

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРФУЗИОННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ МИОКАРДА И НЕИНВАЗИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ФРАКЦИОННОГО РЕЗЕРВА КРОВОТОКА ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ АНГИОГРАФИИ

Веселова Т.Н.¹, Омаров Ю.А.¹, Шахнович Р.М.¹, Миронов В.М.¹,
Арутюнян Г.К.¹, Терновой С.К.^{1,2}, Борисенко В.В.³, Чеповский А.М.^{4,5}

Цель исследования. Продемонстрировать диагностические возможности перфузионной компьютерной томографии (ПКТ) миокарда и неинвазивного измерения фракционного резерва кровотока (ФРК) по данным компьютерной томографической ангиографии (ФРККТА).

Материалы и методы. Первый клинический случай: пациенту 56-ти лет с подозрением на острый коронарный синдром была выполнена ПКТ миокарда с чреспищеводной электрокардиостимуляцией по протоколу покой/стресс. При оценке коронарных артерий был выявлен 70% стеноз проксимального сегмента передней нисходящей артерии, при оценке перфузии выявлена преходящая ишемия передней локализации. При проведении КАГ подтвердилось наличие стеноза, показатель инвазивного ФРК составил 0,68.

Второй клинический случай: пациенту 67-ти лет с клиникой стабильной стенокардии была выполнена КТА, по данным которой выявлен 70% стеноз проксимального сегмента ПНА. При измерении ФРККТА с использованием авторской математической модели показатель составил 0.75. В последующем больному был проведен стресс-тест с эхо-визуализацией, который выявил преходящую ишемию передней локализации. По данным КАГ подтвердилось наличие стеноза в ПНА, при измерении показатель ФРК оставил 0,7.

При работе использовался компьютерный томограф «Aqilion ONE 640 Vision Edition» (Canon, Япония).

Результаты. В сообщении представлены клинические случаи использования стресс-ПКТ миокарда и ФРККТА в диагностике ишемической болезни сердца.

Обсуждение. ПКТ и ФРККТА обладают высокой диагностической точностью для комплексной оценки состояния коронарного русла и ишемии миокарда. Внедрение данных методик в клиническую практику позволит избежать проведения дополнительных исследований, верифицирующих ишемию. ФРККТА обладает более высокой чувствительностью в сравнении с ПКТ миокарда, поэтому разработка отечественной математической модели для неинвазивного определения ФРК по результатам КТА является актуальной задачей.

Заключение. Приведенные клинические примеры продемонстрировали эффективное использование ПКТ миокарда и ФРККТА в оценке гемодинамической значимости стенозов в коронарных артериях.

Ключевые слова: неинвазивное измерение фракционного резерва кровотока, компьютерная томография, перфузия миокарда, ишемическая болезнь сердца, острый коронарный синдром.

Контактный автор: Веселова Т.Н., e-mail: tnikveselova@gmail.com.

Для цитирования: Веселова Т.Н., Омаров Ю.А., Шахнович Р.М., Миронов В.М., Арутюнян Г.К., Терновой С.К., Борисенко В.В., Чеповский А.М. Диагностическая эффективность перфузионной компьютерной томографии миокарда и неинвазивного измерения фракционного резерва кровотока по данным компьютерной томографической ангиографии. REJR 2020; 10(3):150-155. DOI:10.21569/2222-7415-2020-10-3-150-155.

Статья получена: 03.08.20

Статья принята: 28.09.20

1 – ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Минздрава России.

г. Москва, Россия.

2 – ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет).

г. Москва, Россия.

3 – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова.

г. Москва, Россия.

4 – Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

г. Москва, Россия.

5 – Российский университет Дружбы Народов (РУДН).

г. Москва, Россия.

DIAGNOSTIC PERFORMANCE OF COMPUTED TOMOGRAPHY MYOCARDIAL PERFUSION AND NON-INVASIVE FRACTIONAL FLOW RESERVE ACCORDING TO COMPUTED TOMOGRAPHY ANGIOGRAPHY

Veselova T.N.¹, Omarov Y.A.¹, Shakhnovich R.M.¹, Mironov V.M.¹, Arutunyan G.K.¹, Ternovoy S.K.^{1,2}, Borisenko V.V.³, Chepovsky A.M.^{4,5}

Purpose. Demonstrating diagnostic possibilities of stress computed tomography (CT) myocardial perfusion (CTP) and non-invasive fractional flow reserve (FFR) according to computed tomography angiography (CTA; FFRCT) in an evaluation of significance coronary artery lesions.

Materials and methods. The first clinical case. A 56-year-old man with suspected acute coronary syndrome underwent stress CTP with transesophageal pacing according to the rest / stress protocol. Assessment of the coronary arteries revealed 70% stenosis of the proximal segment of the left anterior descending (LAD) artery, assessment of perfusion revealed transient anterior ischemia. During invasive coronary angiography (ICA), the presence of stenosis was confirmed, FFR was 0.68.

The second clinical case. A 67-year-old man with a stable angina pectoris underwent CTA, according to which 70% stenosis of the proximal segment LAD artery was revealed. FFRCT was 0.75, when the author's mathematical tool was used. Subsequently, the patient underwent a stress-echocardiography, which revealed transient anterior ischemia. According to the ICA, stenosis in the LAD artery was confirmed, FFR was 0.7. The CT «Aqulion ONE 640 Vision Edition» (Toshiba, Japan) was used.

Results. Clinical cases of using stress CTP and FFRCT as a diagnostic tool in chronic coronary syndrome are presented in this report.

Discussion. Stress CTP and FFRCT are highly specific and accurate diagnostic tools, that can be used to detect coronary ischemia. Using these methods can help clinicians to optimize diagnostic work-up.

FFRCT are more accurate test in comparison with stress CTP, that's why further investigations, especially using Russian mathematical tool for the non-invasive FFR according to CTA are perspective and actual.

Conclusion. In these clinical cases it was demonstrated that stress CTP and FFRCT can be used as effective d-tools in evaluation of significance coronary artery lesions.

Keywords: non-invasive fractional flow reserve, computed tomography, myocardial perfusion, chronic coronary syndrome, acute coronary syndrome

Corresponding author: Veselova T.N., e-mail: tnikveselova@gmail.com.

For citation: Veselova T.N., Omarov Y.A., Shakhnovich R.M., Mironov V.M., Arutunyan G.K., Ternovoy S.K., Borisenko V.V., Chepovsky A.M. Diagnostic performance of computed tomography myocardial perfusion and non-invasive fractional flow reserve according to computed tomography angiography. REJR 2020; 10(3):150-155. DOI:10.21569/2222-7415-2020-10-3-150-155.

Received: 03.08.20

Accepted: 28.09.20

Оценка наличия и степени выраженности ишемии миокарда у больных ишемической болезнью сердца (ИБС) является одним из основополагающих факторов для принятия решения о необходимости проведения реваскуляризации [1]. Хотя стандартная компьютерная томографическая ангиография (КТА) не может достоверно предсказать ишемию, такие новые

модальности, как перфузионная компьютерная томография (ПКТ) и неинвазивное измерение фракционного резерва кровотока (ФРК) по данным КТА (ФРККТА), показали хорошую сопоставимость с инвазивной оценкой функциональной значимости стеноза [2]. В настоящее время оценка перфузии миокарда и ФРК методом КТА осуществляется в рамках крупномасштабных научных исследований и не является надежным

1 – Federal State Budget Organization National Medical Research Center of Cardiology.

2 – I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).

3 – Lomonosov Moscow State University.

4 – National Research University "Higher School of Economics".

5 – Peoples' Friendship University of Russia. Moscow, Russia.

диагностическим инструментом, одобренным клиническими рекомендациями. Однако неинвазивное определение этих параметров с одномоментной оценкой состояния коронарного русла обладает несомненным научным потенциалом и представляет интерес для применения в клинической практике при обследовании больных с подозрением на ИБС.

Для выявления ишемии миокарда методом статической ПКТ проводится две фазы исследования: в покое и на фоне стресса [3]. Визуально дефект перфузии миокарда представляет собой более «темный» участок пониженной рентгеновской плотности миокарда по отношению к остальным его участкам. ФРККТА определяется как соотношение дистального коронарного давления к давлению в корне аорты с помощью математического моделирования кровотока по данным КТА [4]. В представленных клинических случаях мы продемонстрировали первый российский опыт оценки ишемии миокарда методом ПКТ с использованием чреспищеводной электрокардиостимуляции (ЧПЭС) и определение ФРККТА с использованием авторской математической модели коронарного кровотока [5].

Клинический случай №1.

Больной И., 56 лет, госпитализирован в мае 2019 г. в блок реанимации и интенсивной терапии с подозрением на ОКС. В течение 5-ти дней накануне госпитализации пациент отмечал дискомфорт в левой половине грудной клетки при ходьбе до 200 м, проходящий в покое. Больной без известного коронарного анамнеза. Артериальной гипертензии, сахарного диабета нет. На ЭКГ при поступлении синусовый ритм, без ишемической динамики. По данным ЭхоКГ зон нарушения локальной сократимости миокарда нет, по результатам анализов крови тропонин отрицательный. Таким образом, острый инфаркт миокарда был исключен. С целью верификации ИБС больному была проведена ПКТ со стресс-тестом с ЧПЭС по протоколу покой/стресс. При оценке перфузии была выявлена преходящая ишемия базальных, средних сегментов передней, переднеперегородочной локализации. При оценке коронарных артерий выявлен 70% стеноз проксимального сегмента ПНА. Через двое суток пациенту была выполнена КАГ, по данным которой подтвердилось наличие стеноза в ПНА, а также гемодинамическая значимость стеноза ПНА: показатель ФРК при измерении составил 0.68, что подтвердило его гемодинамическую значимость. Одновременно была выполнена ангиопластика со стентированием. Операция прошла успешно, в последующем ангинозных болей у пациента не было.

Клинический случай №2.

Пациент Н., 67 лет, госпитализирован в

мае 2020 г. с жалобами на боли давящего характера в левой половине грудной клетки и одышку при ходьбе до 300 м в течение последних нескольких месяцев. В 2016 г. больной проходил обследование в условиях стационара с подозрением на ИБС. Была выполнена КАГ, по данным которой выявлен 70% стеноз интермедиарной артерии, в остальных артериях гемодинамически значимых стенозов выявлено не было. Пациенту было проведено эндоваскулярное лечение интермедиарной артерии с установкой 2-х стентов с лекарственным покрытием. В мае 2019 г. пациент перенес инфаркт миокарда без подъема сегмента ST переднебоковой локализации. Проводилась консервативная терапия.

Пациенту в первый день госпитализации выполнена КТА, по данным которой в проксимальном сегменте передней нисходящей артерии (ПНА) определялась протяженная гетерогенная бляшка с неровными контурами, вызывающая стенозирование 65-70% просвета, в других артериях гемодинамически значимых стенозов не выявлено. Стент в интермедиарной артерии проходим. Значение ФРК КТА составило 0.75.

Учитывая «пограничный» характер стенозирования ПНА, пациенту выполнена стресс-эхокардиографии с ЧПЭС. Проба положительная: на максимуме нагрузки отмечалось появление зоны гипокинезии по переднеперегородочной стенке левого желудочка (ЛЖ) – верхушечный и средний сегменты. Во время стимуляции и в периоде восстановления пациент не предъявлял жалобы на боль за грудиной. В плановом порядке выполнена КАГ, выявлен стеноз ПНА до 70%, в остальных артериях гемодинамически значимых стенозов не выявлено, стенты в интермедиарной артерии проходимы. Показатель значения ФРК стеноза в ПНА составил 0.7, что подтвердило его гемодинамическую значимость. Одновременно выполнена ангиопластика со стентированием. Операция прошла успешно, в последующем ангинозных болей у пациента не было.

Обсуждение.

В представленных клинических случаях продемонстрированы диагностические возможности ПКТ и ФРККТА для оценки гемодинамической значимости стенозов коронарных артерий. Очевидным плюсом такого подхода является возможность комплексной оценки анатомии коронарного русла и ишемии миокарда. Данные опубликованных зарубежных исследований [6, 7] показали высокую диагностическую точность ПКТ и ФРККТА, что позволило избежать проведения дополнительных исследований, верифицирующих ишемию, и, как следствие, привело к сокращению сроков госпитализации и финансовых затрат. Стоит от

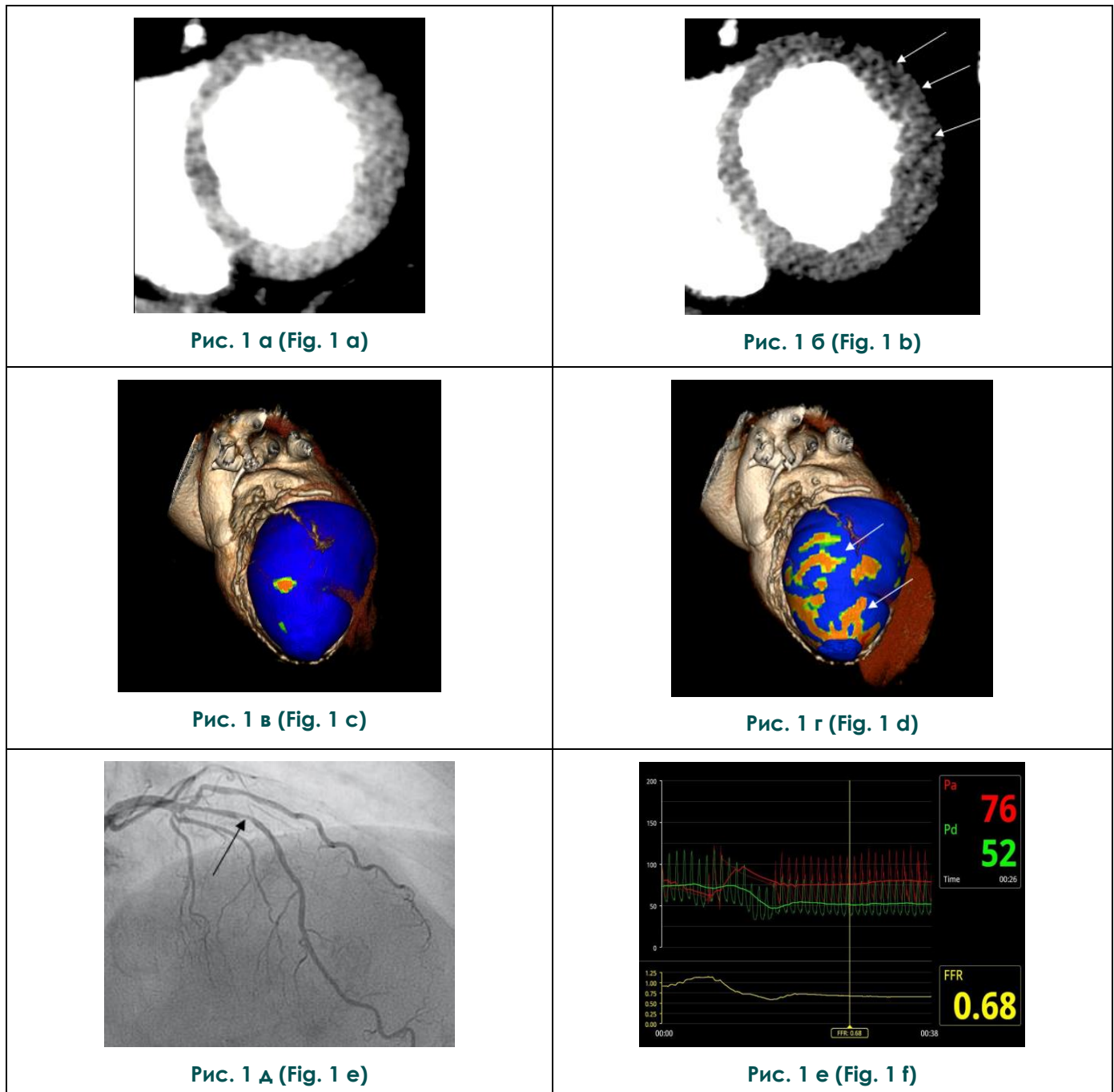


Рис. 1. Клинический пример 1. Пациент И., 56 лет, острый коронарный синдром.

А –Перфузионная компьютерная томография (ПКТ) в покое; определяется равномерное контрастирование миокарда левого желудочка (ЛЖ). Б – ПКТ на фоне стресса ; определяется зона пониженного контрастирования (зона дефекта перфузии, стрелки) переднебоковой локализации ЛЖ. В – КТ, трехмерное изображение сердца с цветовым картированием в фазу покоя; Г – КТ, трехмерное изображение сердца с цветовым картированием в фазу стресса; зона дефекта перфузии окрашена оранжевым цветом (стрелки). Д – Коронарограмма; визуализируется 70% стеноз проксимального сегмента передней нисходящей артерии (стрелка). Показатель измерения фракционного резерва кровотока составил 0.68 (Е), что свидетельствует о гемодинамической значимости стеноза.

Fig. 1. Clinical case 1. Patient I., 56-year-old man with acute coronary syndrome.

A – computed tomography perfusion (CTP) images at rest; show uniform contrasting of the left ventricular (LV) myocardium. B – on CTP images in stress-phase, an area of low contrast (area of perfusion defect, arrows) of anterolateral LV localization is determined. C – color-mapped 3D CT images of the heart in rest, D – and stress phases show the area of the perfusion defect in orange (D, arrows). E – coronary angiogram shows 70% stenosis of the proximal segment of the left anterior descending artery (arrow). FFR was 0.68 (F), which confirms hemodynamic significance of stenosis.

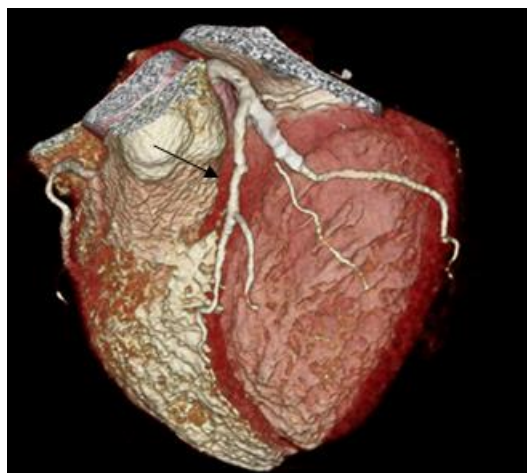


Рис. 2 а (Fig. 2 a)

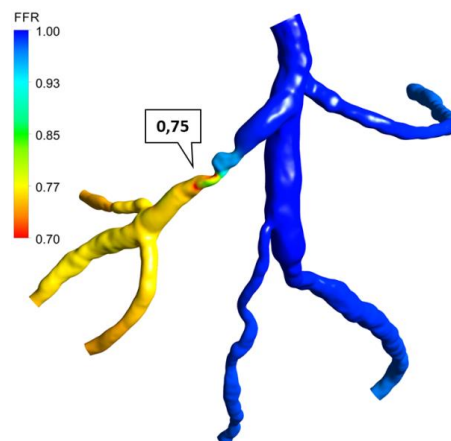


Рис. 2 б (Fig. 2 b)



Рис. 2 в (Fig. 2 c)

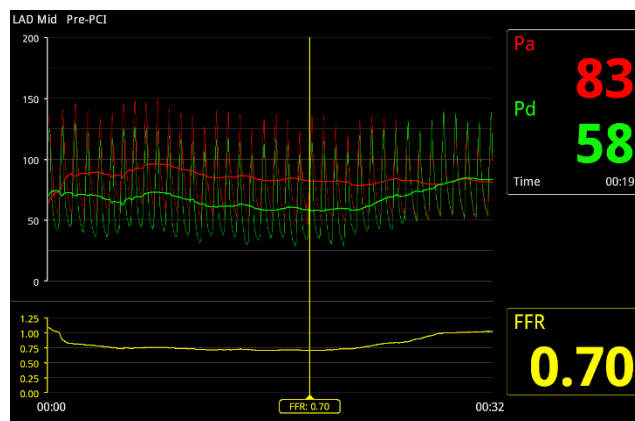


Рис. 2 г (Fig. 2 d)

Рис. 2. Клинический пример №2. Пациент Н., 67 лет, стабильная стенокардия.

А – КТА, трехмерные реконструкции; В – КАГ; выявлен 70% стеноз в проксимальном сегменте передней нисходящей артерии (стрелки). Б – Показатель ФРККТА составил 0,75, Г – показатель инвазивной ФРК 0,7, что подтверждает гемодинамическую значимость стеноза.

Fig. 2. Clinical case 2. Patient N., 67-year-old man with a stable angina pectoris.

A – computed tomography angiography (3D-reconstructions); C – invasive coronary angiography; methods show 70% stenosis in the proximal segment of the left anterior descending artery (arrows). B – FFRCT was 0.75, D – invasive FFR 0.7, which confirms the hemodynamic significance of stenosis.

метить, что в качестве стресс-теста, при проведении ПКТ, во всех исследованиях использовались пробы с вазодилататорами. Применение большинства фармакологических стресс-агентов невозможно на территории РФ ввиду отсутствия их регистрации. В представленном клиническом случае №1 впервые описан опыт использования ЧПЭС в качестве стресс-теста при проведении ПКТ.

Учитывая более высокую информативность ФРККТА в сравнении с ПКТ миокарда [8] в оценке функциональной значимости стенозов, целесообразность внедрения данной методики в клиническую практику не вызывает сомнения, особенно при наличии у больного противопоказаний для проведения стресс-тестов. Основным

ограничением использования ФРККТА в клинической практике является трудоемкость математических расчетов для построения гидродинамической модели коронарного кровотока и отсутствие стандартизованного общедоступного программного обеспечения. Поэтому разработка отечественной математической модели для расчета ФРККТА является своевременной и актуальной задачей. Представленный клинический случай №2 показал хорошую сопоставимость значений ФРККТА и ФРК, измеренного инвазивно, у пациента с «пограничным» стенозом коронарной артерии. Полученный результат позволяет заключить, что наша математическая модель оказалась корректной и для ее валидации требуются дальнейшие исследования.

Заключение.

ПКТ миокарда и ФРККТА расширяют диагностические возможности КТА в диагностике больных ИБС, позволяя оценить гемодинамическую значимость стенозов в коронарных артериях.

Источник финансирования и конфликт**Список Литературы:**

1. Franz-Josef Neumann, Miguel Sousa-Uva, Anders Ahlsson, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *European Heart Journal*. 2018; 00: 1-96 doi:10.1093/eurheartj/ehy394
2. Jorge A. Gonzalez, Michael J. Lipinski, Lucia F. Flors, et al. Metaanalysis of Diagnostic Performance of Computed Coronary Tomography Angiography, Computed Tomography Perfusion and Computed Tomography-Fractional Flow Reserve in Functional Myocardial Ischemia Assessment versus Invasive Fractional Flow Reserve. *Am J Cardiol*. 2015; 1; 116 (9): 1469-1478. doi: 10.1016/j.amjcard.2015.07.078
3. Seitun S, De Lorenzi C, Cademartiri F, et al. CT Myocardial Perfusion Imaging: A New Frontier in Cardiac Imaging. *Biomed Res Int*. 2018. Article ID 7295460:21 doi: 10.1155/2018/7295460
4. Taylor C.A., Fonte T.A., Min J.K. Computational fluid dynamics applied to cardiac computed tomography for noninvasive quantification of fractional flow reserve: scientific basis. *Journal of the American College of Cardiology*. 2013; 22 (61): 2233-2241. doi: 10.1016/j.jacc.2012.11.083

References:

1. Franz-Josef Neumann, Miguel Sousa-Uva, Anders Ahlsson, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *European Heart Journal*. 2018; 00: 1-96 doi:10.1093/eurheartj/ehy394
2. Jorge A. Gonzalez, Michael J. Lipinski, Lucia F. Flors, et al. Metaanalysis of Diagnostic Performance of Computed Coronary Tomography Angiography, Computed Tomography Perfusion and Computed Tomography-Fractional Flow Reserve in Functional Myocardial Ischemia Assessment versus Invasive Fractional Flow Reserve. *Am J Cardiol*. 2015; 1; 116 (9): 1469-1478. doi: 10.1016/j.amjcard.2015.07.078
3. Seitun S, De Lorenzi C, Cademartiri F, et al. CT Myocardial Perfusion Imaging: A New Frontier in Cardiac Imaging. *Biomed Res Int*. 2018. Article ID 7295460:21 doi: 10.1155/2018/7295460
4. Taylor C.A., Fonte T.A., Min J.K. Computational fluid dynamics applied to cardiac computed tomography for noninvasive quantification of fractional flow reserve: scientific basis. *Journal of the American College of Cardiology*. 2013; 22 (61): 2233-2241. doi: 10.1016/j.jacc.2012.11.083

интересов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-29-26012 и № 18-29-26007. Авторы статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

5. Терновой С. К., Ченовский А. М., Веселова Т. Н., Борисенко В. В., Серова Н. С. Математическое моделирование коронарного кровотока для оценки функциональной значимости стенотического поражения по данным компьютерной томографии. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2019; 9 (2): 205-212 doi: 10.21569/2222-7415-2019-9-2-205-212.
6. Seitun S, Castiglione Morelli M, Budaj I, et al. Stress Computed Tomography Myocardial Perfusion Imaging: A New Topic in Cardiology. *Revista Espanola de Cardiología*. 2016; 69 (2): 188-200. doi: 10.1016/j.rec.2015.10.018
7. Yang DH, Kim YH, Roh JH et al. Diagnostic performance of on-site CT-derived fractional flow reserve versus CT perfusion. *Eur Heart J Cardiovas Imaging*. 2017; 18: 432-44. <http://dx.doi.org/10.1093/ehjci/jew094>
8. Brian S. Ko., Jesper J. Linde, Abdul-Rahman Ihdahid, et al. Non-invasive CT-derived fractional flow reserve and static rest and stress CT myocardial perfusion imaging for detection of haemodynamically significant coronary stenosis. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2019; 35: 2103-2112. <https://doi.org/10.1007/s10554-019-01658-x>.

5. Ternovoy S.K., Chepovskiy A.M., Veselova T.N., Borisenko V.V., Serova N.S. Mathematical modeling of coronary blood flow to assess the functional significance of stenotic lesion by computed tomography. *REJR*. 2019; 9 (2): 205-212. doi: 10.21569/2222-7415-2019-9-2-205-212 (in Russian).
6. Seitun S, Castiglione Morelli M, Budaj I, et al. Stress Computed Tomography Myocardial Perfusion Imaging: A New Topic in Cardiology. *Revista Espanola de Cardiología*. 2016; 69 (2): 188-200. doi: 10.1016/j.rec.2015.10.018
7. Yang DH, Kim YH, Roh JH et al. Diagnostic performance of on-site CT-derived fractional flow reserve versus CT perfusion. *Eur Heart J Cardiovas Imaging*. 2017; 18: 432-44. <http://dx.doi.org/10.1093/ehjci/jew094>
8. Brian S. Ko., Jesper J. Linde, Abdul-Rahman Ihdahid, et al. Non-invasive CT-derived fractional flow reserve and static rest and stress CT myocardial perfusion imaging for detection of haemodynamically significant coronary stenosis. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2019; 35: 2103-2112. <https://doi.org/10.1007/s10554-019-01658-x>.