

УДК 617.5

<https://doi.org/10.24884/1682-6655-2025-24-3-4-12>

Т. А. ЛЕЛЯВИНА, О. В. КОРНЮШИН, Р. Р. ШЕМИЛОВ,
В. В. МАСЛЕЙ, Д. Л. СОНИН, Г. В. ПАПАЯН,
И. Н. ДАНИЛОВ, М. М. ГАЛАГУДЗА

Применение метода флуоресцентной ангиографии с использованием индоцианина зеленого: экспериментальные и клинические исследования

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
197341, Россия, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2
E-mail: tatianalelyavina@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30.03.25 г.; принята к печати 01.08.25 г.

Резюме

В последние годы значительно расширилось использование метода флуоресцентной визуализации в хирургии. Флуоресцентная ангиография – это метод оценки перфузии тканей, который применяют в различных областях медицины. Флуоресцентная ангиография использует сигнал флуоресценции, испускаемый введенными веществами (флуорофорами) после облучения специальными лазерными источниками, обеспечивая врачу визуализацию тканей в режиме реального времени. В данном обзоре рассматриваются наиболее распространенные аспекты клинического применения флуоресценции. Постоянно растущее использование флуоресцентной ангиографии, высокая специфичность и чувствительность метода в ближайшем будущем превратят его в стандарт медицинской помощи.

Ключевые слова: флуоресцентная ангиография, абдоминальная хирургия, заболевания периферических артерий, ишемия, жизнеспособность тканей, индоцианин зеленый, флуоресцентная визуализация в ближнем инфракрасном диапазоне

Для цитирования: Лелявина Т. А., Корнюшин О. В., Шемилор Р. Р., Маслей В. В., Сонин Д. Л., Папаян Г. В., Данилов И. Н., Галагудза М. М. Применение метода флуоресцентной ангиографии с использованием индоцианина зеленого: экспериментальные и клинические исследования. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2025;24(3):4–12. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2025-24-3-4-12>.

UDC 617.5

<https://doi.org/10.24884/1682-6655-2025-24-3-4-12>

T. A. LELYAVINA, O. V. KORNYUSHIN, R. R. SHEMILOV,
V. V. MASLEY, D. L. SONIN, G. V. PAPAYAN,
I. N. DANILOV, M. M. GALAGUDZA

Application of Fluorescence Angiography Using Indocyanine Green: Experimental and Clinical Studies

Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia
2, Akkuratova str., Saint Petersburg, Russia, 197341
E-mail: tatianalelyavina@mail.ru

Received 30.03.25; accepted 01.08.25

Summary

The use of fluorescence imaging in surgery has significantly expanded in recent years. Fluorescence angiography is a method of assessing tissue perfusion, which is used in various fields of medicine. Fluorescence angiography uses the fluorescence signal emitted by injected substances (fluorophores) after irradiation with special laser sources, providing the doctor with real-time tissue visualization. This review examines the most common aspects of the clinical application of fluorescence. The ever-increasing use of fluorescence angiography, the high specificity and sensitivity of the method, will turn it into a standard of medical care in the near future.

Keywords: fluorescence angiography, abdominal surgery, peripheral artery diseases, ischemia, tissue viability, indocyanine green, fluorescence imaging in the near infrared range

For citation: Lelyavina T. A., Korniyushin O. V., Shemilov R. R., Masley V. V., Sonin D. L., Papayan G. V., Danilov I. N., Galagudza M. M. Application of Fluorescence Angiography Using Indocyanine Green: Experimental and Clinical Studies. Regional hemodynamics and microcirculation. 2025;24(3):4–12. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2025-24-3-4-12>.

Введение

В клинической практике важной диагностической задачей является раннее выявление ишемического повреждения органов и тканей. Метод флуоресцентной ангиографии (ФАНг) позволяет неинвазивно диагностировать состояние биологических тканей, оценивая относительное содержание в них природных (эндогенных) флуорофоров, которое меняется в процессе жизнедеятельности и при развитии патологических процессов [1–5]. Интенсивность флуоресценции таких внутриклеточных флуорофоров, как NADH, FAD, порфирины, может изменяться при ишемии-реперфузии [1–5].

В клинической практике в большинстве случаев для получения сигнала флуоресценции на операционное поле воздействуют источниками света ближнего инфракрасного диапазона, в то время как в мишень вводят флуоресцентный краситель, который может испускать сигнал флуоресценции после возбуждения специальными лазерными источниками [6–8]. Флуоресценция может быть визуализирована либо непосредственно на операционном поле в ходе открытых хирургических вмешательств, либо зафиксирована специальными камерами и отображена на экране в минимально инвазивных условиях в режиме реального времени [8–10].

Важный аспект использования ICG-флуоресцентной навигации связан с индивидуализированной медициной. В хирургии персонализированный подход основывается на тщательном анализе индивидуальных особенностей анатомии. Современные хирургические технологии позволяют индивидуализировать выполнение операций на основе дооперационного моделирования и интраоперационной навигации. ICG-флуоресцентная технология предоставляет возможности для оценки сосудистой анатомии, кровоснабжения органов и тканей, анатомии лимфатической системы, анатомии билиарного дерева и многих других органов и систем [10].

Флуоресцентная визуализация в ближней инфракрасной области спектра (БИОС) является перспективным методом визуализации тканевой перфузии [7–11]. Данная методика малоинвазивна, с низким риском побочных эффектов [6–13].

В разных исследованиях изучен диагностический потенциал различных красителей для визуализации перфузии тканей [6–16]. Некоторые красители находятся на стадии эксперимента, и возможно пройдет несколько лет, прежде чем они будут доступны для клинического применения.

Флуоресцентная ангиография с использованием флуоресцентных свойств индоцианина зеленого (ИЦЗ) получила широкое распространение в ряде медицинских и хирургических специальностей [15–20]. Индоцианин зеленый является наиболее часто используемым флуорофором в общей хирургии. Это обусловлено избирательным связыванием ИЦЗ с белком плазмы альбумином, его относительно низкой стоимостью и высокой доступностью.

Для визуализации перфузии тканей используют различные флуоресцентные камеры. Измерение тканевой перфузии с помощью инфракрасной томо-

графии осуществляется с помощью камеры, которая измеряет свет в инфракрасном спектре, что позволяет визуализировать специфический внутрисосудистый флуорофор: ИЦЗ. Этот флуорофор локализован в сосудистых компонентах, поэтому его можно использовать для оценки тканевой перфузии.

В данной статье представлен обзор результатов клинического применения флуоресцентной ангиографии.

Наиболее широко флуоресцентная визуализация используется для проверки перфузии культи анастомоза в абдоминальной хирургии.

В хирургии ФАНг – это способ интраоперационной навигации, обеспечивающий хирургу улучшенную визуализацию анатомических структур и лучшее понимание перфузии органа в режиме реального времени [20–25]. Оценка перфузии кишечника требуется с целью определения необходимости и объема резекции, и предотвращения осложнений: синдрома короткой кишки, повторной операции из-за несостоятельности кишечного анастомоза (НКА) или неадекватной резекции кишечника.

Ишемия брыжейки является серьезным и потенциально летальным исходом. Оценка перфузии кишечника в значительной степени зависит от квалификации и опыта хирурга.

В эксперименте использование ФАНг у 18 свиней (54,2±2,9 кг) с окклюзией боковой ветви брыжеечной артерии для оценки перфузии кишечника после ишемии различной продолжительности показало, что даже небольшие различия в перфузии могут быть надежно определены с помощью ИЦЗ [26].

Обследование кишечника необходимо при всех состояниях, связанных с острой брыжеечной ишемией [1, 15, 16, 20–26]. Острая ишемия кишечника встречается от 0,09 до 0,2 % от всех случаев обращения в отделения неотложной помощи и является опасным для жизни заболеванием, при котором уровень смертности составляет более 60 % [27, 28]. Результаты лечения пациента зависят от своевременности выявления нарушений перфузии и от сроков и объемов вмешательства, направленного на проведение реваскуляризации до того, как разовьется гангрена кишечника [1, 27, 28].

На сегодняшний день диагноз НКА ставят на основании клинических данных: интраоперационная визуальная оценка перистальтических движений и определение пульса брыжейки в ходе операции, на основании цвета тканей, пульсации и характера кровотечения у края резекции. Также НКА может диагностироваться на основании результатов инструментальных исследований: компьютерной томографии (КТ) и/или ангиографии [29, 30]. При этом высока вероятность ошибок и повторного вмешательства вследствие прогрессирования ишемии или НКА. Невозможность адекватной оценки перфузии кишечника вследствие уменьшения поля зрения на фоне растяжения кишки ограничивает возможности применения лапароскопии [31, 32]. В условиях неотложной помощи на фоне нарушений функции одного или нескольких органов повторное вмешательство может ухудшить прогноз здоровья и жизни [33].

ФАНг – диагностический инструмент, который помогает хирургу принять верное решение относительно объема резекции кишечника и/или безопасности анастомоза, сводя к минимуму возможные осложнения [1, 15, 16, 20–26].

Флуоресцентная ангиография с использованием индоцианина зеленого широко используется для оценки перфузии кишечника в онкологической хирургии для предотвращения осложнений, связанных с несостоятельностью анастомоза при операциях на кишечнике [15–20]. ИЦЗ обладает высокой контрастностью – видна только цель, а не фон, и высокой чувствительностью – видны чрезвычайно малые его концентрации. Также ИЦЗ является дешевым и простым в использовании.

Методика флуоресценции ИЦЗ с помощью камеры ближнего инфракрасного диапазона была описана еще в 1970-х годах. С тех пор многими исследователями продемонстрированы ее безопасность и эффективность в различных клинических ситуациях, таких как оценка функции печени, выявление особенностей перфузии кишечника [1, 17–20]. Флуоресцентная ангиография на основе ИЦЗ может помочь определить оптимальный объем резекции и оценить кровоснабжение висцерального анастомоза, как при операциях на верхних отделах желудочно-кишечного тракта, так и при колоректальной хирургии [1, 15, 16, 20–26].

Колоректальный рак – злокачественная опухоль, распространенность которой растет во всем мире. Одним из наиболее серьезных осложнений колоректальной резекции является несостоятельность кишечного анастомоза [16, 21, 23, 30, 32, 34]. В колоректальной хирургии частота НКА колеблется от 5 % до 7 % [16]. Внедрение в повседневную клиническую практику инструмента, способного обеспечить оптимальную васкуляризацию культи, могло бы снизить этот показатель. Применение ФАНг может предупредить осложнения недостаточной васкуляризации, которые возникают после оперативного вмешательства несмотря на макроскопически удовлетворительный интраоперационный внешний вид тканей [21, 23, 32]. Некоторые исследования II фазы подтвердили доступность, низкую стоимость, высокую чувствительность и специфичность ФАНг, сообщив о более низкой частоте НКА (<3 %), чем ожидалось на основании данных анамнеза [16, 34].

Недостаточная перфузия анастомоза наиболее эффективно выявляется при использовании ФАНг, чем при применении других методов диагностики [16, 21, 23, 30, 32, 34, 35].

В рандомизированном контролируемом исследовании в группе ФАНг показан значительно меньший промежуток времени до появления первых послеоперационных газов (2 против 3 дней, $p = 0,003$) и стула (4 против 4,5 дней, $p = 0,032$), более быстрое восстановление функций кишечника [35]. Продолжительность пребывания в стационаре значительно сократилась в группе ФАНг (–0,77 дней), наблюдалось также значительное снижение краткосрочной заболеваемости – отношение шансов: 0,68, 95 % ДИ 0,49–0,93 [35]. Разница в частоте НКА между группами ФАНг+ и ФАНг– составила 4,2 %.

По результатам 27 исследований, в которых приняли участие 8786 пациентов, показано, что изменения в плане хирургического вмешательства в отношении уровня рассечения и анастомоза, основанные на результатах ФАНг, были выявлены у 331 (9,1 %) из 3614 пациентов [36]. При этом частота повторных резекций была на 2,4 % (95 % ДИ 1,1– 4,3 %) ниже в группах больных ФАНг (95 % ДИ) [36].

Факторами несостоятельности анастомозов, связанными с хирургическим вмешательством на пищевод и желудке, являются неполнота анастомоза, натяжение анастомоза и патология сосудов анастомоза [30, 31, 36–39]. Состояние сосудов в области анастомоза оценивается хирургом в ходе операции по субъективным и крайне ненадежным параметрам, таким как активное кровотечение из края резекции, ощутимая пульсация брыжейки, и обесцвечивание тканей [30, 31, 36–39]. Таким образом, использование флуоресцентной ангиографии в ходе оперативного вмешательства является предпочтительным.

Использование ФАНг с целью интраоперационной оценки тканевой перфузии исследовано при эзофагэктомии и гастрэктомии [40–46]. Несколько ретроспективных исследований показали снижение частоты НКА с 18 % до 3 % при использовании ФАНг [40]. Оценен кровоток с помощью ИЦЗ в привратнике и на большой кривизне желудка, и определена скорость кровотока 1,76 см/с в качестве предельного значения, предсказывающего развитие НКА [40–46].

Те же принципы проверки перфузии с помощью ФАНг применимы в резекции желудка при бариатрической хирургии. Выявление менее васкуляризированной проксимальной области позволило бы провести целенаправленную резекцию и снизить частоту развития несостоятельности анастомоза [47].

ФАНг полезный и относительно недорогой периоперационный инструмент оценки трофики тонкой кишки в ходе неотложных вмешательств после ошибочного прерывания мезоколона и/или брыжеечного отдела тонкой кишки [48].

Применение ФАНг в ходе хирургического лечения рака, поражающего пищеварительный тракт, заключается в эндоскопическом выявлении опухолей, чаще всего – при небольших и несерозных инфильтрирующих раковых заболеваниях [49, 50].

Эффективным применением ФАНг в настоящее время является узловатая навигация при раке пищевода, желудка и толстой кишки [51–52]. Инъекция красителя в околоопухолевые ткани, выполняемая эндоскопически в подслизистую оболочку, позволяет интраоперационно оценивать лимфоток в режиме реального времени. ИЦЗ превосходит как радиоактивные индикаторы, так и другие красители, используемые на сегодняшний день [16, 21, 23, 30, 32, 34, 50, 51]. Чувствительность идентификации метастатических узлов составляет 100 % [16, 21, 50, 51].

Идеальное исследование должно включать: инъекции в опухоль в разное время до операции, вплоть до интраоперационной инъекции, последующее удаление отдельных лимфатических узлов, оценку флуоресценции каждого узла и сравнение окончательных гистологических данных.

В клинической практике проблемы в основном связаны с осуществимостью инъекции. При раке пищевода, желудка и прямой кишки инъекция может быть эндоскопической и интраоперационной [16, 21, 23, 30, 32, 34, 50, 51]. В хирургии печени описано множество возможных применений ФАнг: визуализация опухоли, особенно в лапароскопической хирургии, сегментация сосудов [4, 11, 52–58].

В ретроспективном исследовании F. Belia et al. (2021) проанализировали результаты 100 операций по поводу рака желудка. Была проведена субъективная оценка с последующей оценкой ICG через 60 секунд после инъекции красителя. Это исследование показало, что разрыв в визуализации между двумя временными точками оказался предиктором несостоятельности анастомоза [58].

В хирургии паренхиматозных органов уровень клиренса ИЦЗ используют в качестве маркера функции печени [59–61]. Опубликованы результаты экспериментальных исследований, включающих внутрипортальную и внутрипеченочную инъекции ИЦЗ в артерии, путем катетеризации чревного ствола с целью картирования печени в режиме реального времени [52–57, 62, 63].

ФАнг применяют для обнаружения первичных опухолей печени без капсулы, когда трудно оценить оптимальный объем резекции. При этом в конце хирургического лечения благоприятным прогностическим признаком является полное отсутствие остаточной флуоресценции [64, 65].

Возможности применения ФАнг для определения местоположения и состояния лимфатических узлов представляют большой интерес [66–69]. Лимфаденэктомия должна быть индивидуальной, с учетом предоперационного состояния лимфатических узлов. Однако во многих случаях рутинные методы исследования не позволяют с высокой степенью вероятности различить T1 и T2 [66–69]. С одной стороны, ограничение лимфаденэктомии участками, представляющими реальный интерес, может позволить значительно сэкономить время и уменьшить большинство серьезных послеоперационных осложнений, возникающих вследствие чрезмерного удаления узлов. С другой стороны, к примеру, при патологии прямой кишки распространение лимфаденэктомии на такие области, как запирательные и паховые узлы, которые обычно не удаляются, может снизить частоту рецидива поражений лимфатических узлов [66–69].

При раке кардии и проксимального отдела желудка, образованиях в бассейне правой ободочной артерии, онкологии слепой кишки и восходящей ободочной кишки метастатические узлы лучше визуализируются с помощью ИЦЗ [68, 69]. Используя ФАнг, можно получить дополнительные сведения о лимфатическом распространении опухолей [68, 69].

Исследование с участием 10 пациентов, перенесших лапароскопическую панкреатодуоденэктомию по поводу периапулярного рака, с внутривенной инъекцией ИЦЗ в ходе ретропортальной диссекции жировой ткани, показало преимущество ФАнг в выявлении поражения лимфатических узлов [70–72].

Одним из способов распространения метастазов является перитонеальный карциноматоз [73]. Обнаружение опухоли на ранней стадии, когда она еще слишком мала, может стать прорывом в медицине. ФАнг способен выявить эпителиальные клетки, которых не должно быть на брюшине, содержащей в норме только мезотелиальные клетки. На животных моделях показано, что хирургическая навигационная система, сочетающая оптические молекулярные мишени с молекулярным зондом, связанным с ИЦЗ, способна идентифицировать очаг карциноматоза брюшины размером 1,8 мм и более [73, 74].

Заболевания периферических артерий (ЗПА) широко распространены во всем мире и связаны с атеросклеротическим поражением нижних конечностей [75–78]. При диагностике ЗПА важным инструментом является индекс систолического давления в лодыжечно-плечевом отделе позвоночника. Однако применение этого метода ограничено у пациентов с тяжелым медиальным кальцинозом или перенесенной ампутацией [75]. Кроме того, такие методы диагностики, как измерение давления на пальцах ног, компьютерная томографическая ангиография, цифровая субтракционная ангиография, фокусируются на макрососудистых аспектах кровообращения в нижних конечностях [75–77].

У пациентов с хронической ишемией, угрожающей жизни конечностей, достоверная информация о перфузии тканей имеет первостепенное значение при проведении процедур реваскуляризации. В клинической практике для оценки эффекта от процедур реваскуляризации врачи ориентируются на клиническое состояние стопы, изменения внутрисосудистого давления, данные однофотонной эмиссионной компьютерной томографии и гиперспектральной визуализации [75].

У пациентов с ЗПА активно исследуется использование флуоресцентной ангиографии в ближнем инфракрасном диапазоне с индоцианином зеленым для измерения тканевой перфузии [75–78]. Так, 101 пациенту была выполнена флуоресцентная ангиография до и после реваскуляризации. Значительное увеличение интенсивности флуоресценции наблюдалось у пациентов, перенесших успешную реваскуляризацию [77, 79–81].

ФАнг в качестве инструмента для объективной оценки влияния реваскуляризации на перфузию тканей может помочь в разработке стратегии лечения и, возможно, прогнозировании благоприятных исходов после реваскуляризации. Для этого необходимо использовать стандартизированный протокол флуоресцентной визуализации с применением стандартных параметров.

В систематическом обзоре нерандомизированных исследований частота несостоятельности при 916 колоректальных резекциях была значительно ниже с использованием ФАнг по сравнению с контролем (3,3 %, [95 % ДИ: 1,97–4,63 %] против 8,5 %, [95 % ДИ: 4,8–12,2 %], $p=0,0055$) [82–96]. На рынке представлено множество систем NIR-камер, сочетающих эту технику с обычным лапароскопическим или роботизированным оборудованием, и несколько

нерандомизированных исследований показали, что FA может снизить скорость несостоятельности анастомозов при хирургии желудочно-кишечного тракта [97].

Количественная флуоресцентная ангиография (Q-ICG) дополнительно изменяет точку резекции, определяемую визуальной оценкой ФАнг и обычной визуальной оценкой перфузии при операциях на желудке и кишечнике [98].

Области применения ФАнг в сосудистой хирургии включают: обследование пациентов с ЗПА, пациентов, находящихся на диализе, прогнозирование заживления ран, анализ микроперфузии после образования артериовенозной фистулы у пациентов, находящихся на диализе, и оценку перфузии при феномене Рейно.

Применение ФАнг на основе индоцианина зеленого при лапароскопической рукавной резекции желудка продемонстрировало статистически значимое снижение количества кровотечений по линии наложения швов, сокращение среднего времени операции и сокращение средней продолжительности пребывания в больнице, тем не менее, не отмечено снижения частоты послеоперационных осложнений, таких как несостоятельность анастомоза или кровотечения [100].

Обсуждение

ФАнг демонстрирует большой потенциал в качестве диагностического инструмента в желудочно-кишечной, пластической, сосудистой и нейрохирургии. Флуоресцентная визуализация используется в качестве метода визуализации по различным показаниям, включая визуализацию опухолей, идентификацию жизненно важных структур и оценку тканевой перфузии [1–7, 16, 17, 21].

Флуоресцентная визуализация в спектре 700–900 нм обладает преимуществом высокой проникающей способности в ткани, что позволяет четко визуализировать флуорофор [6–20]. Использование БИОС-визуализации в качестве метода оценки тканевой перфузии было изучено в различных областях хирургии [7–13, 82–97]. БИОС-визуализация применяется в эндокринологии в ходе хирургических вмешательств, помогая сохранить важные структуры, к примеру, парашитовидные железы.

Использование БИОС-визуализации позволяет в режиме реального времени оценить состояние трансплантата. Кроме того, данная визуализация применяется в нейрохирургии, в нефрологии, а также в хирургии желудочно-кишечного тракта для оценки перфузии анастомоза после резекции кишечника.

У пациентов с заболеваниями периферических артерий ФАнг используют для оценки регионарной перфузии тканей. Области применения ФАнг при заболеваниях периферических артерий включают: диагностику, измерение эффекта процедур реваскуляризации и оценку жизнеспособности тканей после ампутации.

Ограничением методики является: 1) глубина проникновения флуоресценции составляет 5–6 мм; 2) после инъекции флуорофора в ткани окружающие крупные артерии и вены становятся флуоресцентными, создавая фоновое поле флуоресценции, которое ухудшает визуализацию; 3) после введения флуоро-

фора в кишечнике наблюдается фоновое окрашивание, которое может ухудшить показатели перфузии культи, оцениваемые в ходе наложения анастомоза; 4) повторные интраоперационные ангиографии для визуализации основных сосудистых структур невозможны [1, 15, 16, 20–26].

Существует большое разнообразие методов расчета параметров перфузии. Однако качественная и, следовательно, субъективная интерпретация интенсивности флуоресценции приводит к различным хирургическим результатам и затрудняет сравнение между исследованиями. Количественная оценка перфузии должна быть направлена на описание изменения интенсивности флуоресценции с течением времени в интересующей области. Хотя преимущества надежного количественного анализа очевидны, на стабильность измеряемой интенсивности флуоресценции влияют несколько факторов. Эти факторы связаны либо с пациентом, либо с системой камеры [1–3, 99]. Факторы, связанные с пациентом, включают: тип кожи, отек, наличие язв и т. д. [1–5].

Изменение свойств тканей может привести к изменению энергии возбуждения и квантового выхода, что влияет на измеряемую интенсивность флуоресценции. Кроме того, конфигурация камеры влияет на измеряемую интенсивность несколькими способами, включая расстояние и угол наклона к целевой области, распределение освещенности по полю зрения и оптические настройки, включающие время экспозиции и коэффициент усиления [99].

Количественная оценка показателей ФАнг и выбор оптимальных параметров перфузии не до конца изучены, что ставит под угрозу надежность и обоснованность метода, его дальнейшее применение.

Исследования, включенные в этот обзор, неоднородны по дизайну, методологии, выбранным параметрам перфузии и конечным точкам. Неоднородность выбранных параметров перфузии и значительные различия в значимости исходов подчеркивают необходимость стандартизации метода флуоресцентной визуализации.

Необходима стандартизация методики ФАнг перед внедрением в клиническую практику [99, 100].

Заключение

Флуоресцентная ангиография с индоцианином зеленым является безопасным и эффективным инструментом для оценки перфузии органов и тканей в плановых и экстренных ситуациях. Прежде чем рассматривать ФАнг в качестве «золотого стандарта» количественной оценки перфузии, необходимо выполнить стандартизацию методики, для чего целесообразно проведение рандомизированных клинических исследований с унифицированным протоколом. Для интраоперационной оценки перфузии полых органов желудочно-кишечного тракта необходимо создание систем и программного обеспечения, учитывающих особенность медицинской методики. Постоянно растущее использование ангиографии с индоцианином, потенциально высокая специфичность и чувствительность метода смогут в ближайшем будущем превратить его в стандарт медицинской помощи.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare that they have no conflict of interest.

Финансирование / Financing

Разработка нового устройства для интраоперационной флуоресцентной визуализации перфузии полых органов желудочно-кишечного тракта, номер ЕГИСУ 125031904093-9. / This review was supported by the State Program under the title «Development of a new device for intraoperative fluorescent visualization of the gastrointestinal tract hollow organs perfusion», number in the Unified State R&D Record System: 125031904093-9.

Литература / References

1. Stewart HL, Birch DJ. *Fluorescence Guided Surgery*. Methods Appl Fluoresc. 2021;26;9(4).
2. Morales-Conde S, Licardie E, Alarcón I, Balla A. Indocyanine green (ICG) fluorescence guide for the use and indications in general surgery: recommendations based on the descriptive review of the literature and the analysis of experience. *Cir Esp (Engl Ed)*. 2022;100(9):534-554.
3. Cassinotti E, Al-Taher M, Antoniou SA. European Association for Endoscopic Surgery (EAES) consensus on Indocyanine Green (ICG) fluorescence-guided surgery. *Surg Endosc*. 2023;37(3):1629-1648.
4. Potharazu AV, Gangemi A. Indocyanine green (ICG) fluorescence in robotic hepatobiliary surgery: A systematic review. *Int J Med Robot*. 2023;19(1):e2485.
5. Wang LG, Gibbs SL. Improving precision surgery: A review of current intraoperative nerve tissue fluorescence imaging. *Curr Opin Chem Biol*. 2023;76:102361.
6. Veccia A, Antonelli A, Hampton LJ. Near infrared Fluorescence Imaging with Indocyanine Green in Robot-assisted Partial Nephrectomy: Pooled Analysis of Comparative Studies. *Eur Urol Focus*. 2020;6(3):505-512.
7. Li H, Kim Y, Jung H, Hyun JY, Shin I. Near-infrared (NIR) fluorescence-emitting small organic molecules for cancer imaging and therapy. *Chem Soc Rev*. 2022;51(21):8957-9008.
8. Kitagawa H, Yokota K, Marui A. Near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green to assess the blood supply of the reconstructed gastric conduit to reduce anastomotic leakage after esophagectomy: a literature review. *Surg Today*. 2023;53(4):399-408.
9. Cacciamani GE, Shakir A, Tafuri A. Best practices in near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green (NIRF/ICG)-guided robotic urologic surgery: a systematic review-based expert consensus. *World J Urol*. 2020;38(4):883-896.
10. ICG-флуоресцентная навигация в абдоминальной хирургии: учеб.-метод. пособие / под ред. В. А. Кащенко. СПб., 2022. 84 с. [ICG-fluorescent navigation in abdominal surgery: textbook / ed. by VA Kashchenko. St. Petersburg, 2022. 84 p. (In Russ.)].
11. Chen Q, Zhou R, Weng J, Lai Y. Extrahepatic biliary tract visualization using near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green: optimization of dose and dosing time. *Surg Endosc*. 2021;35(10):5573-5582.
12. Esposito C, Borgogni R, Autorino G. Applications of Indocyanine Green-Guided Near-Infrared Fluorescence Imaging in Pediatric Minimally Invasive Surgery Urology: A Narrative Review. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 2022;32(12):1280-1287.
13. Van Den Hoven P, Verduijn PS, Van Capelle L. Quantification of near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green in free flap breast reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2022;75(6):1820-1825.
14. Van Den Hoven P, Tange F, Van Der Valk J. Normalization of Time-Intensity Curves for Quantification of Foot Perfusion Using Near-Infrared Fluorescence Imaging With Indocyanine Green. *J Endovasc Ther*. 2023;30(3):364-371.
15. Sutton PA, van Dam MA, Cahill RA. Fluorescence-guided surgery: comprehensive review. *BJS Open*. 2023;7(3):zrad049.
16. Yeung TM. Fluorescence imaging in colorectal surgery. *Surg Endosc*. 2021;35(9):4956-4963.
17. Turner SR, Molena DR. The Role of Intraoperative Fluorescence Imaging During Esophagectomy. *Thorac Surg Clin*. 2018;28(4):567-571.
18. Daskalaki D, Aguilera F, Patton K, Giulianotti PC. Fluorescence in robotic surgery. *J Surg Oncol*. 2015;112(3):250-256.
19. Bjurlin MA, McClintock TR, Stifelman MD. Near-infrared fluorescence imaging with intraoperative administration of indocyanine green for robotic partial nephrectomy. *Curr Urol Rep*. 2015;16(4):20.
20. Van Den Hoven P, Van Den Berg SD, Van Der Valk JP. Assessment of Tissue Viability Following Amputation Surgery Using Near-Infrared Fluorescence Imaging With Indocyanine Green. *Ann Vasc Surg*. 2022;78:281-287.
21. Gosvig K, Jensen SS, Qvist N. Quantification of ICG fluorescence for the evaluation of intestinal perfusion: comparison between two software-based algorithms for quantification. *Surg Endosc*. 2021;35(9):5043-5050.
22. Vilz TO, Kalff JC, Stoffels B. Evidence of indocyanine green fluorescence in robotically assisted colorectal surgery: What is the status? *Chirurg*. 2021;92(2):115-121.
23. Kashchenko VA, Kamshilin AA, Zaitsev VV. Possibilities of tissue perfusion assessment in abdominal surgery: integration into the intraoperative system of safety control points. *Khirurgiia (Mosk)*. 2023;9(2):33-42.
24. Liu X, Tang Y, Li Z. In vivo real-time assessment of the anastomotic blood supply in colorectal surgery using confocal laser endomicroscopy in an anastomotic model. *Surg Endosc*. 2022;36(6):4136-4144.
25. Vargas CR, Nguyen JT, Ashitate Y. Near-infrared imaging for the assessment of anastomotic patency, thrombosis, and reperfusion in microsurgery: a pilot study in a porcine model. *Microsurgery*. 2015;35(4):309-314.
26. Sun L, Gao J, Wu G. Perfusion outcomes with near-infrared indocyanine green imaging system in laparoscopic total mesorectal excision for mid-rectal or low-rectal cancer (POST-ER): a study protocol. *BMJ Open*. 2024 May 9;14(5):e079858.
27. Dupre 'e A, Rieß H, von Kroge PH, Izbicki JR, Debus ES, Mann O, et al. Intraoperative quality assessment of tissue perfusion with indocyanine green (ICG) in a porcine model of mesenteric ischemia. *PLoS ONE*. 2021;16(7):e0254144.
28. Yu H, Kirkpatrick IDC. An Update on Acute Mesenteric Ischemia. *Can Assoc Radiol J*. 2023;74(1):160-171.
29. Yasuyama A, Tei M, Nomura M A. Resected Case of the Sigmoid Colon Cancer after the Endovascular Aneurysm Repair in Which Intraoperative Indocyanine Green Fluorescence Method Was Useful for Evaluating the Blood Flow in the Colon. *Gan To Kagaku Ryoho*. 2022;49(13):1637-1639.
30. Al-Rashedy M, Mukherjee T, Askari A, Gurjar S. A systematic review of outcomes and quality of life after ileo-rectal anastomosis for ulcerative colitis. *Arab J Gastroenterol*. 2023;24(2):79-84.
31. Berghog J, Hermanson M, de la Croix H. Ileo-rectal anastomosis in ulcerative colitis-Long-term outcome, failure and risk of cancer at a tertiary centre. *Colorectal Dis*. 2022;24(12):1535-1542.
32. Lipnitsky EM, Leontyev AV, Nikolaeva EA. Diagnosis of microcirculation features in intestinal anastomosis to prevent its failure. *Khirurgiia (Mosk)*. 2019;(2):78-81.

33. Nassar A, Challine A, O'Connell L. Effective initial management of anastomotic leak in the maintenance of functional colorectal or coloanal anastomosis. *Surg Today*. 2023; 53(6):718-727.
34. Alekseev M, Rybakov E, Shelygin Y, Chernyshov S, Zarodnyuk I. A study investigating the perfusion of colorectal anastomoses using fluorescence angiography: results of the FLAG randomized trial. *Colorectal Disease*. 2020;22(9):1147-1153.
35. Amagai H, Miyauchi H, Muto Y. Clinical utility of transanal indocyanine green nearinfrared fluorescence imaging for evaluation of colorectal anastomotic perfusion. *Surg Endosc*. 2020;34(12):5283-5293.
36. Morales-Conde S, Alarcón I, Yang T. Fluorescence angiography with indocyanine green (ICG) to evaluate anastomosis in colorectal surgery: where does it have more value? *Surg Endosc*. 2020;34(9):3897-3907.
37. Roberta Rizzo, Carlo Vallicelli, Luca Ansaloni. Usefulness of fluorescence imaging with indocyanine green for evaluation of bowel perfusion in the urgency setting: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Surgery*. 2024;110:5071-5077.
38. Van den Bos J, Al-Taher M, Schols RM, et al. Near-infrared fluorescence imaging for real-time intraoperative guidance in anastomotic colorectal surgery: a systematic review of literature. *J Laparoendosc Adv Surg Tech*. 2017;28:157-167.
39. Morales-Conde S, Licardie E, Alarcón I, et al. Indocyanine green (ICG) fluorescence guide for the use and indications in general surgery: recommendations based on the descriptive review of the literature and the analysis of experience. *Cirugia Espanola*. 2022;100:534-554.
40. Ishiyama Y, Harada T, Amiki M, et al. Safety and effectiveness of indocyanine-green fluorescence imaging for evaluating non-occlusive mesenteric ischemia. *Asian J Surg*. 2022;45:2331-2333.
41. Haruta Y, Nakashima Y, Ikeda T, Oki E, Yoshizumi T. Evaluation of gastric tube blood flow by multispectral camera and fluorescence angiography. *Surg Open Sci*. 2024;19:87-94.
42. Gabrielle LeBlanc. The use of indocyanine green (ICYG) angiography intraoperatively to evaluate gastric conduit perfusion during esophagectomy: does it impact surgical decision-making? *Surgical Endoscopy*. 2023;37:8720-8727.
43. Syed Nusrath. Current status of indocyanine green fluorescent angiography in assessing perfusion of gastric conduit and oesophago-gastric anastomosis. *International Journal of Surgery*. 2024;110:1079-1089.
44. Tsutsumi R, Ikeda T, Nagahara H, Saeki H, Nakashima Y, Oki E, et al. Efficacy of novel multispectral imaging device to determine anastomosis for esophagogastronomy. *J Surg Res*. 2019;242:11-22.
45. Haruta Y, Tsutsumi R, Naotaka K, Nagahara H, Ikeda T. Novel multispectral device for quantitative imaging of tissue oxygen saturation and hemoglobin as surgical navigation device. *Surg Oper Room Innov*. 2021;10:93-106.
46. Tokumaru S, Kitazawa M, Nakamura S, Koyama M, Soejima Y. Intraoperative visualization of morphological patterns of the thoracic duct by subcutaneous inguinal injection of indocyanine green in esophagectomy for esophageal cancer. *Ann Gastroenterol Surg*. 2022;6(6):873-879.
47. Casas MA, Angeramo CA, Bras Harriott C, Dreifuss NH, Schlottmann F. Indocyanine green (ICG) fluorescence imaging for prevention of anastomotic leak in totally minimally invasive Ivor Lewis esophagectomy: a systematic review and meta-analysis. *Dis Esophagus*. 2022;35(4):doab056.
48. Farah A, Tatakis A, Malshy K, Mahajna A, Sayida S. Real-Time Perfusion and Leak Assessment in Bariatric Surgery: Bridging Traditional and Advanced Techniques. *Cureus*. 2024;16(10):e71919.
49. De Simone B, Abu-Zidan FM, Saeidi S. Knowledge, attitudes and practices of using Indocyanine Green (ICG) fluorescence in emergency surgery: an international web-based survey in the ARTificial Intelligence in Emergency and trauma Surgery (ARIES)-WSES project. *Updates Surg*. 2024;76(5):1969-1981.
50. Sandor Z, Ujjalusi Z, Varga A. Application of a Self-developed, Low-budget Indocyanine Green Camera in Surgical Imaging - a Single Institution's Experiences. *J Fluoresc*. 2023;33(5):2099-2103.
51. The usefulness of indocyanine green fluorescence imaging for intestinal perfusion assessment of intracorporeal anastomosis in laparoscopic colon cancer surgery. *Int J Colorectal Dis*. 2023;38(1):7.
52. Smolenov EI, Kolobaev IV, Mironova DY, Afonin GV, Ryabov AB. Indocyanine green in delayed esophageal reconstruction after previous extirpation. *Khirurgiia*. 2024;2.2:67-72.
53. Joosten JJ, Gisbertz SS, Heineman DJ. The role of fluorescence angiography in colonic interposition after esophagectomy. *Dis Esophagus*. 2023;36(5):076.
54. Ladd AD, Zarate Rodriguez J, Lewis D. Low vs Standard-Dose Indocyanine Green in the Identification of Biliary Anatomy Using Near-Infrared Fluorescence Imaging: A Multicenter Randomized Controlled Trial. *J Am Coll Surg*. 2023;236(4):711-717.
55. Wang Z, Yang X, Mei L. Indocyanine green for targeted imaging of the gall bladder and fluorescence navigation. *J Biophotonics*. 2022;15(11):e202200142.
56. Esposito C, Alberti D, Settini A. Indocyanine green (ICG) fluorescent cholangiography during laparoscopic cholecystectomy using RUBINA technology: preliminary experience in two pediatric surgery centers. *Surg Endosc*. 2021;35(11):6366-6373.
57. Van den Hoven P, S Weller F, Van De Bent M. Near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green for quantification of changes in tissue perfusion following revascularization. *Vascular*. 2022;30(5):867-873.
58. Luciano MP, Namgoong JM, Nani RR. A Biliary Tract-Specific Near-Infrared Fluorescent Dye for Image-Guided Hepatobiliary Surgery. *Mol Pharm*. 2019;16(7):3253-3260.
59. The Use of Indocyanine Green (ICG) and Near-Infrared (NIR) Fluorescence-Guided Imaging in Gastric Cancer Surgery: A Narrative Review. *Front Surg*. 2022;9:80773.
60. Lee LD, Hering NA, Zibell M. Near-infrared Fluorescence Imaging for Detecting Pancreatic Liver Metastasis in an Orthotopic Athymic Mouse Model. *In Vivo*. 2023;37(2):519-523.
61. Schols RM, Connell NJ, Stassen LP. Near-infrared fluorescence imaging for real-time intraoperative anatomical guidance in minimally invasive surgery: a systematic review of the literature. *World J Surg*. 2015;39(5):1069-1079.
62. Ishizawa T, Hasegawa K, Aoki T, Takahashi M, Inoue Y, Sano K, et al. Neither multiple tumors nor portal hypertension surgical contraindications for hepatocellular carcinoma. *Gastroenterology*. 2008;134:1908-1916.
63. Mateusiak Ł, Hakuno S, de Jonge-Muller ESM. Fluorescent Nanobodies for enhanced guidance in digestive tumors and liver metastasis surgery. *Eur J Surg Oncol*. 2024;51(3):109537.
64. Weixler B, Lobbes LA, Scheiner L. The Value of Indocyanine Green Image-Guided Surgery in Patients with Primary Liver Tumors and Liver Metastases. *Life (Basel)*. 2023;13(6):1290.
65. Onishi S, Kawano T, Nishida N. Case report: Minimal tissue damage and low coagulation liver resection for hepatoblastoma using indocyanine green fluorescence and water-jet dissector. *Front Pediatr*. 2023;11:1221596.
66. Lee LD, Hering NA, Zibell M. Near-infrared Fluorescence Imaging for Detecting Pancreatic Liver Metastasis in an Orthotopic Athymic Mouse Model. *In Vivo*. 2023;37(2):519-523.

67. Pio L, Richard C, Zaghloul T. Sentinel lymph node mapping with Indocyanine green fluorescence (ICG) for pediatric and adolescent tumors: a prospective observational study. *Sci Rep*. 2024;14(1):30135.
68. Lavy D, Shimonovitz M, Keidar D. ICG-guided sentinel lymph node biopsy in melanoma is as effective as blue dye: A retrospective analysis. *Surg Oncol*. 2024;57:102167.
69. Lakatos L, Illyes I, Budai A. Feasibility of indocyanine green (ICG) fluorescence in ex vivo pathological dissection of colorectal lymph nodes-a pilot study. *Pathol Oncol Res*. 2024;30:1611853.
70. Thomis S, Ronsse S, Bechter-Hugl B. Relation Between Characteristics of Indocyanine Green Lymphography and Development of Breast Cancer-Related Lymphedema. *Lymphat Res Biol*. 2024;22(5):248-254.
71. Shirata C. Usefulness of indocyanine green-fluorescence imaging for real-time visualization of pancreas neuroendocrine tumor and cystic neoplasm. *J Surg Oncol*. 2018. PMID: 30261107.
72. Ghimire R, Limbu Y, Regmee S. Indocyanine green fluorescence imaging: Assessment of perfusion at pancreatic resection margin during pancreatoduodenectomy: A cross sectional study. *Health Sci Rep*. 2024;7(10):e70153.
73. De Muijnck LDAN, White KP, Alseidi A. Consensus Statement on the Use of Near-Infrared Fluorescence Imaging during Pancreatic Cancer Surgery Based on a Delphi Study: Surgeons' Perspectives on Current Use and Future Recommendations. *Cancers (Basel)*. 2023;15(3):652.
74. Wagner P, Levine EA, Kim AC. Detection of Residual Peritoneal Metastases Following Cytoreductive Surgery Using Pegsitacianine, a pH-Sensitive Imaging Agent: Final Results from a Phase II Study. *Ann Surg Oncol*. 2024;31(7):4726-4734.
75. Leitao MM Jr, Iasonos A, Tomberlin M. ARIA II: a randomized controlled trial of near-infrared Angiography during Rectosigmoid resection and Anastomosis in women with ovarian cancer. *Int J Gynecol Cancer*. 2024;34(7):1098-1101.
76. Kruiswijk MW, Willems SA, Koning S. Maximal Systolic Acceleration and Near-Infrared Fluorescence Imaging With Indocyanine Green as Predictors for Successful Lower Extremity Revascularization. *J Endovasc Ther*. 2024;15266028241274568.
77. Koning S, van Kersen J, Tange FP. The impact of diabetes mellitus on foot perfusion measured by ICG NIR fluorescence imaging. *Diabetes Res Clin Pract*. 2024;214:111772.
78. Tange FP, van den Hoven P, van Schaik J. Near-Infrared Fluorescence Imaging With Indocyanine Green to Predict Clinical Outcome After Revascularization in Lower Extremity Arterial Disease. *Angiology*. 2024;75(9):884-892.
79. Van Den Hoven P, Tange F, Van Der Valk. Normalization of Time-Intensity Curves for Quantification of Foot Perfusion Using Near-Infrared Fluorescence Imaging With Indocyanine Green. *J Endovasc Ther*. 2023;30(3):364-371.
80. Jun HS, Lee N, Gil B. Intraoperative Fluorescent Navigation of the Ureters, Vessels, and Nerves during Robot-Assisted Sacrocolpopexy. *J Pers Med*. 2024;14(8):827.
81. Barba M, Cola A, Frigerio M. Intraoperative Fluorescent Ureter Visualization for Transvaginal High Uterosacral Ligament Suspension for Severe Pelvic Organ Prolapse. *Int Urogynecol J*. 2024 Jul;35(7):1549-1551.
82. Li Q, Zhang L, Fang F. Research progress of indocyanine green fluorescence technology in gynecological applications. *J Gynaecol Obstet*. 2024;165(3):936-942.
83. Shimada S, Ohtsubo S, Kusano M. Applications of ICG Fluorescence Imaging for Surgery in Colorectal Cancers. *Fluorescence Imaging for Surgeons Cham*. Springer; 2015:203-208.
84. Kusano M, Kokudo N, Toi M. ICG Fluorescence Imaging and Navigation Surgery. Tokyo: Springer; 2016. 474 p.
85. Liberale G, Bohlok A, Bormans A. Indocyanine green fluorescence imaging for sentinel lymph node detection in colorectal cancer: A systematic review. *European Journal of Surgical Oncology*. 2018;44(9):1301-1306.
86. Liberale G, Bourgeois P. Indocyanine green fluorescence-guided surgery after IV injection in metastatic colorectal cancer: A systematic review. *European Journal of Surgical Oncology*. 2017;43(9):1656-1667.
87. Ris F, Hompes R, Cunningham C. Near-infrared (NIR) perfusion angiography in minimally invasive colorectal surgery. *Surgical Endoscopy*. 2014;28(7):2221-2226.
88. Van de Bos J, Jongen ACHM, Melenhorst J. Near-infrared fluorescence image-guidance in anastomotic colorectal cancer surgery and its relation to serum markers of anastomotic leakage: a clinical pilot study. *Surgical Endoscopy*. 2019;33(11):3766-3774.
89. Van den Bos J, Al-Taher M, Schols RM. Near-infrared fluorescence imaging for real-time intraoperative guidance in anastomotic colorectal surgery: a systematic review of literature. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques and Videoscopy*. 2018;28 (2):157-167.
90. Jafati MD, Wexner SD, Martz JE. Perfusion assessment in laparoscopic left-sided/anterior resection (PILLAR II): a multi-institutional study. *J. Am. Coll. Surg*. 2015;220 (1):82-92.
91. Ottobriani L, Martelli C, Lucignani G. Optical Imaging Agents. *Mol. Imaging*. 2021:603-625.
92. Pirovano G, Roberts S, Kossatz S, Reiner T. Optical Imaging Modalities: Principles and Applications in Preclinical Research and Clinical Settings. *J. Nucl. Med*. 2020;61:1419-1427.
93. Yang L, Huang B, Hu S, An Y, Li Y, Wang Y, Gu N. Indocyanine green assembled free oxygen-nanobubbles towards enhanced near-infrared induced photodynamic therapy. *Nano Res*. 2022;15:4285-4293.
94. Lee EH, Lee MK, Lim SJ. Enhanced stability of indocyanine green by encapsulation in zein-phosphatidylcholine hybrid nanoparticles for use in the phototherapy of cancer. *Pharmaceutics*. 2021;13:305.
95. Qing W, Xing X, Feng D, Chen R, Liu Z. Indocyanine green loaded pH-responsive bortezomib supramolecular hydrogel for synergistic chemo-photothermal/photodynamic colorectal cancer therapy. *Photodiagn. Photodyn. Ther*. 2021;36:102521.
96. Ravichandran V, Cao TGN, Choi DG, Kang HC, Shim MS. Non-ionic polysorbate-based nanoparticles for efficient combination chemo/photothermal/photodynamic therapy. *J. Ind. Eng. Chem*. 2020;88:260-267.
97. Bi Z, Huang L, Han M, Ma J, Wang P. One-pot preparation of small lipid-indocyanine green nanoparticles to induced intracellular oxidative/thermal stress damage for effective colorectal cancer therapy. *Micro Nano Lett*. 2021;16:636-642.
98. Osterkamp J, Strandby R, Nerup N. Quantitative fluorescence angiography detects dynamic changes in gastric perfusion *Surg Endosc*. 2021;35(12):6786-6795.
99. Leeuwerke SJG, Vaassen HGM, Meerwaldt R. Indocyanine Green Fluorescence Angiography to Assess Tissue Perfusion Before Common Femoral Artery Aneurysm Ligation After Transfemoral Amputation. *EJVES Vasc Forum*. 2025;63:41-44.
100. Zhao X, Li S, Song Y, Fan L. Construction of a near infrared fluorescence system for imaging of biological tissues. *Sci Rep*. 2024;14(1):1626.
101. Wei R, Li Y, Zheng Q, Wang J, Wu Ch, Lu X, Zong Z, et al. Application of indocyanine green fluorescence angiography in laparoscopic sleeve gastrectomy - preliminary results. *Langenbecks Arch Surg*. 2025;410(1):213.

Информация об авторах

Леявина Татьяна Александровна – д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник Института экспериментальной медицины, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: tatianalelyavina@mail.ru.

Корнюшин Олег Викторович – канд. мед. наук, хирург, доцент кафедры факультетской хирургии с клиникой, старший научный сотрудник Института экспериментальной медицины Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: o.kornyushin@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3454-4690.

Шемилев Рамзан Русланович – хирург, ассистент кафедры факультетской хирургии с клиникой, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: shramzan98@bk.ru.

Маслей Виталий Васильевич – ассистент кафедры факультетской хирургии с клиникой Института медицинского образования, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: vitalijmaslej04@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1278-0986.

Сонин Дмитрий Леонидович – канд. мед. наук, зав. НИО микроциркуляции и метаболизма миокарда Института экспериментальной медицины, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: sonin_dl@almazovcentre.ru, ORCID: 0000-0003-1705-7217.

Папаян Гарри Вазгенович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник Института экспериментальной медицины, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: pgarry@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6462-9022.

Данилов Иван Николаевич – зав. кафедрой факультетской хирургии с клиникой лечебного факультета Института медицинского образования, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: ivandanilov75@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9540-7812.

Галагудза Михаил Михайлович – д-р мед. наук, профессор и член-корр. РАН, директор Института экспериментальной медицины, Национальный медицинский исследовательский

центр им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: galagudza@almazovcentre.ru, ORCID: 0000-0001-5129-994.

Authors information

Lelyavina Tatyana A. – MD, Leading Researcher, Scientific Research Department of Myocardial Microcirculation and Metabolism, Almazov National Medical Research Center, Saint Petersburg, Russia, e-mail: tatianalelyavina@mail.ru.

Kornyushin Oleg V. – Candidate (PhD) of Medical Sciences, Senior Researcher, Scientific Research Department of Myocardial Microcirculation and Metabolism, Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia, e-mail: o.kornyushin@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3454-4690.

Shemilov Ramzan R. – Internist, assistant of the Department of Faculty Surgery with Clinic, Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia, e-mail: shramzan98@bk.ru.

Masley Vitaly V. – Assistant, Department of Faculty Surgery, Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia, e-mail: vitalijmaslej04@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1278-0986.

Sonin Dmitry L. – Candidate (PhD) of Medical Sciences, Head, Scientific Research Department of Myocardial Microcirculation and Metabolism, Almazov National Medical Research Center, Saint Petersburg, Russia, e-mail: sonin_dl@almazovcentre.ru, ORCID: 0000-0003-1705-7217.

Papayan Garry V. – MD, Leading Researcher, Scientific Research Department of Myocardial Microcirculation and Metabolism, Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia, e-mail: pgarry@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6462-9022.

Danilov Ivan N. – Candidate (PhD) of Medical Sciences, Head, Department of Faculty Surgery, Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Centre, Director of the Department Clinic, the Highest Qualification Category Surgeon, Oncologist, Saint Petersburg, Russia, e-mail: ivandanilov75@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9540-7812.

Galagudza Mikhail M. – MD, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Institute of Experimental Medicine, Almazov National Medical Research Center, Saint Petersburg, Russia, e-mail: galagudza@almazovcentre.ru, ORCID: 0000-0001-5129-994.