

УДК:616.2-053.4-085.83-003. 96

РЕСПИРАТОРНАЯ ТРЕНИРОВКА В АКТИВИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ ГОМЕОСТАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯЦИИ И АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

Буков Ю.А., Алпеева А.В.

Дыхание можно определить как сложный, многогранный, многоступенчатый процесс снабжения организма биологической энергией. В узком понимании процесс дыхания обычно связывают с системой внешнего дыхания, которая обеспечивает адекватный метаболическому запросу уровень вентиляции, диффузию газов в альвеолах легких, транспорт кровью и другими жидкостями организма кислорода (O_2) и углекислого газа (CO_2).

При адаптации к факторам среды обитания ведущей функцией является обеспечение гомеостаза и, прежде всего, дыхательного гомеостаза. К числу одного из важнейших гомеостатических параметров организма относится уровень напряжения CO_2 в тканях.

Необходимость поддерживать стабильный уровень парциального давления (pCO_2) определяется исключительно важной физиологической ролью углекислоты в организме человека и животных [1 – 3]. Растворенный в артериальной крови CO_2 , образующийся в организме в результате реакций окислительного декарбоксилирования, становится главным фактором, обеспечивающим газовый гомеостаз, что имеет исключительно важное значение в приспособлении организма к различным условиям внешней среды [4].

Своеобразной внутренней средой организма, отражающей баланс CO_2 и O_2 в организме, является альвеолярный воздух. Парциальное давление CO_2 в альвеолах легких находится в прямой зависимости от количества продуцируемой углекислоты и обратной от объема альвеолярной вентиляции. Данное соотношение позволяет произвольно регулировать pCO_2 за счет интенсификации метаболических реакций и изменения объема легочной вентиляции. Наиболее часто состояние дыхательной недостаточности проявляется гипервентиляцией, изменяющей изокапнический уровень CO_2 в организме.

Особенно значительные сдвиги в вентиляторных реакциях наблюдаются при предъявлении организму функциональных требований. Как правило, любое воздействие фактора среды провоцирует в этих условиях неадекватную реакцию системы внешнего дыхания, характеризующуюся высокой реактивностью и

приводящей к снижению адаптационно-приспособительных возможностей организма.

Поддержание и сохранение газового гомеостаза является наиболее важной проблемой профилактической работы, в частности, с детьми, часто болеющими простудными заболеваниями. Решение этой проблемы возможно благодаря использованию специальных средств, способствующих нормализации $p\text{CO}_2$ в альвеолах легких и снижению вентиляторной реактивности. В литературе представлено достаточно много методов коррекции функционального состояния системы внешнего дыхания [5, 6]. Однако большинство из них адаптировано применительно к взрослым людям. Поэтому целью наших исследований явилось физиологическая оценка эффективности направленной респираторной тренировки как средства коррекции газового гомеостаза и адаптационных возможностей системы внешнего дыхания детей дошкольного возраста.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами были проведены исследования с участием 17 девочек в возрасте 6-7 лет, часто болеющих простудными заболеваниями. Функции системы внешнего дыхания изучались в состоянии покоя и при выполнении стандартной степэргометрической физической нагрузки. С этой целью использовали прибор «Спиро Тест РС» с компьютерной обработкой регистрируемых показателей. В качестве функциональных параметров использовали: объем форсированного выдоха в 1 секунду (ОФВ1), жизненную ёмкость легких (VC), резервный объем вдоха и выдоха (IRV, ERV), объем легочной вентиляции (V_E), пиковую объёмную скорость (ПОС), дыхательный объем (V_T), частоту дыхательных движений (f). Все объёмные показатели приведены к условиям BTPS. Расчетным методом определяли объем физиологического мертвого пространства (VD), объем альвеолярной вентиляции (V_A), отношение VD/V_E . Для оценки газового состава выдыхаемого ($F_E\text{O}_2$, $F_E\text{CO}_2$) и альвеолярного ($F_A\text{O}_2$, $F_A\text{CO}_2$) газов использовали газоанализаторы (ПГА-КМ, ПГ-ДУМ) В дальнейшем рассчитывали вентиляционный эквивалент по кислороду ($V\text{ЭO}_2$), скорость потребления кислорода (VO_2) и выделения углекислого газа ($V\text{CO}_2$). Газообменные показатели приведены к условиям STPD. Оценка вклада нейрогенного и хеморецепторного драйва в формировании вентиляторных реакций проводилось с использованием уравнения (1):

$$V_E = S(P_A\text{CO}_2 - B) + A, \quad (1)$$

где: S - количественная характеристика гиперкапнического стимула;

$P_A\text{CO}_2$ - парциальное давление CO_2 в альвеолярном воздухе

B - порог вентиляторной чувствительности к гиперкапническому стимулу;

A - рабочий стимул.

Исследования проводились перед началом респираторных тренировок и после их завершения. Тренировочные занятия проводились ежедневно в течение трех месяцев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования функционального состояния системы внешнего дыхания девочек в состоянии относительного покоя позволили выявить значительные сдвиги в газовом составе альвеолярного воздуха (табл. 1).

Развитие гипокапнического состояния было связано с гипервентиляцией, способствующей вымыванию метаболического CO_2 из организма и, как следствие, формированию респираторного алкалоза [7]. Изменения напряжения углекислого газа в альвеолах легких сопровождалось падением эффективности легочной вентиляции. Вентиляционный эквивалент по кислороду составлял $64,0 \pm 8,5$ относительных единиц. На фоне гипервентиляционного синдрома резко снизились возможности механики дыхания в обеспечении оптимального уровня скоростных показателей воздушного потока в бронхах. Высокая частота дыхательных движений ограничивала возможности увеличения резервного объема выдоха, что уменьшало газообменную поверхность легких, способствовало росту соотношения VD/V_T .

Таблица 1.
Показатели системы внешнего дыхания девочек в возрасте 6-7 лет до и после респираторной тренировки ($\bar{x} \pm \text{S}\bar{x}$, $n=17$)

Условия	Показатели							
	ОФВ1 л/с	IRV, мл	ERV, мл	V_E , л/мин	VD/V_T , отн.ед.	P_ACO_2 , мм рт.ст.	$\text{V}_E/\text{P}_A\text{CO}_2$, л/мин/мм рт.ст.	ВЭO_2 , отн.ед.
До тренировки	$0,87 \pm 0,04$	$512,5 \pm 30,7$	$76,2 \pm 20,7$	$6,48 \pm 0,35$	$0,70 \pm 0,08$	$22,7 \pm 0,6$	$0,28 \pm 0,04$	$64,00 \pm 8,50$
После тренировки	$1,12 \pm 0,05$	$630,0 \pm 32,7$	$450,6 \pm 39,5$	$4,50 \pm 0,20$	$0,31 \pm 0,06$	$27,5 \pm 0,5$	$0,16 \pm 0,03$	$29,8 \pm 7,5$
P	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01

Стратегия респираторной тренировки была направлена на формирование изокапнического состояния, т.е. повышение уровня напряжения углекислого газа в альвеолярном воздухе. Использование резистивного сопротивления дыханию позволило изменять газовый состав вдыхаемого воздуха и в значительной степени усилить активность диафрагмы. Известно, что уровень P_ACO_2 прямопропорционален интенсивности метаболизма и обратнопропорционален объему легочной вентиляции. Повышение энергетических затрат респираторной мускулатуры в результате увеличения сопротивления дыханию обеспечивало усиление продукции CO_2 с одной стороны, а рост напряжения CO_2 во вдыхаемом воздухе, являясь своеобразным буфером, способствовал ретенции метаболической углекислоты в организме, с другой стороны. Повышение напряжения CO_2 в альвеолах легких оказало влияние на перестройку механизмов регуляции дыхательной функции детей, что проявилось снижением объема вентиляции легких в состоянии покоя на 35% ($p < 0,01$), уменьшением вентиляторной чувствительности к гиперкапническому стимулу более чем на $0,122$ л/мин/мм рт.ст., ($p < 0,05$). Корректирующие воздействия позволили приблизить объем вентиляции у детей,

необходимый для поддержания напряжения CO_2 в альвеолярном воздухе на нормальном уровне (29,0 мм рт.ст.). Этот оптимальный уровень вентиляции можно рассчитать исходя из следующих возрастных параметров: скорость продукции CO_2 в организме ($V\text{CO}_2$) в этом возрасте составляет примерно 139 мл/мин, $P_A\text{CO}_2$ - 29,0 мм рт.ст., $F_A\text{CO}_2$ - 4,0 %. Объем альвеолярного газа, в котором содержится данное количество CO_2 , вычисляют следующим образом: $(139 \text{ мл} / 4,0) \times 100 \% = 3,47 \text{ л}$. Именно таким должен быть объем вентиляции, чтобы парциальное давление углекислого газа в альвеолах поддерживалось на уровне 29,0 мм рт.ст. [8]. В нашем примере рост напряжения CO_2 в альвеолах легких на 17% сопровождался снижением объема легочной вентиляции примерно на 2 л/мин., величина которой приблизилась к показателям возрастной нормы. Нормализация газового гомеостаза явилась необходимым условием расширения функциональных резервов системы внешнего дыхания. Увеличение резервного объема выдоха в среднем на 370 мл, величины форсированного выдоха на 0,250 л/с обеспечивалось ростом силовых способностей респираторной мускулатуры.

Усиление интенсивности экспираторного потока позволило значительно увеличить объем газообменной поверхности легких за счет снижения соотношения между величинами физиологического мертвого пространства (V_d) и дыхательного объема (V_T). Нормализация вентиляторной функции легких проявлялось ретенцией углекислоты в альвеолах, в связи с чем $p\text{CO}_2$ в альвеолярном воздухе увеличивалось, что несомненно провоцировало рост напряжения CO_2 и в артериальной крови. Диффузия CO_2 из тканей в притекающую к ним кровь стабилизировалась. В результате количество CO_2 в тканях постепенно увеличилось до уровня, соответствующего новому объему вентиляции. Достижение изокапнического уровня напряжения CO_2 в альвеолах сопровождалось повышением эффективности вентиляции, что нашло свое отражение в значительном снижении величины ВЭО₂.

При предъявлении организму функциональных требований, в качестве которых нами использовалась дозированная физическая нагрузка, зарегистрирован значительный корригирующий эффект респираторной тренировки, который проявился в экономизации функций и изменении направленности механизмов регуляции газового гомеостаза организма детей (табл. 2).

В ответ на дозированное внешнее воздействие зарегистрировано снижение вентиляторной реакции, что проявилось уменьшением прироста объема легочной вентиляции (ΔV_E) примерно на 4 л/мин. Изменение паттерна дыхания в сторону увеличения объемных характеристик и уменьшения частотных обеспечивало снижение резистивного сопротивления дыханию, активизацию рецепторов растяжения легких, рост бронхиальной проходимости. Величина форсированного выдоха (ОФВ) при этом достигла значений $1,128 \pm 0,040$ л/с.

Перестройка паттерна дыхания у детей после проведения респираторной тренировки связана, очевидно, с изменениями в газовом гомеостазе организма. Усиление хеморецепторного драйва в регуляции дыхания при физических нагрузках сопровождалось снижением вентиляторной чувствительности к гиперкапническому стимулу.

Таблица 2.

Показатели системы внешнего дыхания девочек в возрасте 6-7 лет при выполнении стандартной физической нагрузки до и после респираторной тренировки ($\bar{x} \pm Sx$, n=17)

Условия	Показатели							
	ОФВ1, л/с	IRV, мл	ERV, мл	V_E , л/мин	VD/V _T , отн.ед.	P _A CO ₂ , мм рт.ст.	V _E /P _A CO ₂ л/мин/мм рт.ст.	ВЭО ₂ , отн.ед.
До тренировки	0,83±0,03	500,0±60,4	77,5±11,1	12,3±1,05	0,52±0,07	23,0±1,1	0,534±0,032	42,8±5,6
После тренировки	1,13±0,04	658,4±22,8	514,6±42,7	8,27±0,4	0,20±0,04	31,40±0,32	0,263±0,024	20,9±4,7
P	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01

Стимулом к формированию паттерна дыхания при фоновых исследованиях, очевидно, являлся так называемый рабочий стимул, определяемый интенсивностью афферентной сигнализации от механорецепторов респираторных мышц и усилением роли нейрогенного драйва в регуляции объема легочной вентиляции.

ВЫВОДЫ

1. Для часто болеющих простудными заболеваниями девочек в возрасте 6-7 лет характерным является гипервентиляция, развитие состояния гипокпапии, сопровождающиеся снижением функциональных резервов системы внешнего дыхания.

2. Применение направленной респираторной тренировки, основанной на использовании дополнительного резистивного сопротивления дыханию, способствовало формированию изокапнического уровня рСО₂ в организме, снижению вентиляторной чувствительности к хеморецепторному стимулу, оптимизации паттерна дыхания.

3. Корректирующие воздействия позволили значительно расширить адаптационные возможности системы внешнего дыхания детей, перевести её на более эффективный путь функционирования, сбалансировать газовый гомеостаз организма.

Список литературы

1. Агаджанян Н.А., Красников Н.П., Полуниин И.П. Физиологическая роль углекислоты и работоспособность человека. – М., 1995. – 188 с.
2. Буков Ю.А. Углекислота в механизмах оздоровительно-профилактического действия физических упражнений и произвольного дыхания // Труды Крымского медицинского университета. – 1999. – Т.13 – ч. 1. – С. 179-182.
3. Буков Ю.А. Физиологическая роль метаболического СО₂ в механизмах повышения физической работоспособности человека // Таврический медико-биологический журнал. – 2001. – Т.4, №1-2. – С.14-16.
4. Агаджанян Н.А., Елфимов А.И. Функции организма в условиях гипоксии и гиперкапнии. – М.:

- Медицина, 1986. – 272 с.
5. Волков Н.И. Прерывистая гипоксия - новый метод тренировки, реабилитации и терапии // Теория и практика физической культуры – 2000. – №7. - С.20-23.
 6. Косицкий Г.И., Петровский Л.В., Зверькова Е.Е. Увеличение объёма дыхательных путей (УОДП) как способ тренировки организма. Превентивная кардиология: Руководство: – М.: Медицина, 1987. – С. 415-430.
 7. Малкин В.Б., Гора Е.П. Гипервентиляция. – М.: Наука, 1990. – 282 с.
 8. Шурыгин СИ. Мониторинг дыхания. Пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. – Санкт-Петербург: Невский Диалект, 2000. – 300 с.

Поступила в редакцию 20.06.2006 г.