

<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-402-414>

Роль нарушений микроциркуляции в развитии послеоперационных осложнений в абдоминальной хирургии

Рыжков Иван Александрович — к.м.н, ведущий научный сотрудник, лаборатория экспериментальных исследований, orcid.org/0000-0002-0631-5666

Варнакова Лидия Александровна — младший научный сотрудник, лаборатория экспериментальных исследований, orcid.org/0000-0003-4420-1923

Фонова Полина Александровна — младший научный сотрудник, лаборатория экспериментальных исследований, orcid.org/0000-0000-7224-7131

И.А. Рыжков, Л.А. Варнакова, П.А. Фонова*

НИИ общей реаниматологии им. В. А. Неговского Федерального научно-клинического центра реаниматологии и реабилитологии, Россия, Москва

* **Контакты:** Рыжков Иван Александрович, e-mail: iryzhkov@fnkcr.ru

Аннотация

Послеоперационные осложнения являются насущной проблемой клинической медицины, ухудшая прогноз и повышая риск летального исхода у хирургических пациентов, особенно в абдоминальной и онкологической хирургии. Согласно современным представлениям микроциркуляторная дисфункция является важным патофизиологическим фактором, лежащим в основе гипоперфузии тканей и развития неблагоприятных послеоперационных исходов. В данном обзоре обобщены современные данные о взаимосвязи между нарушениями микроциркуляции (в области операции и в организме в целом) и послеоперационными осложнениями в абдоминальной хирургии. В обзоре рассматриваются следующие вопросы: (1) эпидемиология послеоперационных осложнений и актуальность этой проблемы в клинической хирургии и реаниматологии; (2) патофизиология периоперационных микроциркуляторных нарушений, включая геморрагический шок, диссеминированное внутрисосудистое свертывание (ДВС-синдром) и эндотелиальную дисфункцию; (3) органоспецифические изменения микроциркуляции при хирургических заболеваниях; (4) современные методы диагностики и мониторинга для оценки тканевой перфузии; (5) прогностическое и диагностическое значение ряда параметров микроциркуляции; и (6) современные терапевтические подходы к оптимизации тканевой перфузии и профилактике осложнений. Понимание важной роли микроциркуляции в обеспечении перфузии и оксигенации тканей обосновывает применение методов интенсивной терапии, ориентированных на микроциркуляцию и, следовательно, предупреждение ишемии органов и риска инфекционных и других послеоперационных осложнений.

Ключевые слова: микроциркуляция, послеоперационные осложнения, тканевая перфузия, эндотелиальная дисфункция, абдоминальная хирургия, онкология

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FGWS-2025-0008).

Вклад авторов:

Рыжков И.А. — идея и план обзора, написание разделов черновой версии, редактирование финальной версии обзора, общее руководство проектом;

Варнакова Л.А. — поиск и систематизация литературных источников, написание разделов черновой версии обзора;

Фонова П.А. — поиск и систематизация литературных источников, написание разделов черновой версии обзора; оформление текста рукописи и подготовка к отправке в журнал.

Для цитирования: Рыжков И.А., Варнакова Л.А., Фонова П.А. Роль нарушений микроциркуляции в развитии послеоперационных осложнений в абдоминальной хирургии. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(4):402–414. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-402-414>

Поступила в редакцию: 14.10.2025

Поступила после рецензирования и доработки: 18.11.2025

Принята к публикации: 21.11.2025

Effects of Microcirculation Disorders on the Development of Postoperative Complications in Abdominal Surgery

Ivan A. Ryzhkov*, Lidia A. Varnakova, Polina A. Fonova

V.A. Negovskiy Scientific Research Institute of General Resuscitation, Federal Scientific and Clinical Centre of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russian Federation

*Correspondence to: Ivan A. Ryzhkov, e-mail: iryzhkov@fnkcr.ru

Ivan A. Ryzhkov — Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Laboratory of Experimental Research, orcid.org/0000-0002-0631-5666

Lidia A. Varnakova — Junior Researcher, Laboratory of Experimental Research, orcid.org/0000-0003-4420-1923

Polina A. Fonova — Junior Researcher, Laboratory of Experimental Research, orcid.org/0009-0000-7224-7131

Abstract

Postoperative complications represent a pressing issue of clinical medicine, worsening the prognosis and increasing the risk of death in surgical patients, especially in abdominal and oncological surgery. According to contemporary concepts, microcirculatory dysfunction appears to be an important pathophysiological factor underlying tissue hypoperfusion and development of unfavorable postoperative outcomes. The present review summarizes current data on the relationship between microcirculation disorders both in the surgical area and body as a whole and postoperative complications of abdominal surgery. The review addresses the following issues: (1) epidemiology of postoperative complications and its relevance in clinical surgery and resuscitation; (2) pathophysiology of perioperative microcirculatory disorders, including hemorrhagic shock, disseminated intravascular coagulation (DIC) and endothelial dysfunction; (3) organ-specific changes in microcirculation in surgical diseases; (4) contemporary diagnostic and monitoring methods for tissue perfusion assessment; (5) prognostic and diagnostic value of a number of microcirculation parameters; (6) contemporary therapeutic approaches to tissue perfusion optimization and complication prevention. Understanding the important role of microcirculation in ensuring tissue perfusion and oxygenation justifies the use of intensive care methods focused on microcirculation and thus the prevention of organ ischemia, infectious and other postoperative complications.

Keywords: microcirculation, postoperative complications, tissue perfusion, endothelial dysfunction, abdominal surgery, oncology

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

Sponsorship data. The research was carried out as assigned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, subject No. FGWS-2025-0008.

Author contributions:

I.A. Ryzhkov – idea and plan of the review, writing of the draft version sections, editing of the final version, general management;

L.A. Varnakova – search and systematization of literature sources, writing of the draft version sections;

P.A. Fonova – search and systematization of literature sources, writing of the draft version sections, formatting of the manuscript text and its preparation for submission to the journal.

For citation: Ryzhkov I.A., Varnakova L.A., Fonova P.A. Effects of microcirculation disorders on the development of postoperative complications in abdominal surgery. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(4):402–414. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-4-402-414>

Received: 14.10.2025

Revised: 18.11.2025

Accepted: 21.11.2025

ВВЕДЕНИЕ

Большие хирургические операции (например, лапаротомия с резекцией толстой кишки) направлены на спасение жизни и здоровья пациента, тем не менее представляют для пациента значительный физиологический стресс, активирующий множество компенсаторных реакций организма [1]. Несмотря на то что развитие хирургических технологий и методов интенсивной терапии существенно снизили периоперационную летальность, различные послеоперационные осложнения остаются значимой проблемой клинической хирургии. Их частота в отделениях общей хирургии в среднем составляет 15–20 %, при этом почти в 40 % таких случаев у пациента развивается несколько осложнений [2, 3]. Развитие послеоперационных осложнений зависит от многих факторов, но все больше данных указывают на микроциркуляторную дисфункцию как на один из важнейших патофизиологических механизмов, связывающих первоначальную хирургическую травму с последующей органной дисфункцией и тяжелыми осложнениями [4]. Пациенты онкологического профиля имеют дополнительные факторы риска развития тяжелых послеоперационных осложнений, вызванных тканевой гипоперфузией (склонность к гиперкоагуляции и тромбозам, сниженный нутритивный статус и регенерация тканей, иммуносупрессия и др.) [5, 6].

Микроциркуляторное русло, включающее артериолы, капилляры и вены диаметром менее 100 мкм, служит так называемым «нутритивным» звеном сердечно-сосудистой системы, осуществляющим доставку кислорода и питательных веществ к тканям и выведение продуктов жизнедеятельности. Нарушение микроциркуляторного кровотока в периоперационном периоде может привести к гипоксии тканей, дисфункции органов и хирургическим осложнениям [7]. Исторически периоперационное ведение хирургических пациентов было сосредоточено на поддержании параметров системной гемодинамики, включая артериальное давление, сердечный выброс и центральное венозное давление, являющихся движущей силой регионального кровообращения и обеспечивающих адекватную системную доставку кислорода [8]. Однако понимание того, что микроциркуляция в отдельных органах может быть существенно нарушена, несмотря на вполне нормальные значения параметров системной гемодинамики, коренным образом изменило представления о физиологии и патофизиологии тканевой перфузии [9]. Согласно этой концепции многофакторные расстройства микроциркуляции (особенно при сепсисе и шоке) приводят к гипоксии, активации воспалительных каскадов, коагулопатии и, в конечном счете, к полиорганной дисфункции — независимо от стабильности системной гемодинамики. Тем самым в стратегии предупреждения послеоперационных осложнений, наряду с традиционными хирургическими аспектами ведения пациентов (асептика, минимизация операционной травмы, контроль гемостаза, перевязки и т. п.), в комплексе мер интенсивной терапии все большее место занимает регулярная оценка перфузии и оксигенации тканей как в области хирургического вмешательства,

так и в организме в целом. На основании этой оценки может проводиться персонализированная коррекция как хирургической тактики, так и направленности интенсивной терапии.

В данном обзоре обобщены современные представления о роли микроциркуляторных нарушений в развитии послеоперационных осложнений после операций на органах брюшной полости, с особым акцентом на онкологических вмешательствах. Рассмотрены эпидемиология и клиническая значимость этой проблемы, патофизиология микроциркуляторных расстройств, современные диагностические подходы к их выявлению, обсуждаются результаты клинических и доклинических исследований в этой области, а также современные терапевтические стратегии.

Эпидемиология послеоперационных осложнений в абдоминальной и онкологической хирургии

Послеоперационные осложнения после обширных абдоминальных операций существенно влияют как на краткосрочные, так и на долгосрочные результаты лечения пациента. При плановых обширных абдоминальных операциях общая частота осложнений колеблется от 12,8 до 24,1 %, при этом тяжелые осложнения (III степени по шкале Clavien-Dindo и выше) возникают у 6–14 % пациентов. При больших хирургических операциях внутригоспитальная летальность увеличивается с 3 до 5–10 % [2, 10].

Эта проблема особенно остро стоит в онкохирургии, где сочетание злокачественных новообразований, обширной резекции и сниженного функционального резерва создает повышенную уязвимость этой категории пациентов. После гастрэктомии по поводу рака желудка послеоперационные осложнения возникали примерно у 24 % пациентов [11]. Наиболее частыми были легочные осложнения (5,6 %), несостоятельность анастомоза (4,6 %) и жидкостные скопления в брюшной полости (3,8 %). Несостоятельность кишечного анастомоза имеет особенно серьезные последствия. Обобщение результатов исследований позволяет предположить, что своевременное распознавание и устранение несостоятельности анастомоза может значительно снизить летальность. В колоректальной хирургии частота несостоятельности анастомозов колеблется от 3 до 15 %, представляя собой основной источник заболеваемости (в частности, абдоминального сепсиса), длительной госпитализации и летальности [12].

Медико-социальная значимость послеоперационных осложнений выходит далеко за рамки непосредственного периода госпитализации. Даже относительно легкие осложнения (I–II степени по Clavien-Dindo) могут быть прогностическими факторами неблагоприятного течения заболевания в отдаленном периоде, при этом возникновение двух или более осложнений любой степени тяжести тесно связано с последующей общей заболеваемостью и неблагоприятными исходами [13]. Качество жизни у таких пациентов может значительно и стойко снижаться, сохраняясь на низком уровне до 12 месяцев после операции [10]. Более того, послеоперационные

осложнения негативно влияют на онкологические исходы: в нескольких исследованиях продемонстрирована связь между осложнениями и снижением общей выживаемости, а также повышением частоты рецидивов рака при злокачественных новообразованиях желудочно-кишечного тракта [14].

Экономический ущерб от послеоперационных осложнений для системы здравоохранения также значительный. Пациенты с послеоперационными осложнениями дольше находятся на стационарном лечении, чаще нуждаются в переводе в отделение реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) и в повторных госпитализациях, что значительно увеличивает расходы системы здравоохранения. Летальность резко возрастает с увеличением тяжести осложнений, особенно в условиях неотложной помощи, а также среди пожилых и коморбидных пациентов [15].

Основные виды оперативных вмешательств в абдоминальной хирургии и профиль послеоперационных осложнений

В онкохирургии основными видами абдоминальных оперативных вмешательств являются резекция желудка и гастрэктомия, резекция толстой кишки, панкреатодуоденальная резекция и резекция печени. Хирургическое лечение рака желудка включает субтотальную или тотальную гастрэктомию с лимфаденэктомией. К основным послеоперационным осложнениям относятся несостоятельность анастомоза, внутрибрюшные инфекционные осложнения, послеоперационная пневмония и панкреатический свищ с общей частотой развития 12,8–14,0% [16]. Роботизированные методы могут снизить частоту инфекционных осложнений по сравнению со стандартными лапароскопическими методами, возможно, за счет меньшего повреждения мягких тканей и сосудов [17].

При колоректальном раке область и объем оперативного вмешательства варьируют от правосторонней гемиколэктомии до низкой передней резекции прямой кишки. Несостоятельность анастомоза остается наиболее опасным осложнением, на которое в значительной степени влияет перфузия тканей кишки в месте анастомоза [12]. При левосторонних резекциях частота несостоятельности выше из-за зон плохого кровоснабжения (на границе двух сосудистых бассейнов) и натяжения анастомоза. Современные методы визуализации для интраоперационной оценки перфузии все чаще применяют для определения участков кишки, оптимальных для транссекции [18].

Панкреатодуоденальная резекция и дистальная панкреатэктомия при аденокарциноме поджелудочной железы относятся к сложным оперативным вмешательствам с высоким риском развития послеоперационных осложнений. К ним относят панкреатический свищ, гастростаз, желудочно-кишечное кровотечение и желчеистечение. При необходимости резекции артерии или воротной вены при местнораспространенном онкологическом процессе периоперационная летальность значительно возрастает (до 8–11%). Тем не менее долгосрочные преимущества в плане выживаемости

оправдывают применение агрессивных методов лечения у отдельных пациентов [19].

Резекция печени при первичном или метастатическом злокачественном новообразовании сопряжена с риском кровотечения, желчеистечения, печеночной недостаточности и инфекционных осложнений. Использование окклюзии сосудистого притока (маневр Pringle) предотвращает кровототерю, но неизбежно приводит к ишемически-реперфузионному повреждению [20]. Нарушения микроциркуляции в печени после резекции существенно влияют на регенеративную способность и послеоперационную функцию печени [21].

В периоперационном периоде сочетание множества факторов повышает риск развития осложнений. Хирургический стресс вызывает выраженные нейроэндокринные и воспалительные реакции, которые, в свою очередь, ассоциированы с нарушениями кровообращения, гемокоагуляции и неадекватным иммунным ответом. Интраоперационные факторы, такие как продолжительность операции, кровопотеря, водно-электролитные нарушения, гипотермия и травма тканей, усугубляют эти патологические процессы [22].

Известно, что в неотложной абдоминальной хирургии (например, при кишечной непроходимости, перфорации полого органа и перитоните) риск послеоперационных осложнений намного выше, чем после плановых оперативных вмешательств. При этом в структуре послеоперационных осложнений широко представлены как хирургические (кровотечение, нагноение и т.п.), так и терапевтические (нозокомиальная пневмония, тромбоэмболия) проблемы [23, 24].

У онкологических пациентов предшествующие недостаточность питания, саркопения и иммуносупрессия, вызванная опухолью, дополнительно снижают физиологические резервы организма [6].

Патофизиология микроциркуляторных нарушений в периоперационном периоде

В периоперационном периоде нарушения микроциркуляции во внутренних органах развиваются в результате действия множества взаимосвязанных патогенетических факторов. Острая интраоперационная кровопотеря снижает объем циркулирующей крови (гиповолемия) и кислородную емкость крови (анемия), снижая микрососудистое перфузионное давление и плотность функционирующих капилляров [25]. Даже после восстановления системной гемодинамики микроциркуляторные нарушения могут персистировать, отражая потерю гемодинамической когерентности между макро- и микроциркуляцией [4, 26]. Согласно современным представлениям этот феномен обусловлен в том числе эндотелиальной дисфункцией и деградацией гликокаликса. Эндотелиальный гликокаликс — тонкий гликопротеин-протеогликановый слой, выстилающий поверхность сосудистого эндотелия — играет ключевую роль в сосудистом гомеостазе, регуляции проницаемости микрососудов и миграции лейкоцитов. Хирургическая травма, ишемия-реперфузия и воспалительные медиаторы вызывают разрушение гликокаликса, о чем свидетельствует повышение уровня

синдекана-1 и гепарансульфата в плазме крови [27]. Деградация гликокаликса повышает проницаемость сосудов, способствует образованию микротромбов и нарушает эндотелий-зависимую вазодилатацию. Выявлено значительное повышение уровня синдекана-1 во время обширных хирургических вмешательств, а более высокие предоперационные уровни этого биомаркера ассоциированы с острым повреждением почек после кардиохирургических вмешательств [28].

Некоторые оперативные вмешательства на органах брюшной полости ассоциированы с высоким риском ишемически-реперфузионного повреждения тканей. Временная окклюзия сосудов во время операции (например, маневр Pringle при резекции печени, пережатие аорты) с последующей реперфузией приводит к образованию активных форм кислорода, активации воспалительных каскадов и повреждению эндотелия. Это проявляется снижением плотности функционирующих капилляров, увеличением гетерогенности перфузии и повышением проницаемости микрососудов [20]. Стратегии ишемического preconditionирования продемонстрировали свою эффективность в смягчении этих патологических эффектов за счет усиления перфузии и активации клеточных механизмов гепатопротекции при реперфузии [29].

Тяжелый хирургический стресс, сепсис, массивное переливание крови и шок могут спровоцировать диссеминированное внутрисосудистое свертывание (ДВС-синдром), характеризующееся системной активацией коагуляции, потреблением факторов свертывания и тромбоцитов, а также распространенным микрососудистым тромбозом. Одновременно высокий риск как тромбоза, так и кровотечения значительно осложняет периоперационное ведение такой когорты пациентов. Микротромбоз, ассоциированный с ДВС, вызывает гипоперфузию и дисфункцию органов, особенно почек и печени [30].

Как было отмечено ранее, большие абдоминальные операции часто сопровождаются активацией системного воспалительного ответа на операционную травму, который в случае присоединения инфекционных осложнений приобретает клиническую форму абдоминального сепсиса. В частности, бактериальная транслокация через поврежденные кишечные барьеры, инфекции в месте операции и несостоятельность анастомозов могут спровоцировать сепсис, характеризующийся нарушением регуляции иммунного ответа организма на инфекцию [31]. В настоящее время установлено, что сепсис вызывает глубокие микроциркуляторные нарушения, включая снижение плотности функционирующих капилляров, гетерогенность перфузии и нарушение эндотелий-зависимой вазодилатации. Провоспалительные цитокины, активация нейтрофилов и образование нейтрофильных внеклеточных ловушек дополнительно повреждают микрососудистое русло [32].

Наконец, гемореологические нарушения (изменение текучести крови) являются важным патогенетическим фактором развития тромбоэмболических осложнений и гипоперфузии органов в послеоперационном перио-

де. С одной стороны, дегидратация, недостаточная инфузия и увеличение гематокрита увеличивают вязкость крови и способствуют формированию венозных тромбов (особенно в глубоких венах нижних конечностей и таза). С другой стороны, периоперационная гемодилюция, вызванная избыточной инфузионной терапией, снижает вязкость крови и гематокрит, что может нарушить доставку кислорода, несмотря на улучшение реологических свойств. В то время как умеренная гемодилюция может улучшить микроциркуляторное русло за счет снижения вязкости, чрезмерная инфузионная терапия и анемия снижают способность крови переносить кислород и могут спровоцировать разрушение гликокаликса [33]. Баланс между поддержанием адекватного перфузионного давления и кислородной емкости крови требует контроля водного баланса и тщательного титрования инфузионной терапии [25].

Микроциркуляторные нарушения, возникающие после больших абдоминальных операций, имеют свою специфику в разных органах брюшной полости. Желудочно-кишечный тракт особенно уязвим к микроциркуляторным расстройствам. Ишемия-реперфузия кишечника вследствие пережатия сосудов, хирургических манипуляций или системной гипоперфузии приводит к повреждению слизистой оболочки, повышению ее проницаемости и бактериальной транслокации [34]. Нарушение микроциркуляции в брыжейке оперированной кишки резко повышает риск несостоятельности анастомоза, поскольку адекватная капиллярная перфузия необходима для заживления. Интраоперационная оценка состояния микроциркуляции в кишке с помощью лазерной доплеровской флоуметрии или лазерной спекл-контрастной визуализации позволяет выявить области недостаточной перфузии, что позволяет более взвешенно принимать решения в отношении хирургической тактики [35, 36].

Двойное кровоснабжение печени через печеночную артерию и воротную вену в сочетании с ее важными синтетическими и метаболическими функциями делают этот орган восприимчивым к нарушениям перфузии. Ишемия-реперфузия печени во время резекции нарушает перфузию синусоидов, активирует клетки Купфера и вызывает окислительный стресс. Нарушения микроциркуляции ограничивают регенеративные возможности и увеличивают риск развития печеночной недостаточности после резекции печени [21]. Стратегии оптимизации перфузии печени, включая ишемическое preconditionирование и фармакологические препараты, продемонстрировали свою эффективность в доклинических моделях и в небольших клинических исследованиях [29, 37].

Почки также чувствительны к гипоперфузии в периоперационном периоде. Например, острое повреждение почек, связанное с кардиохирургическим вмешательством, встречается у 30 % пациентов, которым проводилось искусственное кровообращение, и обусловлено перенесенной ишемией-реперфузией, воспалением и гемолизом [38]. Поддержание адекватного перфузионного давления в почках (среднее артериальное давление за вычетом центрального венозного давления)

имеет решающее значение, поскольку показано, что периоды низкого перфузионного давления являются значимым предиктором послеоперационной дисфункции почек [39].

Современные методы оценки микроциркуляции

Современные методы оценки периферической перфузии и микроциркуляции включают в себя (1) несколько вариантов прижизненной видеомикроскопии тканей (обычно в слизистой подъязычной области или коже ногтевого валика); (2) ряд методов, основанных на лазерных технологиях; (3) косвенные методы оценки перфузии путем измерения параметров оксигенации и обмена веществ в тканях (оксиметрия, капнометрия, флуоресцентная спектроскопия и др.) [40]. Отдельным направлением в исследовании микрогемоциркуляции является оценка реологических свойств крови и отдельных эритроцитов (вискозиметрия, агрегируемость и деформируемость эритроцитов и др.).

Современные варианты прижизненной сублингвальной видеомикроскопии представлены портативными микроскопами, в основе которых лежит использование боковой или прямой темнопольной микроскопии (англ. sidestream dark-field (SDF), incident dark-field (IDF) imaging соответственно) [41]. Эти технологии позволяют неинвазивно визуализировать сублингвальную микроциркуляцию «у постели больного». Слизистая оболочка сублингвальной области является относительно доступным участком тела для оценки системной микрососудистой перфузии, в частности у хирургических пациентов в периоперационном периоде [42]. Ключевые параметры прижизненной видеомикроскопии включают общую плотность микрососудов, плотность функционирующих (перфузируемых) микрососудов, долю перфузируемых сосудов, индекс микрососудистого кровотока и индекс гетерогенности [41]. Автоматизированные алгоритмы анализа облегчают количественную оценку в режиме реального времени, расширяя возможности клинического применения. Клинические исследования демонстрируют изменение сублингвальной микроциркуляции во время обширных хирургических вмешательств, при этом мало данных о том, как связаны изменения сублингвальной микроциркуляции с перфузией внутренних органов и с послеоперационными осложнениями [42]. В рандомизированном клиническом исследовании показано, что интеграция сублингвальных измерений микроциркуляции в комплексный мониторинг пациентов оптимизировала процесс принятия терапевтических решений (коррекция инфузионной или вазопрессорной терапии), но не снижала 30-дневную летальность у пациентов с шоком, госпитализированных в ОРИТ [43]. Во время больших абдоминальных операций у детей наблюдалось снижение плотности капилляров в подъязычной области, при этом минимальные значения достигались интраоперационно и постепенно восстанавливались после операции [44].

Прямая визуализация микрососудистой перфузии в поверхностных тканях внутренних органов возмож-

на во время открытых операций, а с недавних пор и при лапароскопии [36, 45]. Боковая темнопольная микроскопия микрососудов в серозной оболочке кишечника, поверхности печени или брюшины позволяет получить данные о перфузии в режиме реального времени [46]. Этот подход позволяет хирургам оценивать жизнеспособность тканей, определять границы резекции и оптимизировать выбор места анастомоза на основе объективного измерения перфузии [36].

С помощью лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) измеряют усредненную скорость движения эритроцитов в микрососудах ткани, используя для этого регистрацию доплеровского смещения частоты отраженного лазерного света по сравнению с частотой зондирующего излучения (чаще в красном или ближнем инфракрасном диапазоне) [47, 48]. Несмотря на небольшой объем исследуемой ткани (обычно 1–2 мм³), ЛДФ дает возможность непрерывной количественной оценки перфузии и ее относительного изменения в динамике. Области применения в хирургии включают оценку жизнеспособности кожного лоскута, перфузии кишечника во время колоректальных операций, печеночного кровотока во время резекции печени и даже головного мозга при нейрохирургических вмешательствах [35, 49, 50]. У пациентов онкологического профиля ЛДФ используется в более широком контексте: не только для анализа перфузии и жизнеспособности оперируемого участка кишки, но и, например, для оценки риска развития острых кожных лучевых реакций при проведении лучевой терапии [51].

Лазерная спекл-контрастная визуализация (ЛСКВ) создает двумерные карты перфузии в реальном времени, анализируя интерференционную картину (спекл), образующуюся при взаимодействии когерентного лазерного света с движущимися эритроцитами. Преимущества перед ЛДФ и многими другими методами включают широкопольное изображение с высоким пространственным разрешением, бесконтактную технологию измерения перфузии, отсутствие необходимости в контрастных веществах и быстрое получение изображений [52, 53]. Клиническое применение охватывает колоректальную хирургию для оценки перфузии анастомозов, хирургию печени для интраоперационного мониторинга перфузии и пластическую хирургию для оценки состояния лоскута [18]. Исследования показывают, что принятие хирургических решений под контролем ЛСКВ позволяет выявлять ишемические края и потенциально снижать частоту несостоятельности анастомоза [54].

Уже накопился достаточно большой опыт применения индоцианина зеленого и флуоресцентной ангиографии в абдоминальной хирургии. Этот метод позволяет визуализировать анатомические структуры и перфузию тканей, которые не видны при стандартном освещении, например при лапароскопических вмешательствах. В частности, применение этого метода визуализации показано для оценки перфузии кишечника, печени, локализации новообразований и обеспечения безопасного объема резекции органа [55].

Ближняя инфракрасная спектроскопия (англ. Near-Infrared Spectroscopy, NIRS) позволяет неинвазивно

оценить оксигенацию (StO_2) глубоких тканей (например, скелетной мышцы или головного мозга) путем количественной оценки спектров поглощения оксигенированного и дезоксигенированного гемоглобина в ближнем инфракрасном диапазоне. Применяемая к периферическим тканям (обычно в области тенара большого пальца) или непосредственно к внутренним органам, NIRS отражает баланс между доставкой и потреблением кислорода. Динамическая оценка StO_2 с использованием сосудистой окклюзионной пробы (временное пережатие плечевой артерии с последующей оценкой постокклюзионной реактивной гиперемии в тканях кисти) позволяет оценить микрососудистую реактивность и функцию эндотелия [56]. Периперационный мониторинг NIRS демонстрирует связь между выраженностью гипоксии тканей и неблагоприятными исходами, хотя его значение в качестве терапевтического ориентира требует дальнейшей валидации [57].

Измерение rCO_2 в слизистой оболочке желудка (желудочная тонометрия) или в слизистой оболочке подязычной области косвенно отражает спланхическую перфузию [56]. Увеличенная разница между rCO_2 в слизистой оболочке и в артериальной крови (англ. rCO_2 gap) указывает на гипоперфузию тканей и связана с повышенным риском осложнений и летальностью у пациентов в критическом состоянии. Несмотря на то что тонометрия ранее применялась, во многих центрах она была вытеснена более современными и прямыми методами оценки микроциркуляции, описанными выше.

Несмотря на очевидные преимущества в хирургии методов прямой оценки перфузии и особенностей микроциркуляции в конкретном органе (например, в стенке кишки или в области заживающей раны), лабораторные маркеры гипоперфузии и эндотелиальной дисфункции более надежно отражают состояние системной микроциркуляции, т.е. в организме в целом. Концентрация лактата (молочной кислоты) в сыворотке крови отражает баланс между его продукцией (в первую очередь за счет анаэробного метаболизма в гипоксических тканях) и его клиренсом (печеночным и почечным). Повышенный уровень лактата указывает на гипоперфузию тканей, а стойкая гиперлактатемия является предиктором неблагоприятных исходов при сепсисе, геморрагическом шоке и других критических состояниях [57]. Важно отметить, что динамические изменения уровня лактата более информативны, чем отдельные измерения [58]. Методы микродиализа позволяют измерять локальный уровень лактата в тканях, обеспечивая органоспецифическую оценку метаболических нарушений. Сатурация центральной венозной крови кислородом (ScvO_2) отражает баланс между системной доставкой и потреблением кислорода. Хотя параметр ScvO_2 является маркером адекватности глобальной перфузии, он может неточно отражать микроциркуляторную функцию, особенно при сепсисе, когда функциональное шунтирование на уровне микроциркуляторного русла может происходить, несмотря на нормальный или повышенный уровень ScvO_2 [59].

Циркулирующие лабораторные маркеры повреждения эндотелия и деградации гликокаликса включают

синдекан-1, гепарансульфат, гиалуронан, растворимый тромбомодулин, фактор Виллебранда, E-селектин и рецептор конечных продуктов гликирования (англ. RAGE). Повышенные уровни коррелируют с тяжестью хирургического стресса, дисфункцией органов и летальностью [60–62]. Синдекан-1 стал особенно ценным биомаркером, предоперационные уровни которого позволяют прогнозировать острое повреждение почек после кардиохирургических операций, а динамические изменения отражают эффективность лечебных мер [28].

Диагностическая и прогностическая значимость параметров микроциркуляции в абдоминальной хирургии

Прямая оценка микроциркуляции в органах брюшной полости во время абдоминальных операций позволяет исследовать патологию органного кровообращения в периперационном периоде, вовремя диагностировать микроциркуляторную дисфункцию и оперативно менять хирургическую тактику. Проспективное клиническое исследование обширных абдоминальных операций показало, что сублингвальная микроциркуляция ухудшается во время операции, при этом снижение плотности капилляров обратно пропорционально потребности в норадреналине [44]. Важно отметить, что через 24 часа после операции у некоторых пациентов микроциркуляция оставалась нарушенной, несмотря на стабильные макроциркуляторные параметры. Микроциркуляция в серозной оболочке кишечника (оцененная интраоперационно при абдоминальных операциях методом прижизненной видеомикроскопии) плохо коррелировала с артериальным давлением [46]. Эти данные еще раз подчеркивают, что поддержание адекватного системного артериального давления у значительной части пациентов не гарантирует оптимальной микрососудистой перфузии, что подтверждает целесообразность прямого мониторинга микроциркуляции.

В колоректальной хирургии интраоперационная оценка перфузии анастомоза с помощью лазерной спекл-контрастной визуализации или флуоресцентной ангиографии с индоцианином зеленым позволяет объективно определить ишемизированные края. Были установлены количественные пороги перфузии, которые позволяют определить границы резекции и потенциально снизить частоту несостоятельности анастомоза [18]. Аналогичные подходы в хирургии печени облегчают оценку перфузии печени во время и после резекции, давая информацию для принятия решений о жизнеспособности оставшейся части печени [63].

Микроциркуляция при сепсисе и септическом шоке на данный момент подробно изучена, выявив снижение плотности функционирующих капилляров, неоднородное распределение кровотока в микрососудистом русле и потерю гемодинамической когерентности [64]. Важно отметить, что изменения микроциркуляции при сепсисе прогнозируют летальность независимо от параметров системной гемодинамики. Раннее увеличение микроциркуляторной перфузии на фоне интенсивной терапии ассоциируется со снижением тяжести полиор-

ганной недостаточности, что подтверждает эффективность терапевтических стратегий, ориентированных на микроциркуляцию [65]. Многоцентровое рандомизированное клиническое исследование показало, что учет показателей микроциркуляции в сублингвальной области при принятии клинических решения по лечению пациентов с шоком статистически значимо не снижает 30-дневную летальность по сравнению со стандартной терапией. Однако в группе вмешательства вазоактивные препараты и инфузионная терапия корректировались с учетом микроциркуляторной перфузии, что можно рассматривать как один из вариантов персонализированного подхода в лечении критических состояний [43].

Экспериментальные исследования на лабораторных животных хоть и имеют меньшую клиническую значимость, но позволяют получить представление о патофизиологии микроциркуляторного русла и протестировать новые диагностические и терапевтические вмешательства перед использованием их в клинической медицине [36]. Экспериментальные модели геморрагического шока демонстрируют, что стандартная инфузионная терапия может нормализовать параметры системной гемодинамики без восстановления микроциркуляторной перфузии, при этом переливание препаратов крови превосходит кристаллоиды в восстановлении микрососудистой функции [66, 67]. Исследования ишемии-реперфузии кишечника у грызунов подчеркивают роль окислительного стресса, активации нейтрофилов и эндотелиальной дисфункции в повреждении тканей и развитии органной дисфункции [34].

Доклинические модели резекции печени показывают, что ишемическое preconditionирование усиливает пострезекционную гиперперфузию печени и уменьшает ишемически-реперфузионное повреждение, опосредованное аденозиновыми рецепторами и оксидом азота (NO) [68]. Фармакологические вмешательства, включая цилостазол, улучшают микроциркуляцию печени, уменьшают стеатоз и ускоряют регенерацию после обширной резекции печени в экспериментальных моделях [69].

В экспериментальной кардиохирургии показано, что искусственное кровообращение вызывает значительную микроциркуляторную дисфункцию, при этом снижение плотности капилляров и неоднородная перфузия способствуют послеоперационному повреждению и дисфункции органов [70]. Оптимизация параметров искусственного кровообращения, включая поддержание пульсирующего потока и предотвращение чрезмерной гемодилюции, снижает повреждение микроциркуляторного русла в доклинических и клинических исследованиях.

Современные подходы к лечению микроциркуляторной дисфункции в хирургии

Инфузионно-трансфузионная терапия занимает центральное место в лечении периферической гипоперфузии и микроциркуляторных нарушений, вызванных гиповолемией (например, при геморрагическом или

септическом шоке). Так называемая «целевая инфузионная терапия» (англ. Goal-Directed Fluid Therapy, GDFT) основана на использовании динамических параметров кровообращения для оценки реакции организма пациента на инфузионную терапию (приrost сердечного выброса, вариации ударного объема, вариации пульсового давления и т.п.) и постоянный мониторинг сердечного выброса для оптимизации внутрисосудистого объема крови. По сравнению с либеральными или рестриктивными подходами с фиксированным объемом инфузии GDFT снижает послеоперационные осложнения, сокращает срок пребывания в стационаре и улучшает микроциркуляторную перфузию [71]. Рандомизированное клиническое исследование показало, что инфузионная терапия с контролем ударного объема и инотропная терапия улучшают общую доставку кислорода, микрососудистый кровоток и оксигенацию тканей после обширных хирургических вмешательств [72].

Выбор оптимального состава инфузионной терапии остается предметом дискуссий [73]. Хотя синтетические коллоиды (в частности, гидроксиэтилкрахмал) эффективно увеличивают внутрисосудистый объем, опасения по поводу нефротоксичности и коагулопатии ограничивают их применение. Сбалансированные электролитные растворы (например, раствор Рингера-лактат, раствор Хартмана) все чаще используются в качестве инфузионной терапии первой линии. Важно отметить, что как кристаллоиды, так и коллоиды при высокообъемной инфузионной терапии могут вызывать разрушение гликокаликса [74].

При недостаточной эффективности инфузионной терапии норадреналин является вазопрессором первой линии при септическом шоке и периоперационной гипотензии, повышая среднее артериальное давление, главным образом за счет α -адренергической вазоконстрикции. Влияние на микроциркуляцию неоднозначное и зависит от клинической ситуации. Раннее введение норадреналина при септическом шоке может улучшить микроциркуляторную перфузию за счет восстановления артериального давления, рекрутирования спавшихся капилляров и предотвращения чрезмерного накопления жидкости. Однако чрезмерные дозы могут усугубить микрососудистую вазоконстрикцию и нарушить перфузию органов, особенно почечного кровотока [75]. Добутамин, агонист β -адренорецепторов, увеличивает сердечный выброс и может улучшать микроциркуляторную перфузию за счет улучшения доставки кислорода. Левосимендан, сенсibilизатор кальция с инотропными и вазодилатирующими свойствами, также может улучшать микроциркуляцию и снижать уровень лактата при септическом шоке.

Стратегии, направленные на предотвращение деградации гликокаликса или стимулирование его восстановления, представляют собой новые терапевтические направления. Было показано, что введение транексамовой кислоты во время операции уменьшает выделение синдекана-1, потенциально сохраняя целостность гликокаликса [61]. Целенаправленная терапия, исключающая чрезмерное введение жидкости, может ограничить

повреждение гликокаликса, предотвращая дисфункцию эндотелия. К препаратам с прямым действием на микроциркуляторное русло относятся доноры NO (например, нитроглицерин), которые способствуют эндотелиально-зависимой вазодилатации. Цилостазол, ингибитор фосфодиэстеразы-3 с антиагрегантными и вазодилатирующими свойствами, улучшает микроциркуляцию печени и регенерацию тканей при экспериментальной хирургии печени [69]. Оптимизация реологических свойств крови за счет поддержания адекватной концентрации гемоглобина обеспечивает баланс между кислородной емкостью и вязкостью крови. При обширных хирургических вмешательствах ограничительные стратегии переливания (пороговое значение гемоглобина 7–8 г/дл) обычно безопасны, но может быть оправдан индивидуальный подход с учетом состояния микроциркуляции. Острая нормоволемическая гемодилюция путем забора аутологичной крови перед операцией и ее замены кристаллоидами или коллоидами позволяет снизить объем аллогенной гемодилюции, сохраняя при этом приемлемую микроциркуляцию за счет улучшения реологии [66]. Оптимизация сердечного выброса, титрование вазопрессоров и мониторинг микроциркуляции представляют собой будущее периоперационного ведения хирургических пациентов.

Перспективные направления дальнейших исследований

Несмотря на значительные успехи в понимании патофизиологии микроциркуляции и разработке технологий ее оценки, клиническое внедрение этих достижений остается ограниченным. Препятствия включают техническую сложность измерительных устройств, необходимость специализированного обучения, длительность получения и анализа изображений, а также отсутствие утвержденных протоколов терапевтических вмешательств на основе данных о микроциркуляции. Автоматизированные алгоритмы анализа в реальном времени для прижизненной видеомикроскопии устраняют некоторые ограничения, позволяя проводить оценку непосредственно «у постели больного» (например, в операционной или ОРИТ). Разработка портативных устройств нового поколения с упрощенным управлением и интегрированным анализом может способствовать более широкому внедрению этого подхода [70]. Необходимы многоцентровые исследования для валидации терапевтических алгоритмов, ориентированных на микроциркуляцию, для различных групп хирургических пациентов. Интеграция параметров микроциркуляции в клинические рекомендации и подходы персонализированной медицины может снизить риск периоперационных осложнений и улучшить исходы лечения хирургических пациентов [4]. Модели машинного обучения, включающие параметры микроциркуляции наряду с традиционными клиническими параметрами (артериальное давление, лабораторные тесты), также могут улучшить прогнозирование рисков и обеспечить более раннее вмешательство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микроциркуляторная дисфункция представляет собой важный, но недооцененный фактор, лежащий в основе послеоперационных осложнений в абдоминальной хирургии. Несмотря на достижения в хирургической технике и периоперационной интенсивной терапии, оптимизация системной гемодинамики часто не обеспечивает адекватной перфузии тканей, что приводит к дисфункции органов, осложнениям и неблагоприятным исходам. Частые случаи несоответствия между системной гемодинамикой и микроциркуляторной перфузией требуют прямой оценки микроциркуляции для эффективного выбора терапии. Современные диагностические технологии, включая сублингвальную видеомикроскопию, лазерную флоуметрию и визуализацию, а также биомаркеры эндотелиальной дисфункции, дают врачам возможность визуализации и количественной оценки микроциркуляции у постели больного. Терапевтические подходы, направленные на микроциркуляцию, включая целенаправленную инфузионную терапию, разумное применение вазопрессоров, защиту гликокаликса и фармакологическое улучшение микроциркуляции, демонстрируют многообещающие результаты доклинических и ранних клинических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кунццкий Ю.Л., Колесников А.Н., Харьковский В.А., Христуленко А.А. Хирургический стресс: патогенез и пути реализации. Не разрешенные вопросы. Вестник неотложной и восстановительной хирургии. 2017;2(2–3):278–81.
- 2 Tevis S.E., Cobian A.G., Truong H.P., Craven M.W., Kennedy G.D. Implications of multiple complications on the postoperative recovery of general surgery patients. *Ann Surg.* 2016;263(6):1213–8. DOI: 10.1097/SLA.0000000000001390
- 3 Yadeta D.A., Manyazewal T., Demessie D.B., Kleive D. Incidence and predictors of postoperative complications in Sub-Saharan Africa: a systematic review and meta-analysis. *Front Health Serv.* 2024;4:1353788. DOI: 10.3389/frhs.2024.1353788
- 4 Nam K., Jeon Y. Microcirculation during surgery. *Anesth Pain Med.* 2022;17(1):24–34. DOI: 10.17085/apm.22127
- 5 Баширова Л.И., Сафонов А.С., Камилова Р.Р., Липатов Д.О., Бакиров А.А., Самородов А.В. Коррекция нутритивной недостаточности пациентов с раком яичников на фоне хирургического лечения. Клинический случай. Креативная хирургия и онкология. 2022;12(1):81–6. DOI: 10.24060/2076-3093-2022-12-1-81-86
- 6 Kanemoto M., Ida M., Naito Y., Kawaguchi M. The impact of preoperative nutrition status on abdominal surgery outcomes: A prospective cohort study. *Nutr Clin Pract.* 2023;38(3):628–35. DOI: 10.1002/ncp.10932
- 7 Aksu U., Yavuz-Aksu B., Goswami N. Microcirculation: current perspective in diagnostics, imaging, and clinical applications. *J Clin Med.* 2024;13(22):6762. DOI: 10.3390/jcm13226762
- 8 Donati A., Domizi R., Damiani E., Adrario E., Pelaia P., Ince C. From macrohemodynamic to the microcirculation. *Crit Care Res Pract.* 2013;2013:1–8. DOI: 10.1155/2013/892710
- 9 Ince C. Hemodynamic coherence and the rationale for monitoring the microcirculation. *Crit Care.* 2015;19(S3):S8. DOI: 10.1186/cc14726
- 10 Downey C.L., Bainbridge J., Jayne D.G., Meads D.M. Impact of in-hospital postoperative complications on quality of life up to 12 months after major abdominal surgery. *Br J Surg.* 2023;110(9):1206–12. DOI: 10.1093/bjs/znad167
- 11 Van Hootegem S.J.M., Van Der Linde M., Schneider M.A., Kim J., Berth F., Sugita Y., et al. Impact of postoperative complications on clinical outcomes after gastrectomy for cancer: multicentre study. *Br J Surg.* 2025;112(4):znaf043. DOI: 10.1093/bjs/znaf043
- 12 Kirchhoff P., Clavien P.A., Hahnloser D. Complications in colorectal surgery: risk factors and preventive strategies. *Patient Saf Surg.* 2010;4(1):5. DOI: 10.1186/1754-9493-4-5

- 13 Staiger R.D., Gerns E., Castrejón Subirà M., Domenghino A., Puhán M.A., Clavien P.A. Can early postoperative complications predict high morbidity and decrease failure to rescue following major abdominal surgery? *Ann Surg.* 2020;272(5):834–9. DOI: 10.1097/SLA.0000000000004254
- 14 Shimada H., Fukagawa T., Haga Y., Oba K. Does postoperative morbidity worsen the oncological outcome after radical surgery for gastrointestinal cancers? A systematic review of the literature. *Ann Gastroenterol Surg.* 2017;1(1):11–23. DOI: 10.1002/ags3.12002
- 15 Самородов А.В., Ураков А.Л., Золотухин К.Н., Дашкин Р.Р., Исмаилов Н.Г., Абубакирова А.И., и др. Клинический и патологоанатомический анализ причин внезапной смерти после планового хирургического лечения. Креативная хирургия и онкология. 2020;10(2):154–61. DOI: 10.24060/2076-3093-2020-10-2-154-161
- 16 Wang S., Xu L., Wang Q., Li J., Bai B., Li Z., et al. Postoperative complications and prognosis after radical gastrectomy for gastric cancer: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *World J Surg Oncol.* 2019;17(1):52. DOI: 10.1186/s12957-019-1593-9
- 17 Shibasaki S., Suda K., Nakauchi M., Nakamura K., Kikuchi K., Inaba K., et al. Non-robotic minimally invasive gastrectomy as an independent risk factor for postoperative intra-abdominal infectious complications: A single-center, retrospective and propensity score-matched analysis. *World J Gastroenterol.* 2020;26(11):1172–84. DOI: 10.3748/wjg.v26.i11.1172
- 18 Skinner G.C., Liu Y.Z., Harzman A.E., Husain S.G., Gasior A.C., Cunningham L.A., et al. Clinical utility of laser speckle contrast imaging and real-time quantification of bowel perfusion in minimally invasive left-sided colorectal resections. *Dis Colon Rectum.* 2024;67(6):850–9. DOI: 10.1097/DCR.0000000000003098
- 19 Hackert T., Klaiber U., Hinz U., Strunk S., Loos M., Strobel O., et al. Portal vein resection in pancreatic cancer surgery: risk of thrombosis and radicality determine survival. *Ann Surg.* 2023;277(6):e1291–8. DOI: 10.1097/SLA.0000000000005444
- 20 Van Riel W.G., van Golen R.F., Reiniers M.J., Heger M., van Gulik T.M. How much ischemia can the liver tolerate during resection? *Hepatobiliary Surg Nutr.* 2016;5(1):58–71. DOI: 10.3978/j.issn.2304-3881.2015.07.05
- 21 Christ B., Collatz M., Dahmen U., Herrmann K.H., Höpfel S., König M., et al. Hepatectomy-induced alterations in hepatic perfusion and function — toward multi-scale computational modeling for a better prediction of post-hepatectomy liver function. *Front Physiol.* 2021;12:733868. DOI: 10.3389/fphys.2021.733868
- 22 Choi H., Hwang W. Perioperative inflammatory response and cancer recurrence in lung cancer surgery: a narrative review. *Front Surg.* 2022;9:888630. DOI: 10.3389/fsurg.2022.888630
- 23 Золотухин К.Н., Крюгер Ф., Самородов А.В. Низкий уровень антитромбина III как предиктор развития тромботических осложнений у пациентов хирургического профиля. Креативная хирургия и онкология. 2018;8(1):52–6. DOI: 10.24060/2076-3093-2018-8-1-52-56
- 24 Ylimartimo A.T., Nurkkala J., Koskela M., Lahtinen S., Kaakinen T., Vakkala M., et al. Postoperative complications and outcome after emergency laparotomy: a retrospective study. *World J Surg.* 2023;47(1):119–29. DOI: 10.1007/s00268-022-06783-8
- 25 Григорьев Е. В., Лебединский К. М., Щеголев А. В., Бобовник С. В., Буланов А. Ю., Заболотских И. Б. и др. Реанимация и интенсивная терапия при острой массивной кровопотере у взрослых пациентов. Анестезиология и реаниматология. 2020;15–24. DOI: 10.17116/anaesthesiology20200115
- 26 Harrois A., Tanaka S., Duranteau J. The Microcirculation in hemorrhagic shock. In: Vincent J.L., ed. *Annual update in intensive care and emergency medicine* 2013. Berlin: Springer; 2013. P. 277–89. DOI: 10.1007/978-3-642-35109-9_22
- 27 Knežević D., Batičić L., Čurko-Cofek B., Batinac T., Ljubačev A., Valenčić Seršić L., et al. The effect of coronary artery bypass surgery on interleukin-18 concentration and biomarkers related to vascular endothelial glycocalyx degradation. *Int J Mol Sci.* 2025;26(12):5453. DOI: 0.3390/ijms26125453
- 28 Kim H.B., Soh S., Kwak Y.L., Bae J.C., Kang S.H., Song J.W. High preoperative serum syndecan-1, a marker of endothelial glycocalyx degradation, and severe acute kidney injury after valvular heart surgery. *J Clin Med.* 2020;9(6):1803. DOI: 10.3390/jcm9061803
- 29 Heizmann O. Ischemic preconditioning-induced hyperperfusion correlates with hepatoprotection after liver resection. *World J Gastroenterol.* 2010;16(15):1871. DOI: 10.3748/wjg.v16.i15.1871
- 30 Toh C., Toh J.M.H., Abrams S.T. Disseminated intravascular coagulation — what can we do? *HemaSphere.* 2019;3(S2):92–4. DOI: 10.1097/HS9.0000000000000232
- 31 Assimakopoulos S.F., Triantos C., Thomopoulos K., Fligou F., Maroulis I., Marangos M., et al. Gut-origin sepsis in the critically ill patient: pathophysiology and treatment. *Infection.* 2018;46(6):751–60. DOI: 10.1007/s15010-018-1178-5
- 32 Alhamdi Y., Toh C.H. Recent advances in pathophysiology of disseminated intravascular coagulation: the role of circulating histones and neutrophil extracellular traps. *F1000Research.* 2017;6:2143. DOI: 10.12688/f1000research.12498.1
- 33 Chatpun S., Cabrales P. Effects of plasma viscosity modulation on cardiac function during moderate hemodilution. *Asian J Transfus Sci.* 2010;4(2):102. DOI: 10.4103/0973-6247.67034
- 34 Vollmar B., Menger M.D. Intestinal ischemia/reperfusion: microcirculatory pathology and functional consequences. *Langenbecks Arch Surg.* 2011;396(1):13–29. DOI: 10.1007/s00423-010-0727-x
- 35 Захаренко А.А., Беляев М.А., Трушин А.А., Зайцев Д.А., Курсенко Р.В., Сидоров В.В. и др. Комбинированная оценка жизнеспособности кишки методами лазерной доплеровской флоуметрии и лазерной флуоресцентной спектроскопии. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2021;20(2):70–6. DOI: 10.24884/1682-6655-2021-20-2-70-76
- 36 Heeman W., Wildeboer A.C.L., Al-Tajer M., Calon J.E.M., Stassen L.P.S., Diana M., et al. Experimental evaluation of laparoscopic laser speckle contrast imaging to visualize perfusion deficits during intestinal surgery. *Surg Endosc.* 2023;37(2):950–7. DOI: 10.1007/s00464-022-09536-9
- 37 Holländer S., Von Heesen M., Gäbelein G., Mercier J., Laschke M.W., Menger M.D., et al. Perioperative treatment with cilostazol reverses steatosis and improves liver regeneration after major hepatectomy in a steatotic rat model. *Sci Rep.* 2025;15(1):2753. DOI: 10.1038/s41598-025-87135-z
- 38 Dang P.T., Lopez B.E., Togashi K. A Decrease in effective renal perfusion pressure is associated with increased acute kidney injury in patients undergoing cardiac surgery. *Cureus.* 2023;15(9):e45036. DOI: 10.7759/cureus.45036
- 39 Yu Y., Li C., Zhu S., Jin L., Hu Y., Ling X., et al. Diagnosis, pathophysiology and preventive strategies for cardiac surgery-associated acute kidney injury: a narrative review. *Eur J Med Res.* 2023;28(1):45. DOI: 10.1186/s40001-023-00990-2
- 40 Мороз В.В., Рыжков И.А. Острая кровопотеря: регионарный кровоток и микроциркуляция (Обзор, Часть II). Общая реаниматология. 2016;12(5):65–94. DOI: 10.15360/1813-9779-2016-5-65-94
- 41 Ince C., Boerma E.C., Cecconi M., De Backer D., Shapiro N.I., Duran-teau J., et al. Cardiovascular dynamics section of the ESCM. Second consensus on the assessment of sublingual microcirculation in critically ill patients: results from a task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med.* 2018;44(3):281–99. DOI: 10.1007/s00134-018-5070-7
- 42 Flick M., Jannsen G.P., Krause L., Montomoli J., Pollok F., Moll-Khosrawi P., et al. The effect of major abdominal surgery on the sublingual microcirculation: an observational study. *Can J Anesth Can Anesth.* 2025;72(5):768–79. DOI: 10.1007/s12630-025-02941-3
- 43 Bruno R.R., Wollborn J., Fengler K., Flick M., Wunder C., Allgäuer S., et al. Direct assessment of microcirculation in shock: a randomized-controlled multicenter study. *Intensive Care Med.* 2023;49(6):645–55. DOI: 10.1007/s00134-023-07098-5
- 44 Wagner M., Anzinger E., Hey F., Reiter K., Wermelt J.Z., Pastor-Villaescusa B., et al. Monitoring of the microcirculation in children undergoing major abdominal and thoracic surgery: A pilot study. *Clin Hemorheol Microcirc.* 2023;83(3):217–29. DOI: 10.3233/CH-221617
- 45 Liu Y.Z., Shah S.K., Sanders C.M., Nwaiwu C.A., Dechert A.F., Mehrotra S., et al. Utility and usability of laser speckle contrast imaging (LSCI) for displaying real-time tissue perfusion/blood flow in robot-assisted surgery (RAS): comparison to indocyanine green (ICG) and use in laparoscopic surgery. *Surg Endosc.* 2023;37(6):4803–11. DOI: 10.1007/s00464-022-09590-3
- 46 Tavy A.L., De Bruin A.F., Boerma E.C., Ince C., Hilty M.P., Noordzij P.G., et al. Association between serosal intestinal microcirculation and blood pressure during major abdominal surgery. *J Intensive Med.* 2021 July;1(1):59–64. DOI: 10.1016/j.jointm.2021.03.003
- 47 Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: Колебания, информация, нелинейность (Руководство для врачей). М.: ЛИБРОКОМ; 2013.
- 48 Cracowski J., Roustit M. Current methods to assess human cutaneous blood flow: an updated focus on laser-based-techniques. *Microcirculation.* 2016;23(5):337–44. DOI: 10.1111/micc.12257

- 49 Косовских А.А., Кан С.Л., Чурляев Ю.А., Золоева О.С., Баранов А.А., Крутяков О.О. Функциональное состояние микроциркуляции кишечника при разлитом перитоните. Общая реаниматология. 2012;8(2):33. DOI: 10.15360/1813-9779-2012-2-33
- 50 Ладожская-Гапенко Е. Е. Дисфункция микроциркуляции при критических состояниях (обзор литературы). Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2024;21(6):116–21. DOI: 10.24884/2078-5658-2024-21-6-116-121
- 51 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;3:62–6. DOI: 10.33266/2782-6430-2025-3-62-66
- 52 Guven G., Dijkstra A., Kuijper T.M., Trommel N., Van Baar M.E., Topeli A., et al. Comparison of laser speckle contrast imaging with laser Doppler perfusion imaging for tissue perfusion measurement. Microcirculation. 2023;30(1):e12795. DOI: 10.1111/micc.12795
- 53 Рыжков И.А., Голубова Н.В., Лапин К.Н., Калабушев С.Н., Дрёмин В.В., Потапова Е.В., и др. Параметры микроциркуляции в коже как диагностические маркеры нарушения центрального и церебрального кровообращения при геморрагическом шоке. Общая реаниматология. 2025;21(3):11–25. DOI: 10.15360/1813-9779-2025-3-2559
- 54 Paramasivam R., Jaensch C., Madsen A.H., Ørntoft M.W. Intraoperative assessment of anastomotic microcirculation during right hemicolectomy with real-time laser speckle contrast imaging is safe and feasible. Colorectal Dis. 2025 July;27(7):e70162. DOI: 10.1111/codi.70162
- 55 Baiocchi G.L., Diana M., Boni L. Indocyanine green-based fluorescence imaging in visceral and hepatobiliary and pancreatic surgery: State of the art and future directions. World J Gastroenterol. 2018;24(27):2921–30. DOI: 10.3748/wjg.v24.i27.2921
- 56 De Backer D., Ospina-Tascon G., Salgado D., Favory R., Creteur J., Vincent J.L. Monitoring the microcirculation in the critically ill patient: current methods and future approaches. Intensive Care Med. 2010;36(11):1813–25. DOI: 10.1007/s00134-010-2005-3
- 57 Li B., Dai Y., Cai W., Sun M., Sun J. Monitoring of perioperative tissue perfusion and impact on patient outcomes. J Cardiothorac Surg. 2025;20(1):100. DOI: 10.1186/s13019-025-03353-6
- 58 Hernández G., Ospina-Tascón G.A., Damiani L.P., Estenssoro E., Dubin A., Hurtado J., et al. Effect of a resuscitation strategy targeting peripheral perfusion status vs serum lactate levels on 28-day mortality among patients with septic shock: The ANDROMEDA-SHOCK Randomized Clinical Trial. JAMA. 2019;321(7):654. DOI: 10.1001/jama.2019.0071
- 59 Wittayachamnankul B., Chentanakij B., Sruamsiri K., Chattipakorn N. The role of central venous oxygen saturation, blood lactate, and central venous-to-arterial carbon dioxide partial pressure difference as a goal and prognosis of sepsis treatment. J Crit Care. 2016;36:223–9. DOI: 10.1016/j.jcrc.2016.08.002
- 60 Суфияров И.Ф., Хасанов А.Г., Нуртдинов М.А., Самородов А.В., Ямалова Г.Р. Высокий уровень гликозаминогликанов сыворотки крови как независимый предиктор развития спаечной болезни брюшины. Креативная хирургия и онкология. 2017;7(2):48–53. DOI: 10.24060/2076-3093-2017-7-2-48-53
- 61 Kim H.J., Lee B., Lee B.H., Kim S.Y., Jun B., Choi Y.S. The effect of tranexamic acid administration on early endothelial damage following posterior lumbar fusion surgery. J Clin Med. 2021;10(7):1415. DOI: 10.3390/jcm10071415
- 62 Weinberg L., Yanase F., Tosif S., Riedel B., Bellomo R., Hahn R.G. Trajectory of plasma syndecan-1 and heparan sulphate during major surgery: A retrospective observational study. Acta Anaesthesiol Scand. 2023;67(1):4–11. DOI: 10.1111/aas.14150
- 63 Eriksson S., Jan N., Gert L., Stureson C. Laser speckle contrast imaging for intraoperative assessment of liver microcirculation: a clinical pilot study. Med Devices Evid Res. 2014;7:257–61. DOI: 10.2147/MDER.S63393
- 64 Yajnik V., Maarouf R. Sepsis and the microcirculation: the impact on outcomes. Curr Opin Anaesthesiol. 2022;35(2):230–5. DOI: 10.1097/ACO.0000000000001098
- 65 Trzeciak S., McCoy J.V., Phillip Dellinger R., Arnold R.C., Rizzuto M., Abate N.L., et al. Early increases in microcirculatory perfusion during protocol-directed resuscitation are associated with reduced multi-organ failure at 24 h in patients with sepsis. Intensive Care Med. 2008;34(12):2210–7. DOI: 10.1007/s00134-008-1193-6
- 66 Cabrales P., Intaglietta M., Tsai A.G. Transfusion restores blood viscosity and reinstates microvascular conditions from hemorrhagic shock independent of oxygen carrying capacity. Resuscitation. 2007;75(1):124–34. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2007.03.010
- 67 Van Leeuwen A.L.I., Dekker N.A.M., Jansma E.P., Boer C., Van Den Brom C.E. Therapeutic interventions to restore microcirculatory perfusion following experimental hemorrhagic shock and fluid resuscitation: A systematic review. Microcirculation. 2020;27(8):e12650. DOI: 10.1111/micc.12650
- 68 Robertson F., Fuller B., Davidson B. An evaluation of ischaemic preconditioning as a method of reducing ischaemia reperfusion injury in liver surgery and transplantation. J Clin Med. 2017;6(7):69. DOI: 10.3390/jcm6070069
- 69 Von Heesen M., Dold S., Müller S., Scheuer C., Kollmar O., Schilling M.K., et al. Cilostazol improves hepatic blood perfusion, microcirculation, and liver regeneration after major hepatectomy in rats. Liver Transpl. 2015;21(6):792–800. DOI: 10.1002/lt.24114
- 70 Flick M., Duranteau J., Scheeren T.W.L., Saugel B. Monitoring of the sublingual microcirculation during cardiac surgery: current knowledge and future directions. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2020;34(10):2754–65. DOI: 10.1053/j.jvca.2019.10.038
- 71 Bednarczyk J.M., Fridfinnson J.A., Kumar A., Blanchard L., Rabhani R., Bell D., et al. Incorporating dynamic assessment of fluid responsiveness into goal-directed therapy: a systematic review and meta-analysis. Crit Care Med. 2017;45(9):1538–45. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002554
- 72 Jhanji S., Vivian-Smith A., Lucena-Amaro S., Watson D., Hinds C.J., Pearce R.M. Haemodynamic optimisation improves tissue microvascular flow and oxygenation after major surgery: a randomised controlled trial. Crit Care. 2010;14(4):R151. DOI: 10.1186/cc9220
- 73 Ryzhkov I., Lapin K., Tsokolaeva Z., Kalabushev S., Ostrova I., Ershov A., et al. Microvascular and metabolic effects of a balanced electrolyte solution and heparinized autologous blood in hemorrhagic shock. Archiv EuroMedica. 2022;12(3):e1. DOI: 10.35630/2199-885X/2022/12/3.10
- 74 László I., Janovszky Á., Lovas A., Vargán V., Öveges N., Tanczos T., et al. Effects of goal-directed crystalloid vs. colloid fluid therapy on microcirculation during free flap surgery: A randomised clinical trial. Eur J Anaesthesiol. 2019;36(8):592–604. DOI: 10.1097/EJA.0000000000001024
- 75 Ruslan M., Baharuddin K., Noor N., Yazid M., Md Noh A.Y., Rahman A. Norepinephrine in Septic Shock: A Systematic Review and Meta-analysis. West J Emerg Med. 2021;22(2):196–203. DOI: 10.5811/westjem.2020.10.47825

REFERENCES

- 1 Kunitskiy Yu.L., Kolesnikov A.N., Khar'kovskiy V.A., Khristulenko A.A. Surgical stress: pathogenesis and pathways. Unresolved issues. Bulletin of urgent and recovery surgery. 2017;2(2–3):278–81 (In Russ.).
- 2 Tevis S.E., Cobian A.G., Truong H.P., Craven M.W., Kennedy G.D. Implications of multiple complications on the postoperative recovery of general surgery patients. Ann Surg. 2016;263(6):1213–8. DOI: 10.1097/SLA.0000000000001390
- 3 Yadeta D.A., Manyazewal T., Demessie D.B., Kleive D. Incidence and predictors of postoperative complications in Sub-Saharan Africa: a systematic review and meta-analysis. Front Health Serv. 2024;4:1353788. DOI: 10.3389/frhs.2024.1353788
- 4 Nam K., Jeon Y. Microcirculation during surgery. Anesth Pain Med. 2022;17(1):24–34. DOI: 10.17085/apm.22127
- 5 Bashirova L.I., Safonov A.S., Kamilova R.R., Lipatov D.O., Bakirov A.A., Samorodov A.V. Nutrient deficiency correction in ovarian cancer patients following surgical treatment: a clinical case. Creative surgery and oncology. 2022;12(1):81–6 (In Russ.). DOI: 10.24060/2076-3093-2022-12-1-81-86
- 6 Kanemoto M., Ida M., Naito Y., Kawaguchi M. The impact of preoperative nutrition status on abdominal surgery outcomes: A prospective cohort study. Nutr Clin Pract. 2023;38(3):628–35. DOI: 10.1002/ncp.10932
- 7 Aksu U., Yavuz-Aksu B., Goswami N. Microcirculation: current perspective in diagnostics, imaging, and clinical applications. J Clin Med. 2024;13(22):6762. DOI: 10.3390/jcm13226762
- 8 Donati A., Domizi R., Damiani E., Adrario E., Pelaia P., Ince C. From macrohemodynamic to the microcirculation. Crit Care Res Pract. 2013;2013:1–8. DOI: 10.1155/2013/892710
- 9 Ince C. Hemodynamic coherence and the rationale for monitoring the microcirculation. Crit Care. 2015;19(S3):S8. DOI: 10.1186/cc14726
- 10 Downey C.L., Bainbridge J., Jayne D.G., Meads D.M. Impact of in-hospital postoperative complications on quality of life up to 12 months

- after major abdominal surgery. *Br J Surg*. 2023;110(9):1206–12. DOI: 10.1093/bjs/znad167
- 11 Van Hooft S.J.M., Van Der Linde M., Schneider M.A., Kim J., Berth F., Sugita Y., et al. Impact of postoperative complications on clinical outcomes after gastrectomy for cancer: multicentre study. *Br J Surg*. 2025;112(4):znaf043. DOI: 10.1093/bjs/znaf043
 - 12 Kirchhoff P., Clavien P.A., Hahnloser D. Complications in colorectal surgery: risk factors and preventive strategies. *Patient Saf Surg*. 2010;4(1):5. DOI: 10.1186/1754-9493-4-5
 - 13 Staiger R.D., Gerns E., Castrejón Subirà M., Domenghino A., Puhán M.A., Clavien P.A. Can early postoperative complications predict high morbidity and decrease failure to rescue following major abdominal surgery? *Ann Surg*. 2020;272(5):834–9. DOI: 10.1097/SLA.0000000000004254
 - 14 Shimada H., Fukagawa T., Haga Y., Oba K. Does postoperative morbidity worsen the oncological outcome after radical surgery for gastrointestinal cancers? A systematic review of the literature. *Ann Gastroenterol Surg*. 2017;1(1):11–23. DOI: 10.1002/ags3.12002
 - 15 Samorodov A.V., Urakov A.L., Zolotukhin K.N., Dashkin R.R., Ismagilov N.G., Abubakirova A.I., et al. Clinical and pathological analysis of sudden death after planned surgery. *Creative surgery and oncology*. 2020;10(2):154–61 (In Russ.). DOI: 10.24060/2076-3093-2020-10-2-154-161
 - 16 Wang S., Xu L., Wang Q., Li J., Bai B., Li Z., et al. Postoperative complications and prognosis after radical gastrectomy for gastric cancer: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *World J Surg Oncol*. 2019;17(1):52. DOI: 10.1186/s12957-019-1593-9
 - 17 Shibasaki S., Suda K., Nakauchi M., Nakamura K., Kikuchi K., Inaba K., et al. Non-robotic minimally invasive gastrectomy as an independent risk factor for postoperative intra-abdominal infectious complications: A single-center, retrospective and propensity score-matched analysis. *World J Gastroenterol*. 2020;26(11):1172–84. DOI: 10.3748/wjg.v26.i11.1172
 - 18 Skinner G.C., Liu Y.Z., Harzman A.E., Husain S.G., Gasior A.C., Cunningham L.A., et al. Clinical utility of laser speckle contrast imaging and real-time quantification of bowel perfusion in minimally invasive left-sided colorectal resections. *Dis Colon Rectum*. 2024;67(6):850–9. DOI: 10.1097/DCR.0000000000003098
 - 19 Hackert T., Kläiber U., Hinz U., Strunk S., Loos M., Strobel O., et al. Portal vein resection in pancreatic cancer surgery: risk of thrombosis and radicality determine survival. *Ann Surg*. 2023;277(6):e1291–8. DOI: 10.1097/SLA.0000000000005444
 - 20 Van Riel W.G., van Golen R.F., Reiniens M.J., Heger M., van Gulik T.M. How much ischemia can the liver tolerate during resection? *Hepatobiliary Surg Nutr*. 2016;5(1):58–71. DOI: 10.3978/j.issn.2304-3881.2015.07.05
 - 21 Christ B., Collatz M., Dahmen U., Herrmann K.H., Höpfel S., König M., et al. Hepatectomy-induced alterations in hepatic perfusion and function — toward multi-scale computational modeling for a better prediction of post-hepatectomy liver function. *Front Physiol*. 2021;12:733868. DOI: 10.3389/fphys.2021.733868
 - 22 Choi H., Hwang W. Perioperative inflammatory response and cancer recurrence in lung cancer surgery: a narrative review. *Front Surg*. 2022;9:888630. DOI: 10.3389/fsurg.2022.888630
 - 23 Zolotukhin K.N., Krüger P., Samorodov A.V. Low level of antithrombin III as a warning sign for developing thrombotic complications in surgical patients. *Creative surgery and oncology*. 2018;8(1):52–6 (n Russ.). DOI: 10.24060/2076-3093-2018-8-1-52-56
 - 24 Ylimartimo A.T., Nurkka M., Koskela M., Lahtinen S., Kaakinen T., Vakkala M., et al. Postoperative complications and outcome after emergency laparotomy: a retrospective study. *World J Surg*. 2023;47(1):119–29. DOI: 10.1007/s00268-022-06783-8
 - 25 Grigor'ev EV, Lebedinskii KM, Schegolev AV, et al. Resuscitation and intensive care in acute massive blood loss in adults (clinical guidelines). *Russian Journal of Anesthesiology and Reanimatology*. 2020;1:5–24 (In Russ.). DOI: 10.17116/anaesthesiology20200115
 - 26 Harrois A., Tanaka S., Duranteau J. The Microcirculation in hemorrhagic shock. In: Vincent J.L., ed. *Annual update in intensive care and emergency medicine* 2013. Berlin: Springer; 2013. P. 277–89. DOI: 10.1007/978-3-642-35109-9_22
 - 27 Knežević D., Batičić L., Čurko-Cofek B., Batina T., Ljubačev A., Valenčić Serić L., et al. The effect of coronary artery bypass surgery on interleukin-18 concentration and biomarkers related to vascular endothelial glycocalyx degradation. *Int J Mol Sci*. 2025;26(12):5453. DOI: 10.3390/ijms26125453
 - 28 Kim H.B., Soh S., Kwak Y.L., Bae J.C., Kang S.H., Song J.W. High preoperative serum syndecan-1, a marker of endothelial glycocalyx degradation, and severe acute kidney injury after valvular heart surgery. *J Clin Med*. 2020;9(6):1803. DOI: 10.3390/jcm9061803
 - 29 Heizmann O. Ischemic preconditioning-induced hyperperfusion correlates with hepatoprotection after liver resection. *World J Gastroenterol*. 2010;16(15):1871. DOI: 10.3748/wjg.v16.i15.1871
 - 30 Toh C., Toh J.M.H., Abrams S.T. Disseminated intravascular coagulation — what can we do? *HemaSphere*. 2019;3(52):92–4. DOI: 10.1097/HS9.0000000000000232
 - 31 Assimakopoulos S.E., Triantos C., Thomopoulos K., Fligou F., Maroulis I., Marangos M., et al. Gut-origin sepsis in the critically ill patient: pathophysiology and treatment. *Infection*. 2018;46(6):751–60. DOI: 10.1007/s15010-018-1178-5
 - 32 Alhamdi Y., Toh C.H. Recent advances in pathophysiology of disseminated intravascular coagulation: the role of circulating histones and neutrophil extracellular traps. *F1000Research*. 2017;6:2143. DOI: 10.12688/f1000research.12498.1
 - 33 Chatpun S., Cabrales P. Effects of plasma viscosity modulation on cardiac function during moderate hemodilution. *Asian J Transfus Sci*. 2010;4(2):102. DOI: 10.4103/0973-6247.67034
 - 34 Vollmar B., Menger M.D. Intestinal ischemia/reperfusion: microcirculatory pathology and functional consequences. *Langenbecks Arch Surg*. 2011;396(1):13–29. DOI: 10.1007/s00423-010-0727-x
 - 35 Zacharenko A.A., Belyaev M.A., Trushin A.A., Zaytsev D.A., Kursenko R.V., Sidorov V.V., et al. Combined assessment of intestinal viability using laser doppler flowmetry and laser fluorescence spectroscopy. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2021;20(2):70–6 (In Russ.). DOI: 10.24884/1682-6655-2021-20-2-70-76
 - 36 Heeman W., Wildeboer A.C.L., Al-Taher M., Calon J.E.M., Stassen L.P.S., Diana M., et al. Experimental evaluation of laparoscopic laser speckle contrast imaging to visualize perfusion deficits during intestinal surgery. *Surg Endosc*. 2023;37(2):950–7. DOI: 10.1007/s00464-022-09536-9
 - 37 Holländer S., Von Heesen M., Gäbelein G., Mercier J., Laschke M.W., Menger M.D., et al. Perioperative treatment with cilostazol reverses steatosis and improves liver regeneration after major hepatectomy in a steatotic rat model. *Sci Rep*. 2025;15(1):2753. DOI: 10.1038/s41598-025-87135-z
 - 38 Dang P.T., Lopez B.E., Togashi K. A Decrease in effective renal perfusion pressure is associated with increased acute kidney injury in patients undergoing cardiac surgery. *Cureus*. 2023;15(9):e45036 DOI: 10.7759/cureus.45036
 - 39 Yu Y., Li C., Zhu S., Jin L., Hu Y., Ling X., et al. Diagnosis, pathophysiology and preventive strategies for cardiac surgery-associated acute kidney injury: a narrative review. *Eur J Med Res*. 2023;28(1):45. DOI: 10.1186/s40001-023-00990-2
 - 40 Moroz V.V., Ryzhkov I.A. Acute blood loss: regional blood flow and microcirculation (review, part II). *General reanimatology*. 2016;12(5):65–94 (In Russ.). DOI: 10.15360/1813-9779-2016-5-65-94
 - 41 Ince C., Boerma E.C., Cecconi M., De Backer D., Shapiro N.I., Duran-teau J., et al. Cardiovascular dynamics section of the ESICM. Second consensus on the assessment of sublingual microcirculation in critically ill patients: results from a task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med*. 2018;44(3):281–99. DOI: 10.1007/s00134-018-5070-7
 - 42 Flick M., Jannsen G.P., Krause L., Montomoli J., Pollok F., Moll-Khosrawi P., et al. The effect of major abdominal surgery on the sublingual microcirculation: an observational study. *Can J Anesth Can Anesth*. 2025;72(5):768–79. DOI: 10.1007/s12630-025-02941-3
 - 43 Bruno R.R., Wollborn J., Fengler K., Flick M., Wunder C., Allgäuer S., et al. Direct assessment of microcirculation in shock: a randomized-controlled multicenter study. *Intensive Care Med*. 2023;49(6):645–55. DOI: 10.1007/s00134-023-07098-5
 - 44 Wagner M., Anzinger E., Hey F., Reiter K., Wermelt J.Z., Pastor-Villaescusa B., et al. Monitoring of the microcirculation in children undergoing major abdominal and thoracic surgery: A pilot study. *Clin Hemorheol Microcirc*. 2023;83(3):217–29. DOI: 10.3233/CH-221617
 - 45 Liu Y.Z., Shah S.K., Sanders C.M., Nwaiwu C.A., Dechert A.F., Mehrotra S., et al. Utility and usability of laser speckle contrast imaging (LSCI) for displaying real-time tissue perfusion/blood flow in robot-assisted surgery (RAS): comparison to indocyanine green (ICG) and use in laparoscopic surgery. *Surg Endosc*. 2023;37(6):4803–11. DOI: 10.1007/s00464-022-09590-3
 - 46 Tavy A.L., De Bruin A.F., Boerma E.C., Ince C., Hilty M.P., Noordzij P.G., et al. Association between serosal intestinal microcirculation and blood pressure during major abdominal surgery. *J Intensive Med*. 2021 July;1(1):59–64. DOI: 10.1016/j.jointm.2021.03.003

- 47 Krupatkin A.I., Sidorov V.V. Functional diagnostics of the state of microcirculatory-tissue systems: Oscillations, information, nonlinearity (Physician's Guide). M.: LIBROKOM; 2013 (In Russ.).
- 48 Cracowski J., Roustit M. Current methods to assess human cutaneous blood flow: an updated focus on laser-based-techniques. *Microcirculation*. 2016;23(5):337–44. DOI: 10.1111/micc.12257
- 49 Kosovskikh A.A., Kan S.L., Churlyayev Yu.A., Zoloyeva O.S., Baranov A.A., Kruglyakov O.O. The Functional state of intestinal microcirculation in diffuse peritonitis. *General Reanimatology*. 2012;8(2):33 (In Russ.). DOI: 10.15360/1813-9779-2012-2-33
- 50 Ladozhskaya-Gapeenko E.E. Microcirculation dysfunction in critical conditions (literature review). *Messenger of anesthesiology and resuscitation*. 2024;21(6):116–21 (In Russ.). DOI: 10.24884/2078-5658-2024-21-6-116-121
- 51 Medvedev K.I., Zavialov A. A. Functional disorders after mastectomy. Methods for their correction. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Clinical Bulletin. 2025;3:62–6 (In Russ.). DOI: 10.33266/2782-6430-2025-3-62-66
- 52 Guven G., Dijkstra A., Kuijper T.M., Trommel N., Van Baar M.E., Topeli A., et al. Comparison of laser speckle contrast imaging with laser Doppler perfusion imaging for tissue perfusion measurement. *Microcirculation*. 2023;30(1):e12795. DOI: 10.1111/micc.12795
- 53 Ryzhkov I.A., Golubova N.V., Lapin K.N., Kalabushev S.N., Dremine V.V., Potapova E.V., et al. Skin microcirculatory parameters as diagnostic markers of central and cerebral circulatory disorders in hemorrhagic shock. *General Reanimatology*. 2025;21(3):11–25 (In Russ.). DOI: 10.15360/1813-9779-2025-3-2559
- 54 Paramasivam R., Jaensch C., Madsen A.H., Ørntoft M.W. Intraoperative assessment of anastomotic microcirculation during right hemicolectomy with real-time laser speckle contrast imaging is safe and feasible. *Colorectal Dis*. 2025 July;27(7):e70162. DOI: 10.1111/codi.70162
- 55 Baiocchi G.L., Diana M., Boni L. Indocyanine green-based fluorescence imaging in visceral and hepatobiliary and pancreatic surgery: State of the art and future directions. *World J Gastroenterol*. 2018;24(27):2921–30. DOI: 10.3748/wjg.v24.i27.2921
- 56 De Backer D., Ospina-Tascon G., Salgado D., Favory R., Creteur J., Vincent J.L. Monitoring the microcirculation in the critically ill patient: current methods and future approaches. *Intensive Care Med*. 2010;36(11):1813–25. DOI: 10.1007/s00134-010-2005-3
- 57 Li B., Dai Y., Cai W., Sun M., Sun J. Monitoring of perioperative tissue perfusion and impact on patient outcomes. *J Cardiothorac Surg*. 2025;20(1):100. DOI: 10.1186/s13019-025-03353-6
- 58 Hernández G., Ospina-Tascón G.A., Damiani L.P., Estenssoro E., Dubin A., Hurtado J., et al. Effect of a resuscitation strategy targeting peripheral perfusion status vs serum lactate levels on 28-day mortality among patients with septic shock: The ANDROMEDA-SHOCK Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2019;321(7):654. DOI: 10.1001/jama.2019.0071
- 59 Wittayachamnankul B., Chentanakij B., Sruamsiri K., Chattipakorn N. The role of central venous oxygen saturation, blood lactate, and central venous-to-arterial carbon dioxide partial pressure difference as a goal and prognosis of sepsis treatment. *J Crit Care*. 2016;36:223–9. DOI: 10.1016/j.jccr.2016.08.002
- 60 Sufiyarov I.F., Khasanov A.G., Nurtdinov M.A., Samorodov A.V., Jamalova G.R. High level of glycosaminoglycans of blood serum as an independent predictor of the developing peritoneum adhesive disease. *Creative surgery and oncology*. 2017;7(2):48–53 (In Russ.). DOI: 10.24060/2076-3093-2017-7-2-48-53
- 61 Kim H.J., Lee B., Lee B.H., Kim S.Y., Jun B., Choi Y.S. The effect of tranexamic acid administration on early endothelial damage following posterior lumbar fusion surgery. *J Clin Med*. 2021;10(7):1415. DOI: 10.3390/jcm10071415
- 62 Weinberg L., Yanase F., Tosif S., Riedel B., Bellomo R., Hahn R.G. Trajectory of plasma syndecan-1 and heparan sulphate during major surgery: A retrospective observational study. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2023;67(1):4–11. DOI: 10.1111/aas.14150
- 63 Eriksson S., Jan N., Gert L., Stureson C. Laser speckle contrast imaging for intraoperative assessment of liver microcirculation: a clinical pilot study. *Med Devices Evid Res*. 2014;7:257–61. DOI: 10.2147/MDER.S63393
- 64 Jainik V., Maarouf R. Sepsis and the microcirculation: the impact on outcomes. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2022;35(2):230–5. DOI: 10.1097/ACO.0000000000001098
- 65 Trzeciak S., McCoy J.V., Phillip Dellinger R., Arnold R.C., Rizzuto M., Abate N.L., et al. Early increases in microcirculatory perfusion during protocol-directed resuscitation are associated with reduced multi-organ failure at 24 h in patients with sepsis. *Intensive Care Med*. 2008;34(12):2210–7. DOI: 10.1007/s00134-008-1193-6
- 66 Cabrales P., Intaglietta M., Tsai A.G. Transfusion restores blood viscosity and reinstates microvascular conditions from hemorrhagic shock independent of oxygen carrying capacity. *Resuscitation*. 2007;75(1):124–34. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2007.03.010
- 67 Van Leeuwen A.L.I., Dekker N.A.M., Jansma E.P., Boer C., Van Den Brom C.E. Therapeutic interventions to restore microcirculatory perfusion following experimental hemorrhagic shock and fluid resuscitation: A systematic review. *Microcirculation*. 2020;27(8):e12650. DOI: 10.1111/micc.12650
- 68 Robertson F., Fuller B., Davidson B. An evaluation of ischaemic preconditioning as a method of reducing ischaemia reperfusion injury in liver surgery and transplantation. *J Clin Med*. 2017;6(7):69. DOI: 10.3390/jcm6070069
- 69 Von Heesen M., Dold S., Müller S., Scheuer C., Kollmar O., Schilling M.K., et al. Cilostazol improves hepatic blood perfusion, microcirculation, and liver regeneration after major hepatectomy in rats. *Liver Transpl*. 2015;21(6):792–800. DOI: 10.1002/lt.24114
- 70 Flick M., Duranteau J., Scheeren T.W.L., Saugel B. Monitoring of the sublingual microcirculation during cardiac surgery: current knowledge and future directions. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2020;34(10):2754–65. DOI: 10.1053/j.jvca.2019.10.038
- 71 Bednarczyk J.M., Fridfinnson J.A., Kumar A., Blanchard L., Rabhani R., Bell D., et al. Incorporating dynamic assessment of fluid responsiveness into goal-directed therapy: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med*. 2017;45(9):1538–45. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002554
- 72 Jhanji S., Vivian-Smith A., Lucena-Amaro S., Watson D., Hinds C.J., Pearse R.M. Haemodynamic optimisation improves tissue microvascular flow and oxygenation after major surgery: a randomised controlled trial. *Crit Care*. 2010;14(4):R151. DOI: 10.1186/cc9220
- 73 Ryzhkov I., Lapin K., Tsokolaeva Z., Kalabushev S., Ostrova I., Ershov A., et al. Microvascular and metabolic effects of a balanced electrolyte solution and heparinized autologous blood in hemorrhagic shock. *Archiv EuroMedica*. 2022;12(3):e1. DOI: 10.35630/2199-885X/2022/12/3.10
- 74 László I., Janovszky Á., Lovas A., Vargán V., Öveges N., Tanczos T., et al. Effects of goal-directed crystalloid vs. colloid fluid therapy on microcirculation during free flap surgery: A randomised clinical trial. *Eur J Anaesthesiol*. 2019;36(8):592–604. DOI: 10.1097/EJA.0000000000001024
- 75 Ruslan M., Baharuddin K., Noor N., Yazid M., Md Noh A.Y., Rahman A. Norepinephrine in Septic Shock: A Systematic Review and Meta-analysis. *West J Emerg Med*. 2021;22(2):196–203. DOI: 10.5811/westjem.2020.10.47825

© Рыжков И.А., Варнакова Л.А., Фонова П.А., 2025
 © Ryzhkov I.A., Varnakova L.A., Fonova P.A., 2025