

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ С ТРЕХМЕРНОЙ ВОЛЮМЕТРИЕЙ  
В ДИАГНОСТИКЕ НАРУШЕНИЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ЛЕГКИХ  
У БОЛЬНЫХ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМОЙ

А.В.Ильин, Ю.М.Перельман, А.В.Леншин, А.Г.Приходько

Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания Сибирского отделения РАМН, 675000, г. Благовещенск, ул. Калинина, 22

РЕЗЮМЕ

Современная лучевая диагностика играет важную роль в постановке диагноза при широком спектре заболеваний бронхолегочной системы. В последние годы все большую актуальность приобретает применение рентгенофункциональных методов исследования для изучения течения бронхиальной астмы в связи с возрастающей распространенностью данного заболевания. С целью изучения возможностей метода компьютерной томографии с трехмерной волюметрией в диагностике нарушений вентиляционной функции легких проведено обследование 136 больных бронхиальной астмой различной степени тяжести и 16 здоровых добровольцев. Программа исследования включала в себя компьютерную томографию с инспираторно-экспираторным тестом, спирографию и бодиплетизмографию. Полученные данные компьютерной томографии были обработаны с помощью собственного метода трехмерной волюметрии, позволяющего произвести количественную оценку нарушений вентиляционной функции легких. При анализе полученных данных удалось отчетливо проследить взаимосвязь между функциональными методами исследования и волюметрией: показатели воздухонаполненности легких больных астмой коррелируют с данными функциональных методов исследования (спирографии и бодиплетизмографии), что позволяет применять их в практической оценке нарушений вентиляционной функции легких. Полученные параметры экспираторной воздухонаполненности легких у больных бронхиальной астмой достоверно отличались от показателей здоровых лиц и возрастали в зависимости от степени тяжести бронхиальной астмы. Разработаны количественные критерии диагностики гиперинфляции легких. Результаты исследования свидетельствуют об эффективности метода трехмерной волюметрии в диагностике нарушений вентиляционной функции легких у больных бронхиальной астмой.

*Ключевые слова:* бронхиальная астма, нарушение вентиляционной функции легких, компьютерная томография, трехмерная волюметрия, экспираторная воздухонаполненность.

SUMMARY

APPLICATION OF COMPUTER-AIDED  
TOMOGRAPHY WITH 3D VOLUMETRY IN  
THE DISAGNOSE OF LUNG FUNCTION  
DISORDERS IN PATIENTS WITH BRONCHIAL  
ASTHMA

A.V.Il'in, J.M.Perelman, A.V.Lenshin, A.G.Prikhodko

Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration of Siberian Branch RAMS, 22 Kalinina Str., Blagoveshchensk, 675000, Russian Federation

Modern radiodiagnosics plays an important role in diagnosing of a wide range of bronchopulmonary diseases. The application of roentgen functional methods for the study of bronchial asthma course is becoming more popular due to the increasing prevalence of the disease. To study the possibilities of the method of computer-aided tomography with 3D volumetry in the diagnose of the lung function disorders, 136 patients with bronchial asthma of different severity and 16 healthy people were examined. The program of study included computer-aided tomography with inspiratory-expiratory test, spirometry and bodyplethysmography. The obtained data of computer-aided tomography were processed with the help of our own method of 3D volumetry which allows to a quantify the estimation of lung ventilation disorders. While analyzing the data it was possible to find the correlation between functional methods of the research and volumetry: the indices of lungs inflation in asthmatics correlate with the data obtained with functional methods of the research (spirometry and bodyplethysmography), which allows to use them in practical estimation of disorders of lung function. The obtained parameters of expiratory inflation of lungs in patients with bronchial asthma were different from the parameters of healthy people and increased depending on the severity of the disease. The quantitative criteria of lungs hyperinflation diagnose were developed. The results of the research prove the effectiveness of the method of 3D-volumetry in the diagnose of disorders of the lung function in patients with bronchial asthma.

*Key words:* bronchial asthma, lung function disorders, computer-aided tomography, 3D volumetry, expiratory hyperinflation.

В современной пульмонологии все большее значение приобретает метод компьютерной томографии (КТ), обладающий широким спектром диагностических возможностей и позволяющий оценить минимальные изменения легочной ткани и бронхиального дерева. КТ как технология неуклонно развивается, завоевывая все новые сферы для диагностики. В последнее десятилетие появился ряд научных работ, в которых описано применение КТ в анализе нарушений вентиляционной функции легких (ВФЛ), сопровождающих бронхиальную астму (БА).

Томографическая картина при БА разнообразна и включает в себя признаки изменения бронхов и нарушения воздухонаполненности. Воспаленные бронхи расширены, стенки их утолщены, заполненные бронхиолы отображаются симптомом «деревя в почках» [3, 7]. Применение современных методов компьютерного анализа позволяет измерять толщину бронхиальной стенки на протяжении бронха, площадь сечения бронхов на различных уровнях, что помогает дифференцировать интактные и воспаленные бронхи [9, 11], высокоразрешающая КТ позволяет проводить измерения бронхов до 6 порядка [6]. В целом, исследование бронхов при БА дает представление о степени характерного для заболевания ремоделирования воздушных путей [5], но следует отметить, что топографическое изучение бронхов информативно только по отношению к бронхам крупного и среднего калибра, в изучении нарушений проходимости малых дыхательных путей более значимую роль будет иметь анализ не структуры самих бронхов, а последствий ремоделирования в виде нарушений воздухонаполненности [9]. В ряде случаев нарушение воздухонаполненности удается оценить визуально: регистрируются единичные «воздушные ловушки», ограниченные зоны гиперинфляции, массивная мозаичная неравномерность вентиляции. Особенно ярко нарушения вентиляции выявляются при дополнительном исследовании легких в фазе глубокого выдоха (эспираторная фаза) [7, 8, 10, 12].

Большинство исследователей применяют для оценки нарушений ВФЛ анализ аксиальных сканов КТ, посредством выбора одной или нескольких (чаще трех – верхней, средней и нижней) зон легкого для исследования и последующего анализа [4, 6]. Преимуществом данного подхода является возможность рассмотрения определенной зоны легкого с последующим выводом о неравномерности вентиляции, но зональный подход не обеспечивает оценку всего объема легочной ткани от верхушки легкого до диафрагмы.

В отделении лучевых методов исследования ФГБУ «ДНЦ ФПД» СО РАМН более 25 лет проводится работа по изучению нарушений ВФЛ посредством лучевых методов исследования. Соответственно этапам развития диагностических методик, вначале использовался метод флюорофункционального скрининга, с появлением КТ в 2004 году проводились работы с применением метода зональной денситометрии [2].

Дальнейшее совершенствование методов рентгенофункциональной диагностики заболеваний легких в 2011 году привело к разработке нового метода количественной оценки, основанного на построении трехмерных КТ-моделей воздухонаполненности легких в инспираторную и эспираторную фазы дыхания [1].

Цель настоящего исследования – изучить возможности метода КТ с трехмерной волюметрией в диагностике нарушений ВФЛ у больных БА.

#### Материалы и методы исследования

В 2011–2013 годах нами было проведено исследование группы 136 больных БА, из них 51 пациент с астмой легкой тяжести (БАЛТ), 79 – с БА средней тяжести

(БАСТ) и 6 больных астмой тяжелого течения (БАТТ). Все исследования были проведены на мультиспиральном КТ (МСКТ) Toshiba-Activion 16 (Япония), который оснащен стандартным программным обеспечением. Каждому больному проведено двухэтапное исследование, в инспираторную и эспираторную фазы дыхания, с последующим построением трехмерных моделей воздухонаполненности в заданном денситометрическом диапазоне от -850 HU и ниже, соответствующему плотности воздуха [1].

В результате измерений регистрируется ряд параметров, измеряемых в условных объемных единицах – вокселях (vox.): эспираторная воздухонаполненность правого легкого (ЭВП); эспираторная воздухонаполненность левого легкого (ЭВЛ); суммарная эспираторная воздухонаполненность правого и левого легких (ЭВ2); инспираторная воздухонаполненность правого легкого (ИВП); инспираторная воздухонаполненность левого легкого (ИВЛ); суммарная эспираторная воздухонаполненность правого и левого легких (ИВ2). На основе полученных показателей вычисляется отношение параметров воздухонаполненности легких в эспираторную и инспираторную фазы дыхания (в %): остаточная воздухонаполненность правого легкого ( $ОВП=ЭВП/ИВП$ ); остаточная воздухонаполненность левого легкого ( $ОВЛ=ЭВЛ/ИВЛ$ ); общая остаточная воздухонаполненность правого и левого легких ( $ОВ2=ЭВ2/ИВ2$ ).

В программу исследования нарушений ВФЛ наряду с КТ с трехмерной волюметрией вошли функциональные методы исследования (спирография и бодиплетизмография). Были проанализированы следующие показатели (в % от долж. величин): объем форсированного выдоха за первую секунду ( $ОФВ_1$ ); максимальная объемная скорость в момент выдоха 50% ( $МОС_{50}$ ) форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ), оставшейся в легких; максимальная объемная скорость в момент выдоха 75% ФЖЕЛ оставшейся в легких ( $МОС_{75}$ ); средняя объемная скорость выдоха в интервале от 25% до 75% ФЖЕЛ ( $СОС_{25-75}$ ); общая емкость легких (ОЕЛ); остаточный объем легких (ОЕЛ); отношение остаточного объема легких к общей емкости легких, в % ( $ООЛ/ОЕЛ$ ).

В качестве контрольной группы по аналогичному диагностическому алгоритму было обследовано 16 здоровых добровольцев.

Статистическая обработка данных осуществлялась стандартными методами вариационной статистики с помощью программы «Автоматизированная система диспансеризации». Достоверность различий значений между разными выборками определялась с помощью непарного t-критерия Стьюдента.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В результате обработки данных проведенного двухфазного КТ-исследования были сформированы трехмерные модели, по которым производился подсчет параметров воздухонаполненности. На рисунке представлены показательные трехмерные модели эспираторной воздухонаполненности легких у больных БА

различной степени тяжести, для сравнения приведена модель экспираторной воздухонаполненности здорового человека.

Средние значения показателей воздухонаполненности представлены в таблице 1, показателей спирографии и бодиплетизмографии – в таблице 2.

При анализе полученных данных выявлено достоверное отличие показателей больных БА от контрольной

группы, отчетливо прослеживается тенденция увеличения показателей воздухонаполненности при нарастании степени тяжести БА, наиболее достоверно различие показателей экспираторной воздухонаполненности (ЭВП, ЭВЛ, ЭВ2) и остаточной воздухонаполненности (ОВП, ОВЛ, ОВ2), а также функциональных показателей  $MOC_{50}$ ,  $MOC_{75}$ ,  $COC_{25-75}$ , ОЕЛ, ООЛ, ООЛ/ОЕЛ.

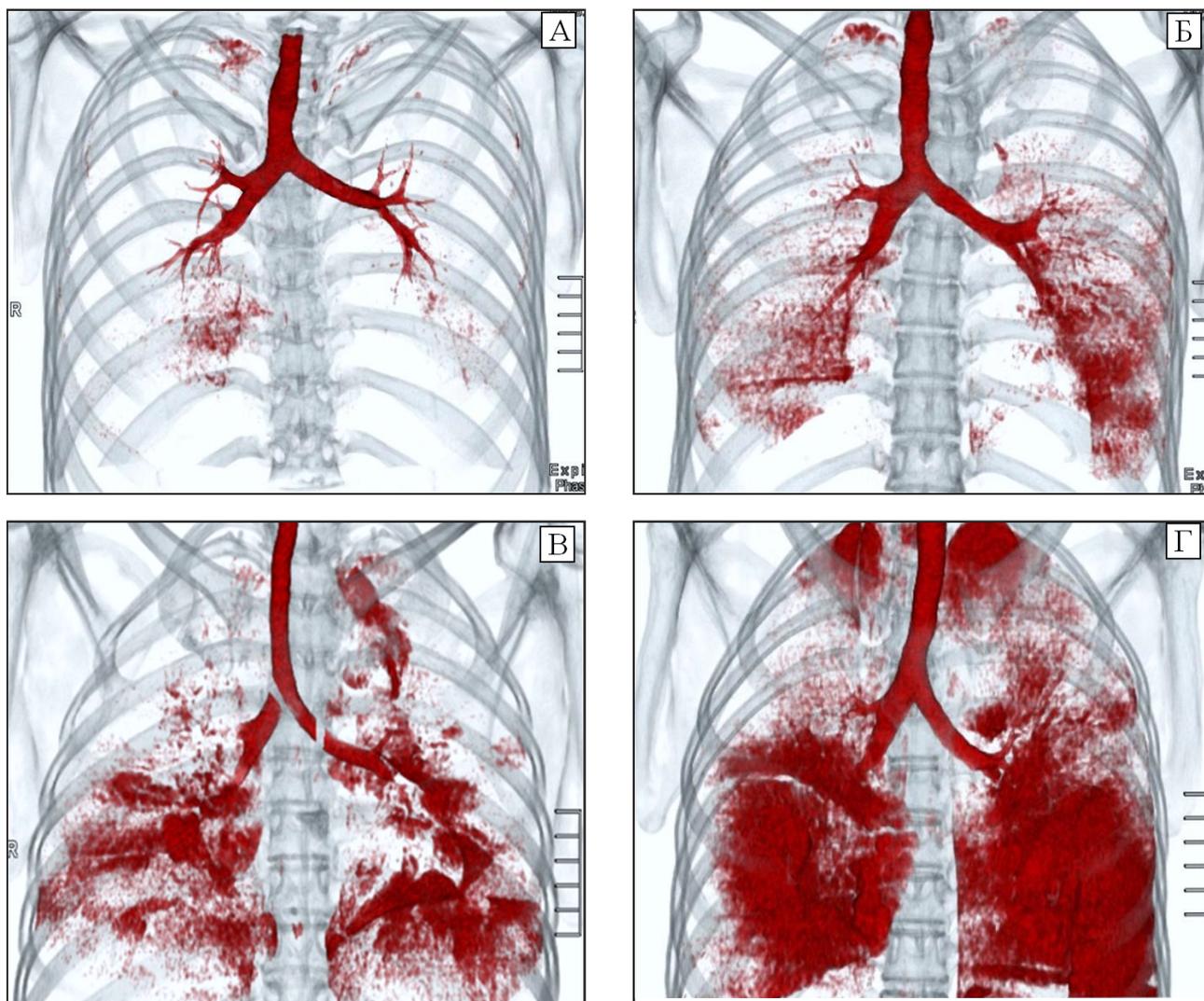


Рис. Трехмерные модели экспираторной воздухонаполненности легких здорового человека (А) и больных БА различной степени тяжести: Б – БАЛТ, В – БАСТ, Г – БАТТ. Окрашены участки, соответствующие плотности воздуха (в денситометрическом диапазоне от -850 HU и ниже).

Дифференцированные показатели воздухонаполненности правого и левого легкого (ЭВП, ЭВЛ, ИВП, ИВЛ, ОВП, ОВЛ) существенно не различались, и в равной мере увеличивались с нарастанием степени тяжести астмы. Это свидетельствует о достаточно равномерном поражении как правого, так и левого легкого у больных БА, и может иметь значение в дифференциальной диагностике с другими, или сопутствующими состояниями, для которых характерно поражение одного легкого (аномалии развития, синдром Маклеода, стеноз крупного бронха и т.д.).

При анализе показателей объединенной группы больных БА отмечена высокая корреляция ЭВ2 с остаточным объемом легких по данным бодиплетизмогра-

фии ( $r=0,44$ ;  $p<0,001$ ), ИВ2 с общей емкостью легких ( $r=0,3$ ;  $p<0,001$ ), ОВ2 с индексом ООЛ/ОЕЛ ( $r=0,44$ ;  $p<0,001$ ), ИВ2 с ФЖЕЛ ( $r=0,45$ ;  $p<0,001$ ) и ИВ2 с ОФВ1 ( $r=0,29$ ;  $p<0,01$ ), что указывает на сопоставимость объемов воздуха в легких, измеренных с помощью разработанного метода, с данными спирографии и бодиплетизмографии, признанными «золотыми стандартами» в диагностике нарушений ВФЛ, и позволяет использовать показатели трехмерной волуметрии в оценке состояния ВФЛ.

По данным проведенного исследования был разработан способ диагностики гиперинфляции легких, заключающийся в оценке экспираторной воздухонаполненности легких. Полученные при исслед-

довании значения сравниваются с контрольными показателями. Для ЭВП контрольный показатель составляет 112 vox., для ЭВЛ 87 vox. В случае превышения значений делается вывод о наличии гиперинфляции. Преимуществом данного метода является возможность

оценки воздухонаполненности отдельно в правом или левом легком, что отличается от интеграционных функциональных измерений при спирографии и бодиплетизмографии.

**Таблица 1**  
**Сравнение показателей трехмерной волюметрии больных БА и здоровых лиц контрольной группы (M±m)**

Показатели	Контрольная группа	Общая совокупность больных БА	БАЛТ	БАСТ	БАТТ
ИВП, vox.	2223,75±235,25	1802,1±71,46	1931,9±126,32	1689,03±85,26*	2136,83±444,79
ИВЛ, vox	1914,63±217,58	1601,56±65,66	1708,2±111,8	1490,53±79,08*	2079±454,51
ИВ2, vox.	4138,38±451,49	3403,65±136,42	3640,1±237,04	3179,56±163,38*	4215,83±898,94
ЭВП, vox.	47,56±9,8	211,57±24,62*	135,16±23,87*	228,35±32,89*	665,33±219,36***
ЭВЛ, vox.	35,13±7,9	206,29±24,91*	116,98±19,43*	226,78±34,21*	715,83±200,74***
ЭВ2, vox	82,69±17,23	417,86±48,64*	252,14±41,95*	455,14±66*	1381,17±408,08***
ОВП, %	1,92±0,41	11,08±1,12**	7,18±1,12*	12,54±1,59**	27,13±7,78***
ОВЛ, %	1,84±0,43	11,71±1,16**	6,8±1,02**	13,77±1,69**	29,16±6,73***
ОВ2, %	1,88±0,42	11,40±1,12**	6,99±1,04**	13,15±1,61**	28,14±7,06***

*Примечание:* здесь и в следующей таблице \* – p<0,05, \*\* - p<0,01, \*\*\* - p<0,001 – уровни статистической значимости различий показателей в сравнении с контрольной группой.

**Таблица 2**  
**Показатели спирографии и бодиплетизмографии (M±m)**

Показатели	Контрольная группа	Общая совокупность больных БА	БАЛТ	БАСТ	БАТТ
ФЖЕЛ, % долж.	100,64±4,58	97,85±1,67	103,18±2,64	96,59±1,8	63,63±10,75**
ОФВ <sub>1</sub> , % долж.	101,18±1,88	88,06±1,88	95,72±2,75	85,83±2,18*	48,55±9,71***
МОС <sub>50</sub> , % долж.	99,09±2,54	62,97±2,54***	71,08±3,68***	60,8±3,29***	20,3±7,38***
МОС <sub>75</sub> , % долж.	95,36±2,65	54,4±2,65***	66,19±4,25**	49,25±3,15***	7,47±2,75***
СОС <sub>25-75</sub> , % долж.	96,82±2,72	63,11±2,72***	71,44±4,29**	60,08±3,32***	11,17±2,46***
ОЕЛ, % долж.	87,93±7,64	105,29±1,26***	106,86±1,86***	103,3±1,74**	110,17±8,37
ООЛ, % долж.	77,8±12,95	112,71±3,3**	109,69±5,01**	113,67±4,42**	119±23,36
ООЛ/ОЕЛ, %	74,4±11,87	104,36±2,39***	99,49±3,53**	107,81±3,22**	101,67±15,48

**Выводы**

1. Разработанный метод трехмерной компьютерно-томографической волюметрии легких является эффективным способом диагностики нарушений ВФЛ у больных БА, позволяющим произвести не только визуальную, но и количественную оценку изменений воздухонаполненности легких.

2. Показатели воздухонаполненности легких больных БА достоверно отличаются от показателей здоровых лиц и возрастают в зависимости от степени тяжести заболевания.

3. Показатели воздухонаполненности легких больных БА коррелируют с данными функциональных методов исследования (спирография и бодиплетизмография), что позволяет применять их в

практической оценке нарушений ВФЛ.

4. В отличие от интеграционных функциональных методов исследования, метод трехмерной волюметрии позволяет отчетливо визуализировать локализованные изменения воздухонаполненности легких и произвести количественную оценку нарушений ВФЛ отдельно в правом и левом легком.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Новый метод лучевой диагностики нарушений вентиляционной функции легких посредством мульти-спиральной компьютерной томографии / А.В.Ильин [и др.] // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2013. Вып.47. С.41–47

2. Леншин А.В. Разработка и клиническое применение методов рентгенофункционального исследова-

ния легких // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2004. Вып.16. С.6–11.

3. Bankier A.A., O'Donnell C.R., Boiselle P.M. Quality initiatives. Respiratory instructions for CT examinations of the lungs: a hands-on guide // *Radiographics*. 2008. Vol.28, №4. P.919–931.

4. A multivariate analysis of risk factors for the air-trapping asthmatic phenotype as measured by quantitative CT analysis / A.Busacker [et al.] // *Chest*. 2009. Vol.135, №1. P.48–56.

5. High-resolution computed tomography evaluation of airway distensibility in asthmatic and healthy subjects / A. Castagnaro [et al.] // *Radiol. Med*. 2008. Vol.113, №1. P.43–55.

6. Lung imaging in asthma: the picture is clearer / M.Castro [et al.] // *J. Allergy Clin. Immunol*. 2011. Vol.128, №3. P.467–478.

7. Franquet T. Técnicas de imagen en la exploración de la vía aérea pequeña: asma y EPOC // *Arch. Bronconeumol*. 2011. Vol.47, №2. P.20–26.

8. Uncomplicated asthma in adults: comparison of CT appearance of the lungs in asthmatic and healthy subjects / D.A.Lynch [et al.] // *Radiology*. 1993. Vol.188, №3. P.829–833.

9. Quantitative assessment of air trapping in chronic obstructive pulmonary disease using inspiratory and expiratory volumetric MDCT / S. Matsuoka [et al.] // *Am. J. Roentgenol*. 2008. Vol.190, №3. P.762–769.

10. Radiological approach to asthma and COPD – the role of computed tomography / Y.Nakano [et al.] // *Allergol. Int*. 2009. Vol.58, №3. P.323–331.

11. Clinical assessment of airway remodeling in asthma: utility of computed tomography / A.Niimi [et al.] // *Clin. Rev. Allergy Immunol*. 2004. Vol.27, №1. P.45–58.

12. Stern E.J., Frank M.S. Small-airway diseases of the lungs: findings at expiratory CT // *Am. J. Roentgenol*. 1994. Vol.163, №1. P.37–41.

## REFERENCES

1. Il'in A.V., Lenshin A.V., Odireev A.N., Perelman J.M. *Bülleten' fiziologii i patologii dyhaniyâ* 2013; 47:41–47.

2. Lenshin A.V. *Bülleten' fiziologii i patologii dyhaniyâ*

2004; 16:6–11.

3. Bankier A.A., O'Donnell C.R., Boiselle P.M. Quality initiatives. Respiratory instructions for CT examinations of the lungs: a hands-on guide. *Radiographics* 2008; 28(4):919–931.

4. Busacker A., Newell Jr.J.D., Keefe T., Hoffman E.A., Granroth J.C., Castro M., Fain S., Wenzel S. A multivariate analysis of risk factors for the air-trapping asthmatic phenotype as measured by quantitative CT analysis. *Chest* 2009; 135(1):48–56.

5. Castagnaro A., Rastelli A., Chetta A., Marangio E., Tzani P., De Filippo M., Aiello M., D'Ippolito R., Olivieri D., Sverzellati N., Zompatori M. High-resolution computed tomography evaluation of airway distensibility in asthmatic and healthy subjects. *Radiol. Med*. 2008; 113(1):43–55.

6. Castro M., Fain S.B., Hoffman E.A., Gierada D., Erzurum S.C., Wenzel S. Lung imaging in asthma: the picture is clearer. *J. Allergy Clin. Immunol*. 2011; 128(3):467–478.

7. Franquet T. Técnicas de imagen en la exploración de la vía aérea pequeña: asma y EPOC. *Arch. Bronconeumol*. 2011; 47(2):20–26.

8. Lynch D.A., Newell J.D., Tschomper B.A., Cink T.M., Newman L.S., Bethel R. Uncomplicated asthma in adults: comparison of CT appearance of the lungs in asthmatic and healthy subjects. *Radiology* 1993; 188(3):829–833.

9. Matsuoka S., Kurihara Y., Yagihashi K., Hoshino M., Watanabe N., Nakajima Y. Quantitative assessment of air trapping in chronic obstructive pulmonary disease using inspiratory and expiratory volumetric MDCT. *Am. J. Roentgenol*. 2008; 190(3):762–769.

10. Nakano Y., Van Tho N., Yamada H., Osawa M., Nagao T. Radiological approach to asthma and COPD - the role of computed tomography. *Allergol. Int*. 2009; 58(3):323–331.

11. Niimi A., Matsumoto H., Takemura M., Ueda T., Nakano Y., Mishima M. Clinical assessment of airway remodeling in asthma: utility of computed tomography. *Clin. Rev. Allergy Immunol*. 2004; 27(1):45–58.

12. Stern E.J., Frank M.S. Small-airway diseases of the lungs: findings at expiratory CT. *Am. J. Roentgenol*. 1994; 163(1):37–41.

Поступила 03.02.2014

Контактная информация

Андрей Валерьевич Ильин,

аспирант лаборатории функциональных методов исследования дыхательной системы, Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания Сибирского отделения РАМН,

675000, г. Благовещенск, ул. Калинина, 22.

E-mail: dr.ilyin.av@gmail.com

Correspondence should be addressed to

Andrey V. Il'in,

MD, Postgraduate student of Laboratory of Functional Research of Respiratory System,

Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration SB RAMS,

22 Kalinina Str., Blagoveshchensk, 675000, Russian Federation.

E-mail: dr.ilyin.av@gmail.com