

Омаров Ю. А.¹, Веселова Т. Н.¹, Шахнович Р. М.¹, Сухинина Т. С.¹, Жукова Н. С.¹, Меркулова И. Н.¹, Певзнер Д. В.¹, Арутюнян Г. К.¹, Миронов В. М.¹, Меркулов Е. В.¹, Самко А. Н.¹, Терновой С. К.^{1,2}, Староверов И. И.¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Минздрава России, Москва, Россия

² ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

ПЕРФУЗИОННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ МИОКАРДА С ЧРЕСПИЩЕВОДНОЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОСТИМУЛЯЦИЕЙ В КАЧЕСТВЕ СТРЕСС-ТЕСТА У БОЛЬНЫХ С ПОГРАНИЧНЫМИ СТЕНОЗАМИ В КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЯХ: СРАВНЕНИЕ С ИЗМЕРЕНИЯМИ ФРАКЦИОННОГО РЕЗЕРВА КРОВОТОКА

<i>Цель</i>	Оценка диагностической точности перфузионной компьютерной томографии (ПКТ) миокарда с чреспищеводной электрокардиостимуляцией (ЧП-ЭКС) в выявлении ишемии у больных с пограничными стенозами (50–75%) в коронарных артериях по сравнению с измерениями фракционного резерва кровотока (ФРК).
<i>Материал и методы</i>	В исследование были включены 25 больных с пограничными (50–75%) стенозами по данным компьютерной томографической ангиографии (КТА) или коронарной ангиографии (КАГ). Впоследствии им были выполнены инвазивное измерение ФРК и ПКТ миокарда на томографе с 320-рядным детектором в сочетании со стресс-тестом ЧП-ЭКС. Значение показателя ФРК <0,8 указывало на гемодинамическую значимость стеноза. Перфузию миокарда оценивали визуально, путем согласованного заключения двух специалистов.
<i>Результаты</i>	Все пациенты прошли полный протокол исследования. Продолжительность навязывания искусственного ритма у всех пациентов составила 6 мин. Внутривенное введение атропина сульфата потребовалось 4 пациентам. ПКТ с ЧП-ЭКС выявила значимые для ФРК стенозы с чувствительностью, специфичностью, прогностической ценностью положительного результата и прогностической ценностью отрицательного результата 47, 90, 87 и 53% соответственно.
<i>Заключение</i>	ПКТ с ЧП-ЭКС в комбинации с КТА можно рассматривать как информативный метод обследования для одновременной оценки состояния коронарных артерий и выявления ишемии миокарда. Данная методика особенно актуальна для анализа гемодинамической значимости пограничных стенозов в коронарных артериях.
<i>Ключевые слова</i>	Острый коронарный синдром; компьютерная томография; перфузионная компьютерная томография; пограничный стеноз; чреспищеводная электрокардиостимуляция; фракционный резерв кровотока
<i>Для цитирования</i>	Omarov Y. A., Veselova T. N., Shakhnovich R. M., Sukhinina T. S., Zhukova N. S., Merkulova I. N. et al. Computed Tomography Myocardial Perfusion Imaging With Transesophageal Atrial Pacing Stress Test in Patients With Borderline Stenoses in the Coronary Arteries: a Comparison With Fractional Flow Reserve. <i>Kardiologiia</i> . 2021;61(1):4–11. [Russian: Омаров Ю. А., Веселова Т. Н., Шахнович Р. М., Сухинина Т. С., Жукова Н. С., Меркулова И. Н. и др. Перфузионная компьютерная томография миокарда с чреспищеводной электрокардиостимуляцией в качестве стресс-теста у больных с пограничными стенозами в коронарных артериях: сравнение с измерениями фракционного резерва кровотока. <i>Кардиология</i> . 2021;61(1):4–11].
<i>Автор для переписки</i>	Омаров Юсуп Абакарович. E-mail: mugen13@narod.ru

Компьютерная томографическая ангиография (КТА) коронарных артерий (КА) широко используется для выявления атеросклеротических изменений в КА. Согласно современным клиническим рекомендациям, КТА является предпочтительным инструментальным методом диагностики у больных с подозрением на острый коронарный синдром (ОКС) без подъема сегмента ST (ОКСбпST) и ишемическую болезнь сер-

ца (ИБС) с низкой или средней претестовой вероятностью [1, 2]. Проспективные клинические исследования показали, что у больных с подозрением на ИБС использование КТА ассоциировано с лучшими клиническими исходами по сравнению с использованием диагностических тестов, направленных на выявление только ишемии миокарда [3, 4]. К ограничениям метода КТА относится невозможность функциональной оценки выявленных

стенозов. Для определения гемодинамической значимости стенозов и показаний к реваскуляризации миокарда часто приходится дополнительно проводить нагрузочные тесты с визуализацией миокарда – эхокардиографию (ЭхоКГ), однофотонную эмиссионную компьютерную томографию (ОФЭКТ), магнитно-резонансную томографию (МРТ). Одним из методов выявления ишемии миокарда является перфузионная компьютерная томография (ПКТ) [5].

Для проведения стресс-тестов, направленных на оценку перфузии или преходящей ишемии миокарда, используют физическую нагрузку, фармакологические агенты или чреспищеводную электрокардиостимуляцию (ЧП-ЭКС). У больных, которые не могут выполнять физическую нагрузку, безопасным и эффективным методом нагрузочного теста является ЧП-ЭКС [6]. При ЧП-ЭКС частота сердечных сокращений (ЧСС) восстанавливается сразу после прекращения стимуляции, а индуцированная ишемия миокарда обычно сохраняется не более минуты, что может проявляться депрессией сегмента ST на электрокардиограмме (ЭКГ) в нескольких комплексах после прекращения ЧП-ЭКС. Эти особенности позволяют использовать ЧП-ЭКС при проведении ПКТ.

Очевидным преимуществом использования ПКТ является возможность одновременной оценки коронарной анатомии и функциональной значимости стенозов. Наибольший интерес для этой методики представляют больные с подозрением на ОКС, у которых при проведении КТА были выявлены пограничные (50–75%) стенозы. В исследование также были включены больные с подтвержденным острым инфарктом миокарда (ОИМ), у которых в ходе проведения коронарной ангиографии (КАГ) были выявлены пограничные стенозы в инфаркт-несвязанных артериях.

В настоящее время «золотым стандартом» определения функциональной значимости стеноза является инвазивное измерение фракционного резерва кровотока (ФРК) [7]. Он отражает градиент между средним коронарным давлением за местом стеноза и средним аортальным давлением. Пороговым значением ФРК считается 0,8 [8]. Во многих исследованиях продемонстрировано, что ориентированный на ФРК подход к реваскуляризации ассоциируется со снижением риска развития сердечно-сосудистых осложнений, включающих ОИМ и смерть [9]. Исходя из этого, для более точной и объективной оценки диагностических возможностей ПКТ в качестве референтной методики в нашем исследовании использовалось измерение ФРК.

Цель исследования

Определение диагностической точности ПКТ миокарда с ЧП-ЭКС в выявлении ишемии у больных с погра-

ничными (50–75%) стенозами в КА по сравнению с измерениями ФРК.

Материал и методы

В исследование были включены 25 пациентов, госпитализированных в блок реанимации и интенсивной терапии. Пациентам с подозрением на ОКС и выявленным пограничным (50–75%) стенозом в КА по данным КТА (n=19) и пациентам с ОИМ, у которых выявлялся пограничный стеноз в инфаркт-несвязанных артериях (n=6), впоследствии были проведены инвазивное измерение ФРК и ПКТ на томографе с 320-рядным детектором в сочетании со стресс-тестом ЧП-ЭКС.

В группу больных с подозрением на ОКС включали пациентов с отрицательным тропониновым тестом и без ишемических изменений на ЭКГ. Диагноз ОИМ устанавливали согласно критериям четвертого универсального определения ИМ от 2018 г. [10]: выявление повышения и/или последующего снижения уровня маркеров повреждения миокарда (предпочтительнее тропонина) более 99-го перцентиля верхней границы нормы и хотя бы один из следующих признаков ишемии: клинические симптомы ишемии; электрокардиографические признаки ишемии (динамика сегмента ST или полная блокада левой ножки пучка Гиса); появление патологического зубца Q; уменьшение массы жизнеспособного миокарда по данным визуализирующих методов или появление новых зон нарушений локальной сократимости.

Критериями исключения из исследования служили наличие более одного стеноза в артерии >50%, «свежего» очагового поражения или постинфарктного рубца в бассейне исследуемой артерии, а также почечная недостаточность (скорость клубочковой фильтрации менее 50 мл/мин), аллергические реакции на йодсодержащие

Таблица 1. Клиническая характеристика пациентов с острым коронарным синдромом (n=19) и острым инфарктом миокарда (n=6)

Характеристика	Больные с ОКСбпST и ОИМ	
	абс. число	%
Общее число пациентов	25	100
Средний возраст, годы	63±7,8	
Пол, м/ж	17/8	68/32
Постинфарктный кардиосклероз	9	36
Артериальная гипертония	19	76
Гиперхолестеринемия	16	64
Сахарный диабет	4	16
Курение	12	48
ОНМК в анамнезе	1	4
Отягощенная наследственность	10	40

ОКСбпST – острый коронарный синдром без подъема сегмента ST; ОИМ – острый инфаркт миокарда; ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения.

препараты в анамнезе, беременность и период кормления грудью, тяжелые сопутствующие заболевания, самостоятельно влияющие на прогноз, наличие противопоказаний к проведению ЧП-ЭКС, клаустрофобия.

Клиническая характеристика пациентов, включенных в исследование, представлена в табл. 1.

КТА коронарных артерий

КТА проводили на томографе с 320-рядным детектором. За один оборот рентгеновской трубки, длящийся 0,275 с, одновременно выполнялось 640 томографических срезов толщиной 0,5 мм с внутривенным введением 50–70 мг (в зависимости от массы тела больного) контрастного препарата (с концентрацией 350–370 мг йода/мл). Напряжение на рентгеновской трубке составляло 100 кВ при индексе массы тела (ИМТ) <25 кг/м² (120 кВ при ИМТ ≥25 кг/м²). После выполнения топографии органов грудной клетки проводили разметку зоны интереса от уровня на 1 см выше корня аорты и до уровня диафрагмы. Контрастный препарат вводили внутривенно со скоростью 5 мл/с автоматическим шприцем. Артериальная фаза исследования начиналась автоматически при достижении пиковой концентрации контрастного препарата в просвете корня аорты. Использовалась проспективная ЭКГ-синхронизация в диапазоне интервала R–R от 75 до 95%. При ЧСС >65 уд/мин применяли пероральный или внутривенный бета-адреноблокатор.

Протокол проведения ПКТ

Протокол включал две фазы исследования: КТА, выполненная на фоне стресс-теста ЧП-ЭКС (фаза стресса), и в покое, с одинаковыми параметрами томографии и дозами контрастного вещества. У пациентов, включенных в исследование на основании данных КТА КА, при проведении ПКТ выполняли только фазу стресса, а оценку перфузии миокарда в покое проводили на основании изображений, полученных при первичной компьютерной томографии (КТ). Стресс-тест с ЧП-ЭКС выполняли с помощью чреспищеводного электрокардиостимулятора Эзотест ДМС. Исследование проводили натощак, исключая прием пищи за 3–4 ч. Прием антиангинальных препаратов, включая бета-адреноблокаторы, был прекращен за 48 ч до исследования. Больным с ОИМ исследование проводили на 7–10-е сутки заболевания.

Фаза стресса

В начале исследования выполняли топографию в боковой и прямой проекциях, по которым устанавливали границы зоны исследования (от бифуркации трахеи и до нижней границы сердца). После этого начинали стресс-тест: во время нахождения пациента на столе компьютерного томографа под контролем параметров 12-ка-

нальной ЭКГ, артериального давления (АД) инициировали ЧП-ЭКС, начиная с частоты на 20 имп/мин меньше субмаксимальной ЧСС, рассчитанной по формуле:

$$0,75 \times (220 - \text{возраст пациента}).$$

В дальнейшем каждую минуту, не прекращая стимуляции, дискретно увеличивали частоту ритма на 10 имп/мин в течение 3 мин до достижения субмаксимальной ЧСС, по минуте на каждой ступени. При возникновении атрио-вентрикулярной блокады II степени с периодами Самойлова–Венкебаха внутривенно вводили 1 мг атропина сульфат. Последнюю ступень стимуляции выполняли при максимальной ЧСС в течение 3 мин. Суммарное время стимуляции составляло 6 мин. В конце 6-й минуты стимуляции через периферический венозный катетер начиналось автоматическое введение контрастного вещества, и при достижении его пиковой концентрации в проекции корня аорты одномоментно прекращалась стимуляция и проводилась КТА.

Фаза покоя

Исследование в покое проводили через 20 мин после фазы стресса. При ЧСС >65 уд/мин применяли бета-адреноблокатор перорально или внутривенно. Средняя доза лучевой нагрузки на пациента составила 11,2±4,6 мЗв.

Анализ результатов КТА коронарных артерий

Изображения КТА были проанализированы опытным специалистом. Визуально оценивалась степень стеноза каждого коронарного сегмента. При наличии одного стеноза 50–75% и без других стенозов в артерии ≥50% больного включали в исследование.

Анализ перфузии миокарда

С помощью реконструкций полученных изображений выбирали фазу с наименьшим количеством артефактов. Изображения оценивали 2 специалиста в соответствии с 17-сегментной моделью Американской кардиологической ассоциации [11], исключая верхушку левого желудочка (ЛЖ). Каждый из 16 сегментов миокарда оценивали по отсутствию или наличию дефекта контрастирования миокарда (дефекта перфузии) при визуальной оценке. Дефектом контрастирования считали более «темный» участок пониженной рентгеновской плотности миокарда по отношению к остальным сегментам ЛЖ. Специалисты, оценивающие дефекты перфузии миокарда, не знали о локализации стенозов в КА.

Для наглядной визуализации применяли трехмерную реконструкцию сердца с автоматическим цветовым кодированием в зависимости от рентгеновской плотности миокарда: 0 (синий цвет) – нормальная перфузия, 1 (зеленый) – незначительное снижение перфузии, 2 (жел-

тый) – умеренное снижение перфузии, 3 (оранжевый) – выраженное снижение перфузии, 4 (красный) – перфузия отсутствует.

КАГ и ФРК

КАГ выполняли на аппарате Allura Xper FD-10 с применением катетера диметром 6F, который устанавливается в устье КА лучевым доступом. Для контрастирования КА использовали неионные йодсодержащие контрастные препараты. Количественный анализ ангиограмм проводили визуально и автоматически с помощью системы Xcelera.

Для измерения ФРК с целью достижения дилатации эпикардиальных артерий интракоронарно вводили 250 мкг нитроглицерина. Затем интракоронарный датчик для измерения давления подводили к кончику направляющего катетера для измерения давления в проксимальной части коронарного русла. После этого после нормализации кривых давления интракоронарный датчик проводили дистальнее стеноза в КА. Максимальная гиперемия достигалась путем введения в артерию папаверина (для левой коронарной артерии 20 мг, для правой – 12 мг). После этого измеряли ФРК с последующей мануальной обратной тракцией датчика по направлению к устью артерии для определения гемодинамической значимости атеросклеротической бляшки на различных уровнях КА.

При ФРК $\geq 0,80$ констатировали гемодинамически незначимое, при ФРК $< 0,80$ – гемодинамически значимое поражение артерии.

Статистический анализ

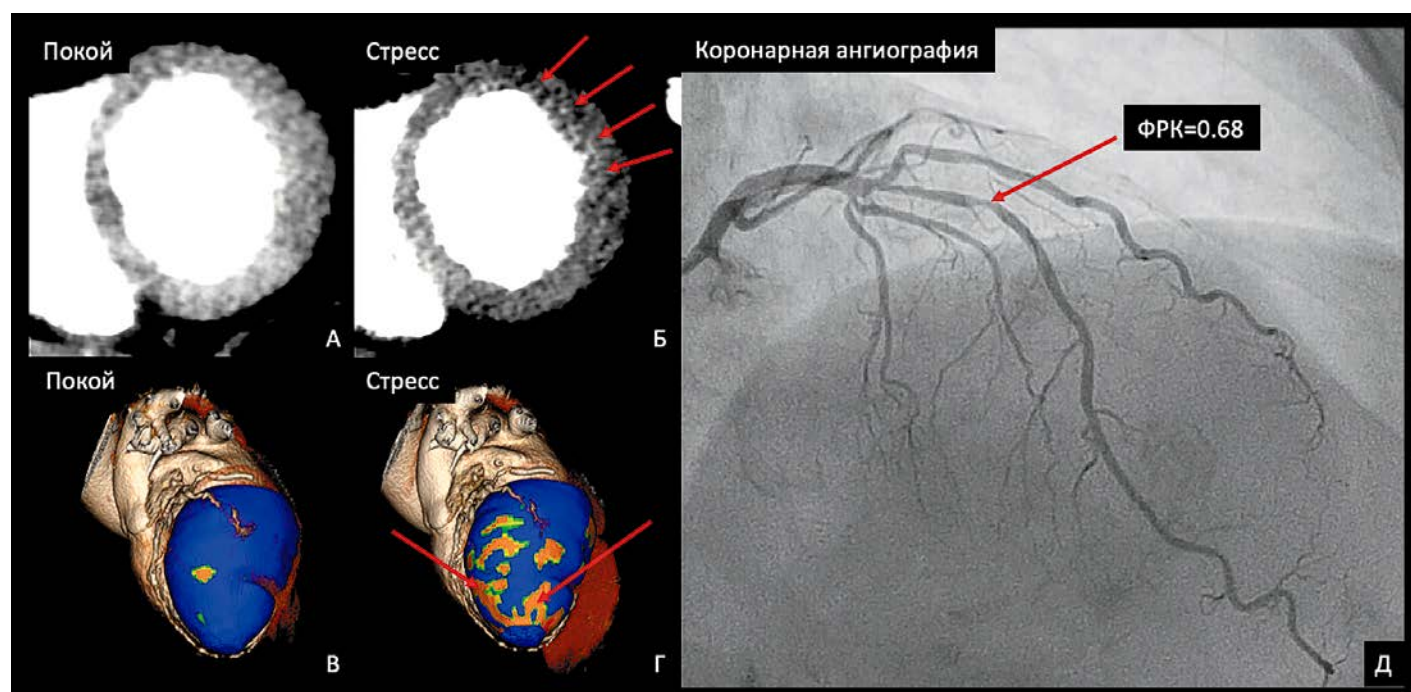
Математическую обработку полученных данных осуществляли с помощью программы MedCalc 19.2.0. Чувствительность, специфичность, прогностическую ценность положительного результата (ПЦПР) и прогностическую ценность отрицательного результата (ПЦОР) рассчитывали для прогнозирования способности ПКТ подтвердить или исключить ишемию в зоне кровоснабжения исследуемой артерии, при сравнении с результатами измерений ФРК.

Результаты

Пациентов, у которых отсутствовала возможность произвести оценку КА при КТА (выраженный кальциноз, наличие артефактов), не включали в исследование. В исследование были включены 19 больных с ОКСбпСТ и пограничными стенозами в КА по результатам КТА и 6 больных ОИМ – по данным КАГ.

Все пациенты ($n=25$) прошли полный протокол исследования, продолжительность навязывания искусственного ритма составила 6 мин. Введение атропина сульфата во время проведения фазы стресса с ЧП-ЭКС потребовалось 4 па-

Рисунок 1. ПКТ миокарда и коронарная ангиография с измерением ФРК



На изображениях перфузионной компьютерной томографии (ПКТ) в покое (А) определяется равномерное контрастирование миокарда левого желудочка (ЛЖ). На изображениях ПКТ на фоне стресса (Б) определяется зона пониженного контрастирования (зона дефекта перфузии, стрелки) переднебоковой локализации ЛЖ. На трехмерных КТ-изображениях сердца с цветовым картированием в фазу покоя (В) и фазу стресса (Г) зона дефекта перфузии окрашена оранжевым цветом (Г, стрелки). На коронарограмме (Д) визуализируется 70% стеноз проксимального сегмента передней нисходящей артерии (стрелка). Фракционный резерв кровотока (ФРК) составил 0,68, что свидетельствует о гемодинамической значимости стеноза.

циентам. Ишемической динамики на ЭКГ, ангинозных приступов ни у кого из пациентов не зафиксировано.

При оценке перфузии миокарда у 8 (32%) пациентов выявлено преходящее нарушение перфузии. В качестве клинического примера на рис. 1 приведены данные ПКТ и КАГ с ФРК больной 56 лет с подозрением на ОКС. По данным ПКТ был выявлен преходящий дефект перфузии средних сегментов передней и переднебоковой локализации. При КАГ выявлен стеноз 70% проксимального сегмента передней нисходящей артерии, ФРК составил 0,68.

Согласованность заключений специалистов составила 92%. У 3 пациентов (12%) качество изображения было низким из-за повышенного соотношения сигнал/шум или артефактов от сердечных сокращений.

У пациентов с выявленным дефектом перфузии в 5 случаях степень стеноза в соответствующей артерии составляла 70–75%, в 3 случаях – 60–69%.

Шестерым пациентам, у которых во время экстренного чрескожного коронарного вмешательства по поводу ОИМ был выявлен пограничный стеноз в инфаркт-несвязанной артерии, и 19 больным с подозрением на ОКС, у которых по данным КТА был выявлен стеноз 50–75%, было выполнено измерение ФРК после ПКТ.

У всех пациентов подтвердились ранее выявленные пограничные стенозы. У 13 из них пограничный стеноз был локализован в передней нисходящей артерии, у 5 – в правой КА, у 4 – в огибающей артерии, у 2 – в артерии тупого края и у одного пациента – в диагональной артерии. Степень стеноза 50–59% была у 4 пациентов, 60–69% – у 8 и 70–75% – у 13.

Измерение ФРК было успешно выполнено всем 25 пациентам. У 15 (60%) пациентов ФРК указывал на гемодинамическую значимость стеноза. Среднее значение ФРК составило $0,75 \pm 0,14$. В случае 50–59% стенозов измерение ФРК было значимо у 2 пациентов, 60–69% – у 4 и 70–75% – у 9.

ПКТ выявила ФРК-значимые стенозы с чувствительностью, специфичностью, ПЦПР и ПЦОР 47, 90, 87 и 53% соответственно (табл. 2).

Согласованность результатов измерений ФРК и ПКТ наблюдалась у 16 пациентов. Дефекты перфузии по данным ПКТ у 7 из 15 пациентов были истинно-положительными, у 9 из 10 пациентов – истинно-отрицательными.

При расчете полученных данных на пороговое значение ФРК $<0,75$ чувствительность, специфичность, ПЦПР, ПЦОР для ПКТ составили 67, 81, 67 и 81% соответственно (см. табл. 2).

Обсуждение

В ряде клинических исследований продемонстрирована высокая диагностическая точность комбинации КТА и ПКТ миокарда по сравнению с КАГ и различными методиками, визуализирующими стресс-индуцированную ишемию [12–16]. В качестве стресс-теста во всех исследованиях использовались пробы с вазодилататорами: аденозином, регаденозоном, дипиридамолом. Применение большинства фармакологических стресс-агентов невозможно на территории РФ ввиду отсутствия их регистрации. Проводились экспериментальные исследования по оценке перфузии миокарда с помощью КТ на фоне введения аденозинтрифосфата натрия [17], однако методика пока не нашла широкого применения. ЧП-ЭКС, в свою очередь, является доступным диагностическим методом, к преимуществам которого можно отнести низкий риск развития осложнений. Важно отметить, что мы использовали усовершенствованный протокол ЧП-ЭКС, позволяющий по сравнению со стандартным провести исследование в более щадящем для пациента режиме за счет уменьшения продолжительности пробы при достоверном увеличении диагностической точности исследования [18].

Во многих исследованиях, оценивающих диагностическую точность ПКТ в выявлении ишемии миокарда, в качестве референсной методики использовалась стресс-ОФЭКТ [13, 19, 20]. В частности, в многоцентровом исследовании CORE 320 ($n=381$) [13] оценили комбинацию методов КТА/ПКТ с аденозиновым стресс-тестом по сравнению с КАГ/ОФЭКТ. В анализе с расчетом на пациента чувствительность составила 78%, специфичность 73%, ПЦПР – 64%, ПЦОР – 85%. При сравнении ПКТ с ОФЭКТ в обнаружении дефектов перфузии чувствительность, специфичность, ПЦПР, ПЦОР составили 75, 54, 63 и 68% соответственно. Вместе с тем стресс-ОФЭКТ не является «золотым стандартом» в оценке ишемии миокарда. Следует отметить, что при многосудистом поражении коронарного русла из-за диффузного снижения сократимости ЛЖ возможна гипоперфузия по данным как ОФЭКТ [21], так и ПКТ [16]. В настоящее

Таблица 2. Диагностическая точность ПКТ в сравнении с измерениями ФРК

ФРК	ПКТ			
	чувствительность, %	специфичность, %	ПЦПР, %	ПЦОР, %
0,8	47	90	87	53
0,75	67	81	67	81

ПКТ – перфузионная компьютерная томография; ФРК – фракционный резерв кровотока; ПЦПР – прогностическая ценность положительного результата; ПЦОР – прогностическая ценность отрицательного результата.

время измерение ФРК является «золотым стандартом» для определения функциональной значимости стеноза [7]. Клинические исследования показали, что реваскуляризация, основанная на измерениях ФРК, ассоциирована со снижением частоты развития клинически значимых сердечно-сосудистых осложнений [8]. Чувствительность стресс-ОФЭКТ при сравнении с ФРК, по данным литературы, составляет 56–86% [22, 23]. Поэтому полученные в нашем исследовании результаты ПКТ со стресс-тестом с ЧП-ЭКС сравнивались именно с показателями ФРК.

В данном исследовании ПКТ с ЧП-ЭКС показала достаточно высокую специфичность – 90%, ПЦПР – 87%, но чувствительность и ПЦОР оказались невысокими – 47 и 53% соответственно. В работах, оценивающих диагностическую точность различных визуализирующих методик стресс-индуцированной ишемии миокарда по сравнению с ФРК, чувствительность методов была более высокой. Так, по данным мета-анализа, проведенного в 2015 г. [24], чувствительность методик составила: ОФЭКТ – 61%, МРТ – 87%, позитронно-эмиссионной томографии – 83%, ПКТ – 78%. Стоит отметить, что при анализе ПКТ в этих исследованиях использовали в том числе динамическую ПКТ [25, 26]. Ее особенность заключается в том, что она позволяет провести более точную количественную оценку перфузии миокарда в сравнении со статической ПКТ, использованной в нашем исследовании. По нашему мнению, не вполне корректно объединять две методики оценки дефекта перфузии для суммарной оценки чувствительности ПКТ. По данным мета-анализа, объединившего данные исследований КТА, ПКТ и КТ-ФРК в выявлении гемодинамически значимых стенозов по сравнению с инвазивной оценкой ФРК, чувствительность ПКТ в выявлении ишемии при анализе на сосуд составила 83% [27]. В этом мета-анализе также совместно анализировались исследования со статической и динамической ПКТ. Еще одной особенностью проведенных исследований является то, что использовалось разное пороговое значение ФРК: 0,8 и 0,75. Согласно рекомендациям Европейского общества кардиологов по реваскуляризации миокарда от 2018 г., гемодинамически значимым стеноз считается при ФРК $<0,80$ [7]. На этот уровень мы ориентировались в нашей работе. Однако для выявления поражения, обуславливающего более тяжелую ишемию, имеющую серьезное прогностическое значение, часто используется порог ФРК $<0,75$ [9]. При расчете порогового значения ФРК $<0,75$ в нашем исследовании чувствительность, специфичность, ПЦПР, ПЦОР для ПКТ составили 67, 81, 67 и 81% соответственно. Исходя из этого можно предположить, что значение ФРК в «серой зоне» (0,75–0,8) ассоциировано с меньшим объемом ишемии и ее недооценкой при анализе перфузии миокарда.

Принципиальной особенностью исследований диагностической точности ПКТ в сравнении с ФРК [28–30] является включение больных со стенозами КА более 50% без ограничений верхнего значения степени сужения. В нашей работе изучались больные с так называемыми пограничными (50–75%) стенозами. Такой выбор дизайна исследования был обусловлен тем, что у больных именно этой категории уточнение гемодинамической значимости стенозов представляет наибольший практический интерес, особенно в случаях, когда клиническая картина и данные инструментальных и лабораторных методов исследования вызывают сомнения в наличии ИБС. Кроме того, мы первоначально оценивали ПКТ отдельно от методик, визуализирующих КА. Во всех исследованиях, анализирующих диагностические возможности ПКТ, метод изучался в комбинации с оценкой степени стеноза. Критерием гемодинамической значимости стеноза были его значение $\geq 50\%$ по данным КТА или соответствующий дефект перфузии по данным ПКТ. Поэтому в случае сомнительного дефекта перфузии решение о наличии или отсутствии ишемии можно принять на основании локализации и характера стенозов в КА. При таком подходе в большинстве исследований сочетанный анализ данных КТА и ПКТ показывает более высокую чувствительность, чем при оценке только ишемии по данным ПКТ [31].

ЧП-ЭКС является доступным и безопасным видом стресс-теста, но методика имеет ограничения, в частности, иногда невозможно установить зонд в пищеводе ввиду повышенного рвотного рефлекса у пациента, в отдельных случаях не удается навязать ритм. Для данной методики существуют также противопоказания, например, заболевания пищевода: опухоль, дивертикулез, стриктуры, ахалазия. В свою очередь, ПКТ следует проводить с осторожностью у пациентов с хронической болезнью почек, так как комбинированное исследование нагрузка/покой требует двойного введения контрастного вещества. Согласно полученным данным, чувствительность ПКТ с ЧП-ЭКС невысокая, что также можно отнести к ограничению метода. Вместе с тем с уверенностью судить о чувствительности и специфичности можно при расширении числа наблюдений.

Наше исследование является пилотным. Очевидно, что для дальнейшего изучения метода необходимо включение большего числа пациентов, с различной степенью стенотического поражения КА, разными формами ИБС. Для внедрения метода в клиническую практику необходимо провести комбинированный анализ ПКТ с КТА и оценить прогностическую ценность такого подхода. Представляет интерес сравнение данной методики с другими методами визуализации ишемии миокарда, имеющими высокую диагностическую точность: стресс-ОФЭКТ, стресс-ЭхоКГ, стресс-МРТ.

Заключение

Перфузионная компьютерная томография хорошо зарекомендовала себя как методика, улучшающая диагностическую точность компьютерной томографической ангиографии при выявлении стенозов в коронарных артериях $\geq 50\%$. Наше исследование продемонстрировало, что использование чреспищеводной электрокардиостимуляции в качестве стресс-теста при перфузионной компьютерной томографии позволяет выявлять преходящие

дефекты перфузии миокарда у больных ишемической болезнью сердца. Такой подход особенно актуален при выявлении пограничных (50–75%) стенозов в коронарных артериях.

Потенциальный конфликт интересов авторов статьи отсутствует.

Статья поступила 25.08.20

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Collet J-P, Thiele H, Barbato E, Barthélémy O, Bauersachs J, Bhatt DL et al. 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. *European Heart Journal*. 2020;ehaa575. [Epub ahead of print]. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa575
- Knuuti J, Wijns W, Saraste A, Capodanno D, Barbato E, Funck-Brentano C et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *European Heart Journal*. 2020;41(3):407–77. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz425
- Douglas PS, Hoffmann U, Patel MR, Mark DB, Al-Khalidi HR, Cavanaugh B et al. Outcomes of Anatomical versus Functional Testing for Coronary Artery Disease. *New England Journal of Medicine*. 2015;372(14):1291–300. DOI: 10.1056/NEJMoa1415516
- The SCOT-HEART Investigators, Newby DE, Adamson PD, Berry C, Boon NA, Dweck MR et al. Coronary CT Angiography and 5-Year Risk of Myocardial Infarction. *New England Journal of Medicine*. 2018;379(10):924–33. DOI: 10.1056/NEJMoa1805971
- Seitun S, De Lorenzi C, Cademartiri F, Buscaglia A, Travaglio N, Balbi M et al. CT Myocardial Perfusion Imaging: A New Frontier in Cardiac Imaging. *BioMed Research International*. 2018;2018:7295460. DOI: 10.1155/2018/7295460
- Modi SA, Siegel RJ, Birnbaum Y, Atar S. Systematic Overview and Clinical Applications of Pacing Atrial Stress Echocardiography. *The American Journal of Cardiology*. 2006;98(4):549–56. DOI: 10.1016/j.amjcard.2006.02.067
- Neumann F-J, Sousa-Uva M, Ahlsson A, Alfonso F, Banning AP, Benedetto U et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *European Heart Journal*. 2019;40(2):87–165. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy394
- Sergienko I.V., Ansheles A.A., Kukharchuk V.V. Atherosclerosis and dyslipidemias: modern aspects of pathogenesis, diagnostics and treatment. -М.: ООО 'Patis';2017. - 140 p. [Russian: Сергиенко И.В., Аншелес А.А., Кухарчук В.В. Атеросклероз и дислипидемии: современные аспекты патогенеза, диагностики и лечения. – М.: ООО «ПатиСС», 2017. – 140с]. ISBN 978-5-903630-88-2
- Johnson NP, Tóth GG, Lai D, Zhu H, Açar G, Agostoni P et al. Prognostic Value of Fractional Flow Reserve: Linking physiologic severity to clinical outcomes. *Journal of the American College of Cardiology*. 2014;64(16):1641–54. DOI: 10.1016/j.jacc.2014.07.973
- Thygesen K, Alpert JS, Jaffe AS, Chaitman BR, Bax JJ, Morrow DA et al. Fourth universal definition of myocardial infarction (2018). *European Heart Journal*. 2019;40(3):237–69. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy462
- Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, Jacobs AK, Kaul S, Laskey WK et al. Standardized Myocardial Segmentation and Nomenclature for Tomographic Imaging of the Heart: A Statement for Healthcare Professionals From the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Circulation*. 2002;105(4):539–42. DOI: 10.1161/hc0402.102975
- Blankstein R, Shturman LD, Rogers IS, Rocha-Filho JA, Okada DR, Sarwar A et al. Adenosine-Induced Stress Myocardial Perfusion Imaging Using Dual-Source Cardiac Computed Tomography. *Journal of the American College of Cardiology*. 2009;54(12):1072–84. DOI: 10.1016/j.jacc.2009.06.014
- Magalhães TA, Kishi S, George RT, Arbab-Zadeh A, Vavere AL, Cox C et al. Combined coronary angiography and myocardial perfusion by computed tomography in the identification of flow-limiting stenosis – The CORE320 study: An integrated analysis of CT coronary angiography and myocardial perfusion. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2015;9(5):438–45. DOI: 10.1016/j.jcct.2015.03.004
- Ko SM, Park JH, Hwang HK, Song MG. Direct comparison of stress- and rest-dual-energy computed tomography for detection of myocardial perfusion defect. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2014;30(Suppl 1):41–53. DOI: 10.1007/s10554-014-0410-3
- Alessio AM, Bindschadler M, Busey JM, Shuman WP, Caldwell JH, Branch KR. Accuracy of Myocardial Blood Flow Estimation From Dynamic Contrast-Enhanced Cardiac CT Compared With PET. *Circulation: Cardiovascular Imaging*. 2019;12(6):e008323. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.118.008323
- Seitun S, Castiglione Morelli M, Budaj I, Boccacini S, Galletto Pregliasco A, Valbusa A et al. Stress Computed Tomography Myocardial Perfusion Imaging: A New Topic in Cardiology. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*. 2016;69(2):188–200. DOI: 10.1016/j.rec.2015.10.018
- Soboleva G.N., Gaman S.A., Ternovoy S.K., Shariya M.A., Karpova I.E., Karpov Yu.A. Disturbance of myocardial perfusion in non-obstructive coronary arteries by volume computed tomography combined with adenosine triphosphate pharmacological test. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2018;8(3):273–8. [Russian: Соболева Г.Н., Гаман С.А., Терновой С.К., Шария М.А., Карпова И.Е., Карпов Ю.А. Нарушение перфузии миокарда левого желудочка при неизмененных коронарных артериях по данным объемной компьютерной томографии, совмещенной с фармакологической пробой аденозинтрифосфатом. Российский Электронный Журнал Лучевой Диагностики. 2018;8(3):273–8]. DOI: 10.21569/2222-7415-2018-8-3-273-278
- Saidova M.A., Botvina Ju.V., Shitov V.N. Method of identifying latent coronary artery disease in patients with ischemic heart disease. Patent RU 2 502 465 C1. Application: 2012125644/14/2012.06.20. Av. At: https://yandex.ru/patents/doc/RU2502465C1_20131227. [Russian: Саидова М.А., Ботвина Ю.В., Шитов В.Н. Способ выявления скрытой коронарной недостаточности у больных ишемической болезнью сердца. Патент RU 2 502 465 C1. Заявка: 2012125644/14/2012.06.20. Доступно на: https://yandex.ru/patents/doc/RU2502465C1_20131227]
- George RT, Arbab-Zadeh A, Miller JM, Vavere AL, Bengel FM, Larado AC et al. Computed Tomography Myocardial Perfusion Imaging With 320-Row Detector Computed Tomography Accurately Detects Myocardial Ischemia in Patients With Obstructive Coronary Artery Disease. *Circulation: Cardiovascular Imaging*. 2012;5(3):333–40. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.111.969303
- Nasis A, Ko BS, Leung MC, Antonis PR, Nandurkar D, Wong DT et al. Diagnostic accuracy of combined coronary angiography and adenosine stress myocardial perfusion imaging using 320-detector computed tomography: pilot study. *European Radiology*. 2013;23(7):1812–21. DOI: 10.1007/s00330-013-2788-z
- Melikian N, De Bondt P, Tonino P, De Winter O, Wyffels E, Bartunek J et al. Fractional Flow Reserve and Myocardial Perfusion Imag-

- ing in Patients With Angiographic Multivessel Coronary Artery Disease. *JACC: Cardiovascular Interventions*. 2010;3(3):307–14. DOI: 10.1016/j.jcin.2009.12.010
22. Danad I, Raijmakers PG, Driessen RS, Leipsic J, Raju R, Naoum C et al. Comparison of Coronary CT Angiography, SPECT, PET, and Hybrid Imaging for Diagnosis of Ischemic Heart Disease Determined by Fractional Flow Reserve. *JAMA Cardiology*. 2017;2(10):1100–7. DOI: 10.1001/jamacardio.2017.2471
23. Driessen RS, Raijmakers PG, Danad I, Stuijzand WJ, Schumacher SP, Leipsic JA et al. Automated SPECT analysis compared with expert visual scoring for the detection of FFR-defined coronary artery disease. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2018;45(7):1091–100. DOI: 10.1007/s00259-018-3951-1
24. Takx RAP, Blomberg BA, Aidi HE, Habets J, de Jong PA, Nagel E et al. Diagnostic Accuracy of Stress Myocardial Perfusion Imaging Compared to Invasive Coronary Angiography With Fractional Flow Reserve Meta-Analysis. *Circulation: Cardiovascular Imaging*. 2015;8(1):e002666. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.114.002666
25. Greif M, von Ziegler F, Bamberg F, Tittus J, Schwarz F, D'Anastasi M et al. CT stress perfusion imaging for detection of haemodynamically relevant coronary stenosis as defined by FFR. *Heart*. 2013;99(14):1004–11. DOI: 10.1136/heartjnl-2013-303794
26. Rossi A, Dharampal A, Wragg A, Davies LC, van Geuns RJ, Anagnostopoulos C et al. Diagnostic performance of hyperaemic myocardial blood flow index obtained by dynamic computed tomography: does it predict functionally significant coronary lesions? *European Heart Journal Cardiovascular Imaging*. 2014;15(1):85–94. DOI: 10.1093/ehjci/jet133
27. Gonzalez JA, Lipinski MJ, Flors L, Shaw PW, Kramer CM, Salerno M. Meta-Analysis of Diagnostic Performance of Coronary Computed Tomography Angiography, Computed Tomography Perfusion, and Computed Tomography-Fractional Flow Reserve in Functional Myocardial Ischemia Assessment Versus Invasive Fractional Flow Reserve. *The American Journal of Cardiology*. 2015;116(9):1469–78. DOI: 10.1016/j.amjcard.2015.07.078
28. Ko BS, Cameron JD, Meredith IT, Leung M, Antonis PR, Nasir A et al. Computed tomography stress myocardial perfusion imaging in patients considered for revascularization: a comparison with fractional flow reserve. *European Heart Journal*. 2012;33(1):67–77. DOI: 10.1093/eurheartj/ehr268
29. Ko BS, Cameron JD, Leung M, Meredith IT, Leong DP, Antonis PR et al. Combined CT Coronary Angiography and Stress Myocardial Perfusion Imaging for Hemodynamically Significant Stenoses in Patients With Suspected Coronary Artery Disease: a comparison with fractional flow reserve. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2012;5(11):1097–111. DOI: 10.1016/j.jcmg.2012.09.004
30. Pontone G, Andreini D, Guaricci AI, Baggiano A, Fazzari F, Guglielmo M et al. Incremental Diagnostic Value of Stress Computed Tomography Myocardial Perfusion With Whole-Heart Coverage CT Scanner in Intermediate- to High-Risk Symptomatic Patients Suspected of Coronary Artery Disease. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2019;12(2):338–49. DOI: 10.1016/j.jcmg.2017.10.025
31. Tanabe Y, Kurata A, Matsuda T, Yoshida K, Baruah D, Kido T et al. Computed tomographic evaluation of myocardial ischemia. *Japanese Journal of Radiology*. 2020;38(5):411–33. DOI: 10.1007/s11604-020-00922-8