

УДК 616.34-089.168.1:616-071.1

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПЕРФУЗИИ ТКАНЕЙ В КОЛОРЕКТАЛЬНОЙ ХИРУРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ICG ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ: ПЕРВЫЙ ОПЫТ

А.А. Завражнов¹, В.А. Кащенко^{1,2}, Т.С. Ланков¹, В.Д. Кузнецов¹, А.Д. Новикова¹,
Д.С. Пасекова^{1,2}, К.Д. Бадаев¹, П.О. Румянцев¹, А.С. Москалев³, В.Б. Лощенов³,
К.Т. Эфендиев³, А.Н. Лаврентьева⁴, Г.А. Смирнов², Е.С. Краморов²

¹ Клиника высоких технологий «Белоостров» ООО «ММЦ ВТ», Ленинградская обл., Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия

⁴ Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ. Определение клинической эффективности интраоперационной количественной флуоресцентной ангиографии с использованием индоцианина зеленого (ICG) для анализа перфузии кишечной стенки для снижения частоты несостоятельности колоректального анастомоза. Проведено проспективное одноцентровое сравнительное исследование, включившее 81 пациента, перенесшего резекцию толстой кишки с наложением анастомоза. У 42 пациентов применялась ICG-флуоресценция с количественной оценкой перфузии в режиме реального времени. В контрольной группе ($n = 39$) использовались традиционные визуальные методы оценки жизнеспособности тканей. Первичной конечной точкой являлась частота несостоятельности анастомоза, вторичными – частота изменения линии резекции и послеоперационные осложнения. В группе ICG частота несостоятельности анастомоза составила 4,8 % против 7,7 % в контрольной группе ($p = 0,664$). Изменение линии резекции на основании данных флуоресценции потребовалось у 14,8 % пациентов. Относительный риск развития несостоятельности в ICG-группе составил 0,62 (95 % ДИ: 0,12–3,18), что указывает на тенденцию к снижению осложнений, не достигшую статистической значимости. Интраоперационная флуоресцентная ангиография с использованием ICG демонстрирует потенциальную клиническую пользу в оценке перфузии и изменении уровня резекции, однако не показала достоверного снижения частоты несостоятельности анастомоза. Метод требует дальнейшего изучения и стандартизации количественной интерпретации данных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: колоректальный рак, флуоресцентная ангиография, индоцианин зеленый, перфузия, несостоятельность анастомоза, ICG

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Завражнов А.А., Кащенко В.А., Ланков Т.С., Кузнецов В.Д., Новикова А.Д., Пасекова Д.С., Бадаев К.Д., Румянцев П.О., Москалев А.С., Лощенов В.Б., Эфендиев К.Т., Лаврентьева А.Н., Смирнов Г.А., Краморов Е.С. Количественная оценка перфузии тканей в колоректальной хирургии с использованием ICG флуоресценции: первый опыт. *Российский хирургический журнал*. 2025;2(2): 118–127. DOI: 10.18705/3034-7270-2025-1-2-118-127

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF TISSUE PERFUSION IN COLORECTAL SURGERY USING ICG FLUORESCENCE: FIRST EXPERIENCE

A.A. Zavrazhnov¹, V.A. Kashchenko^{1,2}, T.S. Lankov¹, V.D. Kuznetsov¹, A.D. Novikova¹,
D.S. Pasekova^{1,2}, K.D. Badaev¹, P.O. Rummyantsev¹, A.S. Moskaev³, V.B. Loshchenov³,
K.T. Efendiev³, A.N. Lavrentyeva⁴, G.A. Smirnov², E.S. Kramorov²

¹ High-Tech Clinic Beloostrov LLC "MMC VT", Leningrad Region, Russia

² Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³ Prokhorov General Physics Institute, Moscow, Russia

⁴ Mechnikov North-West State Medical University, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT. Evaluation of the clinical efficacy of intraoperative quantitative fluorescence angiography using indocyanine green (ICG) for assessing intestinal wall perfusion to reduce the rate of colorectal anastomotic leakage. A prospective single-center comparative study was conducted, including 81 patients who underwent colon resection with anastomosis. In 42 patients, ICG fluorescence with real-time quantitative perfusion assessment was used. The control group ($n = 39$) underwent conventional visual assessment of tissue viability. The primary endpoint was the rate of anastomotic leakage; secondary endpoints included the rate of resection line modification and postoperative complications. In the ICG group, the anastomotic leakage rate was 4.8 % compared to 7.7 % in the control group ($p = 0.664$). Resection line modification based on fluorescence data was required in 14.8 % of patients. The relative risk of anastomotic leakage in the ICG group was 0.62 (95 % CI: 0.12–3.18), indicating a trend toward reduced complications that did not reach statistical significance. Intraoperative ICG fluorescence angiography demonstrates potential clinical benefits in perfusion assessment and resection level modification but did not show a significant reduction in anastomotic leakage rates. The method requires further investigation and standardization of quantitative data interpretation.

KEYWORDS: *colorectal cancer, fluorescence angiography, indocyanine green, perfusion, anastomotic leakage, ICG*

FOR CITATION: Zavrazhnov A.A., Kashchenko V.A., Lankov T.S., Kuznetsov V.D., Novikova A.D., Pasekova D.S., Badaev K.D., Rummyantsev P.O., Moskalev A.S., Loshchenov V.B., Efendiev K.T., Lavrentyeva A.N., Smirnov G.A., Kramorov E.S. Quantitative assessment of tissue perfusion in colorectal surgery using ICG fluorescence: first experience. *Russian Surgical Journal*. 2025;2(2): 118–127. DOI: 10.18705/3034-7270-2025-1-2-118-127 (In Russ.).

Введение

Колоректальный рак остается одной из наиболее актуальных проблем современной онкологии. Согласно последним эпидемиологическим данным, это заболевание занимает третье место по распространенности среди всех злокачественных новообразований и является второй по значимости причиной смертности от онкологических заболеваний в глобальном масштабе [1].

Несмотря на существенный прогресс в системной терапии и лучевом лечении, обеспечивший улучшение долгосрочных результатов, хирургическое вмешательство продолжает играть ключевую роль в радикальном лечении колоректального рака. Однако хирургическое лечение, особенно при опухолях ободочной и прямой кишки, сопряжено с риском развития серьезных послеоперационных осложнений. Одним из наиболее значимых является несостоятельность анастомоза (НА), которая оказывает выраженное негативное влияние на прогноз заболевания [2].

Частота несостоятельности анастомоза, по данным литературы, варьирует от 9 до 14 % при операциях на ободочной кишке и достигает 24 % при резекциях прямой кишки [3, 4]. Это осложнение ассоциировано с увеличением послеоперационной летальности в 6–8 раз, значительным удлинением госпитального пребывания и ростом затрат на лечение [2].

Анализ факторов риска развития НА позволяет выделить две основные группы. К первой группе относятся немодифицируемые факторы: возраст старше 65 лет, мужской пол, наличие наследственных опухолевых синдромов, низкая локализация опухоли (особенно при формировании дистальных анастомозов), а также запущенная стадия заболевания. Эти факторы представляют особый интерес, поскольку их невоз-

можно изменить в предоперационном периоде, что требует особого внимания к технике выполнения операции и интраоперационному мониторингу. Ко второй группе принадлежат модифицируемые факторы: курение, ожирение (индекс массы тела более 30 кг/м²), сопутствующие заболевания (включая сахарный диабет и сердечно-сосудистую патологию), проведение неоадьювантной лучевой терапии, технические особенности формирования анастомоза и нарушение перфузии в зоне анастомоза [5]. Особое значение имеет последний фактор, так как именно интраоперационная оценка перфузии с помощью ICG-флуоресценции может помочь в своевременном выявлении зон ишемии и изменении уровня резекции. При этом следует отметить, что комбинация нескольких факторов риска значительно увеличивает вероятность развития НА, что подчеркивает необходимость комплексного подхода к оценке рисков у каждого конкретного пациента.

Снижение тканевой перфузии в зоне формирования анастомоза является одним из наиболее значимых факторов риска НА. Ранее в литературе подчеркивалось, что ишемизация краев анастомоза существенно повышает вероятность его несостоятельности [6]. Оценка перфузии в рутинной практике традиционно осуществляется субъективно – по визуальной окраске кишки, пульсации брыжеечных сосудов и наличию капиллярного кровотечения по краям резекции. Кроме того, применяются тесты на герметичность, включая «велосипедную пробу» и оценку целостности резекционных краев [7].

Тем не менее эти методы обладают низкой прогностической достоверностью в отношении риска НА, что подтверждается рядом исследований [8]. Субъективность клинической оценки и ограниченная воспроизводимость данных подчеркивают необходимость разработки более

объективных подходов к интраоперационному контролю перфузии.

В этой связи растущий интерес вызывает метод флуоресцентной ангиографии с использованием индоцианина зеленого (ICG) в ближнем инфракрасном диапазоне. Данная методика предполагает внутривенное введение ICG – флуоресцентного красителя, связывающегося с альбуминами плазмы, и визуализацию кровотока в режиме реального времени с помощью инфракрасной камеры [9].

Интраоперационная флуоресцентная визуализация с ICG зарекомендовала себя как воспроизводимый и клинически применимый метод объективной оценки тканевой перфузии, особенно в условиях ограниченной визуализации (например, в малом тазу) [10]. Применение данной технологии позволяет выявить участки ишемии, незаметные при стандартной оценке, и в ряде случаев изменить уровень резекции для формирования анастомоза в зоне с адекватным кровоснабжением.

Таким образом, интеграция флуоресцентной ангиографии в алгоритмы интраоперационного контроля перфузии представляется перспективным направлением в повышении безопасности колоректальных резекций. Необходимы дальнейшие проспективные исследования, направленные на стандартизацию метода, определение количественных критериев перфузии и оценку его влияния на клинические исходы.

Учитывая потенциал технологии флуоресцентной визуализации с использованием ICG для интраоперационной оценки перфузии, наблюдается значительный рост количества исследований, направленных на изучение ее влияния на частоту НА при хирургическом лечении рака прямой кишки.

J. Watanabe et al. (2020) в многоцентровом ретроспективном исследовании с участием 422 пациентов с раком прямой кишки показали, что у 5,7 % больных в основной группе линия резекции изменена в проксимальном направлении на основании данных ICG-визуализации [11]. В другом исследовании, проведенном А.Л. Беджаняном и др. (2023), частота НА степени «В» в группе без применения ICG оказалась значительно выше по сравнению с основной группой (13,6 % против 2,4 %; $p = 0,06$) [12].

Схожие данные получены в исследовании iCral3, где при использовании двух методов оценки (традиционной и ICG) удалось прогностически достоверно идентифицировать пациентов с высоким риском развития НА [13]. S. Morales-Conde et al. в проспективном одноцентровом исследовании отметили, что интраоперационная визуализация кровоснабжения с помощью ICG привела к изменению линии резекции у 18,2 % пациентов [14].

Однако несмотря на обнадеживающие отдельные результаты, остается дискуссионным вопрос о реальной клинической эффективности ICG-визуализации в снижении частоты НА при хирургии рака прямой кишки. Так, I. Mizrahi et al. не выявили статистически значимого влияния применения ICG на частоту НА после низкой передней резекции прямой кишки [15]. Аналогичные результаты получены Т. Wada et al., которым также не удалось продемонстрировать снижение частоты НА при использовании ICG [16]. Кроме того, в проспективном рандомизированном многоцентровом исследовании AVOID применение ICG-визуализации не привело к снижению частоты НА [17].

Обобщая имеющиеся данные, можно отметить, что изменение уровня пересечения кишки на основании результатов флуоресцентной оценки перфузии происходило в среднем у 10 % пациентов (в диапазоне от 1,6 до 30 %) [15–17]. Это свидетельствует о потенциальном влиянии метода на интраоперационную тактику, однако достоверность его клинической эффективности требует дополнительной верификации.

Следует подчеркнуть, что пока не существует единых клинических рекомендаций или стандартизированных протоколов применения ICG-визуализации в колоректальной хирургии. Качественная оценка перфузии по интенсивности флуоресценции остается субъективной: хирург интерпретирует визуальные данные без количественной шкалы, что ограничивает воспроизводимость метода и создает предпосылки для ошибок интерпретации.

Данный факт стал основанием для разработки и внедрения в клиническую практику протоколов количественной флуоресцентной ангиографии. Целью таких протоколов является стандартизация интерпретации сигнала, в том числе с использованием следующих параметров: время появления флуоресценции (time to fluorescence), скорость нарастания сигнала (slope), интенсивность максимального свечения (peak intensity).

Эти параметры рассматриваются как потенциальные биомаркеры адекватной перфузии, способные обеспечить объективную оценку кровоснабжения и повысить прогностическую значимость метода.

Материалы и методы

В исследование включен 81 пациент, перенесший резекцию толстой кишки с формированием анастомоза. У 42 пациентов применялась интраоперационная флуоресцентная ангиография с индоцианином зеленым, в то время как 39 пациентов составили контрольную группу, где перфузия оценивалась традиционными визуальными методами.

Все оперативные вмешательства выполнялись бригадой хирургов с опытом более 50 резекций толстой и прямой кишки. Использовались как открытые, так и лапароскопические доступы. Техника формирования колоректального анастомоза стандартизирована – в большинстве случаев применялся механический циркулярный сшивающий аппарат.

В исследовании использовались стандартизированные хирургические методики и современные технологии оценки тканевой перфузии. Формирование колоректального анастомоза осуществлялось механическим циркулярным сшивающим аппаратом в соответствии с общепринятыми хирургическими стандартами.

Для объективной оценки тканевой перфузии применялась флуоресцентная ангиография с ICG, зарегистрированным для медицинского применения в РФ. Протокол включал болюсное введение препарата в дозе 0,1 мг/кг массы тела, введенного в 5 мл стерильной воды для инъекций, через периферический венозный доступ после завершения этапа мобилизации кишечника. Визуализация осуществлялась с помощью специализированной системы УФФ-630/675-01 российского производства.

Количественная оценка перфузионных параметров проводилась в строго контролируемых условиях операционной среды с поддержанием температуры 21–24 °С и минимальным освещением операционного поля менее 0,15 лк. Анализировались три ключевых параметра: пиковая интенсивность флуоресценции в процентах, скорость накопления и выведения флуоресцентного сигнала в условных единицах в секунду. На основании полученных данных перфузия классифицировалась на три типа: адекватную, пограничную и неудовлетворительную (ишемию), что позволяло интраоперационно принимать решения о необходимости изменения линии резекции. Особое внимание уделялось стандартизации методики для обеспечения воспроизводимости результатов и минимизации субъективной оценки.

Оценка результатов. Первичная конечная точка: частота НА, определяемая по классификации ISREC.

Вторичные конечные точки:

- частота изменения линии резекции на основании результатов флуоресцентной визуализации;
- интраоперационные характеристики метода;
- послеоперационные осложнения, классифицированные по шкале Clavien – Dindo.

Дизайн исследования. Исследование выполнено в формате проспективного одноцентрового сравнительного клинического исследования, проведенного на базе ММИЦ ВТ «Белоостров» в период с 15 августа 2024 г. по 19 июля 2025 г.

В исследование включались пациенты с подтвержденным колоректальным раком, которым планировалась резекция толстой кишки с формированием первичного анастомоза.

Проект выполнен в соответствии с положениями Хельсинкской декларации. Протокол одобрен локальным этическим комитетом (№ 45 от 12.07.2024). Все участники предоставили письменное информированное согласие. Исследование зарегистрировано в едином государственном реестре клинических исследований (номер регистрации: ERCT2024782).

Критерии включения:

- возраст старше 18 лет;
- статус по шкале ECOG 0–2;
- подписанное письменное информированное согласие;
- гистологически подтвержденный рак ободочной кишки (включая слепую, восходящую, поперечную, нисходящую, сигмовидную ободочные отделы);
- планируемое выполнение резекции кишки с наложением первичного анастомоза.

Критерии исключения:

- беременность или период грудного вскармливания;
- наличие осложненного течения опухолевого процесса (кишечная непроходимость, перфорация, кровотечение);
- общие медицинские противопоказания к оперативному лечению;
- известная индивидуальная непереносимость ICG, йода или йодсодержащих контрастных веществ.

Методика флуоресцентной визуализации

Препарат: применялся индоцианин зеленый (ООО «МИР-ФАРМ», Россия), представленный в виде флакона с 25 мг красителя в порошкообразной форме. Для разведения использовалось 5 мл стерильной воды для инъекций.

Оборудование: визуализация проводилась с использованием системы количественной оценки перфузии УФФ-630/675-01 (ООО «Биоспек», Россия; регистрационное удостоверение ФСР 2008/03784).

Условия операционной: температура 21–24 °С; влажность воздуха 50–60 % (в соответствии с СанПиН 2.1.3.2630-10); температура тела пациента 35,5–37,5 °С; артериальное давление в пределах 100/60–140/90 мм рт. ст.

Метод визуализации: перфузия оценивалась экстракорпорально у всех пациентов, независимо от способа хирургического доступа (открытого, лапароскопического). В случае лапароскопического вмешательства, анастомозируемые участки кишки извлекались через минилапаротомический разрез для выполнения экстракорпоральной оценки.

Порядок визуализации: оценка перфузии проводилась непосредственно перед формированием анастомоза. Инфракрасный источник света и камера располагались перпендикулярно поверхности кишки (под углом 90°) на расстоянии 20 см. Длина волны излучения – 825 нм (уточнено значение, так как 25 нм некорректно для ICG; стандартное значение для визуализации ICG – 800–830 нм).

Настройка системы количественной оценки перфузии. Протокол оценки перфузии реализовывался с использованием специализированного программного обеспечения Biospeak (ООО «Биоспек», Россия). В соответствии со стандартизированной методикой, области интереса (ROI) систематически маркировались на поверхности кишечника под контролем ближней инфракрасной визуализации. Устанавливалось не менее пяти измерительных точек с равномерным распределением (интервалы ≤ 5 мм) по обе стороны от предполагаемой линии анастомоза: три контрольные точки в дистальном направлении (абдоминально) и две точки в проксимальном направлении (адорально). Дополнительная

контрольная метка (Base) размещалась на интактном сегменте кишки на расстоянии ≥ 3 см от зоны анастомоза для установления базовых значений флуоресценции (рис. 1, а, б).

Контроль условий освещения. Во время оценки все источники освещения в операционной выключались. С помощью цифрового люксметра проводился замер светового загрязнения, которое не должно превышать 0,15 лк. Перед каждым исследованием выполнялась проверка чувствительности прибора по калибровочному образцу. Уровень внешней засветки контролировался на протяжении всей процедуры.

Протокол введения красителя. ICG вводился внутривенно болюсно, из расчета 0,1 мг/кг массы тела. Для приготовления раствора содержимое флакона (25 мг) разводили в 5 мл дистиллированной воды. Объем вводимого раствора рассчитывался индивидуально. Введение препарата сопровождалось активацией режима видеофиксации в программном обеспечении Biospeak для последующего анализа кинетики флуоресценции.

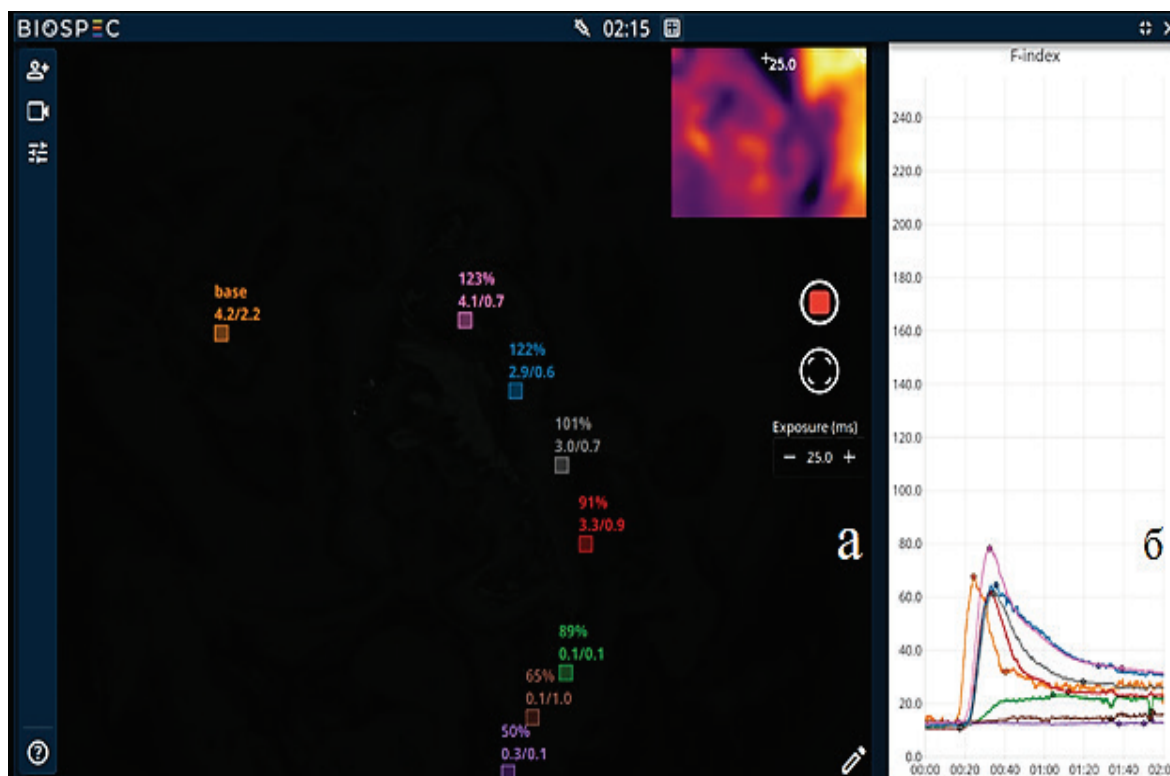


Рис. 1. Программа Biospeak: а – области интереса (ROI) с измерительными точками; б – графики кривых интенсивности флуоресценции

Оценка флуоресценции и количественный анализ перфузии

Введение контрастного препарата и начало регистрации. По команде операционного хирурга болюсное внутривенное введение индоцианина зеленого осуществлялось через пери-

ферический катетер на 10 с видеозаписи. Немедленно после инъекции катетер промывался 10 мл стерильной воды для инъекций.

Сразу после болюсного введения в программном обеспечении Biospeak активировалась команда Start в верхней панели управления для начала фиксации данных.

Время введения препарата синхронизировалось с началом записи видео. Визуализация флуоресценции стенки кишки осуществлялась в течение 120 с от момента введения ICG в режиме реального времени при помощи системы количественной оценки перфузии (рис. 1, б).

Количественная оценка перфузии. Для каждой установленной области интереса (ROI) в программе Biospeak автоматически формировались индивидуальные графики. Построение кривых интенсивности флуоресценции во времени позволяло оценить характеристики кровотока в каждой точке, включая:

- время появления флуоресценции (time to fluorescence onset, с);
- пиковую интенсивность флуоресценции (peak intensity, усл. ед.);
- скорость нарастания сигнала (upslope, усл. ед./с);
- скорость выведения красителя (downslope, усл. ед./с);
- тип кривой перфузии (визуальная и числовая классификация: тип 1–3).

Анализ продолжался в течение стандартного временного окна – 120 с, что соответствовало общепринятому протоколу количественной флуоресцентной ангиографии (рис. 1, а, б).

Анализ данных и принятие интраоперационных решений

Оценка параметров перфузии. По истечении 120 с от момента введения индоцианина зеленого в интерфейсе программы Biospeak активировалась кнопка «Расчет» (верхняя панель управления), после чего на экран выводились три ключевых параметра для каждой выбранной ROI:

- пиковая интенсивность флуоресценции, выраженная в процентах относительно контрольной метки (base);
- скорость накопления контраста – отношение интенсивности флуоресценции ко времени нарастания (усл. ед./с);
- скорость выведения контраста – отношение интенсивности к времени снижения флуоресценции (усл. ед./с).

Полученные значения фиксировались в регистрационной таблице. Оператор дополнительно выполнял скриншоты с графиками флуоресценции и расчетными показателями для каждого случая.

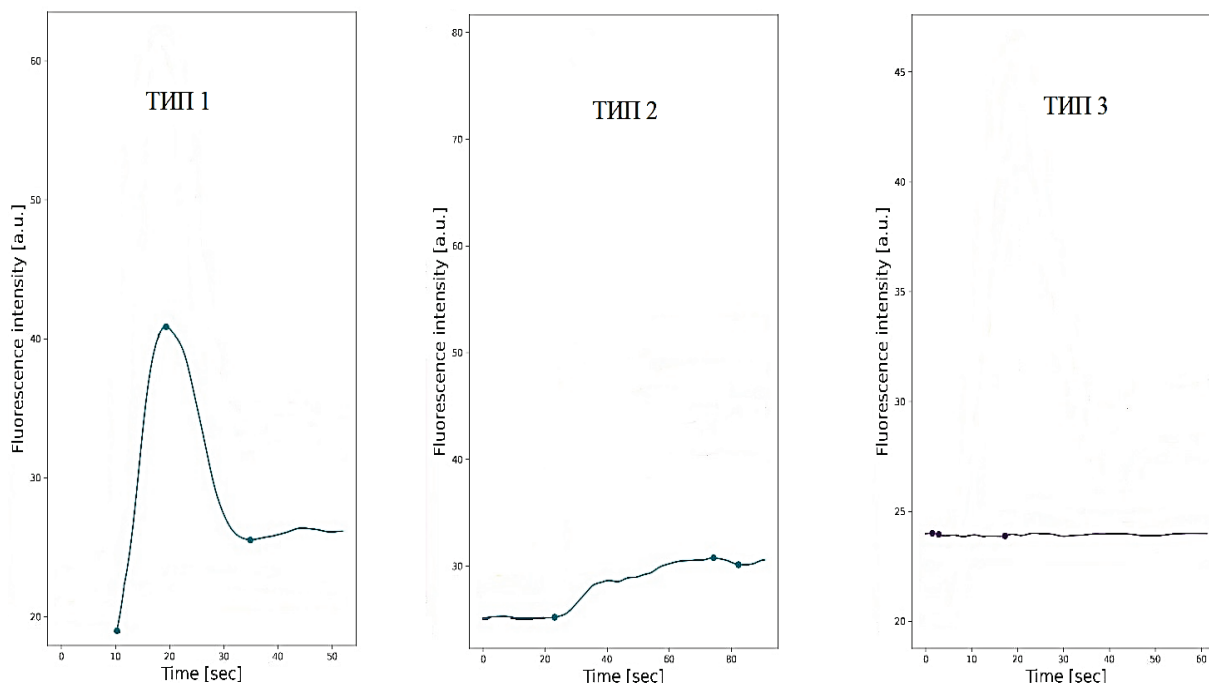


Рис. 2. Графики кривых интенсивности флуоресценции трех типов

Классификация перфузии и хирургическая тактика (рис. 2):

- Тип I (адекватная перфузия): интенсивный равномерный сигнал, быстрое накопление и выведение флуоресценции. При выявлении такого профиля анастомоз выполнялся без изменений.

- Тип II (пограничная перфузия): сниженная интенсивность флуоресценции и/или замедленная динамика. В подобных случаях анастомоз выполнялся, но соответствующий тип кривой обязательно фиксировался в протоколе.

Тип III (неудовлетворительная перфузия): низкая или отсутствующая флуоресценция, длительное накопление и замедленное выведение. При регистрации такого графика анастомоз не выполнялся на данном участке. Линия резекции смещалась в проксимальном направлении на ≥ 1 см, и перфузия переоценивалась до достижения профиля типа I или II. После этого проводилось наложение анастомоза.

Критерии оценки несостоятельности анастомоза

Несостоятельность анастомоза определялась как наличие патологического сообщения между просветом кишки и окружающими анатомическими структурами вследствие нарушения целостности анастомоза. Диагноз устанавливался на основании клинической картины и/или результатов инструментальной визуализации. Классификация проводилась в соответствии с международными рекомендациями (ISREC), с использованием шкал ISREC и Clavien – Dindo.

Классификация степени несостоятельности:

- Степень А: выявляется только при диагностической визуализации (КТ с контрастированием, ирригоскопия, ректороманоскопия, МРТ органов таза). Клинические симптомы отсутствуют. Вмешательства не требуются.
- Степень В: сопровождается клинической симптоматикой (боль, лихорадка, лейкоцитоз, локальный инфильтрат). Требуется консервативное или малоинвазивное вмешательство (антибактериальная терапия, дренирование без повторной лапаротомии).

Степень С: тяжелое течение, требующее повторного оперативного вмешательства, включая лапаротомию, санацию брюшной полости, формирование разобщающей стомы или удаление анастомоза.

Результаты

При анализе послеоперационных осложнений установлено, что частота НА в группе, где применялась ICG-флуоресценция, составила 4,8 %, что соответствует 2 случаям из 42 пациентов. Тогда как в контрольной группе, где использовались традиционные методы визуальной оценки, данный показатель достиг 7,7 %, что выразилось в 3 случаях из 39 прооперированных. Важно отметить, что на основании данных ICG-визуализации хирургическая тактика была изменена у 14,8 % пациентов. Это потребовало коррекции линии резекции у 6 из 42 больных, что потенциально могло повлиять на снижение частоты осложнений. Статистический анализ с использованием точного двустороннего теста Фишера не продемонстрировал достоверных различий в частоте НА между сравниваемыми

группами с уровнем значимости $p = 0,664$, что может быть связано с ограниченной выборкой исследования. Расчет относительного риска развития НА в группе ICG показал значение 0,62 с 95 % доверительным интервалом от 0,12 до 3,18, что свидетельствует о наличии тенденции к снижению частоты данного осложнения, однако не достигающей порога статистической значимости.

Обсуждение

Несмотря на отсутствие статистически значимого эффекта ($p > 0,05$), использование ICG-флуоресценции продемонстрировало клинически важную тенденцию к снижению частоты НА (4,8 % против 7,7 %). Полученные результаты согласуются с данными исследований J. Watanabe et al. (2020) и А.Л. Беджаняна и др. (2023), в которых также наблюдалось уменьшение частоты НА при применении флуоресцентной ангиографии. Вместе с тем, результаты настоящего исследования не подтверждают эффективность метода на уровне статистической значимости, что перекликается с выводами исследования AVOID (2023).

Метод оказался полезен и в плане интраоперационной тактики: в почти 15 % случаев визуализация привела к изменению уровня резекции. Это подтверждает потенциальную клиническую значимость метода, особенно в ситуации сомнительной макроскопической перфузии.

Ключевые ограничения исследования:

- небольшой объем выборки ($n = 81$) и ограниченное число исходов НА ($n = 5$), что существенно снижает статистическую мощность;
- отсутствие рандомизации, что могло повлиять на баланс факторов риска между группами;
- использование двухуровневого подхода (ICG/без ICG) без стратификации по локализации опухоли и уровню анастомоза.

Перспективы. Для получения обоснованных выводов о клинической эффективности ICG-визуализации необходимы многоцентровые рандомизированные исследования с унифицированным протоколом количественной оценки перфузии. Особое значение приобретает анализ пороговых значений флуоресценции, ассоциированных с повышенным риском НА. Интеграция математических моделей и автоматизированной интерпретации (в том числе ИИ-решений) может повысить точность оценки.

Заключение

Интраоперационная флуоресцентная ангиография с использованием индоцианина зеленого – перспективный метод оценки перфузии кишечной стенки, который позволяет своевремен-

но скорректировать линию резекции и потенциально снижает частоту НА. В рамках данного исследования метод продемонстрировал клинически значимую, но статистически недостоверную тенденцию к снижению НА. Полученные данные обосновывают необходимость дальнейших исследований, направленных на стандартизацию количественного анализа перфузии и определение объективных критериев для принятия интраоперационных решений.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Соответствие нормам этики. Исследование одобрено локальным этическим комитетом. Пациентами подписано информированное согласие на публикацию данных, полученных в результате исследований.

Compliance with ethical principles. The study was approved by the Local Ethics Committee. All patients signed informed consent for publication of data from the studies.

Список литературы / References

1. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2021;71(3):209–249.
2. Bakker I.S., Grossmann I., Henneman D., et al. Risk factors for anastomotic leakage and leak-related mortality after colonic cancer surgery in a nationwide audit. *Br J Surg.* 2014;101(4):424–432.
3. Lucarini A., Guida A.M., Orville M., Panis Y. Indocyanine green fluorescence angiography could reduce the risk of anastomotic leakage in rectal cancer surgery: a systematic review and meta-analysis. *Colorectal Dis.* 2024;26(3):408–416.
4. Carannante F., Piozzi G.N., Miacci V., et al. Quadruple assessment of colorectal anastomosis after laparoscopic rectal resection: a retrospective analysis of a propensity-matched cohort. *J Clin Med.* 2024;13(17):5092.
5. Arron M.N.N., Greijdanus N.G., Ten Broek R.P.G., et al. Trends in risk factors of anastomotic leakage after colorectal cancer surgery (2011–2019): a Dutch population-based study. *Colorectal Dis.* 2021;23(12):3251–3261.
6. Kryzauskas M., Bausys A., Degutyte A.E., et al. Risk factors for anastomotic leakage and its impact on long-term survival in left-sided colorectal cancer surgery. *World J Surg Oncol.* 2020;18(1):205.
7. Kryzauskas M., Bausys A., Jakubauskas M., et al. Intraoperative testing of colorectal anastomosis and the incidence of anastomotic leak: a meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(47):e23135.
8. Kryzauskas M., Bausys A., Dulskas A., et al. Comprehensive testing of colorectal anastomosis: results of a prospective observational cohort study. *Surg Endosc.* 2022;36(8):6194–6204.
9. Cassinotti E., Al-Taher M., Antoniou S.A., et al. EAES consensus on indocyanine green fluorescence-guided surgery. *Surg Endosc.* 2023;37(3):1629–1648.
10. Song M., Liu J., Xia D., et al. Assessment of intraoperative use of indocyanine green fluorescence imaging on the incidence of anastomotic leakage after rectal cancer surgery: a systematic review and meta-analysis. *Tech Coloproctol.* 2021;25(1):49–58.
11. Watanabe J., Takemasa I., Kotake M., et al. Blood perfusion assessment by indocyanine green fluorescence imaging for minimally invasive rectal cancer surgery (EssentiAL trial): a randomized clinical trial. *Ann Surg.* 2023;278(4):e688–e694.
12. Беджанян А.Л., Петренко К.Н., Сумбаев А.А. и др. Роль ICG-ангиографии в профилактике несостоятельности колоректальных анастомозов. *Хирургия.* 2023;9(2):25–32. [Bedyanyan A.L., Petrenko K.N., Sumbaev A.A., et al. The role of ICG angiography in prevention of colorectal anastomotic leakage. *Khirurgiya (Surgery).* 2023;9(Suppl. 2):25–32. (In Russ.)].
13. Catarci M., Guadagni S., Masedu F., et al. Intraoperative left-sided colorectal anastomotic testing: machine learning analysis of the iCra3 study. *Updates Surg.* 2024;76(5):1715–1727.
14. Morales-Conde S., Alarcón I., Yang T., et al. Fluorescence angiography with indocyanine green to evaluate anastomosis in colorectal surgery: where does it have more value? *Surg Endosc.* 2020;34(9):3897–3907.
15. Mizrahi I., Abu-Gazala M., Rickles A.S., et al. Indocyanine green fluorescence angiography during low anterior resection for low rectal cancer: results of a comparative cohort study. *Tech Coloproctol.* 2018;22(7):535–540.
16. Wada T., Kawada K., Hoshino N., et al. The effects of intraoperative ICG fluorescence angiography in laparoscopic low anterior resection: a propensity score-matched study. *Int J Clin Oncol.* 2019;24(4):394–402.
17. Faber R.A., Meijer R.P.J., Droogh D.H.M., et al. Indocyanine green near-infrared fluorescence bowel perfu-

sion assessment to prevent anastomotic leakage in minimally invasive colorectal surgery (AVOID): a randomized, controlled trial. *Lancet Gastroenterol Hepatol.* 2024;9(10):924–934.

Поступила 03.08.2025

Принята 17.08.2025

Опубликована 29.08.2025

Received 03.08.2025

Accepted 17.08.2025

Publication 29.08.2025

Авторы

Завражнов Анатолий Анатольевич – д-р мед. наук, главный врач, Клиника высоких технологий «Белоостров» ООО «ММЦ ВТ», Ленинградская обл., Россия, <https://orcid.org/0000-0001-5889-5175>

Кашченко Виктор Анатольевич – д-р мед. наук, профессор, заместитель главного врача по хирургии, Клиника высоких технологий «Белоостров» ООО «ММЦ ВТ», Ленинградская обл., Россия; заведующий кафедрой факультетской хирургии, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, surg122@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4958-5850>

Ланков Тимур Сергеевич – заведующий отделением абдоминальной и торакальной онкологии, Клиника высоких технологий «Белоостров» ООО «ММЦ ВТ», Ленинградская обл., Россия, dr@timlankov.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9234-9936>

Кузнецов Вадим Дмитриевич – врач-онколог, Клиника высоких технологий «Белоостров» ООО «ММЦ ВТ», Ленинградская обл., Россия, vad33671477@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8849-1267>

Новикова Анастасия Дмитриевна – врач-онколог, Клиника высоких технологий «Белоостров» ООО «ММЦ ВТ», Ленинградская обл., Россия, a.novikova.md@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7494-239X>

Пасекова Дарья Сергеевна – канд. мед. наук, врач-онколог, Клиника высоких технологий «Белоостров» ООО «ММЦ ВТ», Ленинградская обл., Россия; Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, dariapasekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1155-6808>

Бадаев Кирилл Дмитриевич – врач-онколог, Клиника высоких технологий «Белоостров» ООО «ММЦ ВТ», Ленинградская обл., Россия, badaevkirill@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4671-4450>

Румянцев Павел Олегович – д-р мед. наук, заместитель главного врача по онкологии-радиологии, Клини-

ка высоких технологий «Белоостров» ООО «ММЦ ВТ», Ленинградская обл., Россия, <https://orcid.org/0000-0002-7721-634X>

Москалев Аркадий Сергеевич – младший научный сотрудник, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия, arkadiimoskalev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5291-1031>

Лощенов Виктор Борисович – д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий лабораторией, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия, loschenov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0507-2367>

Эфендиев Канамат Темботович – канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия, kanamatius@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5864-1172>

Лаврентьева Анастасия Николаевна – студент, Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия, nastasiya1321@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-1716-7425>

Смирнов Георгий Алексеевич – доцент кафедры факультетской хирургии медицинского института, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, nkmaska@yandex.ru

Краморов Евгений Станиславович – клинический ординатор кафедры факультетской хирургии медицинского института, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, evkram@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6578-7614>

Authors

Zavrazhnov Anatoliy A. – Doctor of Medical Sciences, Chief Physician, High-Tech Clinic Beloostrov LLC "MMC VT", Leningrad Region, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5889-5175>

Kashchenko Viktor A. – Doctor of Medical Sciences, Professor, Deputy Chief Physician for Surgery, High-Tech Clinic Beloostrov LLC "MMC VT", Leningrad Region, Russia; Head of the Department of Faculty Surgery, Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, surg122@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4958-5850>

Lankov Timur S. – Head of Abdominal and Thoracic Oncology Department, High-Tech Clinic Beloostrov LLC "MMC VT", Leningrad Region, Russia, dr@timlankov.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9234-9936>

Kuznetsov Vadim D. – Oncologist, High-Tech Clinic Beloostrov LLC "MMC VT", Leningrad Region, Russia, vad33671477@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8849-1267>

Novikova Anastasiia D. – Oncologist, High-Tech Clinic Beloostrov LLC "MMC VT", Leningrad Region, Russia, a.novikova.md@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7494-239X>

Pasekova Daria S. – Candidate of Medical Sciences, Oncologist, High-Tech Clinic Beloostrov LLC "MMC VT", Leningrad Region, Russia; Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, dariapasekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1155-6808>

Badaev Kirill D. – Oncologist, High-Tech Clinic Beloostrov LLC "MMC VT", Leningrad Region, Russia, badaevkirill@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4671-4450>

Rumyantsev Pavel O. – Doctor of Medical Sciences, Deputy Chief Physician for Oncology and Radiology, High-Tech Clinic Beloostrov LLC "MMC VT", Leningrad Region, Russia, prumiantsev@groupmmc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7721-634X>

Moskalev Arkadiy S. – Junior Researcher, Prokhorov General Physics Institute, Moscow, Russia, arkadiimoskalev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5291-1031>

Loschenov Viktor B. – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of Laboratory, Prokhorov General Physics Institute, Moscow, Russia, loschenov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0507-2367>

Efendiev Kanamat T. – Candidate of Physics and Mathematics, Researcher, Prokhorov General Physics Institute, Moscow, Russia, kanamatius@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5864-1172>

Lavrentyeva Anastasiia N. – Student, Mechnikov North-West State Medical University, St. Petersburg, Russia, nastasiya1321@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-1716-7425>

Smirnov Georgiy A. – Associate Professor of the Department of Faculty Surgery at the Medical Institute, Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, nkmaska@yandex.ru

Kramorov Evgeniy S. – Clinical Resident of the Department of Faculty Surgery at the Medical Institute, Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, evkram@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6578-7614>