

<https://doi.org/10.33878/2073-7556-2023-22-3-140-148>



Современные методы оценки жизнеспособности стенки кишки (обзор литературы)

Валиев А.А.¹, Хасанов Р.Ш.², Галимова Л.Л.³, Гатауллин И.Г.²

¹ГАУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер Министерства здравоохранения Республики Татарстан имени профессора М.З. Сигала» (ул. Сибирский тракт, д. 31, г. Казань, 420029, Россия)

²Казанская ГМА — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России (ул. Бутлерова, д. 36, г. Казань, 420012, Россия)

³ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России (ул. Бутлерова, д. 49, г. Казань, 420012, Россия)

РЕЗЮМЕ

ЦЕЛЬ: освещение современных методов оценки жизнеспособности стенки кишки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: поиск необходимой литературы осуществлялся в монографиях, статьях, журналах, справочных материалах на поисковых системах электронных библиотек и сайтов.

РЕЗУЛЬТАТЫ: несмотря на развитие науки и техники на настоящий момент, самым распространенным методом оценки жизнеспособности стенки кишки остается визуальный, который включает в себя такие параметры, как цвет кишки, перистальтика, пульсация артерий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: исходя из подобранной литературы, следует вывод, что такие методы, как гиперспектральная визуализация, мультимодальная когерентная томография являются перспективными, но для определения их ценности в клинической практике нужны дальнейшие исследования. На сегодняшний день наиболее изученным и применяемым методом является флуоресцентная ангиография, позволяющая оценить жизнеспособность кишки на большом протяжении.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: жизнеспособность кишки, визуальная оценка

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Валиев А.А., Хасанов Р.Ш., Галимова Л.Л., Гатауллин И.Г. Современные методы оценки жизнеспособности стенки кишки (обзор литературы). *Колопроктология*. 2023; т. 22, № 3, с. 140–148. <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2023-22-3-140-148>

Modern methods of assessing the viability of the intestinal wall (review)

Amir A. Valiev¹, Rustem Sh. Hasanov², Liana L. Galimova³, Ilgiz G. Gataullin²

¹Republican Clinical Oncological Dispensary of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan named after Professor M.Z. Sigal (Sibirskiy trakt st., 31, Kazan, 420029, Russia)

²Kazan State Medical Academy — branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional education (Butlerova st., 36, Kazan, 420012, Russia)

³Kazan State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Butlerova st., 49, Kazan, 420012, Russia)

ABSTRACT

AIM: to highlight modern methods of assessing the viability of the intestinal wall.

MATERIALS AND METHODS: the search was made using electronic databases. We explored multiple sources, including, but not limited to, monographs, journal articles, books and websites.

RESULTS: despite recent advances in scientific methods and technologies, currently the visual method remains the most popular for assessing the viability of the intestinal wall, which includes parameters such as color of the intestinal wall, peristalsis, and arterial pulsation.

CONCLUSION: it would be fair to conclude that such methods as hyperspectral imaging, multimodal coherent tomography provide greater flexibility and details on the intestinal viability. However, further research is needed to determine their value in clinical practice. To the date, the most studied and applied method is fluorescent angiography, which allows to assess the viability of the intestine for most of its length.

KEYWORDS: vitality of the intestinal wall, visual assessment

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest

FOR CITATION: Valiev A.A., Hasanov R.Sh., Galimova L.L., Gataullin I.G. Modern methods of assessing the viability of the intestinal wall (review). *Koloproktologia*. 2023;22(3):140–148. (in Russ.). <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2023-22-3-140-148>

АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ: Валиев Амир Абулкарямович, ГАУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер МЗ РТ имени профессора М.З. Сигала», ул. Сибирский тракт, д. 31, Казань, 420029, Россия; тел.: +7 (843) 202-24-16; email: v.amir2014@yandex.ru
ADDRESS FOR CORRESPONDENCE: Amir A. Valiev, Republican Clinical Oncological Dispensary of the Ministry of Health, the Republic of Tatarstan» (Sibirskiy tract st., 31, Kazan, 420029, Russia; email: v.amir2014@yandex.ru

Дата поступления — 21.03.2023

После доработки — 07.06.2023

Принято к публикации — 14.08.2023

Received — 21.03.2023

Revised — 07.06.2023

Accepted for publication — 14.08.2023

ВВЕДЕНИЕ

Интраоперационная оценка жизнеспособности кишечника является важным вопросом для хирурга, ответ на который определит не только план операции, но и дальнейшее качество жизни пациента. Точное определение границ резекции снижает риск несостоятельности анастомоза и помогает предотвратить пострезекционные нарушения желудочно-кишечного тракта, такие как синдром короткой кишки [1,2,3].

Самым распространенным интраоперационным методом оценки является визуальный, который включает в себя такие параметры, как цвет кишки, перистальтика, пульсация артерий. Но не стоит забывать, что за последние несколько десятилетий впечатляющие достижения в области компьютерных наук и технологий визуализации увеличили синергию машины и врача, в результате чего точная медицина стала частью современной клинической практики [4]. Интраоперационное использование технологий визуализации, которые могут улучшить зрение человека, имеет основополагающее значение для повышения точности и прецизионности хирургии. Идеальный метод интраоперационной визуализации должен быть безопасным и удобным для пользователя, чтобы плавно вписываться в рабочий процесс [5,6].

Еще в 1992 году Norgan P.G. и Gorey T.F. в своей работе установили требования к идеальной методике определения жизнеспособности кишки: метод должен подходить для каждой операционной, занимающейся неотложными состояниями в брюшной полости; необходимое оборудование не должно быть громоздким или требовать специализированного персонала; метод должен быть точным с минимальным количеством ложноотрицательных результатов и, что не менее важно, давать также минимум ложноположительных оценок (ложноотрицательный результат оставляет нежизнеспособный кишечник *in situ*, тогда как ложноположительная оценка жизнеспособности кишечника приводит к резекции потенциально восстанавливаемой кишки, которая теряется навсегда); методика должна быть объективной и быть воспроизводимой; метод должен быть экономически

эффективным [7]. В данном обзоре будут освещены современные методы интраоперационной оценки.

Историческая справка

Основоположником в оценке жизнеспособности кишки является Вернер Керте (1850–1937), который предложил визуальный метод, включающий в себя такие параметры, как цвет кишки, перистальтику и пульсацию сосудов брыжейки. Явными признаками некроза являются темная окраска и тусклость серозной оболочки, дряблая истонченная стенка, отсутствие перистальтики кишки и пульсации сосудов брыжейки. Этот понятный субъективизм позволил многим хирургам останавливаться на резекции проксимального отдела кишки длиной 40 см от патологической зоны и 20 см дистальной части кишки. Метод Керте ввиду своей доступности и технической простоты получил широкое распространение в абдоминальной хирургии и используется по сей день.

Метод Сигала З.М.

Данный метод заключается в измерении систолического артериального давления (САД) в интрамуральных сосудах кишки и дополнительно в сосудах локтевого сгиба с дальнейшим определением соотношения между этими величинами. При величине показателя 0,6 и выше кишку признают жизнеспособной. Данный способ продемонстрирован на пациентке 47 лет, которая поступила в клинику с диагнозом: рак восходящей ободочной кишки. Выполнена правосторонняя гемиколэктомия. В шовной полосе проксимального конца интрамуральное давление оказалось равным 25/25 мм рт. ст. при системном давлении 140/80 мм рт. ст. Индекс жизнеспособности кишки (ИЖК) в шовной линии составил 0,2. Шовная полоса перенесена в проксимальном направлении, в которой кровяное давление в интрамуральном сосуде составило у брыжеечного края кишки 120/90 мм рт. ст. при системном давлении 140/80 мм рт. ст. При этом ИЖК шовной полосы равен 0,9.

В шовной полосе поперечной ободочной кишки интрамуральное давление составило у брыжеечного края кишки 160/100 мм рт. ст. при системном давлении 140/80 мм рт. ст. В этой шовной полосе ИЖК

равен 1,1. Сформирован инвагинационный электрохирургический асептический илеотрансверзоанастомоз. Послеоперационный период прошел без осложнений [8].

Флуоресцентная ангиография

Флуоресцентная ангиография (ФА) широко используется в современной клинической практике [9–11]. Для реализации данного метода оценки используется индоцианиновый зеленый (ICG), который является наиболее широко используемым флуоресцентным красителем в целях интраоперационной визуализации перфузии [12]. ICG, вводимый внутривенно болюсно, связывается с белками плазмы и не покидает кровяное русло. Инфракрасная камера определяет интенсивность флуоресценции в режиме реального времени, которая коррелирует с перфузией тканей. В обычных системах интенсивность флуоресценции обычно отображается в формате видео в градациях серого или в виде наложения на видео оттенков красного, зеленого и синего цветов. Стоит отметить некоторые особенности. Очевидно, что низкая доза ICG приводит к низкой интенсивности сигнала ICG, но в настоящий момент нет четких инструкций по подборе дозировки. Также есть временная задержка от момента введения до достижения исследуемого органа, а ICG имеет короткий период полувыведения (2–4 мин) [13], что приводит к довольно быстрому снижению интенсивности его флуоресценции. Пограничная зона между ишемизированным и здоровым участками исследования с течением времени смещается в менее перфузируемую часть кишечника. Поэтому хирург должен определить линию резекции, когда сигнал флуоресценции достигает своего максимума. Различные исследования показали, что этого можно ожидать примерно через 30–40 секунд после введения [14–16].

Некоторые исследования продемонстрировали эффективность ФА, но они не являлись рандомизированными [9,10,17].

В Италии было проведено многоцентровое рандомизированное контролируемое исследование (РКИ) с участием 240 пациентов, которым был лапароскопически сформирован колоректальный анастомоз. В основной группе было 118 человек, в контрольной группе — 122 человека. Несостоятельность анастомоза развилась у 11 (9%) пациентов контрольной группы и у 6 пациентов (5%) основной группы. Таким образом, не было статистически значимого снижения частоты несостоятельности анастомоза в группе ICG [18]. К тем же выводам пришли при проведении РКИ PILLAR III с участием 347 пациентов [19].

Нами не была найдена информации об аллергических реакциях (в т.ч. анафилактическом шоке или

анафилактической реакции) при применении индоцианина зеленого в колоректальной хирургии. Но имеются данные о подобных случаях при его применении в других областях [20–22].

Конечно, визуализация ICG не лишена недостатков: она требует инъекции внешнего флуорофора (красителя), ограничена фармакокинетикой при повторном введении, может вызывать крайне редкие случаи аллергических реакций, и интерпретируется субъективно.

Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ)

С помощью ЛДФ возможно выполнение неинвазивных локальных измерений кровотока в кишечной стенке. Выраженность микроциркуляции измеряется в единицах перфузии, что является относительным количественным параметром. При некрозе стенки ишемизированной кишки микроциркуляция, измеряемая с помощью ЛДФ, не определяется. Применение ЛДФ при оценке жизнеспособности кишки в области колоректальных анастомозов позволило выявить критическое снижение кровоснабжения зоны будущего анастомоза и, при необходимости, определить целесообразность выполнения одномоментного восстановления непрерывности толстой кишки в случае экстренных оперативных вмешательств, либо выполнить коррекцию уровня резекции при плановых операциях, что привело к снижению числа несостоятельств до 1% [23].

Беляев А. и соавт. провели исследование, в которое было включено 29 пациентов с злокачественными новообразованиями левого фланка ободочной кишки, осложненными обтурационной непроходимостью. Лишь у 1 пациента развилась несостоятельность колоректального анастомоза. Авторы предполагают, что наиболее вероятной причиной несостоятельности являются технические трудности формирования анастомоза сшивающим аппаратом, а также отмечают эффективность ЛДФ [24].

Хрипун А. и соавт. проанализировали результаты хирургического лечения 109 пациентов, разделенных на контрольную ($n = 52$) и основную ($n = 57$) группы, с острым артериальным нарушением мезентериального кровообращения. Чувствительность методики ЛДФ в определении границ жизнеспособности тонкой и толстой кишки составила 91%. Применение ЛДФ позволило снизить частоту прогрессирования некроза кишечника в раннем послеоперационном периоде с 48,6 до 9,1% ($p < 0,001$). Авторы заключают, что ЛДФ можно рекомендовать для интраоперационной оценки жизнеспособности кишечника у больных с острым артериальным нарушением мезентериального кровообращения [11].

К преимуществам ЛДФ относятся применимость в интраоперационных условиях, неинвазивность, относительная простота и быстрота измерения параметров микроциркуляции. К недостаткам методики следует отнести возможность измерения в небольших по диаметру точках, при которой не учитывается гетерогенность строения сети капилляров в кишечной стенке. Кроме того, параметры измерения выражаются в перфузионных единицах и являются относительными величинами [23].

ЛДФ получила ограниченное применение в оценке кишечного кровотока из-за высокой цены оборудования, технических трудностей и отсутствия воспроизводимости [14]. Результаты доплеровского ультразвукового исследования различаются в зависимости от навыков хирурга. Также стоит отметить отсутствие в настоящее время РКИ методики ЛДФ.

Интраоперационная пульсоксиметрия

Интраоперационная пульсоксиметрия — это дешевый, простой в использовании, быстрый и легкодоступный метод оценки жизнеспособности тканей. Перфузия и местная оксигенация тканей (StO_2), независимо от системного насыщения кислородом, являются фундаментальными детерминантами состоятельности анастомоза.

Salusjärvi и соавт. в период с 2005 по 2011 гг. проведено проспективное исследование, направленное на оценку эффективности интраоперационной пульсоксиметрии для прогнозирования состоятельности анастомозов в колоректальной хирургии. Значения анализировали относительно послеоперационных осложнений. С помощью логистического регрессионного анализа риск несостоятельности анастомоза был в 4,2 раза выше при значениях $StO_2 \leq 90\%$. Эти наблюдения позволили сделать вывод, что низкие интраоперационные значения StO_2 в толстой кишке имеют прямую корреляцию с возникновением несостоятельности межкишечных анастомозов. Несмотря на свои недостатки, этот метод, по-видимому, полезен для оценки жизнеспособности анастомозируемых участков кишки [25].

Проводилось исследование, в котором разработали и успешно испытали беспроводной пульсоксиметр (WiPOX), способный обнаруживать интраоперационную гипоксию тканей в эндоскопической хирургии. WiPOX продемонстрировал точность в пределах 3% по сравнению с коммерчески доступными пульсоксиметрами [26].

Беспроводной пульсоксиметр можно рассматривать как возможный новый метод, способный помочь в интраоперационной оценке жизнеспособности кишечника. Его преимуществами являются доступность, низкая стоимость, простота и высокая

скорость измерений. В проспективное исследование Omar S.E. и соавт. были включены 40 пациентов, у которых была вероятной острой ишемии кишечника. Жизнеспособность кишечника у первых 10 пациентов также оценивали с помощью флуоресцентного красителя в дополнение к пульсоксиметрии. У остальных 30 пациентов жизнеспособность кишечника оценивалась только с помощью пульсоксиметра. У трех пациентов возникли осложнения: в двух случаях — несостоятельность анастомоза и в одном случае — краевой некроз колостомы. Средние значения показаний пульсоксиметрии в неосложненной группе (37 случаев) составили 95,65 и 96,32% в проксимальном и дистальном сегментах, соответственно, тогда как в осложненной группе (3 случая) средние значения составили 89 и 87% в проксимальном и дистальном сегментах, соответственно. Авторы считают, что для состоятельности анастомоза SpO_2 должна составлять более 90% как в проксимальном, так и в дистальном сегментах кишки [27].

Лазерная спекл-контрастная визуализация (ЛСКВ)

Лазерная спекл-контрастная визуализация (ЛСКВ) является перспективным методом интраоперационной оценки внутрибрюшной микроциркуляции при острой мезентериальной ишемии (ОМИ) [28,29]. Однако до сих пор она использовалась только для идентификации областей ишемии при реконструкции желудка [30,31] и во время колоректальной хирургии [32].

ЛСКВ — это бесцветный, бесконтактный и неинвазивный метод, который использует лазерный свет для обнаружения движения эритроцитов в режиме реального времени [33]. Лазерное спекл-контрастное изображение основано на случайной интерференционной картине, возникающей при рассеянии когерентного света из случайной среды, которая затем отображается на детекторе камеры. В зависимости от программного обеспечения изображение области ишемии отображается иным цветом или оттенком.

ЛСКВ применяется при открытых вмешательствах, а также разработана и успешно испытана специальная лапароскопическая система, объединяющая ЛСКВ с лапароскопом [29,34,35].

Эту технологию в экспериментах использовали при измерении перфузии органов брюшной полости свиней: желудка, печени, тонкой кишки [32] и пищевода [36]. Heeman W. et al. провели двухцентровое исследование с участием десяти пациентов, перенесших резекцию толстой кишки, и пришли к выводу, что ЛСКВ способна идентифицировать ишемизированные участки толстой кишки в стандартной лапароскопической установке с измеренным снижением кровотока до 10% по сравнению с исходным уровнем [29].

Kojima S. et al. проанализировали 27 левосторонних гемиколэктомий, при которых применялась интраоперационная оценка перфузии с помощью ЛСКВ, и сравнили с контрольной группой. Ни у одного пациента, проходящего оценку перфузии ЛСКВ, не развилась несостоятельность анастомоза, но у пяти (18,5%) пациентов контрольной группы она произошла [37]. Таким образом, использование ЛСКВ может снизить частоту несостоятельности анастомозов, но для широкого внедрения в клиническую практику необходимы дополнительные масштабные исследования.

Темнопольная микроскопия

Темнопольная микроскопия демонстрирует потенциал в обнаружении изменений перфузии в кишечнике, и включает в себя боковую темнопольную микроскопию (SDF) [38–40], визуализацию падающего темного поля (IDF) [41,42]. При визуализации SDF освещение обеспечивается путем окружения центрального световода концентрически расположенными световыми диодами, чтобы обеспечить боковое освещение темного поля. А при IDF используется ерi-освещение, то есть источник света располагается с той же стороны, что и объектив микроскопа. В ходе микроскопии определяются микроциркуляторные параметры, такие как индекс микрососудистого кровотока, долю перфузируемых сосудов, плотность перфузируемых сосудов, общую плотность сосудов.

SDF и IDF представляют собой неинвазивные микроскопии для количественной визуализации перфузии. SDF демонстрирует потенциал в оценке перфузии желудочного зонда [40] и толстой кишки [38,39], что позволяет достичь снижения частоты несостоятельности анастомоза.

Uz Z. et al. в 2018 году проводили IDF брюшины с целью определения её ангиоархитектоники. Выяснилось, что она характеризуется четырехугольной сетью продольно ориентированных капилляров, часто окруженных жировыми клетками. Стоит отметить, что данный метод исследования микроциркуляции возможен только при лапаротомии, что ограничивает возможности его применения [41]. Дальнейшее исследование в данной области позволит применять данный метод и для оценки жизнеспособности стенки кишки.

De Bruin A.F. et al. провели исследование, где 10 пациентам была выполнена лапароскопическая резекция сигмовидной кишки. Микроциркуляцию измеряли на пересеченной кишке и на 20 см проксимальнее этой точки. Выявлены значительно более низкие параметры серозной микроциркуляции в пересеченной кишке по сравнению с нерассеченной. Способность визуализации SDF обнаруживать тонкие различия дает надежду на будущие исследования пороговых

значений микроциркуляции, ведущих к нежизнеспособности кишечника [39].

Xu T. et al. провели проспективное пилотное исследование, в котором оценивали эффективность SDF для количественной оценки микроциркуляции в области анастомоза и анализа корреляции с его несостоятельностью. Включено 33 пациента с раком прямой кишки, которым проведена резекция прямой кишки. Микроциркуляцию измеряли в нисходящей ободочной кишке, линии пересечения брыжейки толстой кишки (БТК) и на 1 см и 2 см дистальнее БТК. Несостоятельность анастомоза произошла у 3 (9,1%) пациентов, у которых микроциркуляция кишечных стенок в области анастомоза была значительно ниже, чем у пациентов без несостоятельности (все $P < 0,01$) [43].

Недостатком SDF является необходимость прямого контакта с малым полем обзора [44].

Гиперспектральная визуализация (ГСВ)

ГСВ — это относительно новая методика для оценки ишемии кишечника. Во время ГСВ генерируются изображения в искусственных цветах, которые представляют различные параметры оксигенации тканей [45]. Mehdorn M. et al. продемонстрировали, что ГСВ способна надежно различать тканевую перфузию при ОМИ и, следовательно, может быть полезна при резекции [46].

ГСВ осуществляется следующим образом. Объект освещается широкополосным источником света. Коэффициенты отражения измеряются датчиком изображения в различных диапазонах электромагнитного спектра, в основном, в видимом и ближнем инфракрасных диапазонах от 400 до 1000 нм. В зависимости от состава ткани свет по-разному взаимодействует со своими компонентами, включая процессы поглощения, рассеяния или отражения. Таким образом, она позволяет рассчитать физиологические параметры, например, состояние перфузии, для которых используются характеристики поглощения оксигенированного и деоксигенированного гемоглобина. ГСВ не требует экзогенного флуорофора, который изменяет оптические свойства объекта, что является несомненным преимуществом.

В колоректальной хирургии ГСВ позволила визуализировать перфузию крови по краям резекции для создания хорошо перфузируемых анастомозов [15,47]. Jansen-Winkeln B. et al. проанализировали 115 случаев резекции толстой кишки, при которых границы резекции определяли с помощью ГСВ. Линия резекции, основанная исключительно на клинической оценке, была правильно проведена только у половины пациентов (55,2%). У 8 пациентов выявлена несостоятельность анастомоза, однако насыщение кислородом

(StO_2) в этой группе статистически значимо не отличалось от группы без несостоятельности. Авторы пришли к выводу, что ГСВ позволяет количественно оценить перфузию стенки кишки, но для определения ценности данного метода для снижения частоты осложнений нужны дальнейшие более крупные рандомизированные исследования [48].

Wagner T. et al. с помощью ГСВ сравнивали перфузию при ручном и аппаратном анастомозе. Насыщение кислородом (StO_2), а также индекс перфузии (NIR) исследуемой области (0,5 см с обеих сторон от центра шва или линии скрепок) были значительно выше при аппаратных анастомозах по сравнению с ручными подвздошно-подвздошными соустьями (StO_2 0,79 (0,74–0,81) — против 0,66 (0,62–0,70); $p < 0,001$ NIR 0,83 (0,70–0,86) — против 0,70 (0,63–0,76), $p = 0,01$). В обеих группах не было ни несостоятельности анастомоза, ни абдоминальных септических осложнений, ни летального исхода [49]. Таким образом, ГСВ может использоваться не только для оценки исходной жизнеспособности кишки, но и для её оценки после формирования анастомоза, что при дальнейших исследованиях поможет определить наилучшие методики наложения анастомозов.

Стоит отметить преимущества ГСВ перед ФА. В отличие от ГСВ, ФА не позволяет изучить тонкие различия между сшитыми вручную и степлерными анастомозами. Кроме того, ФА несет риск аллергических реакций или других опасных побочных эффектов из-за своей инвазивности. Другим важным аспектом является то, что ФА дает полуколичественную оценку и в большей степени зависит от индивидуальной оценки хирурга, в отличие от четких количественных и объективных параметров, представленных ГСВ.

Оптическая когерентная томография (ОКТ)

Оптическая когерентная томография (ОКТ) ангиография представляет собой мультимодальную технологию одновременной визуализации структуры и микроциркуляции исследуемого органа и наиболее эффективно применяется в офтальмологии [50].

Опыт экспериментального и клинического применения ОКТ в гастроэнтерологии свидетельствует о возможности безметочной визуализации расслоения стенки кишки с разрешением 25 мкм и менее на глубину до 2 мм [50–52].

Существует дополненный вариант ОКТ — мультимодальная ОКТ (ММ ОКТ), которая позволяет одновременно оценивать структуру и микроциркуляцию с высоким разрешением, что имеет решающее значение для клиницистов при определении границ резекции кишечника при ОМИ. Интраоперационная ММ ОКТ, выполняемая транссерозным доступом, является потенциальным диагностическим инструментом для

объективной оценки состояния слоев стенки кишечника вместе с локализованными в них сосудами. Изображения ММ ОКТ неишемической, ишемической, жизнеспособной и некротической тонкой кишки значительно различаются по объему накопления экстравазальной жидкости, структуре мышечных пучков в продольном мышечном слое, типу и плотности сосудистой системы.

ММ ОКТ доказала свою эффективность в исследованиях моделей ОМИ на лабораторных животных [53,54]. Kiseleva E. и соавт. в своем исследовании продемонстрировали эффективность и перспективность транссерозной ММ ОКТ в интраоперационной диагностике микроструктуры и микроциркуляции стенки тонкой кишки у больных ОМИ. В исследование было включено 18 пациентов: 9 — с ОМИ (основная группа) и 9 — с аденокарциномой толстой кишки (контрольная группа). ММ ОКТ-изображения неишемизированной, жизнеспособной ишемизированной и некротизированной тонкой кишки достоверно различались по расслоению различных слоев, выраженности межмышечных скоплений жидкости, типу и плотности сосудистой сети [55].

Таким образом, преимуществами ММ ОКТ являются: меньшая затрата времени на проведение процедуры, отсутствие контрастного вещества, выявление кровотока одновременно с микроструктурой ткани. Несмотря на преимущества, метод сбора данных ММ ОСТ требует значительного совершенствования с целью уменьшения количества артефактов движения на получаемых снимках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Каждый метод оценки жизнеспособности стенки кишки имеет свои преимущества и недостатки. Общим недостатком для всех методов является малая распространенность в клинической практике ввиду высокой стоимости оборудования и отсутствия подготовленных специалистов. Также не все методы носят прикладной характер, а некоторые нуждаются в дополнительных исследованиях. Гиперспектральная визуализация выгодно отличается от остальных методов, так как не предусматривает введение контрастного вещества, оценивает стенку кишечника на большую глубину. Интраоперационная пульсоксиметрия тоже вызывает интерес специалистов своей простотой и низкой стоимостью. Перспективным методом является мультимодальная оптическая когерентная томография, так как оценивает стенку кишки и микроциркуляторное русло. Однако перечисленные выше методы требуют рандомизированных исследований для оценки их реальной ценности. Наиболее

изученным и широко применяемым методом является флуоресцентная ангиография. Она позволяет оценить жизнеспособность кишки на большом протяжении. Но следует учитывать фармакокинетические особенности и возможные аллергические реакции.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ

Концепция исследования: *Валиев А.А., Гатауллин И.Г.*
Сбор и обработка материалов: *Галимова Л.Л.*
Написание текста: *Валиев А.А., Хасанов Р.Ш.*

AUTHORS CONTRIBUTION

Concept of the study: *Amir A. Valiev, Ilgiz G. Gataullin*
Collection and processing of the material: *Liana L. Galimova*
Writing of the text: *Amir A. Valiev, Rustem Sh. Hasanov*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Валиев Амир Абулкарямович — кандидат медицинских наук, онколог-хирург, заведующий отделением №9 ГАУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер МЗ РТ имени профессора М.З. Сигала», г. Казань; ORCID 0000-0002-7499-500X

Хасанов Рустем Шамильевич — член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор, заведующий кафедрой онкологии, радиологии и паллиативной медицины КГМА — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ РФ, главный внештатный специалист-онколог МЗ РФ, г. Казань, SPIN-code: 9198-5989; ORCID 0000-0003-4107-8608

Галимова Лиана Лероновна — ординатор кафедры Поликлинической терапии и общей врачебной практики ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Казань; ORCID 0000-0002-3217-5070

Гатауллин Ильгиз Габдуллович — доктор медицинских наук, профессор кафедры онкологии, радиологии и паллиативной медицины КГМА — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ РФ, г. Казань; ORCID 0000-0001-5115-6388, Author ID РИНЦ 178066

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS (ORCID)

Amir A. Valiev — 0000-0002-7499-500X
Rustem Sh. Hasanov — 0000-0003-4107-8608
Liana L. Galimova — 0000-0002-3217-5070
Ilgiz G. Gataullin — 0000-0001-5115-6388

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Mastoraki A. Mesenteric ischemia: pathogenesis and challenging diagnostic and therapeutic modalities. *World J Gastrointest Pathophysiol.* 2016;7(1):125. doi: [10.4291/wjgp.v7.i1.125](https://doi.org/10.4291/wjgp.v7.i1.125)
- Caluwaerts M, Castanares-Zapatero D, Laterre P-F, et al. Prognostic factors of acute mesenteric ischemia in ICU patients. *BMC Gastroenterol.* 2019;19(1):80. doi: [10.1186/s12876-019-0999-8](https://doi.org/10.1186/s12876-019-0999-8)
- Yang S, Zhao Y, Chen J, et al. Clinical features and outcomes of patients with acute mesenteric ischemia and concomitant colon ischemia: a retrospective cohort study. *J Surg Res.* 2019;233:231–9. doi: [10.1016/j.jss.2018.08.010](https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.08.010)
- Collins FS, Varmus HN. A new initiative on precision medicine. *N Engl J Med.* 2015;372(9):793–5. doi: [10.1056/NEJMp1500523](https://doi.org/10.1056/NEJMp1500523)
- Mascagni P, Longo F, Barberio M, et al. New intraoperative imaging technologies: innovating the surgeon's eye toward surgical precision. *J Surg Oncol.* 2018;118(2):265–82. doi: [10.1002/jso.25148](https://doi.org/10.1002/jso.25148)
- Sarantopoulos A, Beziere N, Ntziachristos V. Optical and optoacoustic interventional imaging. *Ann Biomed Eng.* 2012;40(2):346–66. doi: [10.1007/s10439-011-0501-4](https://doi.org/10.1007/s10439-011-0501-4)
- Horgan PG, Gorey TF. Operative assessment of intestinal viability. *Surg Clin North Am.* 1992;72(1):143–55. doi: [10.1016/S0039-6109\(16\)45632-X](https://doi.org/10.1016/S0039-6109(16)45632-X)
- Сигал М.З., Рамазанов М.Р. Способ определения жизнеспособности стенки кишки в зоне анастомоза для предупреждения несостоятельности швов. А.с.1524872 от 18.04.86 г. *Открытие. Изобретения.* 1989;44:16–16. / Sigal M.Z., Ramazanov M.R. A method for determining the viability of the intestinal wall in the anastomosis zone to prevent the failure of sutures. А.с.1524872 of 04/18/86. *Discoveries. Inventions.* 1989;44:16–16. (in Russ.).
- Liot E, Assalino M, Buchs NC, et al. Does near-infrared (NIR) fluorescence angiography modify operative strategy during emergency procedures? *Surg Endosc.* 2018;32(10):4351–6. doi: [10.1007/s00464-018-6226-9](https://doi.org/10.1007/s00464-018-6226-9)
- Karampinis M, Keese J, et al. Indocyanine green tissue angiography can reduce extended bowel resections in acute mesenteric ischemia. *J Gastrointest Surg.* 2018;22(12):2117–24. doi: [10.1007/s11605-018-3855-1](https://doi.org/10.1007/s11605-018-3855-1)
- Хрипун А.И., Прямыков А.Д., Шурыгин С.Н., и соавт. Лазерная доплеровская флоуметрия в выборе объема резекции кишечника у больных острым артериальным нарушением мезентериального кровообращения. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2012;10:40–44. / Khripun A.I., Pryamikov A.D., Shurygin S.N. et al. Laser Doppler flowmetry in the selection of the volume of intestinal resection in patients with acute arterial disorder of mesenteric circulation. *Surgery. Journal named after N.I. Pirogov.* 2012;10:40–44. (in Russ.).
- Degett TH, Andersen HS, Gögenur I. Indocyanine green fluorescence angiography for intraoperative assessment of gastrointestinal anastomotic perfusion: a systematic review of clinical trials. *Langenbeck's Arch Surg.* 2016;401(6):767–75. doi: [10.1007/s00423-016-1400-9](https://doi.org/10.1007/s00423-016-1400-9)
- Lütken CD, Achiam MP, Osterkamp J, et al. Quantification of fluorescence angiography: toward a reliable intraoperative assessment of tissue perfusion — a narrative review. *Langenbeck's Arch Surg.* 2021;406(2):251–9. doi: [10.1007/s00423-020-01966-0](https://doi.org/10.1007/s00423-020-01966-0)
- Wada T, Kawada K, Takahashi R, et al. ICG fluorescence imaging for quantitative evaluation of colonic perfusion in laparoscopic colorectal surgery. *Surg Endosc.* 2017;31(10):4184–93. doi: [10.1007/s00464-017-5475-3](https://doi.org/10.1007/s00464-017-5475-3)
- Jansen-Winkel B, Germann I, Köhler H, et al. Comparison of hyperspectral imaging and fluorescence angiography for the determination of the transection margin in colorectal resections—a comparative study. *Int J Colorectal Dis.* 2021;36(2):283–91. doi: [10.1007/s00384-020-03755-z](https://doi.org/10.1007/s00384-020-03755-z)
- Ris F, Liot E, Buchs N C, et al. Multicentre phase II trial of near-infrared imaging in elective colorectal surgery. *Br J Surg.* 2018;105(10):1359–67. doi: [10.1002/bjs.10844](https://doi.org/10.1002/bjs.10844)

17. Jafari MD, Wexner SD, Martz JE, et al. Perfusion assessment in laparoscopic left-sided/anterior resection (PILLAR II): a multi-institutional study. *J Am Coll Surg*. 2015 Jan;220(1):82–92.e1. doi: [10.1016/j.jamcollsurg.2014.09.015](https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2014.09.015)
18. De Nardi P, Elmore U, Maggi G, et al. Intraoperative angiography with indocyanine green to assess anastomosis perfusion in patients undergoing laparoscopic colorectal resection: results of a multicenter randomized controlled trial. *Surg Endosc*. 2020 Jan;34(1):53–60. doi: [10.1007/s00464-019-06730-0](https://doi.org/10.1007/s00464-019-06730-0)
19. Jafari MD, Pigazzi A, McLemore EC, et al. Perfusion Assessment in Left-Sided/Low Anterior Resection (PILLAR III): A Randomized, Controlled, Parallel, Multicenter Study Assessing Perfusion Outcomes With PINPOINT Near-Infrared Fluorescence Imaging in Low Anterior Resection. *Dis Colon Rectum*. 2021 Aug 1;64(8):995–1002. doi: [10.1097/DCR.0000000000002007](https://doi.org/10.1097/DCR.0000000000002007)
20. Obana A, Miki T, Hayashi K, et al. Survey of complications of indocyanine green angiography in Japan. *Am J Ophthalmol*. 1994 Dec 15;118(6):749–53. doi: [10.1016/s0002-9394\(14\)72554-1](https://doi.org/10.1016/s0002-9394(14)72554-1)
21. Bjerregaard J, Pandia MP, Jaffe RA. Occurrence of severe hypotension after indocyanine green injection during the intraoperative period. *A Case Rep*. 2013 Oct;1(1):26–30. doi: [10.1097/ACC.0b013e3182933c12](https://doi.org/10.1097/ACC.0b013e3182933c12)
22. Singh H, Bajaj A, Jangra K, et al. Anaphylaxis during intraoperative indocyanine green angiography: A complication to watch out. *Journal of Neuroanaesthesiology and Critical Care*. 3. 126. doi: [10.4103/2348-0548.182329](https://doi.org/10.4103/2348-0548.182329)
23. Захаренко А.А., Беляев М.А., Трушин А.А., и соавт. Интраоперационная оценка жизнеспособности стенки кишки (обзор литературы). *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2020;179(10):82–88. doi: [10.24884/0042-4625-2020-179-1-82-88](https://doi.org/10.24884/0042-4625-2020-179-1-82-88) / Zakharenko A.A., Belyaev M.A., Trushin A.A., et al. Intraoperative assessment of the viability of the intestinal wall (literature review). *Bulletin of Surgery named after I.I. Grekov*. 2020;179(10):82–88. (in Russ.). doi: [10.24884/0042-4625-2020-179-1-82-88](https://doi.org/10.24884/0042-4625-2020-179-1-82-88)
24. Беляев А.М., Сувор Д.А., Семенов К.В. Одноэтапные операции при левосторонней толстокишечной непроходимости. *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2010;169(4):36–38. / Belyaev A.M., Surov D.A., Sementcov K.V. Single-stage operations for left-sided colonic obstruction. *Bulletin of Surgery named after I.I. Grekov*. 2010;169(4):36–38. (in Russ.).
25. Salusjärvi JM, Carpelan-Holmström MA, Louhimo JM, et al. Intraoperative colonic pulse oximetry in left-sided colorectal surgery: can it predict anastomotic leak? *Int J Colorectal Dis*. 2018;33(3):333–6. doi: [10.1007/s00384-018-2963-4](https://doi.org/10.1007/s00384-018-2963-4)
26. Servais EL, Rizk NP, Oliveira L, et al. Real-time intraoperative detection of tissue hypoxia in gastrointestinal surgery by wireless pulse oximetry. *Surg Endosc*. 2011;25(5):1383–9. doi: [10.1007/s00464-010-1372-8](https://doi.org/10.1007/s00464-010-1372-8)
27. Omar SE, Farag AFA, Sah VP, et al. Evaluation of the efficacy of wireless sterilizable pulse oximeter in assessment of bowel viability during surgery. *Egypt J Surg*. 2020;39:879–88. doi: [10.4103/ejs.ejs_100_20](https://doi.org/10.4103/ejs.ejs_100_20)
28. Ambrus R, Strandby RB, Svendsen LB, et al. Laser speckle contrast imaging for monitoring changes in microvascular blood flow. *Eur Surg Res*. 2016;56(3–4):87–96. doi: [10.1159/000442790](https://doi.org/10.1159/000442790)
29. Heeman W, Dijkstra K, Hoff C, et al. Application of laser speckle contrast imaging in laparoscopic surgery. *Biomed Opt Express*. 2019;10(4):2010. doi: [10.1364/BOE.10.002010](https://doi.org/10.1364/BOE.10.002010)
30. Milstein DMJ, Ince C, Gisbertz SS, et al. Laser speckle contrast imaging identifies ischemic areas on gastric tube reconstructions following esophagectomy. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(25):e3875. doi: [10.1097/MD.0000000000003875](https://doi.org/10.1097/MD.0000000000003875)
31. Ambrus R, Achiam MP, Secher NH, et al. Evaluation of gastric microcirculation by laser speckle contrast imaging during esophagectomy. *J Am Coll Surg*. 2017;225(3):395–402. doi: [10.1016/j.jamcollsurg.2017.06.003](https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2017.06.003)
32. Kojima S, Sakamoto T, Nagai Y, et al. Laser speckle contrast imaging for intraoperative quantitative assessment of intestinal blood perfusion during colorectal surgery: a prospective pilot study. *Surg Innov*. 2019;26(3):293–301. doi: [10.1177/1553350618823426](https://doi.org/10.1177/1553350618823426)
33. Heeman W, Steenbergen W, van Dam GM, et al. Clinical applications of laser speckle contrast imaging: a review. *J Biomed Opt*. 2019;24(8):1. doi: [10.1117/1.JBO.24.8.080901](https://doi.org/10.1117/1.JBO.24.8.080901)
34. Wildeboer A, Heeman W, van der Bilt A, et al. Laparoscopic laser speckle contrast imaging can visualize anastomotic perfusion: a demonstration in a porcine model. *Life*. 2022;12(8):1251. doi: [10.3390/life12081251](https://doi.org/10.3390/life12081251)
35. Zheng C, Lau LW, Cha J. Dual-display laparoscopic laser speckle contrast imaging for real-time surgical assistance. *Biomed Opt Express*. 2018;9(12):5962. doi: [10.1364/BOE.9.005962](https://doi.org/10.1364/BOE.9.005962)
36. Klijn E, Niehof S, de Jonge J, et al. The effect of perfusion pressure on gastric tissue blood flow in an experimental gastric tube model. *Anesth Analg*. 2010 Feb;110(2):541–6. doi: [10.1213/ANE.0b013e3181c84e33](https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3181c84e33)
37. Kojima S, Sakamoto T, Matsui Y, et al. Clinical efficacy of bowel perfusion assessment during laparoscopic colorectal resection using laser speckle contrast imaging: A matched case-control study. *Asian J Endosc Surg*. 2020 Jul;13(3):329–335. doi: [10.1111/ases.12759](https://doi.org/10.1111/ases.12759)
38. de Bruin AFJ, Kornmann VNN, van der Sloot K, et al. Sidestream dark field imaging of the serosal microcirculation during gastrointestinal surgery. *Color Dis*. 2016;18(3):0103–10. doi: [10.1111/codi.13250](https://doi.org/10.1111/codi.13250)
39. de Bruin AFJ, Tavy ALM, van der Sloot K, et al. Can sidestream dark field (SDF) imaging identify subtle microvascular changes of the bowel during colorectal surgery? *Tech Coloproctol*. 2018;22(10):793–800. doi: [10.1007/s10151-018-1872-4](https://doi.org/10.1007/s10151-018-1872-4)
40. Jansen SM, de Bruin DM, van Berge Henegouwen MI, et al. Quantitative change of perfusion in gastric tube reconstruction by sidestream dark field microscopy (SDF) after esophagectomy, a prospective in-vivo cohort study. *Eur J Surg Oncol*. 2020;47(5):1034–41. doi: [10.1016/j.ejso.2020.09.006](https://doi.org/10.1016/j.ejso.2020.09.006)
41. Uz Z, Kastelein AW, Milstein DMJ, et al. Intraoperative incident dark field imaging of the human peritoneal microcirculation. *J Vasc Res*. 2018;55(3):136–43. doi: [10.1159/000488392](https://doi.org/10.1159/000488392)
42. Tavy ALM, de Bruin AFJ, Smits AB, et al. Intestinal mucosal and serosal microcirculation at the planned anastomosis during abdominal surgery. *Eur Surg Res*. 2019;60(5–6):248–56. doi: [10.1159/000505325](https://doi.org/10.1159/000505325)
43. Xu T, Gao X, Yuan H, et al. Real-time semi-quantitative assessment of anastomotic blood perfusion in mini-invasive rectal resections by Sidestream Dark Field (SDF) imaging technology: a prospective in vivo pilot study. *Langenbecks Arch Surg*. 2023 May 9;408(1):186. doi: [10.1007/s00423-023-02887-4](https://doi.org/10.1007/s00423-023-02887-4)
44. Jansen SM, de Bruin DM, Faber DJ, et al. Applicability of quantitative optical imaging techniques for intraoperative perfusion diagnostics: a comparison of laser speckle contrast imaging, sidestream dark-field microscopy, and optical coherence tomography. *J Biomed Opt*. 2017;22(8):1. doi: [10.1117/1.JBO.22.8.086004](https://doi.org/10.1117/1.JBO.22.8.086004)
45. Holmer A, Tetschke F, Marotz J, et al. Oxygenation and perfusion monitoring with a hyperspectral camera system for chemical based tissue analysis of skin and organs. *Physiol Meas*. 2016;37(11):2064–78. doi: [10.1088/0967-3334/37/11/2064](https://doi.org/10.1088/0967-3334/37/11/2064)
46. Mehdorn M, Köhler H, Rabe SM, et al. Hyperspectral imaging (HSI) in acute mesenteric ischemia to detect intestinal perfusion deficits. *J Surg Res*. 2020;254:7–15. doi: [10.1016/j.jss.2020.04.001](https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.04.001)
47. Jansen-Winkeln B, Holfert N, Köhler H, et al. Determination of the transection margin during colorectal resection with hyperspectral imaging (HSI). *Int J Colorectal Dis*. 2019;34(4):731–9. doi: [10.1007/s00384-019-03250-0](https://doi.org/10.1007/s00384-019-03250-0)
48. Jansen-Winkeln B, Dvorak M, Köhler H, et al. Border Line Definition Using Hyperspectral Imaging in Colorectal Resections. *Cancers (Basel)*. 2022 Feb 25;14(5):1188. doi: [10.3390/can-](https://doi.org/10.3390/can-)

cers14051188

49. Wagner T, Radunz S, Becker F, et al. Hyperspectral imaging detects perfusion and oxygenation differences between stapled and hand-sewn intestinal anastomoses. *Innov Surg Sci*. 2022;7(2):59–63. doi: [10.1515/iss-2022-0007](https://doi.org/10.1515/iss-2022-0007)
50. Kashani AH, Chen C-L, Gahm JK, et al. Optical coherence tomography angiography: A comprehensive review of current methods and clinical applications. *Prog Retin Eye Res*. 2017;60:66–100. doi: [10.1016/j.preteyeres.2017.07.002](https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2017.07.002)
51. Gora MJ, Suter MJ, Tearney GJ, et al. Endoscopic optical coherence tomography: technologies and clinical applications [Invited]. *Biomed Opt Express*. 2017;8(5):2405. doi: [10.1364/BOE.8.002405](https://doi.org/10.1364/BOE.8.002405)
52. Tsai T-H, Leggett CL, Trindade AJ. Optical coherence tomography in gastroenterology: a review and future outlook. *J Biomed Opt*. 2017;22(12):1. doi: [10.1117/1.JBO.22.12.121716](https://doi.org/10.1117/1.JBO.22.12.121716)
53. Ryabkov M.G., Kiseleva E.B., Baleev M.S., et al. Trans-serosal multimodal optical coherence tomography for visualization of microstructure and blood circulation of the small intestine wall. *Sovrem Tehnol v Med*. 2020;12(2):56. doi: [10.17691/stm2020.12.2.07](https://doi.org/10.17691/stm2020.12.2.07)
54. Kiseleva E.B., Ryabkov M., Bederina E. et al. Observations of the bowel wall in the case of acute ischemia: optical coherence tomography, FLIM macro-imaging and histological analysis data. *Multimodal Biomedical Imaging XV*. SPIE; In: Azar FS, Intes X, Fang Q, editors. 2020; p. 22. doi: [10.1117/12.2550667](https://doi.org/10.1117/12.2550667)
55. Ryabkov M, Kiseleva E, Baleev M, et al. Prospects of intraoperative multimodal oct application in patients with acute mesenteric ischemia. *Diagnostics*. 2021;11(4):705. doi: [10.3390/diagnostics11040705](https://doi.org/10.3390/diagnostics11040705)