

Использование метода инфракрасной флуоресцентной шунтографии для интраоперационной оценки кровотока. Опыт работы на отечественной системе «МАРС»

Е.Л. Заславская^{1,2*}, В.В. Осовских³, Д.Г. Граматиков⁴, В.С. Литус¹, Е.А. Полякова²

¹ ГБУЗ «Ленинградская областная клиническая больница»; Россия, 194291, г. Санкт-Петербург, пр. Луначарского, д. 45, корп. 2, лит. А

² ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Россия, 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8

³ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Россия, 197341, г. Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2

⁴ ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе»; Россия, 192242, г. Санкт-Петербург, Будапештская ул., д. 3, лит. А

*Контактное лицо: Екатерина Леонидовна Заславская, e-mail: dr.kzaslavskaya@gmail.com

Аннотация

Введение. Метод инфракрасной флуоресцентной шунтографии с индоцианином зеленым позволяет интраоперационно оценивать проходимость маммарных и венозных шунтов у пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС).

Материалы и методы. В исследование включено 26 пациентов: часть со стабильными формами ишемической болезни сердца (ИБС) ($n = 19$), часть с острым коронарным синдромом (ОКС, $n = 7$). Всем пациентам определены показания к выполнению маммарокоронарного и аортокоронарного шунтирования. Операции выполнялись на работающем сердце с использованием вакуумного стабилизатора Octorpus. Для оценки проходимости шунтов применялась технология флуоресцентной диагностики в ближнем инфракрасном диапазоне с контрастным препаратом «Индоцианин зеленый» и системой «МАРС». Интраоперационная визуализация кровотока получена для всех шунтов — как маммарокоронарных, так и аутовенозных. Выполнение и интерпретация каждой ангиографической серии занимали около 2–3 мин, повторное исследование потребовалось у двух пациентов. В большинстве случаев качество полученных во время операции ангиограмм и гистограмм было хорошим, сопоставимым с обычной коронарографией.

Результаты. Данная методика была применена у всех пациентов. Во время исследования и после него не было выявлено неблагоприятных событий, связанных с красителем. Адекватная интраоперационная визуализация получена у 26 пациентов (26 видеозаписей). Качество визуализации позволяло надежно оценить проходимость коронарных шунтов и перфузию миокарда. У трех пациентов (11,5%) был выявлен нефункционирующий шунт; в двух из этих случаев (2 из 58 шунтов, 3,4%; 2 из 26 пациентов, 7,7%) выполнена интраоперационная ревизия анастомоза с повторной флуоресцентной шунтографией, подтвердившей восстановление кровотока.

Выводы. Метод инфракрасной флуоресцентной шунтографии с индоцианином зеленым — полезная и безопасная методика. Она позволяет быстро оценить состояние коронарных шунтов без побочных эффектов и осложнений и своевременно выявить технические дефекты анастомозов, что потенциально способно снизить риск развития инфаркта миокарда (ИМ) 5-го типа и улучшить результаты лечения пациентов с ишемической болезнью сердца. Влияние методики на раннюю послеоперационную летальность требует подтверждения в сравнительных исследованиях.

Ключевые слова: индоцианин зеленый (ICG), флуоресцентная шунтография, коронарное шунтирование (КШ), ICG

Для цитирования: Заславская Е.Л., Осовских В.В., Граматиков Д.Г., Литус В.С., Полякова Е.А. Использование метода инфракрасной флуоресцентной шунтографии для интраоперационной оценки кровотока. Опыт работы на отечественной системе «МАРС». *Медицина будущего*. 2026;1(2):37–45.

<https://doi.org/10.67666/3033-9057-2026-1-2-37-45>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии финансирования исследования.

Поступила 14.08.2026

После доработки 16.09.2026

Принята к публикации 16.09.2026

© Заславская Е.Л., Осовских В.В., Граматиков Д.Г., Литус В.С., Полякова Е.А., 2026

© Zaslavskaya E.L., Osovskikh V.V., Gramatikov D.G., Litus V.S., Polyakova E.A., 2026

Use of infrared fluorescence graft angiography for intraoperative assessment of blood flow: Experience with the Russian-made MARS system

Ekaterina L. Zaslavskaya^{1,2*}, Viktor V. Osovskikh³, Demis G. Gramatikov⁴, Vitaly S. Litus¹, Ekaterina A. Polyakova²

¹ Leningrad Regional Clinical Hospital; 45, Lunacharsky ave., bldg. A, St. Petersburg, 194291, Russian Federation

² Pavlov First Saint Petersburg State Medical University; 6–8, L'va Tolstogo str., St. Petersburg, 197022, Russian Federation

³ Almazov National Medical Research Centre; 2, Akkuratova str., St. Petersburg, 197341, Russian Federation

⁴ Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine; 3A, Budapeshtskaya str., St. Petersburg, 192242, Russian Federation

*Contact person: Ekaterina L. Zaslavskaya, e-mail: dr.kzaslavskaya@gmail.com

Abstract

Introduction. Near-infrared fluorescent graft angiography with indocyanine green enables intraoperative assessment of mammary and venous graft patency in patients with coronary artery disease (CAD).

Materials and methods. The study included 26 patients: some had stable forms of CAD ($n = 19$), and some had acute coronary syndrome (ACS, $n = 7$). All patients had indications for mammary-coronary and aorto-coronary bypass grafting. Surgery was performed on the beating heart using an Octopus vacuum stabilizer. To assess graft patency, near-infrared fluorescent imaging was used with the contrast agent indocyanine green and the MARS system. Intraoperative visualization of blood flow was obtained for all grafts, including mammary-coronary and autovenous grafts. Performance and interpretation of each angiographic series took approximately 2–3 minutes; repeat examination was required in 2 patients. In most cases, the quality of angiograms and histograms recorded during surgery was good and comparable to conventional coronary angiography.

Results. This method was applied in all patients. No adverse events associated with the dye were observed during or after the examination. Adequate intraoperative visualization was obtained in 26 patients (26 video recordings). The visualization quality allowed reliable assessment of coronary graft patency and myocardial perfusion. A non-functioning graft was detected in three patients (11,5%); in two of them (2 of 58 grafts, 3,4%; 2 of 26 patients, 7,7%) intraoperative anastomotic revision was performed, followed by repeat fluorescent graft angiography that confirmed restoration of blood flow.

Conclusions. Near-infrared fluorescent graft angiography with indocyanine green is a useful and safe technique. It enables rapid assessment of coronary bypass grafts without side effects or complications and allows timely detection of technical anastomotic defects, which may potentially reduce the risk of type 5 myocardial infarction and improve treatment outcomes in patients with coronary artery disease. The impact of the technique on early postoperative mortality requires confirmation in comparative studies.

Keywords: indocyanine green (ICG), fluorescent graft angiography, coronary artery bypass grafting

For citation: Zaslavskaya E.L., Osovskikh V.V., Gramatikov D.G., Litus V.S., Polyakova E.A. Use of infrared fluorescence graft angiography for intraoperative assessment of blood flow: experience with the Russian-made MARS system. *The Future of Medicine*. 2026;1(2): 37-45. <https://doi.org/10.67666/3033-9057-2026-1-2-37-45>

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interests.

Received 14.08.2026

Revised 16.09.2026

Accepted 16.09.2026

ВВЕДЕНИЕ

Коронарное шунтирование (КШ) — одна из наиболее часто выполняемых кардиохирургических операций в мире. По данным регистра Общества торакальных хирургов США (STS Adult Cardiac Surgery Database), суммарная частота осложнений и летальных исходов при изолированном коронарном шунтировании составляет около 9%, а операционная летальность — около 2% [1]. Одним из наиболее значимых

осложнений после коронарного шунтирования остается периоперационный инфаркт миокарда, частота которого традиционно оценивается в 2–8% [2]. Следует, однако, учитывать, что этот показатель критически зависит от применяемого определения: по данным метаанализа, объединенная частота периоперационного инфаркта миокарда составляет 2,4–3,2% [3]. В крупных кардиохирургических центрах мира, где визуализирующие методики применяются

интраоперационно значительно чаще, шунтирование стало одной из самых безопасных операций на сердце. Самые распространенные и доступные методы диагностики для исключения раннего инфаркта миокарда — это кардиобиомаркеры, интраоперационная и послеоперационная эхокардиография и электрокардиография. Основной проблемой раннего периода остается дифференциация послеоперационных изменений, которые имитируют ишемию у пациентов после коронарного шунтирования (КШ), от острого интраоперационного инфаркта миокарда — особенно у пациентов с острым коронарным синдромом. Повреждение миокарда вследствие оперативного воздействия, по данным магнитно-резонансной томографии, выявляется у 36–44 % пациентов, а механизмы этого повреждения могут быть очень разнообразными: грань между «нормальными» послеоперационными изменениями и началом клинических проявлений ишемии крайне размыта, а пороговые значения высокочувствительного тропонина для диагностики периоперационного инфаркта миокарда (ИМ) до настоящего времени остаются предметом дискуссии [4, 5]. Например, прямые интраоперационные манипуляции с сердцем или недостаточная кардиоплегия могут привести к микротравме миокарда и, как следствие, к повышению уровня тропонина и других кардиомаркеров [6]. В связи с этим «золотым стандартом» профилактики интраоперационного ИМ являются визуализирующие методики для оценки состоятельности шунтов, которая рассматривается в Европейских рекомендациях по реваскуляризации миокарда и в актуальных рекомендациях по хроническому коронарному синдрому [7, 8]. В настоящее время существуют различные методики диагностики состоятельности кондуитов, такие как ультразвуковая флоуметрия, ультразвуковая интраоперационная доплерография и шунтография. Однако, несмотря на достаточную специфичность и чувствительность этих методов, их рутинное использование не всегда возможно из-за ограниченной доступности [9].

Индоцианиновая флуоресцентная ангиография (ICG-FA) — это технология визуализации, позволяющая оценивать тканевую перфузию в режиме реального времени [10]. Период полувыведения индоцианина зеленого (indocyanine green, ICG) составляет 2,5–3 минуты, что позволяет повторно вводить препарат во время процедуры — это значимое преимущество методики. Профиль безопасности препарата благоприятный: частота тяжелых реакций составляет около 0,05 %, а риск анафилаксии оценивается как 1 случай на 42 000 введений [11]. Однако индоцианин зеленый содержит натрия йодид, в связи с этим у пациентов с реакциями на йодсодержащие препараты ICG применяют с осторожностью, тогда как абсолютным противопоказанием служит только гиперчувствительность к самому препарату. Первоначально индоцианин зеленый предназначался

для офтальмологической ангиографии, измерения сердечного выброса и исследования функции печени [12]. В начале 2000-х годов интерес к ICG-FA заметно возрос. Сегодня хирургическое применение метода у взрослых включает обнаружение опухоли, оценку перфузии лоскута, а также флуоресцентную визуализацию перфузии тканей и органов при коло-ректальных и гепатобилиарных операциях; рассматривается и его использование в кардиохирургии для интраоперационной оценки состоятельности шунтов. При этом рандомизированных исследований, сравнивающих ICG-FA с другими методами из «золотого стандарта», в литературе крайне мало. В 2006 году группа ученых из США опубликовала данные сравнения ICG-FA с транзитно-временной флоуметрией (TTFM — Transit Time Flow Measurement, флоуметрия переходного времени). В исследование было включено 106 пациентов, однако контрольная рентгеноконтрастная ангиография выполнена у 46 из них, проходимость шунтов оценивалась тремя способами (ICG-FA, TTFM и рентгенангиография). Установлено, что чувствительность и специфичность ICG-FA составили 83,3 и 100 % соответственно, тогда как чувствительность и специфичность TTFM — 25 и 98,4 % соответственно. Значение p [2] при сравнении чувствительности и специфичности между ICG-FA и TTFM составило 0,011 [13]. Несмотря на успешное применение ICG-FA в кардиохирургии, метод чаще используется в других областях — онкологии, абдоминальной и нейрохирургии, а современных публикаций по интраоперационной оценке коронарных шунтов немного [14]. В России данный метод применялся в гепатохирургии, а в последнее время получил широкое распространение в сосудистой хирургии, в частности при лечении диабетической стопы.

Индоцианин зеленый — амфифильный трикарбоцианиновый йодидный краситель; молекулярная масса натриевой соли составляет около 775 Да (для аниона — около 752 Да). Он был разработан компанией Kodak для внутривенных инъекций и одобрен для клинического использования в 1959 году Управлением по контролю за продуктами и лекарствами США. Водный раствор препарата имеет pH около 6,5, однако нестабилен и, согласно инструкции производителя, должен быть использован в течение 6 часов после приготовления. После внутривенной инъекции ICG быстро связывается с белками плазмы (в частности, сывороточным альбумином и α - и β -липопротеинами): гидрофобные участки этих белков связываются с липофильным компонентом индоцианина зеленого [15, 16]. Из введенного ICG 98 % препарата связываются с белками плазмы крови, а оставшиеся 2 % находятся в свободном состоянии в сыворотке. Свободный ICG захватывается гепатоцитами и в неизмененном виде экскретируется в желчь, тогда как связанный с белками ICG остается во внутрисосудистом пространстве в течение более

длительного времени [16, 17]. Препарат демонстрирует высокий уровень безопасности; в инструкции производителя суммарная доза ограничена 2 мг/кг, а в кардиохирургической практике применяются существенно более низкие дозы. После связывания с белками плазмы период полувыведения ICG составляет 2,5–3 мин; препарат полностью выводится через билиарные пути без энтерогепатической рециркуляции. При воздействии света с длиной волны 800–810 нм в ближнем инфракрасном спектре ICG становится флуоресцентным с максимумом эмиссии около 830 нм и может быть обнаружен с помощью специальных камер. Что особенно важно, ближняя инфракрасная флуоресценция способна проникать в ткани, не повреждая клетки. Глубина визуализации зависит от используемой системы и составляет в среднем 0,5–1 см (по отдельным данным — до 1,5–2 см); с помощью более мощных флуорофоров (с более высоким «соотношением контрастности к фону») и специальных фильтров это значение может быть увеличено. Помимо системы Firefly Imaging System существуют и другие устройства для ближней инфракрасной флуоресценции, отличающиеся техническими характеристиками и источниками света. Среди систем для открытой хирургии можно назвать FLARE и m-FLARE (экспериментальная модель для малоинвазивной хирургии), разработанные в Бостоне; медицинскую систему HyperEye (HEMS), разработанную японской командой Сато для оценки трансплантатов в сердечно-сосудистой хирургии; французский Fluobeam 800; американский FDPM Imager; немецкий IC-View от Pulsion Medical, а также систему «МАРС», разработанную российскими учеными [18].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включено 26 пациентов: часть со стабильными формами ИБС ($n = 19$), часть с острым коронарным синдромом (ОКС, $n = 7$). Всем пациентам определены показания к выполнению маммарокоронарного и аортокоронарного шунтирования. Средний возраст обследуемых составил $65,1 \pm 7,9$ года, доля лиц мужского пола — 76,9%. В анамнезе у 38,5% пациентов ($n = 10$) — постинфарктный кардиосклероз. 26,9% пациентов ($n = 7$) поступили в клинику с диагнозом острого коронарного синдрома без подъема сегмента ST; по данным коронарографии, у них установлено многососудистое поражение коронарных артерий и определены показания к экстренному коронарному шунтированию. Более подробные данные представлены в табл. 1. Все пациенты были прооперированы на работающем сердце с использованием вакуумного стабилизатора Octorus. После запуска шунтов и профилактики воздушной эмболии всем пациентам вводили ICG для оценки проходимости шунтов через центральный венозный доступ. ICG растворяли в воде для инъекций в концентрации 5 мг/мл; доза препарата составляла 0,25 мг на 1 кг массы тела. Препарат вводили болюсно, после чего

катетер и вену промывали физиологическим раствором в объеме 10 мл. С помощью аппаратных средств системы «МАРС» выполняли визуализацию кровотока в целевых коронарных артериях и шунтах в режиме реального времени. Для статистической обработки результатов использовали пакет программ R-Studio (R-Tools Technology, США). Количественные показатели представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения; для сравнения двух независимых выборок с $n > 30$ применяли критерий Манна – Уитни, для сравнения качественных признаков — точный критерий Фишера. Различия считали статистически значимыми при $p > 0,05$. С учетом малого объема подгрупп ($n = 7$ в группе ОКС) статистическая мощность для выявления межгрупповых различий была заведомо ограничена, поэтому результаты сравнения подгрупп следует рассматривать как предварительные.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучены результаты обследования 26 пациентов, оценено состояние 58 коронарных шунтов. Интраоперационная визуализация кровотока получена для всех шунтов — как маммарокоронарных, так и аутовенозных. Выполнение и интерпретация каждой ангиографической серии занимали около 2–3 мин, повторное исследование потребовалось у двух пациентов. В подавляющем большинстве случаев качество записанных во время операции ангиограмм и гистограмм было хорошим, сопоставимым с обычной коронарографией. На сериях (рис. 1) продемонстрировано постепенное распространение контраста по маммарному кондуиту.

Метод продемонстрировал хорошую воспроизводимость, однако, как и любая визуализирующая методика, имеет свои технические ограничения (подробнее они рассмотрены в разделе «Обсуждение»).

В связи с этими ограничениями интраоперационный поиск нативной коронарной артерии, расположенной интрамурально или скрытой под слоем эпикардального жира, при использовании метода инфракрасной флуоресцентной шунтографии с индоцианином зеленым затруднен. Надежно визуализировать удается коронарные артерии или кондуиты, расположенные поверхностно, в пределах глубины 0,5–1 см. В исследованной серии у трех пациентов выявлено неудовлетворительное функционирование шунта; в двух случаях выполнено перешивание анастомоза с повторной флуоресцентной шунтографией.

В раннем послеоперационном периоде не отмечено случаев осложнений, связанных с применением индоцианина зеленого. При анализе уровня высокочувствительного тропонина I ($p = 0,135$), С-реактивного белка ($p = 0,644$) и лактата артериальной крови через 6 часов ($p = 0,543$) и 12 часов ($p = 0,354$) после операции достоверных различий между пациентами с острым коронарным синдромом и пациентами со

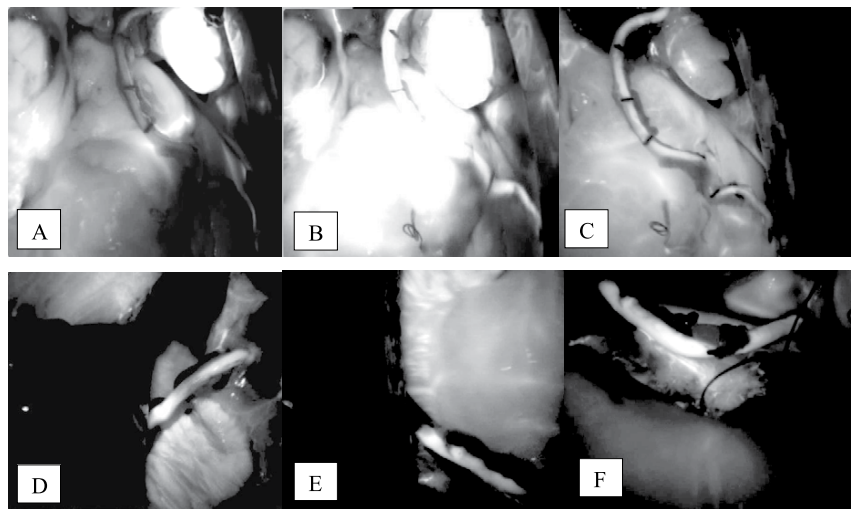


Рис. 1. Постепенное распространение контраста по маммарному кондукту (А, В, С) и венозному кондукту (D, E, F)
Fig. 1. Progressive filling of the mammary conduit (A, B, C) and the venous conduit (D, E, F) with the contrast agent



Рис. 2. Карта времени наступления максимума интенсивности флуоресценции: кривые «интенсивность–время» для маммарокоронарного (зона 0, красная рамка) и двух аутовенозных (зоны 1 и 2, синяя и зеленая рамки) шунтов (А), с таблицей координат начала, пика и скорости нарастания сигнала (В)
Fig. 2. Map of the time to peak fluorescence intensity: intensity–time curves for the internal mammary artery graft (region 0, red) and the two saphenous vein grafts (regions 1 and 2, blue and green) (A), with a table of onset, peak, and signal rise-rate coordinates (B)

стабильными формами ИБС не выявлено. Через сутки всем пациентам выполнили эхокардиографическое исследование: по фракции выброса левого желудочка группы также были сопоставимы ($p = 0,354$).

Среди 26 пациентов, включенных в исследование, преобладали мужчины (20 человек, 76,9%), средний возраст составил $65,1 \pm 7,9$ года. Когорта характеризовалась высокой коморбидностью: артериальная гипертензия выявлена у 24 больных (92,3%), постинфарктный кардиосклероз — у 10 (38,5%), сахарный диабет 2-го типа — у 7 (26,9%), фибрилляция предсердий — у 6 (23,1%), а чрескожное коронарное вмешательство в анамнезе — у 6 (23,1%). Большинство больных имели III функциональный класс стенокардии напряжения (12 человек, 46,2%). Клинические признаки хронической сердечной недостаточности III функционального класса [3] по NYHA (Нью-Йоркская

кардиологическая ассоциация) [4] отмечены у 13 больных (50,0%), IV ФК — у 7 (26,9%); при этом средняя фракция выброса левого желудочка составила $56,8 \pm 9,22\%$, что отражает преобладание стенокардитического компонента и сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса в изученной когорте. Общая клиническая характеристика больных представлена в табл. 1.

В зависимости от клинической формы ишемической болезни сердца (ИБС) пациенты были разделены на две группы: со стабильными формами ИБС ($n = 19$) и с острым коронарным синдромом ($n = 7$; 26,9%), потребовавшим экстренного коронарного шунтирования. Оперативное вмешательство во всех случаях выполнялось на работающем сердце с использованием вакуумного стабилизатора миокарда. У 26 пациентов оценено состояние 58

Таблица 1. Общая клиническая характеристика больных ($n = 26$)
Table 1. General clinical characteristics of the patients ($n = 26$)

Показатель	Абс.	%
Мужской пол	20	76,9
Возраст, годы ($M \pm SD$)	65,1 $\pm$ 7,9	—
Постинфарктный кардиосклероз	10	38,5
Острый коронарный синдром	7	26,9
Артериальная гипертензия	24	92,3
ФК стенокардии напряжения		
II	6	23,1
III	12	46,2
IV	1	3,8
ОНМК в анамнезе	2	7,7
ФК ХСН (NYHA)		
II	6	23,1
III	13	50,0
IV	7	26,9
Сахарный диабет 2-го типа	7	26,9
ХОБЛ	4	15,4
Фибрилляция предсердий	6	23,1
Хроническая болезнь почек	2	7,7
ЧКВ в анамнезе	6	23,1
ФВ ЛЖ, % ($M \pm SD$)	56,8 $\pm$ 9,22	—

коронарных шунтов (в среднем 2,2 шунта на одного больного), включая маммарокоронарные и аутовенозные кондуиты.

При анализе кривых флуоресценции у большинства пациентов регистрировался быстрый подъем интенсивности сигнала с последующим плавным снижением, что соответствовало беспрепятственному антеградному кровотоку по шунту. Стоит отметить, что пиковая интенсивность флуоресценции была выше на аутовенозных шунтах по сравнению с маммарокоронарными — это объясняется большим диаметром венозного кондуита и, соответственно, большим объемным кровотоком. При оценке маммарокоронарных шунтов пиковая точка наступала позже, что связано с анатомическим расположением внутренней грудной артерии и большей протяженностью пути контраста. Форма кривой — плавный подъем и снижение без преждевременного обрыва — расценивалась как косвенный признак состоятельности анастомоза и отсутствия гемодинамически значимого стеноза (рис. 2).

По данным флуоресцентной шунтографии, у большинства обследованных шунты расценены как функционирующие с адекватной перфузией миокарда. Вместе с тем у трех пациентов (11,5%) выявлен «нефункционирующий» шунт: отсутствие или резкое снижение накопления контраста в бассейне шунта.

В двух из этих случаев выявленные нарушения потребовали интраоперационной ревизии анастомоза — после перешивания шунта выполнили повторную флуоресцентную шунтографию, которая подтвердила восстановление кровотока. Таким образом, частота интраоперационной коррекции анастомозов составила 3,4% в расчете на шунт (2 из 58) и 7,7% в расчете на пациента (2 из 26). Интраоперационная флуоресцентная шунтография позволила своевременно выявить технические проблемы анастомоза и скорректировать их до завершения операции.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время создано и используется в рутинной практике множество различных визуализирующих методик, однако использование части из них интраоперационно невозможно, а те, что применимы, обладают как рядом преимуществ, так и недостатков, включая высокую стоимость и необходимость привлечения дополнительного специалиста. Опыт использования ICG в хирургической практике показал следующее:

- * флуоресцентная ангиография — единственный метод, позволяющий интраоперационно количественно оценивать перфузию тканей;
- * метод не требует специальной квалификации хирурга;

- * флуоресцентная ангиография может служить альтернативой традиционной рентгеновской ангиографии и ультразвуковой доплерографии. Информативность этих методов сопоставима. Однако метод имеет и ряд ограничений:
- * визуализация ограничена участком 15×15 см;
- * изображение доступно только в переднезадней проекции;
- * разрешение изображения недостаточно для визуализации диссекций и экстравазации контрастного вещества;
- * шунты, расположенные за пределами зоны захвата, не могут быть оценены;
- * глубина визуализации ткани составляет в среднем 0,5–1 см и зависит от используемой системы, а при увеличении усиления возрастает шум.

Надежная и доступная интраоперационная оценка проходимости шунтов остается актуальной проблемой коронарной хирургии, поскольку ранняя дисфункция шунта напрямую связана с периперационным инфарктом миокарда и отдаленными неблагоприятными исходами. По данным объединенного анализа индивидуальных данных семи рандомизированных исследований (4413 пациентов, 13 163 шунта), при медиане визуализационного контроля около одного года несостоятельность выявлена в 16,6 % шунтов, при этом не менее одного несостоятельного шунта имели 33,7 % больных; сам факт ранней несостоятельности шунта ассоциирован с повышенным риском инфаркта и смерти [19]. Даже при бессимптомном течении частота ранней дисфункции достигает 4,7 % шунтов (45 из 955 у 346 больных, по данным плановой компьютерно-томографической ангиографии) [20], что обосновывает целесообразность рутинного интраоперационного контроля качества анастомозов.

Полученные нами результаты согласуются с данными мировой литературы о высокой диагностической ценности флуоресцентной ангиографии с индоцианином зеленым. В рандомизированном исследовании, сравнивавшем флуоресцентную ангиографию и ТТФМ, чувствительность флуоресцентной методики в выявлении гемодинамически значимых дефектов анастомоза составила 83,3 % при специфичности 100 %, тогда как для ТТФМ чувствительность составила лишь 25 % ($p = 0,011$) [13]. Ограниченная прогностическая ценность положительного результата ТТФМ подтверждена и в систематическом обзоре с метаанализом (35 исследований, 8943 пациента, 15 673 шунта), где этот показатель составлял от 0,100 до 0,840, а ревизия фактически выполнялась лишь в четверти шунтов с патологическими показателями флоуметрии [21]. Это подчеркивает ценность визуализации как метода, дополняющего флоуметрию, тем более что наибольшая диагностическая эффективность ТТФМ достигается при ее сочетании

с другими методами интраоперационного контроля [22]. По объединенным данным того же метаанализа, доля вмешательств, потребовавших коррекции по результатам интраоперационной оценки, составила 2,0 % в расчете на шунт (95 % ДИ 1,5–2,5) и 4,3 % в расчете на пациента (95 % ДИ 3,3–5,7) [21], а в проспективном многоцентровом исследовании REQUEST — 3,5–4,1 % пациентов [23]. Полученная нами частота интраоперационной коррекции анастомозов (3,4 % шунтов и 7,7 % пациентов) сопоставима с этими значениями с учетом малого объема выборки.

Важным преимуществом представленной работы является использование отечественной системы «МАРС», позволяющей проводить количественную оценку шунтового кровотока без привлечения импортного оборудования. Метод не требует особой квалификации хирурга, а анализ формы кривой флуоресценции дает наглядную информацию о характере кровотока: более высокий пик на аутовенозных шунтах и более поздний пик на маммарокоронарных анастомозах хорошо согласуются с анатомическими и гемодинамическими особенностями кондуитов. Полученные нами данные соответствуют результатам работ, в которых количественные параметры кривой флуоресценции использовались для разграничения проходимых и несостоятельных шунтов [24], а также сопоставимы с результатами недавнего прямого сравнения флуоресцентной визуализации и транзитно-временной флоуметрии в коронарной хирургии [25].

К ограничениям настоящего исследования следует отнести небольшой объем выборки (26 пациентов, 58 шунтов) и одноцентровый характер работы, отсутствие контрольной группы и отдаленного наблюдения за проходимостью шунтов, а также технические ограничения метода (ограниченная глубина и площадь визуализации, единственная переднезадняя проекция). Частота инфаркта миокарда 5-го типа в соответствии с четвертым универсальным определением отдельно не рассчитывалась, что не позволяет напрямую оценить влияние методики на этот исход. Статистическая мощность ограничена для выявления различий между подгруппами; полученные результаты требуют подтверждения в более крупных проспективных исследованиях со сравнительным дизайном.

Таким образом, интраоперационная флуоресцентная шунтография на отечественной системе «МАРС» — безопасный, воспроизводимый и информативный метод интраоперационного контроля качества коронарных анастомозов. Метод позволяет своевременно выявлять нефункционирующие шунты и выполнять немедленную хирургическую коррекцию, что потенциально способно снизить частоту периперационного инфаркта миокарда и улучшить результаты коронарного шунтирования.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHORS CONTRIBUTIONS

Е.Л. Заславская — концепция публикации, интерпретация клинических данных, подготовка и критическое редактирование рукописи; В.В. Осовских — разработка концепции и дизайна исследования; Д.Г. Граматиков — отбор пациентов, включенных в исследование, анализ полученных результатов; В.С. Литус — обоснование рукописи и проверка критически важного интеллектуального содержания; Е.А. Полякова — научное редактирование и утверждение окончательной версии. Все авторы утвердили окончательную версию публикации.

Ekaterina L. Zaslavskaya — conceived the concept of the paper, interpreted clinical data, prepared and critically revised the manuscript; Viktor V. Osovskikh — development of the study concept and design; Demis G. Gramatikov — patient selection and analysis of the results; Vitaly S. Litus — manuscript justification and review of critical intellectual content; Ekaterina A. Polyakova — scientific editing and approval of the final version.

All authors approved the manuscript and are responsible for its content.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Iribarne A., Zwischenberger B., Hunter Mehaffey J., Kaneo T., Wyler von Ballmoos M.C., Jacobs J.P., et al. The Society of Thoracic Surgeons Adult Cardiac Surgery Database: 2024 update on national trends and outcomes. *Ann Thorac Surg.* 2025;119(6):1139–1150.
2. Rupprecht L., Schmid C., Debl K., Lunz D., Florchinger B., Keyser A. Impact of coronary angiography early after CABG for suspected postoperative myocardial ischemia. *J Cardiothorac Surg.* 2019;14(1):54.
3. Swinnen B., Kawczynski M.J., Mingels A.M.A., Wildberger J.E., Muhl C., Smulders M.W., et al. The prognostic impact of prevailing definitions of periprocedural myocardial infarction in patients undergoing coronary artery bypass grafting. *Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes.* 2025;11(6):847–856.
4. Devereaux P.J., Lamy A., Chan M.T.V., Allard R.V., Lomivorotov V.V., Landoni G., et al. High-sensitivity troponin I after cardiac surgery and 30-day mortality. *N Engl J Med.* 2022;386(9):827–836.
5. Omran H., Deutsch M.A., Groezinger E., Zittermann A., Renner A., Neumann J.T., et al. High-sensitivity cardiac troponin I after coronary artery bypass grafting for post-operative decision-making. *Eur Heart J.* 2022;43(25):2388–2403.
6. Sabe S.A., Harris D.D., Broadwin M., Sellke F.W. Cardioprotection in cardiovascular surgery. *Basic Res Cardiol.* 2024;119(4):545–568.
7. Neumann F.J., Sousa-Uva M., Ahlsson A., Alfonso F., Banning A.P., Benedetto U., et al. 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J.* 2019;40(2):87–165.
8. Vrints C., Andreotti F., Koskinas K.C., Rossello X., Adamo M., Ainslie J., et al. 2024 ESC guidelines for the management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J.* 2024;45(36):3415–3537.
9. Enginiev S.T., Kondratiev D.A., Magomedov G.M., Kadyraliev B.K., Chernov I.I. Intraoperative methods for assessing graft patency using flowmetry and epicardial ultrasound in coronary surgery. *Cardiology and Cardiovascular Surgery.* 2021;14(4):248–252. (In Russ.)
10. Ishizawa T., McCulloch P., Muehrcke D., Carus T., Wiesel O., Dapri G., et al. Assessing the development status of intraoperative fluorescence imaging for perfusion assessments, using the IDEAL framework. *BMJ Surg Interv Health Technol.* 2021;3(1):e000088.
11. Jiao Y., Liu Y., Jin M. Exploring the dark side of diagnostic dyes with a focus on indocyanine green's adverse reactions. *Sci Rep.* 2024;14(1):30155.
12. Mytych W., Bartusik-Aebischer D., Aebischer D. The medical basis for the photoluminescence of indocyanine green. *Molecules.* 2025;30(4):888.
13. Desai N.D., Miwa S., Kodama D., Koyama T., Cohen G., Pelletier M.P., et al. A randomized comparison of intraoperative indocyanine green angiography and transit-time flow measurement to detect technical errors in coronary bypass grafts. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2006;132(3):585–594.
14. Peul R.C., Kharbanda R.K., Koning S., Kruiswijk M.W., Tange F.P., van den Hoven P., et al. Intraoperative assessment of myocardial perfusion using near-infrared fluorescence and indocyanine green: a literature review. *JTCVS Tech.* 2025;30:81–93.
15. Osovskikh V.V., Kiseleva L.N., Kolokolnikov I.N., Vasilieva M.S., Bautin A.E. Choice of a method for determining the plasma disappearance rate of indocyanine green in clinical practice. *Surgery (Moscow).* 2024;2(Issue 2):5–12. (In Russ.)
16. Levesque E., Martin E., Dudau D., Lim C., Dhonneur G., Azoulay D. Current use and perspective of indocyanine green clearance in liver diseases. *Anaesth Crit Care Pain Med.* 2016;35(1):49–57.
17. Koller A., Grzegorzewski J., Konig M. Physiologically based modeling of the effect of physiological and anthropometric variability on indocyanine green based liver function tests. *Front Physiol.* 2021;12:757293.
18. Bozhok A.A., Kashchenko V.A., Ratnikov V.A., Gornov S.V., Suvorova Yu.V., Manelov A.E. Fluorescence lymphography for sentinel lymph node biopsy in breast cancer. *Surgery (Moscow).* 2024;2(2):48–54. (In Russ.)
19. Gaudino M., Sandner S., An K.R., Dimagli A., Di Franco A., Audisio K., et al. Graft failure after coronary artery bypass grafting and its association with patient characteristics and clinical events: a pooled individual patient data analysis of clinical trials with imaging follow-up. *Circulation.* 2023;148(14):1305–1315.
20. Han Z., Zhang G., Chen Y. Early asymptomatic graft failure in coronary artery bypass grafting: a study based on computed tomography angiography analysis. *J Cardiothorac Surg.* 2023;18(1):98.
21. Thuijs D.J.F.M., Bekker M.W.A., Taggart D.P., Kappetein A.P., Kieser T.M., Wendt D., et al. Improving coronary artery bypass grafting: a systematic review and meta-analysis on the impact of adopting transit-time flow measurement. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2019;56(4):654–663.
22. Ohmes L.B., Di Franco A., Di Giammarco G., Rosati C.M., Lau C., Girardi L.N., et al. Techniques for intraoperative graft assessment in coronary artery bypass surgery. *J Thorac Dis.* 2017;9(Suppl 4):327–332.
23. Rosenfeld E.S., Trachiotis G.D., Napolitano M.A., Sparks A.D., Wendt D., Kieser T.M., et al. Intraoperative transit-time flow measurement and high-frequency ultrasound in coronary artery bypass grafting: impact in off versus on-pump, arterial versus venous grafting and cardiac territory grafted. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2021;61(1):204–213.
24. Yamamoto M., Ninomiya H., Handa T., Kidawawa K., Inoue K., Sato T., et al. The impact of the quantitative assessment procedure for coronary artery bypass graft evaluations using high-resolution near-infrared fluorescence angiography. *Surg Today.* 2022;52(3):485–493.
25. Usta H., Colak A., Kaya U., Ceviz M., Jalalzai I., Yildiz A. Comparison of the effects of indocyanine fluorescence imaging and transit-time flow measurement on early outcomes in coronary artery bypass grafting. *Turk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Derg.* 2025;33(4):432–441.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Заславская Екатерина Леонидовна — канд. мед. наук, доцент кафедры терапии факультетской с курсом эндокринологии и кардиологии с клиникой имени акад. Г.Ф. Ланга ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1209-7765>

Осовских Виктор Васильевич — канд. мед. наук, доцент кафедры анестезиологии и реаниматологии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6121-4932>

Граматилов Демис Георгиевич — канд. мед. наук, заведующий кардиохирургическим отделением ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8175-7296>

Литус Виталий Сергеевич — врач — сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения ГБУЗ «Ленинградская областная клиническая больница»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6593-8348>

Полякова Екатерина Анатольевна — д.м.н., профессор кафедры терапии факультетской с курсом эндокринологии, кардиологии с клиникой им. акад. Г.Ф. Ланга ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова»
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0909-0129>

Ekaterina L. Zaslavskaya — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Therapy, Faculty Therapy with Endocrinology and Cardiology Course with Clinic named after Acad. G.F. Lang, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1209-7765>

Viktor V. Osovskikh — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Anesthesiology and Intensive Care, Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Centre, Ministry of Health of the Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6121-4932>

Demis G. Gramatikov — Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of Cardiac Surgery, Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8175-7296>

Vitaly S. Litus — Cardiovascular Surgeon, Department of Cardiac Surgery, Leningrad Regional Clinical Hospital
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6593-8348>

Ekaterina A. Polyakova — Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Therapy, Faculty Therapy with Endocrinology and Cardiology Course with Clinic named after Acad. G.F. Lang, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0909-0129>