

DOI: 10.15825/1995-1191-2024-1-97-102

ВОЗМОЖНОСТИ ВНУТРИСОСУДИСТЫХ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ДИАГНОСТИКЕ ВАСКУЛОПАТИИ ТРАНСПЛАНТИРОВАННОГО СЕРДЦА. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

А.Ю. Колесников, А.А. Арнт, Н.А. Кочергин

ФГБНУ «Научный исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация

Васкулопатия трансплантированного сердца (ВТС) – это форма ишемической болезни сердца, возникающая у пациентов после ортотопической трансплантации сердца. ВТС является одной из ведущих причин смерти реципиентов. Вероятность летального исхода составляет 10%. ВТС может манифестировать уже через 1 год после ортотопической трансплантации сердца. У больных отсутствует типичный для ишемической болезни сердца болевой синдром из-за денервации сердца. Первыми клиническими проявлениями могут быть застойная сердечная недостаточность, желудочковые аритмии или даже внезапная сердечная смерть. Наиболее частым методом диагностики ВТС является коронарография. Чувствительность ангиографии достаточно низкая (около 44%), что не позволяет выявлять ВТС на ранней стадии заболевания. Сегодня широкое распространение получили внутрисосудистые методы визуализации (внутрисосудистый ультразвук, оптическая когерентная томография), которые позволяют оценить морфологию поражения коронарных артерий, в том числе ВТС. Данная статья посвящена современным возможностям внутрисосудистых методов визуализации в диагностике ВТС. ВТС является основной причиной развития инфаркта миокарда и хронической сердечной недостаточности у пациентов после ОТС. Внутрисосудистые методы визуализации позволяют на ранних сроках диагностировать данную патологию и профилактировать неблагоприятный исход у сложной категории больных с трансплантированным сердцем. Учитывая преимущества оптической когерентной томографии и недостатки внутрисосудистого ультразвукового исследования, оптическая когерентная томография представляется более информативным методом диагностики ВТС.

Ключевые слова: васкулопатия трансплантированного сердца, ортотопическая трансплантация сердца, внутрисосудистое ультразвуковое исследование, оптическая когерентная томография.

CAPABILITIES OF INTRAVASCULAR IMAGING TECHNIQUES IN THE DIAGNOSIS OF CARDIAC ALLOGRAFT VASCULOPATHY: LITERATURE REVIEW

A.Yu. Kolesnikov, A.A. Arnt, N.A. Kochergin

Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russian Federation

Cardiac allograft vasculopathy (CAV) is a coronary heart disease (CHD), arising after an orthotopic heart transplant (OHT), and it is one of the leading causes of death in heart recipients. The probability of death is 10%. CAV can manifest as early as 1 year after OHT. Patients do not have pain syndrome that is typical for CHD due to cardiac denervation. The first clinical manifestations may be congestive heart failure, ventricular arrhythmias or even sudden cardiac death. Coronary angiography is the routine technique for CAV detection. However, it is not sensitive enough (about 44%) for CAV detection at an early stage of the disease. Today, intravascular imaging methods (intravascular ultrasound, optical coherence tomography), which allow the evaluation of the morphology of coronary artery lesions, including CAV, have become widespread. This article is devoted to the modern capabilities of intravascular imaging methods in the diagnosis of CAV. CAV is the main cause of myocardial infarction and chronic heart failure in patients after OHT. Intravascular imaging techniques allow early detection of this condition and prevention of unfavorable outcomes in a complex category of heart recipients. Given the

Для корреспонденции: Колесников Алексей Юрьевич. Адрес: 650002, Кемерово, Сосновый бульвар, 6. Тел. (913) 336-58-29. E-mail: inobi05@yandex.ru

Corresponding author: Aleksei Kolesnikov. Address: 6, Sosnovy Bulvar, Kemerovo, 650002, Russian Federation. Phone: (913) 336-58-29. E-mail: inobi05@yandex.ru

advantages of optical coherence tomography (OCT) and disadvantages of intravascular ultrasound (IVUS), OCT appears to be a more informative method of CAV detection.

Keywords: cardiac allograft vasculopathy, orthotopic heart transplantation, intravascular ultrasound, optical coherence tomography.

ВВЕДЕНИЕ

Васкулопатия трансплантированного сердца (ВТС) – это уникальная форма патологии коронарных артерий, возникающая у реципиентов после ортотопической трансплантации сердца (ОТС) [1]. Васкулопатия может манифестировать уже через 1 год после пересадки сердца. Медиана выживаемости пациентов с ВТС составляет 14,8 года. Распространенность ВТС через 1, 5, 10 лет после ОТС составляет 8, 29 и 47% соответственно. Данная патология приводит к смерти реципиентов в 10% случаев [2, 3].

Коронарография остается «золотым стандартом» диагностики ВТС. Чувствительность ангиографии составляет 44% [4]. Однако ряд исследований, оценивающих гистологическое строение сосудистой стенки коронарных артерий трансплантированного сердца, показали, что у 75% пациентов наблюдались изменения, характерные для ВТС, несмотря на нормальную коронарографию [5, 6]. Таким образом, ангиография не позволяет выявлять ВТС на ранней стадии заболевания [4, 7, 8].

Сегодня широкое распространение получили внутрисосудистые методы визуализации (ВМВ), такие как внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ) и оптическая когерентная томография (ОКТ), которые позволяют оценить морфологию поражения коронарных артерий, в том числе ВТС. Данная статья посвящена современным возможностям ВМВ в диагностике ВТС.

ПАТОГЕНЕЗ ВТС

ВТС представляет собой прогрессирующую облитерирующую форму пролиферации интимы. ВТС охватывает комплекс сосудистых изменений, характеризующихся фибромышечной гиперплазией интимы (артериосклероз), васкулитом и атеросклерозом. Поражаются не только артерии, но и вены. Данное состояние развивается в результате сложного и до конца не изученного взаимодействия между многочисленными иммунными и неиммунными факторами [9, 10].

Центральную роль в развитии ВТС играют эндотелиальные клетки трансплантата, они являются первыми клетками, распознанными иммунной системой хозяина, фактически становясь антигенами [11], в результате чего начинается выработка антител. Эндотелиальные клетки трансплантата играют не только пассивную роль, будучи распознанными иммунной системой хозяина, также они могут инициировать каскад воспаления, усиливая адгезию главного

комплекса гистосовместимости (ГКГ) и приводя к фибропролиферативному ответу [1, 12].

Иммунные факторы

Адгезия полиморфных форм ГКГ I и II классов, о которой говорилось выше, приводит к развитию аллоиммунных реакций. Аллореактивные Т-клетки хозяина, опосредованные Т-хелперами, приводят к выработке цитокинов, таких как интерлейкины 2, 4, 5 и 6, фактора некроза опухоли-альфа и гамма-интерферонов. Эти факторы способствуют миграции гладкомышечных клеток в слой интимы, их пролиферации и отложению во внеклеточном матриксе. Посредством хемокинов происходит дополнительная миграция Т-хелперов и моноцитов, которые усиливают воспалительную реакцию [10–12].

Гуморальный компонент является решающим фактором повреждения аллотрансплантата после ОТС. Эндотелиальные клетки донора содержат на своей поверхности антитела к человеческому лейкоцитарному антигену. Наличие у реципиента донорспецифических антител вызывает повреждение эндотелия посредством активации комплемента и антителозависимой клеточно-опосредованной цитотоксичности. Также антитела к человеческому лейкоцитарному антигену могут стимулировать пролиферацию гладкомышечных клеток [11–13]. Многочисленные эндогенные молекулы, полученные из внеклеточного матрикса, а также клеточных органелл (например, митохондрий, цитоплазмы и ядра), также могут стимулировать воспалительный процесс и как следствие развитие ВТС посредством активации макрофагов и дендритных клеток [9, 10, 14].

Неиммунные факторы

Сосудистые факторы, хирургическое повреждение трансплантата, а также инфекции могут приводить к повреждению сосудов, повышать иммуногенность трансплантата и приводить к развитию аллоиммунного ответа. Смерть мозга донора играет ключевую роль в исходе трансплантации, поскольку происходит большой выброс катехоламинов в кровь, развитие эндокринных нарушений или гипоперфузии органов, что приводит к ишемическому повреждению трансплантата после операции [9–11]. В раннем послеоперационном периоде происходит выработка активных форм кислорода, которые повреждают микроциркуляторное русло, а также активизируют пролиферацию эндотелия [12, 13].

Цитомегаловирусная инфекция обладает способностью мимикрировать с поверхностью эндотелия, что приводит к перекрестной реактивности. Кроме того, инфекция может непосредственно активировать пролиферацию эндотелиальных клеток трансплантата и усиливать окислительный стресс, индуцируя выработку молекул адгезии и способствуя эндотелиальной дисфункции путем нарушения регуляции и выработки оксида азота [13, 14].

ВСУЗИ КАК МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ВТС

В настоящее время ВСУЗИ становится новым стандартом скрининга ВТС. Использование ВСУЗИ у пациентов после трансплантации сердца началось с 90-х годов прошлого века [4, 6]. Применение ВСУЗИ привело к значительным успехам в раннем выявлении заболевания. Благодаря высокой проникающей способности ультразвук обеспечивает визуализацию просвета и стенки сосуда в поперечном сечении, что способствует лучшей диагностике ВТС (рис. 1) [1]. В перспективном исследовании Torres et al. проводилось сравнение чувствительности коронарной ангиографии и ВСУЗИ в диагностике ВТС у 31 пациента со средними сроками после ОТС – 3,7 года. ВСУЗИ выявило признаки ВТС у 54,8% пациентов, в то время как коронароангиография – у 32,3%. Исследование показало, что ВСУЗИ является более чувствительным диагностическим инструментом по сравнению с коронарной ангиографией [1, 15].

В исследование O. Mendiz et al. были включены в общей сложности 114 пациентов после ОТС, которым были проведены коронарография и ВСУЗИ. Средний срок наблюдения составил 87 ± 61 месяц. Ученым удалось установить, что чувствительность выявления ВТС методом ангиографии составила 24%, а ВСУЗИ – 76,3% [16].

Утолщение интимы наиболее выражено в первый год после трансплантации сердца, что, вероятно, является следствием повышенного иммунного ответа в ранние сроки после трансплантации. В многоцентровом исследовании Kobashigawa et al. продемонстрировали, что увеличение максимальной толщины интимы (МТИ) $\geq 0,5$ мм от исходного уровня связано с более высокой летальностью, потерей трансплантата и нефатальными сердечно-сосудистыми событиями, а также более высокой вероятностью развития ВТС в течение 5 лет [4]. В свою очередь, в исследовании Potena et al. изменения МТИ $\geq 0,35$ мм через 5 лет после трансплантации достоверно коррелировали со смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний у 131 пациента. Кроме того, выраженное утолщение интимы (средний МТИ $0,9 \pm 0,3$ мм) было связано с десятикратным увеличением риска больших неблагоприятных сердечно-сосудистых событий [1, 17, 18].

ВСУЗИ может идентифицировать морфологию бляшек, а также выявить прогрессирование ВТС на ранней стадии [19–21].

Однако, несмотря на эффективность, существуют и ограничения ВСУЗИ: нормальная толщина интимы и медики значительно ниже разрешающей способности ВСУЗИ (от 150 до 200 мкм). Поэтому ранние признаки ВТС, когда специфическая терапия может быть потенциально более эффективной, не всегда обнаруживаются. Также ВСУЗИ не может выявить такие значимые структуры, как макрофаги, фиброатеромы с тонкой покрышкой [6, 22, 23].

ОКТ КАК МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ВТС

В настоящее время ОКТ рассматривается как альтернатива ВСУЗИ при скрининге у пациентов с ВТС [1]. ОКТ – метод, который использует ближний инфракрасный свет, что позволяет выполнять визуа-

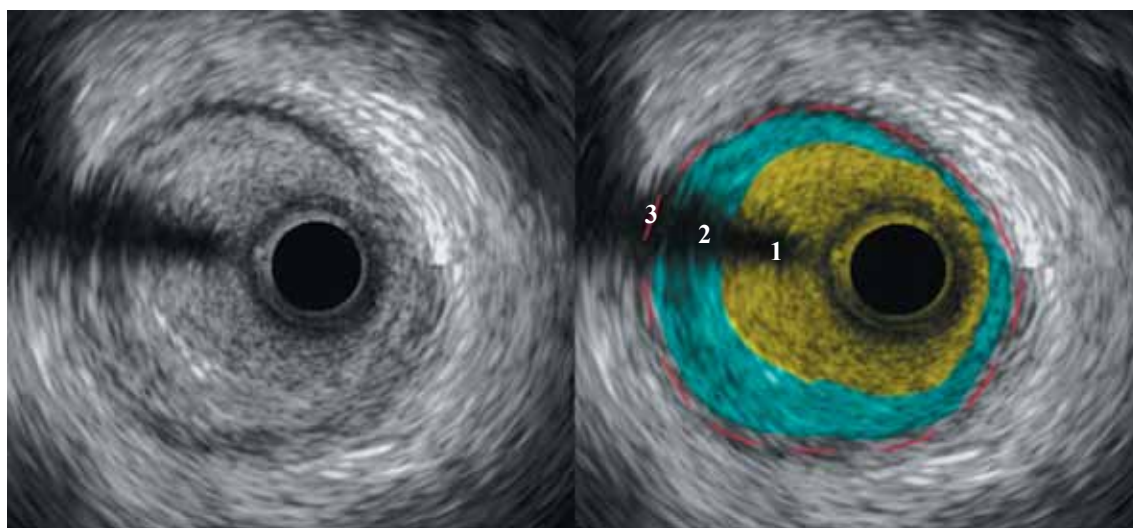


Рис. 1. ВСУЗИ у пациента с ВТС (1 – просвет сосуда; 2 – гиперплазия интимы; 3 – медиа)

Fig. 1. IVUS in a CAV patient (1 – vascular lumen; 2 – intimal hyperplasia; 3 – media)

лизацию с высоким разрешением. Использовать ОКТ для диагностики ВТС начали сравнительно недавно, что позволило лучше понять патогенез васкулопатии [14, 19, 20]. Одним из свойств ОКТ является способность четко различать широкий спектр компонентов сосудистой стенки. ОКТ точнее представляет границу раздела интима–медиа, классифицируя ткани как фиброзные, гомогенные, фиброзно-кальцинированные, с четко определенными границами, или с диффузными границами, или с обильным количеством липидов, что позволяет обнаруживать гиперплазию интимы ≤ 150 мкм [1, 24, 25]. На рис. 2 представлены данные ОКТ у пациента с ВТС.

С целью оценки эффективности ОКТ для скрининга ВТС в исследовании OTCASV провели оценку на 15 пациентах, которым от 1 до 4 лет назад была проведена ОТС. Всем пациентам была выполнена коронароангиография с последующей ОКТ. По данным ангиографии признаков ВТС выявлено не было, но методом ОКТ выявлена гиперплазия неоинтимы с МИТ более 1 мм у 8 из 15 пациентов. Кроме того, у 7 из 15 человек были богатые липидами или кальцинированные атеросклеротические бляшки. Исследователи пришли к выводу, что ОКТ обеспечивает количественную визуализацию коронарных артерий с высоким разрешением и ее использование позволяет детально оценить стенку коронарной артерии и ранние морфологические изменения, которые происходят после трансплантации сердца [20, 26].

Недостатком ОКТ является небольшая глубина проникновения – 1–2 мм [20, 23]. При выраженной гиперплазии интимы визуализация подлежащих слоев затруднена с помощью ОКТ. Другим недостатком ОКТ является необходимость для получения высококачественных изображений полного вымывания

форменных элементов крови из коронарных сосудов [20, 27, 28].

ОКТ ПРОТИВ ВСУЗИ

По сравнению с ВСУЗИ ОКТ имеет в 10 раз более высокое осевое разрешение (10–15 мкм) и обеспечивает визуализацию, близкую к гистологическому уровню. Такие структуры, как макрофаги, толщина фиброзной оболочки бляшки и детали ультраструктуры бляшки, которые не могут быть визуализированы при ВСУЗИ, могут быть четко видны при ОКТ [23, 27, 29].

Одно из самых ранних исследований, сравнивающих ОКТ и ВСУЗИ в нативных трупных образцах, показало, что толщина интимы/медиа имела более высокую корреляцию с гистологическим исследованием по данным ОКТ, чем ВСУЗИ [4]. Ранние исследования показали преимущества ОКТ перед ВСУЗИ для оценки ВТС. Хоу и др. оценили проксимальный, средний и дистальный сегменты передней нисходящей артерии с помощью ОКТ и ВСУЗИ у 7 пациентов, перенесших длительную трансплантацию. Гиперплазия интимы, определяемая как интима >100 мкм, была выявлена в 66,7% по ОКТ, но только в 14,3% случаев на ВСУЗИ. Толщина интимы <150 мкм не определялась на ВСУЗИ [4]. ОКТ более чувствительна в выявлении патологических изменений, включая *vasa vasorum* и фиброатеромы с тонкой покрывкой, не видимые по данным ВСУЗИ [15, 18, 23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ВТС является основной причиной развития инфаркта миокарда и хронической сердечной недостаточности у пациентов после ОТС. ВМВ позволяют на ранних сроках диагностировать данную патологию

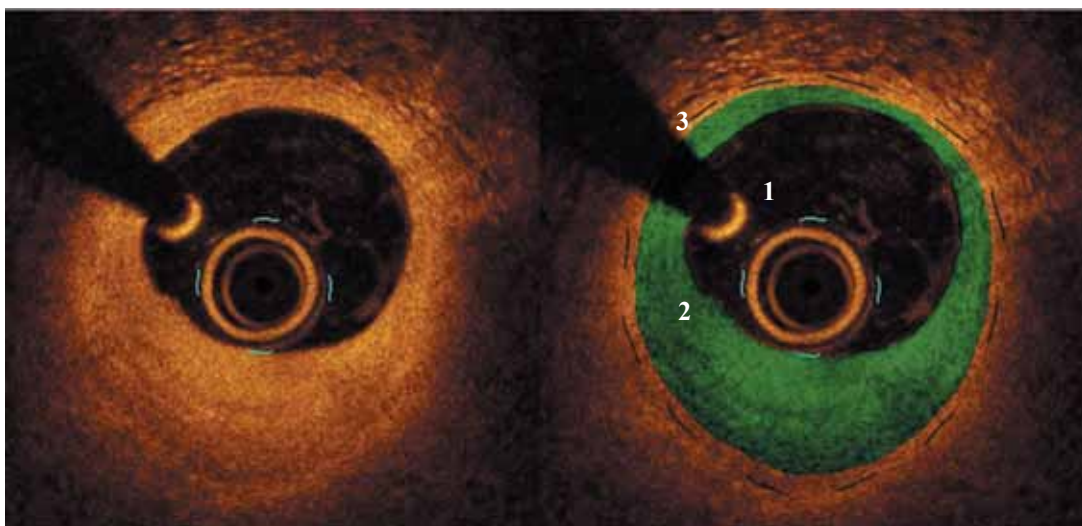


Рис. 2. ОКТ у пациента с ВТС (1 – просвет сосуда; 2 – гиперплазия интимы; 3 – медиа)

Fig. 2. OCT in a CAV patient (1 – vascular lumen; 2 – intimal hyperplasia; 3 – media)

гию и профилировать неблагоприятный исход у сложной категории больных с трансплантированным сердцем. Учитывая преимущества ОКТ и недостатки ВСУЗИ, ОКТ представляется более информативным методом диагностики ВТС.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-75-10009, <https://rscf.ru/project/23-75-10009/>.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Pighi M, Gratta A, Marin F, Bellamoli M, Lunardi M, Fezzi S et al. Cardiac allograft vasculopathy: Pathogenesis, diagnosis and therapy. *Transplant Rev (Orlando)*. 2020 Oct; 34 (4): 100569. doi: 10.1016/j.trre.2020.100569. Epub 2020 Jul 23. PMID: 32739137.
2. Lund LH, Khush KK, Cherikh WS, Goldfarb S, Kucheryavaya AY, Levvey BJ et al. International Society for Heart and Lung Transplantation. The Registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: Thirty-fourth Adult Heart Transplantation Report – 2017; Focus Theme: Allograft ischemic time. *J Heart Lung Transplant*. 2017 Oct; 36 (10): 1037–1046. doi: 10.1016/j.healun.2017.07.019. Epub 2017 Jul 20. PMID: 28779893.
3. Wu MY, Ali Khawaja RD, Vargas D. Heart Transplantation: Indications, Surgical Techniques, and Complications. *Radiol Clin North Am*. 2023 Sep; 61 (5): 847–859. doi: 10.1016/j.rcl.2023.04.011. Epub 2023 May 15. PMID: 37495292.
4. Pollack A, Nazif T, Mancini D, Weisz G. Detection and Imaging of Cardiac Allograft Vasculopathy. *JACC Cardiovascular Imaging*. 2013 May; 6 (5): 613–623. doi: 10.1016/j.jcmg.2013.03.001.
5. Olymbios M, Kwiecinski J, Berman DS, Kobashigawa JA. Imaging in Heart Transplant Patients. *JACC Cardiovascular Imaging*. 2018 Oct; 11 (10): 1514–1530. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.06.019. PMID: 30286911.
6. Clemmensen TS, Jensen NM, Eiskjær H. Imaging of Cardiac Transplantation: An Overview. *Semin Nucl Med*. 2021 Jul; 51 (4): 335–348. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2020.12.012. Epub 2021 Jan 15. PMID: 33455723.
7. Khush KK, Cherikh WS, Chambers DC, Harhay MO, Hayes D Jr, Hsich E et al. International Society for Heart and Lung Transplantation. The International Thoracic Organ Transplant Registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: Thirty-sixth adult heart transplantation report – 2019; focus theme: Donor and recipient size match. *J Heart Lung Transplant*. 2019 Oct; 38 (10): 1056–1066. doi: 10.1016/j.healun.2019.08.004.
8. Spartalis M, Spartalis E, Tzatzaki E, Tsilimigras DI, Moris D, Kontogiannis C et al. Cardiac allograft vasculopathy after heart transplantation: current prevention and treatment strategies. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2019 Jan; 23 (1): 303–311. doi: 10.26355/eur-rev_201901_16777.
9. Kindel SJ, Pahl E. Current therapies for cardiac allograft vasculopathy in children. *Congenit Heart Dis*. 2012 Jul-Aug; 7 (4): 324–335. doi: 10.1111/j.1747-0803.2012.00666.x. Epub 2012 May 22. PMID: 22613206.
10. Badano LP, Miglioranza MH, Edvardsen T, Colafranceschi AS, Muraru D, Bacal F et al. Document reviewers. European Association of Cardiovascular Imaging/Cardiovascular Imaging Department of the Brazilian Society of Cardiology recommendations for the use of cardiac imaging to assess and follow patients after heart transplantation. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015 Sep; 16 (9): 919–948. doi: 10.1093/ehjci/jev139. Epub 2015 Jul 2. PMID: 26139361.
11. Vassalli G, Gallino A, Weis M, von Scheidt W, Kappenberger L, von Segesser LK, Goy JJ. Working Group Microcirculation of the European Society of Cardiology. Alloimmunity and nonimmunologic risk factors in cardiac allograft vasculopathy. *Eur Heart J*. 2003 Jul; 24 (13): 1180–1188. doi: 10.1016/s0195-668x(03)00237-9. PMID: 12831811.
12. Laks JA, Dipchand AI. Cardiac allograft vasculopathy: A review. *Pediatr Transplant*. 2022 May; 26 (3): e14218. doi: 10.1111/petr.14218. Epub 2022 Jan 5. PMID: 34985793.
13. Shetty M, Chowdhury YS. Heart Transplantation Allograft Vasculopathy. 2023 May 22. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan. PMID: 32310459.
14. Stehlik J, Kobashigawa J, Hunt SA, Reichenspurner H, Kirklin JK. Honoring 50 Years of Clinical Heart Transplantation in Circulation: In-Depth State-of-the-Art Review. *Circulation*. 2018 Jan 2; 137 (1): 71–87. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.117.029753. PMID: 29279339.
15. Nikolova AP, Kobashigawa JA. Cardiac Allograft Vasculopathy: The Enduring Enemy of Cardiac Transplantation. 2019 Jul; 103 (7): 1338–1348. doi: 10.1097/TP.0000000000002704.
16. Mendiz OA, Gamboa P, Renedo MF, Lev GA, Favalloro LE, Bertolotti AM. Intravascular ultrasound for cardiac allograft vasculopathy detection. *Clin Transplant*. 2021 Feb; 35 (2): e14167. doi: 10.1111/ctr.14167. Epub 2020 Dec 6. PMID: 33237578.
17. Legutko J, Bryniarski KL, Kaluza GL, Roleder T, Pociask E, Kedhi E et al. Intracoronary Imaging of Vulnerable Plaque-From Clinical Research to Everyday Practice. *J Clin Med*. 2022 Nov 9; 11 (22): 6639. doi: 10.3390/jcm11226639.
18. Brown AJ, Obaid DR, Costopoulos C, Parker RA, Calvert PA, Teng Z et al. Direct Comparison of Virtual-Histology Intravascular Ultrasound and Optical Coherence Tomography Imaging for Identification of Thin-Cap Fibroatheroma. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2015 Oct; 8 (10): e003487. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.115.003487.
19. Кочергин НА, Кочергина АМ. Возможности оптической когерентной томографии и внутрисосудистого ультразвука в выявлении нестабильных бляшек в

- коронарных артериях. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2022; 21 (1): 2909. Kochergin NA, Kochergina AM. Potential of optical coherence tomography and intravascular ultrasound in the detection of vulnerable plaques in coronary arteries. *Cardiovascular therapy and prevention*. 2022; 21 (1): 2909. [In Russ.]. doi: 10.15829/1728-8800-2022-2909.
20. Кочергин НА, Загородников НИ, Фролов АВ, Тарасов РС, Ганюков ВИ. Оптическая когерентная томография как метод оценки системы «конduit – анастомоз – артерия» у пациентов после коронарного шунтирования. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2022; 11 (4): 151–157. Kochergin NA, Zagorodnikov NI, Frolov AV, Tarasov RS, Ganyukov VI. Optical coherence tomography as a method for assessing the conduit-anastomosis-artery system in patients after coronary artery bypass grafting. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2022; 11 (4): 151–157. [In Russ.]. doi: 10.17802/2306-1278-2022-11-4-151-157.
 21. Tomai F, Adorisio R, De Luca L, Pilati M, Petrolini A, Ghini AS et al. Coronary plaque composition assessed by intravascular ultrasound virtual histology: association with long-term clinical outcomes after heart transplantation in young adult recipients. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2014 Jan 1; 83 (1): 70–77. doi: 10.1002/ccd.25054. Epub 2013 Jul 16. PMID: 23765788.
 22. Dyrbuś M, Gąsior M, Szygula-Jurkiewicz B, Przybyłowski P. The role of optical coherence tomography and other intravascular imaging modalities in cardiac allograft vasculopathy. *Postępy Kardiologii Interwencyjnej*. 2020 Mar; 16 (1): 19–29. doi: 10.5114/aic.2020.93909.
 23. Acharya D, Loyaga-Rendon RY, Chatterjee A, Rajapreyar I, Lee K. Optical Coherence Tomography in Cardiac Allograft Vasculopathy: State-of-the-Art Review. *Circ Heart Fail*. 2021 Sep; 14 (9): e008416. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.121.008416. Epub 2021 Aug 20. PMID: 34414769.
 24. Tomai F, De Luca L, Petrolini A, Di Vito L, Ghini AS, Corvo P et al. Optical coherence tomography for characterization of cardiac allograft vasculopathy in late survivors of pediatric heart transplantation. *J Heart Lung Transplant*. 2016 Jan; 35 (1): 74–79. doi: 10.1016/j.healun.2015.08.011. Epub 2015 Sep 3. PMID: 26452998.
 25. Xing L, Higuma T, Wang Z, Aguirre AD, Mizuno K, Takano M et al. Clinical Significance of Lipid Rich Plaque Detected by Optical Coherence Tomography: A 4-Year Follow-Up Study. *J Am Coll Cardiol*. 2017; 69 (20): 2502–2513. doi: 10.1016/j.jacc.2017.03.556.
 26. Kawai K, Sato Y, Hokama JY, Kawakami R, Konishi T, Ghosh SKB et al. Histology, OCT, and Micro-CT Evaluation of Coronary Calcification Treated With Intravascular Lithotripsy: Atherosclerotic Cadaver Study. *JACC Cardiovasc Interv*. 2023 Sep 11; 16 (17): 2097–2108. doi: 10.1016/j.jcin.2023.06.021.
 27. Кочергин НА, Ганюков ВИ, Загородников НИ, Фролов АВ. Оптическая когерентная томография коронарных шунтов. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2019; 8 (4S): 89–94. Kochergin NA, Ganyukov VI, Zagorodnikov NI, Frolov AV. Optical coherence tomography of coronary grafts. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2019; 8 (4S): 89–94. [In Russ.]. doi: 10.17802/2306-1278-2019-8-4S-89-94.
 28. Cassar A, Matsuo Y, Herrmann J, Li J, Lennon RJ, Gulati R et al. Coronary atherosclerosis with vulnerable plaque and complicated lesions in transplant recipients: new insight into cardiac allograft vasculopathy by optical coherence tomography. *Eur Heart J*. 2013 Sep; 34 (33): 2610–2617. doi: 10.1093/eurheartj/eh236. Epub 2013 Jun 25. PMID: 23801824; PMCID: PMC3758840.
 29. Fenton M, Mahmood A, Burch M, Simmonds J, Kuhn MA. Comparative Study of Pediatric Coronary Allograft Vasculopathy Between Single Centers in North America and United Kingdom. *Transplant Proc*. 2018 Dec; 50 (10): 3705–3709. doi: 10.1016/j.transproceed.2018.06.022.

Статья поступила в редакцию 09.11.2023 г.
The article was submitted to the journal on 09.11.2023