

DOI: 10.15825/1995-1191-2026-1-77-84

НЕИНВАЗИВНАЯ ДИАГНОСТИКА МСКТ-КАГ ПОРАЖЕНИЯ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ ТРАНСПЛАНТИРОВАННОГО СЕРДЦА

С.А. Саховский¹, А.О. Шевченко¹⁻³, Ю.В. Сапронова¹, Н.А. Ручьева¹, Н.Н. Колоскова¹,
Б.Л. Миронков¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр трансплантологии и искусственных органов имени академика В.И. Шумакова» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

Введение. Одной из ведущих причин потери трансплантата сердца является патология коронарного русла. Из-за денервации пересаженного сердца ишемия сердечного трансплантата обычно клинически не проявляется, что требует ежегодного скринингового обследования реципиентов для исключения васкулопатии трансплантата. Необходимость ежегодного выполнения инвазивной коронароангиографии (КАГ) связана с потенциально опасными для жизни осложнениями, что требует поиска альтернативных безопасных, но не менее эффективных неинвазивных методов диагностики коронарной патологии трансплантата сердца. Мультиспиральная компьютерная томография-коронароангиография (МСКТ-КАГ) уже много лет успешно используется для диагностики ишемической болезни сердца (ИБС) с высоким классом и уровнем доказательности и давно уже стала альтернативой инвазивной коронарографии, что делает актуальным исследование возможности применения данного метода у реципиентов сердца. **Цель:** оценить эффективность использования МСКТ-КАГ в диагностике васкулопатии трансплантата сердца в сравнении с результатами инвазивной коронарной ангиографии. **Материалы и методы.** В исследование включены 46 реципиентов сердца (36 мужчин, 78%) в возрасте от 29 до 68 лет ($51,13 \pm 10,95$), которым в период с 2012-го по 2023 год была выполнена трансплантация сердца (ТС). Срок от ТС до выполнения КАГ был в диапазоне от 201 до 4285 дней ($Me = 1097$). Всем реципиентам выполняли плановую инвазивную КАГ и МСКТ-КАГ. Для оценки коронарного русла использовали 16-сегментарную модель. Сегменты, которые невозможно было оценить по данным МСКТ, исключались из анализа. **Результаты.** ЧСС при выполнении МСКТ-КАГ составляла от 65 до 105 ударов в минуту ($Me = 90$) и предварительно медикаментозно не корректировалась. По данным инвазивной КАГ было оценено 690 сегментов, по данным МСКТ-КАГ удовлетворительного качества было 683 сегмента. По данным инвазивной КАГ поражение было выявлено в 25 сегментах, по данным МСКТ-КАГ – в 15 сегментах, ложноположительные результаты были в 14 сегментах, а стенозы, определяемые по данным инвазивной КАГ, не были выявлены по МСКТ-КАГ в 10 сегментах. Доза рентгеновского излучения была выше при проведении МСКТ-КАГ и составляла 22,60 мЗв против 10 мЗв при выполнении КАГ ($p = 0,001$). Также при проведении МСКТ-КАГ требовалось введение большей дозы рентгеноконтрастного вещества 90 и 60 мл ($p = 0,001$) соответственно. До и после выполнения МСКТ-КАГ уровень креатинина в сыворотке крови составлял $91,35 \pm 18,09$ и $95,17 \pm 18,53$ ммоль/л, значение скорости клубочковой фильтрации (СКФ) – $86,28 \pm 17,79$ и $82,96 \pm 17,72$ мл/мин/1,73 м². Несмотря на необходимость использования большего количества контрастного вещества и скомпрометированной функции почек у реципиентов сердца из-за нефротоксичности иммуносупрессивной терапии, после выполнения МСКТ-КАГ, контрастиндуцированной нефропатии не наблюдалось. Сравнительный анализ результатов МСКТ-КАГ и инвазивной КАГ показал, что чувствительность МСКТ-КАГ составила 60%, специфичность – 97%, положительная прогностическая значимость – 52%, отрицательная прогностическая значимость – 98%. **Заключение.** МСКТ-КАГ в диагностике васкулопатии

Для корреспонденции: Саховский Степан Анатольевич. Адрес: 123182, Москва, ул. Щукинская, д. 1. Тел. (499) 190-29-71. E-mail: milifolium@gmail.com

Corresponding author: Stepan Sakhovsky. Address: 1, Shchukinskaya str., Moscow, 123182, Russian Federation. Phone: (499) 190-29-71. E-mail: milifolium@gmail.com

трансплантата сердца может использоваться для исключения стенотического поражения коронарных артерий, так как имеет высокую специфичность – 97% и отрицательную прогностическую значимость – 98%. Использование МСКТ-КАГ для выявления стенозов/рестенозов в коронарном русле трансплантата сердца требует дополнительного изучения.

Ключевые слова: васкулопатия трансплантата сердца, МСКТ-коронарография, трансплантация сердца.

NONINVASIVE DIAGNOSIS CORONARY COMPUTED TOMOGRAPHIC ANGIOGRAPHY LESIONS OF CORONARY ARTERIES OF THE TRANSPLANTED HEART

S.A. Sakhovsky¹, A.O. Shevchenko¹⁻³, Yu.V. Sapronova¹, N.A. Rucheva¹, N.N. Koloskova¹, B.L. Mironkov¹

¹ Shumakov National Medical Research Center of Transplantology and Artificial Organs, Moscow, Russian Federation

² Sechenov University, Moscow, Russian Federation

³ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

Background. Coronary artery disease (CAD) is one of the leading causes of graft loss after heart transplantation (HT). Owing to cardiac denervation, myocardial ischemia in transplanted hearts is typically clinically silent, necessitating regular screening of recipients to detect transplant vasculopathy. Routine annual invasive coronary angiography (iCAG), however, is associated with potentially life-threatening complications, prompting the search for safe and equally effective non-invasive diagnostic alternatives. Multislice computed tomography coronary angiography (MSCT-CAG) has been widely and successfully used for many years in CAD diagnosis, with a high class and level of evidence, and has long been an alternative to iCAG. This underscores the relevance of evaluating its applicability in heart transplant recipients. **Objective:** to assess the diagnostic effectiveness of MSCT-CAG in detecting cardiac allograft vasculopathy in comparison with iCAG. **Materials and methods.** The study included 46 heart transplant recipients (36 men, 78%) aged 29–68 years (mean age 51.1 ± 10.9 years) who underwent HT between 2012 and 2023. The interval from transplantation to CAG ranged from 201 to 4,285 days (mean 1,097 days). All patients underwent scheduled iCAG and MSCT-CAG. Coronary arteries were evaluated using a 16-segment model. Segments that could not be reliably assessed on MSCT-CAG images were excluded from the analysis. **Results.** Heart rate during MSCT-CAG ranged from 65 to 105 beats per minute (median 90 bpm) and was not adjusted with medication prior to scanning. Invasive CAG allowed assessment of 690 coronary segments, while 683 segments were of diagnostic quality on MSCT-CAG. According to iCAG, coronary lesions were identified in 25 segments. MSCT-CAG detected lesions in 15 segments, yielded false-positive findings in 14 segments, and failed to identify stenoses detected by invasive CAG in 10 segments. X-ray dose was significantly higher during MSCT-CAG (22.6 mSv) compared with iCAG (10 mSv; $p = 0.001$). MSCT-CAG also required a larger volume of contrast medium (90 mL vs. 60 mL; $p = 0.001$). Serum creatinine levels before and after MSCT-CAG were 91.35 ± 18.09 and 95.17 ± 18.53 $\mu\text{mol/L}$, respectively, while glomerular filtration rate (GFR) values were 86.28 ± 17.79 and 82.96 ± 17.72 mL/min/1.73 m². Despite the higher contrast load and compromised renal function due to the nephrotoxicity of immunosuppressive therapy, no cases of contrast-induced nephropathy were observed following MSCT-CAG. Comparative analysis demonstrated that MSCT-CAG had a sensitivity of 60%, specificity of 97%, positive predictive value of 52%, and negative predictive value of 98% relative to iCAG. **Conclusion.** In the diagnosis of cardiac allograft vasculopathy, MSCT-CAG can be used to rule out coronary artery stenosis, demonstrating high specificity (97%) and negative predictive value (98%). The use of MSCT-CAG for the detection of stenosis/restenosis of the coronary vasculature in transplanted hearts requires further study.

Keywords: cardiac allograft vasculopathy, MSCT coronary angiography, heart transplant.

ВВЕДЕНИЕ

Коронарная патология является ведущей причиной функциональной потери трансплантата сердца. Своевременное выявление и коррекция болезни коронарных артерий пересаженного сердца может зна-

чительно улучшить прогноз для реципиентов сердца [1]. В настоящее время, согласно рекомендациям Международного общества трансплантации сердца и легких (ISHLT) от 2023 г., в качестве основного метода диагностики васкулопатии трансплантата сердца

используют коронароангиографию (КАГ) [2]. Современные рекомендации, на самом высоком уровне поддерживают (Ia) выполнение мультиспиральной компьютерной коронароангиографии для выявления патологии коронарного русла у пациентов с ишемической болезнью сердца [3]. Это обстоятельство позволило рассматривать данный метод диагностики и у реципиентов сердца. На сегодняшний день представлен ряд исследований, где продемонстрирован высокий уровень информативности МСКТ-КАГ в выявлении коронарной патологии трансплантата сердца [4–7]. Метаанализ 13 проспективных исследований использования МСКТ-КАГ у пациентов после операции ТС, куда вошло 615 пациентов (средний возраст 52 года, 83% мужчин) и было проанализировано 9481 сегмент, показал, что метод МСКТ-КАГ у реципиентов сердца имеет 94% чувствительность, 92% специфичность, 99% отрицательное прогностическое значение и 67% положительное прогностическое значение для обнаружения стенозов более 50% в сравнении с инвазивной ангиографией. Добавление количественного анализа бляшек также может улучшить чувствительность для обнаружения васкулопатии трансплантата сердца [8]. На основании современных исследований можно рассматривать МСКТ-КАГ для диагностики васкулопатии трансплантата сердца как достаточно информативный неинвазивный метод визуальной оценки состояния коронарного русла трансплантата сердца с достаточно высокой чувствительностью (86–89%) и специфичностью (89–99%). Важно отметить, что инвазивная коронарография, хоть и является «золотым стандартом» в диагностике васкулопатии трансплантата сердца, сопряжена с необходимостью в госпитализации пациента и процедурными рисками. Ежегодное

увеличение количества реципиентов под наблюдением делает актуальным внедрение неинвазивного скрининга коронарного русла при помощи МСКТ-КАГ с целью выявления пациентов с признаками БКАПС и оценки его прогрессирования, для определения показаний и очередности для госпитализации.

Цель: оценить эффективность использования МСКТ-КАГ в диагностике васкулопатии трансплантата сердца в сравнении с результатами инвазивной коронарной ангиографии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены 46 реципиентов сердца (36 мужчин, 78%) в возрасте от 29 до 68 лет ($51,13 \pm 10,95$), которым в период с 2012-го по 2023 год была выполнена трансплантация сердца (ТС). Срок от ТС до выполнения КАГ был в диапазоне от 201 до 4285 дней ($Me = 1097$). Клиническая характеристика пациентов приведена в табл. 1.

Всем реципиентам выполняли плановую инвазивную КАГ и МСКТ-КАГ. Для оценки коронарного русла пользовались 16-сегментарной классификацией коронарного русла согласно Американской кардиологической ассоциации [9].

Сегменты, которые невозможно было оценить по данным МСКТ, исключались из анализа. Также учитывали частоту сердечных сокращений (ЧСС) во время процедуры, динамику уровня креатинина. Контрастиндуцированной нефропатией считали рост уровня креатинина сыворотки крови более чем на 25% от исходного значения. Все пациенты проходили стандартное обследование, которое включало ЭКГ, ЭхоКГ. ЭКГ включало 12-канальную регистрацию потенциалов сердца на аппарате «Megacart» (Siemens, Германия). ЭхоКГ проводили на аппарате

Таблица 1

Клиническая характеристика пациентов

Clinical characteristics of the patients

Количественные показатели	M ± SD / Me	n	min	max	Абсолютные показатели	Категории	n	%
Возраст, лет	$51,13 \pm 10,95$	46	29,00	68,00	Пол реципиента	Муж.	36	78,3
ИМТ	$27,58 \pm 3,91$	46	18,80	35,80		Жен.	10	21,7
Время от операции ТС (Me), дни	1097,50	46	201,00	4285,00	Причина выполнения операции ТС	ДКМП	22	47,8
Уровень креатинина в сыворотке крови до выполнения МСКТ-КАГ, мкмоль/л	$91,35 \pm 18,09$	46	58,00	140,00		ИКМП	21	45,7
СКФ до выполнения МСКТ-КАГ, мл/мин/1,73 м ²	$86,28 \pm 17,79$	46	53,00	119,40		Другие причины	3	6,5
ФВ (Me), %	65,00	46	46,00	73,00	Сахарный диабет	Наличие	9	19,6
КДО (S-L), мл (Me)	78,00	46	59,00	122,00		Отсутствие	37	80,4
КСО (S-L), мл (Me)	28,50	46	18,00	59,00	Артериальная гипертензия	Наличие	29	63,0
						Отсутствие	17	37,0
					Дислипидемия	Наличие	23	50,0
						Отсутствие	23	50,0
					Хроническая болезнь почек	Наличие	18	39,1
						Отсутствие	28	60,9

«VIVID 9» (GE, США). Классическую полипроекционную коронарную ангиографию (КГ) выполняли по методике M. Judkins бедренным или радиальным доступом на аппарате ALLURA XPER (Phillips, Нидерланды). Стандартный протокол включал в себя 5 проекций для левой коронарной артерии и 2 проекции для правой. Данные исследования обрабатывали стандартными методами статистики с помощью программы Microsoft Excel и IBM SPSS Statistics версии 22.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первым этапом исследуемым пациентам была выполнена инвазивная КАГ. В 63% (n = 29) использовали радиальный доступ, в остальных случаях – бедренный (n = 17). Технический успех процедуры был достигнут в 100% случаев. Интрапроцедуральных осложнений и случаев контрастированной нефропатии не было. На основе результатов ангиограмм было оценено 690 сегментов. Без поражения было 665 сегментов, стенозы выявлены в 25 сегментах, в 2 случаях выявлены хронические тотальные окклюзии и описаны проходимые, ранее имплантированные стенты, без признаков стенозов. Поражения определяли: в проксимальных сегментах ПМЖВ (n = 5), ОВ (n = 1) и ПКА (n = 2); средних сегментах ПМЖВ (n = 8), ОВ (n = 1) и ПКА (n = 2); дистальных сегментах ПМЖВ (n = 5); диагональная ветвь (n = 1). Стенозы не встречались в стволе ЛКА, дистальных отделах ОВ и ПКА, а также в ДВ2, ВТК, ЗБВ и ЗМЖВ ПКА. Типы коронарного кровоснабжения трансплантатов, включающих интермедиарную артерию, не встречались.

Следующим этапом, через 1–3 дня, всем реципиентам была выполнена МСКТ-КАГ. Технический успех процедуры был достигнут в 100% случаев. Частота сердечных сокращений (ЧСС) при выполнении МСКТ-КАГ составляла от 65 до 105 ударов в минуту (Me = 90) и предварительно медикаментозно не корректировалась. По данным МСКТ-КАГ удовлетворительного диагностического качества было 683 сегмента, исключено 7 сегментов, которые достоверно оценить не представлялось возможным из-за неудовлетворительного качества (n = 3), наличия артефактов (n = 2), а 2 сегмента количественно оценить не удалось и трактовали как диффузное поражение. Без поражения было 654 сегмента, стенозы выявлены в 29 сегментах. Поражения определяли: в проксимальных сегментах ПМЖВ (n = 7), ОВ (n = 1) и ПКА (n = 4); средних сегментах ПМЖВ (n = 7), ОВ (n = 1); дистальных сегментах ПМЖВ (n = 3); диагональной ветви (n = 2). Стенозы не встречались в стволе ЛКА, дистальных отделах ОВ и ПКА, а также в ДВ2, ВТК, ЗБВ и ЗМЖВ ПКА. Результаты инвазивной коронароангиографии и МСКТ-КАГ представлены на схеме 16-сегментарной модели

коронарного русла согласно рекомендациям Американской кардиологической ассоциации (рис. 1).

Сравнительный анализ результатов МСКТ-КАГ и инвазивной КАГ показал, что инвазивной КАГ поражение было выявлено в 25 сегментах, по данным МСКТ-КАГ истинное поражение выявлено в 15 сегментах, ложноположительные результаты были в 14 сегментах, а стенозы, определяемые по данным инвазивной КАГ, не были выявлены по МСКТ-КАГ в 10 сегментах. На основании полученных данных была рассчитана чувствительность метода МСКТ-КАГ в оценке васкулопатии трансплантата сердца, которая составила 60%, специфичность – 97%, положительная прогностическая значимость – 52%, отрицательная прогностическая значимость – 98%.

Дополнительно было проведено сравнение дозы рентгеновского излучения и количества использованного рентгеноконтрастного вещества (табл. 2).

Следует отметить, что доза излучения была выше при проведении МСКТ-КАГ и составляла 22,60 мЗв против 10 мЗв при выполнении КАГ (p = 0,001), а также при проведении МСКТ-КАГ требовалось введение большей дозы рентгеноконтрастного вещества 90 и 60 мл (p = 0,001) соответственно.

Проведен анализ динамики уровня креатинина в сыворотке крови и скорости клубочковой фильтрации до и после выполнения МСКТ-КАГ. Уровень креатинина в сыворотке крови составлял 91,35 ± 18,09 и 95,17 ± 18,53 мкмоль/л, значение скорости клубочковой фильтрации (СКФ) – 86,28 ± 17,79 и 82,96 ± 17,72 мл/мин/1,73 м². Далее оценили динамику креатинина в сыворотке крови и скорости клубочковой фильтрации в зависимости от наличия ХБП (рис. 2).

У реципиентов без ХБП уровень креатинина сыворотки крови до и после выполнения МСКТ-КАГ значимо не отличался (p = 0,896) и соответственно составлял 74,36 ± 7,8 и 74,62 ± 8,48 мкмоль/л. Пациенты, которые имели ХБП, показывали значимый рост уровня креатинина (p = 0,005) после выполнения МСКТ-КАГ, который до процедуры в среднем составлял 95,49 ± 17,5 мкмоль/л, после – 100,17 ± 16,79 мкмоль/л.

Таблица 2

Сравнение дозы рентгеновского излучения и количества использованного рентгеноконтрастного вещества
Comparison of radiation dose and volume of contrast agent used

Показатели	Группы		p
	Инвазивная КАГ	МСКТ-КАГ	
Доза, Me [IQR]	10,00 [6,65; 11,30]	22,60 [21,02; 25,00]	0,001
Контраст, Me [IQR]	60,00 [50,00; 60,00]	90,00 [90,00; 95,00]	0,001

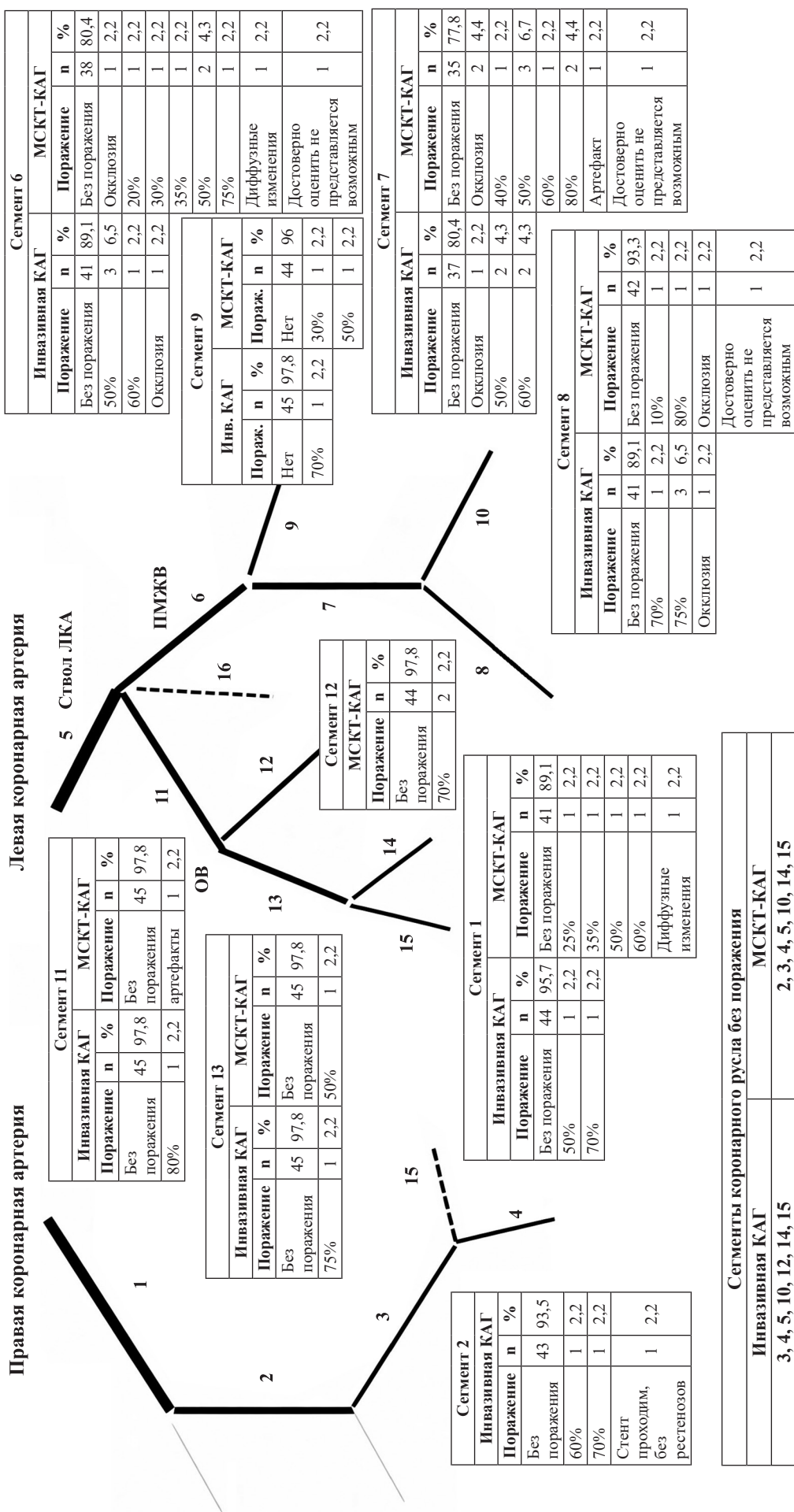


Рис. 1. Результаты инвазивной коронароангиографии и МСКТ-КАГ на схеме 16-сегментарной модели классификации коронарного русла согласно Американской кардиологической ассоциации. Правая коронарная артерия (ПКА); 2 – проксимальная часть ПКА; 3 – средняя часть ПКА; 4 – дистальная часть ПКА; 5 – задняя межжелудочковая ветвь. Левая коронарная артерия (ЛКА); 6 – проксимальная часть ПМЖВ; 7 – средняя часть ПМЖВ; 8 – дистальная часть ПМЖВ; 9 – первая диагональная; 10 – вторая диагональная; 11 – проксимальная часть огибающей ветви (ОВ); 12 – дистальная часть ОВ; 13 – заднебоковая артерия; 14 – 3МЖВ; 15 – промежуточная ветвь

Fig. 1. Results of invasive CAG and MSCT-CAG assessed using the 16-segment coronary artery model according to the American Heart Association classification. Right coronary artery (RCA): segment 1 – proximal RCA; 2 – mid RCA; 3 – distal RCA; 4 – posterior descending artery. Left coronary artery (LCA): segment 5 – left main coronary artery; 6 – proximal left anterior descending artery (LAD); 7 – mid LAD; 8 – mid LAD; 9 – first diagonal branch; 10 – second diagonal branch; 11 – proximal circumflex artery (LCx); 12 – first obtuse marginal branch; 13 – distal LCx; 14 – intermediate (ramus intermedius) branch

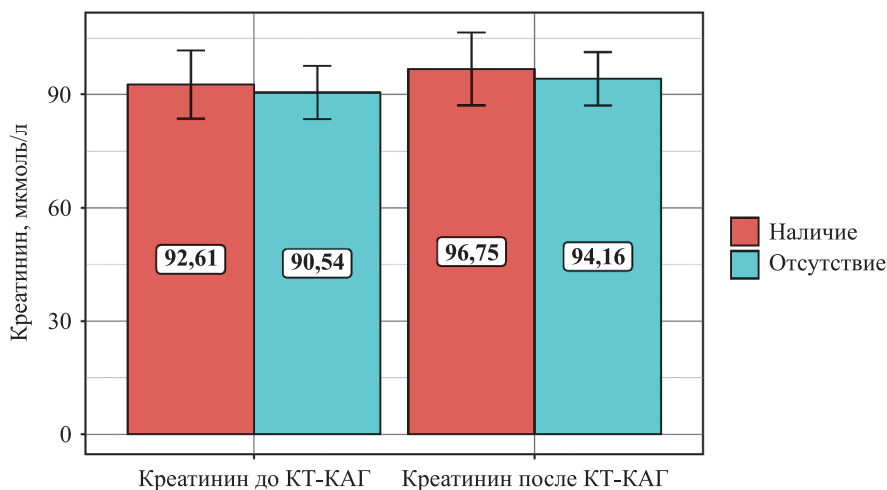


Рис. 2. Анализ динамики креатинина в сыворотке крови, в зависимости от наличия ХБП

Fig. 2. Analysis of serum creatinine dynamics depending on the presence of CKD

Важно отметить, что несмотря на значимый рост уровня креатинина сыворотки крови у реципиентов с ХБП после выполнения МСКТ-КАГ, этот рост не превышал 5% от исходного значения.

ОБСУЖДЕНИЕ

За последние 15 лет в России количество выполняемых операций трансплантации сердца существенно выросло и в 2024 году составило 450, из которых 294 трансплантации были выполнены в ФГБУ «НМИЦ ТИО им. ак. В.И. Шумакова» Минздрава России. Поэтому в настоящее время под наблюдением находится более 3000 реципиентов [10]. Болезнь коронарных артерий пересаженного сердца (БКАПС) продолжает оставаться ведущей причиной потери трансплантата, и по данным реестра Международного общества по трансплантации сердца и легких (ISHLT), через 10 лет выявляется уже практически у половины реципиентов сердца [1, 11]. Данное обстоятельство требует постоянного скрининга состояния коронарного русла. Инвазивная коронарография продолжает оставаться «золотым стандартом» в диагностике васкулопатии трансплантата сердца (класс I, уровень доказательности C по рекомендациям ISHLT 2023), ее выполнение сопряжено с риском развития жизнеугрожающих осложнений (нарушения ритма, развитие острой контрастиндукцированной почечной недостаточности, острого нарушения мозгового кровообращения, диссекции коронарных артерий, кровотечения в месте пункции магистральных артерий и т. п.), частота встречаемости которых хоть не высока и составляет примерно 1,8%, но может приводить к летальным исходам, на которые приходится 0,1% [12]. В связи с этим актуальным становится поиск неинвазивных альтернативных и эффективных методов диагностики коронарной патологии трансплантационного сердца. Современные исследования

демонстрируют приближение результатов диагностики поражения коронарного русла у реципиентов сердца к результатам аналогичного выявления у пациентов с ИБС. В исследовании В. Foldyna et al. в 2020 г. с применением 128-рядного МСК-томографа второго поколения и определением количественных показателей коронарных сегментов вошли 50 пациентов (84% мужчин) в возрасте $53,6 \pm 11,9$ года со сроком наблюдения после операции ТС $6,7 \pm 4,7$, с ранее верифицированной васкулопатией и без нее. Интервал между КАГ и МСКТ-КАГ составил один день. В результате средняя доза облучения составила 5,8 мЗв. Среди 42 мужчин (84%) и 8 женщин (16%), распространенность БКАПС составила 38% (19 из 50). При средней ЧСС $74,1 \pm 8,5$ уд/мин диагностическое качество изображения по данным МСКТ-КАГ имело 692 коронарных сегмента, из них 632 (91,4%) были сопоставимы с данными КАГ и 56 сегментов были исключены из-за низкого качества. Из 632 сегментов 190 проксимальных (30,1%) и 442 дистальных сегментов (69,9%). Анализ коронарной стенки показал, что на долю фиброзной ткани приходится 44,7%, на долю фиброзно-жировой – 18,6%, доля мягких бляшек – 8,5% и кальцинированной – 1,0%. Дистальные сегменты были поражены чаще, чем проксимальные. Данное исследование продемонстрировало, что МСКТ-КАГ высокоэффективна при выявлении выраженных стенозов $\geq 50\%$ и хорошо согласуется с данными инвазивной КАГ у реципиентов сердца (прогностическая отрицательная ценность – 98–100%, чувствительность – 78%, специфичность – 75%). Кроме того, МСКТ-КАГ способна выявлять БКАПС на ранних стадиях при количественном анализе коронарной стенки (объеме и составе бляшек), что позволит скорректировать медикаментозную терапию [13]. В работе V. Ojha et al. 2022 г. оценили диагностическую точность МСКТ с двумя источни-

ками (192 – детекторная, 384 – срезовая) для выявления васкулопатии трансплантата сердца в сравнении с КАГ. Для исследования были отобраны 38 пациентов, из них 27 мужчин. Средний возраст составил $33,66 \pm 11,45$ года, среднее время после операции ТС было в диапазоне от 10 до 226 мес. (медиана – 23,5). Распространенность васкулопатии трансплантата (CAV от 1-й до 5-й степени стенозирования) по данным МСКТ-КАГ составила 44,7% ($n = 17$), по результатам инвазивной КАГ составила 39,5% ($n = 15$), значимые поражения CAV (3–5-й степени) по данным МСКТ были выявлены у 21,1% ($n = 8$), а по результатам инвазивной КАГ составили 15,8% ($n = 6$). Приемлемое диагностическое качество имели 557 сегментов из 576 (96,7%). Средняя доза рентгеновского излучения при использовании составляла МСКТ-КАГ – $4,24 \pm 2,15$ мЗв, и для инвазивной КАГ – $4,8 \pm 1,8$ мЗв. Среднее количество контрастного вещества – 42 мл. При выявлении признаков васкулопатии любой степени чувствительность составляла 100%, специфичность – 91,3%, PPV – 88,2%, NPV – 100%, диагностическая точность – 94,73%. При выявлении значимого стенотического поражения чувствительность составляла 100%, специфичность – 94%, PPV – 75%, NPV – 100%, диагностическая точность – 95%. Аналогичные данные были получены и при сегментарном анализе – 96; 97,6; 80; 99,6% соответственно. Было продемонстрировано, что при относительно невысокой дозе радиации ($4,24 \pm 2,16$ мЗв) получена высокая диагностическая точность и превосходная чувствительность, специфичность и NPV для обнаружения признаков васкулопатии трансплантата сердца, а также значимого стенотического поражения коронарных артерий в сравнении с инвазивной КАГ [9]. Анализируя результаты представленных выше работ и данные, полученные в нашем исследовании, мы также видим высокую специфичность – 97%, отрицательную прогностическую значимость 98% изучаемого метода, что позволяет рассматривать возможность выполнения МСКТ-КАГ (в том числе амбулаторно) для исключения поражения коронарного русла трансплантата сердца и оптимизировать отбор пациентов для госпитализации. Другим важным вопросом остается изучение эффективности метода МСКТ-КАГ в выявлении значимого поражения. В данном случае в международной литературе и по данным нашего исследования чувствительность метода МСКТ-КАГ в оценке васкулопатии трансплантата сердца не позволяет однозначно говорить о возможности ее использования для оценки тяжести поражения коронарного русла и определения показаний к реваскуляризации. Важно отметить, что на качество выявления поражения коронарного русла методом МСКТ-КАГ влияет множество факторов: разрешающая способность томографа, наличие у пациентов источников артефактов (скобы на грудине,

ЭКС и его электроды и т. п.), ЧСС, диаметр изучаемого сегмента, что требует дальнейшего изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

МСКТ-КАГ в диагностике васкулопатии трансплантата сердца может использоваться для исключения стенотического поражения коронарных артерий (высокая специфичность – 97%, отрицательная прогностическая значимость – 98%). Несмотря на необходимость использования большего количества контрастного вещества и скомпрометированной функции почек у реципиентов сердца из-за нефротоксичности иммуносупрессивной терапии, после выполнения МСКТ-КАГ контрастированной нефропатии не наблюдалось. Использование МСКТ-КАГ для выявления стенозов/рестенозов в коронарном русле трансплантата сердца требует дополнительного изучения.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Van Keer JM, Van Aelst LNL, Rega F, Droogne W, Voros G, Meyns B et al. Long-term outcome of cardiac allograft vasculopathy: Importance of the International Society for Heart and Lung Transplantation angiographic grading scale. *J Heart Lung Transplant.* 2019 Nov; 38 (11): 1189–1196. doi: 10.1016/j.healun.2019.08.005. Epub 2019 Aug 10. PMID: 31543298.
2. Velleca A, Shullo MA, Dhital K, Azeka E, Colvin M, DePasquale E et al. The International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT) guidelines for the care of heart transplant recipients. *J Heart Lung Transplant.* 2023 May; 42 (5): e1–e141. doi: 10.1016/j.healun.2022.10.015. Epub 2022 Dec 20. PMID: 37080658.
3. 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. *Eur Heart J.* 2020 Jan 14; 41 (3): 407–477. doi: 10.1093/eurheartj/ehz425. Erratum in: *Eur Heart J.* 2020 Nov 21; 41 (44): 4242. doi: 10.1093/eurheartj/ehz825. PMID: 31504439.
4. Von Ziegler F, Rümmler J, Kaczmarek I, Greif M, Schenzle J, Helbig S et al. Detection of significant coronary artery stenosis with cardiac dual-source computed tomography angiography in heart transplant recipients. *Transpl Int.* 2012 Oct; 25 (10): 1065–1071. doi: 10.1111/j.1432-2277.2012.01536.x. Epub 2012 Jul 21. PMID: 22816613.
5. Mittal TK, Panicker MG, Mitchell AG, Banner NP. Васкулопатия аллотрансплантата сердца после трансплантации сердца: электрокардиографически синхронизированная КТ-ангиография сердца для оценки. *Радиология.* 2013; 268: 374–381. Mittal TK, Panicker MG, Mitchell AG, Banner NR. Cardiac allograft vasculopathy after heart transplantation: electro-

- cardiographically gated cardiac CT angiography for assessment. *Radiology*. 2013 Aug; 268 (2): 374–381. doi: 10.1148/radiol.13121440. Epub 2013 May 8. PMID: 23657888.
6. Graaf MA, Broersen A, Kitslaar PH, Roos CJ, Dijkstra J, Lelieveldt BP et al. Automatic quantification and characterization of coronary atherosclerosis with computed tomography coronary angiography: cross-correlation with intravascular ultrasound virtual histology. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2013 Jun; 29 (5): 1177–1190. doi: 10.1007/s10554-013-0194-x. Epub 2013 Feb 16. PMID: 23417447.
 7. Károlyi M, Kolossváry M, Bartykowszki A, Kocsmár J, Szilveszter B, Karády J et al. Quantitative CT assessment identifies more heart transplanted patients with progressive coronary wall thickening than standard clinical read. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2019 Mar-Apr; 13 (2): 128–133. doi: 10.1016/j.jcct.2018.11.006. Epub 2018 Nov 19. PMID: 30528167.
 8. Wever-Pinzon O, Romero J, Kelesidis I, Wever-Pinzon J, Manrique C, Budge D et al. Coronary computed tomography angiography for the detection of cardiac allograft vasculopathy: a meta-analysis of prospective trials. *J Am Coll Cardiol*. 2014 May 20; 63 (19): 1992–2004. doi: 10.1016/j.jacc.2014.01.071. Epub 2014 Mar 26. PMID: 24681148.
 9. Ojha V, Ganga KP, Mani A, Jagia P, Gulati G, Seth S et al. Detection of cardiac allograft vasculopathy on dual source computed tomography in heart transplant recipients: comparison with invasive coronary angiography. *Br J Radiol*. 2022 Jun 1; 95 (1134): 20211237. doi: 10.1259/bjr.20211237. Epub 2022 Mar 8. PMID: 35230144; PMCID: PMC10996423.
 10. Готье СВ. Пресс-конференция директора Центра Шумакова Сергея Готье. [Электронный ресурс]. Gautier SV. Press conference of the director of the Shumakov Center Sergei Gautier. [Electronic resource]. URL: <https://transpl.ru/about/press-center/press-konferentsiya-direktora-tsentra-shumakova-sergeya-gote/> (дата обращения / date of access: 21.02.2025).
 11. Lee MS, Tadwalkar RV, Fearon WF, Kirtane AJ, Patel AJ, Patel CB et al. Cardiac allograft vasculopathy: A review. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2018 Dec 1; 92 (7): E527–E536. doi: 10.1002/ccd.27893. Epub 2018 Sep 28. PMID: 30265435.
 12. Bashore TM, Bates ER, Berger PB, Clark DA, Cusma JT, Dehmer GJ et al. Task Force on Clinical Expert Consensus Documents. American College of Cardiology/Society for Cardiac Angiography and Interventions Clinical Expert Consensus Document on cardiac catheterization laboratory standards. A report of the American College of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol*. 2001 Jun 15; 37 (8): 2170–2214. doi: 10.1016/s0735-1097(01)01346-8. PMID: 11419904.
 13. Foldyna B, Sandri M, Luecke C, Garbade J, Gohmann R, Hahn J et al. Quantitative coronary computed tomography angiography for the detection of cardiac allograft vasculopathy. *Eur Radiol*. 2020 Aug; 30 (8): 4317–4326. doi: 10.1007/s00330-019-06653-3. Epub 2020 Mar 16. PMID: 32179995; PMCID: PMC7338811.

Статья поступила в редакцию 2.09.2025 г.
The article was submitted to the journal on 2.09.2025