

КОБЕЛЕВ ЕВГЕНИЙ

ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ КОМПЛЕКСНОЙ КОМПЬЮТЕРНО-  
ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ИСТИННОГО И ЛОЖНОГО ПРОСВЕТОВ  
ПРИ РАССЛОЕНИИ АОРТЫ

3.1.25. Лучевая диагностика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Новосибирск – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный руководитель: доктор медицинских наук  
Берген Татьяна Андреевна

Официальные оппоненты: Железняк Игорь Сергеевич  
доктор медицинских наук, профессор, начальник  
кафедры рентгенологии и радиологии (с курсом  
ультразвуковой диагностики) ФГБВОУ ВО  
«Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова»  
Минобороны России

Лукина Ольга Васильевна  
доктор медицинских наук, доцент кафедры рентге-  
нологии и радиационной медицины с рентге-  
нологическим и радиологическим отделениями ФГБВОУ  
ВО «Первый Санкт-Петербургский государствен-  
ный медицинский университет им. акад. И.П.  
Павлова» Минздрава России

Ведущая организация: ФГБНУ «Российский научный центр хирургии  
имени академика Б.В. Петровского»

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023г. в \_\_\_ час на заседании  
диссертационного совета 21.1.028.03 при ФГБУ «Национальный медицинский  
исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России (191014, Санкт-  
Петербург, ул. Маяковского, д. 12)

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Российского  
научно-исследовательского нейрохирургического института им. А.Л. Поленова и  
на сайте: <http://www.almazovcentre.ru>

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор медицинских наук, профессор Иванова Наталия Евгеньевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования

Сохраняющийся высокий уровень сердечно-сосудистых заболеваний среди населения, а также осложнений, возникающих после хирургических вмешательств, побуждают искать новые подходы в диагностике предикторов их развития (Нго Билонг Э. А., 2022).

Из-за сохраняющегося высокого уровня осложнений у пациентов после хирургического лечения расслоения аорты, идет поиск новых методов и методик, позволяющих подобрать оптимальные размеры протезов, а также выявить предикторы послеоперационных осложнений, уменьшить лучевую нагрузку пациентов (Ховрин В.В., 2017; Малахова М.В., 2022). До сих пор основным способом количественной оценки состояния аорты при расслоениях является расчет диаметра на определенных уровнях в динамике.

Большое внимание уделяется объемным показателям кровотока, объема полостей сердца при диагностике сердечно-сосудистых заболеваний (Revishvili A.Sh., 2022), активно применяются технологии компьютерного моделирования (Стукалова О.В., 2021), а также 3D-печати при планировании хирургических вмешательств (Железняк И.С., 2019; Кушнарев С.В., 2022). Есть работы, в которых оценивается роль изменений объемов истинного и ложного просветов аорты, как основных маркеров результата оперативного лечения при расслоении (Usai M.V., 2021). В настоящий момент измерение этих показателей считается наиболее перспективным количественным методом оценки изменений аорты в динамике (Кузьмин Н.В., 2022).

### Степень разработанности темы

В настоящее время при планировании хирургического лечения пациентов с хроническим расслоением аорты проводится компьютерно-томографическая ангиография (КТА) (Басек И.В., 2017; Киселев М.А., 2021; Сафонов А.М., 2022.). Ценность этого метода диагностики объясняется его доступностью, воспроизводимостью и хорошим пространственным разрешением (Лукина О.В.,

2023). Методика измерения диаметров аорты является основной при оценке размеров аорты. При расслоении аорты истинный просвет приобретает неправильную щелевидную или полулунную форму, что в большинстве случаев вызывает трудности при его измерении и, как следствие, при подборе диаметра эндопротеза.

В литературе встречаются единичные работы, посвященные описанию методик измерений аорты, которые позволяют проводить оценку ремоделирования на различных уровнях (Чарчян Э.Р., 2019; Wada T., 2022). В том числе предлагаются новые типы программного обеспечения, позволяющие измерять объемы истинного и ложного просветов аорты. Однако, в настоящее время отсутствует согласованность в предлагаемых методиках, нет четкого понимания как должно проводиться измерение, стоит ли разделять аорту на сегменты и на какое количество. Главным преимуществом волюмометрии является охват аорты на всем ее протяжении не зависимо от ее формы и извитости, а измерение в границах анатомических структур, устьев магистральных сосудов, позволяет исключить расхождения при оценке динамики у одного и того же пациента.

Воспроизводимость методики сегментации наиболее полно освещена при расчете объема аневризмы брюшной аорты, где отсутствовали статистически значимые различия в измерениях, осуществляемых опытным специалистом и студентами медицинского университета (Кузьмин Н.В., 2022; Czermak V.V., 2001). Одновременно с этим были доказаны преимущества объемного расчета брюшной аорты по сравнению с классическим методом измерения диаметров ( $p < 0,0001$ ).

С одновременным внедрением новых методик, авторы публикаций стараются сократить время на обработку данных одного исследования, предлагая уменьшать количество измерений и проводить расчет при помощи математических формул, что также может отражаться на точности получаемых данных (Gaudry M., 2022; Ibrahim A., 2022).

В настоящее время во многих программах уже имеются возможности для анализа объема анатомических структур, автоматической их сегментации. Стандартизация использования этих программ, методик проведения измерений

объемов аорты, позволит не только устранить расхождения в измерениях разных специалистов, но и сократить время, затрачиваемое на обработку данных.

#### Цель исследования

Улучшение диагностики измерений истинного и ложного просветов аорты при ее расслоении путем применения методик расчета их объемов по данным КТА при планировании хирургического лечения и оценки эффективности лечения в послеоперационном периоде.

#### Задачи исследования

1. Разработать методику расчета объемов истинного и ложного просветов аорты по данным КТА.
2. Провести сравнение результатов подбора эндопротеза по объему, по сравнению с классическим методом по диаметру, в раннем и отдаленном послеоперационном периодах наблюдения.
3. Выявить предикторы, влияющие на дилатацию стенки аорты и на развитие дистального разрыва интимы аорты в послеоперационном периоде.
4. Провести клинико-диагностическую оценку разработанной методики расчёта истинного и ложного просветов аорты при хроническом расслоении

#### Научная новизна исследования

Предложена усовершенствованная методика оценки компьютерно-томографической ангиографии с оценкой волюмометрических показателей у пациентов до и после хирургического лечения с диагнозом хроническое расслоение аорты.

Проведен анализ с оценкой диагностической точности применения методик измерения истинного и ложного просветов аорты у пациентов после хирургического лечения хронического течения расслоения аорты для выявления ранних предикторов осложнений, где наибольшей чувствительностью (88%;  $p < 0,01$ ) обладали измерения общего объема.

Впервые проведено сравнение измерений диаметров аорты, площади поперечного сечения аорты и объемов истинного и ложного просветов аорты на соответствующих уровнях, при котором статистически достоверно установлено,

что измерение объемов аорты позволяет получить наиболее значимые прогностические признаки возможных осложнений ( $p < 0,01$ ).

### Теоретическая и практическая значимость работы

В результате проведенного исследования усовершенствована и стандартизирована методика оценки КТА у пациентов до и после хирургического лечения с диагнозом хроническое расслоение аорты с использованием измерений объемов аорты.

Разработана методика проведения измерений объемов аорты на разных уровнях для оценки ремоделирования в послеоперационном периоде.

Проведено сравнение результатов измерений объемов аорты и ее диаметров на соответствующих уровнях, а также доказана прогностическая значимость объемного метода в оценке ремоделирования аорты.

В работе аргументированы преимущества стандартизации проведения КТА аорты на всем ее протяжении без ЭКГ-синхронизации при оценке ремоделирования нисходящего и абдоминального отделов аорты.

Результаты работы могут быть использованы для более детальной оценки ремоделирования аорты, степени тромбоза ложного просвета и степень раскрытия эндопротеза в сравнении с измерениями диаметров, в особенности при выраженной извитости аорты и деформации истинного просвета.

### Методология и методы исследования

Диссертационное исследование выполнялось в три этапа.

На первом этапе изучали современную отечественную и зарубежную литературу, посвященную методам измерения объемов анатомических структур неправильной формы, а также имеющемуся оборудованию и программному обеспечению, позволяющему обрабатывать медицинские изображения, тенденции их развития.

На втором этапе диссертационного исследования проанализированы данные КТА 253 пациентов с расслоением аорты. Выделена группа пациентов, которым было выполнено как минимум 3 исследования: перед операцией, в раннем

послеоперационном периоде и через 1 год. Итоговое количество пригодных для анализа КТА составило 61, количество сегментов – 183.

Компьютерно-томографическую ангиографию выполняли на аппаратах Aquilion 64 и Aquilion One 320 (Toshiba, Japan) с толщиной реконструируемого слоя не более 1 мм.

Разработана методика проведения измерений объемов аорты, с разделением ее на три сегмента, для проведения оценки ремоделирования как непосредственно на уровне оперативного вмешательства, так и в дистальном отделе аорты.

На третьем этапе научной работы произведен статистический и сравнительный анализ измерений объемов аорты на всем ее протяжении с традиционным методом измерений диаметр на соответствующих уровнях.

#### Положения, выносимые на защиту

1. Измерение объемов аорты в послеоперационном периоде при динамическом наблюдении за пациентами после гибридной реконструкции или эндоваскулярного протезирования грудного отдела аорты обладает более высокой чувствительностью в сравнении с рутинными измерениями диаметров на поперечных срезах.

2. Измерение объема истинного просвета аорты и среднего его диаметра на предполагаемом уровне установки эндоваскулярного протеза не могут быть применены при подборе его размера. Для подбора размера эндоваскулярного протеза целесообразно проводить измерение периметра истинного просвета аорты, с последующим расчетом диаметра, что более точно отражает его реальные размеры при деформации.

3. Оценка раскрытия эндоваскулярного протеза должна проводиться посредством измерения объема истинного просвета в сегменте А (уровень имплантации эндопротеза) и в сравнении с предполагаемы объемом раскрытого протеза. Измерения диаметра имплантируемого протеза не может отражать степень его раскрытия, поскольку деформация истинного просвета и соответственно самого протеза может исказить общую картину.

### Степень достоверности и апробация результатов работы

Достоверность проведенного диссертационного исследования определяется достаточным и репрезентативным количеством сравниваемых измерений (n=183), а также адекватной статистической обработкой результатов исследования. На основании полученных данных сформулированы положения, выводы и практические рекомендации.

Диссертационное исследование проводилось в рамках выполнения государственного задания № 121032300337-5.

Основные результаты работы доложены и обсуждены на: 107-й Научной ассамблее и ежегодном собрании Радиологического общества Северной Америки (США, 2021); Невском радиологическом форуме (СПб., 2021); в докладе с применением телемедицинских технологий в рамках реализации функции НМИЦ, Конгрессе Российского общества рентгенологов и радиологов (М., 2022); XXIV ежегодной сессии НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева (М., 2021-2022).

Апробация работы проведена на заседании экспертного совета ФГБУ «НМИЦ им. акад. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России от 19.03.2023 года, протокол №14.

### Публикации по теме диссертации

По теме диссертационного исследования опубликовано 12 работ, из них 4 печатных работы рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

### Внедрение результатов работы в практику

Результаты диссертационного исследования используются в практической работе подразделений лучевой диагностики, а также внедрены в учебный процесс образовательного отдела ФГБУ «НМИЦ им. акад. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

### Личный вклад автора

Тема и план диссертации, ее основные идеи и содержание разработаны совместно с научным руководителем на основе многолетних целенаправленных исследований. Автор самостоятельно сформулировал и обосновал актуальность



темы диссертации, цель, задачи и этапы научного исследования. Лично автором была создана электронная база данных исследований пациентов. Диссертант лично проанализировал полученные данные КТА всех пациентов; ретроспективно проанализировал базу данных пациентов за 2012-2022 годы.

Личный вклад автора в изучение литературы, сбор, обобщение, анализ, статистическую обработку полученных данных и написание диссертации – 100%.

### Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 95 страницах машинописного текста, состоит из введения, обзора литературы, главы с описанием пациентов и методов исследования, главы с результатами исследования, обсуждения, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы, включающего 36 отечественных и 63 зарубежных источников. Работа иллюстрирована 15 таблицами и 17 рисунками.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Общая характеристика обследованных пациентов

Нами был проведен ретроспективный анализ по базе данных пациентов, проходивших диагностику и лечение в федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр им. акад. Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации. В период с 2015 года по 2022 год в учреждении с диагнозом расслоение аорты было прооперировано 253 пациента. Были изучены истории болезни всех пациентов и выделена группа пациентов с хроническим расслоением аорты (n=110). База данных КТА изображений учреждения у этой группы составила 215 исследований, что легло в основу для разработки методики расчета объемов истинного и ложного просветов аорты по данным КТА.

Для детального ретроспективного анализа была выделена группа пациентов с хроническим расслоением аорты по Де Бейки I или III типа после открытой или эндоваскулярной хирургической коррекции. Критериями включения являлось наличие как минимум трех последовательных КТА всей аорты: непосредственно

перед операцией, в раннем послеоперационном периоде и как минимум через год после операции. В данное исследование были отобраны изображения 61 КТА пациентов с диагнозом хроническое расслоение аорты I и III типов по классификации Де Бейки.

Всем пациентам была проведена хирургическая коррекция расслоения аорты по технологии замороженного хобота слона с использованием гибридных стент-графтов E-Vita open plus (JOТЕС GmbH, Хехинген, Германия) и Thoraflex (Vascutek, Terumo, Inchinnan, Шотландия, Великобритания), эндоваскулярное лечение с применением Valiant Captivia (Medtronic, Inc. Дублин, Ирландия). Диаметр эндопротеза при хроническом расслоении аорты подбирали по диаметру истинного просвета на уровне левого предсердия по данным предоперационной КТА.

В отдаленном послеоперационном периоде у 38% пациентов были проведены повторные вмешательства на торакоабдоминальном отделе аорты в связи сохраняющимся притоком крови в ложном просвете (ЛП) и продолжающимся расширением аорты. Было зарегистрировано 8% случаев развития дистального стент-индуцированного разрыва интимы через 7 лет после хирургического лечения.

#### Результаты применения методики измерения объемов истинного и ложного просветов аорты в оценке степени раскрытия эндоваскулярных протезов аорты

Анализ измерения объемов истинного просвета аорты и имплантируемых эндопротезов показал, что объем последнего преобладал во всех случаях, медиана составила 97% [75-132]. Проводился анализ раскрываемости протезов до исходного состояния как отношение объема истинного просвета аорты к объему эндопротеза, степень его раскрытия перед выпиской составила 72% [56,2;73,3], через год составила 72% [67,7; 82,3].

При сравнении с данными измерений диаметров на уровнях проксимально и дистального концов, имплантируемых эндопротезов и их отношения к диаметрам протезов, также проводилась оценка степени раскрытия (Таблица 1).

Таблица 1 – Динамика раскрываемости эндопротеза по данным измерения диаметров аорты

Измеряемые параметры	Перед выпиской (%)	Через 1 год (%)
Диаметр ИП рассчитанный по V	85 [75; 86]	85 [82; 91]
Средний диаметр ИП на уровне проксимального конца эндопротеза	88 [85; 89]	92 [90; 97]
Средний диаметр ИП на уровне дистального конца эндопротеза	77 [74; 81]	85 [81; 88]
Диаметр ИП рассчитанный по P на уровне проксимального конца эндопротеза	92 [88; 98]	98 [95; 103]
Диаметр ИП рассчитанный по P на уровне дистального конца эндопротеза	85 [78; 89]	92 [79; 97]
Диаметр ИП рассчитанный по S на уровне проксимального конца эндопротеза	86 [83; 89]	91 [90; 95]
Диаметр ИП рассчитанный по S на уровне дистального конца эндопротеза	73 [69; 78]	85 [79; 89]

Примечание: ИП – истинный просвет аорты, P – длина окружности аорты, S – площадь поперечного сечения аорты

С целью подбора размера эндопротеза и определения степени его раскрытия трем пациентам на этапе предоперационной подготовки, на основании данных КТА было проведено 3D-моделирование нисходящего отдела аорты с последующей печатью моделей истинного и ложного просветов (Рисунок 1).

Распечатанные модели были использованы в качестве образцов для оценки возможности эндоваскулярного протезирования, степени раскрытия выбранных протезов для каждого пациента, а также контроля герметичности прилегания их к стенке истинного просвета аорты.

Обращает на себя внимание различия степени раскрытия протезов по данным измерений диаметров в сравнении измерениями объемов. Это объясняется неправильной формой истинного просвета канала, на уровне которого он устанавливается, который потом может приобретать форму песочных часов. Неравномерное раскрытие эндопротеза не может быть оценено измерением диаметров аорты на уровне его дистального конца, поскольку это не отражает общей картины изменений, а сохраняющееся воздействие радиальной силы

раскрытия протеза на стенку аорты может послужить причиной развития дистального стент-индуцированного разрыва интимы.



Рисунок 1 – 3D-моделирование грудного отдела аорты с расслоением, красным цветом обозначен ложный просвет аорты, бежевым – истинный просвет, справа – распечатанная модель на подпорках

Результаты сравнительной оценки измерения диаметров аорты, площади поперечного сечения и объемов истинного и ложного просветов аорты при подборе размера эндоваскулярного протеза аорты

При сравнении диаметра установленных эндопротезов с диаметрами истинного просвета аорты, рассчитанными по длине окружности и площади поперечного сечения аорты на уровне левого предсердия совпадений не было выявлено, если не выявлено.

Наиболее близкими к значениям диаметра протеза оказались значения максимального диаметра истинного просвета, их превышение составило 5,8% [-6,7; 13,7]. Превышение диаметра протеза по данным измерениям длины окружности истинного просвета аорты составило 17,8% [14,7; 24,4], площади поперечного сечения 41,4% [32,6; 43,4], среднего диаметра – 32,7% [27,7; 37,9], объема – 26,3% [26,3; 33,6]. Несмотря на значительное превышение диаметра подобранных эндопротезов, только у одного пациента на 7 году наблюдения после хирургического лечения хронического расслоения аорты по методике «замороженный хобот слона» развился дистальный стент-индуцированный разрыв

интимы. Динамика ремоделирования аорты у данного пациента по данным КТА представлена рисунке 2.

Были проанализированы возможности измерения объемов аорты и интерпретация этих данных с точки зрения клинической картины заболевания. При помощи этого метода было зафиксировано увеличение всех объемов сегмента А в раннем послеоперационном периоде, а не только истинного просвета (ИП) (+40%) с параллельным уменьшением общего объема аорты (ОАА) (- 8%), ИП (- 19%), ЛП (- 2%) в сегменте С. Вероятно, это связано с воздействием радиальной силы раскрытия протеза, при котором расширение в сегменте А привело к сужению сегмента С. В дальнейшем наблюдалась аневризматическая трансформация в сегментах В и С.

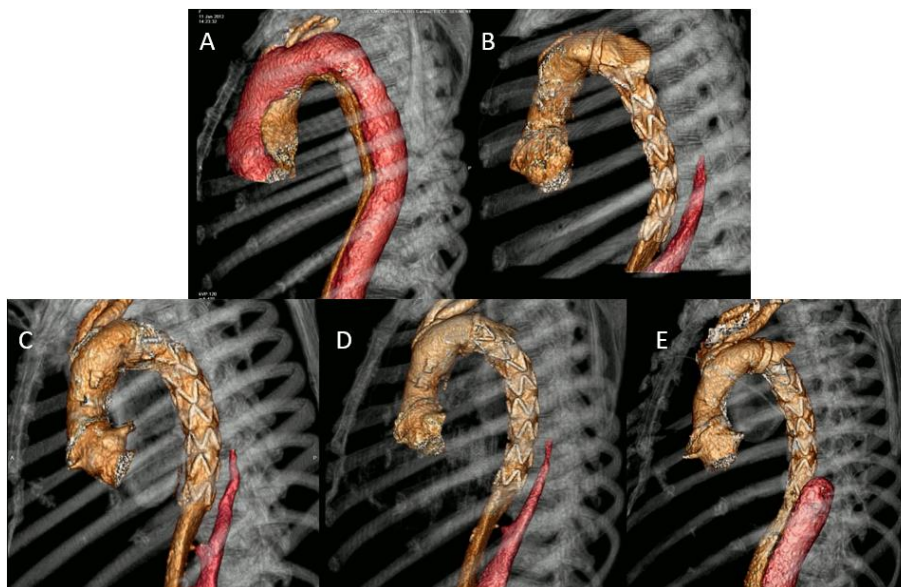


Рисунок 2 – 3D-реконструкции динамики ремоделирования грудного отдела аорты: А – до операции; В – ранний послеоперационный период; С – через 1 год после операции; D – через 2 года после операции, E – через 7 лет после операции. Оранжевым цветом выделен ИП аорты, красным – ЛП

На втором году наблюдения были выявлены редукция ТЛП в сегментах В и С, уменьшение степени раскрытия протеза с 82% до 80%. Это коррелировало с увеличением объема ФЛП в сегментах В и С, что способствовало сдавлению стентированной части протеза, а также развитию напряжения интимомедиальной мембраны в области дистального конца эндопротеза с последующим формированием стент-индуцированного разрыва интимы. При применении объемного

метода измерения аорты и анализе динамики сразу после операции в данном клиническом случае определялось неполное раскрытие протеза с дальнейшим увеличением объема ЛП уже через год после операции.

Ретроспективный анализ измерений истинного просвета аорты до хирургического лечения показал, что максимальный диаметр просвета ИП на уровне предполагаемого дистального конца эндопротеза составил 26 мм, диаметр, рассчитанный по длине окружности – 21,3 мм, среднее значение максимально и минимального диаметров – 17,8 мм. С учетом этого, в случае выбора протеза диаметром 22 мм, объем которого составил бы 57 мл, степень раскрытия протеза при аналогичном течении ремоделирования составила бы 97%.

Проведенный анализ, а также оценка динамики раскрытия на уровне дистального конца эндопротеза позволяет предположить, что вычисление диаметра по длине окружности, а также измерение максимального диаметра истинного просвета, когда это возможно, отражают наиболее приближенное к действительности значение диаметра, в то время как измерения объема и площади поперечного сечения его занижают.

Предикторы отрицательного ремоделирования аорты при ее расслоении в послеоперационном периоде

Проведен анализ 61 КТА, с последующим разделением аорты на 3 сегмента (n=183) с дальнейшим измерением объемов истинного, ложного и общего просветов, а также измерение максимального и минимального диаметров, длины окружности и площади поперечного сечения на уровне перешейка, в нисходящем отделе на уровне дистального края эндопротеза, диафрагмы, чревного ствола и нижней трети инфраренального отдела. Измерения объемов в границах сегмента были сопоставлены с измерениями диаметров, площади поперечного сечения и длины окружности. Оценивалась корреляционная связь данных измерений объемов, диаметров, длины окружности и площади поперечного сечения относительно, а также взаимосвязь с результатами ремоделирования отдельно для каждого уровня измерения диаметра аорты без учета данных предоперационной КТА.

Таким образом в анализ были включены 183 сравниваемых параметра, а также 111 результатов оценки ремоделирования аорты по данным измерений объемов, длины окружности, площади поперечного сечения и среднего диаметра в каждом измеряемом сегменте.

С целью проверки гипотезы о наличии статистических связей между результатами ремоделирования полученные при анализе объемов, диаметров, длины окружности и площади поперечного сечения аорты применялся метод таблиц сопряженности с использованием точного теста Фишера или критерия согласия Пирсона. Результаты ремоделирования аорты, полученные при анализе измерений объемов, были взяты за истинно верные значения. За 1 принимались значения характеризующие отрицательное ремоделирование аорты, 0 – положительное или стабильное ремоделирование.

Согласно полученным данным при сравнении результатов изменений объемов и средних диаметров аорты, измеряемым на разных уровнях, истинно положительные значения были классифицированы правильно в 15 случаях, ложно положительные – 7, ложно отрицательные – 30, а истинно отрицательные – в 59 случаях. Таким образом, при проведении сравнения измерений средних диаметров аорты (общего и истинного просветов) для выявления отрицательного ремоделирования с измерениями объемов только в 33% ( $p = 0,003$ ) случаев были выявлены совпадения.

При сравнении результатов изменений объемов и длины окружности аорты, измеряемой на разных уровнях, истинно положительные значения были классифицированы правильно в 17 случаях, ложно положительные – 7 случаях, ложно отрицательные – 59 случаях, а истинно отрицательные – в 28 случаях. Таким образом, при проведении сравнения измерений длины окружности аорты (общего и истинного просветов) для выявления отрицательного ремоделирования с измерениями объемов только в 38% ( $p = 0,001$ ) случаев были выявлены совпадения.

Анализ результатов изменений объемов и площадей поперечного сечения, аорты измеряемых на разных уровнях, истинно положительные значения были классифицированы правильно в 29 случаях, ложно положительные – 17 случаях,

ложно отрицательные – 16 случаях, а истинно отрицательные – в 49 случаях. Таким образом, при проведении сравнения измерений площади поперечного сечения аорты (общего и истинного просветов) для выявления отрицательного ремоделирования с измерениями объемов только в 64% ( $p < 0,001$ ) случаев были выявлены совпадения.

Для построения ROC-кривых были использованы измерения, полученные при измерении диаметров, длины окружности, площади поперечного сечения, объемов истинного и ложного просветов аорты по данным КТА, выполненных в послеоперационном периоде. Данные КТА перед операцией не учитывались, поскольку оценка ремоделирования аорты определялись только на втором и последующих исследованиях.

При анализе данных отклонений измерений диаметров, длины окружности, площади поперечного сечения, объемов истинного и ложного просветов аорты, как разность данных предоперационных КТА и данных текущего исследования. Каждое отклонение рассчитывалось относительно предыдущего исследования.

Площадь под ROC-кривой графика, соответствующего отклонениям объема истинного просвета аорты, составила 46,5% (ДИ 95%: 37,5-55,5), для измерений длины окружности ИП 48,4% (ДИ 95%: 39,7-57), для площади поперечного сечения ИП 42,9% (ДИ 95%: 34,3-51,6), для диаметра, рассчитанного по длине окружности 48,4% (ДИ 95%: 39,7-57), для диаметра, рассчитанного по площади поперечного сечения 42% (ДИ 95%: 33,3-50,6), для среднего диаметра 42% (ДИ 95%: 33,5-50,5).

Площадь под ROC-кривой графика для отклонений общего объема аорты составила 89,9% (ДИ 95%: 85-94,7), объема ложного просвета аорты 90% (ДИ 95%: 85,5-94,6), длины окружности всей аорты 68,5% (ДИ 95%: 60,5-76,5), площади поперечного сечения всей аорты 71,4% (ДИ 95%: 63,5-79,3), диаметра, рассчитанного по длине окружности всей аорты 68,5% (ДИ 95%: 60,5-76,5), диаметра, рассчитанного по площади поперечного сечения всей аорты 72% (ДИ 95%: 64,2-79,8), для среднего диаметра всей аорты 72,2% (ДИ 95%: 64,5-79,9) (рис. 3). Средняя площадь под ROC-кривой для измерений истинного просвета аорты составила 44,7% [42,2; 47,9], для всей аорты 72% [69,9; 81].



При анализе отклонений результатов измерений методом логистической регрессии были рассчитаны модели для отклонений объемов истинного просвета аорты, общего объема аорты, диаметров, площади поперечного сечения и длины окружности ИП и ООА.

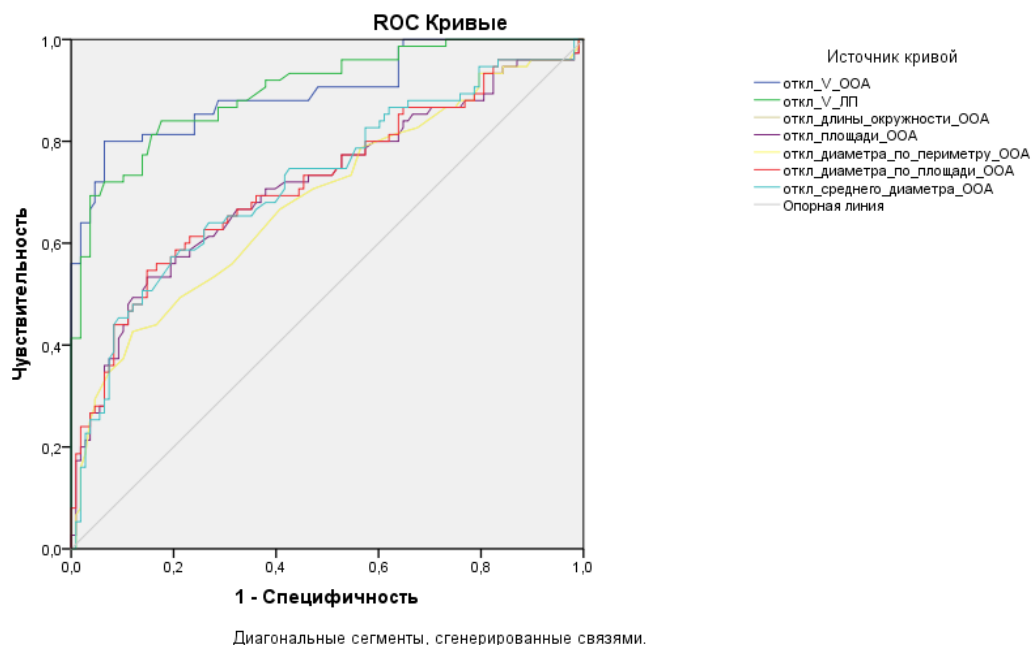


Рисунок 3 – ROC-кривая показателей измерений отклонений диаметров, длины окружности, площади поперечного сечения всей аорты, объемов ложного просвета и всей аорты

Далее методом таблиц сопряжения построенные модели сравнивались с результатами оценки ремоделирования. Изучено сопряжение ремоделирования аорты и отклонений измерений объемов истинного просвета аорты.

Значения чувствительности, специфичности и уровень их достоверности приведены в таблице 2.

Наибольшей чувствительностью для выявления отрицательного ремоделирования аорты обладает методика измерения общего объема аорты равной 88%. Измерения длины окружности и площади поперечного сечения также могут применяться, хотя и обладают более низкой чувствительностью, тем не менее модели, построенные на основе этих измерений, обладают высокой статистической значимостью.

Таблица 2 – Сравнение и специфичности методик измерений аорты для выявления отрицательного ремоделирования

Сравниваемые измерения аорты	Чувствительность %	Специфичность %	p
Объем ИП	28	80,6	0,770
Объем ООА	88	53,7	0,001
Диаметр ИП	74,7	31,5	0,241
Площадь поперечного сечения ИП	74,7	23,1	0,473
Длина окружности ИП	73,3	23,1	0,669
Диаметр ООА	74,7	47,2	0,467
Площадь поперечного сечения ООА	74,7	48,1	0,014
Длина окружности ООА	73,3	45,3	0,003

Предлагаемая методика измерения объемов может являться дополнением к традиционным методикам измерения аорты, с целью уточнения показаний к оперативному вмешательству в тех случаях, когда это измерения поперечных размеров не дают полного представления о динамике изменений.

Из проведенного анализа также следует, что измерение геометрии истинного просвета аорты не позволяет выявить возможные предикторы отрицательного ремоделирования аорты. Сравнивая измерения объемов ИП с измерениями диаметров, длины окружности и площади поперечного сечения аорты, можно отметить, что эти методики измерения обладают меньшей чувствительностью во всех случаях и не являются статистически значимыми.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы наряду с широким внедрением в практическую медицину новых технологий, программных обеспечений, способствующих увеличению объема обрабатываемой информации, ускорению процессов статистического анализа, направленных на построение прогноза течения заболевания, развиваются и новые методики обработки данных инструментальных методов диагностики. Объемные измерения анатомических структур являются наиболее точной величиной, отражающей их размеры вне зависимости от формы. Эти факторы

позволили врачам лучевой диагностики открыть новое направление в оценке состояния органа или организма в целом не только в рамках одного проведенного исследования, но и в динамике. Такой подход нашел свое применение в области онкологии, где оценка объема опухолевой ткани является одним из главных критериев результата проводимой терапии.

В большинстве программных обеспечения предоставляемых вместе с диагностическим оборудованием уже имеются функции оценки объемов, выделенных оператором анатомических структур. Недостатком таких программных обеспечений является неправильное автоматическое выделение границ измеряемых структур. Это является основным ограничением применения такой методики, поскольку требует коррекции со стороны врача-рентгенолога, что значительно увеличивает время на обработку данных исследования. Широкое внедрение в практику объемной методики поспособствует развитию и совершенствованию программных обеспечений, их обучению сегментации анатомических структур с точностью сравнимой с измерениями врача-рентгенолога.

Пациенты с хроническим расслоением аорты после хирургического лечения нуждаются в динамическом наблюдении. Настоящая методика измерения диаметров аорты в некоторых случаях не может достоверно отразить изменения в виде неравномерного расширения просветов аорты, их деформации. Эти данные необходимо дополнять измерениями объемов истинного и ложного просветов аорты, а соответственно провести оценку степени тромбоза ЛП, степени раскрытия эндопротеза, тем самым предоставив важную клинико-диагностическую информацию.

Измерение объема при аневризмах инфраренального отдела аорты уже применяется при динамическом наблюдении за пациентами с аневризмами малых размеров. Было доказана эффективность ее использования для выявления признаков ее роста, вне зависимости от опыта врача-рентгенолога, проводившего измерения.

Таким образом измерение объемов аорты может быть использовано в качестве самостоятельной или дополняющей методики, позволяющей провести оценку результата хирургического лечения и выявить предикторы отрицательного ремоделирования аорты.

## ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика расчета объемов аорты по данным КТ-ангиографии у пациентов с хроническим расслоением аорты обладает наибольшей чувствительностью (88%;  $p < 0,01$ ) для выявления предикторов отрицательного ремоделирования аорты по сравнению с измерениями диаметров аорты на различных уровнях. Разделение аорты на три сегмента в ходе расчетов позволяет проводить оценку грудного и брюшного отделов аорты отдельно, детализировать их и избежать ложноположительных результатов ремоделирования аорты.

2. Подбор эндопротеза по длине окружности является преимущественным по сравнению с классическим и с подбором по объему. Вычисление диаметра по данным измерения объемов и площади поперечного сечения занижают результат по причине сдавления и деформации истинного просвета аорты, в то время как диаметры, рассчитанные по длине окружности наиболее приближены к диаметру истинного просвета в послеоперационном периоде.

3. Отмечено формирование развития дистального разрыва интимы в послеоперационном периоде при эндопротезировании аорты протезом, превышающим диаметр истинного просвета аорты. Прогностическим предикторным признаком дилатации аорты является сохраняющийся кровоток в ложном просвете аорты в сегментах В и С с последующим увеличением его размеров.

4. Клинико-диагностическая значимость методики расчётов объемов аорты при хроническом расслоении заключается в возможности проводить более детальную оценку ее ремоделирования, степени тромбоза ложного просвета и степени раскрытия эндопротеза в сравнении с измерениями диаметров ( $p < 0,01$ ), в особенности при выраженной извитости аорты и деформации истинного просвета.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Область сканирования при расслоении аорты I или III типа по ДеБейки должна охватывать ее на всем протяжении, в случаях, когда необходимо проведение сканирования только грудного или брюшного отделов аорты, принятие решения должно осуществляться консилиумом, в состав которого должны входить врач-сердечно-сосудистый хирург, врач-кардиолог и врач-рентгенолог. Измерения проведенных исследований должны быть стандартизированы с четким определением границы каждого сегмента аорты, протяженности, оценки ремоделирования в сегментах А и В данные предоперационного и послеоперационного обследования должны быть сопоставлены.

2. Подбор размера имплантируемого протеза рекомендуется осуществлять с учетом данных измерений длины окружности с последующем вычислением диаметра.

3. Предикторами отрицательного ремоделирования аорты по данным измерений истинного и ложного просветов аорты являются отклонения изменений объемов ложного просвета аорты и общего объема аорты более 10% по отношению к данным предыдущего исследования.

4. Для правильной оценки степени раскрытия эндопротеза необходимо рассчитывать его объем, поскольку измерение диаметров могут дать ложный результат из-за его деформации. Оценка тромбоза ложного просвета аорты может проводиться только при достаточном контрастировании его функционирующей части.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в разработке унифицированного программного обеспечения с элементами глубокого программирования и машинного обучения, позволяющего проводить не только сегментацию интересующих анатомических структур и проведения анализа различных измерений, но и проведения автоматического сравнения с данными предыдущих исследований.

Разработка и внедрение новых программных обеспечений с функцией автоматической сегментации и выделения просветов аорты, а также одновременным сравнением нескольких наборов данных с оценкой динамики, позволит снизить нагрузку на врачей лучевой диагностики.

Совершенствование и разработка новых проколов сканирования при проведении МРТ аорты позволит проводить исследование с применением синхронизации по пульсу без ЭКГ- синхронизации, что позволит внедрить и широко распространить подобное исследование во многие неспециализированные учреждения, тем самым снизить лучевую нагрузку на пациента уменьшив число КТА.

#### СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Кобелев, Е. Возможности компьютерно-томографической ангиографии при динамическом наблюдении за пациентами с хроническим расслоением аорты / Е. Кобелев, Т.А. Берген, А.А. Шаданов и соавт. // Материалы IX Международного конгресса и школа для врачей «Кардиоторакальная радиология». – СПб., 2022. – С. 24-25.
2. Кобелев, Е. Оптимизация методики выполнения компьютерно-томографической ангиографии аорты при аневризме брюшной аорты / Н.Т. Пак, Е. Кобелев, Е.Э. Бобрикова и соавт. // Материалы IX Международного конгресса и школа для врачей «Кардиоторакальная радиология». – СПб., 2022. – С. 45-46.
3. Кобелев, Е. Выбор метода диагностики для последующего 3D-моделирования корня аорты как этап создания универсального биопротеза аортального клапана / Т.А. Берген, Е. Кобелев, Н.Т. Пак и соавт. // Материалы IX Международного конгресса и школа для врачей «Кардиоторакальная радиология». – СПб., 2022. – С. 5-6.
4. Кобелев, Е. Объемный анализ компьютерно-томографической ангиографии при лечении расслоения грудной аорты на примере с семилетним периодом наблюдения / Е. Кобелев, А.А. Шаданов Д.А. Сирота и соавт. // **Медицинская визуализация. – 2022. – Т. 26, № 3. – С. 46-56.**

5. Кобелев, Е. Оценка выраженности атеросклеротической дегенерации стенки дуги аорты методом компьютерно-томографической ангиографии для прогнозирования риска острых сосудистых событий у пациентов со стенозами сонных артерий в раннем послеоперационном периоде / Н.Т. Пак, Е. Кобелев, В.Ю. Усов и соавт. // **Креативная кардиология.** – 2022. – Т. 16, № 1. – С. 77-91.

6. Кобелев, Е. Новый взгляд на структурные изменения корня аорты при стенозе аортального клапана / Е. Кобелев, Т.А. Берген, А.Р. Таркова и соавт. // **Современные технологии в медицине.** – 2022. – Т. 14, № 2. – С. 51-58.

7. Кобелев, Е. Количественная визуализационная оценка сосудистой стенки у пациентов с хирургической патологией аортального клапана, аорты и брахиоцефальных артерий / Т.А. Берген, Е.И. Зяблова, Е. Кобелев и соавт. // **Инновационная медицина Кубани.** – 2022. – Т. 7, № 4. – С. 5-13.

8. Кобелев, Е. Возможности диагностики: инновационный подход в использовании магнитно-резонансной томографии при аневризме аорты / Е. Кобелев, Н.Т. Пак, Е.Э. Бобрикова и соавт. // *Digital Diagnostics.* – 2022. – Т. 3, № 3. – С. 332-339.

9. Кобелев, Е. Особенности анатомии корня аорты при планировании хирургического лечения патологии аортального клапана / Е. Кобелев, И.Ю. Журавлева, О.В. Крестьянинов, Т.А. Берген // *Материалы конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов.* – СПб., 2021. – С. 100-101.

10. Кобелев, Е. Оценка объемов ложного и истинного просветов аорты при ее расслоении после хирургического лечения по данным компьютерно-томографической ангиографии, предварительные результаты / Е. Кобелев, Т.А. Берген, В.Ю. Усов и соавт. // *Материалы VIII Международного конгресса и школы для врачей «Кардиоторакальная радиология».* – СПб., 2021. – С. 40-41.

11. Кобелев, Е. Оптимизация и расширение методики МР-томографического и ангиографического исследования пациентов с атеросклерозом сонных артерий при определении показаний к хирургическому лечению / Е.Э. Бобрикова, А.А. Карпенко, Е. Кобелев и соавт. // *Материалы конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов.* – СПб., 2021. – С. 40-41.

12. Кобелев, Е. Клинический случай гибридного лечения дивертикула Коммереля и гигантской аневризмы внутригрудного сегмента aberrантной левой подключичной артерии / А. Кобелев, А.А. Шаданов, Д.А. Сирота, М.М. Ляшенко [и др.] // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. – 2023. – № 3. – С. 90-93.

### СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ИП – истинный просвет аорты

КТ – компьютерная томография

КТА – компьютерно-томографическая ангиография

ЛП – ложный просвет аорты

МРТ – магнитно-резонансная томография

ООА – общий объем аорты

ТЛП – тромбированный ложный просвет аорты

ФЛП – функционирующий ложный просвет аорты

d-SINE – дистальный стент-индуцированный разрыв интимы