

DOI: <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2025-21-2-69-74>

Роль интраоперационной и ранней послеоперационной оценки перфузии кожного лоскута при кожесохраняющих/подкожных мастэктомиях

Р.К. Керемов¹, А.Д. Зикиряходжаев^{1, 2}, Ф.Н. Усов¹, М.В. Мошурова¹, Д.Ш. Джабраилова¹, К.А. Найдина¹

¹Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России; Россия, 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, 3;

²кафедра онкологии, радиотерапии и пластической хирургии Института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); Россия, 119991 Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2

Контакты: Рустам Камилович Керемов dr.keremov@bk.ru

Хирургический этап является основным в комплексном и комбинированном лечении больных раком молочной железы. После выполнения кожесохраняющих и подкожных мастэктомий существует риск возникновения послеоперационного осложнения в виде некроза кожного лоскута, связанного с недостаточной его перфузией. С целью снижения частоты послеоперационных осложнений необходимо улучшить качество интраоперационной оценки перфузии кожного лоскута после реконструктивно-пластических операций на молочной железе. В этой статье проведен обзор литературы, посвященной актуальным вопросам оценки эффективности и безопасности данной методики. Для оценки перфузии кожного лоскута была предложена ангиография с использованием красителя индоцианина зеленого. Метод включает интраоперационную инъекцию красителя с последующим освещением кожного лоскута с целью оценки перфузии и удаления нежизнеспособных тканей.

Ключевые слова: рак молочной железы, реконструкция молочной железы, некроз кожного лоскута, перфузия кожного лоскута, краситель индоцианин зеленый, подкожная и кожесохраняющая мастэктомия

Для цитирования: Керемов Р.К., Зикиряходжаев А.Д., Усов Ф.Н. и др. Роль интраоперационной и ранней послеоперационной оценки перфузии кожного лоскута при кожесохраняющих/подкожных мастэктомиях. Опухоли женской репродуктивной системы 2025;21(2):69–74.

DOI: <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2025-21-2-69-74>

The role of intraoperative and early postoperative assessment of skin flap perfusion in skin-sparing/subcutaneous mastectomies

R.K. Keremov¹, A.D. Zikiryakhodzhaev^{1, 2}, F.N. Usov¹, M.V. Moshurova¹, D.Sh. Dzhabrailova¹, K.A. Naydina¹

¹P.A. Hertzen Moscow Oncology Research Institute — branch of the National Medical Research Radiology Center, Ministry of Health of Russia; 3 2-oy Botkinskiy Proezd, Moscow 125284, Russia;

²Department of Oncology, Radiotherapy and Plastic Surgery, Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia; Build. 2, 8 Trubetskaya St., Moscow 119991, Russia

Contacts: Rustam Kamilovich Keremov dr.keremov@bk.ru

The surgical stage is the main one in the complex and combined treatment of patients with breast cancer. After performing skin-sparing and subcutaneous mastectomies, there is a risk of postoperative complications in the form of skin flap necrosis associated with its insufficient perfusion. In order to reduce the incidence of postoperative complications, it is necessary to improve the quality of intraoperative assessment of skin flap perfusion after reconstructive plastic surgery on the mammary gland. This article reviews the literature on current issues of assessing the efficacy and safety of this technique. Indocyanine green angiography has been proposed to assess skin flap perfusion. The method involves intraoperative injection of dye followed by illumination of the skin flap to assess perfusion and remove non-viable tissue.

Keywords: breast cancer, breast reconstruction, skin flap necrosis, skin flap perfusion, indocyanine green dye, subcutaneous and skin-sparing mastectomy

For citation: Keremov R.K., Zikiryakhodzhayev A.D., Usov F.N. et al. The role of intraoperative and early postoperative assessment of skin flap perfusion in skin-sparing/subcutaneous mastectomies. *Opukholi zhenskoy reproduktivnoy sistemy = Tumors of Female Reproductive System* 2025;21(2):69–74. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2025-21-2-69-74>

В структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями в Российской Федерации рак молочной железы занимает 1-е место, составляя 38,9 % по данным за 2023 г. [1].

Основным этапом при комплексном лечении больных раком молочной железы является хирургический. Реконструктивно-пластические операции — неотъемлемая часть хирургического этапа лечения. Выполнение подкожной и кожесохраняющей мастэктомии позволяет сохранить основные анатомические структуры молочной железы, вследствие чего удается получить хороший эстетический результат [2].

Данные последних публикаций доказывают высокую эффективность подкожной и кожесохраняющей мастэктомии при ее правильном выполнении [3].

После проведенной реконструктивно-пластической операции существует риск развития осложнения в виде некроза кожного лоскута и сосково-ареолярного комплекса (САК), связанного с недостаточной его перфузией.

Некроз кожного лоскута или САК вызывает потенциальное ухудшение эстетических результатов, откладывая последующие этапы комплексного лечения больных раком молочной железы. Данное осложнение может привести к присоединению инфекции, увеличению длительности дерматензии с использованием тканевого экспандера, потере имплантата и необходимости повторной операции. С целью профилактики осложнений, связанных с некрозом кожного лоскута, при подкожной и кожесохраняющей мастэктомии хирургом интраоперационно проводится оценка жизнеспособности кожного чехла, включающая оценку цвета кожного лоскута, наполнения капилляров, температуры и тургора лоскута, наличия кожного кровотечения.

В настоящее время данные методы оценки перфузии кожного чехла являются недостаточными для снижения частоты некроза кожного лоскута при кожесохраняющей и подкожной мастэктомии. В связи с этим в практику хирурга внедряется метод интраоперационной оценки перфузии кожного лоскута при помощи красителя индоцианина зеленого (indocyanine green, ICG).

Индоцианин зеленый — флуоресцентный краситель, который используется в медицине в качестве индикаторного вещества. Он вводится внутривенно и полностью выводится из организма печенью с пе-

риодом полураспада около 3–4 мин [5]. Краситель обычно выпускается в виде порошка и может быть разбавлен различными растворителями; для обеспечения лучшей растворимости обычно добавляют 5 % (<5 % в зависимости от партии) йодида натрия [6]. ICG одобрен во многих европейских странах и США под названиями ICG-Pulsion и IC-Green в качестве диагностического средства для внутривенного применения.

Индоцианин зеленый был разработан во время Второй мировой войны в качестве красителя для фотографии и протестирован в 1957 г. И.Дж. Фоксом в Mayo Clinic для использования в медицине. После получения одобрения Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США в 1959 г. ICG первоначально использовался в основном для диагностики функции печени, а затем в кардиологии. В 1964 г. С. Шиллинг смог с помощью ICG определить почечный кровоток. С 1969 г. ICG также использовался при исследовании и диагностике субретинальных процессов в сосудистой оболочке глаза. В настоящее время по всему миру опубликовано множество научных работ, посвященных успешному применению ICG в хирургии молочной железы, связанному с оценкой перфузии кожного лоскута [7].

В 2016 г. С.А. Harless и S.R. Jacobson провели ретроспективное исследование, в котором оценили частоту послеоперационных осложнений до и после внедрения методики с использованием ICG [8]. Целью работы была оценка положительного влияния применения ангиографии с использованием лазера и индоцианина зеленого (laser-assisted indocyanine green angiography, LA-ICGA) на снижение частоты послеоперационных осложнений, связанных с некрозом кожного лоскута. В исследование включили 269 пациентов, которым в сумме было проведено 467 реконструктивно-пластических операций, из них 254 реконструкции до внедрения LA-ICGA и 213 реконструкции после внедрения методики LA-ICGA на период с 2008 по 2013 г. Была проведена сравнительная оценка частоты послеоперационных осложнений до и после внедрения технологии LA-ICGA. Согласно полученным данным, после внедрения методики LA-ICGA частота некроза кожного лоскута при мастэктомии снизилась на 86 % (6,7 % против 0,9 %, $p = 0,02$). Общая частота осложнений до внедрения методики

LA-ICGA составляла 13,8 % по сравнению с 6,6 % при использовании LA-ICGA ($p = 0,01$). Авторы сделали вывод о том, что применение интраоперационной оценки перфузии кожного лоскута при помощи методики LA-ICGA позволяет хирургу объективно оценить перфузию кожного лоскута при реконструктивно-пластических операциях, что приводит к тенденции снижения частоты осложнений, связанных с некрозом кожного лоскута.

В 2018 г. L. Zeyang и соавт. опубликовали работу, в которой проанализировали результаты проведенных реконструктивно-пластических операций с использованием методики интраоперационной оценки перфузии кожного лоскута при помощи ICG [9]. В исследовании отмечено, что ICG-ангиография позволяет мгновенно и точно выявить перфузию кожного лоскута во время реконструктивно-пластической операции, что позволяет правильно выстраивать интраоперационную стратегию с целью снижения частоты послеоперационных осложнений, связанных с некрозом лоскута. Авторы также отметили безопасность данного метода и отсутствие побочных реакций. Кроме того, не исключается и экономическое преимущество использования ICG, связанное со снижением частоты послеоперационных осложнений и, как следствие, снижением частоты повторных операций.

В 2015 г. M. Dua и соавт. провели исследование, в котором оценивали роль использования ICG при выполнении реконструктивно-пластических операций с сохранением САК. В исследовании проводилась интраоперационно-предоперационная оценка перфузии САК (рис. 1), что позволяло выбрать оптимальный хирургический доступ.

По результатам проведенного исследования были сделаны выводы о том, что интраоперационная оцен-

ка перфузии САК при реконструктивно-пластических операциях позволяет хирургам модифицировать операционный доступ для снижения риска развития послеоперационных осложнений, связанных с некрозом САК [10].

В 2018 г. S.J. Mirhaidari и соавт. оценили роль использования ICG в интраоперационном анализе перфузии кожного лоскута при одномоментной реконструкции молочной железы с помощью имплантата [11]. В исследовании приняли участие 126 пациенток. Был проведен послеоперационный анализ 193 одномоментных реконструкций при помощи имплантата с интраоперационной оценкой качества перфузии кожного лоскута. В 1-ю группу включили 137 реконструкций с визуальной оценкой и оценкой при помощи ICG, которая свидетельствовала о хорошей и адекватной перфузии кожного лоскута. Во 2-ю группу вошли 20 реконструкций, где была визуализирована недостаточная перфузия. И в 3-ю группу включили 26 реконструкций, где визуальная интерпретация была адекватной, а перфузия кожного лоскута, оцененная при помощи ICG, — слабой. В 1-й группе частота некрозов составила 5,8 %, проведены 2 повторные операции без потери имплантата. Во 2-й группе частота некроза составила 35 %, в 16 из этих случаев было проведено хирургическое вмешательство без потери имплантата. И наконец, в 3-й группе частота некрозов составила 42,3 %, при этом было проведено 16 повторных операций по поводу некроза и отмечена 1 потеря имплантата. Исходя из проведенного анализа, авторы сделали вывод о том, что наличие оценки перфузии кожного лоскута при помощи ICG позволяет точнее прогнозировать осложнение в виде некроза кожного лоскута по сравнению с наличием только оценки хирурга. Когда принятие решений хирургом дополняется применением методики ICG-ангиографии, это снижает частоту некроза лоскута, инфекции, потери имплантата и общую частоту повторных операций. Метод интраоперационной оценки перфузии кожного лоскута при помощи ICG-ангиографии является ценным дополнением для принятия решений в ходе реконструктивно-пластической операции.

В исследовании, опубликованном в 2017 г. M.L. Venturi и соавт. [12], оценивалась способность ICG прогнозировать некроз САК при подкожной мастэктомии с сохранением САК и одномоментной реконструкцией. Для определения плохой перфузии использовались относительные показатели перфузии; показатель перфузии $<5\%$ определялся как ишемический. В исследование было включено 20 пациенток, которым в сумме проведены 32 реконструктивно-пластические операции с сохранением САК. По результатам исследования у 3 (10 %) из 20 пациенток развился частичный или полный некроз САК. К примеру, у одной из пациенток были отмечены частичный

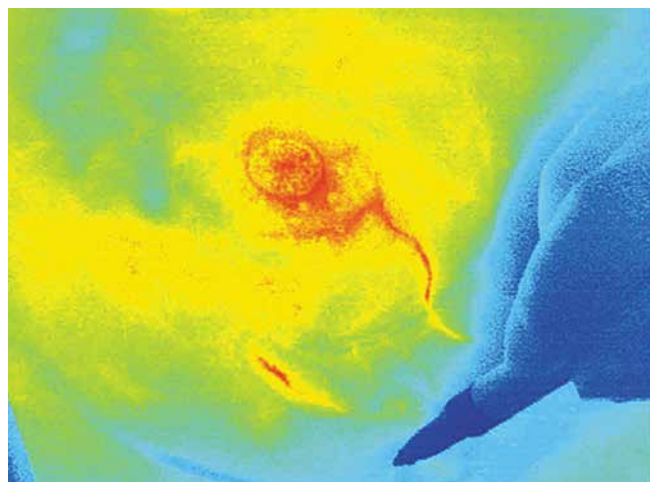


Рис. 1. Оценка перфузии сосково-ареолярного комплекса с помощью индоцианина зеленого

Fig. 1. Evaluation of nipple-areolar complex perfusion using indocyanine green

двусторонний некроз САК и гипопигментация после двусторонних мастэктомий (рис. 2–4). Никаких интраоперационных корректировок не проводилось. Таким образом, можно сделать вывод, что применение ICG позволило правильно спрогнозировать послеоперационный некроз САК.

В 2020 г. А. Momeni и С. Shekter провели ретроспективное исследование, целью которого являлась оценка положительного влияния ICG-ангиографии на снижение риска некроза подкожной жировой клетчатки после реконструктивно-пластических операций [13]. В исследование включили 80 пациенток, которым было проведено 137 реконструктивно-пластических операций. Тип лоскута был единственным значимым различием между 2 группами, причем в группе ICG чаще использовались лоскуты с глубоким нижним эпигастральным перфоратором (43,1 % против 25,3 %, $p = 0,038$).

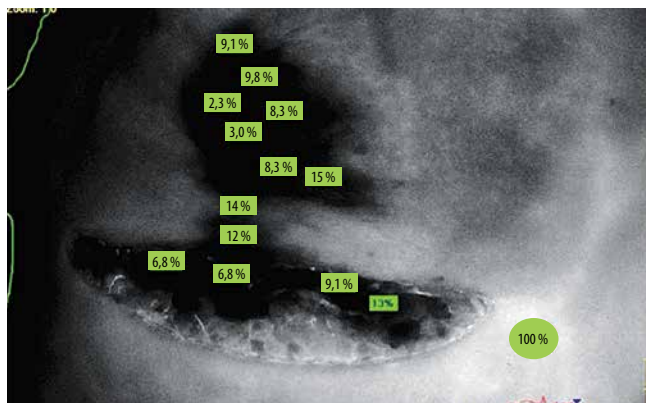


Рис. 2. Интраоперационная оценка перфузии лоскута и сосково-ареолярного комплекса при помощи индоцианина зеленого (правая молочная железа)

Fig. 2. Intraoperative assessment of flap and nipple-areolar complex perfusion using indocyanine green (right breast)

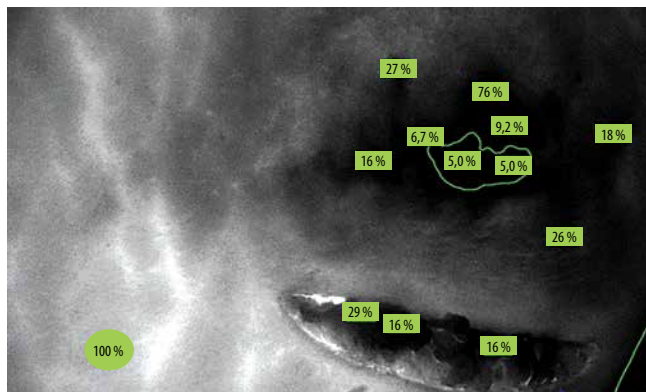


Рис. 3. Интраоперационная оценка перфузии лоскута и сосково-ареолярного комплекса при помощи индоцианина зеленого (левая молочная железа)

Fig. 3. Intraoperative assessment of flap and nipple-areolar complex perfusion using indocyanine green (left breast)



Рис. 4. Состояние молочной железы через 3 мес после проведенного хирургического лечения

Fig. 4. Condition of the mammary gland 3 months after surgical treatment

Общая частота некроза жировой ткани в послеоперационном периоде составила 14,6 % (20 из 137 лоскутов). При сравнении по когортам в стандартной группе было обнаружено 18 (22,8 %) из 79 лоскутов с жировым некрозом, тогда как в группе ICG — только 2 (3,4 %) (отношение шансов 0,11; 95 % доверительный интервал 0,02–0,60; $p = 0,011$). Других существенных различий в профиле осложнений не было. Авторы сделали вывод о том, что интраоперационное использование ICG-ангиографии значительно снижает риск возникновения липонекрозов, что, в свою очередь, снижает частоту ревизионных операций.

В 2022 г. М. Mastronardi и соавт. опубликовали статью, в которой определили значение качественной и количественной ангиографии с использованием ICG для оценки перфузии кожного лоскута при реконструктивно-пластических операциях [14]. В исследовании авторы оценивали возможную корреляцию между качественным и количественным уровнем оценки перфузии кожного лоскута с использованием ICG-ангиографии и некрозом кожи. В работу проспективно были включены пациентки, которым планировалась подкожная или кожесохраняющая мастэктомия с сохранением САК на период с 2020 по 2021 г. Пациентки были разделены на 2 группы. В группу 1 вошли пациентки, у которых поверхностного и полного некроза не наблюдалось, а в группу 2 — пациентки, у которых развился некроз. Были собраны показатели T1 (время между введением ICG и начальной перфузией наименее перфузированной области), ICG-Q1 и ICG-Q (%) (абсолютные и относительные значения перфузии наименее васкуляризированной области). Было рассмотрено 38 случаев проведения подкожной и кожесохраняющей мастэктомии с сохранением САК. Полный некроз был зафиксирован в 4 (10,5 %) случаях, а частичный — в 3 (7,9 %). Между 2 группами

обнаружены статистически значимые различия в показателях T1 (в группе 1 меньше, чем в группе 2) и ICG-Q (%) (в группе 1 больше, чем в группе 2) ($p < 0,05$). Показатель T1 статистически значимо прогнозировал величины показателей ICG-Q1 и ICG-Q (%). Оба количественных показателя имели чувствительность 57 % и отрицательную прогностическую ценность 89 %; ICG-Q % продемонстрировал более высокую специфичность (81 % против 77 %) и положительную прогностическую ценность (40 % против 36 %). Авторы пришли к выводу о том, что количественная ангиография с использованием ICG может дополнительно уменьшить вероятность некроза кожного лоскута. Большой показатель T1 может указывать на возможный послеоперационный некроз. Определение скорости начальной перфузии наименее перфузируемой области может статистически значимо прогнозировать абсолютные и относительные значения перфузии наименее васкуляризированной области. Авторы заключили, что количественная ICG-ангиография может дополнительно улучшить качество интраоперационной оценки перфузии кожного лоскута и уменьшить вероятность возникновения полного или частичного некроза кожного лоскута. Более того, длительный период времени между введением ICG и начальной перфузией наименее перфузируемой области может указывать на возможный послеоперационный некроз. Таким образом, это позволяет хирургам интраоперационно менять тактику хирургического лечения с целью уменьшения вероятности развития некроза кожного чехла.

В 2019 г. P. Malagón-López и соавт. провели исследование, в котором оценивалась роль использования ICG при выполнении односторонней мастэктомии с реконструкцией DIEP-лоскутом. В исследование была включена 61 пациентка (24 случая с интраоперационным использованием ICG-ангиографии, 37 — без ее использования (контрольная группа)). Период наблюдения составил 1 год. Данные показали, что часто-

та некроза жировой ткани в контрольной группе составила 59,5 % против 29 % в группе ICG. Авторы сделали вывод о том, что внедрение в практику ICG-ангиографии позволило вдвое снизить частоту липонекрозов [15].

В 2020 г. R. Varela и соавт. опубликовали работу, в которую была включена в общей сложности 51 пациентка. Пациентки были разделены на 2 группы: в 1-й группе им была проведена реконструкция молочной железы DIEP-лоскутом без применения интраоперационной ICG-ангиографии, а во 2-й группе была применена ICG-ангиография. Лоскуты пациенток 2-й группы показали более высокую скорость перфузии ($p = 0,001$). В 1-й группе частота некроза жировой ткани составила 59,3 %, зарегистрировано 4 (18,2 %) случая частичного некроза и 4 (14,8 %) повторные операции. Во 2-й группе частота некроза жировой ткани составила 8,3 %, и не было зарегистрировано ни одного случая частичного некроза и повторных операций. Авторы сделали вывод о том, что ICG-ангиография значительно снижает частоту некроза жировой ткани без уменьшения размеров лоскутов. Флуоресцентная ангиография с ICG может считаться безопасным и эффективным инструментом для улучшения результатов реконструкции молочной железы с помощью DIEP-лоскута [16].

Таким образом, интраоперационная ангиография с ICG является полезным инструментом для определения тканевой перфузии кожного лоскута во время подкожной и кожесохраняющей мастэктомии с одномоментной реконструкцией. Использование данной методики снижает частоту послеоперационных осложнений, связанных с некрозом кожного чехла, что, в свою очередь, положительно сказывается на лечении и позволяет получить хорошие эстетические результаты. Будущее данной методики заключается в постоянном совершенствовании технологий прогнозирования некроза лоскута для получения более точных значений перфузии.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Злокачественные новообразования в России в 2022 году (заболеваемость и смертность). Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М., 2023. С. 18. Malignant neoplasms in Russia in 2022 (morbidity and mortality). Ed. by A.D. Kaprin, V.V. Starinskiy, A.O. Shakhzadova. Moscow, 2023. P. 18. (In Russ.).
2. Зикиряходжаев А.Д., Рассказова Е.А., Тукмаков А.Ю., Широких И.М. Рецидивы после радикальных подкожных/кожесохраняющих мастэктомий с одномоментной реконструкцией при раке молочной железы. Исследование и практика в медицине 2019;(6):33–40.
3. Zikiryakhodzaev A.D., Rasskazova E.A., Tukmakov A.Yu., Shirokikh I.M. Recurrences after radical subcutaneous/skin-sparing mastectomies with simultaneous reconstruction for breast cancer. Issledovanie i praktika v meditsine = Research and Practice in Medicine 2019;(6):33–40. (In Russ.).
3. McCartan D., Sacchini V.S. Skin-Sparing Mastectomy. In: Oncoplastic and Reconstructive Breast Surgery. Springer, 2019. DOI: 10.1007/978-3-319-62927-8_20
4. Indocyanine green solution. National Cancer Institute. Available at: <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-drug/def/indocyanine-green-solution>.

5. Wipper S. Validation of fluorescent angiography for intraoperative monitoring and quantitative assessment of myocardial perfusion. Munich, 2006. Pp. 18–23.
6. Augustin A.J., Kriegelstein G.K. Augenheilkunde. Springer-Verlag, 2001.
7. Alander J.T., Kaartinen I., Laakso A. et al. A review of indocyanine green fluorescent imaging in surgery. *Int J Biomed Imaging* 2012;2012:940585. DOI: 10.1155/2012/940585
8. Harless C.A., Jacobson S.R. Tailoring through technology: A retrospective review of a single surgeon's experience with implant-based breast reconstruction before and after implementation of laser-assisted indocyanine green angiography. *Breast J* 2016;22(3):274–81. DOI: 10.1111/tbj.12576
9. Zeyang L., Dajiang S., Zan L. et al. Application progress of indocyanine green angiography in breast reconstruction. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi* 2018;32(11):1463–8. DOI: 10.7507/1002-1892.201803040
10. Dua M., Bertoni D.M., Nguyen D. et al. Using intraoperative laser angiography to safeguard nipple perfusion in nipple-sparing mastectomy. *Gland Surg* 2015;4(6):497–505. DOI: 10.3978/j.issn.2227-684X.2015.04.15
11. Mirhaidari S.J., Beddell G.M., Orlando M.V. et al. A prospective study of immediate breast reconstruction with laser-assisted indocyanine green angiography. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2018;6:e1774. DOI: 10.1097/GOX.0000000000001774
12. Venturi M.L., Mesbahi A.N., Copeland-Halperin L.R. et al. SPY elite's ability to predict nipple necrosis in nipple-sparing mastectomy and immediate tissue expander reconstruction. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2017;5:e1334. DOI: 10.1097/GOX.0000000000001334
13. Momeni A., Sheckter C. Intraoperative laser-assisted indocyanine green imaging can reduce the rate of fat necrosis in microsurgical breast reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 2020;145(3):507e–13e. DOI: 10.1097/PRS.00000000000006547
14. Mastronardi M., Fracon S., Scomersi S. et al. Role of qualitative and quantitative indocyanine green angiography to assess mastectomy skin flaps perfusion in nipple/skin-sparing and skin-reducing mastectomies with implant-based breast reconstruction. *Breast J* 2022;2022:5142100. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2022/5142100>.
15. Malagón-López P., Vilà J., Carrasco-López C. et al. Intraoperative indocyanine green angiography for fat necrosis reduction in the deep inferior epigastric perforator (DIEP) flap. *Aesthet Surg J* 2019;39:NP45–54.
16. Varela R., Casado-Sanchez C., Zarbakhsh S. et al. Outcomes of DIEP flap and fluorescent angiography: a randomized controlled clinical trial. *Plast Reconstr Surg* 2020;145:1–10. DOI: 10.1097/PRS.00000000000006393

Вклад авторов

Р.К. Керемов: написание статьи, обзор публикаций по теме статьи;
 А.Д. Зикиряходжаев: разработка дизайна исследования, научная консультация;
 Д.Ш. Джабраилова: научная консультация, редактирование статьи;
 Ф.Н. Усов, М.В. Мошурова, К.А. Найдина: обзор публикаций по теме статьи.

Authors' contributions

R.K. Keremov: writing the article, reviewing publications on the topic of the article;
 A.D. Zikiryakhodzaev: development of the study design, scientific consultation;
 D.Sh. Dzhabrailova: scientific consultation, editing the article;
 F.N. Usov, M.V. Moshurova, K.A. Naydina: reviewing publications on the topic of the article.

ORCID авторов / ORCID of authors

Р.К. Керемов / R.K. Keremov: <https://orcid.org/0009-0006-6012-4760>
 А.Д. Зикиряходжаев / A.D. Zikiryakhodzaev: <https://orcid.org/0000-0001-7141-2502>
 Ф.Н. Усов / F.N. Usov: <https://orcid.org/0000-0001-9510-1434>
 М.В. Мошурова / M.V. Moshurova: <https://orcid.org/0000-0003-4141-8414>
 Д.Ш. Джабраилова / D.Sh. Dzhabrailova: <https://orcid.org/0000-0002-7283-2530>
 К.А. Найдина / K.A. Naydina: <https://orcid.org/0000-0001-8371-6909>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Funding. The work was performed without external funding.

Статья поступила: 10.03.2025. Принята к публикации: 31.03.2025. Опубликовано онлайн: 31.07.2025.

Article submitted: 10.03.2025. Accepted for publication: 31.03.2025. Published online: 31.07.2025.