

Сравнительный анализ методов создания виртуальных трехмерных моделей легких из КТ-снимков в практике противотуберкулезной организации с помощью программного обеспечения компании Materialise

А.Г. Наумов^{✉1,2}, А.С. Шпрыков¹, Д.А. Сутягина¹, Е.С. Гринин¹

¹ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород, Россия;

²ГБУЗ Нижегородской области «Нижегородский областной клинический противотуберкулезный диспансер», Нижний Новгород, Россия

Аннотация

Обоснование. Важными условиями окончательной победы над туберкулезом являются не только профилактика его развития и раннее выявление, но и оказание качественной персонифицированной медицинской помощи больному. Аддитивные технологии и технологии виртуализации способны в полной мере реализовать последнее условие во фтизиатрической практике.

Цель. Продемонстрировать возможности и оценить трудозатраты (затраченное время на виртуализацию и размер конечных цифровых файлов моделей) во время работы с программными комплексами Mimics inPrint 2.0.0.159 и Mimics Medical 21.0.0.406 над виртуальной реконструкцией легких большого деструктивной формой туберкулеза.

Материалы и методы. Сравнительный анализ методов создания виртуальных трехмерных моделей легких из компьютерно-томографических снимков проведен в ГБУЗ НО НОКПД. В исследовании принимал участие 1 пациент с деструктивной формой туберкулеза верхней доли левого легкого. Виртуальные трехмерные модели изготавливались по специально разработанному алгоритму. Анализ временных затрат на формирование виртуальных моделей легких проводили с помощью встроенной функции в программное обеспечение «Log». Анализ размера полученных виртуальных моделей легких в формате STL осуществлялся с помощью функции операционной системы из семейства Windows «Свойства», раздел «Общие», подраздел «Размер».

Результаты. Наиболее практичным программным комплексом для виртуальных реконструкций легких оказался Mimics inPrint 2.0.0.159 с затраченным временем на создание модели 2 мин (Mimics Medical 21.0.0.406 – 7 мин 17 с) и размером модели 125 мегабайт (Mimics Medical 21.0.0.406 – 26,1 мегабайта). Освещенные в статье технические нюансы и алгоритмы реконструкции легких с использованием программных пакетов Mimics inPrint 2.0.0.159 и Mimics Medical 21.0.0.406 позволят заинтересованному лицу не ошибиться в реализации своих научно-практических интересов в процессе оказания больному персонифицированной помощи. В статье сделан акцент на основных преимуществах программного пакета Mimics inPrint 2.0.0.159 в сравнении с Mimics Medical 21.0.0.406. Дана краткая характеристика аналогичным программам.

Заключение. Изученные программные комплексы благополучно справились с поставленной перед ними целью демонстрации их возможностей и оценки трудозатрат на проведение виртуализации. Наиболее понятным и перспективным программно-прикладным комплексом для использования в повседневной клинической практике оказался Mimics inPrint 2.0.0.159.

Ключевые слова: туберкулез, виртуальная реконструкция, легкие, Mimics, Materialise

Для цитирования: Наумов А.Г., Шпрыков А.С., Сутягина Д.А., Гринин Е.С. Сравнительный анализ методов создания виртуальных трехмерных моделей легких из КТ-снимков в практике противотуберкулезной организации с помощью программного обеспечения компании Materialise. Consilium Medicum. 2023;25(9):565–572. DOI: 10.26442/20751753.2023.9.202386

© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2023 г.

Введение

На текущий момент в Российской Федерации достигнута, с одной стороны, довольно удовлетворительная эпидемиологическая обстановка по туберкулезу, несмотря на продолжающуюся пандемию COVID-19, с другой – в России наблюдается утяжеление клинического течения туберкулеза. По данным И.А. Васильевой и соавт. [1], отмечается увеличение частоты регистрации деструкции легочной ткани, массивного бактериовыделения и фиброзно-кавернозной формы туберкулеза легких. Вероятно, это связано с перераспределением в том числе фтизиатрических мощностей – ротация кадров, снижение активности поликлинической службы (включая общую лечебную сеть), умень-

шение количества госпитализаций – в период борьбы с коронавирусными «волнами».

Важными условиями окончательной победы над туберкулезом являются не только профилактика его развития и раннее выявление, но и оказание качественной персонифицированной медицинской помощи больному.

По мнению зарубежных авторов (Chan, 2011 и Jain, 2002) [2], персонифицированную или персонализированную медицину следует относить к быстро развивающейся области здравоохранения, ориентированной на уникальный подбор решений с целью нивелирования проблем со здоровьем нуждающегося индивидуума. Качественная персонифицированная медицинская помощь, на наш

Информация об авторах / Information about the authors

[✉] **Наумов Алексей Георгиевич** – ассистент каф. фтизиатрии им. И.С. Николаева ФГБОУ ВО ПИМУ, врач-фтизиатр ГБУЗ НО НОКПД. E-mail: naumovag@pimunn.ru

Шпрыков Александр Сергеевич – д-р мед. наук, проф., зав. каф. фтизиатрии им. И.С. Николаева ФГБОУ ВО ПИМУ. E-mail: shprykov_a@pimunn.net; ORCID: 0000-0002-2780-6704

Сутягина Дина Андреевна – канд. мед. наук, доц., доц. каф. фтизиатрии им. И.С. Николаева ФГБОУ ВО ПИМУ. E-mail: dina-sutyagina@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-5134-6683

Гринин Евгений Сергеевич – студент лечебного фак-та ФГБОУ ВО ПИМУ. E-mail: eugrinin@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-3332-1727

[✉] **Aleksey G. Naumov** – Assistant of Professor, Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod Regional Clinical Tuberculosis Dispensary. E-mail: naumovag@pimunn.ru

Alexander S. Shprykov – D. Sci. (Med.), Prof., Privolzhsky Research Medical University. E-mail: shprykov_a@pimunn.net; ORCID: 0000-0002-2780-6704

Dina A. Sutyagina – Cand. Sci. (Med.) Assoc. Prof., Privolzhsky Research Medical University. E-mail: dina-sutyagina@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-5134-6683

Evgenii S. Grinin – Student, Privolzhsky Research Medical University. E-mail: eugrinin@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-3332-1727

Comparative analysis of methods for creating virtual three-dimensional models of the lungs from computed tomography images in the practice of a tuberculosis organization using Materialise software

Aleksey G. Naumov^{✉1,2}, Alexander S. Shprykov¹, Dina A. Sutyagina¹, Evgenii S. Grinin¹

¹Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia;

²Nizhny Novgorod Regional Clinical Tuberculosis Dispensary, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract

Background. One of the important conditions for the final victory over tuberculosis is not only the prevention of its development and early detection, but also the provision of high-quality personalized medical care to the patient. Additive technologies and virtualization technologies are ways to fully reveal this principle in phthisiatric practice.

Aim. Demonstrate the possibilities and evaluate the labor costs (time spent on virtualization and the size of the final digital files of models) while working with the Mimics inPrint 2.0.0.159 and Mimics Medical 21.0.0.406 software systems in the aspect of virtual reconstruction of the lungs of a patient with a destructive form of tuberculosis.

Materials and methods. A comparative analysis of methods for creating virtual three-dimensional models of the lungs from CT images was carried out at the Nizhny Novgorod Regional Clinical Tuberculosis Dispensary. The study involved one patient with a destructive form of tuberculosis of the upper lobe of the left lung. Virtual three-dimensional models were made according to a specially developed algorithm. The time spent for the formation of virtual lung models was analyzed using the built-in function in the "Log" software. The analysis of the size of the obtained virtual lung models in the STL format was carried out using the operating system function from the Windows family "Properties", section "General", subsection "Size".

Results. The most practical software package for virtual lung reconstructions turned out to be Mimics inPrint 2.0.0.159 with the result of the time spent on creating a model of 2 minutes (Mimics Medical 21.0.0.406 – 7 minutes 17 seconds) and a model size of 125 megabytes (Mimics Medical 21.0.0.406 – 26.1 megabyte). The technical nuances and algorithms of lung reconstruction covered in the article using the Mimics inPrint 2.0.0.159 and Mimics Medical 21.0.0.406 software packages will allow the interested person not to make a mistake in realizing their scientific and practical interests in the process of providing personalized care to the patient. The article focuses on the main advantages of the Mimics inPrint 2.0.0.159 software package in comparison with Mimics Medical 21.0.0.406. A brief description of similar programs is given.

Conclusion. The studied software systems successfully coped with the goal assigned to them, which concerned the demonstration of their capabilities and the assessment of labor costs for virtualization. Mimics inPrint 2.0.0.159 turned out to be the most understandable and promising software and application complex for use in everyday clinical practice.

Keywords: tuberculosis, virtual reconstruction, lungs, Mimics, Materialise

For citation: Naumov AG, Shprykov AS, Sutyagina DA, Grinin ES. Comparative analysis of methods for creating virtual three-dimensional models of the lungs from computed tomography images in the practice of a tuberculosis organization using Materialise software. *Consilium Medicum*. 2023;25(9):565–572. DOI: 10.26442/20751753.2023.9.202386

взгляд, характеризуется созданием оптимальной среды для пациента, в которой будут реализованы конкретные (пациентоориентированные) медицинские вмешательства, направленные с учетом специфики освещаемой темы на угнетение жизнедеятельности *Mycobacterium tuberculosis* и скорейшее восстановление макроорганизма в целом.

Во фтизиатрии, как и во многих других отраслях медицины, активно используются клинические рекомендации, которые нацелены на унификацию и адаптацию стандартов оказания медицинской помощи. Клинические рекомендации подготавливаются, как правило, профессиональными медицинскими сообществами и утверждаются Минздравом России. Поэтому во многих учреждениях здравоохранения РФ специалисту-медику сложно реализовывать элементы персонализированной медицинской помощи, не выходя за рамки действующих нормативных документов. В противном случае врач может столкнуться с юридическими последствиями. Данная проблема достаточно подробно освещена в публикации Ф.И. Беялова [3].

Благодаря неуклонному развитию науки, совершенствованию образовательной базы высших учебных заведений и экономическим достижениям в мировой практике и в России появились условия для развития инновационных идей и последующего их перерождения в готовую технологию, алгоритм или продукт. Например, в РФ на протяжении многих лет функционирует ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере», сформированное Постановлением Правительства России №65 от 3 февраля 1994 г. Данная организация занимается поддержкой стартапов физических и юридических лиц с финансированием до нескольких миллионов рублей.

На фоне неуклонного роста конкуренции между клиниками, ведущими научными организациями и вузами возникают предпосылки для расширения их портфолио инновационными видами деятельности. В современных социально-экономических условиях это явление позволяет им сохранить или усовершенствовать инвестиционную, научную, педагогическую и лечебную составляющие. В то же время из-за ограниченности в финансовых ресурсах научных и педагогических организаций, а также бюрократических нюансов инновационная деятельность относится к ресурсоемким мероприятиям [4] и может подвергаться стагнации. По этой причине, по мнению Е.А. Борковой и соавт. [5], приоритеты инновационной деятельности в российском здравоохранении несколько размыты и не всегда гарантируют получение запланированного результата.

Описанные затруднения, которые встречаются в инновационной работе, могут усугубляться нехваткой кадров. Например, только во фтизиатрии, по данным И.А. Васильевой и соавт. [6], отмечается существенный дефицит специалистов указанного профиля.

Следует отметить, что фтизиатрия – это интегративная наука, которая способна не только перенимать лучший опыт из других специальностей и использовать его во благо своих пациентов, но и создавать собственные инновации, успешно внедряемые либо уже внедренные в практику [7].

В некоторых отечественных [8–14] и зарубежных [15–19] научных работах появились сведения о высокой ценности методов трехмерной (виртуальной) реконструкции органов и тканей в процессе выбора тактики лечения, идентификации личности, уточнения диагноза и прове-

дения дифференциальной диагностики. Перечисленные публикации в основном касались таких медицинских областей, как травматология, оториноларингология, онкология, офтальмология, кардиология, урология и судебная медицина. Две статьи посвящены возможностям виртуальных реконструкций во фтизиатрии и торакальной хирургии. Не все упомянутые публикации оптимизированы для чтения и понимания специалистами из смежных специальностей из-за особенностей использованной инженерной терминологии. В отдельных случаях можно отметить невысокую репрезентативность проведенного исследования в эксперименте из-за неточностей в описании технических возможностей рассматриваемого программного обеспечения (ПО) [20] и погрешностей [14] в указании версий программных комплексов, которые применены авторами.

Для укрепления фтизиатрического авторитета в инновационном пространстве научный коллектив кафедры фтизиатрии им. И.С. Николаева ФГБОУ ВО ПИМУ предлагает читателю ознакомиться с возможностями виртуальной реконструкции легких в двух программных продуктах бельгийской компании Materialise.

Основная цель данного исследования – продемонстрировать возможности и оценить трудозатраты (затраченное время на виртуализацию и размер конечных цифровых файлов моделей) во время работы с программными комплексами Mimics inPrint 2.0.0.159 и Mimics Medical 21.0.0.406 бельгийской компании Materialise для виртуальной реконструкции легких больного деструктивной формой туберкулеза верхней доли левого легкого.

Авторы статьи выражают надежду, что представленный материал будет служить хорошим подспорьем в научной и практической работе врачей – фтизиатров, пульмонологов и торакальных хирургов.

Материалы и методы

Сравнительный анализ методов создания виртуальных трехмерных моделей легких из компьютерно-томографических снимков проведен в 2022 г. на клинической базе кафедры фтизиатрии им. И.С. Николаева в ГБУЗ НО НОКПД в рамках выполнения служебного задания ФГБОУ ВО ПИМУ по подготовке диссертационного исследования.

В исследовании принимал участие 1 пациент с деструктивной формой туберкулеза верхней доли левого легкого из отделения для больных туберкулезом органов дыхания НОКПД, который дал письменное добровольное согласие в соответствии с Федеральным законом от 21.11.2011 №323-ФЗ (ред. от 11.06.2022, с изм. от 13.07.2022) «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 29.06.2022).

Виртуальные трехмерные модели изготавливались по алгоритму, ранее представленному в научной печати [21], до момента их перекодирования из стереолитографического варианта исполнения (STL) в G-код, так как потребность в создании тактильных навигационных шаблонов отсутствовала.

Компьютерно-томографическое исследование (КТИ) органов грудной клетки (ОГК) выполнялось на оборудовании фирмы Siemens SOMATOM Emotion 16 (Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Германия).

После завершения КТИ ОГК оцифрованная анатомическая структура легких больного в медицинском отраслевом формате DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) подвергалась компьютеризированной обработке в специализированном ПО:

- 1) работа с DICOM-пакетом данных и формирование виртуальной модели легких – Materialise Mimics inPrint 2.0.0.159 (Mimics inPrint; Materialise N.V., Leuven, Бельгия), коммерческий тип лицензии (лицензия предоставлена ООО «Нижновпринт»);

- 2) работа с DICOM-пакетом данных и формирование виртуальной модели легких – Materialise Mimics Medical 21.0.0.406 (Mimics Medical; Materialise N.V., Leuven, Бельгия), коммерческий тип лицензии (лицензия предоставлена ООО «Нижновпринт»);
- 3) предварительный просмотр сформированных виртуальных моделей легких в формате STL – 3D Viewer 7.2107.7012.0 (Microsoft Corporation, Redmond, США), персональный тип лицензии (поставщик лицензии ООО «Майкрософт Рус»).

Запуск упомянутых программных комплексов осуществлялся в среде 64-битной операционной системы (ОС) Windows 10 Pro (версия 21H1, сборка 19043.1320; Microsoft Corporation, Redmond, США).

ОС предустановлена на персональном компьютере со следующими характеристиками: процессор Intel Core i7 9700K, объем оперативной памяти – 16 гигабайт (тип памяти – DDR4), дискретный видеоакселератор NVIDIA GeForce GTX 1070 с объемом видеопамати 8 гигабайт (тип памяти – GDDR5), объем накопителя (технология NVMe) – 1 терабайт, монитор с разрешением экрана 1920 на 1080 точек.

Анализ временных затрат (в минутах и секундах) на формирование виртуальных моделей легких проводили с помощью встроенной функции в ПО «Log».

Анализ размера (в мегабайтах) полученных виртуальных моделей легких в формате STL проводился с помощью функции в ОС «Свойства», раздел «Общие», подраздел «Размер».

Особенности работы с Mimics InPrint на примере виртуальной реконструкции легких больного деструктивным туберкулезом

Перед началом описания алгоритма работы с программным комплексом Mimics inPrint требуется дать краткую характеристику компании-разработчику.

Компания Materialise со штаб-квартирой в городе Левен (Leuven, Löwen), Бельгия, организована Уилфридом Ванкраеном (Wilfried Vancraen) и его супругой в 1990 г. В 1992 г. компания Materialise разработала ПО, позволяющее взаимодействовать с цифровыми данными компьютерных томограмм (файлами с расширением DICOM) – Mimics (Materialise's Interactive Medical Image Control System). В 1996 г. компания создала первый хирургический шаблон для проведения стоматологического оперативного вмешательства. В 2004 г. сотрудники компании Materialise выпустили на рынок новое ПО (Materialise 3-matic), которое позволило конечному пользователю редактировать цифровые модели органов в STL-формате, не прибегая к сторонним программным инструментам. В 2006 г. компания разработала титановые имплантаты черепа человека, воспроизводимые на 3D-принтере. В 2014 г. компания стала публичной, а в 2016 г. открыла специализированный завод по производству металлоконструкций в Германии. Компания Materialise не прекращает совершенствовать текущее и разрабатывать новейшее ПО и по сей день.

До момента первого запуска программного комплекса Mimics inPrint необходимо убедиться, что системные требования данного ПО совпадают с вычислительными возможностями компьютера пользователя. К минимальным системным требованиям, которые заявлены производителем на его интернет-сайте [22], относятся следующие:

- 1) программные параметры – ОС не ниже уровня Windows 7 с разрядностью 64 бита, программа-браузер для просмотра ресурсов сети Интернет не ниже уровня Internet Explorer 6, программа для чтения цифровых документов в формате PDF;
- 2) параметры компьютерных комплектующих – процессор уровня Intel Core 2 Duo/AMD (модель X2) или эквивалент, объем оперативной памяти 4 гигабайта,

5 гигабайт свободного пространства на накопителе, разрешение экрана монитора не меньше 1280 на 1024 точки, наличие дискретного или встроенного видеоакселератора с объемом видеопамати не менее 512 мегабайт и поддержкой программного интерфейса DirectX 9.0c.

Производитель не предоставляет на своем интернет-сайте четкого соотношения версии программы Mimics inPrint и ее системных требований.

Необходимо отметить, что в ПО Mimics inPrint не предусмотрена русская локализация. Основным языком программы – английский. Русификация программы возможна путем модификации текущего или создания собственного языкового пакета.

После инсталляции ПО Mimics inPrint на устройство конечного пользователя и при наличии на накопителе (внешнем или внутреннем) DICOM-файлов можно приступить к реконструкции.

В первую очередь требуется запустить Mimics inPrint. После запуска программы в верхней ее части слева исследователь должен обнаружить базовый набор функций в виде перечня команд – «File», «Edit», «View», «Help» и «DEBUG» с дополнительными пиктограммами, расположенными ниже (рис. 1).

Для загрузки DICOM-пакета в ПО пользователь должен последовательно воспользоваться командами «File» и «New from Disk». После этих действий в интерфейсе программы будет открыто дополнительное окно с подзаголовком «Images», в котором необходимо найти подходящую папку с КТИ исследуемого больного и нажать на кнопку «Next».

Завершив выбор папки с данными КТИ исследуемого больного, ПО начнет автоматическую загрузку и обработку всех имеющихся серий снимков компьютерной томограммы. Исследователю останется только выбрать подходящий вариант КТИ с нужным количеством снимков и их толщиной.

Выбрав конкретную серию снимков, пользователь должен нажать на кнопку «Convert», чтобы начать мультипланарную реконструкцию исследуемой области в трех проекциях (фронтальная, сагиттальная и аксиллярная). По окончании этой процедуры в правой части программы исследователь увидит мультипланарную реконструкцию ОГК (рис. 2, а).

Теперь пользователю потребуется инициализировать процесс идентификации легочной ткани с последующей ее изоляцией от окружающих объектов (артефактов). Для достижения этой цели ему необходимо в верхней части программы выбрать крайнюю левую пиктограмму с текстовым обозначением «Create ROI» (Region of Interest Masking) и нажать на функцию «Preset», которая содержит в себе набор оптимальных рентгенологических диапазонов плотности, используемых для идентификации зоны интереса. Из предложенного набора исследователю следует выбрать диапазон «Lungs (CT)» (рис. 2, б).

По окончании идентификации легочной ткани рядом с мультипланарной реконструкцией ОГК будет осуществлено построение виртуальной модели легких и трахеобронхиального дерева (ТБД) с артефактами. Для продолжения работы с виртуальной моделью пользователь должен выбрать другую пиктограмму с текстовым обозначением «Edit ROI». Откроется дополнительное меню с настройками, где будет находиться команда «Isolate». Выбрав упомянутую команду и наведя курсор мыши на уже сформированную виртуальную модель легких, исследователю потребуется осуществить однократное нажатие левой клавишей мыши на легочную ткань для ее изоляции и удаления артефактов (рис. 3).

Окончив выполнение всех перечисленных процедур, пользователь сможет начать реализовывать финишные манипуляции. При переходе на серединную пиктограм-

Рис. 1. Интерфейс программного комплекса Mimics inPrint.

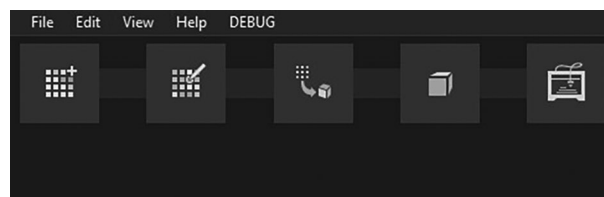


Рис. 2. а – мультипланарная реконструкция ОГК; б – выбор диапазона рентгенологической плотности «Lungs (CT)»

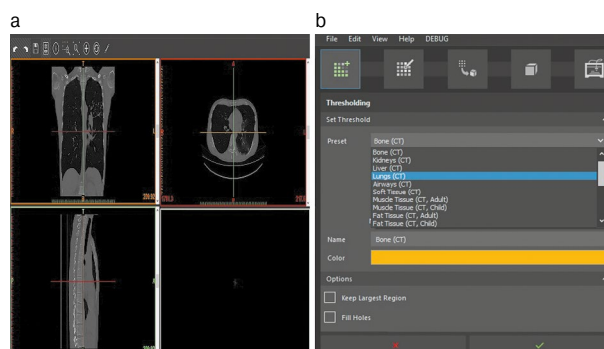
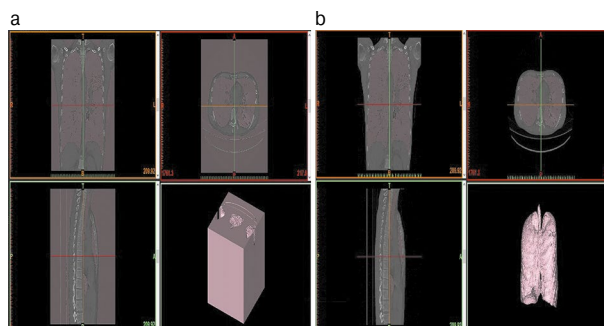


Рис. 3. а – готовая виртуальная модель легких и ТБД с окружающими их артефактами; б – изолированная модель легких и ТБД без артефактов.



му с текстовым обозначением «Add Part» исследователю будет предложены две функции – «Solid Part» (создание заполненной модели) и «Hollow Part» (создание пустотелой модели). Необходимо выбрать функцию «Solid Part». Далее потребуется выбрать предпоследнюю пиктограмму с текстовым обозначением «Edit Part». Откроется окно, где будут представлены возможности по редактированию виртуальной модели, а именно сглаживание модели, изменение толщины стенок, создание зеркальной копии и т.д. В случае отсутствия потребности в эксплуатации функциональных возможностей службы «Edit Part» этот этап может быть пропущен. Наконец, выбрав крайнюю правую пиктограмму с текстовым обозначением «Prepare Print», исследователь получит доступ к инструментам добавления надписей на поверхности модели, добавления упорочающих соединений (например, между легкими), восстановления (ремонта) модели и экспорта модели в стереолитографический формат для дальнейшей печати на 3D-принтере (рис. 4).

Особенности работы с Mimics Medical на примере виртуальной реконструкции легких больного деструктивным туберкулезом

Перед началом работы в ПО Mimics Medical, так же как и в Mimics inPrint, необходимо удостовериться, что систем-

Рис. 4. а – возможности службы «Prepare Print»: добавление надписей, создание соединений, ремонт модели, экспорт модели; **б** – финальная виртуальная модель легких большого деструктивной формой туберкулеза левого легкого при ее предварительном просмотре в программе 3D Viewer.

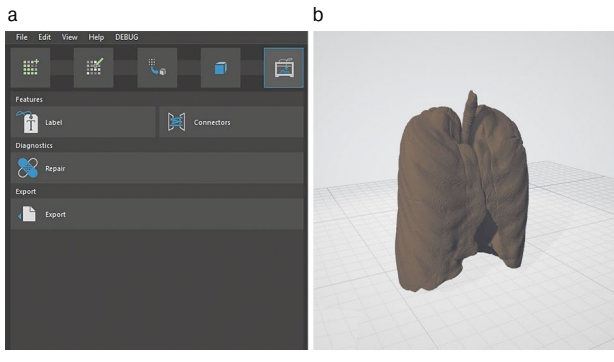


Рис. 5. Интерфейс программного комплекса Mimics Medical.



ные требования данного программного комплекса аналогичны или не превышают вычислительных способностей оборудования (персонального компьютера или ноутбука) исследователя. К минимальным системным требованиям, которые заявлены производителем на его интернет-сайте [23], относятся следующие:

- 1) программные параметры: ОС не ниже уровня Windows 10 с разрядностью 64 бита и версией 1909, программа-браузер для просмотра ресурсов сети Интернет не ниже уровня Microsoft Edge либо ее эквивалент, программа для чтения цифровых документов в формате PDF, версия программной платформы .NET Framework 4.6.1 и выше;
- 2) параметры компьютерных комплектующих: процессор уровня Intel Core i7 (III поколение) или эквивалент, объем оперативной памяти 16 гигабайт, 20 гигабайт свободного пространства на накопителе, разрешение экрана монитора не менее 1920 на 1080 точек, наличие дискретного или встроенного видеоакселератора с объемом видеопамати не менее 2 гигабайт и поддержкой программного интерфейса DirectX 11.0.

Столь отличные от ПО Mimics inPrint системные требования программного комплекса Mimics Medical связаны с более продвинутыми функциональными возможностями последнего.

Производитель не предоставляет на своем интернет-сайте, аналогично Mimics inPrint, конкретного соотношения версии программы Mimics Medical и ее системных требований.

Mimics Medical не имеет русской локализации, представленный язык программы – английский. Русификация программы возможна путем модификации текущего или создания собственного языкового пакета.

Процедура начала работы с ПО Mimics Medical практически не отличается от ПО Mimics inPrint, но существуют свои особенности как в интерфейсе программы (он более насыщен текстовыми командами и пиктограммами различных служб), так и в алгоритме построения виртуальной модели легких (требуется поэтапное выполнение большого количества инструкций).

В качестве подтверждения своих умозаключений приводим демонстрацию интерфейса Mimics Medical с текстовыми командами и пиктограммами (рис. 5).

Для загрузки DICOM-пакета в программу необходимо обратиться к вкладке «FILE» и затем к команде «New Project». После инициации этой команды откроется второстепенное программное окно с уже знакомым нам подзаголовком «Images», в котором пользователю потребуется указать нужную папку с DICOM-данными КТИ исследуемого пациента.

Указав программе путь к искомой папке и нажав на кнопку «Next», мы начнем загрузку в базу данных Mimics Medical всех серий снимков, полученных после КТИ ОГК исследуемого пациента.

Для запуска процедуры мультипланарной реконструкции ОГК необходимо завершить выбор подходящей серии снимков с нужной толщиной слоя и нажать на программную кнопку с текстовым обозначением «Open».

Как только закончится процесс построения мультипланарной реконструкции ОГК, пользователь сможет приступить к созданию виртуальной модели легких. Однако для этого ему потребуется использовать другие команды и службы, которые отличаются от ПО Mimics inPrint.

В интерфейсе программы нужно найти и активировать вкладку «ADVANCED SEGMENT». Далее потребуется активировать пиктограмму с текстовым обозначением «Segment Airway» и нажать на кнопку «Start». После активации кнопки «Start» программный курсор мыши будет преобразован в виртуальный карандаш, с помощью которого необходимо на любой из проекций мультипланарной реконструкции ОГК (желательно выбрать фронтальную проекцию) идентифицировать просвет трахеи и совершить нажатие левой клавишей мыши сначала в область ее начального расположения (уровень VII шейного позвонка), затем в область карины (уровень V грудного позвонка). Данные действия позволят сформировать предварительную компьютерную модель ТБД и в последующем надстроить на нее легочную ткань.

По завершении процедуры создания предварительной модели ТБД в ПО появится дополнительное окно с предложением начать расчет построения окончательной модели ТБД, для этого потребуется нажать на кнопку «Calculate Part...»

Когда программный комплекс закончит осуществлять математические расчеты, исследователю можно будет инициировать службу «New Centerline Label» во вкладке «ADVANCED SEGMENT» с целью формирования опорных точек построения легочной ткани. Программа запросит у пользователя согласие на данную процедуру и создаст второстепенное окно, в котором потребуется выбрать готовую модель ТБД с названием по умолчанию «Airway 1». Далее необходимо нажать на кнопку «Next», затем на кнопку «Apply».

Запуск реконструкции легочной ткани на основе имеющихся опорных точек ТБД осуществляется с помощью службы «Segment Lung and Lobes» в той же вкладке, указанной выше. После запуска службы «Segment Lung and Lobes» пользователю необходимо выбрать модель ТБД с опорными точками (название по умолчанию «Centerline 1») и далее нажать на функциональную кнопку, расположенную ниже, «Next».

ПО начнет обчислять месторасположение легочных сегментов и долей. По завершении этой процедуры Mimics Medical воссоздаст трехмерную модель легких и ТБД с обозначением междолевых борозд и цветовым картированием легочных долей.

Так как исследователю потребуется использование цельной модели, а после окончания работы службы «Segment Lung and Lobes» все легочные доли и ТБД будут находиться в изолированном друг от друга состоянии, необходимо запустить службу под названием «Merge» во вкладке «3D TOOL».

Инициировав работу службы «Merge», пользователь должен выбрать все зоны интереса (названия зон интереса по умолчанию – «Airway 1», «Right lung 3D object», «Left lung 3D object») и нажать на кнопку «Ok».

Когда служба «Merge» закончит свою работу, во вкладке «FILE» потребуется выбрать службу «Export», далее – формат «Binary STL...» Откроется дополнительное окно, где необходимо кликнуть левой клавишей мыши на раздел «Part», выделить созданную объединенную модель легких под названием по умолчанию «Merge_of_Airway_1», нажать последовательно на кнопку «Add» и далее на кнопку «Finish», предварительно убедившись в корректности заранее выбранной папки сохранения готовой модели легких в формате STL.

Результаты

Используя внутреннюю математическую функцию «Log», встроенную в ПО Mimics inPrint и Mimics Medical, а также функцией ОС «Свойства», раздел «Общие», подраздел «Размер», мы выяснили затраченное время на создание виртуальных моделей легких исследуемого больного деструктивной формой туберкулеза верхней доли левого легкого и их цифровой размер.

Для ПО Mimics inPrint это время составило (учитывался промежуток времени между началом экспорта DICOM-пакета и завершением работы службы «Prepare Print») 2 мин, размер модели – 125 мегабайт.

Для ПО Mimics Medical это время составило (учитывался промежуток времени между началом экспорта DICOM-пакета и завершением работы службы «Export») 7 мин и 17 с, размер модели – 26,1 мегабайта.

Наиболее практичным программным комплексом для виртуальных реконструкций легких оказался Mimics inPrint.

Обсуждение

Следует обратить внимание читателя на тот факт, что реконструкция легочной ткани осуществлялась специалистом с опытом работы в аддитивном производстве. Пользователю, не обладающему достаточным уровнем компетенций в данной сфере, по мнению авторов, потребуется затратить больше времени для воспроизводства виртуальных моделей легочной ткани.

Полученные результаты, а именно меньшие временные затраты в ПО Mimics inPrint по сравнению с ПО Mimics Medical, следует интерпретировать следующим образом. Mimics Medical позиционируется компанией-разработчиком как инженерно-прикладное ПО, ориентированное на планирование и реализацию передовых исследований и разработок, связанных с виртуальным проектированием сложной анатомии человека. Для развертывания, отладки и работы с ПО Mimics Medical может потребоваться участие инженера-программиста. Простому доктору будет сложно сориентироваться в массивности интерфейса и более запутанной методологии виртуальной реконструкции ПО Mimics Medical. ПО Mimics inPrint, с точки зрения производителя, максимально адаптировано для рутинной деятельности медицинского персонала, что позволяет в сжатые сроки осуществить его настройку и ввод в эксплуатацию фактически без участия технического эксперта. Поэтому процедуру формирования виртуальных моделей легких или иных структур, где не требуется выполнение сложных математических расчетов, лучше осуществлять в программном комплексе Mimics inPrint. Дополнительно в пользу ПО Mimics inPrint важно вспомнить ранее указанные системные требования. Большинство учреждений здравоохранения, особенно бюджетных, не обладает достаточным материально-техническим уровнем развития, который позволил бы им организовать запуск ПО Mimics Medical на компьютерах врачей, расположенных в ординаторских. По опыту работы авторов, даже при наличии достаточных вычислительных мощностей, которыми располагает клиническая база, препятствием для установки любого из рассмотренных комплексов (не учитывая

вопросы лицензирования) может явиться постепенное внедрение (по государственному контракту) во многие поликлиники и стационары ОС, основанных на ядре Linux, например «АЛБТ 8 СП».

Размер (в мегабайтах) полученных виртуальных моделей легких в формате STL после применения функции ОС «Свойства» (раздел «Общие», подраздел «Размер») оказался так же различен, как и время формирования виртуальных моделей.

Созданная виртуальная модель легких после ее экспорта в формат STL в ПО Mimics inPrint обладала размером 125 мегабайт, а в ПО Mimics Medical – 26,1 мегабайта. Эта разница объясняется применением функции «Solid Part» в программном комплексе Mimics inPrint, в отличие от Mimics Medical, где она не использовалась. Функция «Solid Part», как уже сказано ранее, подразумевает под собой заполнение модели, т.е. программное удаление внутренних пустот. Эта функция практически не влияет на завуалирование полостей деструкций при изучаемой патологии, а лишь способствует упрочнению будущей тактильной модели легких при ее производстве на 3D-принтере, т.е. модель в ПО Mimics Medical реконструировалась по принципу «Hollow Part» – без программного удаления внутренних пустот, что способствовало меньшему итоговому размеру на накопителе компьютера. В случае, если пользователь или исследовательская группа решат распечатать на 3D-принтере готовые виртуальные модели легких, при использовании функции «Solid Part» (ПО Mimics inPrint) достоверно увеличится расход полимерного филамента.

При всех указанных достоинствах программных комплексов бельгийской компании Materialise их главный минус – ценовая политика компании и доступность на российском рынке. Компания Materialise не имеет в РФ собственных офисов. Продажей лицензий занимаются дилеры, которые предлагают запросить цену, но публично ее не указывают. Они, в свою очередь, сотрудничают с компанией-разработчиком – поставщиком лицензий. Поэтому при покупке лицензии выгоднее обращаться напрямую к производителю, минуя посредников. Из личного опыта авторов: при попытке наладить контакт с представителями компании Materialise в 2020 г. с помощью формы обратной связи, представленной на их интернет-сайте, ответа не последовало. Авторы писали на русском и английском языках дважды. Адрес электронной почты для получения ответа представителем компании Materialise, который указан в форме обратной связи, располагался в российском домене с расширением «.RU». Однако после того, как написали цифровое письмо на адрес электронной почты бельгийского офиса компании на немецком языке с электронной почтой, находившейся в домене с расширением «.NET», на связь вышел консультант данной организации. На вопрос о возможности приобретения ПО или предоставления бесплатного пробного периода консультант заявил, что компания Materialise не может создать пробную лицензию без потенциального использования их ПО в будущем, а также без его покупки. Продажа лицензии может быть осуществлена исключительно учреждениям, а не частным лицам. Цена лицензии не оглашалась. Лицензия для проведения этого исследования на ПО Mimics inPrint и Mimics Medical предоставлена авторам на безвозмездной основе фирмой ООО «Нижновпринт». В связи со сложившейся геополитической ситуацией, политикой санкций и отсутствием конкретных особенностей поведения со стороны компании-разработчика говорить о возможности дальнейшего продления лицензии затруднительно.

Безусловно, изученные программы не являются альтернативными для обработки данных КТИ ОГК при наличии потребности в виртуализации. На рынке представлено множество неплохих аналогов, и исследователь вправе самостоятельно выбирать, опираясь на свою прак-

тическую подготовку и материально-технические возможности своего учреждения. В качестве примера рассмотрим ПО InVesalius и Vesalius3D.

ПО InVesalius (разработчик Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, Бразилия) распространяется в сети Интернет на основе стандартной общественной лицензии (GNU GPLv2), т.е. бесплатно. В данном аспекте InVesalius обладает весомым преимуществом перед ПО Mimics inPrint и ПО Mimics Medical. Однако ПО InVesalius имеет архаичный интерфейс и менее гибкие настройки, чем у конкурента в лице компании Materialise. В то же время InVesalius неплохо справляется с виртуализацией многих органов и тканей, хотя и делает это не так точно, как, например, Mimics Medical (после завершения процедуры виртуализации может сохраниться большое количество артефактов). Следует отметить, что разработчик ПО InVesalius преследовал главную цель – создать продукт, который позволит клиникам Бразилии оптимизировать процедуры социальной интеграции граждан с тяжелыми деформациями лица. По этой причине «вотчина» ПО InVesalius – это ткани с высокой рентгенологической плотностью, с легочной тканью ПО InVesalius работает неудовлетворительно.

ПО Vesalius3D (разработчик PS-Medtech, Нидерланды) больше похоже на ПО от компании Materialise. Vesalius3D, в отличие от InVesalius, распространяется на платной основе. Производителем предусмотрена возможность использования пробного периода для оценки всех функций ПО Vesalius3D. Ранее компания-разработчик активно распространяла студенческие лицензии по цене не более 6 евро в месяц, когда аналогичная коммерческая лицензия для физических лиц предлагалась по цене от 65 евро в месяц. В настоящее время разработчик ПО Vesalius3D отказался от подобного рода лицензий (вероятно, исходя из социально-экономических соображений). ПО Vesalius3D позиционируется на рынке как высококачественный инструмент, способный обеспечить пользователю возможность виртуальной навигации и трехмерной визуализации. Из личного опыта авторов, ПО Vesalius3D неплохо справлялось с цифровой обработкой легочной ткани, но адекватно сформировать модель для печати на 3D-принтере без использования сторонних программ не удавалось. К основным преимуществам ПО Vesalius3D следует отнести великолепную возможность осуществления виртуальной эндоскопии и работа в паре со специальной станцией для создания дополненного пространства (стереовизуализации).

Заключение

Научный прогресс не стоит на месте. Это утверждение применимо не только для технических отраслей наук, но и для медицины. В арсенале фтизиатрии появились за последние десятилетия весьма значимые технологии диагностики и лечения туберкулеза. Следует иметь в виду, что виртуальная реконструкция анатомических объектов, как и ее ближайший аналог – материальная реконструкция, не являются для науки чем-то новым и неизученным. Однако широкого распространения и внедрения этих методик в отечественную пульмонологическую и фтизиатрическую практику пока не наблюдается.

Виртуальная реконструкция легких призвана, по мнению авторов, помочь практикующим специалистам лучше понять не только своего пациента, но и его болезнь. Виртуальная реконструкция позволяет неинвазивным способом детально изучить синтопию органов и тканей, оценить масштабность патологических изменений, увидеть расположение полостей распада, отработать пути планируемого малоинвазивного или хирургического вмешательства и т.д. Изученные программные комплексы справились с поставленной перед ними целью демонстрации их возможностей и оценки трудозатрат на проведение виртуализации. На-

более понятным и перспективным программно-прикладным комплексом для использования в повседневной клинической практике оказался Mimics inPrint 2.0.0.159.

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

Disclosure of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. А.Г. Наумов – концепция и дизайн исследования, написание текста; А.С. Шпрыков – редактирование текста; Д.А. Сулягина, Е.С. Гринин – сбор и обработка материала.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. A.G. Naumov – concept and design of the study, writing the text; A.S. Shprykov – text editing; D.A. Sutyagina, E.S. Grinin – collection and processing of the material.

Соответствие принципам этики. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом. Одобрение и процедуру проведения протокола получали по принципам Хельсинкской конвенции.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee. The approval and procedure for the protocol were obtained in accordance with the principles of the Helsinki Convention.

Источник финансирования. Работа выполнена за счет средств ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России в рамках подготовки диссертационного исследования. Лицензия на программное обеспечение предоставлена авторскому коллективу на безвозмездной основе компанией ООО «Нижновпринт».

Funding source. The work was carried out at the expense of the Privolzhsky Research Medical University as part of the preparation of a thesis research. The software license was granted to the team of authors free of charge by Nizhnovprint LLC.

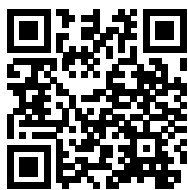
Литература/References

1. Васильева И.А., Тестов В.В., Стерликов С.А. Эпидемиологическая ситуация по туберкулезу в годы пандемии COVID-19 – 2020–2021 гг. *Туберкулез и болезни легких*. 2022;100(3):6-12 [Vasil'eva IA, Testov VV, Sterlikov SA The epidemiological situation of tuberculosis during the COVID-19 pandemic – 2020–2021. *Tuberkulez i bolezni legkikh*. 2022;100(3):6-12 (in Russian)]. DOI:10.21292/2075-1230-2022-100-3-6-12
2. Ширипей В.Н. Персонализированная медицина – это медицина будущего. В: Экосистемы Центральной Азии: исследование, сохранение, рациональное использование: материалы XV Убсунурского международного симпозиума, Кызыл, 05–08 июля 2020 г. Красноярск, 2020; с. 430-2 [Shiiripey VN. Personalized medicine is the medicine of the future. In: *Ekosistemy Tsentral'noi Azii: issledovanie, sokhranenie, ratsional'noe ispol'zovanie: Materialy XV Ubsunurskogo mezhdunarodnogo simpoziuma, Kyzyl, 05–08 iyulia 2020 g. Krasnoiar'sk*, 2020; p. 430-2 (in Russian)].
3. Белялов Ф.И. Есть ли будущее у персонализированной медицины? *Клиническая медицина*. 2014;92(9):73-4 [Belyalov FI. Is there a future for personalized medicine? *Klinicheskaya meditsina*. 2014;92(9):73-4 (in Russian)].
4. Бердникова Е.Ф. Инновационное развитие здравоохранения. *Вестник Казанского технологического университета*. 2012;15(11):300-5 [Berdnikova EF. Innovative healthcare development. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012;15(11):300-5 (in Russian)].
5. Боркова Е.А., Наполова Е.А., Орлов Е.Р. Проблемы развития и внедрения инноваций в здравоохранении в России. *Креативная экономика*. 2019;13(7):1495-502 [Borkova EA, Napolova EA, Orlov ER. Problems of development and implementation of innovations in healthcare in Russia. *Kreativnaia ekonomika*. 2019;13(7):1495-502 (in Russian)]. DOI:10.18334/ce.13.7.40833
6. Васильева И.А., Стерликов С.А., Паролина Л.Е., и др. Проблемы кадрового обеспечения противотуберкулезной службы врачами-фтизиатрами. *Туберкулез и болезни легких*. 2022;100(6):7-14 [Vasil'eva IA, Sterlikov SA, Parolina LE, et al. Problems of staffing the anti-tuberculosis service by phthisiatricians. *Tuberkulez i bolezni legkikh*. 2022;100(6):7-14 (in Russian)]. DOI:10.21292/2075-1230-2022-100-6-7-14
7. Erokhin VV. The achievements and the way of innovative development of Phthisiology. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2012;67(11):4-8 [Erokhin VV The achievements and the

- way of innovative development of Phthysiology. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2012;67(11):4-8 (in Russian). DOI:10.15690/vramn.v67i11.464
8. Леонов С.В. Использование метода компьютерной томографии при судебно-медицинской идентификации личности. *Судебная медицина*. 2020;6(4):41-5 [Leonov SV. The use of the method of computed tomography in forensic identification of a person. *Sudebnaia meditsina*. 2020;6(4):41-5 (in Russian)]. DOI:10.19048/fm339
 9. Филатова Е.А., Скорняков С.Н., Медвинский И.Д., и др. Применение технологии 3D-моделирования органов грудной клетки для повышения эффективности диагностических вмешательств во фтизиопульмонологии. *Туберкулез и болезни легких*. 2019;97(10):45-52 [Filatova EA, Skorniyakov SN, Medvinskiy ID, et al. The use of 3D modeling technology of the chest organs to improve the efficiency of diagnostic interventions in phthysiology. *Tuberkulez i bolezni legkikh*. 2019;97(10):45-52 (in Russian)]. DOI:10.21292/2075-1230-2019-97-10-45-52
 10. 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 легких*. 2020;98(6):47-51 [Borodulina EA, Kolsanov AV, Rogozhkin PV, Manukyan AA. Application of 3D modeling to determine the parameters of surgical intervention in pulmonary tuberculosis. *Tuberkulez i bolezni legkikh*. 2020;98(6):47-51 (in Russian)]. DOI:10.21292/2075-1230-2020-98-6-47-51
 11. Умаров Н.А., Нурмеев Н.Н., Нурмеев И.Н., и др. Теоретические и практические аспекты использования 3D-печатной и серийной ортопедической стельки у пациентов с симптоматическим плоскостопием. *Вестник медицинского института "РЕАВИЗ": реабилитация, врач и здоровье*. 2019;5(41):97-101 [Umarov NA, Nurmeev NN, Nurmeev IN, et al. Theoretical and practical aspects of using 3D-printed and serial orthopedic insoles in patients with symptomatic flat feet. *Vestnik meditsinskogo instituta "REAVIZ": rehabilitatsiya, vrach i zdorovie*. 2019;5(41):97-101 (in Russian)].
 12. Донник А.М., Иванов Д.В., Коссович Л.Ю., и др. Создание трехмерных твердотельных моделей позвоночника с транспедикулярной фиксацией с использованием специализированного программного обеспечения. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика*. 2019;19(4):424-38 [Donnik AM, Ivanov DV, Kossovich LYU, et al. Creation of 3D solid models of the spine with transpedicular fixation using specialized software. *Izvestia Saratovskogo universiteta. Novaya seriia. Serii: Matematika. Mekhanika. Informatika*. 2019;19(4):424-38 (in Russian)]. DOI:10.18500/1816-9791-2019-19-4-424-438
 13. Филиппов А.А., Успенский В.Е., Грубенко Г.А., и др. Оценка структурных и функциональных особенностей реимплантированного аортального клапана через 18 месяцев после операции David I с использованием методики высокоточного моделирования структур корня аорты. *Российский журнал персонализированной медицины*. 2022;2(3):78-88 [Filippov AA, Uspenskiy VE, Grubenko GA, et al. Evaluation of the structural and functional features of the reimplanted aortic valve 18 months after the David I operation using the technique of high-precision modeling of the structures of the aortic root. *Rossiyskii zhurnal personalizirovannoi meditsiny*. 2022;2(3):78-88 (in Russian)]. DOI:10.18705/2782-3806-2022-2-3-78-88
 14. Рагимов Ч.Р., Фарзалиев И.М., Ахмедов С.Г., Рагимли М.Ч. Реконструкция травматических повреждений нижней стенки орбиты с применением метода виртуального биомоделирования. *OFTALMOLOGIYA*. 2018;1(26):121-7 [Ragimov ChR, Farzaliev IM, Akhmedov SG, Ragimli MCh. Reconstruction of traumatic injuries of the lower wall of the orbit using the method of virtual biomodeling. *OFTALMOLOGIYA*. 2018;1(26):121-7 (in Russian)].
 15. Wang J, Huang Z, Wang F, et al. Materialise's interactive medical image control system (MIMICS) is feasible for volumetric measurement of urinary calculus. *Urolithiasis*. 2020;48(5):443-6. DOI:10.1007/s00240-019-01158-6
 16. Kronig SAJ, Kronig ODM, Zurek M, Van Adrichem LNA. Orbital volume, ophthalmic sequelae and severity in unilateral coronal synostosis. *Childs Nerv Syst*. 2021;37(5):1687-94. DOI:10.1007/s00381-021-05065-3
 17. Huang X, Fan N, Wang HJ, et al. Application of 3D printed model for planning the endoscopic endonasal transsphenoidal surgery. *Sci Rep*. 2021;11(1):5333. DOI:10.1038/s41598-021-84779-5
 18. Li J, Zhang H, Yin P, et al. A New Measurement Technique of the Characteristics of Nutrient Artery Canals in Tibias Using Materialise's Interactive Medical Image Control System Software. *Biomed Res Int*. 2015;2015:171672. DOI:10.1155/2015/171672
 19. Chen T, Que YT, Zhang YH, et al. Using Materialise's interactive medical image control system to reconstruct a model of a patient with rectal cancer and situs inversus totalis: A case report. *World J Clin Cases*. 2020;8(4):806-14. DOI:10.12998/wjcc.v8.i4.806
 20. Копотилова В.Г., Пирус А.В., Крылова А.И. Сравнительный анализ методов создания трехмерной модели из снимков МРТ. В: Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы: Материалы региональной научно-практической конференции студентов и аспирантов, Владивосток, 13–28 декабря 2021 года. Владивосток, 2022; с. 35-9 [Kopotilova VG, Pirus AV, Krylova AI. Comparative analysis of methods for creating a three-dimensional model from MRI images. In: *Nauka, tekhnika, promyshlennoe proizvodstvo: istoriia, sovremennoe sostoianie, perspektivy: Materialy regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i aspirantov, Vladivostok, 13–28 dekabria 2021 goda. Vladivostok, 2022; p. 35-9 (in Russian)*].
 21. Наумов А.Г., Шпрыков А.С., Крюков Э.Р. Опыт использования аддитивных технологий на примере трехмерной реконструкции легких в клинической практике противотуберкулезного диспансера. *Пульмонология*. 2022;32(1):109-17 [Naumov AG, Shprykov AS, Kryukov ER. Experience in the use of additive technologies on the example of three-dimensional reconstruction of the lungs in the clinical practice of an anti-tuberculosis dispensary. *Pulmonologiya*. 2022;32(1):109-17 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2022-32-1-109-117
 22. Materialise Mimics inPrint. System Requirements. Minimum System Requirements. Available at: <https://www.materialise.com/en/medical/software/materialise-mimics-inprint/system-requirements>. Accessed: 09.09.2022.
 23. Materialise Mimics. System Requirements. Minimum System Requirements. Available at: <https://www.materialise.com/en/medical/mimics-innovation-suite/mimics/system-requirements>. Accessed: 09.09.2022.

Статья поступила в редакцию / The article received: 18.01.2023

Статья принята к печати / The article approved for publication: 25.09.2023



OMNIDOCOR.RU