

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ХИРУРГИИ ИМЕНИ А.Н. БАКУЛЕВА»
МИНЗДРАВА РОССИИ

На правах рукописи

Бадеев Кирилл Юрьевич

«Применение методики ротационной атерэктомии
при чрескожных коронарных вмешательствах у пациентов
с кальцинированным поражением коронарных артерий»

3.1.15. Сердечно-сосудистая хирургия,
3.1.1. Рентгенэндоваскулярная хирургия

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
д.м.н., профессор РАН Петросян К.В.

Москва 2026 г.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ИБС - ишемическая болезнь сердца	ЧКВ - чрескожное коронарное вмешательство
БСК - болезни системы кровообращения	РА - ротационная атерэктомия
ККА - кальциноз коронарных артерий	НКБ - некомплаентный баллон
ХБП - хроническая болезнь почек	ТЛБАП - транслюминальная баллонная ангиопластика
ГД - гемодиализ	МПС - минимальная площадь стента
БКС - большие кардиальные события	ОИМ - острый инфаркт миокарда
СД - сахарный диабет	РБ - режущий баллон
АГ - артериальная гипертензия	ЛА - лазерная атерэктомия
КТ - компьютерная томография	ППС - площадь просвета сосуда
ВСУЗИ - внутрисосудистое ультразвуковое исследование	ФК - функциональный класс
ОКТ - оптическая когерентная томография	ФВ - фракция выброса
КГ - коронарография	ЛЖ - левый желудочек
Эхо-КГ - эхокардиография	КДР - конечный диастолический размер
ЛКА - левая коронарная артерия	КСР - конечный систолический размер
ПКА - правая коронарная артерия	ИМТ - индекс массы тела
ПМЖВ - передняя межжелудочковая ветвь	РЦП - реваскуляризация целевого поражения
ОВ - огибающая ветвь	СЛП - стент с лекарственным покрытием
КШ - коронарное шунтирование	

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	11
1.1. Кальциноз коронарных артерий	12
1.1.1. Оценка и количественное определение кальциноза коронарных артерий	12
1.1.2. Классификация поражений коронарных артерий	14
1.2. Лечение кальцинированных коронарных поражений	15
1.2.1. Методы модификации кальцинированных поражений.....	17
1.2.1.1. Ротационная атерэктомия.....	18
1.2.1.1.1. Устьевые поражения	21
1.2.1.1.2. Рестеноз стента	22
1.2.1.1.3. Хроническая окклюзия.....	23
1.2.1.1.4. Противопоказания.....	23
1.2.1.2. Модифицированные баллоны	24
1.2.1.3. Орбитальная атерэктомия.....	25
1.2.1.4. Лазерная атерэктомия.....	26
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАЦИЕНТОВ С КАЛЬЦИНИРОВАННЫМ ПОРАЖЕНИЕМ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ.....	28
2.1. Методы исследования	28
2.1.1. Методика модификации кальциноза некомплаентными баллонами...30	
2.1.2. Внутрисосудистое ультразвуковое исследование	32
2.2. Клиническая характеристика больных.....	34
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РОТАЦИОННОЙ АТЕРЭКТОМИИ.....	46
3.1. Осложнения ротационной атерэктомии.....	48
3.1.1. Профилактика осложнений.....	50

ГЛАВА 4. НЕПОСРЕДСТВЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РОТАЦИОННОЙ АТЕРЭКТОМИИ У ПАЦИЕНТОВ С КАЛЬЦИНИРОВАННЫМ ПОРАЖЕНИЕМ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ	51
4.1. Периоперационные осложнения.....	58
4.2. Клинические наблюдения	60
ГЛАВА 5. ОТДАЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РОТАЦИОННОЙ АТЕРЭКТОМИИ У ПАЦИЕНТОВ С КАЛЬЦИНИРОВАННЫМ ПОРАЖЕНИЕМ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ.	70
ГЛАВА 6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	81
ВЫВОДЫ.....	84
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	85
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	86

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

По мере развития эндоваскулярной коронарной хирургии отмечается не только повышение количества выполняемых чрескожных коронарных вмешательств (ЧКВ), но и изменения в структуре их сложности с увеличением доли вмешательств на морфологически сложных вариантах поражений, к которым, в том числе, относятся и вмешательства на кальцинированных поражениях. На сегодняшний день около 30% ЧКВ выполняется на кальцинированных поражениях, при этом частота выраженной степени кальциноза по разным данным составляет 6-20%.

Кальциноз целевого поражения коронарной артерии может привести к разрушению полимерного покрытия, перелому стента, мальапозиции или неполному его раскрытию даже при использовании баллонов высокого давления. Коррекция недораскрытия стента в таких случаях является более сложной задачей, чем его профилактика.

Выполнение ротационной атерэктомии (РА) позволяет подготовить целевое поражение для проведения и имплантации стента. Использование стандартного набора инструментов для преодоления трудностей, связанных с проведением стента (низкокомплаентные, режущие баллоны, удлинители проводниковых катетеров), в случае массивного кальциноза значительно удлиняет продолжительность вмешательства и не всегда гарантирует его успешное завершение.

Подобная тенденция связана с повышенным риском интраоперационных осложнений, увеличением лучевой нагрузки, большим объемом вводимого контрастного вещества. Механическое удаление ригидных компонентов, образующих сужение, позволяет добиться более полного раскрытия стента, что

является основным фактором, влияющим на непосредственный и отдаленный результат.

Таким образом, РА способствует оптимизации затрат на лечение данной группы пациентов путем уменьшения количества расходуемого инструментария в ходе ЧКВ, а также снижения числа повторных вмешательств в отдаленном периоде за счет уменьшения рисков развития рестеноза и тромбоза стента.

В основу работы положен ретроспективный анализ 182 пациентов с гемодинамически значимыми кальцинированными поражениями коронарных артерий, которым в ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» в период с 2020 по 2024 год были выполнены чрескожные коронарные вмешательства. Пациенты разделены на две группы в зависимости от стратегии подготовки поражения: группа ротационной атерэктомии ($n = 81$) и контрольная группа с использованием некомплаентных баллонов ($n = 101$). Подробная клиническая характеристика пациентов и методология исследования приведены в главе 2.

Цель исследования

Оценить безопасность и эффективность методики ротационной атерэктомии при чрескожных коронарных вмешательствах у пациентов с кальцинированными поражениями коронарных артерий.

Задачи исследования

1. Изучить непосредственные результаты чрескожных коронарных вмешательств с применением метода ротационной атерэктомии у пациентов с кальцинированными поражениями коронарных артерий
2. Разработать алгоритм по использованию методики ротационной атерэктомии у пациентов с кальцинированными поражениями коронарных артерий
3. Определить значение внутрисосудистой визуализации при чрескожных коронарных вмешательствах с применением методики ротационной

атерэктомии у пациентов с кальцинированными поражениями коронарных артерий

4. Изучить отдаленные результаты чрескожных коронарных вмешательств с применением методики ротационной атерэктомии у пациентов с кальцинированными поражениями коронарных артерий

Научная новизна

Работа представляет собой первое отечественное исследование, обобщающее клинический опыт применения ротационной атерэктомии при лечении кальцинированных поражений коронарных артерий в условиях специализированного кардиохирургического центра. Впервые на отечественном клиническом материале проведена всесторонняя оценка ангиографических, процедурных и ультразвуковых характеристик пациентов, перенесших ротационную атерэктомию, с последующей имплантацией стентов последнего поколения.

Критерии кальциноза были четко определены в ангиографии, был разработан алгоритм выбора способа модификации поражения. Системно описан и стандартизирован подход к выполнению ротационной атерэктомии с учетом тактики ведения разных анатомических вариантов, предотвращение возможных осложнений. Отдельно рассмотрена роль внутрисосудистого УЗИ в определении степени эффективности модификации повреждения, а также оптимальное раскрытие стента.

Представленные результаты дополняют информацию о техническом потенциале ротационной атерэктомии, демонстрируют ее хорошую клинико-процедуральную результативность и обосновывают необходимость дальнейшего использования данной методики для подготовки кальцифицированного поражения.

Практическая значимость

Результаты работы актуальны по своей практической ценности для практики клинической рентгенэндоваскулярной хирургии. По результатам изучения опыта использования ротационной атерэктомии на базе специализированного центра выделены критерии ее целесообразности при наличии кальциноза коронарных артерий, позволяющие увеличить рациональность тактики проведения ЧКВ у пациентов с сложными анатомиями сосудов.

Предложенная технология проведения ротационной атерэктомии модифицирована для условий России, содержит алгоритмы действий по различным формам поражения и пригодна для обучения врачей-ротаторов. Применение результатов данной работы позволит унифицировать методику операции, повысить ее безопасность и результативность, снизить количество послеоперационных осложнений.

Кроме того, показана эффективность применения ВСУЗИ в процессе проведения РА с целью определения степени улучшения поражения, а также наиболее полного раскрытия стента - возможно включение ее в состав протокола вмешательств у больных ККА.

Полученные данные могут быть внедрены в клиническую практику кардиохирургических и рентгенэндоваскулярных отделений, оснащённых системами для РА, а также использоваться при разработке локальных протоколов ведения пациентов с кальцинированными поражениями коронарных артерий.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Ротационная атерэктомия - эффективный и безопасный способ подготовки кальцинированных поражений коронарных сосудов для имплантации стента с возможностью достижения максимального расширения просвета сосуда, что

увеличивает техническую успешность чрескожного коронарного вмешательства в сложных анатомических случаях.

2. Основными показаниями к ротационной атерэктомии являются невозможность прохождения баллонного катетера и/или датчика внутрисосудистой визуализации за зону стеноза, неадекватная дилатация кальцинированных участков при использовании некомплаентных баллонов, ангиографически выраженный концентрический кальциноз, устьевые и протяжённые кальцинированные поражения с высоким риском осложнений при баллонной ангиопластике. Стандартизация выполнения ротационной атерэктомии (алгоритмы проведения проводника, размер бура, рабочие режимы и оценка результата после процедуры) позволяет минимизировать осложнения и улучшить воспроизводимость процедуры.

3. Внутрисосудистое ультразвуковое исследование после выполнения ротационной атерэктомии позволяет объективно оценить эффективность модификации поражения, наличие остаточного кальциноза, и должно рассматриваться как обязательный элемент финального контроля степени раскрытия стента и рисков рестеноза при вмешательствах с высокой степенью кальциноза.

4. Применение ротационной атерэктомии у пациентов с кальцинированными поражениями коронарных артерий обеспечивает стабильные отдалённые клинические результаты, характеризующиеся низкой частотой больших кардиальных событий (БКС), минимальным уровнем летальности, сопоставимыми или лучшими по сравнению с баллонной ангиопластикой при одинаковом сроке наблюдения.

Внедрение результатов исследования в практику

Полученные результаты используются в клинической практике лаборатории рентгенохирургических методов исследования и лечения сердца и сосудов ФГБУ «НМИЦ сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России. Полученные результаты и практические рекомендации могут быть

рекомендованы для передачи в другие кардиохирургические и кардиологические центры и отделения, занимающиеся проблемой лечения больных ишемической болезнью сердца.

Апробация диссертации

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на XXVI, XXVII Ежегодной сессии «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» с конференцией молодых ученых (Москва, 2023г. и 2024г.), XXVIII Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов (2022 г.). Результаты исследований регулярно докладывались и обсуждались на рабочих конференциях отделения рентгенохирургических методов исследования и лечения сердца и сосудов НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева в 2022-2024 гг.

Публикации по теме диссертации

По материалам диссертации опубликованы 8 научных работ, в том числе 4 статьи (все статьи в журналах, рецензируемых ВАК) и 4 тезиса. Темы, раскрытые в научных публикациях, полностью соответствуют содержанию диссертационной работы.

Объем и структура диссертации.

Диссертация оформлена в виде специально подготовленной рукописи, изложенной на 98 страницах машинописного текста, состоит из введения, шести глав, включающих обзор литературы, материалов и методов исследования, методики выполнения ротационной атерэктомии, результаты собственных исследований, заключение и обсуждение полученных результатов. Также содержит выводы, практические рекомендации и список литературы. Работа иллюстрирована 22 рисунками, содержит 12 таблиц. Список литературы представлен 102 источниками литературы, из которых 9 отечественных и 93 иностранных автора.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Смертность от болезней системы кровообращения (БСК) в России остается одной из самых высоких в мире, хотя за последние десять лет наметилась некоторая тенденция к ее снижению. В 2022 году показатель смертности от сердечно-сосудистых заболеваний составил 567 случаев на 100 тыс. населения, тогда как в предыдущие годы он был выше: в 2021 году — 640 случаев, в 2020 году — 641 случай, в 2019 году — 573 случая и в 2018 году — 583 случая.

Несмотря на предпринимаемые меры по повышению доступности и качества медицинской помощи, показатели больничной летальности от ишемической болезни сердца (ИБС) остаются очень высокими. В 2022 году больничная летальность при остром инфаркте миокарда составила 11,6%, при хронической ИБС — 12,3%, при повторном инфаркте миокарда — 7,9%, а при других формах острой ИБС — 72,0% [1].

Атеросклеротические бляшки в коронарных артериях изначально представлены мягкими образованиями, состоящими из пенистых клеток (макрофагов, нагруженных липидами). В дальнейшем эти бляшки постепенно замещаются фибромускулярной тканью, которая, в свою очередь, может переходить в фиброз или подвергаться кальцификации. При стабильной ишемической болезни сердца ведущим клиническим проявлением является стенокардия, связанная с уменьшением просвета артерий вследствие роста бляшек. Острый коронарный синдром, напротив, может развиваться на любом этапе формирования бляшки из-за ее разрыва или эрозии, что приводит к последующему формированию тромба [2]. Согласно имеющимся данным, разрыв атеросклеротической бляшки является основной причиной внезапной сердечной смерти, составляя примерно 60 % таких случаев, и сопровождается клинической картиной острого инфаркта миокарда с подъемом сегмента ST [3].

1.1. Кальциноз коронарных артерий

Процесс кальцификации коронарных артерий (ККА) часто начинается с атеросклеротических бляшек, которые располагаются в интиме или в среднем слое артериальной стенки. Оба процесса кальцификации имеют сходные факторы риска, и некоторые клинические особенности пациентов особенно способствуют формированию сильно кальцифицированных бляшек.

К основным факторам риска относятся пожилой возраст, дислипидемия, курение, хроническая болезнь почек (ХБП), проведение гемодиализа (ГД), сахарный диабет (СД), артериальная гипертензия (АГ), гиперкальциемия и гиперфосфатемия. Тем не менее кальцификация может развиваться и у пациентов, не имеющих перечисленных характеристик [4].

Распространенность ККА значительно возрастает с возрастом и зависит от пола, выявляясь у 90% мужчин и 67% женщин старше 70 лет [5]. В результате кальцификации снижается эластичность сосудов, нарушается их нормальная вазомоторная реакция, а также ухудшается перфузия миокарда [6,7].

1.1.1. Оценка и количественное определение кальциноза коронарных артерий

ККА может быть оценен с помощью различных методов. К инвазивным методам относятся коронарная ангиография, ВСУЗИ [8] и оптическая когерентная томография (ОКТ) [9]. Из неинвазивных методов количественно определить кальций позволяет компьютерная томография (КТ) [10].

Коронарография (КГ) характеризуется низкой или умеренной чувствительностью по сравнению со ВСУЗИ и КТ при выявлении коронарного кальция, однако обладает высокой специфичностью и высокой положительной прогностической ценностью [10,11]. Ангиографически ККА классифицируют на три группы: отсутствие или малая степень, умеренная и тяжелая. Тяжелая

кальцификация выявляется в виде выраженной рентгеноконтрастной структуры даже без движения сердца до введения контраста, видимой в двух и более проекциях и обычно затрагивает обе стороны просвета артерии, а умеренная — проявляется только во время сердечного цикла до контрастирования и видна только в одной проекции [12].

ВСУЗИ более точно выявляет коронарный кальций по сравнению с ангиографией, имея чувствительность от 90 до 100% и специфичность от 99 до 100% [13]. Радиочастотный анализ сигнала ВСУЗИ позволяет различать различные компоненты бляшки (фиброзную ткань, фиброзно-жировую ткань, некротическое ядро и степень плотности кальция) [14]. В исследовании PROSPECT, где проводили радиочастотный ВСУЗИ-анализ трех коронарных артерий, было показано, что пациенты с высоким объемом и плотностью кальция чаще демонстрировали признаки атеросклероза высокого риска и имели повышенную частоту БКС в течение 3 лет [15,16,17].

ОКТ обеспечивает изображение с более высоким разрешением, чем ВСУЗИ [18], демонстрируя аналогичную чувствительность (95–100%) и специфичность (97–100%) [13]. В некоторых случаях с помощью ОКТ можно также количественно измерять объем и толщину кальция [18].

КТ грудной клетки является единственным неинвазивным методом, позволяющим количественно оценить кальциноз коронарных артерий с высокой чувствительностью и специфичностью [19]. В комбинации с другими факторами риска кальциевый балл, полученный на КТ, дает дополнительную независимую информацию для прогнозирования общей смертности; при этом пациенты с высоким уровнем кальциноза имеют худший прогноз [20]. В исследовании 9 715 бессимптомных пациентов было установлено, что при отсутствии кальция (кальциевый балл = 0) 15-летняя смертность составила 3%, а при высоком кальциевом балле (>1000) смертность достигла 28%. Между увеличением кальциевого балла и смертностью выявлена прямая зависимость [21,22].

Степень выраженности ККА коррелирует с тяжестью атеросклероза и риском последующих сердечно-сосудистых событий [23]. Коронарный кальциноз является фактором риска неблагоприятного течения заболевания не только у населения в целом, но и у больных с проведенной реваскуляризацией [24].

1.1.2. Классификация поражений коронарных артерий

SYNTAX score (Synergy Between Percutaneous Coronary Intervention With Taxus and Cardiac Surgery) – шкала, позволяющая в числовом виде оценить ангиографически выраженную степень сложности ИБС с учетом как количества и локализации поражений, так и особенностей морфологии каждой из зон стеноза. Шкала создана на основе модифицированных классификаций, определений, а также существующих оценок. Отличие от других шкал заключается состоит в том, что SYNTAX оценивает также степень извитости сосудов, кальцинаты, поражения бифуркации, окклюзии, тромбозы, что позволяет использовать эту шкалу при принятии решения на практике и детально описать сложность коронарного атеросклероза [25].

Шкала SYNTAX II объединяет как ангиографические, так и клинические параметры, которые, как показало исследование SYNTAX, являются независимыми прогностическими факторами смертности при долгосрочном наблюдении. К ним относятся: возраст пациента, клиренс креатинина, функция левого желудочка, пол, наличие хронической обструктивной болезни легких и/или заболеваний периферических сосудов. Согласно последним данным, SYNTAX II демонстрирует более высокую прогностическую точность в отношении отдалённой смертности (в 4-летнем периоде), чем оригинальная шкала SYNTAX, особенно у пациентов с выраженным многососудистым поражением и/или стенозом ствола левой коронарной артерии (ЛКА), и потому должен использоваться при выборе тактики лечения [26].

1.2. Лечение кальцинированных коронарных поражений

Лечение ишемической болезни сердца у пациентов с выраженными кальцинированными поражениями, помимо медикаментозной терапии, включает проведение реваскуляризации, которая может осуществляться либо с помощью КШ, либо посредством ЧКВ. Выбор оптимальной тактики лечения должен основываться на индивидуальных особенностях пациента, клинической картине заболевания и, в идеале, приниматься мультидисциплинарной кардиологической командой.

Для оценки анатомической сложности поражений применяется шкала SYNTAX, а для определения хирургического риска рассчитывается балл STS (Society of Thoracic Surgeons), что позволяет принимать более обоснованные клинические решения [27].

Лечение больных с кальцинозом коронарных артерий - трудная задача в плане ведения таких пациентов, так как они чаще всего пожилого возраста и имеют много сопутствующих заболеваний, поэтому операция у них более рискованна. Проведение ангиопластики при кальцинированных поражениях также технически затруднено: часто наблюдается неадекватное прилегание стента к стенке сосуда, а риск таких осложнений, как тромбоз и рестеноз стента, значительно выше по сравнению с вмешательствами при некальцифицированных поражениях [28].

Кальцинированные поражения являются весьма сложной задачей в работе хирурга. Сложнее всего операция с тяжелым кальцинозом - так как он мешает формированию анастомозов и ухудшает результат от шунтирования. Кроме того, у пациентов с ККА чаще образуются кальцификаты в венозных трансплантатах, что, в свою очередь, является мощным предиктором как ранней, так и поздней несостоятельности шунтов [29].

В проспективном исследовании ACUTY, в которое были включены 755 пациентов с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST, перенесших миокардиальную реваскуляризацию, было установлено, что тяжелая

степень ККА независимо ассоциировалась с повышенным риском смерти, инфаркта миокарда (ИМ) и частоты БКС в течение одного года наблюдения [30].

Рентгенэндоваскулярная хирургия, как направление, берёт своё начало в 1977 году с проведения первой баллонной ангиопластики [31]. За этим последовало внедрение в 1980-х годах обычных (так называемых «голых») металлических стентов [32], а в 2000-х годах — разработка стентов с лекарственным покрытием (СЛП), первоначально содержащих сиролимус [33], затем паклитаксел [34], и впоследствии — эверолимус и зотаролимус [35,36].

Наличие кальцинированных атеросклеротических поражений значительно повышает вероятность неудачи и осложнений при проведении баллонной ангиопластики. Жёсткие кальцинированные бляшки требуют высокого давления при дилатации, что увеличивает риск диссекции коронарных артерий и тромбоза. Кроме того, неоднородность кальцификации вдоль поражения может приводить к неравномерному натяжению баллона на стенку сосуда, что ещё более усиливает риск острой диссекции, закрытия сосуда, инфаркта миокарда, рестеноза и БКС [4].

ЧКВ при таких поражениях требует более длительного времени, высокой технической подготовки и сопровождается большей лучевой нагрузкой, увеличением объёма контрастного вещества и частыми внутривидеооперационными осложнениями. В результате этого общие технические, ангиографические и клинические показатели успешности процедуры у таких пациентов зачастую ниже [37].

Сильно кальцинированные поражения также увеличивают риск неполного и асимметричного раскрытия стента из-за низкой растяжимости сосудистой стенки. Установлено, что фиброкальцинированные бляшки снижают степень расширения стента [38,39] и повышают риск развития рестеноза [40]. Кальцификация, охватывающая более 25% окружности сосуда, считается фактором риска неполного раскрытия стента [41]. Ключевыми факторами, связанными с рестенозом и тромбозом стента, также являются недостаточное

раскрытие стента, минимальная площадь просвета и большая длина поражения [42,43].

Имплантация голометаллических стентов позволила увеличить выживаемость без осложнений по сравнению с одной лишь баллонной ангиопластикой [32], но СЛП, особенно последних поколений, значительно снизили частоту внутрискелетового рестеноза и необходимость повторных вмешательств на том же сосуде [44]. Однако даже при применении СЛП эффективность лечения высококальцинированных поражений остаётся ниже, чем при лечении некальцифицированных участков [45]. Именно поэтому на протяжении всей эволюции чрескожных вмешательств разрабатывались и продолжают совершенствоваться методики, направленные на улучшение раскрытия и прилегания стентов, с целью минимизации осложнений у данной группы пациентов.

1.2.1. Методы модификации кальцинированных поражений

Для преодоления технических сложностей, связанных с лечением кальцинированных коронарных поражений, было разработано и клинически апробировано множество устройств и методик, направленных на облегчение раскрытия таких поражений и улучшение доставки стентов. К ним относятся РА — основной объект нашего исследования, а также модифицированные баллоны, включая режущие и скоринг-баллоны, и орбитальная атерэктомия [46,47,48,49,50].

Основная цель этих технологий — модификация морфологии бляшки с последующим улучшением раскрытия и прилегания стентов. Доказано, что такие подходы способствуют снижению частоты рестеноза и тромбоза стентов при лечении кальцинированных поражений. Адекватная модификация бляшки перед имплантацией стента с лекарственным покрытием считается ключевым элементом эффективной терапии таких пациентов [42,51].

В настоящей работе основным изучаемым методом модификации кальциноза является ротационная атерэктомия, тогда как модифицированные баллоны, орбитальная и лазерная атерэктомия рассматриваются в качестве альтернативных методов подготовки поражения.

1.2.1.1. Ротационная атерэктомия

Ротационная атерэктомия (Rotablator®, ROTAPRO®, Boston Scientific) была разработана специально для лечения кальцинированных поражений коронарных артерий. Метод основан на использовании высокоскоростного алмазного бура, который разрушает кальцинированные атеросклеротические бляшки, превращая их в микрофрагменты диаметром около 5 мкм (меньше размера эритроцита). Эти частицы попадают в капиллярную сеть и впоследствии удаляются через ретикулоэндотелиальную систему [47].

Метод РА получил широкое распространение в 1990-х годах, применяясь примерно в 10% процедур транслюминальной баллонной ангиопластики (ТЛБАП) в США [52], однако его использование резко сократилось после публикации данных о высокой частоте рестенозов и перипроцедурных осложнений в до-СЛП эпоху [53]. В то время РА ассоциировалась с неоинтимальной гиперплазией, высокой частотой рестенозов и необходимостью повторной реваскуляризации. С внедрением стентов с лекарственным покрытием, доказавших эффективность в снижении рестеноза, интерес к РА возродился, и начались исследования с их комбинацией [54]. Несмотря на улучшенные результаты со СЛП первого поколения, уровень рестеноза после РА по-прежнему оставался значительным — от 6,8% до 21,2% [55,56,57].

Возрождение РА в эру СЛП объясняется тем, что современные стенты обеспечивают более стабильные отдалённые результаты, особенно в сложных анатомических случаях, где кальцинированные бляшки являются основным ограничивающим фактором. РА подготавливает поражение к имплантации

стента, улучшая его доставляемость и обеспечивая лучшее прилегание, что снижает вероятность рестеноза, вызванного недостаточным раскрытием стента. Исследования с использованием ВСУЗИ показали, что РА позволяет достичь степени расширения стента, сопоставимой с таковой при лечении некальцинированных поражений [58].

Тем не менее, техника РА может вызывать осложнения, такие как «slow-flow» и «no-flow» из-за потока микрочастиц, а также активацию тромбоцитов и тепловое повреждение сосудистой стенки при длительном контакте с буром [59,60,61,62,63,64]. В ответ на эти проблемы в 1999 году в исследовании SARS была протестирована модифицированная техника РА с меньшими скоростями вращения (140–160 тыс. об/мин), фрагментированным подходом к поражению, использованием меньших по диаметру буров и сопутствующими вазодилататорами. Это позволило снизить частоту рестенозов до 28,1% [65].

Исследование CARAT (2001 г.) показало, что менее агрессивная стратегия с использованием буров меньшего диаметра (соотношение бур/артерия $\leq 0,7$) обеспечивает сравнимые результаты по диаметру просвета и частоте повторной реваскуляризации при меньшем числе ангиографических осложнений по сравнению с агрессивной стратегией дебалкинга [66]. Похожие результаты были получены в исследовании STRATAS, где не было выявлено существенных различий в частоте рестенозов и клинических исходах между агрессивной и стандартной РА через 6 месяцев [67]. Алгоритм подбора диаметра бура в зависимости от анатомических условий и ощущений оператора представлен на рис. 1. Данный подход основан на рекомендациях, предложенных Kawashima и соавт. [68].

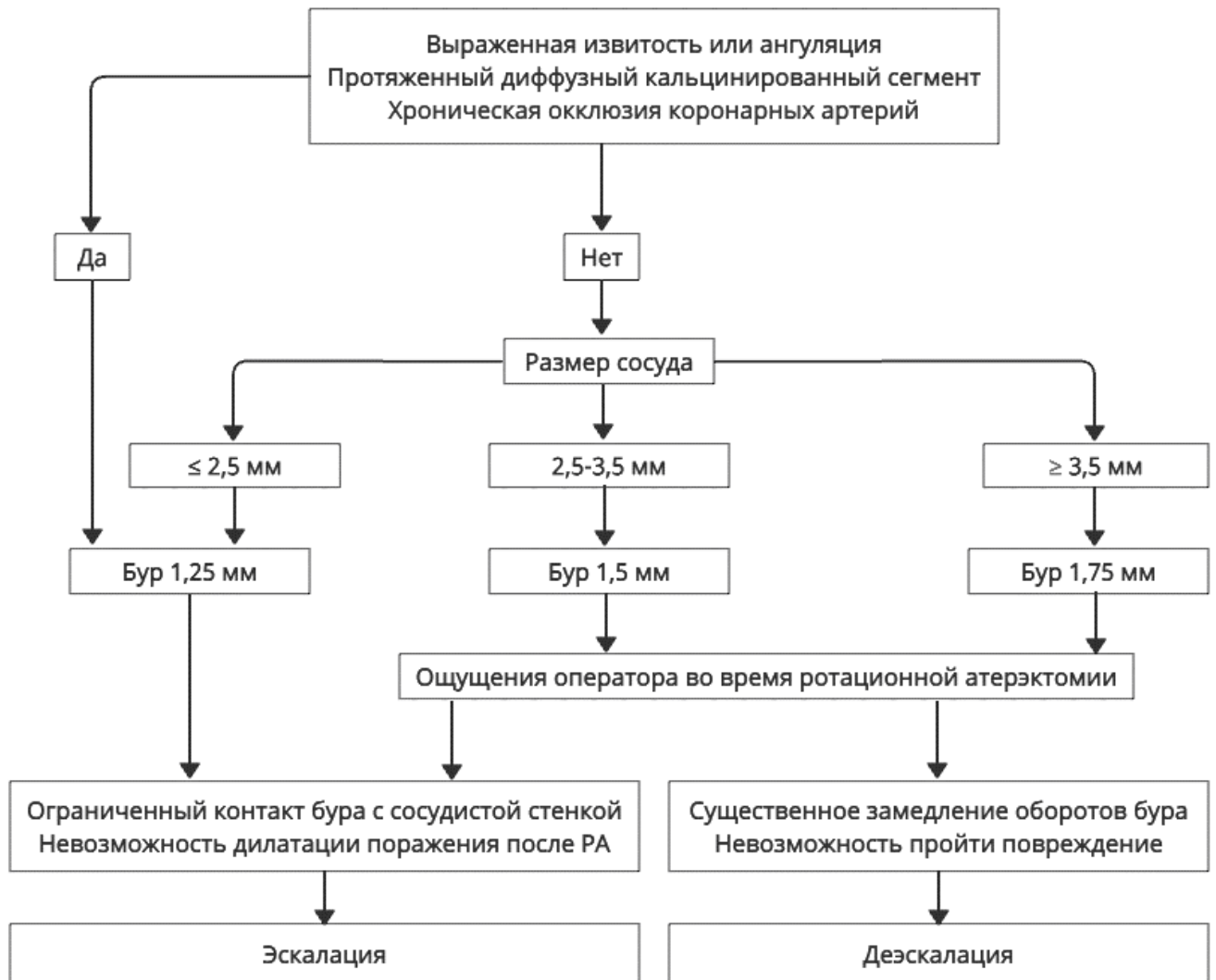


Рисунок 1. Алгоритм подбора диаметра бура.

В рандомизированном исследовании ROTAXUS (2013 г.) сравнивали РА и стандартную баллонную преддилатацию перед имплантацией СЛП (TAXUS). Несмотря на более высокий процент процедурного успеха в группе РА (92,5% против 83,3%, $p < 0,03$), через 9 месяцев потеря просвета стента была выше (0,44 мм против 0,31 мм, $p < 0,04$), а частота рестеноза, БКС, тромбоза и необходимости в повторной реваскуляризации была сопоставима между группами. Это подтвердило, что РА целесообразна преимущественно в случаях, где стандартная дилатация невозможна или неэффективна, но не должна использоваться рутинно [57].

Стенты с лекарственным покрытием обеспечивают лучшие результаты в лечении сложных поражений, однако даже с их применением уровень осложнений при кальцинированных поражениях остаётся выше по сравнению с простыми случаями [69,70]. Считается, что РА и СЛП могут действовать синергетически: атерэктомия улучшает подготовку поражения, а СЛП - подавляет неоинтимальную гиперплазию. Таким образом, качественная имплантация стента после адекватной подготовки бляшки критически важна для долгосрочного успеха [51].

В настоящее время РА считается самым распространённым методом атероабляции при лечении тяжелых кальцинированных поражений и применяется в 5-6% всех процедур ЧКВ [71]. Основными показаниями к её проведению являются невозможность прохождения баллонного катетера или стента через поражение, либо невозможность полного раскрытия баллона при предилатации [72]. Возможные осложнения включают диссекцию, замедление или остановку кровотока, дистальную эмболию, перфорацию, которые могут проявляться в виде боли в груди, гипотонии, брадикардии и развития БКС в госпитальном периоде [73,74].

1.2.1.1.1. Устьевые поражения

Лечение устьевых поражений, а также артерий с выраженным кальцинозом представляет собой значительную клиническую и техническую сложность. Эти типы поражений традиционно считаются трудноподдающимися лечению и ассоциированы с повышенным риском интра- и постпроцедурных осложнений [75].

РА, применяемая в сочетании с баллонной ангиопластикой, продемонстрировала хорошую безопасность и эффективность при лечении устьевых поражений. Согласно данным исследований, использование РА в этом контексте позволяет достичь более высокой частоты успешного вмешательства и снижает частоту серьёзных осложнений по сравнению с проведением стандартной ангиопластики [76].

1.2.1.1.2. Рестеноз стента

РА также показала свою эффективность в лечении рестеноза стента, включая абляцию металлических элементов ранее имплантированных устройств. В до-СЛП эру рестеноз стента, в основном обусловленный неоинтимальной гиперплазией, характеризовался высокой частотой рецидивов после проведения интервенционного лечения. В 1998 году было проведено исследование, в котором оценивались безопасность и долгосрочные результаты применения РА с последующей баллонной ангиопластикой для лечения внутрискелетового рестеноза. Метод оказался безопасным и выполнимым и показал более низкую частоту рецидивов по сравнению с историческими результатами обычной баллонной ангиопластики [77]. Особенно перспективным применение РА оказалось при лечении высококальцинированных поражений с плохим расширением, сопровождающихся высоким риском рестеноза. В таких случаях РА позволяет эффективно аблировать кальцинированные и металлические компоненты с низким уровнем осложнений [78]. Тем не менее, применение РА в других клинических сценариях, включая некальцинированные поражения, дало неоднозначные результаты. Так, в исследовании ARTIST (2002 г.), посвящённом лечению внутрискелетового рестеноза, было показано, что в группе РА + ТЛБАП частота рестеноза оказалась выше, чем при использовании только ТЛБАП (65% против 51%; $*p = 0,039$) [79]. В противоположность этим результатам, исследование ROSTER (2004 г.) показало, что РА является безопасной и эффективной стратегией в лечении внутрискелетового рестеноза. В группе РА наблюдались меньшая выраженность остаточной гиперплазии интимы, меньшее количество имплантаций дополнительных стентов, реже проводилась повторная реваскуляризация, а также был зафиксирован значительно более низкий уровень БКС через один год наблюдения [80]. На сегодняшний день большинство случаев внутрискелетового рестеноза успешно лечатся с помощью баллонной ангиопластики с последующей имплантацией

стента с лекарственным покрытием или применением лекарственных баллонов. Однако в ситуациях, когда эти подходы оказываются неэффективными, либо при наличии выраженного кальциноза вблизи рестенозированного сегмента, РА может быть использована как вспомогательная методика [81].

1.2.1.1.3. Хроническая окклюзия

В 2008 году в исследовании DOCTORS были проанализированы результаты применения РА у пациентов с хроническими окклюзиями коронарных артерий. Было установлено, что частота БКС в течение одного года была достоверно ниже в группе с использованием РА по сравнению с группой без применения этой методики (27,5% против 39,8%; $p = 0,033$), при этом уровень рестеноза через 6 месяцев не увеличивался. Таким образом, выполнение РА при хронических окклюзиях было связано с более благоприятными среднесрочными исходами, включая снижение частоты повторной реваскуляризации целевых поражений [82]. Около 7% хронических окклюзий, несмотря на успешное проведение проводника, оказываются непроходимыми для баллонного катетера. В таких ситуациях РА представляет собой безопасную и эффективную альтернативу, демонстрируя успешность прохождения данного препятствия примерно в 95% случаев [83].

1.2.1.1.4. Противопоказания

Хотя РА широко применяется для лечения кальцинированных поражений в рамках ЧКВ, существуют определённые противопоказания и меры предосторожности, которые необходимо учитывать. К числу состояний, при которых применение РА сопряжено с повышенным риском осложнений, относятся: поражения в трансплантатах подкожной вены, наличие внутрисосудистого тромба, расслоение стенки коронарной артерии, острый

инфаркт миокарда с подъёмом сегмента ST, а также анатомически сложные поражения с выраженной ангуляцией ($>45^\circ$) или извитостью сосудов.

Использование РА в подобных клинических ситуациях, не соответствующих показаниям, ассоциировано с повышенной частотой феномена «slow-flow» (30% против 18%, $p = 0,06$) и перипроцедурного инфаркта миокарда (8,8% против 2,1%, $p = 0,04$) [73].

Тем не менее, данные одного из китайских исследований продемонстрировали, что РА может быть безопасно и эффективно использована у пациентов, перенёсших инфаркт миокарда в пределах последних 30 дней, включая острый инфаркт миокарда (ОИМ). В этом исследовании наличие инфаркта оказалось независимым прогностическим фактором как краткосрочных, так и долгосрочных исходов, что свидетельствует о возможности расширения показаний к использованию РА при тщательном отборе пациентов [85].

1.2.1.2. Модифицированные баллоны

«Режущий баллон» (cutting balloon, РБ) представляет собой катетер, оснащённый баллоном с 3–4 микрохирургическими лезвиями, которые при инфляции баллона рассекают кальцинированную бляшку. Этот подход является технически простым и безопасным, а исследования подтвердили его эффективность в подготовке кальцинированных поражений перед стентированием [48,87].

Первоначально режущие баллоны применялись для преддилатации фиброзных и кальцинированных поражений перед имплантацией стента. С развитием технологий и уменьшением частоты гиперплазии в эпоху стентов с лекарственным покрытием, они были переосмыслены и усовершенствованы для более эффективного использования в лечении внутрискелетного рестеноза и сложной подготовке поражений.

В 2018 году в исследовании PREPARE-CALC были сравнены две стратегии подготовки выраженных кальцинированных поражений нативных коронарных артерий перед имплантацией современных СЛП (третьего поколения, с рассасывающимся полимером, элюирующих сиролимус): РА и модифицированные баллоны (режущий или скоринг-баллон) [49].

Результаты показали, что успех стратегии был значительно выше в группе РА — 98% против 81% в группе модифицированных баллонов (отношение шансов неудачи при использовании баллона по сравнению с РА — 9,5; 95% ДИ: 2,3–39,7; $p = 0,0001$). При этом время рентгеноскопии было несколько выше в группе РА.

Результат исследования показал следующее:

- РА позволяет обеспечить эффективную подготовку выраженных кальцинированных поражений;
- модифицированный баллон - альтернативный вариант, достаточно безопасный (при условии возможности повторной операции);
- обе методики характеризовались хорошими показателями клинического исхода на протяжении 9 мес наблюдений;
- частота развития осложнений при проведении манипуляции - не высокая, учитывая анатомию и наличие коморбидной патологии.

То есть РА и модификация баллона - это оба эффективные методы при лечении кальцинированных поражений коронарных артерий. Выбор метода будет зависеть от анатомии поражения, технических возможностей и навыков оператора.

1.2.1.3. Орбитальная атерэктомия

Орбитальная атерэктомия - чрескожная эндоваскулярная технология для модификации кальцинозов путем использования центробежных сил и принципа «шлифовки». Устройство оснащено эксцентричной фрезой с алмазным покрытием, которая вращается по орбитальной траектории вокруг

направляющего проводника с высокой скоростью. Управление положением фрезы осуществляется с помощью специального рычага, позволяющего изменять радиус орбиты. Это уменьшает необходимость в замене устройства в ходе процедуры и позволяет более точно адаптироваться к анатомии сосуда.

При каждом прохождении устройства удаляется тонкий слой кальцинированной бляшки, при этом более эластичная интактная сосудистая ткань отходит от вращающейся фрезы, что снижает риск перфорации. При этом образуются микрочастицы диаметром около 2 мкм, которые свободно циркулируют в крови и эффективно удаляются без значительного повреждения сосудистой стенки или термической травмы [50,89,90]. Эффективность и безопасность орбитальной атерэктомии были подтверждены в исследовании ORBIT II, в котором было показано, что использование этой методики для подготовки выраженных кальцинированных поражений облегчает имплантацию стента и улучшает клинические исходы как в острый период, так и в течение 30 дней по сравнению с историческими контрольными данными у пациентов с анатомическими особенностями [91,92,93].

Однако, несмотря на потенциальные преимущества, сравнительное исследование 2017 года, в котором анализировались ротационная и орбитальная атерэктомия, не выявило статистически значимого различия в краткосрочных результатах между двумя методиками. Обе оказались безопасны и эффективны в лечении кальцинированных поражений без существенного преимущества той или иной методики [94].

1.2.1.4. Лазерная атерэктомия

Еще один из дополнительных методов модификации коронарных стенозов, в том числе кальцинированных - это эксимерлазерная атерэктомия. Принцип действия данного метода заключается в создании импульсов высокой энергии с целью достижения дилатации пораженного участка посредством

фотоприщественного эффекта. При этом эффективность использования лазерной атеректомии (ЛА) для лечения как кальцинатов так и не кальцинационных поражений остается дискуссионной.

Основные риски использования ЛА – это развитие таких осложнений, как диссекция, перфорация; чаще требуется проведение экстренного вмешательства [95,96]. Кроме того, данные ВСУЗИ не подтвердили наличие выраженного абляционного эффекта в отношении кальция: не было выявлено достоверных качественных или количественных изменений структуры кальцинированных бляшек после лазерного воздействия [97].

В исследовании ERBAC (Excimer Laser, Rotational Atherectomy, and Balloon Angioplasty Comparison), в котором сравнивались эксимерлазерная атерэктомия, РА и баллонная ангиопластика, наибольшую эффективность продемонстрировала именно ротационная атерэктомия. Группа пациентов, прошедших РА, имела лучшие показатели успешности процедуры по сравнению как с лазерной терапией, так и с баллонной ангиопластикой [98].

Таким образом, несмотря на технологическую инновационность, использование эксимерного лазера при кальцинированных поражениях остаётся ограниченным из-за низкой эффективности в отношении кальция и повышенного риска осложнений.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАЦИЕНТОВ С КАЛЬЦИНИРОВАННЫМ ПОРАЖЕНИЕМ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ

2.1. Методы исследования

Все пациенты с кальцинированными поражениями коронарных артерий проходили обследование в соответствии со стандартным протоколом, включающим как клинические методы (сбор анамнеза, физикальное обследование с оценкой состояния сердечно-легочной системы путём осмотра, пальпации, перкуссии и аускультации), так и комплекс инструментальных исследований. После первичной оценки состояния больных проводился расширенный диагностический этап, включавший как неинвазивные, так и инвазивные методы визуализации.

Электрокардиография (ЭКГ) выполнялась с использованием аппаратов различных производителей: трёхканального «Biset 3500» (Normann, Германия), четырёхканального «Hewlett Packard» (США), а также «Mingograf-42 В» (Elema, Швеция). Исследование проводилось согласно принятому протоколу в трёх стандартных, трёх усиленных и шести грудных отведениях. На основании полученных ЭКГ-данных оценивались ритм сердца, частота сердечных сокращений, электрическая ось, а также признаки нарушений проводимости.

Эхокардиографическое исследование (Эхо-КГ) проводилось в соответствии с двухмерной методикой, утверждённой в НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева. Диагностика выполнялась на ультразвуковых системах различных моделей, включая «Philips Azurion 5 M20», «Philips Azurion 5 M12» и другие, с применением стандартных акустических окон и проекций.

При анализе Эхо-КГ в покое оценивались следующие показатели: общая фракция выброса левого желудочка, легочная гипертензия, гипертрофия левого желудочка, митральная недостаточность, трикуспидальная недостаточность,

аортальный стеноз, конечно - диастолический размер, конечно - систолический размер, нарушение кинетики миокарда.

Селективная коронарография выполнялась по стандартной методике на ангиокардиографических установках фирмы «Philips» (Голландия) с использованием трансрадиального или трансфеморального доступа в зависимости от анатомических особенностей и клинической ситуации пациента. Пункция артерии осуществлялась по методу Сельдингера под местной анестезией с последующим введением интродьюсера диаметром 5F.

Введение коронарных катетеров типа Judkins или Amplatz осуществлялось под рентгеноскопическим контролем с селективной канюляцией устьев левой и правой коронарных артерий. Для визуализации использовались неионные рентгеноконтрастные препараты (например, **омнипак-350**) в объёме, достаточном для адекватного наполнения сосудистого русла.

Коронарография выполнялась в мультипозиционных проекциях (краниальные, каудальные, ЛАО, ПАО) с целью полной визуализации проксимальных, средних и дистальных сегментов коронарных артерий, оценки характера поражения (стеноз, кальциноз, окклюзия, бифуркационное поражение) и определения его гемодинамической значимости. Во всех случаях осуществлялась регистрация цифровых изображений для последующего анализа.

В процессе проведения исследования осуществлялся непрерывный мониторинг артериального давления и ЭКГ в трёх стандартных отведениях. По завершении процедуры выполнялись мероприятия по достижению надёжного гемостаза в области сосудистого доступа.

Анализ данных селективной коронарографии проводился с целью детальной ангиографической характеристики поражений коронарных артерий и определения тактики последующего чрескожного вмешательства.

Оценивались следующие параметры:

- **Степень стеноза** — выраженность сужения просвета артерии оценивалась визуально, в процентах, по сравнению с интактными сегментами до и после поражения;
 - **Протяжённость поражения** — классификация стенозов как фокальных (<10 мм), протяжённых (10–20 мм) или диффузных (>20 мм);
 - **Тип поражения** — одиночное, множественное, бифуркационное, окклюзия (в т. ч. хроническая);
 - **Локализация стеноза** — с указанием вовлечённости сегментов (ствол ЛКА, ПМЖВ, ОВ, ПКА), включая характер кровоснабжения (левый, правый или сбалансированный тип);
 - **Количество поражённых сосудов** — одно-, дву- или трёхсосудистое поражение;
 - **Оценка сложности поражения** — с расчётом SYNTAX Score.
- Выраженность кальциноза определялась согласно ангиографическим критериям:
- **Умеренный кальциноз** — плотные кальцинаты, видимые только после введения контрастного вещества и в одной проекции;
 - **Выраженный кальциноз** — рентгенконтрастные тени, визуализируемые до введения контраста и/или в двух и более проекциях;

Дополнительно анализировалась доступность поражённого сегмента для транслюминального вмешательства, а также потенциальные риски проведения предстоящей процедуры (например, чрезмерная извитость, ангуляция, резкий переход диаметра и пр.).

2.1.1. Методика модификации кальциноза некомплаентными баллонами

У пациентов с кальцинированными поражениями коронарных артерий, не сопровождающимися выраженной анатомической ригидностью стеноза, а также при невозможности или отсутствии необходимости в выполнении ротационной

атерэктомии, модификация кальциноза осуществлялась с использованием НКБ. Тактика применения НКБ основывалась на стремлении обеспечить адекватную дилатацию стенозированного сегмента и подготовку его к имплантации стента без значительных рисков перфорации или диссекции.

Выбор доступа осуществлялся в пользу трансрадиального при наличии анатомической возможности; в случае необходимости применения баллонов больших диаметров или невозможности прохождения по лучевой артерии использовался бедренный доступ с установкой соответствующего интродьюсера. После селективного катетеризирования поражённой артерии и выполнения полипроекционной коронарографии осуществлялась визуальная оценка степени стеноза, протяжённости и характера кальциноза. При сомнительных данных решение о возможности применения НКБ подтверждалось после попытки проведения баллонного катетера малого диаметра через зону поражения.

Для модификации кальциноза использовались в основном не комплаентные баллоны маленького размера (1,5–3,0 мм), устойчивые к высоким давлениям с возможностью равномерного расширения при значительном жестком стенозе. Давление на баллон составляло 16-24 атм. Применяли monorail и OTW системы по показаниям.

Особое внимание уделялось анатомическому профилю дилатации баллона, поскольку неравномерное расширение (эффект «собачьей кости») указывало на неадекватную модификацию кальциноза и потенциальную угрозу разрыва баллона, диссекции или перфорации. В таких случаях проводилось поэтапное повышение давления инфляции либо замена баллона на модель с меньшим диаметром и более высокой номинальной стойкостью. При сохранении эффекта ригидности рассматривался переход к РА.

При достижении необходимого просвета после дилатации при визуальном контроле, использовалась ВСУЗИ для определения наименьшего диаметра, однородности расширения.

Имплантация стентов производилась после оценки результатов подготовки поражения. В случаях, когда после дилатации сохранялся выраженный стеноз, имелись признаки остаточной кальцинированной деформации просвета или затруднение доставки стента, проводилось дополнительное расширение баллоном либо рассматривался переход к РА. После имплантации стента рутинно проводилась постдилатация НКБ до достижения оптимального раскрытия, подтверждаемого ангиографически.

В течение всей процедуры осуществлялся мониторинг ЭКГ и артериального давления, применялась антикоагулянтная терапия с использованием нефракционированного гепарина, а профилактика вазоспазма проводилась за счёт внутривенного введения нитратов. В настоящей работе использовались следующие рабочие определения успеха вмешательства. Технический успех определялся как достижение остаточного стеноза менее 30% при восстановлении антеградного кровотока TIMI 3. Процедурный успех определялся как достижение технического успеха при отсутствии внутрибольничных осложнений - диссекции, перфорации коронарной артерии и инфаркта миокарда.

2.1.2. Внутрисосудистое ультразвуковое исследование

Во всех случаях, включённых в исследование, оценка результатов вмешательства проводилась с использованием ВСУЗИ. Метод являлся обязательным этапом контроля качества имплантации стентов и использовался после завершения этапов подготовки поражения и стентирования.

ВСУЗИ выполнялось с использованием современных ультразвуковых катетеров, позволяющих получить поперечные и продольные срезы коронарного сосуда с высокой пространственной и контрастной разрешающей способностью. Датчик доставлялся по направляющему проводнику через гайд-катетер, с последующим последовательным отведением через область имплантированного

стента с использованием автоматического pullback-механизма. Перед исследованием проводилась болюсная инфузия нитратов с целью устранения вазоспазма и улучшения визуализации просвета артерии.

Основной задачей ВСУЗИ являлась количественная оценка геометрических параметров стентированной зоны, в том числе:

- минимальной площади стента (МПС, мм²);
- степени раскрытия стента - в процентах от референсного диаметра артерии;
- равномерности прилегания стента к интима сосуда;
- наличие признаков мальпозиции стента, внутрискелетных дефектов, а также диссекций за пределами стента;

Внутрисосудистый ультразвуковой контроль результата вмешательства выполнялся всем пациентам обеих групп (n = 182), включая контрольную группу (НКБ); оценивались прирост площади просвета сосуда и адекватность раскрытия стента.

Анализ данных ВСУЗИ проводился с использованием специализированного программного обеспечения. МПС являлась ключевым параметром для оценки раскрытия стента, при этом приоритетным считалось достижение значения $\geq 5,5$ мм². При выявлении недораскрытия проводилась дополнительная постдилатация НКБ.

Использование ВСУЗИ также способствовало своевременному выявлению механических осложнений (диссекции, перфорации). Несмотря на то что исходное ВСУЗИ до стентирования не применялось, постпроцедурная визуализация позволяла объективно оценить непосредственные анатомические результаты вмешательства и стандартизировать параметры успеха процедуры.

Таким образом, ВСУЗИ в рамках настоящего исследования выполняло функцию объективного финального контроля качества проведённой процедуры и служило инструментом повышения воспроизводимости результатов при сравнении различных методик подготовки кальцинированных поражений.

Статистический анализ выполнен в программе Statistica 12. Соответствие распределения количественных переменных нормальному закону оценивалось с использованием W-критерия Шапиро-Уилка. Количественные переменные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения ($\text{Mean} \pm \text{SD}$). Различия между двумя группами оценивались с использованием t-критерия Стьюдента при нормальном распределении, а также U-критерия Манна-Уитни при ненормальном распределении. Категориальные переменные представлены в виде абсолютных частот и относительных долей. Различия в таблицах сопряженности оценивались с помощью критерия Хи-квадрат Пирсона и точного критерия Фишера при минимальных ожидаемых частотах менее 10. Степень различий представлена в виде отношения шансов (OR – Odds Ratio) с 95% доверительным интервалом. Пороговый уровень статистической значимости принят для $p < 0,05$.

2.2. Клиническая характеристика больных

Исследование представляет собой ретроспективный анализ 182 пациентов, госпитализированных в плановом порядке в ФГБУ «НМИЦССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава РФ в период с 2020 по 2024 гг с целью выполнения ЧКВ со стентированием кальцинированных поражений коронарных артерий.

Исследуемая популяция разделена на 2 группы:

- **Группа 1 (РА)** – n - 81, пациенты, которым выполнена подготовка кальцинированного поражения коронарных артерий с использованием ротационной атерэктомии;
- **Группа 2 (НКБ)** – n - 101, пациенты, которым проводилась модификация кальциноза с использованием некомплаентных баллонов. Данная когорта формировалась из пациентов, пролеченных за аналогичный период, методом подбора по показателю склонности (propensity score-based selection) с использованием программы SPSS, без попарного сопоставления.

Критерии включения:

- пациенты с хронической ИБС и документально подтверждённой ишемией миокарда на фоне гемодинамически значимого поражения коронарных артерий;
- пациенты, у которых для контроля ЧКВ использовалось ВСУЗИ;
- пациенты с умеренным или выраженным кальцинированным поражением коронарных артерий.

Критерии невключения:

- пациенты с фракцией выброса левого желудочка менее 30%;
- пациенты с тяжёлой сопутствующей кардиальной патологией, планируемые на открытое кардиохирургическое вмешательство.

Критерии исключения:

- отказ пациента от участия в исследовании;
- пациенты с острым коронарным синдромом.

Анализ выявил отсутствие статистически значимых различий между группами по таким параметрам, как пол ($p=0,368$), возраст ($p=0,587$), рост ($p=0,799$), вес ($p=0,438$) и индекс массы тела (ИМТ; $p=0,377$). Таким образом, группы были сопоставимы по базовым характеристикам. В таблице 1 и на рисунке 2 представлены возрастные, гендерные и антропометрические характеристики пациентов.

Таблица 1. Возрастные, гендерные и антропометрические характеристики пациентов.

Показатель / Характеристика	Ротационная атерэктомия	Контрольная группа	P-value
Мужской пол	51 (63%)	70 (69%)	0,368
Женский пол	30 (37%)	31 (31%)	
Возраст	70,1±8,2	69,5±7,9	0,587
Рост	169±9	169±10	0,799
Вес	84±17,2	82±15,8	0,438
ИМТ	29,2±5,1	28,8±5,3	0,377

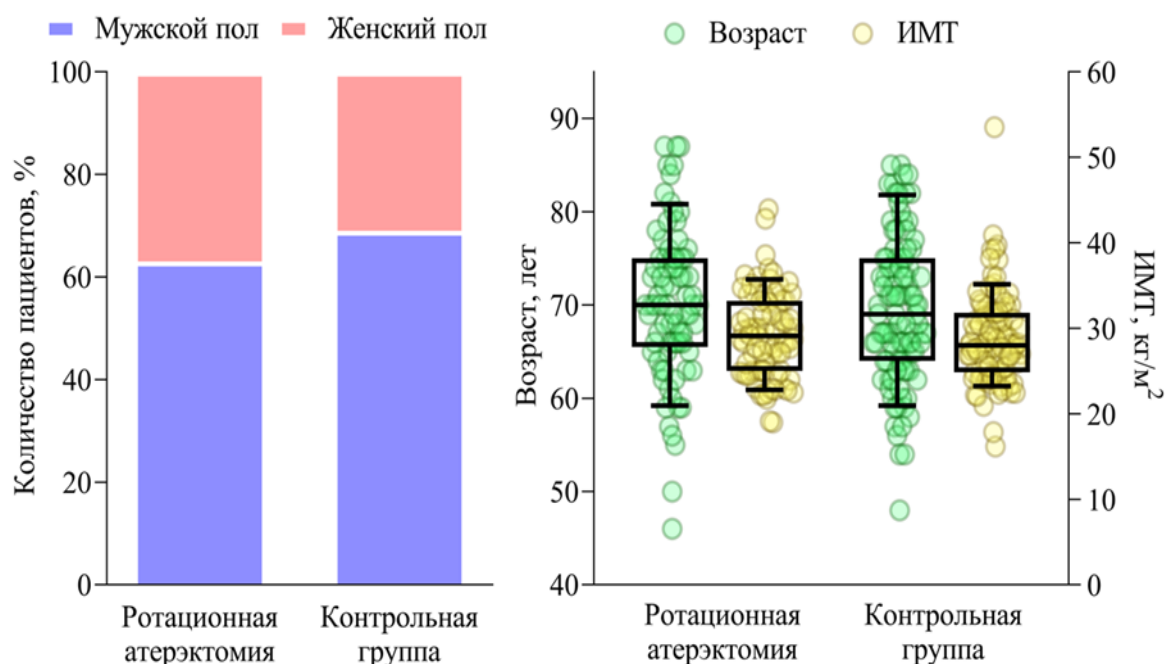


Рисунок 2. Пол, возраст и индекс массы тела пациентов, включенных в исследования.

Анализ сопутствующих заболеваний продемонстрировал высокую схожесть обеих групп, однако были выявлены несколько статистически значимых различий. У пациентов в группе РА в 2,51 раза чаще встречались пациенты с сахарным диабетом (38% против 20%, $p=0,008$) и в 2,22 раза реже диагностировалась дислипидемия (15% против 28%, $p=0,047$). Также наблюдалась тенденция к более частому наличию ЭКС в анамнезе у пациентов группы рота атерэктомии (6% против 1%, $p=0,090$), хотя она не достигла уровня статистической значимости. В остальном группы были сопоставимы по таким факторам, как курение, ИБС, стенокардия, фибрилляция предсердий и другие патологии, что указывает на хорошее соответствие групп по сопутствующей патологии (таблица 2, рисунок 3).

Таблица 2. Сопутствующая патология и функциональный статус пациентов перед ЧКВ.

Показатель / Характеристика	Ротационная атерэктомия	Контрольная группа	P-value	OR [CI]
Курение	20 (25%)	27 (27%)	0,755	0,9 [0,46; 1,76]
ОИМ в анамнезе	28 (35%)	38 (38%)	0,670	0,88 [0,48; 1,61]
ОНМК в анамнезе	11 (14%)	6 (6%)	0,122	2,49 [0,88; 7,05]
ХСН ФК 2 и выше	34 (42%)	44 (44%)	0,830	0,94 [0,52; 1,69]
Стенокардия ФК 2 и выше	70 (86%)	89 (89%)	0,626	0,74 [0,29; 1,91]
Фибрилляция предсердий	25 (31%)	21 (21%)	0,130	1,68 [0,86; 3,29]
ЭКС в анамнезе	5 (6%)	1 (1%)	0,090	6,58 [0,75; 57,49]
Иные НРС	13 (16%)	13 (13%)	0,543	1,29 [0,56; 2,97]
МФА	31 (38%)	35 (35%)	0,614	1,17 [0,64; 2,15]
Гипертоническая болезнь	74 (91%)	86 (85%)	0,255	1,84 [0,71; 4,77]
Сахарный диабет	31 (38%)	20 (20%)	0,008	2,51 [1,29; 4,88]
ХПН	11 (14%)	14 (14%)	0,956	0,98 [0,42; 2,28]
Ковид (в анамнезе)	2 (2%)	2 (2%)	1	1,25 [0,17; 9,1]
ЧКВ в анамнезе	41 (51%)	52 (51%)	0,907	0,97 [0,54; 1,73]
АКИШ в анамнезе	7 (9%)	6 (6%)	0,568	1,5 [0,48; 4,65]
Кардиовмешательства в анамнезе (н-р клапаны)	4 (5%)	5 (5%)	1	1 [0,26; 3,84]
Дислипидемия	12 (15%)	28 (28%)	0,047	0,45 [0,21; 0,96]

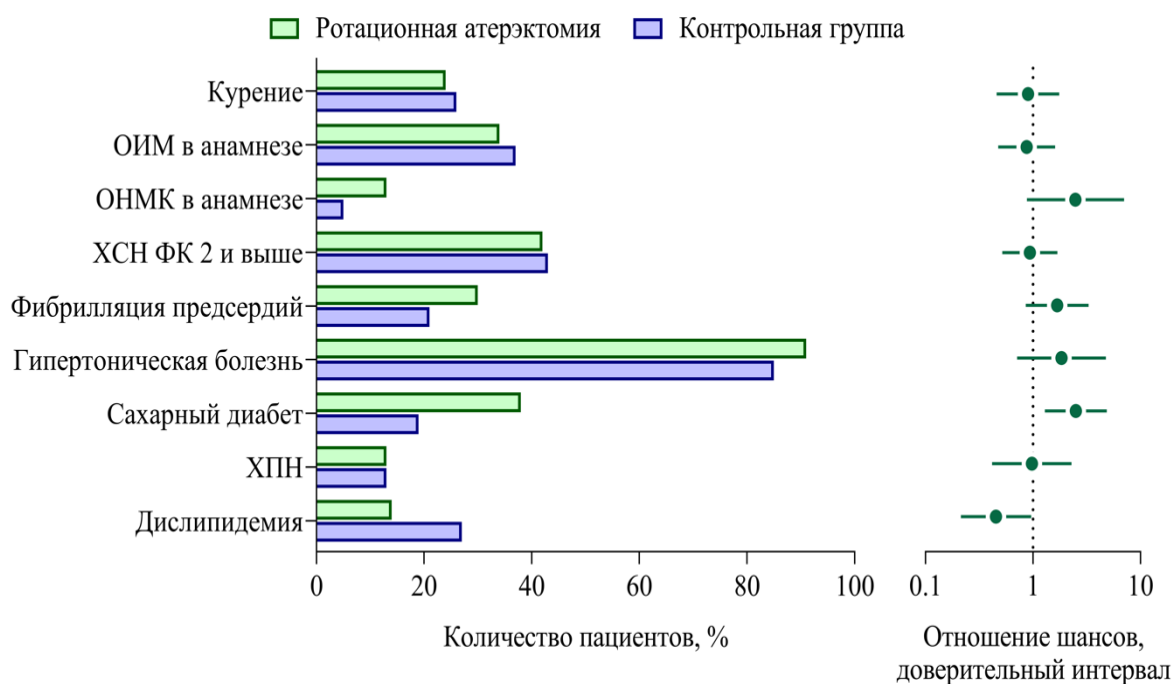


Рисунок 3. Коморбидный статус пациентов, включенных в исследование.

Сравнение групп в отношении принимаемой до выполнения ЧКВ кардиотропной медикаментозной терапии выявило то, что основные препараты, применяемые при сердечно-сосудистой патологии, использовались пациентами обеих групп в сопоставимых пропорциях. Однако имелись достоверные различия: пациенты контрольной группы в 2,56 раза чаще принимали нитраты (22% против 10%, $p=0,043$) и в 2,44 раза реже — сартаны (24% против 43%, $p=0,005$). Также наблюдалась тенденция к большему назначению тикагрелора в группе РА (12% против 5%, $p=0,102$), хотя это различие не было значимым. Остальные препараты, включая бета-блокаторы, ингибиторы АПФ, антикоагулянты и другие, применялись с одинаковой частотой, что подтверждает сопоставимость групп по медикаментозному обеспечению перед процедурой (таблица 3, рисунок 4).

Таблица 3. Анализ кардиотропной медикаментозной терапии, принимавшейся пациентами до выполнения ЧКВ.

Показатель / Характеристика	Ротационная атерэктомия	Контрольная группа	P-value	OR [CI]
Бета-блокаторы	63 (78%)	81 (80%)	0,690	0,86 [0,42; 1,77]
Ингибиторы АПФ	27 (33%)	38 (38%)	0,548	0,83 [0,45; 1,53]
Нитраты	8 (10%)	22 (22%)	0,043	0,39 [0,16; 0,94]
Сартаны	35 (43%)	24 (24%)	0,005	2,44 [1,29; 4,61]
АСК	76 (94%)	88 (87%)	0,132	2,25 [0,77; 6,59]
Тикагрелор	10 (12%)	5 (5%)	0,102	2,7 [0,89; 8,26]
Клопидогрел (Плавикс)	64 (79%)	76 (75%)	0,549	1,24 [0,61; 2,49]
Блокаторы кальциевых каналов	31 (38%)	29 (29%)	0,173	1,54 [0,83; 2,87]
Антикоагулянты (НОАК или Варфарин)	28 (35%)	29 (29%)	0,397	1,31 [0,7; 2,46]
Антиаритмики	7 (9%)	13 (13%)	0,476	0,64 [0,24; 1,69]

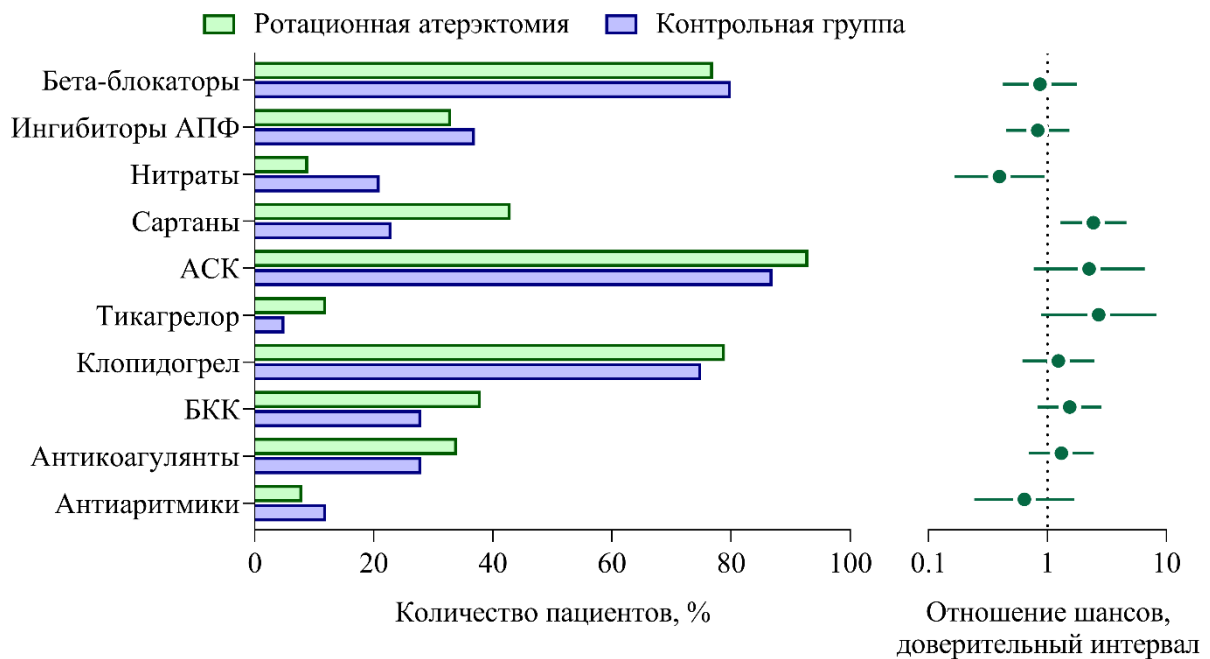


Рисунок 4. Медикаментозная терапия в группах пациентов.

Анализ исходных данных Эхо-КГ показал наличие некоторых существенных различий между группами. У пациентов, которым выполнялась РА, чаще наблюдались такие патологические изменения, как легочная гипертензия (ЛГ) — 28% против 12% ($p=0,010$; $OR=2,72$), гипертрофия левого желудочка (ГЛЖ) — 51% против 34% ($p=0,018$; $OR=2,07$) и митральная недостаточность 2 степени — 38% против 21% ($p=0,029$; $OR=2,2$). Также у них был ниже конечный диастолический размер ЛЖ (КДР) — $4,98 \pm 0,7$ см против $5,36 \pm 0,91$ см ($p<0,001$). Умеренный аортальный стеноз так же значительно чаще встречался в этой группе (16% против 3%, $p=0,003$). В остальном, такие показатели, как фракция выброса ЛЖ (ФВ ЛЖ), наличие гипо- или акинезов, были сопоставимы, что говорит о схожести функционального состояния миокарда у обеих групп (таблица 4, рисунок 5).

Таблица 4. Исходные эхокардиографические показатели.

Показатель / Характеристика	Ротационная атерэктомия	Контрольная группа	P-value	OR [CI]
ФВ ЛЖ (Тейхольц)	54,8±11,2	53,9±12,6	0,721	—
ФВ ЛЖ менее 50%	23 (29%)	28 (29%)	0,979	1,01 [0,53; 1,94]
ФВ ЛЖ менее 35%	6 (8%)	7 (7%)	1	1,05 [0,34; 3,27]
ЛГ	22 (28%)	12 (12%)	0,010	2,72 [1,25; 5,92]
ГЛЖ	41 (51%)	33 (34%)	0,018	2,07 [1,13; 3,8]
МН 2 ст	30 (38%)	21 (21%)	0,029	2,2 [1,14; 4,26]
ТК 2 ст	17 (21%)	19 (19%)	0,758	1,12 [0,54; 2,34]
АС умеренный	13 (16%)	3 (3%)	0,003	6,14 [1,68; 22,4]
КДР	4,98±0,7	5,49±1,03	<0,001	—
КСР	3,42±0,91	3,74±1,15	0,117	—
Гипокинезы	16 (20%)	25 (26%)	0,385	0,73 [0,36; 1,49]
Акинезы	4 (5%)	7 (7%)	0,756	0,68 [0,19; 2,43]

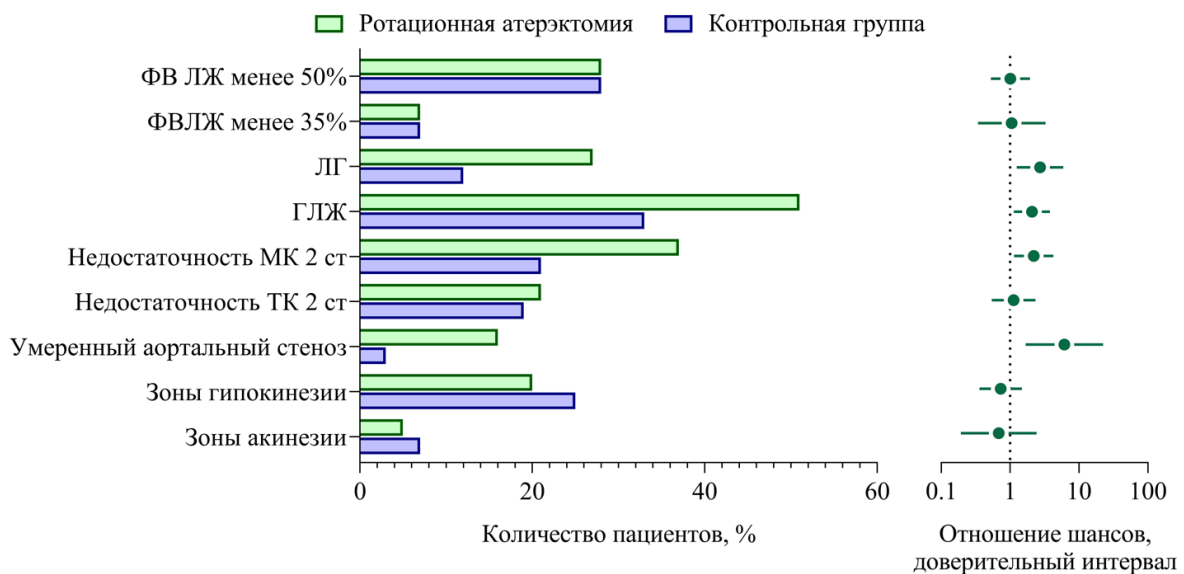


Рисунок 5. Данные Эхо-КГ.

Анализ данных коронарографий показал значительные отличия в характере поражений коронарных артерий. По степени кальциноза коронарных артерий группы были сопоставимы: выраженный кальциноз наблюдался у 93% пациентов группы РА против 88% в контрольной ($p=0,369$; $OR=1,69$), умеренный кальциноз — у 7% против 12% ($p=0,454$; $OR=0,59$). Вместе с тем пациенты группы РА чаще имели пограничные стенозы (40–90%) — 99% против 80% ($p<0,001$; $OR=19,75$), а поражение ПКА с кальцинозом было более распространено в группе атерэктомии (52% против 26%, $p<0,001$; $OR=3,11$). В остальном поражения других сосудов (передней межжелудочковой и огибающей артерий) были сопоставимы между группами, что свидетельствует о том, что группы отличались по тяжести и распространенности кальцификаций, но не по общему объему стенозов (таблица 5, рисунки 6 и 7).

Таблица 5. Исходные результаты коронарографий.

Показатель / Характеристика	Ротационная атерэктомия	Контрольная группа	P-value	OR [CI]
Умеренный кальциноз КА	6 (7%)	12 (12%)	0,454	0,59 [0,21; 1,66]
Выраженный кальциноз КА	75 (93%)	89 (88%)	0,369	1,69 [0,60; 4,71]
Пограничные стенозы (40-90%)	80 (99%)	81 (80%)	<0,001	19,75 [2,59; 150,71]
Правый тип кровоснабжения	70 (86%)	87 (86%)	0,956	1,02 [0,44; 2,4]
Левый тип кровоснабжения	6 (7%)	7 (7%)	1	1,07 [0,35; 3,33]
Сбалансированный тип кровоснабжения	5 (6%)	7 (7%)	1	0,88 [0,27; 2,89]
Ствол ЛКА (поражение 50% и более)	30 (37%)	45 (45%)	0,306	0,73 [0,4; 1,33]
Кальциноз ствола умеренный	20 (25%)	22 (22%)	0,643	1,18 [0,59; 2,35]
Кальциноз ствола выраженный	24 (30%)	31 (31%)	0,877	0,95 [0,5; 1,8]
ПМЖВ стеноз 50% и более	65 (80%)	92 (91%)	0,049	0,4 [0,17; 0,95]
ПМЖВ окклюзия	7 (9%)	7 (7%)	0,782	1,27 [0,43; 3,78]
ПМЖВ кальциноз	60 (74%)	65 (64%)	0,160	1,58 [0,83; 3,01]
ОВ стеноз 50% и более	44 (54%)	69 (68%)	0,053	0,55 [0,3; 1,01]
ОВ окклюзия	7 (9%)	7 (7%)	0,782	1,27 [0,43; 3,78]
ОВ кальциноз	27 (33%)	39 (39%)	0,461	0,79 [0,43; 1,47]
ПКА стеноз 50% и более	57 (70%)	70 (69%)	0,877	1,05 [0,56; 1,99]
ПКА окклюзия	12 (15%)	15 (15%)	0,994	1 [0,44; 2,27]
ПКА кальциноз	42 (52%)	26 (26%)	<0,001	3,11 [1,67; 5,8]
Syntax Score	24,7±11,9	23,7±12,2	0,437	—

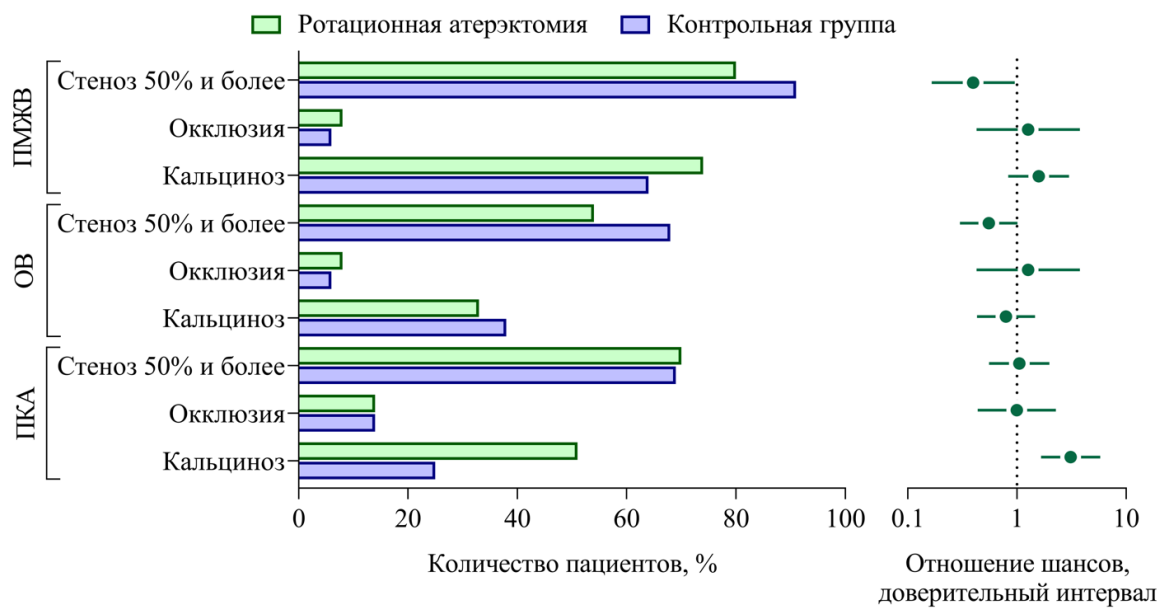


Рисунок 6. Ангиографическая характеристика поражений.

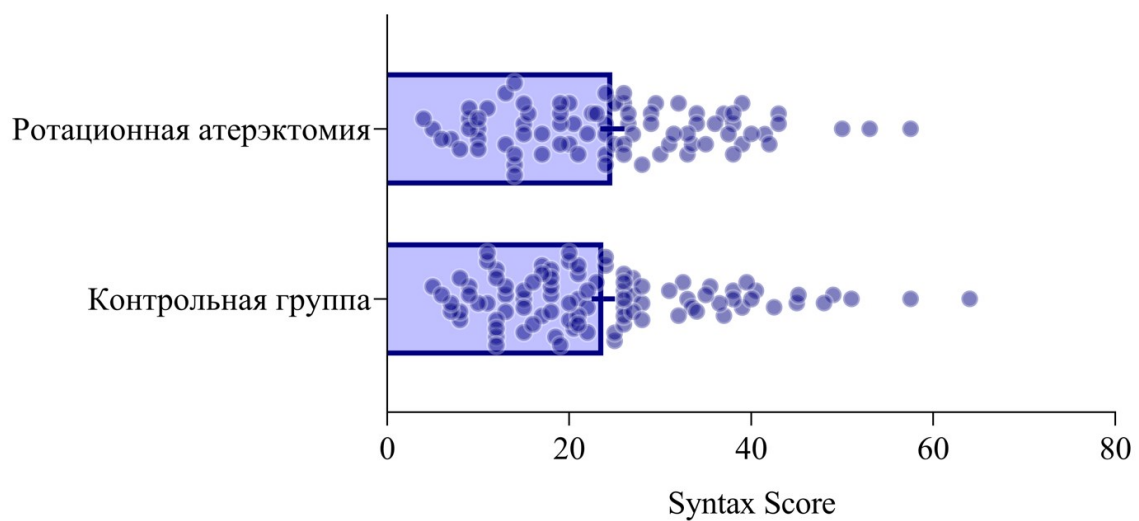


Рисунок 7. Показатель Syntax Score.

На основании совокупной оценки данных, полученных в ходе неинвазивных и инвазивных методов обследования, были сформулированы показания к выполнению РА у пациентов с кальцинированными поражениями коронарных артерий.

Показания к применению ротационной атерэктомии у пациентов с кальцинированными поражениями коронарных артерий:

1. Невозможность проведения баллонного катетера через участок выраженного стеноза при ангиографически подтверждённом кальцинозе;
2. Невозможность проведения катетеров внутрисосудистой визуализации через поражённый сегмент;
3. Наличие эффекта «песочных часов» или выраженного резидуального стеноза при попытке баллонной дилатации, несмотря на использование некомплаентных баллонов;
4. Устьевые кальцинированные стенозы (в том числе поражения ствола левой коронарной артерии), при которых стандартная дилатация сопряжена с высоким риском осложнений или неэффективна;
5. Рестенозы после стентирования, ассоциированные с неполным раскрытием стента на фоне кальциноза, выявленные при ВСУЗИ/ОКТ.

Применение РА особенно актуально у пациентов с высоким кальциевым баллом при ВСУЗИ ($\geq 270^\circ$ дуги кальция, толщина $> 0,5$ мм, протяжённость ≥ 5 мм), поскольку в этих случаях традиционные баллонные методики демонстрируют недостаточную эффективность и повышенный риск осложнений.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РОТАЦИОННОЙ АТЕРЭКТОМИИ

Ротационная атерэктомия применялась у пациентов с гемодинамически значимыми кальцинированными поражениями коронарных артерий в случаях, когда невозможно было провести баллонный катетер или датчик ВСУЗИ за зону стеноза, отмечалась неадекватная дилатация поражения с формированием эффекта «песочных часов», а также при концентрическом или циркулярном кальцинозе, визуализируемом в двух и более ангиографических проекциях. Процедура осуществлялась с использованием оригинальной системы ROTAPRO® (Boston Scientific), включающей консоль управления, бур, инкрустированный алмазной крошкой, и направляющий проводник Rotawire® диаметром 0,009 дюйма.

Предпочтительным сосудистым доступом являлся трансрадиальный, однако при анатомических ограничениях, а также в случаях, когда требовалось использование интродьюсера диаметром более 7 Fr, осуществлялся доступ через бедренную артерию. После селективного катетеризации устья поражённой коронарной артерии и выполнения полипроекционной коронарографии. При технической возможности применялось ВСУЗИ для детальной оценки анатомии поражения.

Продвижение ротационного проводника (Rotawire) за поражённый сегмент осуществлялось с применением одной из двух методик. Первая предусматривала проведение через стеноз коронарного проводника, по которому в дистальный сегмент артерии доставлялся микрокатетер или баллонный катетер типа over-the-wire (OTW), позволяющий заменить проводник на ротапроводник. В случаях, когда микрокатетер не проходил через поражённый сегмент, Rotawire проводился напрямую.

После проведения Rotawire осуществлялась сборка системы ротаблации, настройка параметров на консоли, проверка частоты вращения бура и промывка системы. Через Y-образный коннектор система вводилась в просвет гайд-катетера. Изначально задавалась скорость вращения 180 000 об/мин с возможностью её коррекции в пределах оптимального диапазона 120 000-180 000 об/мин. Продвижение бура до целевой зоны выполнялось в режиме Dynaglide™ - с пониженной скоростью вращения, обеспечивающей атравматичное прохождение по направляющему проводнику. Бур подводился до зоны поражения или до дистального края гайд-катетера, после чего активировался рабочий режим ротаблации.

РА проводилась с использованием «клюющей» (pecking) техники, при которой бур продвигался в поражённой зоне короткими, прерывистыми движениями вперёд-назад, минимизирующими риск критического снижения скорости вращения. При снижении оборотов более чем на 5000 об/мин выполнение прохода прекращалось, чтобы избежать чрезмерного теплового повреждения, кавитации, застревания бура и образования крупных аблятированных фрагментов. Продолжительность одного цикла ротаблации не превышала 30 секунд, однако на этапе освоения методики преимущество отдавалось сериям длительностью 15-20 секунд с равными по продолжительности паузами.

Диаметр бура подбирался индивидуально, с расчётом на соотношение его размера к диаметру артерии в пределах 0,5-0,7:1, в соответствии с принципами поверхностной модификации кальция и минимизации риска повреждения сосуда. По завершении серии проходов проводилась оценка достигнутого результата с использованием ВСУЗИ - определялись минимальный/максимальный диаметр артерии, для определения диаметра и длины стента, и наличие осложнений со стороны сосудистой стенки. Далее производилась предилатация некомплаентным баллоном, а при сохранении остаточного стеноза и визуализации «перетяжки» на баллоне - выполнялись

дополнительные проходы с буром большего диаметра. Финальным этапом вмешательства являлась имплантация стента с лекарственным покрытием.

В течение всей процедуры осуществлялся непрерывный мониторинг ЭКГ и артериального давления. Профилактика вазоспазма проводилась с помощью интракоронарного введения нитратов. Антикоагулянтная терапия включала внутривенное введение нефракционированного гепарина с поддержанием активированного времени свертывания крови (АСТ) не менее 250-300 секунд. После завершения вмешательства проводился контроль гемостаза, а также оценка технического и процедурного успеха вмешательства согласно приведённым выше определениям.

3.1. Осложнения ротационной атерэктомии

Несмотря на улучшение технического оснащения, совершенствование обучающих программ и накопление опыта операторов, РА остаётся процедурой с определённым риском развития осложнений. Понимание их механизма и факторов риска позволяет минимизировать частоту неблагоприятных исходов и повысить безопасность вмешательства.

Основные осложнения, связанные с РА, обусловлены как механическим воздействием вращающегося бура на сосудистую стенку, так и физиологическими изменениями, возникающими при контакте с кальцинированной бляшкой:

- механическое повреждение интимы и медики артерии;
- образование микрочастиц, способствующих микроваскулярной обструкции;
- активация тромбоцитов и вазоспазм вследствие теплового и кавитационного эффекта;
- снижение скорости потока и гиперемия дистального русла.

По данным Sakakura K. и соавт. (2016), в ретроспективном анализе более 1 400 процедур РА, общая частота перфораций составила 1,9%, застревание бура - 0,4%, slow-/no-reflow синдром - 3,9%, а острый тромбоз - 0,7. Согласно более свежим данным (Barbato E. et al., 2023), при использовании современных установок частота серьёзных осложнений остаётся на уровне 2,6-5,0% при грамотном соблюдении техники и адекватном подборе бура.

Перфорация коронарной артерии. Является наиболее грозным осложнением, особенно при неконтролируемом продвижении бура. Факторами риска являются использование бура диаметром >1,75 мм, ангулированные сегменты, чрезмерная продолжительность абляции и отсутствие техники "pecking motion".

Диссекция сосуда. Может возникать при агрессивной абляции, особенно при недостаточном использовании промывки. Большинство диссекций купируются стентированием, однако могут приводить к окклюзии или тромбозу.

Замедление кровотока или феномен no-reflow. Связаны с дистальной эмболизацией микрочастицами кальция. Профилактика включает короткие абляционные проходы, частые паузы и использование гликопротеиновых IIb/IIIa ингибиторов при высоком риске.

Застревание бура. Возникает при попытке абляции протяжённых и сильно стенозированных сегментов или в случаях, когда диаметр бура изначально выбран неправильно. В некоторых случаях может потребоваться хирургическое извлечение бура.

Брадикардия и гипотензия. Часто наблюдаются при абляции правой коронарной артерии или при раздражении парасимпатических волокон. Корректируются введением атропина и нитратов.

Тромботические осложнения. Реже возникают при соблюдении протоколов антитромботической терапии, однако остаются возможными при длительной экспозиции бура и недостаточном промывании.

3.1.1. Профилактика осложнений

Снижение риска осложнений обеспечивается:

1. строгим соблюдением техники выполнения РА (в том числе использование режима Dynaglide при продвижении бура и коротких серий абляции ≤ 20 сек);
2. подбором адекватного диаметра бура в зависимости от ангио- и ВСУЗИ-характеристик;
3. применением промывочных растворов с нитратами и верапамилем для профилактики вазоспазма;
4. мониторингом АЧТВ и достаточной антикоагуляцией (гепарин ≥ 70 ЕД/кг, АЧТВ > 250 сек).

ГЛАВА 4. НЕПОСРЕДСТВЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РОТАЦИОННОЙ АТЕРЭКТОМИИ У ПАЦИЕНТОВ С КАЛЬЦИНИРОВАННЫМ ПОРАЖЕНИЕМ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ

Во включённую в анализ выборку вошли 182 пациента с гемодинамически значимыми кальцинированными поражениями коронарных артерий, перенёвшие рентгенэндоваскулярное вмешательство с имплантацией стента. Все пациенты были разделены на две группы в зависимости от применённой методики подготовки поражения: в основной группе ($n = 81$) использовалась ротационная атерэктомия, а в контрольной ($n = 101$) — баллонная ангиопластика с использованием некомплаентных баллонов. Распределение по группам производилось с применением метода подбора по показателю склонности без попарного сопоставления, что обеспечило сопоставимость когорт по клинико-демографическим показателям и функциональному классу стенокардии [99].

При сопоставимой глобальной систолической функции левого желудочка (ФВ ЛЖ $54,1 \pm 11\%$ против $54,4 \pm 12,2\%$, $p=0,721$) группы различались по ряду исходных характеристик: в группе РА чаще регистрировались сахарный диабет (38% против 20%, $p=0,008$), лёгочная гипертензия, гипертрофия левого желудочка и умеренный аортальный стеноз, а также пограничные стенозы (40-90%) и поражение правой коронарной артерии с кальцинозом. По степени кальциноза коронарных артерий группы были сопоставимы.

Указанная асимметрия исходных характеристик отражает реальную практику отбора пациентов на ротационную атерэктомию и должна учитываться при интерпретации результатов: достижение в группе РА сопоставимых или лучших непосредственных результатов при исходно более тяжёлых поражениях усиливает доказательную значимость метода, но не позволяет полностью исключить влияние остаточных вмешивающихся факторов.

При анализе интраоперационных характеристик между группами выявлены статистически значимые различия, отражающие как различную техническую

сложность вмешательства, так и особенности применяемых методик. В группе ротационной атерэктомии реже использовался лучевой доступ (85% против 99%, $p < 0,001$; $OR = 0,06$ [0,01; 0,46]), что объясняется технической невозможностью пункции лучевой артерии у части пациентов из-за её окклюзии или анатомических особенностей. Также в группе ротационной атерэктомии гайд-катетеры калибра 6 Fr применялись достоверно реже (90% против 99%, $p = 0,011$; $OR = 0,09$ [0,01; 0,75]), что связано с необходимостью использования инструментария большего диаметра (таблица 6).

Длительность процедуры и объём введённого контрастного вещества были достоверно выше в контрольной группе по сравнению с группой ротационной атерэктомии. Так, среднее время вмешательства составило $82,6 \pm 35,1$ мин против $54,9 \pm 25,6$ мин ($p < 0,001$), объём контрастного вещества - 194 ± 65 мл против 162 ± 62 мл ($p < 0,001$) (рисунок 8). Оптимальный результат по данным внутрисосудистого ультразвукового исследования (ВСУЗИ), определяемый как достижение минимальной площади стента (МПС), равной не менее 80% от среднего значения площади проксимального и дистального референсных сегментов, достоверно чаще достигался в группе ротационной атерэктомии. - 85% против 61% ($p = 0,004$; $OR = 3,51$), что указывает на более высокое качество модификации поражения и окончательного результата вмешательства при использовании РА.

У пациентов группы ротационной атерэктомии отмечена статистически значимо большая медиальная длина стентированной зоны относительно контрольной группы - $60,9 \pm 25,4$ мм против $49,5 \pm 23,7$ мм; $p = 0,001$, у пациентов основной группы также выявлена тенденция к увеличению числа имплантированных стентов – среднее число имплантированных стентов у одного пациента составляло соответственно $1,815 \pm 0,673$ и $1,647 \pm 0,733$; $p = 0,064$. Данные показывают большие по протяженности и технически трудные повреждения при применении ротационной атерэктомии.

Таким образом, несмотря на то что в группе ротационной атерэктомии обрабатывались более протяжённые кальцинированные поражения, что

потребовало имплантации большего количества и более длинных стентов, сама процедура характеризовалась меньшей длительностью и меньшим объёмом контрастной нагрузки по сравнению с баллонной ангиопластикой. При этом ротационная атерэктомия достоверно чаще обеспечивала достижение оптимального результата по данным внутрисосудистого ультразвука. Результаты исследования позволяют сделать вывод об эффективности и рациональности использования РА при гемодинамически значимых кальцинированных стенозах – в тех ситуациях, где не удастся получить достаточное раскрытие стента обычными методами баллонизации.

Таблица 6. Особенности и результаты операции в исследуемых группах.

Показатель / Характеристика	Ротационная атерэктомия	Контрольная группа	P-value	OR [CI]
ХОКА	14 (17%)	8 (8%)	0,068	2,43 [0,96; 6,12]
Бифуркационное ЧКВ ПМЖВ	2 (2%)	8 (8%)	0,189	0,29 [0,06; 1,43]
Бифуркационное ЧКВ ОВ	0	3 (3%)	0,255	—
Бифуркационное ЧКВ ПКА	0	1 (1%)	1	—
Лучевой доступ	69 (85%)	99 (99%)	<0,001	0,06 [0,01; 0,46]
6 Fr гайд-катетер	73 (90%)	99 (99%)	0,011	0,09 [0,01; 0,75]
Длина стентированного сегмента	60,9±25,4	49,5±23,7	0,001	—
Количество имплантированных стентов	1,815±0,673	1,647±0,733	0,064	—
Полная функциональная реваскуляризация	17 (21%)	27 (27%)	0,348	0,72 [0,36; 1,44]
Частичная функциональная реваскуляризация	64 (80%)	73 (73%)	0,274	1,48 [0,73; 2,99]
Длительность ЧКВ (мин)	54,9±25,6	82,6±35,1	<0,001	—
Хороший ангиографический результат	81 (100%)	99 (99%)	1	—
Оптимальный результат по данным ВСУЗИ	69 (85%)	62 (61%)	0,004	3,62 [1,74; 7,52]
Совпадение ангиографических и функциональных результатов	51 (72%)	62 (61%)	0,216	1,64 [0,75; 3,6]
Количество контраста (в мл)	162±62	194±65	<0,001	—
Время рентгеноскопии	27,1±21	28,5±13,1	0,054	—

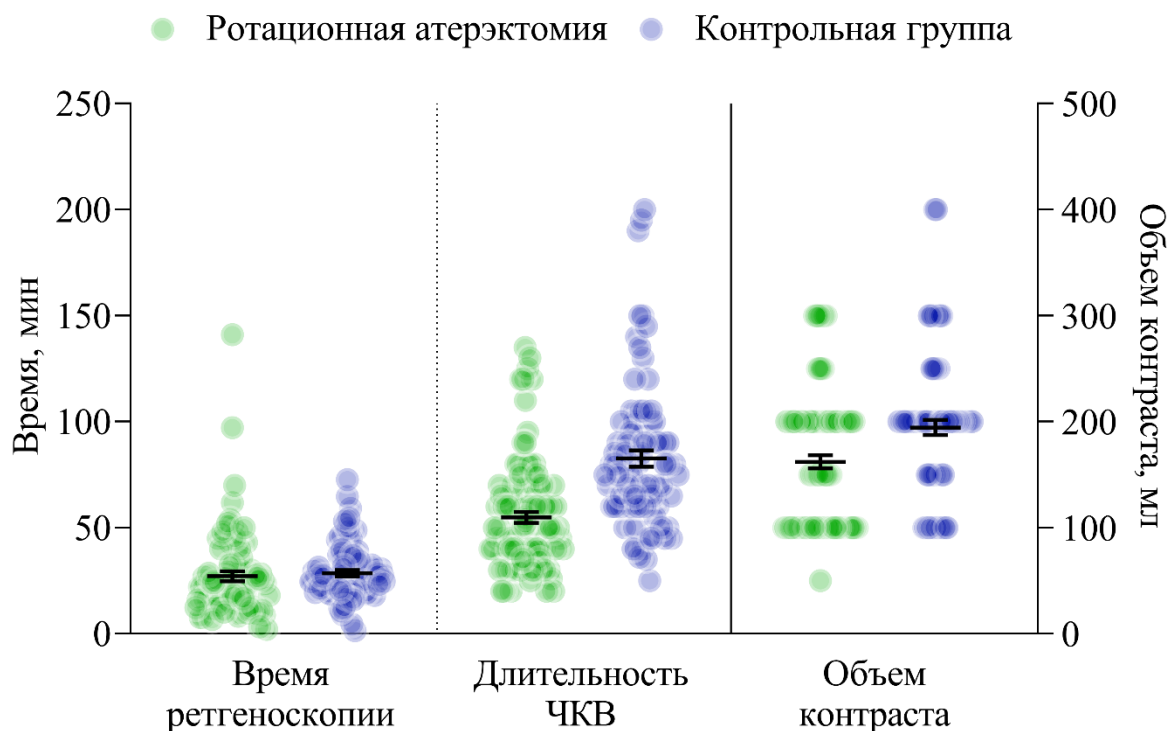


Рисунок 8. Интраоперационные показатели.

По данным ВСУЗИ была оценена динамика площади просвета сосуда в зоне поражения. До вмешательства средняя ППС составляла $2,41 \pm 1,89 \text{ мм}^2$ в группе ротационной атерэктомии и $3,07 \pm 1,86 \text{ мм}^2$ в контрольной группе ($p < 0,001$; разница средних = $0,66 \text{ мм}^2$), что свидетельствует о более выраженном стенозе в основной группе. После проведения вмешательства ППС достоверно увеличилась в обеих группах, достигнув $6,45 \pm 0,41 \text{ мм}^2$ в группе атерэктомии и $6,1 \pm 0,5 \text{ мм}^2$ в контрольной группе ($p < 0,001$; разница средних = $0,32 \text{ мм}^2$). Полученные значения свидетельствуют о более эффективной модификации кальцинированного поражения и достижении значительно большего прироста площади просвета сосуда при использовании ротационной атерэктомии, что отражает её преимущество по данным внутрисосудистой визуализации (таблица 7).

Таблица 7. Оценка ППС в динамике в исследуемых группах.

Точка исследования	Ротационная атерэктомия	Контрольная группа	P-value	Разница средних [ДИ]
До операции	2,41±1,89	3,07±1,86	<0,001	0,66 [0,14; 1,18]
После операции	6,45±0,41	6,1±0,5	<0,001	0,32 [0,19; 0,46]
Оценка динамики	p<0,001 4,18 [3,73; 4,63]	p<0,001 3,25 [2,86; 3,64]	—	

Согласно результатам эхокардиографического исследования, проведённого после выполнения вмешательства, статистически значимых различий между группами по основным показателям систолической функции левого желудочка не выявлено. Средняя фракция выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) составила $55 \pm 9,7\%$ в группе ротационной атерэктомии и $53,3 \pm 11,9\%$ в контрольной группе ($p = 0,481$). Конечный диастолический размер (КДР) составил $5,1 \pm 0,63$ см в основной группе и $5,31 \pm 1,17$ см в контрольной ($p = 0,903$), конечный систолический размер (КСР) — $3,44 \pm 0,75$ см и $3,81 \pm 1,18$ см соответственно ($p = 0,528$). Эти данные подтверждают сопоставимость групп по параметрам глобальной сократительной способности миокарда после вмешательства (таблица 8).

Таблица 8. Оценка данных эхокардиографии после операции.

Показатель	Ротационная атерэктомия	Контрольная группа	P-value
ФВ ЛЖ	55±9,7	53,3±11,9	0,481
КДР	5,1±0,63	5,31±1,17	0,903
КСР	3,41±0,79	4,04±1,15	0,528

Далее проведён сравнительный анализ динамики эхокардиографических показателей (таблица 9) и функционального статуса (таблица 10) в исследуемых группах. Для оценки внутригрупповой динамики использовался W-критерий Уилкоксона, межгрупповые различия определялись с применением U-критерия Манна–Уитни. Степень различий представлена в виде разницы средних

значений с 95% доверительным интервалом. Изменения функционального класса стенокардии оценивались с использованием критерия МакНемара.

Результаты анализа показали, что в обеих группах показатели фракции выброса, конечного диастолического и систолического размеров левого желудочка после вмешательства оставались стабильными. Так, фракция выброса левого желудочка практически не изменилась ни в группе ротационной атерэктомии ($p=0,869$), ни в контрольной группе ($p=0,596$). Аналогично, достоверной динамики по параметрам КДР и КСР не отмечено. Между группами также не было зафиксировано статистически значимых различий в изменении указанных параметров. Эти результаты свидетельствуют о том, что выполнение ротационной атерэктомии не оказывает негативного влияния на сократительную функцию миокарда по сравнению с баллонной ангиопластикой.

Таблица 9. Динамика эхокардиографических данных после операции.

Показатель	Ротационная атерэктомия	Контрольная группа	P-value	Разница средних [ДИ]
До операции				
ФВ ЛЖ	54,8±11,2	53,9±12,6	0,828	-0,9 [-5,2; 3,4]
КДР	4,98±0,7	5,49±1,03	<0,001	0,51 [0,26; 0,76]
КСР	3,42±0,91	3,74±1,15	0,471	0,32 [-0,54; 1,19]
После операции				
ФВ ЛЖ	55±9,7	53,3±11,9	0,482	-1,7 [-5,6; 2,2]
КДР	5,1±0,63	5,31±1,17	0,472	0,21 [-0,61; 1,04]
КСР	3,41±0,79	4,04±1,15	0,204	0,63 [-0,21; 1,48]
Оценка динамики показателей				
ФВ ЛЖ	$p=0,869$ 0,19 [-1,21; 1,58]	$p=0,596$ -0,65 [-2,64; 1,35]	—	
КДР	$p=0,106$ 0,12 [-0,03; 0,27]	$p=0,31$ -0,18 [-0,47; 0,11]		
КСР	$p=0,893$ -0,01 [-0,19; 0,17]	$p=0,075$ 0,3 [-0,08; 0,68]		

До вмешательства частота стенокардии 2 функционального класса и выше была высокой и сопоставимой в обеих группах (86% в группе ротационной атерэктомии и 89% в контрольной группе, $p = 0,626$), что подтверждает исходную клиническую однородность пациентов по выраженности симптомов ишемии. После проведения ЧКВ отмечено достоверное снижение симптомной стенокардии в группах: до 27% в группе РА и до 31% в контрольной ($p = 0,602$). Несмотря на отсутствие статистически значимых различий между группами, снижение частоты симптомной стенокардии в обеих случаях свидетельствует о высокой клинической эффективности вмешательств, при этом наблюдающаяся тенденция в пользу ротационной атерэктомии может иметь клиническую значимость при оценке более крупных когорт или длительном наблюдении.

Таблица 10. Оценка динамики функционального статуса пациентов.

Характеристика	Ротационная атерэктомия	Контрольная группа	P-value	OR [CI]
Стенокардия ФК 2 и выше до операции	70 (86%)	89 (89%)	0,626	0,74 [0,29; 1,91]
Стенокардия ФК 2 и выше после вмешательства	22 (27%)	31 (31%)	0,602	0,84 [0,44; 1,61]
Оценка динамики функционального статуса	<0,001	<0,001	—	

Проведённое исследование показало, что ротационная атерэктомия применялась преимущественно у пациентов с более тяжёлыми поражениями и анатомически сложными кальцинированными стенозами коронарных артерий, что подтверждается меньшей исходной площадью просвета сосуда и большей длиной поражённого сегмента. Несмотря на выраженную анатомическую сложность, вмешательства в группе атерэктомии характеризовались меньшей

длительностью и сниженной контрастной нагрузкой по сравнению с баллонной ангиопластикой. Это отражает высокую технологичность и эффективность метода при адекватной тактике ведения.

Ротационная атерэктомия статистически значимо лучше позволяла получить хороший результат по результатам ВСУЗИ - увеличение диаметра просвета сосуда и правильное раскрытие стента. Выполнение РА несколько не влияло на работу ЛЖ, значения ФВ, КДР, КСР после операции были одинаковыми в обеих группах. Отмечаемая тенденция к более выраженному снижению частоты симптомной стенокардии в группе ротационной атерэктомии может приобретать клиническую значимость при увеличении объёма выборки или в условиях более длительного периода наблюдения.

4.1. Периоперационные осложнения

Анализ периоперационных осложнений (рисунок 9) продемонстрировал благоприятный профиль безопасности ротационной атерэктомии. Госпитальная летальность ни в одной из групп зарегистрирована не была. Вместе с тем, в контрольной группе (использование некомплаентных баллонов) частота БКС в стационарный период оказалась достоверно выше — 10,9% (11 пациентов) против 0% в группе ротационной атерэктомии ($p = 0,0193$; ОШ = 5,74; 95% ДИ: 1,12–45,86). Основным вкладом в структуру этих событий стал перипроцедурный инфаркт миокарда, зарегистрированный у 7,9% пациентов в контрольной группе и ни у одного пациента в основной ($p = 0,043$; ОШ = 4,6; 95% ДИ: 1,07–37,39).

Также в группе ротационной атерэктомии достоверно чаще достигался процедурный успех процедуры — 97,9% против 85,1% в контрольной группе ($p = 0,002$). При этом такие параметры, как повторная реваскуляризация целевого поражения (РЦП), диссекция и перфорация коронарных артерий, статистически не отличались между группами.

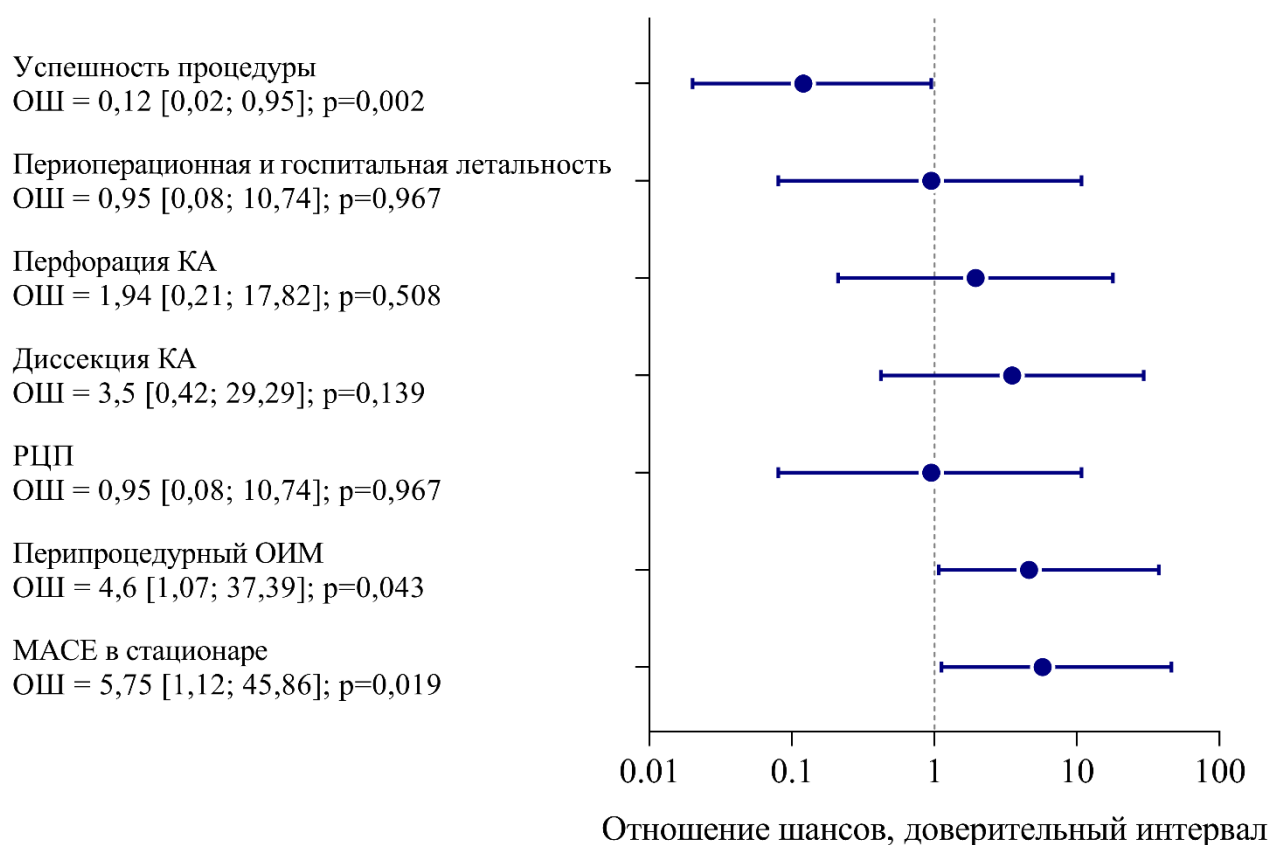


Рисунок 9. Периоперационные осложнения.

Таким образом, полученные данные подтверждают более благоприятный профиль безопасности ротационной атерэктомии в условиях стационара. Отсутствие случаев госпитальной летальности и перипроцедурного инфаркта миокарда в основной группе, а также более высокая частота процедурно успешных вмешательств указывают на надёжность и клиническую обоснованность применения данного метода у пациентов с кальцинированными поражениями. При этом частота таких осложнений, как диссекция, перфорация и необходимость в реваскуляризации целевого поражения, была сопоставима между группами, что подтверждает отсутствие дополнительного риска при использовании РА по сравнению с традиционной баллонной стратегией.

4.2. Клинические наблюдения

Клинический случай 1

Мужчина, 46 лет, поступил в НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева с жалобами на одышку при незначительной физической нагрузке, ощущение учащенного неритмичного сердцебиения, периодически сопровождающиеся дискомфортом в области грудной клетки (без связи с физической нагрузкой). Пациент со множеством факторов риска: курение (более 20 сигарет/день), длительное употребление алкоголя, повышенное артериальное давление, дислипидемия [100].

Из анамнеза: фибрилляция предсердий с 2017 г., в октябре 2020 г. перенес острое нарушение мозгового кровообращения с правосторонним гемипарезом, с полным регрессом неврологической клиники. Тогда же выставлен диагноз постинфарктный кардиосклероз неизвестной давности. Назначена медикаментозная терапия. В ноябре 2021 г. был госпитализирован в больницу по месту жительства с диагнозом: нестабильная стенокардия, острая левожелудочковая недостаточность, отек легких. Проводилась консервативная терапия, выполнена КГ, по данным которой отмечалось многососудистое поражение коронарных артерий. По данным эхокардиографии (Эхо-КГ): конечный диастолический объем (КДО) 116 мл, ФВ 34%, недостаточность трикуспидального клапана (НТК) II–III степени, недостаточность митрального клапана (НМК) III степени. При выписке из стационара было рекомендовано КШ и протезирование МК.

При поступлении в НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева применены инструментальные методы исследования. Электрокардиография (ЭКГ): ритм – фибрилляция предсердий. Частота желудочковых сокращений (ЧЖС) 71–139 уд/мин. Положение электрической оси сердца: нормальное. Желудочковая экстрасистолия.

Рентгенологическое исследование органов грудной клетки: умеренный венозный застой. Размеры сердца увеличены (кардиоторакальный индекс (КТИ) 68%) (рисунок 10).

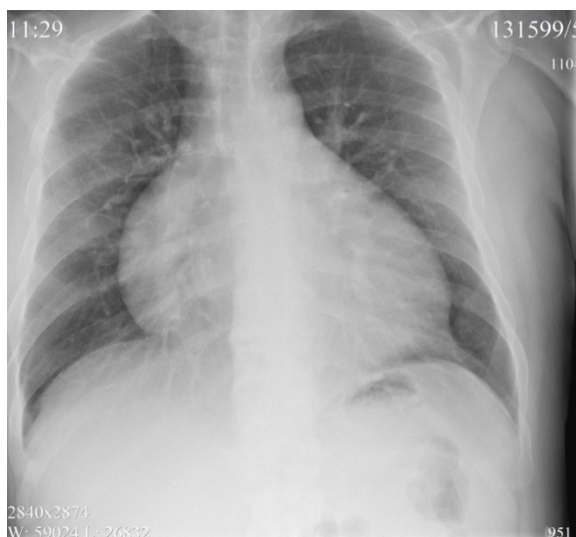


Рисунок 10. Рентгенологическое исследование органов грудной клетки

При трансторакальной ЭхоКГ отмечается снижение сократительной функции ЛЖ – фракция выброса 34%. Гипокинез базальной трети межжелудочковой перегородки (МЖП), боковой стенки на протяжении, средней трети нижней стенки ЛЖ. Недостаточность МК и ТК III степени. Легочная гипертензия (расчетное давление 70 мм рт. ст.). МК – створки подвижные, подтянуты в ЛЖ; фиброзное кольцо 40 мм, регургитация III степени.

Пациенту выполнена селективная коронарография по данной которой отмечается трехсосудистое кальцинированное поражение коронарных артерий: протяженное поражение передней межжелудочковой ветви (ПМЖВ) с максимальным сужением 95% в с/3, окклюзия огибающей ветви (ОВ) в начальном отделе с контрастированием постокклюзионных сегментов по внутрисистемным коллатералям, диффузно измененная правая коронарная артерия (ПКА) с пролонгированным стенозом в с/3 до 85%. Показатель SYNTAX Score – 39 баллов (рисунок 11).

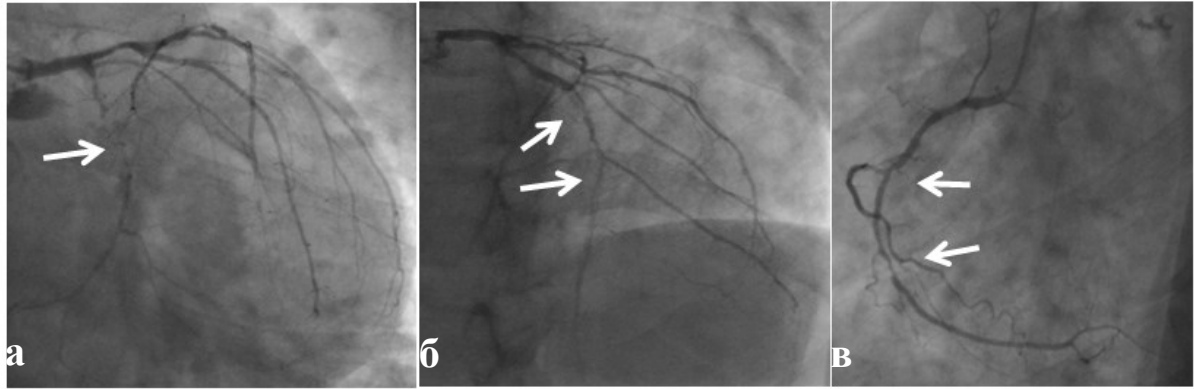


Рисунок 11. Селективная коронарография. Правый тип кровоснабжения миокарда: а – окклюзия ОБ (указана стрелкой); б – протяженное поражение ПМЖВ (указано стрелками); в – диффузное изменение ПКА (указано стрелками)

Учитывая комплексность поражения, кальциноз коронарных артерий, низкую ФВ ЛЖ и поражение клапанного аппарата, мультидисциплинарная команда в составе сердечно-сосудистого хирурга, рентгенэндоваскулярного хирурга и кардиолога приняла решение о коррекции медикаментозной терапии и выполнении этапного эндоваскулярного лечения с применением ротационной атерэктомии, методов интракоронарной физиологии и визуализации, а также последующей коррекции клапанной патологии, так как оперативное вмешательство в объеме протезирования МК и реваскуляризации миокарда методом КШ связано с высоким риском летальных осложнений.

Ввиду наличия у пациента высокого класса стенокардии напряжения и стенокардии покоя первым этапом было решено выполнить ЧКВ ПКА. После ТЛБАП и стентирования ПКА стентом с лекарственным покрытием Resolute Integrity (Medtronic Inc., США) 3,0x38 мм и постдилатации баллонным катетером высокого давления NC Sprinter (Medtronic Inc., США) 3,5x15 мм проведено измерение моментального резерва кровотока (МРК) с целью принятия решения о необходимости стентирования п/3 ПКА. Полученное значение составило 0,97, что дало основание для завершения вмешательства (рисунок 12).

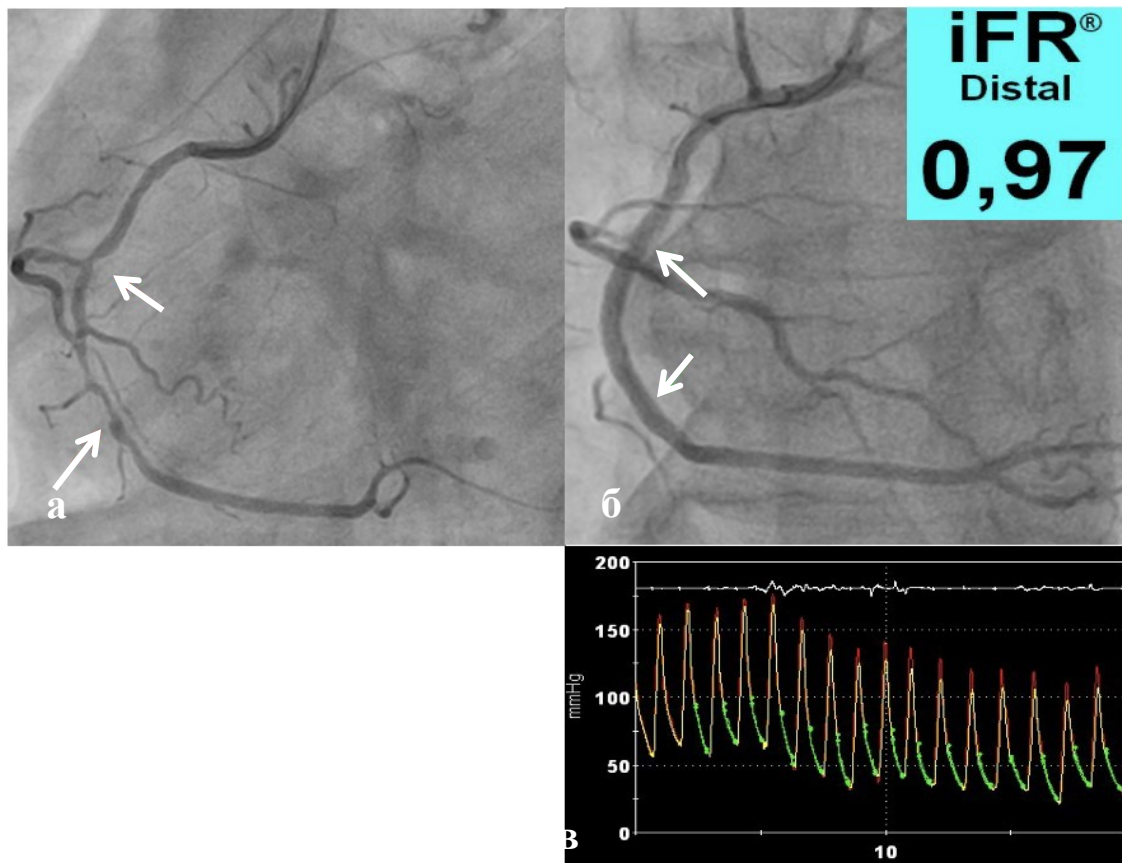


Рисунок 12. Чрескожное коронарное вмешательство. Стентирование правой коронарной артерии: а – диффузное изменение ПКА (указано стрелками); б – КГ после стентирования (стентированный сегмент указан стрелками); в – измерение МРК

Через неделю пациент поступает в центр для проведения второго этапа реваскуляризации, включающего в себя стентирование ПМЖВ с использованием РА.

Трансрадиальным доступом через интродьюсер 6 Fr выполнена катетеризация устья левой коронарной артерии коронарным проводниковым катетером. В дистальные отделы ПМЖВ проведен интракоронарный 0,014' проводник. Через микрокатетер 0,014' проводник заменен на 0,009' RotaWire. Выполнено несколько сессий ротационной атерэктомии п/3-с/3 ПМЖВ буром 1,5 мм со скоростью вращения 180 000 оборотов в минуту, далее 3 сессии – со скоростью 130 000 об/мин (рисунок 13, а). Затем 0,009' проводник через микрокатетер заменен на 0,014'. Выполнена ТЛБАП зоны кальцинированного поражения в п/3 интракоронарным баллонным катетером Sprinter (Medtronic Inc.,

США) 2,5х20 мм. Получен удовлетворительный ангиографический результат. Проведено контрольное ОКТ (рисунок 13, б).

После внутрисосудистых измерений и подбора диаметра эндопротеза выполнено последовательное стентирование с/3 ПМЖВ интракоронарным стентом с лекарственным покрытием Resolute Integrity (Medtronic Inc., США) 2,75х30 мм и п/3 ПМЖВ от устья интракоронарным стентом с лекарственным покрытием Resolute Integrity (Medtronic Inc., США) 3,0х38 мм.

При контрольной ОКТ отмечается недораскрытие ячеек стента в с/3 ПМЖВ (рисунок 14, а). Выполнена оптимизация стентированного сегмента в с/3 интракоронарным баллонным катетером NC Sprinter (Medtronic Inc., США) 3,0х12 мм (24 атм) и в п/3 NC Sprinter (Medtronic Inc., США) 3,5х15 мм (24 атм) (рисунок 14, б). При контрольной КГ – хороший ангиографический результат (рисунок 15). Операция и послеоперационный период прошли без осложнений.

Через 2 мес на фоне хирургического и медикаментозного лечения отмечается положительная динамика. Рентгенологическое исследование органов грудной клетки: легочный рисунок усилен, размеры сердца увеличены (КТИ 53%) (рисунок 16).

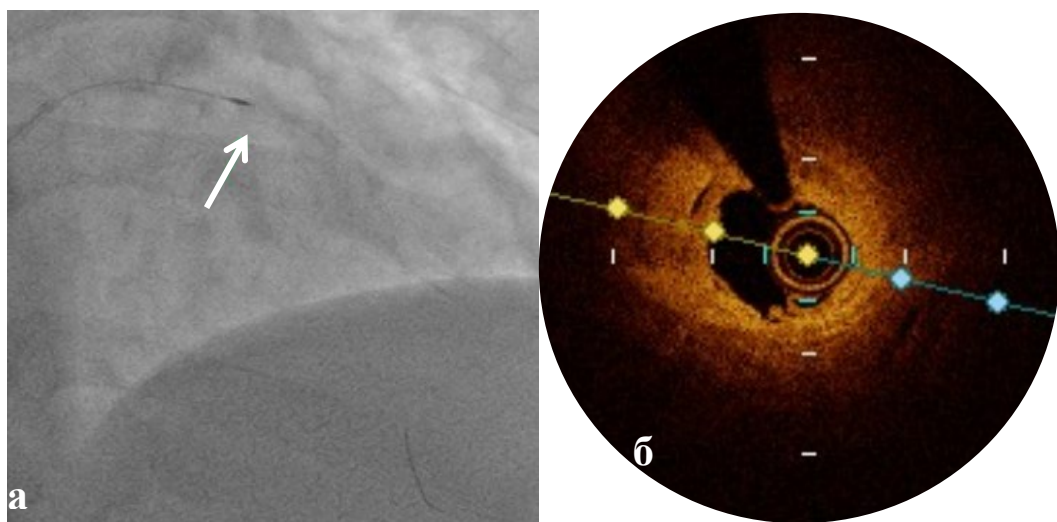


Рисунок 13. Ротационная атерэктомия средней трети ПМЖВ (а) (бур указан стрелкой) и последующая ОКТ (б)

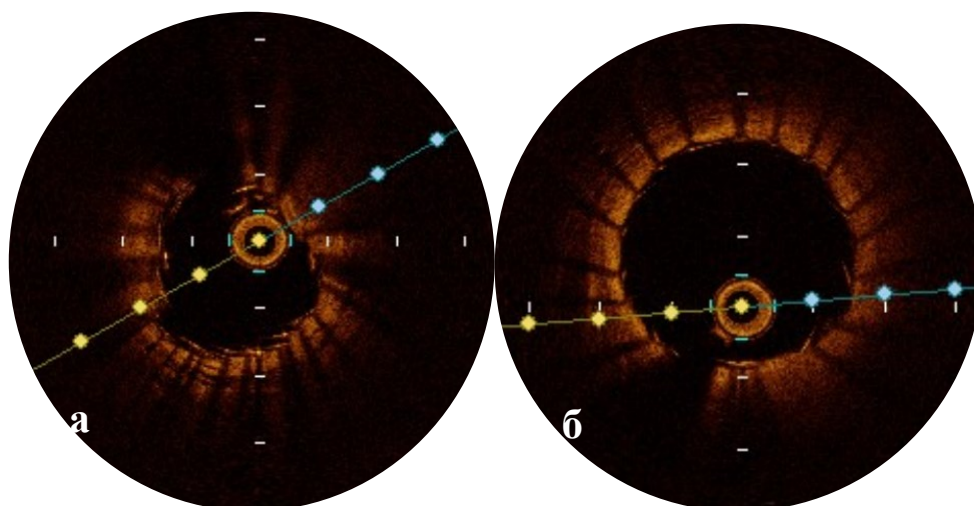


Рисунок 14. Контрольная ОКТ (а, б)

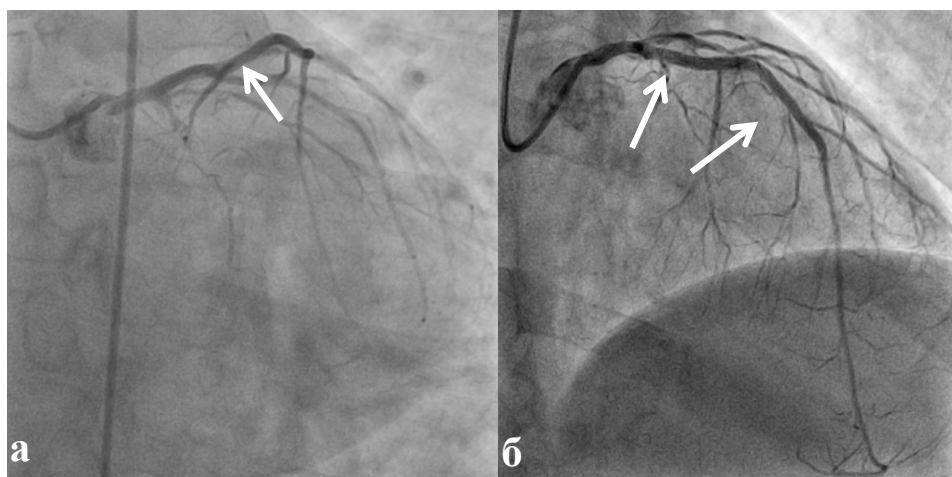


Рисунок 15. Контрольная КГ после выполнения постдилатации (а, б)
(стентированные сегменты указаны стрелками)



Рисунок 16. Рентгенологическое исследование органов грудной клетки

Эхокардиография: сократительная функция ЛЖ по Симпсону – 46%. Недостаточность МК II ст., ТК I ст, расчетное давление в правом желудочке 30–35 мм рт. ст. Гипокинез базальной трети МЖП, боковой стенки, средней трети нижней стенки ЛЖ.

Электрокардиограмма: ритм сердца синусовый. Частота сердечбиений 68 в минуту. Положение электрической оси сердца: нормальное. Зубец Q в отведениях II, III, AVF, V4-V5. Отрицательный Т в отведении I, aVL.

Клинический случай 2

Пациентка, 69 лет, поступила в центр для проведения хирургического лечения по поводу ишемической болезни сердца и тяжёлого митрального порока. При поступлении отмечала одышку при подъёме на 1–2 этаж, эпизоды головокружения, предсинкопальные состояния, периодические отёки нижних конечностей, общую слабость и быструю утомляемость. Артериальное давление в течение последних лет поднималось до 180/100 мм рт.ст., на фоне терапии — стабильное. Отмечен акроцианоз, шумы над верхушкой сердца, признаки сердечной недостаточности. ЭхоКГ выявило митральный стеноз с недостаточностью 3–4 ст., площадь отверстия МК — 0,9 см², регургитация до 4 ст., умеренная гипертрофия ЛЖ, признаки лёгочной гипертензии (ДЛА ~58 мм рт.ст.).

В анамнезе - острое нарушение мозгового кровообращения. В 2023 году при обследовании диагностирован тяжёлый митральный стеноз. В июне 2024 года по результатам коронарографии выявлено выраженное многососудистое поражение. Тогда же было выполнено первое этапное ЧКВ: стентирование ПКА и ВТК. Однако клиническое улучшение не наступило. В сентябре 2024 года пациентка была повторно госпитализирована, второй этап эндоваскулярного лечения.

По данным селективной коронарографии отмечается диффузное изменение ПМЖВ на всём протяжении от устья с максимальным сужением в п/3 95% и на границе с/3-д/3 90% (выраженный кальциноз). ОВ: стеноз в п/3 от устья 60%. ВТК: ранее имплантированный стент проходим, без признаков рестеноза. ПКА: ранее имплантированные стенты в с/3-д/3 проходимы, без признаков значимого рестеноза (рисунок 17).

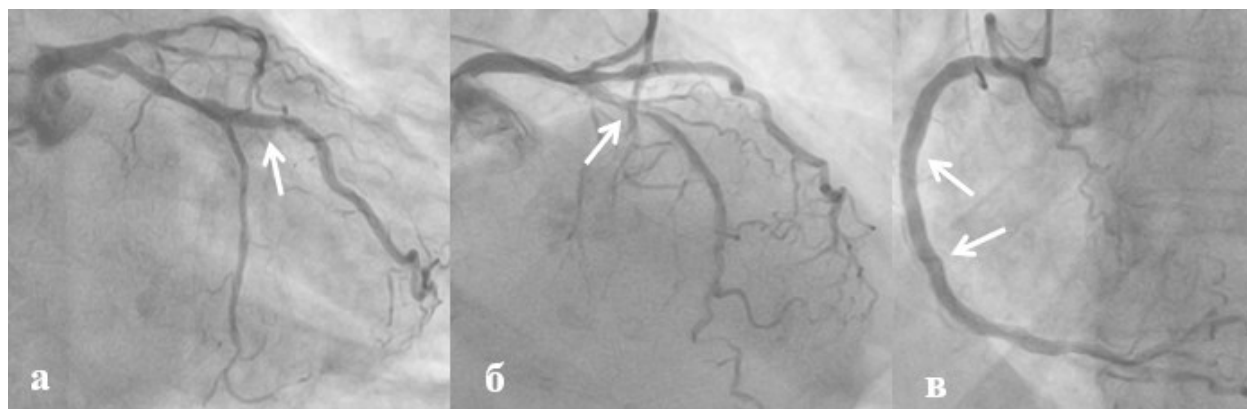


Рисунок 17. Селективная коронарография.

а – стент в ВТК (указан стрелкой); б – протяженное кальцинированное поражение ПМЖВ (указано стрелкой); в – стенты в ПКА (указаны стрелками)

Под местной анестезией произведена пункция правой лучевой артерии. Установлен интродьюсер 6F. Через проводниковый катетер 6F, установленный в устье левой коронарной артерии, коронарный проводник проведён в дистальную треть ПМЖВ.

Выполнено ВСУЗИ с протяжкой из средней трети ПМЖВ с целью оптимального подбора диаметра бура. Далее проводник заменён на специализированный ротационный проводник Rotawire 0.009". Произведена ротационная атерэктомия кальцинированного поражения ПМЖВ с использованием бура диаметром 1,5 мм при скорости вращения 180 000 об/мин (рисунок 18).

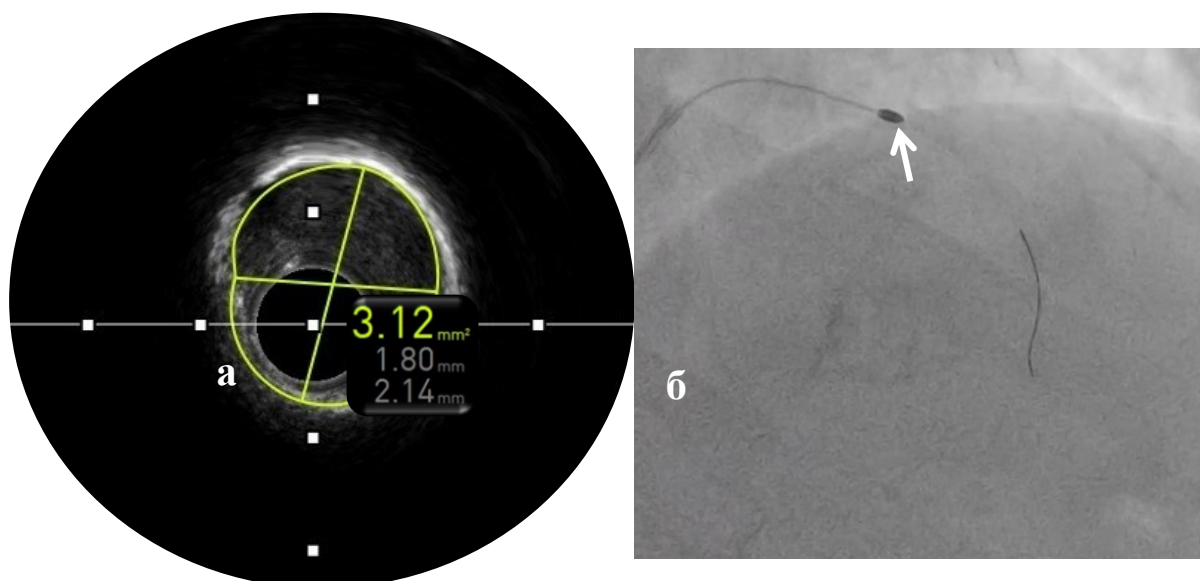


Рисунок 18. Данные ВСУЗИ (а) и ротационная атерэктомия средней трети ПМЖВ буром 1,5мм (б) (бур указан стрелкой).

После этого проводник Rotawire был заменён на стандартный коронарный проводник 0.014". Проведена предилатация поражения баллонным катетером NC 2,75×15 мм при давлении 26 атм. Учитывая выраженную ригидность и кальциноз атеросклеротической бляшки, принято решение о повторной ротационной атерэктомии буром 1,75 мм на скорости вращения 180 000 об/мин (рисунок 19).

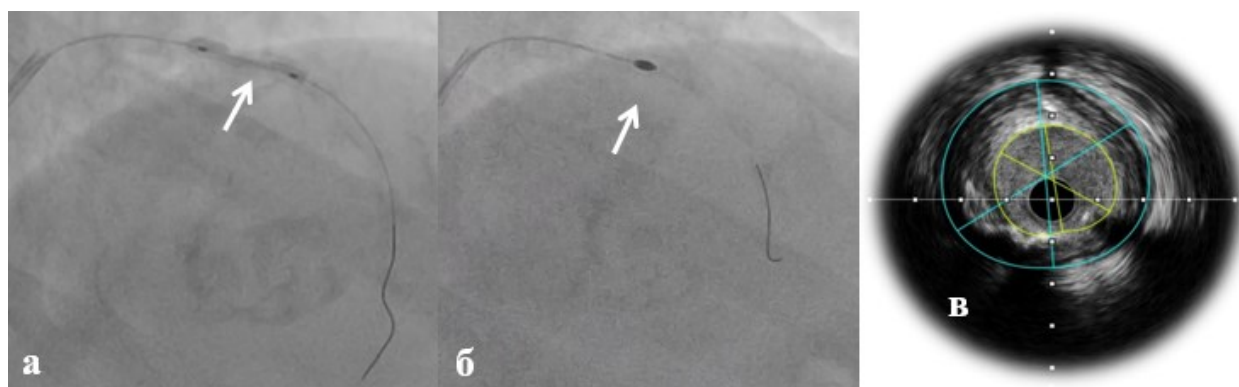


Рисунок 19. Неоптимальное расширение баллона (а) (указано стрелкой), ротационная атерэктомия средней трети ПМЖВ буром 1,75мм (б) (бур указан стрелкой) и данные ВСУЗИ после РА (в).

Затем после дополнительной преддилатации NC-баллоном 2,75×15 мм выполнено стентирование средней трети ПМЖВ стентом Xience 2,75×8 мм с последующей постдилатацией имплантированного стента баллонным катетером NC 3,25×12 мм. Контрольное ВСУЗИ не выявило признаков недораскрытия или мальаппозиции стента. Получен удовлетворительный ангиографический результат (рисунок 20). Операция и послеоперационный период прошли без осложнений.

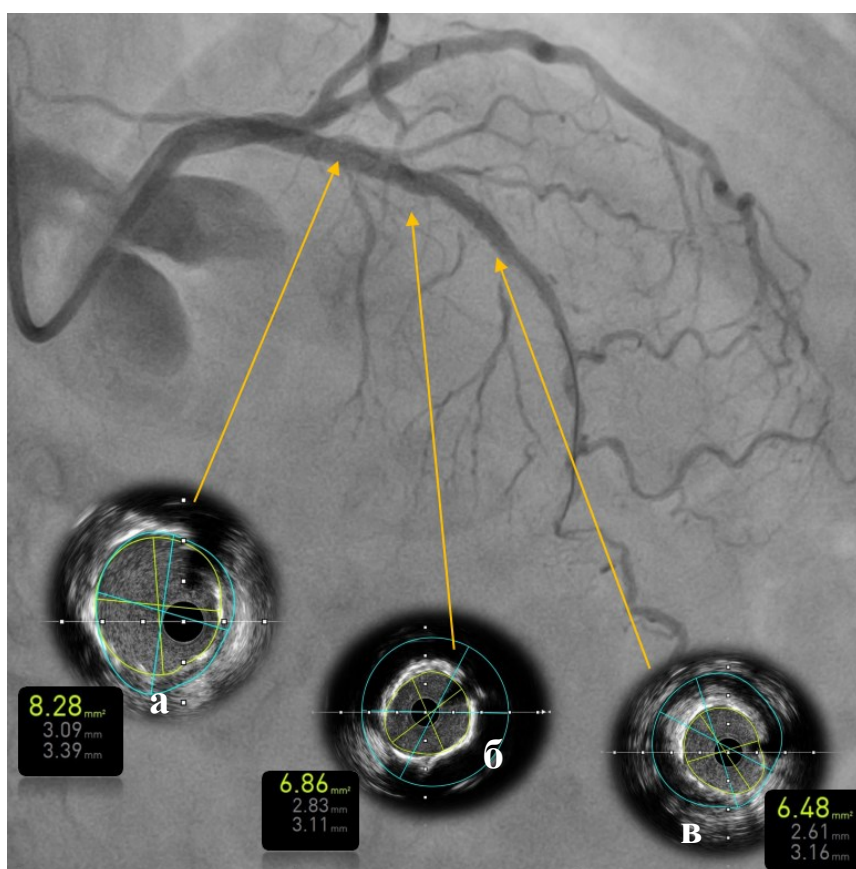


Рисунок 20. Контрольная коронарография и данные ВСУЗИ минимальной площади стентированного сегмента в проксимальной трети ПМЖВ (а) и в средней трети ПМЖВ (б, в).

ГЛАВА 5. ОТДАЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РОТАЦИОННОЙ АТЕРЭКТОМИИ У ПАЦИЕНТОВ С КАЛЬЦИНИРОВАННЫМ ПОРАЖЕНИЕМ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ

В рамках проведённого исследования была выполнена оценка отдалённых клинических исходов у 182 пациента с гемодинамически значимыми кальцинированными поражениями коронарных артерий, которым были выполнены ЧКВ. Все пациенты были разделены на две группы: основную ($n = 81$), где применялась методика РА, и контрольную ($n = 101$), где проводилась подготовка поражения с использованием НКБ [101].

Часть отдалённых результатов настоящего исследования была опубликована ранее на промежуточной когорте меньшего объёма (группа РА — 48 пациентов, период включения 2020–2023 гг.). В настоящей работе анализ выполнен на расширенной финальной выборке (группа РА — 81 пациент, период включения 2020–2024 гг.), что обеспечивает бóльшую статистическую мощность и репрезентативность полученных выводов.

Длительность наблюдения составила в среднем $23,5 \pm 10,3$ месяца. Для оценки выживаемости и частоты неблагоприятных событий использовались методы анализа выживания с построением кривых Каплана–Мейера и лог-ранковым тестом Мантеля–Кокса для оценки статистической значимости различий между группами.

Среди всех пациентов в течение наблюдаемого периода БКС, включающие смерть, инфаркт миокарда, необходимость повторной реваскуляризации целевого сосуда, были зарегистрированы у 6 человек, что составило 3,3%. В основной группе (РА) было зафиксировано 2 случая БКС (2,5% от 81 пациента), при этом среднее время наступления события составило $22,9 \pm 8,7$ месяца. В

контрольной группе отмечено 4 БКС (4% от 101 пациента). Медиана времени наступления события в обеих группах не была достигнута, что указывает на низкую частоту конечных событий в отдалённый период. Сравнительный анализ между группами не выявил статистически значимых различий по частоте и срокам наступления БКС ($p = 0,479$), что может быть связано как с ограниченным числом событий, так и с относительно благоприятным течением послеоперационного периода при корректной тактике ведения пациентов (таблица 11).

Таблица 11. Сравнительный анализ частоты и времени наступления БКС в группах сравнения.

Группа	Среднее время наблюдения, мес	Медиана, процентиля	P-value
Ротационная атерэктомия	22,9±10,6	Не достигнуты	0,479
Контрольная группа	23,7±9,4	Не достигнуты	

В течение периода наблюдения у пациентов с ротационной атерэктомией смертность составила 1 случай – через 20 мес. наблюдений (1,2 %). У пациентов из контрольной группы смерть наблюдалась трижды — на 10-, 18-й и 24-й месяц наблюдения (3 %). Дифференциация показателей общей выживаемости между исследованными группами статистически недостоверна - $p=0,358$, но выявленная тенденция к улучшению в группе РА позволяет предполагать перспективность данного метода лечения для больных с кальцинозом при увеличении сроков наблюдения (Таблица 12).

Таблица 12. Сравнительный анализ частоты и времени наступления летального исхода в группах сравнения.

Группа	Среднее время наблюдения, мес	Медиана, процентиля	P-value
Ротационная атерэктомия	20±7,5	Не достигнуты	0,358
Контрольная группа	23,7±8,3	Не достигнуты	

Для оценки отдалённых исходов были построены кривые Каплана–Мейера, отражающие кумулятивную свободу от БКС и кумулятивную выживаемость в обеих группах (рисунки 21 и 22). На протяжении всего периода наблюдения кривые располагались близко друг к другу и не демонстрировали статистически значимых различий между группами: по свободе от БКС $p = 0,479$, по общей выживаемости $p = 0,358$ (лог-ранговый тест Мантеля-Кокса). Кумулятивная свобода от БКС оставалась высокой в обеих группах, снижаясь к концу периода наблюдения до сопоставимых значений (частота БКС 2,5% в группе ротационной атерэктомии против 4% в контрольной группе); кумулятивная выживаемость также была сопоставимой (летальность 1,2% против 3% соответственно). Обе кривые сохраняли устойчивый характер без резких снижений; расхождение линий на поздних сроках наблюдения обусловлено уменьшением числа пациентов, остающихся под наблюдением, что ограничивает интерпретацию отдалённого участка. Таким образом, отдалённые результаты ротационной атерэктомии оказались сопоставимы с результатами баллонной ангиопластики некомплаентными баллонами по частоте БКС и общей выживаемости.

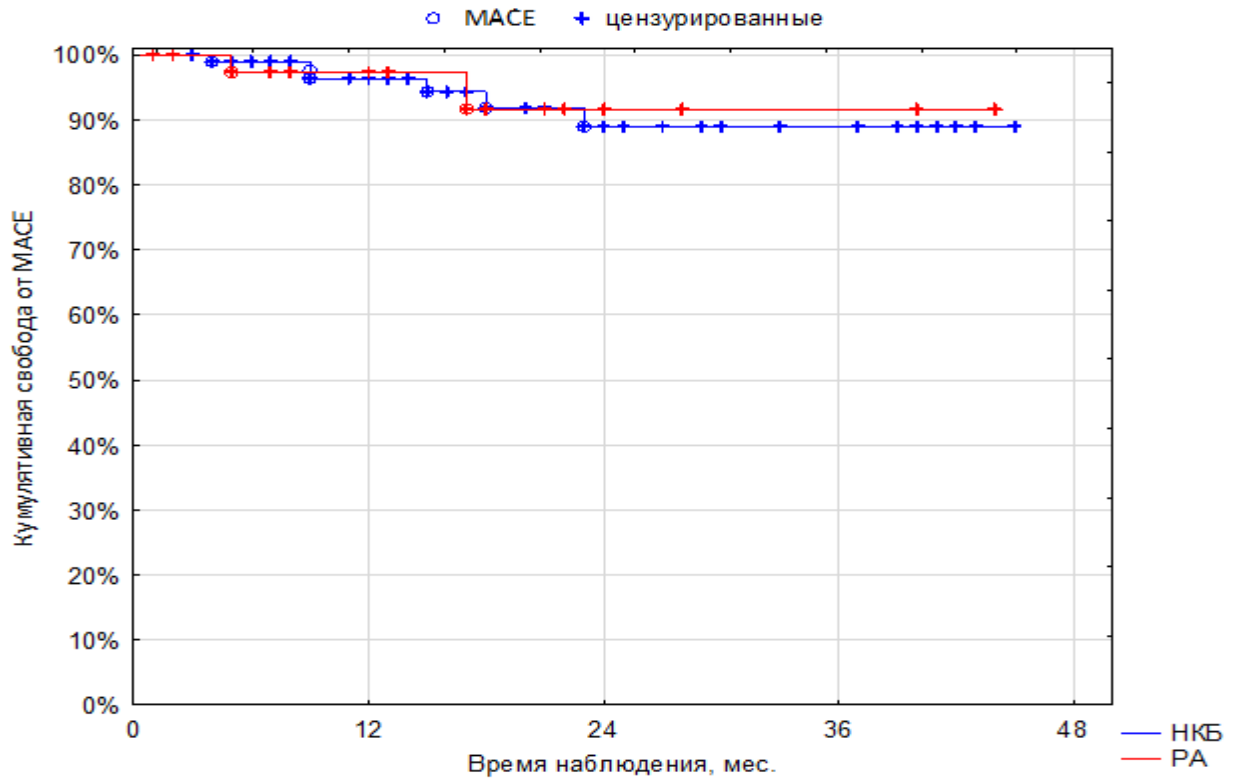


Рисунок 21. Кумулятивная свобода от больших кардиальных событий (БКС) по методу Каплана-Мейера в группах ротационной атерэктомии и контроля.

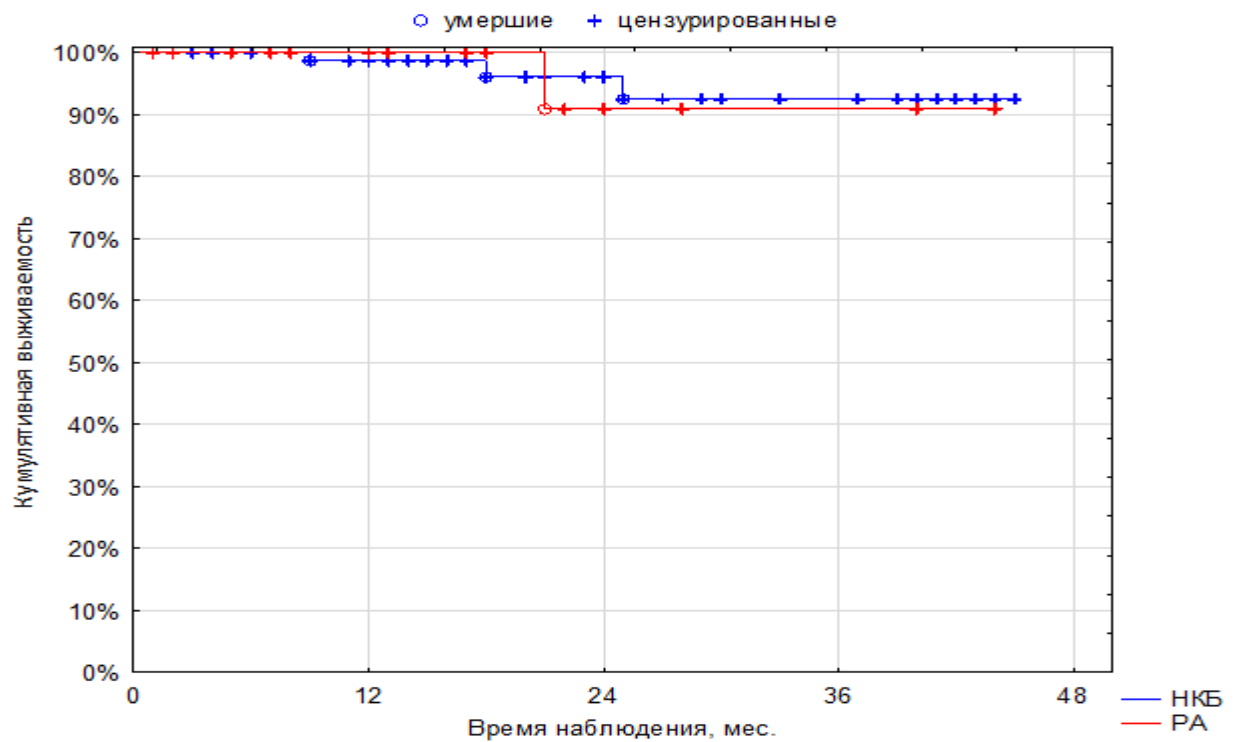


Рисунок 22. Кумулятивная выживаемость по методу Каплана-Мейера в группах ротационной атерэктомии и контроля.

Результаты проведенного исследования показывают эффективность использования метода ротационной атерэктомии при наличии кальциноза - высокие ангиографические и интракоронарные результаты после выполнения манипуляции, хорошие отдаленные клинические результаты. При этом методика ротационной атерэктомии не повышает риск БКС/смертности в период среднего срока наблюдения. Данные совпадают с данными из больших международных исследований - ротационная атерэктомия показывает схожие результаты (иногда и лучшие) в плане отдаленных результатов относительно баллонной предилатации при условии правильного выполнения процедуры и строгом ангиографическом контроле.

Следовательно, делаем вывод - ротационная атерэктомия это не просто безопасный, а ещё и эффективный способ подготовки поражения к имплантации стента с доказанной клинической эффективностью в длительном периоде наблюдения.

ГЛАВА 6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Кальциноз коронарных артерий – это категория поражений, которая с точки зрения технической сложности и прогноза является одной из самой трудной при проведении чрескожного коронарного вмешательства. При наличии кальциноза уменьшается шанс успеха операции и увеличивается риск возникновения перипроцедурных осложнений. Основные технические риски интервенций - трудности с проведением баллонных катетеров, недостаточное раскрытие кальцинатов, множественные диссекции и перфорации сосудов, высокий риск развития тромбоза или рестеноза стента на отдаленном сроке. Все перечисленное обуславливает необходимость использования дополнительных методов подготовки поражения, в том числе РА как наиболее эффективного метода механического воздействия на кальциноз.

В ходе данного исследования использование ротационной атерэктомии обеспечивало высокий уровень процедурного результата 97,9%, в соответствии с крупными международными регистрами и РКИ ROTAXUS, PREPARE-CALC и ROTATE. Применение РА не приводило к росту числа механических осложнений - диссекция и перфорация КА были одинаково часто зарегистрированы у пациентов обеих групп. В то же время частота развития перипроцедуральных крупных сердечно-сосудистых осложнений и ИМ статистически значимо ниже в группе РА – 0% vs 10,9%, 0% vs 7,9%. Это говорит о необходимости правильной подготовки кальцинированных поражений и предупреждения механических повреждений. Кроме того, снижение дозы контраста и времени проведения исследования (54.9 ± 25.6 мин по сравнению с 82.6 ± 35.1 мин при традиционном подходе) - это еще один плюс, тем более для больных ХБП, СД и прочими факторами риска развития контраст-индуцированной нефропатии и иных нежелательных явлений.

Важнейшим условием эффективности РА – это оптимальный размер бура, соотношение бур/сосуд должно быть от 0,5 до 0,7:1 (для предотвращения гиперабляции и развития осложнений). У нас преобладали буры с диаметром 1.25мм; 1.5 мм - диаметр подбирался по данным ангиографии и ВСУЗИ соответственно современным рекомендациям экспертов. Важным аспектом техники проведения РА была кратковременность одного цикла воздействия (не более 15-20 секунд) с обязательной паузой для восстановления кровотока и предотвращения ишемических осложнений. Применение именно такой техники («pecking motion») позволяет избежать значительного теплового воздействия на сосудистую стенку и снизить частоту микроваскулярных осложнений, таких как «slow-flow» и «no-reflow», описанных в литературе.

Особенное внимание мы уделили применению интракоронарной визуализации посредством ВСУЗИ - для измерения оценки расширения просвета сосуда, наименьшего диаметра просвета, а также насколько хорошо стент примыкает к стенке сосуда. Данные ВСУЗИ подтвердили, что РА позволяет добиться оптимального раскрытия стента даже в тяжёлых кальцинированных поражениях: минимальная площадь стента после вмешательства достигла $6,45 \pm 0,41 \text{ мм}^2$ в группе РА, что превышает рекомендованный порог профилактики рестеноза и тромбоза ($\geq 5,5 \text{ мм}^2$). Значимость такого подхода к контролю качества вмешательства подтверждается многочисленными международными исследованиями (Gupta et al., Sakakura et al.) - еще один аспект, говорящий о необходимости использования внутрисосудистой визуализации при работе со сложными кальцинированными поражениями.

Оценка долгосрочных результатов позволила констатировать хорошие клинические результаты у больных после проведения ЧКВ по методике РА. Среднесрочный исход - частота БКС за период наблюдения $23,5 \pm 10,3$ мес - составила 2,5 %. Вышеуказанные данные говорят о стойкости полученного результата. Данные соответствуют результатам зарубежных регистров ROTATE и ROTAXUS, подтверждают целесообразность механической модификации

кальциноза при использовании современных покрытых стентов. Отмечу, что хорошие отдаленные результаты достигнуты за счет соблюдения методики выполнения процедуры, применения внутрисосудистой визуализации на всех этапах операции и индивидуального выбора тактики модификации поражения.

Результаты нашего исследования свидетельствуют о целесообразности дальнейшего распространения ротационной атерэктомии в профильных российских центрах с наличием аппаратуры для интраоперационного ультразвукового контроля и квалифицированного персонала. Реализация данного алгоритма на практике будет способствовать увеличению результативности и безопасности лечения больных с кальцинозом коронарных артерий; повышение эффективности и снижение общей сердечно - сосудистой заболеваемости и смертности населения. Последующее накопление опыта и расширение базы данных пациентов позволят дополнительно уточнить алгоритмы применения ротационной атерэктомии и определить её место среди других методов механической подготовки кальцинированных поражений.

Результаты, полученные в нашем исследовании, согласуются с накопленным международным опытом, представленным в таких крупных исследованиях и регистрах, как ROTAXUS. Так, в исследовании ROTAXUS частота процедурного успеха ротационной атерэктомии достигала 92,5 %, при этом авторы отметили значительное улучшение прохождения баллонов и стентов в зонах тяжёлого кальциноза. У нас такие цифры еще выше (97,9%), это связано со строгим следованием протоколу и более активным использованием внутрисосудистой визуализации. Данные свидетельствуют о целесообразности жесткого контроля выполнения манипуляции по рекомендованным режимам вращения бура, выбору оптимального диаметра последнего и методике проведения кратковременных абляций с периодическими перерывами на восстановление коронарного кровотока.

Важным результатом работы стало снижение количества введенного контрастного вещества и продолжительности процедуры за счет применения

ротационной атерэктомии. Это не менее важно с точки зрения клиники - снижение дозы контраста снижает риск развития КИН, тем более в условиях, распространенных среди населения коморбидностей (сахарный диабет, ХБП, ССЗ). Уменьшение времени проведения исследования является еще одним фактором снижения лучевого воздействия и риска развития тромбозов и ишемии вследствие длительного нахождения больного в катетеризационной лаборатории.

Отдельное внимание мы уделили значимости применения внутрисосудистого метода исследования - ВСУЗИ. Благодаря использованию этого метода удалось достоверно оценить и скорректировать технику выполнения ротационной атерэктомии, определить степень раскрытия стента и наименьшую площадь просвета пораженного участка сосуда. Полученные нами результаты по величине минимальной площади просвета соответствуют международным клиническим рекомендациям (не менее 5,5 мм²). В дополнение к этому применение внутрисосудистой визуализации дало возможность вовремя скорректировать недораскрытие стента/выявить оставшиеся кальцинаты и при необходимости провести повторное вмешательство. Таким образом можно сказать, что внутрисосудистую визуализацию следует включить в алгоритмы проведения ротационной атерэктомии.

Полученные в исследовании отдалённые результаты демонстрируют устойчивость достигнутого клинического эффекта от применения ротационной атерэктомии. За период наблюдения частота БКС была относительно невысокой и сравнимой с лучшими зарубежными результатами. Отдельно стоит подчеркнуть - в отличие от классической баллонной ангиопластики, благодаря механическому модифицированию поражения, удалось обеспечить стабильное достижение полного раскрытия с равномерным прилеганием стента к стенке сосуда, за счет чего был снижен риск нежелательных отдаленных осложнений.

При всех достоинствах ротационной атерэктомии необходимо учитывать ее недостатки - необходимость высокой квалификации оператора и наличия определенного количества выполненных операций. Необходимо учитывать также потенциальные риски, связанные с самой техникой выполнения: возможность замедления кровотока («slow-flow»), риска тромботических осложнений и, в крайне редких случаях, перфораций коронарных артерий. Важно подчеркнуть, что тщательный предварительный отбор пациентов и правильное выполнение процедуры согласно установленным рекомендациям позволяют минимизировать перечисленные риски и повысить безопасность вмешательства.

Безопасность и эффективность ротационной атерэктомии под контролем внутрисосудистого ультразвукового исследования подтверждаются и у наиболее тяжелой категории больных - с мультифокальным атеросклерозом, сниженной фракцией выброса левого желудочка и выраженной сопутствующей патологией [102].

Несмотря на применение подбора по показателю склонности (без попарного сопоставления), между группами сохранялись исходные различия по ряду сопутствующих состояний и ангиографических характеристик (в частности, по частоте пограничных стенозов и поражения правой коронарной артерии), что в условиях нерандомизированного дизайна не позволяет полностью исключить влияние вмешивающихся факторов. Ограничением является также невозможность полной верификации параметров модели propensity score, в связи с чем нельзя исключить остаточное влияние неучтенных при отборе факторов. Тем не менее по доступным материалам вполне определенно можно сказать о том, что ротационная атерэктомия — это эффективное и безопасное лечение тяжелых кальцинированных поражений коронарных артерий, позволяющее улучшить как непосредственные, так и отдаленные результаты ЧКВ у больных высокого риска. В дальнейшем будет проведена регистрация большего количества больных, добавление новых

клинических наблюдений, увеличение длительности периода наблюдения с целью получения более полных данных по оценке клинической эффективности и долгосрочной безопасности ротационной атерэктомии.

Следовательно, выполненное нами исследование обосновывает целесообразность дальнейшего использования метода ротационной атерэктомии для лечения больных с ИБС и выраженным кальцинозом коронарных сосудов у пациентов наших клиник России. На основании изложенных выше фактов и имеющегося опыта работы за рубежом следует сделать вывод о том, что эта технология представляет собой важный элемент актуальной тактики ведения пациентов с тяжелыми поражениями коронарных сосудов и ее целесообразно использовать совместно с внутрисосудистой визуализацией и современными покрытыми препаратами стентами. Продолжение работы в этом направлении позволит улучшить прогноз и снизить сердечно-сосудистую заболеваемость и смертность в России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С 2020 по 2024 год в НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева было проведено проспективное наблюдение 182 пациентов с гемодинамически значимыми кальцинированными поражениями коронарных артерий, которым были выполнены ЧКВ. В исследование вошли пациенты с различной степенью кальциноза, протяжённостью поражения и анатомическими особенностями коронарного русла, что позволило объективно оценить возможности ротационной атерэктомии в реальной клинической практике.

Средний возраст пациентов составил $70,1 \pm 8,2$ года в группе РА и $69,5 \pm 7,9$ года в контрольной группе, при этом среди них преобладали мужчины (61%). Все пациенты были распределены на две группы в зависимости от методики модификации кальцинированных поражений: в первой группе ($n = 81$) выполнялась ротационная атерэктомия, во второй ($n = 101$) использовалась стратегия с применением некомплаентных баллонов.

Всем пациентам проводился комплекс клинико-инструментальных исследований, включающий сбор анамнеза, физикальный осмотр, стандартную ЭКГ, эхокардиографию, а также коронарографию. Для всех вмешательств обязательным компонентом являлась внутрисосудистая визуализация, проводимая с помощью ВСУЗИ. Метод ВСУЗИ применялся как на этапе оценки кальциноза, так и после выполнения модификации для контроля качества раскрытия стента и исключения осложнений.

Выполнение коронарографии производилось в обычных проекциях с оценкой результатов - определялась степень выраженности (выраженный или умеренный) кальциноза. Степень кальциноза оценивалась согласно шкалам из последних международных рекомендаций и модифицирована для условий России.

Методика ротационной атерэктомии включала поэтапную обработку поражённого сегмента с выбором бура в соответствии с диаметром артерии по данным визуализации. На всех этапах вмешательства осуществлялся

мониторинг гемодинамики, ЭКГ и параметров вращения бура. Полученные данные позволяют объективно судить о высокой воспроизводимости и безопасности метода при правильной технике и адекватном подборе больных.

Непосредственные результаты продемонстрировали преимущество ротационной атерэктомии у пациентов с кальцинированными стенозами коронарных артерий. процедура ЧКВ с применением РА характеризовалась высокой эффективностью и безопасностью. Процедурный успех был достигнут у 97,9% пациентов, что статистически достоверно превышало аналогичный показатель в группе НКБ. ВСУЗИ позволил верифицировать более высокую степень раскрытия стента и значительный прирост площади просвета сосуда, что подтверждает качество модификации поражения.

Средняя длительность процедуры и объём контрастного вещества были достоверно выше в контрольной группе, что обусловлено дополнительными манипуляциями при попытках модифицировать кальциноз некомплаентными баллонами. В группе РА была достигнута более высокая частота оптимального ангиографического результата, что напрямую связано с использованием внутрисосудистого ультразвука и поэтапной обработкой кальцинированных сегментов. По данным эхокардиографии в раннем послеоперационном периоде не отмечено статистически значимых различий по основным параметрам между группами.

Анализ периоперационных осложнений подтвердил благоприятный профиль безопасности ротационной атерэктомии. Госпитальная летальность в обеих группах отсутствовала, однако БКС в раннем послеоперационном периоде значительно чаще встречались в контрольной группе - 10,9% против 0% в основной ($p = 0,0193$). Наибольший вклад в структуру осложнений внёс перипроцедурный инфаркт миокарда, зарегистрированный у 7,9% пациентов группы НКБ, тогда как в группе ротационной атерэктомии такие события не отмечены ($p = 0,043$). При этом частота других осложнений, включая диссекции, перфорации и повторную РЦП, была сопоставима между группами, что

дополнительно подчёркивает безопасность предложенной методики при соблюдении технических требований и стандартизированного подхода.

Отдаленные результаты наблюдения подтвердили стабильность и надёжность достигнутого эффекта от применения ротационной атерэктомии. Средняя длительность наблюдения составила $23,5 \pm 10,3$ месяца. В течение этого времени частота БКС составила 3,3% в общей когорте, при этом в группе РА таких событий было зарегистрировано лишь 2,5% случаев, а в контрольной - 4%. Несмотря на то, что различия не достигли статистической значимости ($p = 0,479$), медиана наступления события не была достигнута в обеих группах, что указывает на относительно редкое развитие осложнений в среднесрочной перспективе.

Летальность в отдалённом периоде составила 1,2% в группе ротационной атерэктомии и 3% в контрольной группе. Различия между группами не достигли уровня статистической значимости ($p = 0,358$).

Построенные кривые Каплана-Мейера визуализировали стабильную выживаемость и низкую частоту неблагоприятных событий на протяжении более 20 месяцев. У группы ротационной атерэктомии кривая выживаемости падала медленнее - показатель хорошего прогностического значения для этой техники. Особенно актуально при наличии кальцинированных поражений - от выбора способа модификации зависит анатомический и клинический результат операции.

На основании этого можно сделать вывод о том, что по результатам длительного наблюдения ротационная атерэктомия позволяет добиться эффективной модификации кальция с высокой степенью клинической стабильности (не хуже баллонной техники) при примерно одинаковой частоте осложнений. С учётом высокой частоты достижения оптимального результата по данным внутрисосудистой визуализации, низкой частоты осложнений и положительного влияния на функциональный статус, методика заслуживает широкого внедрения в повседневную клиническую практику при лечении сложных кальцинированных стенозов коронарных артерий.

ВЫВОДЫ

1. Ротационная атерэктомия является высокоэффективной и безопасной методикой подготовки тяжёлых кальцинированных поражений коронарных артерий, обеспечивая процедурный успех чрескожных коронарных вмешательств на уровне 97,9% при отсутствии больших кардиальных событий и перипроцедурного инфаркта миокарда в госпитальном периоде, уменьшении объёма применяемого контрастного вещества и сокращении общей продолжительности процедуры, что особенно значимо у пациентов высокого риска.
2. На основании полученных данных разработан алгоритм применения ротационной атерэктомии у пациентов с кальцинированными поражениями коронарных артерий, включающий ангиографические критерии отбора (показания к ротационной атерэктомии), выбор диаметра бура в зависимости от анатомических условий и обязательный внутрисосудистый ультразвуковой контроль результата, что повышает воспроизводимость и безопасность вмешательства.
3. Внутрисосудистое ультразвуковое исследование является обязательным элементом обеспечения безопасности и эффективности ротационной атерэктомии. Оно позволяет контролировать степень модификации поражения с достижением площади просвета в зоне стентирования $6,45 \text{ мм}^2$, превышающей рекомендованный порог $\geq 5,5 \text{ мм}^2$, своевременно устранять недораскрытие стента и обеспечивать оптимальное прилегание, снижая риск тромбоза и рестеноза.
4. Отдаленные исходы после выполнения ротационной атерэктомии при кальцинированных поражениях коронарных артерий характеризуются низкой частотой крупных сердечно-сосудистых событий (2,5%), что свидетельствует о клинической значимости метода и устойчивости достигнутого лечебного эффекта.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Ротационная атерэктомия должна применяться в качестве приоритетной методики подготовки поражений - в сравнении с предилатацией некомплаентными баллонными катетерами – у пациентов с выраженным концентрическим кальцинозом коронарных артерий, особенно при невозможности адекватного раскрытия баллонов и проведения стентов через зоны стеноза.
2. Выбор диаметра бура должен осуществляться с учетом данных ангиографии и ВСУЗИ, оптимальное соотношение диаметра бура к диаметру артерии должно составлять 0,5-0,7:1. При этом рекомендуется использовать буры диаметром от 1,25 до 1,5 мм в большинстве клинических случаев.
3. В процессе выполнения ротационной атерэктомии рекомендуется применять технику коротких проходов («rocking motion») продолжительностью не более 15-20 секунд, с обязательными интервалами между сериями для восстановления коронарного кровотока и минимизации осложнений.
4. Необходимо применять ВСУЗИ на каждом этапе вмешательства для оценки качества модификации кальцинированного поражения и степени раскрытия стента. Целевые значения минимальной площади стента после завершения процедуры должны составлять не менее 5,5 мм² для обеспечения оптимального долгосрочного результата. Рекомендуется минимизировать объем используемого контрастного вещества путем сокращения количества ангиографических серий и максимального применения внутрисосудистой визуализации, особенно у пациентов с высоким риском нефропатии.
5. Результаты проведенного исследования рекомендуется использовать при разработке локальных клинических протоколов и стандартов оказания медицинской помощи пациентам с кальцинированными поражениями коронарных артерий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сердечно-сосудистая хирургия – 2022. Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения / Л. А. Бокерия, Е. Б. Милюевская, В. В. Прянишников, И. А. Юрлов. – М.: НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева Минздрава России, 2023. – 344 с.
2. Stary H. C. Natural history and histological classification of atherosclerotic lesions - an update // *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* – 2000. – Vol. 20. – P. 1177-1178.
3. Virmani R., Kolodgie F. D., Burke A. P., Farb A., Schwartz S. M. Lessons from sudden coronary death: a comprehensive morphological classification scheme for atherosclerotic lesions // *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* – 2000. – Vol. 20. – P. 1262-1275.
4. Madhavan M. V., Tarigopula M., Mintz G. S. et al. Coronary artery calcification: pathogenesis and prognostic implications // *J Am Coll Cardiol.* – 2014. – Vol. 63. – P. 1703-1714.
5. Wong N. D., Kouwabunpat D., Vo A. N. et al. Coronary calcium and atherosclerosis by ultrafast computed tomography in asymptomatic men and women: relation to age and risk factors // *Am Heart J.* – 1994. – Vol. 127. – P. 422-430.
6. Wang L., Jerosch-Herold M., Jacobs DR Jr. et al. Coronary artery calcification and myocardial perfusion in asymptomatic adults: the MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis) // *J Am Coll Cardiol.* – 2006. – Vol. 48. – P. 1018-1026.
7. Kalra S. S., Shanahan C. M. Vascular calcification and hypertension: cause and effect // *Ann Med.* – 2012. – Vol. 44, Suppl. 1. – P. S85-S92.
8. Петросян, К. В., Гончарова Е. С., Абросимов А. В. Возможности внутрисосудистой визуализации в оптимизации результатов чрескожных коронарных вмешательств у пациентов со сложной морфологией поражения коронарного русла // *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия.* – 2018. – Т. 60, № 6. – С. 444-452. – DOI 10.24022/0236-2791-2018-60-6-444-452.

9. Петросян, К. В., Абросимов А. В., Гончарова Е. С. Использование внутрисосудистой оптической когерентной томографии при чрескожных коронарных вмешательствах на стволе левой коронарной артерии: клинические примеры // Креативная кардиология. – 2021. – Т. 15, № 3. – С. 396-406. – DOI 10.24022/1997-3187-2021-15-3-396-406.
10. Agatston A. S., Janowitz W. R., Hildner F. J. et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography //J Am Coll Cardiol. – 1990. – Vol. 15. – P. 827-832.
11. Tuzcu E. M., Berkalp B., De Franco A. C. et al. The dilemma of diagnosing coronary calcification: angiography versus intravascular ultrasound //J Am Coll Cardiol. – 1996. – Vol. 27. – P. 832-838.
12. Popma J., Bashore T. Qualitative and quantitative angiography // Textbook of Interventional Cardiology / ed. E. Topol. – Philadelphia, PA: WB Saunders, 1994. – P. 1052-1068.
13. Kawasaki M., Bouma B. E., Bressner J. et al. Diagnostic accuracy of optical coherence tomography and integrated backscatter intravascular ultrasound images for tissue characterization of human coronary plaques //J Am Coll Cardiol. – 2006. – Vol. 48. – P. 81-88.
14. Kwon T. G., Seo Y. H., Lee C. S. et al. Discrepancy of calcium detection between gray scale intravascular ultrasound and spectral analysis of radiofrequency data //Int J Cardiol. – 2013. – Vol. 167. – P. 2611-2616.
15. Xu Y., Mintz G. S., Tam A. et al. Prevalence, distribution, predictors, and outcomes of patients with calcified nodules in native coronary arteries: a 3-vessel intravascular ultrasound analysis from Providing Regional Observations to Study Predictors of Events in the Coronary Tree (PROSPECT) //Circulation. – 2012. – Vol. 126. – P. 537-545.
16. Stone G. W., Maehara A., Lansky A. J. et al. A prospective natural history study of coronary atherosclerosis //N Engl J Med. – 2011. – Vol. 364. – P. 226-235.

17. Shimizu T., Maehara A., Farah T. et al. Relationship between coronary artery calcification, high-risk “vulnerable plaque” characteristics, and future adverse events: the PROSPECT study //J Am Coll Cardiol. – 2012. – Vol. 59. – P. E2102.
18. Kume T., Okura H., Kawamoto T. et al. Assessment of the coronary calcification by optical coherence tomography //EuroIntervention. – 2011. – Vol. 6. – P. 768-772.
19. Tanenbaum S. R., Kondos G. T., Veselik K. E. et al. Detection of calcific deposits in coronary arteries by ultrafast computed tomography and correlation with angiography //Am J Cardiol. – 1989. – Vol. 63. – P. 870-872.
20. Shaw L. J., Raggi P., Schisterman E. et al. Prognostic value of cardiac risk factors and coronary artery calcium screening for all-cause mortality //Radiology. – 2003. – Vol. 228. – P. 826-833.
21. Valenti V., Ó Hartaigh B., Heo R. et al. A 15-year warranty period for asymptomatic individuals without coronary artery calcium: a prospective Follow-Up of 9,715 individuals //JACC Cardiovasc Imaging. – 2015. – Vol. 8. – P. 900-909.
22. Shaw L. J., Giambrone A. E., Blaha M. J. et al. Long-term prognosis after coronary artery calcification testing in asymptomatic patients: a cohort study //Ann Intern Med. – 2015. – Vol. 163. – P. 14-21.
23. Greenland P., LaBree L., Azen S. P., Doherty T. M., Detrano R. C. Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals //JAMA. – 2004. – Vol. 291. – P. 210-215.
24. Vliegenthart R., Oudkerk M., Hofman A. et al. Coronary calcification improves cardiovascular risk prediction in the elderly //Circulation. – 2005. – Vol. 112. – P. 572-577.
25. Sianos G., Morel M. A., Kappetein A. P., Morice M. C., Colombo A., Dawkins K. et al. The SYNTAX Score: an angiographic tool grading the complexity of coronary artery disease //EuroIntervention. – 2005. – Vol. 1. – P. 219-227.
26. Farooq V., van Klaveren D., Steyerberg E. W., Meliga E., Vergouwe Y., Chieffo A. et al. Anatomical and clinical characteristics to guide decision making between coronary artery bypass surgery and percutaneous coronary intervention for individual

patients: development and validation of SYNTAX score II //Lancet. – 2013. – Vol. 381. – P. 639-650.

27. Levine G. N., Bates E. R., Blankenship J. C., Bailey S. R., Bittl J. A., Cercek B., Chambers C. E., Ellis S. G., Guyton R. A., Hollenberg S. M., Khot U. N., Lange R. A., Mauri L., Mehran R., Moussa I. D., Mukherjee D., Nallamothu B. K., Ting H. H. 2011 ACCF/AHA/SCAI guideline for percutaneous coronary intervention: a report of the American College of Cardiology Foundation/ American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions //Circulation. – 2011. – Vol. 124. – P. e574-e651.

28. Osswald B., Blackstone E., Tochtermann U. et al. Does the completeness of revascularization affect early survival after coronary artery bypass grafting in elderly patients //Eur J Cardiothorac Surg. – 2001. – Vol. 20. – P. 120-126.

29. Nakayama Y., Sakata R., Ura M., Miyamoto T. A. Coronary artery bypass grafting in dialysis patients //Ann Thorac Surg. – 1999. – Vol. 68. – P. 1257-1261.

30. Castagna M. T., Mintz G. S., Ohlmann P. et al. Incidence, location, magnitude, and clinical correlates of saphenous vein graft calcification: an intravascular ultrasound and angiographic study //Circulation. – 2005. – Vol. 111. – P. 1148-1152.

31. Gruentzig A. R., Myler R. K., Hanna E. S., Turina M. I. Coronary transluminal angioplasty //Circulation. – 1977. – Vol. 56, Suppl. 3. – P. III-84.

32. Sigwart U., Puel J., Mircovitch V., Joffre F., Kappenberger L. Intravascular stents to prevent occlusion and restenosis after transluminal angioplasty //N Engl J Med. – 1987. – Vol. 316. – no. 12. – P. 701-706.

33. Morice M. C., Serruys P. W., Sousa J. E., Fajadet J., Ban Hayashi E., Perin M. et al. RAVEL Study Group. Randomized Study with the Sirolimus-Coated Bx Velocity Balloon- Expandable Stent in the Treatment of Patients with de Novo Native Coronary Artery Lesions. A randomized comparison of a sirolimus-eluting stent with a standard stent for coronary revascularization //Surg Neurol. – 2003. – Vol. 59. – no. 3. – P. 146-147.

34. Grube E., Silber S., Hauptmann K. E., Mueller R., Buellesfeld L., Gerckens U. et al. TAXUS I: six and twelve-month results from a randomized, double-blind trial on a slow-release paclitaxel-eluting stent for de novo coronary lesions //N Engl J Med. – 2008. – Vol. 358. – no. 4. – P. 405-407.
35. Kedhi E., Joesoef K. S., McFadden E., Wassing J., Van Mieghem C., Goedhart D. et al. Second-generation everolimus-eluting and paclitaxel-eluting stents in real-life practice (COMPARE): a randomized trial //Lancet. – 2010. – Vol. 375. – no. 9710. – P. 201-209.
36. Semiys P. W., Silber S., Garg S., Van Geuns R. J., Richardt G., Buszman P. A. et al. Comparison of zotarolimus-eluting and everolimus-eluting coronary stents //N Engl J Med. – 2010. – Vol. 363. – no. 2. – P. 136-146.
37. Wilensky R. L., Selzer F., Johnston J., Laskey W. K., Klugherz B. D., Block P. et al. Relation of percutaneous coronary intervention of complex lesions to clinical outcomes (from the NHLBI Dynamic Registry) //Am J Cardiol. – 2002. – Vol. 90. – P. 216-221.
38. Hong M. K., Chuang Y. C., Prunka N., Satler L. F. Predictors of early and late cardiac events in patients undergoing saphenous vein graft angioplasty with PTCA and new device modalities //Circulation. – 1993. – Vol. 88. – P. I-601.
39. Goldberg S. L., Hall P., Almagor Y., Maiello L. Intravascular ultrasound guided rotational atherectomy of fibro-calcific plaque prior to intra-coronary deployment of Palmaz-Schatz stents //J Am Coll Cardiol. – 1994. – Vol. 24. – no. 2. – P. 290A.
40. Kimura T., Tamura T., Yokoi H., Nobuyoshi M. Long-Term Clinical and Angiographic Follow-Up After Placement of Palmaz-Schatz Coronary Stent: A Single Center Experience //Journal of Interventional Cardiology. – 1994. – Vol. 7, no. 2. – P. 129-140.
41. Komiyama N., Stone G. W., Alderman E. L. et al. Relative stent expansion is dependent upon target segment calcification: an intravascular ultrasound assessment //Circulation. – 1996. – Vol. 94. – P. I-262.

42. Fujii K., Carlier S. G., Mintz G. S., Yang Y. M., Moussa I., Weisz G. et al. Stent underexpansion and residual reference segment stenosis are related to stent thrombosis after sirolimus-eluting stent implantation //J Am Coll Cardiol. – 2005. – Vol. 45. – P. 995-998.
43. Sonoda S., Morino Y., Ako J. et al. Impact of final stent dimensions on long-term results following sirolimus-eluting stent implantation: serial intravascular ultrasound analysis from the sirius trial //J Am Coll Cardiol. – 2004. – Vol. 43. – P. 1959-1963.
44. Moses J. W., Leon M. B., Popma J. J., Fitzgerald P. J., Holmes D. R., O'Shaughnessy C. et al. Sirolimus-eluting stents versus standard stents in patients with stenosis in a native coronary artery //N Engl J Med. – 2003. – Vol. 349. – P. 1315-1323.
45. Sharma S. K., Israel D. H., Kamean J. L., Bodian C. A., Ambrose J. A. Clinical, angiographic, and procedural determinants of major and minor coronary dissection during angioplasty //Am Heart J. – 1993. – Vol. 126. – P. 39-47.
46. Рентгенэндоваскулярная хирургия : национальное руководство : в 4 т. Т. 2. Ишемическая болезнь сердца / под ред. Б. Г. Алеяна. — Москва : Литтерра, 2017. — 792 с.
47. Ahn S. S., Auth D., Marcus D. R., Moore W. S. Removal of focal atheromatous lesions by angioscopically guided high-speed rotary atherectomy. Preliminary experimental observations //J Vasc Surg. – 1988. – Vol. 7. – P. 292-300.
48. Karvouni E., Stankovic G., Albiero R., Takagi T., Corvaja N., Vaghetti M., Di Mario C., Colombo A. Cutting balloon angioplasty for treatment of calcified coronary lesions //Catheter Cardiovasc Interv. – 2001. – Vol. 54. – P. 473-481.
49. Abdel-Wahab M., Toelg R., Byrne R. A. et al. High-Speed Rotational Atherectomy Versus Modified Balloons Before Drug-Eluting Stent Implantation in Severely Calcified Coronary Lesions: The Randomized PREPARE-CALC Trial //Circ Cardiovasc Interv. – 2018. – Sep 24. – [Epub ahead of print].

50. Parikh K., Chandra P., Choksi N., Khanna P., Chambers J. Safety and feasibility of orbital atherectomy for the treatment of calcified coronary lesions: the ORBIT I trial //Catheter Cardiovasc Interv. – 2013. – Vol. 81. – P. 1134-1139.
51. Hodgson J. M., Stone G. W., Lincoff A. M., Klein L., Walpole H., Bottner R. et al. Late stent thrombosis: considerations and practical advice for the use of drug-eluting stents: a report from the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions Drug-Eluting Stent Task Force //Catheter Cardiovasc Interv. – 2007. – Vol. 69. – P. 327-333.
52. Lasala J. M., Reisman M. Rotablator plus stent therapy (rotastent) //Curr Opin Cardiol. – 1998. – Vol. 13. – P. 240-247.
53. Dill T., Dietz U., Hamm C. W. et al. A randomized comparison of balloon angioplasty versus rotational atherectomy in complex coronary lesions (COBRA study) //Eur Heart J. – 2000. – Vol. 21. – P. 1759-1766.
54. Stone G. W., Ellis S. G., Cox D. A., for the TAXUS-IV Investigators et al. A polymer-based, paclitaxel-eluting stent in patients with coronary artery disease //N Engl J Med. – 2004. – Vol. 350. – P. 221-231.
55. Abdel-Wahab M., Baev R., Dieker P., Kassner G., Khattab A. A., Toelg R. et al. Long-term clinical outcome of rotational atherectomy followed by drug-eluting stent implantation in complex calcified coronary lesions //Catheter Cardiovasc Interv. – 2013. – Vol. 81. – P. 285-291.
56. Rathore S., Matsuo H., Terashima M., Kinoshita Y., Kimura M., Tsuchikane E. et al. Rotational atherectomy for fibrocalcific coronary artery disease in drug eluting stent era: Procedural outcomes and angiographic follow-up results //Catheter Cardiovasc Interv. – 2010. – Vol. 75. – P. 919-927.
57. Abdel-Wahab M., Richardt G., Joachim Buttner H., Toelg R., Geist V., Meinertz T. et al. High-speed rotational atherectomy before paclitaxel-eluting stent implantation in complex calcified coronary lesions: The randomized ROTAXUS (Rotational Atherectomy Prior to Taxus Stent Treatment for Complex Native Coronary Artery Disease) trial //JACC Cardiovasc Interv. – 2013. – Vol. 6. – P. 10-19.

58. Henneke K. H., Regar E., Konig A. et al. Impact of target lesion calcification on coronary stent expansion after rotational atherectomy //Am Heart J. – 1999. – Vol. 137. – P. 93-99.
59. Reisman M., Speck S., Petersen J. L., Westcott R. J., Fei R., Harms V., Bogosian S., Dillard D., Shuman B. The impact of reopro or lower speeds on platelet aggregation during rotational atherectomy //J Am Coll Cardiol. – 1998. – Vol. 31. – P. 455A.
60. Spears J. R., Reyes V. P., Wynne J., Fromm B. S., Sinofsky E. L., Andrus S., Sinclair I. N., Hopkins B. E., Schwartz L., Aldridge H. E. Percutaneous coronary laser balloon angioplasty: initial results of a multicenter experience //J Am Coll Cardiol. – 1990. – Vol. 16. – P. 293-303.
61. Gader A. M., al-Mashhadani S. A., al-Harthy S. S. Direct activation of platelets by heat is the possible trigger of the coagulopathy of heat stroke //Br J Haematol. – 1990. – Vol. 74. – P. 86-92.
62. Post M. J., de Graaf-Bos A. N., van Zanten H. G., de Groot P. G., Sixma J. J., Borst C. Thrombogenicity of the human arterial wall after interventional thermal injury //J Vasc Res. – 1996. – Vol. 33. – P. 156-163.
63. Петросян, К. В., Абросимов А. В., Караев А. В., Гурдзибеев А. Б. Ротационная атерэктомия коронарных артерий: современные тенденции // Креативная кардиология. – 2022. – Т. 16, № 3. – С. 313-325. – DOI 10.24022/1997-3187-2022-16-3-313-325.
64. Staab M. E., Srivatsa S. S., Lerman A., Sangiorgi G., Jeong M. H., Edwards W. D., Holmes D. R., Jr, Schwartz R. S. Arterial remodeling after experimental percutaneous injury is highly dependent on adventitial injury and histopathology //Int J Cardiol. – 1997. – Vol. 58. – P. 31-40.
65. Kiesz R. S., Rozek M. M., Ebersole D. G., Mego D. M., Chang C. W., Chilton R. L. Novel approach to rotational atherectomy results in low restenosis rates in long, calcified lesions: long-term results of the San Antonio Rotablator Study (SARS) //Catheter Cardiovasc Interv. – 1999. – Vol. 48. – P. 48-53.

66. Safian R. D., Feldman T., Muller D. W. et al. Coronary Angioplasty and Rotablator Atherectomy Trial (CARAT): immediate and late results of a prospective multicenter randomized trial //Catheter Cardiovasc Interv. – 2001. – Vol. 53. – P. 213-220.
67. Whitlow P. L., Bass T. A., Kipperman R. M. et al. Results of the Study to Determine Rotablator and Transluminal Angioplasty Strategy (STRATAS) //Am J Cardiol. – 2001. – Vol. 87. – P. 699-705.
68. Kawashima H., Kozuma K., Tanaka N. et al. Selection of lesion modification devices for calcified coronary lesions based on calcium characterization //Clin Res Cardiol. – 2022. – Vol. 111, no. 12. – P. 1425-1436.
69. Khattab A. A., Hamm C. W., Senges J., for the German Cypher Registry et al. Prognostic value of the modified American College of Cardiology/American Heart Association lesion morphology classification for clinical outcome after sirolimus-eluting stent placement (results of the prospective multicenter German Cypher Registry) //Am J Cardiol. – 2008. – Vol. 101. – P. 477-482.
70. Stefanini G. G., Serruys P. W., Silber S. et al. The impact of patient and lesion complexity on clinical and angiographic outcomes after revascularization with zotarolimus and everolimus-eluting stents: a substudy of the RESOLUTE All Comers Trial (A Randomized Comparison of a Zotarolimus-Eluting Stent With an Everolimus-Eluting Stent for Percutaneous Coronary Intervention) //J Am Coll Cardiol. – 2011. – Vol. 57. – P. 2221-2232.
71. Karatasakis A., Brilakis E. S. Atherectomy for calcified coronary lesions: When and how? //Catheter Cardiovasc Interv. – 2016. – Vol. 87. – P. 701-702.
72. Kawamoto H., Latib A., Ruparel N., Boccuzzi G. G., Pennacchi M., Sardella G. et al. Planned versus provisional rotational atherectomy for severe calcified coronary lesions: Insights From the ROTATE multicenter registry //Catheter Cardiovasc Interv. – 2016. – Vol. 88. – P. 881-889.

73. Sakakura K., Ako J., Wada H., Naito R., Funayama H., Arao K. et al. Comparison of frequency of complications with on-label versus off-label use of rotational atherectomy //Am J Cardiol. – 2012. – Vol. 110. – P. 498-501.
74. Ramana R. K., Arab D., Joyal D., Steen L., Cho L., Lewis B. et al. Coronary artery perforation during percutaneous coronary intervention: incidence and outcomes in the new interventional era //J Invasive Cardiol. – 2005. – Vol. 17. – P. 603-605.
75. Kastrati A., Mehilli J., Dirschinger J. et al. Restenosis after coronary placement of various stent types //Am J Cardiol. – 2001. – Vol. 87. – P. 34-39.
76. Zimarino M., Corcos T., Favereau X. et al. Rotational Coronary Atherectomy With Adjunctive Balloon Angioplasty for the Treatment of Ostial Lesions //Catheterization and Cardiovascular Diagnosis. – 1994. – Vol. 33. – P. 22-27.
77. Sharma S. K., Duvvuri S., Dangas G. et al. Rotational atherectomy for in-stent restenosis: acute and long term results of the first 100 cases //J Am Coll Cardiol. – 1998. – Vol. 32. – P. 1358-1365.
78. Kobayashi Y., Teirstein P., Linnemeier T., Stone G., Leon M., Moses J. Rotational atherectomy (stentablation) in a lesion with stent under expansion due to heavily calcified plaque //Cathet Cardiovasc Interv. – 2001. – Vol. 52. – P. 208-211.
79. vom Dahl J., Dietz U., Haager P. K. et al. Rotational atherectomy does not reduce recurrent in-stent restenosis: results of the Angioplasty Versus Rotational Atherectomy for Treatment of Diffuse In-Stent Restenosis Trial (ARTIST) //Circulation. – 2002. – Vol. 105. – P. 583-588.
80. Sharma S. K., Kini A., Mehran R. et al. Randomized trial of rotational atherectomy versus balloon angioplasty for diffuse in-stent restenosis (ROSTER) //Am Heart J. – 2004. – Vol. 147. – P. 16-22.
81. Feldman T. Rotational ablation of stent metal components: the intersection between coronary intervention and auto body repair //Catheter Cardiovasc Interv. – 2001. – Vol. 52. – P. 212-213.

82. Tsuchikane E., Suzuki T., Asakura Y. et al. Debulking of chronic coronary total occlusions with rotational or directional atherectomy before stenting: final results of DOCTORS study //Int J Cardiol. – 2008. – Vol. 125. – P. 397-403.
83. Pagnotta P., Briguori C., Mango R. et al. Rotational atherectomy in resistant chronic total occlusions //Cathet Cardiovasc Intervent. – 2010. – Vol. 76. – P. 366-371.
84. Sakakura K., Ako J., Wada H. et al. Comparison of Frequency of Complications With On-Label Versus Off-Label Use of Rotational Atherectomy //Am J Cardiol. – 2012. – Vol. 110. – P. 498-501.
85. Wang T.-J., Chiang M.-H., Huang S.-S. et al. Clinical outcomes of percutaneous coronary intervention with rotablation in patients with acute or recent myocardial infarction //Journal of the Chinese Medical Association. – 2017. – Vol. 80. – P. 532-538.
86. Karvouni E., Stankovic G., Albiero R., Takagi T., Corvaja N., Vaghetti M., Di Mario C., Colombo A. Cutting balloon angioplasty for treatment of calcified coronary lesions //Catheter Cardiovasc Interv. – 2001. – Vol. 54. – P. 473-481.
87. Secco G. G., Foin N., Viceconte N., Borgia F., De Luca G., Di Mario C. Optical coherence tomography for guidance of treatment of in-stent restenosis with cutting balloons //EuroIntervention. – 2011. – Vol. 7. – P. 828-834.
88. Parikh K., Chandra P., Choksi N., Khanna P., Chambers J. Safety and feasibility of orbital atherectomy for the treatment of calcified coronary lesions: the ORBIT I trial //Catheter Cardiovasc Interv. – 2013. – Vol. 81. – P. 1134-1139.
89. Parikh K., Parikh R., Patel A., Chag M. Two Year Follow Up Data of Orbital Atherectomy System for the Treatment of De Novo Calcified Coronary Lesions - A Single Center Experience //J Am Coll Cardiol. – 2011. – Vol. 58. – P. B174.
90. Parikh K., Seth A., Baxi H. et al. First in man assessment of Orbital Atherectomy System in treating de novo calcified coronary lesions (ORBIT I) //J Am Coll Cardiol. – 2009. – Vol. 53. – P. A20.
91. Chambers J. W., Feldman R. L., Himmelstein S. I., Bhatheja R., Villa A. E., Strickman N. E., Shlofmitz R. A., Dulas D. D., Arab D., Khanna P. K., Lee A. C., Ghali

- M. G., Shah R. R., Davis T. P., Kim C. Y., Tai Z., Patel K. C., Puma J. A., Makam P., Bertolet B. D., Nseir G. Y. Pivotal trial to evaluate the safety and efficacy of the orbital atherectomy system in treating de novo, severely calcified coronary lesions (ORBIT II) //JACC Cardiovasc Interv. – 2014. – Vol. 7. – P. 510e518.
92. Génèreux P., Lee A. C., Kim C. Y., Lee M., Shlofmitz R., Moses J. W., Stone G. W., Chambers J. W. Orbital atherectomy for treating de novo severely calcified coronary narrowing (1-year results from the pivotal ORBIT II trial) //Am J Cardiol. – 2015. – Vol. 115. – P. 1685e1690.
93. Chambers J. Orbital Atherectomy Treatment of Severely Calcified Coronary Lesions: Final 3-year Results of the ORBIT II Trial // Cardiovascular Research Technologies (CRT) Conference. – Washington, D.C., 2016.
94. Lee M. S., Park K. W., Shlofmitz E., Shlofmitz R. A. Comparison of Rotational Atherectomy Versus Orbital Atherectomy for the Treatment of Heavily Calcified Coronary Plaques //Am J Cardiol. – 2017. – Vol. 119. – P. 1320-1323.
95. Mintz G. S., Kovach J. A., Pichard A. D. et al. Intravascular ultrasound findings after excimer laser coronary angioplasty //Cathet Cardiovasc Diagn. – 1996. – Vol. 37. – P. 113-118.
96. Bittl J. A., Sanborn T. A., Tchong J. E., Siegel R. M., Ellis S. G. Clinical success, complications and restenosis rates with excimer laser coronary angioplasty. The Percutaneous Excimer Laser Coronary Angioplasty Registry //Am J Cardiol. – 1992. – Vol. 70. – P. 1533-1539.
97. Mintz G. S., Kovach J. A., Javier S. P. et al. Mechanisms of lumen enlargement after excimer laser coronary angioplasty. An intravascular ultrasound study //Circulation. – 1995. – Vol. 92. – P. 3408-3414.
98. Reifart N., Vandormael M., Krajcar M. et al. Randomized comparison of angioplasty of complex coronary lesions at a single center. Excimer Laser, Rotational Atherectomy, and Balloon Angioplasty Comparison (ERBAC) study //Circulation. – 1997. – Vol. 96. – P. 91-98.

99. Петросян, К. В., Абросимов А. В., Бадеев К. Ю., Бузиашвили Ю. И., Донаканян С. А., Голухова Е. З. Сравнение периперационных и госпитальных результатов ротационной атерэктомии и баллонной ангиопластики при чрескожном коронарном вмешательстве на кальцинированных поражениях коронарных артерий // Креативная кардиология. – 2024. – Т. 18, № 2. – С. 202-213. – DOI 10.24022/1997-3187-2024-18-2-202-213.
100. Петросян, К. В., Абросимов А. В., Караев А. В., Бадеев К. Ю., Хороших Л. В. Этапное эндоваскулярное лечение пациента с многососудистым поражением коронарного русла со сниженной фракцией выброса левого желудочка с применением методов ротационной атерэктомии, оценки коронарной физиологии и внутрисосудистой визуализации // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. – 2025. – Т. 67, № 1. – С. 106-112. – DOI 10.24022/0236-2791-2025-67-1-106-112.
101. Петросян, К. В., Абросимов А. В., Бадеев К. Ю., Бузиашвили Ю. И., Донаканян С. А., Голухова Е. З. Среднеотдаленные результаты чрескожных коронарных вмешательств при кальцинированном поражении коронарных артерий: ротационная атерэктомия против баллонной ангиопластики // Сердечно-сосудистые заболевания. Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. – 2026. – Т. 27, № 1. – С. 48-58. – DOI 10.24022/1810-0694-2026-27-1-48-58.
102. Петросян К. В., Дадабаев Г. М., Донаканян С. А., Сагымбаев Б. А., Бадеев К. Ю., Стаферов А. А., Папиташвили В. Г., Голухова Е. З. Современные возможности этапного эндоваскулярного лечения пациента с мультифокальным атеросклерозом и тяжелой сопутствующей патологией // Эндоваскулярная хирургия. – 2025. – Т. 12, № 3. – С. 357–364. – DOI 10.24183/2409-4080-2025-12-3-357-364.