

Количественные объемно-плотностные КТ-характеристики легких у детей: что считать нормой? (предварительный результат пилотного исследования)

А.В. Макарова¹, О.С. Маслак^{1,2}, И.А. Гарапач^{1,3}, А.Ю. Мушкин^{1,3}

¹Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии

²Санкт-Петербургский государственный университет

³Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова

Quantitative volumetric and density CT-characteristics of lungs in children: what is to be the norm (preliminary results of a pilot study)

A. Makarova¹, O. Maslak^{1,2}, I. Garpach^{1,3}, A. Mushkin^{1,3}

¹St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology

²St. Petersburg State University

³Pavlov First St. Petersburg State Medical University

© Коллектив авторов, 2023 г.

Резюме

Функциональный и лучевой методы исследования органов дыхания позволяют получить количественные суммарные характеристики легочной ткани. В некоторых случаях встает вопрос о целесообразности дифференцированного изучения состояний правого и левого легкого у детей, особенно раннего возраста, при невозможности корректного выполнения функциональных методов обследования. **Цель исследования:** оценить возможность неинвазивного дифференцированного анализа объемов правого и левого легкого у детей, не имеющих патологии со стороны органов грудной клетки. **Материалы и методы.** Проведен ретроспективный анализ КТ орга-

нов грудной клетки 100 детей в возрасте от 5 мес до 18 лет, не имеющих установленных заболеваний органов грудной клетки и выявленной рентгенологической патологии, а также любых изменений структуры легких, в том числе артефактов от дыхания. Выполнена постпроцессинговая обработка КТ-исследований с расчетом абсолютных значений объема правого и левого легкого, суммарного объема легких при условии отсутствия КТ-признаков нарушения нормальной пневматизации каждого легкого. **Результаты.** Методом КТ-волюметрии получены усредненные значения объемов правого, левого и суммарного обоих легких в стандартных возрастных подгруппах периода детства. Абсолютные значения объема правого легкого

преобладают над левым, при этом в процессе роста эти различия однонаправленно меняются с уменьшением коэффициента асимметрии от 1,23 до 1,1. Суммарный коэффициент прироста объема левого легкого больше в сравнении с правым как по лимитирующим значениям, так и по средним. **Заключение.** Определение нормальных объемных характеристик легочной паренхимы правого и левого легкого у детей различных возрастных групп дополняет функциональные характеристики количественными показателями, которые могут быть использованы в качестве референсных, в том числе в случае невозможности проведения функциональных исследований, при исследованиях объемов легких при патологических состояниях, в том числе при оценке деформаций позвоночно-реберного комплекса.

Ключевые слова: объем легкого, компьютерная томография, синдром торакальной недостаточности, дети

Summary

Functional and radiation methods of respiratory organs' examination make it possible to obtain quantitative summarised characteristics of the lung tissue. In some cases, it may be advisable to differentially study the right and left lungs in children, especially at an early age when it is impossible to correctly perform functional examination methods. **The objective of the study:** to evaluate the possibility of non-invasive differentiated analysis of the volumes of the right and left lungs in children with no chest pathologies. **Materials and methods.** A retrospective analysis of volumetric CT of the chest organs

was carried out in 100 children aged 5 months to 18 years (divided into standard age groups) with no established diseases of the chest organs or identified radiological pathology. Post-processing manipulation of CT scans was performed with the calculation of the absolute values of the volume of the right and left lungs, total lung volume and tissue density for each lung, with further structural distribution (as a percentage of the total volume). Exclusion criteria included the presence of respiratory diseases, or any changes in the lung structure according to the results of CT, incl. breath artifacts. **Results.** The CT-volumetry method was used to obtain the average values of the volumes of the right, left and total volume of both lungs. The absolute values of the volume of the right lung dominated over the left. In the process of growth, these differences change unidirectionally, with a decrease in the asymmetry coefficient from 1.23 to 1.1. The total coefficient of volume gain for the left lung, in comparison with the right one, turns out to be larger both in limiting and average values. **Conclusion.** The conducted study of normal volume characteristics of the lung parenchyma using CT volumetry is one of the few demonstrations of lung volume in children of various age groups. The data obtained are the basic quantitative indicators of normal lung parenchyma in children, and can be used in comparison with studies of changes in lung volumes in various pathological conditions, including deformities of the spinal-rib complex.

Keywords: lung volume, CT scan, thoracic insufficiency syndrome, children

Введение

Оценка состояния легочной ткани у детей предполагает использование лучевого и функционального методов обследования, при этом рутинная практика анализа лучевых (рентгенологических, КТ) изображений паренхимы легких обычно включает их качественную интерпретацию. В последнее время все большее внимание уделяется их количественной оценке с применением методов КТ-анализа у взрослых при хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) [1], скрининге рака легких [2], легочном фиброзе [3, 4] и бронхиальной астме [5]. Применение этих методов в педиатрической практике вызывает вопросы, так как трактовка должна учитывать продолжающийся рост ребенка, увеличение объемов легких, развитие легочной паренхимы и т.д. При этом известно, что количество альвеол у детей достигает характерных для взрослых значений только к 8 годам, после чего оно остается постоянным, несмотря на рост объема легочной ткани [6, 7].

Для функциональной оценки органов дыхания широко используют определение дыхательных объемов, показателей емкости легких, дыхательного сопротивления [8–11]. Ограничением для их использования служит возраст пациентов с невозможностью выполнения оптимального дыхательного маневра. Функциональные методы предполагают суммирование характеристик легочной ткани без дифференцирования состояний каждого легкого, в то время как возможность их отдельной оценки, в частности анализ объемных показателей, может играть важную роль у детей с тяжелыми заболеваниями каждого легкого, в том числе их пороками, а также при сочетанных аномалиях позвоночно-реберного комплекса, сопровождающихся синдромом торакальной недостаточности (TIS) — определение объема легочной паренхимы в пред- и послеоперационном обследовании у таких пациентов приобретает особую значимость [12].

Цель исследования

Цель исследования — оценить возможность неинвазивного дифференцированного анализа объемов

правого и левого легкого у детей без легочной патологии для дополнительной объективизации состояния дыхательной системы и ее возможного применения в педиатрической практике, особенно в детской хирургии и ортопедии.

Материалы и методы

Проведен ретроспективный анализ КТ органов грудной клетки 100 детей в возрасте от 5 мес до 18 лет, обследованных в ФГБУ «Санкт-Петербургский НИИ фтизиопульмонологии» Минздрава России за период с 2020 по 2023 г. Деление на возрастные подгруппы проведено в соответствии с классификацией детства Н.П. Гундобина: группа 1 — дети до 3 лет; группа 2 — дети от 4 до 7 лет включительно; группа 3 — дети от 8 до 12 лет включительно и группа 4 — подростки старше 13 лет. С целью сопоставимости групп набор проводили с последовательным достижением в каждой числа пациентов, равного 25.

Все пациенты были направлены на КТ-исследование органов грудной клетки в плановом порядке в связи со сведениями о контакте с больным туберкулезом или с подозрением на латентную туберкулезную инфекцию, высказанным на основании плановых иммуно-серологических исследований — РМ 2ТЕ, Диаскинтеста, IGRA-тестов.

Критерии включения в исследование:

- возраст детей младше 18 лет;
- выполнение КТ на одном и том же аппарате;
- для детей от 4 лет и старше — проведение исследования при самостоятельном дыхании с просьбой произвольной задержки на вдохе;

- отсутствие у ребенка каких-либо анамнестических указаний на заболевание легких;
- заключение врача — лучевого диагноста об отсутствии у ребенка по КТ любых изменений структуры легких, в том числе мешающих адекватной оценке пневматизации артефактов от дыхания;
- отсутствие при зональном картировании легких признаков эмфизематозности, гиповентиляции или ателектаза.

Критерии исключения:

- наличие любых известных или впервые установленных заболеваний легких — бронхиальной астмы, бронхолегочной дисплазии, пороков трахеобронхиального дерева, туберкулеза, пневмонии и т.д.;
- выявление по КТ любых интраторакальных изменений со стороны как легких, так и дыхательных путей, грудино-реберного каркаса или плевральной полости, которые могли бы повлиять на объемы и пневматизацию легочной ткани.

КТ выполняли на томографе Toshiba Aquilion One с постпроцессинговой обработкой изображений на станции Vitrea с помощью пакета программ Lung Density Analysis, позволяющего рассчитать абсолютное значение выделенного объема (в рамках нашего исследования — отдельно оценить объем правого и левого легкого) и показатели плотности ткани каждого легкого с построением их структурного (в процентах к общему объему) распределения, исключив объемы дыхательных путей — трахеи и главных бронхов. Структура каждого легкого может быть представлена в виде абсолютных объемных значений (мл³),

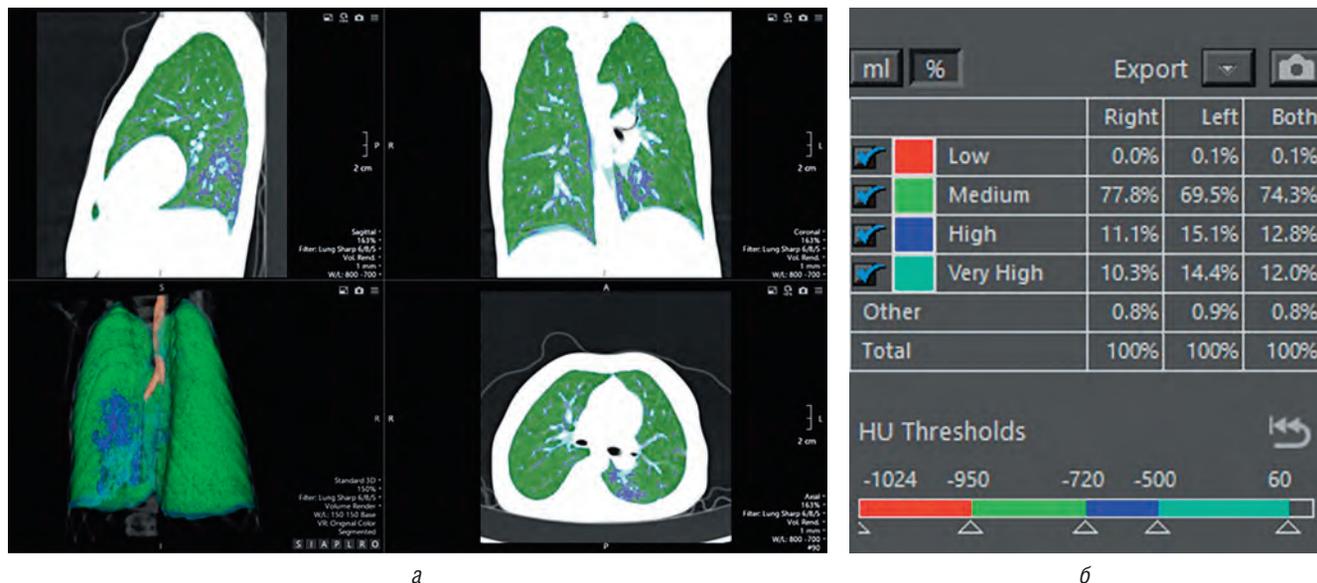


Рис. 1. Пример обработки КТ грудной клетки при помощи программы Lung Density Analysis. Разные цвета отражают различную плотность легочной ткани: зеленый соответствует нормальной вентиляции паренхимы, красный — повышенной пневматизации (эмфиземе), синий — зоне гиповентиляции, голубой — ателектазу и консолидации (а). В таблице представлено распределение зон вентиляции в процентном значении (б)

а также цветового и цифрового картирования с дифференциацией зон нормальной пневматизации, эмфиземы, гиповентиляции и ателектаза (рис. 1).

Исследование детей в возрасте до 3 лет (группа 1) чаще всего проводилось в условиях наркоза при спонтанном дыхании. Применение объемного метода, позволяющего получать КТ-срезы на протяжении 16 см за одну секунду, позволяет снизить вероятность дыхательных артефактов. Преимуществом данного метода является низкая лучевая нагрузка, сопоставимая с дозой, получаемой при флюорографии.

В рамках исследования в каждой возрастной группе изучены:

- объемы правого и левого легкого — отдельно, а также их суммарный объем (V_d , V_s , $V_d + V_s$ соответственно);
- определение отношения объемов правого и левого легкого на протяжении периода детства (коэффициент асимметрии $K_{ас} = V_d/V_s$);

- определение динамики изменения объемов легких между возрастными подгруппами (коэффициент прироста объемов легких = V_{n+1}/V_n , где n — возрастная подгруппа).

Учитывая пилотный характер и малый объем исследования, показатели оценивали в формате средних значений ($M \pm m$); статистическая оценка различий между подгруппами не проводилась; задача выявления половых и возрастных различий в целом и в рамках подгрупп на данном этапе не ставилась.

Результаты

Усредненные результаты дифференцированного исследования объемов правого, левого и суммарного обоих легких представлены в табл. 1.

Полученные данные позволяют отметить постоянное преобладание абсолютных значений объема правого легкого над левым, что *a priori* может

Таблица 1

Объемы легких у детей разных возрастных групп*

Возрастные подгруппы	Правое легкое		Левое легкое		Суммарный объем легких ($V_{\Sigma} = V_d + V_s$, мл)	Отношение $K_{ас} = V_d/V_s$
	абс. (V_d , мл)	отн. $V_d/(V_d + V_s)$ %	абс. (V_s , мл)	отн. $V_s/(V_d + V_s)$ %		
1	307±20	55,2	248±25	44,8	556±30	1,23
2	700±58	53,3	611±55	46,7	1311±114	1,14
3	1403±99	52,9	1247±88	47,1	2650±187	1,12
4	1918±119	52,5	1733±109	47,5	3651±227	1,10

* Усреднение по 25 КТ-исследованиям в каждой подгруппе.

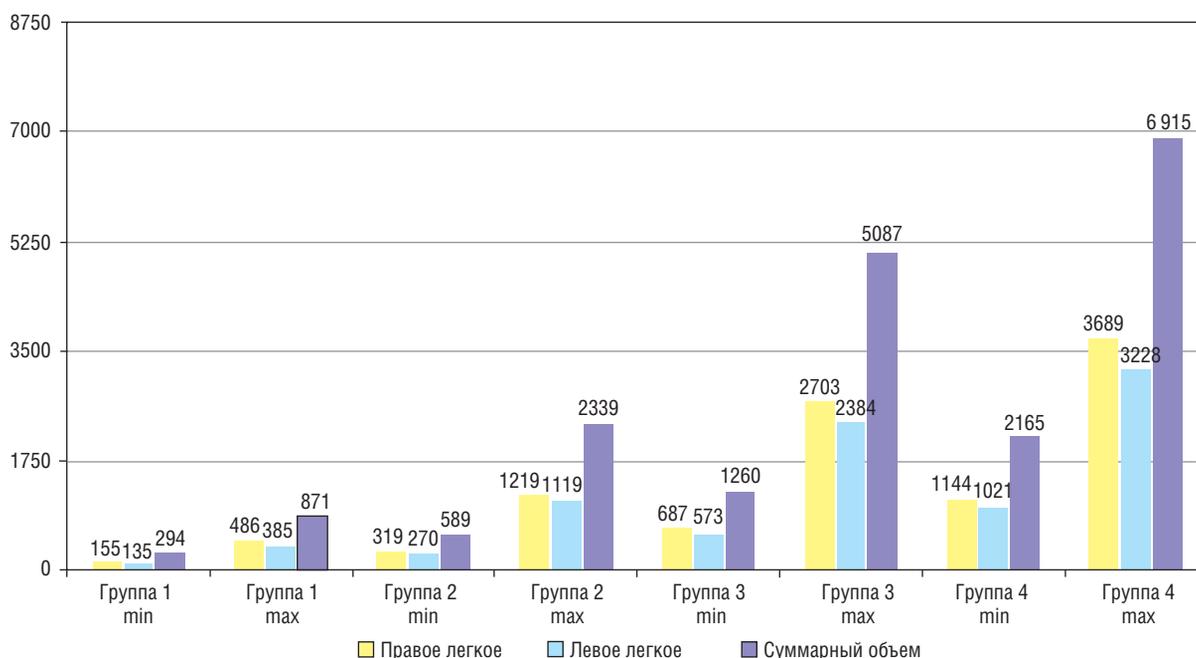


Рис. 2. Усредненные лимитирующие объемы легких у детей

Таблица 2

Динамика изменений коэффициента прироста объемов легких V_{n+1}/V_n

Коэффициент прироста объемов легких $K = V_{n+1}/V_n$	Оцениваемые показатели								
	правое легкое $V_{d_{n+1}}/V_{d_n}$			левое легкое $V_{s_{n+1}}/V_{s_n}$			суммарный $V_{\Sigma_{n+1}}/V_{\Sigma_n}$		
	min	max	ave	min	max	ave	min	max	ave
$V_{..2}/V_{..1}$	2,1	2,5	2,3	2,0	2,9	2,5	2,0	2,6	2,3
$V_{..3}/V_{..2}$	2,2	2,2	2,0	2,1	2,1	2,0	2,0	2,2	2,0
$V_{..4}/V_{..3}$	1,7	1,4	1,4	1,8	1,4	1,4	1,7	1,4	1,4
Суммарный $K = V_{..4}/V_{..1}$	7,4	7,6	6,2	7,6	8,4	7,0	7,3	7,9	6,5

Обозначения объемов соответствуют представленным в табл. 1. min — расчет по минимальному объему; max — расчет по максимальному объему; ave — расчет по среднему объему.

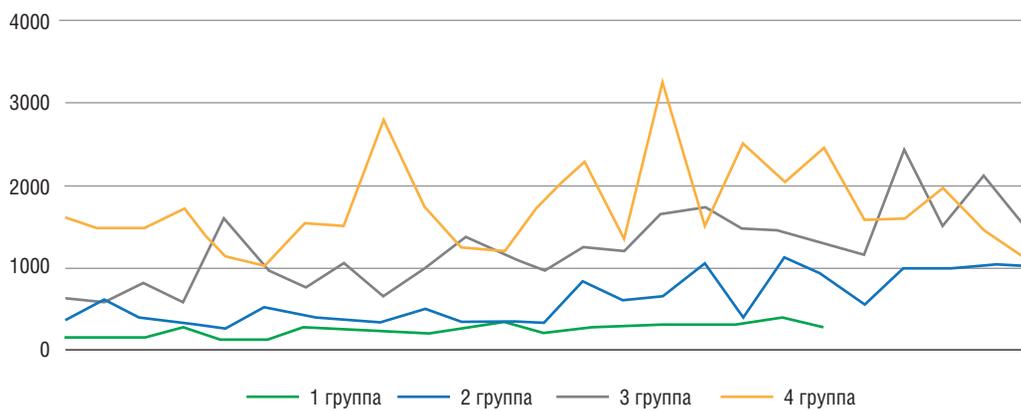


Рис. 3. Индивидуальные значения абсолютных суммарных объемов легких у детей разных возрастных групп

объясняться положением сердца. С другой стороны, в процессе роста эти различия однонаправленно меняются с уменьшением коэффициента асимметрии от 1,23 до 1,1.

На рис. 2 показаны колебания лимитирующих (минимального и максимального) значений объемов, рассчитанных как отдельно для правого и левого легкого, так и суммарно.

В процессе роста между периодами детства отмечается замедление коэффициента прироста объемов легких, происходящее с определенными различиями не только между правым и левым легким, но и по показателям лимитирующих значений объемов (табл. 2).

Данные таблицы свидетельствуют, что суммарный коэффициент прироста объема ($V_{..4}/V_{..1}$) для левого легкого в сравнении с правым оказывается большим как по лимитирующим значениям, так и по средним.

В свою очередь, рис. 3 иллюстрирует не только индивидуальные значения суммарных объемов легких у детей, но и нарастающую с возрастом амплитуду колебаний (различия между минимальным и максимальным объемом) этого показателя в подгруппах.

Обсуждение результатов

Современная оценка функционального состояния легких является частью рутинного обследования пациентов с патологией органов дыхательной системы. Как правило, она включает исследования функции внешнего дыхания (ФВД), а у младших детей или пациентов, не способных выполнять функциональные пробы, — метод импульсной осциллометрии. При этом размеры легочной ткани («объемы легких») оцениваются на основании именно функциональных, а не анатомических параметров, учитывая то, что прямой зависимости между этими характеристиками может и не быть.

Тем не менее определение анатомических размеров легких в педиатрической пульмонологии может иметь большое значение, а его роль может существенно увеличиваться при планировании оперативных вмешательств, прямо или косвенно направленных на изменение объемов грудной клетки.

Особое значение методы количественной оценки объемов легких могут приобретать в детской хирургии и ортопедии, где с момента выделения R. Campbell «синдрома торакальной недостаточности» (thoracic

insufficiency syndrome, TIS) используется определение объемов гемитораксов, оцениваемых как «пространство, доступное для легких» (англ. space available for lung, SAL), их асимметрия (индекс асимметрии SAL) рассматривается как один из объективных признаков тяжести скелетной аномалии [15, 16], а его динамика после операции — как один из методов оценки эффективности вмешательства на грудной клетке [17].

Исследования волюметрических характеристик легких у детей с деформациями позвоночника на основе КТ-изображений выполнялись в основном у подростков с идиопатическим сколиозом [12–14]. Несомненная ценность последних исследований, проведенных у пациентов с сочетанными пороками развития позвоночника и грудной клетки [18], состоит в постановке вопроса о целесообразности оценки анатомических размеров легких у детей с такими аномалиями и их сопоставлении с данными импульсной осциллометрии. Однако это исследование поставило и дополнительные вопросы, с которыми столкнулись и мы при похожем изучении аналогичной группы пациентов:

- Что считать референсными («нормативными») значениями анатомических объемов легких у детей? Характерно, что в освещающих эту тему единичных зарубежных публикациях, на которые ссылаются и последующие исследователи [12], расчет «нормальных» объемных показателей проводился у пациентов с *идиопатическим сколиозом (!)*.
- Использованная коллегами методика виртуального моделирования бронхолегочной системы для КТ-волюметрии выглядит, с одной стороны, несколько сложной, с другой — не позволяющей оценить пневматизацию легочной ткани.

Представленный нами результат частично решает первый вопрос, а использование предустановленных программ Lung density analysis постпроцессинговой обработки КТ-изображений — второй, упрощая анализ как объемов легких, так и их пневматизации. При этом обнаруживаются некоторые закономерности, требующие отдельного внимания.

- Наибольший коэффициент прироста объемов легких отмечается между 1-й и 2-й возрастными группами, а увеличение абсолютных средних значений объемов легких — между 2-й и 3-й возрастными группами, что может быть связано и с наиболее активным ростом детей, и с более корректным выполнением ими исследования с задержкой на высоте вдоха [12].
- Полученные средние значения анатомических объемов легких коррелируют с результатами других немногочисленных исследований. При этом исследование объемов легких может быть

выполнено и при невозможности сотрудничества с детьми [12–14] ввиду их возраста или невозможности выполнения импульсной осциллометрии.

- Объем правого легкого на протяжении всего периода детства остается больше объема левого (в среднем на 12,4%), но в процессе роста это различие последовательно уменьшается при переходе к следующему возрастному периоду и к подростковому возрасту становится минимальным. Следует помнить, что у пациентов с деформациями грудной клетки это отношение может, а при синдроме TIS — должно существенно отличаться от показателей нормы, что позволяет и сам показатель асимметрии объемов рассматривать как дополнительный объективный критерий тяжести патологии легких.

Заключение

Немногочисленность исследований, посвященных изучению нормальных анатомических характеристик легочной паренхимы у детей в разных возрастных группах, позволяет любые из них считать базовыми для конкретных региональных популяций и использовать как дополнительный объективный показатель при количественных исследованиях. Несомненный интерес представляют как сопоставления этих данных между возрастными подгруппами, так и их изучение не только при аномалиях и заболеваниях самих легких, но и при их вторичных деформациях. При этом врожденная и приобретенная патология позвоночно-реберного комплекса может быть клинической группой, в которой такие исследования будут наиболее интересны.

Ограничение достоверности результатов

Проведенное пилотное исследование имеет объективные ограничения.

Ограниченное число наблюдений. По этическим соображениям у детей невозможны допустимые у взрослых лучевые обследования волонтеров [19, 20], поэтому нами изучены только архивные КТ грудной клетки детей, направленных на исследование по показаниям, требующим однозначного исключения внутригрудной патологии.

Показатели детей младшей возрастной группы не учитывают спонтанные движения грудной клетки, которые, однако, нивелируются скоростью исследования.

Часть исследований у младших детей проведена в условиях медикаментозной седации.

Результаты КТ-волюметрии не сопоставлены с возрастными показателями ФВД и росто-весовыми харак-

теристиками детей. При этом исключение любой, в том числе функциональной патологии легких являлось обязательным условием включения в исследование.

А *priori* анализу подвергнуты КТ исследования, проведенные с максимально естественной физиологической пневматизацией. Само понятие нормы

подразумевает отсутствие зон ее нарушения, оценка структурного зонирования легких при патологии грудной клетки и легких осталась за пределами настоящего исследования.

Источники финансирования. Исследование не имело финансовой поддержки

Список литературы

- Lynch D.A., Al-Qaisi M.A. Quantitative computed tomography in chronic obstructive pulmonary disease. *J. Thorac. Imaging* 2013; 28: 284–290. doi: 10.1097/RTI.0b013e318298733c.
- Mulshine J.L., Gierada D.S., Armato S.G. 3rd et al. Role of the Quantitative Imaging Biomarker Alliance in optimizing CT for the evaluation of lung cancer screen-detected nodules. *J. Am. Coll. Radiol.* 2015; 12: 390–395. doi: 10.1016/j.jacr.2014.12.003.
- Kim H.J., Brown M.S., Chong D. et al. Comparison of the quantitative CT imaging biomarkers of idiopathic pulmonary fibrosis at baseline and early change with an interval of 7 months. *Acad. Radiol.* 2015; 22: 70–80. doi: 10.1016/j.acra.2014.08.004.
- Matsuoka S., Yamashiro T., Matsushita S. et al. Quantitative CT evaluation in patients with combined pulmonary fibrosis and emphysema: correlation with pulmonary function. *Acad. Radiol.* 2015; 22: 626–631. doi: 10.1016/j.acra.2015.01.008. Epub 2015 Feb 27.
- Choi S., Hoffman E.A., Wenzel S.E. et al. Improved CT-based estimate of pulmonary gas trapping accounting for scanner and lung-volume variations in a multicenter asthmatic study. *J. Appl. Physiol.* 2014; 117: 593–603. doi: 10.1152/jappphysiol.00280.2014.
- Zeltner T.B., Burri P.H. The postnatal development and growth of the human lung. II. Morphology. *Respir. Physiol.* 1987; 67: 269–282.
- Hislop A., Wigglesworth J., Desai R. Alveolar development in the human fetus and infant. *Early Hum. Dev.* 1986; 13: 1–11.
- Каменева М.Ю., Черняк А.В., Айсанов З.Р., Авдеев С.Н., Бабак С.Л., Белевский А.С., Берестень Н.Ф., Калманова Е.Н., Малавин А.Г., Перельман Ю.М., Приходько А.Г., Стручков П.В., Чикина С.Ю., Чушкин М.И. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов. *Пульмонология* 2023; 33 (3): 307–340 [Kameneva M.Yu., Cherniak A.V., Aisanov Z.R., Avdeev S.N., Babak S.L., Belevskiy A.S., Beresten N.F., Kalmanova E.N., Malavin A.G., Perelman Ju.M., Prikhodko A.G., Struchkov P.V., Chikina S.Yu., Chushkin M.I. Spirometry: national guidelines for the testing and interpretation of results. *Pul'monologiya* 2023; 33 (3): 307–340 (In Russ.)]. doi: 10.18093/0869-0189-2023-33-3-307-340.
- Лукина О.Ф. Особенности исследования функции внешнего дыхания у детей и подростков. *Практическая пульмонология* 2017; 4: 39–44 [Lukina O.F. Pulmonary Function Tests in Children and Adolescents. *Prakticheskaya pul'monologiya* 2017; (4): 39–44 (In Russ.)].
- Desai U., Joshi J.M. Impulse oscillometry. *Adv. Respir. Med.* 2019; 87 (4): 235–238. doi: 10.5603/ARM.a2019.0039.
- Савушкина О.И., Черняк А.В., Крюков Е.В. Импульсная осциллометрия в диагностике нарушений механики дыхания при хронической обструктивной болезни легких. *Пульмонология* 2020; 30 (3): 285–294 [Savushkina O.I., Chernyak A.V., Kryukov E.V., Zaytsev A.A., Neklyudova G.V., Pashkova T.L. Impulse oscillometry in the diagnosis of respiratory mechanics defects in chronic obstructive pulmonary disease. *Pul'monologiya* 2020; 30 (3): 285–294 (In Russ.)]. doi: 10.18093/0869-0189-2020-30-3-285-294.
- Gollogly S., Smith J.T. et al. The Volume of Lung Parenchyma as a Function of Age: A Review of 1050 Normal CT Scans of the Chest With Three-Dimensional Volumetric Reconstruction of the Pulmonary System. *SPINE* 2004; 29 (18): 2061–2066. doi: 10.1097/01.brs.0000140779.22741.33.
- Sarwahi V., Sugarman E.P. et al. Scoliosis Surgery in Patients With Adolescent Idiopathic Scoliosis Does Not Alter Lung Volume: a 3-dimensional computed tomography-based study. *SPINE* 2014; 39; 6; E399–E405. doi: 10.1097/BRS.0000000000000203.
- Adam C.J., Cargill S.C. et al. Computed Tomographic-Based Volumetric Reconstruction of the Pulmonary System in Scoliosis Trends in Lung Volume and Lung Volume Asymmetry With Spinal Curve Severity. *J. Pediatr Orthop.* 2007; 27: 677–681. doi: 10.1097/BPO.0b013e318425ee.
- Campbell R.M.Jr., Smith M.D., Mayes T.C., Mangos J.A., Willey-Courand D.B., Kose N., Pinero R.F., Alder M.E., Duong H.L., Surber J.L. The characteristics of thoracic insufficiency syndrome associated with fused ribs and congenital scoliosis. *J. Bone Joint Surg Am.* 2003 Mar; 85 (3): 399–408. doi: 10.2106/00004623-200303000-00001.
- Рябых С.О., Ульрих Э.В. Возможности коррекции односторонней гипоплазии грудной клетки при деформациях позвоночника у детей с большой потенцией роста. *Гений ортопедии* 2011; 4: 44–48 [Riabykh S.O., Ulrich E.V. Possibilities of unilateral chest hypoplasia correction for the spine deformities in children with great growth potency. *Genij Ortopedii* 2011; 4: 44–48 (In Russ.)].
- Комолкин И.А., Мушкин А.Ю., Ульрих Э.В. Врожденные пороки развития грудной клетки: трехплоскостная модель, классификация и количественная оценка (новый подход к тактической систематизации патологии). *Медицинский альянс* 2019; 3: 57–66 [Komolkin I.A., Mushkin A.Yu., Ulrich E.V. Congenital malformations of the chest: 3D model, classification and quantification (new approach to tactical systematization of pathology). *Medicinskij al'yans* 2019; 3: 57–66 (In Russ.)]. doi: 10.36422/2307-6348-2019-7-3-57-65.
- Виссарионов С.В., Асадулаев М.С., Орлова Е.А., Тория В.Г., Картавенко К.А., Рыбинских Т.С., Мурашко Т.В., Хардииков М.А., Кокушин Д.Н. Оценка состояния респираторной системы у детей с врожденным сколиозом методом импульсной осциллометрии и компьютерной томографии (предварительные результаты). *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста* 2022. Т. 10, № 1. С. 33–42 [Vissarionov S.V., Asadulaev M.S., Orlova E.A., Toriya V.G., Kartavenko K.A., Rybinskikh T.S., Murashko T.V., Khardikov M.A., Kokushin D.N. Assessment of the respiratory system in children with congenital scoliosis by impulse oscillometry and computed tomography (preliminary results). *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery* 2022; 10 (1): 33–42 (In Russ.)]. doi: 10.17816/PTORS89978.

19. *Shin J.M., Kim T.H. et al.* The repeatability of computed tomography lung volume measurements: Comparisons in healthy subjects, patients with obstructive lung disease, and patients with restrictive lung disease. *Observational Study* 2017; Aug 10; 12 (8): e0182849. doi: 10.1371/journal.pone.0182849.
20. *Nemec S.F., Molinari F. et al.* Comparison of four software packages for CT lung volumetry in healthy individuals. *Comparative Study* 2015; Jun; 25 (6):1588–1597. doi: 10.1007/s00330-014-3557-3.

Поступила в редакцию: 21.08.2023 г.

Сведения об авторах:

Макарова Анна Валерьевна — врач-педиатр Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: makarova_a09@mail.ru; ORCID 0000-0003-2253-2289;

Маслак Ольга Сергеевна — кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; ассистент кафедры госпитальной хирургии медицинского факультета Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: olga.maslak@me.com; ORCID 0000-0002-9202-8064;

Гарач Ирина Анатольевна — кандидат медицинских наук, заведующая отделением лучевой диагностики Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; доцент кафедры рентгенологии и радиационной медицины с рентгенологическим и радиологическим отделениями Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И.П. Павлова; 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8; e-mail: garach-irina@mail.ru; ORCID 0000-0001-7175-3833;

Мушкин Александр Юрьевич — доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник, руководитель отдела вертебрологии, травматологии-ортопедии; руководитель клиники детской хирургии и ортопедии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; профессор кафедры травматологии и ортопедии Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И.П. Павлова; 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8; e-mail: ayumushkin@mail.ru; ORCID 0000-0002-1342-3278.