

ISSN 1995-5464 (Print); ISSN 2408-9524 (Online)

<https://doi.org/10.16931/1995-5464.20194131-138>

Интраоперационная визуализация желчных протоков с помощью индоцианина зеленого при лапароскопической холецистэктомии

Панченков Д.Н.^{1, 2, 3}, Иванов Ю.В.^{1, 2}, Тупикин К.А.^{1*},
Астахов Д.А.^{1, 2}, Лискевич Р.В.^{1, 2, 3}

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 127473, Москва, ул. Дедегатская, д. 20, стр. 1, Российская Федерация

² ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства», 115682, Москва, Ореховый бульвар, д. 28, Российская Федерация

³ ФГБУ «Государственный научный центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина Федерального медико-биологического агентства», 121165, Москва, ул. Студенческая, д. 40, Российская Федерация

Цель. Оценка возможности ранней идентификации желчных протоков с применением света в ближнем инфракрасном диапазоне и флуоресцентного агента индоцианина зеленого при лапароскопической холецистэктомии у пациентов с повышенным риском повреждения желчных протоков.

Материал и методы. Лапароскопическая холецистэктомия выполнена 16 пациентам с различными факторами риска травмы желчных протоков. Для интраоперационного определения топографии желчных протоков применяли систему флуоресцентной диагностики.

Результаты. Применение интраоперационной диагностики в ряде наблюдений облегчило идентификацию трубчатых структур в проекции треугольника Кало и позволило избежать конверсии.

Заключение. Первый опыт интраоперационного обнаружения желчных протоков с помощью индоцианина зеленого при лапароскопической холецистэктомии свидетельствует о том, что метод может стать важной дополнительной процедурой у пациентов с повышенным риском повреждения желчных протоков. Необходимы дальнейшие исследования для оптимизации методов, определения дозы, времени и критериев отбора пациентов.

Ключевые слова: печень, желчный пузырь, желчные протоки, лапароскопическая холецистэктомия, индоцианин зеленый, флуоресцентная диагностика, повреждение желчных протоков

Ссылка для цитирования: Панченков Д.Н., Иванов Ю.В., Тупикин К.А., Астахов Д.А., Лискевич Р.В. Интраоперационная визуализация желчных протоков с помощью индоцианина зеленого при лапароскопической холецистэктомии. *Анналы хирургической гепатологии*. 2019; 24 (4): 131–138. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.20194131-138>

Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Fluorescent imaging with indocyanine green for intraoperative biliary ducts examination during laparoscopic cholecystectomy

Panchenkov D.N.^{1, 2, 3}, Ivanov Yu.V.^{1, 2}, Tupikin K.A.^{1*}, Astakhov D.A.^{1, 2}, Liskevich R.V.^{1, 2, 3}

¹ Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry; b. 1, 20, Delegatskaya str., Moscow, 127473, Russian Federation

² Federal Scientific and Clinical Center of Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies of FMBA of Russia; 28, Orekhovy bul., Moscow, 115682, Russian Federation

³ Skobelkin State Scientific Center of Laser Medicine FMBA of Russia; 40, Studyencheskaya str., Moscow, 121165, Russian Federation

Aim. Assessment of the capability of early identification of the bile ducts using near infrared light and fluorescent agent indocyanine green in laparoscopic cholecystectomy in patients with an increased risk of bile duct injury.

Methods. Laparoscopic cholecystectomy using fluorescent imaging system was performed in 16 patients with different risk factors for bile duct injury.

Results. The use of intraoperative imaging in a number of cases facilitated the identification of tubular structures in the Calot triangle and allowed to avoid the conversion.

Conclusion. The first experience of intraoperative imaging of bile ducts using indocyanine green in laparoscopic cholecystectomy indicate that this method can become an important additional diagnostic procedure in patients with an increased risk of bile duct injury. Further research is needed to optimize methods, dosage, time and patient selection criteria.

Keywords: liver, gall bladder, bile duct, laparoscopic cholecystectomy, indocyanine green, fluorescent imaging, bile duct injury

For citation: Panchenkov D.N., Ivanov Yu.V., Tupikin K.A., Astakhov D.A., Liskevich R.V. Fluorescent imaging with indocyanine green for intraoperative biliary ducts examination during laparoscopic cholecystectomy. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB surgery*. 2019; 24 (4): 131–138. (In Russian). <https://doi.org/10.16931/1995-5464.20194131-138>

No conflict of interests to declare.

● Введение

Лапароскопическая холецистэктомия (ЛХЭ) является методом выбора в лечении пациентов с желчнокаменной болезнью (ЖКБ). Несмотря на известные преимущества лапароскопических вмешательств, обратной стороной минимально инвазивных операций является несколько больший риск повреждения желчных протоков. Типичное повреждение желчных протоков происходит в ситуации, когда общий желчный проток (ОЖП) ошибочно принимают за пузырный, что приводит к частичному или полному пересечению ОЖП [1, 2]. Повреждение желчных протоков приводит к увеличению продолжительности госпитализации, ухудшению качества жизни и неблагоприятному результату лечения даже спустя 10 лет после травмы [1,3].

В настоящее время признано необходимым соблюдать “критический вид безопасности” (critical view of safety, КВБ) до клипирования любой трубчатой структуры. Однако по данным последних исследований, частота повреждений желчных протоков до сих пор сохраняется на уровне 0,26–0,7%, что может составлять до 3000 травм желчных протоков в год [4–6].

Методом, позволяющим помочь хирургам уточнить анатомическое строение желчных протоков, многие десятилетия считали интраоперационную холангиографию. Однако рутинное применение холангиографии связано с увеличением времени операции, повышением стоимости вмешательства, трудностями канюляции желчных протоков и интерпретации снимков, необходимостью наличия персонала и дополнительного оборудования [7–10]. Альтернативным способом поиска желчных протоков при холецистэктомии являются методы флуоресцентной диагностики, позволяющие хирургу безошибочно определять внепеченочные желчные протоки в составе печеночно-двенадцатиперстной связки.

Исследования в области применения красителя индоцианина зеленого (indocyanine green, ICG) показали, что его применение может улучшить понимание анатомии билиарного тракта. Для возбуждения флуоресценции ICG применяют NIR-камеру с длиной волны света 805–835 нм (ближний инфракрасный диапазон, near

infrared, NIR). Такой подход для идентификации желчных протоков считают целесообразным при неосложненной ЖКБ. При этом отсутствуют отрицательные моменты применения холангиографии [11–27]. Возможности применения ICG имеют явный потенциал к расширению, применению метода при так называемой трудной анатомии желчных протоков, у пациентов с высоким риском их повреждения.

Технология флуоресцентной диагностики с применением ICG увеличивает возможности интраоперационной идентификации, позволяя дифференцировать критически важные анатомические структуры, не различимые в стандартном режиме белого света, что существенно расширяет диагностический арсенал хирурга и может определять хирургическую тактику и объем оперативного вмешательства.

Индоцианин зеленый впервые был испытан в 1957 г. в клинике Мейо (Mayo Clinic) и после утверждения FDA в 1959 г. сначала использовался для исследования функции печени, позднее – в кардиологии и офтальмологии [1]. Для клинического применения ICG разводят водой для инъекций в требуемых дозах.

Цель исследования – оценка возможности ранней идентификации билиарного тракта с применением света в ближнем инфракрасном диапазоне и флуоресцентного агента ICG при ЛХЭ у пациентов с повышенным риском повреждения желчных протоков.

● Материал и методы

Критерии включения пациентов в исследование: возраст ≥ 18 лет, планируемая ЛХЭ по поводу осложненной ЖКБ при остром или хроническом холецистите, билиарном панкреатите, наличие чрескожного желчного дренажа, холедохолитиаз без признаков камней в ОЖП при ЭРХПГ или хирургическом вмешательстве. Критерии исключения: изолированный симптомный холелитиаз, непереносимость йода, гипертиреоз, гипотиреоз, применение медикаментов, влияющих на захват ICG печенью.

Применяемый препарат. ICG – флуоресцентный маркер, состоящий из небольших частиц, которые проявляют диффузную флуоресценцию под воздействием возбуждающего света

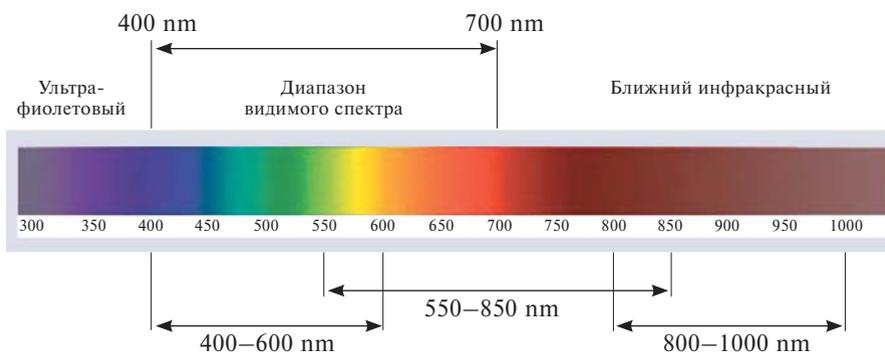


Рис. 1. Электромагнитный спектр.

Fig. 1. Electromagnetic spectrum.

в ближнем инфракрасном диапазоне ($\lambda = 600\text{--}900\text{ nm}$). Источник света – специальная оптическая система (рис. 1). Спектр поглощения этого красителя демонстрирует пик возбуждения при $\lambda = 805\text{ nm}$ и пик флуоресцентной эмиссии при $\lambda = 835\text{ nm}$. ICG способен излучать свет в ближнем инфракрасном диапазоне спектра, что уменьшает фоновую аутофлуоресценцию основных компонентов крови (гемоглобина и воды). Глубина проникновения в ткани, которая может быть использована для NIR-флуоресценции, составляет $0,5\text{--}1,5\text{ cm}$. После внутривенного введения ICG связывается с крупными белками плазмы, в результате чего гарантированно остается в сосудистом русле. Внешний вид операционного поля после введения препарата не изменяется в обычном режиме, поскольку этот диапазон невидим для человека.

Риск нежелательных явлений при применении ICG весьма невелик. Частота аллергических реакций составляет $1:42000$ наблюдений. Из соображений безопасности применение ICG противопоказано пациентам с печеночной недостаточностью, а также пациентам, не переносящим вещества, содержащие йод, который в небольшом количестве входит в состав красителя [23–25].

Система диагностики. Во всех наблюдениях применяли диагностическую систему KARL STORZ OPAL1®, способную работать в двойном режиме – в белом свете и в режиме ICG-флуоресценции. Система обеспечивает качество изображения Full HD в режиме белого света и фоновой подсветки с реалистичной цветопередачей. Для переключения из стандартного режима белого света в NIR-режим применяли педаль. Отображение в обоих режимах улучшается за счет использования системы KARL STORZ IMAGE1 S™, поставляемой вместе с различными модулями, которые хирурги могут выбирать согласно своим предпочтениям. Система KARL STORZ OPAL1® для NIR/ICG-диагностики полностью совместима с такими передовыми методами, как трехмерное изображение, с гибкой эндоскопией и с открытыми операциями.

Пациенты были подготовлены к хирургическому лечению в соответствии со стандартными протоколами, принятыми в клинике. Непосредственно после индукции общей анестезии в операционной пациентам внутривенно болюсно вводили $0,2\text{ mg/kg}$ ICG, разведенного в воде для инъекций. При ЛХЭ применяли камеру IMAGE 1 S H3-Z KARL STORZ с функцией NIR, поставляемую в комплекте со специальной



Рис. 2. Интраоперационная ICG-флуоресцентная диагностика желчных протоков: а – изображение в режиме белого света; б, в – изображение с активированной NIR-камерой в разных режимах.

Fig. 2. Intraoperative indocyanine green-fluorescent imaging of the bile ducts: а – image in white light mode; б and с – image with an activated near-infrared camera in different modes.

Таблица 1. Результаты осмотра желчных протоков в белом свете и с помощью NIR-камеры
Table 1. Bile duct imaging with conventional and indocyanine green near-infrared (ICG-NIR) imaging

Параметр	Осмотр 1	Осмотр 2	Осмотр 3
Число пациентов, абс.	16	10	16
Среднее время после введения ICG, мин	30 (20–72)	70 (28–91)	51 (10–117)
Обнаружение желчных протоков	5	4	16
Обычный осмотр в белом свете (число пациентов, абс.)			
Обнаружение ПП	1	2	16
Обнаружение ОЖП	0	0	3
Протоки не обнаружены	15	13	0
Осмотр с применением NIR-камеры (число пациентов, абс.)			
Обнаружение ПП	4	4	11
Обнаружение ОЖП	2	2	7
Протоки не обнаружены	10	3	5

оптикой HOPKINS™. Систему применяли для определения флюоресценции желчных протоков, в частности пузырного протока (ПП) и ОЖП.

Первый NIR-осмотр (осмотр 1) применяли всем пациентам после надсечения перитонеальной брюшины перед диссекцией в области треугольника Кало. Если не удавалось рассмотреть ПП в начале диссекции, то осуществляли второй NIR-осмотр (осмотр 2) в максимально ранние сроки диссекции, но до скелетизации анатомических структур. Третий NIR-осмотр (осмотр 3) выполняли всем пациентам, когда достоверно можно было определить ОЖП. Картина интраоперационной флюоресцентной диагностики представлена на рис. 2 Желчные протоки, обнаруженные при помощи NIR-камеры либо при обычном освещении, идентифицировали хирург и ассистенты. Обнаруженные структуры и время наблюдения регистрировали соответствующим образом.

Холецистэктомию выполняли стандартным способом. Наблюдение за пациентами и выписку также осуществляли в соответствии со стандартными протоколами ведения.

● Результаты

После получения устного и письменного информированного согласия в исследование были включены 16 пациентов, которым была выполнена ЛХЭ. Всего было 7 мужчин и 9 женщин в возрасте 28–80 лет (средний возраст 65 лет), индекс массы тела (ИМТ) варьировал от 16,8 до 38 кг/м² (средний ИМТ 25,45 кг/м²). Конверсий не было. Три пациента страдали билиарным панкреатитом. У 7 пациентов был диагностирован острый холецистит. У 5 пациентов выявлен холедохолитиаз: 1 больному была выполнена МРХПГ, 4 пациентам —однократная ЭРХПГ перед операцией. Среднее время между инъекцией ICG и первым осмотром с помощью NIR-камеры составило 30 мин (20–72 мин).

Результаты, полученные при осмотрах желчных протоков в белом свете и с применением описанной системы диагностики, представлены в табл. 1.

ПП наблюдали у 1 из 16 пациентов при обычном осмотре и у 4 больных из 16 с помощью NIR-камеры. У 1 пациента ПП можно было рассмотреть как в белом свете, так и с помощью NIR-камеры. ОЖП был виден у 2 из 16 пациентов при использовании NIR-камеры. У остальных 10 пациентов при первом NIR-осмотре не удалось обнаружить желчные протоки. При втором NIR-осмотре ПП был обнаружен с применением белого света и NIR-камеры у 1 пациента и только с обычным белым светом — у 2 пациентов, без необходимости применения NIR-режима. У 2 пациентов ПП и ОЖП можно было обнаружить только с помощью NIR-камеры. У 2 пациентов анатомия была неясной без NIR-камеры, что помогло хирургу предотвратить конверсию.

КВБ был достигнут через 48 мин (12–115 мин) после инъекции ICG. ПП идентифицировали у всех 16 пациентов с использованием обычного белого света, тогда как ОЖП был идентифицирован только у 3 из 16 пациентов. С применением NIR-камеры ПП был идентифицирован у 11 из 16 пациентов, а ОЖП можно было идентифицировать у 7 из 16 пациентов.

При сравнении пациентов, у которых ПП был идентифицирован при помощи ICG-NIR, с пациентами, у которых флюоресцентная диагностика не применялась, не было выявлено различий по возрасту, ИМТ или продолжительности симптомов до операции (табл. 2). Среднее общее время операции составило 75 мин (42–122 мин), при использовании диагностической системы — 90 мин (50–120 мин), достоверных различий не выявлено.

Время между инъекцией ICG и первым NIR-осмотром и время между инъекцией и КВБ

Таблица 2. Сравнение результатов применения NIR-камеры и осмотра в обычном свете**Table 2.** Comparison of conventional and indocyanine green near-infrared imaging results

Параметр	ICG-NIR	Исследование в белом свете	<i>p</i>
Число больных, абс.	11	5	
Возраст	65 (28–80)	65 (26–73)	0,964
ИМТ, кг/м ²	25,45 (16,8–38,0)	25,6 (19,4–33,0)	0,750
Средняя продолжительность первого осмотра, мин	30 (20–72)	42 (23–57)	0,750
Среднее время КВБ, мин	49 (25–117)	60 (10–101)	0,892
Средняя продолжительность операции, мин	75 (42–122)	90 (50–120)	0,892

также были сопоставимы между группами. Это свидетельствует о том, что достоверных различий в сложности хирургического вмешательства не было. Повреждений желчных протоков в исследуемой группе не произошло, других осложнений также не отмечено. Анатомических изменений внепеченочных желчных протоков в исследуемой группе пациентов не установлено.

● Обсуждение

Исследование было проведено для оценки эффективности ICG-NIR для ранней идентификации ПП и дополнительного обнаружения ОЖП по сравнению со стандартной ЛХЭ у пациентов с осложненной ЖКБ. Флюоресцентная идентификация ПП была возможна в большинстве наблюдений при достижении КВБ и улучшила идентификацию ОЖП по сравнению с обычной процедурой поиска протоков. Однако следует подчеркнуть, что число пациентов, включенных в исследование, было невелико, и раннее обнаружение ПП с помощью ICG-NIR было возможно только у нескольких пациентов. Во-вторых, общие показатели идентификации ПП и ОЖП с флюоресценцией были значительно меньше, чем показатели, описанные для неосложненного холецистолитиаза [11–22].

Ухудшение отображения желчных протоков с ICG-NIR в представленной группе пациентов, возможно, было вызвано выраженным отеком или плотными спайками в результате острого или ранее перенесенного воспаления либо перенесенной ЭРХПГ [22–25].

Важно иметь в виду, что глубина проникновения индоцианина зеленого ограничена ($\pm 1,0$ см) и, вероятно, недостаточна для отображения желчных протоков, если они покрыты утолщенными, инфильтрированными тканями. Этого также следует ожидать у пациентов с ожирением (ИМТ >30 кг/м²), при котором желчные протоки покрыты висцеральной жировой клетчаткой [26–28]. Не обнаружили существенного влияния ИМТ пациентов на успешность обнаружения билиарных структур. Можно предположить, что другие факторы, связанные с пациентом и хи-

рургическим вмешательством, включая воспаленные ткани, могут влиять на результаты флюоресцентной диагностики желчных протоков в сложных ситуациях.

Важными вопросами, касающимися метода ICG-NIR, являются большие различия во временных интервалах для осмотра желчных протоков после инъекции ICG и значимые различия в дозах препарата. В литературе сообщается, что сроки введения ICG при неосложненной ЖКБ варьируют от 30 до 60 мин до начала операции и до окончания эндотрахеальной интубации. Улучшается ли отображение при большом интервале (до 24 ч) – пока неизвестно [27–29]. В настоящем исследовании применяли дозу ICG 0,2 мг/кг; в литературе доза ICG варьирует от болюсной 2,5 мг до 0,5 мг/кг. ICG вводили после индукции общей анестезии. Принимая во внимание низкие показатели отображения желчных протоков в обсуждаемом исследовании, особенно по сравнению с неосложненными клиническими наблюдениями, предполагаем, что доза и временные рамки являются решающими для эффективности флюоресцентной диагностики.

При нормальной функции печени 95% ICG захватывается гепатоцитами в течение 15 мин после инъекции и поступает в желчь. У пациентов со сниженной функцией печени выведение ICG из крови в желчь задерживается. Это свидетельствует о том, что более раннее введение ICG способно улучшить показатели обнаружения ПП и ОЖП в сложных клинических ситуациях. Показано, что в неосложненных наблюдениях оптимальное отображение желчных протоков достигается инъекцией 10 мг ICG за 24 ч до операции, и обусловлено это большей контрастностью ОЖП по сравнению с фоном печени [29]. Авторы утверждают, что введение ICG должно быть выполнено как можно раньше у всех пациентов, чтобы обеспечить оптимальный клиренс контрастного препарата из печени перед проведением ЛХЭ с NIR-флюоресцентной диагностикой. Тем не менее это будет трудно выполнимо при плановой ЛХЭ и у пациентов, страдающих

острым холециститом и требующих раннего хирургического вмешательства.

В четырех исследованиях описаны небольшие группы пациентов, в которых ICG-NIR-диагностику применяли при ЛХЭ ввиду осложненного холецистита [16–17]. Наиболее сложными пациентами, включенными в эти исследования, были больные острым холециститом. Показатели обнаружения ПП и ОЖП, описанные в этих исследованиях, были значительно лучше, чем в представленном исследовании (91,6 и 100%, а также 72 и 79,1% по сравнению с 72 и 38% соответственно). За исключением выбора пациента, в этих работах не показано больших различий во времени и дозе препарата по сравнению с обсуждаемым исследованием, что позволяет предположить, что характер заболевания влияет на эффективность ICG. В настоящее время непонятно, может ли это явление быть связано с задержкой клиренса ICG из крови в желчь, что описано выше. Поэтому в будущих исследованиях следует попытаться установить оптимальные дозы и сроки введения ICG и поиска желчных протоков в зависимости от различных заболеваний, а также определить целесообразность рутинного применения в повседневной хирургической практике.

● Заключение

Метод ICG-NIR достаточно прост, не увеличивает время операции и в ряде ситуаций полезен для хирургов. Поэтому можно предположить, что диагностика при помощи индоцианина зеленого при ЛХЭ может стать важным дополнительным исследованием в заведомо трудных ситуациях. Ранняя идентификация пузырного протока и дополнительное обнаружение ОЖП позволят увеличить безопасность ЛХЭ и могут быть альтернативой интраоперационной холангиографии у пациентов с повышенным риском повреждения желчных протоков. Однако необходимы дальнейшие исследования для оптимизации методов, определения дозы, времени и критериев отбора пациентов, для установления необходимости применения ICG-NIR рутинно у пациентов с повышенным риском повреждения желчных протоков при ЛХЭ.

Участие авторов

Панченков Д.Н. — концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Иванов Ю.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Тупикин К.А. — статистическая обработка материала, написание текста.

Астахов Д.А. — сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, редактирование статьи.

Лискевич Р.В. — сбор и обработка материала, написание текста.

Authors participation

Panchenkov D.N. — concept and design of the study, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Ivanov Yu.V. — concept and design of the study, editing, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Tupikin K.A. — statistical analysis, writing text.

Astakhov D.A. — collection and analysis of data, statistical analysis, editing.

Liskevich R.V. — collection and analysis of data, writing text.

● Список литературы [References]

- Ankersmit M., van Dam D.A., van Rijswijk A.-S., van den Heuvel B., Tuynman J.B., Meijerink W.J.H.J. Fluorescent imaging with indocyanine green during laparoscopic cholecystectomy in patients at increased risk of bile duct injury. *Surg. Innov.* 2017; 24 (3): 245–252. <https://doi.org/10.1177/1553350617690309>
- Cohen J.T., Charpentier K.P., Beard R.E. An update on iatrogenic biliary injuries: identification, classification, and management. *Surg. Clin. North Am.* 2019; 99 (2): 283–299. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2018.11.006>
- Machi J., Johnson J.O., Deziel D.J., Soper N.J., Berber E., Siperstein A., Hata M., Patel A., Singh K., Arregui M.E. The routine use of laparoscopic ultrasound decreases bile duct injury: a multicenter study. *Surg. Endosc.* 2009; 23 (2): 384–388. <https://doi.org/10.1007/s00464-008-9985-x>
- Avgerinos C., Kelgiorgi D., Touloumis Z., Baltatzis L., Dervenis C. One thousand laparoscopic cholecystectomies in a single surgical unit using the “critical view of safety” technique. *J. Gastrointest. Surg.* 2009; 13 (3): 498–503. <https://doi.org/10.1007/s11605-008-0748-8>
- Ambe P.C., Plambeck J., Fernandez-Jesberg V., Zarras K. The role of indocyanine green fluoroscopy for intraoperative bile duct visualization during laparoscopic cholecystectomy: an observational cohort study in 70 patients. *Patient Saf. Surg.* 2019; 13: 2. <https://doi.org/10.1186/s13037-019-0182-8>
- Khan O.A., Balaji S., Branagan G., Bennett D.H., Davies N. Randomized clinical trial of routine on-table cholangiography during laparoscopic cholecystectomy. *Br. J. Surg.* 2011; 98 (3): 362–367. <https://doi.org/10.1002/bjs.7356>
- Tantia O., Jain M., Khanna S., Sen B. Iatrogenic biliary injury: 13,305 cholecystectomies experienced by a single surgical team over more than 13 years. *Surg. Endosc.* 2008; 22 (4): 1077–1086. <https://doi.org/10.1007/s00464-007-9740-8>
- Coffin S.J., Wrenn S.M., Callas P.W., Abu-Jaish W. Three decades later: investigating the rate of and risks for conversion from laparoscopic to open cholecystectomy. *Surg. Endosc.* 2018; 32 (2): 923–929. <https://doi.org/10.1007/s00464-017-5767-7>
- Machado N.O. Biliary complications postlaparoscopic cholecystectomy: mechanism, preventive measures, and approach to management: a review. *Diagn. Ther. Endosc.* 2011; 2011: 967017. <https://doi.org/10.1155/2011/967017>
- Trastulli S., Cirocchi R., Desiderio J., Guarino S., Santoro A., Parisi A., Noya G., Boselli C. Systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials comparing single-incision

- versus conventional laparoscopic cholecystectomy. *Br. J. Surg.* 2013; 100 (2): 191–208. <https://doi.org/10.1002/bjs.8937>
11. Machado N.O. Laparoscopic cholecystectomy in cirrhotics. *JSLS*. 2012; 16 (3): 392–400. [10.4293/108680812X13462882736493](https://doi.org/10.4293/108680812X13462882736493)
 12. Buddingh K.T., Nieuwenhuijs V.B. The critical view of safety and routine intraoperative cholangiography complement each other as safety measures during cholecystectomy. *J. Gastrointest. Surg.* 2011; 15 (6): 1069–1070; author reply 1071. <https://doi.org/10.1007/s11605-011-1413-1>
 13. Massarweh N.N., Devlin A., Elrod J.A., Symons R.G., Flum D.R. Surgeon knowledge, behavior, and opinions regarding intraoperative cholangiography. *J. Am. Coll. Surg.* 2008; 207 (6): 821–830. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2008.08.011>
 14. Tabone L.E., Sarker S., Fischella P.M., Conlon M., Fernando E., Yi S., Luchette F.A. To ‘gram or not’? Indications for intraoperative cholangiogram. *Surgery*. 2011; 150 (4): 810–819. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2011.07.062>
 15. Schols R.M., Bouvy N.D., Masclee A.A., van Dam R.M., Dejong C.H., Stassen L.P. Fluorescence cholangiography during laparoscopic cholecystectomy: a feasibility study on early biliary tract delineation. *Surg. Endosc.* 2013; 27 (5): 1530–1536. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2635-3>
 16. Spinoglio G., Priora F., Bianchi P.P., Lucido F.S., Licciardello A., Maglione V., Grosso F., Quarati R., Ravazzoni F., Lenti L.M. Real-time near-infrared (NIR) fluorescent cholangiography in single-site robotic cholecystectomy (SSRC): a single-institutional prospective study. *Surg. Endosc.* 2013; 27 (6): 2156–2162. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2733-2>
 17. Daskalaki D., Fernandes E., Wang X., Bianco F.M., Elli E.F., Ayloo S., Masrur M., Milone L., Giulianotti P.C. Indocyanine green (ICG) fluorescent cholangiography during robotic cholecystectomy: results of 184 consecutive cases in a single institution. *Surg. Innov.* 2014; 21 (6): 615–621. <https://doi.org/10.1177/1553350614524839>
 18. Osayi S.N., Wendling M.R., Drosdeck J.M., Chaudhry U., Perry K.A., Noria S.F., Mikami D.J., Needleman B.J., Muscarella P. 2nd, Abdel-Rasoul M., Renton D.B., Melvin W.S., Hazey J.W., Narula V.K. Near-infrared fluorescent cholangiography facilitates identification of biliary anatomy during laparoscopic cholecystectomy. *Surg. Endosc.* 2015; 29 (2): 368–375. <https://doi.org/10.1007/s00464-014-3677-5>
 19. van Dam D.A., Ankersmit M., van de Ven P., van Rijswijk A.S., Tuijnman J.B., Meijerink W.J. Comparing near-infrared imaging with indocyanine green to conventional imaging during laparoscopic cholecystectomy: a prospective crossover study. *J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech. A*. 2015; 25 (6): 486–492. <https://doi.org/10.1089/lap.2014.0248>
 20. Kaneko J., Ishizawa T., Masuda K., Kawaguchi Y., Aoki T., Sakamoto Y., Hasegawa K., Sugawara Y., Kokudo N. Indocyanine green reinjection technique for use in fluorescent angiography concomitant with cholangiography during laparoscopic cholecystectomy. *Surg. Laparosc. Endosc. Percutan. Tech.* 2012; 22 (4): 341–344. <https://doi.org/10.1097/SLE.0b013e3182570240>
 21. Buchs N.C., Hagen M.E., Pugin F., Volonte F., Bucher P., Schiffer E., Morel P. Intra-operative fluorescent cholangiography using indocyanine green during robotic single site cholecystectomy. *Int. J. Med. Robot.* 2012; 8 (4): 436–440. <https://doi.org/10.1002/rcs.1437>
 22. Boni L., David G., Mangano A., Dionigi G., Rausei S., Spampatti S., Cassinotti E., Fingerhut A. Clinical applications of indocyanine green (ICG) enhanced fluorescence in laparoscopic surgery. *Surg. Endosc.* 2015; 29 (7): 2046–2055. <https://doi.org/10.1007/s00464-014-3895-x>
 23. Dip F., Roy M., Lo Menzo E., Simpfendorfer C., Szomstein S., Rosenthal R.J. Routine use of fluorescent incisionless cholangiography as a new imaging modality during laparoscopic cholecystectomy. *Surg. Endosc.* 2015; 29 (6): 1621–1626. <https://doi.org/10.1007/s00464-014-3853-7>
 24. Tagaya N., Shimoda M., Kato M., Nakagawa A., Abe A., Iwasaki Y., Oishi H., Shirotani N., Kubota K. Intraoperative exploration of biliary anatomy using fluorescence imaging of indocyanine green in experimental and clinical cholecystectomies. *J. Hepatobiliary Pancreat. Sci.* 2010; 17 (5): 595–600. <https://doi.org/10.1007/s00534-009-0195-2>
 25. Prevot F., Rebibo L., Cosse C., Browet F., Sabbagh C., Regimbeau J.M. Effectiveness of intraoperative cholangiography using indocyanine green (versus contrast fluid) for the correct assessment of extrahepatic bile ducts during day-case laparoscopic cholecystectomy. *J. Gastrointest. Surg.* 2014; 18 (8): 1462–1468. <https://doi.org/10.1007/s11605-014-2560-y>
 26. Schols R.M., Bouvy N.D., van Dam R.M., Masclee A.A., Dejong C.H., Stassen L.P. Combined vascular and biliary fluorescence imaging in laparoscopic cholecystectomy. *Surg. Endosc.* 2013; 27 (12): 4511–4517. <https://doi.org/10.1007/s00464-013-3100-7>
 27. van der Pas M.H., Ankersmit M., Stockmann H.B., Silvis R., van Grieken N.C., Bril H., Meijerink W.J. Laparoscopic sentinel lymph node identification in patients with colon carcinoma using a near-infrared dye: description of a new technique and feasibility study. *J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech. A*. 2013; 23 (4): 367–371. <https://doi.org/10.1089/lap.2012.0407>
 28. Dip F., Nguyen D., Montorfano L., Sretter Noste M.E., Lo Menzo E., Simpfendorfer C., Szomstein S., Rosenthal R. Accuracy of near infrared-guided surgery in morbidly obese subjects undergoing laparoscopic cholecystectomy. *Obes. Surg.* 2016; 26 (3): 525–530. <https://doi.org/10.1007/s11695-015-1781-9>
 29. Verbeek F.P., Schaafsma B.E., Tummers Q.R., van der Vorst J.R., van der Made W.J., Baeten C.I., Bonsing B.A., Frangioni J.V., van de Velde C.J., Vahrmeijer A.L., Swijnenburg R.J. Optimization of near-infrared fluorescence cholangiography for open and laparoscopic surgery. *Surg. Endosc.* 2014; 28 (4): 1076–1082.

Сведения об авторах [Authors info]

Панченков Дмитрий Николаевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий лабораторией минимально инвазивной хирургии ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России, советник директора – главный научный сотрудник ФГБУ ГНЦ лазерной медицины им. О.К. Скобелкина ФМБА России. <https://orcid.org/0000-0001-8539-4392>. E-mail: dnpanchenkov@mail.ru

Иванов Юрий Викторович – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением хирургии ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, главный научный сотрудник лаборатории минимально инвазивной хирургии ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0001-6209-4194>. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

Тупикин Кирилл Алексеевич – канд. мед. наук, старший научный сотрудник лаборатории минимально инвазивной хирургии ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0001-5467-0737>. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

Астахов Дмитрий Анатольевич – канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории минимально инвазивной хирургии ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России, врач-онколог ФГБУ ФНКЦ ФМБА России. <https://orcid.org/0000-0002-8776-944X>. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

Лискевич Роман Витальевич – младший научный сотрудник лаборатории минимально инвазивной хирургии ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России, врач-хирург ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, врач-хирург ФГБУ ГНЦ лазерной медицины им. О.К. Скобелкина ФМБА России. <https://orcid.org/0000-0002-5455-2439>. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

Для корреспонденции *: Тупикин Кирилл Алексеевич – 140070, Московская обл., Томилино, ул. Гоголя, д. 54, корп. 1, кв. 67, Российская Федерация. Тел.: 8-909-382-42-34. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

Dmitry N. Panchenkov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Laboratory of Minimally Invasive Surgery of Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Advisor to the Director – Chief Researcher of the Skobelkin State Scientific Center of Laser Medicine of FMBA of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8539-4392>. E-mail: dnpanchenkov@mail.ru

Yury V. Ivanov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Surgery of Federal Research Clinical Center for Specialized Types of Health Care and Medical Technologies of FMBA, Chief Researcher of the Laboratory of Minimally Invasive Surgery of Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6209-4194>. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

Kirill A. Tupikin – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher of the Laboratory of Minimally Invasive Surgery of Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5467-0737>. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

Dmitry A. Astakhov – Cand. of Sci. (Med.), Leading Researcher of the Laboratory of Minimally Invasive Surgery of Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Oncologist in Federal Scientific and Clinical Center of Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies of FMBA of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8776-944X>. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

Roman V. Liskevich – Junior Researcher of the Laboratory of Minimally Invasive Surgery of Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Surgeon in Federal Scientific and Clinical Center of Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies of FMBA, Surgeon in Skobelkin State Scientific Center of Laser Medicine of FMBA of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5455-2439>. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

For correspondence *: Тупикин Кирилл Алексеевич – 140070, Московская обл., Томилино, ул. Гоголя, д. 54, корп. 1, кв. 67, Российская Федерация. Тел.: 8-909-382-42-34. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

Статья поступила в редакцию журнала 29.09.2019.
Received 29 September 2019.

Принята к публикации 26.11.2019.
Accepted for publication 26 November 2019.