

УДК 616.711-007.55-053.1-07

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS89978>

Научная статья



Оценка состояния респираторной системы у детей с врожденным сколиозом методом импульсной осциллометрии и компьютерной томографии (предварительные результаты)

С.В. Виссарионов¹, М.С. Асадулаев¹, Е.А. Орлова², В.Г. Тория¹, К.А. Картавенко¹, Т.С. Рыбинских¹, Т.В. Мурашко¹, М.А. Хардигов¹, Д.Н. Кокушин¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия;

² Детский городской многопрофильный клинический центр высоких медицинских технологий им. К.А. Раухфуса, Санкт-Петербург, Россия

Обоснование. Нарушение сегментации боковых поверхностей тел позвонков и реберный синостоз — один из самых тяжелых вариантов врожденной патологии позвоночника и грудной клетки, которые приводят к развитию синдрома торакальной недостаточности, проявляющегося в неспособности грудной клетки обеспечивать нормальную дыхательную механику.

Цель — представить предварительные результаты функциональных и лучевых (КТ-морфометрических) исследований легких у пациентов с врожденным сколиозом грудного отдела позвоночника при нарушении сегментации боковых отделов тел позвонков и одностороннем синостозе ребер.

Материалы и методы. Дизайн исследования — малая клиническая серия. В проспективное исследование включены данные импульсной осциллометрии и КТ-морфометрии при 3D-реконструкции данных мультиспиральной компьютерной томографии органов грудной клетки 10 пациентов в возрасте от 3 до 7 лет с врожденным сколиозом грудного отдела позвоночника при одностороннем нарушении сегментации боковых поверхностей тел позвонков и одностороннем синостозе ребер.

Результаты. При исследовании дыхательной функции с применением импульсной осциллометрии в 7 клинических случаях не выявлено дыхательных нарушений. У 3 детей с вентиляционными нарушениями по данным импульсной осциллометрии наиболее значимые изменения касались параметров общего дыхательного импеданса, а также резонансной частоты и частотной зависимости резистивного компонента. У всех пациентов морфометрические показатели оценки легких, выявленные по 3D-модели легкого, соответствовали результатам исследования легочной функции методом импульсной осциллометрии.

Заключение. Дальнейшее изучение проблемы оценки функции дыхания у детей с врожденным сколиозом представляется перспективным как в диагностическом плане, так и для определения эффективности хирургического лечения.

Ключевые слова: нарушение сегментации; врожденный сколиоз; синдром торакальной недостаточности; импульсная осциллометрия.

Как цитировать:

Виссарионов С.В., Асадулаев М.С., Орлова Е.А., Тория В.Г., Картавенко К.А., Рыбинских Т.С., Мурашко Т.В., Хардигов 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. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS89978>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS89978>

Journal Article

Assessment of the respiratory system in children with congenital scoliosis by impulse oscillometry and computed tomography (preliminary results)

Sergei V. Vissarionov¹, Marat S. Asadulaev¹, Elena A. Orlova², Vachtang G. Toriya¹, Kirill A. Kartavenko¹, Timofey S. Rybinskikh¹, Tatyana V. Murashko¹, Michael A. Khardikov¹, Dmitry N. Kokushin¹

¹ H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia;

² Children's municipal multi-specialty clinical center of high medical technology named after K.A. Rauhufus, Saint Petersburg, Russia

BACKGROUND: Segmentation disorder of the vertebral body lateral surfaces and rib synostosis are severe variants of congenital pathology of the spine and thorax. They lead to the development of thoracic insufficiency syndrome and are manifested by the inability of the thorax to provide normal respiratory mechanics.

AIM: This study presents the preliminary results of functional and radiological (CT-morphometric) methods of lung examinations in patients with congenital thoracic spine scoliosis with impaired segmentation of the lateral surfaces of the vertebral bodies and unilateral rib synostosis.

MATERIALS AND METHODS: This design is represented by a small clinical series. This study is a prospective study of 10 patients aged 3 to 7 years with congenital spinal deformity, with impaired segmentation of the lateral surfaces of vertebral bodies and unilateral rib synostosis. This paper presents the preliminary results of the pulmonary function assessment by pulse oscillometry and CT morphometry in a 3D reconstruction of multispiral computer tomography (MSCT) of the thorax.

RESULTS: The study of respiratory function using pulse oscillometry revealed no respiratory impairment in seven observations, also reflected in the CT morphometry results. According to the Institute of Medicine (IOM), three children with detected ventilatory abnormalities showed the following parameters with the most significant changes: total respiratory impedance, resonance frequency, and frequency dependence of the resistive component. In all patients, the morphometric indexes of the lung scoring revealed during 3D modeling of the lung were completely consistent with the results of the lung function study by the IOM method.

CONCLUSIONS: Further study of the problem of respiratory function assessment in children with congenital scoliosis seems promising in diagnostic terms and for evaluating effective surgical treatment.

Keywords: segmentation disorder; congenital scoliosis; thoracic insufficiency syndrome; pulse oscillometry.

To cite this article:

Vissarionov SV, Asadulaev MS, Orlova EA, Toriya VG, Kartavenko KA, Rybinskikh TS, Murashko TV, Khardikov MA, Kokushin DN. 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. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS89978>

Received: 19.12.2021

Accepted: 18.02.2022

Published: 24.03.2022

ОБОСНОВАНИЕ

Один из наиболее тяжелых вариантов врожденного порока развития позвоночника в сочетании с аномалией грудной клетки — унилатеральное нарушение сегментации боковых поверхностей тел позвонков (несегментированный стержень) в сочетании с односторонним синостозом ребер, что приводит к формированию и бурному прогрессированию деформации [1, 2].

Быстрое прогрессирование врожденного искривления позвоночника составляет основу для развития синдрома торакальной недостаточности, концепция которого была разработана Campbell и характеризуется неспособностью грудной клетки обеспечивать физиологическую биомеханику дыхания и рост легочной ткани [3, 4].

В процессе роста и развития детей с данным вариантом порока формируется тяжелая и ригидная сколиотическая деформация уже в раннем возрасте, а также существенно снижается качество и продолжительность жизни пациента, главным образом за счет дыхательной недостаточности [5].

По данным Yabing Tong и соавт., в США на сегодняшний день около 4000 детей страдают синдромом торакальной недостаточности [6], точные данные о его встречаемости в Российской Федерации в настоящее время отсутствуют [7].

Лечение пациентов с этим вариантом врожденной деформации представляет собой сложную и нерешенную проблему, связанную с необходимостью коррекции тяжелого и быстро прогрессирующего искривления позвоночного столба, а также необходимостью учета потенциально возможного роста позвоночника, грудной клетки и формирования сердечно-легочной системы [8]. Бурное прогрессирование деформации позвоночника, достигающее свыше $8-10^\circ$ в год при данном пороке в условиях естественного течения, приводит к формированию крайне тяжелых искривлений уже во втором периоде детства, что подтверждает неэффективность консервативного лечения и целесообразность применения хирургических методик коррекции врожденного искривления на первых годах жизни пациента [9, 10].

Важным аспектом, не имеющим однозначного решения, остается оценка состояния респираторной системы на момент начала хирургического лечения и на его этапах в процессе роста ребенка [11–13]. В ряде клинических наблюдений результат анализа функции внешнего дыхания может служить определяющим моментом в выборе тактики лечения детей с врожденным сколиозом при одностороннем несегментированном стержне и синостозе ребер [14, 15]. Следует отметить, что для исследования функции внешнего дыхания у пациентов раннего и младшего возраста необходимо ресурсоемкое техническое обеспечение [16–18], в связи с чем измерения обычно не выполняют, что затрудняет трактовку результатов эффективности лечения [19–21].

Цель — представить предварительные результаты функциональных и рентгенометрических (КТ-морфометрических) методов исследования легких у пациентов с врожденным сколиозом грудного отдела позвоночника при одностороннем нарушении сегментации боковых поверхностей тел позвонков и синостозе ребер.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования представлен малой клинической серией. В проспективное исследование включены результаты предоперационного обследования 10 пациентов с врожденным сколиозом грудного отдела позвоночника при одностороннем нарушении сегментации боковых поверхностей тел позвонков и синостозе ребер, которые проходили обследование и лечение в отделении патологии позвоночника и нейрохирургии НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера.

Критериями включения пациентов в исследование кроме анатомического варианта порока являлись отсутствие неврологических нарушений и возраст от 3 до 7 лет на момент проведения исследования.

Критериями исключения служили деформация позвоночника, обусловленная иными вариантами аномалии его развития; тяжелая сопутствующая соматическая патология внутренних органов, в том числе пороки развития бронхолегочной системы; отказ от участия в исследовании.

Предоперационное обследование пациентов, кроме клиничко-лабораторных методов, включало применение лучевых методов диагностики — стандартной рентгенографии и мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) позвоночника и органов грудной клетки (рис. 1), а также оценку функции внешнего дыхания методом импульсной осциллометрии (ИОМ) на базе Детского городского многопрофильного клинического центра высоких медицинских технологий им. К.А. Раухфуса (Санкт-Петербург).

МСКТ проводили на аппарате Brilliance 64 (PHILIPS). Протокол исследования состоял из выполнения томограммы, нативного исследования позвоночника и органов грудной клетки с целью оценки состояния костной ткани и легочной паренхимы. У всех пациентов применяли специальные педиатрические протоколы с использованием средств позиционирования, фильтров и программ с уменьшением поля сканирования и напряжения на трубке (70 кВ и менее). Технические параметры, педиатрические протоколы и технологии снижения дозы выбирали в зависимости от веса ребенка. МСКТ осуществляли в положении пациента лежа на спине в краниокаудальном направлении от уровня верхней границы ключицы через оба реберно-диафрагмальных угла. Сканировали при следующих параметрах спирального режима: Quality Reference 110 мАс, KV / Effectivem As / Rotationtime 120 / 110 / 0,5 с; Detector

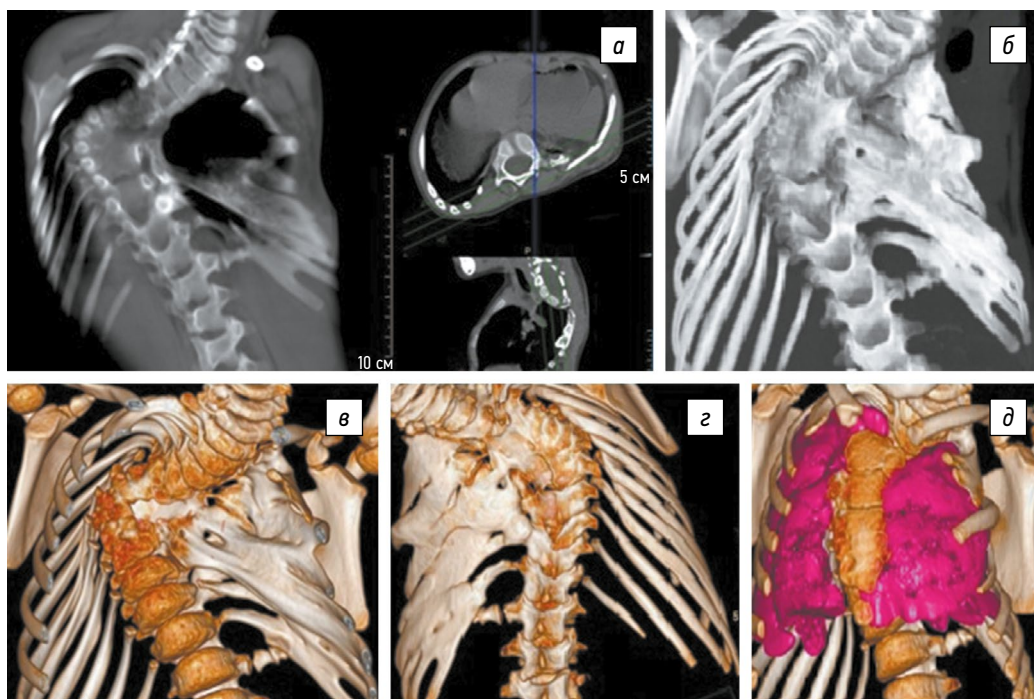


Рис. 1. Пациентка С., 5 лет. Мультиспиральная компьютерная томография позвоночника и органов грудной клетки в режимах целевых структур. На мультипланарной косокорональной реконструкции (а) и объемных изображениях — проекции максимальной интенсивности (б). Поверхностно-оттененное изображение — вид спереди (в), сзади (г) нарушения сегментации боковых поверхностей тел позвонков с субтотальным левосторонним реберным синостозом (заднебоковые отделы); реконструкция органов грудной клетки с изолированной визуализацией костной ткани и паренхимы легких с применением методик сегментации ткани (д)

Collimation 1,5 мм, Slice Thickness 1,0 мм, Pitchfactor от 0,3 до 1, Increment 2 мм.

Для оценки варианта порока развития позвоночника и ребер, расчета показателей объема гемиторакса денситометрических характеристик легочной паренхимы применяли программы постпроцессорной обработки: трехмерную, мультипланарную реконструкцию, проекции максимальной интенсивности и поверхностно-оттененное изображение (рис. 1, а–г). В ходе исследования использовали программное обеспечение томографа, включающее метод сегментации ткани с разграничением легочной паренхимы от ребер, мягких тканей средостения и сосудов с последующим картированием полученных зон и выявлением величины объема легочной ткани (рис. 1, д). Оценивали локализацию и протяженность участков со

сниженной пневматизацией, в качестве критериев были выбраны изменения денситометрических характеристик плотности менее -500 ед. НУ. В зонах визуально равномерной плотности определяли средние показатели площади легких по шкале Хаунсфилда, в участках с неравномерной плотностью измерения проводили в нескольких точках с последующим вычислением средних значений. Объем легкого (КТ-волюметрия) рассчитывали с помощью программного обеспечения компьютерного томографа. Использовали «толстые» срезы, для этого проводили реконструкцию изображений с толщиной среза 5 мм, инкремент реконструкции равен 5 мм. Принцип расчета основан на модифицированной формуле Симпсона.

С помощью цифровой обработки данных DICOM получали виртуальную модель бронхолегочной системы (рис. 2).

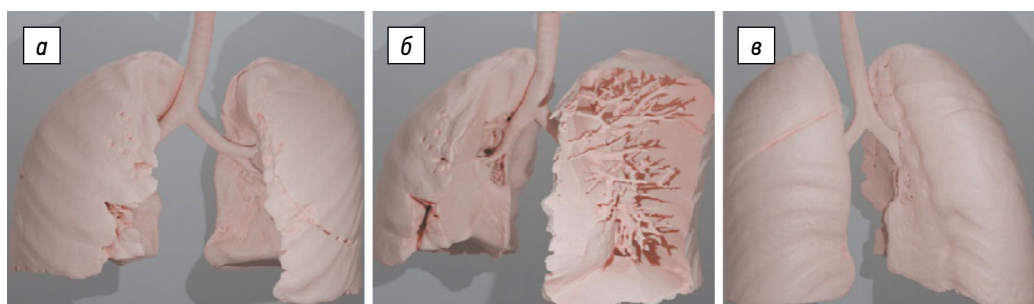


Рис. 2. Расчет объема легочной ткани пациентки А., 5 лет, при помощи построения виртуальной 3D-модели бронхолегочной системы на основании данных мультиспиральной компьютерной томографии на вдохе. Виртуальная модель легких: а — вид спереди; б — вид сбоку; в — вид сзади

Выявленные изменения легочной ткани с зонами гиповентиляции локализовали по стороне поражения, по распространенности (сегмент, доля) и протяженности относительно вершины сколиоза в краниокаудальном направлении и по периферии (переднезадний).

Для оценки функционального состояния легких всем пациентам выполняли ИОМ, которая представляет собой вариант техники вынужденного колебания и позволяет провести пассивное измерение механики легкого. Исследование ИОМ выполняли на установке Master Screen IOS (Viasys Health care, Германия). Принцип ИОМ основывается на наложении звуковых волн на нормальные дыхательные шумы, что ведет к изменению потока и давления в дыхательных путях [22–24]. ИОМ оценивали на основании показателей дыхательного импеданса (общего) при частоте осцилляций 5 Гц (Zrs5); резистивного (фрикционного) компонента дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 и 20 Гц (Rrs5 и RRrs20). Отклонения от нормы

параметров ИОМ определяли по изменению базовых показателей Rrs5 и Xrs5 [22, 24].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Величина сколиотической дуги искривления у пациентов, включенных в исследование, составила от 30 до 90°. В сагиттальной плоскости у большинства больных отмечался гипокифоз, а в ряде случаев выявлен патологический грудной лордоз до 15°.

При исследовании легочной функции методом импульсной осциллометрии не обнаружены вентиляционные нарушения в 7 наблюдениях. Несмотря на нормальные показатели импульсного сопротивления, у детей выявлены нарушения проходимости дыхательных путей по скоростным параметрам воздушного потока. Это так называемый нижний шунт, при котором происходит потеря части импульсных осцилляций (сопротивления) за счет гиперинфляции легочной ткани.

Таблица 1. Результаты импульсной осциллометрии

Пациент	Возраст	Резистивный компонент Zrs (Rrs5). В норме* от 0,78 до 1,36	Реактивный компонент Zrs (Xrs5). В норме* от –0,61 до –0,32	Частотная зависимость резистивного компонента (ЧЗ Rs5–20). В норме* от 0,25 до 0,57
1	3 года	1,32	–0,42	0,26
2	7 лет	1,05	–0,35	0,28
3	3 года	0,72	–0,34	0,27
4**	5 лет	1,48	–0,28	0,21
5**	4 года	1,51	–0,25	0,19
6	3 года	0,9	–0,34	0,26
7	4 года	0,81	–0,36	0,31
8	3 года	0,89	–0,31	0,28
9**	5 лет	1,45	–0,27	0,18
10	7 лет	0,9	–0,39	0,27

* Диапазон нормальных значений параметра по Elida Duenas-Meza и соавт. [44]. ** Пациенты с наиболее измененными параметрами.

Таблица 2. Результаты исследования цифровых рентгенограмм и мультиспиральной компьютерной томографии

Пациент	Возраст	Локализация несегментированного стержня	Величина сколиотической деформации по Cobb, град.	Сторона основной дуги, D/S	Объем правого легкого, см ³	Объем левого легкого, см ³	Общий объем легких, см ³
1	3 года	Th ₅ –Th ₈	48	D	392,0	317,8	709,8
2	7 лет	Th ₄ –Th ₇	61	S	324,3	365,6	689,9
3	3 года	Th ₇ –Th ₁₀	38	D	295,7	247,8	543,5
4*	5 лет	Th ₁ –Th ₅	34	D	485,3	351,7	837,0
5*	4 года	Th ₆ –Th ₁₂	52	D	717,5	561,3	1278,8
6	3 года	Th ₃ –Th ₉	69	D	230,7	183,7	414,4
7	4 года	Th ₂ –Th ₉	44	S	334,4	392	726,4
8	3 года	Th ₄ –Th ₉	42	S	240,1	286,7	526,8
9*	5 лет	Th ₄ –Th ₉	90	D	434,5	190,7	595,2
10	7 лет	Th ₉ –Th ₁₁	30	D	583,4	486,4	1069,8

* пациенты с наиболее выраженными изменениями, выявленными при проведении исследования.

Таблица 3. Сравнение показателей волюметрии легких по данным мультиспиральной компьютерной томографии у исследуемых пациентов с показателями физиологической нормы [27]

Общий объем легких, см ³ (М; min–max)		Объем правого легкого, см ³ (М; min–max)		Объем левого легкого, см ³ (М; min–max)	
норма	исследуемые пациенты	норма	исследуемые пациенты	норма	исследуемые пациенты
689,0; 313,0–2180,0	739,8; 414,4–1278,0	379,0; 192,0–1218,0	403,8; 230,7–717,5	310,0; 106,0–962,0	338,4; 183,7–561,3

У трех детей с вентиляционными нарушениями по данным ИОМ больше всего изменились параметры общего дыхательного импеданса, а именно его реактивного и резистивного компонентов (Xrs5 и Rrs5 соответственно), частотной зависимости резистивного компонента (ЧЗ Rrs5–20) (табл. 1). Эти параметры импульсного сопротивления отражают не только проходимость дыхательных путей, но и эластические свойства дыхательных структур, участвующих в дыхательном цикле. Увеличение параметра резистивного компонента свидетельствует о нарушении проходимости на разных уровнях трахеобронхиального дерева, снижении параметра эластической части реактивного компонента импеданса Xrs5, отражает изменение эластических свойств дыхательных структур.

Следует отметить, что у трех пациентов с уменьшением морфометрических показателей, выявленных при построении 3D-модели легких и КТ-волюметрии, были обнаружены наиболее значимые изменения функциональных показателей методом ИОМ (см. табл. 1, 2).

По данным литературы, в норме у детей отмечается физиологическая асимметрия развития легких, которая достигает 5 % [25–27]. Разница в объеме легких у детей с нарушением сегментации боковых поверхностей тел позвонков и синостозом ребер составляла от 12 до 56,2 %. Для данной категории пациентов прослеживалась тенденция уменьшения легкого на стороне нарушения сегментации (см. табл. 2).

При сравнении полученных данных с показателями нормы на основании литературных источников прослеживается тенденция к значительному снижению возможного максимального показателя объема легких у исследуемых пациентов, в то же время среднее значение объема легких превышает значение относительно нормы, что может говорить о раннем включении компенсаторных механизмов. Полученные данные отражены в табл. 3.

ОБСУЖДЕНИЕ

Дыхательная недостаточность — наиболее серьезное последствие врожденной деформации позвоночника при нарушении сегментации боковых поверхностей тел позвонков в сочетании с односторонним синостозом ребер [28, 29].

Синдром торакальной недостаточности может быть связан с нарушением развития легочной функции уже с раннего детства, причем это состояние усугубляется по мере роста ребенка [5, 30, 31]. При отсутствии лечения у детей повышены риски ранней смерти из-за

сердечно-легочной недостаточности [32–34]. Четкие количественные или качественные критерии постановки диагноза синдрома торакальной недостаточности на данный момент отсутствуют [5, 35].

До недавнего времени не существовало неинвазивных, достоверных методов оценки дыхательной функции у детей младшей возрастной группы с врожденными аномалиями развития [36–38]. Низкая комплаентность детей долгое время служила препятствием для широкого проведения функциональных тестов [24]. Одним из возможных путей обхода ограничений было применение медикаментозной седации, но в связи с возможным воздействием на дыхательный центр, а также изменением тонуса гладкомышечной ткани респираторного тракта результаты исследования искажались, вследствие чего данный способ не нашел широкого распространения [6, 22]. Рассматриваемый нами метод ИОМ лишен вышеописанных недостатков.

В силу небольшого количества наблюдений мы не можем достоверно утверждать о связи выявленных дыхательных нарушений с возрастом ребенка и величиной основной дуги деформации. Клинически пациенты, как правило, активно не жаловались на нарушение дыхательной функции, что обусловлено компенсаторными возможностями детского организма, но уже в раннем детском возрасте можно выявить тенденцию к прогрессирующему ухудшению функции внешнего дыхания.

В литературе отмечается, что пациенты с тяжелыми деформациями позвоночника и грудной клетки в раннем возрасте живут с приближенной к нормальной двигательной активностью [39–41], вместе с тем при подростковом спурте, характеризующемся увеличением массы тела, неизбежно развивается дыхательная недостаточность [42, 43].

В семи клинических наблюдениях у пациентов с врожденной деформацией позвоночника на фоне нарушения сегментации боковых поверхностей тел позвонков и одностороннем синостозе ребер отсутствовали вентиляционные нарушения. У трех детей отмечались нарушения в виде изменений параметров общего дыхательного импеданса, резонансной частоты и частотной зависимости резистивного компонента.

Уменьшение морфометрических показателей легких у трех пациентов, выявленное при построении 3D-модели легкого, соответствует результатам исследования легочной функции методом ИОМ. У рассматриваемых нами пациентов прослеживается разница в объеме легких

от 12 до 56,2 %. При этом можно наблюдать тенденцию к увеличению среднего значения объема легких, превышающего показатели в норме, что может говорить о раннем включении компенсаторных механизмов.

На сегодняшний день выбор лечения определяется на основе клинко-рентгенологических данных, но очевидна необходимость функциональной оценки состояния дыхательной системы.

Ограничения достоверности результатов исследования. Исследование носит предварительный характер. Малое число включенных в исследование клинических наблюдений не позволяет провести статистический и факторный анализ. Дополнительным критерием ограничения является выбранный возрастной диапазон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ИОМ — быстрый, простой и неинвазивный метод оценки функции внешнего дыхания при спонтанном дыхании у пациентов младшей возрастной группы.

ИОМ и морфометрическая оценка легких по 3D-модели КТ позволяет получить новые, ранее недоступные для детей с врожденным сколиозом объективные данные о состоянии респираторной системы.

Рассматриваемые методы перспективны как для диагностики, так и для анализа эффективности хирургического лечения врожденного сколиоза у детей дошкольного возраста с позиции оценки изменений функции легких.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. McMaster M.J., McMaster M.E. Prognosis for congenital scoliosis due to a unilateral failure of vertebral segmentation // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2013. Vol. 95. No. 11. P. 972–979. DOI: 10.2106/JBJS.L.01096
2. Winter R.B. Congenital thoracic scoliosis with unilateral unsegmented bar, convex hemivertebrae, and fused concave ribs with severe progression after posterior fusion at age 2 // *Spine.* 2021. Vol. 37. No. 8. P. E507–E510. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31824ac401
3. Михайловский М.В., Суздалов В.А. Синдром торакальной недостаточности при инфантильном врожденном сколиозе // *Хирургия позвоночника.* 2010. № 3. С. 20–28. DOI: 10.14531/ss2010.3.20-28
4. Campbell R.M. Jr., Smith M.D. Thoracic insufficiency syndrome and exotic scoliosis // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2007. Vol. 89. Suppl. 1. P. 108–122. DOI: 10.2106/JBJS.F.00270
5. Mayer O., Campbell R., Cahill P., Redding G. Thoracic insufficiency syndrome // *Curr. Probl. Pediatr. Adolesc. Health Care.* 2016. Vol. 46. No. 3. P. 72–97. DOI: 10.1016/j.cppeds.2015.11.001
6. Tong Y., Udupa J.K., McDonough J.M. et al. Quantitative dynamic thoracic MRI: Application to thoracic insufficiency syndrome in pediatric patients // *Radiology.* 2019. Vol. 292. No. 1. P. 206–213. DOI: 10.1148/radiol.2019181731
7. Виссарионов С.В., Хусаинов Н.О., Кокушин Д.Н. Анализ результатов хирургического лечения детей с множественными

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Отсутствует.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России (протокол № 20-3 от 20.11.2020).

У представителей пациентов было получено письменное согласие на обработку и публикацию персональных данных.

Вклад авторов. С.В. Виссарионов — формулировка цели и разработка дизайна исследования, хирургическое лечение пациентов. М.С. Асадулаев — написание всех разделов статьи, сбор и анализ данных, анализ литературы, этапное и финальное редактирование текста статьи. Е.А. Орлова — пульмонологическое обследование пациентов, этапное редактирование текста статьи. В.Г. Тория — сбор и анализ данных лучевых обследований, этапное редактирование текста статьи; создание 3D-моделей легких, подсчет объема легочной ткани. К.А. Картавенко — этапное редактирование текста статьи, сбор данных. Т.С. Рыбинских — этапное редактирование текста статьи, перевод резюме и информации об авторах на английский язык. Т.В. Мурашко — описание результатов МСКТ, этапное редактирование текста статьи. М.А. Хардинов — оформление списка использованной литературы, этапное редактирование текста статьи. Д.Н. Кокушин — этапное редактирование текста статьи.

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

аномалиями развития позвонков и грудной клетки с использованием внепозвоночных металлоконструкций // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2017. Т. 5. № 2. С. 5–12. DOI: 10.17816/PTORS525

8. Schlösser T.P.C., Kruyt M.C., Tsirikos A.I. Surgical management of early-onset scoliosis: indications and currently available techniques // *Orthop. Trauma.* 2021. Vol. 35. No. 6. P. 1877–1327. DOI: 10.1016/j.mporth.2021.09.004

9. Campbell R.M. Jr., Smith M.D. Thoracic insufficiency syndrome and exotic scoliosis // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2007. Vol. 89. Suppl. 1. P. 108–122. DOI: 10.2106/JBJS.F.00270

10. Mayer O., Campbell R., Cahill P., Redding G. Thoracic insufficiency syndrome // *Curr. Probl. Pediatr. Adolesc. Health Care.* 2016. Vol. 46. No. 3. P. 72–97. DOI: 10.1016/j.cppeds.2015.11.001

11. Campbell R.M. Jr., Smith M.D., Mayes T.C. et al. The characteristics of thoracic insufficiency syndrome associated with fused ribs and congenital scoliosis // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2003. Vol. 85. No. 3. P. 399–408. DOI: 10.2106/00004623-200303000-00001

12. Romberg K., Fagevik Olsén M., Kjellby-Wendt G. et al. Thoracic mobility and its relation to pulmonary function and rib-cage deformity in patients with early onset idiopathic scoliosis: a long-term follow-up // *Spine Deform.* 2020. Vol. 8. No. 2. P. 257–268. DOI: 10.1007/s43390-019-00018-y

13. Farrell J., Garrido E. Predicting preoperative pulmonary function in patients with thoracic adolescent idiopathic scoliosis from spinal and thoracic radiographic parameters // *Eur. Spine J.* 2021. Vol. 30. No. 3. P. 634–644. DOI: 10.1007/s00586-020-06552-y
14. Hedequist D.J. Surgical treatment of congenital scoliosis // *Orthop. Clin. North Am.* 2007. Vol. 38. No. 4. P. 497–509. DOI: 10.1016/j.ocl.2007.05.002
15. Campos M.A., Weinstein S.L. Pediatric scoliosis and kyphosis // *Neurosurg. Clin. N. Am.* 2007. Vol. 18. No. 3. P. 515–529. DOI: 10.1016/j.nec.2007.04.007
16. Давыдова И.В., Намазова-Баранова Л.С., Алтунин В.В. и др. Функциональная оценка респираторных нарушений у детей с бронхолегочной дисплазией при катamnестическом наблюдении // *Педиатрическая фармакология.* 2014. Т. 11. № 6. С. 42–51. DOI: 10.15690/pf.v11i6.1214
17. Яшина Л.А., Полянская М.А., Загребельный М.Р. Импульсная осциллометрия – новые возможности в диагностике и мониторинге обструктивных заболеваний легких // *Здоров'я України.* 2009. № 23/1. С. 26–27.
18. Цыпленкова С.Э., Мизерницкий Ю.Л. Современные возможности функциональной диагностики внешнего дыхания у детей // *Российский вестник перинатологии и педиатрии.* 2015. Т. 60. № 5. С. 14–20.
19. Feldman D.S., Schachter A.K., Alfonso D. et al. Congenital scoliosis // *Surg. Manag. Spinal Deformities.* 2009. P. 129–141. DOI: 10.1016/B978-141603372-1.50012-3
20. Quaye M., Harvey J. Introduction to spinal pathologies and clinical problems of the spine // *Biomaterials for Spinal Surgery.* 2012. P. 78–113. DOI: 10.1533/9780857096197.1.78
21. Blevins K., Battenberg A., Beck A. Management of scoliosis // *Advances in Pediatrics.* 2018. Vol. 65. No. 1. P. 249–266. DOI: 10.1016/j.yapd.2018.04.013
22. Desai U., Joshi J.M. Impulse oscillometry // *Adv. Respir. Med.* 2019. Vol. 87. No. 4. P. 235–238. DOI: 10.5603/ARM.a2019.0039
23. Савушкина О.И., Черняк А.В., Крюков Е.В. и др. Импульсная осциллометрия в диагностике нарушений механики дыхания при хронической обструктивной болезни легких // *Пульмонология.* 2020. Т. 30. № 3. С. 285–294. DOI: 10.18093/0869-0189-2020-30-3-285-294
24. Антонова Е.А. Диагностика нарушений внешнего дыхания у детей младшего возраста (3–7 лет), больных бронхиальной астмой, по данным импульсной осциллометрии: дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2004.
25. Redding G., Song K., Inscore S. et al. Lung function asymmetry in children with congenital and infantile scoliosis // *Spine J.* 2008. Vol. 8. No. 4. P. 639–644. DOI: 10.1016/j.spinee.2007.04.020
26. Flesch J.D., Dine C.J. Lung volumes: measurement, clinical use, and coding // *Chest.* 2012. Vol. 142. No. 2. P. 506–510. DOI: 10.1378/chest.11-2964
27. Caliskan E., Ozturk M. Determination of normal lung volume using computed tomography in children and adolescents // *Original Article.* 2019. Vol. 26. No. 4. P. 588–592. DOI: 10.5455/annalsmedres.2018.12.308
28. Lattig F., Taurman R., Hell A.K. Treatment of early-onset spinal deformity (EOSD) with VEPTR // *Clinical Spine Surg.* 2016. Vol. 29. No. 5. P. E246–E251. DOI: 10.1097/BSD.0b013e31826eaf27
29. Li C., Fu Q., Zhou Y. et al. Surgical treatment of severe congenital scoliosis with unilateral unsegmented bar by concave costovertebral joint release and both-ends wedge osteotomy via posterior approach // *European Spine Journal.* 2011. Vol. 21. No. 3. P. 498–505. DOI: 10.1007/s00586-011-1972-6
30. Fender D., Purushothaman B. Spinal disorders in childhood II: spinal deformity // *Surgery (Oxford).* 2014. Vol. 32. No. 1. P. 39–45. DOI: 10.1016/j.mpsur.2013.11.001
31. Campbell R.M. Operative strategies for thoracic insufficiency syndrome by vertical expandable prosthetic titanium rib expansion thoracoplasty // *Operative Techniques in Orthopaedics.* 2005. Vol. 15. No. 4. P. 315–325. DOI: 10.1053/j.oto.2005.08.008
32. Loughenbury P.R., Gummerson N.W., Tsirikos A.I. Congenital spinal deformity: assessment, natural history and treatment // *Orthop. Trauma.* 2017. Vol. 31. No. 6. P. 364–369. DOI: 10.1016/j.morth.2017.09.007
33. Kalidindi K.K.V., Sath S., Sharma J., Chhabra H.S. Management of severe rigid scoliosis by total awake correction utilizing differential distraction and *in situ* stabilization // *Interdisciplinary Neurosurgery.* 2020. Vol. 21. P. 100778. DOI: 10.1016/j.inat.2020.100778
34. Campbell R., Hell-Vocke A.K. The growth of the thoracic spine in congenital scoliosis after expansion thoracoplasty // *Spine.* 2002. Vol. 2. No. 5. Suppl. P. 71–72. DOI: 10.1016/S1529-9430(02)00317-0
35. Skaggs D.L., Guillaume T., El-Hawary R. et al. Early onset scoliosis consensus statement, SRS Growing Spine Committee, 2015 // *Spine Deformity.* 2015. Vol. 3. No. 2. P. 107. DOI: 10.1016/j.jspd.2015.01.002
36. Лукина О.Ф. Особенности исследования функции внешнего дыхания у детей и подростков // *Практическая пульмонология.* 2017. № 4. С. 39–44.
37. Lattig F., Taurman R., Hell A.K. Treatment of early-onset spinal deformity (EOSD) with VEPTR // *Clinical Spine Surgery.* 2016. Vol. 29. No. 5. P. E246–E251. DOI: 10.1097/BSD.0b013e31826eaf27
38. Lonstein J.E. Long-term outcome of early fusions for congenital scoliosis // *Spine Deformity.* 2018. Vol. 6. No. 5. P. 552–559. DOI: 10.1016/j.jspd.2018.02.003
39. Murphy R.F., Pacult M.A., Barfield W.R. et al. Experience with definitive instrumented final fusion after posterior-based distraction lengthening in patients with early-onset spinal deformity: single center results // *J. Pediatr. Orthop. B.* 2019. Vol. 28. No. 1. P. 10–16. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000559
40. Johnston C.E., Stephens Richards B., Sucato D.J. et al. Correlation of preoperative deformity magnitude and pulmonary function tests in adolescent idiopathic scoliosis // *Spine.* 2011. Vol. 36. P. 1096–1102. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181f8c931
41. Karol L.A. The natural history of early-onset scoliosis // *J. Pediatr. Orthop.* 2019. Vol. 39. No. 6. Suppl. 1. P. S38–S43. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001351
42. Tomlinson J.E., Gummerson N.W. Paediatric spinal conditions // *Surgery (Oxford).* 2017. Vol. 35. No. 1. P. 39–47. DOI: 10.1016/j.mpsur.2016.10.013
43. Gardner A. (i) Clinical assessment of scoliosis // *Orthop. Trauma.* 2011. Vol. 25. No. 6. P. 397–402. DOI: 10.1016/j.morth.2011.09.002
44. Duenas-Meza E., Correa E., Lopez E. et al. Impulse oscillometry reference values and bronchodilator response in three- to five-year old children living at high altitude // *J. Asthma Allergy.* 2019. Vol. 12. P. 263–271. DOI: 10.2147/JAA.S214297

REFERENCES

1. McMaster MJ, McMaster ME. Prognosis for congenital scoliosis due to a unilateral failure of vertebral segmentation. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(11):972–979. DOI: 10.2106/JBJS.L.01096
2. Winter RB. Congenital thoracic scoliosis with unilateral unsegmented bar, convex hemivertebrae, and fused concave ribs with severe progression after posterior fusion at age 2. *Spine.* 2012;37(8):E507–E510. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31824ac401
3. Mihajlovskij MV, Suzdalov VA. Sindrom torakal'noj nedostatochnosti pri infantil'nom vrozhdennom skolioze. *Hirurgija pozvonochnika.* 2010;(3):20–28. (In Russ.). DOI: 10.14531/ss2010.3.20-28
4. Campbell RM Jr, Smith MD. Thoracic insufficiency syndrome and exotic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(Suppl 1):108–122. DOI: 10.2106/JBJS.F.00270
5. Mayer O, Campbell R, Cahill P, Redding G. Thoracic insufficiency syndrome. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care.* 2016;46(3):72–97. DOI: 10.1016/j.cppeds.2015.11.001
6. Tong Y, Udupa JK, McDonough JM, et al. Quantitative dynamic thoracic MRI: Application to thoracic insufficiency syndrome in pediatric patients. *Radiology.* 2019;292(1):206–213. DOI: 10.1148/radiol.2019181731
7. Vissarionov SV, Husainov NO, Kokushin DN. Analiz rezul'tatov hirurgicheskogo lechenija detej s mnozhestvennymi anomalijami razvitiya pozvonkov i grudnoj kletki s ispol'zovaniem vne-pozvonochnyh metallokonstrukcij. *Ortopediya, travmatologija i vosstanovitel'naja hirurgija detskogo vozrasta.* 2017;5(2):5–12. (In Russ.). DOI: 10.17816/PTORS525
8. Schlösser TPC, Kruyt MC, Tsirikos AI. Surgical management of early-onset scoliosis: indications and currently available techniques. *Orthop Trauma.* 2021;35(6):1877–1327. DOI: 10.1016/j.mporth.2021.09.004
9. Campbell RM Jr, Smith MD. Thoracic insufficiency syndrome and exotic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(Suppl 1):108–122. DOI: 10.2106/JBJS.F.00270
10. Mayer O, Campbell R, Cahill P, Redding G. Thoracic insufficiency syndrome. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care.* 2016;46(3):72–97. DOI: 10.1016/j.cppeds.2015.11.001
11. Campbell RM Jr, Smith MD, Mayes TC, et al. The characteristics of thoracic insufficiency syndrome associated with fused ribs and congenital scoliosis. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85(3):399–408. DOI: 10.2106/00004623-200303000-00001
12. Romberg K, Fagevik Olsén M, Kjellby-Wendt G, Lofdahl Hallerman K, Danielsson A. Thoracic mobility and its relation to pulmonary function and rib-cage deformity in patients with early onset idiopathic scoliosis: a long-term follow-up. *Spine Deform.* 2020;8(2):257–268. DOI: 10.1007/s43390-019-00018-y
13. Farrell J, Garrido E. Predicting preoperative pulmonary function in patients with thoracic adolescent idiopathic scoliosis from spinal and thoracic radiographic parameters. *Eur Spine J.* 2021;30(3):634–644. DOI: 10.1007/s00586-020-06552-y
14. Hedequist DJ. Surgical treatment of congenital scoliosis. *Orthop Clin North Am.* 2007;38(4):497–509. DOI: 10.1016/j.ocl.2007.05.002
15. Campos MA, Weinstein SL. Pediatric scoliosis and kyphosis. *Neurosurg Clin N Am.* 2007;18(3):515–529. DOI: 10.1016/j.nec.2007.04.007
16. Davydova IV, Namazova-Baranova LS, Altunin VV, et al. Functional assessment of respiratory disorders in children with bronchopulmonary dysplasia during follow-up. *Pediatricheskaja farmakologija.* 2014;11(6):42–51. (In Russ.). DOI: 10.15690/pf.v11i6.1214
17. Yashina LA, Polyanskaya MA, Zagrebel'nyy M.R. Impul'snaya ostsilometriya – novye vozmozhnosti v diagnostike i monitoringe obstruktyvnykh zabolevanij legkikh. *Zdorov'ya Ukraini.* 2009;(23/1):26–27. (In Russ.)
18. Cyplenkova SJe, Mizernickij JuL. Sovremennye vozmozhnosti funkcional'noi diagnostiki vneshnego dyhaniya u detei. *Ros vestn perinatal i pediat.* 2015;60(5):14–20. (In Russ.)
19. Feldman DS, Schachter AK, Alfonso D, et al. Congenital scoliosis. *Surg Manag Spinal Deformities.* 2009;129–141. DOI: 10.1016/B978-141603372-1.50012-3
20. Quaye M, Harvey J. Introduction to spinal pathologies and clinical problems of the spine. *Biomaterials for Spinal Surgery.* 2012:78–113. DOI: 10.1533/9780857096197.1.78
21. Blevins K, Battenberg A, Beck A. Management of scoliosis. *Advances in Pediatrics.* 2018;65(1):249–266. DOI: 10.1016/j.yapd.2018.04.013
22. Desai U, Joshi JM. Impulse oscillometry. *Adv Respir Med.* 2019;87(4):235–238. DOI: 10.5603/ARM.a2019.0039
23. Savushkina OI, Chernyak AV, Kryukov EV, et al. Impul'snaya ostsilometriya v diagnostike narushenij mekhaniki dykhaniya pri khronicheskoy obstruktyvnoy bolezni legkikh. *Pul'monologiya.* 2020;30(3):285–294. (In Russ.). DOI: 10.18093/0869-0189-2020-30-3-285-294
24. Antonova E.A. Diagnostika narushenij vneshnego dykhaniya u detey mladshego vozrasta (3–7 let), bol'nykh bronkhial'noy astmoy, po dannym impul'snoy ostsilometrii. Saint Petersburg; 2004. (In Russ.)
25. Redding G, Song K, Inscore S, et al. Lung function asymmetry in children with congenital and infantile scoliosis. *Spine J.* 2008;8(4):639–644. DOI: 10.1016/j.spinee.2007.04.020
26. Flesch JD, Dine CJ. Lung volumes: measurement, clinical use, and coding. *Chest.* 2012;142(2):506–510. DOI: 10.1378/chest.11-2964
27. Caliskan E, Ozturk M. Determination of normal lung volume using computed tomography in children and adolescents. *Original Article.* 2019;26(4):588–592. DOI: 10.5455/annalsmedres.2018.12.308
28. Lattig F, Taurman R, Hell AK. Treatment of early-onset spinal deformity (EOSD) with VEPTR. *Clinical Spine Surg.* 2016;29(5):E246–E251. DOI: 10.1097/BSD.0b013e31826eaf27
29. Li C, Fu Q, Zhou Y, et al. Surgical treatment of severe congenital scoliosis with unilateral unsegmented bar by concave costovertebral joint release and both-ends wedge osteotomy via posterior approach. *European Spine Journal.* 2011;21(3):498–505. DOI: 10.1007/s00586-011-1972-6
30. Fender D, Purushothaman B. Spinal disorders in childhood II: spinal deformity. *Surgery (Oxford).* 2014;32(1):39–45. DOI: 10.1016/j.mpsur.2013.11.001
31. Campbell RM. Operative strategies for thoracic insufficiency syndrome by vertical expandable prosthetic titanium rib expansion thoracoplasty. *Operative Techniques in Orthopaedics.* 2005;15(4):315–325. DOI: 10.1053/j.oto.2005.08.008
32. Loughenbury PR, Gummerson NW, Tsirikos AI. Congenital spinal deformity: assessment, natural history and treatment. *Orthop Trauma.* 2017;31(6):364–369. DOI: 10.1016/j.mporth.2017.09.007
33. Kalidindi KKV, Sath S, Sharma J, Chhabra HS. Management of severe rigid scoliosis by total awake correction utilizing differential distraction and *in situ* stabilization. *Interdisciplinary Neurosurgery.* 2020;21:100778. DOI: 10.1016/j.inat.2020.100778
34. Campbell R, Hell-Vocke AK. The growth of the thoracic spine in congenital scoliosis after expansion thoracoplasty. *Spine.* 2002;25(Suppl):71–72. DOI: 10.1016/S1529-9430(02)00317-0

35. Skaggs, DL, Guillaume T, El-Hawary R, et al. (2015). Early onset scoliosis consensus statement, SRS Growing Spine Committee, 2015. *Spine Deformity*. 2015;3(2):107. DOI: 10.1016/j.jspd.2015.01.002
36. Lukina O.F. Osobennosti issledovaniya funktsii vneshnego dykhaniya u detey i podrostkov. *Prakticheskaya pul'monologiya*. 2017(4):39–44. (In Russ.)
37. Lattig F, Taurman R, Hell AK. Treatment of early-onset spinal deformity (EOSD) with VEPTR. *Clinical Spine Surgery*. 2016;29(5):E246–E251. DOI: 10.1097/BSD.0b013e31826eaf27
38. Lonstein JE. Long-term outcome of early fusions for congenital scoliosis. *Spine Deformity*. 2018;6(5):552–559. DOI: 10.1016/j.jspd.2018.02.003
39. Murphy RF, Pacult MA, Barfield WR, et al. Experience with definitive instrumented final fusion after posterior-based distraction lengthening in patients with early-onset spinal deformity. *J Pediatr Orthop B*. 2019;28(1):10–16. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000559
40. Johnston CE, Stephens Richards B, Sucato DJ, et al. Correlation of preoperative deformity magnitude and pulmonary function tests in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*. 2011;36:1096–1102. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181f8c931
41. Karol LA. The natural history of early-onset scoliosis. *J Pediatr Orthop*. 2019;39(6 Suppl 1):S38–S43. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001351
42. Tomlinson JE, Gummerson NW. Paediatric spinal conditions. *Surgery (Oxford)*. 2017;35(1):39–47. DOI: 10.1016/j.mpsur.2016.10.013
43. Gardner A. (i) Clinical assessment of scoliosis. *Orthop Trauma*. 2011;25(6):397–402. DOI: 10.1016/j.mporth.2011.09.002
44. Duenas-Meza E, Correa E, Lopez E, et al. Impulse oscillometry reference values and bronchodilator response in three-to five-year old children living at high altitude. *J Asthma Allergy*. 2019;12:263–271. DOI: 10.2147/JAA.S214297

ОБ АВТОРАХ

Сергей Валентинович Виссарионов, д-р мед. наук, профессор, чл.-корр. РАН;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>;
eLibrary SPIN: 7125-4930; ResearcherID: P-8596-2015;
Scopus Author ID: 6504128319; e-mail: vissarionovs@gmail.com

* **Марат Сергеевич Асадулаев**, аспирант;
адрес: Россия, 196603, Санкт-Петербург,
Пушкин, ул. Парковая, д. 64–68;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1768-2402>;
eLibrary SPIN: 3336-8996; Scopus Author ID: 57191618743;
e-mail: marat.asadulaev@yandex.ru

Елена Антоновна Орлова, канд. мед. наук,
врач функциональной диагностики;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3128-980X>;
e-mail: eaorlova@mail.ru

Вахтанг Гамлетович Тория, врач-нейрохирург;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2056-9726>;
eLibrary SPIN: 1797-5031; e-mail: vakdiss@yandex.ru

Кирилл Александрович Картавенко, канд. мед. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6112-3309>;
eLibrary SPIN: 5341-4492; Scopus Author ID: 57193272063;
e-mail: med-kart@yandex.ru

Тимофей Сергеевич Рыбинских, студент 6-го курса;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4180-5353>;
eLibrary SPIN: 7739-4321; e-mail: timofey1999r@gmail.com

Татьяна Валерьевна Мурашко, врач-рентгенолог;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0596-3741>;
eLibrary SPIN: 9295-6453; e-mail: popova332@mail.ru

Михаил Александрович Харди́ков, канд. мед. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8269-0900>;
Scopus Author ID: 57203014683; eLibrary SPIN: 3378-7685;
e-mail: denica1990@bk.ru

Дмитрий Николаевич Кокушин, канд. мед. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2510-7213>;
Scopus Author ID: 57193257768; eLibrary SPIN: 9071-4853;
e-mail: partgerm@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

Sergei V. Vissarionov, MD, PhD, Dr. Sci. (Med.),
Professor, Corresponding Member of RAS;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>;
eLibrary SPIN: 7125-4930; ResearcherID: P-8596-2015;
Scopus Author ID: 6504128319; e-mail: vissarionovs@gmail.com

* **Marat S. Asadulaev**, MD, PhD student;
address: 64–68 Parkovaya str., Pushkin,
Saint Petersburg, 196603, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1768-2402>;
eLibrary SPIN: 3336-8996; Scopus Author ID: 57191618743;
e-mail: marat.asadulaev@yandex.ru

Elena A. Orlova, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.),
doctor of functional diagnostics;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3128-980X>;
e-mail: eaorlova@mail.ru

Vachtang G. Toriya, MD, neurosurgeon;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2056-9726>;
eLibrary SPIN: 1797-5031; e-mail: vakdiss@yandex.ru

Kirill A. Kartavenko, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6112-3309>;
eLibrary SPIN: 5341-4492; Scopus Author ID: 57193272063;
e-mail: med-kart@yandex.ru

Timofey S. Rybinskikh, 6th year student;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4180-5353>;
eLibrary SPIN: 7739-4321; e-mail: timofey1999r@gmail.com

Tatyana V. Murashko, MD, radiologist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0596-3741>;
eLibrary SPIN: 9295-6453; e-mail: popova332@mail.ru

Mikhail A. Khardikov, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8269-0900>;
Scopus Author ID: 57203014683; eLibrary SPIN: 3378-7685;
e-mail: denica1990@bk.ru

Dmitry N. Kokushin, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2510-7213>;
Scopus Author ID: 57193257768; eLibrary SPIN: 9071-4853;
e-mail: partgerm@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author