



КТ-навигация как залог успеха бронхобиопсии при периферических образованиях в легких

Черниченко Н.В., Лагкуева И.Д., Сусарев И.О., Джигкаева М.М., Чхиквадзе В.Д.

ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России,
ул. Профсоюзная, 86, стр. 1, Москва, 117485, Российская Федерация

Черниченко Наталья Васильевна, д. м. н., вед. науч. сотр. научно-исследовательского отдела хирургии и хирургических технологий в онкологии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-6674-8869>

Лагкуева Ирина Джабраилевна, к. м. н., заведующая отделением рентгеновской диагностики с кабинетами рентгеновской и магнитно-резонансной компьютерной томографии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0001-9732-7170>

Сусарев Илья Олегович, врач-эндоскопист отделения внутрисветовой эндоскопической диагностики и лечения консультативно-диагностического клинического центра ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-7939-6540>

Джигкаева Марина Михайловна, врач-рентгенолог отделения рентгеновской диагностики с кабинетами рентгеновской и магнитно-резонансной компьютерной томографии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0003-0731-921X>

Чхиквадзе Владимир Давидович, д. м. н., профессор, заведующий лабораторией хирургических технологий в онкологии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-0517-8997>

Резюме

Определение характера очаговых изменений в легких по-прежнему остается актуальной проблемой онкологии, пульмонологии и рентгенологии. Окончательный диагноз в ряде случаев возможно установить лишь на основании изучения материала, полученного в ходе бронхобиопсии, трансторакальной биопсии, оперативного лечения. Бронхобиопсия является первым этапом миниинвазивной диагностики на пути к определению природы очаговых изменений в легочной ткани, результативность которой зависит от предварительной навигации до зоны интереса с помощью компьютерной томографии (КТ). В статье представлено пять клинических наблюдений, демонстрирующих применение технологии КТ-навигации при выполнении бронхобиопсии у пациентов с очаговыми образованиями в легких.

Ключевые слова: очаг; легкие; компьютерная томография; мультипланарная реконструкция; бронхобиопсия.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Черниченко Н.В., Лагкуева И.Д., Сусарев И.О., Джигкаева М.М., Чхиквадзе В.Д. КТ-навигация как залог успеха бронхобиопсии при периферических образованиях в легких. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(1): 29–36. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-29-36>

Для корреспонденции: Лагкуева Ирина Джабраилевна, E-mail: ilagkueva@mail.ru

Статья поступила 17.01.2024

После доработки 19.01.2024

Принята к печати 16.02.2024

CT Navigation is the Key to Successful Bronchobiopsy for Peripheral Pulmonary Nodules

Natalia V. Chernichenko, Irina D. Lagkueva, Ilya O. Susarev, Marina M. Dzhigkaeva, Vladimir D. Chkhikvadze

Russian Scientific Center of Roentgenoradiology,
ul. Profsoyuznaya, 86, str. 1, Moscow, 117485, Russian Federation

Natalia V. Chernichenko, Dr. Med. Sc., Leading Researcher, Research Department of Surgery and Surgical Technologies in Oncology, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0000-0002-6674-8869>

Irina D. Lagkueva, Cand. Med. Sc., Head of Department of X-Ray Diagnostics with X-Ray and Magnetic Resonance Computed Tomography Rooms, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0000-0001-9732-7170>

Ilya O. Susarev, Endoscopist, Department of Intraluminal Endoscopic Diagnosis and Treatment, Consulting and Diagnostic Clinical Center, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology; <http://orcid.org/0000-0002-7939-6540>

Marina M. Dzhigkaeva, Radiologist, Department of X-Ray Diagnostics with X-Ray and Magnetic Resonance Computed Tomography Rooms, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology; <http://orcid.org/0000-0003-0731-921X>

Vladimir D. Chkhikvadze, Dr. Med. Sc., Professor, Head of Laboratory of Surgical Technologies in Oncology, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology; <http://orcid.org/0000-0002-0517-8997>

Abstract

Determining the nature of nodular alternations in the lungs still remains an urgent problem in oncology, pulmonology, and radiology. In some cases, the final diagnosis can be established only on the basis of studying the material obtained during bronchobiopsy, transthoracic biopsy, and surgical treatment. Bronchobiopsy is the first stage of minimally invasive diagnostics towards detecting the nature of nodular changes in the lung tissue, the effectiveness of which depends on preliminary navigation to the region of interest using computed tomography (CT). The article presents five clinical cases demonstrating the use of CT navigation technology for performing bronchobiopsy in patients with peripheral pulmonary nodules.

Keywords: nodule; lung; computed tomography; multiplanar reconstruction; bronchobiopsy.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Chernichenko NV, Lagkueva ID, Susarev IO, Dzhigkaeva MM, Chkhikvadze VD. CT navigation is the key to successful bronchobiopsy for peripheral pulmonary nodules. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(1): 29–36 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-29-36>

For corresponding: Irina D. Lagkueva, E-mail: ilagkueva@mail.ru

Received January 17, 2024

Revised January 19, 2024

Accepted February 16, 2024

Введение / Introduction

Очаг в легком – это округлое или близкое к округлой форме новообразование диаметром до 3 см, не ассоциированное с ателектазом, лимфаденопатией средостения или плевральным выпотом, с возможной кальцификацией в структуре или кавитацией [1]. Очаги подразделяют на солидные, субсолидные и по типу матового стекла [2, 3]. Солидные очаги встречаются чаще, субсолидные потенциально более злокачественны. Риск злокачественности прямо пропорционален размерам очагов [4]. При обнаружении очага в легком в первую очередь перед врачом-рентгенологом встает вопрос о вероятности злокачественности новообразования.

Компьютерная томография (КТ) является приоритетным методом в диагностике заболеваний органов дыхания. Возможности метода существенно расширяются с применением болюсного контрастирования, позволяющего на основании динамики накопления препарата проводить дифференциальную диагностику выявленных изменений в легочной ткани [5, 6]. Появление и совершенствование новых методик, в частности перфузионного сканирования, позволяют с большей долей вероятности судить о характере очаговых изменений в легких на основании качественных и количественных параметров кровотока в зоне интереса [7].

С помощью высокоразрешающей КТ с толщиной среза 1 мм и менее можно повысить точность

характеристик очагов и образований, а также выполнять мультипланарные реформации (multiplanar reformation, MPR) в аксиальной, сагиттальной, корональной, произвольной плоскостях. Программы проекций максимальной интенсивности (maximum intensity projection, MIP) применяются для обнаружения очагов и очаговых диссеминаций, а также для характеристики сосудов при артериовенозной мальформации, внутридолевой секвестрации, аномалии легочных вен, аневризматических расширениях и т.д. [5]. Виртуальная бронхоскопия позволяет получить информацию о внутренней поверхности трахеи и бронхов, выявить сужение или дилатацию просвета бронхов диаметром 2 мм и более, определиться с уровнем и степенью выраженности изменений, оценить состояние бронха дистальнее уровня стеноза [8, 9]. Недостатком виртуальной бронхоскопии является отсутствие возможности оценки состояния слизистой оболочки и подслизистого слоя трахеобронхиального дерева, получить материал для последующего исследования [10]. Данные ресурсы постпроцессинговой обработки, несомненно, оказывают значимую помощь при работе с диагностическими изображениями.

Тем не менее зачастую судить о характере очагов в легких на основании только рентгенологической картины не представляется возможным ввиду схожей семиотики доброкачественных и злокачественных изменений. В большинстве случаев окончательный диагноз устанавливается на осно-

вании изучения морфологического материала, полученного в ходе бронхобиопсии, трансоракальной биопсии или хирургического лечения [11, 12]. Вероятность получения неинформативного материала при трансоракальной биопсии увеличивается при наличии очагов в легких небольшого размера или неудобного для пункции их расположения (вблизи крупных сосудистых структур, в наддиафрагмальных, задних кортикальных отделах легких на уровне лопаток и т.д.). Манипуляция сопряжена с риском возникновения осложнений в виде пневмоторакса, кровотечения, степень выраженности которых варьируется от незначительной до массивной [13].

Бронхобиопсия является первым этапом миниинвазивной диагностики на пути к морфологической верификации диагноза [14]. Однако ее роль в диагностике очаговых образований легких небольшого размера ограничена [15]. По данным литературы, результативность (т.е. возможность получения ткани опухоли для последующего гистологического или цитологического исследования) для центральных и периферических образований вместе составляет от 20% до 86%. Для образований размером 2 см и менее этот показатель не выше 34% [16]. Трудность получения диагностически информативного материала при бронхобиопсии из очагов периферической локализации в легких заключается непосредственно в строении бронхиального дерева. Задача специалистов дополнительно усложняется при наличии особенностей развития бронхолегочной системы. Наиболее частыми анатомическими вариациями являются наличие справа (чаще) или слева трахеального бронха, кардиального бронха слева, агенезия В7 справа, самостоятельное отхождение В1 и В2 от верхнедолевого бронха слева. Нередко присутствует дополнительная междолевая щель (особенность чаще наблюдается в левом легком) либо вовсе отсутствует какая-нибудь из основных междолевых щелей. После 40 лет происходят атрофические изменения слизистой оболочки и подслизистого слоя, обызвествление хрящевых полуколец, что также оказывает влияние на возможность получения материала. Следует отметить и высокий риск угрозы кровотечения ввиду близкого расположения крупных сосудистых структур при работе с пораженными лимфоузлами, очагами, локализующимися в парамедиастинальных отделах или вблизи корней легких [17].

Морфологические данные позволяют определиться с дальнейшей тактикой в конкретной клинической ситуации. Более того, с учетом последних достижений в области таргетной терапии становится все более необходимым получать опухолевую ткань для анализа молекулярных данных с целью персонализации лечения [18–20].

Как показал наш опыт, предварительный анализ КТ-изображений, в частности применение программ постпроцессинговой обработки с целью определения оптимальной траектории до очага, в большинстве случаев дает возможность получить цитологический материал во время бронхобиопсии в сравнении с эндоскопическими исследованиями, проводившимися только на основании описательной картины. Знания о соотношении анатомических структур и очага, в частности с сосудами, позволяют снизить риск осложнений инвазивной процедуры. С помощью КТ с толщиной среза 2 мм и менее можно с точностью указать, на каком уровне деления бронхиального дерева локализуется очаг, выявить наличие либо отсутствие связи с бронхом, при положительном симптоме «подходящего» бронха определить оптимальную трассу до объекта изучения. Применение лучевых методов исследования позволяет предположить ожидаемую эндоскопическую картину путем изучения взаимосвязи очага и бронха, в частности компрессию извне, деформацию стенки бронха, что является маркером достижения области интереса, или инвазию опухолевых масс в просвет бронха.

Представляем серию клинических наблюдений, демонстрирующих применение технологии КТ-навигации при выполнении бронхобиопсии у пациентов с очаговыми образованиями в легких.

Описания случаев / Case reports

КТ-исследования легких выполнялись в ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России по стандартному протоколу на 128-срезовом компьютерном томографе Optima CT 660 (General Electric, США), минимальная толщина среза 0,6 мм. Постпроцессинговая обработка данных проводилась на рабочей станции Advantage Workstation (General Electric, США). Результаты КТ из других учреждений анализировались на диагностической рабочей станции «Видар-ИнфоРад 3.0», версия 3.2.7.29 (ООО «ПО Видар», Россия). Эндоскопическое исследование трахеи, бронхов проводилось с применением видеобронхоскопов BF-160 и BF-180 (эндоскопическая система EVIS Exera II) (Olympus, Япония). Выполнялись традиционная бронхоскопия с браш-биопсией и трансбронхиальная щипцовая биопсия для последующего морфологического исследования полученного материала.

Случай 1

Пациенту Н., 53 года, с подозрением на пневмонию выполнена КТ органов грудной клетки. По данным КТ в периферических отделах С3 левого легкого выявлен мелкий очаг, предположен поствоспалительный характер изменений.



Рис. 1. КТ, легочное окно, аксиальная плоскость (а–с). Увеличение размеров очага в С3 левого легкого при контрольном исследовании

Fig. 1. CT scans, pulmonary window, axial plane (a–c). An increased size of the nodule in C3 of the left lung during a control study

Через 1 год проведено повторное КТ-исследование легких в связи с жалобами на сухой кашель. При сравнении исследований отмечено увеличение размеров солидного очага в С3 левого легкого. Очаг приобрел бугристые контуры, имел связь с бронхом, изменений в окружающей паренхиме не выявлено (рис. 1). С учетом отрицательной динамики размеров заподозрен злокачественный характер изменений.

На основании данных КТ выполнена бронхобиопсия. При осмотре трахея не изменена, кари-на острая, бронхи правого и левого легких имеют обычное анатомическое строение, шпоры острые, устья не деформированы. Слизистая бронхов гладкая, блестящая, без признаков опухолевой инфильтрации. Проведена браш-биопсия из С3 верхней доли левого легкого. Материал направлен на цитологическое исследование. По результатам

цитологического исследования: аденокарцинома С3 левого легкого.

При бронхоскопическом исследовании инструмент возможно провести до 4–5-го уровня деления бронхиального дерева, оценить состояние дистальнее расположенных ветвей ввиду мелкого диаметра бронхов не представляется возможным. Материал берется «вслепую», направление биопсийных инструментов осуществляется с учетом ранее определенной на КТ-изображениях траектории.

Несмотря на маленькие размеры и периферическую локализацию очага, у этого пациента удалось верифицировать диагноз посредством изучения материала, полученного в ходе бронхобиопсии. Больной направлен на консультацию к торакальному хирургу. Выполнено хирургическое лечение в объеме верхней лобэктомии слева с медиасти-нальной лимфодиссекцией.

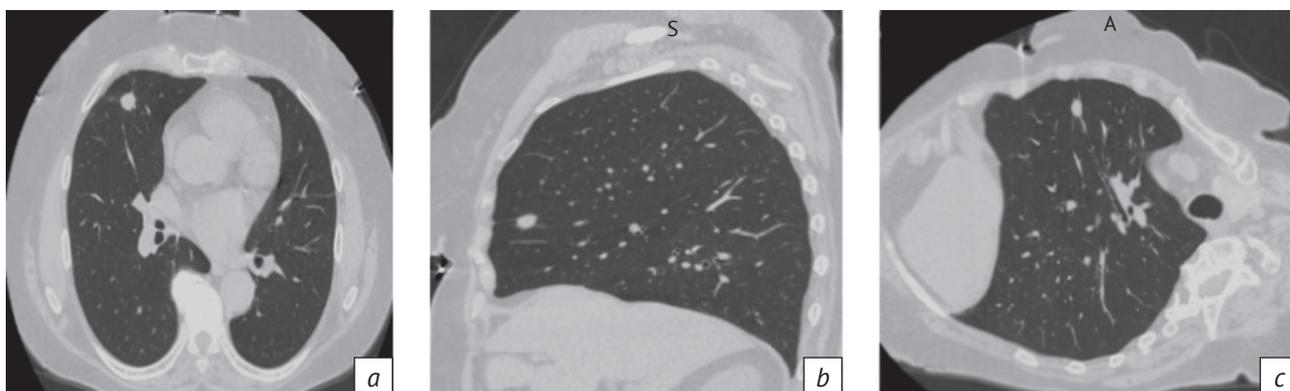


Рис. 2. КТ, легочное окно. В периферических отделах С3 правого легкого солидный очаг с «подходящим» бронхом: а – аксиальная плоскость; б – сагиттальная плоскость; в – криволинейная реконструкция

Fig. 2. CT scans, pulmonary window. In the peripheral parts of C3 of the right lung there is a solid lesion with a “suitable” bronchus: a – axial plane; b – sagittal plane; c – curvilinear reconstruction

Случай 2

Пациенту К., 68 лет, по месту жительства проведена КТ органов грудной клетки. Согласно представленному протоколу в С5 правого легкого выявлен очаг. Выполнен пересмотр КТ-исследования. Очаг определен в С3 правого легкого, выявлена связь очага с бронхом (рис. 2). Проводилась дифференциальная диагностика между периферическим раком и хондрогамартомой.

На основании данных КТ выполнена бронхобиопсия. Проведена браш-биопсия из С3 верхней доли правого легкого. Материал направлен на цитологическое исследование. По результатам цитологического исследования: нейроэндокринная опухоль легкого Grade 1 (типичный карциноид).

Правильное определение топика изменений позволило получить материал при бронхоскопии для последующего морфологического исследования. Пациент направлен на консультацию к торакальному хирургу. Выполнено хирургическое лечение в объеме верхней лобэктомии справа с медиастинальной лимфодиссекцией.

Случай 3

Пациенту Х., 59 лет, по месту жительства выполнена КТ органов грудной клетки. Согласно представленному протоколу в С2 правого легкого выявлен очаг. Выполнен пересмотр исследования. Очаг определен в С1 правого легкого, присутствует связь очага с бронхом (рис. 3).

На основании данных КТ выполнена бронхобиопсия. При осмотре субсегментарный бронх Б-16 полностью обтурирован бугристым опухолевым образованием. Слизистая оболочка по периферии образования с наличием патологической сосудистой сети ярко гиперемирована. Прове-

дена браш-биопсия из С1 верхней доли правого легкого. Материал направлен на цитологическое исследование. По результатам цитологического исследования: немелкоклеточный рак типа плоскоклеточного.

Пациент направлен на консультацию к торакальному хирургу. Выполнено хирургическое лечение в объеме верхней лобэктомии справа с медиастинальной лимфодиссекцией.

Случай 4

Пациентке Ф., 49 лет, выполнена КТ органов грудной клетки. В С3 правого легкого выявлен солидный очаг размерами до 8 мм, отсутствует связь очага с бронхом (рис. 4).

На основании данных КТ выполнена бронхобиопсия. При осмотре патологии в бронхах, доступных осмотру, не выявлено. По результатам цитологического исследования элементов злокачественной опухоли в пределах материала не обнаружено. Проведена трансторакальная биопсия. Гистологическое заключение: узел атипической аденоматозной гиперплазии легкого.

Пациентка направлена на консультацию к торакальному хирургу. Выполнено хирургическое лечение в объеме верхней лобэктомии справа с медиастинальной лимфодиссекцией.

Случай 5

Пациентке Р., 67 лет, с раком мочевого пузыря в анамнезе (T1N0M0) в плане динамического контроля выполнена КТ органов грудной клетки. По результатам КТ-исследования в С8 правого легкого выявлен очаг по типу матового стекла, предположен поствоспалительный характер изменений.



Рис. 3. КТ, криволинейная реконструкция. В периферических отделах С1 правого легкого солидный очаг с «подходящим» бронхом:

a – легочное окно; *b* – мягкотканное окно; *c* – легочное окно

Fig. 3. CT scans, curvilinear reconstruction. In the peripheral parts of C1 of the right lung there is a solid lesion with a "suitable" bronchus:

a – pulmonary window; *b* – soft tissue window; *c* – pulmonary window

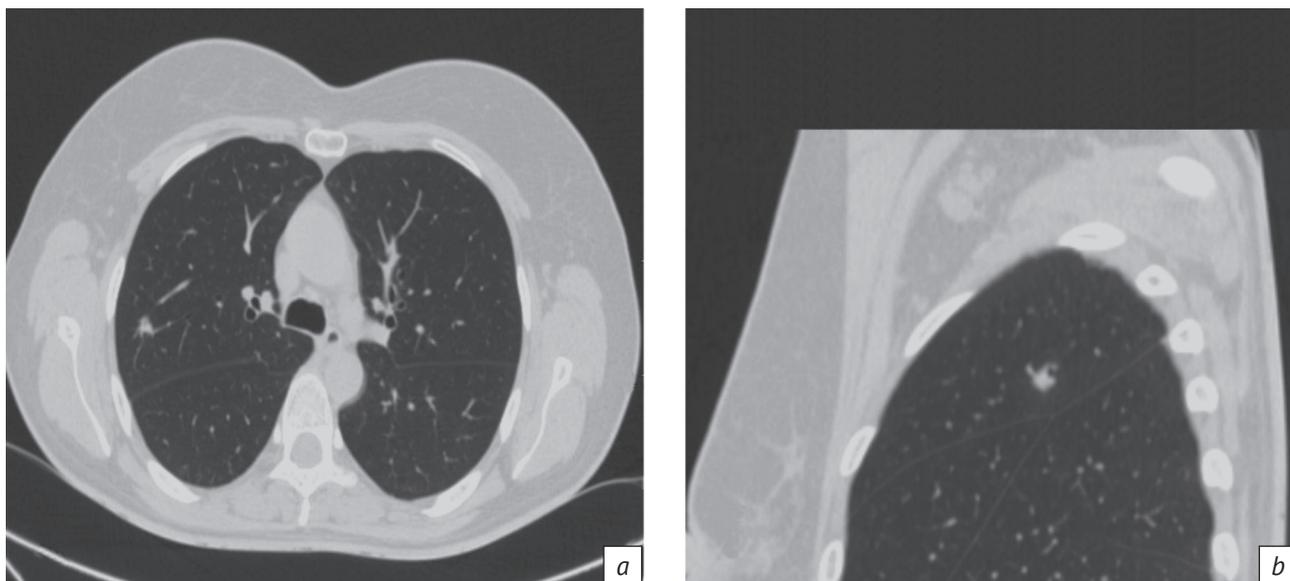


Рис. 4. КТ. В С3 правого легкого солидный очаг, отсутствует связь очага с бронхом:
a – легочное окно, аксиальная плоскость; *b* – легочное окно, сагиттальная плоскость

Fig. 4. CT scans. In C3 of the right lung there is a solid lesion; there is no connection between the lesion and the bronchus:
a – pulmonary window, axial plane; *b* – pulmonary window, sagittal plane

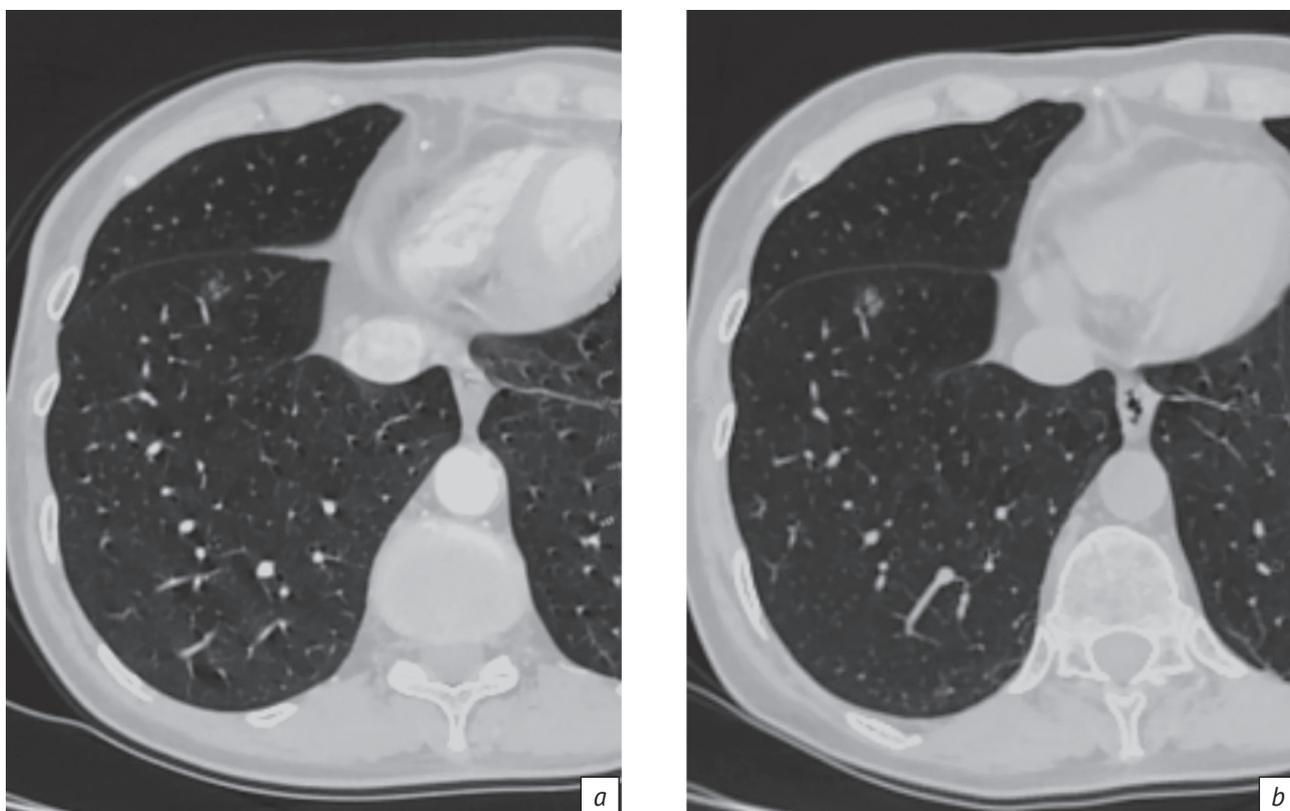


Рис. 5. КТ, легочное окно, аксиальная плоскость (*a, b*). Увеличение размеров очага в С8 правого легкого при контрольном исследовании

Fig. 5. CT scans, pulmonary window, axial plane (*a, b*). An increased size of the nodule in C8 of the right lung during a control study

Повторная КТ через 1 год 2 мес показала увеличение размеров очага в С8 правого легкого, нарастание денситометрических характеристик в зоне интереса, отсутствует связь очага с бронхом (рис. 5).

На основании данных КТ выполнена бронхобиопсия. При осмотре патологии в бронхах, доступных осмотру, не выявлено. По результатам цитологического исследования элементов злокачественной опухоли в пределах материала не обнаружено. Выполнена трансторакальная биопсия. Гистологическое заключение: верифицированная минимально инвазивная аденокарцинома легкого.

Выполнена видеоторакоскопическая резекция нижней доли правого легкого.

Обсуждение / Discussion

Проблемы получения диагностически значимого материала бронхобиопсии при очаговых образованиях легких возникают в основном в связи с техническими трудностями доступа к очагу из-за анатомической локализации, что обусловлено пределом гибкости эндоскопических инструментов.

Наиболее часто это локализация патологического очага в периферической зоне С1, С2 верхней доли и С6 нижней доли левого легкого, а также в случаях, когда бронхи проксимальных отделов сдавлены бронхопьюмональными лимфоузлами, что сопровождается невозможностью достичь патологического очага.

Таким образом, получение материала бронхобиопсии, достаточного для морфологического подтверждения диагноза, зависит, в первую очередь, от анатомической локализации и наличия связи с бронхом. Проведение предварительной КТ-навигации, точное представление врачом-эндоскопистом трассы, ведущей к образованию, – залог успеха в получении диагностического материала.

Заключение / Conclusion

Применение новых технологий, включая сочетание КТ-навигации и бронхоскопических методов при очаговых образованиях, позволяет повысить возможности малоинвазивных методов диагностики, способствует установлению диагноза в более сжатые сроки, что, в свою очередь, имеет значение для результатов лечения.

Литература [References]

- MacMahon H, Naidich DP, Goo JM. Guidelines for management of incidental pulmonary nodules detected on CT images: from the Fleischner Society 2017. *Radiology*. 2017; 284(1): 228–43. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017161659>.
- Gould MK, Donington J, Lynch WR, et al. Evaluation of individuals with pulmonary nodules: when is it lung cancer? *Diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines*. *Chest*. 2013; 143(5 Suppl): e935–1205. <https://doi.org/10.1378/chest.12-2351>.
- Тюрин И.Е. Дифференциальная диагностика одиночных очагов в легких. *Поликлиника*. 2014; 3-1: 28–32. [Tyurin IE. Differential diagnosis of single nodules in the lungs. *Polyclinic*. 2014; 3-1: 28-32 (in Russ).]
- Weinberger SE, McDermott S. Diagnostic evaluation of the incidental pulmonary nodule. Available at: <https://www.uptodate.com/contents/diagnostic-evaluation-of-the-incidental-pulmonary-nodule> (accessed 23.12.2023).
- Котляров П.М. Постпроцессинговая обработка данных мультиспиральной компьютерной томографии в уточненной диагностике патологических изменений при диффузных заболеваниях легких. *Пульмонология*. 2017; 27(4): 472–7. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2017-27-4-472-477>. [Kotlyarov PM. Multispiral computed tomography post-processing for refining diagnosis of diffuse lung diseases. *Pulmonologiya*. 2017; 27(4): 472–7 (in Russ). <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2017-27-4-472-477>]
- Тюрин И.Е. Диагностический алгоритм при очаговых изменениях в легких по данным высокоразрешающей компьютерной томографии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2013; 6: 44–50. [Tyurin IE. Differential diagnosis of focal changes on computed tomography. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2013; 6: 44–50.]
- Лагуева И.Д., Сергеев Н.И., Котляров П.М. и др. Перфузионная компьютерная томография в уточнении природы очаговой патологии легких. *Лучевая диагностика и терапия*. 2019; 1: 62–8. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-1-62-68>. [Lagueva ID, Sergeev NI, Kotlyarov PM, et al. Perfusion computed tomography in refinement nature and focal lung disease. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2019; 1: 62–8 (in Russ). <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-1-62-68>.]
- Adachi T, Machida H, Nishikawa M, et al. Improved delineation of CT virtual bronchoscopy by ultrahigh-resolution CT: comparison among different reconstruction parameters. *J Radiol*. 2020; 38(9): 884–9. <https://doi.org/10.1007/s11604-020-00972-y>.
- Hiddinga BI, Slebos DD, David Koster T, et al. Added diagnostic value of virtual bronchoscopic navigation in patients with pulmonary nodules – the NAVIGATOR study. *Lung Cancer*. 2023; 177: 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2023.01.012>.
- Kato A, Yasuo M, Tokoro Y, et al. Virtual bronchoscopic navigation as an aid to CT-guided transbronchial biopsy improves the diagnostic yield for small peripheral pulmonary lesions. *Respirology*. 2018; 23(11): 1049–54. <https://doi.org/10.1111/resp.13377>.
- Hou WS, Wu HW, Yin Y, et al. Differentiation of lung cancers from inflammatory masses with dual-energy spectral CT imaging. *Acad Radiol*. 2015; 22(3): 337–44. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2014.10.004>.

12. Nanavaty P, Alvarez MS, Alberts WM. Lung cancer screening: advantages, controversies, and applications. *Cancer Control*. 2014; 21(1): 9–14. <https://doi.org/10.1177/107327481402100102>.
13. Azour L, Liu S, Washer SL, Moore WH. Percutaneous transthoracic lung biopsy: optimizing yield and mitigating risk. *J Comput Assist Tomogr*. 2021; 45(5): 765–75. <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000001192>.
14. Shen YC, Chen CH, Tu CY. Advances in diagnostic bronchoscopy. *Diagnostics (Basel)*. 2021; 11(11): 1984. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11111984>.
15. Miyoshi S, Isoke K, Shimizu H, et al. The utility of virtual bronchoscopy using a computed tomography workstation for conducting conventional bronchoscopy: a retrospective analysis of clinical practice. *Respiration*. 2019; 97(1): 52–9. <https://doi.org/10.1159/000492074>.
16. Ashraf SF, Lau KKW. Navigation bronchoscopy: a new tool for pulmonary infections. *Med Mycol*. 2019; 57(Suppl 3): S287–93. <https://doi.org/10.1093/mmy/myz058>.
17. Adamczyk M, Tomaszewski G, Naumczyk P, et al. Usefulness of computed tomography virtual bronchoscopy in the evaluation of bronchi divisions. *J Radiol*. 2013; 78(1): 30–41. <https://doi.org/10.12659/PJR.883765>.
18. Ruiz-Cordero R, Devine WP. Targeted therapy and checkpoint immunotherapy in lung cancer. *Surg Pathol Clin*. 2020; 13(1): 17–33. <https://doi.org/10.1016/j.path.2019.11.002>.
19. Reck M, Remon J, Hellmann MD. first-line immunotherapy for non-small-cell lung cancer. *J Clin Oncol*. 2022; 40(6): 586–97. <https://doi.org/10.1200/JCO.21.01497>.
20. Hirsch FR, Scagliotti GV, Mulshine JL, et al. Lung cancer: current therapies and new targeted treatments. *Lancet*. 2017; 389(10066): 299–311. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30958-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30958-8).