



УДК 617.542-006-089:004.9
DOI 10.20538/1682-0363-2016-2-127-133

СЛУЧАЙ УСПЕШНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В ТОРАКАЛЬНОЙ ОНКОЛОГИИ

Щаденко С.В.^{1,2}, Топольницкий Е.Б.³

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

² Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск

³ Томская областная клиническая больница, г. Томск

РЕЗЮМЕ

Цель – описать применение метода 3D-визуализации и моделирования в торакальной онкологии на основе обработки медицинских изображений.

Материал и методы. Показана структурная схема системы 3D-визуализации и моделирования, включающая в себя шесть этапов. Проведена реконструкция анатомических, компьютерных 3D-моделей грудной клетки и опухоли у пациента со злокачественным новообразованием на основе изображений компьютерной томографии. Определены пространственные размеры, а также установлены топографо-анатомические соотношения с соседними органами, костными и мягкоткаными структурами.

Результаты. Данная информация использовалась при планировании хирургического вмешательства, которое было успешно выполнено в хирургическом торакальном отделении Томской областной клинической больницы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: планирование хирургической операции, 3D- визуализация, 3D-моделирование, анатомическая компьютерная 3D-модель, торакальная онкология.

Введение

Совершенствование хирургических и реанимационных технологий способствовали широкому внедрению сложных расширено-комбинированных операций в торакальной онкологии. В предоперационном периоде при планировании таких вмешательств необходимо уточнение распространенности онкологического процесса с учетом индивидуальных анатомических особенностей пациента. Результатом операций закономерно является резекция не только пораженного злокачественной опухолью органа, но также соседних анатомических структур, вовлеченных в патологический процесс. При этом для полноценной реабилитации больного нередко требуется устранение пострезекционных дефектов перикарда, диафрагмы и грудной стенки [1–3, 5, 7].

В настоящее время для замещения дефектов все больший приоритет приобретает использование синтетических материалов и имплантатов, что позволяет технически упростить и стандартизировать реконструктивный этап, уменьшить продолжительность и травматичность оперативных вмешательств. При этом отсутствует ряд проблем, связанных с пересадкой тканей, например недостаток пластического материала или риск передачи трансмиссивных инфекций. Кроме того не возникает юридических и этических вопросов, связанных с аллотрансплантацией [5–7]. Однако в случае устранения пострезекционных дефектов анатомических структур с помощью синтетических материалов необходим индивидуальный подбор имплантата и методики его применения.

Для решения этих проблем в медицине с недавнего времени стали использовать трехмерную компьютерную графику (3D) – одну из наиболее распространенных и впечатляющих современных

✉ Щаденко Сергей Владимирович, e-mail: schadenko@gmail.com

компьютерных технологий, предназначенную для реконструкции анатомических структур и органов пациента, представляющих собой их объемные модели. Использование 3D-моделирования в предоперационном периоде позволяет осуществить более точное планирование операции, основываясь на трехмерном изображении и реалистичном моделировании результатов, прогнозировать объем вмешательства и вероятность послеоперационных осложнений, тем самым сокращая продолжительность и травматичность операции, а также период реабилитации и расходы на лечение пациента. Кроме того применение трехмерных моделей и зон интереса способствует улучшению коммуникации между врачами, что особенно незаменимо для междисциплинарных случаев и проведения тренировочных репетиций процедур. При изготовлении имплантатов 3D-моделирование позволяет выполнить их по индивидуальному заказу быстро и экономично [8–10].

В настоящей статье представлен собственный результат применения современных компьютерных технологий при планировании хирургического этапа лечения больного онкопульмонологического профиля.

Материал и методы

Для улучшения качества хирургического лечения больных в торакальной онкологии нами использована система 3D-визуализации и моделирования на основе использования медицинских изображений (далее «Система»), представляющая собой аппаратно-программный комплекс, в работе которого можно выделить шесть основных этапов (рис. 1).

На первом этапе пациент сканируется с целью формирования набора медицинских изображений зоны интереса. Для этого необходимо большое количество снимков (срезов) объекта с разных ракурсов, для чего используется ряд методов визуализации (модальностей), таких как компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография, позитронно-эмиссионная томография, ультразвук. Качество и точность реконструируемой 3D-модели зоны интереса будет напрямую зависеть от качества полученных первичных медицинских изображений. Поэтому необходимо уделить максимально пристальное внимание выбору модальности и оборудования, а также составлению корректной процедуры первичного сканирования. Полученный набор 2D-срезов в подавляющем большинстве современных аппаратов для медицинской визуализации сохраняется в формате DICOM [11–13].

На втором этапе набор полученных 2D-изображений подвергается обработке для улучшения их качества, а именно для повышения контрастности, увеличения четкости, фильтрации шумов и т.д. Для улучшения качества первичных медицинских изображений применяются адаптивные фильтры изображений, многоуровневые нелинейные операторы, фурье-дескрипторы и гибридные фильтры [14, 15].

После улучшения качества набора 2D-изображений на третьем этапе происходит регистрация обработанных медицинских изображений, приведение их к единой системе координат и выполнение сегментации для формирования компьютерной анатомической 3D-модели. В настоящее время разработано большое количество алгоритмов

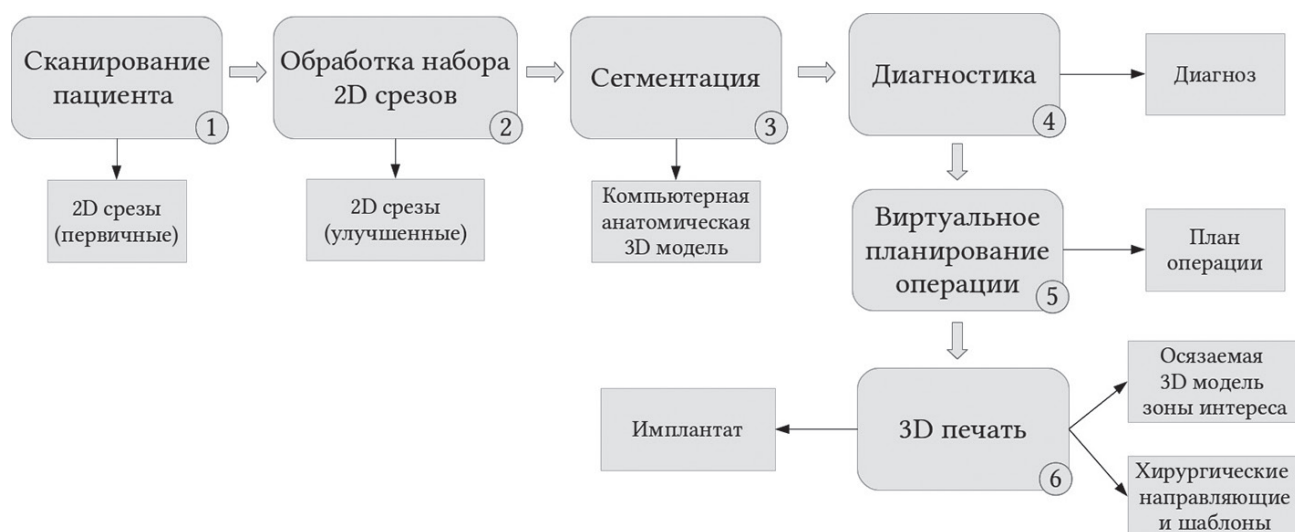


Рис. 1. Этапы работы системы для 3D-визуализации и планирования на основе использования медицинских изображений

мов сегментации с применением методов, основанных на использовании локальных порогов, оттенков серого и гистограммах, на пиксельной корреляции, наращивании областей, сжатии, дереве квадрантов, дифференциальных уравнениях в частных производных и др. [16, 17].

На четвертом этапе реконструированная 3D-модель используется хирургом и вспомогательным персоналом для детального осмотра зоны интереса – анализ геометрических размеров, расположения зоны интереса относительно других органов, выявления аномалий и отклонений в анатомии. Следует отметить, что кроме диагностики, проводимой человеком, перспективной задачей является разработка методов автоматического сравнения сформированной компьютерной 3D-модели зоны интереса пациента с набором заранее подготовленных наборов 3D-моделей здоровых органов и с отклонениями. В результате такого сравнения будет автоматически сформирован диагноз пациента с указанием зон отклонений от нормы.

После реконструкции компьютерной 3D-модели и формирования диагноза на пятом этапе происходит импорт модели в САD-систему для предоставления возможности проведения манипуляций над ней с целью планирования оптимального хирургического вмешательства. При необходимости, если того требует характер травмы или патологии пациента, по полученной анатомической 3D-модели зоны интереса возможна разработка персонализированной 3D-модели имплантата либо хирургических шаблонов и направляющих для более точного выполнения хирургического вмешательства.

На завершающем этапе полученные анатомические модели, модели хирургических шаблонов и направляющих, а также модели имплантатов передаются в подсистему 3D-печати, где происходит подготовка указанных моделей для печати, непосредственно печать и постобработка полученной осязаемой 3D-модели.

Результаты

Для наглядности практического применения 3D-визуализации и моделирования продемонстрируем хирургический этап лечения больного злокачественным новообразованием грудной стенки с вовлечением костных структур.

Пациент Ш., 58 лет, обратилась в хирургическое торакальное отделение Томской областной клинической больницы в ноябре 2014 г. с жалобами на болезненное объемное образование по задней поверхности левой половины грудной клетки.

Пациент считает себя больным в течение года, когда впервые отметила дискомфорт и болезненность в левой половине грудной клетки при глубоком дыхании. Опухоль появилась в августе 2014 г. В течение последних 2 мес отмечался рост опухоли. В медицинские учреждения не обращалась и не лечилась.

При осмотре на уровне боковых и задних отростков VI–VIII ребер слева обнаружено опухолевидное образование, деформирующее контуры грудной стенки. Кожные покровы над новообразованием обычного цвета. Опухоль плотная, несмещающаяся, болезненна при пальпации, размерами 70×120 мм.

По данным комплексного обследования установлено, что общий анализ крови и мочи – в пределах нормы за исключением повышения СОЭ до 59 мм/ч. В биохимическом анализе крови обратило на себя внимание повышение белка до 83 г/л. При спиральной КТ органов грудной клетки выявлена деструкция заднего отрезка VII ребра слева с массивным внекостным компонентом неоднородной структуры и плотности, опухоль размерами 55 × 100 мм. Внекостный компонент преимущественно распространялся внутрь грудной клетки вдоль внутренней поверхности ребра, с неровным бугристым контуром, сдавливая прилежащие отделы легочной паренхимы. По данным тонкоигольной биопсии опухоли определялись в большом количестве зрелые лимфоидные и плазматические клетки, эпителиальные клетки не обнаружены.

В связи с возникшим подозрением на миеломную болезнь выполнена рентгенография черепа, при которой со стороны свода и его основания костно-деструктивных изменений не выявлено, турецкое седло нормальных размеров, спинка его не отклонена. При электрофорезе белков плазмы М-градиент не обнаружен. Электрофорез нативной мочи – белок не определялся.

Тактика ведения пациента была обсуждена на мультидисциплинарном консилиуме с участием гематолога. С учетом диагностических данных о распространенности и продолжающемся росте опухоли, явных признаков злокачественного ее характера и присоединения вторичной инфекции в результате распада, принимая во внимание сохранное общее состояние пациента, решено окончательно морфологически верифицировать опухоль путем эксцизионной биопсии опухоли в виде одномоментной резекции и реконструкции грудной стенки.

При спиральной компьютерной томографии органов грудной клетки на аппарате «Toshiba

Aquilion 64» (Toshiba, Япония) был получен набор медицинских 2D-изображений, которые подверглись обработке для улучшения контрастности, удаления шумов и артефактов. На этапе сегментации ставилась задача получения двух компьютерных анатомических моделей. Во-первых, была необходимость реконструировать модель грудной клетки с целью уточнения характера и протяженности повреждения (деструкции) костных структур на уровне злокачественной опухоли грудной стенки. Во-вторых, нужно было получить модель самой опухоли для определения ее пространственных размеров, а также установить топографо-анатомическое соотношение с соседними органами, костными и мягкоткаными структурами. Для реконструкции модели грудной клетки использовался метод пороговой обработки с заданием порогов в диапазоне 200–1400 единиц Хаунсфилда. На рис. 2 показана реконструированная компьютерная анатомическая модель грудной клетки с использованием свободного и открытого программного обеспечения 3D Slicer [18].

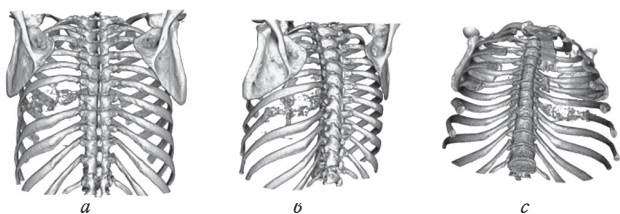


Рис. 2. Компьютерная анатомическая 3D-модель грудной клетки до операции без визуализации модели опухоли. Отчетливо видна деструкция заднего отрезка VII ребра слева: *a* – вид сзади; *б* – вид сзади с поворотом модели на 30 градусов относительно вертикальной оси; *с* – вид спереди

Как видно из рис. 2, значительной деструкции подверглась задняя часть VII ребра слева. Для реконструкции модели опухоли использовалось ручное посрезовое выделение области изображения с пороговыми значениями 5–70 единиц Хаунсфилда. На рис. 3 показана компьютерная модель злокачественного новообразования.

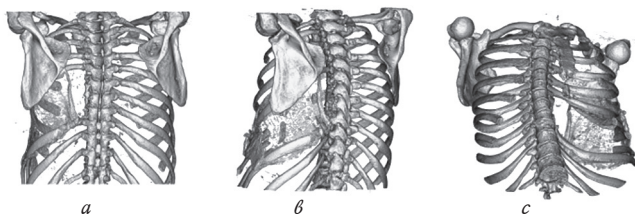


Рис. 3. Компьютерная анатомическая 3D-модель грудной клетки до операции с визуализацией модели опухоли. В опухоль вовлечены задние отрезки VI–VIII ребер слева: *a* – вид сзади; *б* – вид сзади, с поворотом модели на 30 градусов относительно вертикальной оси; *с* – вид спереди

С помощью встроенных средств 3D Slicer были определены не только анатомические размеры и объем опухоли, но также ее синтопия с соседними костными и мягкоткаными анатомическими структурами, степень их вовлечения в опухолевый конгломерат. На рис. 4 показаны совмещенные компьютерные анатомические 3D-модели грудной клетки и опухоли. Установлено, что в опухолевый процесс вовлечены задние отрезки VI–VIII ребер слева.

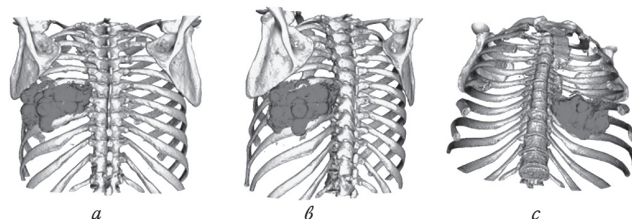


Рис. 4. Компьютерная анатомическая 3D-модель грудной клетки после окончательной резекции грудной стенки и внедрения сетчатого никелид-титанового имплантата *a* – вид сзади; *б* – вид сзади с поворотом модели на 30 градусов относительно вертикальной оси; *с* – вид спереди

На основе анализа размера и локализации злокачественного новообразования был разработан план оперативного вмешательства. С учетом локализации и распространенности патологического процесса было решено выполнить обширную окончательную резекцию грудной стенки с субтотальной резекцией боковых и задних отрезков VI–VIII ребер слева с формированием дефекта не менее 250 см².

Учитывая образующийся пострезекционный дефект грудной стенки и возможные кардиореспираторные нарушения в послеоперационном периоде, было принято решение об одномоментной реконструкции реберного каркаса с использованием сетчатого имплантата из никелида титана в сочетании с перемещенным аутолоскутом на основе широчайшей мышцы спины.

Имплантат для укрепления аутотрансплантата и пластики пострезекционного дефекта представлял собой тонкопрофильную ткань, машинно-плетенную по текстильной и трикотажной технологии из сверхэластичной никелид-титановой нити, толщиной 60 мкм, размером ячеек 200 × 500 мкм. Интервал между соседними нитями был выбран с учетом оптимальных условий для образования и прорастания биологической ткани [4]. Нить изготовлена из композиционного материала, включающего сердцевину из наноструктурного монолитного никелида титана и пористый поверхностный слой оксида титана.

В соответствии с описанным выше планом, под общей анестезией в условиях искусственной

вентиляции легких через интубационную трубку выполнена окончатая резекция en bloc боковых и задних отрезков VI–VIII ребер слева и одномоментное устранение обширного пострезекционного дефекта грудной стенки по поводу злокачественного новообразования грудной стенки с вовлечением костных структур. Для восстановления костных элементов грудной клетки использовали сетчатый никелид-титановый имплантат. Пластика дефекта мягких тканей осуществлена перемещенным лоскутом на основе широчайшей мышцы спины.

Течение послеоперационного периода было гладким. Экстубация больной осуществлена сразу после окончания операции. Парадоксальное дыхание грудной клетки и дыхательная недостаточность не наблюдались. Согласно современной концепции многоуровневой анальгезии осуществляли грудную эпидуральную анальгезию с применением местных анестетиков, а также внутривенное введение парацетамола (перфалгана) в течение первых 3 сут после операции.

В раннем послеоперационном периоде наблюдались только явления экссудативного плеврита, которые удалось купировать плевральными пункциями с удалением свободной жидкости и назначения противовоспалительной терапии. В результате выбранной комбинированной пластики достигнут отличный функциональный результат по шкале Eneking. Функция внешнего дыхания (ФВД) после оперативного вмешательства снизилась незначительно (до 90% исходного уровня) без клинических проявлений.

В отдаленном послеоперационном периоде нарушений ФВД и нестабильности реберного каркаса не выявлено. Адекватная с функциональных и эстетических позиций реконструкция грудной стенки достигнута комбинированной пластикой сетчатым имплантатом из никелида титана и перемещенным аутолоскутом, позволяющая обеспечить стабильность реберного каркаса, герметичность плевральной полости, предотвратить парадоксальное дыхание, защитить внутренние органы от травматизации и инфицирования.

Через 3 нед после операции была выполнена контрольная КТ органов грудной клетки. По полученным КТ-снимкам построена анатомическая компьютерная 3D-модель грудной клетки пациента, представленная на рис. 4, из которой можно сделать вывод об успешной хирургической реконструкции грудной клетки и отсутствии послеоперационных осложнений.

Плановое морфологическое исследование удаленного участка грудной стенки обнаружило

обширные поля опухолевидных плазматических клеток. С учетом полученных диагностических данных злокачественная опухоль грудной стенки расценена как солитарная плазмоцитома, и в последующем гематологом было назначено специальное лечение, соответствующее характеру выявленной патологии.

Заключение

На современном этапе развития реконструктивной хирургии необходимо широко использовать возможности компьютерного моделирования при планировании реконструктивно-пластических оперативных вмешательств. В торакальной онкологии системы 3D-визуализации и моделирования позволяют прогнозировать объем и этапы оперативного вмешательства, возможные интра- и послеоперационные осложнения, что существенно сокращает период реабилитации больного и повышает общее качество предоставляемых хирургических услуг.

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Литература

1. *Атлас операций при злокачественных опухолях легкого, трахеи и средостения* / А.Х. Трахтенберг [и др.]; под ред. В.И. Чиссова, А.Х. Трахтенберга, А.Д. Каприна. М.: Практическая медицина, 2014. 184 с.
2. Вишневский А.А., Рудаков С.С., Миланов Н.О. Хирургия грудной стенки: руководство. М.: Издательский дом Видар-М, 2005. 312 с.
3. Тепляков В.В., Карпенко В.Ю., Илюшин А.А. и др. Хирургическое лечение злокачественных опухолей грудной стенки // Хирургия. 2010. № 9. С. 36–41.
4. Топольницкий Е.Б., Дамбаев Г.Ц., Гюнтер В.Э. Замещение пострезекционных дефектов анатомических структур грудной клетки тканевым имплантатом на основе наноструктурной никелид-титановой нити // Хирургия. 2011. № 10. С. 47–53.
5. *Хирургия далеко зашедших и осложненных форм рака легкого* / под ред. А.Н. Бисенкова. СПб: ДЕАН, 2006. 432 с.
6. Deschamps C., Tirnaksiz B.M., Darbandi R. et al. Early and long-term results of prosthetic chest wall reconstruction // The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 1999. V. 117(3). P. 588–592.
7. Weyant M.J., Bains M.S., Venkatraman E. et al. Results of chest all resection and reconstruction with and without rigid prosthesis // Ann. Thorac. Surg. 2006. V. 81. P. 279–285.

8. *Litschko P., Henning T., Beinemann J., Fried W., Linss W.* Method for generating patient-specific implants. United States patent US 6,932,842. 2005.
9. *Polinski M.J., Berg P.M.* Integrated Production of Patient-Specific Implants and Instrumentation. United States patent application US 12/712,827. 2010.
10. *Metzger R., Uthgenannt B.A., Fox D.A., May B.M.* Patient-Specific Implants. United States patent US 20,110,046,735. 2011.
11. *Pianykh O.S.* Digital imaging and communications in medicine (DICOM): a practical introduction and survival guide. Springer Science & Business Media, 2009. 417 p.
12. *Mildenberger P., Eichelberg M., Martin E.* Introduction to the DICOM standard // European radiology. 2002. V. 12 (4). P. 920–927.
13. *Graham R.N., Perriss R.W., Scarsbrook A.F.* DICOM demystified: a review of digital file formats and their use in radiological practice // Clinical radiology. 2005. V. 60(11). P. 1133–1140.
14. *Russ J.C.* The Image Processing Handbook, Seventh Edition. CRC Press, 2016. P. 1035.
15. *Jabne B.* Practical Handbook on Image Processing for Scientific and Technical Applications, Second Edition. CRC Press, 2004. P. 610.
16. *Bankman I.* Handbook of Medical Image Processing and Analysis. Academic Press, 2008. P. 1000.
17. *Dougherty G.,* Medical Image Processing: Techniques and Applications. Springer Science & Business Media, 2011. P. 380.
18. *Pieper S., Halle M., Kikinis R.* 3D Slicer // Biomedical Imaging: Nano to Macro. 2004. IEEE International Symposium. P. 632–635.

Поступила в редакцию 02.02.2016 г.

Утверждена к печати 15.03.2016 г.

Щаденко Сергей Владимирович (✉) – ассистент кафедры промышленной и медицинской электроники НИ ТПУ; заведующий лабораторией медицинской электроники СибГМУ (г. Томск).

Топольницкий Евгений Богданович – д-р мед. наук, заведующий хирургическим торакальным отделением Томской областной клинической больницы (г. Томск).

✉ **Щаденко Сергей Владимирович**, e-mail: schadenko@gmail.com

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, ул. Ленина, 30, e-mail: trpu@trpu.ru, тел. (382-2)-60-63-33.

Сибирский государственный медицинский университет, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2, e-mail: office@ssmu.ru, тел. (382-2)-90-11-01.

Томская областная клиническая больница, 634063, г. Томск, ул. И. Черных, 96, e-mail: okb@trecom.tomsk.ru, тел. (382-2)-63-00-63.

CASE OF SUCCESSFUL APPLICATION OF METHOD FOR 3D VISUALIZATION AND MODELING IN THORACIC ONCOLOGY

Shchadenko S.V.^{1,2}, Topolnitskiy E.B.³

¹ Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

² Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation

³ Tomsk Regional Clinical Hospital, Tomsk, Russian Federation

ABSTRACT

Aim. The application of method of 3D-visualization and modeling in thoracic oncology is described.

Materials and methods. The block diagram of system of 3D-visualization and modeling consisting of six stages is shown. The reconstructions of anatomic computer 3D-models of rib cage and tumor were performed for the patient with cancer (plasma cell myeloma). The tumor size and its topographic anatomy relatively to neighboring organs, bones and soft tissues were identified.

Results. The obtained data had been used to plan surgical intervention, which was successfully conducted at Thoracic surgery department of Tomsk Regional Clinical Hospital.

KEY WORDS: surgery planning, 3D-visualization, 3D-modeling, anatomic computer 3D-model, thoracic oncology.

Bulletin of Siberian Medicine, 2016, vol. 15, no. 2, pp. 127–133

References

1. Atlas operacij pri zlokachestvennykh opukholjakh legkogo, trakhei i sredostenija [Surgery Atlas in cases of malignant tumors of the lung, trachea and mediastinum]. A.Kh. Trakhtenberg; pod red. V.I. Chissova, A.Kh. Trakhtenberga, A.D. Kaprina. M.: Prakticheskaja medicina Publ. 2014. 184 p. (in Russian).
2. Vishnevskij A.A., Rudakov S.S., Milanov N.O. Khirurgija grudnoj stenki: Rukovodstvo [Thoracic cage surgery: Guidance]. M., Izdatel'skij dom Vidar-M Publ. 2005, 312 p. (in Russian).
3. Teplyakov V.V., Karpenko V.Ju., Iljushin A.L. i dr. Khirurgicheskoe lechenie zlokachestvennykh opukholej grudnoj stenki [Surgical treatment of malignant tumors in thoracic cage]. Khirurgija, 2010, no. 9, pp. 36–41 (in Russian).
4. Topolnitskiy E.B., Dambaev G.Ts., Gunter V.E. Zameshchenie postrezektsionnykh defektov anatomicheskikh struktur grudnoj kletki tkanevym implantatom na osnove nanostrukturnoy nikelid-titanovoy niti [Replacement of post-resection defects of anatomical structures of the chest with the tissue implant based on nanostructured titanium-nickel alloy thread]. Khirurgija, 2011, no. 10, pp. 47–53 (in Russian).
5. Khirurgija daleko zashedshikh i oslozhnennykh form raka legkogo [Surgical treatment of complicated forms of lung cancer] / pod red. L.N. Bisenkova. St-Peterburg, DEAN Publ. 2006, p. 432 (in Russian).
6. Deschamps C., Tirnaksiz B.M., Darbandi R. et al. Early and long-term results of prosthetic chest wall reconstruction // The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 1999. V. 117(3). P. 588–592.
7. Weyant M.J., Bains M.S., Venkatraman E. et al. Results of chest all resection and reconstruction with and without rigid prosthesis // Ann. Thorac. Surg. 2006. V. 81. P. 279–285.
8. Litschko P., Henning T., Beinemann J., Fried W., Linss W. Method for generating patient-specific implants. United States patent US 6,932,842. 2005.
9. Polinski M.J., Berg P.M. Integrated Production of Patient-Specific Implants and Instrumentation. United States patent application US 12/712,827. 2010.
10. Metzger R., Uthgenannt B.A., Fox D.A., May B.M. Patient-Specific Implants. United States patent US 20,110,046,735. 2011.
11. Panykh O.S. Digital imaging and communications in medicine (DICOM): a practical introduction and survival guide. Springer Science & Business Media, 2009. 417 p.
12. Mildenerger P., Eichelberg M., Martin E. Introduction to the DICOM standard // European radiology. 2002. V. 12(4). P. 920–927.
13. Graham R.N., Perriss R.W., Scarsbrook A.F. DICOM demystified: a review of digital file formats and their use in radiological practice // Clinical radiology. 2005. V. 60(11). P. 1133–1140.
14. Russ J.C. The Image Processing Handbook, Seventh Edition. CRC Press, 2016. P. 1035.
15. Jahne B. Practical Handbook on Image Processing for Scientific and Technical Applications, Second Edition. CRC Press, 2004. P. 610.
16. Bankman I. Handbook of Medical Image Processing and Analysis. Academic Press, 2008. P. 1000.
17. Dougherty G., Medical Image Processing: Techniques and Applications. Springer Science & Business Media, 2011. P. 380.
18. Pieper S., Halle M., Kikinis R. 3D Slicer // Biomedical Imaging: Nano to Macro. 2004. IEEE International Symposium. P. 632–635.

Shchadenko Sergey V. (✉), Tomsk Polytechnic University, Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation.
Topolnitskiy Evgeny B., Regional Clinical Hospital, Tomsk, Russian Federation.

✉ **Shchadenko Sergey V.**, e-mail: schadenko@gmail.com

National Research Tomsk Polytechnical University, 30, Lenina Ave., Tomsk, 634050, e-mail: tpu@tpu.ru, тел. (382-2)-60-63-33.

Tomsk Regional Clinical Hospital, 96 I. Chernuh St., 634063, Tomsk, e-mail: okb@trecom.tomsk.ru, ph. (382-2)-63-00-63.