

П.М.Котляров, Н.В.Нуднов, Е.В.Егорова

## Мультиспиральная компьютерно-томографическая виртуальная бронхоскопия при бронхоэктатической болезни и остеохондропластической бронхопатии

ФГБУ "Российский научный центр рентгенорадиологии" Минздрава России: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 86

P.M.Kotlyarov, N.V.Nudnov, E.V.Egorova

## Multidetector computed tomography with virtual bronchoscopy in patients with bronchiectasis or osteochondroplastic tracheobronchopathy

Federal Institution Russian Scientific Radiology Center, Healthcare Ministry of Russia; Moscow, Russia

### Summary

**Aim.** The primary aim of this study was to evaluate a role of virtual bronchoscopy as a part of multidetector computed tomography (MDCT) for diagnosis of bronchiectasis and its complications. The second aim was to determine a role of minimal-intensity projection (minIP) and 3-dimensional reconstructions for assessment of structure of trachea and bronchi.

**Methods.** MDCT was performed in 16-sliced scanner Toshiba Aquilion 16 and 320-sliced scanner Aquilion ONE. To evaluate central and distal airways, threshold values of  $-400$  HU to  $-600$  HU and  $-750$  HU were used, respectively. A software was used for virtual bronchoscopy with simultaneous post-processing reformation of native images (minIP and maxIP images) and 3-dimensional reconstructions. Results of virtual bronchoscopy were compared with fiberoptic bronchoscopy findings.

**Results.** Virtual bronchoscopy allowed investigation of inner surfaces of trachea, carina, main, segmental and subsegmental bronchi (with the smallest diameter of 1–2 cm). Bronchiectasis was seen as deformities of bronchial lumen. Non-tumoral bronchial stenosis did not impede visualization of more distal part of the bronchus during virtual bronchoscopy compared to fiberoptic bronchoscopy.

Visualization of bronchial inner surface depended on extent of bronchiectasis and could reach subsegmental bronchi of 5–6 generation.

**Conclusion.** MDCT virtual bronchoscopy technique based on combined evaluation of minIP-images, 3D-reformations and virtual bronchoscopy has been developed. This technique allows complete assessment of structure of trachea and bronchi in patients with bronchiectasis or osteochondroplastic tracheobronchopathy.

**Key words:** multidetector computed tomography, virtual bronchoscopy, bronchiectasis.

### Резюме

Проанализированы данные мультиспиральной компьютерно-томографической (МСКТ) виртуальной бронхоскопии (ВБ) у пациентов ( $n = 49$ ) с бронхоэктатической болезнью (БЭБ) и остеохондропластической трахеобронхопатией (ОХТ). Установлено, что при ВБ существенно повышается диагностическая информативность нативной МСКТ в распознавании заболеваний, что способствует установлению их распространенности и осложнений. Ведущие методики МСКТ-бронхоскопии: ВБ – исследование внутренней поверхности бронхов; методика оценки изображений минимальной интенсивности – оценка соотношения бронхов, легочной ткани, протяженности изменений; 3D-реконструкция в режиме полупрозрачных поверхностей – объемное представление о зоне интереса. Разработана семиотика БЭБ и ОХТ по данным МСКТ-бронхоскопии. Установлено, что БЭБ нередко осложняется бронхолитом, а ОХТ может симулировать опухоль легкого.

**Ключевые слова:** мультиспиральная компьютерная томография, виртуальная бронхоскопия, бронхоэктатическая болезнь.

Виртуальная бронхоскопия (ВБ) является ретроспективным исследованием на основании данных мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) органов грудной клетки. Сущность ВБ заключается в создании компьютерной виртуальной 3D-модели трахеобронхиального дерева в результате сложной компьютерной обработки данных сканированной области из массива информации, полученной в результате МСКТ. При нативной компьютерной томографии (КТ) оценка трахеобронхиальной системы (ТБС) возможна по отдельным сканам в различных проекциях, что не дает целостного восприятия системы. При проведении ВБ имеется возможность визуальной оценки внутренней макроструктуры всех отделов ТБС, ее проходимости

вплоть до субсегментарных бронхов (виртуальная прямая визуализация). В доступной литературе отсутствуют работы, посвященные роли ВБ при бронхоэктазах легкого, остеохондропластической трахеобронхопатии (ОХТ). В немногочисленных работах описаны отдельные клинические случаи, в которых ВБ анализируется в отрыве от методик постпроцессингового анализа и данных нативной МСКТ [1–15].

Целью исследования явилось изучение роли ВБ в повышении информативности нативной МСКТ при диагностике осложнений, определении распространенности бронхоэктазов, уточнении значения методики минимальной интенсивности изображений и 3D-реконструкций в оценке макроструктуры ТБС.

## Материалы и методы

Проанализированы данные МСКТ больных ( $n = 49$ ) с бронхоэктазами легких. У 11 (22,44 %) из них бронхоэктазы были врожденными, у 26 (53 %) — после перенесенных воспалительных процессов, у 12 (24,48 %) — на почве остеохондротрахеобронхомаляции (ОХТ). У всех пациентов диагноз верифицирован при бронхоскопии, операции или в процессе динамического наблюдения.

МСКТ проводилась на компьютерных томографах *Toshiba Aquilion 16* (16-срезовый) и *Aquilion ONE* (320-срезовый) (*Toshiba Medical Systems*, Япония). Технические параметры: 120 кВ и 135 мАс; коллимация —  $16 \times 0,5$ ;  $64 \times 0,5$  и  $320 \times 0,5$  мм; время оборота трубки — 0,35 и 0,5 с. Данные МСКТ обрабатывались на рабочей станции *Vitre 2* с использованием программного обеспечения для ВБ с одновременным использованием постпроцессинговой обработкой нативных изображений в режимах минимальной (MinIP) и максимальной (MIP) интенсивности изображений, 3D-реконструкций. При этом из тонких нативных срезов (1–2 мм) строится слэб толщиной до 10–15 мм, позволяющий получить высококачественное отображение воздуходержащих структур (MinIP), или сосудисто-мелкоочаговых (MIP), или объема. Для оценки центрального бронхиального дерева (БД) использовалось пороговое значение –400 и –600 HU (единиц Хаунсфилда); для дистальных отделов бронхиального дерева –750 HU. Данные ВБ сопоставлялись с результатами фиброbronхоскопии (ФБС).

## Результаты и обсуждение

При использовании метода ВБ в краниокаудальном направлении исследовались внутренняя поверхность трахеи, карины, главных, сегментарных и субсегментарных (минимально диаметром 1–2 см) бронхов. При бронхоэктазах определялись деформация просвета БД — сужения, расширения, а также вариант дилатации — линейная, мешотчатая, овальная; оценивалось состояние шпоры, внутренней поверхности бронха. Как правило, на фоне четкообразной деформации бронха наблюдалось сглаживание, исчезновение визуализации хрящевых структур, шпоры выглядели отечными, закругленными. Комочки слизи отображались пристеночно расположенными структурами с неровными краями. В случае перекрытия просвета слизью симулировалась обструкция бронха. С целью дифференциальной диагностики внутрибронхиальных опухолей разработана методика кашлевой пробы. При обнаружении внутри просвета бронхов структур, подозрительных на слизь, пациенту предлагалась откашляться, после чего исследование повторялось — для слизистого содержимого бронхов было характерно изменение местоположения "пробки" или ее исчезновение из просвета бронхов при 1-м исследовании. Дополнительно изучались нативные сканы КТ. Как правило, на слизь указывала локализация на ограниченном

протяжении бронха, утолщение стенки бронха. У некоторых пациентов дистальная часть бронха сообщалась с различной по размеру полостью, внутри которой прослеживались бугристые напластования (фиброз, слизисто-гнойное содержимое). Следует отметить, что при ВБ, в отличие от ФБС, сужение, неопухолевый стеноз бронха не являлся препятствием для осмотра бронха в дистальном направлении (за стенозом). Уровень визуализации внутренней поверхности бронха зависел от распространенности бронхоэктатической деформации и мог достигать субсегментарных бронхов V–VI порядка.

При анализе MinIP в различных плоскостях при бронхоэктазах в "толстом" плоскостном срезе получалось суммарное представление как о бронхоэктазах, так и окружающей легочной ткани. Визуализировались сегментарные и субсегментарные бронхи, их разветвления, определялась степень стеноза, дилатации, наличие содержимого, обструкции просвета по протяженности ТБС. Оценивалась степень перибронхиального фиброза, поражения окружающей легочной ткани, наличие полостей, не связанных с бронхами, нарушение легочной вентиляции зоны интереса.

При 3D-реконструкции в режиме полупрозрачных поверхностей создавалась виртуальная модель объема зоны интереса с визуализацией распространенности бронхоэктазов, проекцией области изменений на наружную грудную стенку, соотношения с рядом расположенными органами, плеврой. Данная модель реконструкции представляла интерес в плане оценки тяжести заболевания, планирования лечебных мероприятий.

Таким образом, при дополнении ВБ MinIP-изображениями создается целостное изображение зоны поражения, позволяющее оценить состояние наружной стенки бронхов, и состояние окружающей легочной ткани. Имеется возможность виртуального моделирования в 3D-режиме пораженной доли, сегмента, суммарной оценки степени изменений БД зоны интереса. Только при комплексном анализе названных методик имеется возможность получения оптимальной информации о макроструктуре ТБС, в т. ч. при бронхоэктазах. Данная методика оценки ТБС получила название "мультиспиральная компьютерно-томографическая виртуальная бронхоскопия" (МСКТ ВБ) в отличие от описываемой в литературе ВБ, когда оцениваются только внутренние структуры ТБС.

По результатам исследования установлено, что на ранней стадии развития бронхоэктазов важно сопоставить диаметр бронха с диаметром сопутствующей легочной артерии, эти данные оптимально получать в MIP-режиме и таким образом объективизировать их. Для бронхоэктатического поражения бронха характерно увеличение его диаметра в  $> 1,5$  раз находящегося рядом артериального сосуда. Этот признак весьма существенен в дифференциальной диагностике преходящей дилатации бронхов, имеющей место в отдельных зонах у здоровых пациентов, больных бронхиальной астмой, в процессе выздоровления

при пневмонии. Величина переходящей дилатации не превышает 1,5 размера соответствующего артериального сосуда в норме.

При проведении МСКТ у больных острым бронхитом ( $n = 12$ ), осложненным пневмонией, была выявлена распространенная ОХТ, которая являлась пусковым механизмом заболевания. При МСКТ ВВ по ходу трахеи и бронхов определялись цепочки дисковидных включений хрящевой, костной ткани, деформация, сужение бронхов вплоть до субсегментарных. Патологические изменения сегментарных, субсегментарных бронхов по макроструктуре было схожим с таковым при бронхоэктазах. Поверхность бронхов напоминала вид бульжной мостовой за счет полипообразных выбуханий костных и хрящевых структур в просвет бронха; хрящевые структуры долевых, сегментарных бронхов не прослеживались. У 4 из 12 пациентов по данным КТ выявлялась гиповентиляция нижней доли. При ВВ выявлено сужение сегментарных(го) бронхов области пирамиды до шелевидного за счет остеохондропластической деформации слизистой, однако данных за опухоль бронха не получено. На основании данных МСКТ, МСКТ ВВ было сделано заключение об отсутствии рака легкого и связи гиповентиляции с основным заболеванием. Отмечено, что за последние 5 лет частота выявляемости при КТ ОХТ выросла в разы, что, вероятно, связано с увеличением продолжительности жизни населения. С возрастом частота осложнений болезни в виде бронхитов, пневмоний возрастает из-за нарушения вентиляции легочной ткани. В качестве примера приводится описание клинического случая.

Пациентке М. 63 лет с диагнозом "обострение хронического бронхита" проводилась МСКТ грудной клетки. Жалобы на температуру до 38 °С, приступообразный слабопродуктивный кашель, одышку в покое и при физической нагрузке. Последние 2 года страдает хроническим бронхитом с частыми обострениями. Общее состояние средней тяжести. Ухудшение состояния наступило 2 нед. назад, симптоматика неуклонно нарастала, в связи с чем

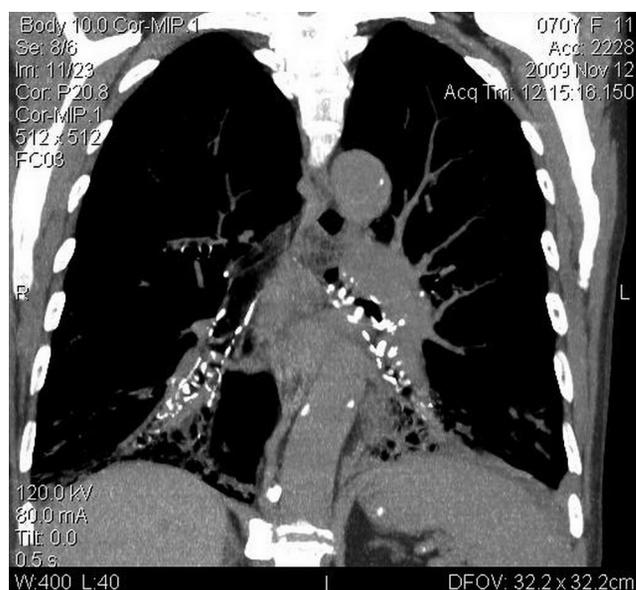


Рис. 1. МСКТ, фронтальный срез, мягкотканый режим: распространение косте- и хрящевых образований вплоть до субсегментарных бронхов

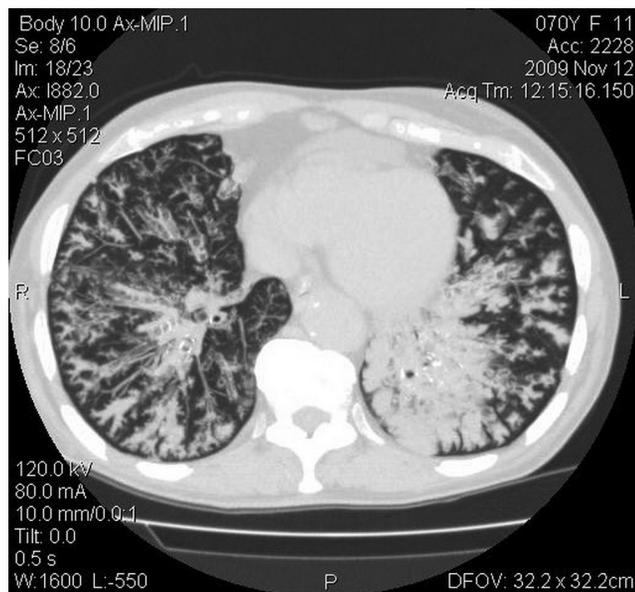


Рис. 2. ОХТ, МСКТ, нижние доли легких, аксиальный срез: пери-бронхиальная инфильтрация справа; слизь в деформированных бронхах; бронхолит в правом легком; в левом легком на фоне деформированных бронхов – инфильтрация легочной ткани

было рекомендовано проведение КТ. При рентгенологическом исследовании, проводившемся за 1 мес. до КТ, данных за патологические изменения в легких не выявлено. На серии КТ и мультипланарных реконструкциях, методиках ВВ в трахее, главных, сегментарных и субсегментарных бронхах – выраженное костно-хрящевое образование; четкообразная цилиндрическая деформация просвета ТБС вплоть до субсегментарных по типу бронхоэктазов; перибронхиальный фиброз; пневмофиброз; уменьшение в объеме нижних долей легкого (рис. 1). Легочный рисунок усилен, деформирован, с обширной инфильтрацией легочной ткани, заполнением слизью бронхов (рис. 2). По периферии, субплеврально – КТ-признаки бронхолита (симптом "дерева в почках").

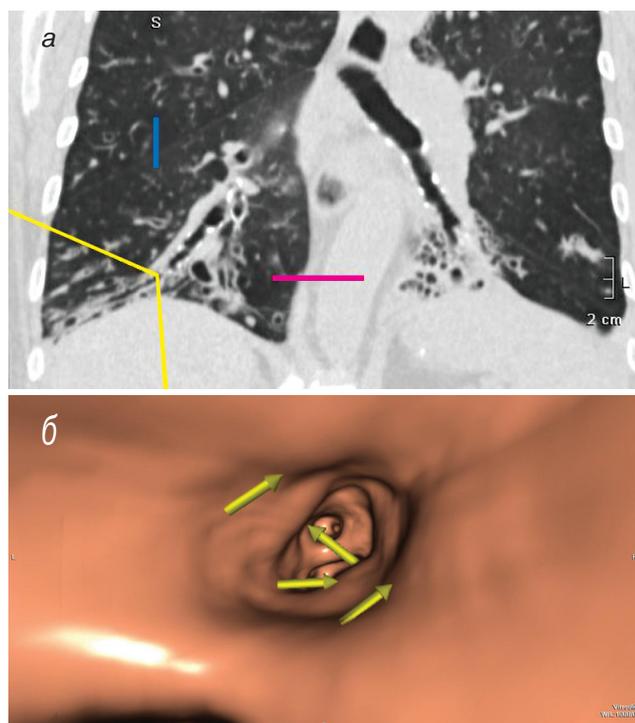


Рис. 3. Постпроцессинговая обработка данных МСКТ ВВ: а – навигационный срез – вид из промежуточного бронха на бронхи пирамиды правого легкого; б – виртуальная бронхоскопия – полипообразные разрастания на стенке бронхов, деформация просвета по типу бронхоэктазов

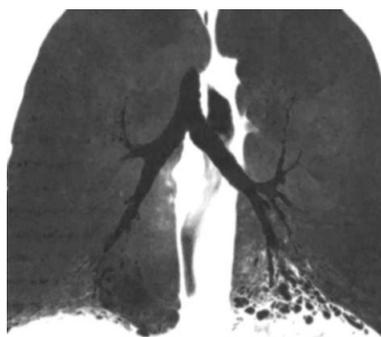


Рис. 4. МСКТ, постпроцессинговая обработка, MinIP, фронтальный срез: бронхоэктатическая деформация бронхов нижних долей, пневмофиброз

По данным ВБ в MinIP-режиме просвет бронхиального дерева деформирован — зоны сужения чередуются с зонами расширения, в которых выявляется содержимое (слизь) (рис. 3, 4). Преимущественно по ходу бронхосудистых пучков с тенденцией к слиянию определяются множественные полиморфные инфильтрации, а также признаки мозаичного кровоснабжения в сохранной части легочной ткани (участки повышенной и пониженной плотности). Заключение: распространенная ОХТ, осложненная бронхоэктатической болезнью (БЭБ), абсцедирующей пневмонией нижней доли левого легкого. Мелкоочаговая пневмония вторичного происхождения, инфекционный бронхит.

Данный клинический случай является классическим проявлением ОХТ с развившимися на ее фоне осложнениями. Необычность наблюдения заключается в распространенности зон косте- и хрящобразования вплоть до субсегментарных бронхов, что привело к развитию деформации бронхов по типу бронхоэктазов, а также гнойного бронхита, перибронхита, пневмонии, инфекционного бронхолита.

Таким образом, у большей группы больных при использовании методики ВБ разработана семиотика изменений бронхов, легочной ткани при БЭБ и ОХТ. Кроме того, МСКТ ВБ — единственно возможный метод диагностики при невозможности выполнения ФБС в период обострения болезни. Данные МСКТ бронхоскопии в оценке внутренней макроструктуры ТБС полностью совпали с результатами ФБС, однако при ВБ оценивались состояние бронха дистальнее воспалительного стеноза, а при использовании методики MinIP — наружная стенка и прилежащая легочная ткань; получено целостное представление о степени распространенности болезни. ФБС является ведущим методом в оценке степени вовлеченности в патологический процесс слизистой ТБС. При использовании методики ВБ существенно повышается информативность МСКТ при БЭБ

Таблица  
Методики ВБ в уточнении данных МСКТ при бронхоэктатической болезни, n (%)

Признак	Нативные данные	MinIP, ВБ, 3D, MIP
Деформация бронхов	41 (83,67)	49 (100)
Распространенность процесса по ТБС	31 (63,26)	49 (100)
Перибронхиальный фиброз	38 (77,55)	49 (100)
Наличие бронхолита	4 (26,66)	15 (100)
Пневмофиброз	28 (100)	28 (100)
Полостные образования	15 (88,23)	17 (100)
Точность определения протяженности стеноза-дилатации	31 (63,26)	49 (100)
Полипообразная деформация просвета при ОХТ	0	12 (100)

(см. таблицу) — определение распространенности поражения и ее осложнений.

К находкам проведенного исследования при БЭБ относится обнаружение зон легкого (в основном средние и верхние отделы), пораженных бронхоэктазом. При бронхоэктазе, как известно, поражаются респираторные бронхиолы, в основном в субплевральных зонах проявляется симптом "дерева в почках" [16]. В результате анализа MIP-изображений МСКТ у больных (n = 11) были выявлены признаки бронхоэктаза в том же или контрлатеральном относительно пораженного бронхоэктазами легком. При анализе сканов нативной МСКТ данные изменения не выявлены по причине начальной стадии развития заболевания (стадии экссудации): для его выявления требовалась специальная программа (MIP), позволяющая выделить из массива данных бронхосудистые структуры. При раннем распознавании бронхоэктаза, клинико-лабораторные проявления которого маскировались основным заболеванием, требовалось проведение соответствующих лечебных мероприятий, коррекция лечения. Пусковым механизмом болезни являлось основное заболевание и "отсевы" инфицированной слизи в непораженные бронхоэктазами отделы легких.

Использование сравнительной оценки только ВБ и ФБС приводит к ошибочному выводу о невысокой эффективности ВБ относительно ФБС, значительному количеству ложноположительных и ложноотрицательных заключений [4, 5, 9], что связано с оценкой ВБ в отрыве от данных нативной МСКТ, режима MinIP, 3D-реформаций зоны интереса. Предложенная модификация МСКТ-исследования ТБС отличается от общепринятой тем, что в данном случае исследуется как внутренняя структура бронхиального дерева, так и наружная стенка, дается целостная оценка макроструктуры всей системы вплоть до субсегментарных бронхов. Данный подход ранее не описан в литературе и представляется более совершенным.

## Заключение

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

- Разработана методика МСКТ ВБ, основанная на сочетанной оценке данных MinIP-изображений, 3D-объемных реформаций ТБС и результатов ВБ.
- При проведении МСКТ ВБ наиболее полно характеризуется макроструктура ТБС легких при БЭБ и ОХТ.
- По данным МСКТ ВБ впервые описана семиотика БЭБ и ОХТ. БЭБ нередко осложняется бронхоэктазом, ранние признаки которого выявляются при постпроцессинговой обработке данных МСКТ в MIP-режиме.

## Литература / References

1. Котляров П.М., Темірханов З.С., Шербахина Е.В. Мультипланарные реконструкции и виртуальная бронхоскопия в оценке состояния трахеобронхиальной системы

- по данным мультисрезовой компьютерной томографии. Лучевая диагностика и терапия. 2011; 2 (2): 50–55. / *Kotlyarov P.M., Temirkhanov Z.S., Shcherbakhina E.V.* Multiplanar reconstructions and virtual bronchoscopy in diagnosis of tracheal and bronchial pathology using multidetector computed tomography. *Lučevaya diagnostika i terapiya*. 2011; 2 (2): 50–55 (in Russian).
2. *Котляров П.М.* Многосрезовая компьютерная томография легких – новый этап развития лучевой диагностики заболеваний легких. Медицинская визуализация. 2011; 4: 14–20. / *Kotlyarov P.M.* Multidetector computed tomography as a novel image diagnostics of pulmonary disease. *Meditinskaya vizualizatsiya*. 2011; 4: 14–20 (in Russian).
  3. *Котляров П.М., Темирханов С.З., Флеров К.Е. и др.* Виртуальная бронхоскопия в диагностике рака легкого и его распространенности, мониторинге послеоперационных изменений. Вестник РНЦПР. 2013. URL: [http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v13/papers/flerov\\_v13.htm/](http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v13/papers/flerov_v13.htm/) / *Kotlyarov P.M., Temirkhanov S.Z., Flerov K.E., et al.* Virtual bronchoscopy for diagnosis of lung carcinoma and post-operation follow-up. *Vestnik RNTsRR*. 2013. Available at: URL: [http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v13/papers/flerov\\_v13.htm](http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v13/papers/flerov_v13.htm) (in Russian).
  4. *Adali F., Uysal A., Bayramoglu S. et al.* Virtual and fiberoptic bronchoscopy in patients with indication for tracheobronchial evaluation. *Ann. Thorac. Med.* 2010; 5 (2): 104–109.
  5. *Asano F.* Virtual bronchoscopy. *Kyobu Geka*. 2007; 60 (8, Suppl.): 739–744.
  6. *Bakir B., Tuzun U., Terzibasoglu E. et al.* [The diagnostic efficiency of multislice CT virtual bronchoscopy in detecting endobronchial tumors]. *Tuberk. Toraks*. 2008; 56 (1): 43–49.
  7. *Bauer T.L., Steiner K.V.* Virtual bronchoscopy: clinical applications and limitations. *Surg. Oncol. Clin. N. Am.* 2007; 16 (2): 323–328.
  8. *Bonavita J., Naidich D.P.* Imaging of bronchiectasis. *Clin. Chest Med.* 2012; 33 (1.2): 233–248.
  9. *Cardinale L., Busso M., Cataldi A. et al.* 64-slice multidetector CT of tracheobronchopatia osteochondroplastica with virtual bronchoscopy view. *JBR-BTR*. 2010; 93(1): 31.
  10. *Edell E., Krier-Morrow D.* Navigational bronchoscopy: overview of technology and practical considerations – new Current Procedural Terminology codes effective 2010. *Chest*. 2010; 137 (2): 450–454.
  11. *Eshed I., Minski I., Katz R. et al.* Bronchiectasis: correlation of high-resolution CT findings with health-related quality of life. *Clin. Radiol.* 2007; 62 (1.2): 152–159.
  12. *Horton K.M., Horton M.R., Fishman E.K. et al.* Advanced visualization of airways with 64-MDCT: 3D mapping and virtual bronchoscopy. *Am. J. Roentgenol.* 2007; 189 (6): 1387–1396.
  13. *Sodhi K.S., Aiyappan S.K., Saxena A.K. et al.* Utility of multidetector CT and virtual bronchoscopy in tracheobronchial obstruction in children. *Acta Paediatr.* 2010; 99 (7): 1011–11015.
  14. *Yu K.C., Gibbs J.D., Graham M.W. et al.* Image-based reporting for bronchoscopy. *J. Digit. Imag.* 2010; 23 (1): 39–50.
  15. *Walsh S.L.F., Nair A., Hansell D.M.* Post-processing applications in thoracic computed tomography. *Clin. Radiol.* 2013; 68 (1.5) 433–448.
  16. *Георгиади С.Г., Котляров П.М.* Бронхиолиты – возможности рентгенологической диагностики. Атмосфера. Пульмонология и аллергология. 2003; 1 (8): 6–9. / *Georgiadi S.G., Kotlyarov P.M.* Bronchiolite: opportunities of image diagnosis. *Atmosfera. Pul'monologiya i allergologiya*. 2003; 1 (8): 6–9 (in Russian).

#### Информация об авторах

*Котляров Петр Михайлович* – д. м. н., профессор, зав. научно-исследовательским отделом новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ "РНЦПР" Минздрава России; тел.: (495) 334-81-86; e-mail: marnad@list.ru  
*Нуднов Николай Васильевич* – д. м. н., профессор, зам. директора по научной работе ФГБУ "РНЦПР" Минздрава России; тел.: (495) 502-63-81; e-mail: mailbox@rncrr.rssi.ru  
*Егорова Екатерина Владимировна* – к. м. н., ст. научный сотрудник научно-исследовательского отдела новых технологии и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ "РНЦПР" Минздрава России; тел.: (495) 334-81-86; e-mail: marnad@list.ru

Поступила 25.06.14

© Коллектив авторов, 2014

УДК 616.233-007.64-073.756.8