

УДК 616.24-006-089

ТОРАКОСКОПИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТЭКТОМИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ICG-ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ У ПАЦИЕНТА С ПЕРИФЕРИЧЕСКИМ РАКОМ ЛЕГКОГО: ОПИСАНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ

^{1,2} В. Г. Пищик, ² А. И. Коваленко, ¹ Е. И. Зинченко, ¹ А. Д. Оборнев,
³ О. С. Маслак, ¹ Н. Р. Ширинбеков, ¹ Д. А. Вялов

¹ФГБУЗ «Клиническая больница № 122 имени Л. Г. Соколова Федерального медико-биологического агентства»

²ФГБОУВО «Санкт-Петербургский государственный университет»

³ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» МЗ РФ

^{1,2} V. G. Pischik, ² A. I. Kovalenko, ¹ E. I. Zinchenko, ¹ A. D. Osbornev, ³ O. S. Maslak, ¹ N. R. Shirinbekov, ¹ D. A. Vyalov

ICG FLUORESCENCE-NAVIGATED THORACOSCOPIC SEGMENTECTOMY IN LUNG CANCER PATIENT: CLINICAL REPORT

¹Sokolov' Hospital N 122 of the Federal Medical and Biological Agency

²Saint Petersburg State University

³Saint Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology

РЕФЕРАТ. Введение: Торакоскопические сегментэктомии в последние годы становятся альтернативным методом хирургического лечения рака легкого. Показания и техника выполнения таких операций активно изучаются торакальными хирургами во всем мире. Мы представляем клинический случай хирургического лечения периферического рака легкого в объеме торакоскопической сегментэктомии с использованием ICG-флюоресценции в спектре света, близкого к инфракрасному (NIR).

Описание клинического случая: Пациент – мужчина 64 лет, курильщик, с затенением по типу матового стекла в проекции второго сегмента правого легкого, максимальным диаметром 13 мм. Предоперационное планирование включало 3D-реконструкцию корня правого легкого для определения питающей сегмент артерии. Торакоскопическая операция выполнена из двух портов размерами 1 см и 2 см. Сразу после пересечения артерий пациенту внутривенно введен ICG в дозе 0,15 мг/кг массы тела. Незамедлительно возникающая флюоресценция сохранялась 110 секунд, в течение которых монополярным коагулятором маркированы межсегментарные границы. Системных осложнений, связанных с введением препарата, не выявлено.

Заключение: ICG-флюоресценция упрощает выполнение торакоскопических сегментэктомий. Отбор больных раком легкого на сегментэктомию предполагает: размер опухоли менее 2 см, неинвазивный тип аденокарциномы, медиастинальную и внутридолевую лимфодиссекцию, край резекции не менее 1 см от опухоли.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: торакоскопическая сегментэктомия, рак легкого, индоцианин зеленый, флюоресценция.

Введение

Рак легкого в течение нескольких десятилетий является ведущей причиной онкологической заболеваемости и смертности [14]. Несмотря на прогресс других методов, хирургическое вмешательство остается краеугольным камнем лечения рака лег-

SUMMARY. Background: Clinical evidence is emerging to show that thoracoscopic segmentectomy could be an oncologically valid procedure in selected lung cancer patients. Prognostic factors that potentially associated with better survival after segmentectomy are continuously updated. At the same time modern technologies allow to facilitate the operation. In this report we represent a new technique of identifying the lung intersegmental planes with near-infrared (NIR) fluorescence imaging after intravenous injection of indocyanine green (ICG). Clinical report: 64-year-old man with peripheral GGO lesion, 13 mm in diameter, was stand for thoracoscopic segmentectomy with NIR-ICG imaging system. We use 3D reconstructed computed tomography images to identify the dominant pulmonary artery supplying the target segment. ICG was intravenously injected in dose of 0,15 mg/kg body weight after the artery ligation. Fluorescence immediately appears and has been persisting for 110 sec, that was enough to mark intersegmental plane by electrocautery. No complications of ICG administration were observed.

Conclusion: ICG-fluorescence facilitates intersegmental planes identifying during VATS segmentectomy. Segmentectomy has emerged as a credible alternative to lobectomy in selected lung cancer patients. Certain factors are potentially associated with better survival: tumor size less than 20 mm, ensuring margin adequacy and inclusion of lobe-specific nodal dissection.

KEY WORDS: indocyanine green (ICG), fluorescence; near-infrared (NIR), lung cancer, thoracoscopic segmentectomy.

кого. Уменьшение травматичности операционного доступа наряду с сокращением объема удаляемой паренхимы соответствует современным тенденциям лечения онкологических больных. В международной литературе все чаще появляются публикации торакоскопических сегментэктомий при раке

легкого [11, 26], отдаленные результаты которых не уступают лобэктомиям. Вместе с тем безопасность и эффективность таких операций во многом зависят от анатомичности их выполнения [23]. Показано, что использование индоцианина зеленого (ICG) позволяет определить перфузионные границы удаляемого сегмента без вентиляционных проб, затрудняющих эндоскопическую визуализацию [21]. Однако данная методика пока не получила широкого распространения, а международный опыт ограничен несколькими публикациями коллег из Японии [1, 9, 10, 18, 21]. Мы представляем клинический случай хирургического лечения периферического рака легкого в объеме торакоскопической сегментэктомии с использованием ICG-флюоресценции в спектре света, близкого к инфракрасному (NIR).

Описание клинического случая

У пациента Д., 64 года, при обследовании после хирургического лечения папиллярной аденокарциномы щитовидной железы pT2N0M0 на впервые выполненной компьютерной томограмме (КТ) грудной клетки в проекции второго сегмента правого легкого выявлено неправильной формы затенение по типу матового стекла с солидными включениями размерами 10 x 11 x 13 мм (рис. 1). Пациент направлен в противотуберкулезный диспансер по месту жительства, где комплексно обследован. Данных, подтверждающих туберкулез легкого, не получено. Согласно результатам ПЭТ-КТ всего тела, выполненного через месяц, единственный фокус патологического накопления радиофармпрепарата (SUV – 4, 2) определяется в проекции патологического образования второго сегмента правого легкого.

При поступлении в Клиническую больницу № 122 больной предъявляет жалобы на редкий приступообразный кашель со скудной слизистой мокротой, чувство усталости и сжимающие боли в икроножных мышцах, возникающие при ходьбе на дистанции более 200 м. На момент поступления не курит в течение 6 лет, стаж курения пациента составляет более 40 пачка/лет. Последние годы находится под наблюдением сосудистого хирурга в связи с облитерирующим атеросклерозом сосудов нижних конечностей II А стадии по Фонтейну – Покровскому. В то же время, согласно данным функции внешнего дыхания, жизненная емкость легких и проходимость дыхательных путей в пределах нормы. Других значимых нарушений функции органов и систем в соответствии с результатами инструментальных и лабораторных исследований не обнаружено. Абсолютных противопоказаний к оперативному вмешательству не выявлено. Аллергических реакций на лекарственные и рентген-контрастные препараты нет. Учитывая размеры и расположение образования, его плотность и метаболическую активность, пациенту предложено оперативное вмешательство в объеме торакоскопической анатомической сегментэктомии S2 правого легкого с долеспецифической лимфодиссекцией.

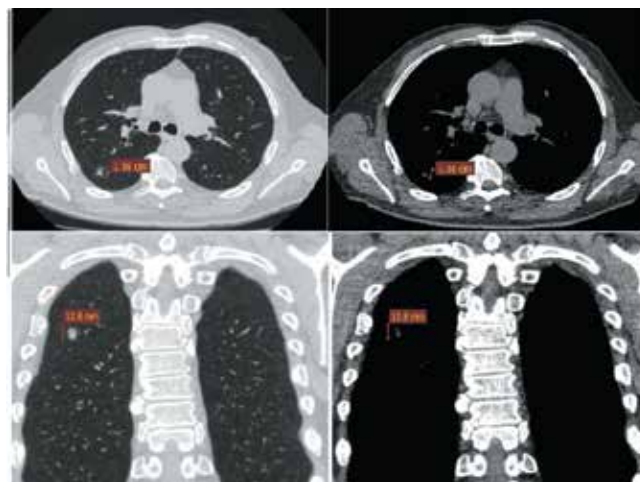


Рис. 1. Компьютерная томограмма органов грудной клетки в легочном и средостенном режимах (указаны максимальные размеры образования)

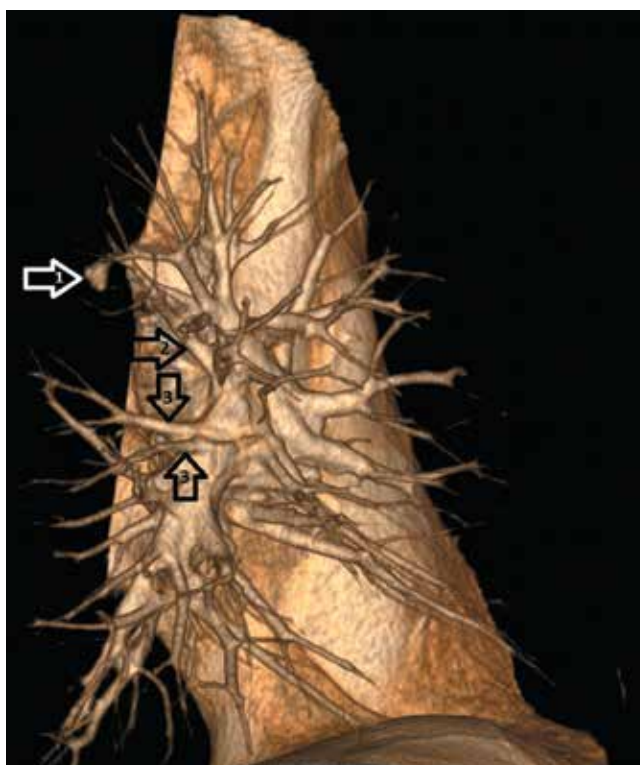


Рис. 2. 3D-реконструкция сегментарной анатомии сосудов правого легкого (стрелка 1 – образование второго сегмента правого легкого, стрелка 2 – артерия второго сегмента, стрелка 3 – две артерии шестого сегмента)

Для определения артериальных структур, кровоснабжающих второй сегмент, выполнена 3D-реконструкция сосудов правого легкого с использованием программы RadiAnt Dicom Viewer, версия 3.4.2 (рис. 2). Выявлена артерия второго сегмента, отходящая в типичном месте единым стволом на границе с двумя артериями шестого сегмента. Нисходящей артерии второго сегмента достоверно не определяется. Других дополнительных артерий, отходящих к образованию от смежных сегментов, также не обнаружено.

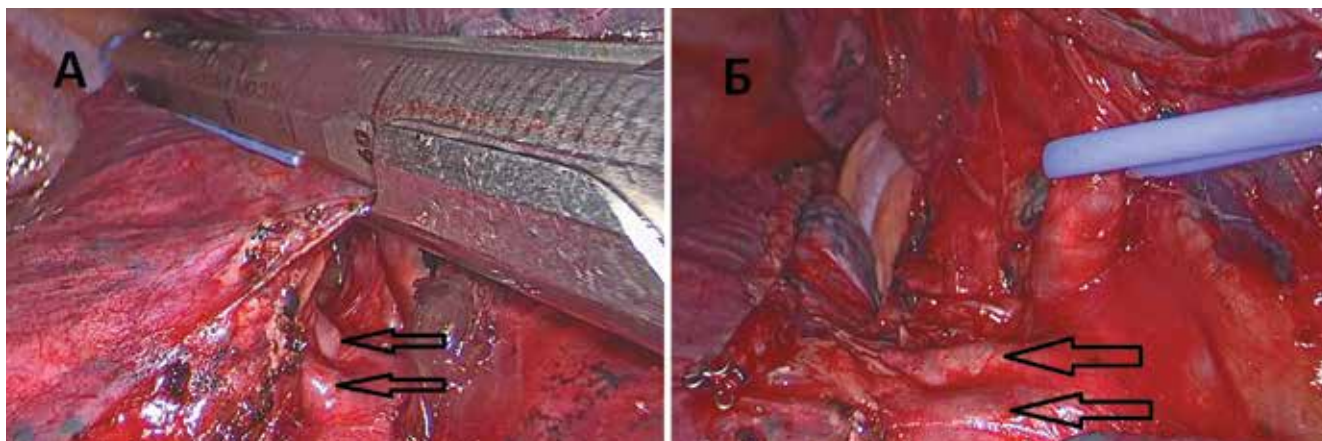


Рис. 3. Разделение задней половины кривой междолевой щели
 А) введение сшивающего аппарата в сформированный тоннель над легочной артерией
 Б) горизонтальная щель после разделения (артерия второго сегмента взята на держалку, стрелками указаны две артерии шестого сегмента)

Оперативное вмешательство осуществлялось из стандартного двухпортового доступа под эндотрахеальным наркозом с раздельной интубацией и односторонней вентиляцией в положении больного на левом боку. Мини-доступ длиной 3 см выполнен в V межреберье с серединой по передней подмышечной линии. Под контролем эндоскопа установлен торакопорт в VIII межреберье по средней подмышечной линии. При ревизии жидкости и спаек в плевральной полости нет. Кривая междолевая щель выражена хорошо. Лимфатические узлы корня правого легкого не увеличены. При инструментальной пальпации на реберной поверхности второго сегмента ближе к междолевой щели определяется плотное округлое образование диаметром около 1 см с бугристыми краями без втяжения плевры. При помощи ультразвукового скальпеля начат этап разделения кривой междолевой щели с ее середины. В сформированный тоннель между двумя артериями шестого сегмента и артерией второго сегмента введен сшивающе-режущий эндостеплер, парен-

хима разделена (рис. 3). Выделена артерия второго сегмента, взята на держалку, клипирована, пересечена (рис. 4). Продолжено выделение бронхиальных структур. Выполнена лимфодиссекция внутридолевой трифуркации: визуализированы бронхи верхушечного, заднего и переднего сегментов (рис. 5). Бронх второго сегмента взят на держалку, обработан при помощи сшивающего аппарата. Оптические фильтры и источник света эндоскопической системы NIR-ICG Karl Storz (Karl Storz, Tuttlingen, Germany) переведены в режим спектра, близкого к инфракрасному. После чего для определения границ резекции заднего сегмента по артериальному кровоснабжению пациенту введено в центральную вену 5 мл 2,5% водного раствора индоцианина зеленого. Сразу после введения вся ткань легкого за исключением второго сегмента приобрела ярко-синюю флуоресценцию. Линия планируемой резекции намечена монополярным коагулятором по краю светящейся паренхимы костальной поверхности и со стороны междоле-

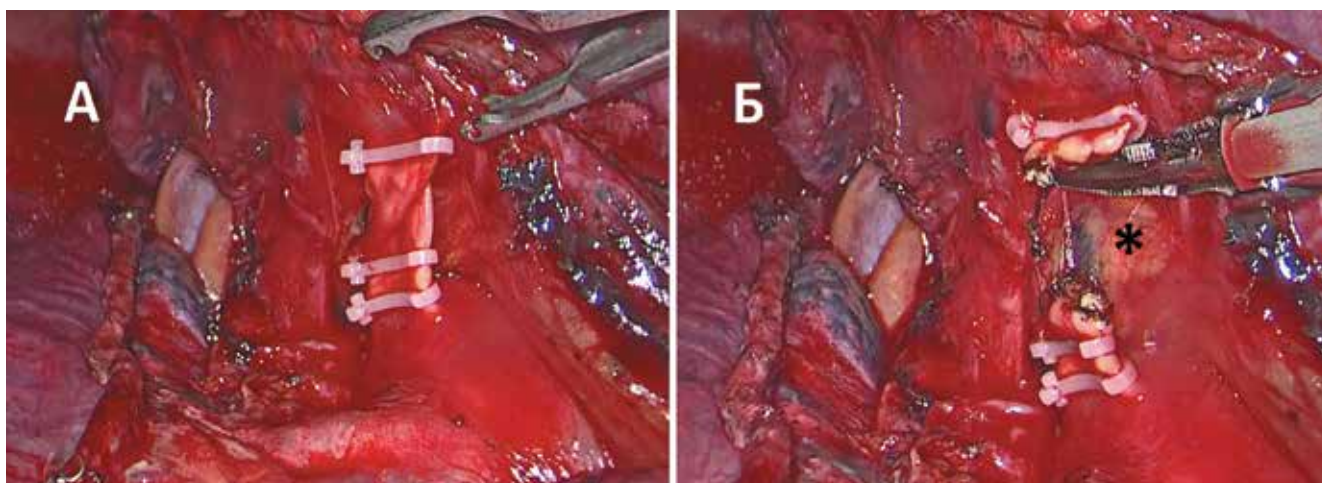


Рис. 4. Клипирование (А) и пересечение (Б) артерии второго сегмента (звездочкой указаны лимфатические узлы вокруг верхнедолевого бронха)

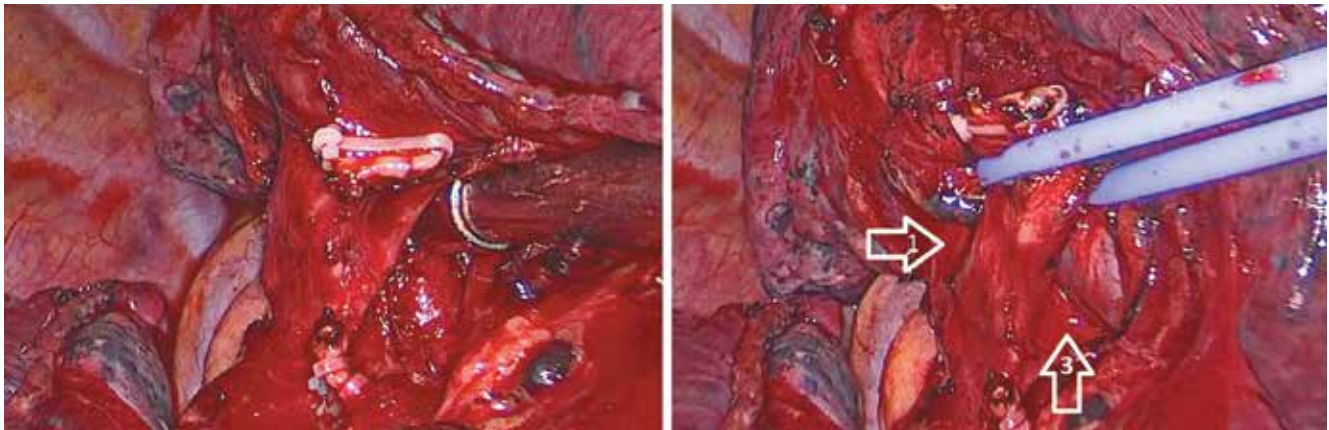


Рис. 5. Лимфодиссекция внутридолевой трифуркации верхнедолевого бронха (лимфатические узлы полностью удалены, отделены в препарат, бронх заднего сегмента взят на держалку, стрелка 1 – бронх верхушечного сегмента, стрелка 3 – бронх переднего сегмента)

вой щели (рис. 6). Максимальная интенсивность флюоресценции наблюдалась в течение первых 30 секунд. Затем вместе с мозаичным распространением на удаляемую часть легкого постепенно снизилась к 4-й минуте. Продолжено выделение ветвей верхней легочной вены. Выполнено клипирование и пересечение основной вены второго сегмента с сохранением межсегментарных ветвей (рис. 7). По намеченным границам с использованием четырех ходов сшивающе-режущего эндостеплера осуществлена резекция заднего сегмента.

Периферические культы артерии, вены и бронха оставлены в препарате (рис. 8). Препарат извлечен из плевральной полости в герметичном эвакуаторе-контейнере через отверстие мини-доступа. Опухоль на разрезе с нечеткими краями, грязно-серого цвета с темными включениями. В известных границах выполнена диссекция паратрахеальных и бифуркационных лимфоузлов (рис. 9). Операция завершена установкой одного плеврального дренажа через задний порт до купола плевральной полости. Время оперативного вмешательства со-

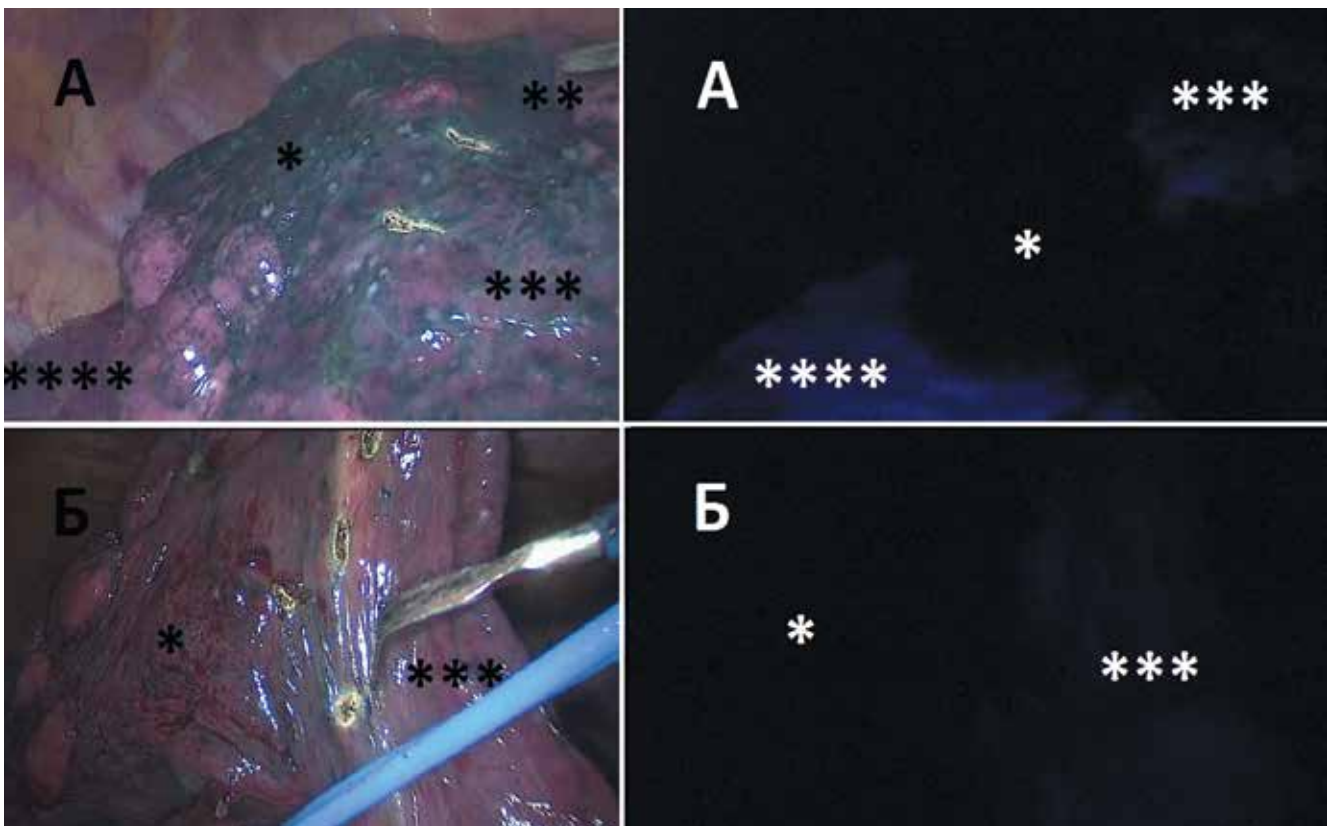


Рис. 6. Маркировка коагулятором планируемой резекции второго сегмента по костальной поверхности (А) и со стороны междолевой щели (Б) Слева представлены снимки в стандартном режиме, справа в режиме NIR (* - второй сегмент, ** - верхушечный сегмент, *** - передний сегмент, **** - шестой сегмент)

ставило 150 минут, операционная кровопотеря – 30 мл. Макропрепарат второго сегмента правого легкого с периферической опухолью представлен на рисунке 10.

Послеоперационный период протекал без осложнений. Дренаж удален на 2-е сутки. Пациент выписан на 3-е сутки после операции. При плановом гистологическом ответе новообразование определено как неинвазивная аденокарцинома. Злокачественных изменений в других отделах удаленного препарата, по краю резекции и в 16 лимфатических узлах не обнаружено.

Обсуждение

В середине прошлого столетия хирурги полагали, что пневмонэктомия – единственная операция, дающая шанс излечения пациентам, страдающим раком легкого [19]. Прошло несколько десятилетий, прежде чем лобэктомию признали стандартом хирургического лечения таких пациентов. Тенденция сокращения объема удаляемой паренхимы легкого известна и современному исследователю. Некогда дискредитированные анатомические резекции объемом менее доли [13] все чаще становятся причиной научных споров последнего десятилетия. В результате на сегодняшний день сформированы строгие показания и требования к выполнению сегментэктомий, среди которых: размер опухоли, прогнозируемая ее морфология, необходимый объем лимфодиссекции и надежный край резекции.

В 2005 году Fernando и соавт. сравнили выживаемость после лобэктомий и сегментэктомий у пациентов, страдающих раком легкого [15]. Оказалось, что для опухолей диаметром менее 2 см результаты хирургического лечения в исследуемых группах не отличались. Подобные выводы получены и в ряде новых работ. В одном из последних ретроспективных исследований 785 пациентов показаны

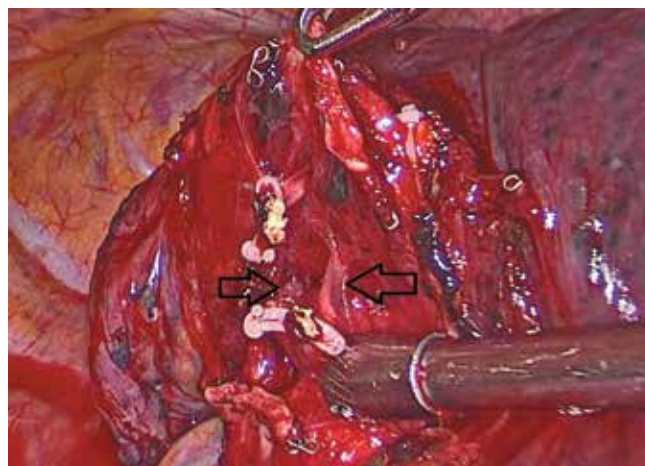


Рис. 7. Клипирование и пересечение вены второго сегмента с сохранением межсегментарных ветвей (указаны стрелками)

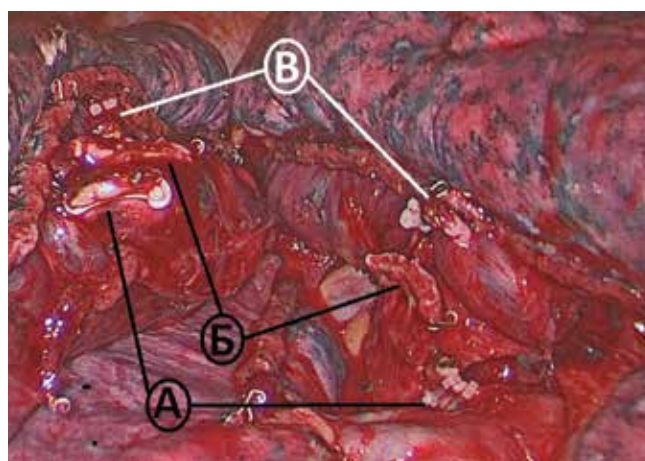


Рис. 8. Интраоперационный вид после резекции заднего сегмента (А – культи артерии второго сегмента, В – культи вены второго сегмента, Б – культи бронха второго сегмента)

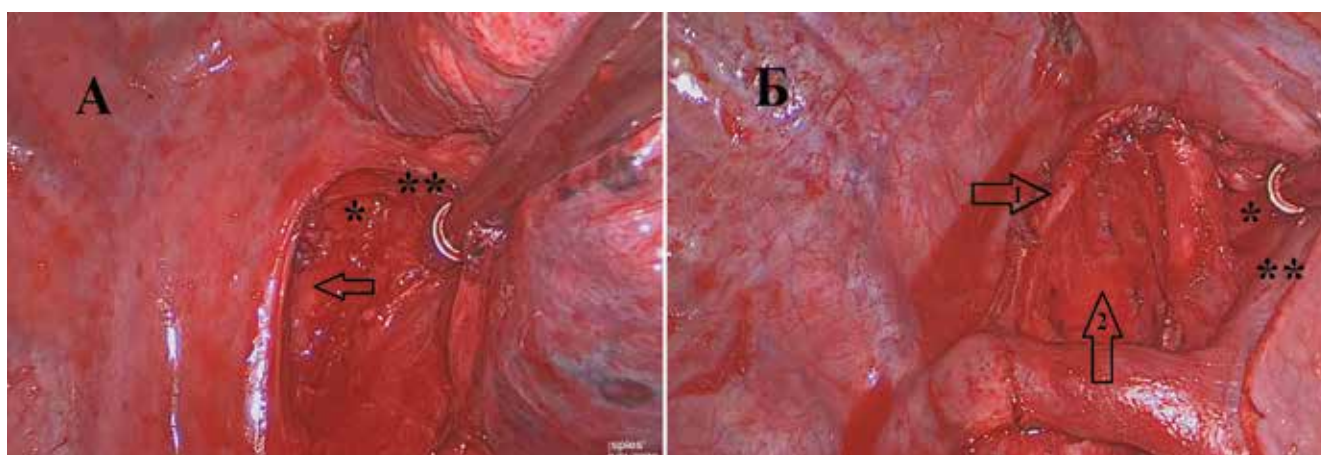


Рис. 9. Лимфодиссекция бифуркационной (А) и паратрахеальных (Б) групп лимфоузлов.
А: * - левый главный бронх, ** - правый главный бронх, стрелкой указан пищевод
Б: * - перикард, ** - верхняя полая вена, стрелка 1 – правый блуждающий нерв, стрелка 2 – трахея

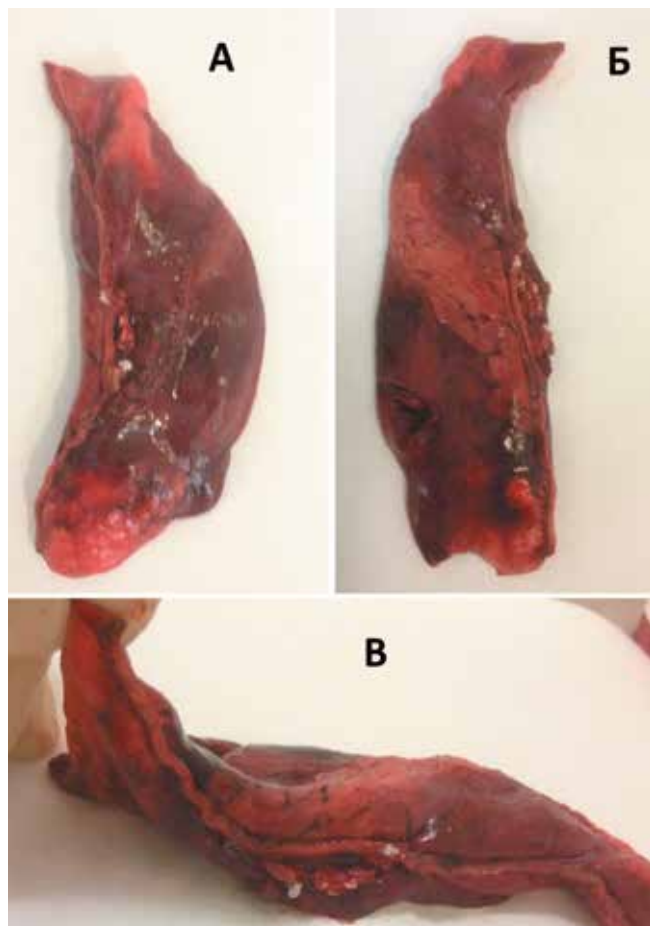


Рис. 10. Макропрепарат второго сегмента правого легкого с опухолью (А – вид сзади, Б – вид спереди, В – вид со стороны корня легкого)

идентичные отдаленные результаты для I A стадии. И частота местного рецидива (14,5% – в группе сегментэктомий, 13,9% – в группе лобэктомий), и частота пятилетнего безрецидивного периода (78% в каждой группе) в сравниваемых группах значимо не отличались [7]. В описанном клиническом случае наибольший диаметр образования составил 13 мм, что позволило рассматривать пациента в качестве кандидата к выполнению операции объемом менее доли. В то же время уменьшение объема операции до клиновидной резекции могло ухудшить прогноз. Согласно данным публикации С. В. Smith и соавт. (2013), включающей более 3,5 тысяч пациентов, выполнение раковым больным сегментэктомией статистически значимо улучшает их выживаемость по сравнению с группой прооперированных в объеме клиновидной резекции [4]. Помимо прочего, учитывая онкологический анамнез пациента, требовалось исключить метастатическую природу патологического образования легкого. Данные гиперфиксации радиофармпрепарата вместе со скиалогическими признаками затенения по типу матового стекла позволили предположить первичную этиологию злокачественного образования. Известно, что хирургическое лечение неинвазивной аденокарциномы и аденокарциномы in-situ приводит к лучшим отдаленным результатам

по сравнению с другими морфологическими типами рака легкого [5]. В публикации зарубежных коллег введен прогностический критерий (Consolidation to tumor ratio – С/Т), определяемый по данным компьютерной томограммы в виде соотношения общего диаметра образования к солидной ее части [22]. Искомое частное параметров образования пациента (С/Т = 0,13) предполагало благоприятный вариант морфологии со специфичностью 96,4%. Результат иммуногистохимического исследования препарата подтвердил достоверность прогностического критерия. Вместе с тем край резекции описан в заключении на расстоянии 21 мм от опухоли, что является необходимым требованием резекций малого объема [16]. У 6 из 41 пациента (14,6%), край резекции которых находился ближе чем на 1 см к злокачественному образованию, авторы выявили местный рецидив. В то же время, по данным исследования В. G. Leshnowe и соавт. [26], край резекции паренхимы при сегментэктомии должен отстоять от опухоли не менее чем на 2 см. Оба условия были соблюдены нами в ходе представленного оперативного вмешательства. Дополнительным требованием к сегментэктомии является адекватная лимфодиссекция, как минимум не уступающая выполняемой при лобэктомии [11]. В этом смысле вызывает опасение доля пациентов (51%), получающих хирургическое лечение малого объема вовсе без удаления лимфоузлов [20]. В собственной практике мы выполняем дольспецифическую лимфодиссекцию как минимум трех медиастинальных групп с включением группы 7, акцентируя внимание при сегментэктомиях на лимфатических узлах уровня N1. Y. Hwang и соавт. описывают аналогичный стандарт лимфодиссекции, предлагая осуществлять срочное гистологическое исследование удаляемых лимфоузлов [11]. В случае подтверждения метастатического поражения авторы считают необходимым расширение объема операции до лобэктомии. В ходе представленного оперативного вмешательства нами не выявлены макроскопические признаки поражения внутридолевых лимфоузлов, что было также подтверждено данными предоперационного обследования. В то же время, на наш взгляд, вышеописанное совершенствование хирургического алгоритма позволяет уменьшить объем операции без снижения ее эффективности.

Другой составляющей любого оперативного вмешательства считают его относительную безопасность. В случае сегментэктомий она во многом зависит от технических приемов верификации сегментарной анатомии легких и выявления межсегментарных плоскостей [17, 23, 25]. Ложное определение анатомических границ удаляемого сегмента может привести к кровотечению, резекции иного объема или потере непальпируемой опухоли в сохраненной части легкого. На сегодняшний день существует возможность предоперационного планирования операции с помощью 3D-моделирования сосудистых структур корня легкого. Такая тактика позволила нам достоверно

определить у пациента расположение образования по отношению к питающим сегмент сосудов, что значимо облегчило процесс и объем их выделения. Кроме того, знание сегментарного строения корня правого легкого способствовало быстрому формированию тоннеля над легочной артерией с заранее известными ориентирами – двух артерий шестого сегмента и крупного ствола артерии заднего сегмента. Н. Oizumi и соавт. показали, что с помощью предоперационного моделирования в 20 из 160 сегментэктомий (12,5%) выявлены субсегментарные ветви легочной артерии, направленные к образованию [25]. Несмотря на современный дизайн исследования, авторы работы описывают классический метод определения межсегментарной границы на основании пробы с раздуванием легкого. Мы считаем, что направление всего оперируемого легкого после пережатия сегментарного бронха вместе с ухудшением эндоскопической визуализации может приводить к распространению воздуха по порам Кона, скрывая истинную границу сегмента [3].

В международной медицинской литературе представлено несколько вариантов выборочной вентиляции бронха. Один из них основан на формировании границы инфляции/дефляции [25], на селективной высокочастотной вентиляции бронха удаляемого сегмента под контролем бронхоскопии [3]. Кроме того, представлены данные прямой вентиляции бронха посредством интраоперационной его пункции венозным катетером [8].

Принципиально новым решением стали перфузионные методы определения границ сегментов. Использование специального красителя – индоцианина зеленого (ICG) стало возможным в последние несколько лет [1, 9, 10, 18, 21]. Метод заключается в выявлении распространения препарата в тканях по его флуоресценции в инфракрасном спектре света. Интраоперационное введение ICG в центральную вену после пережатия или пересечения сегментарной артерии позволяет отличить некровоснабжаемую часть легкого по отсутствию специфического свечения. Такой способ не требует интраоперационной вентиляции легкого, что значительно улучшает визуализацию при торакоскопии, особенно в случаях выраженной эмфиземы легких [21].

Идея была апробирована группой японских ученых на животных, а затем успешно применена у 8 пациентов [1, 17]. Эффективность методики, опубликованная в другом исследовании этого года, составила 98,6% [21]. Изучая параметры чувствительности ICG технологии, S. Iizuka и соавт. [21] показали, что увеличение стажа курения, снижение ОФВ1 наряду со сниженной плотностью легочной паренхимы по КТ отрицательно влияют на качество флуоресценции. Многолетний стаж курения нашего пациента не привел к сомнительному результату верификации межсегментарной границы, вероятно, по причине относительной сохранности паренхимы легкого и отказа от курения в течение

последних лет. Продолжительность максимальной флуоресценции при этом составила 110 сек., что в целом соответствует исследованной длительности полувыведения препарата [12]. Режим дозирования и длительности сохранения контраста удаляемого сегмента может зависеть от пути введения препарата [4, 18] и от оптической системы, используемой на операции [9]. S. Sugimoto и соавт. [2] полагают, что окраска легкого ICG как через периферическую вену, так и с использованием сегментарного бронха позволяет достоверно определить планируемую границу резекции. В то же время некоторые авторы предпочитают трансбронхиальный путь введения ICG, аргументируя это перманентным окрашиванием паренхимы легкого на всю ее глубину [4, 18].

Мы использовали внутривенное введение препарата, исходя из технической простоты и меньшей необходимой дозы введения ICG. Ранее продемонстрировано, что доля анафилактических реакций на ICG при дозе менее 0,5 мг/кг массы тела составляет 0,003%, значительно увеличивалась после порога в 5 мг/кг массы тела [6]. В ходе операции мы использовали ICG в дозе 0,15 мг/кг массы тела. Это не привело к системному побочному эффекту.

Необходимо отметить, что ряд авторов используют высокие дозы контрастного вещества и при трансвазальном введении препарата. Так N. Misaki и соавт. [17] в 2010 году вводили индоцианин зеленый в дозе 3 мг/кг массы тела. В другой работе 2013 года те же авторы описывают неудовлетворительный результат при введении препарата в дозе 0,5 мг/кг массы тела [10]. Y. Kasai и соавт. [9] сравнивали оптические системы, отличающиеся спектром воспринимаемого света и способ его воспроизведения на видеомониторе. В результате авторы продемонстрировали, что использование одноволновых оптических систем позволяет в десять раз снизить дозу контрастного вещества (0,5 мг/кг) и увеличить длительность активной флуоресценции (с 220 сек. до 370 сек.) [9]. В нашем исследовании использовалась одноволновая система воспроизведения изображения в спектре света, близкого к инфракрасному (NIR). Введение препарата в дозе меньшей, чем в опубликованных работах, не помешало нам достоверно определить линию резекции. В ходе выполнения операции мы использовали аппаратное пересечение межсегментарных границ, формируя две линии швов вокруг пересеченных элементов корня сегмента. На наш взгляд, данная методика является неотъемлемой составляющей анатомических сегментэктомий.

Выводы

Сегментэктомия, выполняемая торакоскопически, с флуоресцентным определением межсегментарных границ может в ближайшее время стать дополнительным стандартом хирургического лечения рака легкого. Важными критериями отбора пациентов следует считать размер опухоли менее 2 см

наряду с КТ-признаками неинвазивного типа аденокарциномы. Торакоскопическая техника позволяет выполнять достаточную медиастинальную и внутридолевую лимфодиссекцию. Использование

перфузионной ICG-флюоресценции значительно облегчает верификацию анатомических границ сегмента и является предпочтительной для торакоскопических операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. A novel method for determining adjacent lung segments with infrared thoracoscopy / N. Misaki, S. S. Chang, M. Gotoh [et al.] // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* – 2009. – Vol. 138 (3). – P. 613–618.
2. A novel technique for identification of the lung intersegmental plane using dye injection into the segmental pulmonary artery / S. Sugimoto, T. Oto, K. Miyoshi [et al.] // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* – 2011. – Vol. 141 (5). – P. 1325–1327.
3. A novel video-assisted anatomic segmentectomy technique: selective segmental inflation via bronchofiberoptic jet followed by cautery cutting / M. Okada, T. Mimura, J. Ikegaki [et al.] // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* – 2007. – Vol. 133. – P. 753–758.
4. A simple and effective technique for identification of intersegmental planes by infrared thoracoscopy after transbronchial injection of indocyanine green / Y. Sekine, E. Ko, H. Oishi [et al.] // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* – 2012. – Vol. 143 (6). – P. 1330–1335.
5. American Thoracic Society. International Association for the Study of Lung Cancer/American Thoracic Society/European Respiratory Society: international multidisciplinary classification of lung adenocarcinoma: executive summary / W. D. Travis, E. Brambilla, M. Noguchi [et al.] // *Proc. Am. Thorac. Soc.* – 2011. – Vol. 8 (5). – P. 381–385.
6. Anaphylactoid reactions after indocyanine-green administration / R. Speich, B. Saesseli, U. Hoffmann [et al.] // *Ann. Intern. Med.* – 1988. – Vol. 109 (4). – P. 345–346.
7. Anatomic segmentectomy for the solitary pulmonary nodule and early-stage lung cancer / M. J. Schuchert, G. Abbas, O. Awais [et al.] // *Ann. Thorac. Surg.* – 2012. – Vol. 93 (6). – P. 1780–1787.
8. Butterfly-needle video-assisted thoracoscopic segmentectomy: a retrospective review and technique in detail / M. Kamiyoshihara, S. Kakegawa, T. Ibe [et al.] / Y. Kasai, S. Tarumi, S. S. Chang [et al.] // *Innovations (Phila.)*. – 2009. – Vol. 4 (6). – P. 326–330.
9. Clinical trial of new methods for identifying lung intersegmental borders using infrared thoracoscopy with indocyanine green: comparative analysis of 2- and 1-wavelength methods // *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* – 2013. – Vol. 44 (6). – P. 1103–1107.
10. Clinical trial of video-assisted thoracoscopic segmentectomy using infrared thoracoscopy with indocyanine green / S. Tarumi, N. Misaki, Y. Kasai [et al.] // *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* – 2014. – Vol. 46 (1). – P. 112–115.
11. Comparison of thoracoscopic segmentectomy and thoracoscopic lobectomy on the patients with non-small cell lung cancer: a propensity score matching study / Y. Hwang, C. H. Kang, H. S. Kim [et al.] // *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* – 2015. – Vol. 48 (2). – P. 273–278.
12. Desmettre T., Devoisselle J. M., Mordon S. Fluorescence properties and metabolic features of indocyanine green (ICG) as related to angiography // *Surv. Ophthalmol.* – 2000. – Vol. 45 (1). – P. 15–27.
13. Ginsberg R. J., Rubinstein L. V. Randomized trial of lobectomy versus limited resection for T1 N0 non-small cell lung cancer. Lung Cancer Study Group // *Ann. Thorac. Surg.* – 1995. – Vol. 60 (3). – P. 615–622.
14. Global cancer statistics / A. Jemal, F. Bray, M. M. Center [et al.] // *CA Cancer J. Clin.* – 2011. – Vol. 61 (2). – P. 69–90.
15. Lobar and sublobar resection with and without brachytherapy for small stage IA non-small cell lung cancer / H. C. Fernando, R. S. Santos, J. R. Benfield [et al.] // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* – 2005. – Vol. 129 (2). – P. 261–267.
16. Margin and local recurrence after sublobar resections of non-small cell lung cancer / A. El-Sherif, H. C. Fernando, R. Santos [et al.] // *Ann. Surg. Oncol.* – 2007. – Vol. 14 (8). – P. 2400–2405.
17. New clinically applicable method for visualizing adjacent lung segments using an infrared thoracoscopy system / N. Misaki, S. S. Chang, H. Igai [et al.] // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* – 2010. – Vol. 140. – P. 752–756.
18. New technique for lung segmentectomy using indocyanine green injection / S. Oh, K. Suzuki, Y. Miyasaka [et al.] // *Ann. Thorac. Surg.* – 2013. – Vol. 95 (6). – P. 2188–2190.
19. Ochsner A., Debaeky M. Primary pulmonary malignancy: treatment by total pneumonectomy; analysis of 79 collected cases and presentation of 7 personal cases // *Ochsner J.* – 1999. – Vol. 1 (3). – P. 109–125.
20. Osarogiagbon R. U., Yu X. Nonexamination of lymph nodes and survival after resection of non-small cell lung cancer // *Ann. Thorac. Surg.* – 2013. – Vol. 96 (4). – P. 1178–1189.
21. Predictors of indocyanine green visualization during fluorescence imaging for segmental plane formation in thoracoscopic anatomical segmentectomy / S. Iizuka, H. Kuroda, K. Yoshimura [et al.] // *J. Thorac. Dis.* – 2016. – Vol. 8 (5). – P. 985–991.
22. Radiographically determined noninvasive adenocarcinoma of the lung: survival outcomes of Japan Clinical Oncology Group 0201 / H. Asamura, T. Hishida, K. Suzuki [et al.] // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* – 2013. – Vol. 146 (1). – P. 24–30.
23. Surgical technique of lung segmental resection with two intersegmental planes / H. Iwata, K. Shirahashi, Y. Mizuno [et al.] // *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* – 2013. – Vol. 16 (4). – P. 423–425.
24. Survival after segmentectomy and wedge resection in stage I non-small-cell lung cancer / C. B. Smith, S. J. Swanson, G. Mhango [et al.] // *J. Thorac. Oncol.* – 2013. – Vol. 8 (1). – P. 73–78.
25. Techniques to define segmental anatomy during segmentectomy / H. Oizumi, H. Kato, M. Endoh [et al.] // *Ann. Cardiothorac. Surg.* – 2014. – Vol. 3 (2). – P. 170–175.
26. Video-assisted thoracoscopic surgery segmentectomy: a safe and effective procedure / B. G. Leshnower, D. L. Miller, F. G. Fernandez [et al.] // *Ann. Thorac. Surg.* – 2010. – Vol. 89 (5). – P. 1571–1576.