



ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ ВО ФТИЗИОПУЛЬМОНОЛОГИИ*

Е. А. ФИЛАТОВА¹, С. Н. СКОРНЯКОВ¹, И. Д. МЕДВИНСКИЙ¹, А. В. БАЖЕНОВ¹, В. А. ШИБАЕВ², Н. А. ХЛЕБНИКОВ²

¹Уральский НИИ фтизиопульмонологии – филиал ФГБУ «НМИЦ ФПИ» МЗ РФ, г. Екатеринбург, РФ

²Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, РФ

Цель исследования: повышение на основе технологий 3D-навигационного моделирования эффективности интервенционных миниинвазивных вмешательств при диагностике ограниченных диссеминированных и очагово-фокусных поражений легких.

Материалы и методы. Проведено сравнение информативности трансбронхиальной биопсии легких (ТББЛ) с 3D-навигацией и традиционной ТББЛ у 50 пациентов в двух группах. Группа 1 – 20 пациентов с саркоидозом I и II стадий, у которых с помощью 3D-моделирования выстраивалась виртуальная навигационная карта для сопровождения трансбронхиальной биопсии легкого. Группа 2 – 30 пациентов с саркоидозом I и II стадий, которым ТББЛ проводилась по стандартной методике. Информативность ТББЛ оценивали по результатам гистологического исследования биоптатов.

Тестирование разработанной программы позиционирования торакопортов осуществлено у 30 пациентов двух групп, которым предполагалось выполнение биопсии легкого при торакоскопическом миниинвазивном вмешательстве по поводу диссеминированного процесса в легких разного генеза. Основная группа (ОГ) – 10 пациентов, у которых использована разработанная программа для определения точек расположения торакопортов. Контрольная группа (КГ) – 20 пациентов, у которых диагностическое хирургическое вмешательство проводилось по стандартной методике.

Результаты исследования. Реализация технологии позволяет при диссеминированном поражении легких повысить частоту наличия диагностически значимых структур в полученном образце для гистологического исследования при ТББЛ (с 56,3 до 90,0%) и сократить продолжительность диагностических торакоскопических миниинвазивных вмешательств в (с 39,75 до 33,50 мин).

Ключевые слова: диссеминированные поражения легких, трансбронхиальная биопсия легких, миниинвазивные оперативные вмешательства, 3D-моделирование органов грудной клетки

Для цитирования: Филатова Е. А., Скорняков С. Н., Медвинский И. Д., Баженов А. В., Шibaев В. А., Хлебников Н. А. Применение технологии 3D-моделирования органов грудной клетки для повышения эффективности диагностических вмешательств во фтизиопульмонологии // Туберкулез и болезни лёгких. – 2019. – Т. 97, № 10. – С. 45-52. <http://doi.org/10.21292/2075-1230-2019-97-10-45-52>

THE TECHNOLOGY FOR CHEST 3D MODELING AIMED TO INCREASE THE EFFICACY OF DIAGNOSTIC INTERVENTIONS IN PHTHISIOPULMONOLOGY

E. A. FILATOVA¹, S. N. SKORNYAKOV¹, I. D. MEDVINSKIY¹, A. V. BAZHENOV¹, V. A. SHIBAEV², N. A. KHLEBNIKOV²

¹Ural Phthisiopulmonology Research Institute – a Branch of National Medical Research Center of Phthisiopulmonology and Infectious Diseases, Yekaterinburg, Russia

²Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The objective of the study: to increase efficacy of minimally invasive interventions in the diagnosis of limited disseminated and focal pulmonary lesions based on 3D-navigation modeling technologies.

Subjects and methods. The informativeness of transbronchial lung biopsy (TBLB) with 3D navigation and traditional TBLB was compared in 50 patients in two groups. Group 1 included 20 patients with stage I and II sarcoidosis in whom a virtual-navigation map was drawn up using 3D modeling to accompany transbronchial lung biopsy. Group 2 consisted of 30 patients with stage I and II sarcoidosis who underwent standard TBLB. The informativeness of TBLB was evaluated by the results of histological tests of biopsy specimens.

The developed software for positioning thoracoports was tested in 30 patients of two groups who were supposed to undergo lung biopsy with a thoracoscopic minimally invasive intervention for disseminated pulmonary lesions of various genesis. The main group (MG) included 10 patients in whom the developed software was used to determine the location points of the thoracoports. The control group (CG) consisted of 20 patients in whom diagnostic surgery was performed as per standard methods.

Results. In the case of disseminated pulmonary lesions, this technology allows increasing the frequency of the presence of diagnostically significant structures in the specimen obtained by TBLB for histological examination (from 56.3 to 90.0%) and reducing the duration of diagnostic thoracoscopic minimally invasive interventions (from 39.75 to 33.50 min.).

Key words: disseminated lung lesions, transbronchial lung biopsy, minimally invasive surgery, 3D modeling of chest organs

For citations: Filatova E.A., Skorniyakov S.N., Medvinskiy I.D., Bazhenov A.V., Shibaev V.A., Khlebnikov N.A. The technology for chest 3D modeling aimed to increase the efficacy of diagnostic interventions in phthisiopulmonology. *Tuberculosis and Lung Diseases*, 2019, Vol. 97, no. 10, P. 45-52. (In Russ.) <http://doi.org/10.21292/2075-1230-2019-97-10-45-52>

* Авторы выражают признательность врачу-эндоскописту А. С. Цвиренко за оказанную помощь при апробации данной программы.

Несмотря на очевидный прогресс в диагностике болезней органов дыхания, сохраняются трудности определения нозологической принадлежности процессов, проявляющихся рентгенологически ограниченным диссеминированным и очагово-фокусным поражением легких (ДПЛ) [1, 5, 8, 10, 15-17]. Необходимость исключить в первую очередь туберкулезную природу патологического процесса определяет активное участие фтизиатрической службы в решении этой сложной междисциплинарной задачи (приказ МЗ РФ № 932н от 15.11.2012 г.). Сходство клинико-рентгенологических проявлений у пациентов с ДПЛ в 40-80% случаев требует морфологической верификации процесса.

Предпочтение отдается миниинвазивным технологиям забора образцов для гистологического исследования: трансбронхиальной биопсии легких (ТББЛ) и биопсии легких из торакоскопического доступа [2, 3, 7]. Каждый из этих методов имеет свои недостатки: при ТББЛ биоптат может не содержать диагностически значимый материал, так как имеет малый размер и может быть получен из неповрежденного участка легкого при отсутствии контроля или осуществления его лишь в одной плоскости. При торакоскопическом вмешательстве для получения образца из очага поражения могут возникать трудности по расстановке торакопортов, обеспечивающих точность введения хирургических инструментов и достаточный объем их перемещений.

Одним из решений задач по улучшению навигации при выполнении биопсий при ДПЛ является использование 3D-моделирования органов грудной клетки [4, 6, 9, 11-14, 18]. В настоящее время идет разработка программ, отслеживающих движение бронхоскопа в реальном времени, используя видеозображение и сопоставляя его с рентгеновской компьютерной томографией, выполненной заранее [11-14, 18].

Однако эти программы направлены на диагностику одиночных периферических образований и патологии прикорневых лимфатических узлов. Для повышения диагностической значимости и безопасности трансторакальной биопсии используется навигация с помощью мультисрезовой компьютерной томографии (МСКТ).

По данным ряда исследователей, трансторакальная игловая гистобиопсия легких под МСКТ-навигацией у больных ДПЛ обеспечивает высокую частоту морфологической верификации [8, 10, 15]. Однако этот метод технологически сложен и сопровождается высокой лучевой нагрузкой на пациента и врача.

Другим направлением повышения частоты получения диагностически значимого образца для гистологического исследования может являться

3D-навигационная карта на основе МСКТ, выполненная совместно с сотрудниками кафедры интеллектуальных информационных технологий Института фундаментального образования Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург.

Цель исследования: повышение на основе технологий 3D-навигационного моделирования эффективности интервенционных миниинвазивных вмешательств при диагностике ограниченных диссеминированных и очагово-фокусных поражений легких.

Материалы и методы

Для повышения вероятности получения диагностически значимого материала при ТББЛ и торакоскопических миниинвазивных вмешательствах у пациентов с ограниченным диссеминированным или очаговым поражением легких были разработаны программы на платформе MeVisLab¹, работающие по алгоритму, представленному на рис. 1.

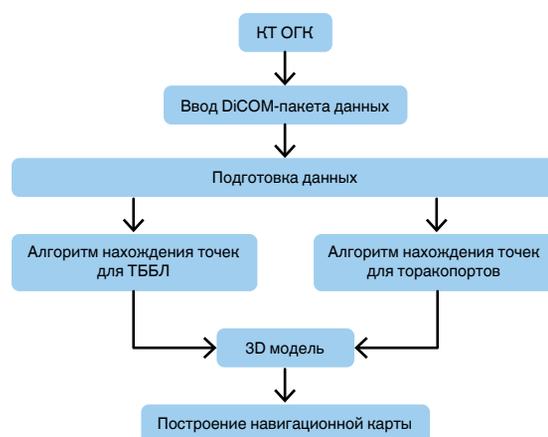


Рис. 1. Блок-схема алгоритма использования DICOM-пакета файлов по результатам рентгенологического исследования больного (МСКТ ОГК)

Fig. 1. The block diagram of the algorithm for using the DICOM package of files as per the results of an X-ray examination of the patient (Chest MSCT)

Выбор места для проведения ТББЛ при ДПЛ (расчет длины выдвижения биопсийных щипцов после выхода из канала бронхоскопа до места забора материала)

Для создания трехмерной модели легких используются данные DICOM-пакета, полученные в результате компьютерной томографии, с последующим преобразованием их в объемное 3D-изображение. КТ-данные загружаются в программу для по-

¹ MeVisLab представляет собой платформу для обработки изображений исследования и развития с акцентом на медицинской визуализации, позволяющую проводить быструю интеграцию и тестирование новых алгоритмов, разработку прототипов приложений, которые могут быть использованы в клинических условиях.

строения трехмерной реконструкции легких. Затем с помощью разработанной программы выделяются элементы диссеминации в легких (рис. 2).

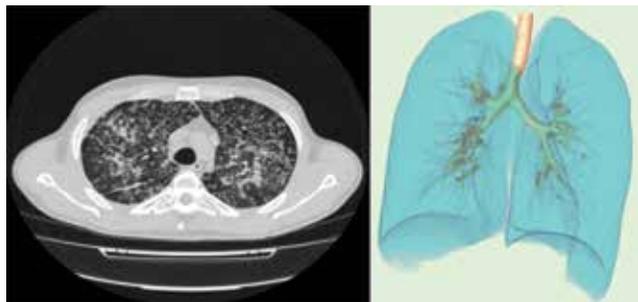


Рис. 2. Преобразование КТ-данных в формате DICOM в 3D-модель органов грудной клетки

Fig. 2. Conversion of CT data in DICOM format into a 3D chest model

Для удобства восприятия выделенные патологические элементы можно рассмотреть совместно с полупрозрачным ореолом легких и элементами бронхиального дерева в черно-белом или цветном вариантах (рис. 3).

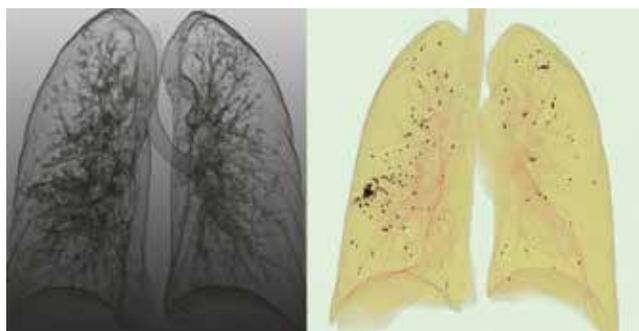


Рис. 3. 3D-модель легких с элементами диссеминации в черно-белом или цветном вариантах

Fig. 3. 3D-model of the lungs with elements of dissemination in black and white or color versions

В рамках построения навигационной карты выделяется бронхиальное дерево, в котором с помощью созданного нами программного продукта визуализируется только та часть бронхов, которая проходила для фибробронхоскопа. Эта же программа выделяет и добавляет к модели элементы диссеминации и границы легкого, что позволяет увидеть и рассчитать расстояние до наиболее пораженного участка в легком. Врачу необходимо поставить метку в точке, из которой он будет выдвигать биопсийные щипцы, и метку на месте наибольшего скопления элементов диссеминированного поражения. Программа автоматически определяет направление движения и расстояние, на которое необходимо продвинуть биопсийные щипцы после их выхода из канала бронхоскопа. Бронхиальное дерево, легкие, костные структуры и очаги поражения отображаются в трехмерном виде. Имеется возможность передвигать, вращать и изменять масштаб трехмерной модели.

Таким образом, программа позволяет создать виртуальный маршрут движения фибробронхоскопа по трахеобронхиальному дереву и рассчитать траекторию биопсийных щипцов (рис. 4) в следующей последовательности:

- 1) выбирается субсегментарный бронх, через который наиболее вероятно достижение зоны наибольшей плотности расположения очагов – места забора материала;
- 2) рассчитывается длина выдвигания щипцов от устья субсегментарного бронха до места забора материала.

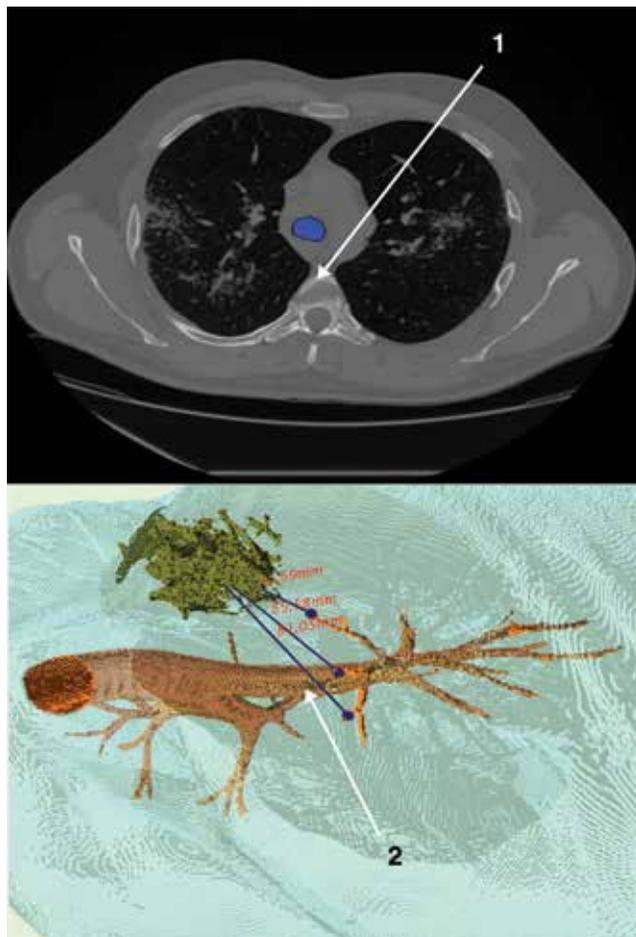


Рис. 4. Расчет дальности и траектории движения биопсийных щипцов;

1 – трахея; 2 – субсегментарная ветвь переднего базального бронха

Fig. 4. Calculation of the immersion depth and the trajectory of the biopsy forceps;

1 – trachea; 2 – subsegmental branch of the anterior basal bronchus

Определение точек расположения торакопортов на поверхности грудной клетки при торакоскопических миниинвазивных оперативных вмешательствах

Для определения точек позиционирования торакопортов на поверхности грудной клетки за основу берутся три параметра: угол операционного действия, толщина мягких тканей в месте введения инструмента и расположение костей скелета (рис. 5).

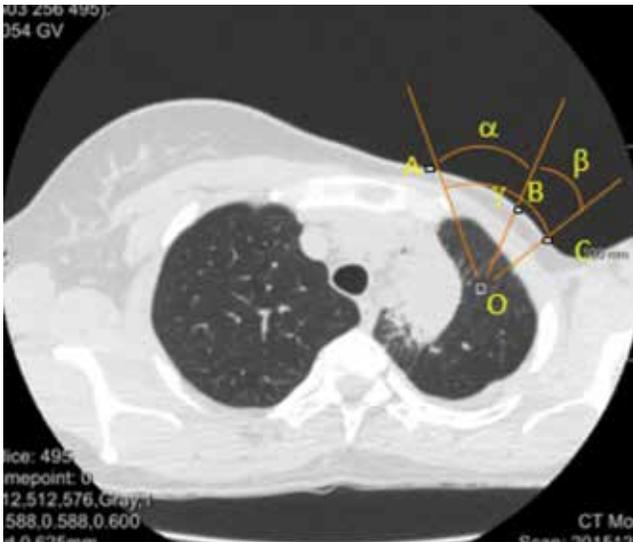


Рис. 5. Определение точек позиционирования торакопортов

Fig. 5. Identification of thoracoport positioning points

С учетом этого нами разработана программа, которая может определять точки позиционирования торакопортов при торакоскопических операциях, выполняющихся через 3 торакопорта. Доступы для торакопортов должны располагаться таким образом, чтобы угол операционного действия в нужной точке операции составлял от 25 до 60°. Причем углы АОВ, АОС, ВОС между инструментами, введенными в каждый из трех торакопортов на грудной клетке, и предполагаемой точкой операционного вмешательства должны быть не менее 60° (рис. 5). Существует возможность, что по данному признаку найдется несколько вариантов позиционирования торакопортов. Для этого применяется второй критерий – толщина мягких тканей. Из всех возможных позиций предпочтение получит та, где суммарная толщина мягких тканей, проходимых каждым инструментом, будет наименьшей.

В ранее созданных системах пользователю приходится отмечать возможные области введения торакопортов. Преимущество нашей программы в том, что она позволяет выбрать несколько вариан-

тов расположения торакопортов или областей для оперирования. В программе есть этап определения органов грудной клетки, создается полигональная сетка, сортируются точки вершин полигонов по слоям, выделяются очертания костных структур (рис. 6). Таким образом, создается 3D-модель органов грудной клетки.

По внешнему контуру ведется поиск ближайшей точки к месту забора материала (рис. 7).

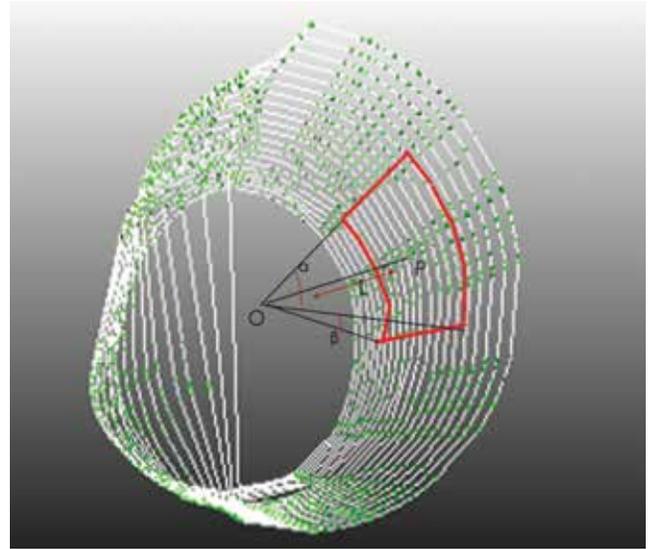


Рис. 7. Ограничение области поиска: O – точка забора материала, P – ближайшая точка к точке O , α и β – горизонтальный и вертикальный углы соответственно равны 120°

Fig. 7. Search area limits: O is the point for the sample collection, P is the nearest point to the point O , α and β are horizontal and vertical angles of 120° respectively

Ближайшая точка берется из тех соображений, что область оперативного вмешательства, обозначим ее как множество M_1 ($M_1 \in M$), где \in – принадлежность к множеству, должна быть максимально приближена к грудной клетке. Область поиска ограничивается горизонтальным углом α (вокруг оси Z) и вертикальным углом β (вокруг оси Y), образуя-

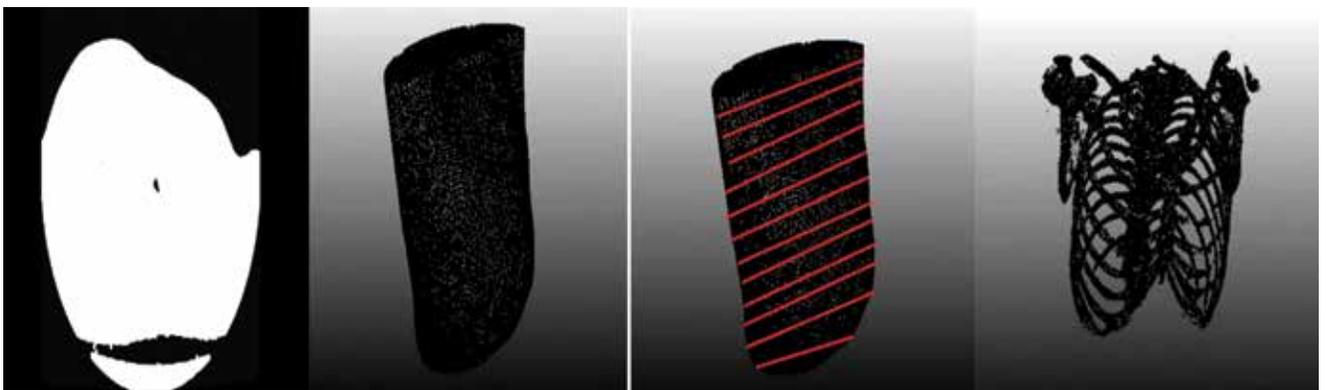


Рис. 6. Подготовка данных

Fig. 6. Data preparation

щих прямоугольную область. С практической точки зрения оперативное вмешательство будет выполняться в более комфортных для хирурга условиях при значениях углов α и β от 60° до 120° . Для реализации задачи был выбран угол 120° . Так как множество M в программной реализации представлено как равномерно распределенные точки, то для нахождения множества M_1 достаточно найти индексы начальных и конечных слоев и углов. Вывод на экран показан на рис. 8.

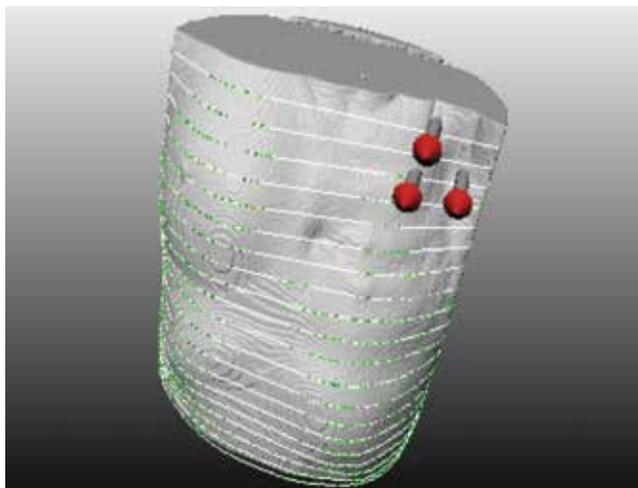


Рис. 8. Результат работы программы

Fig. 8. The software output result

Реализован удобный пользовательский интерфейс, в котором, в отличие от ранее предложенных [1], количество пользовательских действий сокращено до минимума. Пользователю не нужно выделять области предположительного ввода торакопортов.

Пользовательские действия для получения результатов можно описать в 2 шагах: 1) загрузить изображения КТ в формате DICOM; 2) кликнуть мышью в области предполагаемого взятия образца ткани легкого.

При выделении врачом точки взятия образца легкого программа запускает алгоритм поиска оптимального расположения торакопортов. Программа работает на компьютере со следующими минимальными характеристиками: процессор от 2,0 ГГц и выше; оперативная память от 8 Гб; место на жестком диске – 100 Мб; операционная система Windows 7, 8, 10. Продолжительность работы программы составила в среднем 1,7 с. Быстрая скорость и интерактивность программы позволяют врачу выбрать наиболее оптимальный вариант расположения торакопортов.

Для определения эффективности и удобства работы программа протестирована в клинике. Добровольное информированное согласие на проведение биопсии легкого было получено от каждого из пациентов.

Для сравнения информативности ТББЛ с 3D-навигацией и традиционной ТББЛ было проведено исследование у 50 пациентов в двух группах.

Пациенты групп 1 и 2 сопоставимы по основной и сопутствующей патологии, среднему возрасту ($40,7 \pm 10,5$ года) и гендерному составу.

Группа 1 – 20 пациентов с саркоидозом I и II стадий, у которых с помощью 3D-моделирования выстраивалась виртуальная навигационная карта для сопровождения ТББЛ.

Группа 2 – 30 пациентов с саркоидозом I и II стадий, которым ТББЛ проводилась по стандартной методике.

Информативность ТББЛ оценивали по результатам гистологического исследования биоптатов.

Тестирование разработанной программы позиционирования торакопортов проводилось у 30 пациентов двух групп, которым предполагалось выполнение биопсии легкого при торакоскопическом миниинвазивном вмешательстве по поводу ДПЛ разного генеза.

Основная группа (ОГ) – 10 пациентов, у которых использована наша программа для определения точек расположения торакопортов.

Контрольная группа (КГ) – 20 пациентов, у которых диагностическое хирургическое вмешательство проводилось по стандартной методике.

При сравнении результатов в ОГ и КГ учитывались такие показатели, как продолжительность оперативного вмешательства, величина кровопотери, частота гистологической верификации процесса в полученном биоптате легкого.

Дизайн исследования: открытое, проспективное, нерандомизированное, когортное.

Статистическая обработка проводилась с помощью пакета программ для Windows XP, Biostat 2009 Professional.

Для определения статистической значимости разницы между группами использовали: критерий хи-квадрат (χ^2) Пирсона с поправкой Йейтса, t-критерий Стьюдента. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования

Для сравнения информативности традиционной ТББЛ и ТББЛ с 3D-навигацией у пациентов с ДПЛ проанализированы гистологические заключения, результаты представлены в табл. 1.

Как следует из табл. 1, при использовании виртуальной навигации при ТББЛ биоптат легкого, при гистологическом исследовании которого был поставлен диагноз гранулематозного воспаления, получен у 18/20 пациентов. В группе 2 (при традиционной ТББЛ) информативность ТББЛ была статистически значимо ($p < 0,01$) ниже у 16/30 (56,3%) пациентов.

Для сравнения результатов эмпирической и программной технологий определения позиций торакопортов на грудной клетке для миниинвазивных диагностических операций проанализированы данные 30 пациентов в ОГ и КГ и представлены в табл. 2.

Таблица 1. Информативность традиционной ТББЛ и ТББЛ с 3D-навигацией у пациентов с ДПЛ

Table 1. The informational value of traditional TBLB and TBLB with 3D navigation in patients with disseminated pulmonary lesions

| Наличие диагностически значимых изменений в биоптате легкого | Число пациентов | | | | Значимость различий, χ^2 |
|--|---|------------|--------------------------------------|------------|-------------------------------|
| | ТББЛ с 3D-навигацией (группа 1, n = 20) | | Традиционная ТББЛ (группа 2, n = 30) | | |
| | абс. | % | абс. | % | |
| Да | 18 | 90,0 ± 6,7 | 16 | 56,3 ± 9,1 | $p < 0,01$ |
| Нет | 2 | 10,0 ± 6,7 | 14 | 46,7 ± 9,1 | $p < 0,01$ |

Таблица 2. Сравнение данных пациентов в группах с использованием программной технологии определения позиций торакопортов на грудной клетке и без нее

Table 2. Comparison of patient data in groups with the use of software for determining the position of thoracoports on the chest and without it

| Критерии | Основная группа. Программная технология+ (n = 10) | Контрольная группа (n = 20) | Значимость различий |
|--|---|-----------------------------|-------------------------|
| Верификация диагноза, абс. (%) | 10 (100%) | 20 (100%) | |
| Длительность оперативного вмешательства, мин | 33,5 ± 2,8 | 39,75 ± 3,20 | |
| Кровопотеря во время операции, мл | 30,50 ± 15,71 | 27,75 ± 11,97 | |
| Мнение автора относительно удобства расположения манипуляторов | Удобно – 9 Неудобно – 1 | Удобно – 9 Неудобно – 11 | $p < 0,05$ (χ^2) |

Морфологическая верификация процесса была получена у всех пациентов обеих групп. Объем кровопотери в обеих группах статистически значимо не различался. Длительность оперативного вмешательства в ОГ была статистически значимо меньше ($p < 0,01$), чем у пациентов КГ, и составила $33,5 \pm 2,8$ мин.

Выводы

1. Разработанная технология навигационно-го 3D-моделирования органов грудной клетки позволяет улучшить выбор зоны для ТББЛ, статистически значимо повысив ее эффективность (с 56,3 до 90%) при диссеминированных и очагово-фокусных поражениях легких.

2. Разработанная технология навигационного 3D-моделирования органов грудной клетки позволяет хирургу определить наилучшее расположение торакопортов для оперативного доступа с учетом антропометрических характеристик пациента и расположения патологических изменений в легких при ДПЛ. Реализация технологии статистически значимо сокращает длительность оперативного вмешательства с 39,75 до 33,5 мин.

3. Программы работают со стандартным DICOM-пакетом, полученным в результате проведения МСКТ, не требовательны к оборудованию – устанавливаются на персональном компьютере. Отсутствует необходимость дополнительного обследования пациента. Результаты выводятся в графическом и текстовом виде. Создан удобный пользовательский интерфейс. Время расчета составляет в среднем 1,7 с.

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. Авдеев С. Н. Идиопатический легочный фиброз // Пульмонология. - 2015. Т. 25, № 5. - С. 600-609.
2. Амосов В. И. Лучевая диагностика редких интерстициальных заболеваний легких // Торакальная радиология: Сб. трудов конгресса. - СПб., 2012. - С. 222-226.
3. Амосов В. И., Сперанская А. А. Лучевая диагностика интерстициальных заболеваний легких. - СПб., 2015. - С. 8-47.
4. Андреева А. Д., Маркина С. Э. Обзор программ для визуализации медицинских данных // Молодой ученый. - 2013. - № 3. - С. 512-516.
5. Ершова К. И., Терпигорев С. А., Кузмичев В. А., Мазурин В. С., Шабаров В. Л. Оценка эффективности различных методов биопсии легкого внутригрудных лимфоузлов при саркоидозе // Альманах клинической медицины. - 2011. - № 25. - С. 41-47.
6. Зайцев Н. Н., Маркина С. Э., Филатова Е. А. Симулятор выбора места забора материала при проведении трансбронхиальной биопсии при диссеминированных поражениях легких [Электронный ресурс]// Международный студенческий научный вестник. 2014г. URL: <http://www.scienceforum.ru/2014/pdf/1657.pdf> (дата обращения: 12.12.2015 г.)

REFERENCES

1. Avdeev S.N. Idiopathic pulmonary fibrosis. *Pulmonologiya*, 2015, vol. 25, no. 5, pp. 600-609. (In Russ.)
2. Amosov V.I. *X-ray diagnosis of rare interstitial pulmonary diseases. Torakalnaya radiologiya: Sb. трудов kongressa.* [Thoracic radiology. Congress Abst. Book]. St. Petersburg, 2012, pp. 222-226. (In Russ.)
3. Amosov V.I., Speranskaya A.A. *Luchevaya diagnostika interstitsialnykh zabolevaniy legkikh.* [X-ray diagnosis of interstitial pulmonary diseases]. St. Petersburg, 2015, pp. 8-47.
4. Andreeva A.D., Markina S.E. Review of software of medical data visualization. *Molodoy Ucheny*, 2013, no. 3, pp. 512-516. (In Russ.)
5. Ershova K.I., Terpigorev S.A., Kuzmichev V.A., Mazurin V.S., Shabarov V.L. Evaluation of efficacy of various methods of lung and chest nodes biopsy in case of sarcoidosis. *Almanakh Klinicheskoy Meditsiny*, 2011, no. 25, pp. 41-47. (In Russ.)
6. Zaytsev N.N., Markina S.E., Filatova E.A. The simulation of the site for specimen collection when performing transbronchial biopsy in disseminated pulmonary lesions (Epub.). *Mezhdunarodny Studencheskiy Nauchny Vestnik*, 2014, Available: <http://www.scienceforum.ru/2014/pdf/1657.pdf> (Accessed: 12.12.2015) (In Russ.)

7. Интерстициальные заболевания легких: руководство для врачей / Под ред. М. М. Ильковича, А. Н. Кокосова. – СПб.: Нордмедиздат, 2005. – С. 288-328.
8. Котляров П. М., Юдин А. Л., Георгиади С. Г. Дифференциальная рентгенодиагностика диффузных заболеваний легких. Часть 1. // Мед. визуализация. – 2003. – № 4. – С. 20-28.
9. Филатова Е. А., Репин Д. В., Савельев А. В., Скорняков С. Н., Черныяев Е. А., Гольдштейн С. Л., Маркина С. Э., Гайниyarov И. М. Патент на промышленный образец № 90058 от 16.09.14. Схема алгоритма подсчета объема измененной ткани при диссеминированном поражении легких (ДПЛ) с применением метода трехмерной реконструкции УНИИФ, УрФУ.
10. Шмелев Е. И. Дифференциальная диагностика диссеминированных заболеваний легких неопухоловой природы // РМЖ. – 2001. – № 21. – С. 940-945.
11. Austad A., Elle O. J., Rotnes J. S. Computer-aided planning of trocar placement and robot settings in robot-assisted surgery // International congress series. – Elsevier. – 2001. – Vol. 1230. – P. 1020-1026.
12. Azimian H., Patel R. V., Naish M. D., Kiaii B. A semi-infinite programming approach to preoperative planning of robotic cardiac surgery under geometric uncertainty // IEEE J. Biomed. Health Inform. – 2012. – Vol. 17. № 1. – P. 172-182.
13. Enquobahrie A., Shivaprabhu V., Aylward S., Finet J., Cleary K., Alterovitz R. Patient-specific port placement for laparoscopic surgery using atlas-based registration // Medical Imaging 2013: Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling. – International Society for Optics and Photonics. 2013. – Vol. 8671. – P. 86711M.
14. Felix Ritter Visual Programming for Prototyping // IEEE Visualization 2007.
15. Interstitial Lung Diseases / European Respiratory Society Monograph, Vol. 46. 2009 (DOI: 10.1183/1025448x.ERM4609).
16. Koontz C. H., Joyner L. R., Nelson R. A. Transbronchial lung biopsy via the fiberoptic bronchoscope in sarcoidosis // Ann. Intern. Med. – 1976. – Vol. 85. – P. 64-66.
17. Spagnolo P., Tonelli R., Cocconcelli E., Stefani A., Richeldi L. Idiopathic pulmonary fibrosis: diagnostic pitfalls and therapeutic challenges // Multidisciplinary Respir. Med. – 2012. – Vol. 7, № 1. – P. 42.
18. Torres L. G., Azimian H., Enquobahrie A. A user-friendly automated port placement planning system for laparoscopic robotic surgery // Medical Imaging 2014: Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling // Intern. Soc. Optics Photonics. – 2014. – Vol. 9036. – P. 903613.
7. *Interstitsialnye zabolevaniya lyogkikh. Rukovodstvo dlya vrachey.* [Interstitial pulmonary diseases. Doctors' guidelines]. M.M. Ilkovich, A.N. Kokosov, eds. St. Petersburg, Nordmedizdat Publ., 2005, pp. 288-328.
8. Kotlyarov P.M., Yudin A.L., Georgiadi S.G. Differential X-ray diagnostics of diffuse pulmonary diseases. Part 1. *Med. Vizualizatsiya*, 2003, no. 4, pp. 20-28. (In Russ.)
9. Filatova E.A., Repin D.V., Saveliev A.V., Skorniyakov S.N., Chernyaev E.A., Goldshteyn S.L., Markina S.E., Gayniyarov I.M. *RF Patent no. 90058 as of 16.09.14. Skhema algoritma podscheta ob'ema izmenennoy tkani pri disseminirovannom porazhenii legkikh (DPL) s primeneniem metoda trekhmernoy rekonstruktsii, UNIF, UrFU.* [The scheme of the algorithm for calculating the volume of pathologic tissue in disseminated lung lesions (DPL) using the method of three-dimensional reconstruction, UNIF, UrFU].
10. Shmelev E.I. Differential diagnostics of disseminated pulmonary diseases of nonneoplastic nature. *RMJ*, 2001, no. 21, pp. 940-945. (In Russ.)
11. Austad A., Elle O.J., Rotnes J.S. Computer-aided planning of trocar placement and robot settings in robot-assisted surgery. *International congress series. Elsevier Publ.*, 2001, vol. 1230, pp. 1020-1026.
12. Azimian H., Patel R.V., Naish M.D., Kiaii B. A semi-infinite programming approach to preoperative planning of robotic cardiac surgery under geometric uncertainty. *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, 2012, vol. 17, no. 1, pp. 172-182.
13. Enquobahrie A., Shivaprabhu V., Aylward S., Finet J., Cleary K., Alterovitz R. Patient-specific port placement for laparoscopic surgery using atlas-based registration. *Medical Imaging 2013: Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling. International Society for Optics and Photonics*, 2013, vol. 8671, pp. 86711M.
14. Felix Ritter Visual Programming for Prototyping. *IEEE Visualization 2007.*
15. Interstitial Lung Diseases. *European Respiratory Society Monograph*, vol. 46, 2009, doi: 10.1183/1025448x.ERM4609.
16. Koontz C.H., Joyner L.R., Nelson R.A. Transbronchial lung biopsy via the fiberoptic bronchoscope in sarcoidosis. *Ann. Intern. Med.*, 1976, vol. 85, pp. 64-66.
17. Spagnolo P., Tonelli R., Cocconcelli E., Stefani A., Richeldi L. Idiopathic pulmonary fibrosis: diagnostic pitfalls and therapeutic challenges. *Multidisciplinary Respir. Med.*, 2012, vol. 7, no. 1, pp. 42.
18. Torres L.G., Azimian H., Enquobahrie A. A user-friendly automated port placement planning system for laparoscopic robotic surgery. *Medical Imaging 2014: Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling. Intern. Soc. Optics Photonics*, 2014, vol. 9036, pp. 903613.

ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:

Уральский НИИ фтизиопульмонологии –
филиал ФГБУ «НМИЦ ФПИ» МЗ РФ,
620039, г. Екатеринбург,
ул. 22 Парксъезда, д. 50.

Филатова Елена Анатольевна

врач-фтизиатр, отделение дифференциальной
диагностики туберкулеза.
E-mail: elena.filatova2009@yandex.ru
Тел.: 8 (343) 333-44-31.

Скорняков Сергей Николаевич

доктор медицинских наук,
руководитель научно-клинического отдела.
Тел.: 8 (343) 333-44-62.
E-mail: sns@urnif.ru

Медвинский Игорь Давыдович

доктор медицинских наук,
руководитель международного отдела.
Тел.: 8 (343) 333-44-45.
E-mail: medvinsky-id@mail.ru

FOR CORRESPONDENCE:

Ural Phthisiopulmonology Research Institute – a Branch
of National Medical Research Center of Phthisiopulmonology
and Infectious Diseases,
50, XXII Parts "ezda St., Yekaterinburg, 620039.

Elena A. Filatova

Phthisiologist of Tuberculosis Differential Diagnostics
Department.
Email: elena.filatova2009@yandex.ru
Phone: +7 (343) 333-44-31.

Sergey N. Skorniyakov

Doctor of Medical Sciences,
Head of Research and Clinical Department.
Phone: +7 (343) 333-44-62.
Email: sns@urnif.ru

Igor D. Medvinskiy

Doctor of Medical Sciences,
Head of International Department.
Phone: +7 (343) 333-44-45.
Email: medvinsky-id@mail.ru

Баженов Александр Викторович

кандидат медицинских наук,
старший научный сотрудник, врач торакальный хирург.
E-mail: Ai0803@mail.ru
Тел.: 8 (343) 333-44-38.

Уральский федеральный университет,
Институт фундаментального образования,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

Шибяев Вячеслав Алексеевич

электроник 1-й категории.
Тел.: 8 (343) 375-95-82.
E-mail: slavikshib@gmail.com

Хлебников Николай Александрович

кандидат химических наук, директор ИнФО.
Тел.: 8 (343) 375-95-82.
E-mail: khlebnikov@urfu.ru

Aleksandr V. Bazhenov

Candidate of Medical Sciences,
Senior Researcher, Thoracic Surgeon.
Email: Ai0803@mail.ru
Phone: +7 (343) 333-44-38.

Ural Federal University,
Fundamental Education Institute,
19, Mira St., Yekaterinburg, 620002.

Vyacheslav A. Shibaev

Electronics Engineer, 1st Category.
Phone: +7 (343) 375-95-82.
Email: slavikshib@gmail.com

Nikolay A. Khlebnikov

Candidate of Chemical Sciences, Director of InFO.
Phone: +7 (343) 375-95-82.
Email: khlebnikov@urfu.ru

Поступила 15.12.2018

Submitted as of 15.12.2018