



Применение 3D-моделирования для определения параметров хирургического вмешательства при туберкулезе легких

Е. А. БОРОДУЛИНА¹, А. В. КОЛСАНОВ¹, П. В. РОГОЖКИН², А. А. МАНУКЯН³

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» МЗ РФ, г. Самара, РФ

²ГБУЗ «Самарский областной клинический противотуберкулезный диспансер», г. Самара, РФ

³ГБУЗ «Самарский областной клинический онкологический диспансер», г. Самара, РФ

РЕЗЮМЕ

Клиническое наблюдение демонстрирует значение 3D-моделирования при планировании хирургического вмешательства у больных туберкулезом легких. Построение 3D-модели выполнялось по данным компьютерной томографии в программе «Автоплан» с плагинами по сегментации легкого, патологических очагов, сосудистых структур и бронхиального дерева. Данные, полученные при 3D-моделировании, позволили определить план операции и полностью подтвердились в ходе операции. Построение 3D-модели с цветовым картированием раскрывает синтопию, которую крайне сложно определить с помощью стандартной компьютерной томографии и позволяет шире использовать малоинвазивные эндоскопические оперативные вмешательства.

Ключевые слова: туберкулез легких, хирургическое лечение, торакальная хирургия, компьютерная томография, предоперационное планирование, 3D-визуализация

Для цитирования: Бородулина Е. А., Колсанов А. В., Рогожкин П. В., Манукян А. А. Применение 3D-моделирования для определения параметров хирургического вмешательства при туберкулезе легких // Туберкулез и болезни лёгких. – 2020. – Т. 98, № 6. – С. 47-51. <http://doi.org/10.21292/2075-1230-2020-98-6-47-51>

The use of 3D modeling to determine the parameters of surgical intervention for pulmonary tuberculosis

E. A. BORODULINA¹, A. V. KOLSANOV¹, P. V. ROGOZHNIKIN², A. A. MANUKYAN³

¹Samara State Medical University, Samara, Russia

²Samara Regional Clinical TB Dispensary, Samara, Russia

³Samara Regional Clinical Oncological Dispensary, Samara, Russia

ABSTRACT

The clinical experience demonstrates the importance of 3D modeling when planning surgical intervention in patients with pulmonary tuberculosis. The 3D model was built up based computed tomography data using Avtoplan software with plug-ins for segmentation of the lung, pathological foci, vascular structures, and bronchial tree. The data obtained during 3D modeling allowed us to plan surgery and the data were fully confirmed during the operation. The 3D model with color mapping reveals syntopy, which is extremely difficult to determine using standard computed tomography and allows the wider use of minimally invasive endoscopic surgical interventions.

Key words: pulmonary tuberculosis, surgical treatment, thoracic surgery, computed tomography, preoperative planning, 3D-visualization

For citations: Borodulina E.A., Kolsanov A.V., Rogozhkin P.V., Manukyan A.A. The use of 3D modeling to determine the parameters of surgical intervention for pulmonary tuberculosis. *Tuberculosis and Lung Diseases*, 2020, Vol. 98, no. 6, P. 47-51. (In Russ.) <http://doi.org/10.21292/2075-1230-2020-98-6-47-51>

Для корреспонденции:

Бородулина Елена Александровна
E-mail: borodulinbe@yandex.ru

Correspondence:

Elena A. Borodulina
Email: borodulinbe@yandex.ru

Основными методами, на основании которых определяются показания к хирургическому вмешательству при туберкулезе легких и планируется вид операции, являются лучевые – рентгенография и мультисрезовая компьютерная томография (МСКТ) [4]. При этом для хирурга наиболее важными факторами являются: локализация и обширность поражения, особенности строения бронхиального и сосудистого дерева [7]. Однако по стандартным срезам томограмм, без построения объемной картины поражения, выполнения сегментации легкого, бронхиального дерева и цветового картирования сосудов, невозможно в полной мере оценить предстоящее оперативное вмешательство и надежно наметить линию резекции легкого. Имеется большое количество публикаций, посвященных

возможностям 3D-моделирования оперируемого органа по данным МСКТ, с подробной визуализацией поражения в оперируемом органе и изучением анатомических особенностей пациента, но они касаются в основном внелегочных поражений [1-3, 5, 6, 9], а в торакальной хирургии – единичны [8]. Особо востребована 3D-визуализация при эндоскопических вмешательствах, когда основным источником информации является монитор и хирург не может пальпаторно проконтролировать локализацию и характер поражения в оперируемом органе [8, 11].

Мы имеем опыт 3D-моделирования в торакальной хирургии туберкулеза легких, используя систему планирования и контроля операции «Автоплан», разработанную Центром прорывных исследований

СамГМУ «Информационные технологии в медицине» [9]. Построение трехмерного изображения выполняется с использованием данных МСКТ, изображения в формате DICOM загружают в программу «Автоплан» с плагинами по сегментации легкого, патологических очагов, сосудистых структур и бронхиального дерева.

Приводим клиническое наблюдение, демонстрирующее возможности и значение 3D-моделирования при подготовке к хирургическому вмешательству по поводу туберкулеза легких.

Клиническое наблюдение

Больной Е. 35 лет, житель города, работает водителем. Отягощающих социальных факторов в анамнезе не выявлено, контакт с больным туберкулезом не установлен. Ранее флюорографическое обследование не проводилось более двух лет. Туберкулез выявлен при обращении в январе 2019 г. Заболел в январе 2019 г., был госпитализирован в пульмонологическое отделение с диагнозом «пневмония», после дообследования поставлен диагноз «инфильтративный туберкулез верхней доли правого легкого. IА. МБТ(-)». Пациент переведен в противотуберкулезный диспансер, и начато лечение по 3-му режиму химиотерапии, так как отсутствовало бактериовыделение. Интенсивная фаза антибактериальной терапии (120 доз) закончена в апреле 2019 г. По окончании интенсивной фазы выполнена МСКТ органов грудной клетки на томографе фирмы General Electric с болюсным введением рентгеноконтраста и ангиографическим исследованием сосудов. Диагностирована туберкулема в 1-м, 2-м сегментах правого легкого размером $3,5 \times 2,5$ см с наличием очагов вокруг. Решением врачебной комиссии пациенту рекомендовано плановое хирургическое лечение. Хирургический консилиум определил вид оперативного вмешательства – атипичная резекция С₁, С₂ правого легкого.

На основе данных МСКТ выполнено построение 3D-модели туберкулезного поражения легочной ткани, органов средостения и грудной клетки для уточнения анатомических особенностей пациента: сегментарного деления легких, строения бронхиального дерева и сосудистого русла легких (рис. 1-5). Вначале в автоматическом режиме осуществили сегментацию легкого с вычислением объема долей (рис. 4), построением бронхиального дерева и сосудистых структур, далее в ручном режиме выделили патологические образования в легком и измененные лимфатические узлы в корне легкого. Также в ручном режиме выполнено деление легкого на сегменты. Согласно полученным данным, артериальное кровоснабжение второго сегмента имело изолированный тип (рис. 1, 2, 5), ветвью от объединенной артерии верхушечного и заднего сегмента (А1,2). В последующем хирург задал интересующие опорные точки (синтопию с ветвями легочной артерии,

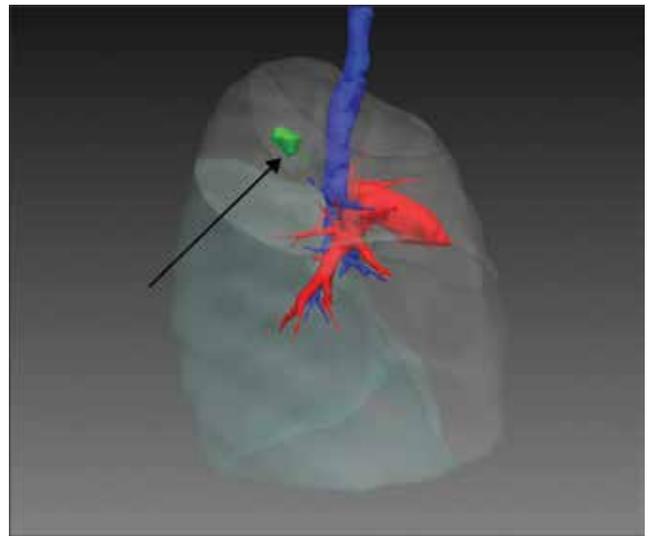


Рис. 1. Трехмерная модель легкого, боковая проекция: сегментация легких на доли и верхней доли правого легкого на сегменты, бронхиальное дерево (выделено синим), артерии легкого (выделено красным), туберкулема и группа очагов (выделены зеленым и показаны стрелкой)

Fig. 1. The three-dimensional model of the lung, the lateral projection: segmentation of the lungs into the lobes and upper lobe of the right lung into segments, bronchial tree (highlighted in blue), lung arteries (highlighted in red), tuberculoma and a group of foci (highlighted in green and shown by an arrow)



Рис. 2. Заднебоковая проекция: сегментация легких на доли и верхней доли правого легкого на сегменты, бронхиальное дерево (выделено синим), артерии легкого (выделено красным), стрелкой показана артерия второго сегмента

Fig. 2. The posterolateral projection: segmentation of the lungs into the lobes and upper lobes of the right lung into segments, bronchial tree (highlighted in blue), lung arteries (highlighted in red), the arrow shows the artery of the second segment

ветвями бронхов до 3-го порядка) и сформировал виртуальную линию резекции. Полученное трехмерное изображение правого легкого с делением

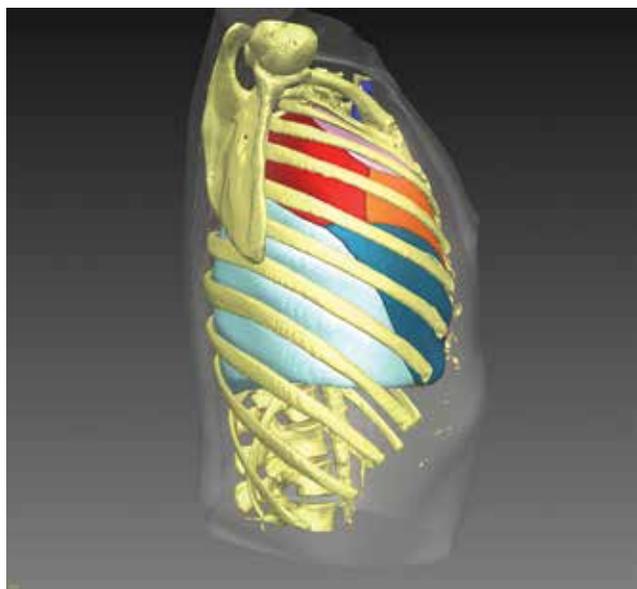


Рис. 3. Боковая проекция: мягкие ткани, костные структуры, сегментация легких

Fig. 3. The lateral projection: soft tissue, bone structure, and lung segmentation

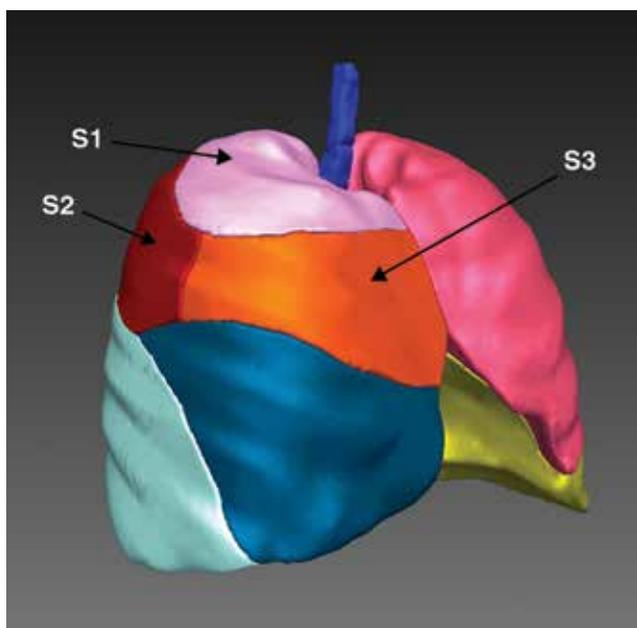


Рис. 4. Трехмерная модель с цветовым картированием, переднебоковая проекция: сегментация верхней доли правого легкого на сегменты (показаны стрелками), легких на доли

Fig. 4. The three-dimensional model with color mapping, anterolateral projection: segmentation of the upper lobe of the right lung into segments (shown by arrows), lungs into lobes

на доли и сегменты предоставляло исчерпывающие данные об индивидуальных топографо-анатомических характеристиках пациента и о распространенности туберкулезного процесса. Уточнено, что очаги туберкулезной диссеминации имеют распространенный характер, а также имеются увеличенные и измененные лимфатические узлы (рис. 5) в

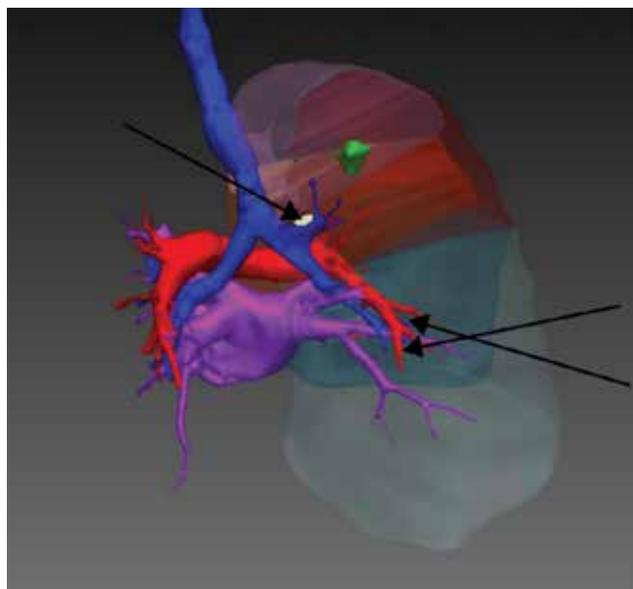


Рис. 5. Заднебоковая проекция: сегментация правого легкого на доли и верхней доли правого легкого на сегменты, бронхиальное дерево (выделено синим). Стрелками показаны артерии легкого (выделено красным) и вены (выделено сиреневым). Измененный лимфатический узел в корне верхней доли выделен белым и показан стрелкой

Fig. 5. The posterolateral projection: segmentation of the right lung into lobes and upper lobe of the right lung into segments, bronchial tree (highlighted in blue). The arrows indicate the arteries of the lung (highlighted in red) and veins (highlighted by lilac). The affected lymph node in the root of the upper lobe is highlighted in white and is shown by the arrow

корне верхней доли правого легкого (наибольший из лимфатических узлов $2,5 \times 1,5$ см). При этом виртуальная зона резекции проходила по границе верхушечного и переднего сегмента легкого. С учетом данных 3D-моделирования, топографического взаимоотношения поражения относительно границ долей легкого и костных структур грудной клетки (рис. 3) хирургом был изменен первоначальный план операции и решено выполнить видеоассистированную торакоскопию, анатомическую резекцию C_1 , C_2 правого легкого с лимфодиссекцией. Операция выполнена 03.06.2019 г. в плановом порядке, доступ – переднебоковая мини-торакотомия в 4-м межреберье, анатомическая резекция C_1 , C_2 правого легкого в полном объеме с отдельной обработкой сосудов, бронхов этих сегментов и лимфодиссекцией. Выделение сосудов и бронхов 1-го, 2-го сегментов выполнено без технических трудностей, поскольку благодаря 3D-моделированию до операции уже имелась полная картина сосудистых структур. Удалены увеличенные бронхопульмональные лимфатические узлы (рис. 5). Интраоперационно – объем поражения, его локализация и линия резекции легкого соответствовали 3D-моделированию в программе «Автоплан». Во время операции визуально подтверждено наличие множества преимущественно мелких туберкулезных

Заключение

очагов по всему объему 1-го, 2-го сегментов правого легкого и измененных лимфатических узлов в корне верхней доли, что не позволило бы выполнить атипичную резекцию пораженной части верхней доли. Длительность операции 2 ч 5 мин, кровопотеря 50 мл. Послеоперационный период протекал без осложнений. При макроскопической оценке резецированного материала обнаружен участок деструкции в туберкулезе, заполненный жидкими казеозными массами, в удаленных лимфатических узлах – участки казеозного некроза и клетки Пирогова – Лангханса. Операционный материал взят на микробиологическое исследование, методом посева выявлены микобактерии туберкулеза с устойчивостью к рифампицину, изониазиду, этамбутолу, стрептомицину.

Рентгенологически после операции правое легкое расправлено, прозрачное. Начато лечение по 4-му режиму химиотерапии с учетом данных о лекарственной устойчивости возбудителя. Пациент в июле 2019 г. прошел реабилитацию в санатории и продолжил курс химиотерапии в условиях дневного стационара. Плановый осмотр хирургом в августе 2019 г. – операция эффективна, осложнений операции в отдаленном периоде нет.

Использование планирования операции с помощью 3D-моделирования у пациента с туберкулезом легкого позволило скорректировать план операции и линию резекции легкого. Построение 3D-модели с цветовым картированием раскрыло синтопию легкого, которую не определили с помощью стандартной компьютерной томографии. Получение хирургом информации с помощью 3D-моделирования об анатомических особенностях каждого пациента особенно актуально при выполнении анатомической резекции верхушечного и заднего сегментов верхней доли правого легкого, учитывая большую вариабельность артериального кровоснабжения второго сегмента легкого [10]. Туберкулез легких зачастую протекает с поражением регионарных лимфатических узлов. Построение 3D-модели с использованием системы «Автоплан» позволяет уточнить локализацию и распространенность измененных лимфатических узлов.

3D-моделирование и предоперационное планирование является перспективным направлением в торакальной хирургии.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Conflict of Interests. The authors state that they have no conflict of interests.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аляев Ю. Г., Сирота Е. С., Безруков Е. А. Виртуальное планирование органосохраняющих лапароскопических операций при лечении локализованного рака паренхимы почки // Уральский медицинский журнал. - 2018. - № 9 (164). - С. 69-78.
2. Колсанов А. В. Инновационная деятельность СамГМУ: современное состояние и перспективы развития. В сборнике: Нейрокомпьютерный интерфейс: наука и практика. Самара 2017 сборник материалов III Международной конференции. - 2017. - С. 14-16.
3. Колсанов А. В., Каторкин С. Е., Зельтер П. М., Быстров С. А., Колесник И. В., Чаплыгин С. С., Андреев И. С. Виртуальное планирование в абдоминальной хирургии: опыт использования в хирургии печени, селезенки и поджелудочной железы // Клиническая и экспериментальная хирургия. - 2017. - Т. 5, № 1. - С. 31-36.
4. Котова Т. Г. Предоперационная подготовка у пациентов с двусторонним туберкулезом легких // Современные проблемы науки и образования. - 2019. - № 1. - С. 11.
5. Назаров Р. М., Каторкин С. Е., Быстров С. А. Применение предоперационного 3D-моделирования спленэктомии у больных с идиопатической тромбоцитопенической пурпурой // Врач-аспирант. - 2017. - Т. 81, № 2. - С. 215-221.
6. Приходько С. А., Котельников Г. П., Николаенко А. Н., Чаплыгин С. С., Иванов В. В., Попов Н. В., Зельтер П. М., Колсанов А. В. Применение 3D-моделирования и компьютерной навигации в хирургическом лечении пациентов с доброкачественными опухолями и опухолеподобными заболеваниями трубчатых костей скелета // Современные технологии в медицине. - 2017. - Т. 9, № 3 - С. 64-70.
7. Рогожкин П. В., Бородулина Е. А. Отдаленные результаты лечения больных туберкулезом легких, перенесших радикальную резекцию легких // Туб. и болезни легких. - 2018. - Т. 96, № 3. - С. 24-28. DOI: 10.21292/2075-1230-2018-96-3-24-28.

REFERENCES

1. Alyaev Yu.G., Sirota E.S., Bezrukov E.A. The virtual planning of organ-preserving laparoscopic operations in the treatment of localized cancer of the kidney parenchyma. *Uralskiy Meditsinskiy Journal*, 2018, no. 9 (164), pp. 69-78. (In Russ.)
2. Kolsanov A.V. *Innovation activity of Samara State Medical University: current status and development prospects. V sbornike: Neyrokomp'yuternyy interfeys: nauka i praktika. Samara 2017 sbornik materialov III Mezhdunarodnoy konferentsii.* [In Abst. Book: Neurocomputer interface: science and practice. Samara 2017 collection of materials of the III International Conference]. 2017, pp. 14-16. (In Russ.)
3. Kolsanov A.V., Katorkin S.E., Zelter P.M., Bystrov S.A., Kolesnik I.V., Chaplygin S.S., Andreev I.S. Virtual planning in abdominal surgery: experience of its use in surgery of liver, spleen and pancreas. *Klinicheskaya i Eksperimentalnaya Khirurgiya*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 31-36. (In Russ.)
4. Kotova T.G. Preoperative preparation in patients with bilateral pulmonary tuberculosis. *Sovremennyye Problemy Nauki i Obrazovaniya*, 2019, no. 1, pp. 11. (In Russ.)
5. Nazarov R.M., Katorkin S.E., Bystrov S.A. The use of preoperative 3D modeling of splenectomy in patients with idiopathic thrombocytopenic purpura. *Vrach Aspirant*, 2017, vol. 81, no. 2, pp. 215-221. (In Russ.)
6. Prikhodko S.A., Kotelnikov G.P., Nikolaenko A.N., Chaplygin S.S., Ivanov V.V., Popov N.V., Zelter P.M., Kolsanov A.V. The use of 3D modeling and computer navigation in the surgical treatment of patients with benign tumors and tumor-like diseases of tubular bones. *Sovremennyye Tekhnologii v Meditsine*, 2017, vol. 9, no. 3, pp. 64-70. (In Russ.)
7. Rogozhkin P.V., Borodulina E.A. The postponed treatment outcomes of pulmonary tuberculosis patients after radical pulmonary resection. *Tuberculosis and Lung Diseases*, 2018, vol. 96, no. 3, pp. 24-28. (In Russ.) doi: 10.21292/2075-1230-2018-96-3-24-28.

8. Халимон А. И. Возможности трехмерного компьютерного моделирования легочных сосудов, выполненного на основе данных рентгеновской компьютерно-томографической ангиопульмонографии, в планировании видеоассистированных сегментэктомий легких // Российский электронный журнал лучевой диагностики. - 2017. - Т. 7, № 3. - С. 83-89.
9. Шекотуров И. О., Бахтиозин Р. Ф., Ширяев А. А., Корнев Д. О., Панина К. С. Возможности трехмерного компьютерного моделирования, выполненного на основе данных компьютерной томографии в планировании резекций печени при ее очаговых заболеваниях // Российский электронный журнал лучевой диагностики. - 2018. - Т. 8, № 2. - С. 72-78.
10. Oizumi H., Kanauchi N., Kato H., Endoh M., Suzuki J., Fukaya K. et al. Anatomic thoracoscopic pulmonary segmentectomy under 3-dimensional multidetector computed tomography simulation: a report of 52 consecutive cases // J. Thor. Cardiovasc. Surg. - 2011. - Vol. 141, № 3. - P. 678-682.
11. Volonte F., Buch N. Augmented reality to the rescue of the minimally invasive surgeon. The usefulness of the interposition of stereoscopic images on the Da VinciTM robotic console // Intern. J. Med. Robotics. - 2013. - Vol. 9, № 3. - P. 34-38.
8. Khalimon A.I. Possibilities of three-dimensional computer simulation of pulmonary vessels based on X-ray computed tomographic angiopulmonography data, in the planning of video-assisted lung segmentectomy. *Rossiyskiy Elektronnyy Zhurnal Luchevoy Diagnostiki*, 2017, vol. 7, no. 3, pp. 83-89. (In Russ.)
9. Schekoturov I.O., Bakhtiozin R.F., Shiryayev A.A., Kornev D.O., Panina K.C. Possibilities of three-dimensional computer simulation based on computed tomography data in planning resections of the liver due to its focal diseases. *Rossiyskiy Elektronnyy Zhurnal Luchevoy Diagnostiki*, 2018, vol. 8, no. 2, pp. 72-78. (In Russ.)
10. Oizumi H., Kanauchi N., Kato H., Endoh M., Suzuki J., Fukaya K. et al. Anatomic thoracoscopic pulmonary segmentectomy under 3-dimensional multidetector computed tomography simulation: a report of 52 consecutive cases. *J. Thor. Cardiovasc. Surg.*, 2011, vol. 141, no. 3, pp. 678-682.
11. Volonte F., Buch N. Augmented reality to the rescue of the minimally invasive surgeon. The usefulness of the interposition of stereoscopic images on the Da VinciTM robotic console. *Intern. J. Med. Robotics*, 2013, vol. 9, no. 3, pp. 34-38.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» МЗ РФ,
443099, г. Самара, ул. Чапаевская, д. 89.

Бородулина Елена Александровна
доктор медицинских наук, профессор,
заведующая кафедрой фтизиатрии и пульмонологии.
Тел.: + 7 (846) 332-57-35.
E-mail: borodulinbe@yandex.ru
ORCID ID 0000-0002-3063-1538

Колсанов Александр Владимирович
доктор медицинских наук, профессор, ректор,
профессор РАН, заведующий кафедрой оперативной
хирургии и клинической анатомии с курсом инновационных
технологий.
E-mail: avkolsanov@mail.ru
ORCID ID 0000-0002-4144-7090.

Рогожкин Петр Владимирович
ГБУЗ «Самарский областной клинический
противотуберкулезный диспансер»,
врач – торакальный хирург.
E-mail: rogojkin-petr@mail.ru
443099, г. Самара, ул. Пионерская, д. 48.
Тел.: + 7 (846) 335-66-58.
ORCID ID 0000-0003-2734-6178

Манукян Арман Арутюнович
ГБУЗ «Самарский областной клинический онкологический
диспансер»,
врач-рентгенолог.
E-mail: arman.63ser@mail.ru
443029 г. Самара, ул. Солнечная, д. 50.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Samara State Medical University,
89, Chapayevskaya St.,
Samara, 443099.

Elena A. Borodulina
Doctor of Medical Sciences, Professor,
Head of Phthisiology and Pulmonology Department.
Phone: + 7 (846) 332-57-35.
Email: borodulinbe@yandex.ru
ORCID ID 0000-0002-3063-1538

Aleksandr V. Kolsanov
Doctor of Medical Sciences, Professor, Rector,
Professor of the Russian Academy of Sciences,
Head of the Department of Operative Surgery and Clinical
Anatomy with Training Course of Innovative Technologies.
Email: avkolsanov@mail.ru
ORCID ID 0000-0002-4144-7090.

Petr V. Rogozhkin
Samara Regional Clinical TB Dispensary,
Thoracic Surgeon.
Email: rogojkin-petr@mail.ru
48, Pionerskaya St.,
Samara, 443099
Phone: + 7 (846) 335-66-58.
ORCID ID 0000-0003-2734-6178

Arman A. Manukyan
Samara Regional Clinical Oncological Dispensary,
X-Ray Doctor.
Email: arman.63ser@mail.ru
50, Solnechnaya St.,
Samara, 443029.

Поступила 11.11.2019

Submitted as of 11.11.2019