



3.1.6. Онкология, лучевая терапия ОБЗОР

Применение индоцианина зеленого в медицине

А. О. Немечкина^{1✉}, Д. В. Давыдов¹, А. Д. Зикиряходжаев^{1,2,3},
В. О. Тимошкин¹, М. О. Карпечкин¹

¹ Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

² Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), г. Москва, Российская Федерация

³ Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

✉ anna.nemechkina.99@mail.ru

Аннотация

Цель исследования. Проанализировать литературные источники, посвященные изучению использования индоцианина зеленого в медицине.

Материалы и методы. Проведен анализ литературы в базах данных PubMed, Google Scholar и E-library с 1995 г. по 2026 г.

Результаты. Индоцианин зеленый (ICG) – водорастворимый флуоресцентный краситель, появившийся в середине XX века. В конце 50-х годов одобрен для клинического использования в медицине. В настоящее время широко применяется в медицине, в особенности в онкологии с целью определения биопсии «сторожевого» лимфатического узла для возможности верификации метастатического процесса. Использование ICG в реконструктивно-пластической хирургии, на диагностическом этапе, снижает риск осложнений со стороны аутологических и имплант-ассоциированных реконструкций ввиду уменьшения процента некротизирования тканей. Индоцианин зеленый помогает визуализировать и проводить оценку сосудистой сети глазного дна, в особенности хориоидеи, при ряде офтальмологических заболеваний. В кардиологии данный метод получил широкое применение с целью определения сердечного выброса до оценки качества анастомозов и коронарного шунтирования. В нейрохирургии индоцианин зеленый используется для определения сосудистых структур, оценки перфузии тканей и границ опухолей, также при реконструкции периферических нервов. В абдоминальной хирургии применение ICG способствует визуализации состоятельности анастомозов, краев резекции ткани по отношению к опухоли, снижая риски послеоперационных осложнений, дифференцировки метастазов в ткани печени.

Заключение. Индоцианин зеленый является универсальным веществом, применяемым как для интраоперационной навигации, так и с целью оценки динамики проведенного хирургического лечения.

Ключевые слова: индоцианин зеленый, ICG, флуоресценция, визуализация сосудов, лоскуты, сторожевые лимфатические узлы, функциональные резервы печени, оценка перфузии тканей

Для цитирования: Немечкина А. О., Давыдов Д. В., Зикиряходжаев А. Д., Тимошкин В. О., Карпечкин М. О. Применение индоцианина зеленого в медицине. Research and Practical Medicine Journal (Исследования и практика в медицине). 2026; 13(3): 147-162.
DOI: <https://doi.org/10.17709/2410-1893-2026-13-3-9> EDN: HIRHRC

Для корреспонденции: Немечкина Анна Олеговна – научный сотрудник отдела онкопластической хирургии Московского научно-исследовательского онкологического института им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация
Адрес: 125284, Российская Федерация, г. Москва, 2-й Боткинский проезд, д. 3
E-mail: anna.nemechkina.99@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0382-5675>, eLibrary SPIN: 9387-5218, AuthorID: 1291347, Scopus Author ID: 60078985200

Applications of indocyanine green in medicine

A. O. Nemechkina^{1✉}, D. V. Davydov¹, A. D. Zikiryakhodzhaev^{1,2,3}, V. O. Timoshkin¹, M. O. Karpechkin¹

¹ P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Moscow, Russian Federation

² Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

✉ anna.nemechkina.99@mail.ru

Abstract

Purpose of the study. To analyze the literature on the use of indocyanine green in medicine.

Materials and methods. A literature review was conducted using the PubMed, Google Scholar, and eLibrary databases, covering the period from 1995 to 2026.

Results. Indocyanine green (ICG) is a water-soluble fluorescent dye developed in the mid-20th century and approved for clinical use in the late 1950s. It is now widely used in various fields of medicine. In oncology, ICG is used for sentinel lymph node mapping to facilitate the detection of metastatic spread. In reconstructive and plastic surgery, intraoperative assessment with ICG reduces the risk of complications associated with autologous and implant-based reconstruction by enabling the identification of poorly perfused tissue and thereby reducing the incidence of tissue necrosis. In ophthalmology, ICG enables visualization and assessment of the fundus vasculature, particularly the choroidal circulation, in various ocular diseases. In cardiology and cardiac surgery, ICG is used to determine cardiac output and to assess anastomoses and coronary artery bypass grafts. In neurosurgery, ICG is used to visualize vascular structures, assess tissue perfusion and tumor margins, and assist in peripheral nerve reconstruction. In abdominal surgery, ICG facilitates assessment of anastomotic perfusion and visualization of tumor resection margins, thereby reducing the risk of post-operative complications, and may aid in the detection and differentiation of liver metastases.

Conclusion. Indocyanine green is a versatile agent used for both intraoperative navigation and the assessment of surgical treatment outcomes. Advances in diagnostic and imaging technologies continue to create new opportunities for expanding the clinical applications of this method.

Keywords: indocyanine green, ICG, fluorescence, vascular imaging, flaps, sentinel lymph nodes, hepatic functional reserve, tissue perfusion assessment

For citation: Nemechkina A. O., Davydov D. V., Zikiryakhodzhaev A. D., Timoshkin V. O., Karpechkin M. O. Applications of indocyanine green in medicine. Research and Practical Medicine Journal (Issled. prakt. med.). 2026; 13(3): 147-162. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17709/2410-1893-2026-13-3-9> EDN: HIRHRC

For correspondence: Anna O. Nemechkina – Research Fellow, Department of Oncoplastic Surgery, P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Moscow, Russian Federation
Address: 3, 2nd Botkin passage, Moscow 125284, Russian Federation
E-mail: anna.nemechkina.99@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0382-5675>, eLibrary SPIN: 9387-5218, AuthorID: 1291347, Scopus Author ID: 60078985200

АКТУАЛЬНОСТЬ

Индоцианин зеленый (ICG) представляет собой водорастворимый флуоресцентный краситель, появившийся в 50-х годах XX века в лабораториях компании Kodak. Первоначальным предназначением этого вещества являлось использование его в качестве фотокрасителя для проявки фотографий [1]. В середине XX века ученые синтезировали ряд новых соединений с поглощением в ближней инфракрасной области спектра. Эти свойства оказались новой возможностью для использования в медицине, т.к. инфракрасное излучение лучше проходит через биологические ткани, чем видимый свет [2]. В 1959 г. американское Управление по контролю за продуктами и лекарствами (FDA) одобрило ICG для клинического и исследовательского использования в медицине [1]. Первые клинические исследования доказали информативность вещества для диагностики сердечной деятельности и оценки перфузии органов [1]. В настоящее время индоцианин зеленый применяется в хирургии, онкологии и сосудистой диагностике, включая отечественные аналоги, появившиеся в России в 2022 г. [3–6]. Эти факторы позволили перейти от использования в качестве простого красителя к ключевому агенту в флуоресцентной навигации.

Использование индоцианина зеленого в офтальмологии

В офтальмологии индоцианин зеленый применяется для определения сосудов хориоидеи

и диагностики различных заболеваний заднего сегмента глаза [7]. Индоцианин зеленый визуализируется инфракрасным светом (780–810 нм) [4], проникая глубоко под сетчатку, что улучшает визуализацию хориоидальных сосудов даже при наличии геморрагий или пигментного эпителия, где флуоресцеиновая ангиография менее информативна [7]. После внутривенного введения он быстро поступает в хориоидальный кровоток, позволяя отслеживать перфузию сосудов в реальном времени с помощью специальной камеры [8]. ICG применяют для диагностики и динамической оценки таких состояний, как возрастная макулярная дегенерация (особенно в случае подозрения на оккультную хориоидальную неоваскуляризацию), хроническая центральная серозная хориоретинопатия, хориоидальные гемангиомы и некоторые формы заднего увеита [9]. Метод позволяет выявлять патологические изменения сосудов, определять тип и локализацию неоваскуляризации, а также оценивать эффективность проведенного лечения [10]. Метод фиксирует фазы: раннюю (артериальную, 10–20 с после инъекции), среднюю (венозную) и позднюю (5–30 мин), где видны гипо- и гиперфлюоресценция, указывающие на перфузию, утечки или закупорки [8]. Полученные данные помогают оценить динамику наполнения хориоидеи в зависимости от локализации и типа повреждения сосудистой ткани (табл. 1) [8, 11].

Применение индоцианина зеленого при визуализации повреждений сосудов хориоидеи

Таблица 1. Индоцианин зеленый при визуализации повреждений сосудов хориоидеи
Table 1. Indocyanine green for visualization of choroidal vascular lesions

Фаза / Phase	Время после осуществления инъекции / Time after injection	Предмет оценки / Assessment target	Выявляемая патология и характерные изменения / Detected pathology and characteristic findings
Ранняя (артериальная) / Early (arterial)	10–20 с / 10–20 s	Крупные сосуды хориоидеи / Large choroidal vessels	Гипоперфузия (ишемия), васкулярный петли при опухолях, «рыбачья» сеть, «кружево» при гемангиомах / Hypoperfusion (ischemia), vascular loops in tumors, “fishing-net” pattern, and “lace-like” pattern in hemangiomas
Средняя (венозная) / Intermediate (venous)	20–60 с / 20–60 s	Хориокапиллярный слой / Choriocapillaris	Зона инфаркта (фокальная гипоперфузия, неоваскуляризация) / Infarct area (focal hypoperfusion, neovascularization)
Поздняя / Late	5–30 мин / 5–30 min	Выход контрастного вещества в хориоидальные ткани / Extravasation of contrast agent into the choroidal tissue	Утечка при неоваскуляризации («горячие пятна»), стойкая гипоперфузия / Leakage associated with neovascularization (“hot spots”), persistent hypoperfusion

помогает дифференцировать доброкачественные процессы от злокачественных, в том числе меланому сосудистой оболочки (прямые сосуды с анастомозами) от невуса или ретинита Коатса (мальформации) [4, 8, 11].

Таким образом, оценка сосудов с помощью ICG – это метод, помогающий визуализировать и проводить оценку сосудистой сети глазного дна при различных офтальмологических заболеваниях.

Использование индоцианина зеленого в реконструктивно-пластической хирургии

Индоцианин зеленый широко применяется в реконструктивно-пластической хирургии для визуализации микро- и макрососудов, оценки перфузии тканей [12], кровотока и снижения риска некроза лоскутов [13]. При челюстно-лицевых реконструкциях данный препарат помогает перейти от двухмерного закрытия дефектов к восстановлению трехмерной (3D) структуры лица [14]. Одна из наиболее распространенных областей применения ICG – при интраоперационной ангиографии перенесенных лоскутов, реконструкции после ожогов [14] или паротидэктомии [15]. Так, в исследовании Montorfano L. и соавт. после удаления опухоли околоушной слюнной железы оценка кровоснабжения при помощи ICG способствовала адекватной оценке перфузии SCM-лоскута (лоскут из грудиноключично-сосцевидной мышцы), что позволило снизить вероятность развития осложнений после его ротации [15]. При тотальной реконструкции лица индоцианин зеленый используют во время фенестрации (открытие рта, ноздрей, глазниц) на этапе трансплантации лоскута, снижая риск венозного застоя и инфекций [14].

Использование индоцианина зеленого в реконструктивно-пластической хирургии молочной железы позволяет повысить безопасность аутологических и имплант-ассоциированных реконструкций, снизить риск некроза лоскутов и осложнений со стороны кожно-жирового чехла [16]. При реконструкции молочной железы аутологичными лоскутами (DIEP – лоскут передней брюшной стенки на перфоранте глубокой нижней эпигастральной артерии, TRAM – поперечный кожно-мышечный лоскут передней брюшной стенки на основе прямой мышцы живота, SIEA – лоскут передней брюшной стенки, кровоснабжаемый поверхностной эпигастраль-

ной артерией), торако-дорзальные, торакоэпигастральные и др.) важна адекватная перфузия лоскута и надежность микрососудистых анастомозов [17, 18].

Флуоресцентная ангиография с ICG позволяет [19–21]: 1) предоперационно и интраоперационно картировать перфорантные сосуды; 2) оценивать зоны адекватной и пограничной перфузии лоскута; 3) обоснованно уменьшать объем лоскута за счет иссечения ишемизированных участков.

После внутривенной болюсной инъекции 7,5 мг индоцианина зеленого визуализация перфузии лоскута достигает оптимального значения через 55–60 с, при этом хорошо визуализируются зоны интенсивного кровотока и краевой ишемии [16]. Отсечение дистальных, плохо контрастирующих участков позволяет снизить частоту частичного некроза и жирового некроза в послеоперационном периоде [22].

При мастэктомии с одномоментной реконструкцией имплантатом или экспандером качество кожного чехла и подлежащих тканей определяет риск некроза, экспозиции имплантата и инфекционных осложнений [23]. Визуальная оценка (по цвету кожи, капиллярному наполнению, кровоточивости краев) не всегда позволяет объективно выделить зоны пограничной перфузии [24]. Флуоресцентная ангиография с ICG дает возможность определить границы адекватно кровоснабжаемого кожного лоскута, решить вопрос о необходимости уменьшения объема имплантата/экспандера или частичного иссечения кожи, планировать тактику укрытия имплантата (полное, частичное, использование сеток и матриц) с учетом кровоснабжения кожного чехла [25].

Использование индоцианина зеленого при биопсии сторожевого лимфатического узла

Биопсия сторожевых лимфатических узлов является стандартом стадирования различных злокачественных новообразований, включая рак молочной железы, меланому кожи, опухоли женской репродуктивной системы, колоректальный рак [26–28]. Традиционно для определения сторожевых лимфатических узлов используются коллоидные радиофармпрепараты, меченые изотопом Tc99m [29]. Однако в последние годы индоцианин зеленый с флуоресцентной визуализацией в ближнем инфракрасном диапазоне рассматривается как перспективная

альтернатива традиционным методам, позволяющая хирургам визуализировать лимфатические пути и узлы во время операции, что потенциально улучшает точность идентификации сторожевых лимфатических узлов [30, 31].

В онкогинекологии ICG показал высокую эффективность при раке шейки матки и эндометрия. Оптимальное время для обнаружения сторожевых лимфатических узлов составляет 10–15 мин. после инъекции индоцианина зеленого, когда интенсивность флуоресценции максимальна. Частота двустороннего обнаружения составила 77 % при лапароскопии и 100 % при лапаротомии [30]. При раке вульвы частота обнаружения сторожевых лимфатических узлов с использованием ICG±технеций-99m составила 90,3 %, что сопоставимо с традиционным методом (93,4 %) [31].

Применение индоцианина зеленого для выявления сторожевых лимфатических узлов широко изучено при раке молочной железы. Рандомизированное контролируемое исследование, сравнивающее ICG комбинацию радиоколлоида с метиловым синим, продемонстрировало сопоставимую частоту выявления СЛУ (97,14 % для ICG против 100 % для комбинированного метода) [32]. Также добавление индоцианина зеленого к метиленовому синему увеличило среднее количество обнаруженных «сторожевых» лимфатических узлов с $2,1 \pm 1,2$ до $3,8 \pm 1,8$, что может снизить частоту ложноотрицательных результатов [33].

Применение индоцианина зеленого при билиарном раке способствует более точной визуализации региональных лимфатических узлов и увеличению процента радикальности операции [34].

Таким образом, ICG является безопасным и эффективным методом для проведения биопсии сторожевых лимфатических узлов.

Использование индоцианина зеленого в кардиологии

Индоцианин зеленый активно используется в кардиологии для внутриоперационной визуализации кровотока и оценки проходимости шунтов [35]. В кардиохирургии ICG применяется преимущественно с целью визуализации для контроля качества коронарного шунтирования, выявления атеросклеротических бляшек и оценки миокардиальной перфузии [36]. Современные денситометры для индоцианина зеленого обеспечивают точность измерений с погрешностью менее ± 2 % в модельных экспериментах при по-

токах от 2 до 12 л/мин. Ошибка однократного определения сердечного выброса в покое и при физической нагрузке составляет менее ± 5 %. Метод требует стабильного сердечного выброса в течение приблизительно 10 с при физической нагрузке и 30 с в покое [37].

Одним из наиболее важных применений ICG в кардиохирургии является интраоперационная оценка проходимости коронарных шунтов. Система флуоресцентной визуализации на основе индоцианина зеленого (например, Novadaq SPY) позволяет проводить качественную оценку анастомозов и шунтов во время операций коронарного шунтирования как при искусственном кровообращении, так и на работающем сердце [38].

Использование индоцианина зеленого в нейрохирургии

В нейрохирургии ICG стал применяться с 1970-х годов с развитием инфракрасных модулей в операционных микроскопах. Впервые видеоангиография с ICG в сосудистой нейрохирургии предложена Raabe A. в 2003 г., что позволило визуализировать кровоток интраоперационно. В России применение ICG в нейроонкологии и сосудистой хирургии описано в работах с 1960-х годов, включая окрашивание опухолей и оценку микроциркуляции [39].

В нейрохирургии ICG применяется для флуоресцентной ангиографии при удалении артериовенозных мальформаций, опухолей мозга и реконструкции периферических нервов. Краситель помогает выявлять остаточные сосудистые структуры, оценивать перфузию тканей и границы опухолей, снижая риск рецидивов [40].

ICG-видеоангиография стала широко используемым методом интраоперационной оценки при клипировании церебральных аневризм. Метод в режиме реального времени способствует оценке полноты окклюзии аневризмы и проходимости родительских, ветвящихся и перфорирующих артерий [41, 42]. Одним из преимуществ метода является снижение сосудистых осложнений. В ретроспективном исследовании Tajsic T. и соавт. с участием 412 пациентов с разорванными аневризмами установлено, что использование ICG-видеоангиографии значительно снижает частоту сосудистых осложнений с 9,5 % до 3,3 % ($p = 0,0137$) во время оперативного вмешательства [43].

ICG-видеоангиография эффективна для визуализации питающих артерий, узла и дренирующих

вен артериовенозных мальформаций, а также для оценки динамики кровотока [44]. Метод особенно информативен при поверхностно расположенных венах артериовенозных мальформаций [45], но менее эффективен при глубоких поражениях [45, 46]. Таким образом, ICG-видеоангиография является современным методом визуализации с широким спектром использования.

Использование индоцианина зеленого в абдоминальной хирургии

ICG флуоресцентная визуализация применяется в хирургии колоректального рака и рака печени для картирования лимфоузлов и определения границ опухоли [47, 48]. В операциях по поводу рака ободочной кишки ICG помогает в лимфаденэктомии и оценке перфузии анастомозов, снижая риск несостоятельности [49]. Также метод используется в колоректальной хирургии для оценки перфузии кишечника с целью предотвращения несостоятельности анастомоза [50, 51]. Несостоятельность анастомоза остается одним из наиболее серьезных осложнений колоректальной хирургии [51]. В обзоре Hussain K. и соавт., объединившем 16 исследований, продемонстрировано, что вероятность несостоятельности анастомоза в группе с использованием индоцианина зеленого составляла 5,18 % в сравнении с 11,50 % в контрольной группе ($p < 0,01$) [52].

По данным метаанализа, характеризующего идентификацию сторожевых лимфатических узлов при раке толстой кишки, выявлены следующие различия: при T1–T2 частота детекции 91 %, точность – 98 %, чувствительность – 80 %; при T3–T4 – 90 %, 77 % и 30 % соответственно [53]. Фактором снижения чувствительности может являться блокировка лимфатических путей эмболами опухоли с перераспределением потока. Ток лимфы визуализировался у 75,4 % пациентов, причем при более низкой клинической стадии значимо чаще ($p = 0,0103$); из 14 пациентов без визуализации 71,4 % имели cStage III–IV [54]. Также метастатические лимфатические узлы могут характеризоваться более слабым флуоресцентным свечением, чем инфарктные, из-за замещения лимфоидной ткани опухолью [55].

ICG является достаточно информативным в хирургии панкреатических нейроэндокринных опухолей, в особенности при диссекции небольших образований при минимально инвазивных вмешательствах [56]. Также препарат позволяет контрастировать и отграничить общий желчный

проток во время резекции головки поджелудочной железы с сохранением двенадцатиперстной кишки [57].

Во время операции на печени индоцианин зеленый используется для определения границ резекции, оценки перфузии и визуализации сосудистых и билиарных структур [58, 59] и для оценки функциональных резервов печени перед планированием резекции [60]. По данным литературы, наиболее распространенным предоперационным тестом является ICG-R15, который позволяет определить риск развития постгепатэктомической печеночной недостаточности [61, 62]. Также ICG помогает определить объем резекции печени [3, 63], спрогнозировать необходимость портальной эмболизации.

Использование ICG-лимфографии позволяет безопасно визуализировать желчные протоки несмотря на наличие спаечного процесса после ранее перенесенной операции и выполнить необходимый объем лимфаденэктомии [64]. В исследовании Zhang Y. и соавт. пациентам выполнялась лапароскопическая радикальная левосторонняя гемигепатэктомия с лимфаденэктомией с использованием ICG навигации. Группа, включающая применение индоцианина зеленого, характеризовалась большим количеством удаленных лимфатических узлов в сравнении с группой контроля, медиана составляла 7,0 vs 3,5. Также количество верифицированных измененных лимфоузлов было выше – 75 % vs 40 % [65].

При выполнении лапароскопической холецистэктомии у пациентов с острым или хроническим калькулезном холецистите применение индоцианина зеленого позволяет визуализировать внепеченочные желчные протоки и избежать их повреждения, что способствует повышению безопасности операции [66, 67]. Исследование Quaresima S. и соавт., в котором представлено сравнение стандартной интраоперационной холангиографии с ICG-флуоресцентной холангиографией, продемонстрировало сокращение операционного времени $117,9 \pm 43,4$ мин. против $86,9 \pm 36,9$ мин. ($p = 0,0006$), в частности у пациентов с острым холециститом и ожирением [68]. Проведенный клинико-экономический анализ ICG-холангиографии при лапароскопической холецистэктомии выявил, что наличие индоцианина зеленого позволяет улучшить визуализацию желчевыводящих протоков, уменьшить продолжительность операции и предотвратить их повреждение [69].

Таким образом, применение индоцианина зеленого в абдоминальной хирургии охватывает широкую область, способствуя снижению частоты развития послеоперационных осложнений, ввиду возможности своевременной оценки состоятельности анастомозов, краев резекции ткани.

Использование индоцианина зеленого в эндокринной хирургии

Основное применение ICG в хирургии щитовидной железы для флуоресцентной визуализации паращитовидных желез, что помогает идентифицировать и оценить их кровоснабжение, снижая риск послеоперационного гипопаратиреоза и гипокальциемии [70]. Индоцианин зеленый активно используется в хирургии для

визуализации надпочечников, помогая выделять его из окружающих тканей [71]. Также различная интенсивность флуоресценции может использоваться для дифференциальной диагностики различных новообразований [72].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время индоцианин зеленый является универсальным веществом, применяемым как для оценки сосудистого и лимфатического коллекторов, биопсии сторожевых лимфатических узлов и верификации метастатического процесса, интраоперационной навигации, так и с целью оценки перфузии тканей после проведенного хирургического лечения.

Список источников

1. Lu CH, Hsiao JK. Indocyanine green: An old drug with novel applications. *Tzu Chi Med J.* 2021 Apr 1;33(4):317–322. https://doi.org/10.4103/tcmj.tcmj_216_20
2. Reinhart MB, Huntington CR, Blair LJ, Heniford BT, Augenstein VA. Indocyanine Green: Historical Context, Current Applications, and Future Considerations. *Surg Innov.* 2016 Apr;23(2):166–175. <https://doi.org/10.1177/1553350615604053>
3. Загайнов Е. В., Карачун А. М., Сапронов П. А., Хромова Е. А., Казанцев А. И. Современные возможности флуоресцентной визуализации в хирургии печени. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2023;(10):98–106. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202310198>
4. Ерохина Е. В., Терещенко А. В. Новый отечественный индоцианин зеленый в диагностике сосудистой патологии. Современные технологии в офтальмологии. 2024;4(56):69–70. <https://doi.org/10.25276/2312-4911-2024-4-69-70>
5. Патент № 2734275 С1 Российская Федерация, МПК G01N 21/64. Способ диагностики степени кровенаполненности биологических тканей и оценки параметров кровотока и лимфотока: № 2019133172. Заявл. 18.10.2019. Оpubл. 14.10.2020. П. В. Грачев, В. Б. Лощенов, И. А. Балыко [и др.]. EDN PVFUEP.
6. Фирсов Д. В., Жила Е. С., Атрощенко А. О., Ганова Т. Д., Ганов Д. И. История и области применения индоцианина зеленого в медицинской практике. Обзор литературы. *Бюллетень медицинской науки.* 2024;3(35):96–103. <https://doi.org/10.31684/25418475-2024-3-96>
7. Kaiser A, Pulido JS, Brucker A, Yonekawa Y, Bommakanti N. A Review of fluorescein angiography, indocyanine green angiography, and other fluorophores in ophthalmology. *Retina.* 2026 Jun 1;46(6):e49–e53. <https://doi.org/10.1097/iae.0000000000004727>
8. Тахчиди Х. П., Кишкина В. Я., Семенов А. Д., Кишкин Ю. И. Флуоресцентная ангиография в офтальмохирургии. М., 2007, 312 с.
9. Yannuzzi LA. Indocyanine green angiography: a perspective on use in the clinical setting. *Am J Ophthalmol.* 2011 May;151(5):745–751.e1. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2011.01.043>
10. Slakter JS, Yannuzzi LA, Guyer DR, Sorenson JA, Orlock DA. Indocyanine-green angiography. *Curr Opin Ophthalmol.* 1995 Jun;6(3):25–32. <https://doi.org/10.1097/00055735-199506000-00005>
11. Панова И. Е., Самкович Е. В., Мелихова М. В., Григорьева Н. Н. Ангиография с индоцианином зеленым в диагностике новообразований хориоидеи. *Вестник офтальмологии.* 2020;136(5):5–13. <https://doi.org/10.17116/oftalma20201360515>
12. Schols RM, Dip F, Lo Menzo E, Haddock NT, Landin L, Lee BT, et al. Delphi survey of intercontinental experts to identify areas of consensus on the use of indocyanine green angiography for tissue perfusion assessment during plastic and reconstructive surgery. *Surgery.* 2022 Dec;172(6S):S46–S53. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2022.04.015>
13. Burnier P, Niddam J, Bosc R, Hersant B, Meningaud JP. Indocyanine green applications in plastic surgery: A review of the literature. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2017 Jun;70(6):814–827. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2017.01.020>

14. Huang X, Li H, Gu S, Gao Y, Khoong Y, Liu Y, et al. Intraoperative Indocyanine Green Angiography Facilitates Flap Fenestration and Facial Organ Fabrication in Total Facial Restoration. *Plast Reconstr Surg*. 2024 Jun 1;153(6):1416–1424. <https://doi.org/10.1097/prs.00000000000010891>
15. Montorfano L, Bordes SJ, Sarmiento Cobos M, Garcia Lopez EA, Medina M. Use of Indocyanine Green Angiography for Real-Time Assessment of a Sternocleidomastoid Muscle Flap During Complex Facial Reconstruction. *Cureus*. 2021 Mar 18;13(3):e13970. <https://doi.org/10.7759/cureus.13970>
16. Зикиряходжаев А. Д., Мошурова М. В., Балаян Э. О., Тимошкин В. О. Индоцианин зеленый – неотъемлемая часть реконструктивной хирургии молочной железы с использованием перфорантных лоскутов. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2024;(8):34–40. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202408134>
17. Wang Z, Jiao L, Chen S, Li Z, Xiao Y, Du F, et al. Flap perfusion assessment with indocyanine green angiography in deep inferior epigastric perforator flap breast reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Microsurgery*. 2023 Sep;43(6):627–638. <https://doi.org/10.1002/micr.31056>
18. Götzl R, Boos AM, Beier JP. Muss es immer das Abdomen sein? – Alternative Lappen zur mikrochirurgischen Brustrekonstruktion [Does it Always have to be the Abdomen? Alternative Flaps in Autologous Breast Reconstruction]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 2022 Aug;54(4):339–348. German. <https://doi.org/10.1055/a-1880-0927>
19. Han T, Khavanin N, Zhu S, Zang M, Chen B, Li S, et al. A Comparison of Handheld Doppler and Indocyanine Green Angiography for Perforator Localization. *Ann Plast Surg*. 2022 Jul 1;89(1):89–94. <https://doi.org/10.1097/sap.00000000000003203>
20. Parmeshwar N, Sultan SM, Kim EA, Piper ML. A Systematic Review of the Utility of Indocyanine Angiography in Autologous Breast Reconstruction. *Ann Plast Surg*. 2021 May 1;86(5):601–606. <https://doi.org/10.1097/sap.00000000000002576>
21. Malagón-López P, Carrasco-López C, García-Senosian O, Vilà J, Del-Río M, Priego D, et al. When to assess the DIEP flap perfusion by intraoperative indocyanine green angiography in breast reconstruction? *Breast*. 2019 Oct;47:102–108. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2019.07.009>
22. Nguyen CL, Dayaratna N, Comerford AP, Tam SKM, Paredes SR, Easwaralingam N, et al. Cost-effectiveness of indocyanine green angiography in postmastectomy breast reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2022 Sep;75(9):3014–3021. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2022.04.050>
23. Керемов Р. К., Зикиряходжаев А. Д., Усов Ф. Н., Мошурова М. В., Джабраилова Д. Ш., Найдина К. А. Роль интраоперационной и ранней послеоперационной оценки перфузии кожного лоскута при кожесохраняющих/подкожных мастэктомиях. *Опухоли женской репродуктивной системы*. 2025;21(2):69–74. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2025-21-2-69-74>
24. Johnson AC, Colakoglu S, Chong TW, Mathes DW. Indocyanine Green Angiography in Breast Reconstruction: Utility, Limitations, and Search for Standardization. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2020 Mar 27;8(3):e2694. <https://doi.org/10.1097/gox.00000000000002694>
25. Meshkin DH, Firriolo JM, Karp NS, Salibian AA. Management of complications following implant-based breast reconstruction: a narrative review. *Ann Transl Med*. 2023 Dec 20;11(12):416. <https://doi.org/10.21037/atm-23-1384>
26. Pitsinis V, Kanitkar R, Vinci A, Choong WL, Benson J. Results of a Prospective Randomized Multicenter Study Comparing Indocyanine Green (ICG) Fluorescence Combined with a Standard Tracer Versus ICG Alone for Sentinel Lymph Node Biopsy in Early Breast Cancer: The INFLUENCE Trial. *Ann Surg Oncol*. 2024 Dec;31(13):8848–8855. <https://doi.org/10.1245/s10434-024-16176-x>
27. Kwizera A, Obaid A, Tran D, Rubarth C, Preskitt JT. Use of indocyanine green for sentinel lymph node biopsy in melanoma. *Proc (Bayl Univ Med Cent)*. 2022 Dec 6;36(2):201–204. <https://doi.org/10.1080/08998280.2022.2147385>
28. Fernandez MA, Clark HD, Iniesta MD, Munsell MF, Frumovitz M, Ramirez PT. Sentinel lymph node mapping with indocyanine green using SPY-PHI in open radical hysterectomy or trachelectomy. *Int J Gynecol Cancer*. 2024 Jan 5;34(1):28–34. <https://doi.org/10.1136/ijgc-2023-004787>
29. Дмитриев С. П., Тер-Ованесов М. Д., Казаков А. А., Бурова Т. В., Алексина В. И., Маслов Н. М. Биопсия сторожевого лимфатического узла при опухолях головы и шеи: современное состояние с позиций доказательной медицины. Роль радиоизотопной диагностики (обзор литературы). *Российский хирургический журнал*. 2025;1(2):112–117. <https://doi.org/10.18705/3034-7270-2025-1-2-112-117>
30. Efendiev K, Meshkova M, Alekseeva P, Udeneev A, Moskalev A, Loshchenov M, et al. Optimization of Intraoperative Near-Infrared Fluorescence Mapping with Indocyanine Green for Sentinel Lymph Node Detection in Cervical and Endometrial Cancer. *Pharmaceutics*. 2026 Feb 6;18(2):211. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics18020211>
31. Cornel KMC, Mehta MP, Swift BE, Covens A, Vicus D, Kupets RS, Gien LT. The use of indocyanine green (ICG) for sentinel lymph node detection in vulvar cancer. *Gynecol Oncol*. 2025 May;196:146–151. <https://doi.org/10.1016/j.ygyno.2025.03.039>

32. Chandra NB, Suhani S, Joshi M, Seenu V, Rathore R, Vyas S, et al. Evaluating Single Agent Indocyanine Green as an Alternative to Dual Dye-Tracer Mapping in Sentinel Lymph Node Biopsy for Breast Cancer: A Two-Arm Open-Label Randomized Controlled Trial. *World J Surg.* 2026 Feb;50(2):395–403. <https://doi.org/10.1002/wjs.70231>
33. Meng L, Zhu M, Yuan Y, Li Y, Wu H, Zhang W. Assessing the benefit of using indocyanine green in addition to methylene blue for breast cancer sentinel lymph node biopsy. *Medicine (Baltimore).* 2025 May 16;104(20):e42500. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000042500>
34. Luján J, Almeida A, López-Olaondo L, Rotellar F. Laparoscopic radical hepatectomy and lymphadenectomy for incidental gallbladder cancer. Surgical technique with ICG fluorescence enhancement. *Surg Oncol.* 2022 Jun;42:101756. <https://doi.org/10.1016/j.suronc.2022.101756>
35. Peul RC, Kharbanda RK, Koning S, Kruiswijk MW, Tange FP, van den Hoven P, et al. Intraoperative assessment of myocardial perfusion using near-infrared fluorescence and indocyanine green: A literature review. *JTCVS Tech.* 2025 Jan 28;30:81–93. <https://doi.org/10.1016/j.xjtc.2025.01.015>
36. Sosa MP, McNicholas DG, Bebla AB, Emont S, Cao Z, Lipkin C, et al. Ninety-day all-cause emergency room use among coronary artery bypass grafting patients associated with near-infrared fluorescence imaging: a retrospective cohort study. *Ann Med Surg (Lond).* 2023 Feb 7;85(2):153–160. <https://doi.org/10.1097/ms9.0000000000000206>
37. Lund-Johansen P. The dye dilution method for measurement of cardiac output. *Eur Heart J.* 1990 Dec;11 Suppl I:6–12. https://doi.org/10.1093/eurheartj/11.suppl_i.6
38. Reuthebuch O, Häussler A, Genoni M, Tavakoli R, Odavic D, Kadner A, Turina M. Novadaq SPY: intraoperative quality assessment in off-pump coronary artery bypass grafting. *Chest.* 2004 Feb;125(2):418–424. <https://doi.org/10.1378/chest.125.2.418>
39. Дмитриев А. Ю., Дашьян В. Г. Флуоресцеин натрия и индоцианин зеленый в нейроонкологии и хирургии артерио-венозных мальформаций головного мозга. Обзор литературы. *Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии.* 2021;8:614–627.
40. Свистов Д. В., Исаев Д. М., Гайворонский А. И., Чуриков Л. И., Беляков К. В. Интраоперационная флуоресцентная ангиография с индоцианином зеленым в хирургии повреждений периферических нервов. *Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии.* 2021;3:224–234.
41. Nishiyama Y, Kinouchi H, Senbokuya N, Kato T, Kanemaru K, Yoshioka H, Horikoshi T. Endoscopic indocyanine green video angiography in aneurysm surgery: an innovative method for intraoperative assessment of blood flow in vasculature hidden from microscopic view. *J Neurosurg.* 2012 Aug;117(2):302–308. <https://doi.org/10.3171/2012.5.jns112300>
42. Fischer G, Rediker J, Oertel J. Endoscope- versus microscope-integrated near-infrared indocyanine green videoangiography in aneurysm surgery. *J Neurosurg.* 2018 Nov 2;131(5):1413–1422. <https://doi.org/10.3171/2018.4.jns172650>
43. Tajsic T, Cullen J, Guilfoyle M, Helmy A, Kirolos R, Kirkpatrick P, Trivedi R. Indocyanine green fluorescence video angiography reduces vascular injury-related morbidity during micro-neurosurgical clipping of ruptured cerebral aneurysms: a retrospective observational study. *Acta Neurochir (Wien).* 2019 Nov;161(11):2397–2401. <https://doi.org/10.1007/s00701-019-04029-6>
44. Shimada K, Yamaguchi T, Miyamoto T, Sogabe S, Korai M, Okazaki T, et al. Efficacy of intraarterial superselective indocyanine green videoangiography in cerebral arteriovenous malformation surgery in a hybrid operating room. *J Neurosurg.* 2020 May 22;134(5):1544–1552. <https://doi.org/10.3171/2020.3.jns20319>
45. Zaidi HA, Abila AA, Nakaji P, Chowdhry SA, Albuquerque FC, Spetzler RF. Indocyanine green angiography in the surgical management of cerebral arteriovenous malformations: lessons learned in 130 consecutive cases. *Neurosurgery.* 2014 Jun;10 Suppl 2:246–51; discussion 251. <https://doi.org/10.1227/neu.0000000000000318>
46. Erdogan K, Mammadkhanli O, Abbasoglu B, Bayatli E, Ozden M, Bozkurt M. Evaluation of the Utility of Indocyanine Green Video Angiography in Cerebral Arteriovenous Malformation Surgery. *World Neurosurg.* 2023 Feb;170:e603–e611. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.11.076>
47. Руткин И. О., Бикетов М. А., Тимергалин И. В. Возможности использования ICG-NIR-хромоскопии при выполнении эндовидеохирургической резекции печени. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова.* 2018;177(5):80–82. <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2018-177-5-80-82>
48. Дубровин В. Ю., Тымчук С. С., Давлетшина В. В., Павлов Р. В., Кашенко В. А. Роль ICG-флуоресцентной визуализации в абдоминальной хирургической онкологии. *Сибирский онкологический журнал.* 2023;22(2):143–159. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2023-22-2-143-159>
49. Mc Entee PD, Singaravelu A, Boland PA, Moynihan A, Creavin B, Cahill RA. Impact of indocyanine green fluorescence angiography on surgeon action and anastomotic leak in colorectal resections. A systematic review and meta-analysis. *Surg Endosc.* 2025 Mar;39(3):1473–1489. <https://doi.org/10.1007/s00464-025-11582-y>

50. Завражнов А. А., Кашенко В. А., Ланков Т. С., Кузнецов В. Д., Новикова А. Д., Пасекова Д. С., и др. Количественная оценка перфузии тканей в колоректальной хирургии с использованием ICG флуоресценции: первый опыт. *Российский хирургический журнал*. 2025;1(2):118–127. <https://doi.org/10.18705/3034-7270-2025-1-2-118-127>
51. Mirza W, Iqbal H, Yasmin S, Khan ME, Khan A, Moeen-Ud-Din MB, et al. Indocyanine green fluorescence-guided perfusion vs. standard assessment to prevent clinical anastomotic leak after colorectal resection: a GRADE-assessed systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials with site-specific subgroup analysis. *World J Surg Oncol*. 2025 Dec 20;23(1):454. <https://doi.org/10.1186/s12957-025-04163-9>
52. Hussain K, Balamurugan G, Ravindra C, Kodali R, Hansalia DS, Rengan V. The impact of indocyanine green fluorescence angiography (ICG-FA) on anastomotic leak rates and postoperative outcomes in colorectal anastomoses: a systematic review. *Surg Endosc*. 2025 Feb;39(2):749–765. <https://doi.org/10.1007/s00464-025-11547-1>
53. Burghgraef TA, Zweep AL, Sikkenk DJ, van der Pas MHGM, Verheijen PM, Consten ECJ. In vivo sentinel lymph node identification using fluorescent tracer imaging in colon cancer: A systematic review and meta-analysis. *Crit Rev Oncol Hematol*. 2021 Feb;158:103149. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2020.103149>
54. Ushijima H, Kawamura J, Ueda K, Yane Y, Yoshioka Y, Daito K, et al. Visualization of lymphatic flow in laparoscopic colon cancer surgery using indocyanine green fluorescence imaging. *Sci Rep*. 2020 Aug 31;10(1):14274. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71215-3>
55. Lin W, Li Q, Sheng J, Zhao Y, Cui W. Quantitative analysis of peri-intestinal lymph node metastasis using indocyanine green fluorescence imaging technology. *Medicine (Baltimore)*. 2024 Aug 30;103(35):e39240. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000039240>
56. Rompianesi G, Montalti R, Giglio MC, Ceresa CDL, Nasto RA, De Simone G, Troisi RI. Systematic review, meta-analysis and single-centre experience of the diagnostic accuracy of intraoperative near-infrared indocyanine green-fluorescence in detecting pancreatic tumours. *HPB (Oxford)*. 2022 Nov;24(11):1823–1831. <https://doi.org/10.1016/j.hpb.2022.05.004>
57. Chen H, Liang Y, Lin Z, Xu C, Li J. Application of Indocyanine Green Fluorescence Imaging Technology in Laparoscopic Duodenum-Preserving Pancreatic Head Resection. *J Vis Exp*. 2025 Nov 21;(225). <https://doi.org/10.3791/68169>
58. Rompianesi G, Pegoraro F, Ramaci L, Ceresa CD, Montalti R, Troisi RI. Preoperative planning and intraoperative real-time navigation with indocyanine green fluorescence in robotic liver surgery. *Langenbecks Arch Surg*. 2023 Jul 31;408(1):292. <https://doi.org/10.1007/s00423-023-03024-x>
59. Aegerter NLE, Kuemmerli C, Billeter AT, Berchtold C, Nickel F, Guidetti C, et al; Robotic Liver Surgery Expert Group. Clinical practice of indocyanine green fluorescence imaging in robotic liver surgery – a global expert survey. *Surg Endosc*. 2026 Apr;40(4):3389–3402. <https://doi.org/10.1007/s00464-025-12553-z>
60. Мнацаканян М. К., Рубцова Н. А., Хамидов Д. Х., Петров Л. О., Сидоров Д. В., Каприн А. Д. Методы предоперационного прогнозирования пострезекционной печеночной недостаточности. *Онкология. Журнал им. П.А. Герцена*. 2022;11(5):70–77. <https://doi.org/10.17116/onkolog20221105170>
61. Каприн А. Д., Иванов С. А., Петров Л. О., Исаева А. Г. Применение ICG на этапах планирования и реализации резекций печени по поводу опухолей. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2023;(9-2):5–10. <https://doi.org/10.17116/hirurgia20230925>
62. Sampath S, Patkar S, Agarwal J, Ghosh K, Shet T, Gala K, et al. Predictive Value of Preoperative ICG-R15 Testing in Post-hepatectomy Liver Failure Following Major Liver Resection: Indian Experience. *Indian J Surg Oncol*. 2024 May;15(Suppl 2):297–304. <https://doi.org/10.1007/s13193-024-01884-3>
63. van Lienden KP, van den Esschert JW, de Graaf W, Bipat S, Lameris JS, van Gulik TM, van Delden OM. Portal vein embolization before liver resection: a systematic review. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2013 Feb;36(1):25–34. <https://doi.org/10.1007/s00270-012-0440-y>
64. Поляков А. Н., Коршак А. В., Котельников А. Г., Сагайдак И. В., Кудашкин Н. Е., Баталова М. В., и др. Предварительные результаты применения флуоресцентной лимфографии при резекции печени у больных билиарным раком. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2025;2:27–36. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202502127>
65. Zhang Y, Zhang Y, Zhu J, Tao H, Liang H, Chen Y, et al. Clinical application of indocyanine green fluorescence imaging in laparoscopic lymph node dissection for intrahepatic cholangiocarcinoma: A pilot study (with video). *Surgery*. 2022 Jun;171(6):1589–1595. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2021.09.032>
66. Панченков Д. Н., Иванов Ю. В., Тупикин К. А., Астахов Д. А., Лискевич Р. В. Интраоперационная визуализация желчных протоков с помощью индоцианина зеленого при лапароскопической холецистэктомии. *Анналы хирургической гепатологии*. 2019;24(4):131–138. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.20194131-138>

67. Serban D, Badiu DC, Davitoiu D, Tanasescu C, Tudosie MS, Sabau AD, et al. Systematic review of the role of indocyanine green near-infrared fluorescence in safe laparoscopic cholecystectomy (Review). *Exp Ther Med*. 2022 Feb;23(2):187. <https://doi.org/10.3892/etm.2021.11110>
68. Quaresima S, Balla A, Palmieri L, Seitaj A, Fingerhut A, Ursi P, Paganini AM. Routine near infra-red indocyanine green fluorescent cholangiography versus intraoperative cholangiography during laparoscopic cholecystectomy: a case-matched comparison. *Surg Endosc*. 2020 May;34(5):1959–1967. <https://doi.org/10.1007/s00464-019-06970-0>
69. Ромащенко П. Н., Алиев А. К., Прядко А. С., Абасов Ш. Ю., Майстренко Н. А. Клинико-экономическое обоснование холангиографии с индоцианином зеленым при «трудной» лапароскопической холецистэктомии. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2024;(4):105–111. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2024041105>
70. Вабалайте К. В., Сомова А. Д., Романчишен А. Ф. Использование флуорисцентной ангиографии с индоцианином зеленым в эндокринной хирургии – технология будущего для идентификации околощитовидных желез или мимолетное увлечение? *Голова и шея*. 2020;8(2):95–100.
71. Akkus D, Berber B, Pérez-Soto RH. Utility of Indocyanine Green in Intraoperative Imaging of Adrenal Tumors. *J Laparosc Adv Surg Tech A*. 2026 Jul;36(7):506–510. <https://doi.org/10.1177/10926429261442499>
72. Kahramangil B, Kose E, Berber E. Characterization of fluorescence patterns exhibited by different adrenal tumors: Determining the indications for indocyanine green use in adrenalectomy. *Surgery*. 2018 Nov;164(5):972–977. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2018.06.012>

References

1. Lu CH, Hsiao JK. Indocyanine green: An old drug with novel applications. *Tzu Chi Med J*. 2021 Apr 1;33(4):317–322. https://doi.org/10.4103/tcmj.tcmj_216_20
2. Reinhart MB, Huntington CR, Blair LJ, Heniford BT, Augenstein VA. Indocyanine Green: Historical Context, Current Applications, and Future Considerations. *Surg Innov*. 2016 Apr;23(2):166–175. <https://doi.org/10.1177/1553350615604053>
3. Zagainov EV, Karachun AM, Sapronov PA, Khromova EA, Kazantsev AI. Modern possibilities of fluorescent imaging in liver surgery. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2023;(10):98–106. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia202310198>
4. Erokhina EV, Tereshchenko AV. The new russian indocyanine green in the diagnosis of vascular pathology. *Modern Technologies in Ophthalmology*. 2024;4(56):69–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.25276/2312-4911-2024-4-69-70>
5. Patent No. 2734275 C1 Russian Federation, IPC G01N 21/64. Method for diagnosing the degree of blood filling of biological tissues and assessing blood flow and lymph flow parameters: No. 2019133172. Filed 18.10.2019. Publ. 14.10.2020. Grachev PV, Loschenov VB, Balyko IA. EDN PVFUEP. (In Russ.).
6. Firsov DV, Zhila ES, Atroshchenko AO, Ganova TD, Ganov DI. History and applications of indocyanine green in medical practice. literature review. *Bulletin of Medical Science*. 2024;3(35):96–103. (In Russ.). <https://doi.org/10.31684/25418475-2024-3-96>
7. Kaiser A, Pulido JS, Brucker A, Yonekawa Y, Bommakanti N. A Review of fluorescein angiography, indocyanine green angiography, and other fluorophores in ophthalmology. *Retina*. 2026 Jun 1;46(6):e49–e53. <https://doi.org/10.1097/iae.0000000000004727>
8. Takhchidi KhP, Kishkina VYa, Semenov AD, Kishkin YuI. *Fluorescent Angiography in Ophthalmic Surgery*. Moscow, 2007, 312 p. (In Russ.).
9. Yannuzzi LA. Indocyanine green angiography: a perspective on use in the clinical setting. *Am J Ophthalmol*. 2011 May;151(5):745–751.e1. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2011.01.043>
10. Slakter JS, Yannuzzi LA, Guyer DR, Sorenson JA, Orlock DA. Indocyanine-green angiography. *Curr Opin Ophthalmol*. 1995 Jun;6(3):25–32. <https://doi.org/10.1097/00055735-199506000-00005>
11. Panova IE, Samkovich EV, Melikhova MV, Grigoryeva NN. Indocyanine green angiography in the diagnostics of choroidal tumors. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2020;136(5):5–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/oftalma20201360515>
12. Schols RM, Dip F, Lo Menzo E, Haddock NT, Landin L, Lee BT, et al. Delphi survey of intercontinental experts to identify areas of consensus on the use of indocyanine green angiography for tissue perfusion assessment during plastic and reconstructive surgery. *Surgery*. 2022 Dec;172(6S):S46–S53. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2022.04.015>
13. Burnier P, Niddam J, Bosc R, Hersant B, Meningaud JP. Indocyanine green applications in plastic surgery: A review of the literature. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2017 Jun;70(6):814–827. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2017.01.020>

14. Huang X, Li H, Gu S, Gao Y, Khoong Y, Liu Y, et al. Intraoperative Indocyanine Green Angiography Facilitates Flap Fenestration and Facial Organ Fabrication in Total Facial Restoration. *Plast Reconstr Surg.* 2024 Jun 1;153(6):1416–1424. <https://doi.org/10.1097/prs.0000000000010891>
15. Montorfano L, Bordes SJ, Sarmiento Cobos M, Garcia Lopez EA, Medina M. Use of Indocyanine Green Angiography for Real-Time Assessment of a Sternocleidomastoid Muscle Flap During Complex Facial Reconstruction. *Cureus.* 2021 Mar 18;13(3):e13970. <https://doi.org/10.7759/cureus.13970>
16. Zikiryakhodzaev AD, Moshurova MV, Balayan EO, Timoshkin VO. Indocyanine green is an integral part of breast reconstructive surgery using perforator flaps. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2024;(8):34–40. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia202408134>
17. Wang Z, Jiao L, Chen S, Li Z, Xiao Y, Du F, et al. Flap perfusion assessment with indocyanine green angiography in deep inferior epigastric perforator flap breast reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Microsurgery.* 2023 Sep;43(6):627–638. <https://doi.org/10.1002/micr.31056>
18. Götzl R, Boos AM, Beier JP. Muss es immer das Abdomen sein? – Alternative Lappen zur mikrochirurgischen Brustrekonstruktion [Does it Always have to be the Abdomen? Alternative Flaps in Autologous Breast Reconstruction]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2022 Aug;54(4):339–348. German. <https://doi.org/10.1055/a-1880-0927>
19. Han T, Khavanin N, Zhu S, Zang M, Chen B, Li S, et al. A Comparison of Handheld Doppler and Indocyanine Green Angiography for Perforator Localization. *Ann Plast Surg.* 2022 Jul 1;89(1):89–94. <https://doi.org/10.1097/sap.0000000000003203>
20. Parmeshwar N, Sultan SM, Kim EA, Piper ML. A Systematic Review of the Utility of Indocyanine Angiography in Autologous Breast Reconstruction. *Ann Plast Surg.* 2021 May 1;86(5):601–606. <https://doi.org/10.1097/sap.0000000000002576>
21. Malagón-López P, Carrasco-López C, García-Senosian O, Vilà J, Del-Río M, Priego D, et al. When to assess the DIEP flap perfusion by intraoperative indocyanine green angiography in breast reconstruction? *Breast.* 2019 Oct;47:102–108. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2019.07.009>
22. Nguyen CL, Dayaratna N, Comerford AP, Tam SKM, Paredes SR, Easwaralingam N, et al. Cost-effectiveness of indocyanine green angiography in postmastectomy breast reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2022 Sep;75(9):3014–3021. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2022.04.050>
23. Keremov RK, Zikiryakhodzaev AD, Usov FN, Moshurova MV, Dzhabrailova DS, Naydina KA. The role of intraoperative and early postoperative assessment of skin flap perfusion in skin-sparing/subcutaneous mastectomies // Tumors of female reproductive system. 2025;21(2):69–74. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2025-21-2-69-74>
24. Johnson AC, Colakoglu S, Chong TW, Mathes DW. Indocyanine Green Angiography in Breast Reconstruction: Utility, Limitations, and Search for Standardization. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2020 Mar 27;8(3):e2694. <https://doi.org/10.1097/gox.0000000000002694>
25. Meshkin DH, Firriolo JM, Karp NS, Salibian AA. Management of complications following implant-based breast reconstruction: a narrative review. *Ann Transl Med.* 2023 Dec 20;11(12):416. <https://doi.org/10.21037/atm-23-1384>
26. Pitsinis V, Kanitkar R, Vinci A, Choong WL, Benson J. Results of a Prospective Randomized Multicenter Study Comparing Indocyanine Green (ICG) Fluorescence Combined with a Standard Tracer Versus ICG Alone for Sentinel Lymph Node Biopsy in Early Breast Cancer: The INFLUENCE Trial. *Ann Surg Oncol.* 2024 Dec;31(13):8848–8855. <https://doi.org/10.1245/s10434-024-16176-x>
27. Kwizera A, Obaid A, Tran D, Rubarth C, Preskitt JT. Use of indocyanine green for sentinel lymph node biopsy in melanoma. *Proc (Bayl Univ Med Cent).* 2022 Dec 6;36(2):201–204. <https://doi.org/10.1080/08998280.2022.2147385>
28. Fernandez MA, Clark HD, Iniesta MD, Munsell MF, Frumovitz M, Ramirez PT. Sentinel lymph node mapping with indocyanine green using SPY-PHI in open radical hysterectomy or trachelectomy. *Int J Gynecol Cancer.* 2024 Jan 5;34(1):28–34. <https://doi.org/10.1136/ijgc-2023-004787>
29. Dmitriev SP, Ter-Ovanesov MD, Kazakov AA, Burova TV, Aleksina VI, Maslov NM. Sentinel lymph node biopsy in head and neck tumors: current status from the standpoint of evidence-based medicine. The role of radioisotope diagnostics (literature review). *Russian Surgical Journal.* 2025;1(2):112–117. (In Russ.). <https://doi.org/10.18705/3034-7270-2025-1-2-112-117>
30. Efendiev K, Meshkova M, Alekseeva P, Udeneev A, Moskalev A, Loshchenov M, et al. Optimization of Intraoperative Near-Infrared Fluorescence Mapping with Indocyanine Green for Sentinel Lymph Node Detection in Cervical and Endometrial Cancer. *Pharmaceutics.* 2026 Feb 6;18(2):211. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics18020211>
31. Cornel KMC, Mehta MP, Swift BE, Covens A, Vicus D, Kupets RS, Gien LT. The use of indocyanine green (ICG) for sentinel lymph node detection in vulvar cancer. *Gynecol Oncol.* 2025 May;196:146–151. <https://doi.org/10.1016/j.ygyno.2025.03.039>

32. Chandra NB, Suhani S, Joshi M, Seenu V, Rathore R, Vyas S, et al. Evaluating Single Agent Indocyanine Green as an Alternative to Dual Dye-Tracer Mapping in Sentinel Lymph Node Biopsy for Breast Cancer: A Two-Arm Open-Label Randomized Controlled Trial. *World J Surg.* 2026 Feb;50(2):395–403. <https://doi.org/10.1002/wjs.70231>
33. Meng L, Zhu M, Yuan Y, Li Y, Wu H, Zhang W. Assessing the benefit of using indocyanine green in addition to methylene blue for breast cancer sentinel lymph node biopsy. *Medicine (Baltimore).* 2025 May 16;104(20):e42500. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000042500>
34. Luján J, Almeida A, López-Olaondo L, Rotellar F. Laparoscopic radical hepatectomy and lymphadenectomy for incidental gallbladder cancer. Surgical technique with ICG fluorescence enhancement. *Surg Oncol.* 2022 Jun;42:101756. <https://doi.org/10.1016/j.suronc.2022.101756>
35. Peul RC, Kharbanda RK, Koning S, Kruiswijk MW, Tange FP, van den Hoven P, et al. Intraoperative assessment of myocardial perfusion using near-infrared fluorescence and indocyanine green: A literature review. *JTCVS Tech.* 2025 Jan 28;30:81–93. <https://doi.org/10.1016/j.xjtc.2025.01.015>
36. Sosa MP, McNicholas DG, Bebla AB, Emont S, Cao Z, Lipkin C, et al. Ninety-day all-cause emergency room use among coronary artery bypass grafting patients associated with near-infrared fluorescence imaging: a retrospective cohort study. *Ann Med Surg (Lond).* 2023 Feb 7;85(2):153–160. <https://doi.org/10.1097/ms9.0000000000000206>
37. Lund-Johansen P. The dye dilution method for measurement of cardiac output. *Eur Heart J.* 1990 Dec;11 Suppl I:6–12. https://doi.org/10.1093/eurheartj/11.suppl_i.6
38. Reuthebuch O, Häussler A, Genoni M, Tavakoli R, Odavic D, Kadner A, Turina M. Novadaq SPY: intraoperative quality assessment in off-pump coronary artery bypass grafting. *Chest.* 2004 Feb;125(2):418–424. <https://doi.org/10.1378/chest.125.2.418>
39. Dmitriev AY, Dashyan VG. Sodium fluorescein and indocyanine green in neurooncology and surgery of cerebral arteriovenous malformations. Literature review. *Bulletin of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery.* 2021;8:614–627. (In Russ.).
40. Svistov DV, Isaev DM, Gaivoronsky AI, Churikov LI, Belyakov KV. Intraoperative fluorescence angiography with indocyanine green in peripheral nerve injury surgery. *Bulletin of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery.* 2021;3:224–234. (In Russ.).
41. Nishiyama Y, Kinouchi H, Senbokuya N, Kato T, Kanemaru K, Yoshioka H, Horikoshi T. Endoscopic indocyanine green video angiography in aneurysm surgery: an innovative method for intraoperative assessment of blood flow in vasculature hidden from microscopic view. *J Neurosurg.* 2012 Aug;117(2):302–308. <https://doi.org/10.3171/2012.5.jns112300>
42. Fischer G, Rediker J, Oertel J. Endoscope- versus microscope-integrated near-infrared indocyanine green videoangiography in aneurysm surgery. *J Neurosurg.* 2018 Nov 2;131(5):1413–1422. <https://doi.org/10.3171/2018.4.jns172650>
43. Tajsic T, Cullen J, Guilfoyle M, Helmy A, Kirollos R, Kirkpatrick P, Trivedi R. Indocyanine green fluorescence video angiography reduces vascular injury-related morbidity during micro-neurosurgical clipping of ruptured cerebral aneurysms: a retrospective observational study. *Acta Neurochir (Wien).* 2019 Nov;161(11):2397–2401. <https://doi.org/10.1007/s00701-019-04029-6>
44. Shimada K, Yamaguchi T, Miyamoto T, Sogabe S, Korai M, Okazaki T, et al. Efficacy of intraarterial superselective indocyanine green videoangiography in cerebral arteriovenous malformation surgery in a hybrid operating room. *J Neurosurg.* 2020 May 22;134(5):1544–1552. <https://doi.org/10.3171/2020.3.jns20319>
45. Zaidi HA, Abila AA, Nakaji P, Chowdhry SA, Albuquerque FC, Spetzler RF. Indocyanine green angiography in the surgical management of cerebral arteriovenous malformations: lessons learned in 130 consecutive cases. *Neurosurgery.* 2014 Jun;10 Suppl 2:246–51; discussion 251. <https://doi.org/10.1227/neu.0000000000000318>
46. Erdogan K, Mammadkhanli O, Abbasoglu B, Bayatli E, Ozden M, Bozkurt M. Evaluation of the Utility of Indocyanine Green Video Angiography in Cerebral Arteriovenous Malformation Surgery. *World Neurosurg.* 2023 Feb;170:e603–e611. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.11.076>
47. Rutkin IO, Biketov MA, Timergalin IV. Capabilities of using ICG/NIR-chromoscopy in performing endovideosurgical liver resections. *Grekov's Bulletin of Surgery.* 2018;177(5):80–82. (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2018-177-5-80-82>
48. Dubrovin VYu, Tymchuk SS, Davletshina VV, Pavlov RV, Kashchenko VA. The role of ICG-fluorescence imaging in abdominal surgical oncology. *Siberian Journal of Oncology.* 2023;22(2):143–159. (In Russ.). <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2023-22-2-143-159>
49. Mc Entee PD, Singaravelu A, Boland PA, Moynihan A, Creavin B, Cahill RA. Impact of indocyanine green fluorescence angiography on surgeon action and anastomotic leak in colorectal resections. A systematic review and meta-analysis. *Surg Endosc.* 2025 Mar;39(3):1473–1489. <https://doi.org/10.1007/s00464-025-11582-y>

50. Zavrzhnov AA, Kashchenko VA, Lankov TS, Kuznetsov VD, Novikova AD, Pasekova DS, et al. Quantitative assessment of tissue perfusion in colorectal surgery using ICG fluorescence: first experience. *Russian Surgical Journal*. 2025;1(2):118–127. (In Russ.). <https://doi.org/10.18705/3034-7270-2025-1-2-118-127>
51. Mirza W, Iqbal H, Yasmin S, Khan ME, Khan A, Moeen-Ud-Din MB, et al. Indocyanine green fluorescence-guided perfusion vs. standard assessment to prevent clinical anastomotic leak after colorectal resection: a GRADE-assessed systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials with site-specific subgroup analysis. *World J Surg Oncol*. 2025 Dec 20;23(1):454. <https://doi.org/10.1186/s12957-025-04163-9>
52. Hussain K, Balamurugan G, Ravindra C, Kodali R, Hansalia DS, Rengan V. The impact of indocyanine green fluorescence angiography (ICG-FA) on anastomotic leak rates and postoperative outcomes in colorectal anastomoses: a systematic review. *Surg Endosc*. 2025 Feb;39(2):749–765. <https://doi.org/10.1007/s00464-025-11547-1>
53. Burghgraef TA, Zweep AL, Sikkenk DJ, van der Pas MHGM, Verheijen PM, Consten ECJ. In vivo sentinel lymph node identification using fluorescent tracer imaging in colon cancer: A systematic review and meta-analysis. *Crit Rev Oncol Hematol*. 2021 Feb;158:103149. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2020.103149>
54. Ushijima H, Kawamura J, Ueda K, Yane Y, Yoshioka Y, Daito K, et al. Visualization of lymphatic flow in laparoscopic colon cancer surgery using indocyanine green fluorescence imaging. *Sci Rep*. 2020 Aug 31;10(1):14274. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71215-3>
55. Lin W, Li Q, Sheng J, Zhao Y, Cui W. Quantitative analysis of peri-intestinal lymph node metastasis using indocyanine green fluorescence imaging technology. *Medicine (Baltimore)*. 2024 Aug 30;103(35):e39240. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000039240>
56. Rompianesi G, Montalti R, Giglio MC, Ceresa CDL, Nasto RA, De Simone G, Troisi RI. Systematic review, meta-analysis and single-centre experience of the diagnostic accuracy of intraoperative near-infrared indocyanine green-fluorescence in detecting pancreatic tumours. *HPB (Oxford)*. 2022 Nov;24(11):1823–1831. <https://doi.org/10.1016/j.hpb.2022.05.004>
57. Chen H, Liang Y, Lin Z, Xu C, Li J. Application of Indocyanine Green Fluorescence Imaging Technology in Laparoscopic Duodenum-Preserving Pancreatic Head Resection. *J Vis Exp*. 2025 Nov 21;(225). <https://doi.org/10.3791/68169>
58. Rompianesi G, Pegoraro F, Ramaci L, Ceresa CD, Montalti R, Troisi RI. Preoperative planning and intraoperative real-time navigation with indocyanine green fluorescence in robotic liver surgery. *Langenbecks Arch Surg*. 2023 Jul 31;408(1):292. <https://doi.org/10.1007/s00423-023-03024-x>
59. Aegerter NLE, Kuemmerli C, Billeter AT, Berchtold C, Nickel F, Guidetti C, et al; Robotic Liver Surgery Expert Group. Clinical practice of indocyanine green fluorescence imaging in robotic liver surgery – a global expert survey. *Surg Endosc*. 2026 Apr;40(4):3389–3402. <https://doi.org/10.1007/s00464-025-12553-z>
60. Mnatsakanyan MK, Rubtsova NA, Khamidov DKH, Petrov LO, Sidorov DV, Kaprin AD. Methods for preoperative prediction of postresection hepatic failure. *P.A. Herzen Journal of Oncology*. 2022;11(5):70–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/onkolog20221105170>
61. Kaprin AD, Ivanov SA, Petrov LO, Isaeva AG. Indocyanine green in liver tumor resection. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2023;(9-2):5–10. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia20230925>
62. Sampath S, Patkar S, Agarwal J, Ghosh K, Shet T, Gala K, et al. Predictive Value of Preoperative ICG-R15 Testing in Post-hepatectomy Liver Failure Following Major Liver Resection: Indian Experience. *Indian J Surg Oncol*. 2024 May;15(Suppl 2):297–304. <https://doi.org/10.1007/s13193-024-01884-3>
63. van Lienden KP, van den Esschert JW, de Graaf W, Bipat S, Lameris JS, van Gulik TM, van Delden OM. Portal vein embolization before liver resection: a systematic review. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2013 Feb;36(1):25–34. <https://doi.org/10.1007/s00270-012-0440-y>
64. Polyakov AN, Korshak AV, Kotelnikov AG, Sagaidak IV, Kudashkin NE, Batalova MV, et al. Preliminary results of fluorescent lymphography in patients with biliary cancer undergoing liver resection. *Russian Journal of Surgery*. 2025;2:27–36. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia202502127>
65. Zhang Y, Zhang Y, Zhu J, Tao H, Liang H, Chen Y, et al. Clinical application of indocyanine green fluorescence imaging in laparoscopic lymph node dissection for intrahepatic cholangiocarcinoma: A pilot study (with video). *Surgery*. 2022 Jun;171(6):1589–1595. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2021.09.032>
66. Panchenkov DN, Ivanov YuV, Tupikin KA, Astakhov DA, Liskevich RV. Fluorescent imaging with indocyanine green for intraoperative biliary ducts examination during laparoscopic cholecystectomy. *Annals of HPB Surgery*. 2019;24(4):131–138. (In Russ.). <https://doi.org/10.16931/1995-5464.20194131-138>
67. Serban D, Badiu DC, Davitoiu D, Tanasescu C, Tudosie MS, Sabau AD, et al. Systematic review of the role of indocyanine green near-infrared fluorescence in safe laparoscopic cholecystectomy (Review). *Exp Ther Med*. 2022 Feb;23(2):187. <https://doi.org/10.3892/etm.2021.11110>

68. Quaresima S, Balla A, Palmieri L, Seitaj A, Fingerhut A, Ursi P, Paganini AM. Routine near infra-red indocyanine green fluorescent cholangiography versus intraoperative cholangiography during laparoscopic cholecystectomy: a case-matched comparison. *Surg Endosc.* 2020 May;34(5):1959–1967. <https://doi.org/10.1007/s00464-019-06970-0>
69. Romashchenko PN, Aliev AK, Pryadko AS, Abasov ShYu, Maistrenko NA. Clinical and economic justification of icg-cholangiography in "difficult" laparoscopic cholecystectomy. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2024;(4):105–111. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia2024041105>
70. Vabalayte KV, Somova AD, Romanchishen AF. The use of fluorescent angiography with indocyanine green in endocrine surgery – a future technology for identification of the parathyroid glands or a fleeting hobby? *Head and Neck.* 2020;8(2):95–100. (In Russ.).
71. Akkus D, Berber B, Pérez-Soto RH. Utility of Indocyanine Green in Intraoperative Imaging of Adrenal Tumors. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A.* 2026 Jul;36(7):506–510. <https://doi.org/10.1177/10926429261442499>
72. Kahramangil B, Kose E, Berber E. Characterization of fluorescence patterns exhibited by different adrenal tumors: Determining the indications for indocyanine green use in adrenalectomy. *Surgery.* 2018 Nov;164(5):972–977. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2018.06.012>

Информация об авторах:

Немечкина Анна Олеговна [✉] – научный сотрудник отдела онкопластической хирургии Московского научно-исследовательского онкологического института им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0382-5675>, eLibrary SPIN: 9387-5218, AuthorID: 1291347, Scopus Author ID: 60078985200

Давыдов Дмитрий Викторович – д.м.н., профессор, заведующий отделом онкопластической хирургии Московского научно-исследовательского онкологического института им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5506-6021>, eLibrary SPIN: 1368-2453, AuthorID: 535726, Scopus Author ID: 57196593897

Зирияходжаев Азиз Дильшодович – д.м.н., профессор, заведующий отделением онкологии и реконструктивно-пластической хирургии молочной железы и кожи Московского научно-исследовательского онкологического института им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; профессор кафедры онкологии, радиотерапии и пластической хирургии Института клинической медицины ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), г. Москва, Российская Федерация; профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7141-2502>, eLibrary SPIN: 8421-0364, AuthorID: 701248, Scopus Author ID: 57188717273

Тимошкин Владислав Олегович – врач-аспирант отделения онкологии и реконструктивно-пластической хирургии молочной железы и кожи Московского научно-исследовательского онкологического института им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2490-9353>, eLibrary SPIN: 5702-0965, AuthorID: 1129012, Scopus Author ID: 57218792892

Карпечкин Максим Олегович – научный сотрудник отдела онкопластической хирургии Московского научно-исследовательского онкологического института им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8817-2736>, eLibrary SPIN: 9058-4420, AuthorID: 978935, Scopus Author ID: 59189208800

Information about authors:

Anna O. Nemechkina [✉] – Research Fellow, Department of Oncoplastic Surgery, P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Moscow, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0382-5675>, eLibrary SPIN: 9387-5218, AuthorID: 1291347, Scopus Author ID: 60078985200

Dmitry V. Davydov – Dr. Sci. (Medicine), Professor, Head of the Department of Oncoplastic Surgery, P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Moscow, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5506-6021>, eLibrary SPIN: 1368-2453, AuthorID: 535726, Scopus Author ID: 57196593897

Aziz D. Zikiryakhodzaev – Dr. Sci. (Medicine), Head of the Department of Oncology and Reconstructive Plastic Surgery of the Breast and Skin, P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Moscow, Russian Federation; Associate Professor, Department of Oncology, Radiotherapy and Plastic Surgery, Institute of Clinical Medicine, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; Professor of the Department of Oncology and Radiology, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7141-2502>, eLibrary SPIN: 8421-0364, AuthorID: 701248, Scopus Author ID: 57188717273

Vladislav O. Timoshkin – Postgraduate Student, Department of Oncology and Reconstructive Plastic Surgery of the Breast and Skin, P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Moscow, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2490-9353>, eLibrary SPIN: 5702-0965, AuthorID: 1129012, Scopus Author ID: 57218792892

Maksim O. Karpechkin – Research Fellow, Department of Oncoplastic Surgery, P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – Branch of the National Medical Research Radiological Centre, Moscow, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8817-2736>, eLibrary SPIN: 9058-4420, AuthorID: 978935, Scopus Author ID: 59189208800

Участие авторов:

Немечкина А. О. – написание исходного текста, анализ и интерпретация данных;
Давыдов Д. В. – научное руководство, редактирование текста;
Зикиряходжаев А. Д. – концепция исследования, доработка текста;
Тимошкин В. О. – концепция исследования, доработка текста;
Карпечкин М. О. – концепция исследования, доработка текста.
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи и утвердили окончательный вариант, одобренный к публикации.

Contribution of the authors:

Nemchikina A. O. – writing of the original draft, data analysis and interpretation;
Davydov D. V. – scientific supervision, text editing;
Zikiryakhodzaev A. D. – research concept, text revision;
Timoshkin V. O. – research concept, text revision;
Karpechkin M. O. – research concept, text revision.
All authors made equivalent contributions to the preparation of the article and approved the final version for publication.

Конфликт интересов: все авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование: финансирование данной работы не проводилось.

Conflict of interest: the authors state that there are no conflicts of interest to disclose.

Funding: this work was not funded.

Статья поступила в редакцию 31.03.2026; одобрена после рецензирования 31.08.2026; принята к публикации 03.09.2026.
The article was submitted 31.03.2026; approved after reviewing 31.08.2026; accepted for publication 03.09.2026.