

УДК 616.24-073.173-053.4/7

## ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ СПИРОМЕТРИИ У ДЕТЕЙ В ВОЗРАСТЕ ОТ 3 ДО 16 ЛЕТ

*Т. Л. Устьянцева*

*Пермская государственная медицинская академия им. ак. Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия*

## AGE DYNAMICS OF ELECTRIC IMPEDANCE SPIROMETRY INDICES IN CHILDREN AGED 3–16

*T. L. Ustiantseva*

*Perm State Academy of Medicine named after Academician E. A. Wagner, Perm, Russian Federation*

**Цель.** Изучить возрастные особенности показателей электроимпедансной спирометрии у детей в возрасте от 3 до 16 лет.

**Материалы и методы.** Обследовано 58 пациентов; по возрастному параметру было сформировано три группы: 1-я – от 3 до 7 лет, 2-я – от 8 до 11 лет, 3-я – от 12 до 15 лет. Поводились тесты спирометрии и электроимпедансной спирометрии по авторской методике, с использованием нетбука, оснащенного программой «БИА-лаб-Спиро», и ультразвукового ингалятора «Муссон-3». Применялся биполярный метод импедансометрии, который заключался в регистрации модульного значения импеданса ( $Z$ ) и фазового угла ( $\phi$ ) на частотах 20, 98, 1000, 5000, 10000 и 20000 Гц переменного электрического тока малой мощности во время ингаляции 0,9% раствора хлорида натрия.

**Результаты.** Установлено, что дети в возрасте от 4 до 7 лет имели самые малые величины модульного значения импеданса  $|Z|$  на всех частотных диапазонах. Определены достоверные взаимосвязи показателей спирометрии и электроимпедансной спирометрии. Выявлена корреляционная зависимость модульного значения электрического импеданса  $|Z|$  от возраста, роста и веса детей.

**Выводы.** Модульное значение электрического импеданса  $|Z|$  зависит от возраста, роста и веса. Определены перспективы применения метода электроимпедансной спирометрии с целью исследования функции внешнего дыхания в педиатрической практике.

**Ключевые слова.** Электроимпедансная спирометрия, функция внешнего дыхания, традиционная спирометрия.

**Aim.** To study the age peculiarities of electric impedance spirometry indices in children aged 3 to 16 years.

**Materials and methods.** 58 patients were divided into 3 age groups and examined: group 1 – aged 3 to 7 years, group 2 – aged 8 to 11, group 3 – aged 12 to 15. Patients underwent spirometry tests and impedance spirometry by the author's method (Mishlanov V.Yu., 2011) using netbook "BIA-lab Spiro" and ultrasonic inhaler Musson-3. The method of bipolar impedancemetry consists in registration of modular impedance value ( $Z$ ) and phase angle ( $\phi$ ) on the frequencies 20, 98, 1000, 5000, 10000 and 20000 Hz of a low power alternating electric current during inhalation of 0,9% sodium chloride solution.

**Results.** It was established that the group of children aged 4–7 had the lowest values of modular impedance value ( $Z$ ) on all the frequency ranges. Reliable correlation between spirometry indices and electric impedance spirometry were fixed. Correlation dependence of modular electric impedance value ( $Z$ ) on children's age, height and weight was detected.

© Устьянцева Т. А., 2013

e-mail: 2864286@mail.ru

тел. 8 (342) 265 98 03

[Устьянцева Т. А. – аспирант кафедры пропедевтики внутренних болезней].

**Conclusion.** Modular electric impedance value (Z) depends on the age, height and weight. Prospects for applying the method of electric impedance spirometry so as to study the functions of external respiration in pediatric practice were determined.

**Key words.** Electrical impedance spirometry, bronchoobstructive disorders, functions of external respiration, conventional spirometry.

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальными для практического здравоохранения являются вопросы ранней диагностики бронхообструктивных нарушений, внедрение эффективных методов профилактики и лечения заболеваний органов дыхания в педиатрической практике [8]. Это связано с высокой распространенностью и неуклонным ростом рецидивирующего обструктивного бронхита и бронхиальной астмы у детей и подростков. Согласно действующим клиническим рекомендациям, исследование функции внешнего дыхания является обязательным для диагностики данных заболеваний. Однако выполнить традиционные дыхательные маневры методом стандартной спирометрии у детей первых пяти лет достаточно сложно, что затрудняет раннюю диагностику респираторной патологии, включая бронхиальную астму [1, 4]. В 2011 г. предложен новый метод исследования функции внешнего дыхания – электроимпедансная спирометрия, установлено, что метод может быть использован для ранней диагностики бронхиальной астмы [6]. Применение электроимпедансной спирометрии у детей в настоящее время в научной литературе не описано.

*Цель исследования* – изучить возрастные особенности показателей электроимпедансной спирометрии у детей в возрасте от 3 до 16 лет.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пациентов выявляли в ходе медицинских профилактических осмотров в средней школе № 30 г. Перми, а также на базе клиник

семейной медицинской практики «Авиценна» и МЦ «Медэкс», где обследовались здоровые родственники пациентов, состоящих на диспансерном учете по поводу различных заболеваний внутренних органов. Исследование было выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования был одобрен Этическим комитетом участвующего клинического центра. До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Для достижения поставленной цели обследовано 58 пациентов, из которых было сформировано 3 группы:

1-я – дети в возрасте от 3 до 7 лет включительно ( $n=19$ ; 14 мальчиков, 6 девочек);

2-я – в возрасте от 8 до 11 лет включительно ( $n=21$ ; 8 мальчиков, 13 девочек);

3-я – в возрасте от 12 до 15 лет включительно ( $n=17$ ; 15 мальчиков, 2 девочки).

Программа обследования пациентов предусматривала выполнение спирометрии. Применялся спирометр «Спиро-Спектр» (ООО «Нейрософт», г. Иваново). Определялись: ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ОФВ<sub>1</sub>, ОФВ<sub>1</sub>/ЖЕЛ, ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ, СОС<sub>25-75</sub>, ПСВ, МОС<sub>25</sub>, МОС<sub>50</sub>, МОС<sub>75</sub>, МВЛ. Диагностика бронхиальной обструкции осуществлялась при снижении ФЖЕЛ, ОФВ<sub>1</sub> менее 80%, а должные величины снижения ОФВ<sub>1</sub>/ЖЕЛ менее 70% [10].

Электроимпедансная спирометрия выполнялась по оригинальной авторской методике [6, 7] с использованием нетбука Acer Aspire One D257, оснащенного программой для ЭВМ «БИА-лаб» и «БИА-лаб-Спиро» (свидетельство на пр. ЭВМ №2011611135 Роспатент-

та) [5, 7], а также с применением ультразвукового ингалятора «Муссон-3». Использовали биполярный метод импедансометрии, при котором один электрод устанавливался на грудной клетке пациента: либо одновременно в VI межреберье по средним подмышечным линиям с обеих сторон, либо поочередно справа и слева. Второй электрод располагался в мундштуке ингалятора и не имел непосредственного контакта с телом пациента. В момент измерения электрического импеданса нетбук включался в режим работы от аккумулятора и не имел подключения к сети переменного тока. Электрическая цепь замыкалась через дыхательные пути больного и мундштук ингалятора во время ингаляции аэрозоля 0,9% раствора натрия хлорида. Измерительный модуль был протестирован на стандартных сопротивлениях и эталонах емкостного сопротивления в диапазонах от 2000 до 100 000 Ом и от 2 пФ до 1 мкФ.

Метод поличастотной электроимпедансометрии заключается в регистрации модульного значения импеданса ( $|Z|$ ) и фазового угла ( $\varphi$ ) на частотах 20, 98, 1000, 5000, 10000 и 20000 Гц переменного электрического тока малой мощности (ток синусоидальный, напряжение 0,3–3 В, сила тока 0,3 мА) во время ингаляции 0,9% раствора хлорида натрия [2, 3].

Использовались пластинчатые электроды, сделанные из технической стали, размеры составляли: первого электрода, размещенного в мундштуке ингалятора, – 10×40 мм, второго, размещенного на грудной клетке пациента, – 20×80 мм.

Критерии включения: отсутствие жалоб со стороны здоровья, физикальных и спирометрических данных, указывающих на нарушения аппарата дыхания.

Критерии исключения: выраженный сколиоз, кифоз и другие заболевания грудной клетки, респираторные симптомы, хронические заболевания органов пищеварения, дыхания и нарушения традиционных спи-

рометрических показателей, отставание в физическом развитии.

Методы статистической обработки результатов: исследование проводилось с помощью пакета программ «Statistica-8.0». Формировались группы наблюдения и группы сравнения методом случайной и типологической выборки по ряду признаков (пол, возраст, рост). Математический аппарат включал традиционные методики вычисления средних величин ( $M$ ) с определением среднеквадратического отклонения ( $\sigma$ ). В ряде случаев использовалось правило исключения «выскакивающих» значений. Оценка достоверности различий показателей проведена с помощью непараметрических критериев ( $U$ -критерий Вилкоксона–Манна–Уитни,  $\chi^2$ , критерий согласия Пирсона), достоверными считались различия при уровне значимости  $p < 0,05$ . Для определения связи между признаками использовались коэффициент парной корреляции Пирсона ( $r$ ) и коэффициент ранговой корреляции Спирмена ( $p$ ); при величине  $r$  до 0,29 связь оценивалась как слабая, при  $r$  от 0,30 до 0,69 как умеренная и при  $r$  более 0,7 – как сильная.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метод электроимпедансной спирометрии прост в выполнении и может быть использован для исследования функции внешнего дыхания у детей старше двух лет. В табл. 1 приведены результаты электроимпедансной спирометрии в трех возрастных группах. Самые малые величины модульного значения импеданса  $|Z|$  на всех частотных диапазонах установлены в группе детей в возрасте от 4 до 7 лет. Достоверные отличия между группами детей в возрасте 4–7 и 12–15 лет получены по величинам  $|Z|$  на частотах 20, 98 5000, 10000, 20000 Гц, а также на частотах 98, 5000, 10000, 20000 фазового угла  $\varphi$ .

Методом корреляции выявлена зависимость модульного значения электрического импеданса  $|Z|$  от возраста детей.

Средние величины параметров электроимпедансной спирометрии

Параметр	Частота зондирующего тока (Гц)	Возраст, лет		
		4-7 (n=17)	8-11 (n=21)	12-15 (n=17)
Z	20	19512,6±6027,5*	29222,6±12513,8	29420,0±11718,0*
	98	10815,8±4335,0*	20400,7±15492,8	20023,9±10038,8*
	1000	5605,6±4730,8	7121,6±6412,7	8038,6±5785,1
	5000	1211,6±547,4*	3042,5±2423,6	4081,1±2963,4*
	10000	958,1±412,0*	2452,3±1954,3	3131,1±2802,5*
	20000	725,1±286,3*	1831,2±1047,5	1831,6±1455,1*
φ	20	-31,6±13,1	-37,1±15,2	-39,4±15,5
	98	-27,3±11,7*	-33,1±11,0	-37,6±11,1*
	1000	-21,1±6,2	-27,6±13,0	-27,7±11,2
	5000	-12,5±3,9*	-19,2±11,8	-20,0±10,6*
	10000	-8,7±2,6*	-11,3±4,9	-16,0±8,0*
	20000	-6,4±-6,4*	-7,2±5,4	-14,4±10,6*

Примечание: \* – различия достоверны ( $p < 0,05$ ).

Всем пациентам начиная с 6 лет электроимпедансным методом выполнялись тесты традиционной спирометрии. Полученные средние величины представлены в табл. 2. В общей группе детей установлена взаимосвязь |Z|5000 слева и ФЖЕЛ% ( $r = -0,3406$ ,  $p = 0,0363$ ), |Z|20 и МОС50% ( $r = -0,4014$ ,  $p = 0,0124$ ), |Z|1000 справа и МВЛ% ( $r = -0,3675$ ,  $p = 0,0231$ ), |Z|1000 слева и МВЛ% ( $r = -0,3652$ ,  $p = 0,0241$ ), |Z|5000 справа и МВЛ% ( $r = -0,3632$ ,  $p = 0,0249$ ), |Z|5000 слева и МВЛ% ( $r = -0,3900$ ,  $p = 0,0154$ ), |Z|10000 справа и МВЛ% ( $r = -0,3358$ ,

$p = 0,0392$ ), |Z|10000 слева и МВЛ% ( $r = 0,3298$ ,  $p = 0,0431$ ), |Z|10000 и МВЛ% ( $r = -0,3518$ ,  $p = 0,0303$ ), φ 20 слева и ЖЕЛ% ( $r = -0,3750$ ,  $p = 0,0203$ ), φ1000 справа и ФЖЛ% ( $r = -0,3364$ ,  $p = 0,0388$ ), φ1000 справа и ОФВ,% ( $r = -0,3477$ ,  $p = 0,0324$ ), φ20 справа и СОС% ( $r = -0,3248$ ,  $p = 0,0466$ ), φ20 справа и МОС 25% ( $r = -0,3998$ ,  $p = 0,0128$ ), φ98 справа и МОС25% ( $r = -0,3486$ ,  $p = 0,0319$ ). Установлены достоверные взаимосвязи показателей спирометрии и электроимпедансной спирометрии.

Таблица 2

Результаты спирометрии здоровых детей

Параметр	Возраст, лет		
	4-7 (n=17)	8-11 (n=21)	12-15 (n=17)
ЖЕЛ%	85,7±14,4	87,6±10,3	92,8±7,2
ФЖЕЛ%	90±11,4	89,1±8,6	92,9±7,1
ОФВ,%	87,3±16,8	88,1±10,2	89,6±8,8
ОФВ,/ЖЕЛ	86,9±13,1	86,6±13,8	78,9±20,9
ОФВ,/ФЖЕЛ	98,5±15,3	92,3±11,6	78,8±14,3
СОС%	99,2±11,2	84,6±5,6	91,1±8,4
ПСВ	96,5±11,3	86,8±6,1	89,3±9,4
МОС25%	86,5±6,1	86,7±6,1	90,0±7,7
МОС50%	86,7±7,9	89,6±8,2	89,8±7,7
МОС75%	93,2±24,5	85,9±7,7	84,7±10,1
МВЛ%	81,5±6,9	87,3±8,5	91,0±6,6

Выявлена зависимость модульного значения электрического импеданса  $|Z|$  от роста и веса детей. Данные представлены в табл. 3, 4, 5.

Установлены достоверные взаимосвязи показателей спирометрии и модульного значения электрического импеданса  $|Z|$  и

фазового угла отклонения вектора напряжения тока  $\phi$ .

Установлены достоверные взаимосвязи показателей спирометрии и модульного значения электрического импеданса  $|Z|$  и фазового угла отклонения вектора напряжения тока  $\phi$ .

Таблица 3

**Результаты корреляционного анализа между  $|Z|$  и  $\phi$ ,  
а также антропометрическими характеристиками детей в возрасте от 3 до 7 лет**

Параметр	Z10000 справа	$ Z $ 10000	$\phi$ 1000	$\phi$ 20000	$ Z $ 5000 слева
Вес	$r=0,4951^*$	$r=0,6200^*$	$r=0,5949^*$	$r=0,4958^*$	$r=0,2115$
	$p=0,0432^*$	$p=0,0079^*$	$p=0,0117^*$	$p=0,0429^*$	$p=0,4151$
Рост	$r=0,1627$	$r=0,2942$	$r=0,2362$	$r=0,0610$	$r=0,5366^*$
	$p=0,6388$	$p=0,2516$	$p=0,3613$	$p=0,8160$	$p=0,0263^*$

Примечание: здесь и далее в табл. 4, 5 знаком «\*» обозначены достоверные корреляционные взаимосвязи.

Таблица 4

**Результаты корреляционного анализа между  $|Z|$  и  $\phi$ ,  
а также антропометрическими характеристиками детей в возрасте от 8 до 11 лет**

Параметр	$ Z $ 20 слева	$ Z $ 20 справа	$ Z $ 98 слева	$ Z $ 98	$\phi$ 20 справа	$\phi$ 20 слева
Вес	$r=0,0517$	$r=0,6908^*$	$r=0,0305$	$r=0,0690$	$r=0,5226^*$	$r=0,4852^*$
	$p=0,8385$	$p=0,0021^*$	$p=0,1221$	$p=0,7854$	$p=0,0313^*$	$p=0,0483^*$
Рост	$r=0,5439^*$	$r=0,0895$	$r=0,5387^*$	$r=-0,4843^*$	$r=0,2210$	$r=0,1542$
	$p=0,0240^*$	$p=0,7238$	$p=0,0256^*$	$p=0,0488^*$	$p=0,3779$	$p=0,6245$

Таблица 5

**Результаты корреляционного анализа между  $|Z|$  и  $\phi$ ,  
а также антропометрическими характеристиками детей в возрасте от 12 до 15 лет**

Параметр	$ Z $ 20 слева	$ Z $ 20
Вес	$r=-0,5525$ $p=0,0214^*$	$r=0,4979$ $p=0,0419^*$
Рост	$r=-0,6250$ $p=0,0072^*$	$r=0,5398$ $p=0,0253^*$

Оценка электрического импеданса органов грудной клетки предусматривает влияние таких факторов, как длина электрической цепи и диаметр проводника электрического тока. В случае электроимпедансной спирометрии длина электрической цепи соответствует таковой дыхательных путей пациента и длине пути электрического тока через ограниченный объем легочной паренхимы, участвующей в проведении тока. Диаметр проводника электрического тока, соот-

ветствующий диаметру дыхательных путей, также влияет на величину модульного значения электрического импеданса. Известно, что поперечное сечение мелких бронхов у детей первых пяти лет жизни относительно меньше, чем в более старшем возрасте и у взрослых. Процесс дифференцировки стенки трахеобронхиального дерева в основном заканчивается к 7 годам [9].

Результаты проведенного исследования показали, что при увеличении роста детей

примерно на 20–25 см в период от 3–7 до 8–11 лет наблюдается пропорциональное увеличение модульного значения электрического импеданса за счет увеличения длины дыхательных путей. В возрасте от 8–11 до 12–15 лет при увеличении роста в среднем на 20–30 см отсутствие значительного увеличения электрического импеданса дыхательных путей указывает на одновременное увеличение как длины, так и диаметра дыхательных путей.

Таким образом, установлено, что величина модульного значения электрического импеданса дыхательных путей имеет возрастную динамику и взаимосвязана с ростовыми характеристиками детей.

### Выводы

1. Метод электроимпедансной спирометрии прост в выполнении и может быть использован для исследования функции внешнего дыхания у детей старше двух лет.

2. Модульное значение электрического импеданса  $|Z|$  зависит от возраста, роста и веса обследованных пациентов. Установлены средние величины нормальных значений  $|Z|$  и  $\phi$  в возрастных группах 3–7, 8–11, 12–15 лет.

3. Выявлены взаимосвязи тестов спирометрии и электрического импеданса дыхательных путей у детей различных возрастных групп и определены перспективы применения метода электроимпедансной спирометрии с целью исследования функции внешнего дыхания в педиатрической практике.

### Библиографический список

1. Глобальная стратегия лечения и профилактики бронхиальной астмы 2011 г. / под ред. А. С. Белевского. М.: Российское респираторное общество 2012; 18.
2. Зуев А. Л., Мишланов В. Ю., Судаков А. И., Шакиров Н. В. Экспериментальное моделирование реографической диагностики биологических жидкостей. *Российский журнал биомеханики* 2010; 14 (3(49)): 68–78.
3. Зуев А. Л., Мишланов В. Ю., Судаков А. И., Шакиров Н. В., Фролов А. В. Эквивалентные электрические модели биологических объектов. *Российский журнал биомеханики* 2012; 16 (1 (55)): 110–120.
4. Корюкина И. П., Туев А. В., Мишланов В. Ю. Диагностика и лечение аллергических заболеваний. Пермь: Здравствуй 2008; 42.
5. Корюкина И. П., Мишланов В. Ю., Зуев А. Л., Судаков А. И., Шакиров Н. В., Туев А. В. Реографическая установка для изучения гемодинамических характеристик легочного кровотока: пат. на полезную модель № 102834 от 16.04.2011. Зарегистрирован в Государственном реестре 16.04.2011.
6. Мишланов В. Ю. Исследование функции внешнего дыхания путем измерения электрического импеданса легких и дыхательных путей на различных частотах зондирующего переменного тока. *Вестник современной клинической медицины* 2011; 4 (4): 24–28.
7. Мишланов В. Ю., Мишланов Я. В., Мишланова И. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «БИА-лаб» № 2011611135, дата регистрации 03.02.2011 г.
8. Национальная программа «Бронхиальная астма у детей. Стратегия лечения и профилактики». М. 2012; 12–13, 68–73.
9. Рачинский С. В., Таточенко В. К. Болезни органов дыхания у детей. М.: Медицина 1988; 15.
10. Чучалин А. Г. Функциональная диагностика в пульмонологии: практическое руководство. М. 2009; 10–20.

Материал поступил в редакцию 03.06.2013