

Балахонова Анастасия Андреевна

**ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И ВЛИЯНИЕ НА ТАКТИКУ
ЛЕЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ
И МИОКАРДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧРЕСПИЩЕВОДНОЙ
ЭЛЕКТРОКАРДИОСТИМУЛЯЦИИ В КАЧЕСТВЕ СТРЕСС-ТЕСТА У
БОЛЬНЫХ СО СТАБИЛЬНОЙ СТЕНОКАРДИЕЙ И С ПОДОЗРЕНИЕМ НА
НЕСТАБИЛЬНУЮ СТЕНОКАРДИЮ**

3.1.20 – кардиология

3.1.25 – лучевая диагностика

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

кандидата медицинских наук

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научные руководители:

Кандидат медицинских наук

Сухинина Татьяна Сергеевна

Доктор медицинских наук

Веселова Татьяна Николаевна

Официальные оппоненты:

Явелов Игорь Семенович – доктор медицинских наук, руководитель отдела фундаментальных и клинических проблем тромбоза при неинфекционных заболеваниях Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Синицын Валентин Евгеньевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии факультета фундаментальной медицины Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», заведующий отделом лучевой диагностики МНОЦ МГУ им. М.В. Ломоносова, Президент Российского общества рентгенологов и радиологов.

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова" Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится «___» _____ 2026 года в ___ часов на заседании диссертационного совета 21.1.029.02, на базе ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России по адресу 121552 г. Москва, ул. Академика Чазова, 15А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России и на сайте <http://cardioweb.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
Доктор медицинских наук, профессор

Ускач Татьяна Марковна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Ишемическая болезнь сердца (ИБС) занимает лидирующую позицию в структуре причин смерти от сердечно-сосудистых заболеваний. В Российской Федерации (РФ) ежегодная смертность от сердечно-сосудистых причин составляет 47%, из них на долю ИБС приходится 27% [Барбараш О.Л., 2020]. Современная медикаментозная терапия, проводимая в полном объеме в соответствии с действующими клиническими рекомендациями [Барбараш О.Л., 2020], существенно улучшает выживаемость пациентов с хронической ИБС на фоне консервативного лечения. Реваскуляризация миокарда может принести пользу не только для улучшения качества жизни, но и для предотвращения нежелательных кардиальных событий только в отдельных группах пациентов с хронической ИБС и прогностически неблагоприятным обструктивным поражением коронарных артерий (КА) [Vrints С., 2024]. По данным ряда наблюдательных исследований, около 25% и более коронароангиографий (КАГ) не приводят к проведению инвазивного лечения [Peerwani G., 2023].

Компьютерная томография (КТ) КА позволяет неинвазивно с высокой точностью определить локализацию и степень поражения коронарного русла и в ряде случаев избежать проведения инвазивной КАГ. КТ-ангиография (КТА) способна исключить обструктивный коронарный атеросклероз с более высокой прогностической ценностью отрицательного результата (ПЦОР), чем функциональные нагрузочные тесты. Согласно современным клиническим рекомендациям [Барбараш О.Л., 2024], при обнаружении стенозов КА в диапазоне от 40 до 90% для определения их гемодинамической значимости, как правило, нужна функциональная оценка. С этой целью могут использоваться стресс-тесты с визуализирующей методикой, например, стресс-эхокардиография (стресс-ЭхоКГ), или показатели коронарной физиологии – фракционный резерв кровотока (ФРК), моментальный резерв кровотока, измеренные во время КАГ [Балахонова А.А., 2024]. В ряде рандомизированных клинических исследований (РКИ) было продемонстрировано, что значение инвазивно измеренного ФРК ($\text{ФРК}_{\text{инв}}$) $\leq 0,80$ является хорошим критерием для определения показаний к реваскуляризации

стеноза средней степени выраженности магистральной КА в дополнении к оптимальной медикаментозной терапии [Барбараш О.Л., 2020, Knuuti J., 2020, Virani S.S., 2023].

В последнее десятилетие достижения в области математического моделирования расширили возможности стандартной КТА. Постобработка КТ-изображений КА позволяет моделировать гемодинамические параметры коронарного русла с последующим расчетом ФРК на основании данных КТА (ФРК_{КТ}) [Терновой С.К., 2019, Балахонова А.А., 2024]. Метод оценки функциональной значимости стеноза КА включен в клинические рекомендации Американской ассоциации кардиологов с 2021, а в 2024 году и в клинические рекомендации по ведению пациентов с хронической ИБС Европейского общества кардиологов [Vrints С., 2024, Gulati M., 2021]. Определение ФРК_{КТ} позволяет избежать КАГ в случаях выявления гемодинамически незначимого стеноза, не требует дополнительной лучевой нагрузки, проведения стресс-теста [Vrints С., 2024]. Метод HeartFlow FFR-CT (Computed tomography-derived fractional flow reserve) обладает доказанной диагностической точностью по отношению к ФРК_{ИНВ}. Необходимость передачи данных для расчета ФРК_{КТ} из центра, где проводилось исследование, в компанию HeartFlow, а затем обратно лечащему врачу, связанные с этим дополнительные затраты средств и времени, а также высокая стоимость самой методики ограничивают её применение в повседневной клинической практике [Балахонова А.А., 2024]. Разработка доступной в РФ математической модели коронарного кровотока для расчета ФРК_{КТ} представляет определенный научно-практический интерес.

Другим возможным вариантом неинвазивной структурной и функциональной оценки во время одного исследования является стресс-КТ сердца. За рубежом для проведения КТ сердца с нагрузочными пробами используют вазодилататоры (аденозин, регаденазон, дипиридамо́л, натрия аденозинтрифосфат), но на территории РФ большинство из них не зарегистрированы в качестве стрессовых агентов [Балахонова А.А., 2024]. Доступным и достаточно безопасным способом для провокации стресс-

индуцированной ишемии миокарда, широко используемому в РФ, является чреспищеводная электрокардиостимуляция (ЧПЭС). В ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е. И. Чазова» Минздрава России был разработан оригинальный протокол для проведения ЧПЭС, выполнено научное исследование с разработкой протокола оценки перфузии миокарда методом КТ во время стресс-теста с ЧПЭС [Омаров Ю.А., 2020, Омаров Ю.А., 2021, Омаров Ю.А., 2023]. С практической точки зрения дальнейшее изучение диагностических возможностей комплексной КТ-сердца в сочетании со стресс-тестом с ЧПЭС является актуальным.

Степень разработанности темы исследования. Обследование пациентов с подозрением на ИБС является актуальной и непростой задачей. В большинстве случаев диагностику данного заболевания рекомендовано начинать с проведения неинвазивных тестов. Согласно актуальным клиническим рекомендациям, при умеренной предтестовой вероятности (ПТВ), возможности проведения информативного исследования и отсутствии противопоказаний обследование предпочтительнее начинать с КТА. КТА показала высокую диагностическую точность в выявлении коронарного атеросклероза при сравнении с инвазивной КАГ в качестве «золотого стандарта». Однако анатомическая оценка коронарного русла не всегда позволяет определить гемодинамическую значимость стенотического поражения КА. Проведение стресс-КТ сердца сразу после КТА и расчет ФРК_{КТ} на основании данных КТ КА в рамках одного исследования являются неинвазивными перспективными методами выявления функционально значимых стенозов КА.

Цель исследования. Оценить диагностическую значимость компьютерной томографии коронарных артерий и миокарда с использованием чреспищеводной электрокардиостимуляции в выявлении преходящей ишемии и показаний к реваскуляризации миокарда у больных с предполагаемой стабильной стенокардией и с подозрением на нестабильную стенокардию.

Задачи исследования

1. Проанализировать частоту выявления обструктивного атеросклероза коронарных артерий разной степени выраженности по данным КТ-ангиографии в

исследуемой группе пациентов с предполагаемой стабильной стенокардией и с подозрением на нестабильную стенокардию.

2. Оценить диагностическую точность стресс-КТ сердца с чреспищеводной электрокардиостимуляцией по отношению к инвазивно измеренному фракционному резерву кровотока у больных с предполагаемой стабильной стенокардией и с подозрением на нестабильную стенокардию и стенозами коронарных артерий средней степени выраженности (50-85%).

3. Провести сравнительную оценку результатов стресс-КТ сердца с чреспищеводной электрокардиостимуляцией и данных стресс-эхокардиографии с велоэргометрией.

4. Провести тестирование прототипа модели неинвазивного расчета фракционного резерва кровотока в определении функционально значимых стенозов коронарных артерий и сравнить с данными инвазивно измеренного фракционного резерва кровотока.

5. Оценить влияние результатов КТ сердца на тактику обследования и лечения пациентов с предполагаемой стабильной стенокардией и с подозрением на нестабильную стенокардию.

Научная новизна. Впервые оценена диагностическая значимость метода стресс-КТ сердца с чреспищеводной электрокардиостимуляцией для комплексной структурной и функциональной оценки состояния коронарных артерий и принятия решения о реваскуляризации миокарда у больных с предполагаемой стабильной стенокардией. Тестирован прототип модели неинвазивного расчета ФРК на основании персонализированной трехмерной математической модели коронарного русла, показавший хорошую сопоставимость результатов с инвазивной оценкой ФРК.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты исследования будут способствовать более широкому внедрению в клиническую практику неинвазивного обследования методом КТ с комплексной структурной и функциональной оценкой магистральных коронарных артерий у пациентов с предполагаемой стабильной стенокардией и с подозрением на нестабильную

стенокардию. Оригинальная модель расчета неинвазивного ФРК послужит основанием для дальнейших научных исследований с разработкой автоматизированного алгоритма определения ФРК_{КТ} и включением большего числа больных.

Методология и методы исследования. Методология данного исследования полностью соответствует поставленным задачам. Были использованы современные методы обследования и лечения пациентов с ИБС.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Проведение стресс-КТ сердца с ЧПЭС у пациентов с предполагаемой стабильной стенокардией и с подозрением на нестабильную стенокардию позволяет с высокой диагностической точностью выявить преходящую ишемию миокарда, обусловленную стенозом КА средней степени выраженности.

2. Положительный результат стресс-КТ сердца с ЧПЭС может быть основанием к проведению реваскуляризации КА, точность которого сопоставима с точностью оценки по данным инвазивного ФРК.

3. В случае получения отрицательного результата стресс-КТ сердца с ЧПЭС или стресс-ЭхоКГ с физической нагрузкой у больных с предполагаемой стабильной стенокардией или с подозрением на нестабильную стенокардию и стенозами КА средней степени выраженности в ряде случаев (сохраняющиеся симптомы на фоне медикаментозной терапии, локализация поражения в проксимальном сегменте передней нисходящей артерии или другой крупной магистральной артерии) для определения показаний к реваскуляризации миокарда целесообразна дополнительная оценка функциональной значимости стенозов КА в диапазоне 50-85% на основании данных ФРК.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 печатные научные работы в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 155 страницах, состоит из введения, четырех глав (обзор литературы, материалы и методы, результаты и их обсуждение), выводов, практических рекомендаций, списка

сокращений и списка литературы, включающего 154 источника. Диссертация иллюстрирована 12 таблицами, 26 рисунками и 2 клиническими примерами.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов работы основана на использовании современных лабораторных и инструментальных методов исследования, а также в применении стандартных статистических тестов.

Апробация диссертационной работы состоялась на совместной научной межотделенческой конференции НИИ клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России 19 сентября 2024 года (протокол №115). Диссертация рекомендована к защите.

Личный вклад автора в получение результатов исследования. Автор осуществлял сбор и анализ литературы по теме научной работы, участвовал в ведении пациентов и проведении стресс-КТ сердца с ЧПЭС. Автор проводил оценку полученных результатов исследований (КТА, стресс-КТ сердца, стресс-ЭхоКГ), отбирал изображения КТА для построения трехмерной математической модели и расчета ФРК_{КТ}. Автор составил базу данных пациентов, самостоятельно провел статистическую обработку полученных результатов. Автор самостоятельно написал все разделы диссертации, подготовил печатные работы и устные сообщения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на базе отдела неотложной кардиологии и отдела томографии ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России. Исследование было одобрено Этическим комитетом НИИ клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России (протокол № 274 заседания Комитета от 29 ноября 2021г.).

С декабря 2021 года по январь 2024 года в проспективное исследование включены 112 пациентов, из них 75 – с подозрением на стабильную стенокардию, 37 – с подозрением на нестабильную стенокардию (НС).

Критериями невключения в исследование являлись: острое очаговое повреждение миокарда, риск по шкале GRACE [Byrne R.A., 2023] >108 для пациентов с подозрением на ИС, зарегистрированный приступ стенокардии покоя с ишемической динамикой на электрокардиограмме (ЭКГ), непрерывно рецидивирующие приступы стенокардии, стенокардия 3-4 функционального класса (ФК), острые заболевания, сопровождающиеся болями в груди (тромбоэмболия легочной артерии), крупноочаговый постинфарктный кардиосклероз (ПИКС) в бассейне нескольких КА, фракция выброса левого желудочка $\leq 35\%$, высокий кальциевый индекс КА (>1000 по Агатстону), чрескожное коронарное вмешательство (ЧКВ) с большим количеством стентов (3 и более) в анамнезе, ожирение 3 степени (индекс массы тела 40 кг/м^2 и более), затрудняющие проведение КТА, операция коронарного шунтирования (КШ) в анамнезе, недавнее (менее 1 месяца) ЧКВ, снижение скорости клубочковой фильтрации, рассчитанной по формуле СКД-ЕПИ (Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration), менее $45 \text{ мл/мин/1,73 м}^2$, контраст индуцированная нефропатия (КИН) в анамнезе или высокий риск развития КИН, аллергические реакции на йодосодержащие препараты, беременность и период лактации, нелеченый тиреотоксикоз на момент включения в исследование, противопоказания к проведению стресс-теста с ЧПЭС, противопоказания к введению нитроглицерина и папаверина, отказ пациента от проведения исследования.

За период наблюдения все пациенты прошли стандартное клинико-инструментальное обследование. В течение 3-суток с момента госпитализации проводилась КТА КА, по результатам которой принималось решение о дальнейшей тактике обследования пациентов. При отсутствии стенотического поражения КА более 50% гемодинамически значимый коронарный атеросклероз был исключен. В случаях выявления стенозов КА более 85% , поражения ствола левой коронарной артерии (ЛКА) более 50% или поражения проксимальных сегментов всех трех магистральных артерий более 75% стресс-КТ с ЧПЭС не проводилась, пациенты направлялись на инвазивную КАГ для решения вопроса о дальнейшей тактике ведения и реваскуляризации миокарда. Если по данным КТА были

диагностированы стенозы КА средней степени выраженности (50-85%), выполняли стресс-КТ сердца с ЧПЭС по разработанному Омаровым и соавт. протоколу [Омаров Ю.А., 2020, Омаров Ю.А., 2021, Омаров Ю.А., 2023]. Не ранее чем через сутки после стресс-КТ сердца проводили стресс-ЭхоКГ с велоэргометрией (ВЭМ). Результаты обеих нагрузочных проб сопоставляли между собой. В качестве референтного метода («золотого стандарта») использовали КАГ с измерением ФРК_{ИНВ}. Части пациентам с однососудистым поражением коронарного русла на основании данных КТА была построена трехмерная математическая модель КА для расчета ФРК_{КТ}. Данные ФРК_{ИНВ} сравнивали с данными ФРК_{КТ} в выявлении функционально значимых стенозов КА.

Математическую обработку полученных результатов осуществляли с помощью программы MedCalc 22.021.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов компьютерной томографической ангиографии коронарных артерий

Среди 112 включенных в исследование пациентов у 33 человек (29,5%) стенозов КА более 50% не было, у 71 (63,4%) – выявлены стенозы КА средней степени выраженности (50-85%), у 8 (7,1%) – диагностировано тяжелое поражение коронарного русла (стеноз КА >85%, поражение ствола ЛКА >50%, стенозы проксимальных сегментов всех трех магистральных КА >75%). (рис.1).

Результаты КТА в зависимости от степени стенозирования КА у пациентов со стабильной стенокардией и с подозрением на нестабильную стенокардию

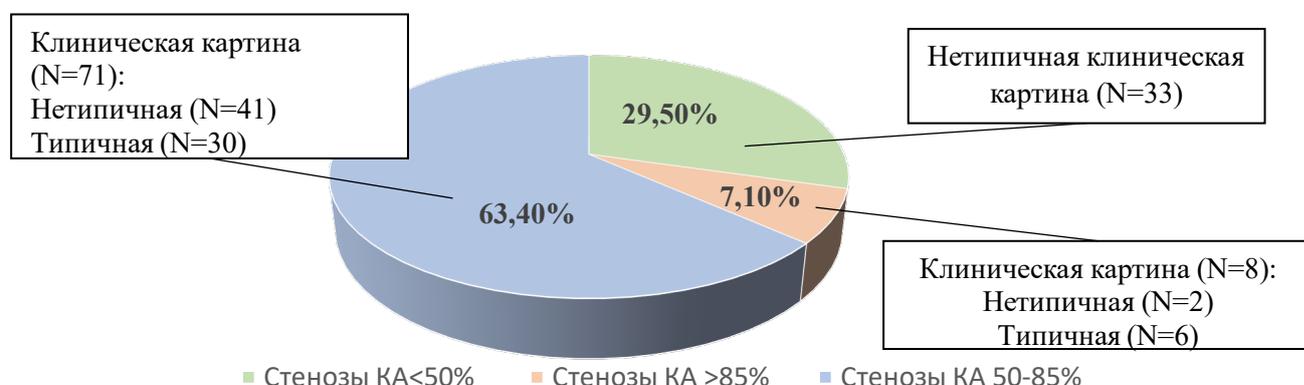


Рисунок 1. Результаты КТА КА у пациентов с предполагаемой стабильной стенокардией и с подозрением на нестабильную стенокардию (N=112)

У 59 пациентов без известного коронарного анамнеза в 50,8% случаев КТА не выявила стенозы КА более 50%, в 39% – диагностированы стенозы КА средней степени выраженности (50-85%), в 10,2% – обнаружено тяжелое поражение коронарного русла (рис.2).

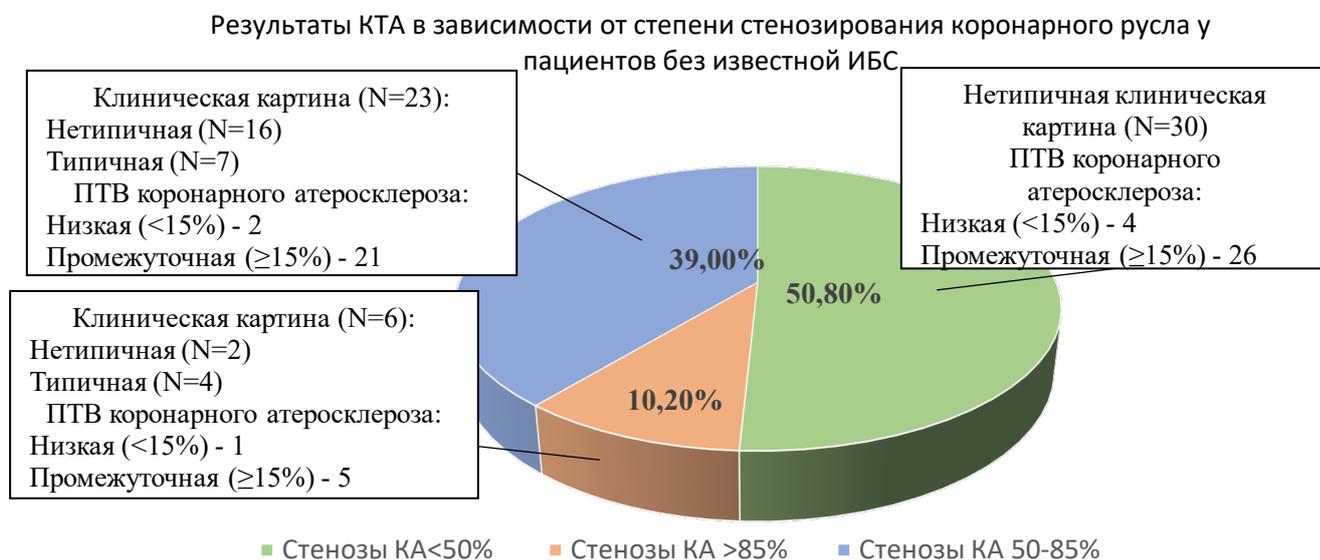


Рисунок 2. Результаты КТА КА у пациентов без известной ИБС

С подозрением на ИС в исследование были включены 37 пациентов. Среди 8 пациентов с тяжелым поражением коронарного русла 6 пациентов были без ранее известной ИБС и госпитализированы с подозрением на «острый коронарный синдром без подъема сегмента ST» с низким риском кардиальных событий.

Всем больным без известной ИБС до проведения КТА КА оценивали ПТВ коронарного атеросклероза (рис.3).

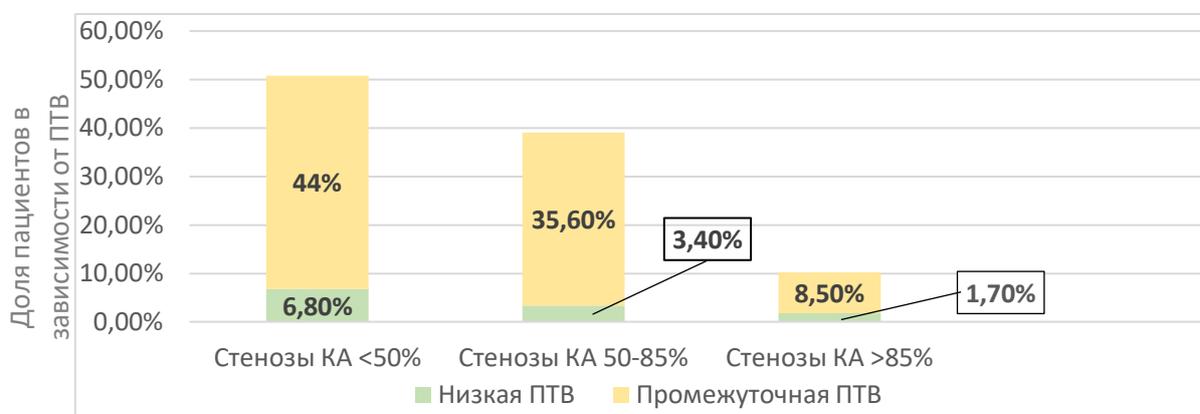


Рисунок 3. Распределение пациентов без известной ИБС (n=59) в зависимости от степени стенозирования КА и значений ПТВ коронарного атеросклероза

У пациентов с обструктивным коронарным атеросклерозом (n=79) результаты КТА распределяли по степени стенозирования КА в соответствии с классификацией CAD-RADS (Coronary Artery Disease Reporting and Data System) 2.0 [Cury R.C., 2022] и в дальнейшем сопоставляли с данными инвазивной КАГ. Поскольку в проведенном нами исследовании инвазивную КАГ выполняли пациентам со стенозами КА более 50%, распределение в зависимости от степени поражения коронарного русла начиналось с категории CAD-RADS 3 (стенозы КА 50-69%): CAD-RADS 3 (стенозы КА 50-69%) – 22 пациента (27,9%), CAD-RADS 4A (стенозы КА 70-99%) – 55 (69,6%), CAD-RADS 4B (стеноз ствола ЛКА >50% или трехсосудистое поражение КА $\geq 70\%$) – 2 (2,5%). Пациентов с окклюзией КА (категория CAD-RADS 5) в нашем исследовании не было.

Во всех случаях наблюдалось совпадение результатов КТА и КАГ в пределах одной категории поражения коронарного русла.

Оценка диагностической точности компьютерной томографии сердца в сочетании со стресс-тестом с чреспищеводной электрокардиостимуляцией по отношению к инвазивно измеренному фракционному резерву кровотока в качестве «золотого стандарта» у пациентов с подозрением на стенокардию

Выявленные стенозы КА в диапазоне 50-85% служили основанием для проведения стресс-КТ сердца с ЧПЭС. В 11 случаях ЧПЭС провести не удалось, поэтому в окончательный анализ результатов стресс-КТ сердца включено 60 пациентов со стенозами КА 50-85%.

Перфузия миокарда в покое и на фоне стресс-теста оценивалась визуально (выявление дефекта контрастирования миокарда) и полуколичественно (определение коэффициента трансмуральной перфузии – transmural perfusion ratio – TPR). Во всех случаях переходящие дефекты перфузии миокарда во время фазы стресса соответствовали зоне кровоснабжения изучаемой КА.

Всем пациентам со стенозами КА средней степени выраженности, которые прошли полный протокол исследования, в дальнейшем была оценена функциональная значимость стенозов КА путем измерения ФРК_{ИНВ}.

При визуальной оценке у 19 из 20 пациентов с выявленным дефектом перфузии миокарда $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}}$ был менее 0,8. У 30 из 40 пациентов без дефекта перфузии $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}}$ был более 0,8. Ложноотрицательные результаты наблюдались в 10 случаях, ложноположительный результат зарегистрирован у одного пациента.

Показатели диагностической точности визуальной оценки перфузии миокарда по данным стресс-КТ сердца с ЧПЭС (чувствительность, специфичность, прогностическая ценность положительного результата (ПЦПР), ПЦОР и общая диагностическая точность) рассчитывались по отношению к $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}} \leq 0,8$ и представлены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели диагностической точности визуальной оценки перфузии миокарда по данным стресс-КТ сердца с ЧПЭС по отношению к $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}} \leq 0,8$ в выявлении функционально значимых стенозов КА

Показатель диагностической точности	Значение, %
Чувствительность	65,52 [45,67; 82,06]
Специфичность	96,77 [83,30; 99,92]
Прогностическая ценность положительного результата	95,0 [73,07; 99,25]
Прогностическая ценность отрицательного результата	75,0 [64,40; 83,26]
Общая диагностическая точность	81,67 [69,56; 90,48]

При полуколичественном анализе нарушений перфузии миокарда значение $\text{TPR} \leq 0,99$ указывало на наличие дефекта перфузии.

У 14 из 21 пациента с $\text{TPR} \leq 0,99$ $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}}$ был менее 0,8. У 24 из 39 пациентов с $\text{TPR} > 0,99$ $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}}$ был более 0,8. Ложноотрицательные результаты наблюдались в 15 случаях, ложноположительные – в 7 случаях.

Показатели диагностической точности полуколичественного анализа нарушений перфузии миокарда по данным стресс-КТ сердца с ЧПЭС рассчитывались по отношению к $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}} \leq 0,8$ и представлены в таблице 2.

Таблица 2. Показатели диагностической точности полуколичественного анализа нарушений перфузии миокарда по данным стресс-КТ сердца с ЧПЭС по отношению к $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}} \leq 0,8$

Показатель диагностической точности	Значение, %
Чувствительность	48,28 [29,45; 67,47]
Специфичность	77,42 [58,90; 90,41]
Прогностическая ценность положительного результата	66,67 [48,51; 80,94]
Прогностическая ценность отрицательного результата	61,54 [51,76; 70,47]
Общая диагностическая точность	63,33 [49,90; 75,41]

Показатели диагностической точности при визуальной оценке оказались лучше, чем при полуколичественном анализе нарушений перфузии миокарда, поэтому для дальнейшего анализа и сравнения со стресс-ЭхоКГ нами был выбран метод визуальной оценки дефектов перфузии миокарда.

Корреляционный анализ показал умеренную и статистически значимую связь между степенью стеноза КА и выраженностью переходящего дефекта перфузии миокарда по данным TPR. Коэффициент корреляции Пирсона составил -0,46 (95% ДИ: -0,6423 – -0,2382, $P=0,0002$).

Также оценивалась взаимосвязь степени стеноза КА и объема переходящей ишемии миокарда. Корреляционный анализ показал умеренную и статистически значимую взаимосвязь двух величин. Коэффициент корреляции Пирсона составил +0,41 (95% ДИ: 0,1750-0,6019, $P=0,0011$).

Корреляционный анализ показал умеренную и статистически значимую связь между значениями $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}}$ и выраженностью переходящего дефекта перфузии миокарда по данным TPR. Коэффициент корреляции Пирсона составил 0,52 (95% ДИ: 0,3061 – 0,6834, $P < 0,0001$).

Между значениями $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}}$ и объемом стресс-индуцируемой ишемии миокарда так же наблюдается статистически значимая взаимосвязь умеренной

силы. Коэффициент корреляции Пирсона составил -0,5 (95% ДИ: -0,6646 – -0,2746, P=0,0001).

Сравнительный анализ результатов компьютерной томографии сердца со стресс-тестом с чреспищеводной электрокардиостимуляцией и данных стресс-эхокардиографии с велоэргометрией

Показатели диагностической точности стресс-ЭхоКГ с ВЭМ в определении функционально значимых стенозов КА (чувствительность, специфичность, ПЦПР, ПЦОР и общая диагностическая точность) рассчитывались по отношению к ФРК_{ИНВ} ≤0,8 и представлены в таблице 3.

Таблица 3. Показатели диагностической точности стресс-ЭхоКГ с ВЭМ в определении функционально значимых стенозов КА по отношению к ФРК_{ИНВ} ≤0,8

Показатель диагностической точности	Значение, %
Чувствительность	62,07 [42,26; 79,31]
Специфичность	100,0 [88,78; 100,0]
Прогностическая ценность положительного результата	100,0 [81,47; 100,0]
Прогностическая ценность отрицательного результата	73,81 [63,89; 81,78]
Общая диагностическая точность	81,67 [69,56; 90,48]

Сравнительный анализ результатов стресс-КТ сердца с ЧПЭС и стресс-ЭхоКГ с ВЭМ проводился среди 60 пациентов, которые прошли полный протокол исследования.

У 15 из 20 пациентов с дефектом перфузии миокарда по данным стресс-КТ сердца определялись участки гипокинеза по данным стресс-ЭхоКГ. Во всех случаях зоны дефекта контрастирования миокарда соответствовали участкам гипокинеза. У 37 из 40 пациентов без дефекта перфузии миокарда по данным стресс-КТ сердца зон преходящего нарушения локальной сократимости по данным стресс-ЭхоКГ не определялось.

У 8 пациентов отмечалось расхождение результатов двух методов.

Сравнительный анализ показал хорошую сопоставимость стресс-КТ сердца с ЧПЭС и стресс-ЭхоКГ с ВЭМ, индекс Коэна составил 0,7.

Для изучения влияния степени стенозирования КА на выявление преходящей ишемии миокарда по данным функциональных тестов стенозы КА средней степени выраженности (50-85%) подразделялись на подгруппы: 50-69% и 70-85%.

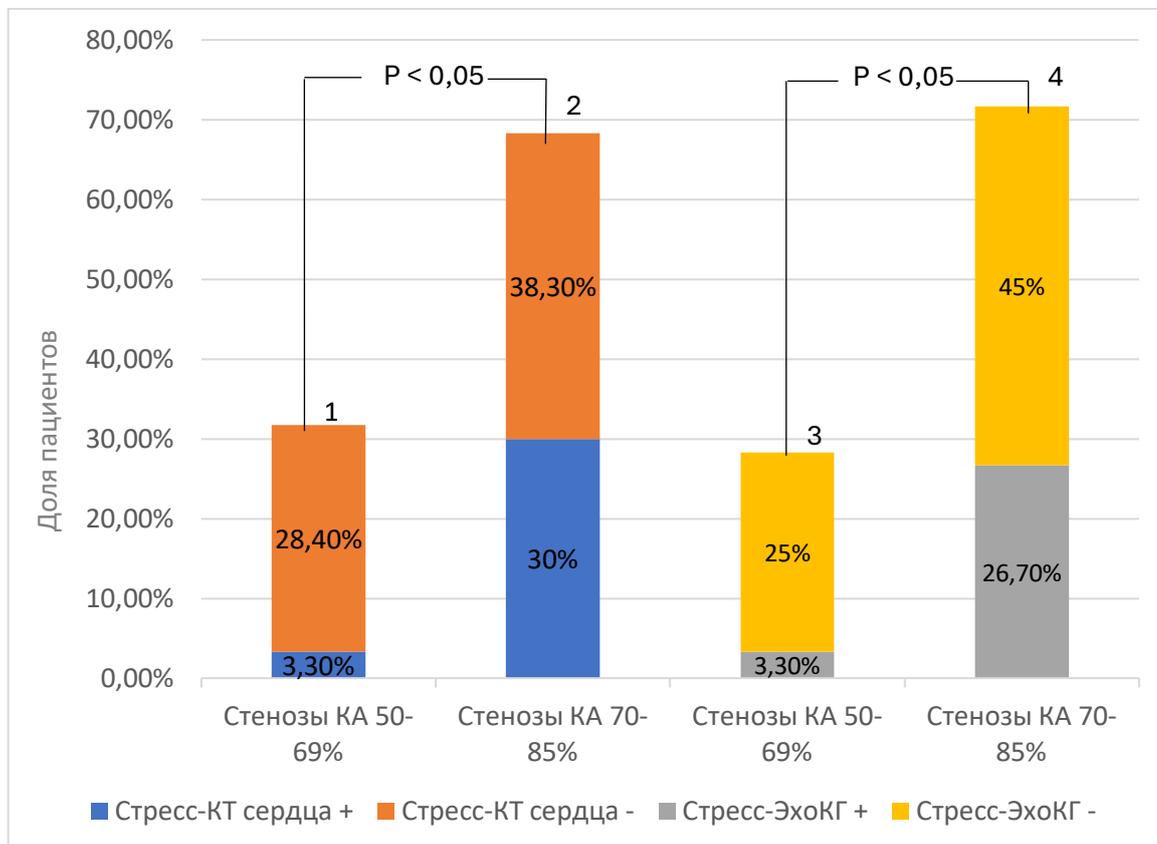


Рисунок 4. Распределение результатов нагрузочных тестов в зависимости от степени стенозирования КА у пациентов со стенозами КА 50-85%

Положительная проба на выявление преходящей ишемии миокарда чаще наблюдалась у пациентов со стенозами КА в диапазоне 70-85% как по данным стресс-КТ сердца с ЧПЭС (30% в подгруппе 70-85% против 3,3% в подгруппе 50-69%, $P=0,05$), так и по данным стресс-ЭхоКГ с ВЭМ (26,7% в подгруппе 70-85% против 3,3% в подгруппе 50-69%, $P=0,05$).

Результаты стресс-КТ сердца с ЧПЭС и стресс-ЭхоКГ с ВЭМ (оба теста положительные или оба теста отрицательные) у 60 пациентов были проанализированы по отношению к $ФРК_{инв}$ (рис.5). У 15 (25%) пациентов с положительными результатами обоих функциональных тестов на выявление преходящей ишемии миокарда был значимый $ФРК_{инв}$ ($\leq 0,8$). У 37 (61,7%) больных

нагрузочные пробы не выявили переходящую ишемию миокарда, в 40% случаев значения $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}}$ были более 0,8, а в 21,7% случаев отрицательные результаты обоих стресс-тестов наблюдались при $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}} \leq 0,8$, причем стенозы КА у данных пациентов находились в диапазоне 60-75%.

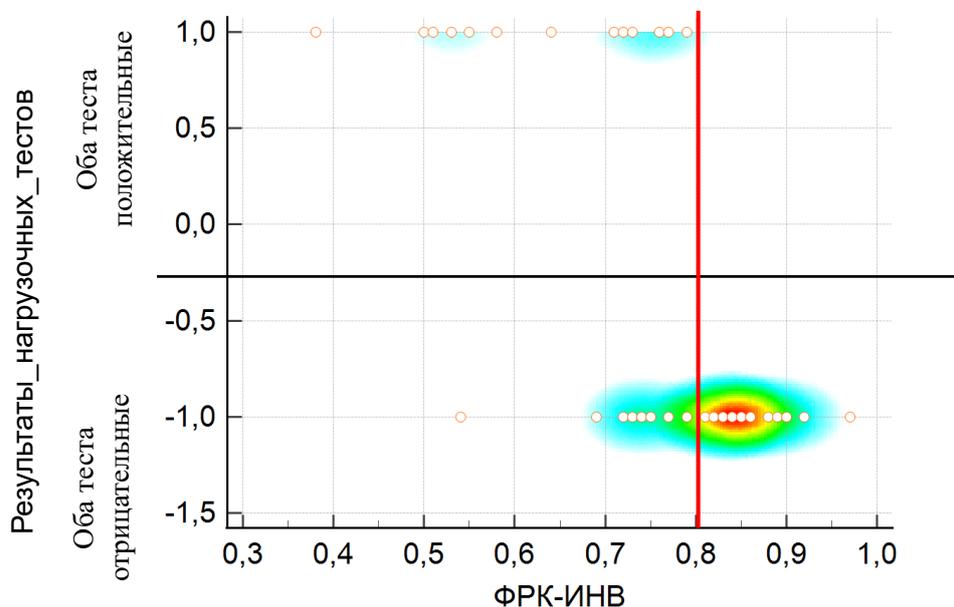


Рисунок 5. Распределение результатов нагрузочных тестов по отношению к $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}}$ у пациентов со стенозами КА 50-85%

У 8 (13,3%) человек с расхождениями в результатах функциональных проб (один тест – положительный, второй – отрицательный) были получены значения $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}}$ как равные или менее 0,8 (6 человек), так и более 0,8 (2 человека).

Сравнительный анализ показателей фракционного резерва кровотока, рассчитанного по данным компьютерной томографии ($\text{ФРК}_{\text{КТ}}$), и определенного при коронароангиографии ($\text{ФРК}_{\text{ИНВ}}$)

В сравнительный анализ показателей $\text{ФРК}_{\text{КТ}}$ и $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}}$ были включены 13 пациентов. В 7 (35%) случаях из 20 не удалось построить математическую модель для расчета $\text{ФРК}_{\text{КТ}}$ из-за выраженного кальциноза КА. В 4 случаях значения $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}}$ и $\text{ФРК}_{\text{КТ}}$ различались более, чем на 10%. «Золотым стандартом» определения функциональной значимости стеноза КА было принято значение $\text{ФРК}_{\text{ИНВ}} \leq 0,8$. При этом только в одном случае были получены противоположные

результаты: по данным ФРК_{ИНВ} стеноз КА был функционально значимый (0,68), в то время как ФРК_{КТ} не выявил функциональную значимость стеноза КА (0,97).

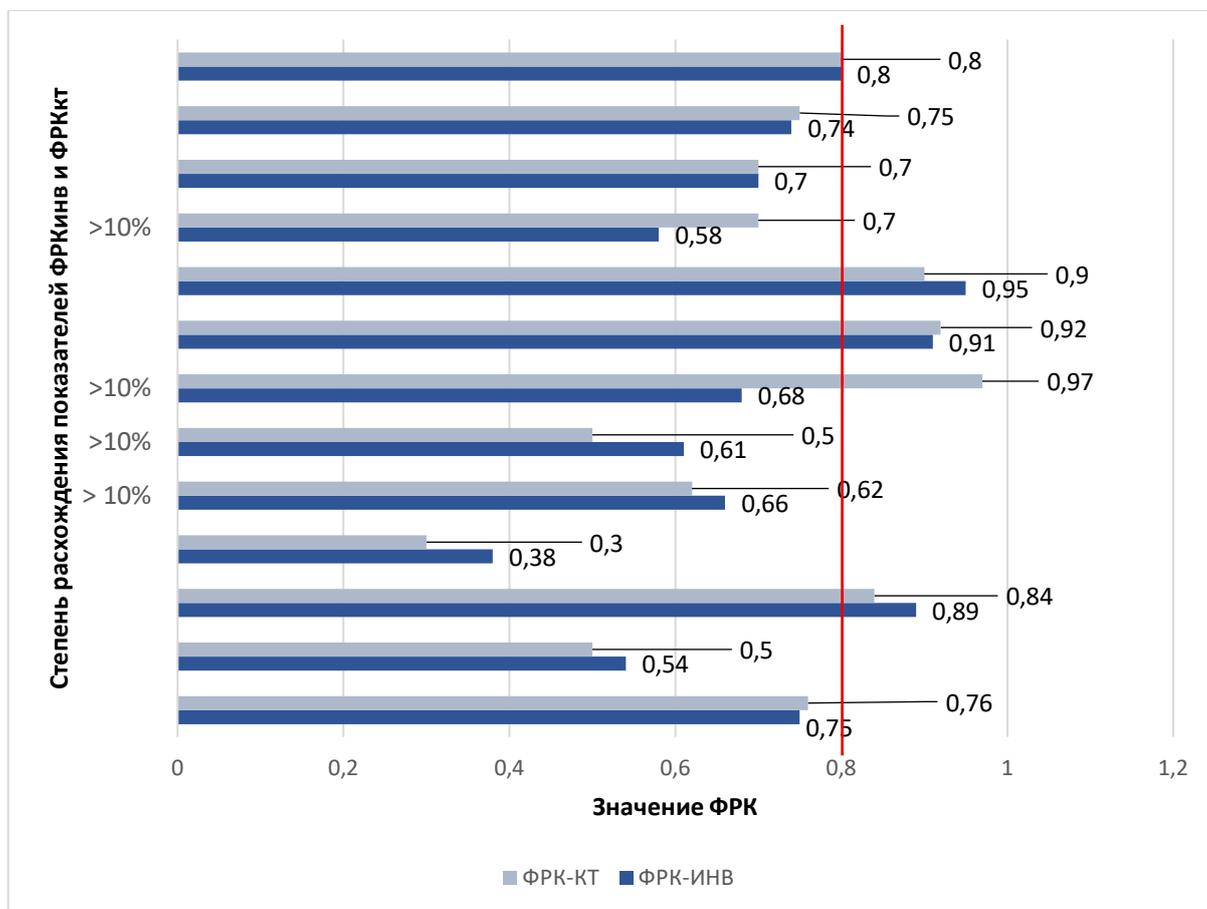


Рисунок 6. Сопоставление показателей ФРК_{ИНВ} и ФРК_{КТ} у пациентов со стенозами КА средней степени выраженности (50-85%)

Между показателями ФРК_{КТ} и ФРК_{ИНВ} наблюдалась сильная и статистически значимая корреляция. Коэффициент корреляции Пирсона составил 0,86 (95% ДИ: 0,55-0,95, P=0,0003).

Влияние результатов компьютерной томографии сердца на обследование и лечение пациентов с подозрением на стенокардию

У всех пациентов со стенозами КА менее 50% не наблюдалось типичной стенокардии (n=33). С учетом данных КТА у 29 (96,7%) из 30 пациентов без ранее известной ИБС лечащими врачами был исключен данный диагноз. В одном случае при положительном результате стресс-ЭхоКГ у пациента при КТА выявлен мышечный мостик передней нисходящей артерии (ПНА), что в дальнейшем позволило избежать проведения КАГ.

Среди 30 пациентов без известной ИБС КТА выявила начальный атеросклероз КА у 66,7% пациентов (n=20) и интактные КА – у 33,3% (n=10). Выявление стенозов КА менее 50% по данным КТА у пациентов с высоким и очень высоким риском развития сердечно-сосудистых осложнений, рассчитанным по шкале SCORE [Кобалава Ж.Д., 2024], в 60% (n=12) случаев позволило повысить приверженность к гиполипидемической терапии. У 12,5% пациентов (n=2) с низким и умеренным риском развития сердечно-сосудистых осложнений при проведении КТА были выявлены стенозы КА более 50%, что помогло правильно поставить диагноз, назначить гиполипидемическую терапию. По решению лечащего врача этим пациентам была назначена и ацетилсалициловая кислота.

В трёх случаях у больных с известной ИБС (ранее перенесенный ИМ, ЧКВ со стентированием КА в анамнезе) при выполнении КТА стенозов КА более 50% выявлено не было, что позволило избежать проведения КАГ и исключить диагноз стенокардии с учетом нетипичной клинической картины.

Диагностированные по данным КТА стенозы КА 50-85% служили основанием для проведения стресс-КТ сердца с ЧПЭС. В 20 случаях при стресс-КТ сердца была выявлена преходящая ишемия миокарда в бассейне кровоснабжения исследуемой КА. Далее функциональная значимость стенозов была подтверждена данными ФРК_{ИНВ} и выполнено ЧКВ. Учитывая высокую специфичность стресс-КТ сердца с ЧПЭС (96,77%), полученную в нашей работе, преходящая ишемия миокарда, выявленная данным методом, может являться надежным основанием к проведению реваскуляризации миокарда в клинической практике.

Из 60 пациентов, которые прошли полный протокол исследования, в 48% случаев было выполнено ЧКВ (ФРК_{ИНВ} ≤ 0,8). При этом у 25% пациентов (n=15) с гемодинамически значимым стенозом КА по данным ФРК наблюдался отрицательный результат стресс-тестов, из которых в 15% от всех случаев (n=9) диагностировано прогностически неблагоприятное поражение коронарного русла – стеноз проксимального сегмента ПНА ≥ 70% (рис.7). У остальных 10% пациентов (n=6) с отрицательными результатами функциональных тестов стенозы 50-85% локализовались в среднем (5%) или дистальном (5%) сегментах ПНА. Стенозов

средней степени выраженности, функционально значимых на основании ФРК, но не провоцирующих переходящую ишемию при стресс-КТ сердца с ЧПЭС и при стресс-ЭхоКГ, в других КА в нашем исследовании выявлено не было, что может быть обусловлено немногочисленной выборкой пациентов.



Рисунок 7. Влияние КТА на тактику обследования и лечения пациентов со стенозами КА 50-85%

Таким образом, у пациентов со стабильной стенокардией и с подозрением на НС проведение КТА позволяет выявить стенозы КА 50-85% и, несмотря на отрицательный результат нагрузочного теста, провести более детальную оценку их функциональной значимости путем измерения ФРК_{инв}.

У 8 пациентов было выявлено тяжелое поражение коронарного русла по данным КТА. Двое больных (25%) были с известной ИБС и описывали клиническую картину стенокардии напряжения на уровне 1-2 ФК. Шестеро пациентов (75%) поступили без предшествующего коронарного анамнеза. Типичная клиническая картина наблюдалась в 50% случаях, не типичные для стенокардии жалобы описывали 25% больных.

Выполнение КТА на начальном этапе обследования позволило выявить тяжелое поражение коронарного русла. В 6 (75%) случаях был выявлен стеноз одной КА $>85\%$. У одного пациента (12,5%) КТА диагностировала стеноз одной КА (ПНА) $>85\%$ и стеноз ствола ЛКА $>70\%$, еще в одном случае (12,5%) – стенозы всех трех магистральных КА $>80\%$ и стеноз ствола ЛКА $>70\%$.

Благодаря КТА пациентам с нетяжелыми клиническими проявлениями и серьезным поражением коронарного русла удалось избежать проведения

нагрузочных тестов, которые требуют отмены бета-блокаторов и могли бы спровоцировать ишемию миокарда, а также привести к осложнениям, особенно при многососудистом поражении и вовлечении ствола ЛКА. Эта группа пациентов была направлена на КАГ для решения вопроса о способе реваскуляризации миокарда. Семи пациентам было успешно выполнено ЧКВ со стентированием КА, один пациент был направлен на операцию КШ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день в повседневной клинической практике во многих странах, включая РФ, для диагностики ИБС в основном используются неинвазивные визуализирующие методики, которые направлены на выявление преходящей ишемии миокарда. КТ КА, также относящаяся к неинвазивным диагностическим тестам, благодаря анатомической оценке коронарного русла позволяет с высокой точностью исключить обструктивное поражение КА и тем самым избежать проведения необоснованного инвазивного вмешательства. В некоторых случаях у пациентов с нетипичной клинической картиной КТА помогает выявить тяжелое поражение коронарного русла с более высокой чувствительностью, чем нагрузочные тесты.

Более детальное обследование требуется при выявлении по данным КТ стенозов КА средней степени выраженности (50-85%). Для определения их функциональной значимости возможно проведение стресс-КТ сердца сразу после КТА в рамках одного исследования. Полученный в настоящей работе высокий показатель специфичности стресс-КТ сердца (96,77%) в выявлении функционально значимых стенозов КА по отношению к инвазивно измеренному ФРК свидетельствует о том, что выявленная ишемия на основании данного метода может служить основанием для реваскуляризации миокарда. Учитывая одноцентровый дизайн нашего исследования и относительно небольшой размер выборки, для широкого внедрения метода необходимы более масштабные изучения.

Расчет ФРК_{КТ} на основании данных ФРК также является перспективным методом, позволяющим оценить функциональную значимость выявленных стенозов КА. Несмотря на хорошую сопоставимость результатов ФРК_{КТ} и ФРК_{ИНВ},

широкое применение метода ФРК_{КТ} в клинической практике ограничено. Это обусловлено не только высокой стоимостью и трудоемкостью исследования, но и отсутствием доступного системного программного обеспечения. Таким образом, необходимы дальнейшие многоцентровые РКИ с включением большего числа пациентов и более длительным периодом наблюдения.

ВЫВОДЫ

1. В исследуемой группе пациентов с предполагаемой стабильной стенокардией и с подозрением на нестабильную стенокардию с низким риском неблагоприятных кардиальных событий в 50,8% случаев по данным КТА обструктивного атеросклероза не выявлено, что в 49,2% случаев позволило исключить ИБС, учитывая нетипичную клиническую картину стенокардии. В 49,2% случаев диагностирован обструктивный атеросклероз, из них 39% составили стенозы КА средней степени выраженности (50-85%), для уточнения гемодинамической значимости которых целесообразна функциональная оценка.

2. У пациентов с предполагаемой стабильной стенокардией и с подозрением на нестабильную стенокардию стресс-КТ сердца с ЧПЭС позволяет определить функциональную значимость стенозов КА средней степени выраженности (50-85%) по отношению к ФРК_{ИНВ} с чувствительностью, специфичностью, ПЦПР, ПЦОР и общей диагностической точностью 65,52%, 96,77%, 95,0%, 75,0% и 81,67%, соответственно.

3. Диагностическая точность стресс-КТ сердца с ЧПЭС у пациентов с предполагаемой стабильной стенокардией и с подозрением на нестабильную стенокардию сопоставима с диагностической точностью стресс-ЭхоКГ с ВЭМ (62,07%, 100,0%, 100,0%, 73,81% и 81,67%, соответственно). Сравнительный анализ показал хорошее соответствие результатов стресс-КТ сердца с ЧПЭС и стресс-ЭхоКГ с ВЭМ. Индекс Коэна составил 0,7. Ложноотрицательные результаты стресс-тестов по отношению к ФРК_{ИНВ}, в основном, наблюдаются при стенозах КА средней степени выраженности со значениями ФРК_{ИНВ} в диапазоне 0,7-0,8.

4. При тестировании прототипа модели неинвазивного расчета ФРК данные ФРК_{КТ}, рассчитанные на основе персонализированной трехмерной

реконструкции КА, продемонстрировали сильную и статистически значимую взаимосвязь с результатами ФРК_{ИНВ} при корреляционном анализе, коэффициент Пирсона составил 0,86.

5. Проведение КТА на ранних этапах обследования пациентов с предполагаемой стабильной стенокардией или подозрением на нестабильную стенокардию позволяет неинвазивно оценить тяжесть атеросклероза КА и выявить прогностически неблагоприятное поражение, в том числе при отрицательном результате стресс-тестов с визуализирующей методикой.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Пациентам с подозрением на стенокардию с низкой или промежуточной ПТВ коронарного атеросклероза для структурной оценки КА при отсутствии противопоказаний рекомендовано проведение КТА. В случае выявления стенозов КА средней степени выраженности для оценки их функциональной значимости может быть использована стресс-КТ сердца, особенно при невозможности проведения других методов функциональной оценки.

2. Пациентам с подозрением на стенокардию с неочевидной клинической картиной, у которых имеются факторы риска развития сердечно-сосудистых заболеваний при отрицательном результате нагрузочного теста (стресс-ЭхоКГ и др.) целесообразно проведение КТА для оценки степени стенозирования коронарного русла и исключения прогностически неблагоприятного поражения.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Роль компьютерной томографии в диагностике коронарного атеросклероза и его осложнений / **А.А. Балахонова**, Т.С. Сухина, Т.Н. Веселова [и др.] // Кардиологический вестник. – 2024. – Т. 19. – № 1. – С. 7–15.

2. Оценка функциональной значимости стенозов коронарных артерий с помощью определения фракционного резерва кровотока на основании данных компьютерной томографической ангиографии / **А. А. Балахонова**, Т.Н. Веселова, Т.С. Сухина [и др.] // Системные гипертензии. – 2024. – Т. 21. – № 2. – С. 43–49.

3. Диагностическая значимость компьютерной томографии в комплексной оценке коронарных артерий и преходящей ишемии миокарда у

пациентов с болями в груди / **А.А. Балахонова**, Т.Н. Веселова, Т.С. Сухинина [и др.] // Российский Электронный Журнал Лучевой Диагностики. – 2024. – Т. 14. – № 2. – С. 19–30.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВЭМ – велоэргометрия	ПЦОР – прогностическая ценность отрицательного результата
ДИ – доверительный интервал	ПЦПР – прогностическая ценность положительного результата
ИБС – ишемическая болезнь сердца	РКИ – рандомизированное клиническое исследование
КА – коронарные артерии	РФ – Российская Федерация
КАГ – коронароангиография	ФК – функциональный класс
КИН – контраст индуцированная нефропатия	ФРК – фракционный резерв кровотока
КТ – компьютерная томография	ФРК _{ИНВ} – фракционный резерв кровотока, измеренный во время проведения инвазивной коронароангиографии
КТА – компьютерная томографическая ангиография	ФРК _{КТ} – фракционный резерв кровотока, рассчитанный на основании данных компьютерной томографической ангиографии коронарных артерий
КШ – коронарное шунтирование	ЧКВ – чрескожное коронарное вмешательство
ЛКА – левая коронарная артерия	ЧПЭС – чреспищеводная электрокардиостимуляция
НС – нестабильная стенокардия	ЭКГ – электрокардиограмма
ПИКС – постинфарктный кардиосклероз	ЭхоКГ – эхокардиография
ПНА – передняя нисходящая артерия	FFR-CT – Computed tomography-derived fractional flow reserve – фракционный резерв кровотока, рассчитанный по данным компьютерной томографии
ПТВ – предтестовая вероятность	TPR – Transmural Perfusion Ratio – коэффициент трансмуральной перфузии