

УДК: [612.21 : 612.014 : 615.825] – 053.4

## **БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ДЕТЕЙ В ВОЗРАСТЕ 5-6 ЛЕТ В УСЛОВИЯХ АДАПТАЦИИ К РЕСПИРАТОРНОМУ ТРЕНИНГУ**

*Буков Ю.А., Алпеева А.В.*

Эффективность функционирования системы внешнего дыхания является обязательным условием, позволяющим организму человека обеспечить высокий уровень приспособляемости к факторам среды обитания. К числу важнейших критериев адаптационных возможностей респираторной системы следует отнести биоэнергетическую эффективность дыхательной функции, проявляющуюся в снижении энергетических трат респираторной системы по обеспечению метаболического запроса организма. При решении этих задач важное место принадлежит механике дыхания, поскольку наибольшие энергетические траты респираторной мускулатуры связаны, в первую очередь, с обеспечением дыхательных экскурсий легких и преодолением сопротивления со стороны аппарата вентиляции. Кроме того, существующий рост респираторных болезней напрямую связан со сниженными резервными возможностями системы внешнего дыхания, свойственными большинству людей. В этой связи формирование дыхательной недостаточности во многом определяется функциональными возможностями механики дыхания [1]. Сегодня крайне актуальным является создание программ дыхательной реабилитации, рассчитанных на широкий круг людей. При этом особое внимание должно быть уделено детям.

К числу наиболее эффективных методов корригирующих воздействий на систему внешнего дыхания относится респираторная тренировка. Корригирующие воздействия респираторной тренировки проявляются в оптимизации соотношения продуктивности внешнего дыхания к энергетической стоимости дыхательного акта. Большинство программ дыхательной реабилитации рассчитаны на взрослых людей [2]. Кроме того респираторную тренировку используют в программах подготовки спортсменов [3]. Что же касается детей и подростков, то имеется незначительное число публикаций, посвященных вопросам дыхательной реабилитации для этой категории населения [4]. Учитывая актуальность проблемы, целью нашей работы явилась оценка эффективности предложенной методики респираторной тренировки для детей 5-6 лет.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами были обследованы 14 девочек в возрасте 5-6 лет. Вентиляторную функцию легких исследовали спиро-пневмотахометрическим методом с помощью прибора “СпироТест РС” с компьютерной обработкой регистрируемых показателей. В качестве функциональных параметров использовали: объем форсированного выдоха в 1 секунду (ОФВ1), жизненную емкость легких (ЖЕЛ), резервный объем вдоха и выдоха (РОВд, РОВвд), тест Тиффно (ОФВ1/ЖЕЛ), пиковую и максимальные объемы скоростей форсированного выдоха при выдохе 25, 50, 75 % форсированной ЖЕЛ (ПОС, МОС25, МОС50, МОС75), среднюю объемную скорость на уровне 25-75 % ЖЕЛ (СОС25-75), максимальную вентиляцию легких (МВЛ), дыхательный объем (ДО), минутный объем дыхания (МОД), частоту дыхания (f). Все объемные показатели приведены к условиям ВTPS. Спиро-тахометрические исследования проводили как в состоянии покоя, так при выполнении однократной степ-нагрузки. Содержание кислорода и углекислого газа в пробах выдыхаемого воздуха ( $F_{E}O_2$ ,  $F_{E}CO_2$ ) определяли газоанализаторами ПГА-КМ, ПГ-ДУМ. Рассчитывали скорость потребления кислорода и выделения углекислого газа ( $VO_2$ ,  $VCO_2$ ). Показатели газообмена приведены к стандартным условиям (STPD). Для оценки бионергетической эффективности внешнего дыхания использовали индекс уровень экономичности внешнего дыхания (УЭВД), который определяли по формуле:

$$УЭВД = (УЖЕЛ + УМВЛ) / УМОД \times 50,$$

где УЖЕЛ – уровень ЖЕЛ - отношение фактической величины к должной; УМВЛ – уровень МВЛ - отношение фактической величины к должной; УМОД – уровень МОД - отношение фактической величины к должной.

Аэробные возможности дыхания количественно оценивали по показателям АПЭ1 и АПЭ2. АПЭ1 рассчитывали по величине потребления кислорода на единицу снижения МОД. АПЭ2 определяли по коэффициенту использования кислорода. Показатели выражали в единицах калориметрической стоимости (относительные килокалории) [5].

Респираторные тренировки проводили в течении пяти месяцев с использованием дыхательного тренажера [6].

Обработка и анализ полученных результатов были проведены с использованием пакета программ STATISTICA 5.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обследования девочек 5-6-летнего возраста позволили выявить значительные отставания показателей механики дыхания от должных значений, свойственных этому возрасту. Так, скорость воздушного потока при форсированном выдохе на уровне 25 % ЖЕЛ (МОС25) составляла 57,2 % по отношению к должным значениям, МОС 50 – 69,4%, а МОС 75 – 90,2 %. На фоне снижения функциональных возможностей воздухоносных путей отмечалась выраженная гипервентиляция в состоянии относительного покоя. Уровень МОД достигал значений 182 %. Кроме того, уменьшение соотношения параметров РОВых и РОВд позволило сделать заключение о

низком уровне дыхания у девочек этого возраста. Количественно этот показатель равнялся в среднем 0,28 отн. ед. Низкие значения  $PO_{вд}$  по отношению к  $PO_{вд}$  создавали условия для усиления процессов элиминации метаболического  $CO_2$ , снижения уровня  $pCO_2$  в альвеолах легких. Гипервентиляционный синдром в состоянии покоя, очевидно, являлся компенсацией недостаточных резервов мощности системы внешнего дыхания девочек. Уровень МВЛ не превышал 51 %, а УЖЕЛ – 70%. Значительные энергетические траты, связанные с гипервентиляцией, способствовали снижению уровня экономичности внешнего дыхания. Отмечался дефицит УЭВД, величина которого равнялась 35 % (оптимально 100 %).

Четко выраженная дезэкономизация внешнего дыхания у детей, очевидно, определялась двумя основными составляющими. Во-первых, морфо-функциональными особенностями аппарата вентиляции. Для детей этого возраста характерным является высокое эластическое и неэластическое сопротивление дыханию, что создает условия для значительных энергетических затрат инспираторной мускулатуры по обеспечению вентиляции легких [7]. Во-вторых, снижением стимулирующих влияний внешних факторов на систему дыхания за счет ограниченного уровня двигательной активности детей. В комплексе выявленные особенности явились решающим фактором, лимитирующим аэробные возможности респираторной системы. Аэробная эффективность дыхания составляла в среднем  $0,12 \pm 0,01$  килокалории на один литр вентилируемого воздуха.

Проведенная респираторная тренировка обеспечила изменение уровня дыхания у девочек (рис. 1.).

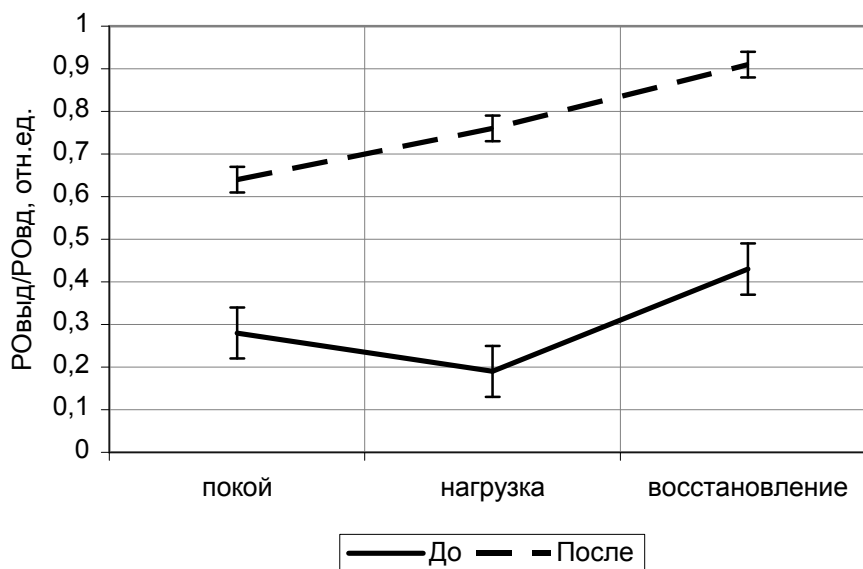


Рис. 1. Показатели уровня дыхания у девочек 5-6 лет в состоянии покоя, при выполнении физической нагрузки и в восстановительном периоде.

Под влиянием регулярных респираторных тренировок отмечено увеличение соотношения  $\text{P}_{\text{O}}\text{выд}/\text{P}_{\text{O}}\text{вд}$  в состоянии покоя, при выполнении дозированной физической нагрузки, а также в восстановительном периоде. Изменение уровня дыхания способствовало ретенции метаболического  $\text{CO}_2$ , нормализации газового гомеостаза организма. В механизме регуляции и накопления метаболического  $\text{CO}_2$  важную роль играет резервный объём выдоха, который в функциональном отношении представляет собой буферную ёмкость проводящих путей, снижающих возможность выделения метаболического  $\text{CO}_2$  через легкие наружу [8].

Перевод дыхания детей на более высокий уровень обеспечивался и значительным ростом общей инспираторной активности. Величина общего объёма вдоха в состоянии покоя увеличилась с  $785,8 \pm 35,1$  до  $956,2 \pm 32,8$  мл ( $p < 0,001$ ), а при выполнении дозированной физической нагрузки достигла величины  $1066,0 \pm 45,1$  мл, значительно превысив показатели, зарегистрированные до начала респираторной тренировки ( $p < 0,001$ ).

Повышение инспираторной активности связано с ростом функциональных возможностей диафрагмы. Усиление диафрагмального дыхания способствовало увеличению легочных объёмов и ёмкостей. В первую очередь, значительно возросли показатели, характеризующие резервы мощности системы дыхания девочек. Так, ЖЕЛ в состоянии покоя увеличилась в среднем на 500 мл ( $p < 0,001$ ). Однако наиболее важным является стабилизация ЖЕЛ при выполнении физических нагрузок, зарегистрированная после проведения респираторных тренировок, что может быть свидетельством значительного увеличения сократительной способности респираторной мускулатуры. Максимальная вентиляция легких при этом возросла на 60,0 % ( $p < 0,001$ ).

Пиковая объёмная скорость форсированного выдоха увеличилась с  $1,56 \pm 0,15$  до  $2,46 \pm 0,04$  л/с ( $p < 0,001$ ). Почти линейно возросли показатели бронхиальной проходимости на уровнях МОС25, МОС50, МОС75, достигнув значений возрастной нормы. Повышение пропускной способности бронхов обеспечилось ростом диапазона объёмной скорости воздушного потока. Так, если в начале исследований показатель  $\Delta\text{МОС}25-75$  составлял  $0,52 \pm 0,03$  л/с, то после проведенной коррекции увеличился до  $1,15 \pm 0,04$  л/с ( $p < 0,01$ ).

Проведенные корригирующие воздействия способствовали росту функциональных возможностей воздухоносных путей. Зарегистрировано усиление скорости воздушного потока при форсированном выдохе на всех уровнях бронхиального дерева (рис.2).

Важнейшим показателем функционального состояния бронхо-легочной системы является экспираторное закрытие дыхательных путей (ЭЗДП). В ходе выдоха, когда объём лёгких уменьшается и приближается к остаточному, в различных лёгочных зонах задерживается разное количество газа. Одним из ведущих физиологических механизмов этой задержки является экспираторное закрытие дыхательных путей [9]. Начало ЭЗДП можно связать с падением радиально направленного давления к стенке бронха вследствие увеличения осевого давления, наблюдаемое при сужении бронхов. Очевидно, низкие показатели бронхиальной проходимости у девочек при ограниченных параметрах резервного

объёма выдоха, являлись причиной раннего экспираторного закрытия дыхательных путей, что способствовало значительному увеличению количества невентилируемых участков легких.

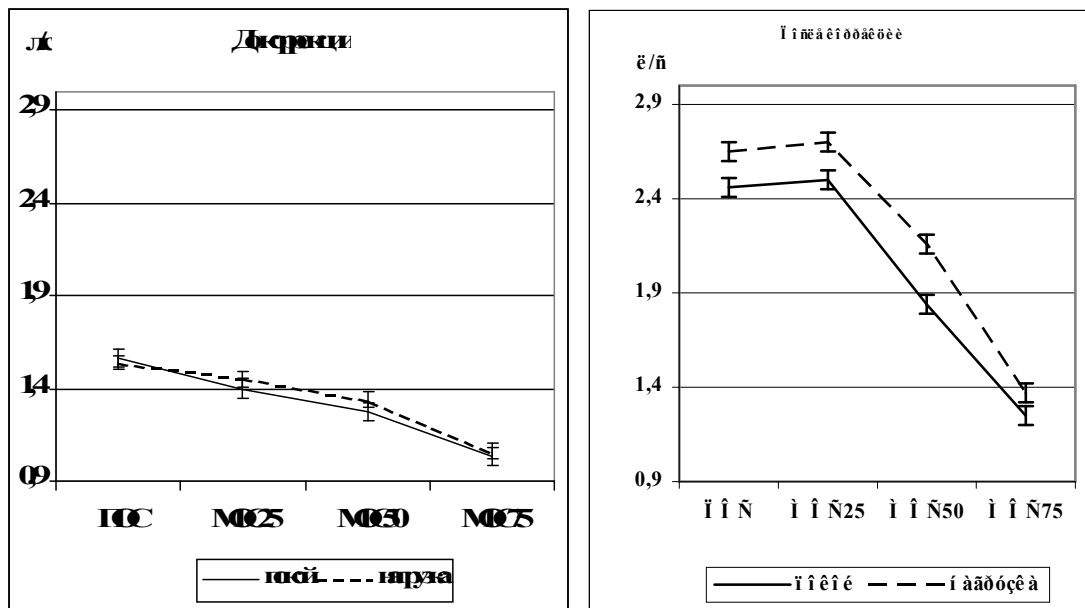


Рис.2. Показатели бронхиальной проходимости у девочек 5-6 лет в состоянии покоя и при выполнении физической нагрузки.

Рост бронхиальной проходимости в результате респираторной коррекции обеспечил смещение ЭЗДП, снижение количества плохо вентилируемых зон, создание благоприятных условий для осуществления газообмена в лёгких. Эффективность респираторной системы значительно возросла. Так, в состоянии относительного покоя снижение объёма лёгочной вентиляции сопровождалось ростом скорости потребления кислорода. На каждый литр вентилируемого воздуха приходилось  $45,0 \pm 2,9$  мл  $VO_2$ , тогда как при первичных обследованиях этот показатель не превышал значений  $23,0 \pm 2,0$  мл, ( $p < 0,01$ ). Этот процесс в полной мере соответствует принципу повышения экономичности функций системы внешнего дыхания: потенциальные возможности по поступлению энергии для полного обеспечения метаболического запроса растущего организма возрастали. Биоэнергетическая эффективность, определяемая показателем АПЭ2, составляла  $0,22 \pm 0,011$  ккал/л, что на 83,0 % больше исходных данных. Анализ изменения показателей АПЭ2 у детей при экономизации дыхания позволил выявить высокую корреляционную зависимость бронхиальной проходимости с уровнем аэробной эффективности дыхания (Рис.3).

Возможности обеспечения организма кислородом при низкой биоэнергетической эффективности системы дыхания определялись высокими показателями частотных характеристик вентиляторной функции, уровнем

напряжения кислорода и углекислого газа в выдыхаемом воздухе. После проведения респираторной тренировки направленность корреляционных взаимосвязей изменилась. Биоэнергетические возможности респираторной системы зависели в большей степени от функциональных характеристик механики дыхания.

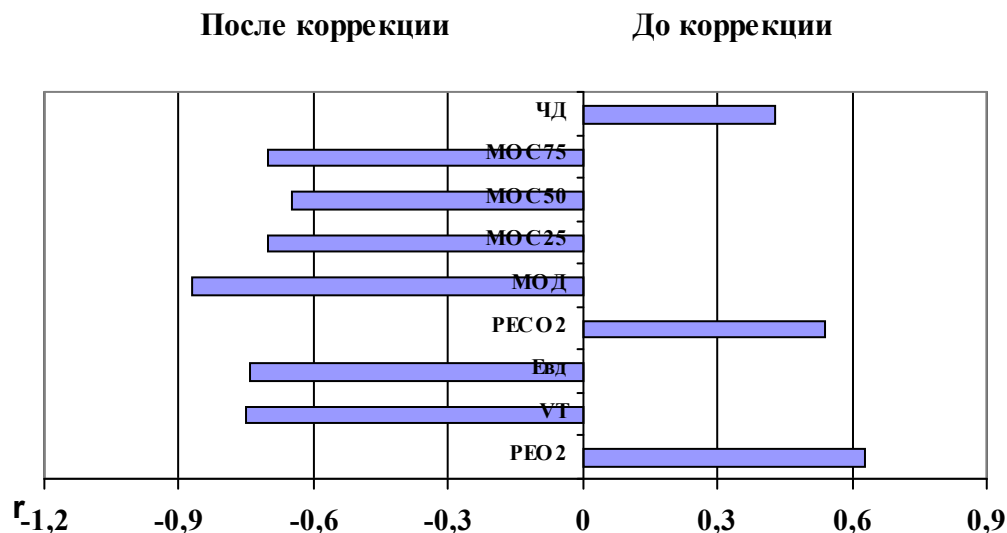


Рис. 3. Уровни корреляционных связей параметров вентиляции и газообмена с аэробной эффективностью респираторной системы у девочек 5-6 лет.

Наиболее выраженные корреляционные взаимосвязи зафиксированы между уровнем МОД в состоянии покоя и АПЭ2. Коэффициент корреляции составил  $-0,87$ , ( $p < 0,01$ ). Влияния инспираторной активности и величины дыхательного объема на аэробную эффективность дыхания определялись наличием отрицательной корреляционной зависимости при  $r = -0,74$  и  $r = -0,75$ , соответственно ( $p < 0,01$ ). Существенное значение имеет и величина объемной скорости воздушного потока. Наличие отрицательной зависимости показателей механики дыхания и биоэнергетической эффективностью дыхания укладывается в концепцию биологической экономизации функций организма как проявления эффективности механизмов адаптации к воздействию внешних факторов среды [10].

Таким образом, предлагаемая программа дыхательной реабилитации детей 5-6 летнего возраста является эффективным способом нормализации функциональных параметров системы внешнего дыхания, расширения адаптационных возможностей организма, профилактики респираторных заболеваний.

## ВЫВОДЫ

1. Предложенная методика респираторной тренировки обладает выраженным коррекционно – профилактическим эффектом и может быть использована в системе дыхательной реабилитации детей часто болеющих простудными заболеваниями.

2. Выявленный низкий уровень дыхания у девочек 5-6 лет, являлся причиной усиления процессов эмиляции метаболического CO<sub>2</sub>, снижения рСО<sub>2</sub> в альвеолах легких, развития гипервентиляции. Зарегистрировано резкое отставание показателей механики дыхания от возрастной нормы. Значительные энергетические траты по обеспечению вентиляции способствовали снижению экономичности дыхания. Отмечался дефицит УЭВД, величина которого не превышала 35 %.

3. Проведенные корригирующие воздействия обеспечили повышение функциональных возможностей бронхо-легочной системы. Бронхиальная проходимость значительно возросла, а показатели механики дыхания достигли возрастной нормы. Перевод дыхания на более высокий уровень обеспечивался ростом инспираторной активности. Величина общего объема вдоха повысилась на 45,5 %, (p<0,001). Биоэнергетическая эффективность дыхания увеличилась на 83,0%, (p<0,001).

4. Биоэнергетические возможности респираторной системы в значительной степени зависят от функциональных характеристик механики дыхания. Наиболее выраженные корреляционные взаимосвязи зафиксированы между МОД (r = -0,87), инспираторной активностью (r = -0,74), величинами объемной скорости воздушного потока (r = -0,72-0,60) и показателями аэробной эффективности дыхания.

#### **Список литературы**

1. Норейко Б.А., Норейко С.Б. Клиническая физиология дыхания. – Донецк: КИГИС, 2000. – 116 с.
2. Зильбер А.П. Респираторная медицина. – Петрозаводск.: Из-во Петрозаводского университета, 1996. – 487 с.
3. Мищенко В.С., Томяк Т., Виноградов В.Е. Дыхательная тренировка как средство коррекции тренировочного эффекта повторяющихся нагрузок у квалифицированных спортсменов // Медико-биологические аспекты физической культуры и спорта: Материалы Международной конференции. – Киев: Национальный университет физической культуры и спорта Украины, 2005. – С. 699.
4. Буков Ю.А., Алпеева А.В. Дыхательная гимнастика как необходимая составляющая профилактической работы с часто болеющими детьми // Физическая реабилитация в обеспечении качества жизни населения: Материалы научно-практической конференции. – Симферополь: Таврический национальный университет, 2005. – С. 21.
5. Агаджанян Н.А., Гневушев В.В., Катаев А.Ю. Адаптация к гипоксии и биоэкономика внешнего дыхания. – М.: Из-во университета дружбы народов, 1987. – 185 с.
6. Декларативный патент. 11373, U, 7A61B5/08, A61M16/00. Алпеева А.В., Буков Ю.А. Заявл.4.07.2005; Оpub.15.12.2005, Бюл. №12. 2005 г.
7. Физиология плода и детей. / Под ред. В.Д. Глебовского. – М.: Медицина, 1988. – 211 с.
8. Агаджанян Н.А., Полунин И.Н., Степков В.К. Человек в условиях гипоксии и гиперкапнии. – М.: Медицина, 2001. – 340 с.
9. Зильбер А.П. Дыхательная недостаточность. – М.: Медицина, 1989. – 510 с.
10. Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам. – М.: Медицина, 1986. – 250 с.

*Поступила в редакцию 15.12.2006 г..*