

DOI: <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2024-20-3-99-107>

Интраоперационная визуализация дефекта мочеточника с использованием ICG-флуоресценции: клинический случай и обзор литературы

О.А. Смирнова, Д.И. Румянцева, Ю.Н. Трифанов, М.Г. Яковлева, С.А. Тятков, А.К. Носов, И.В. Берлев
ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России; Россия, 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, 68

Контакты: Ольга Алексеевна Смирнова ssmirnova.aa@gmail.com

Наиболее частой травмой при операциях на тазовых органах является ятрогенное повреждение мочеточников. Оценка перфузии стенки мочеточников имеет решающее значение в профилактике ишемических осложнений, учитывая особенности данной топографической области.

В современной хирургической практике оценка местного кровоснабжения мочеточника часто основывается на субъективном мнении хирурга. Было доказано, что интраоперационная ангиография с индоцианином зеленым (indocyanine green, ICG) в достаточной степени отражает перфузию тканей и потенциально влияет на исход оперативного вмешательства.

В настоящее время имеются скудные данные об использовании ICG при ятрогенной травме мочеточника. В данной статье мы описываем успешную пластику средней трети мочеточника с использованием ICG-флуоресценции у 92-летней больной раком тела матки, перенесшей экстирпацию матки с придатками. Также мы приводим обзор литературы по данному вопросу. Поиск литературы для обзора осуществлялся с использованием базы данных PubMed.

На основании имеющихся на сегодняшний день данных использование ICG для определения дефекта и контроля пластики мочеточника возможно и безопасно. Однако значимость данной процедуры должна быть оценена в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова: травма мочеточника, рак тела матки, индоцианин зеленый, флуоресцентная визуализация

Для цитирования: Смирнова О.А., Румянцева Д.И., Трифанов Ю.Н. и др. Интраоперационная визуализация дефекта мочеточника с использованием ICG-флуоресценции: клинический случай и обзор литературы. Опухоли женской репродуктивной системы 2024;20(3):99–107.

DOI: <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2024-20-3-99-107>

Intraoperative ICG-fluorescence imaging of ureteral defect: case report and literature review

O.A. Smirnova, D.I. Rumyantseva, Yu.N. Trifanov, M.G. Yakovleva, S.A. Tyatkov, A.K. Nosov, I.V. Berlev

N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of Russia; 68 Leningradskaya St., Pesochnyy Settlement, Saint Petersburg 197758, Russia

Contacts: Olga Alekseevna Smirnova ssmirnova.aa@gmail.com

Iatrogenic ureteral injury is the most frequent trauma during pelvic surgery. Due to the peculiarities of this topographic region, assessment of ureteral wall perfusion is critical for prevention of ischemic complications.

In modern surgical practice, assessing local ureteral perfusion is often based on the surgeon's subjective opinion. Intraoperative angiography with indocyanine green (indocyanine green, ICG) has been shown to be an adequate reflection of tissue perfusion and potentially influence the outcome of surgery.

Currently, there are insufficient data regarding the use of ICG in iatrogenic ureteral injury. In this article, we describe a successful ICG fluorescence-guided middle third ureteroplasty in a 92-year-old patient with uterine cancer who underwent a simple hysterectomy. We also review the literature on this topic. The literature search for the review was performed using the PubMed database.

Based on currently available data, the use of ICG for defect detection and control during ureteral resection is feasible and safe. However, the significance of this procedure should be evaluated in further studies.

Keywords: ureteral injury, uterine cancer, indocyanine green, fluorescence guides surgery

For citation: Smirnova O.A., Rumyantseva D.I., Trifanov Yu.N. et al. Intraoperative ICG-fluorescence imaging of ureteral defect: case report and literature review. *Opukholi zhenskoy reproduktivnoy sistemy = Tumors of Female Reproductive System* 2024;20(3):99–107. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2024-20-3-99-107>

Использование современных методов функциональной визуализации при хирургической травме имеет решающее значение для лечения пациентов с термическими повреждениями тканей и сосудов. Наложение анастомоза после резекции, связанной с коагуляционной травмой, сопряжено с высокой частотой несостоятельности, а возможности хирурга по оценке жизнеспособности тканей остаются ограниченными. Таким образом, существует потребность в более точных диагностических инструментах для улучшения интраоперационной визуализации перфузии тканей с целью ранней диагностики и своевременного лечения и, как следствие, минимизации травматических осложнений.

Потенциальным решением этой проблемы является использование индоцианина зеленого (indocyanine green, ICG) в сочетании с флуоресцентной ангиографией. ICG – это флуоресцентный краситель, реагирующий на облучение в ближней инфракрасной области. Он был одобрен Управлением по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных средств США (Food and Drug Administration, FDA) еще в середине 50-х годов прошлого века для использования в медицинской практике (определения фракции сердечного выброса, функции кровотока паренхиматозных органов (печень, селезенка)). Однако информация об использовании этой технологии для диагностики интраоперационных повреждений мочеточников весьма скудна. По данным современной литературы, постепенное внедрение ангиографии с ICG в клиническую практику для визуализации и качественной оценки перфузии органов в различных условиях привело к уменьшению числа случаев несостоятельности анастомозов, связанной с ишемией [1, 2].

Лапароскопические системы высокой четкости (full HD), переключающиеся в инфракрасный диапазон через несколько секунд после введения ICG, обеспечивают ангиографию в режиме реального времени до наложения и сразу после анастомоза, позволяя провести оценку перфузии тканей в частности для сохранения адекватной васкуляризации сформированного анастомоза [3, 4].

Приводим клинический случай 92-летней больной раком тела матки, перенесшей экстирпацию матки с придатками и успешную пластику средней трети мочеточника с использованием ICG-флуоресценции.

Также приводим обзор литературы по данному вопросу. Поиск литературы для обзора осуществлялся с использованием базы данных PubMed.

Клинический случай

Пациентка, 92 года, планово поступила в онкогинекологическое отделение Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н.Н. Петрова в июле 2023 г. для хирургического лечения рака тела матки IIIA стадии (сT3bN1M0).

Из анамнеза пациентки: первично-множественный характер злокачественного новообразования, синхронно выявленный рак восходящей ободочной кишки pTisN0M0. С учетом анамнеза, пожилого возраста, значимой сопутствующей патологии (генерализованный атеросклероз, хроническая сердечная недостаточность I степени, II функциональный класс по NYHA, диффузно-узловой зоб, варикозная болезнь нижних конечностей) пациентка предварительно была проконсультирована терапевтом, анестезиологом, абдоминальным хирургом: противопоказаний к оперативному лечению не выявлено, с учетом выполненной эндоскопической петлевой диссекции опухоли восходящей ободочной кишки пациентке показано динамическое наблюдение.

По данным предоперационной магнитно-резонансной томографии органов малого таза (рис. 1) тело матки деформировано объемным новообразованием неоднородной структуры, с нечеткими неровными контурами, размерами 53 × 39 × 44, с подрастанием к передней стенке верхнеампулярного отдела прямой кишки на протяжении 15 мм; тазовые сегменты мочеточников не расширены; в проекции бифуркации подвздошных сосудов слева определяется лимфатический узел с кистозным компонентом в структуре, общими размерами 12 × 12 мм (подозрение на метастаз).

В ходе контрольной интраоперационной ревизии после удаления матки с придатками в запланированном объеме в проекции культи правой воронко-тазовой связки был отмечен коагуляционный дефект стенки правого мочеточника, визуальное на протяжении 1 см (рис. 2).

С целью оценки кровотока стенки мочеточника интраоперационным консилиумом принято решение о выполнении флуоресцентной ICG-визуализации. Проведено внутривенное введение 5 мл готового раствора красителя ICG (2,5 мг/мл). В течение 3–4 мин в режиме

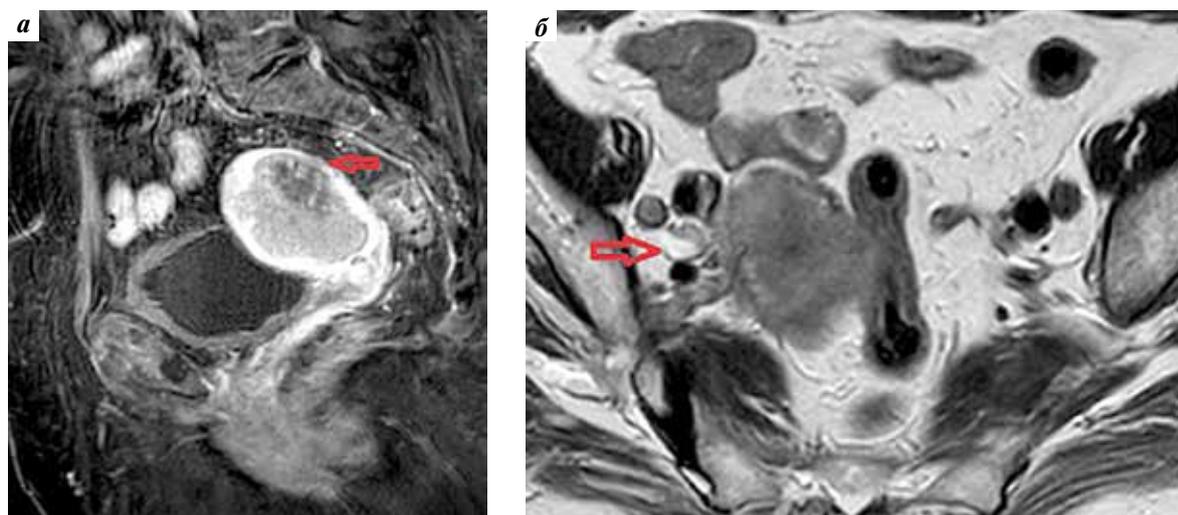


Рис. 1. Магнитно-резонансная томография органов малого таза: а — опухоль эндометрия (указана стрелкой); б — измененный подвздошный лимфатический узел (указан стрелкой)

Fig. 1. Magnetic resonance imaging of the pelvic organs: a — endometrial tumor (arrow); б — altered iliac lymph node (arrow)

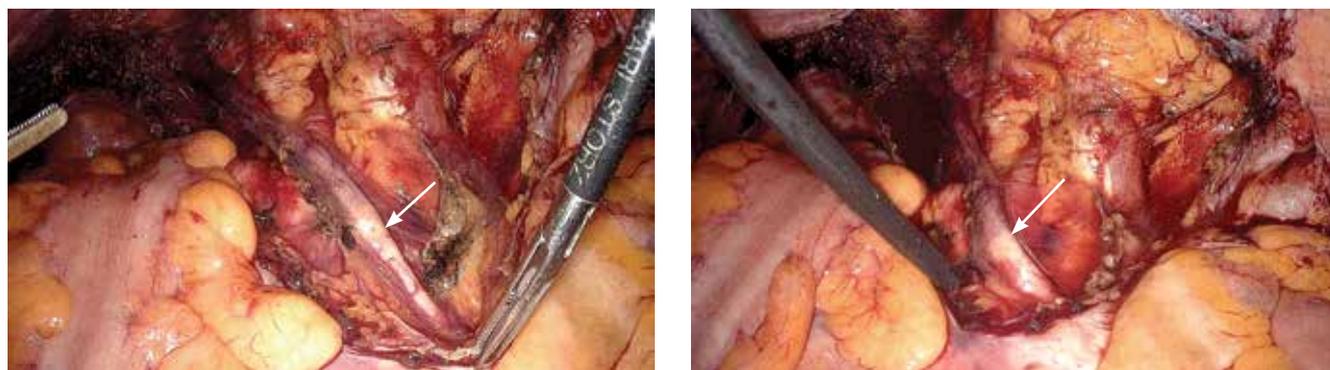


Рис. 2. Коагуляционный дефект стенки правого мочеточника (указан стрелками)

Fig. 2. Coagulation defect of the wall of the right ureter (arrows)

флуоресценции визуализирован дефект накопления препарата в стенке мочеточника на протяжении 2 см (рис. 3).

Следующим этапом выполнена резекция ишемизированного участка с формированием анастомоза по типу «конец в конец» (наложено 5 узловых швов Vicryl 5–0) на предварительно установленном мочеточниковом стенте Ch № 7. После пластического этапа выполнено контрольное введение 5 мл готового раствора красителя ICG (2,5 мг/мл) — правый мочеточник с анастомозом васкуляризирован на всем протяжении (рис. 4).

С учетом осложнений, возраста и сопутствующей патологии пациентки от выполнения лимфаденэктомии решено воздержаться.

В раннем послеоперационном периоде осложнений выявлено не было. В ходе контрольного ультразвукового исследования на 6-е послеоперационные сутки данных, указывающих на острую хирургическую патологию и мочевой затек, получено не было. Лабораторные показатели

в пределах референсных значений, уровень креатинина составил 73 мкмоль/л. Пациентка выписана на 11-е послеоперационные сутки в удовлетворительном состоянии. Правый мочеточниковый стент удален на 71-е послеоперационные сутки, без непосредственных осложнений.

Несостоятельность анастомозов по причине ятрогенной ишемии — сложная и часто клинически трудноразрешимая проблема. Считается, что гипоперфузия краев резекции является значимым индикатором негерметичности анастомозов и их последующей несостоятельности [5].

Мочеточники — один из наиболее уязвимых к ятрогенным повреждениям органов при операциях в области малого таза. В то время как дистальная треть мочеточника часто подвергается повреждению (до 91 % случаев), средняя и проксимальная трети травмируются значительно реже (7 и 2 % случаев соответственно) [6, 7]. Благодаря своему забрюшинному расположению, перистальтической активности и небольшому диаметру,



Рис. 3. Коагуляционный дефект стенки правого мочеточника в режиме флуоресцентной ICG-визуализации (указан пунктиром)

Fig. 3. Coagulation defect of the wall of the right ureter in the fluorescence ICG visualization mode (dotted line)

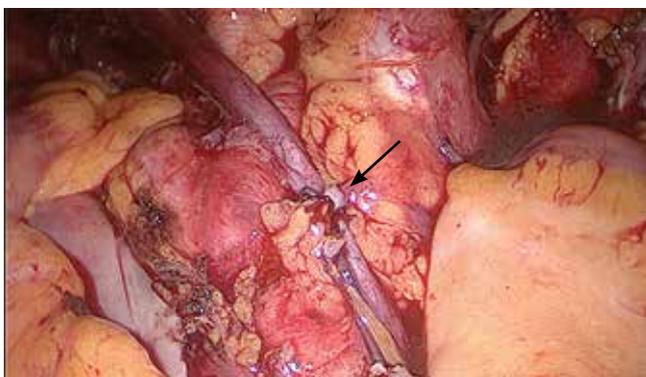


Рис. 4. Правый мочеточник с анастомозом по типу «конец в конце» (указан стрелкой)

Fig. 4. Right ureter with end-to-end anastomosis (arrow)

а также покрытию брюшиной мочеточник защищен от внешней тупой травмы, но в то же время он расположен интимно ко многим анатомическим структурам, которые входят в зону интереса гинекологической и общей хирургии, в частности это гонадные и маточные сосуды, шейка матки, подвздошные артерии, нижние брыжеечные и сигмовидные сосуды, а также ободочная и прямая кишка [8]. Кроме того, мочеточник имеет деликатное субадвентициальное кровоснабжение, которое сегментарно обеспечивается почечной, гонадной, общей подвздошной артерией и аортой. В совокупности его уникальная анатомия и близость к другим органам таза и брюшной полости делают мочеточник склонным к ятрогенным травмам. Общие механизмы повреждения включают либо прямую травму (пересечение, наложение швов, разможнение и коагуляция), либо непрямую травму, которая сопровождается частичной ишемией из-за инструментов большого калибра, деваскуляризацией и термическим повреждением [9–12].

Урологические операции, такие как уретероскопия, лимфаденэктомия и деривация мочи, приводят

к поражению мочеточников в 11–30 % случаев [8, 13, 14]. Чаще всего ятрогенную травму связывают с эндоскопическими процедурами по поводу лечения мочекаменной болезни [8, 15]. При этом дефект слизистой оболочки встречается в 0,3–4,0 % случаев, перфорация – в 0,2–6,0 %, а полный отрыв мочеточника составляет до 1 % осложнений уретероскопии. Колоректальная и общая хирургия вносят сопоставимый с урологическими операциями вклад в ятрогенное повреждение мочеточников (15–26 %) [8, 13, 14]. В данной сфере наиболее распространенными причинами дефектов являются низкие передние и брюшные резекции промежности, частота которых составляет от 0,24 до 5,7 % [14, 16–18].

Гинекологические вмешательства составляют наибольшую часть ятрогенных повреждений мочеточника, их количество доходит до 64–82 % [8, 12–14]. Однако частота травм мочеточника среди всех осложнений в гинекологической хирургии, как правило, не превышает 3 % [19]. А. Ostrzenski и соавт. провели обширный анализ более 3000 статей, по данным которого основной причиной повреждения мочеточника при лапароскопической хирургии была вагинальная гистерэктомия (20 % случаев), за которой следовали иссечение и резекция по поводу эндометриоза (12,8 %), овариэктомия (11,4 %), тазовая лимфаденэктомия (10 %), аднексэктомия или стерилизация (7,1 %), а также адгезиолизис, дренирование лимфоцеле и электрокоагуляция (4,3 %).

Профилактика дефектов мочеточника у онкологических больных требует неотложного внимания хирурга-онколога и немедленного разрешения ситуации при свершившейся интраоперационной травме. Уровень поражения и характер поражения мочеточника являются решающими факторами в выборе хирургической тактики. Таким образом, существует настоятельная потребность в расширении возможностей оценки перфузии с помощью простого и доступного инструмента, не прерывающего ход операции, а также доступного для мини-инвазивного хирургического доступа [20].

Интраоперационная оценка перфузии невооруженным глазом ограничена, а в ряде случаев и недоступна для мини-инвазивного доступа [21, 22]. Традиционными клиническими критериями жизнеспособности тканей являются способность к перистальтике (кишечник, мочеточник), цвет, а также кровотечение из мелких капилляров [23]. Однако подобный подход страдает субъективностью и в ряде случаев может ввести в заблуждение и привести к позднему выявлению дефекта перфузии уже по данным компьютерной томографии с внутривенным контрастированием как в раннем, так и в позднем послеоперационном периоде [24].

В современной хирургии визуализация тканевой перфузии в режиме реального времени представляет

собой не столь распространенную, но набирающую популярность опцию в рутинной практике хирурга [25–27]. Краситель ICG является одним из наиболее часто используемых флуоресцентных агентов для периоперационной диагностики. Достоинствами интраоперационной флуоресценции, или просто флуоресцентной визуализации, являются высокая контрастность, низкая стоимость, безопасность (отсутствие ионизирующего излучения, низкая частота аллергических реакций), простота использования в совокупности с высокой чувствительностью и специфичностью [28, 29], а также возможность применения при видеоэндоскопических операциях, что делает ее наилучшим из доступных решений.

ICG – водорастворимый биологический краситель, который используется в различных областях медицины. Благодаря высокой степени поглощения в ближнем инфракрасном диапазоне (600–1200 нм) краситель является оптимальным для маркирования тканей, так как препарат имеет низкую собственную флуоресценцию. Это приводит к уменьшению фонового сигнала, таким образом увеличивая чувствительность регистрации флуоресцентного маркера. Следует отметить, что препарат обладает низкой токсичностью и коротким периодом выведения из организма (ICG выводится из плазмы почти исключительно паренхиматозными клетками печени и выделяется полностью с желчью).

Основные показания для применения ICG в настоящее время – интраоперационные методы навигации в онкологии (картирование сигнальных лимфатических узлов (СЛУ) или метастазов), оценка перфузии и состоятельности тканевых структур (при резекции и наложении анастомозов), идентификация жизненно важных структур (например, холангиограмма, офтальмологические и нейрососудистые структуры) [30]. Имеется широкий ряд работ, посвященных использованию ICG в области колоректальной хирургии, а также в диагностике СЛУ при раке молочной железы [26, 31].

Первоначально в онкологической практике ICG стали использовать для верификации СЛУ при различных злокачественных опухолях [32]. Впервые ICG был использован E.A. Gould и соавт. для верификации СЛУ у больных раком околоушной железы. Большое количество работ, в основном связанных с детекцией СЛУ, посвящено использованию ICG в онкогинекологии.

Концепция СЛУ является стандартом лечения в онкогинекологической практике при раке шейки и тела матки [33]. В исследовании FILLES, посвященном флуоресцентной визуализации СЛУ при раке эндометрия, приняло участие 142 пациентки, которым было выполнено интраоперационное введение ICG в шейку матки [34]. СЛУ были идентифицированы с помощью флуоресцентной камеры ближнего инфракрасного диапазона и отправлены на патоморфологи-

ческую экспертизу. СЛУ не были обнаружены билатерально только у 8 пациенток. Уровень обнаружения в ходе биопсий СЛУ в этом исследовании составил 91,2 %. Таким образом, точность биопсии СЛУ составила 97,6 %. Чувствительность обнаружения метастатических СЛУ составила 84,2 % с прогностической ценностью отрицательного результата 97,22 %.

В ходе сравнения хирургических и онкологических результатов картирования СЛУ с рутинной лимфаденэктомией при хирургическом стадировании рака эндометрия на ранней стадии K.M.L. Koh и соавт. заключили, что ICG-визуализация СЛУ является приемлемой альтернативой лимфаденэктомии с сопоставимой частотой обнаружения метастазов в лимфатических узлах, безрецидивной и общей выживаемостью, а также снижением операционной заболеваемости [35]. Всего в исследование было включено 203 пациентки, из них в 109 случаях выполнено картирование СЛУ, в 94 – полная лимфаденэктомия. По сравнению с группой лимфаденэктомии в группе СЛУ были отмечены более короткая продолжительность операции (129 мин против 162 мин): меньшая кровопотеря (100 мл против 300 мл) и меньшая продолжительность послеоперационного пребывания в стационаре (3 дня против 4 дней) ($p < 0,001$). Частота выявления метастазов в лимфатических узлах составила 4,6 и 7,4 % для групп СЛУ и лимфаденэктомии соответственно ($p = 0,389$). При медиане срока наблюдения 14 мес для группы СЛУ и 15 мес для группы лимфаденэктомии безрецидивная и общая выживаемость были сопоставимы для обеих групп через 13 мес ($p = 0,538$ и $0,333$ соответственно).

Итальянские исследователи A. Ditto и соавт. опубликовали работу, в которой сообщается о случае 50-летней больной раком вульвы, которой была выполнена радикальная вульвэктомия с двусторонней паховой ICG-биопсией СЛУ [36]. Методика включала двойное обнаружение СЛУ: сначала с помощью детектора ^{99m}Tc , а затем идентификацию с ICG-флуоресценцией. ICG вводился в паратуморальную зону за 5–10 мин до непосредственной визуализации. Сначала портативный гамма-зонд использовался для определения местоположения СЛУ с помощью ^{99m}Tc , затем флуоресцентную визуализацию выполняли с помощью системы визуализации quest, сочетающей в себе автофлуоресцентную и флуоресцентную перфузионную визуализацию. Данная методика позволила без затруднений идентифицировать СЛУ и снизить объем оперативного вмешательства без потерь со стороны онкологических результатов.

В исследовании R. da Silva Sá и соавт., также посвященном оценке эффективности использования ICG в биопсии СЛУ, приняло участие 99 пациенток [37]. Все пациентки были нерандомизированно распределены на 3 группы в зависимости от методики

обнаружения СЛУ: одна группа подверглась патентованному синему окрашиванию, другая — окрашиванию с применением ICG, а третья получила комбинацию этих 2 методов. Согласно результатам, уровень детекции СЛУ при использовании патентованного синего красителя составил 78,8 %, при использовании ICG — 93,9 %, а при комбинации методов — 100 %. При этом среднее время идентификации СЛУ составило $20,6 \pm 10,7$ мин среди пациенток, получавших патентованный синий краситель, $8,6 \pm 6,6$ мин в группе ICG и $10 \pm 8,9$ мин в группе комбинации ($p < 0,001$).

Наряду с другими преимуществами для онкологической хирургии, такими как картирование лимфатических узлов и идентификация опухолевой ткани, интраоперационная оценка адекватности перфузии тканей может уменьшить объем резекции, сократить время операции, снизить частоту послеоперационных осложнений и необходимость повторных операций [38].

Основной целью многоцентрового исследования PILLAR II было продемонстрировать пользу и применимость интраоперационной оценки перфузии толстой и тонкой кишки методом флуоресцентной ICG-ангиографии во время левосторонней колэктомии и передней резекции [39]. Среди 139 анализируемых случаев показатель успеха ICG-флуоресценции составил 99 %, при этом данная методика изменила хирургическую тактику у 11 (8 %) пациентов. Частота несостоятельности анастомозов составила 1,4 % ($n = 2$). У 11 пациентов, у которых план хирургического вмешательства был изменен в связи с показателями интраоперационной флуоресценции, несостоятельностью анастомозов выявлено не было.

Систематический обзор и сетевой метаанализ E. Rausa и соавт., насчитывающий примерно 3844 случая использования ICG, также показал, что интраоперационная оценка перфузии тканей методом ICG-флуоресценции может значительно снизить частоту несостоятельности у пациентов с кишечными анастомозами в послеоперационном периоде [40].

В урологической практике первое интраоперационное использование ICG в качестве метода дополнительной визуализации предложил S. Tobis в 2006 г. [41]. В ходе исследования 15 пациентам проводилось внутривенное введение ICG с целью детекции границ опухоли для проведения резекции почки в пределах здоровых тканей. Среднее время холодовой ишемии составило 26,6 мин. Все выявленные злокачественные образования были афлуоресцентными или гипофлуоресцентными по сравнению с окружающей нормальной почечной паренхимой. Флуоресцентное изображение внутривенно введенного ICG четко идентифицировало внутрикорневые сосуды почки и позволило выполнить селективное пережатие артерий у 3 пациентов. Никаких побочных реакций на ICG отмечено не было,

а все хирургические границы были отрицательными при окончательном патологоанатомическом исследовании.

Существенную роль ICG-флуоресценция также может играть в профилактике осложнений со стороны формирования уретероилеальных анастомозов в ходе радикальных цистэктомий с кишечной деривацией мочи у пациентов с мышечно-инвазивным раком мочевого пузыря. В 2 крупных исследованиях (S. H. Shah и соавт., C. V. Anderson и соавт.) имеются данные о результатах интраоперационной флуоресцентной оценки перфузии уретероилеальных анастомозов при выполнении цистэктомии с различным вариантом операционного доступа (открытая, лапароскопическая и робот-ассистированная операции) [42, 43]. При использовании ICG-флуоресценции в обеих работах исследователи сообщают о значимом снижении частоты послеоперационных стриктур анастомозов в сравнении с группами «слепого» формирования уретероилеальных анастомозов. Также в ряде случаев ICG-визуализация привела к дополнительному иссечению тканей мочеточников ввиду их недостаточного локального кровоснабжения. В результате частота стриктур мочеточников снизилась с 7,5 до 0 % в исследовании S. H. Shah и соавт. и с 6,6 до 0 % в исследовании C. V. Anderson и соавт.

Таким образом, в современной хирургии периоперационная флуоресценция тканей с целью выявления злокачественных новообразований, биопсии СЛУ и оценки кровоснабжения анастомозов является лишь частью возможного практического использования ICG [44].

Существует несколько вариантов техники ICG-флуоресценции, в том числе и неинвазивные. Использование картирования мочеточников при лапароскопических операциях (колоректальных, урологических и гинекологических) позволяет избежать ятрогенных повреждений мочеточников путем ретроградного введения красителя через мочеточниковый катетер или нефростомический дренаж [45]. S. Siddighi и соавт. сообщают об успешном опыте роботических операций более чем у 10 пациентов, где не было ни одного случая интраоперационного поражения мочеточников за счет их интраоперационной флуоресцентной ICG-визуализации на всем протяжении.

Однако интраоперационная оценка перфузии тканей порой имеет решающее значение для прогнозирования послеоперационных осложнений, связанных с несостоятельностью анастомоза. В настоящее время не существует общепринятых стандартов оценки кровоснабжения тканей во время оперативного вмешательства. Неверная трактовка гипо- или гиперперфузии в 1 или более сегментах мочеточника, подлежащих анастомозированию, определяет объем расширения краев резекции и характер наложения нового анастомоза, а также может служить основанием для принятия

решения о временном клипировании мочеточника при высоких операционных рисках. Система визуализации на основе ICG была разработана для изучения степени некротических изменений и перфузии капилляров в исследуемой ткани, а также для оценки артериального кровотока непосредственно в режиме реального времени [46].

Оценка глубины ожога остается сложной задачей, и ее определение имеет решающее значение для выбора подхода к лечению термических повреждений [47]. Видеоангиография с использованием ICG позволяет оценить как проходимость сосудов, так и перфузию тканей, что позволяет предотвратить иссечение пораженных участков вне здоровых краев резекции с лучшими вторичными результатами.

В настоящее время 2 флуоресцентных агента одобрены FDA и используются в клинической практике: ICG и метиленовый синий. В связи с растущим интересом к расширению возможностей флуоресцентной

хирургии возникает необходимость использования тканеспецифических агентов, которые позволили бы улучшить интраоперационную идентификацию важных анатомических структур.

На основании имеющихся на сегодняшний день данных использование ICG для верификации и устранения дефектов мочеточника возможно и безопасно.

Недостатком ICG-флуоресценции является субъективность оценки интенсивности флуоресценции, что не позволяет использовать ее в качестве рутинной интраоперационной навигационной техники. Однако эта методика проста, понятна и легко реализуема, поэтому необходимо выработать консенсус в отношении использования данной опции. Значимость данной процедуры должна быть оценена в дальнейших исследованиях.

Ограничения обзора. Данная статья основана на интерпретации литературы по теме, а не на систематическом обзоре литературы.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Guerra F, Eugeni E., Patrini A. Real-time fluorescent angiography to assess bowel viability during laparoscopic surgery for acute small bowel obstruction. *Ann R Coll Surg Engl* 2020;102:468–9. DOI: 10.1308/rcsann.2020.0018
2. Dip F, Boni L., Bouvet M. et al. Consensus conference statement on the general use of nearinfrared fluorescence imaging and indocyanine green guided surgery: Results of a modified Delphi study. *Ann Surg* 2022;275:685–91. DOI: 10.1097/SLA.0000000000004412
3. Boni L., Fingerhut A., Marzorati A. et al. Indocyanine green fluorescence angiography during laparoscopic low anterior resection: Results of a case-matched study. *Surg Endosc* 2017;31:1836–40. DOI: 10.1007/s00464-016-5181-6
4. Frattini F., Lavazza M., Mangano A. et al. Indocyanine green-enhanced fluorescence in laparoscopic sleeve gastrectomy. *Obes Surg* 2015;25:949, 950. DOI: 10.1007/s11695-015-1640-8
5. Vignali A., Gianotti L., Braga M. et al. Altered microperfusion at the rectal stump is predictive for rectal anastomotic leak. *Dis Colon Rectum* 2000;43:76–82. DOI: 10.1007/BF02237248
6. Brandes S., Coburn M., Armenakas N., McAninch J. Diagnosis and management of ureteric injury: An evidence-based analysis. *BJU Int* 2004;94(3):277–89. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2004.04978.x
7. Selzman A.A., Spirmak J.P. Iatrogenic ureteral injuries: A 20-year experience in treating 165 injuries. *J Urology* 1996;155(3):878–81. DOI: 10.1016/s0022-5347(01)66332-8
8. Delacroix S.E.Jr., Winters J.C. Urinary tract injuries: Recognition and management. *Clin Colon Rectal Surg* 2010;23(2):104–12. DOI: 10.1055/s-0030-1254297
9. Tyriztis S.I., Wiklund N.P. Ureteral strictures revisited... trying to see the light at the end of the tunnel: A comprehensive review. *J Endourol* 2015;29(2):124–36. DOI: 10.1089/end.2014.0522
10. Manoucheri E., Cohen S.L., Sandberg E.M. et al. Ureteral injury in laparoscopic gynecologic surgery. *Rev Obstet Gynecol* 2012;5(2):106–11.
11. Selli C., Turri F.M., Gabellieri C. et al. Delayed-onset ureteral lesions due to thermal energy: An emerging condition. *Arch Ital Urol Androl* 2014;86(2):152, 153. DOI: 10.4081/aiua.2014.2.152
12. Parpala-Spärman T., Paananen I., Santala M. et al. Increasing numbers of ureteric injuries after the introduction of laparoscopic surgery. *Scand J Urol Nephrol* 2008;42(5):422–7. DOI: 10.1080/00365590802025857
13. Engelskjerd J.S., LaGrange C.A. Ureteral Injury. In: *StatPearls*. StatPearls Publishing, 2023.
14. Elliott S.P., McAninch J.W. Ureteral injuries: External and iatrogenic. *Urol Clin North Am* 2006;33(1):55–66. DOI: 10.1016/j.ucl.2005.11.005
15. Abboudi H., Ahmed K., Royle J. et al. Ureteric injury: A challenging condition to diagnose and manage. *Nat Rev Urol* 2013;10(2):108–15. DOI: 10.1038/nrurol.2012.254
16. Halabi W.J., Jafari M.D., Nguyen V.Q. et al. Ureteral injuries in colorectal surgery: An analysis of trends, outcomes, and risk factors over a 10-year period in the United States. *Dis Colon Rectum* 2014;57(2):179–86. DOI: 10.1097/DCR.0000000000000033
17. Palaniappa N.C., Telem D.A., Ranasinghe N.E., Divino C.M. Incidence of iatrogenic ureteral injury after laparoscopic colectomy. *Arch Surg* 2012;147(3):267–71. DOI: 10.1001/archsurg.2011.2029
18. Dwivedi A., Chahin F., Agrawal S. et al. Laparoscopic colectomy vs. open colectomy for sigmoid diverticular disease. *Dis Colon Rectum* 2002;45(10):1309–15. DOI: 10.1007/s10350-004-6415-6
19. Ostrzenski A., Radolinski B., Ostrzenska K.M. A review of laparoscopic ureteral injury in pelvic surgery. *Obstet Gynecol Survey* 2003;58(12):794–9. DOI: 10.1097/01.OGX.0000097781.79401.0B
20. Reinhart M.B., Huntington C.R., Blair L.J. et al. Indocyanine green: Historical context, current applications, and future considerations. *Surg Innov* 2016;23:166–75. DOI: 10.1177/1553350615604053
21. Yamaguchi K., Abe T., Nakajima K. et al. Use of near-infrared imaging using indocyanine green associates with the lower incidence of postoperative complications for intestinal and mesenteric injury. *Sci Rep* 2021;11:23880. DOI: 10.1038/s41598-021-03361-1
22. Karliczek A., Harlaar N.J., Zeebregts C.J. et al. Surgeons lack predictive accuracy for anastomotic leakage in gastrointestinal

- surgery. *Int J Colorectal Dis* 2009;24:569–76. DOI: 10.1007/s00384-009-0658-6
23. Кашенко В.А., Камшилин А.А., Зайцев В.В. и др. Возможности оценки перфузии тканей в абдоминальной хирургии: интеграция в систему интраоперационных контрольных точек безопасности. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова* 2023; (9–2):33–42. DOI: 10.17116/hirurgia202309233
Kashchenko V.A., Kamshilin A.A., Zaitsev V.V. et al. Possibilities of tissue perfusion assessment in abdominal surgery: integration into the intraoperative system of safety control points. *N.I. Pirogov Russian Journal of Surgery = Khirurgiya. Zurnal im. N.I. Pirogova* 2023;(9–2):33–42. (In Russ.). DOI: 10.17116/hirurgia202309233
 24. Burks F.N., Santucci R.A. Management of iatrogenic ureteral injury. *Ther Adv Urol* 2014;6(3):115–24. DOI: 10.1177/1756287214526767
 25. Schaafsma B.E., Mieog J.S., Hutteman M. et al. The clinical use of indocyanine green as a near-infrared fluorescent contrast agent for image-guided oncologic surgery. *J Surg Oncol* 2011;104(3): 323–32. DOI: 10.1002/jso.21943
 26. Polom K., Murawa D., Rho Y.S. et al. Current trends and emerging future of indocyanine green usage in surgery and oncology: A literature review. *Cancer* 2011;117(21):4812–22. DOI: 10.1002/ncr.26087
 27. Cwalinski T., Polom W., Marano L. et al. Methylene blue – current knowledge, fluorescent properties, and its future use. *J Clin Med* 2020;9(11):3538. DOI: 10.3390/jcm9113538
 28. Nagaya T., Nakamura Y.A., Choyke P.L., Kobayashi H. Fluorescence-guided surgery. *Front Oncol* 2017;7:314. DOI: 10.3389/fonc.2017.00314
 29. Xi L., Jiang H. Image-guided surgery using multimodality strategy and molecular probes. *Wiley Interdiscip Rev Nanomed Nanobiotechnol* 2016;8:46–60. DOI: 10.1002/wnan.1352
 30. Reinhart M.B., Huntington C.R., Blair L.J. et al. Indocyanine green: Historical context, current applications, and future considerations. *Surg Innov* 2016;23:166–75. DOI: 10.1177/1553350615604053
 31. Kitai T., Inomoto T., Miwa M., Shikayama T. Fluorescence navigation with indocyanine green for detecting sentinel lymph nodes in breast cancer. *Breast Cancer* 2005;12:211–5. DOI: 10.2325/jbcs.12.211
 32. Мудунов А.М., Гельфанд И.М., Кропотов М.А. и др. Улучшение диагностики «скрытого» метастазирования при плоскоклеточном раке слизистой оболочки полости рта cT1–2N0M0. *Опухоли головы и шеи* 2022;12(1):12–25. DOI: 10.17650/2222-1468-2022-12-1-12-25
Mudunov A.M., Gelfand I.M., Kropotov M.A. et al. Improved diagnostics of “concealed” metastases in patients with cT1–2N0M0 oral squamous cell carcinoma. *Opukholi golovy i shei = Head and Neck Tumors* 2022;12(1):12–25. (In Russ.). DOI: 10.17650/2222-1468-2022-12-1-12-25
 33. Concin N., Matias-Guiu X., Vergote I. et al. ESGO/ESTRO/ESP guidelines for the management of patients with endometrial carcinoma. *Int J Gynecol Cancer* 2021;31(1):12–39. DOI: 10.1136/ijgc-2020-002230
 34. Khemworapong K., Jaishuen A., Srichaikul P. et al. The fluorescence imaging for laparoscopic and laparotomic endometrial sentinel lymph node biopsy (FILLES) trial: Siriraj gynecologic sentinel node of endometrial cancer (SiGN-En) study. *J Surg Oncol* 2023. DOI: 10.1002/jso.27486
 35. Koh K.M.L., Ng Z.Y., Chin F.H.X. et al. Comparing surgical and oncological outcomes between indocyanine green (ICG) sentinel lymph node mapping with routine lymphadenectomy in the surgical staging of early-stage endometrioid endometrial cancer. *Obstet Gynecol Int* 2023;2023:9949604. DOI: 10.1155/2023/9949604
 36. Ditto A., Ferla S., Martinelli F. et al. Real-time fluorescent ICG and 99m-Tc nanocolloid tracer navigation in bilateral sentinel lymph node mapping of vulvar cancer. *J Minim Invasive Gynecol* 2023;30(10):780, 781. DOI: 10.1016/j.jmig.2023.07.004
 37. Da Silva Sá R., Von Ah Rodrigues R.F., Bugalho L.A. et al. Evaluation of the efficacy of using indocyanine green associated with fluorescence in sentinel lymph node biopsy. *PloS One* 2023;18(10):e0273886. DOI: 10.1371/journal.pone.0273886
 38. Van Manen L., Handgraaf H.J.M., Diana M. et al. A practical guide for the use of indocyanine green and methylene blue in fluorescence-guided abdominal surgery. *J Surg Oncol* 2018;118:283–300. DOI: 10.1002/jso.25105
 39. Jafari M.D., Wexner S.D., Martz J.E. et al. Perfusion assessment in laparoscopic left-sided/anterior resection (PILLAR II): A multi-institutional study. *J Am Coll Surg* 2015;220(1):82–92.e1. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2014.09.015
 40. Rausa E., Zappa M.A., Kelly M.E. et al. A standardized use of intraoperative anastomotic testing in colorectal surgery in the new millennium: is technology taking over? A systematic review and network meta-analysis. *Tech Coloproctol* 2019;23(7):625–31. DOI: 10.1007/s10151-019-02034-6
 41. Tobis S., Knopf J.K., Silvers C.R. et al. Near infrared fluorescence imaging after intravenous indocyanine green: Initial clinical experience with open partial nephrectomy for renal cortical tumors. *Urology* 2012;79(4):958–64. DOI: 10.1016/j.urology.2011.10.016
 42. Shah S.H., Movassaghi K., Skinner D. et al. Ureteroenteric strictures after open radical cystectomy and urinary diversion: The University of Southern California experience. *Urology* 2015;86(1):87–91. DOI: 10.1016/j.urology.2015.03.014
 43. Anderson C.B., Morgan T.M., Kappa S. et al. Ureteroenteric anastomotic strictures after radical cystectomy – does operative approach matter? *J Urol* 2013;189(2):541–7. DOI: 10.1016/j.juro.2012.09.034
 44. Ghuman A., Kavalukas S., Sharp S.P., Wexner S.D. Clinical role of fluorescence imaging in colorectal surgery – an updated review. *Expert Rev Med Dev* 2020;17:1277–83. DOI: 10.1080/17434440.2020.1851191
 45. Siddighi S., Yune J.J., Hardesty J. Indocyanine green for intraoperative localization of ureter. *Am J Obstet Gynecol* 2014;211:436.e1, 436.e2. DOI: 10.1016/j.ajog.2014.05.017
 46. Joh J.H., Park H.C., Han S.A., Ahn H.J. Intraoperative indocyanine green angiography for the objective measurement of blood flow. *Ann Surg Treat Res* 2016;90:279–86. DOI: 10.4174/ast.2016.90.5.279
 47. Schulz T., Marotz J., Seider S. et al. Burn depth assessment using hyperspectral imaging in a prospective single center study. *Burns* 2022;48:1112–9. DOI: 10.1016/j.burns.2021.09.010

Вклад авторов

Д.И. Румянцева: разработка концепции исследования, оформление клинического случая, анализ полученных данных, написание статьи;
О.А. Смирнова: разработка концепции исследования, патентный поиск литературы, анализ и интерпретация результатов исследований для обзора литературы, написание статьи;

Ю.Н. Трифанов, М.Г. Яковлева, С.А. Тятков: патентный поиск литературы, анализ и интерпретация результатов исследований для обзора литературы;

И.В. Берлев, А.К. Носов: разработка концепции исследования.

Authors' contributions

D.I. Rumyantseva: development of the research concept, design of the clinical case, analysis of the obtained data, writing the article;

O.A. Smirnova: developing a research concept, patent literature search, analyzing and interpreting research results for the literature review, writing the article;

Yu.N. Trifanov, M.G. Yakovleva, S.A. Tyatkov: patent literature search, analysis and interpretation of research results for the literature review;

I.V. Berlev, A.K. Nosov: developing the research concept.

ORCID авторов / ORCID of authors

О.А. Смирнова / O.A. Smirnova: <https://orcid.org/0000-0003-1140-6578>

Д.И. Румянцева / D.I. Rumyantseva: <https://orcid.org/0000-0002-8067-9150>

Ю.Н. Трифанов / Yu.N. Trifanov: <https://orcid.org/0009-0008-3530-887X>

М.Г. Яковлева / M.G. Yakovleva: <https://orcid.org/0000-0002-1593-6771>

С.А. Тятков / S.A. Tyatkov: <https://orcid.org/0000-0002-1877-8852>

А.К. Носов / A.K. Nosov: <https://orcid.org/0000-0003-3850-7109>

И.В. Берлев / I.V. Berlev: <https://orcid.org/0000-0001-6937-2740>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Funding. The work was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Пациентка подписала информированное согласие на публикацию своих данных.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The patient signed written informed consent to the publication of her data.