

УДК 616-073.756.8:616.24-008.4.7

НОВЫЙ МЕТОД ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ НАРУШЕНИЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ЛЕГКИХ ПОСРЕДСТВОМ МУЛЬТИСПИРАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ**А.В.Ильин, А.В.Леншин, А.Н.Одиреев, Ю.М.Перельман***Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания Сибирского отделения РАН, 675000, г. Благовещенск, ул. Калинина, 22***РЕЗЮМЕ**

Цель исследования – разработка нового метода количественной оценки нарушений вентиляционной функции легких, основанного на анализе 3-мерного моделирования результатов мультиспиральной компьютерной томографии. В работе рассматривается новый метод лучевой диагностики нарушений вентиляционной функции легких – 3-мерная волнометрия. Представлена методика выполнения, возможности практического применения в отношении ряда заболеваний (хроническая обструктивная болезнь легких, бронхиальная астма, аномалии развития легких и туберкулез) на примере конкретных исследований. Показано, что метод 3-мерной волнометрии, основанный на мультиспиральной компьютерной томографии, имеет несомненные преимущества не только перед другими методами лучевой диагностики, но и перед функциональными методами исследования, общепринятыми в диагностике нарушений вентиляционной функции легких. В своих возможностях метод выходит за рамки традиционной компьютерной томографии и открывает новые грани 3-мерного моделирования мультиспиральной компьютерной томографии. Так, волнометрия позволяет достаточно быстро оценить степень нарушения вентиляционной функции легких не только визуально, но и количественно, построение объемных моделей дает неоспоримое преимущество по сравнению с плоскостными изображениями при стандартной мультиспиральной компьютерной томографии. Благодаря 3-мерной волнометрии стало возможным оценить функцию отдельно каждого легкого, а при необходимости отдельно взятого участка легкого, пораженного патологическим процессом, будь то воздушные полости или ограниченный участок гиперинфляции при пороках развития. Выявление патологических зон гиперинфляции в легких может стать средством прогнозирования возникновения и течения патологического процесса, воспаления, присоединения инфекции.

Ключевые слова: 3-мерная волнометрия, мультиспиральная компьютерная томография, воздушнотолченность легких, количественная оценка вентиляционной функции легких.

SUMMARY**NEW METHOD OF X-RAY DIAGNOSTICS OF DISTURBANCES OF LUNGS VENTILATION FUNCTION BY MULTIDETECTOR COMPUTED****TOMOGRAPHY****A.V.Il'in, A.V.Lenshin, A.N.Odireev, J.M.Perelman***Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration of Siberian Branch RAMS, 22 Kalinina Str., Blagoveshchensk, 675000, Russian Federation*

The aim of the research is to develop a new method of quantitative assessment of lung ventilation function disturbances based on the analysis of 3D modeling of multidetector computed tomography results. The work deals with 3D volumetry, which is the new method of X-ray diagnostics of lung ventilation function disturbances. The methodology of conducting the diagnostics, the possibilities of its practical application to some diseases (chronic obstructive pulmonary disease, bronchial asthma, anomalies of lungs development and tuberculosis) at the example of specific researches are presented in the article. It is shown that the method of 3D volumetry based on the multidetector computed tomography has indisputable advantages not only in comparison with other methods of X-ray diagnostics but also with functional methods of research commonly accepted in diagnostics of lung ventilation function disturbances. This method has a bigger potential than traditional computed tomography and opens new possibilities of 3D modeling of multidetector computed tomography. Thus, for example, volumetry allows to make a quick assessment of the degree of lung ventilation function disturbances not only visually, but also quantitatively; the construction of 3D models gives an unquestionable advantage in comparison with traditional images at standard multidetector computed tomography. Due to 3D volumetry it has become possible to assess the function of each lung separately and if necessary the function of a separate part of the lung affected by the pathological process whether it is air cavity or a limited part of hyperinflation at the defects of lung development. The identification of pathological zones of hyperinflation in lungs can become the means of prediction of development and of clinical course of the pathological process, inflammation, and addition of the infection.

Key words: 3D volumetry, multidetector computed tomography, lung air fullness, quantitative assessment of lung ventilation function.

В современной пульмонологии выделяется широкий спектр заболеваний, сопровождающихся нарушением вентиляционной функции легких (ВФЛ). К ним относятся воспалительные заболевания, опухоли, аллергические процессы, аномалии развития легких. В

их диагностике большое значение имеют лучевые методы исследования, позволяющие визуально оценить степень поражения легочной ткани и локализацию процесса, однако, большинство методов (флюорография и рентгенография) позволяют визуализировать только структурные изменения органов дыхания, без детализации распространенных (диффузных) или локализованных вентиляционных нарушений.

В последние годы широкое распространение получила мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), обладающая высокой разрешающей способностью (менее 1 мм). МСКТ позволяет в наиболее полной мере выявлять патологические изменения и является одним из самых современных методов лучевой диагностики заболеваний легких, с ее помощью появилась возможность диагностировать не только мельчайшие очаговые изменения в ткани бронхов и легких, но и вентиляционные нарушения. Общепринятым является МСКТ-исследование, проводимое на высоте глубокого вдоха, но для изучения нарушений ВФЛ предложено применять двухфазное исследование с проведением инспираторно-экспираторного теста, который заключается в дополнении стандартного исследования органов грудной полости на вдохе исследованием, выполненным на высоте максимального выдоха [1, 5]. При анализе результатов томографии возможна визуальная оценка нарушений ВФЛ, они будут проявляться зонами гиперинфляции или гиповентиляции.

Изучение ВФЛ с применением рентгеновских методов началось в 40-50 гг. XX столетия. Все методы были основаны на измерении оптической плотности получаемых на пленке рентгеновских изображений – рентгенокимография, рентгенополипневмография, радиосцинтиграфия, зональная рентгеноденситометрия и др. К концу XX века стала применяться цифровая рентгено (флюоро) графия. К сожалению, данные методы отражали лишь интегральную плотность исследуемого объекта, и результат сильно зависел от

качества снимка.

Цель данного исследования – разработка нового метода количественной оценки нарушений вентиляционной функции легких, основанного на анализе 3-мерного моделирования результатов МСКТ.

Результаты исследования и их обсуждение

МСКТ, в отличие от стандартных рентгенологических методов, в интерпретации своих результатов имеет важную составляющую в виде денситометрического анализа, основанного на шкале Хаунсфилда, который позволяет провести количественную оценку плотности отдельной конкретно взятой точки изображения или целой области, что исключает субъективизм визуальной оценки.

В настоящее время, наиболее распространенным у исследователей, занимающихся изучением нарушений ВФЛ, является метод зональной денситометрии. Он заключается в выборе трех зон исследуемых легких – верхней, средней и нижней и последующем их анализе. Данный метод используется уже более 10 лет в диагностике нарушений ВФЛ, в основном в диагностике дисплазий и ХОБЛ, но, несмотря на это, общепринятых параметров, характерных для конкретных заболеваний, разработано не было. На начальных этапах разработки метода определение степени нарушения вентиляции основывалось лишь на визуальной оценке изучаемых срезов, в дальнейшем – на оценке суммарной денситометрической плотности получаемых изображений и оценке разницы между денситометрической плотностью на вдохе и выдохе. В современных работах проводится более глубокий анализ, позволяющий выявить зоны нарушения вентиляции путем выделения определенного денситометрического диапазона (рис. 1). Так, ряд исследователей применяет цветовое картирование с выделением нескольких диапазонов плотностей, соответствующих плотности легочной ткани, плотности воздуха, плотности фиброзных изменений [5, 7].

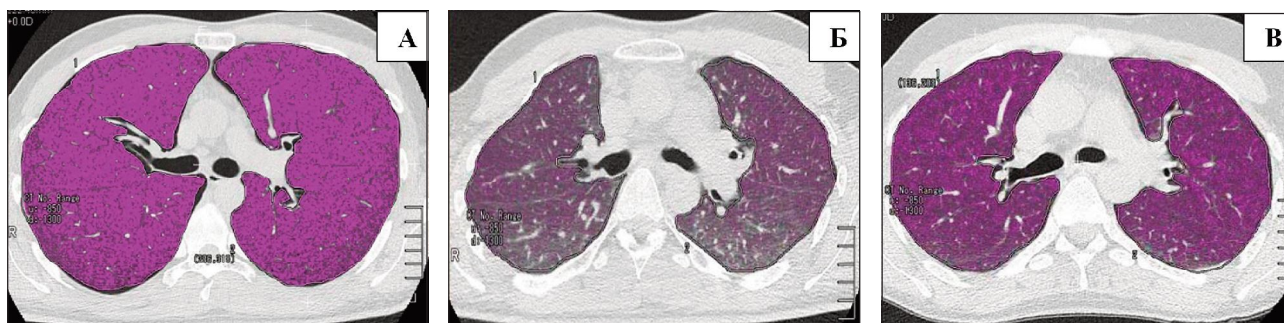


Рис. 1. Метод зональной денситометрии. Представлены аксиальные срезы на уровне бифуркации трахеи. Результаты обследования здорового человека в инспираторную (А) и экспираторную (Б) фазы дыхания, больного с нарушением ВФЛ в экспираторную фазу дыхания (В). Цветом выделены участки легких, соответствующие по своим денситометрическим параметрам плотности воздуха (минус 850 НУ и ниже). Отмечается повышение остаточного объема в обоих легких (В) у больного с нарушением ВФЛ, количество окрашенных участков во много превосходит количество аналогичных участков у здорового человека (Б). В инспираторную фазу у здорового человека отмечается равномерное заполнение легких (А).

В последнее время рассматриваются различные вариации зональной денситометрии на основе мультипланарных реконструкций, но их недостатком, также как и приаксиальной зональной денситометрии, является то, что из всего объема легких для изучения берется лишь определенный срез, и картина патологических изменений получается не полной.

Лишен этого недостатка предлагаемый нами метод 3-мерной волюметрии, позволяющий количественно оценить степень нарушения ВФЛ. В его основе лежит методика двухфазной МСКТ с инспираторно-экспираторным тестом и последующим волюметрическим анализом полученных 3-мерных моделей воздухонаполненности легких. В качестве единицы измерения в 3-мерных измерениях принят «воксел» (англ. voxel) – элемент объёмного изображения, содержащий значение элемента раstra в трёхмерном пространстве, который в 3-мерном пространстве является аналогом 2-мерного пиксела.

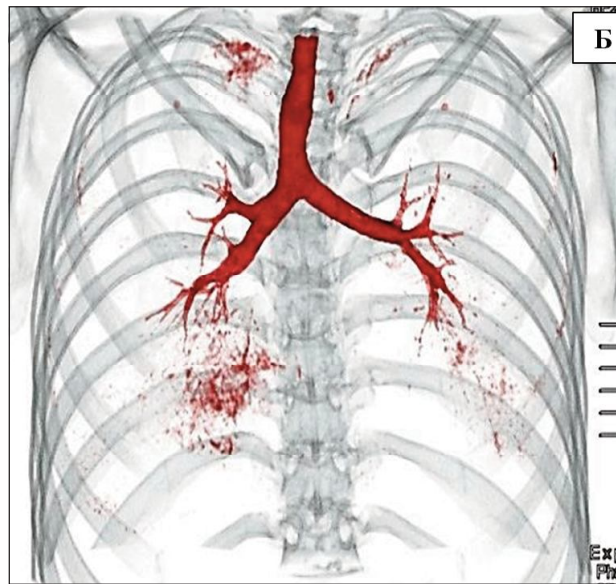
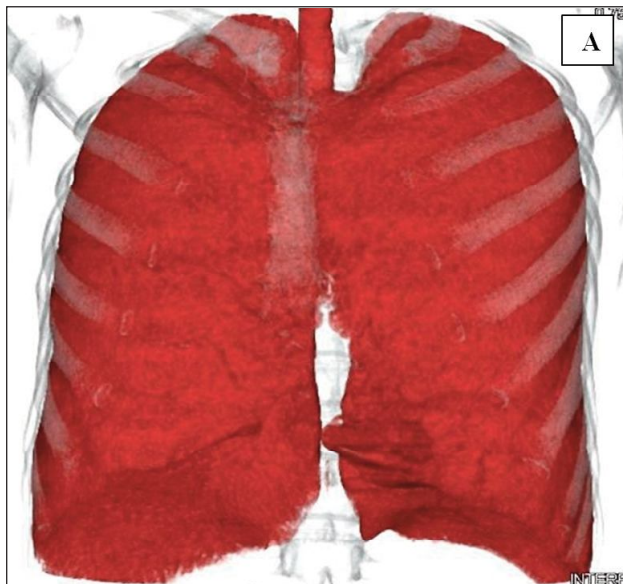


Рис. 2. 3-мерная реконструкция воздухонаполненности легких здорового человека во время глубокого вдоха (А) и максимального выдоха (Б). Красным цветом окрашены участки легких, соответствующие по своим денситометрическим параметрам плотности воздуха (минус 850 HU и ниже). На вдохе оба легких полностью заполнены, на выдохе – участков легочной ткани в заданном диапазоне плотности практически не выявляется (общий объем не более 100 вокселей).

По мнению большинства исследователей, занимающихся изучением результатов функциональной МСКТ органов дыхания, денситометрические параметры воздуха находятся в диапазоне от минус 950 и ниже, либо от минус 850 и ниже [7, 8]. Для того чтобы разработать оптимальные денситометрические параметры воздухонаполненности и выделить критерии патологических изменений, наряду с исследованием больных мы произвели обследование группы здоровых лиц (в количестве 25 человек). В результате исследования наиболее оптимальными денситометрическими границами для измерения воздухонаполненности приняты параметры от минус 850 HU и ниже. При 3-мерной волюметрии у здоровых обследуемых в экспираторную фазу дыхания именно в этом диапазоне мы практически не находили

«остаточного воздуха», и объем его был не более 100 вокселей в каждом легком (рис. 2). Поэтому, именно денситометрические границы отминус 850 HU и ниже позволяют получать наиболее точные и достоверные данные, а величина остаточного объема более 100 вокселей для одного легкого может служить критерием нарушения ВФЛ.

При осуществлении волюметрического анализа предлагаемому нами методу из зоны подсчета удаляют трахею и крупные бронхи (анатомическое мертвое пространство), тем самым уменьшая погрешность измерений. Еще одним из преимуществ 3-мерной волюметрии можно считать возможность разделения общего показателя на два, конкретно для каждого легкого, что невозможно сделать при таких общепринятых

функциональных методах как спирометрия и бодиплетизмография. В некоторых случаях возможна более глубокая дифференцировка исследуемой области, например при анализе объема отдельно расположенной полости или анализе отдельно взятой доли легкого. Существует возможность оценки проходимости трахеи и крупных бронхов (вплоть до сегментарных).

Предложенный метод 3-мерной волюметрии, по нашему мнению, имеет большие практические перспективы, главным образом, в оценке степени нарушения вентиляции у больных хроническими заболеваниями легких, оценке степени поражения легочной ткани при пороках развития.

В качестве примеров приводятся краткие данные проведенных научных исследований, а также интересные случаи из практики, в диагностике которых нами применялась методика 3-мерной волюметрии.

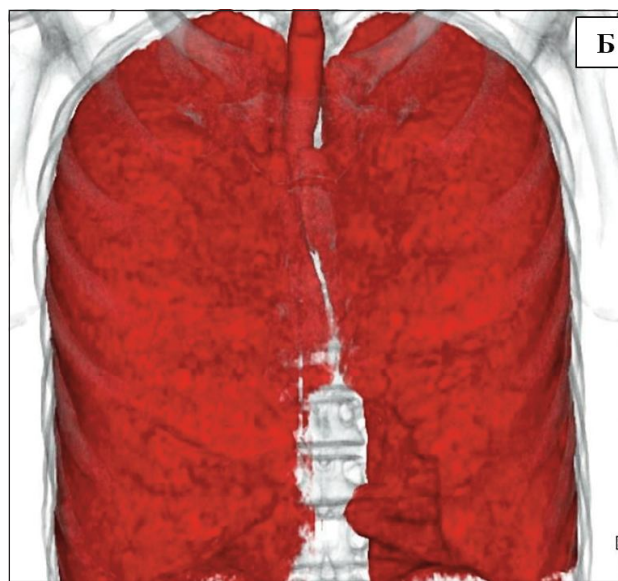
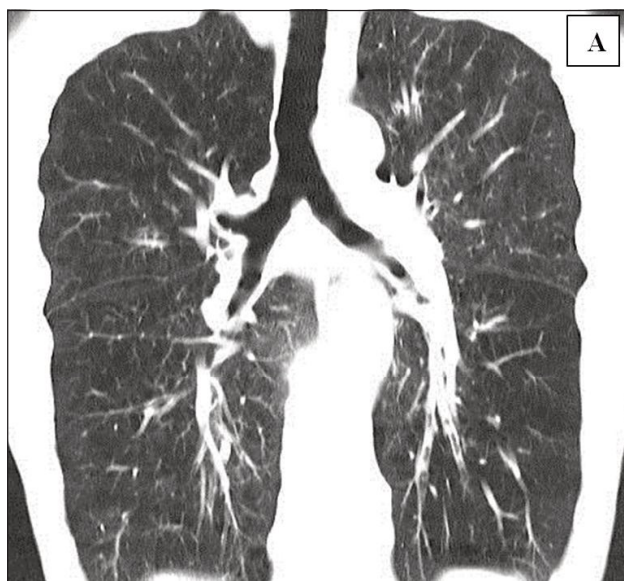


Рис. 3. МСКТ в диагностике ХОБЛ. А – мультипланарная реконструкция в коронарной плоскости (срединный срез), исследование выполнено в инспираторную фазу дыхания: пневматизация легочных полей повышена за счет распространенной эмфиземы; обращает на себя внимание увеличение размеров легких. Б – 3-мерная реконструкция исследования, проведенного в экспираторную фазу дыхания: зафиксирован большой остаточный объем в обоих легких, обусловленный эмфиземой, объем легких увеличен.

Изображение 3-мерной модели при ХОБЛ имеет характерный вид – двустороннее, относительно симметричное поражение с достаточно выраженным остаточным объемом (гиперинфляцией), величина которого будет зависеть от степени тяжести заболевания (рис. 3). Большое значение имеет исследование, выполненное в инспираторную фазу дыхания, при котором также отмечается увеличение показателя воздушности, в сравнении со здоровыми легкими.

Бронхиальная астма

При исследовании больных бронхиальной астмой (БА) изменения фиксируются в экспираторную фазу исследования, подсчитывается объем «воздушных ловушек», который, как и при исследовании больных ХОБЛ, увеличивается в зависимости от степени выраженности заболевания [6].

Хроническая обструктивная болезнь легких

Наиболее частым объектом изучения функциональной МСКТ является хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) [8, 9, 10]. Это объясняется тем, что зональная денситометрия и другие томографические методы являются наиболее чувствительными и неинвазивными в прижизненной оценке эмфиземы. К сожалению, в силу ряда причин, в современной медицинской практике выполнение МСКТ для больных ХОБЛ носит, скорее, дополнительный характер и применяется в основном для исключения осложнений. Значительная часть исследований посвящена изучению поражения бронхиального дерева при ХОБЛ, но для подобного анализа необходимо специализированное программное обеспечение, позволяющее измерять толщину бронхиальной стенки на протяжении [7].

Нами проведено достаточно масштабное обследование 130 больных БА с применением метода 3-мерной волюметрии. В результате нарушение ВФЛ зарегистрировано у 122 (94%) пациентов. У 6% больных, все они с легкой степенью БА, изменений с помощью метода 3-мерной волюметрии выявлено не было.

Как и в функциональной диагностике БА с помощью спирографии и бодиплетизмографии изменение вентиляции возможно оценить с применением различных тестов. Так, у 15 пациентов проводилось исследование с применением бронходилатационной пробы, вначале до, затем после ингаляции фенотерола гидробромида (Беротек Н®). После ингаляции у больных отмечалось уменьшение объема «воздушных ловушек» в фазе максимального выдоха в среднем на $12 \pm 4,7\%$ (рис. 4).

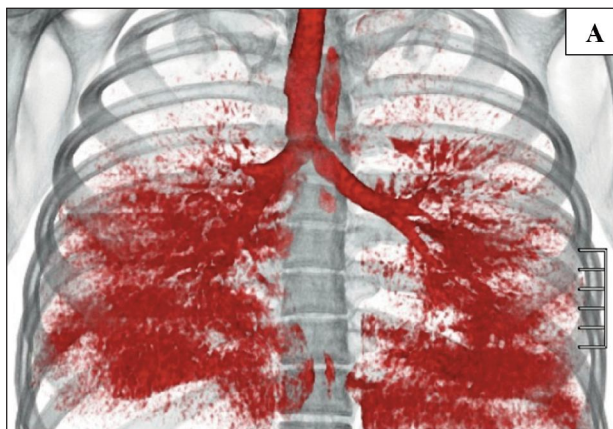


Рис. 4. 3-мерная реконструкция воздухонаполненности легких больного БА средней степени тяжести. Исследование выполнено в экспираторную фазу дыхания до (А) и после приема бронходилататора (Б). Отмечается уменьшение объема остаточной воздухонаполненности (Б).

Аномалии развития легких и туберкулез

До недавнего времени полагали, что пороки развития дыхательной системы встречаются редко. Такое ошибочное мнение можно объяснить неполноценной диагностикой в связи с отсутствием патогномичных признаков для большинства пороков и бессимптомностью течения в неосложненных случаях. На самом деле, в то время как, по данным клиницистов, пороки легких наблюдаются в 8-14% случаев, по данным морфологов – в 48-78 % случаев [4]. При достаточной выраженности пороки развития легких возможно

определить визуально по результатам МСКТ даже при исследовании в инспираторную фазу дыхания, когда определяются участки снижения пневматизации, либо ячеистая трансформация легочной ткани. Но в большинстве случаев нарушения ВФЛ регистрируются лишь при исследовании в экспираторную фазу дыхания. Могут выявляться как единичные зоны, так и распространенные множественные участки гипервентиляции, создающие картину «мозаичности». Нередко изменения носят двусторонний характер (рис. 5).

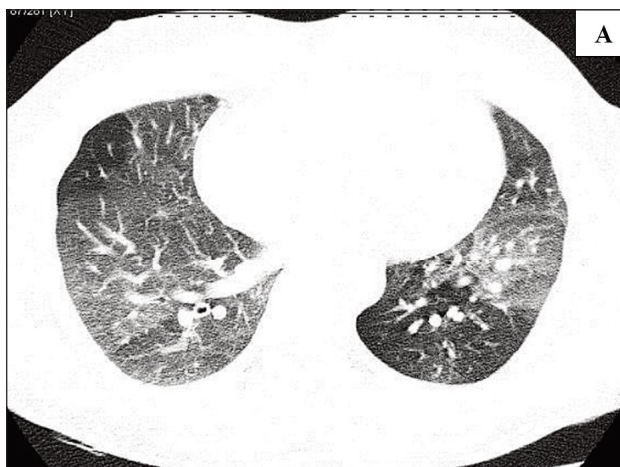


Рис. 5. А – аксиальный срез томографического исследования, стрелками отмечены зоны гипервентиляции, характерные для дисплазии. Б – 3-мерная модель легких того же пациента, объемное представление изменений. Данный пациент первоначально обследовался в группе здоровых лиц и на момент исследования жалоб не предъявлял, в анамнезе воспалительные заболевания органов дыхания не зафиксированы.

Мы применили методику 3-мерной волюметрии в исследовании 110 больных с туберкулезом. В результате в 73% случаев участки патологических изменений были выявлены на фоне различного объема зон гиперинфляции, которые следует рассматривать как фоновое состояние для воспалительного процесса. В большинстве случаев (64%) зоны гиперинфляции занимали объем не более одного сегмента, в 24% – одной доли, а в 12% случаев носили более распространенный, в том числе двусторонний характер. В качестве примера при-

водим случай развития туберкулезного процесса на фоне дисплазии (рис. 6).

Развитие патологических изменений в зоне дисплазии способствует отягощенному течению процесса, усугубляет прогноз заболевания, поэтому получение наиболее точной картины изменений помогает выбору адекватного метода лечения, а в случае необходимости оперативного вмешательства – выбору оптимального объема операции [2].

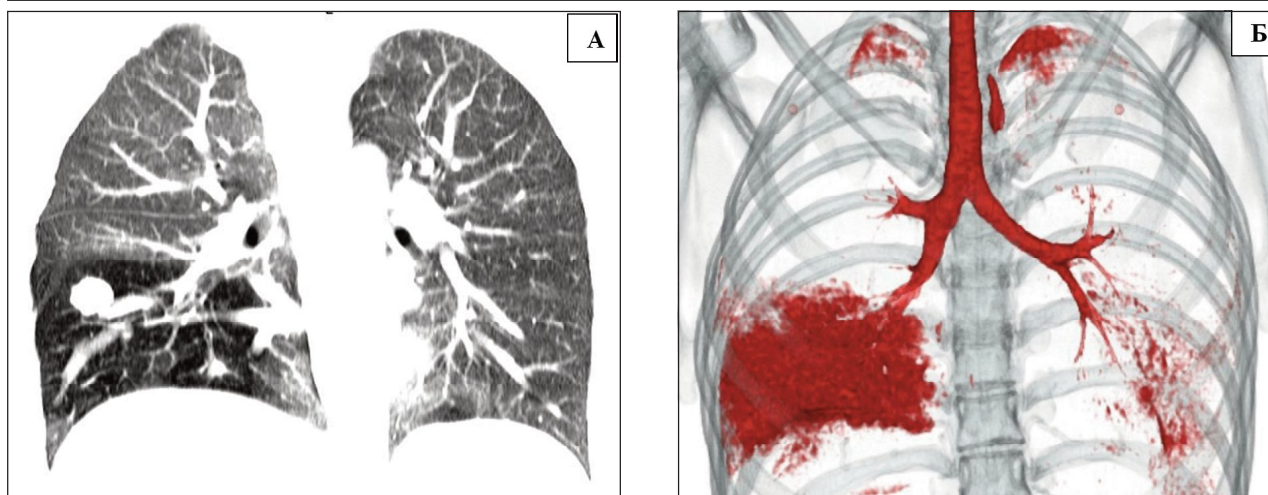


Рис. 6. А – мультипланарная реконструкция МСКТ во фронтальной плоскости, округлой формы образование (туберкулема) выявляется на фоне гиперинфляции нижней доли. Б – 3-мерная модель нарушения вентиляции в нижней доле. Исследование проведено в экспираторную фазу дыхания.

Измерение объема полостных образований

На практике метод 3-мерной волюметрии целесообразно применять и в отношении оценки динамики изменения объема воздушных полостных образований, например, при оценке лечения при деструктивных процессах в легких (деструктивная пневмония, туберкулез, полостная форма рака и т.д.).

В качестве достаточно редкого наблюдения приводим пример применения 3-мерной волюметрии для анализа ВФЛ у пациента с прогрессирующей легочной дистрофией (ПЛД). Для сравнения приводятся результаты волюметрии здорового человека и пациента с ПЛД (табл.). Как видно, у здорового человека на вдохе оба легких достаточно заполнены, на выдохе величина

остаточного объема в заданном диапазоне плотности не превышает 100 вокселей. Совсем другая картина при исследовании пациента с ПЛД: на вдохе воздухонаполненность снижена справа почти в 6 раз по сравнению со здоровыми легкими, слева в 22 раза; на выдохе в правом легком остается достаточно много воздуха, что обусловлено наличием многочисленных булл, заполненных воздухом, слева легкое практически освобождено. Можно сделать вывод о том, что у пациента с ПЛД имеет место грубое нарушение функции внешнего дыхания, при котором вентилируется очень малая доля непораженной легочной ткани, остаточный объем в правом легком повышен за счет массивных буллезных изменений [3].

Таблица

Воздухонаполненность легких в норме и при ПЛД, воксел

Воздухонаполненность	Норма		ПЛД	
	Правое легкое	Левое легкое	Правое легкое	Левое легкое
Вдох	4025	3602	743	159
Выдох	25	13	279	16

Нарушение ВФЛ при стенозе бронхов

С помощью 3-мерной визуализации становится возможным изучать проходимость трахеи и крупных бронхов, также основываясь на их воздухонаполненности. Большое значение имеет неинвазивность метода, позволяющая использовать его в случае противопоказаний или затруднений в выполнении бронхоскопического исследования.

Изменения бронхов, при достаточной их выраженности, будут вызывать нарушения вентиляции, которые также возможно количественно оценить с помощью регистрации воздухонаполненности в экспираторную фазу (рис. 7).

Таким образом, метод 3-мерной волюметрии, основанный на МСКТ, является перспективным и достаточно достоверным средством в диагностике заболеваний, сопровождающихся нарушением ВФЛ. Предложенный метод несет в себе ряд преимуществ в

сравнении как с лучевыми методами исследования, так и с функциональными методами. В частности, волюметрия позволяет достаточно быстро оценить степень нарушения ВФЛ не только визуально, но и количественно, построение объемных моделей дает неоспоримое преимущество по сравнению с плоскостными изображениями при стандартном МСКТ-исследовании. Благодаря 3-мерной волюметрии стало возможным оценить функцию отдельно каждого легкого, а при необходимости отдельно взятого участка легкого, пораженного патологическим процессом, будь то воздушные полости или ограниченный участок гиперинфляции при пороках развития. Выявление патологических зон гиперинфляции в легких может стать средством прогнозирования возникновения и течения патологического процесса, воспаления, присоединения инфекции.

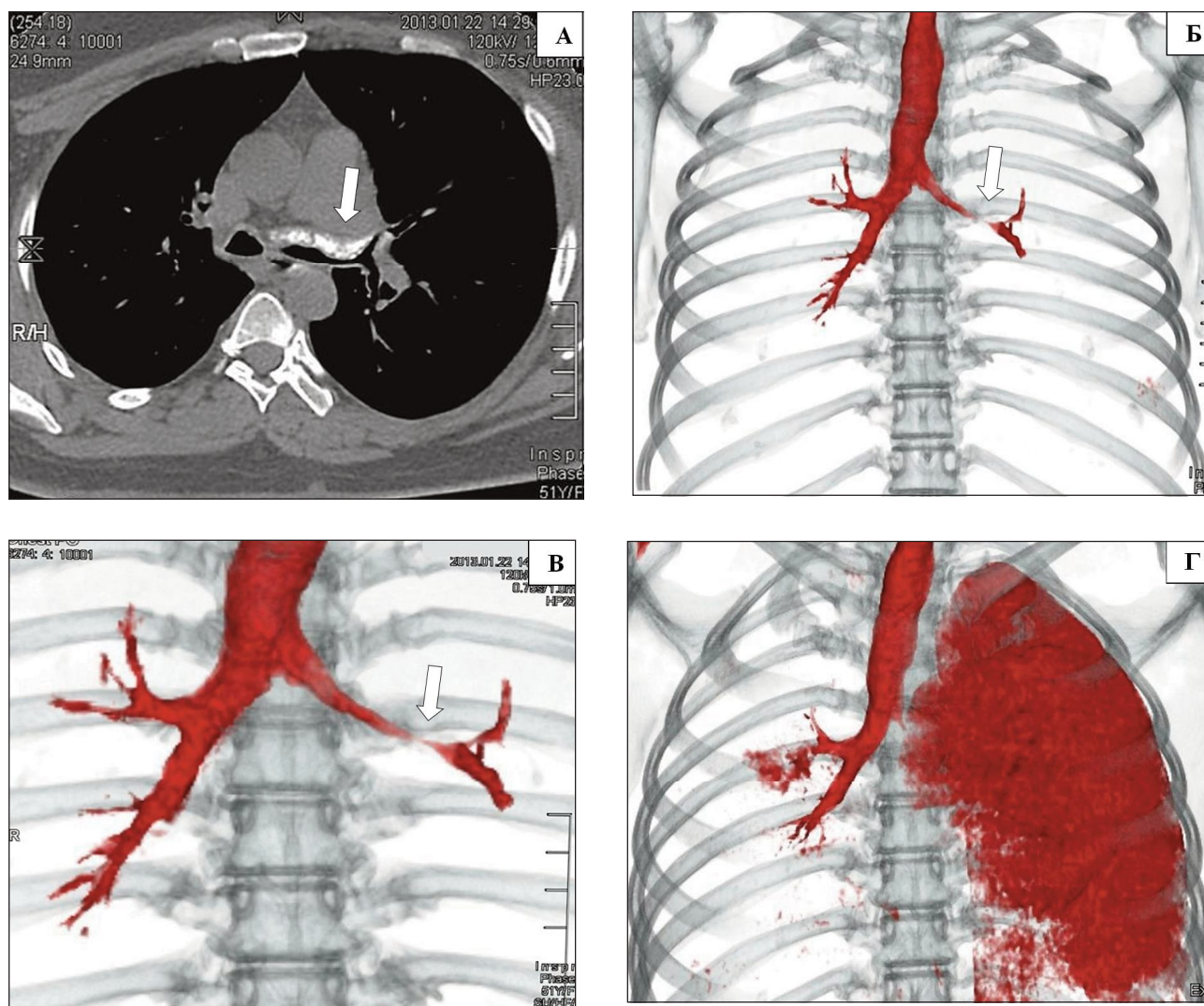


Рис. 7. 3-мерная волюметрия в диагностике нарушений ВФЛ при поражении крупных бронхов.

Больная К., 47 лет. При МСКТ выявлен стеноз левого главного (ЛГБ) и верхнедолевого бронхов (ЛВБ), обусловленный массивным кальцинозом после перенесенного туберкулеза. А – аксиальный срез на уровне бифуркации, стрелкой отмечен кальциноз, суживающий просвет ЛГБ и ЛВБ. Б – 3-мерная реконструкция воздухонаполненности крупных воздухоносных путей в инспираторную фазу исследования. Из всего объема исследования удален массив обоих легких, которые на вдохе полностью заполнены воздухом. Отмечается сужение (отмечено стрелкой) на протяжении ЛГБ и, в меньшей степени, ЛВБ (В – увеличение 3-мерной реконструкции воздухонаполненности бронхов). Г – исследование, выполненное в экспираторную фазу дыхания. Отмечается повышенный остаточный объем в левом легком (до 700 вокселей), обусловленный нарушением ВФЛ при сужении бронха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев С.Н. Легочная гиперинфляция у больных ХОБЛ // Атмосфера. Пульмонология и аллергология. 2006. №2. С.11–16.
2. Ильин А.В., Леншин А.В. Дисплазии органов дыхания как фактор риска развития туберкулеза легких // Актуальные вопросы фтизиопульмонологии в Амурской области: сб.трудов обл. науч.-практ.конф. фтизиатров. Благовещенск, 2011. С.146–152.
3. Прогрессирующая легочная дистрофия, как один из вариантов буллезной эмфиземы легких / А.В.Леншин [и др.] // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2012. Вып.45. С.104–114.
4. Несветов А.М. Клинико-рентгено-морфологиче-

ская характеристика ограниченных форм туберкулеза легких. Туберкулез и гипоплазия // Вестн. рентгенол. и радиол. 1994. №4. С.11–16.

5. Рентгеновская компьютерная томография в диагностике хронической обструктивной болезни легких / Г.Е.Труфанов [и др.]. СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2009. 120 с.

6. Airway remodeling measured by multidetector computed tomography is increased in severe asthma and correlates with pathology / R.S.Aysola [et al.] // Chest. 2008. Vol.134, №6. P.1183–1191.

7. Investigation of airways using MDCT for visual and quantitative assessment in COPD patients / P.Brillet [et al.] // Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis. 2008. Vol.3, №1. P.97–107.

8. Franquet T. Técnicas de imagen en la exploración de

la vía aérea pequeña: asma y EPOC // Arch. Broncopneumol. 2011. Vol.47. P.20–26.

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. Quantitative CT assessment of chronic obstructive pulmonary disease / S.Matsuoka [et al.] // Radiographics. 2010. Vol. 30, №1. P.55–66.

REFERENCES

1. Avdeev S.N. *Atmosfera. Pulmonologiya i allergologiya* 2006; 2:11–16.

2. Il'in A.V. Lenshin A.V. *Aktual'nye voprosy ftiziopulmonologii v Amurskoy oblasti: sbornik trudov oblastnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii ftiziatrov* (Urgent issues of phthisiopulmonology in Amur region: the collection of materials of regional scientific and practical conference of phthisiatricians). Blagoveshchensk; 2011: 146–152.

3. Lenshin A.V., Il'in A.V., Odireev A.N., Shelud'ko E.G. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniya* 2012; 45:104–114.

4. Nesvetov A.M. *Vestnik rentgenologii i radiologii* 1994; 4:11–16.

5. Trufanov G.E., Kuznetsova N.Yu., Ryazanov V.V., Rud' S.D., Malakhovskiy V.N. *Rentgenovskaya kom-p'yuternaya tomografiya v diagnostike khronicheskoy ob-*

struktivnoy bolezni legkikh [X-ray computed tomography in the diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease]. St. Petersburg: ELBI-SPb; 2004.

6. Aysola R.S., Hoffman R.A., Gierada D., Wenzel S., Cook-Granroth J., Tarsi J., Zheng J., Schechtman K.B., Ramkumar T.P., Cochran R., Xueping E., Christie C., Newell J., Fain S., Altes T.A. Airway remodeling measured by multidetector computed tomography is increased in severe asthma and correlates with pathology. *Chest* 2008; 134(6):1183–1191.

7. Brillet P., Fetita C., Saragaglia A., Brun A.L., Beigelman-Aubry C., Prêteux F., Grenier F.A. Investigation of airways using MDCT for visual and quantitative assessment in COPD patients. *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.* 2008; 3(1):97–107.

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

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. Matsuoka S., Yamashiro T., Washko G.R., Kurihara Y., Nakajima Y., Hatabu H. Quantitative CT Assessment of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Radiographics.* 2010; 30(1):55–66.

Поступила 05.02.2013

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