминации R^2 составил = 0.87 ($p < 0.01$), что говорит о высокой корреляции выбранных факторов и итоговой переменной. Все коэффициенты в модели статистически значимы (таблица 18).

Модель может быть интерпретирована следующим образом: расширение синотубулярной зоны и области вершин комиссур аортального клапана, а также асимметричный характер расширения корня аорты, приводивший, с одной стороны, к увеличению размеров левого коронарного синуса и левой коронарной створки аортального клапана, а с другой – к относительному уменьшению площадей и длин свободных краев правой и некоронарной створок в сравнении с общей площадью аортального клапана – сопровождалось увеличением риска возникновения аортальной недостаточности в отдаленном периоде после клапансохраняющего протезирования аорты.

Чувствительность разработанной модели составила 100% (11 верно предсказанных случаев прогрессирования АН из 11 фактических),

специфичность – 91,3% (21 верно предсказанный случай отсутствия прогрессирования АН из 23 фактических).

Разделяющее значение логистической функции Р составило 0,5. При значениях вероятности Р менее 0,5 прогнозировался низкий риск развития АН. При значениях Р более 0,5 риск рецидива АН оценивался как высокий.

Таблица 18 - Оценка показателей статистической значимости факторов в составе полученной прогностической модели

Фактор	Р-значение
Длина свободного края правой коронарной створки	0.01
Доля площади некоронарной створки в общей площади АК	0.009
Расстояние от центра дуги синуса Вальсальвы до свободного края левой коронарной створки,	0.025
Диаметр аорты на уровне СТС	0.012

4.6 Оценка зависимости прогрессирования хронической сердечной недостаточности в отдаленном периоде от анатомических, клинических и гистологических факторов.

Для оценки зависимости вероятности прогрессирования ХСН в отдаленном послеоперационном периоде также был использован метод логистической регрессии. В качестве факторов, оказывающих влияние на прогрессирование ХСН, были использованы те же факторы, которые использовались для расчета зависимости прогрессирования АН.

Используя данные факторы была разработана прогностическая модель:

$$P = 1/(1+e^{-z}), (3)$$

где P – прогностический уровень риска прогрессирования ХСН;

e – основание натуральных логарифмов, e = 2,72;

z – коэффициент регрессии.

$$Z = 0,01*КДР + 0.8*ФВ(S) + 0.04*Ллкс - 0.22*Днкс + 0.04*СрДАД, (4)$$

Где КДР – конечно-диастолический размер ЛЖ,

ФВ(S) – фракция выброса левого желудочка по Simpson,

Ллкс – длина свободного края левой коронарной створки,

Длкс – расстояние от центра дуги некоронарного синуса Вальсальвы до центра зоны коаптации,

СрДАД – среднее «рабочее» диастолическое артериальное давление в послеоперационном периоде.

Коэффициент детерминации R² составил 0.853 (p < 0.01), что говорит о высокой корреляции выбранных факторов и итоговой переменной. Все коэффициенты в модели статистически значимы (таблица 19).

Модель может быть интерпретирована следующим образом. Наибольшее влияние на увеличение риска прогрессирования ХСН в отдаленном периоде оказывало снижение сократительной способности (глобальной фракции выброса ЛЖ). Значимое влияние также оказывал повышенный уровень диастолического артериального давления и увеличение размеров (КДР) ЛЖ. Геометрические параметры корня аорты также играли важную роль в прогрессировании ХСН – увеличение длины свободного края левой коронарной створки и относительное уменьшение размеров правого

синуса Вальсальвы приводило к риску прогрессирования ХСН за счет возникновения рецидивирующей аортальной недостаточности.

Чувствительность разработанной модели составила 80% (4 верно предсказанных случаев прогрессирования АН из 5 фактических), специфичность – 100% (25 верно предсказанных случаев отсутствия прогрессирования АН из 25 фактических).

Разделяющее значение логистической функции Р составило 0,4. При значениях вероятности Р менее 0,4 прогнозировался низкий риск развития АН. При значениях Р более 0,4 риск рецидива АН оценивался как высокий.

Таблица 19 - Оценка показателей статистической значимости факторов в составе полученной прогностической модели

Фактор	Р-значение
Конечно-диастолический размер ЛЖ,	0.013
Фракция выброса левого желудочка по Simpson	0.0007
Длина свободного края левой коронарной створки	0.009
Расстояние от левого коронарного синуса Вальсальвы до центра зоны коаптации	0.021
Среднее «рабочее» диастолическое артериальное давление	0.003

ГЛАВА 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Все 50 пациентов, включенные в исследование, значимо не отличались между собой ни по характеру основной патологии, ни по тяжести ее осложнений. По встречаемости сопутствующей патологии значимые различия также отсутствовали.

В 86% случаев у пациентов помимо аневризмы корня аорты была диагностирована тяжелая аортальная недостаточность, и в 14% случаев – умеренная аортальная недостаточность. Случаев аортального стеноза и сочетанных пороков аортального клапана выявлено не было.

В 12% случаев отмечались комбинированные митрально-аортальные пороки (АН+МН) и в 4% случаев – аортально-трикуспидальные пороки (АН+ТН). Во всех случаях комбинированных клапанных пороков была выполнена оперативная коррекция недостаточности обоих клапанов сердца. В 10% случаев аневризма восходящего отдела аорты распространялась на дугу, что потребовало выполнения протезирования восходящей аорты по типу “hemiarch”. У части пациентов (14%) дополнительно выполнялось АКШ. Продолжительность операции, время пережатия аорты и длительность искусственного кровообращения ожидаемо были выше у больных, перенесших вышеуказанные вмешательства.

В отдаленном (среднесрочном) периоде у большинства пациентов отсутствовали серьезные осложнения, способные значимо повлиять на качество жизни: отмечались лишь единичные случаи полной предсердно-желудочковой блокады (4%), рецидивирующей митральной недостаточности (2%) и острых инфарктов миокарда (4%). Летальность в отдаленном периоде составила 0%. Тем не менее, по данным контрольной эхокардиографической оценки, у 12 пациентов (24%) наблюдалось прогрессирование аортальной недостаточности на реимплантированном клапане, при этом у 9 пациентов (18%) аортальная недостаточность достигала 1-2 степени. Данные результаты в целом согласуются с результатами исследования группы под руководством

Т.Е. David [8], в котором были представлены результаты 20-летнего наблюдения двухсот пациентов, перенесших подобные вмешательства. Интересно отметить, что в тех случаях, когда отмечалось прогрессирование аортальной недостаточности после клапансохраняющей операции, оно происходило преимущественно в течение 6-12 месяцев после операции, и в дальнейшем клапанная недостаточность прогрессировала значительно медленнее. Данный факт позволяет сделать вывод о том, что выбранный нами период наблюдения (от 1 до 1,5 лет после операции) является наиболее значимым с точки зрения оценки послеоперационных изменений структуры и функции реимплантированного клапана. Также важно отметить, что в нашем исследовании не было обнаружено ни одного случая аортальной недостаточности более 2 степени, что также согласуется с результатами автора методики операции David I (не более 2% случаев тяжелой АН за 20-летний период наблюдения). Кроме того, как в нашем, так и в цитируемом исследовании отмечается небольшое количество случаев (10%) прогрессирования клинических проявлений сердечной недостаточности, несмотря на наличие эхокардиографических данных за увеличение степени аортальной регургитации у значительно большего числа больных. Вероятно, это различие связано с не более чем умеренной АН у всех наблюдаемых больных, а также с корректным и своевременным подбором медикаментозной терапии сердечной недостаточности. Таким образом, результаты нашего наблюдения и данные литературы позволяют сделать вывод о хороших отдаленных результатах клапансохраняющего протезирования корня аорты по методке David I [8, 60, 99, 112].

В рамках выполнения исследования был создан метод построения трехмерной реконструкции корня аорты высокого разрешения, с возможностью выполнения измерений всех его структур с максимальной точностью. Это позволяет оптимизировать кардиохирургическую тактику на дооперационном этапе, безошибочно осуществить выбор диаметра

клапанного протеза при протезировании АК (в том числе при выполнении TAVI/ TAVR), или протеза аорты для реимплантации нативного аортального клапана (операция David). Также возможно прогнозирование отдаленных результатов клапансохраняющих операций на основании анализа асимметрии корня аорты по данным измерений созданных реконструкций. Достигнутый результат возможен за счет того, что в способе построения трехмерной реконструкции используется последовательная ручная и автоматизированная обработка файлов МСКТ-ангиографии аорты пациента (формат DICOM) в двух средах автоматизированного проектирования: In Vesalius v 3.1.1 (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI)) и 3-Matic v. 13.0 (Materialise, Leuven, Belgium). У каждой из сред автоматизированного проектирования имеются свои уникальные свойства и преимущества в выполнении отдельных этапов построения трехмерной реконструкции. Использование двух программ в строго определенной последовательности и выделение конкретных задач для каждой среды автоматизированного проектирования позволяет использовать преимущества всех программ и получить высокоточную реконструкцию с максимальной детализацией структур корня аорты.

В настоящее время известно небольшое количество аналогов данной методики, ни одна из которых не имеет широкого клинического применения. Существуют способы графической трехмерной реконструкции восходящей аорты с помощью стандартных алгоритмов программного обеспечения компьютерных томографов [Somatom Definition, “Siemens” – 128 slices], однако последние служат лишь для приблизительной оценки диаметра аорты; детальная оценка аортального клапана и корня аорты при них невозможна.

Известен способ [123], при котором производится построение трехмерной реконструкции створок аортального клапана в среде автоматизированного проектирования. Данный способ построения модели створок аортального клапана позволяет эффективно обработать данные МРТ и стандартной МСКТ-ангиографии с помощью специализированного

программного обеспечения и построить трехмерную реконструкцию отдельных структур сердца и восходящей аорты. Однако недостатками этого способа являются, с одной стороны, отсутствие возможности точного отображения и измерения всех структур восходящей аорты – построение реконструкции производится с помощью единственной специализированной программы Materialise 3-matic, не дающей возможности детализировать деликатные структуры корня аорты, например створки аортального клапана. Кроме того, отсутствие режима ручной обработки построенных реконструкций не позволяет удалить артефакты первичной МСКТ-ангиографии. Также отсутствует возможность распознавания на реконструкциях грубых патологических изменений структур корня аорты, например очагов фиброза и кальциноза створок аортального клапана, его фиброзного кольца и синусов корня аорты.

Известен также альтернативный способ построения графических реконструкций фиброзного кольца аортального клапана [16], при котором используются стандартные алгоритмы программного обеспечения четырехмерных современных компьютерных томографов с последующей минимальной обработкой в ручном режиме. Данный способ обеспечивает в большинстве случаев адекватную детальную визуализацию и измерение всех возможных параметров фиброзного кольца аортального клапана. Однако, к недостаткам данного способа можно отнести, во-первых, невозможность визуального воспроизведения всех остальных структур корня аорты, включая синусы, синотубулярную зону, устья коронарных артерий и створки клапана. Во-вторых, использование этого метода возможно только при наличии четырехмерного компьютерного томографа, а большинство клиник кардиологического и кардиохирургического профиля в мире используют для МСКТ-ангиографии аорты стандартные 3D - томографы. Из известных аналогов наиболее близок к нашей методике способ, предложенный исследовательской группой под руководством Kim DH [119], при котором

выполняют построение трехмерной реконструкции корня аорты путем обработки данных МСКТ-ангиографии в среде автоматизированного проектирования Omni4D.

В отличие от всех известных аналогов, использование в нашем способе сочетанного последовательного применения двух сред автоматизированного проектирования для обработки данных МСКТ восходящей аорты позволило создать значительно более точные и детальные трехмерные реконструкции данной зоны, а также выделять из целостной модели отдельные структуры (например, каждую створку аортального клапана, фиброзное кольцо и синусы аорты). Метод позволяет измерять линейные и объемные параметры всех вышеуказанных структур (например, длины свободных краев створок АК, высоты комиссур АК, площади створок и синусов аорты) с точностью, значительно превышающей таковую у стандартных компьютерных томограмм, а также не требует использования дорогостоящих методов диагностики, таких как четырехмерная МСКТ-ангиография. Кроме того, ряд измерений, производимых с помощью данного метода, невозможны при использовании стандартных аналогов и прототипа (например, измерение площадей синусов аорты и створок АК, периметра фиброзного кольца АК). Все перечисленное обеспечивает получение ценных данных о геометрии корня аорты, позволяющих определить хирургическую тактику на дооперационном этапе, безошибочно осуществить выбор диаметра протеза восходящей аорты или аортального клапана, а также прогнозировать отдаленные результаты клапансохраняющих операций.

Анализ влияния различных анатомических и клинических факторов на прогрессирование аортальной недостаточности показал, что ведущую роль в прогрессировании АН после операции сыграло асимметричное расширение корня аорты при формировании аневризмы, до этапа оперативного лечения. У шести больных доля левой коронарной створки (ЛКС) в общей площади клапана составляла от 51% до 61%, при этом площадь НКС и ПКС была

соответственно в 1,5-2 раза меньше. У двух больных наблюдалась схожая диспропорция с относительным увеличением правой коронарной створки и у одного – некоронарной створки. Соотношения площадей синусов аорты и расстояний между ними и центром зоны коаптации имели у этих пациентов схожие значения. При сопоставлении данных контрольной эхокардиографии в отдаленном периоде было обнаружено, что все пациенты с асимметричным расширением корня аорты имели рецидивы умеренной аортальной недостаточности после операции. Таким образом, попытка реимплантировать неравномерно расширенный клапанно-аортальный комплекс в симметричный протез восходящей аорты, очевидно, имеет большие риски развития рецидива АН в отдаленном периоде. Данное положение согласуется с работами ряда зарубежных авторов, исследовавших отдаленные результаты операции David I [98, 104, 111]. В нашем исследовании асимметричный характер расширения корня аорты имел вид увеличенного левого коронарного синуса и левой коронарной створки аортального клапана при относительном уменьшении площадей и длин свободных краев правой и некоронарной створок в сравнении с общей площадью аортального клапана. В работах указанных авторов причиной прогрессирования аортальной недостаточности также служили неравномерно увеличенные створки и синусы аортального клапана, а также обусловленное этим изменение расстояний между комиссурами аортального клапана. Значительное уменьшение площади одной или нескольких створок аортального клапана в сравнении с соседней створкой также было названо предиктором рецидива аортальной недостаточности.

Еще одним предиктором рецидивирующей АН по результатам нашего исследования является значительное увеличение диаметра аорты на уровне синутубулярного соединения, что приводит к увеличению расстояния между вершинами комиссур аортального клапана, вызывает избыточное натяжение и нарушение коаптации свободных краев створок клапана. После реимплантации клапана в протез нарушение данных геометрических

взаимоотношений устраняется, однако, вероятно, изменения створок вследствие длительно существовавшего натяжения их свободных краев приводят к рецидиву аортальной недостаточности в отдаленном периоде. Данное предположение подтверждается работами группы под руководством G. Marom [95, 97]. На основании исследования оперированных пациентов данный коллектив также пришел к выводу о том, что расширение уровня синутубулярной зоны, особенно более выраженное чем расширение синусов Вальсальвы, может вызывать как возникновение тяжелой аортальной недостаточности у неоперированных пациентов, так и ее рецидив после клапансохраняющей операции. Ikonomidis JS и соавторы [133] высказывали предположения о том, что использование пликации створок аортального клапана, а также отказ от применения протезов аорты с аналогами синусов Вальсальвы в таких случаях может обеспечить более длительное отсутствие прогрессирования аортальной регургитации. Данное утверждение пока не нашло подтверждения ни в нашем исследовании, ни в результатах работ других авторов.

Значимое влияние на прогрессирование хронической сердечной недостаточности, по данным проведенного многофакторного анализа, оказало снижение сократительной способности ЛЖ, увеличение его конечно-диастолического размера, а также высокий уровень диастолического артериального давления в отдаленном периоде наблюдения. Геометрические параметры клапанно-аортального комплекса также являлись значимыми предикторами прогрессирования ХСН. Как и в случае с аортальной недостаточностью, больший риск имели пациенты с асимметричным расширением левых отделов корня аорты и относительным уменьшением размеров некоронарного синуса Вальсальвы. Прогрессирование сердечной недостаточности было зафиксировано лишь у 5 (10%) пациентов. Полученные данные свидетельствуют о том, что рецидивирующая умеренная аортальная недостаточность приводит к значимому снижению сократительной

способности миокарда и клиническим проявлениям прогрессирующей ХСН менее чем в 40% случаев. Совершенно обоснованным представляется то, что асимметрия реимплантированного аортального клапана приводит к возникновению эксцентричной аортальной регургитации, которая, в свою очередь, способствует снижению сократительной способности миокарда, увеличению размеров сердца и прогрессированию проявлений ХСН. К счастью, такой сценарий встречался у наших пациентов нечасто. Дополнительным фактором, способствовавшим прогрессированию ХСН, являлся высокий средний уровень системного диастолического артериального давления. Повышенные гемодинамические нагрузки на реимплантированный аортальный клапан в диастолу способствуют нарушению его функции, особенно если диастолическое АД остается повышенным в течение длительного времени. В связи с этим, медикаментозный контроль уровня артериальной гипертензии представляется важнейшим аспектом ведения больных в отдаленном периоде после клапансохраняющей операции [134].

Расчет диаметра протеза корня аорты выполнялся с помощью описанной методики высокоточных трехмерных реконструкций, а также путем прямого измерения фиброзного кольца АК в ходе операции. В подавляющем большинстве случаев (94%) мы использовали протезы с аналогами синусов Вальсальвы (Gelweave Valsalva graft) диаметром 28 или 30 мм. В 48 случаях из 50 (96%) выбор диаметра протеза по данным обоих методов оценки совпадал. В двух случаях, по данным измерения трехмерной реконструкции предпочтительнее была имплантация протеза диаметром 28 мм, однако учитывая интраоперационные данные, было принято решение об имплантации протеза диаметром 30 мм. В отдаленном периоде у обоих пациентов отмечалась рецидивирующая аортальная регургитация, прогрессирующая от отсутствующей АН в раннем послеоперационном периоде до незначительной АН в отдаленном. Вероятно, преимущество измерения диаметра фиброзного кольца и корня аорты с помощью высокоточной реконструкции заключается в

возможности измерения структур в ходе сердечного цикла. Это позволяет более точно оценить их размеры и конфигурацию, особенно при нарушении симметрии клапанно-аортального комплекса.

Таким образом, операции клапансохраняющего протезирования корня и восходящего отдела аорты по методике David I имеют хорошие непосредственные и среднесрочные отдаленные результаты. Рецидивы умеренной аортальной недостаточности после таких вмешательств могут иметь до 24% оперированных пациентов, однако прогрессирование АН до тяжелой встречается редко. Особого внимания заслуживают пациенты с сочетанием значимого расширения восходящей аорты на уровне синотубулярного соединения и асимметричного характера расширения корня аорты. Асимметричное расширение корня аорты характеризуется значительным неравенством площадей створок клапана и длин их свободных краев, а также размеров синусов Вальсальвы и межкомиссуральных расстояний. Полученные нами формулы логистической регрессии могут быть использованы в клинической практике с целью оценки индивидуального риска прогрессирования АН или ХСН в отдаленном периоде после клапансохраняющего протезирования корня аорты по методике David I.

Важно отметить, что выполненное нами исследование, как и все опубликованные в настоящее время данные литературы на эту тему, имеют ограничение по количеству наблюдаемых пациентов и длительности периода наблюдения. Дальнейшие исследования с привлечением больших групп оперированных пациентов необходимы для подтверждения полученных выводов.

ВЫВОДЫ

1. Способ построения высокоточных трехмерных графических реконструкций корня аорты может быть использован в клинической практике для уточнения показаний, противопоказаний и ограничений к выполнению клапансохраняющего протезирования корня аорты по методике David I; а также для оценки факторов риска рецидива аортальной недостаточности в отдаленном периоде после выполнения операции David I.

2. Исходное расширение синотубулярной зоны в сочетании с асимметричным характером аневризматического расширения корня аорты сопровождается увеличением риска возникновения рецидива аортальной недостаточности в отдаленном периоде после клапансохраняющего протезирования корня аорты. Рецидивы незначительной и умеренной аортальной недостаточности после оперативного лечения могут иметь до 25% оперированных пациентов, однако прогрессирования аортальной недостаточности до выраженной не встречалось.

3. Методика выбора диаметра сосудистого протеза для реимплантации корня аорты с помощью измерения параметров трехмерных реконструкций не уступает по точности интраоперационной оценке корня аорты, и может быть использована на дооперационном этапе.

4. Основным предиктором прогрессирования хронической сердечной недостаточности в отдаленном периоде является сочетание снижения сократительной способности левого желудочка, высокого уровня диастолического артериального давления и асимметричного характера расширения клапанно-аортального комплекса. Прогрессирование клинических проявлений хронической сердечной недостаточности после клапансохраняющих вмешательств встречается не более чем в 10% случаев.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При планировании клапансохраняющего вмешательства у пациентов с аневризмой корня аорты, осложненной аортальной недостаточностью, рекомендована оценка геометрических параметров клапанно-аортального комплекса аорты с использованием данных высокоточных трехмерных реконструкций.
2. У пациентов с сочетанием исходного расширения синотубулярной зоны и асимметричного характера аневризматического расширения корня аорты рекомендуется рассмотреть целесообразность отказа от выполнения клапансохраняющего вмешательства в связи с высокими рисками рецидива аортальной недостаточности в отдаленном периоде.
3. При выборе размера сосудистого протеза для реимплантации корня аорты (операция David I) рекомендована оценка диаметра фиброзного кольца аортального клапана по данным трехмерной реконструкции на дооперационном этапе.
4. С целью профилактики прогрессирования аортальной и хронической сердечной недостаточности у пациентов с высоким риском рецидива аортальной недостаточности, в послеоперационном периоде рекомендован контроль уровня диастолического артериального давления, а также медикаментозная терапия сердечной недостаточности, нацеленная на сохранение сократительной способности левого желудочка.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Наличие высокоточной 3D-реконструкции открывает дополнительные возможности в области оперативного лечения патологии корня аорты и аортального клапана: преимущества в выборе индивидуальной пациент-ориентированной тактики оперативного лечения, в выборе параметров имплантируемого операционного материала и/или устройства. С целью дальнейшего совершенствования хирургической тактики и улучшения результатов клапансохраняющих операций на корне аорты, целесообразно дальнейшее изучение факторов риска и предикторов возникновения рецидива аортальной недостаточности у более многочисленных групп пациентов. Анализ геометрических анатомических параметров корня аорты существенно влияет на результаты оперативного лечения, поэтому оценку планиметрических и стереометрических параметров корня аорты и аортального клапана необходимо проводить всем оперируемым пациентам. Кроме того, перспективным представляется дальнейшее наблюдение за пациентами, перенесшими клапансохраняющее протезирование корня аорты по методике David I с целью оценки функции реимплантированного аортального клапана на более поздних сроках после оперативного лечения.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АК – аортальный клапан

АН – аортальная недостаточность

АИК – аппарат искусственного кровообращения

БЦА – брахиоцефальные артерии

ВА – восходящая аорта

ДАК – двустворчатый аортальный клапан

ИВЛ – искусственная вентиляция легких

ЭКК – экстракорпоральное кровообращение

КДО – конечно-диастолический объем

КДР – конечно-диастолический размер

КСО – конечно-систолический объем

КСР – конечно-систолический размер

ЛЖ – левый желудочек

ЛКС – левая коронарная створка аортального клапана

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

МЖП – межжелудочковая перегородка

МН – митральная недостаточность

МРТ – магнитно-резонансная томография

МСКТ – мультиспиральная компьютерная томография

НКС – некоронарная створка аортального клапана

ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения

ПКС – правая коронарная створка аортального клапана

РЧА – радиочастотная абляция

СВ – синусы Вальсальвы

САП – среда автоматизированного проектирования

ТН – трикуспидальная недостаточность

УО – ударный объем

ФВ – фракция выброса

ФК – фиброзное кольцо

ФКл – функциональный класс

ФП – фибрилляция предсердий

ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких

ХСН – хроническая сердечная недостаточность

ЧП ЭхоКГ – чреспищеводная эхокардиография

ТТ ЭхоКГ – трансторакальная эхокардиография

ЭВМ – электронная вычислительная машина

ЭКГ – электрокардиография

ЭКС – электрокардиостимулятор

ЭхоКГ – эхокардиография

NYHA – New York Heart Association

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разумова Е.Т., Люсова В.А., Кокорин В.А. Расслоение аорты. Российский кардиологический журнал. 2001 г., 5, стр. 88-94.
2. Русанов Н.И., Дорофеев А.В., Мовсесян Р.А., Малашенков А.И., Кондратьев В.Г., Паджев М.А., Быкова В.А., Шаноян С.А., Занкина О.И., Яковлев С.Е. Неотложные операции при остром расслоении аневризмы аорты типа А. Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 2003 г., 4, стр. 35
3. Чернявский А.М., Столяров М.С., Ломиворотов В.В., Кливер Е.Н., Попов И.Л., Ковляков В.А., Зайцев Г.С. Хирургическое лечение аневризмы восходящего отдела аорты и аортальной недостаточности путем выполнения реимплантации аортального клапана в синтетический протез (операция David I). Патология кровообращения и кардиохирургия. 2004 г., 4, стр. 69-71.
4. David TE, Maganti M, Armstrong S. Aortic root aneurysm: principles of repair and long-term follow-up. J Thorac Cardiovasc Surg. Dec 2010 г., Т. 140, 6 Suppl, стр. 14-19.
5. Белов Ю.В. Руководство по сосудистой хирургии с атласом оперативной технике. Москва : ДЕНОВО, 2000. стр. 448.
6. Hagl C, Strauch JT, Spielvogel D, Galla JD, Lansman SL, Squitieri R, Bodian CA, Griep RB. Is the Bentall procedure for ascending aorta or aortic valve replacement the best approach for long-term event-free survival? Ann Thorac Surg. Sep 2003 г., Т. 76, 3, стр. 698-703.
7. Elefteriades, J.A. Natural history of thoracic aortic aneurysms: indications for surgery, and surgical versus nonsurgical risks / J.A. Elefteriades // The Annals of thoracic surgery. – 2002. – Т. 74. – №5. – С. 1877-80; discussion S92-8.
8. David TE, David CM, Feindel CM, Manlhiot C. Reimplantation of the aortic valve at 20 years. J Thorac Cardiovasc Surg. -2017 Feb; Т.153, №2, С. 232-238.

9. Белов Ю.В., Чарчян Э.Р. Клапаносохраняющие операции у больных аневризмой восходящего отдела аорты с аортальной недостаточностью. Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 2004 г., 1, стр. 59-64.
10. Kallenbach K, Pethig K, Schwarz M, Milz A, Haverich A, Harringer W. Valve sparing aortic root reconstruction versus composite replacement - perioperative course and early complications. Eur J Cardiothorac Surg. July 2001 г., Т. 20, 1, стр. 77-81.
11. Berdajs, D. The anatomy of the aortic root / D. Berdajs, P. Lajos, M. Turina Cardiovascular surgery (London, England). – 2002. – Т. 10. – №4. – С. 320-7.
12. Lansac E, Lim HS, Shomura Y, Lim KH, Rice NT, Goetz W, Acar C, Duran CM. A four-dimensional study of the aortic root dynamics. Eur J Cardiothorac Surg. Oct 2002 г., Т. 22, 4, стр. 497-503.
13. David, T.E. Aortic valve sparing operations: a review / T.E. David // The Korean journal of thoracic and cardiovascular surgery. – 2012. – Vol. 45. – №4. – P. 205-12.
14. Berdajs D, Mosbahi S, Forro Z, Gerber C, Ferrari E. Numerical analysis of the 3- dimensional aortic root morphology during the cardiac cycle. Eur J Cardiothorac Surg. 2016; Т. 49, стр. 1213-21.
15. Успенский, В.Е. Клапаносберегающее протезирование корня аорты: предпосылки и пути достижения оптимальных результатов / В.Е. Успенский, И.В. Сухова, А.В. Наймушин, Э.Г. Малев, М.Л. Гордеев // Анналы хирургии. – 2011. – №3. – С. 73-7.
16. Hamdan A, Guetta V, Konen E, Goitein O, Segev A, Raanani E, et al. Deformation dynamics and mechanical properties of the aortic annulus by 4-dimensional computed tomography. J Am Coll Cardiol. 2012;59:119-27.
17. Lansac E, Lim H-S, Shomura Y, Hiang Lim K, Rice NT, Goetz WA, et al. Aortic root dynamics are asymmetric. J Heart Valve Dis. 2005;14:400-7.

18. Schafers, H.J. Aortic valve repair: easy and reproducible? / H.J. Schafers // The Journal of thoracic and cardiovascular surgery. – 2015. – Vol. 149. – №1. – P. 129-30.
19. Bierbach BO, Aicher D, Issa OA, Bomberg H, Graber S, Glombitza P. Aortic root and cusp configuration determine aortic valve function. Eur J Cardiothorac Surg. 2010; T. 38, стр. 400-6.
20. Kuzmik, G.A. Natural history of thoracic aortic aneurysms / G.A. Kuzmik, A.X. Sang, J.A. Elefteriades // Journal of vascular surgery. – 2012. – Vol. 56. – №2. – P. 565-71.
21. Park, J.Y. Short-term outcomes of aortic wrapping for mild to moderate ascending aorta dilatation in patients undergoing cardiac surgery / J.Y. Park, J.K. Shin, J.W. Chung, J.S. Kim, H.K. Chee, M.G. Song // The Korean journal of thoracic and cardiovascular surgery. – 2012. – Vol. 45. – №3. – P. 148-54.
22. Evangelista A. Aneurysm of the ascending aorta. Heart. 2010 г., Т. 96, стр. 979-985.
23. Pressler V, McNamara JJ. Aneurysm of the thoracic aorta. Review of 260 cases. J Thorac Cardiovasc Surg. Jan 1985 г., Т. 89, 1, стр. 50-54.
24. Guo D, Hasham S, Kuang SQ, Vaughan CJ, Boerwinkle E, Chen H, Abuelo D, Dietz HC, Basson CT, Shete SS, Milewicz DM. Familial thoracic aortic aneurysms and dissections. Circulation. May 2001 г., Т. 103, 20, стр. 2461–2468.
25. Клеменов А.В., Суслов А.С. Наследственные нарушения соединительной ткани: современный подход к классификации и диагностике (обзор). СТМ. 2014 г., Т. 6, 2, стр. 127-137.
26. Loeys BL, Dietz HC, Braverman AC, Callewaert BL, De Backer J, Devereux RB, Hilhorst-Hofstee Y, Jondeau G, Faivre L, Milewicz DM, Pyeritz RE, Sponseller PD, Wordworth P, De Paepe AM. The revised Ghent nosology for the Marfan syndrome. J Med Genet. 2010 г., Т. 47, 7, стр. 476–485.

27. Chiu HH, Wu MH, Chen HC, Kao FY, Huang SK. Epidemiological profile of Marfan syndrome in a general population: a national database study. *Mayo Clin Proc.* Jan 2014 г., Т. 89, 1, стр. 34-42.
28. Judge DP, Dietz HC. Marfan's syndrome. *Lancet.* 2005 г., Т. 366, стр. 1965–1976.
29. Beighton P, De Paepe A, Steinmann B, Tsipouras P, Wenstrup RJ, Ehlers-Danlos syndromes: revised nosology, Villefranche, 1997. Ehlers-Danlos National Foundation (USA) and Ehlers-Danlos Support Group (UK). *Journal of Medical Genetics.* 1998 г., Т. 77, 1, стр. 31-37.
30. Robicsek, F. The congenitally bicuspid aortic valve: how does it function? Why does it fail? / F. Robicsek, M.J. Thubrikar, J.W. Cook, B. Fowler // *The Annals of thoracic surgery.* – 2004. – Vol. 77. – №1. – P. 177-85.
31. Calloway, T.J. Risk factors for aortic valve disease in bicuspid aortic valve: a family-based study / T.J. Calloway, L.J. Martin, X. Zhang, A. Tandon, D.W. Benson, R.B. Hinton // *American journal of medical genetics.* – 2011. – Vol. 155a. – №5. – P. 1015-20.
32. Sievers, H.H. A classification system for the bicuspid aortic valve from 304 surgical specimens / H.H. Sievers, C. Schmidtke // *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery.* – 2007. – Vol. 133. – №5. – P.1226-33.
33. Della Corte, A. The ascending aorta with bicuspid aortic valve: a phenotypic classification with potential prognostic significance / A. Della Corte, C. Bancone, G. Dialetto, F.E. Covino, S. Manduca, M.V. Montibello, M. De Feo, M. Buonocore, G. Nappi // *European journal of cardio-thoracic surgery: official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery.* – 2014. – Vol. 46. – №2. – P. 240-7; discussion 7.
34. Дземешкевич С.Л. Болезни аортального клапана. 2004 г., стр. 324.
35. Braverman AC, Güven H, Beardslee MA, Makan M, Kates AM, Moon MR. The bicuspid aortic valve. *Curr Probl Cardiol.* 2005 г., Т. 30, стр. 470-522.
36. Bonderman, D. Mechanisms underlying aortic dilatation in congenital aortic valve malformation / D. Bonderman, E. Gharehbaghi-Schnell, G. Wollenek,

- G. Maurer, H. Baumgartner, I.M. Lang // *Circulation*. – 1999. – Vol. 99. – №16. – P. 2138-43.
- 37.Schaefer B.M. The bicuspid aortic valve: an integrated phenotypic classification of leaflet morphology and aortic root shape / B.M. Schaefer, M.B. Lewin, K.K. Stout, E. Gill, A. Prueitt, P.H. Byers, C.M. Otto // *Heart (British Cardiac Society)*. – 2008. – Vol. 94. – №12. – P. 1634-8.
- 38.Erdheim J. Medionecrosis aortae idiopathica cystica. *Virchows Archiv*. 1930 г., T. 76, стр. 187–229.
- 39.Agozzino L, Santè P, Ferraraccio F, Accardo M, De Feo M, De Santo LS, Nappi G, Agozzino M, Esposito S. Ascending aorta dilatation in aortic valve disease: morphological analysis of medial changes. *Heart Vessels*. Jul 2006 г., T. 21, 4, стр. 213-220.
- 40.Hirst, A.E. Is cystic medionecrosis the cause of dissecting aortic aneurysm? Editorial / A.E. Hirst, I. Gore // *Circulation*. – 1976. – Vol. 53. – №6. – P. 915-6.
- 41.Nesi, G. Giant cell arteritis presenting with annuloaortic ectasia / G. Nesi, C. Anichini, E. Pedemonte, S. Tozzini, G. Calamai, G.F. Montesi, G.F. Gori // *Chest*. – 2002. – Vol. 121. – №4. – P. 1365-7.
- 42.Phillippi, J.A. Mechanism of aortic medial matrix remodeling is distinct in patients with bicuspid aortic valve / J.A. Phillippi, B.R. Green, M.A. Eskay, M.P. Kotlarczyk, M.R. Hill, A.M. Robertson, S.C. Watkins, D.A. Vorp, T.G. Gleason // *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. – 2014. – Vol. 147. – №3. – P. 1056-64.
- 43.Matsuura K, Ogino H, Kobayashi J, Ishibashi-Ueda H, Matsuda H, Minatoya K, Sasaki H, Bando K, Niwaya K, Tagusari O, Nakajima H, Yagihara T, Kitamura S. Surgical Treatment of Aortic Regurgitation due to Takayasu Arteritis Long-Term Morbidity and Mortality. *Circulation*. Dec 2005 г., T. 112, стр. 3707-3712.
- 44.Adachi O, Saiki Y, Akasaka J, Oda K, Iguchi A, Tabayashi K. Surgical management of aortic regurgitation associated with takayasu arteritis and

- other forms of aortitis. *Ann Thorac Surg.* Dec 2007 г., Т. 84, 6, стр. 1950-1953.
- 45.Braverman, A.C. Diseases of the aorta / A.C. Braverman, R.W. Thompson, L.A. Sanchez. In: Bonow RO, Mann DL, Zipes DP, Libby P (eds) Braunwald's Heart Disease 9th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders. – 2012. – P. 1309–37.
- 46.Gibbon JH Jr. Application of a mechanical heart and lung apparatus to cardiac surgery. *Minn Med.* Mar, 1954 г., Т. 37, 3, стр. 171-185.
- 47.De Bakey, M.E. Successful resection of aneurysm of thoracic aorta and replacement by graft / M.E. De Bakey, D.A. Cooley // *Journal of the American Medical Association.* – 1953. – Vol. 152. – №8. – P. 673-6.
- 48.Taylor WJ, Thrower WB, Black H, Harken DE. The surgical correction of aortic insufficiency by circumclusion. *J Thorac Surg.* 1958 г., Т. 35, 2, стр. 192-205.
- 49.Garamella JJ, Andersen JG, Oropeza R, Jensen NK, Hay LJ, Naidu R. A new concept in the surgical treatment of aortic insufficiency. *Minn Med.* Apr 1958 г., Т. 41, 4, стр. 260-262.
- 50.Hurwitt ES, Hoffert PW, Rosenblatt A. Plication of the aortic ring in the correction of aortic insufficiency. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1960 г., Т. 39, стр. 654-662.
- 51.Groves LK, Effler DB, Hawk WA, Gulati K. Aortic inscefficiency secondaryto aneurismal changes in the ascending surgical management. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1964 г., Т. 48, стр. 362.
- 52.Bentall H, De Bono A.,. A technique for complete replacement of the ascending aorta. *Thorax.* July 1968 г., Т. 23, 4, стр. 338-339.
- 53.Kouchoukos NT, Marshall WG Jr, Wedige-Stecher TA. Eleven-year experience with composite graft replacement of the ascending aorta and aortic valve. *J Thorac Cardiovasc Surg.* Oct 1986 г., Т. 92, 4, стр. 691-705.
- 54.Dapunt OE, Galla JD, Sadeghi AM, Lansman SL, Mezrow CK, de Asla RA, Quintana C, Wallenstein S, Ergin AM, Griep RB. The natural history of

- thoracic aortic aneurysms. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1994 г., Т. 107, 5, стр. 1323-1332.
55. Pressler V, McNamara JJ. Aneurysm of the thoracic aorta. Review of 260 cases. *J Thorac Cardiovasc Surg.* Jan 1985 г., Т. 89, 1, стр. 50-54.
56. Frater RW. Aortic valve insufficiency due to aortic dilatation: correction by sinus rim adjustment. *Circulation.* Sep 1986 г., Т. 74, 3 Pt 2, стр. 136-142.
57. Fagan, A. Results of new valve conserving operation for treatment of aneurysms or acute dissection of aortic root / A. Fagan, R. Pillai, R. Radleysmith, M.H. Yacoub // *Br Heart J.* – 1983. – Vol. 49. – P. 302.
58. David, T.E. An aortic valve-sparing operation for patients with aortic incompetence and aneurysm of the ascending aorta / T.E. David, C.M. Feindel // *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery.* – 1992. – Vol. 103. – №4. – P. 617-21; discussion 22.
59. Sarsam, M.A. Remodeling of the aortic valve anulus / M.A. Sarsam, M. Yacoub // *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery.* – 1993. – Vol. 105. – №3. – P. 435-8.
60. Чернявский, А.М. Сравнительная клинико-функциональная оценка клапаносохраняющей операции на корне аорты при реимплантации корня аорты в протез / А.М. Чернявский, С.А. Альсов, Д.С. Хван, Д.А. Сирота, М.М. Ляшенко // *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* – 2014. – Т. 7. – №6. – С. 54-8.
61. Hess PJ Jr, Klodell CT, Beaver TM, Martin TD. The Florida sleeve: a new technique for aortic root remodeling with preservation of the aortic valve and sinuses. *Ann Thorac Surg.* Aug 2005 г., Т. 80, 2, стр. 748-750.
62. Hess PJ Jr, Harman PK, Klodell CT, Beaver TM, Bologna MT, Mikhail P, Tribble CG, Martin TD. Early outcomes using the Florida sleeve repair for correction of aortic insufficiency due to root aneurysms. *Ann Thorac Surg.* Apr 2009 г., Т. 87, 4, стр. 1161-1168.
63. Anderson, R.H. Clinical anatomy of the aortic root / R.H. Anderson // *Heart (British Cardiac Society)* – 2000. – Vol. 84. – №6. – P. 670-3.

64. Jain, R. Cardiac neural crest orchestrates remodeling and functional maturation of mouse semilunar valves / R. Jain, K.A. Engleka, S.L. Rentschler, L.J. Manderfield, L. Li, L. Yuan, J.A. Epstein // *The Journal of clinical investigation*. – 2011. – Vol. 121. – №1. – P. 422-30.
65. Berdajs, D. The anatomy of the aortic root / D. Berdajs, P. Lajos, M. Turina // *Cardiovascular surgery (London, England)*. – 2002. – Vol. 10. – №4. – P. 320-7.
66. Sauren, A.A. Aortic valve histology and its relation with mechanics—preliminary report / A.A. Sauren, W. Kuijpers, A.A. van Steenhoven, F.E. Veldpaus // *Journal of biomechanics*. – 1980. – Vol. 13. – №2. – P. 97-104.
67. Anderson RH, Lal M, Ho SY. Anatomy of the aortic root with particular emphasis on options for its surgical enlargement. *J Heart Valve Dis*. 1996 Nov;5 Suppl 3:S249-57.
68. Sands M. P. et al. An anatomical comparison of human, pig, calf, and sheep aortic valves // *The Annals of thoracic surgery*. – 1969. – T. 8. – №. 5. – С. 407-414.
69. Островский Ю. П. Хирургия сердца: руководство. – Медицинская литература, 2007.-с 21.
70. Linhartova, K. Aortic stenosis severity is not a risk factor for poststenotic dilatation of the ascending aorta / K. Linhartova, V. Beranek, F. Sefrna, I. Hanisova, G. Sterbakova, M. Peskova // *Circulation journal: official journal of the Japanese Circulation Society*. – 2007. – Vol. 71. – №1. – P. 84-8.
71. Hannuksela, M. Thoracic aorta--dilated or not? / M. Hannuksela, S. Lundqvist, B. Carlberg // *Scandinavian cardiovascular journal: SCJ*. – 2006. – Vol. 40. – №3. – P. 175-8.
72. Loukas M, Bilinsky E, Bilinsky S, Blaak C, Tubbs RS, Anderson RH. The anatomy of the aortic root. *Clin Anat*. 2014 Jul;27(5):748-56.
73. Almoosawy SA, Lucka P, Cummine R, Buchan K. The aortic root hexagon as an aide memoire to the important surgical landmarks. *Clin Anat*. 2020 Nov;33(8):1228-1234.

74. de Kerchove L, Jashari R, Boodhwani M, Duy KT, Lengelé B, Gianello P, Mosala Nezhad Z, Astarci P, Noirhomme P, El Khoury G. Surgical anatomy of the aortic root: implication for valve-sparing reimplantation and aortic valve annuloplasty. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015 Feb;149(2):425-33. doi: 10.1016/j.jtcvs.2014.09.042. Epub 2014 Sep 18. Erratum in: *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2016 Dec;152(6):1644.
75. Berdajs D. The aortic root: simple as possible, but not simpler. *J Heart Valve Dis.* 2014 Jan;23(1):25-30.
76. Khubulava GG, Marchenko SP, Starchik DA, Suvorov VV, Krivoshechekov EV, Shikhverdiev NN, Naumov AB. Geometricheskie i morfologicheskie kharakteristiki kornia aorty v norme i pri nedostatochnosti aortal'nogo klapana [Geometric and morphological features of the aortic root in norm and aortic regurgitation]. *Khirurgiia (Mosk).* 2018;(5):4-12. Russian.
77. Votta E, Presicce M, Della Corte A, Dellegrottaglie S, Bancone C, Sturla F, Redaelli A. A novel approach to the quantification of aortic root in vivo structural mechanics. *Int J Numer Method Biomed Eng.* 2017 Sep;33(9).
78. Amofa D, Mori S, Toh H, Ta HT, Du Plessis M, Davis N, Izawa Y, Spicer DE, Anderson RH, Tretter JT. The rotational position of the aortic root related to its underlying ventricular support. *Clin Anat.* 2019 Nov;32(8):1107-1117.
79. Sud A, Parker F, Magilligan DJ Jr. Anatomy of the aortic root. *Ann Thorac Surg.* 1984 Jul;38(1):76-9.
80. Ciotti GR, Vlahos AP, Silverman NH. Morphology and function of the bicuspid aortic valve with and without coarctation of the aorta in the young. *Am J Cardiol.* 2006 Oct 15;98(8):1096-102.
81. Blanchard C, Lalande A, Sliwa T, Bouchot O, Voisin Y. Automatic evaluation of the Valsalva sinuses from cine-MRI. *MAGMA.* 2011 Dec;24(6):359-70.
82. Capoulade R, Teoh JG, Bartko PE, Teo E, Scholtz JE, Tastet L, Shen M, Mihos CG, Park YH, Garcia J, Larose E, Isselbacher EM, Sundt TM, MacGillivray TE, Melnitchouk S, Ghoshhajra BB, Pibarot P, Hung J.

- Relationship Between Proximal Aorta Morphology and Progression Rate of Aortic Stenosis. *J Am Soc Echocardiogr.* 2018 May;31(5):561-569.
83. Evangelista, A. Echocardiography in aortic diseases: EAE recommendations for clinical practice / A. Evangelista, F.A. Flachskampf, R. Erbel, F. Antonini-Canterin, C. Vlachopoulos, G. Rocchi, R. Sicari, P. Nihoyannopoulos, J. Zamorano, M. Pepi, O.A. Breithardt, E. Plonska-Gosciniak // *European journal of echocardiography : the journal of the Working Group on Echocardiography of the European Society of Cardiology.* – 2010. – Vol. 11. – №8. – P. 645-58.
84. Johnston, K.W. Suggested standards for reporting on arterial aneurysms. Subcommittee on Reporting Standards for Arterial Aneurysms, Ad Hoc Committee on Reporting Standards, Society for Vascular Surgery and North American Chapter, International Society for Cardiovascular Surgery / K.W. Johnston, R.B. Rutherford, M.D. Tilson, D.M. Shah, L. Hollier, J.C. Stanley // *Journal of vascular surgery.* – 1991. – Vol. 13. – №3. – P. 452-8.
85. Roman, M.J. Two-dimensional echocardiographic aortic root dimensions in normal children and adults / M.J. Roman, R.B. Devereux, R. Kramer-Fox, J. O'Loughlin // *The American journal of cardiology.* – 1989. – Vol. 64. – №8. – P. 507-12.
86. Toh H, Mori S, Tretter JT, Izawa Y, Shimoyama S, Suzuki M, Takahashi Y, Tsuda D, Toba T, Fujiwara S, Hirata KI, Anderson RH. Living Anatomy of the Ventricular Myocardial Crescents Supporting the Coronary Aortic Sinuses. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2020 Summer;32(2):230-241.
87. Perry G.J., Helmoke F., Nanda N.C. et al. Evaluation of aortic insufficiency by Doppler color-flow mapping. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1987; 9; 952-959.
88. Alreshidan, M. Obtaining the biomechanical behavior of ascending aortic aneurysm via the use of novel speckle tracking echocardiography / M. Alreshidan, N. Shahmansouri, J. Chung, V. Lash, A. Emmott, R.L. Leask, K. Lachapelle // *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery.* – 2016. – Vol. 153. – №4. – P. 781-788.

89. de Kerchove, L. Anatomy and pathophysiology of the ventriculo-aortic junction: implication in aortic valve repair surgery / L. de Kerchove, G. El Khoury // *Annals of cardiothoracic surgery*. – 2013. – Vol. 2. – №1. – P. 57-64.
90. David TE, Feindel CM, Webb GD, Colman JM, Armstrong S, Maganti M. Long-term results of aortic valve-sparing operations for aortic root aneurysm. *J Thorac Cardiovasc Surg*. Aug 2006 г., Т. 132, 2, стр. 347-354.
91. Morganti S, Valentini A, Favalli V, Serio A, Gambarin FI, Vella D, Mazzocchi L, Massetti M, Auricchio F, Arbustini E. Aortic root 3D parametric morphological model from 2D-echo images. *Comput Biol Med*. 2013 Dec;43(12):2196-204.
92. Berdajs D, Mosbahi S, Eckstein F, Reuthebuch O, Grapow M, Ferrari E, von Segesser LK. Impact of aortic root annuloplasty on 3D aortic root geometry. *J Surg Res*. 2018 May;225:45-53.
93. Paulsen MJ, Kasinpila P, Imbrie-Moore AM, Wang H, Hironaka CE, Koyano TK, Fong R, Chiu P, Goldstone AB, Steele AN, Stapleton LM, Ma M, Woo YJ. Modeling conduit choice for valve-sparing aortic root replacement on biomechanics with a 3-dimensional-printed heart simulator. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2019 Aug;158(2):392-403.
94. Queirós S, Morais P, Fehske W, Papachristidis A, Voigt JU, Fonseca JC, D'hooge J, Vilaça JL. Assessment of aortic valve tract dynamics using automatic tracking of 3D transesophageal echocardiographic images. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2019 May;35(5):881-895.
95. Marom G, Haj-Ali R, Rosenfeld M, Schöafers HJ, Raanani E. Aortic root numeric model: annulus diameter prediction of effective height and coaptation in post-aortic valve repair. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013;T 145, стр. 9-11.
96. Marom G, Einav S. New Insights into Valve Hemodynamics. *Rambam Maimonides Med J*. 2020 Apr 29;11(2):e0014.

97. Marom G, Halevi R, Haj-Ali R, Rosenfeld M, Schäfers HJ, Raanani E. Numerical model of the aortic root and valve: optimization of graft size and sinotubular junction to annulus ratio. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013;146:1227–1231.
98. Abeln KB, Giebels C, Ehrlich T, Federspiel JM, Schäfers HJ. Which Aortic Valve Can Be Surgically Reconstructed? *Curr Cardiol Rep.* 2021 Jul 2;23(8):108.
99. Schäfers HJ. Valve-preserving surgery of the proximal aorta. *J Cardiovasc Surg (Torino).* 2001 Aug;42(4):509-16.
100. Schafers, H.J. Cusp height in aortic valves / H.J. Schafers, W. Schmied, G. Marom, D. Aicher // *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery.* – 2013. – Т. 146. – №2. – С. 269-74.
101. Schafers, H.J. A new approach to the assessment of aortic cusp geometry / H.J. Schafers, B. Bierbach, D. Aicher // *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery.* – 2006. – Т. 132. – №2. – С. 436-8.
102. Schäfers H, Fries R, Langer F, Nikoloudakis N, Graeter T, Grundmann U. Valve-preserving replacement of the ascending aorta: remodeling versus reimplantation. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1998 Dec;116(6):990-6.
103. Караськов А.М., Богачев-Прокофьев А.В., Железнев С.И., Кулумбегов О.И., Демин И.И., and Шарифулин Р.М. Сравнение кондуитов, используемых для реконструкции пути оттока из правого желудочка при процедуре Росса у взрослых. *Дальневосточный медицинский журнал*, no. 1, 2016, pp. 27-30.
104. Jasinski, M.J. Predictors of early and medium-term outcome of 200 consecutive aortic valve and root repairs / M.J. Jasinski, R. Gocol, M. Malinowski, D. Hudziak, P. Duraj, M.A. Deja // *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery.* – 2015. – Vol. 149. – №1. – P. 123-9.
105. Yacoub MH, Aguib H, Gamrah MA, Shehata N, Nagy M, Donia M, Aguib Y, Saad H, Romeih S, Torii R, Afifi A, Lee SL. Aortic root dynamism,

- geometry, and function after the remodeling operation: Clinical relevance. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2018 Sep;156(3):951-962.
106. Yacoub MH, Kilner PJ, Birks EJ, Misfeld M. The aortic outflow and root: a tale of dynamism and crosstalk. *Ann Thorac Surg.* 1999 Sep;68(3 Suppl):S37-43.
107. Leyh RG, Schmidtke C, Sievers HH, Yacoub MH. Opening and closing characteristics of the aortic valve after different types of valve-preserving surgery. *Circulation.* 1999 Nov 23;100(21):2153-60.
108. Melina G, Rajappan K, Amrani M, Khaghani A, Pennell DJ, Yacoub MH. Aortic distensibility after aortic root replacement assessed with cardiovascular magnetic resonance. *J Heart Valve Dis.* 2002 Jan;11(1):67-74; discussion 74.
109. Berdajs D. Ross procedure for everyone. *Swiss Med Wkly.* 2012 Jul 23;142:w13641.
110. Berdajs D, Zünd G, Schurr U, Camenisch C, Turina MI, Genoni M. Geometric models of the aortic and pulmonary roots: suggestions for the Ross procedure. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2007 Jan;31(1):31-5.
111. Kuniyama T, Aicher D, Rodionychewa S, Groesdonk HV, Langer F, Sata F, et al. Preoperative aortic root geometry and postoperative cusp configuration primarily determine long-term outcome after valve-preserving aortic root repair. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2012. Т 143, стр. 1389-95.
112. Чернявский, А.М. Результаты применения протеза с искусственными синусами Вальсальвы у пациентов с аневризмой восходящего отдела аорты и недостаточностью аортального клапана / А.М. Чернявский, С.А. Альсов, Д.А. Сирота, Д.С. Хван, М.М. Ляшенко // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. – 2012. – №3. – С. 9-14.
113. Regeer MV, Versteegh MI, Marsan NA, Bax JJ, Delgado V. The role of multimodality imaging in the selection of patients for aortic valve repair. *Expert Rev Cardiovasc Ther.* 2016;14(1):75-86.

114. Lansac E, Lim H-S, Shomura Y, Hiang Lim K, Rice NT, Goetz WA, et al. Aortic root dynamics are asymmetric. *J Heart Valve Dis.* 2005;14:400-7.
115. Bierbach BO, Aicher D, Issa OA, Bomberg H, Graber S, Glombitza P. Aortic root and cusp configuration determine aortic valve function. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2010; T. 38, стр. 400-6.
116. Miyahara S, Omura A, Sakamoto T, Nomura Y, Inoue T, Minami H, Okada K, Okita Y. Impact of postoperative cusp configuration on midterm durability after aortic root reimplantation. *J Heart Valve Dis.* 2013 Jul;22(4):509-16.
117. Matsushima S, Karliova I, Gauer S, Miyahara S, Schäfers HJ. Geometry of cusp and root determines aortic valve function. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg.* 2020 Jan;36(Suppl 1):64-70.
118. Kari FA, Siepe M, Rylski B, Kueri S, Beyersdorf F. Aortic valve reimplantation for large root aneurysm and high-grade aortic regurgitation: incidence and implications of additional cusp and commissure repair. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2015 May;20(5):611-5.
119. Kim DH, Handschumacher MD, Levine RA, Joo Sun B, Jang JY, Yang DH, et al. Aortic valve adaptation to aortic root dilatation insights into the mechanism of functional aortic regurgitation from 3-dimensional cardiac computed tomography. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2014;7:828-35.
120. Boodhwani M, de Kerchove L, Watremez C, Glineur D, Vanoverschelde JL, Noirhomme P, El Khoury G. Assessment and repair of aortic valve cusp prolapse: implications for valve-sparing procedures. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2011 Apr;141(4):917-25.
121. Ruan Y, Liu X, Meng X, Zhang H, He Y. Prognostic factors associated with postoperative adverse outcomes in patients with aortic valve prolapse. *Medicine (Baltimore).* 2020 Apr;99(17):e19827.
122. Izzat MB, Hamzeh K, Almohammad F. Precise moulded autologous pericardial configurations for aortic cusp reconstruction. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2017 Jun 1;24(6):819-822.

123. Вах JJ, Delgado V. Advanced imaging in valvular heart disease. *Nat Rev Cardiol.* 2017;14:209-23.
124. Н.Д. Гаврилюк, В.Е. Успенский, А.Б. Малашичева, О.Б. Иртюга, Т.А. Дружкова, Д.А. Костина, И.В. Воронкина, А.А. Жлоба, В.А. Жуков, А.И. Жернаков, А.Н. Ибрагимов, О.М. Моисеева, М.Л. Гордеев. Аневризма восходящего отдела аорты: от молекулярно-генетических особенностей патогенеза до выбора метода лечения // Трансляционная медицина. – 2016. Т. 3. – №1. – С. 6-20.
125. Нечаева Г.И., Друк И.В., Кузнецова В.В. Аневризма грудной аорты в общей врачебной практике. *Российский семейный врач*, -2011. Т. 15. -№2. –С. 9-13.
126. Veen KM, Yalcin YC, Moxhles MM. Sufficient Methods for Monitoring Aortic Insufficiency. *Ann Thorac Surg.* 2021 Mar;111(3):1098.
127. Ciobanu M, Abbasi AS, Allen M, Hermer A, Spellberg R. Pulsed Doppler echocardiography in the diagnosis and estimation of severity of aortic insufficiency. *Am J Cardiol.* 1982 Feb 1;49(2):339-43.
128. Pearlman AS, Stevenson JG, Baker DW. Doppler echocardiography: applications, limitations and future directions. *Am J Cardiol.* 1980 Dec 18;46(7):1256-62.
129. Faber M, Sonne C, Rosner S, Persch H, Reinhard W, Hendrich E, Will A, Martinoff S, Hadamitzky M. Predicting the need of aortic valve surgery in patients with chronic aortic regurgitation: a comparison between cardiovascular magnetic resonance imaging and transthoracic echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2021 Oct;37(10):2993-3001.
130. Огнерубов Н.А., Антипова Т.С. Возможности ПЭТ/КТ в диагностике и мониторинге терапии артериита Такаясу: клинические наблюдения // Вестник российских университетов. Математика. -2017. Т. 22. -№6-2. – С. 1437-1444.

131. Лунева Е.Б., Малев Э.Г., Панкова И.А., Земцовский Э.В. Медикаментозная терапия при аневризме грудного отдела аорты. Артериальная гипертензия, - 2018. -Т. 24, -№. 3, -С. 264-271.
132. Douglas PS, Carabello BA, Lang RM, Lopez L, Pellikka PA, Picard MH, Thomas JD, Varghese P, Wang TY, Weissman NJ, Wilgus R. 2019 ACC/AHA/ASE Key Data Elements and Definitions for Transthoracic Echocardiography: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Data Standards (Writing Committee to Develop Cardiovascular Endpoints Data Standards) and the American Society of Echocardiography. J Am Coll Cardiol. 2019 Jul 23;74(3):403-469.
133. Ikonomidis JS. Valve-sparing aortic root replacement: Surgeon and patient factors contribute to long-term durability. J Thorac Cardiovasc Surg. 2017;153(2):230-231.
134. Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, Milojevic M, Baldus S, Bauersachs J, Capodanno D, Conradi L, De Bonis M, De Paulis R, Delgado V, Freemantle N, Gilard M, Haugaa KH, Jeppsson A, Jüni P, Pierard L, Prendergast BD, Sádaba JR, Tribouilloy C, Wojakowski W; ESC/EACTS Scientific Document Group. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. Eur Heart J. 2022 Feb 12;43(7):561-632.