

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
СЕРДЕЧНО - СОСУДИСТОЙ ХИРУРГИИ им. А.Н. БАКУЛЕВА»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

АБУСОВ ГАДЖИ МАГОМЕДОВИЧ

**Интраоперационная оценка качества аортокоронарного шунтирования
при секвенциальных анастомозах**

3.1.15. Сердечно-сосудистая хирургия

3.1.1. Рентгенэндоваскулярная хирургия

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научные руководители:

д.м.н., профессор Махачев Осман Абдулмаликович

д.м.н. Петросян Карен Валерьевич

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
1.1. Секвенциальное коронарное шунтирование: история развития и результаты хирургического лечения	11
1.2. Особенности гемодинамики шунтов при секвенциальном шунтировании	14
1.3. Методы интраоперационной оценки функции шунтов	16
1.4. Интраоперационная ультразвуковая флоуметрия	18
1.5. Интраоперационная шунтография	23
1.6. Дисфункция шунтов и клинический статус в послеоперационном периоде.....	24
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	28
2.1. Дизайн исследования	28
2.2. Инструментальные методы обследования.....	28
2.3. Протокол операции	34
2.4. Статистический анализ	35
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ.....	37
3.1. Клинико-демографическая характеристика больных	37
3.2. Интраоперационные результаты	39
3.3. Результаты интраоперационной ультразвуковой флоуметрии	40
3.4. Результаты интраоперационной шунтографии.....	46
3.5. Госпитальные результаты	48
3.6. Отдаленные результаты.....	51
3.7. Клинический случай	56
ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ.....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	71
ВЫВОДЫ	72
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	74
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	75

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

DF – диастолическое наполнение шунта

PI – пульсативный индекс

Q mean – средняя объемная скорость кровотока

TTFM – transit time flow measurement

АГ – артериальная гипертензия

АКШ – аортокоронарное шунтирование

БПВ – большая подкожная вена

ВГА – внутренняя грудная артерия

ВТК – ветвь тупого края

ДВ – диагональная ветвь

ЗМЖВ ПКА – задняя межжелудочковая ветвь правой коронарной артерии

ИБС – ишемическая болезнь сердца

ИВЛ – искусственная вентиляция легких

ИК – искусственное кровообращение

ИМ – инфаркт миокарда

ИУФ – интраоперационная ультразвуковая флоуметрия

ИШГ – интраоперационная шунтография

КА – коронарная артерия

КАГ – коронарография

КДО – конечное диастолическое давление

КСО – конечное систолическое давление

КШ – коронарное шунтирование

ЛА – лучевая артерия

ЛВГА – левая внутренняя грудная артерия

ЛКА – левая коронарная артерия

ЛСК – линейная скорость кровотока

МКШ – маммарокоронарный шунт

НРС – нарушение ритма сердца

ОВ – огибающая ветвь

ОИМ – острый инфаркт миокарда

ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения

ОР – отношение рисков

ОШ – отношение шансов

ПВГА – правая внутренняя грудная артерия

ПКА – правая коронарная артерия

ПМЖВ – передняя межжелудочковая ветвь

ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания

ТИА – транзиторная ишемическая атака

ФВ – фракция выброса

ФП – фибрилляция предсердий

ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких

ШГ – контрастная шунтография

ЭКГ – электрокардиография

ЭпиУЗИ – эпикардальное ультразвуковое исследование

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и уровень разработанности исследуемой проблемы.

В современной кардиохирургии коронарное шунтирование является наиболее часто используемым методом оперативного лечения. В хирургии коронарного шунтирования, использование левой внутренней грудной артерии для шунтирования передней нисходящей артерии признано наиболее эффективным способом обеспечения долгосрочной проходимости шунта, являясь своего рода эталоном в данной области. В качестве дополнительного трансплантата наиболее широко используется большая подкожная вена (БПВ), реже правая внутренняя грудная артерия (ПВГА) и лучевая артерия (ЛА). Широкое использование артериальных трансплантатов в коронарной хирургии имеет ряд ограничений, среди которых наличие сопутствующей патологии и особенности коронарного атеросклероза. Использование БПВ в рутинной клинической практике выглядит более целесообразным. В то же время нередкой является проблема несостоятельности БПВ, диагностируемая в части случаев интраоперационно, что может обуславливать дефицит трансплантатов при отказе от использования БПВ.

Секвенциальное КШ является хорошо известной методикой, позволяющей выполнить реваскуляризацию миокарда на фоне дефицита трансплантатов, что было продемонстрировано нами на примере клинического случая [94]. Основным недостатком секвенциального КШ традиционно считается риск фатального инфаркта миокарда вследствие ранней дисфункции шунта в зоне проксимального анастомоза [46]. Однако в литературе нет убедительных данных, подтверждающих этот тезис. Среди теоретических преимуществ секвенциального шунтирования помимо возможности хирургического лечения на фоне дефицита трансплантатов выделяют увеличенный кровоток по шунту посредством снижения сопротивления потоку и уменьшение количества манипуляций на аорте, а также времени хирургического вмешательства [88]. Согласно результатам мета-анализа, опубликованного в 2022 году (15 исследований, 22004 пациентов), секвенциальное КШ в сравнении со стандартным КШ сопровождается снижением риска

дисфункции шунтов на 32% и снижением смертности на 24% в отдаленные сроки после операции [55].

Ранняя дисфункция шунта, как правило, связана с особенностями хирургического вмешательства. В большинстве случаев ее субстратом является тромбоз в месте анастомоза с коронарной артерией (КА). Риск фатального инфаркта миокарда при ранней дисфункции шунта отмечается как при стандартном КШ, так и при секвенциальном шунтировании. Современные методики интраоперационной визуализации шунтов могут способствовать профилактике ранней дисфункции шунта и улучшению клинических результатов. В настоящее время интраоперационная ультразвуковая флоуметрия (ИУФ) стала достаточно рутинным методом предупреждения дисфункции шунтов. Зарубежными специалистами применение ИУФ рекомендовано как средний класс доказательности (класс IIa, уровень B) [4].

Интраоперационная шунтография (ИШГ) реже задействована в клинической практике, что связано с необходимостью наличия гибридной операционной, в купе с трудозатратностью и повышенным экономическим расходом, а также потенциальным негативным воздействием на пациента (нефротоксичность, лучевая нагрузка). Несмотря на вышеупомянутыми ограничениями, ИШГ остается золотым стандартом отображения шунтов, однако повсеместно не используется и в действующих рекомендациях отражения не находит.

Данные литературы по изучению возможностей секвенциального КШ с интраоперационной оценкой функции шунтов ограничены. Необходимо проведение крупных исследований и разработка доступного алгоритма использования ИШГ и ИУФ для практической оценки функциональной состоятельности секвенциальных шунтов, учитывающую их эксплуатационные характеристики, преимущества и недостатки. В свете представленной информации, актуальным представляется как оценка надежности последовательного КШ, так и выявление причин неудовлетворительных результатов с использованием ИШГ и ИУФ.

Цель исследования

Изучить эффективность и безопасность интраоперационной оценки состоятельности коронарных шунтов при проведении интраоперационной ультразвуковой флоуметрии и интраоперационной шунтографии при секвенциальном коронарном шунтировании и сформулировать алгоритм проведения ревизии шунта с учетом полученных результатов.

Задачи исследования

1. Оценить результаты интраоперационной ультразвуковой флоуметрии при секвенциальном и стандартном шунтировании коронарных артерий
2. Оценить результаты интраоперационной шунтографии при секвенциальном и стандартном шунтировании коронарных артерий
3. Определить влияние секвенциального коронарного шунтирования и диаметра целевой коронарной артерии на параметры интраоперационной ультразвуковой флоуметрии и интраоперационной шунтографии
4. Изучить госпитальные и средне-отдаленные результаты секвенциального коронарного шунтирования при изолированном использовании интраоперационной ультразвуковой флоуметрии и сравнить их с результатами коронарного шунтирования при использовании интраоперационной ультразвуковой флоуметрии с добавочным контролем посредством интраоперационной шунтографии
5. Разработать алгоритм для определения показаний к ревизии шунта при секвенциальном шунтировании.

Научная новизна

Впервые предложен комплексный подход к оценке результатов секвенциального коронарного шунтирования, включающий двойной интраоперационный контроль с использованием ультразвуковой флоуметрии и интраоперационной шунтографии. На основе полученных данных разработан алгоритм для оценки функциональности созданных анастомозов, который позволяет объективно оценить функциональную исправность секвенциальных

анастомозов и предоставляет возможность совокупного использования обеих методов с позиции перспективы пользы и недостатков.

Практическая значимость

Клиническое применение системной оценки работоспособности секвенциальных шунтов в соответствии результатам интраоперационной ультразвуковой флоуметрии и интраоперационной шунтографии даст возможность повысить непосредственные результаты КШ, ускорить время операции и впоследствии рационализировать экономическую часть хирургического лечения.

Методология и методы исследования

Исследовательская работа выполнена на базе ГБУ РД «НКО «Дагестанский центр кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии» им. А. О. Махачева. Дизайн – когортное ретроспективное исследование. Данное исследование охватывает пациентов с ишемической болезнью сердца, которым в период с 2021 по 2023 год было выполнено аортокоронарное шунтирование с применением методики секвенциального шунтирования. Пациенты разделены на 2 группы сравнения. Группа 1 (основная) сформирована из больных, перенесших хирургическое лечение, где использовался двойной контроль функции шунтов. Группа 2 (контрольная) состояла из пациентов с ишемической болезнью сердца, перенесших коронарное шунтирование с интраоперационной ультразвуковой флоуметрией, но без дополнительной интраоперационной шунтографии для визуализации шунтов.

При проведении ИУФ были проанализированы ниже перечислены гемодинамические параметры: индекс пульсации (PI, ед.), средняя объемная скорость кровотока (Q_{mean} , мл/мин), диастолическое наполнение шунта (DF, %). При использовании интраоперационной контрастной шунтографии (ШГ) проанализированы: функциональная состоятельность проксимальных и дистальных анастомозов, проходимость шунта, кровотоков по нативной артерии дистальнее анастомоза (TIMI).

Исследовалась зависимость между показателями, полученными методами ИУФ и ИШГ и развитием послеоперационных осложнений обусловленные

дисфункцией шунта (таких как смерть, нестабильная стенокардия, инфаркт миокарда, аритмии). Анализ был направлен на выявление различий в эффективности различных хирургических подходов, принимая во внимание дефекты шунтирования, характерные для каждой группы. Планируется анализ частоты развития кардиальных ишемических событий (рецидив стенокардии, повторная реваскуляризация, инфаркт миокарда) и смертности в течение 1 года после операции и оценка предикторов указанных событий с учетом результатов интраоперационной оценки функции шунтов.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Выполнение секвенциального коронарного шунтирования может быть выполнено с использованием двойного интраоперационного контроля функции шунтов с достижением успешных клинических результатов.
2. Дополнительное использование интраоперационной шунтографии после проведения интраоперационной ультразвуковой флоуметрии позволяет оптимизировать оценку необходимости ревизии шунта.
3. Секвенциальное шунтирование с применением интраоперационной ультразвуковой флоуметрии позволяет улучшить непосредственные результаты операции коронарного шунтирования.

Внедрение новых методов диагностики и лечения в клиническую практику.

Результаты данного исследования успешно внедрены в научную и практическую работу кардиохирургических отделений ГБУ РД «НКО» ДЦК и ССХ им. А. О. Махачева»

Оценка достоверности результатов и апробация работы

Объективность и достоверность результатов исследования были достигнуты за счет строгого применения современных статистических методов к данным, полученным из клинических наблюдений, лабораторных анализов и инструментальных исследований. Для подтверждения эффективности предложенного лечения был проведен всесторонний и объективный анализ результатов, полученных на достаточно большой и представительной группе

пациентов. Апробация диссертационной работы состоялась на объединённой конференции отделения рентгенохирургических методов исследования и лечения сердца и сосудов, Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева» Минздрава России от 06 ноября 2024 года.

Публикации по теме диссертации.

По теме диссертации опубликовано 4 статьи, все входят в перечень Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации. Темы, раскрытые в научных публикациях, полностью соответствуют содержанию диссертационной работы.

Объем и структура диссертации.

Диссертация оформлена в виде специально подготовленной рукописи, состоит из введения, четырех глав, выводов, практических рекомендаций, списка литературы, насчитывающего 102 наименования (отечественных и зарубежных авторов). Диссертация изложена на 86 страницах машинописного текста, иллюстрирована 18 рисунками и 12 таблицами.

Личный вклад автора

Автор самостоятельно проводил отбор пациентов, руководствуясь четкими критериями включения и исключения. Полученные данные были систематизированы в базу данных, подвергнуты статистическому анализу и интерпретированы с научной точки зрения. Автор лично участвовал в хирургическом лечении значительной части пациентов (более 80%), а также осуществлял их послеоперационное наблюдение, вел необходимую документацию и отслеживал динамику клинического состояния. Результаты исследования были представлены в виде докладов на всероссийских научных конференциях.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Секвенциальное коронарное шунтирование: история развития и результаты хирургического лечения

В настоящее время заболеваемость атеросклерозом коронарных артерий (КА) и потребность в коронарном шунтировании (КШ) в нашей стране и за рубежом по-прежнему остаются высокими [28]. КШ является общепризнанным хирургическим методом лечения ишемической болезни сердца, повышающим качество и продолжительность жизни и уменьшающим риск развития ишемических событий [1]. Традиционно при КШ используют трансплантаты левой внутренней грудной артерии (ЛВГА) и больших подкожных вен (БПВ) с шунтированием целевых КА линейным способом (1 шунт – 1 артерия), в отдельных случаях используют секвенциальное шунтирование с формированием последовательных дистальных анастомозом к двум и более целевым КА.

Секвенциальное КШ представляет собой последовательное создание дистальных анастомозов с двумя и более КА на одном шунте. Среди терминов, обозначавших секвенциальное КШ, можно выделить следующие: «прыгающее» («jump-graft»), «мостовидное» («bridge-graft»), «змеевидное» («snake-graft»), «циркулярное» («circular-graft») и «объединенное» («combined-graft») коронарное шунтирование [19, 23, 46, 78, 81]. Первое упоминание о проведении секвенциального КШ в литературе представлено в работе группы авторов во главе с R.J. Flemma, опубликованной в 1971 году [30]. Спустя год T.D. Bartley и соавт. продемонстрировали удовлетворительные результаты секвенциального КШ единым аутовенозным шунтом у 130 пациентов [17]. И те, и другие исследователи впервые продемонстрировали возможность использования БПВ для формирования секвенциального анастомоза. В течение следующих лет в литературе появились удовлетворительные результаты использования аутоартериальных шунтов при секвенциальном КШ [50, 77]. Впервые о них сообщил L.R. McBride в 1983 году: он описал результаты секвенциального маммаро-коронарного шунтирования у 39

пациентов, у четверти из них была выполнена ангиография (минимальный срок - через 2 месяца, максимальный - через 5 лет), по результатам которой дисфункции шунтов не обнаружено [50]. Спустя еще практически 15-20 лет в литературе появились сведения об успешном проведении секвенциального КШ с использованием лучевой артерии и правой желудочно-сальниковой артерии [66, 82]. В отдельных работах трансплантат лучевой артерии был использован в качестве композитного шунта в дополнении к трансплантату ЛВГА, однако проходимость композитных шунтов оказалась ниже, чем в случае использования лучевой артерии в качестве свободного трансплантата [62, 67].

С увеличением количества операций секвенциального КШ и накоплением опыта хирургического лечения появились публикации, посвященные недостаткам метода. Главной проблемой секвенциального КШ в первые годы его применения было названо различие в проходимости шунтов после формирования двух вариантов анастомоза: «бок-в-бок» и «конец-в-бок». Дисфункция шунтов по типу регистрировалась существенно чаще при варианте «конец-в-бок» в сравнении с вариантом «бок-в-бок» как в ранние сроки после операции (15 % против 5 %, $p < 0,001$), так и через 1 год (22 % против 11 %, $p < 0,001$), и через 5 лет (34 % против 15 %, $p < 0,005$). В этом исследовании была изучена функция шунтов при третьем варианте шунтирования – стандартном анастомозе. При сравнении двух типов шунтов - "бок-в-бок" и стандартных линейных - было установлено, что шунты "бок-в-бок" демонстрируют лучшую проходимость в раннем послеоперационном периоде. Частота окклюзий была значительно ниже (5% против 12%, $p < 0,005$), через 1 год (11 % против 20 %, $p < 0,005$) и через 5 лет после операции (15 % против 24 %, $p < 0,05$). Сравнительный анализ частоты окклюзии стандартных шунтов и шунтов «конец-в-бок» в течение 5 лет показал худший результат для секвенциального варианта (34 % против 24 %, $p < 0,005$) [46]. Полученный результат явился причиной для выводов о преимуществах стандартной операции КШ с изолированными шунтами ввиду высокого риска окклюзии шунта «конец-в-бок». В последующие годы сохранялись опасения по поводу худшей проходимости секвенциального шунта «конец-в-бок» и высокого риска развития ишемии в зоне

дистального анастомоза.

В 2000-е годы впервые опубликованы работы, в которых указывается на более высокую проходимость секвенциальных шунтов в сравнении с изолированными шунтами. В исследовании К.М. Vural и соавт. было продемонстрировано, что значение 5-летней проходимости секвенциальных шунтов из БПВ находится между значениями проходимости ЛВГА и изолированными шунтами из БПВ. Лучшая проходимость БПВ при использовании секвенциальной техники шунтирования, по мнению авторов, может быть объяснена снижением сопротивления кровотоку по шунту. Авторы подчеркивают проблему окклюзии шунта в зоне проксимального анастомоза, в то же время они отмечают, что в таком случае сохранная функция дистальных анастомозов может моделировать улучшение межсистемного коллатерального кровотока [88]. Летальные исходы в этой работе не были проанализированы, что явилось важнейшим ограничением исследования.

В следующие годы в ряде исследований были получены результаты, подтверждающие высокую проходимость секвенциальных шунтов. С целью систематизации данных в 2011 году был опубликован крупный мета-анализ (12 исследований). J. Li и соавт. продемонстрировали разнородность ряда исследований, часть из которых свидетельствует о более высокой летальности больных, перенесших секвенциальное КШ, реализуя гипотезу высокого риска летального исхода в случае дисфункции шунта в зоне проксимального анастомоза. Другая часть исследований опровергает ухудшение прогноза в этой группе больных [75]. Эти авторы получили существенные преимущества в частоте окклюзии секвенциальных шунтов в среднесрочном периоде (более 1 года) после операции (13,6 % против 19,2 %, $p < 0,001$). При сравнительном анализе отдельных секвенциальных шунтов отмечено, что частота окклюзии меньше в случаях формирования анастомоза «бок-в-бок» (9,6 % против 14,1 %, $p < 0,001$). Результаты другого мета-анализа (15 исследований), опубликованного в 2022 году, подтвердили авторские тезисы: частота окклюзии секвенциальных шунтов ниже на 32 % (относительный риск (ОР) – 0,68, 95 % доверительный интервал (ДИ) 0,60 –

0,77), чем изолированных (доля окклюзированных шунтов: 16,2 % против 20,6 %, для групп соответственно, $p < 0,001$) [55]. Н. Лiao и соавт. впервые представили совокупные результаты исследований по повторной периперационной реваскуляризации и отдаленной смертности у больных, перенесших секвенциальное КШ в сравнении со стандартной методикой. Длительность наблюдения в публикациях составляла от 12 до 115 месяцев. Отдаленная смертность в группе секвенциального КШ была ниже на 24 % (ОР – 0,76, 95 % ДИ 0,61 – 0,95), в основной группе она составила 16,8 %, в группе контроля (стандартное КШ) – 23,9 %, $p = 0,01$. Частота повторной периперационной реваскуляризации была на 58 % выше (ОР – 1,58, 95 % ДИ 1,16 – 2,14) в группе секвенциального КШ (1,5 % против 0,7 %). Повышенная необходимость периперационной повторной реваскуляризации при секвенциальном КШ может быть объяснена дисфункцией проксимального анастомоза. В то же время искусственные коллатеральный кровоток из дистальных анастомозов после секвенциального КШ, вероятно, ограничивает развитие фатального инфаркта миокарда и способствует лучшему прогнозу в отдаленные сроки после операции.

Роль секвенциального КШ в настоящее время преимущественно отведена лечению больных с дефицитом трансплантатов и кальцинозом аорты. Кроме того, отдельно следует выделить группу молодых пациентов, кому может быть выполнена полная аутоартериальная реваскуляризация миокарда. В общей когорте больных убедительных преимуществ секвенциального КШ над стандартным хирургическим лечением нет.

1.2. Особенности гемодинамики шунтов при секвенциальном шунтировании

Различия в параметрах гемодинамики по секвенциальному шунту были замечены в самых первых работах, тогда Т. D. Bartley и соавт. показали среднюю скорость кровотока по единому аутовенозному шунту в пределах 203 мл/мин (минимальная 25 мл/мин, максимальная 980 мл/мин) [13]. Теоретические

предпосылки к улучшению параметров кровотока при секвенциальном КШ заключаются в снижении коронарного сопротивления за счет серии дистальных анастомозов. Известно, что дополнительный дистальный анастомоз «бок-в-бок» двухкратно снижает сопротивление кровотоку в целом русле [91]. Увеличение числа дистальных анастомозов с целевыми коронарными артериями сопровождается линейным возрастанием объемного кровотока по шунту и, соответственно, снижением коронарного сопротивления [91]. Среди других характеристик, влияющих на объемный кровоток по шунту и коронарное сопротивление следует выделить диаметр целевой артерии. Закон Гагена-Пуазейля описывает, что сопротивление сосуда для протекающей крови растет пропорционально длине сосуда и вязкости крови, но падает пропорционально диаметру сосуда. Таким образом, диаметр целевой КА является важнейшим параметром, определяющим скорость кровотока по шунту и сопротивление. В отечественных и зарубежных исследованиях было доказано, что значение диаметра целевой КА обратно пропорционально объемной скорости кровотока и прямо пропорциональной пульсативному индексу, характеризующему коронарное сопротивление [44, 45]. В работе Р.С. Акчурина и соавт. было отмечено, что худшие результаты ИУФ были получены для КА диаметром менее 1 мм [44].

Взаимосвязь между параметрами кровотока и дисфункцией шунтов в послеоперационном периоде была многократно продемонстрирована ранее [42, 79, 84, 86]. Послеоперационная дисфункция шунта (в течение 1 месяца) обусловлена особенностями хирургического вмешательства и, как правило, является следствием тромбоза шунта. Тогда как более поздние случаи коронарной недостаточности связаны с другими причинами: гиперплазией интимы и прогрессированием атеросклероза [51]. В серии фундаментальных экспериментальных работ 80-х годов было показано, что высокая скорость кровотока по шунтам замедляет прогрессирование гиперплазии интимы и развитие атероматоза в сосудистой стенке [29, 36, 87]. В настоящее время продолжается изучение влияния скорости кровотока на прогрессирование атеросклероза. Известно, что участки КА с низким кровотоком наиболее подвержены атеросклерозу, к ним можно отнести зоны

бифуркации [48]. Согласно закону Бернулли, увеличение скорости кровотока сопровождается снижением гидростатического давления. В таком случае высокая скорость кровотока и низкое гидростатическое давление в коронарном русле может сопровождаться увеличением напряжения сдвига и снижением риска атеросклероза [89]. В случае секвенциального КШ гемодинамика по шунтам может существенно изменяться по мере движения от проксимального анастомоза к дистальному «конец-в-бок». Максимальные показатели объемной скорости кровотока будут фиксироваться в области проксимального анастомоза, минимальные в зоне анастомоза «конец-в-бок», на ряду с этим установлено, что наличие промежуточного анастомоза "бок-в-бок" существенно не влияет на кровотоки в дистальном анастомозе. [10, 54].

1.3. Методы интраоперационной оценки функции шунтов

Технические особенности коронарного шунтирования, дефекты при формировании анастомозов и самого шунта, а также другие интраоперационные сложности являются основными причинами ранней окклюзии шунтов в периоперационном периоде и в течение 1 года после операции. Ранняя окклюзия шунта часто связана не только с техническими погрешностями, но и с конкурентным кровотоком по нативной коронарной артерии и состоянием гиперкоагуляции. [61, 69]. В более поздние сроки после шунтирования может развиваться гиперплазия интимы, начинающаяся в области анастомоза и представляющая собой адаптивный процесс. В то время как гиперплазия часто остается локализованной, в некоторых случаях она становится генерализованной, приводя к стенозу и окклюзии шунта в области анастомоза. [63]. Частота дисфункции аутовенозных шунтов в указанный выше промежуток времени достигает 20-30 %, аутоартериальных шунтов – 3-7 % [6, 51, 58]. В работе М. Gaudino и соавт. представлены обобщенные результаты проходимости различных трансплантатов с учетом послеоперационных сроков (таблица №1).

Таблица 1 – Состоятельность кондуитов с учетом типа применяемого трансплантата. Адаптировано из [51]

Кондуит	Проходимость в ранний период (до 1 года)	Проходимость в среднесрочный период (5-7 лет)	Отдаленная проходимость (больше 10 лет)
Большая подкожная вена, %	81-97,9	75-86	50-60
Внутренняя грудная артерия, %	93-96	88-98	85-95
Лучевая артерия, %	89-92	90-98	89-91
Правая желудочно- сальниковая артерия, %	92-97	80-90	62

Интраоперационная оценка позволяет определить дисфункцию шунта даже без тяжелых ишемических событий, включая нестабильную гемодинамику, и другие интраоперационные симптомы ишемии миокарда с нарушением локальной сократимости миокарда *de novo* [86]. Использование методов интраоперационной верификации проходимости шунтов позволяет выполнить коррекцию технических проблем до завершения операции. В одном из исследований было показано, что интраоперационная визуализация шунтов с последующей ревизией (при необходимости) сопровождается многократным снижением вероятности дисфункции шунтов в течение 1 года после операции [73]. Возможность интраоперационной визуализации шунтов и их ревизии крайне актуальна при проведении операции секвенциального КШ, когда в результате дисфункции шунта отмечается высокий риск развития инфаркта миокарда в зоне кровоснабжения двух и более артерий. На сегодняшний день в целях измерения состоятельности шунтов преимущественно применяют нижеперечисленные методы визуализации: интраоперационная ультразвуковая флоуметрия, эпикардальное ультразвуковое сканирование, интраоперационная шунтография, флуоресцентная ангиография. У

всех этих методов имеются преимущества и недостатки, а дополнительные сложности в использовании указанных методик могут быть обусловлены отсутствием соответствующего оборудования и недостаточным опытом хирурга.

Интраоперационная флуоресцентная ангиография с индоцианином зеленым (ICG) представляет собой перспективный метод оценки перфузии тканей во время операции. Использование нерадиоактивного красителя индоцианина зеленого, который светится в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR), позволяет визуализировать кровотоки и выявлять зоны ишемии после внутривенного введения. Ключевым преимуществом является отсутствие радиационного воздействия на пациента. В то же время, метод имеет ряд ограничений: он не позволяет детально оценить структуру кровотока в шунтах, требует времени (около 10-15 минут), предоставляет лишь полуколичественную оценку состоятельности анастомозов и хуже визуализирует шунты, расположенные в лоскуте, по сравнению со скелетированными трансплантатами. [101].

Интраоперационная шунтография рассматривается как «золотой стандарт» визуализации шунтов в интраоперационном периоде. Тем не менее, ИШ не используется широко в клинической практике, так как требует увеличения длительности хирургического вмешательства и наличия гибридной операционной. Необходимость ревизии шунта при проведении ИШ в исследовании Р.К. Ноl и соавт. составила 4,2 % ($n = 18/427$). Диагностированный дефект в 33,3 % случаях был выявлен в зоне дистального анастомоза, в остальных 66,7 % поражение было локализовано в самом трансплантате. Коррекция анастомоза была выполнена в 17 из 18 случаев, при контрольной шунтографии проходимость этих шунтов составила 100 % [40].

Проведение ИУФ ограничено невозможностью прямой визуализации кровотока по шунтам. Дополнительное использование эпикардального ультразвукового исследования (ЭпиУЗИ) может быть важнейшим дополнительным инструментом к ИУФ. Выполнение ЭпиУЗИ на остановленном сердце позволяет визуализировать дистальный анастомоз и непосредственно шунт. В одном из исследований было показано, что дополнительное использование

ЭпиУЗИ существенно увеличивает чувствительность ИУФ: среди 39 шунтов (из 678) с субоптимальными значениями ИУФ только в 2 случаях была подтверждена дисфункция шунта при дополнительной визуализации [42]. Сравнительный анализ эффективности различных методик интраоперационной визуализации показал преимущества интраоперационной флуоресцентной визуализации с применением индоцианина зеленого над интраоперационной ультразвуковой флоуметрией [3]. Чувствительность флуоресцентной визуализации была выше (83 % против 25 %, соответственно), специфичность обоих методов была очень высокой и не различалась (100 % против 98,4 %, соответственно). Несмотря на полученный результат методика не получила широко клинического использования, вероятно, в связи с технически более сложным исполнением в сравнении с ИУФ. Таким образом, интраоперационная ультразвуковая флоуметрия является наиболее популярным методом интраоперационного мониторинга кровотока в шунтах [53]. В отличие от ангиографии, этот метод прост в использовании, неинвазивен и предоставляет возможность количественно измерить гемодинамические параметры кровотока.

1.4. Интраоперационная ультразвуковая флоуметрия

Интраоперационная ультразвуковая флоуметрия – это метод, основанный на определении времени прохождения кровотока через шунт. Впервые метод был использован W. Walpoth и соавт. в 1998 году [85]. К настоящему моменту ИУФ является самым распространённым методом интраоперационной оценки функции шунтов. Использование ИУФ поддерживается текущими клиническими рекомендациями в качестве метода выбора для интраоперационной визуализации шунтов [1]. Существует несколько основных параметров, требующих оценки, при проведении ИУФ:

1. Средняя объемная скорость кровотока (MGF или Q-mean). MGF оценивается в мл/мин и представляется в виде кривой потока. Показатель рассчитывается по следующей формуле: $MGF = (\text{аортальное давление} - \text{дистальное давление})$

миокарда)/дистальное сосудистое сопротивление. На показатель скорости кровотока влияет значение вязкости крови, диаметр шунта и целевой коронарной артерии, объем воспринимающего русла, а также потенциальный спазм шунта [7, 56, 99]. В качестве приемлемого используется значение MGF более 20 мл/мин [6].

2. Пульсативный индекс (PI) характеризует сопротивление кровотоку по шунту, измеряется в абсолютных числах (единица). Показатель рассчитывается по следующей формуле: $PI = (\text{пиковый диастолический поток} - \text{пиковый систолический поток}) / \text{средний поток}$. На показатель пульсативного индекса влияют факторы, характеризующие сопротивление: диаметр всех исходных параметров приносящего русла (проксимальный анастомоз, диаметр и качество шунта, дистальный анастомоз) и потенциальный спазм шунта, а также диаметр и потенциальный спазм целевой коронарной артерии. Увеличение PI может быть связано с атеросклерозом дистальнее формирования шунта или с отсутствием воспринимающего русла [7, 53]. В качестве приемлемого используется значение <5 единиц, идеальным считается значение $PI < 3$ единиц [6].

3. Процент диастолического наполнения (DF). DF измеряется в процентах (%) и отражает долю диастолического потока по шунту. Показатель рассчитывается по следующей формуле: $DF = \text{диастолический поток} / \text{систолический поток} + \text{диастолический поток}$. На показатель процента диастолического наполнения существенное влияние оказывает коронарная анатомия (диастолическое наполнение кровотока несколько выше для системы ЛКА), а также имеет значение местоположение датчика (проксимальная или дистальная часть шунта) [7, 53]. В качестве приемлемого предлагается использовать значение 60-70% для артерий системы ЛКА и 50-60% для артерий системы ПКА [6].

4. Процент обратного потока (BF). BF измеряется в процентах (%) и отражает долю потока крови с ретроградным движением через анастомоз. Показатель рассчитывается в систолу, существенное влияние на него оказывает конкурентный кровоток по нативной коронарной артерии и ряд других параметров, характеризующих сопротивление кровотоку. Приемлемым считается значение менее 3% [6, 32, 100].

Каждая переменная представляет уникальную характеристику, необходимую для полноценной интерпретации результатов ИУФ. Принципиально важным является соблюдение правил выполнения ИУФ. При проведении ИУФ следует использовать датчик, соответствующий диаметру шунта. Исследование следует проводить как можно ближе к дистальному анастомозу для исключения дополнительного сопротивления кровотоку за счет длины шунта. При секвенциальном КШ исследование следует проводить между всеми анастомозами [94]. R. Akhrass и соавт. предлагают оценивать параметры флоуметрии в 4 этапа при операции с использованием искусственного кровообращения (ИК):

1. После формирования дистального анастомоза на фоне сохраняющегося пережатия аорты следует выполнить первое измерение. Уровень PI должен быть очень низким с пологой кривой на фоне продолжающегося ИК.
2. После первого измерения следует провести петлевую пробу с пережатием целевой коронарной артерии выше анастомоза для исключения ложного результата ИУФ (см. ниже).
3. Следующий шаг исследования выполняется после окончания ИК и до введения протамина. При подозрении на наличие конкурентного кровотока следует выполнить функциональные пробы.
4. Последнее измерение проводится перед сведением грудины.

Ограниченная чувствительность интраоперационной ультразвуковой флоуметрии представляет собой значимый недостаток при его использовании в клинической практике. Данный фактор повышает вероятность получения неверных результатов, включая ложноотрицательные (отсутствие выявления дисфункции шунта при ее наличии) и ложноположительные (выявление дисфункции шунта при ее отсутствии). При интерпретации результатов ИУФ необходимо учитывать возможность ретроградного кровотока по нативному сосуду из шунта, обусловленного стенозом дистального анастомоза. Для исключения ложноотрицательного результата рекомендуется выполнить петлевую пробу (временное пережатие целевой коронарной артерии проксимальнее анастомоза). Это позволит получить истинно положительный результат оценки ИУФ с

последующей коррекцией сужения дистального анастомоза. Неверная интерпретация показателей ИУФ часто приводит к ложноположительным результатам. Основной причиной данной проблемы часто выступает спазм шунта, особенно часто наблюдаемый при использовании аутоартериальных трансплантатов. С целью дифференциальной диагностики и повышения достоверности получаемых данных показано применение спазмолитических средств, в частности, орошение раствором папаверина. Положительная динамика гемодинамических показателей после введения спазмолитика подтверждает наличие спазма шунта [37]. Ряд исследователей считают ложноположительные результаты серьезной проблемой в интраоперационной ультразвуковой флоуметрии, поскольку они могут приводить к неоправданным ревизиям шунтов [6]. Чувствительность метода является главным его недостатком.

В литературе показано, что дополнительная визуализация шунтов с помощью ЭпиУЗИ увеличивает чувствительность ИУФ практически до 100% [42]. Оптимальное проведение ЭпиУЗИ возможно при операции на остановленном сердце, даже в таком случае поддержка оптимального положения датчика и стабильного контакта с сосудом представляет определенные сложности. В этом есть основное ограничение использования ЭпиУЗИ и, вероятно, причина отказа хирургов от широкого использования в клинической практике [6]. Впервые ЭпиУЗИ было выполнено L. Hiratzka и соавт. в 1986 году [76]. В 2003 году R. Naaverstad и соавт. опубликовали серию работ, в которых показали высокую эффективность ЭпиУЗИ при КШ как на остановленном, так и на работающем сердце [27]. Усовершенствование метода и техники выполнения ЭпиУЗИ было продемонстрировано J. Andreassen и соавт. в 2019 году. Авторы изменили подход к стабилизации устройства на миокарде над целевой артерией. Вместо ультразвукового геля было использовано стабилизирующее устройство, что по мнению авторов нивелировало ограничения ЭпиУЗИ и представляло удобные продольные и поперечные изображения всех частей анастомоза [8]. Важно отметить, что ЭпиУЗИ можно использовать не только в качестве дополнения к ИУФ для интраоперационной оценки функции шунта, но и для оценки восходящей аорты, определения оптимального места наложения дистального анастомоза,

определения глубины интрамиокардиальной коронарной артерии, исключения коронарной диссекции и для диагностики отдельных редких состояний, например визуализации воздушной окклюзирующей пробки коронарной артерии [5, 25].

1.5. Интраоперационная шунтография

Впервые возможности интраоперационной шунтографии во время КШ были описаны в 90-х годах [80]. Несмотря на некоторые преимущества ИУФ и ЭпиУЗИ, некоторые авторы все еще считают метод ИШГ «золотым стандартом» интраоперационной визуализации шунтов [6, 40, 42, 52, 97, 98]. В то же время текущие международные рекомендации не определяют ее роль при хирургическом лечении коронарных артерий.

Преимуществом интраоперационной шунтографии с использованием йодсодержащих контрастных препаратов является возможность непосредственной визуализации кровотока в области шунтов и анастомозов, обеспечивающая высокую чувствительность метода. Вместе с тем, потенциальный риск развития контраст-индуцированной нефропатии, обусловленный введением контрастного вещества в условиях оперативного вмешательства, ограничивает широкое распространение данной методики. Фактически использование ЭпиУЗИ разработано и поддержано исследователями в качестве альтернативы данному методу [35,102]. Преимущества ЭпиУЗИ над ИШГ очевидны, отсутствие лучевой нагрузки и использования йодсодержащих контрастных веществ делает ультразвуковой метод более безопасным. В то же время важно подчеркнуть, что ЭпиУЗИ является технически более сложным методом, существующие проблемы с получением четкого изображения ограничивают его широкое использование. Использование ИШГ при наличии соответствующей технической возможности позволяет визуализировать шунт и целевую коронарную артерию на всем протяжении быстрее, чем при ЭпиУЗИ. Двойной интраоперационный контроль функции шунтов с использованием ИШГ и ИУФ представляется более перспективным, чем сочетание ультразвуковых методов и в будущем может занять ведущую роль при операции КШ.

1.6. Дисфункция шунтов и клинический статус в послеоперационном периоде

Существует четкая корреляция между проходимостью коронарных шунтов и клиническим состоянием пациентов, перенесших коронарное шунтирование. Впервые эта взаимосвязь была установлена в исследовании С. Grondin et al. в 1972 году [13]. Исследование, проведенное Н.Е. Winer с соавторами в 1979 году, показало аналогичные результаты, подтверждающие взаимосвязь между рецидивом стенокардии, свидетельствующим об ухудшении клинического статуса, и частотой окклюзии аортокоронарных шунтов [73]. В последующие годы в серии исследований была показана не только взаимосвязь рецидива стенокардии с окклюзией шунтов. В литературе было продемонстрировано, что окклюзия шунтов сопровождается увеличением риска развития инфаркта миокарда, необходимостью в повторной реваскуляризации и увеличением смертности в послеоперационном периоде [9, 20, 24, 31, 59, 60, 90]. Отдельно следует отметить результат мета-анализа F. Biancari и соавт. (9 исследований, 1104 пациента). Авторы получили достоверные данные о взаимосвязанности между ранним закрытием шунтов и периоперационным ИМ. Острая окклюзия шунта выявлена у 62,1 % больных, перенесших периоперационный ИМ [22].

Большинство исследований, направленных на оценку функции шунтов, включают в исследование симптомных больных [26]. Оценка проходимости шунтов у бессимптомных больных, как правило, не выполняется. Рутинная визуализация шунтов в послеоперационном периоде не поддерживается международными клиническими рекомендациями [1]. Встречаемость окклюзии шунтов в этом случае остается малоизученной. С точки зрения потенциальных причин бессимптомной окклюзии шунта наиболее вероятной является конкурентный кровоток по нативному руслу. Такой вывод можно сделать из клинических исследований IMPAG и SYNTAX-LEMANS [11, 38]. Как правило, закрытие шунта в результате конкурентного кровотока предполагает достаточную перфузию миокарда по нативному руслу.

В литературе описаны достаточное количество публикаций, указывающее на ограниченную взаимосвязь между количеством закрытых шунтов и большими кардиальными событиями. Важно отметить, что данные исследования были проведены более 30 лет назад и, как правило, включали небольшое количество участников – менее 100 пациентов. Это может ограничивать применимость их результатов к современной практике [14, 18, 68, 71]. Исследование ROOBY (2019) выявило статистически значимую связь между окклюзией шунта к ПМЖВ и повышенным риском рецидива стенокардии в течение года после операции. При этом окклюзия шунтов к другим коронарным артериям не показала такой связи [21]. В таблице №2 представлен анализ основных текущих исследований, оценивающих исходы коронарного шунтирования у пациентов, которым регулярно проводилась ангиография в послеоперационном периоде.

Таблица 2 – Исследование влияния дисфункции шунта на клиническую картину.

Автор	Время наблюдения	Тип кондуита	Исход
Morice, 2011 [11]	15 мес	ВГА и БПВ	Результаты исследования показали, что у пациентов со стенозом ствола левой коронарной артерии, дисфункция шунта не является статистически значимым предиктором комбинированной конечной точки (смерть, инфаркт миокарда, инсульт, повторная реваскуляризация), $p=0,85$.
Lopes, 2012 [59]	4 года	БПВ	Статистически значимая связь была обнаружена между дисфункцией аутовенозного шунта и повышенным риском комбинированной конечной точки, включающей смерть, инфаркт миокарда и повторную реваскуляризацию. Риск увеличивается в 1,58 раза (95% ДИ 1,21-2,06; $p=0,008$).
Knatterud, 2013 [9]	3,4 года	БПВ	Наличие атеросклеротических изменений в шунтах является фактором риска развития неблагоприятных сердечно-

			сосудистых осложнений. (ОШ=2,4, 95% ДИ 1,7-3,5), инфаркта миокарда или смерти (ОШ=2,2, 95% ДИ 1,3-3,8) и повторной реваскуляризации (ОШ=3,3, 95% ДИ 2,0-5,3), $p < 0,001$ для всех
Harskamp, 2016 [31]	5,0±0,7 лет	ВГА	Дисфункция маммарного шунта ассоциирована с существенно повышенным риском комбинированной конечной точки, включающей смерть, инфаркт миокарда и повторную реваскуляризацию. Отношение рисков составляет 3,92 (95% ДИ 2,30-6,68), что указывает на почти четырехкратное увеличение риска ($p < 0,001$).
Yamasaki, 2016 [95]	5 лет	ВГА и БПВ	Дисфункция шунта, характеризующаяся стенозом более 50%, ассоциирована со значительным увеличением риска достижения комбинированной конечной точки и необходимости повторной реваскуляризации ($p < 0,001$).
B. Hattler, 2019 [21]	1 год	ВГА и БПВ	В многофакторном анализе, неудовлетворительная реваскуляризация передней межжелудочковой артерии оказалась единственным статистически значимым независимым предиктором возврата стенокардии (ОШ=1,69, $p < 0,01$).

Примечание: ВГА – внутренняя грудная артерия, БПВ – большая подкожная вена, ССС – сердечно-сосудистые события, ДИ – доверительный интервал, ОШ – отношение шансов.

Применение комплексного подхода, включающего стандартные методы профилактики и интенсифицированную гиполипидемическую и антитромботическую терапию после АКШ, ассоциируется со снижением частоты окклюзии аутовенозных графтов и, как следствие, с улучшением клинических исходов [12]. Дисфункция шунтов, согласно литературным источникам, обычно ассоциируется с ухудшением состояния пациентов. Однако, окклюзия шунта,

возникающая вследствие конкурентного кровотока, представляет собой исключение из этой закономерности [72]. Раннее выявление факторов риска окклюзии шунта и конкурирующего кровотока с помощью ИУФ может стать важным шагом в определении пациентов, подверженных риску сердечно-сосудистых осложнений.

Таким образом секвенциальное КШ может быть выполнено с достижением схожих результатов в сравнении со стандартным вариантом хирургического лечения. Преимущества секвенциального КШ могут быть реализованы у больных с кальцинозом аорты и/или дефицитом трансплантатов. Уязвимой частью секвенциального шунтирования считается низкая проходимость шунтов в периоперационном периоде и угроза развития фатального инфаркта миокарда. Своевременная диагностика и устранение дисфункции шунта в интраоперационном периоде может позволить улучшить клинические результаты секвенциального КШ. С целью профилактики дисфункции шунтов чаще всего используется ИУФ, однако этот метод имеет ряд ограничений и характеризуется высокой частотой ложных результатов, что требует дополнительной интраоперационной визуализации шунтов. Данные литературы демонстрируют возможности дополнительного проведения ЭпиУЗИ к ИУФ, что многократно увеличивает чувствительность метода. Данные литературы по использованию двойного интраоперационного контроля функции шунтов с помощью ИУФ и ИШГ у больных, перенесших секвенциальное КШ, ограничены. Интраоперационная визуализация с помощью ИШГ может иметь дополнительные преимущества в виде более точной оценки причины дисфункции шунта и визуализации шунтированной артерии. Внедрение в широкую практику дополнительной ИШГ к ИУФ при секвенциальном КШ требует проведения новых исследований.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Дизайн исследования

Исследование ретроспективное, выполнено на базе ГБУ РД «НКО «Дагестанский центр кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии им. А. О. Махачева». Данное исследование охватывает пациентов с ишемической болезнью сердца, которым в период с 2021 по 2023 год было выполнено аортокоронарное шунтирование с применением методики секвенциального шунтирования. Исследование проводилось с соблюдением этических норм, установленных Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации. Проведение исследования было одобрено этическим комитетом. Участие пациентов в исследовании было добровольным и подтверждено подписанием информированного согласия. В исследование были включены пациенты со стенокардией средней и тяжелой степени (II-IV ФК по CCS), множественными стенозами коронарных артерий, перенесшие операцию секвенциального КШ в вышеуказанные сроки. К критериям исключения отнесены хроническая почечная недостаточность с устойчивым снижением скорости клубочковой фильтрации (СКФ) менее 60 мл/мин., перенесенный ИМ в сроки меньше 1,5 месяцев до вмешательства, и фракция выброса левого желудочка ниже 35%.

Все исследуемые разделены на 2 группы: группа 1 (основная) сформирована из больных, перенесших хирургическое лечение, где использовался двойной контроль функции шунтов (n=149), группа 2 (контрольная) образована из пациентов, которым выполнено секвенциальное коронарное шунтирование с применением ИУФ без визуализации с помощью ИШГ (n=124).

При проведении ИУФ изучены нижеперечисленные параметры: средняя объемная скорость кровотока (MGF, мл/мин), пульсативный индекс (PI, ед.), процент диастолического наполнения (DF, %). При проведении

интраоперационной шунтографии визуализировались шунты с оценкой проходимости/состоятельности проксимальных, дистальных анастомозов и шунта, кровотока по нативной артерии дистальнее анастомозов (TIMI).

Проведен анализ для выявления связи между показателями ИУФ и ИШГ и частотой возникновения госпитальных послеоперационных осложнений, таких как смерть, нестабильная стенокардия, инфаркт миокарда и нарушения ритма, обусловленных окклюзией или дисфункцией шунта. При анализе учитывались различия в хирургических манипуляциях и наличие дефектов шунтирования, выявленных в обеих группах. Выполнен сравнительный анализ частоты развития кардиальных ишемических событий (рецидив стенокардии, повторная реваскуляризация, инфаркт миокарда) и смертности в течение 1 года после операции в двух группах, произведена оценка предикторов указанных событий с учетом метода интраоперационного контроля функции шунтов. В качестве первичной конечной точки взят рецидив стенокардии, изучена частота развития комбинированной конечной точки в течение 1 года после операции с включением летального исхода, инфаркта миокарда и повторной реваскуляризации.

2.2. Инструментальные методы обследования

Интраоперационная ультразвуковая флоуметрия. Ультразвуковая флоуметрия используется для оценки работы шунтов. Метод основан на измерении времени прохождения ультразвукового сигнала (transit time flow measurement) между двумя пьезоэлектрическими элементами через отражатель, что позволяет определить скорость потока жидкости (рисунок №1).

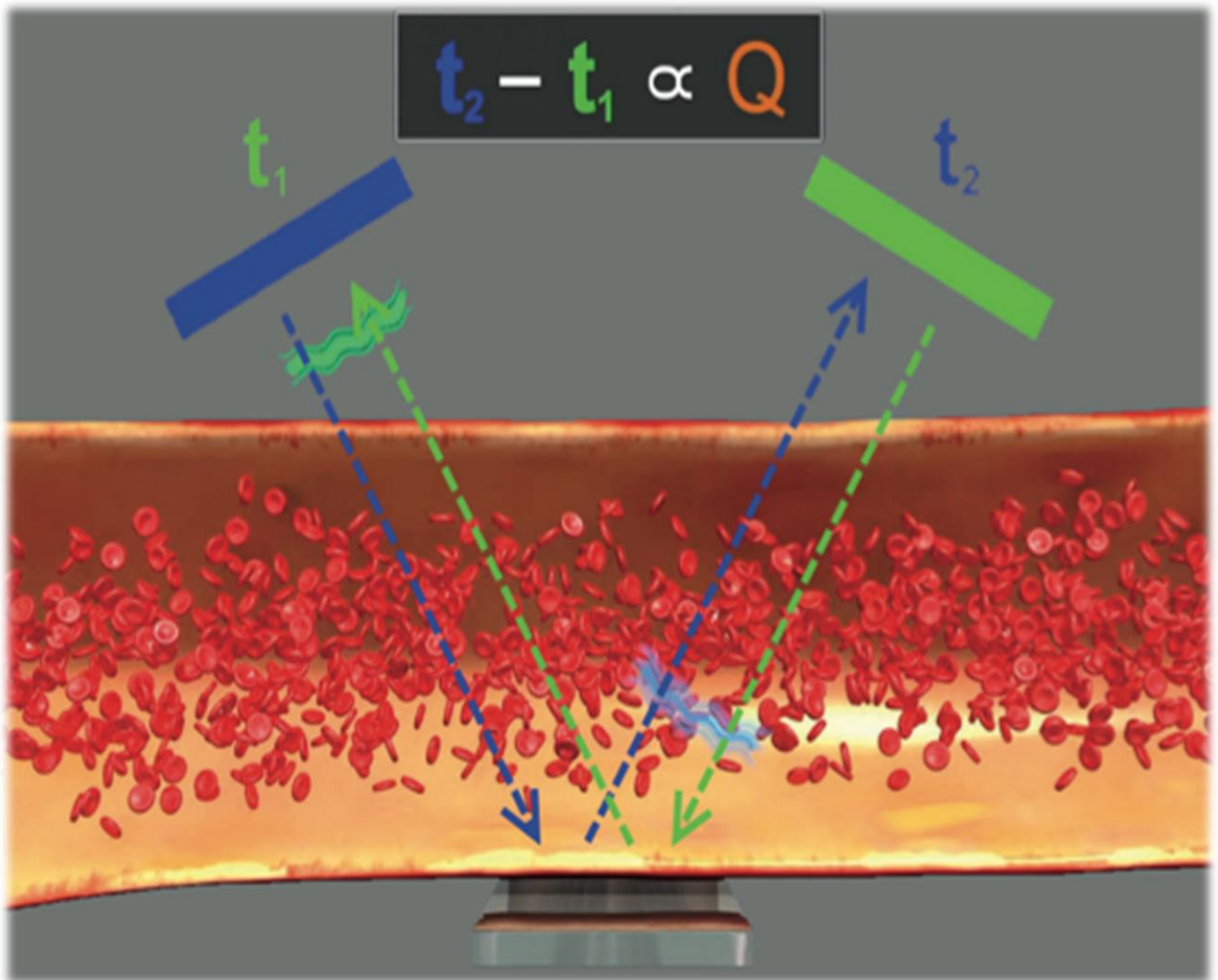


Рисунок 1 – Математическое выражение для определения транзитного времени потока.

Для оценки кровотока использовали аппарат MiraQ Cardiac (рисунок №2) в сочетании с датчиками QuickFit TTFM Probes (Medistim. Norway) (рисунок №3)



Рисунок 2 – Аппарат MiraQ Cardiac



Рисунок 3 – Датчики QuickFit TTFM

Основной диапазон использованных датчиков варьировался от 2 до 4 мм. Датчики диаметром 2 мм в основном использовались для оценки характеристик кровотока в артериальных шунтах, в то время как датчики размером 3-4 мм применялись для венозных шунтов. Измерения кровотока проводились в среднем сегменте кондуита в течение 10-15 секунд после достижения надлежащего акустического соединения (рисунок №4). Для оптимизации акустического контакта между датчиком и шунтом применялся гидрогель. При измерениях на левой внутренней грудной артерии проводилась её скелетизация в области наложения датчика. При операциях с искусственным кровообращением измерения проводили после завершения ИК и введения полной дозы протамина в стабильных гемодинамических условиях.

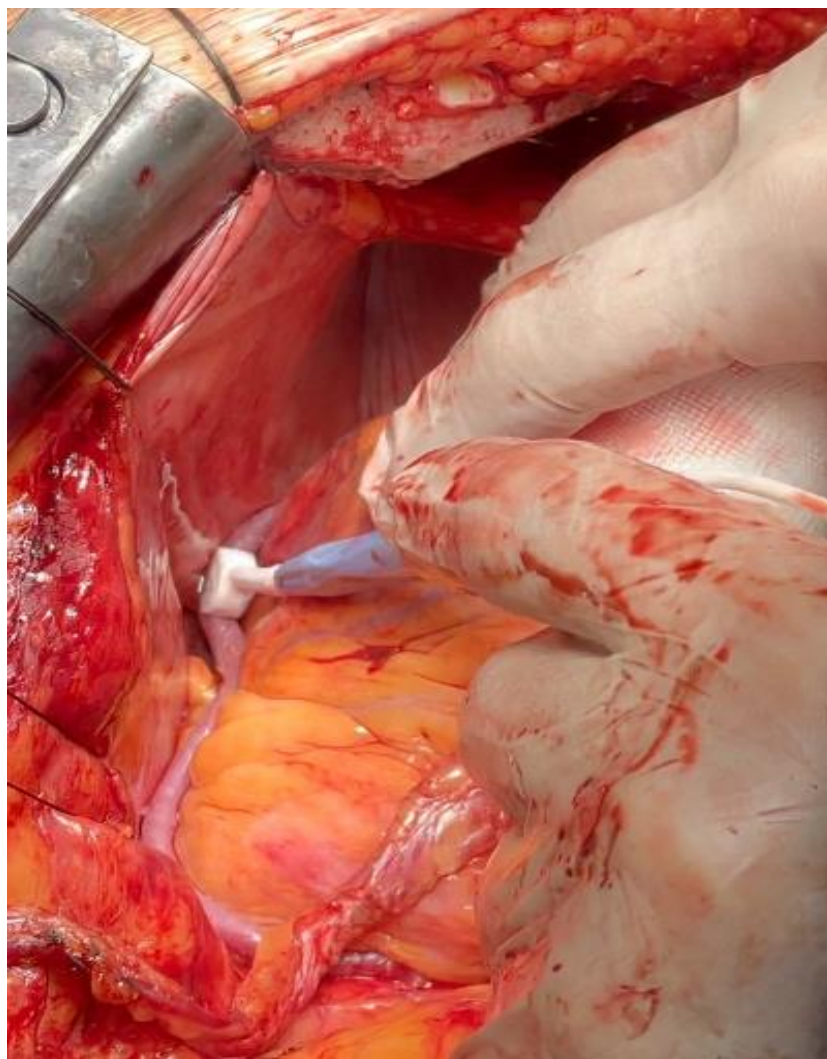


Рисунок 4 – Пример измерения ИУФ

В случае секвенциального шунта, кровоток перекрывали дистальнее анастомоза зажимом Дебейки и поочередно измеряли каждый сегмент кондуита перед анастомозом. Показатели ИУФ считались удовлетворительными, если MGF превышал 20 мл/мин, а пульсативный индекс (PI) был ниже 5. Состояние шунта признавалось удовлетворительным при достижении этих целевых значений.

Интраоперационная шунтография выполнялась на С-дуге фирмы Philips Pulsera в кардиохирургической операционной, после окончания основного этапа операции до ушивания грудины (рисунок №5). Оценивались все шунтированные артерии. В большинстве случаев шунтография выполнялась бедренным доступом. Пункция бедренной артерии выполнялась по методике S. Seldinger. Для пункции бедренной артерии использовался набор, состоящий из интродюсера 5-6F, иглы 18 G и короткого проводника 0,035-0,038 дюйма длиной 35 см. При доступе через лучевую артерию применяются интродюсеры 5-6F, иглы 21 G и короткого проводника 0,018-0,021 дюйма длиной 35 см. Неудовлетворительными показателями ИШГ считались наличие следующих проблем; сужение просвета шунта более чем наполовину; сужение дистального анастомоза более чем наполовину; сужение коронарной артерии до или после анастомоза более чем наполовину; значительная деформация (перекрут, изгиб или перегиб) кондуита, превышающая 50%; другие нарушения в работе шунтов, такие как: незначительные деформации (менее 50%), небольшое сужение коронарной артерии (менее 50%), дефекты заполнения контрастным веществом, наличие клапана в венозном протезе, сдавление сосуда извне. Чтобы убрать спазм артериального протока или коронарной артерии, применяли папаверин в дозе 20-40 мг. При фиксировании ангиографических дефектов контрастирования статус шунта расценивалось как субоптимальное.



Рисунок 5 – С-дуга фирмы Philips Pulsera

2.3. Протокол операции

Все операции проводились на базе ГБУ РД «НКО «Дагестанский центр кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии им. А.О. Махачева».

Техника операции. Хирургический доступ выполняли через срединную стернотомию. ЛВГА выделяли на лоскуте во всех случаях. Забор большой подкожной вены осуществляли открытым способом и после выделения хранили в растворе гепарина. Искусственное кровообращение (ИК) проводили при нормотермии, с антеградной кровяной кардиopleгией по методике Калафиори. При операциях на работающем сердце кровоток в целевом сосуде останавливали путем

прошивания нитью 4-0 (Prolene, Ethicon) проксимальнее и дистальнее шунтируемого участка. Для ограничения движения миокарда в области шунтируемого сосуда применяли стабилизатор тканей (Octopus, Medtronic). Попытки шунтирования были осуществлены на всех артериях с значимым стенозом, в том числе и на артериях малого диаметра (менее 1,5 мм). Все артериальные и венозные анастомозы были созданы полипропиленовой нитью 8-0 (Prolene, Ethicon). Проксимальные анастомозы накладывали после снятия зажима с аорты и наложения бокового зажима на восходящую аорту.

2.4. Статистический анализ

Статистическую обработку проводили при помощи статистического пакета прикладных программ SPSS 26.0 (IBM, США), MS Excel 2010 (США) и StatTech v. 3.1.8 (разработчик - ООО "Статтех", Россия). Перед началом анализа количественных данных, проводилась их проверка на нормальность распределения (визуальный анализ гистограммы, критерий Колмогорова – Смирнова). При распределении, близком к нормальному, переменные представлены в виде среднего арифметического (M) и стандартного отклонения (SD), а при существенном отклонении от нормального распределения использовали медиану (Me) и интерквартильный размах (Q1; Q3). Для клинически значимых эффектов рассчитывали отношение шансов с его 95 % доверительным интервалом. При сравнении двух независимых групп использовали непараметрический критерий Манна–Уитни или параметрический критерий Стьюдента. При сравнении трех независимых групп использовался непараметрический критерий Краскела – Уоллиса и параметрический дисперсионный анализ (ANOVA). Для сравнения долей в двух и более независимых группах использовался критерий χ^2 или точный критерий Фишера. Взаимосвязи между переменными были исследованы с помощью коэффициента корреляции Пирсона и тау-b Кендалла. Коэффициент

ранговой корреляции Спирмена был применен для оценки степени и характера взаимосвязи между двумя количественными показателями, чье распределение отличалось от нормального. Линейная регрессия использовалась для создания прогностической модели, которая показывает, как факторы влияют на количественную переменную. Выживаемость пациентов и отсутствие у них повторных приступов стенокардии в долгосрочной перспективе оценивались с использованием анализа Каплана-Мейера, сравнение клинических исходов между группами проводилось с использованием лог-рангового теста (log – rank test). Статистическая значимость различий определялась при уровне $p < 0,05$.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Клинико-демографическая характеристика больных

Анализ данных, представленных в таблице 3, показал, что в обеих группах пациентов преобладали мужчины (79,9% и 82,3% соответственно). Средний возраст пациентов в обеих группах составил 62 года. Статистический анализ не выявил значимых различий между группами по полу ($p = 0,616$) и возрасту ($p = 0,939$). У большинства больных отмечалась клиника тяжелой стенокардии (86,6 % против 89,5 %, $p = 0,458$), практически у половины отмечался перенесенный инфаркт миокарда в анамнезе (45,6 % против 39,5 %, $p = 0,309$), у части больных обеих групп с формированием хронической сердечной недостаточности (16,1 % против 15,3 %, $p = 0,980$). Частота выполненной ранее реваскуляризации миокарда (эндоваскулярным способом) была сопоставима ($p = 0,641$), у больных первой группы – 20,8 %, у больных второй группы – 18,5 %. Частота мультифокального атеросклероза была невысокой (10,7 % против 7,3 %, $p = 0,321$). Важно отметить, что рутинно оценка мультифокального атеросклероза не проводилась, в большинстве случаев у больных был диагностирован каротидный стеноз с развитием нарушения мозгового кровообращения в анамнезе, частота церебральных событий в двух группах не различалась (8,1 % против 7,3 %, $p = 0,806$). Распространенность сопутствующей хронической обструктивной болезни легких также оказалась относительно невысокой (6,7 % против 6,5 %), процент больных с диагностированным сахарным диабетом был примерно одинаковым в обеих группах: 29,5% и 30,6% соответственно, распространенность артериальной гипертензии составила 91,3% в одной группе и 86,3% в другой. Нарушения ритма сердца наблюдались с одинаковой частотой в обеих группах – 16,1%. Однако, статистический анализ не выявил значимых различий между группами ни по одному из исследованных параметров. Результаты представлены в таблице №3.

Таблица 3 – Исходные клинико–демографические параметры.

Параметры	Группа 1 (n = 149)	Группа 2 (n = 124)	P (значение)
Возраст (годы), M $\pm$ SD	61,9 $\pm$ 8,2	61,9 $\pm$ 8,5	0,939
Мужчины, n (%)	119 (79,9%)	102 (82,3%)	0,616
Ожирение, n (%)	42 (28,2%)	39 (31,5%)	0,557
Стенокардия III-IV ФК по CCS, n (%)	129 (86,6%)	111 (89,5%)	0,458
ХОБЛ, n (%)	10 (6,7%)	8 (6,5%)	0,931
ЧКВ в анамнезе, n (%)	31 (20,8%)	23 (18,5%)	0,641
ПИКС, n (%)	68 (45,6%)	49 (39,5%)	0,309
НРС, n (%)	24 (16,1%)	20 (16,1%)	0,996
СД, n (%)	44 (29,5%)	38 (30,6%)	0,841
АГ, n (%)	136 (91,3%)	107 (86,3%)	0,190
Мультифокальный атеросклероз, n (%)	16 (10,7%)	9 (7,3%)	0,321
ХСН, n (%)	25 (16,1%)	19 (15,3%)	0,980
НМК в анамнезе, n (%)	12 (8,1%)	9 (7,3%)	0,806

Примечание: ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких, ЧКВ – чрескожное коронарное вмешательство, ПИКС – постинфарктный кардиосклероз, НРС – нарушения ритма сердца, СД – сахарный диабет, АГ – артериальная гипертензия, ХСН – хроническая сердечная недостаточность, НМК – нарушение мозгового кровообращения.

Анализ исходных данных коронарографии показал, что все больные, соответствующие критериям включения, имели многососудистое поражение коронарных артерий, часть больных обеих групп - стволное поражение левой коронарной артерии (27,5 % против 25,0 %, $p = 0,639$). Тяжесть поражения по шкале Syntax Score была сопоставима в двух группах ($27,9 \pm 5,0$ против $28,1 \pm 5,2$, $p = 0,723$). Результаты представлены в таблице №4.

Таблица 4 – Тяжесть поражения коронарных артерий.

Параметры	Группа 1 (n = 149)	Группа 2 (n = 124)	P (значение)
Многососудистое поражение КА, n (%)	149 (100%)	124 (100%)	1,0
Поражение ствола ЛКА, n (%)	41 (27,5%)	31 (25,0%)	0,639
Средний балл Syntax Score ± стандартное отклонение (баллы)	27,9±5,0	28,1±5,2	0,723

Примечание: КА – коронарные артерии, ЛКА – левая коронарная артерия

3.2. Интраоперационные результаты

Коронарное шунтирование в обеих группах проводилось как на работающем, так и на остановленном сердце. Количество вмешательств в двух вариантах статистически не различалось, доля операций с использованием ИК в группе 1 составила 30,2 %, в группе 2 – 33,1 % ($p = 0,612$), остальные операции были выполнены на работающем сердце (69,8 % против 66,9 % в двух группах соответственно). Количество шунтов был схожим по общему показателю для всех типов трансплантатов ($3,5 \pm 0,8$ против $3,5 \pm 0,9$, $p = 0,916$), так и отдельно для аутоартериальных трансплантатов ($1,0 \pm 0,4$ против $1,1 \pm 0,6$, $p = 0,855$) и для аутовенозных трансплантатов ($2,4 \pm 0,9$ против $2,4 \pm 0,9$, $p = 0,854$). Параметры, характеризующие длительность хирургического лечения, были сопоставимы. Продолжительность ИК составила $92,4 \pm 27,9$ мин против $93,3 \pm 21,4$ мин, время ишемии миокарда составило $57,9 \pm 19,9$ мин против $58,9 \pm 16,6$ мин.

Всего в обеих группах выполнено 22 ревизии шунта (2,4 %), среди них в группе 1 – 6 (1,2 %), в группе 2 – 16 (3,7 %). Ревизия шунта проводилась в 3 раза реже при двойном интраоперационном контроле функции шунтов (1,2 % против 3,7 %, отношение шансов (ОШ) = 3,1, 95% доверительный интервал (ДИ) = 1,2-7,9, $p = 0,011$). Интраоперационные результаты отражены в таблице №5.

Таблица 5 – Интраоперационные показатели.

Параметры	Группа 1 (n = 149)	Группа 2 (n = 124)	P (значение)
Операция в условиях ИК, n (%)	45 (30,2%)	41 (33,1%)	0,612
Операция на работающем сердце, n (%)	104 (69,8%)	83 (66,9%)	0,612
Индекс реваскуляризации, M $\pm$ SD	3,5 $\pm$ 0,8	3,5 $\pm$ 0,9	0,916
Аутовенозное шунтирование, M $\pm$ SD	2,4 $\pm$ 0,9	2,4 $\pm$ 0,9	0,854
Аутоартериальное шунтирование, M $\pm$ SD	1,0 $\pm$ 0,4	1,1 $\pm$ 0,6	0,855
Ревизия шунта, n (%)	6 (1,2%)	16 (3,7%)	0,011
Время ИК (мин), M $\pm$ SD	92,4 $\pm$ 27,9	93,3 $\pm$ 21,4	0,825
Время ишемии (мин), M $\pm$ SD	57,9 $\pm$ 19,9	58,9 $\pm$ 16,6	0,774

Примечание: ИК – искусственное кровообращение.

3.3. Результаты интраоперационной ультразвуковой флоуметрии

Одной из задач исследования был сравнительный анализ результатов ИУФ при секвенциальном и стандартном шунтировании коронарных артерий. Для решения этой задачи все шунты из обеих групп пациентов (n=273) разделены на 2 подгруппы: секвенциальные и стандартные (с линейным шунтированием коронарных артерий). Таким образом, получено 327 секвенциальных шунта и 609 линейных шунтов. Изучены 2 основных параметра ИУФ: средняя объемная скорость кровотока и пульсативный индекс (до ревизии), выполнен анализ полученных результатов для каждой целевой коронарной артерии. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице №6.

Таблица 6 – Результаты сравнительного анализа показателей ИУФ.

Целевая коронарная артерия	MGF (средняя)	MGF (линейный)	MGF (секвенц)	P
ПМЖВ, медиана (Q1; Q3)	44 (32; 65)	44 (32; 65)	-	-
ДВ, медиана (Q1; Q3)	43 (31; 72)	46 (30; 73)	38 (36; 41)	0,329
ИМА, медиана (Q1; Q3)	49 (37; 80)	51 (32; 80)	49 (46; 79)	0,431
ВТК-1, медиана (Q1; Q3)	50 (35; 69)	50 (35; 69)	45 (34; 65)	0,489
ВТК-2, медиана (Q1; Q3)	45 (30; 58)	40 (30; 57)	45 (30; 58)	0,228
ПКА, медиана (Q1; Q3)	55 (50; 82)	56 (38; 74)	55 (40; 86)	0,830
ЗБВ, медиана (Q1; Q3)	46 (31; 58)	56 (45; 67)	46 (29; 58)	0,311
ЗМЖВ, медиана (Q1; Q3)	46 (32; 66)	55 (38; 66)	43 (31; 67)	0,109
Всего, медиана (Q1; Q3)	46 (33; 67)	45 (33; 67)	46 (33; 67)	0,962
ПМЖВ, медиана (Q1; Q3)	2,4 (1,8; 2,8)	2,4 (1,8; 2,8)	-	-
ДВ, медиана (Q1; Q3)	2,2 (1,8; 2,7)	2,2 (1,8; 2,7)	2,7 (1,8; 2,8)	0,078
ИМА, медиана (Q1; Q3)	2,3 (1,8; 2,7)	2,4 (1,9; 2,8)	2,0 (1,5; 2,3)	0,028
ВТК-1, медиана (Q1; Q3)	2,2 (1,8; 2,8)	2,3 (1,7; 2,8)	2,2 (1,8; 2,6)	0,603
ВТК-2, медиана (Q1; Q3)	2,1 (1,6; 2,7)	2,2 (1,8; 2,8)	1,9 (1,5; 2,4)	0,291
ПКА, медиана (Q1; Q3)	2,0 (1,6; 2,5)	1,6 (0,9; 2,2)	2,0 (1,7; 2,6)	0,152
ЗБВ, медиана (Q1; Q3)	2,0 (1,8; 2,5)	1,9 (1,9; 1,9)	2,1 (1,7; 2,7)	0,251
ЗМЖВ, медиана (Q1; Q3)	2,3 (1,8; 2,6)	2,2 (1,6; 2,4)	2,3 (1,9; 2,8)	0,045
Всего, медиана (Q1; Q3)	2,2 (1,8; 2,7)	2,2 (1,8; 2,7)	2,3 (1,8; 2,7)	0,903
ПМЖВ, n (%)	15 (5,6%)	15 (5,6%)	-	-
ДВ, n (%)	6 (5,6%)	0	6 (6,2%)	0,397
ИМА, n (%)	2 (4,1%)	1 (4,3%)	1 (3,8%)	0,930
ВТК-1, n (%)	6 (3,1%)	2 (1,9%)	4 (4,3%)	0,326
ВТК-2, n (%)	3 (4,5%)	2 (5,7%)	1 (3,2%)	0,629
ПКА, n (%)	0	0	0	1,0
ЗБВ, n (%)	1 (2,7%)	1 (7,1%)	0	0,194
ЗМЖВ, n (%)	8 (5,0%)	7 (6,5%)	1 (1,8%)	0,175
Всего, n (%)	41 (4,3%)	28 (4,6%)	13 (4,0%)	0,658

Примечание: ПМЖВ – передняя межжелудочковая ветвь, ДВ – диагональная ветвь, ИМА – интермедиарная артерия, ВТК-1 – ветвь тупого края 1, ВТК-2 – ветвь тупого края 2, ПКА – правая коронарная артерия, ЗБВ – задне-боковая ветвь, ЗМЖВ – задняя межжелудочковая ветвь, СФШ – субоптимальная функция шунта.

С точки зрения суммарных результатов ИУФ, линейные и секвенциальные шунты демонстрируют сопоставимые показатели MGF и PI, не выявляя явного преимущества одного типа над другим. Значения MGF для обоих типов шунтов, линейных и секвенциальных, находились в диапазоне от 33 до 67 мл/мин, со средними значениями 45 мл/мин и 46 мл/мин, соответственно. Значение PI для линейных шунтов составило 2,2 (1,8; 2,7) единиц, для секвенциальных 2,3 (1,8; 2,7) единиц. Следует отметить статистически значимое увеличение показателя PI для линейных шунтов к ИМА (2,4 (1,9; 2,8) единиц против 2,0 (1,5; 2,3) единиц, $p = 0,028$) и секвенциальных шунтов к ЗМЖВ (2,3 (1,9; 2,8) единиц против 2,2 (1,6; 2,4) единиц, $p = 0,045$). Корреляционный анализ зависимости параметров флоуметрии (MGF и PI) от типа формирования анастомоза (линейный или секвенциальный) для всех шунтов вне зависимости от целевой коронарной артерии показал, что статистически значимых различий не было как для показателя MGF ($p = 0,962$), так и для показателя PI ($p = 0,903$).

При анализе частоты субоптимальной функции шунта получены следующие результаты: для линейных шунтов – 28/609 (4,6 %), для секвенциальных – 13/327 (4,0 %). Сравнение полученных результатов продемонстрировало отсутствие статистически значимой разницы. Установлено незначительное увеличение риска субоптимальной функции шунта для линейных шунтов при шунтировании правой коронарной артерии и ее ветвей (8/169 – 4,7 % против 1/81 – 1,2 %, OR (относительный риск) = 3,8, 95 % ДИ 0,5 – 30,1, $p = 0,165$). Напротив, не было различий при сравнительном анализе риска субоптимальной функции шунта к левой коронарной артерии и ее ветвям (20/440 – 4,5 % против 12/246 – 4,9 %, OR = 1,1, 95% ДИ 0,5 – 2,2, $p = 0,843$). В обоих случаях полученные различия не достигли статистически значимой разницы.

Одним из ключевых анатомических параметров, влияющих на показатели ИУФ, является диаметр целевой коронарной артерии. Нами выполнена оценка влияния диаметра целевой коронарной артерии на результаты ИУФ. Установлена статистически значимая прямая корреляционная связь между значениями MGF и диаметром КА для всех шунтов, $\rho = 0,249$. Раздельный анализ влияния диаметра целевой КА на параметры ИУФ для линейных и секвенциальных шунтов также продемонстрировал статистически значимые различия с большей теснотой связи для секвенциальных шунтов (таблица №7).

Таблица 7 – Результаты корреляционного анализа взаимосвязи показателя диаметра КА и значения MGF

Показатель	Характеристика корреляционной связи		
	Р	Теснота связи по шкале Чеддока	р
Диаметр – MGF	0,249	Слабая	< 0,001
Диаметр – MGF*	0,342	Умеренная	< 0,001
Диаметр – MGF**	0,164	Слабая	< 0,001

Примечание: *для секвенциальных шунтов, **для линейных шунтов

Наблюдаемая зависимость показателя MGF от диаметра КА для всех шунтов описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{MGF} = 22,041 \times X_{\text{Диаметр}} + 20,404$$

График регрессионной функции для всех шунтов отражен на рисунке №6. При увеличении показателя диаметра КА на 1 мм следует ожидать увеличения показателя MGF на 22 мл/мин для всех шунтов и на 25 мл/мин для секвенциальных шунтов. Модель объясняет 4,7% изменчивости показателя MGF.

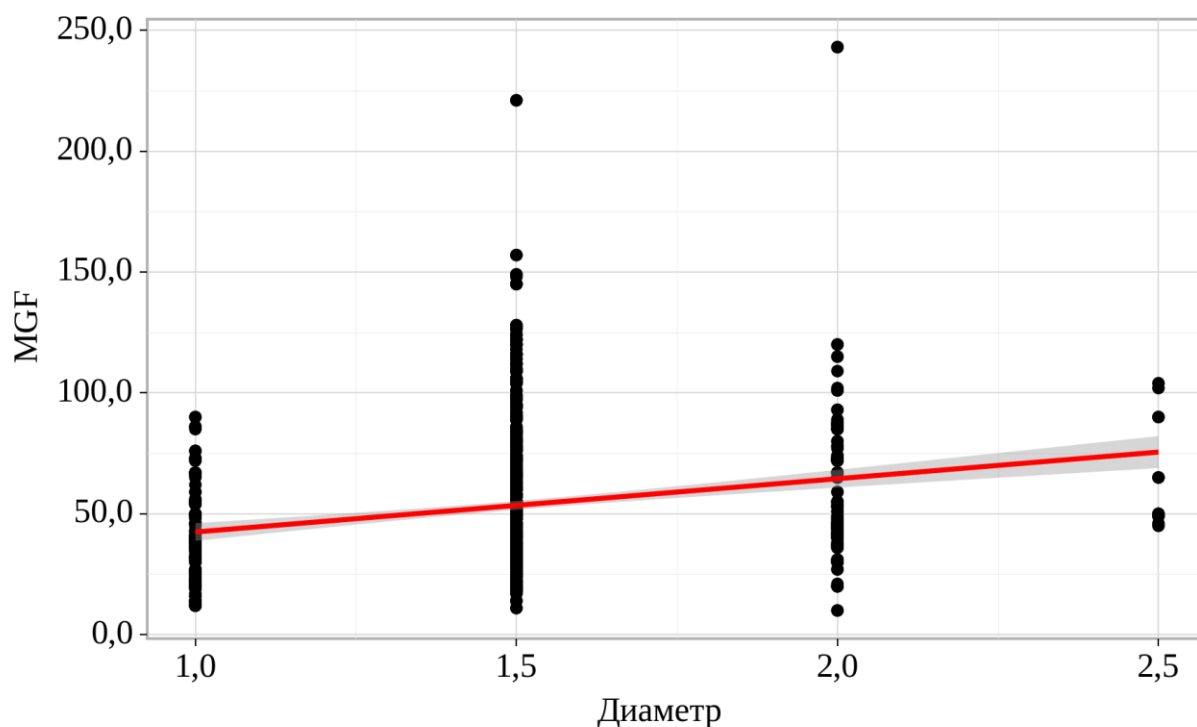


Рисунок 6 – График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя MGF от диаметра КА.

При анализе взаимосвязи пульсативного индекса и диаметра целевой КА для всех шунтов установлена статистически значимая обратная связь, $\rho = -0,183$. Схожие различия также установлены как для секвенциальных, так и для линейных шунтов (таблица №8).

Таблица 8 – Результаты корреляционного анализа взаимосвязи диаметра и значения PI.

Показатель	Характеристика корреляционной связи		
	ρ	Теснота связи по шкале Чеддока	P
Диаметр – PI	-0,183	Слабая	< 0,001
Диаметр – PI*	-0,251	Слабая	< 0,001
Диаметр – PI**	-0,119	Слабая	0,007

Примечание: *для секвенциальных шунтов, **для линейных шунтов

Наблюдаемая зависимость показателя PI от диаметра целевой КА для всех шунтов описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{PI} = -0,424 \times X_{\text{Диаметр}} + 2,935$$

График регрессионной функции отражен на рисунке №7. При увеличении диаметра КА на 1 мм следует ожидать уменьшение показателя PI на 0,4 единицы для всех шунтов и на 0,5 единиц для секвенциальных шунтов. Модель объясняет 3,3% изменчивости показателя PI.

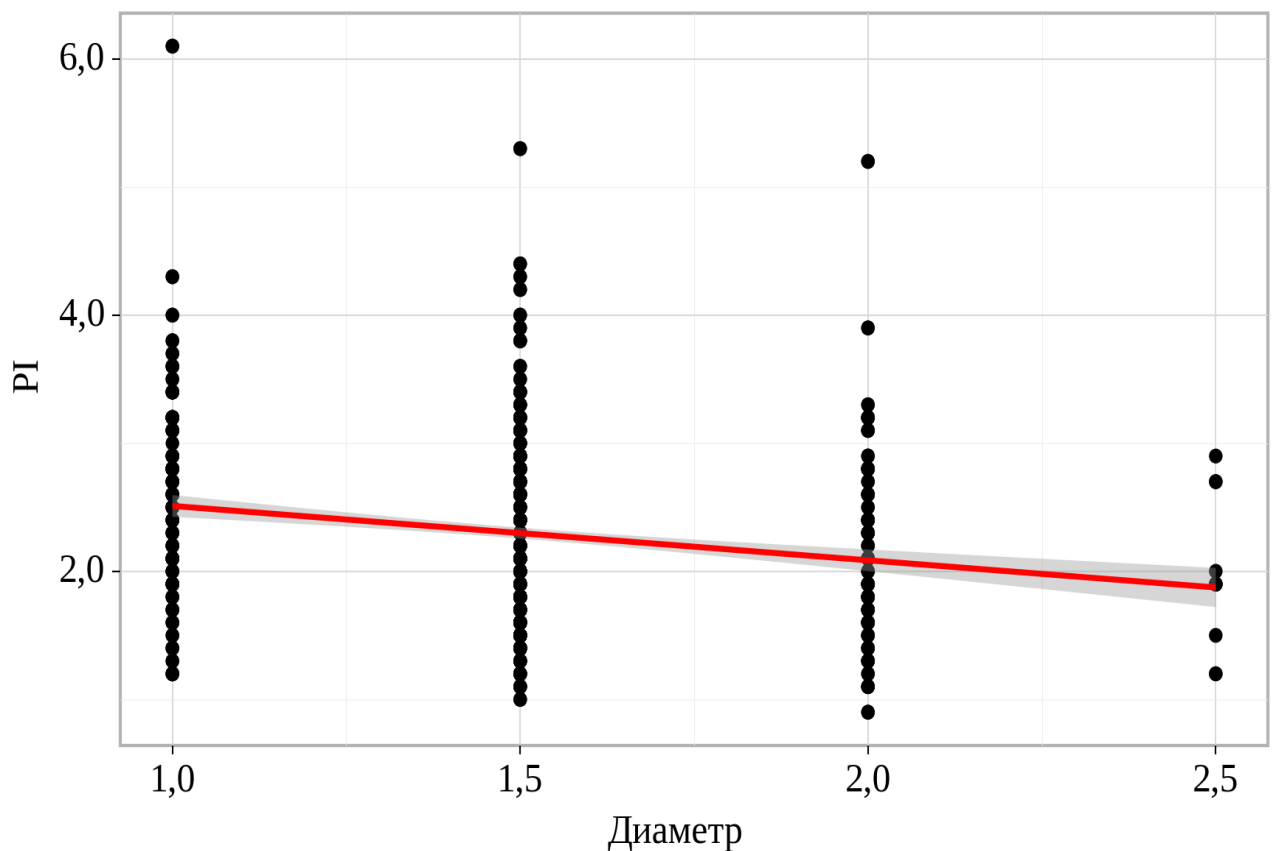


Рисунок 7 – График регрессионной функции, характеризующий зависимость показателя PI от диаметра КА.

3.4. Результаты интраоперационной шунтографии

С целью решения задачи сравнительного анализа интраоперационной шунтографии при секвенциальном и стандартном шунтировании коронарных артерий мы изучили результаты ИШГ во всех случаях больных первой группы (с двойным интраоперационным контролем функции шунтов). Таким образом, проанализированы результаты 149 исследований, включавшие 517 шунтов, среди которых: 143 шунта к передней нисходящей артерии с использованием трансплантата левой внутренней грудной артерии и аорто-коронарные шунты к диагональной артерии (ДА) ($n = 60$), интермедиарной артерии (ИМА) ($n = 28$), 1 – ветви тупого края (ВТК-1) ($n = 110$), 2 – ветви тупого края (ВТК-2) ($n = 49$), правой коронарной артерии (ПКА) ($n = 28$), задне-боковой ветви (ЗБВ) ($n = 16$) и задней межжелудочковой ветви (ЗМЖВ) ($n = 83$).

Согласно результатам ИШГ, неадекватная функция шунта диагностирована в 6 случаях, причем 4 из них были выявлены на фоне субоптимальных результатов ИУФ (4/21, 19,0 %) и еще 2 на фоне нормальных параметров ИУФ (2/496, 0,4 %). Среди причин чаще всего отмечался перегиб шунта ($n=3$) (рисунок №8-9), реже конкурентный кровоток ($n=2$) и значимый стеноз дистальнее анастомоза ($n = 1$). В половине случаев ($n = 3$) верифицирована дисфункция линейного шунта ЛВГА-ПМЖВ, среди них в 1 случае установлен конкурентный кровоток, еще в 2 случаях перегиб шунта. В других 3 случаях отмечена дисфункция аутовенозных аортокоронарных шунтов, среди которых 1 перегиб секвенциального шунта к ВТК-1 в зоне последовательного соустья, конкурентный кровоток по нативной диагональной артерии при линейном шунтировании и значимый стеноз дистальнее анастомоза в задней межжелудочковой ветви.

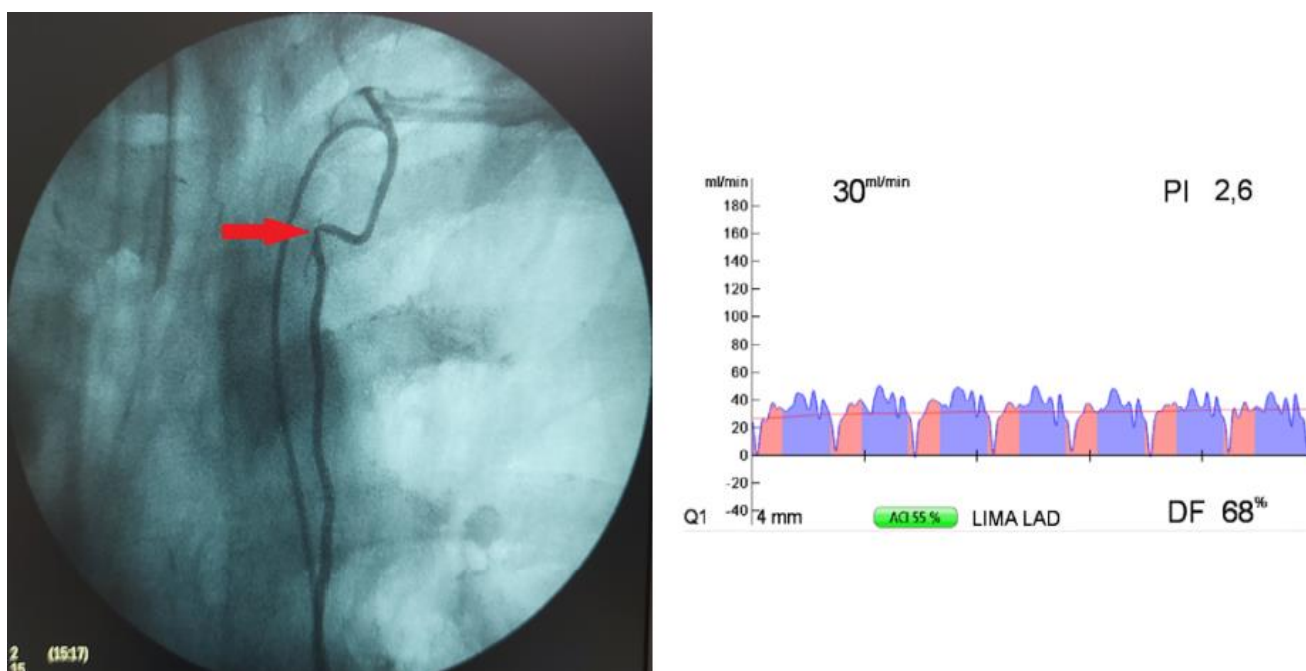


Рисунок 8 – Пример интраоперационной шунтографии (слева) с перегибом шунта при оптимальных результатах ИУФ (справа).

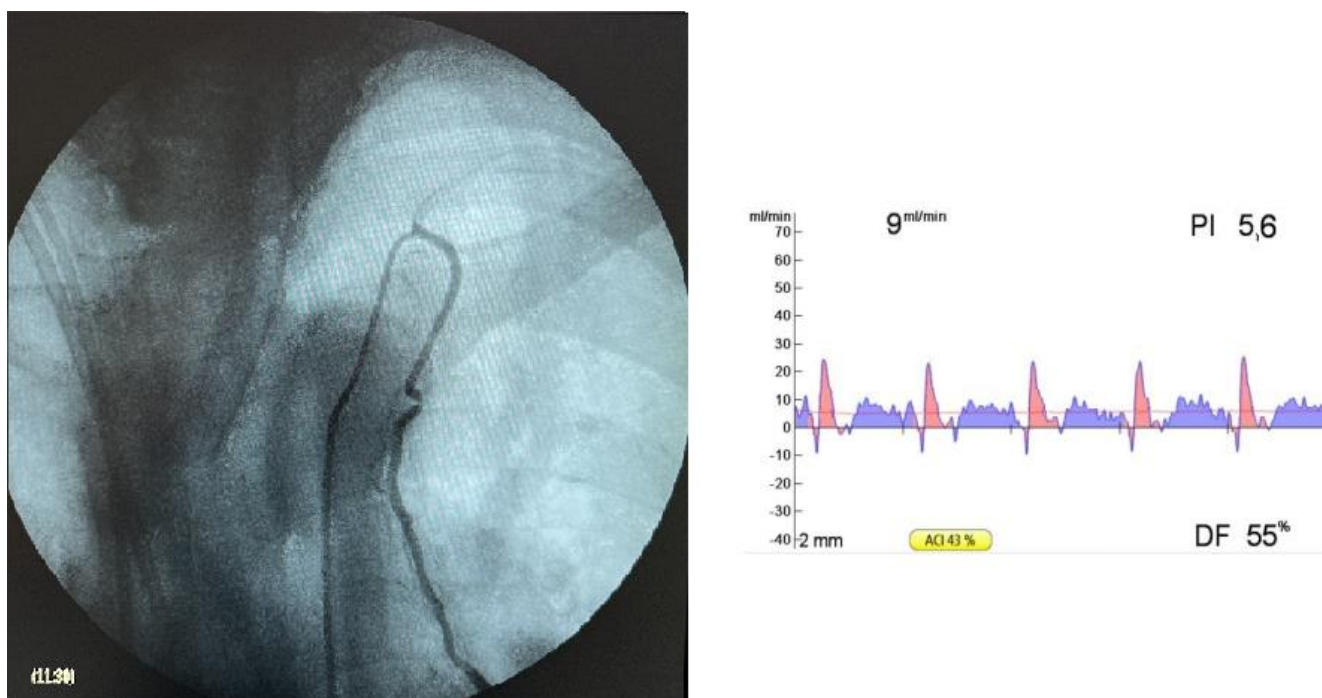


Рисунок 9 – Пример интраоперационной шунтографии (слева) с перегибом шунта при субоптимальных результатах ИУФ (справа).

Анализ полученных результатов показывает, что существенных различий в результатах ИШГ в зависимости от способа формирования анастомоза нет. Признаки неадекватной функции шунта установлены в 0,7 % случаев при секвенциальном способе и 1,3 % случаев при линейном способе формирования дистального анастомоза, различия статистически незначимы ($p = 0,552$).

Во всех случаях выполнена успешная ревизия с коррекцией кровотока по шунту. При конкурентном кровотоке выполнено отсечение трансплантата ЛВГА от устья с формированием проксимального анастомоза к аорте. Ввиду малого количества зарегистрированной неадекватной функции шунта по данным ИШГ подробный анализ преимуществ секвенциального или линейного способа с учетом диаметра целевых коронарных артерий не проводился.

3.5. Госпитальные результаты

Выполнен анализ клинических результатов КШ в двух группах в зависимости от использования ИШГ. Согласно полученным результатам, в группе двойной интраоперационной оценки функции шунтов частота развития сердечно-сосудистых событий была нулевой, на госпитальном этапе данных за инфаркт миокарда и/или нарушение мозгового кровообращения не получено, летальных случаев не зарегистрировано. В группе 2 с использованием только ИУФ для интраоперационной оценки функции шунтов результаты были схожими, за исключением 1 случая периоперационного нефатального инфаркта миокарда нижней локализации. Результаты анализа госпитальных исходов представлены в таблице №9.

Таблица 9 – Госпитальные результаты

Результат	Группа №1 (n=149)	Группа №2 (n=124)	P
Летальный исход, n (%)	0	0	1,0
ИМ, n (%)	0	1 (0,8%)	1,0
НМК, n (%)	0	0	1,0
НРС, n (%)	17 (11,4%)	12 (9,7%)	0,644

Примечание: ИМ – инфаркт миокарда, НМК – нарушение мозгового кровообращения, НРС – нарушение ритма сердца.

Единственный случай инфаркта миокарда в двух группах был диагностирован на 2-е сутки после операции, следует отметить, что по результатам ИУФ у пациента была диагностирована субоптимальная функция аутовенозного линейного шунта к задней межжелудочковой ветви (MGF 10 мл/мин, PI 3,7 ед). Ревизия шунта не проводилась, причину субоптимальной функции шунта связывали с малым диаметром ЗМЖВ.

Данный случай может демонстрировать целесообразность проведения ИУФ и необходимость большей настороженности врача при субоптимальных результатах флоуметрии. Однако неизвестно насколько важна роль субоптимальных результатов ИУФ при ее оценке на одном случае, а не в группе пациентов. С целью решения этого вопроса мы выполнили анализ госпитальных результатов в зависимости от данных ИУФ и разделили всех больных на 2 подгруппы: с оптимальными результатами ИУФ (подгруппа О, n = 244) и субоптимальными результатами ИУФ (подгруппа С, n = 29). Частота развития инфаркта миокарда у исследуемых с субоптимальными результатами ИУФ была относительно высокой (3,4 %). В то же время при сравнительном анализе клинических результатов, в том числе частоте ИМ, в зависимости от достигнутых оптимальных значений флоуметрии статистически значимых различий по основным госпитальным исходам не установлено (таблица №10). Следует отметить, что в группе исследуемых с субоптимальными результатами ИУФ

ожидаемо чаще проводилась ревизия шунта (14/29 - 48,3 % против 2/244 - 0,8 %, $p < 0,001$), что обеспечило успешную профилактику кардиальных ишемических событий в ранние сроки после операции.

Таблица 10 – Госпитальные результаты в зависимости от данных ИУФ

Результат	Группа О (n=244)	Группа С (n=29)	P
Летальный исход, n (%)	0	0	1,0
ИМ, n (%)	0	1 (3,4%)	0,104
НМК, n (%)	0	0	1,0
НРС, n (%)	25 (11,4%)	4 (9,7%)	0,527

Примечание: ИМ – инфаркт миокарда, НМК – нарушение мозгового кровообращения, НРС – нарушение ритма сердца.

Необходимость ревизии шунта при субоптимальных результатах ИУФ и/или неадекватной функции шунта по данным ИШГ была зарегистрирована в 43 случаях (у 31 исследуемого). Среди них 41 шунт (у 29 исследуемых) с субоптимальными результатами ИУФ и визуализацией анатомии по данным ИШГ (только в группе 1) и 2 шунта с оптимальными результатами ИУФ и верифицированной неадекватной функцией шунта. Таким образом, ревизия шунта интраоперационно рассматривалась в 43 случаях.

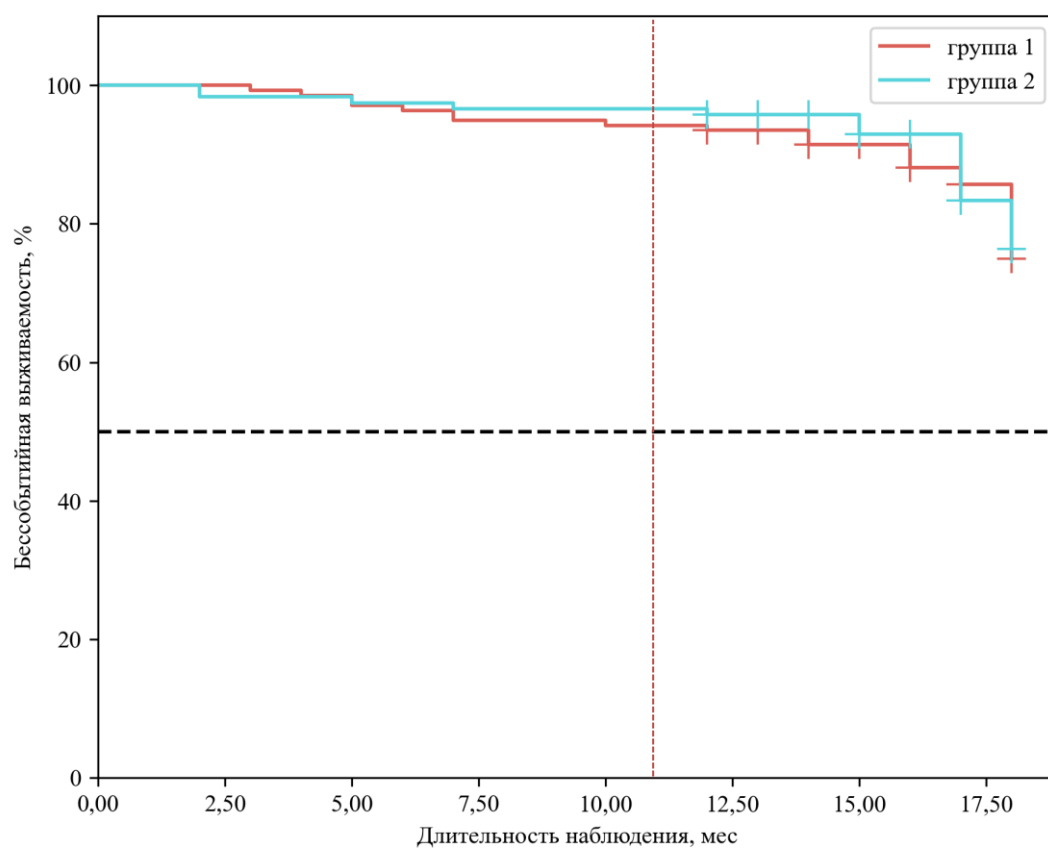
Непосредственная ревизия шунта выполнена в 41,9% (18/43 случаев). Среди них у 39,0 % (16/41 случаев) при субоптимальных результатах ИУФ (с верификацией неадекватной функции шунта в группе 1) и у 100% (2/2 случая) при оптимальных результатах ИУФ и неадекватной функции шунта по данным ИШГ. Выполнен анализ причин ревизии шунта. В группе двойного интраоперационного контроля суммарно верифицировано 23 дисфункции шунта по данным ИУФ и/или ИШГ и выполнено 6 ревизий шунта (6/21). К причинам, требующим ревизии шунта, отнесены следующие: перегиб шунта ($n = 3$), конкурентный кровоток ($n = 2$, при шунте ЛВГА-ПМЖВ) и значимый стеноз дистальнее анастомоза ($n = 1$). В группе изолированного проведения ИУФ суммарно верифицировано 20

дисфункций шунта и выполнено 12 ревизий шунта (у 10 больных), во всех случаях решение о ревизии было принято на основании высокого PI (более 5 единиц) и крайне низкого MGF (менее 5 мл/мин), анатомические дефекты не обнаружены.

Использование двойного интраоперационного контроля функции шунтов с верификацией анатомического субстрата при помощи ИШГ сопровождалось 4-х кратным снижением необходимости ревизии шунта с его реконструкцией (6/23 - 26,1 % против 12/20 - 60,0 %; ОШ = 4,3, 95 % ДИ 1,2 – 15,5, NNT («need number to treat») = 2,9, $p = 0,025$). Полученные различия могут быть объяснены отказом от ревизии шунта при адекватной функции шунта и отсутствии дефекта анастомоза по данным ИШГ. Кроме того, рутинное использование ИШГ позволяет визуализировать анатомические дефекты шунта даже в случае достигнутых оптимальных значений ИУФ. Такая стратегия операции с двойным интраоперационным контролем и отказом от ревизии шунта в каждом третьем случае (согласно значению NNT) в целом была безопасной и не сопровождалась увеличением риска развития ишемических кардиальных событий.

3.6. Отдаленные результаты

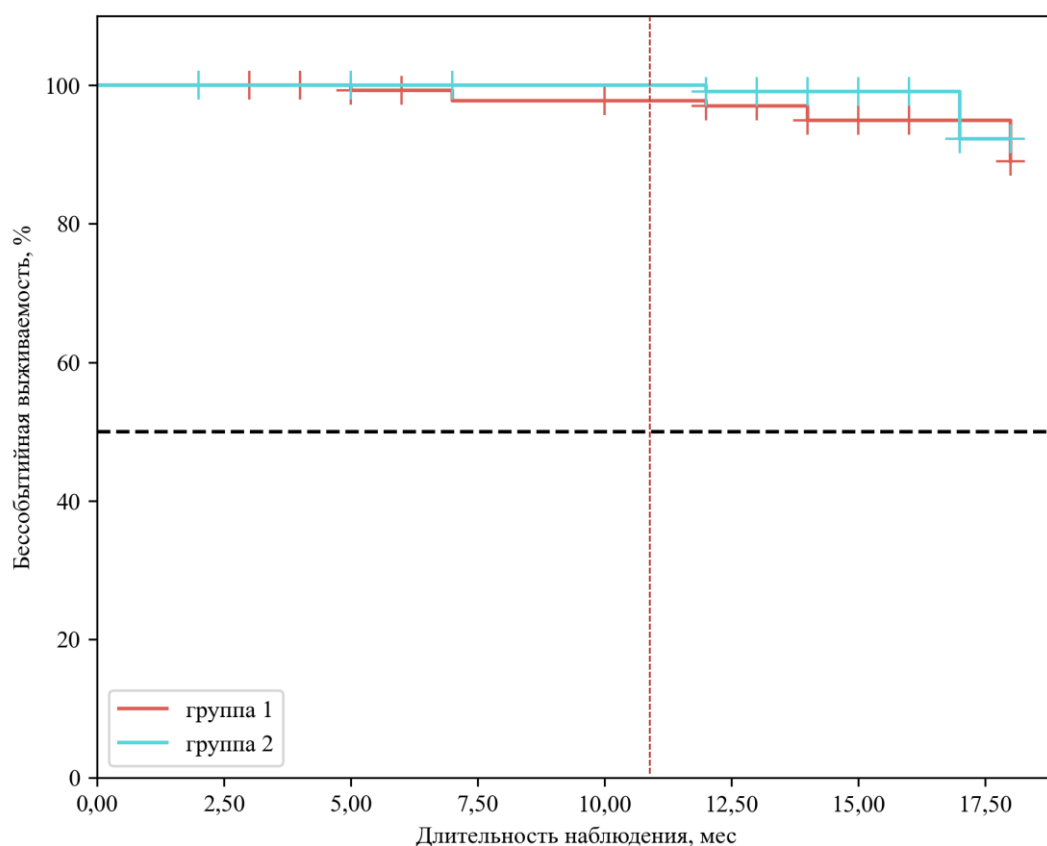
При анализе отдаленных результатов информация о клиническом статусе получена у 138 исследуемых 1 группы (92,6 %) и у 118 исследуемых 2 группы (95,2 %). Основными конечными точками исследования являлись: рецидив стенокардии, повторная реваскуляризация, инфаркт миокарда и летальный исход. Медиана периода наблюдения составила 15 месяцев (интерквартильный диапазон: 13-17 месяцев). Через 12 месяцев после хирургического вмешательства частота рецидивов стенокардии составила 6,5% в первой группе и 4,2% во второй. Статистический анализ не выявил существенных различий между группами по этому показателю ($p = 0,612$). Результаты в виде графика «свободы» от рецидива стенокардии после операции отражены на рисунке №10.



группа 1								
Наблюдений	138	134	131	130	112	54	16	
Цензурировано	0	0	0	0	17	73	108	
Событий	0	0	4	7	8	9	11	14
группа 2								
Наблюдений	118	116	115	114	114	98	47	12
Цензурировано	0	0	0	0	0	15	64	96
Событий	0	2	3	4	4	5	7	10

Рисунок 10 – График Каплана – Мейера по «свободе» от рецидива стенокардии.

В связи с рецидивом стенокардии некоторым пациентам была выполнена реваскуляризация миокарда методом ЧКВ. Частота повторных реваскуляризаций миокарда оставалась низкой в обеих группах. К 12-месячному периоду наблюдения она составила 3,0% в первой группе и 0,9% во второй. Статистический анализ не выявил значимой разницы между группами по этому показателю ($p = 0,314$). – рисунок №11.



группа 1								
Наблюдений	138	134	131	130	112	54	16	
Цензурировано	0	0	3	4	5	22	78	116
Событий	0	0	1	3	3	4	6	6
группа 2								
Наблюдений	118	116	115	114	114	98	47	12
Цензурировано	0	2	3	4	4	19	70	103
Событий	0	0	0	0	0	1	1	3

Рисунок 11 – График Каплана – Мейера по «свободе» от повторной реваскуляризации миокарда.

За время наблюдения в течение 12 месяцев в послеоперационном периоде ни у одного из исследуемых 1 группы не было зарегистрировано инфаркта миокарда, в то время как во 2 группе было отмечено 1 событие – инфаркт миокарда (0,8 %). Полученные результаты по частоте развития ИМ в послеоперационном периоде были сопоставимы ($p = 0,892$), см. рисунок №12

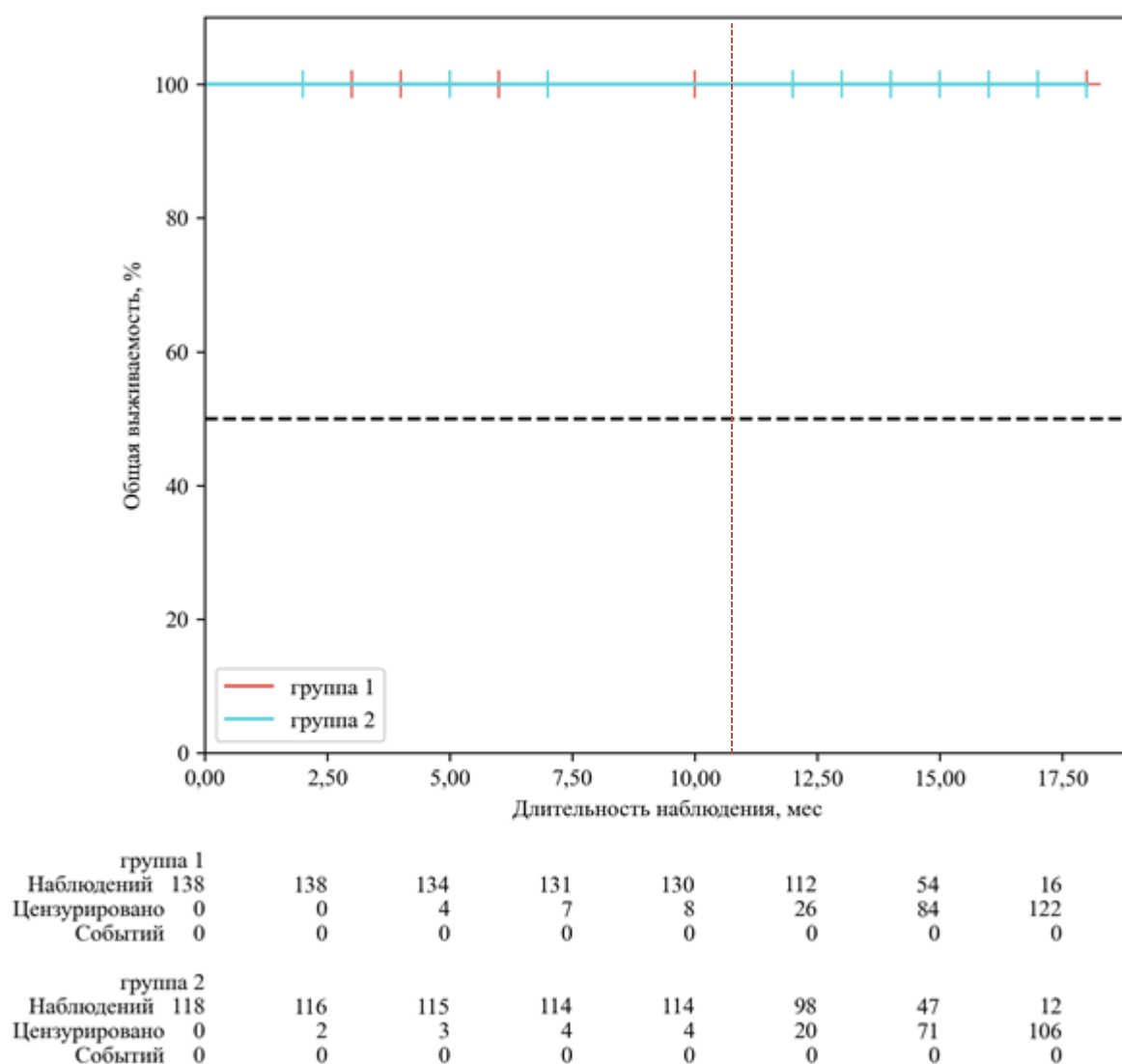
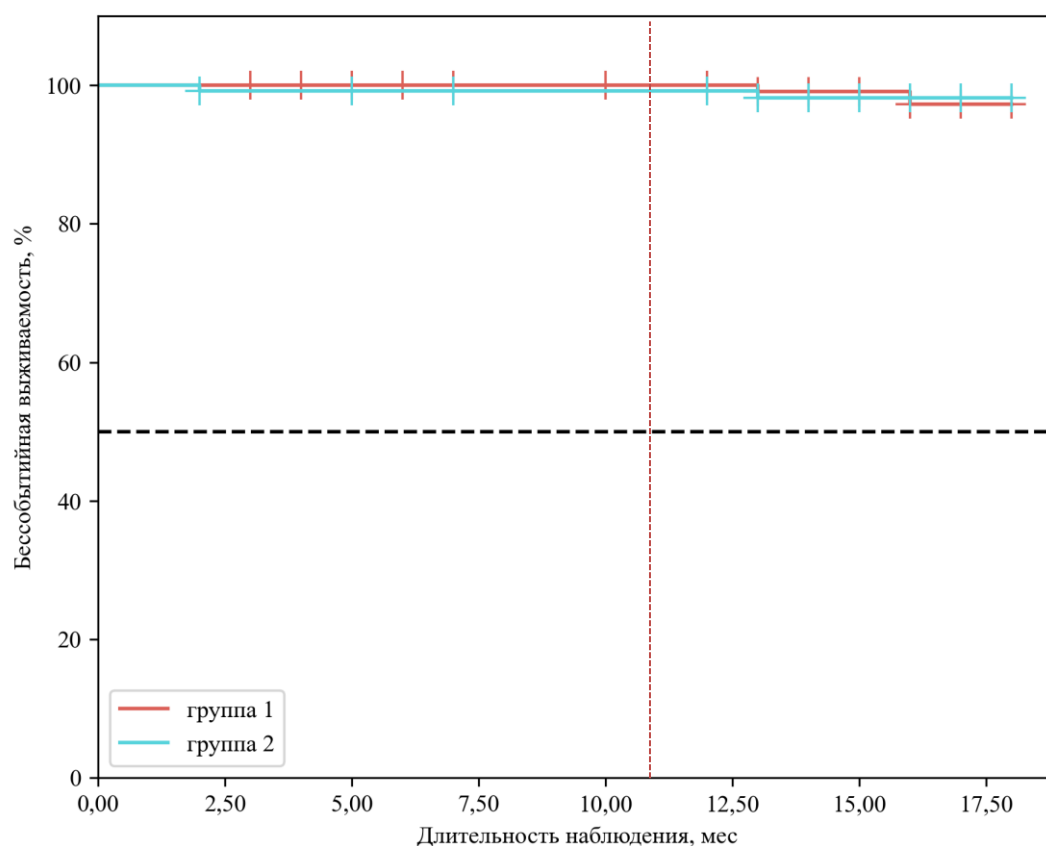


Рисунок 12 – График Каплана – Мейера по «свободе» от инфаркта миокарда.

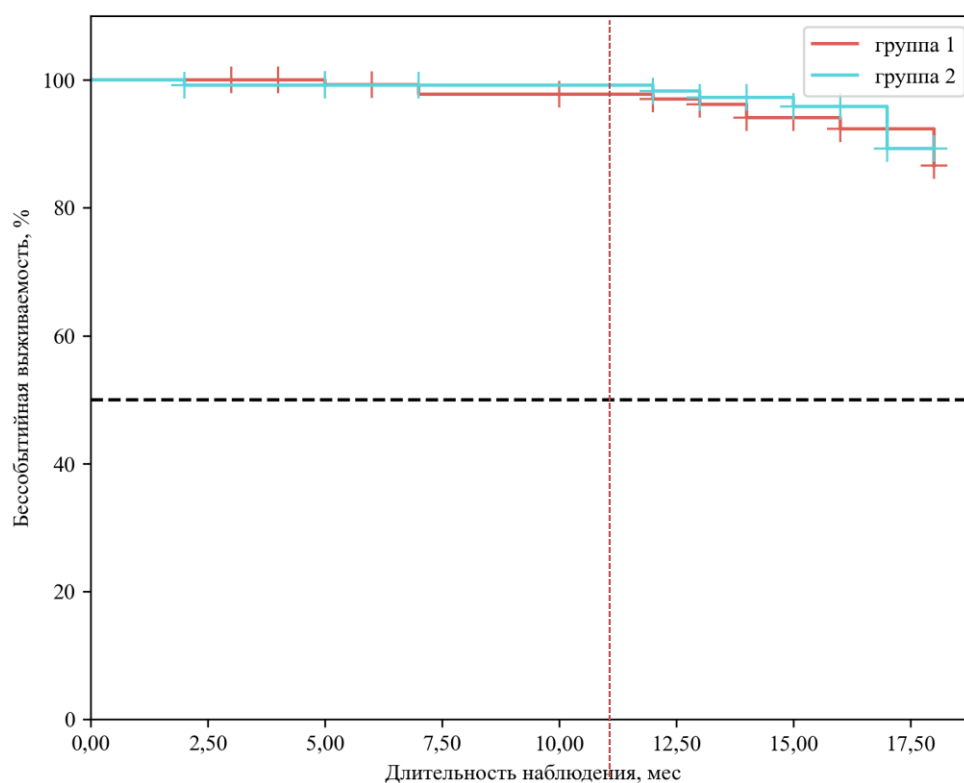
Встречаемость летальных исходов в течение 12 месяцев была идентичной развитию инфаркта миокарда. Случаев летального исхода за время наблюдения не зарегистрировано. Таким образом, смертность в течение 1 года составила 0 % в обеих группах (рисунок №13), $p = 1,0$.



группа 1								
Наблюдений	138	138	134	131	130	112	54	16
Цензурировано	0	0	4	7	8	26	83	120
Событий	0	0	0	0	0	0	1	2
группа 2								
Наблюдений	118	116	115	114	114	98	47	12
Цензурировано	0	1	2	3	3	19	69	104
Событий	0	1	1	1	1	1	2	2

Рисунок 13 – График Каплана – Мейера по выживаемости

Изучение комбинированной конечной точки (ККТ) позволило получить большее количество исходов и проанализировать различия по встречаемости клинически более важных событий. К 12-месячному сроку частота достижения ККТ составила 3,0 % в группе 1 и 1,7 % в группе 2. Анализ не выявил статистически значимых различий между группами по частоте достижения ККТ ($p = 0,644$). Результаты представлены графически на рисунке 14.



группа 1								
Наблюдений	138	138	134	131	130	112	54	16
Цензурировано	0	0	3	4	5	22	77	114
Событий	0	0	1	3	3	4	7	8
группа 2								
Наблюдений	118	116	115	114	114	98	47	12
Цензурировано	0	1	2	3	3	18	67	100
Событий	0	1	1	1	1	2	4	6

Рисунок 14 – График Каплана – Мейера по «свободе» от комбинированной конечной точки.

3.7. Клинический случай

Пациент Б., 53 лет поступил в кардиохирургическое отделение №1 ГБУ РД «НКО «ДЦК и ССХ им. А. О. Махачева» г. Махачкалы с жалобами на боли за грудиной при минимальной физической нагрузке, одышку. Из анамнеза больной страдает сахарным диабетом 2 типа. Перенес инфаркт миокарда, давность и локализацию которого уточнить не смог, а также два года назад перенес флэбэктомию БПВ с обеих сторон. При поступлении состояние средней тяжести, частота сердечных сокращений 78 уд./мин, артериальное давление 130/80 мм. рт.

ст., SpO₂ 98 % на воздухе. На электрокардиограмме: синусовый ритм с частотой 58 уд./мин. Горизонтальное положение ЭОС. Неполная блокада ПНПГ. Признаки недостаточности коронарного кровоснабжения ниже-боковой стенки ЛЖ с рубцовым повреждением миокарда нижней стенки ЛЖ (рисунок №15).

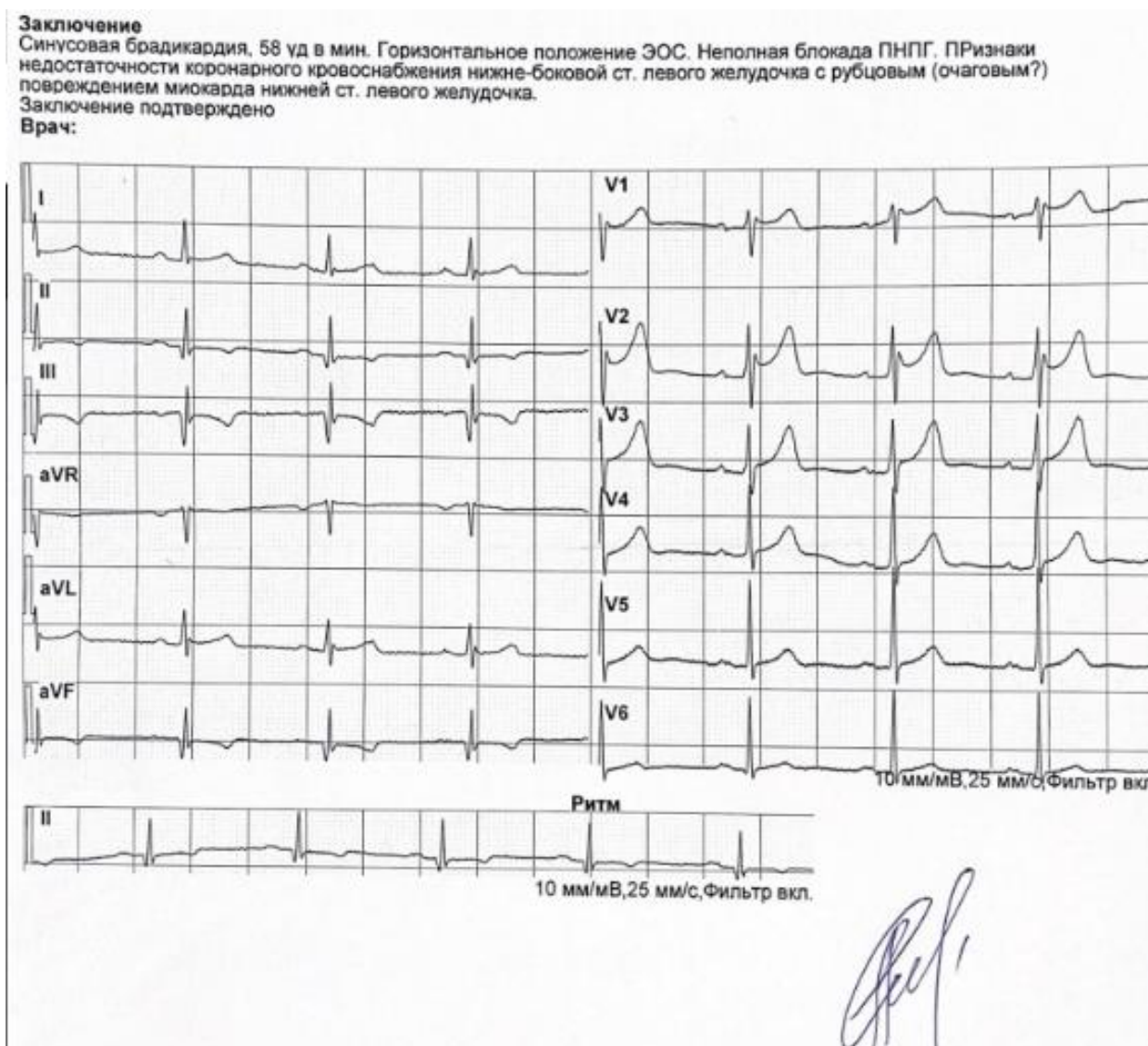


Рисунок 15 – Электрокардиограмма при поступлении

По данным двумерной ЭхоКГ: КДО – 112 мл, КСО – 48 мл, ФВ – 56 %, отмечается зона гипокинезии по нижней стенке ЛЖ, гемодинамически незначимые клапанные регургитации. Учитывая флeбэктомию БПВ с обеих сторон и необходимостью использования лучевой артерии, коронарография выполнена бедренным доступом. По данным коронарографии выявлено многососудистое

поражение коронарного русла: ПМЖВ стеноз в средней трети до 80 %. ДВ-2 крупная, стеноз в устье 90 %; стеноз ОВ в средней трети 80 %, окклюзия ПКА, заполняется по коллатералям. Данные коронарографии представлены на рисунке №16.

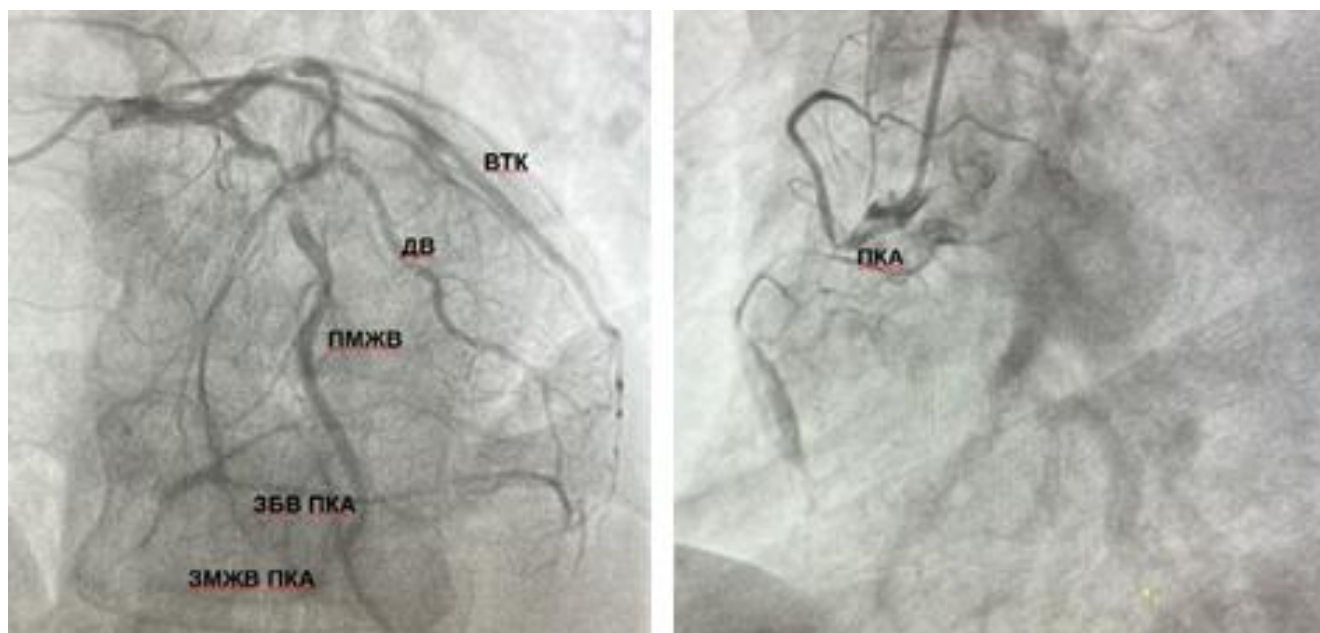


Рисунок 16 – Данные коронарографии с обозначением коронарных артерий.

Доступ к сердцу осуществлён через срединную стернотомию. При эпикардальном ультразвуковом сканировании (ЭпиУЗИ) обнаружен атероматоз восходящей аорты. Скелетированно выделены обе внутренние грудные артерии. Выполнен забор левой лучевой артерии. Произведена ревизия сердца и коронарных артерий с помощью ЭпиУЗИ, шунтированию подлежат ПМЖВ, ДВ2, ВТК, ЗБВ и ЗМЖВ. Сформирован анастомоз правой внутренней грудной артерии с лучевой артерией. Создан анастомоз «бок в бок» между ЛВГА и ДВ2. Далее выполнен анастомоз «конец в бок» между ЛВГА и ПМЖВ [ЛВГА – ДВ2с – ПМЖВ]. С помощью шва на задний перикард выполнено перемещение сердца в вертикальное положение и создан анастомоз «бок в бок» между лучевой артерией и ЗМЖВ ПКА. Далее сформирован анастомоз «бок в бок» между лучевой артерией и ЗБВ ПКА. Последним создан анастомоз «конец в бок» между лучевой артерией и ОВ ВТК [ПВГА + ла – ЗМЖВ ПКАс1 – ЗБВ ПКАс2 – ОВ ВТК]. Для формирования всех 5

дистальных анастомозов (включая 3 секвенциальных) использовался эпикардиальный стабилизатор Octopus Medtronic и нитка Prolene Ethicon 8-0. Схематическое изображение операции и ее обозначение представлены на рисунке №17.

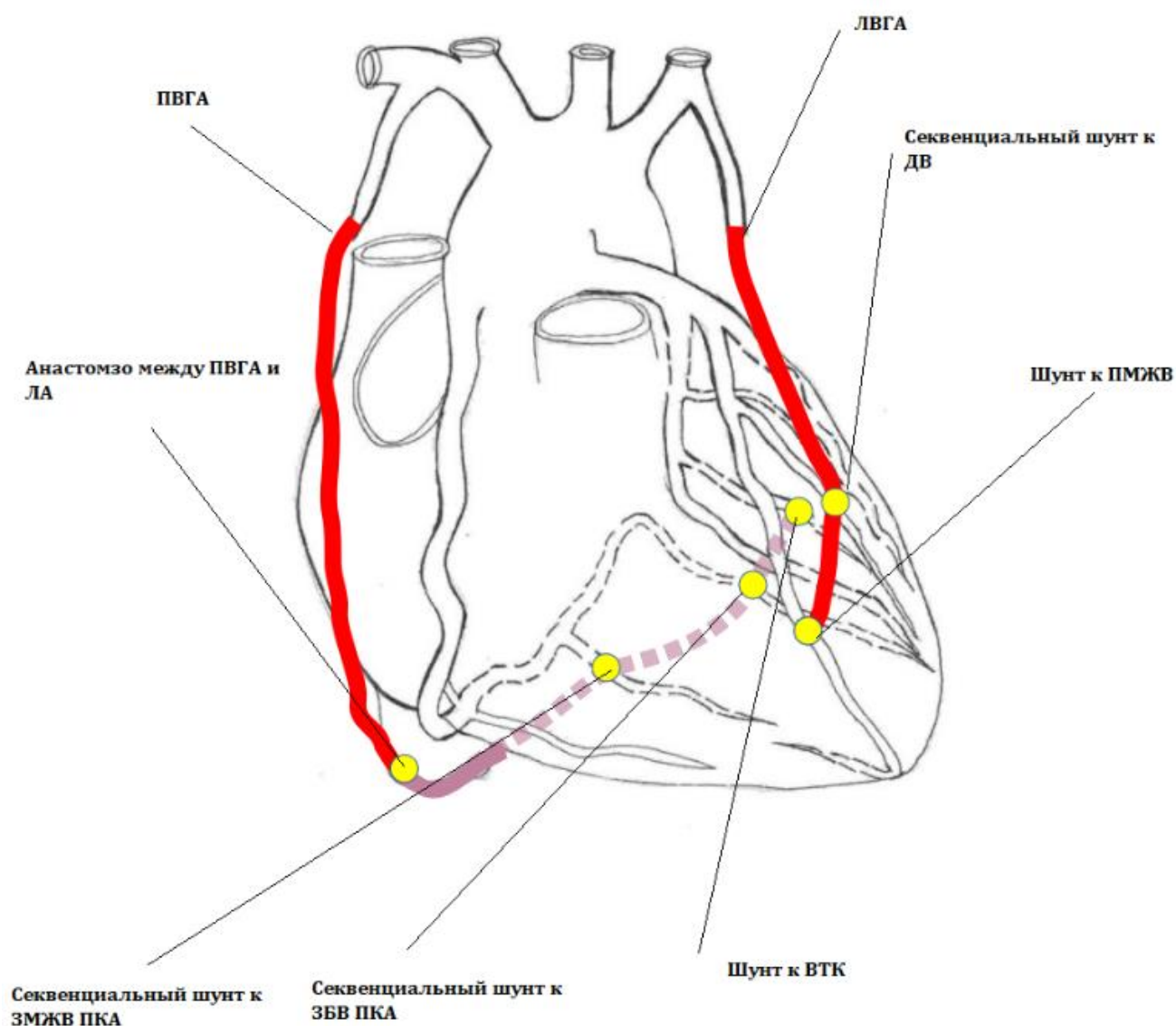


Рисунок 17 – Схематическое изображение объема хирургического вмешательства, где ЛВГА – левая внутренняя грудная артерия, ПВГА – правая внутренняя грудная артерия, ЛА – лучевая артерия, ПМЖВ – передняя межжелудочковая артерия, ДВ – диагональная ветвь, ЗМЖВ ПКА – задняя межжелудочковая ветвь правой коронарной артерии, ЗБВ ПКА – задне-боковая ветвь правой коронарной артерии, ВТК – ветвь тупого края огибающей артерии, с – секвенциальный шунт.

Интраоперационный контроль качества осуществлен с помощью метода интраоперационной ультразвуковой флоуметрии. Показатели флоуметрии по шунтам представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Показатели флоуметрии на шунтированных артериях; Q mean – объемная скорость кровотока в мл/мин, PI – индекс периферического сопротивления кровотоку.

Параметры Сосуды	Q-mean (мл/мин)	PI
ЛВГА (общий показатель)	62	2,1
ДВ2	28	2,2
ПМЖВ	33	1,8
ПВГА (общий показатель)	134	1,6
ЗМЖВ ПКА	42	1,8
ЗБВ ПКА	54	1,7
ОВ ВТК	58	1,4

Послеоперационный период без осложнений: продолжительность инфузии инотропных препаратов (норадреналин 0,04 мкг/кг/мин) и ИВЛ составила 13 и 6,5 часов, соответственно. Заживление раны первичным натяжением, швы удалены в стандартные сроки. Принимая во внимание множественное аутоартериальное КШ, пациенту была назначена терапия антагонистами кальция в течение 12 месяцев после операции.

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты, полученные в нашем исследовании, отражают уже известные свидетельства высокой эффективности и безопасности секвенциального КШ. Научный и практический интерес представляют данные о возможностях использования различных методов интраоперационной оценки функции шунтов. Общепринятым основным инструментом интраоперационной оценки функции шунта и профилактики его несостоятельности является ИУФ. Дополнительное проведение ИШГ, как указывалось нами ранее, представляется перспективным, особенно при секвенциальном КШ ввиду высокой уязвимости этих больных к дисфункции шунта. Наше исследование впервые демонстрирует результаты двойного интраоперационного контроля с использованием ИУФ и ИШГ при секвенциальном КШ. Кроме того, в нашей работе впервые продемонстрированы особенности использования двойного интраоперационного контроля с решением вопроса о реконструкции шунта.

В литературе нет общепринятого мнения о влиянии секвенциальной техники формирования анастомозов на риск окклюзии шунта, одни работы демонстрируют его преимущества, другие, наоборот, – недостаток [39, 47]. Интраоперационная оценка функции шунта с использованием ИУФ показывает необходимость своевременной реконструкции шунта при секвенциальном КШ, поскольку субоптимальные результаты ИУФ увеличивают риск окклюзии шунта [39]. Данные литературы по использованию ИШГ при секвенциальном КШ отсутствуют.

ИУФ является ведущим инструментом интраоперационной оценки функции шунта. Известно, что показатели ИУФ, в частности высокий PI, могут прогнозировать развитие неблагоприятных сердечно-сосудистых событий после операции КШ [83]. Частота смены тактики хирургического вмешательства, включая проведение реконструкции шунта, при использовании интраоперационных методов оценки функции шунтов может достигать 25,2 %, что снижает риск госпитальной смертности и развития осложнений [43].

Использование ИУФ при операции КШ выглядит целесообразным ввиду высокой эффективности в профилактике дисфункции шунтов [79]. Низкая диагностическая эффективность и значительное количество ложноположительных заключений, получаемых при применении существующих алгоритмов интраоперационной ультразвуковой флюоресценции, являются причиной скептического отношения хирургов к данной технологии [92]. Попытки установить дискретные пороговые значения для MGF (<20 мл/мин) и PI (>3 и >5 единиц) с целью прогнозирования проходимости шунта через 1 год после операции выявили недостаточную чувствительность обоих параметров [70]. Аналогичные результаты наблюдались при исследовании различных пороговых значений ИУФ [49]. Диффузное поражение коронарных артерий, особенно в сочетании с малым диаметром целевого сосуда, является основной причиной ложноположительных результатов [37]. Конкурентный кровоток может приводить к неудовлетворительным результатам теста ИУФ, даже если шунт функционирует адекватно. В таких случаях, для исключения ложноположительного результата, необходимо провести функциональную петлевую пробу.

Принимая во внимание известные ограничения метода ИУФ, описанные выше, мы в своей работе изучили возможность дополнительного использования ИШГ при секвенциальном КШ с соответствующим разделением, исследуемых на 2 группы. В результате нами впервые было продемонстрировано снижение необходимости рутинной ревизии шунта при двойном интраоперационном контроле (ИУФ и ИШГ) в 3 раза независимо от результатов ИУФ. А в случае регистрации субоптимальных результатов доля шунтов, требующих ревизии снизилась с 100 % до 41,9 %. В литературе проведение ревизии шунта при регистрации субоптимальных результатов колеблется от 5 до 100% (таблица №12).

Таблица 12 – Частота повторных вмешательств при субоптимальной функции шунта и критерии для ревизии.

Авторы, публикации	год	Ревизия/дисфункция	Критерии для ревизии
Walpoth и соавт., 1998* [85]		3/3 (100%)	MGF менее 20 мл/мин
D'Ancona и соавт., 2000 [34]		37/37 (100%)	MGF менее 15 мл/мин или PI более 5 ед
Balacumaraswami и соавт., 2005 [2]		8/25 (32,0%)	MGF менее 5 мл/мин и PI более 5 ед + использование ИФА.
Handa и соавт., 2009 [57]		2/3 (66,7%)	MGF менее 10 мл/мин и PI более 5 ед и DF менее 50%
Waseda и соавт., 2009 [41]		6/21 (28,6%)	MGF менее 5 мл/мин и PI более 5 ед + использование ИФА.
Kieser и соавт., 2010 [86]		20/74 (27,0%)	PI более 5 ед
Quin и соавт., 2014 [70]		44/568 (7,7%)	MGF менее 20 мл/мин
Di Giammarco и соавт., 2014 [42]		2/39 (5,1%)	MGF менее 15 мл/мин и PI более 3 ед + использование ЭпиУЗИ
Handa и соавт., 2016 [49]		6/46 (13,0%)	MGF менее 15 мл/мин и PI более 5 ед или DF менее 50%
Leviner и соавт., 2022 [33]		35/589 (5,9%)	MGF менее 20 мл/мин или PI более 5 ед или DF менее 50% или BF более 3%

Примечание: *только ВГА, ИФА – интраоперационная флуоресцентная ангиография

Решение об отказе ревизии шунта в нашем исследовании принималось в случае регистрации субоптимальных результатов ИУФ в сочетании с оптимальными результатами визуализации шунта по данным ИШГ. Такой подход, согласно полученным клиническим результатам, не сопровождается увеличением риска развития периоперационного инфаркта миокарда, что свидетельствует о его безопасности.

Ранее в литературе схожие выводы были получены в нескольких исследованиях, где использовался двойной интраоперационный контроль с проведением ИУФ и флуоресцентной визуализацией [15, 16]. Чувствительность флоуметрии значительно возрастает при использовании визуализации шунтов, что подтверждается другими исследованиями [2, 3, 42]. В исследовании, проведенном D. Desai с коллегами, оценивалась способность двух методов визуализации - флуоресцентной ангиографии и ИУФ предсказывать развитие дисфункции шунта (сужение более чем на 50% или его полное закрытие). Оценка проводилась путем сравнения результатов этих методов с данными послеоперационной ангиографии, выполненной на четвертый день после операции. Авторы показали, что флуоресцентная ангиография лучше выявляет дисфункцию шунта, чем ИУФ, что выражается в более высокой чувствительности (83% против 25%). При этом специфичность обоих методов оказалась одинаково высокой [13]. В 2014 году G. Di Giammarco et al. опубликовали результаты исследования, в котором впервые была продемонстрирована возможность одновременного применения ЭпиУЗИ и ИУФ. Комбинация этих двух методов позволила достичь 100% чувствительности и 100% специфичности в диагностике [42]. Результаты многоцентрового исследования, проведенного D. Taggart и соавт., подтверждают значительное повышение диагностической ценности при использовании двойного интраоперационного контроля функции шунтов с применением ЭпиУЗИ [43]. К настоящему моменту метод флуоресцентной визуализации шунтов не внедрен широко в клиническую практику ввиду ряда ограничений, включая низкое качество визуализации шунтов. Использование ЭпиУЗИ как альтернативного метода визуализации также ограничено преимущественно технически сложным

использованием. Проведение ИШГ удобнее при наличии технических возможностей и остается «золотым стандартом» визуализации шунтов.

С 2000-х годов продолжают попытки унификации показаний к ревизии шунта и создания единого алгоритма. В основу вновь сформированных алгоритмов включаются исследования, описанные выше, в редких случаях алгоритма имеют экспертный характер. Наиболее популярными являются алгоритмы ревизии шунта, основанные на ИУФ с использованием функциональных проб (Т.М. Kieser, 2010) и двойном интраоперационном контроле с использованием ИУФ и ЭпиУЗИ (G. Di Giammarco, 2014, И.Ю. И.Ю. Сигаев) [42, 86, 96]. Исследования показывают, что решение о реконструкции шунта не может быть принято только на основании данных ИУФ. Важно также учитывать клинические проявления, проходимость шунта и состояние дистального русла целевой коронарной артерии. Мы считаем, что ИШГ является ценным инструментом, позволяющим оценить проходимость шунта и дистального русла целевой КА. На основании результатов нашего исследования, мы рекомендуем использование следующего модифицированного алгоритма показаний для ревизии шунта при КШ. (рисунок №18).

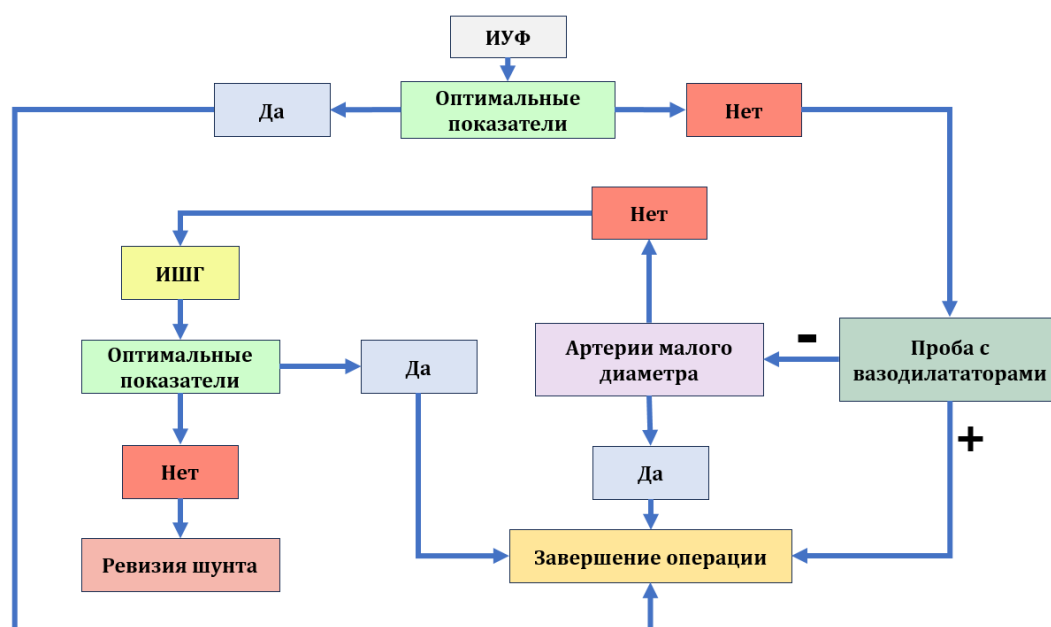


Рисунок 18 – Алгоритм показаний к ревизии шунта при двойном интраоперационном контроле.

В нашей работе при оптимальных результатах флоуметрии ревизия шунта не проводилась, за исключением случаев дисфункции шунта по данным ИШГ после окончания операции. При неудовлетворительных параметрах (MGF менее 20 мл/мин и PI более 5) решение о ревизии шунта принималось с учетом диаметра целевой КА. Если диаметр КА был менее 1,5 мм мы проводили пробу с вазодилататорами (нитроглицерин, папаверин). При положительной пробе на вазодилататоры (MGF увеличивается на более чем 30 % с положительной динамикой PI) ревизия шунта не выполнялась. При отсутствии ответа на вазодилататоры мы проводили интраоперационную шунтографию. В случае признаков дисфункции шунта выполнялась его ревизия.

Диаметр целевой КА имеет ключевое значение в интраоперационном определении тактики дальнейшего лечения, поскольку он коррелирует с параметрами кровотока по шунту и риском развития субоптимальной функции шунта. Негативное влияние малого диаметра КА на результаты ИУФ ранее было продемонстрировано в ряде исследований, включая отечественные [37, 44, 45]. В работе Р.С. Акчурина и соавт. было показано, что уменьшение диаметра целевой КА менее 1 мм сопровождается статистически значимым ухудшением результатов ИУФ [44]. Применительно к нашему исследованию, важно отметить следующий вывод этих авторов: «Учитывая техническую сложность формирования анастомоза, высокий риск развития осложнений при повторном вмешательстве, а также вероятность ложноположительных результатов ИУФ, проведение ревизии шунта при клинически стабильном состоянии у больных с диффузным поражением и при наличии кровотока > 10 мл/мин, вероятно, нецелесообразно» [44]. Мы согласны с мнением коллег и считаем, что крайне важно учитывать влияние диаметра целевой КА на ухудшение параметров ИУФ и таким образом целесообразно воздержаться от невынужденной реконструкции шунта. Эта идея стала составной частью предлагаемого нами алгоритма по вопросу о ревизии шунта.

Объективизация данных о снижении ИУФ с учетом диаметра КА позволяет определить потенциальный вклад в снижение MGF и PI и своевременно принять решение о необходимости ревизии шунта. В нашей работе впервые показано выраженное снижение параметров кровотока по шунту, включая MGF и PI, при секвенциальном КШ, определены ожидаемые значения худших результатов ИУФ при уменьшении диаметра на 1 мм. В предыдущих работах, посвященных изучению кровотока в сосудах малого диаметра при стандартном КШ, А. Jalal и коллеги установили, что при диаметре коронарной артерии (КА) менее 1 мм средний коронарный кровоток (MGF) составляет 18,9 мл/мин, а средний индекс пульсации (PI) равен 4,3 [45]. В нашем исследовании такой анализ не проводился, и мы не можем сопоставить эти результаты. Другим показателем, объективизирующим вклад тяжелого коронарного атеросклероза с учетом диаметра дистального сегмента в ухудшение параметров ИУФ, является коэффициент корреляции и его степень. В работе А. Jalal корреляционная связь была умеренной, тогда как в нашем исследовании корреляционная связь была скорее слабой (для линейных шунтов слабая теснота, для секвенциальных – умеренная теснота). Тем не менее, и в той, и в другой работе достигнуты статистически значимые различия, что свидетельствует о идентичности результатов нашего исследования с данными литературы. Впервые в нашем исследовании были продемонстрированы сравнительные результаты ИУФ при секвенциальном и линейном шунтировании. Результаты, продемонстрированные в диссертационном исследовании, были опубликованы нами ранее [93]. В серии исследований, направленных на анализ параметров ИУФ при секвенциальном КШ, было доказано, что суммарный объем кровотока по секвенциальному шунту, измеренный на проксимальном участке, существенно выше, чем объем кровотока в линейном шунте [54, 65, 74]. В одной из работ авторы использовали оригинальный дизайн исследования с последовательным формированием линейного анастомоза «конец в бок», выполнением ИУФ с последующим формированием

секвенциального анастомоза «бок в бок» и повторным выполнением ИУФ. Таким образом, авторы оценили параметры флоуметрии к той же самой целевой артерии при линейном и секвенциальном шунтировании. При сравнении результатов флоуметрии параметры кровотока были сопоставимы, при пробе с папаверином также существенных различий не выявлено [65]. В нашем исследовании дизайн был иным, мы оценивали параметры флоуметрии при линейном и секвенциальном шунтировании у разных больных. Ограничением этой работы может быть различное состояние целевого русла, хотя характер поражения целевых КА был схож по степени стеноза, которая составляла 70% и более в каждом случае. Согласно полученным результатам, секвенциальное шунтирование КА не сопровождается уменьшением параметров ИУФ и более частой субоптимальной функцией шунта. Полученные нами результаты соответствуют литературным данным, что подкрепляет вывод об успешном применении ИУФ при секвенциальном КШ.

Не было выявлено статистически значимых различий в клинических исходах между группами пациентов, которым проводился двойной интраоперационный контроль функции шунтов, и группами, где он не проводился, ни в период госпитализации, ни в течение года после операции, результаты этих исследований опубликованы ранее [93]. Недостатком нашего исследования можно считать отсутствие данных шунтографии в отдаленном периоде после операции. В литературе продемонстрирована более высокая частота дисфункции (стеноз более 75 % или окклюзия) секвенциальных шунтов по сравнению с линейными при шунтировании ПКА в течение 1 года, 5 и 10 лет после операции. Проходимость шунтов к ПКА для секвенциальных анастомозов составила $94,2 \% \pm 1,4 \%$ в течение 1 года, $76,9 \% \pm 2,8 \%$ в течение 5 лет и $57,8 \% \pm 4,0 \%$ в течение 10 лет, для линейных – $97,1 \% \pm 0,6 \%$ в течение 1 года, $90,4 \% \pm 1,1 \%$ в течение 5 лет и $77,8 \% \pm 1,7 \%$ в течение 10 лет, во всех случаях установлена статистически значимая разница ($p < 0,001$) [47]. Схожие результаты ранее были опубликованы в

исследовании PREVENT IV – секвенциальное шунтирование сопровождается более низкой проходимостью шунтов в сравнении с линейным в течение 1 года после операции [64]. Другие данные представлены в большом мета-анализе (12 исследований) J. Li и соавт. Авторы показали снижение риска окклюзии секвенциальных шунтов на 33% в отдаленном периоде после операции (OR = 0,67, 95 % ДИ 0,34 – 0,80, $p < 0,05$) [75]. В двух последних исследованиях изучение функции шунта проводилось без учета системы КА (левой или правой). Таким образом, убедительных данных о преимуществах той или иной методики на проходимость шунтов нет, а вопрос о высоком риске окклюзии секвенциального шунта к ПКА остается открытым.

Теоретически, повышение риска дисфункции шунта может быть связано с особенностями перфузии миокарда по ПКА (50 % перфузии происходит во время систолы) и более высоким риском конкурентного кровотока по нативному руслу. Результаты крупных исследований, демонстрирующие преимущества или недостатки проходимости шунта при секвенциальном КШ в сравнении с линейным типом анастомоза интерпретированы без учета показателей флоуметрии. В то же время, теоретически, субоптимальная функция шунта по данным ИУФ, будучи известным независимым предиктором ранней окклюзии шунта, может объяснить полученные результаты. Действительно, высокая проходимость секвенциальных шунтов в литературе объясняется лучшими параметрами флоуметрии [4, 39, 75]. Лучшие параметры кровотока по секвенциальному шунту способствуют профилактике ранней окклюзии шунта (до 1 года) за счет снижения сопротивления потоку крови по шунту [4, 75]. Кроме того, результаты фундаментальных экспериментальных исследований показывают, что высокий поток крови по шунту способствует профилактике отсроченной окклюзии шунта (после 1 года) за счет уменьшения выраженности гиперплазии интимы [29, 87]. В нашем исследовании кровотока по шунту, выраженный в объемной скорости кровотока (MGF) и пульсативном индексе (PI), при сравнении секвенциальных и линейных шунтов для

всех целевых КА не различался. Частота субоптимальной функции шунта со сниженным MGF и/или повышенным PI была в пределах 4 % и расценивалась нами схожей для секвенциальных и линейных шунтов. Мы не видим существенных различий по частоте дисфункции шунта в послеоперационном периоде при секвенциальном и линейном КШ. В то же время, несмотря на отсутствие статистически значимых различий, стоит отметить многократное увеличение риска субоптимальной функции шунтов к ПКА и ее ветвям для линейных шунтов по сравнению с секвенциальными. Повышенный риск субоптимальной функции шунтов к ветвям ПКА ранее был описан в единичных исследованиях [54]. Дальнейшая оптимизация метода секвенциального КШ требует определения его роли при шунтировании ПКА и ее ветвей с использованием ИУФ и оценки долгосрочной проходимости шунтов с учетом полученных результатов интраоперационной визуализации. Таким образом, оценка влияния секвенциального метода формирования анастомоза к ПКА на результаты ИУФ и проходимость шунтов требует дальнейшего изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение ИШГ в дополнении к ИУФ обеспечивает дополнительную интраоперационную оценку шунта с его визуализацией, что позволяет принять своевременное решение о необходимости реконструкции шунта, имеющее важное практическое значение, особенно при секвенциальном КШ. В нашем исследовании продемонстрированы особенности использования ИШГ и его интерпретации в дополнении к ИУФ. Удовлетворительный результат ИШГ может быть аргументом для отказа от проведения ревизии шунта при субоптимальных результатах ИУФ. Такой подход позволяет существенно снизить частоту невынужденной ревизии шунта при субоптимальных результатах флоуметрии и избежать проведения реконструкции шунта в каждом третьем случае. Отказ от реконструкции шунта при двойном интраоперационном контроле является безопасным с точки зрения риска развития инфаркта миокарда, что представляется ключевым аргументом для внедрения такого подхода в клиническую практику.

ВЫВОДЫ

1. Средние значения объемной скорости кровотока и пульсативного индекса при секвенциальном коронарном шунтировании составляют 46 (33; 67) мл/мин и 2,3 (1,8; 2,7), соответственно, а при линейном коронарном шунтировании – 45 (33; 67) и 2,2 (1,8; 2,7), соответственно. При сравнении полученных результатов статистически значимых различий по обоим показателям не достигнуто, $p = 0,962$ и $0,903$, соответственно. Частота субоптимальной функции шунта также не различалась (4,0% для секвенциальных шунтов и 4,6% для линейных шунтов, $p = 0,658$).
2. Неадекватная функция шунта по данным интраоперационной шунтографии была установлена в 0,7% случаев при секвенциальном способе и в 1,3% случаев - при линейной технике формирования дистального анастомоза. [статистически значимых различий не установлено ($p = 0,552$).]
3. Уменьшение диаметра целевой коронарной артерии на 1 мм при линейном шунте сопровождается снижением объемной скорости кровотока на 22 мл/мин и увеличением пульсативного индекса на 0,4 единицы. Аналогичные результаты выявлены и для секвенциальных шунтов: уменьшение диаметра целевой коронарной артерии на 1 мм сопровождается снижением объемной скорости кровотока на 25 мл/мин и увеличением пульсативного индекса на 0,5 единиц. В обоих случаях установлены статистически значимые различия ($p < 0,001$).
4. Частота сердечно-сосудистых событий (инфаркт миокарда и инсульт) при секвенциальном коронарном шунтировании и интраоперационной ультразвуковой флоуметрии на госпитальном этапе сопоставима в группах и не зависит от дополнительной визуализации с помощью интраоперационной шунтографии; использование интраоперационной шунтографии сопровождается снижением необходимости ревизии шунта (1,2 % против 3,7%, $p=0,0011$) и не уменьшает частоту сердечно-сосудистых событий (инфаркт миокарда и инсульт) после

операции в течении 1 года после нее при секвенциальном коронарном шунтировании; частота рецидива стенокардии при секвенциальном коронарном шунтировании и ИУФ в сочетании с ИШГ в течение 1 года после операции составила 6,5 % и 4,2 % у больных без проведения интраоперационной шунтографии, [различие не достоверно ($p = 0,612$).] Летальных исходов в обеих группах не было.

5. Разработан и апробирован алгоритм для установления показаний к ревизии шунта при секвенциальном шунтировании.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Секвенциальное коронарное шунтирование с двойным интраоперационным контролем функции шунтов может быть выполнено с удовлетворительными госпитальными и промежуточными результатами.
2. Проведение интраоперационной ультразвуковой флоуметрии при секвенциальном коронарном шунтировании требует соблюдения протокола с поочередным измерением кровотока в секвенциальных шунтах.
3. Двойной интраоперационный контроль функции шунтов с использованием интраоперационной ультразвуковой флоуметрии и интраоперационной шунтографии позволяет существенно и безопасно снизить необходимость реконструкции шунта при секвенциальном коронарном шунтировании.
4. Показания для реконструкции шунта при коронарном шунтировании могут основываться на разработанном клинико-инструментальном алгоритме.
5. Необходимость выполнения реконструкции шунта при малом диаметре целевых коронарных артерий должна определяться с учетом значений ожидаемого снижения объемной скорости кровотока и увеличения пульсативного индекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization / F. J. Neumann, M. Sousa-Uva, A. Ahlsson [et al.] // *European Heart Journal*. – 2019. – Vol. 40. – № 2. – P. 87-165.
2. A comparison of transit-time flowmetry and intraoperative fluorescence imaging for assessing coronary artery bypass graft patency / L. Balacumaraswami, Y. Abu-Omar, B. Choudhary [et al.] // *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 2005. – Vol. 130. – № 2. – P. 315-320.
3. A randomized comparison of intraoperative indocyanine green angiography and transit-time flow measurement to detect technical errors in coronary bypass grafts / N. D. Desai, S. Miwa, D. Kodama [et al.] // *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 2006. – Vol. 132. – № 3. – P. 585-594.
4. A rationale for the use of sequential coronary artery bypass grafts / M. J. O'Neill, P. D. Wolf, T. K. O'Neill [et al.] // *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 1981. – Vol. 81. – № 5. – P. 686-690.
5. Air blockage at coronary anastomosis detected by intraoperative epicardial ultrasonography / K. Iino, H. Kato, Y. Yamamoto, H. Takemura // *European Journal of Cardio-thoracic Surgery*. – 2016. – Vol. 50. – № 1. – P. 186-187.
6. Akhrass, R. Intraoperative graft patency validation: Friend or foe? / R. Akhrass, F. G. Bakaeen // *JTCVS Techniques*. – 2021. – Vol. 7. – P. 131-137.
7. Amin, S. Relationship of Intraoperative Transit Time Flowmetry Findings to Angiographic Graft Patency at Follow-Up / S. Amin, A. C. Pinho-Gomes, D. P. Taggart // *Annals of Thoracic Surgery*. – 2016. – Vol. 101. – № 5. – P. 1996-2006.
8. Andreassen, J. J. A case report on epicardial ultrasonography of coronary anastomoses using a stabilizing device without the use of ultrasound gel / J. J. Andreassen, D. Nøhr, A. S. Jørgensen // *Journal of Cardiothoracic Surgery*. – 2019. – Vol. 14. – № 1.
9. Angiographic changes in saphenous vein grafts are predictors of clinical outcomes / G. L. Knatterud, C. White, N. L. Geller [et al.] // *American Heart Journal*. – 2003. – Vol. 145. – № 2. – P. 262-269.

10. Angiographic flow grading and graft arrangement of arterial conduits / H. Nakajima, J. Kobayashi, O. Tagusari [et al.] // The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. – 2006. – Vol. 132. – № 5. – P. 1023-1029.
11. Angiographic outcomes following stenting or coronary artery bypass surgery of the left main coronary artery: Fifteen-month outcomes from the synergy between PCI with TAXUS express and cardiac surgery left main angiographic substudy (SYNTAX-LE MANS) / M. C. Morice, T. E. Feldman, M. J. Mack [et al.] // EuroIntervention. – 2011. – Vol. 7. – № 6. – P. 670-679.
12. Antithrombotic treatment after coronary artery bypass graft surgery: Systematic review and network meta-analysis / S. K., L. S., K. C. [et al.] // The BMJ. – 2019. – Vol. 367.
13. Aortocoronary Bypass Grafts: Early Postoperative Angiographic Evaluation and Reexploration for Stenosis or Thrombosis of the Vein Graft / C. M. Grondin, Y. R. Castonguay, G. Lepage [et al.] // Archives of Surgery. – 1971. – Vol. 103. – № 5. – P. 535-538.
14. Aortocoronary Vein Bypass in Patients With Angina Pectoris / B. Hoel, H. Eie, G. Semb, E. Sivertssen // Acta Medica Scandinavica. – 1975. – Vol. 197. – № 1-6. – P. 383-390.
15. Assessment of the Graft Quality and Patency during and after Coronary Artery Bypass Grafting / M. Masroor, A. Ahmad, Y. Wang, N. Dong // Diagnostics. – 2023. – Vol. 13. – № 11. – P. 1891.
16. Balacumaraswami, L. Intraoperative Imaging Techniques to Assess Coronary Artery Bypass Graft Patency / L. Balacumaraswami, D. P. Taggart // Annals of Thoracic Surgery. – 2007. – Vol. 83. – № 6. – P. 2251-2257.
17. Bartley, T. D. Aortocoronary Bypass Grafting With Multiple Sequential Anastomoses to a Single Vein / T. D. Bartley, J. C. Bigelow, U. S. Page // Archives of Surgery. – 1972. – Vol. 105. – № 6. – P. 915-917.
18. Benchimol, A. Relief of angina pectoris in patients with occluded coronary bypass grafts / A. Benchimol, A. dos Santos, K. B. Desser // The American Journal of Medicine. – 1976. – Vol. 60. – № 3. – P. 339-343.

19. Bridge saphenous vein graft. / C. Cheanvechai, L. K. Groves, S. Surakiatchanukul [et al.] // The Journal of thoracic and cardiovascular surgery. – 1975. – Vol. 70. – № 1. – P. 63-68.
20. Changes in grafts and coronary arteries after saphenous vein aortocoronary bypass surgery: Results at repeat angiography / M. G. Bourassa, L. Campeau, J. Lesperance, C. M. Grondin // Circulation. – 1982. – Vol. 65. – № 7 II.
21. Clinical and angiographic predictors of patient-reported angina 1 year after coronary artery bypass graft surgery / B. Hattler, B. M. Carr, J. Messenger [et al.] // Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes. – 2019. – Vol. 12. – № 4.
22. Control angiography for perioperative myocardial Ischemia after coronary surgery: Meta-analysis / F. Biancari, V. Anttila, A. M. Dell'Aquila [et al.] // Journal of Cardiothoracic Surgery. – 2018. – Vol. 13. – № 1.
23. Coronary Artery Bypass with “Snake” Grafts: Fifteen-year Follow-up / R. L. Quigley, K. J. Dienhart, D. J. Pelkowski, L. C. E. II // Journal of Cardiac Surgery. – 1998. – Vol. 13. – № 1. – P. 18-23.
24. Coronary bypass graft fate and patient outcome: Angiographic follow-up of 5,065 grafts related to survival and reoperation in 1,388 patients during 25 years / G. M. FitzGibbon, H. P. Kafka, A. J. Leach [et al.] // Journal of the American College of Cardiology. – 1996. – Vol. 28. – № 3. – P. 616-626.
25. Detection of internal thoracic artery dissection at coronary anastomosis using intraoperative 15-MHz high-frequency epicardial ultrasound / T. Watanabe, H. Arai, K. Oi [et al.] // Circulation. – 2014. – Vol. 129. – № 22.
26. Do Angiographic Results From Symptom-Directed Studies Reflect True Graft Patency? / B. F. Buxton, M. Durairaj, D. L. Hare [et al.] // The Annals of Thoracic Surgery. – 2005. – Vol. 80. – № 3. – P. 896-901.
27. Epicardial colour-doppler scanning of coronary artery stenoses and graft anastomoses / R. Haaverstad, N. Vitale, R. I. Williams, A. G. Fraser // Scandinavian Cardiovascular Journal. – 2002. – Vol. 36. – № 2. – P. 95-99.
28. European Society of Cardiology: cardiovascular disease statistics 2021 / A. Timmis, P. Vardas, N. Townsend [et al.] // European Heart Journal. – 2022. – Vol. 43. –

№ 8. – P. 716-799.

29. Faulkner, S. L. Effect of blood flow rate on subendothelial proliferation in venous autografts used as arterial substitutes / S. L. Faulkner, R. D. Fisher, D. M. Conkle // Amer.Heart Ass.Monogr. – 1975. – Vol. No. 45.
30. Flemma, R. J. Triple Aorto-Coronary Vein Bypass as Treatment for Coronary Insufficiency / R. J. Flemma, W. D. Johnson, D. Lepley // Archives of Surgery. – 1971. – Vol. 103. – № 1. – P. 82-83.
31. Frequency and predictors of internal mammary artery graft failure and subsequent clinical outcomes: insights from the Project of Ex-vivo Vein Graft Engineering via ... / R. E. Harskamp, J. H. Alexander, T. B. F. Jr, ... // Circulation. – 2016.
32. Graft flow assessment using a transit time flow meter in fractional flow reserve-guided coronary artery bypass surgery / K. Honda, Y. Okamura, Y. Nishimura [et al.] // Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. – 2015. – Vol. 149. – № 6. – P. 1622-1628.
33. Graft flow evaluation with intraoperative transit-time flow measurement in off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting / D. Ben Leviner, C. M. Rosati, M. von Mücke Similon [et al.] // JTCVS Techniques. – 2022. – Vol. 15. – P. 95-106.
34. Graft revision after transit time flow measurement in off-pump coronary artery bypass grafting / G. D'Ancona, H. L. Karamanoukian, M. Ricci [et al.] // European Journal of Cardio-thoracic Surgery. – 2000. – Vol. 17. – № 3. – P. 287-293.
35. High frequency epicardial echocardiography for coronary artery evaluation: In vitro and in vivo validation of arterial lumen and wall thickness measurements / D. D. McPherson, M. Armstrong, E. Rose [et al.] // Journal of the American College of Cardiology. – 1986. – Vol. 8. – № 3. – P. 600-606.
36. Impact of competitive flow on wall shear stress in coronary surgery: Computational fluid dynamics of a LIMA-LAD model / H. Nordgaard, A. Swillens, D. Nordhaug [et al.] // Cardiovascular Research. – 2010. – Vol. 88. – № 3. – P. 512-519.
37. Impact of intraoperative flowmetry data on clinical and angiographic outcomes after coronary artery bypass grafting in patients with diffuse coronary atherosclerosis / S. D. Mukimov, V. Y. Zaikovskii, A. V. Andreev [et al.] // Kardiologicheskii vestnik. –

2021. – Vol. 16. – № 4. – P. 41.

38. Impact of preoperative fractional flow reserve on arterial bypass graft anastomotic function: The IMPAG trial / D. Glineur, J. B. Grau, P. Y. Etienne [et al.] // *European Heart Journal*. – 2019. – Vol. 40. – № 29. – P. 2421-2428.

39. Individual versus sequential saphenous vein grafts for on-pump coronary artery bypass grafting e does smaller coronaries in indians affect graft choice? E a mid-term patency comparison study / M. M. Joshi, S. Paul, K. N. Bhosle [et al.] // *Journal of the Saudi Heart Association*. – 2021. – Vol. 33. – № 2. – P. 109-116.

40. Intraoperative angiography leads to graft revision in coronary artery bypass surgery / P. K. Hol, P. S. Lingaas, R. Lundblad [et al.] // *The Annals of Thoracic Surgery*. – 2004. – Vol. 78. – № 2. – P. 502-505.

41. Intraoperative Fluorescence Imaging System for On-Site Assessment of Off-Pump Coronary Artery Bypass Graft / K. Waseda, J. Ako, T. Hasegawa [et al.] // *JACC: Cardiovascular Imaging*. – 2009. – Vol. 2. – № 5. – P. 604-612.

42. Intraoperative graft verification in coronary surgery: Increased diagnostic accuracy adding high-resolution epicardial ultrasonography to transit-time flow measurement / G. Di Giammarco, C. Canosa, M. Foschi [et al.] // *European Journal of Cardio-thoracic Surgery*. – 2014. – Vol. 45. – № 3.

43. Intraoperative transit-time flow measurement and high-frequency ultrasound assessment in coronary artery bypass grafting / D. P. Taggart, D. J. F. M. Thuijs, G. Di Giammarco [et al.] // *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 2020. – Vol. 159. – № 4. – P. 1283-1292.e2.

44. Intraoperative transit time flow measurement in patients with diffuse coronary artery disease in the prevention of aortocoronary bypass graft occlusion / R. S. Akchurin, A. A. Shiryayev, V. P. Vasiliev [et al.] // *Cardiovascular Therapy and Prevention*. – 2021. – Vol. 21. – № 2. – P. 3030.

45. Jalal, A. An objective method for grading of distal disease in the grafted coronary arteries / A. Jalal // *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery*. – 2007. – Vol. 6. – № 4. – P. 451-455.

46. Kieser, T. M. Sequential coronary bypass grafts. Long-term follow-up / T. M.

- Kieser, G. M. FitzGibbon, W. J. Keon // *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 1986. – Vol. 91. – № 5. – P. 767-772.
47. Long-Term Patency of Venous Conduits Targeting the Right Coronary Artery System—Single Is Superior to Sequential bypass Grafting / R. Arif, A. Warninck, M. Farag [et al.] // *Journal of Cardiovascular Development and Disease*. – 2022. – Vol. 9. – № 9.
48. Malek, A. M. Hemodynamic shear stress and its role in atherosclerosis / A. M. Malek, S. L. Alper, S. Izumo // *Journal of the American Medical Association*. – 1999. – Vol. 282. – № 21. – P. 2035-2042.
49. Maximal blood flow acceleration analysis in the early diastolic phase for aortocoronary artery bypass grafts: a new transit-time flow measurement predictor of graft failure following coronary artery bypass grafting / T. Handa, K. Orihashi, H. Nishimori, M. Yamamoto // *Surgery Today*. – 2016. – Vol. 46. – № 11. – P. 1325-1333.
50. McBride, L. R. The left internal mammary artery as a sequential graft to the left anterior descending system / L. R. McBride, H. B. Barner // *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 1983. – Vol. 86. – № 5. – P. 703-705.
51. Mechanisms, consequences, and prevention of coronary graft failure / M. Gaudino, C. Antoniades, U. Benedetto [et al.] // *Circulation*. – 2017. – Vol. 136. – № 18. – P. 1749-1764.
52. Mueller, J. Use of intraoperative coronary angiography to guide surgical intervention in coronary artery bypass graft surgery / J. Mueller, K. Hollander // *Annals of Cardiac Anaesthesia*. – 2022. – Vol. 25. – № 4. – P. 525-527.
53. Niclauss, L. Techniques and standards in intraoperative graft verification by transit time flow measurement after coronary artery bypass graft surgery: a critical review / L. Niclauss // *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. – 2017. – Vol. 51. – № 1. – P. 26-33.
54. Nordgaard, H. Transit-Time Blood Flow Measurements in Sequential Saphenous Coronary Artery Bypass Grafts / H. Nordgaard, N. Vitale, R. Haaverstad // *The Annals of Thoracic Surgery*. – 2009. – Vol. 87. – № 5. – P. 1409-1415.
55. Patency and adverse outcomes of sequential vs. individual saphenous vein grafts

in coronary artery bypass: A meta-analysis / H. Jiao, J. Li, Y. Bai, Z. Guo // *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. – 2022. – Vol. 9.

56. Predictive value of intraoperative transit-time flow measurement for short-term graft patency in coronary surgery / G. Di Giammarco, M. Pano, S. Cirmeni [et al.] // *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 2006. – Vol. 132. – № 3. – P. 468-474.

57. Preliminary experience for the evaluation of the intraoperative graft patency with real color charge-coupled device camera system: An advanced device for simultaneous capturing of color and near-infrared images during coronary artery bypass graft / T. Handa, R. G. Katare, S. Sasaguri, T. Sato // *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*. – 2009. – Vol. 9. – № 2. – P. 150-154.

58. PREVENT IV Investigators*. Efficacy and Safety of Edifoligide, an E2F Transcription Factor Decoy, for Prevention of Vein Graft Failure Following Coronary Artery Bypass Graft Surgery / PREVENT IV Investigators* // *JAMA*. – 2005. – Vol. 294. – № 19. – P. 2446.

59. Project of Ex Vivo Vein Graft Engineering via Transfection IV (PREVENT IV) Investigators. Relationship between vein graft failure and subsequent clinical outcomes after coronary artery bypass surgery / R. D. Lopes, R. H. Mehta, G. E. Hafley [et al.] // *Circulation*. – 2012. – Vol. 125. – P. 749-756.

60. Relation of early saphenous vein graft failure to outcomes following coronary artery bypass surgery / A. R. Halabi, J. H. Alexander, L. K. Shaw [et al.] // *American Journal of Cardiology*. – 2005. – Vol. 96. – № 9. – P. 1254-1259.

61. Ruiter, M. S. Mechanotransduction in Coronary Vein Graft Disease / M. S. Ruiter, M. Pesce // *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. – 2018. – Vol. 5.

62. Safety and usefulness of composite grafts for total arterial myocardial revascularization: A prospective randomized evaluation / C. Muneretto, A. Negri, J. Manfredi [et al.] // *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 2003. – Vol. 125. – № 4. – P. 826-835.

63. Saphenous Vein Graft Failure After Coronary Artery Bypass Surgery / R. E. Harskamp, R. D. Lopes, C. E. Baisden [et al.] // *Annals of Surgery*. – 2013. – Vol. 257. –

№ 5. – P. 824-833.

64. Saphenous vein grafts with multiple versus single distal targets in patients undergoing coronary artery bypass surgery: One-year graft failure and five-year outcomes from the project of Ex-vivo vein graft engineering via transfection (PREVENT) IV trial / R. H. Mehta, T. B. Ferguson, R. D. Lopes [et al.] // *Circulation*. – 2011. – Vol. 124. – № 3. – P. 280-288.

65. Sequential Bypass Grafting on the Beating Heart: Blood Flow Characteristics / M. Gwozdziewicz, P. Němec, M. Šimek [et al.] // *Annals of Thoracic Surgery*. – 2006. – Vol. 82. – № 2. – P. 620-623.

66. Sequential grafting of the right gastroepiploic artery in coronary artery bypass surgery / M. Ochi, R. Bessho, Y. Saji [et al.] // *Annals of Thoracic Surgery*. – 2001. – Vol. 71. – № 4. – P. 1205-1209.

67. Sequential Radial Artery Grafting Three-Vessel Coronary Artery Disease / E. Akinci, V. Erentug, K. Uzun [et al.] // *Asian Cardiovascular and Thoracic Annals*. – 2005. – Vol. 13. – № 2. – P. 161-166.

68. Six-year clinical and angiographic follow-up of patients with previously documented complete revascularization. / E. W. Robert, D. F. Guthaner, L. Wexler, E. L. Alderman // *Circulation*. – 1978. – Vol. 58. – № 3 Pt 2.

69. Storey, R. F. Exploring mechanisms of graft occlusion: Toward improved outcomes in coronary artery bypass graft surgery / R. F. Storey // *Journal of the American College of Cardiology*. – 2011. – Vol. 57. – № 9. – P. 1078-1080.

70. Surgeon judgment and utility of transit time flowprobes in coronary artery bypass grafting surgery / J. Quin, J. Lucke, B. Hattler [et al.] // *JAMA Surgery*. – 2014. – Vol. 149. – № 11. – P. 1882-1887.

71. The “angina-producing” myocardial segment: An approach to the interpretation of results of coronary bypass surgery / S. C. Achuff, L. S. C. Griffith, C. R. Conti [et al.] // *The American Journal of Cardiology*. – 1975. – Vol. 36. – № 6. – P. 723-733.

72. The association between coronary graft patency and clinical status in patients with coronary artery disease / M. Gaudino, A. Di Franco, D. L. Bhatt [et al.] // *European Heart Journal*. – 2021. – Vol. 42. – № 14. – P. 1433-1441.

73. The Graft Imaging to Improve Patency (GRIIP) clinical trial results / S. K. Singh, N. D. Desai, G. Chikazawa [et al.] // Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. – 2010. – Vol. 139. – № 2.
74. The impact of sequential versus single anastomoses on flow characteristics and mid-term patency of saphenous vein grafts in coronary bypass grafting / H. J. Kim, T. Y. Lee, J. B. Kim [et al.] // Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. – 2011. – Vol. 141. – № 3. – P. 750-754.
75. The patency of sequential and individual vein coronary bypass grafts: A systematic review / J. Li, Y. Y. Liu, J. Zheng [et al.] // Annals of Thoracic Surgery. – 2011. – Vol. 92. – № 4. – P. 1292-1298.
76. The role of intraoperative high-frequency epicardial echocardiography during coronary artery revascularization / L. F. Hiratzka, D. D. McPherson, B. Brandt [et al.] // Circulation. – 1987. – Vol. 76. – № 5 II SUPPL. – P. 33-38.
77. The role of the sequential internal mammary artery graft in coronary surgery / A. J. Tector, T. M. Schmahl, V. R. Canino [et al.] // Circulation. – 1984. – Vol. 70. – № 3 II.
78. The Significance of Coronary Topography for Operative Technique and Tactics in Multiple Myocardial Revascularization with Jump-grafts / E. Eschenbruch, F. Pabst, P. Tollenaere [et al.] // The Thoracic and Cardiovascular Surgeon. – 1981. – Vol. 29. – № 04. – P. 206-211.
79. The Use of Intraoperative Transit Time Flow Measurement for Coronary Artery Bypass Surgery: Systematic Review of the Evidence and Expert Opinion Statements / M. Gaudino, S. Sandner, G. Di Giammarco [et al.] // Circulation. – 2021. – Vol. 144. – № 14. – P. 1160-1171.
80. Thermal Coronary Angiography for Intraoperative Patency Control of Arterial and Saphenous Vein Coronary Artery Bypass Grafts: Results in 370 Patients / V. Falk, T. Walther, A. Philippi [et al.] // Journal of Cardiac Surgery. – 1995. – Vol. 10. – № 2. – P. 147-160.
81. To jump or not to jump? A multicentre propensity-matched study of sequential vein grafting of the heart / J. K. Skov, H. H. Kimose, J. Greisen, C. J. Jakobsen // Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery. – 2019. – Vol. 29. – № 2. – P. 201-208.

82. Total myocardial revascularization with arterial conduits: Radial artery combined with internal thoracic arteries / E. E. Weinschelbaum, E. D. Gabe, A. Macchia [et al.] // *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 1997. – Vol. 114. – № 6. – P. 911-916.
83. Transit-Time Flow Measurement and Outcomes in Coronary Artery Bypass Graft Patients / H. H. Kim, J. H. Kim, S. H. Lee [et al.] // *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 2023. – Vol. 35. – № 2. – P. 217-227.
84. Transit-Time Flow Measurement as a Predictor of Coronary Bypass Graft Failure at One Year Angiographic Follow-Up / P. Lehnert, C. H. Møller, S. Damgaard [et al.] // *Journal of Cardiac Surgery*. – 2015. – Vol. 30. – № 1. – P. 47-52.
85. Transit-time flow measurement for detection of early graft failure during myocardial revascularization / B. H. Walpoth, A. Bosshard, I. Genyk [et al.] // *Annals of Thoracic Surgery*. – 1998. – Vol. 66. – № 3. – P. 1097-1100.
86. Transit-time flow predicts outcomes in coronary artery bypass graft patients: A series of 1000 consecutive arterial grafts / T. M. Kieser, S. Rose, R. Kowalewski, I. Belenkie // *European Journal of Cardio-thoracic Surgery*. – 2010. – Vol. 38. – № 2. – P. 155-162.
87. Velocity distribution and intimal proliferation in autologous vein grafts in dogs / S. E. Rittgers, P. E. Karayannacos, J. F. Guy [et al.] // *Circulation Research*. – 1978. – Vol. 42. – № 6. – P. 792-801.
88. Vural, K. M. Long-term patency of sequential and individual saphenous vein coronary bypass grafts / K. M. Vural, E. Şener, O. Taşdemir // *European Journal of Cardio-thoracic Surgery*. – 2001. – Vol. 19. – № 2. – P. 140-144.
89. Wang, X. Haemodynamics of atherosclerosis: A matter of higher hydrostatic pressure or lower shear stress? / X. Wang, J. Ge // *Cardiovascular Research*. – 2021. – Vol. 117. – № 4. – P. E57-E59.
90. Comparison of Radial Artery and Saphenous Vein Graft Stenosis More Than 5 Years After Coronary Artery Bypass Grafting / M. Yamasaki, S. Deb, H. Tsubota [et al.] // *The Annals of Thoracic Surgery*. – 2016. – Vol. 102. – № 3. – P. 712-719.
91. Семченко А. Н., Галяутдинов Д. М., Васильев В. П., Бондарь В. Ю.

Секвенциальное шунтирование в коронарной хирургии (обзор литературы) // СМЖ. 2012. №4. стр. 13-19.

92. Абусов Г. М., Махачев О. А., Аскадинов М. Н., Петросян К. В., Ибрагимов Р. Г. Интраоперационная ультразвуковая флоуметрия при коронарном шунтировании: возможности и ограничения метода. Бюллетень НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН. 2024; 5 (25): 385-391. DOI: 10.24022/1810-0694-2024-25-5-385-391

93. Махачев О. А., Аскадинов М. Н., Абусов Г. М., Петросян К. В., Ибрагимов Р. Г., Османов О. А., Абасов Ф. Х. Результаты ультразвуковой флоуметрии и интраоперационной шунтографии при секвенциальном коронарном шунтировании. Эндоваскулярная хирургия 2023; 10(4): 443-450. DOI:10.24183/2409-4080-2023-10-4-443-450.

94. Махачев О. А., Аскадинов М. Н., Абусов Г. М., Петросян К. В., Ибрагимов Р. Г., Османов О. А., Абасов Ф. Х. Секвенциальное коронарное шунтирование при дефиците кондуитов и атеросклерозе аорты: клинический случай. Вестник Дагестанской государственной медицинской академии. 2023; 4(49): 40-43.

95. Энгиноев С.Т., Кондратьев Д.А., Магомедов Г.М., Кадыралиев Б.К., Чернов И.И. Интраоперационные методы оценки проходимости шунтов при помощи флоуметрии и эпикардального ультразвукового исследования в коронарной хирургии. Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2021, Т. 14, №4, с. 248-252. DOI:10.17116/kardio202114041248

96. Сигаев И.Ю, Керен М.А., Сливнева И.В., Шония З.Д., Марапов Д.И. Алгоритм использования ультразвуковой флоуметрии в сочетании с эпикардальным ультразвуковым сканированием для интраоперационной оценки состоятельности шунтов при операциях коронарного шунтирования. Кардиология. 2022, Т.62, № 8, с.3- 10. DOI: 10.18087/cardio.2022.8.n1823

97. Бокерия Л.А., Пурсанов М.Г., Петросян К.В., Соболев А.В., Вартанов П.В., Бокерия О.Л. и соавт. Интраоперационная шунтография: оптимальный метод оценки проходимости коронарных шунтов и дальнейшего улучшения результатов хирургической реваскуляризации миокарда. Грудная и сердечнососудистая хирургия. 2018; 60 (3): 233-241. doi: 10.24022/0236-2791-2018-60-3-233-241

98. Бокерия Л.А., Петросян К.В., Бокерия О.Л., Соболев А.В., Донаканян С.А., Голубев Е.П. и соавт.. Интраоперационная шунтография – четырехлетний опыт наблюдения. *Анналы хирургии*. 2019; 24 (2): 100–7. doi: 10.24022/1560-9502-2019-24-2-100-107
99. Потеев М.А., Якубов Р.А.. Интраоперационный менеджмент при коронарном шунтировании: флоуметрия как способ контроля качества. *Практическая медицина*. 2017. 4(105): 15-20.
100. Козлов Б.Н., Затолокин В.В., Вечерский Ю.Ю., Панфилов Д.С., Андреев С.Л., Петлин К.А. и соавт. Функциональность маммарокоронарных шунтов по данным интраоперационной флоуметрии. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2019. 25(1): 159-162.
101. Семченко А.Н., Андреев Д.Б., Явный В.Я., Кузнецов А.Н., Бондарь В.Ю.. Интраоперационная ангиография с индоцианином зеленым как метод оценки непосредственных результатов операций коронарного шунтирования: возможности и перспективы использования. *Кардиология и сердечнососудистая хирургия*. 2015;8(2): 27-32. Doi: 10.17116/kardio20158227-32.
102. Шнейдер Ю.А., Исаев М.В., Антипов Г.Н., Аюбян Т.Л., Богук Р.Н., Созинова Е.С., Михеев А.А., Калашникова Ю.С. Анализ результатов шунтографии после операций аортокоронарного шунтирования. *Кардиология*. 2018;58(6): 44-50. doi.org/10.18087/ca%D0%B3dio.2018.6.10132.