

К.И. Медведев, А.А. Завьялов

ЛАЗЕРНАЯ ДОПЛЕРОВСКАЯ ФЛОУМЕТРИЯ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА У ПАЦИЕНТОВ С ОНКОЛОГИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Медведев Кирилл Игоревич: kirillme11@yandex.ru

Резюме

Нарушение микроциркуляции в тканях организма может быть причиной различных заболеваний. В процессе хирургического лечения пациентов с онкологическими заболеваниями страдает часть сосудов, которые участвуют в кровоснабжении кожи и других органов. С целью улучшения процесса заживления раны и предотвращения различных осложнений, целесообразно сохранять, поддерживать и улучшать кровоснабжение в поврежденных тканях. Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) – это легкодоступный неинвазивный метод, который играет важную роль в эффективной оценке состояния микроциркуляторного русла у пациентов с онкологическими заболеваниями.

ЛДФ помогла получить важнейшую информацию для изучения принципов микрососудистой функции и дисфункции. Метод основан на измерении изменения скорости кровотока в определенном объеме ткани за единицу времени. Во время исследования ткань облучается лазерным светом, регистрируется отраженный сигнал и анализируется доплеровский сдвиг частоты, возникающий при взаимодействии света с движущимися эритроцитами.

ЛДФ может использоваться для своевременного выявления причин возникновения осложнений при реконструктивно-пластических операциях, прогнозе развития острых кожных лучевых реакций при проведении облучения, несостоятельности различных анастомозов в послеоперационном периоде.

Ключевые слова: микроциркуляция, лазерная доплеровская флоуметрия, онкология, злокачественные новообразования

Для цитирования: Медведев К.И., Завьялов А.А. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния микроциркуляторного русла у пациентов с онкологическими заболеваниями // Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна 2025. №3. С. 62–66. DOI: 10.33266/2782-6430-2025-3-62-66

K.I. Medvedev, A.A. Zavialov

Laser Doppler Flowmetry in Assessing the State of the Microcirculatory System in Patients with Cancer

International Office, State Research Center - Burnasyan Federal Medical Biophysical Center
of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Contact person: Medvedev Kirill Igorevich: kirillme11@yandex.ru

Abstract

Violation of microcirculation in body tissues can lead to various diseases. During the surgical treatment of patients with cancer, some of the blood vessels that supply the skin and other organs may be affected. To improve wound healing and prevent complications, it is important to maintain and enhance blood flow to damaged tissues.

Laser Doppler flowmetry (LDF) is a non-invasive technique that plays a crucial role in assessing the microcirculation of patients with cancer. It is easy to use and provides valuable information about the condition of blood flow in tissues.

LDF has helped to obtain crucial information for studying the principles of microvascular function and dysfunction. This method is based on measuring the change in blood flow velocity in a specific volume of tissue over a given time period. During the study, tissue is irradiated with laser light, and the reflected signal is recorded. The Doppler frequency shift that occurs when light interacts with moving red blood cells is then analyzed.

LDF can be useful for timely identifying the causes of complications during reconstructive plastic surgery, predicting the development of acute skin reactions during radiation therapy, and monitoring the success of various anastomosis procedures in the postoperative period.

Keywords: microcirculation, laser doppler flowmetry, oncology, malignant neoplasms

For citation: Medvedev K.I., Zavialov A. A. Functional Disorders after Mastectomy. Methods for Their Correction. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Clinical Bulletin. 2025.3:62-66. (In Russian) DOI: 10.33266/2782-6430-2025-3-62-66

Введение

Нарушение микроциркуляции играет ключевую роль в развитии различных заболеваний. Оно развивается при системных заболеваниях таких как сахарный диабет, артериальная гипертензия, системные васкулиты и др [1]. Травматизация тканей с локальным нарушением микроциркуляции сопряжена с абсолютным большинством хирургических вмешательств. Значительная часть операций при злокачественных новообразованиях, сопровождается удалением большого объема тканей, а также включает различные виды реконструкций с использованием кожно-жировых, мышечных и других лоскутов [2]. В процессе хирургического лечения страдает часть сосудов, которые участвуют в кровоснабжении кожи и других органов и тканей. С целью улучшения процесса заживления и предотвращения осложнений, целесообразно сохранять, поддерживать и улучшать кровоснабжение в поврежденных структурах [3].

Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) – это метод, позволяющий изучить функциональное состояние микроциркуляторного русла.

Целью работы является изучение эффективности лазерной доплеровской флоуметрии в оценке микроциркуляторного русла у пациентов с онкологическими заболеваниями.

Материалы и методы. Поиск источников информации проводился в PubMed, Google Scholar. Горизонт исследования данных литературы составлял 10 лет. В поисковых запросах применялись термины: «microcirculation», «laser doppler flowmetry», «oncology», «malignant neoplasms», а также другие словарные и тематические формы. При систематизации материала предпочтение отдавалось научным трудам, опубликованным в период 2019-2025 гг.

Микроциркуляторное русло (МР) включает в себя кровеносные сосуды, которые невозможно визуализировать человеческим глазом. Это сосуды с диаметром менее 150 мкм - артериолы, капилляры и венулы. МР кожи состоит из двух параллельно расположенных в дерме сплетений. Верхнее сплетение принимает активное участие в питании кожи и состоит из артериол и венул, диаметр которых равен около 20 мкм, а также капиллярных петель, которые идут перпендикулярно поверхности кожи. Нижнее сплетение расположено на границе дермы и подкожно-жировой клетчатки, его образуют артерий и вены, отходящие от нижележащей мышечной и жировой ткани. От них отходят восходящие артериолы и нисходящие венулы, соединяясь с верхним сплетением. Артериолы при этом образуют микрососудистые сети для кровоснабжения потовых желез и волосяных фолликулов [4]. МР кожи выполняет регуляцию тканевой перфузии, капиллярного и системного кровяного давления, а также принимает активное участие в терморегуляции, что необходимо для поддержания нормальной температуры тела. Таким образом, МР человеческой кожи представляет собой сложную анатомическую структуру, со своими специфическими функциями [5].

На сегодняшний день существуют различные простые и неинвазивные методы оценки МР, один из них – это лазерная доплеровская флоуметрия.

Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) помогла получить важнейшую информацию для изучения принципов терморегуляции и микрососудистой функции и дисфункции. Главное преимущество этого метода — его простота и неинвазивность. Он основан на измерении изменения скорости кровотока в определенном объеме ткани за единицу времени. Во время исследования ткань облучается лазерным светом, регистрируется отраженный сигнал и анализируется доплеровский сдвиг частоты, возникающий при взаимодействии света с движущимися красными кровяными тельцами или эритроцитами. Применяется алгоритм усреднения, что позволяет вычислить средний доплеровский сдвиг частоты для всех эритроцитов, попавших в зондируемую область. Полученный параметр называется перфузией, измеряется в относительных или перфузионных единицах и пропорционален количеству эритроцитов и их средней скорости [6]. Самый простой способ исследования кровотока с помощью ЛДФ — это регистрация базовой перфузии. Прибор фиксирует уровень перфузии в режиме «реального времени», после чего строится график временной зависимости перфузии — ЛДФ-грамма. Анализ ЛДФ-граммы включает в себя расчет среднего значения, среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации перфузии за определенный промежуток времени [7]. Определить точный объем ткани и глубину проникновения зонда ЛДФ является затруднительным. Для этого необходимо идентифицировать отдельный кровеносный сосуд и эритроцит, которые взаимодействовали со светом от зонда ЛДФ, более того, повышенная концентрация молекул гемоглобина может уменьшать глубину проникновения лазера и скрывать более глубокие молекулы. Таким образом, самый сильный сигнал исходит от эритроцитов, находящихся ближе всего к источнику лазера, и сила сигнала ослабевает по мере увеличения глубины проникновения. Поэтому считается, что глубина проникновения ЛДФ в ткани с относительно высокой концентрацией гемоглобина, как в случае с тканью скелетных мышц, будет меньше. Однако, было приблизительно подсчитано, что глубина проникновения луча в кожную ткань составляет от 1,0 до 1,5 мм², что соответствует примерно 1мм³ ткани. Таким образом, учитывая строение микроциркуляторного русла кожи, принято считать, что сигнал ЛДФ генерируется от сосудов верхнего сплетения [8].

На сегодняшний день ЛДФ применяется для исследования состояния микроциркуляторного русла различных тканей и органов, кроме кожи это мышцы, печень, мозг, кости, пульпа зуба, дёсны и др.

ЛДФ в оценке свободных кожных лоскутов

Свободный кожный лоскут — это участок ткани, который можно переместить из донорского участка на реципиентный, с сохранением собственного кровоснабжения. Реконструкция с использованием

свободных кожных лоскутов – эффективный метод устранения больших дефектов с превосходным косметическим и функциональным результатом. Он широко используется для коррекции участков хирургического лечения в различных частях тела, включая голову и шею, грудь, конечности и т.д. [9]. Однако, несмотря на все преимущества дефицит кровотока и нарушение микроциркуляции возникает в 3-5% случаев, что ведет к возникновению тромбоза и несостоятельности свободного кожного лоскута. Несвоевременная диагностика приводит к потере лоскута, что требует немедленного повторного хирургического вмешательства, более длительного восстановления и влияет на качество жизни пациентов [10].

В проспективном исследовании Н. Kodama и др. 71 пациенту была выполнена реконструктивно-пластическая операция на органах головы и шеи. С целью мониторинга осложнений и оценки перфузии кожного лоскута использовалась ЛДФ. В результате исследования нарушения кровотока были диагностированы в 9 случаях (13,0 %). Повторная операция потребовалась в 8 случаях (11,6 %), включая замену лоскута, повторное наложение сосудистых анастомозов и удаление гематомы. ЛДФ продемонстрировала способность выявлять проблемы с перфузией за несколько часов до появления клинических симптомов [11].

В другом исследовании P. Salvatori и др. 110 пациентам также были выполнены реконструктивно-пластические операции на органах головы и шеи с использованием свободных кожных лоскутов, состояние которых оценивалось с помощью ЛДФ. Время мониторинга составляло от 3 до 7 дней, 24 часа в сутки. В 104 из 110 (94,5%) случаев послеоперационный период протекал без осложнений, а анализ графиков показал почти постоянное увеличение скорости кровотока в течение первых трёх послеоперационных дней, после чего она стабилизировалась. В 6 из 110 (5,5%) случаев были выявлены нарушения кровоснабжения лоскута. Выявление значимых отклонений: уменьшение или полное исчезновение показателей по данным ЛДФ считалось фактором развития осложнений и при их подтверждении проводилось срочное хирургическое лечение [12].

Таким образом, авторы обоих исследований делают выводы, что ЛДФ – это эффективный метод раннего выявления нарушений перфузии свободных кожных лоскутов. Он обеспечивает возможность мониторинга микроциркуляции в реальном времени, что способствует своевременной диагностике и принятию мер для лечения осложнений.

В систематическом обзоре и метаанализе J.M. Smit и др. изучались методы интраоперационной оценки перфузии свободного лоскута и её влияние на потерю лоскута. Были проанализированы результаты оценки у 2009 пациентов. При этом ЛДФ использовалась в оценке перфузии лоскута у 761 пациента. Несмотря на различные ограничения методов, авторы пришли к выводу, что для интраоперационного измерения перфузии свободного лоскута ЛДФ и флуоресцентная визуализация являются наиболее подходящими методами. Их использование

позволяет вовремя распознать угрозу жизнеспособности свободного кожного лоскута и принять меры к её устранению [13].

ЛДФ в оценке острых кожных реакций при лучевой терапии

Давно известно, что адъювантная лучевая терапия после радикальной мастэктомии снижает риск местного рецидива и улучшает общую выживаемость у женщин с местно-распространенным раком молочной железы (РМЖ) [14].

Однако, почти у 90 % пациенток появляются острые кожные реакции в зоне облучения, которые варьируются от легкой эритемы, до тяжелых изъязвлений. К поздним осложнениям относят атрофию кожи, диспигментацию, дисхромии, рубцевание тканей и фиброз. Хронические изменения, которые приводят к радиационно-индуцированному фиброзу могут проявиться через несколько месяцев или лет [15].

Есть предположение, что радиочувствительность кожи обусловлена её высокой способностью к пролиферации и высокой потребностью базальных клеток в кислороде. Лучевая терапия приводит к нарушению микроциркуляции и снижению оксигенации тканей кожи.

Ухудшение микроциркуляции может способствовать инфицированию ран и экструдии имплантов у пациенток, которым была проведена реконструкция молочной железы [16].

Целью исследования S. Elawa и др. явилось, определение связи между адъювантной лучевой терапией после мастэктомии, состоянием микроциркуляции и насыщением кислородом кожи. А также, оценка реакции на местное применение сосудорасширяющего средства (СРС). Эти показатели оценивались у 31 женщины через 2 года после комплексного лечения РМЖ. В качестве метода оценки использовали ЛДФ и спектроскопию диффузного отражения (СДО). Изучаемые показатели в контралатеральной груди использовались в качестве контрольных. В результате исследования не было выявлено существенных различий в показателях перфузии кожи между облученной и необлученной стороной до применения СРС. После применения СРС у 81% пациенток, разница в перфузии кожи между необлученной и подвергшейся ЛТ грудной стенкой составила $\geq 10\%$. Основной результат исследования заключается в том, что перфузия кожи и насыщение крови кислородом после стимуляции СРС значительно ниже в облученной грудной стенке по сравнению с контролем. Таким образом, авторы пришли к выводам, что поздние микрососудистые изменения, вызванные лучевой терапией, значительно влияют на перфузию и оксигенацию кожи, а осложнения, возникающие после реконструкции молочной железы у данной группы пациентов, отчасти могут быть объяснены изменениями в микроциркуляторном русле. В свою очередь, использование ЛДФ в сочетании с СДО и нагрузочной пробой с СРС, являются ценными инструментами в принятии решений о целесообразности проведения реконструктивных операций после лучевой терапии [17].

Е. Tesselaar и др. оценивали различные методы исследования микроциркуляции кожи до, во время и после адъювантной лучевой терапии, для прогнозирования острых кожных лучевых реакций. Одним из методов оценки была ЛДФ. В исследование были включены 15 пациенток после органосохранного лечения РМЖ I-II стадии, которым была показана адъювантная лучевая терапия. Измерения проводились перед началом лечения, один раз в неделю во время лечения и непосредственно после последнего сеанса. Было установлено, что ЛДФ и лазерная спекл-контрастная визуализация (ЛСКВ) могут быть использованы для более раннего прогноза развития кожной реакции, еще до того, как будут видны первые кожные проявления [18].

Другие способы использования ЛДФ

Ишемия считается основной причиной возникновения свищей и несостоятельности желудочно-пищеводных анастомозов, после эзофагэктомии. Safi N и др. оценивали микроциркуляцию в тканях желудка и желудочно-пищеводного анастомоза во время минимально-инвазивной эзофагэктомии с помощью ЛДФ и спектроскопии в видимом диапазоне во время операции. В проспективном исследовании приняли участие 10 пациентов которым была проведена минимально-инвазивная эзофагэктомия по поводу рака пищевода с предварительной неоадъювантной химиолучевой терапией. Оценка микроциркуляции проводилась в определенных заранее анатомических точках на разных этапах операции. По результату исследования во всех точках измерения было обнаружено снижение уровня насыщения тканей кислородом. Среднее снижение от исходного уровня составляло 16% при формировании желудочной трубки и 42% после формирования анастомоза, стоит отметить, что у трёх пациентов, у которых в послеоперационном периоде возникли осложнения, эти изменения были более выражены. В заключении авторы пришли к выводу, что использование данных методов оценки могут дать представление о микроциркуляторных изменениях в зоне операции. А у пациентов с несостоятельностью анастомоза, по-видимому, наблюдается критическое снижение уровня насыщения тканей кислородом и венозный застой, которые следует изучить более детально [19].

Привлекает внимание проспективное когортное исследование Bask E и др. в котором ЛДФ использовалась для оценки перфузии толстой и прямой кишки в области анастомоза, до и после операции. Сравнивали влияние лапароскопической передней резекции прямой кишки с тотальной мезоректумэктомией (ТМЭ) и частичной мезоректумэктомией (ЧМЭ) на уровень перфузии тканей в зоне операции. Было проанализировано 28 пациентов, 17-ти была проведена ТМЭ и 11-ти ЧМЭ. По результатам исследования была статистически значимая разница в кровотоке прямой кишки при различных видах оперативного вмешательства: у пациентов с ТМЭ послеоперационный кровоток был снижен, относительно пациентов, с использованием ЧМЭ. Это, по мнению авторов, может объяснять различия в частоте возникновения несостоятельности анастомозов [20].

Заключение

Таким образом, оценка микроциркуляторного русла с использованием лазерной доплеровской флоуметрии нашла свое применение в различных отраслях медицины. ЛДФ является легкодоступным, неинвазивным методом оценки микроциркуляции в различных тканях и органах. Метод широко используется у пациентов с онкологическими заболеваниями. ЛДФ достаточно эффективен для прогнозирования и своевременного выявления осложнений при реконструктивно-пластических операций, несостоятельности различных анастомозов, возможного развития острых кожных лучевых реакций и др. ЛДФ зарекомендовала себя достаточно простым в исполнении, эффективным и доказанным многими клиническими исследованиями методом оценки микроциркуляторного русла.

Использование ЛДФ в сочетании с другими диагностическими методами, такими как спектроскопия и нагрузочные пробы, открывает новые возможности для улучшения качества лечения пациентов, что особенно важно в области онкологии и реконструктивной хирургии. В перспективе этот метод может стать стандартом для мониторинга состояния микроциркуляции в различных клинических ситуациях, улучшая прогноз и повышая безопасность медицинских вмешательств.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ/REFERENCES

1. Агафонова М.А., Туровина Е.Ф., Шукалович О.А., Елфимова И.В. Роль лазерной доплеровской флоуметрии в оценке микроциркуляторного русла // Медицинская наука и образование Урала. 2022. Т.23. №3. С. 163-167. [Agafonova M.A., Turovinina Ye.F., Shukalovich O.A., Yelfimova I.V. The Role of Laser Doppler Flowmetry in Assessing the Microcirculatory Bed. Meditsinskaya Nauka i Obrazovaniye Urala = Medical Science and Education of the Urals. 2022;23;3:163-167 (In Russ.)]. doi: 10.36361/18148999_2022_23_3_163. EDN SNLYSQ.
2. Katz M.H.G., Francescatti A.B., Hunt K.K. Cancer Surgery Standards Program of the American College of Surgeons. Technical Standards for Cancer Surgery: Commission on Cancer Standards 5.3-5.8. Ann Surg Oncol. 2022 Oct;29;11:6549-6558. doi: 10.1245/s10434-022-11375-w. Epub 2022 Feb 20. PMID: 35187620.
3. Авдошенко К.Е., Постникова Е.В. Роль лазерной доплеровской флоуметрии в оценке рисков возникновения трофических нарушений в кожно-жировых лоскутах боковых отделов лица и шеи при омолаживающих операциях у курящих пациентов // Пластическая хирургия и эстетическая медицина. 2023. №4. С. 37-43 [Avdoshenko K.Ye., Postnikova Ye.V. The Role of Laser Doppler Flowmetry in Assessing the Risks of Trophic Disorders in Skin-Fat Flaps of the Lateral Parts of the Face and Neck during Rejuvenation Operations in Smoking Patients. Plasticheskaya Khirurgiya i Esteticheskaya Meditsina = Plastic Surgery and Aesthetic Medicine. 2023;4:37-43 (In Russ.)]. doi.org/10.17116/plast.hirurgia202304137.
4. Cracowski J.L., Roustit M. Human Skin Microcirculation. Compr Physiol. 2020 Jul 8;10;3:1105-1154. doi: 10.1002/cphy.c190008. PMID: 32941681.
5. Senarathna J., Pathak A.P. Visualizing the Microcirculation. Microcirculation. 2022 Oct;29;6-7:e12785. doi: 10.1111/micc.12785. PMID: 36125801. PMCID: PMC10703342.
6. Luck J.C., Kunselman A.R., Herr M.D., Blaha C.A., Sinoway L.I., Cui

- J. Multiple Laser Doppler Flowmetry Probes Increase the Reproducibility of Skin Blood Flow Measurements. *Front Physiol.* 2022 May 30;13:876633. doi: 10.3389/fphys.2022.876633. PMID: 35711302. PMCID: PMC9197318.
7. Guigui A., Loader J., Bellier A., Roustit M. Commentary: Multiple Laser Doppler Flowmetry Probes Increase the Reproducibility of Skin Blood Flow Measurements. *Front Physiol.* 2022 Oct 17;13:1025905. doi: 10.3389/fphys.2022.1025905. PMID: 36324305. PMCID: PMC9619133.
 8. Cracowski J.L., Roustit M. Current Methods to Assess Human Cutaneous Blood Flow: an Updated Focus on Laser-Based-Techniques. *Microcirculation.* 2016 Jul;23;5:337-44. doi: 10.1111/micc.12257. PMID: 26607042.
 9. Caine P., Jeevaratnam J.A., Misky A., Nikkhah D. Core Techniques in Flap Reconstructive Microsurgery - a Stepwise Guide. Springer, Nature Switzerland AG. 2023. Post-Operative Monitoring. Pp. 39–46.
 10. Forner D., Williams B.A., Makki F.M., Trites J.R.B., Taylor S.M., Hart R.D. Late Free Flap Failure in Head and Neck Reconstruction: a Systematic Review. *Ear Nose Throat J.* 2018;97;7:213–216. doi: 10.1177/014556131809700712.
 11. Kodama H., Ishida K., Hirayama H., Orgun D., Kawashima K., Nikkhah D., May J., Kyriacou P.A., Miyawaki T. The Future of Free Flap Monitoring by Laser Continuous Doppler Flowmetry: A Prospective Assessment in Consecutive 71 Patients. *JPRAS Open.* 2024 Nov 17;43:140-152. doi: 10.1016/j.jpra.2024.11.004. PMID: 39717710. PMCID: PMC11665381.
 12. Salvatori P., Paradisi S., Zani A. Free Flaps Monitoring by Laser-Doppler Flowmetry in Head and Neck Surgery. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2022 Oct;42;5:427-433. doi: 10.14639/0392-100X-N1956. PMID: 36541380. PMCID: PMC9793142.
 13. Smit J.M., Negenborn V.L., Jansen S.M., Jaspers M.E.H., de Vries R., Heymans M.W., Winters H.A.H., van Leeuwen T.G., Mullender M.G., Krekel N.M.A. Intraoperative Evaluation of Perfusion in Free Flap Surgery: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Microsurgery.* 2018 Oct;38;7:804-818. doi: 10.1002/micr.30320. Epub 2018 Mar 25. PMID: 29577423.
 14. McGale P., Taylor C., Correa C., Cutter D., Duane F., Ewertz M., et al. Effect of Radiotherapy after Mastectomy and Axillary Surgery on 10-year Recurrence and 20-year Breast Cancer Mortality: Meta-Analysis of Individual Patient Data for 8135 Women in 22 Randomised Trials. *Lancet.* 2014;383;9935:2127–2135. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60488-8.
 15. Straub J.M., New J., Hamilton C.D., Lominska C., Shnyder Y., Thomas S.M. Radiation-Induced Fibrosis: Mechanisms and Implications for Therapy. *J. Cancer Res. Clin. Oncol.* 2015;141;11:1985–1994. doi: 10.1007/s00432-015-1974-6.
 16. Elawa S., Mirdell R., Stefanis A., Tesselaar E., Farnebo S. Microcirculatory Changes in the Skin after Postmastectomy Radiotherapy in Women with Breast Cancer. *Sci Rep.* 2024 Feb 20;14;1:4149. doi: 10.1038/s41598-024-54650-4. PMID: 38378732. PMCID: PMC10879083.
 17. Elawa S., Fredriksson I., Steinvall I., Zötterman J., Farnebo S., Tesselaar E. Skin Perfusion and Oxygen Saturation after Mastectomy and Radiation Therapy in Breast Cancer Patients. *Breast.* 2024 Jun;75:103704. doi: 10.1016/j.breast.2024.103704. Epub 2024 Mar 6. PMID: 38460441. PMCID: PMC10943105.
 18. Tesselaar E., Flejmer A.M., Farnebo S., Dasu A. Changes in Skin Microcirculation during Radiation Therapy for Breast Cancer. *Acta Oncol.* 2017 Aug;56;8:1072-1080. doi: 10.1080/0284186X.2017.1299220. Epub 2017 Mar 10. PMID: 28281359.
 19. Safi N., Johannessen H.O., Medhus A.W., Mala T., Kazmi S.S.H. Laser Doppler Flowmetry and Visible Light Spectroscopy of the Gastric Tube during Minimally Invasive Esophagectomy. *Vasc Health Risk Manag.* 2020 Nov 27;16:497-505. doi: 10.2147/VHRM.S269138. PMID: 33273819. PMCID: PMC7708681.
 20. Back E., Brännström F., Svensson J., Rutegård J., Matthiessen P., Haapamäki M.M., Rutegård M. Mucosal Blood flow in the Remaining Rectal Stump is More Affected by Total Than Partial Mesorectal Excision in Patients Undergoing Anterior Resection: a key to Understanding Differing Rates of Anastomotic Leakage? *Langenbecks Arch Surg.* 2021 Sep;406;6:1971-1977. doi: 10.1007/s00423-021-02182-0. Epub 2021 May 18. PMID: 34008097. PMCID: PMC8481164.ы

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 13.03.2025. Принята к публикации: 05.04.2025.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The study had no sponsorship.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.
Article received: 13.03.2025. Accepted for publication: 05.04.2025