

## ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА ПРИ АДАПТАЦИИ К РАЗЛИЧНЫМ НАГРУЗКАМ

Марсель Муратханович Зайнеев, Нафиса Ильгизовна Зиятдинова, Тимур Львович Зефиров\*

Казанский (Приволжский) федеральный университет

### Реферат

**Цель.** Изучение особенностей функционирования внешнего дыхания мальчиков 8, 9 и 10 лет в различные периоды учебного года, в покое, после дозированных динамической и статической нагрузок.

**Методы.** Обследованы 38 практически здоровых мальчиков со средним уровнем физического развития. Наблюдение вели в трёх возрастных группах: 8, 9, 10 лет. Функциональное состояние дыхательной системы оценивали по величине лёгочных объёмов и показателям вентиляции лёгких. Пробу с изометрической нагрузкой проводили в положении сидя, путём сжатия левой рукой динамометра с усилием, равным 50% максимально производимого усилия, в течение 1 мин.

**Результаты.** У мальчиков 8 лет отмечено напряжение функционального состояния дыхательной системы в начале учебного года. К концу года статическая нагрузка вызывает снижение резервов внешнего дыхания и статических объёмов лёгких, возрастание частотного компонента. У мальчиков 9 лет во всех периодах исследования статическая нагрузка приводит к менее благоприятным сдвигам показателей дыхания по сравнению с динамической нагрузкой. У детей 10 лет в начале года оба вида нагрузок приводят к неблагоприятным сдвигам показателей внешнего дыхания, к середине года адаптивные возможности дыхательной системы оптимизируются.

**Вывод.** Локальная статическая нагрузка вызывает неблагоприятные сдвиги в дыхательной системе младших школьников, сопровождающиеся снижением экономичности вентиляционной функции лёгких и неблагоприятной реакцией показателей биомеханики.

**Ключевые слова:** респираторная система, физическая нагрузка, младшие школьники, онтогенез.

**PECULIARITIES OF THE FUNCTIONAL STATE OF EXTERNAL RESPIRATION OF PRIMARY SCHOOL CHILDREN DURING ADAPTATION TO DIFFERENT EFFORTS** M.M. Zayneev, N.I. Ziyatdinova, T.L. Zefirov. Kazan (Volga region) Federal University. **Aim.** To study the peculiarities of external respiratory functioning in boys of 8, 9 and 10 years in various periods of the academic year at rest, after a dosed dynamic and static loads. **Methods.** Examined were 38 practically healthy boys with an average level of physical development. Observation was conducted in three age groups of boys: 8, 9 and 10 years. The functional state of the respiratory system was assessed by the magnitude of lung volumes and ventilation parameters. The test with an isometric load was performed in a sitting position by squeezing a dynamometer in the left hand with a force equal to 50% of the maximal effort produced within 1 min. **Results.** In the 8-year-old boys noted was the tension of the functional state of the respiratory system at the beginning of the academic year. By the year of the end, the static load causes a decrease of the reserves of external respiration and static lung volumes, and an increase of the frequency component. In the 9-year-old boys at all study periods the static load leads to less favorable shifts in the respiration parameters in comparison with the dynamic load. In the 10-year-old boys at the beginning of the academic year both types of loads lead to adverse shifts of the parameters of external respiration, by the middle of the year adaptive capacities of the respiratory system become optimized. **Conclusion.** Local static load causes adverse shifts in the respiratory system of the primary school children, accompanied by a decrease in efficiency of the ventilation function of the lungs and by adverse reaction of the parameters of biomechanics. **Keywords:** respiratory system, physical load, primary school children, ontogenesis.

Начало учебной деятельности сопровождается появлением комплекса нагрузок и неблагоприятных факторов, оказывающих влияние на здоровье детей. Характерны рассогласование интеллектуального и физического компонентов нагрузок, увеличение интенсивности обучающих программ, появление «школьной гипокинезии». Все эти факторы вызывают у детей формирование долговременной пассивной адаптации, возникновение функциональных сдвигов в состоянии систем детского организма [6].

Система дыхания — одна из важнейших физиологических систем, определяющая как умственную, так и физическую работоспособность детей в процессе онтогенеза и адаптации к учебной деятельности [5, 7].

Необходимые уровни минутного объёма дыхания могут быть обеспечены только при наличии соответствующего функционального резерва и зрелости механизмов регуляции [3, 10].

Известно, что возраст 7–10 лет находится на границе двух важных периодов развития системы дыхания: (1) 6–7 лет, когда происходит значительное снижение бронхиального сопротивления, что приводит к увеличению объёма вдоха и выдоха, и (2) 10–11 лет — период интенсивного увеличения объёмов лёгких. Возраст 7–10 лет характеризуется плавными изменениями морфофункциональных показателей, увеличением резервных и функциональных возможностей внешнего дыхания. С возрастом проявляется тенденция к снижению относительной величины минутного объёма

Адрес для переписки: zefirovtl@mail.ru

ёма дыхания, углублению и снижению частоты дыхания. У девочек от 7 лет и старше минутный объём дыхания увеличивается в большей степени, чем у мальчиков. При физических нагрузках умеренной и большой мощности происходит уменьшение объёмных скоростей дыхания, свидетельствующее об утомлении дыхательной мускулатуры [4, 8, 9]. У детей отмечают незрелость механорецепторного и центрального механизмов регуляции дыхания, что может обуславливать неадекватность физиологических сдвигов дыхательной системы в процессе адаптации младших школьников к учебной нагрузке. В литературе есть работы, посвящённые изучению влияния учебной деятельности на функции внешнего дыхания [1]. В большинстве исследований изучали адаптацию респираторной системы детей и подростков к физическим нагрузкам различной мощности, метеоклиматическим и экологическим условиям [2]. Научный интерес представляет также изучение влияния статических нагрузок на функции внешнего дыхания школьников.

Целью исследования стало изучение особенностей функционирования внешнего дыхания школьников 8–10 лет в различные периоды учебного года, в состоянии относительного покоя, после дозированных динамической и статической нагрузок.

Обследованы 38 практически здоровых мальчиков со средним уровнем физического развития, обучающихся в одной из общеобразовательных школ г. Казани. Наблюдение вели в трёх возрастных группах мальчиков: 8, 9, 10 лет – в первом, втором и третьем классах соответственно. В каждой группе детей проводили обследования в октябре, феврале и мае. С целью исключения влияния суточных и недельных ритмов испытуемых приглашали в одни и те же день недели и время суток. Использовали автоматизированный кардиопульмонологический комплекс «АД-03М». Функциональное состояние дыхательной системы оценивали по величине лёгочных объёмов и показателям вентиляции лёгких: жизненной ёмкости лёгких (ЖЕЛ), резервному объёму вдоха и выдоха, резервному объёму при спокойной вентиляции лёгких (РВЛ), максимальной вентиляции лёгких (МВЛ), объёму форсированного выдоха за 1 с ( $ОФВ_1$ ) и отношению  $ОФВ_1$  к ЖЕЛ вдоха ( $ЖЕЛ_{вд}$ ), а также минутному объёму дыхания (МОД), дыхательному объёму (ДО), частоте дыхания (ЧД), отношению времени, затраченного на выдох и вдох, к

общему времени выдоха и вдоха. Пробу с изометрической нагрузкой проводили в положении испытуемого сидя, путём сжатия левой рукой динамометра с усилием, равным 50% максимально производимого усилия, в течение 1 мин. За показатель максимально произведённого усилия принимали среднюю величину трёх попыток. Дозированную физическую нагрузку задавали на велоэргометре с магнитным торможением, она составляла 1,0 Вт на 1 кг массы тела ребёнка, длительность педалирования 5 мин, частота 60 об/мин. Лёгочные объёмы и вентиляционные показатели приведены в системе ВТРС (ВТ – температура тела, Р – окружающее атмосферное давление, S – полное насыщение водяными парами). Для определения достоверности использовали стандартные значения критерия Стьюдента.

У 8-летних школьников в начале учебного года ЖЕЛ составляла  $1,470 \pm 0,16$  л, в феврале и мае данный показатель уменьшился на 2,8 и 3,5% соответственно. Максимальное значение РВЛ и МВЛ зарегистрировано в середине учебного года:  $50,74 \pm 1,13$  л и  $59,25 \pm 1,21$  л. От февраля к маю уменьшались значения РВЛ на 6%,  $ОФВ_1/ЖЕЛ$  на 2%, РВЛ/МВЛ на 10% и стабилизация МВЛ. Минимальное значение ЧД отмечено в феврале ( $16,43 \pm 0,81$  в минуту), в октябре и мае оно было выше на 34 и 29% ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,001$ ). Показатели ДО и МОД выросли с октября по май на 22,5 и 51,7% ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ). Динамика этих показателей свидетельствует о том, что в середине учебного года респираторная система находилась в благоприятном функциональном состоянии, а к концу учебного года возникло напряжение респираторной системы школьников.

У мальчиков 8 лет (первоклассников) в начале учебного года в ответ на статическое усилие ЖЕЛ увеличивалась на 6,8%, уменьшались МВЛ и РВЛ на 4,1 и 6,5% по отношению к состоянию покоя. МОД уменьшался на 19,2% ( $p < 0,01$ ) за счёт снижения ЧД на 37,5% ( $p < 0,001$ ) и ДО на 5%. После велоэргометрической пробы происходило увеличение МОД вследствие учащения дыхания. В середине учебного года ЖЕЛ увеличился на 5,6%, РВЛ/МВЛ снизился на 4,7% ( $p < 0,05$ ). Более благоприятная реакция наблюдалась после динамической нагрузки: МОД возрастал за счёт частотного и объёмного компонентов, увеличилось значение ЖЕЛ. В конце учебного года у 8-летних мальчиков в ответ на статическую нагрузку происходило увеличение МОД за счёт частотного

компонента, а также увеличение ЖЕЛ на 8,5% (рис. 1). При этом РВЛ и МВЛ снизились на 20,2 и 15,1% ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,05$ ). В ответ на динамическую нагрузку отмечена благоприятная реакция показателей вентиляции лёгких и функциональных возможностей респираторной системы мальчиков 8-летнего возраста.

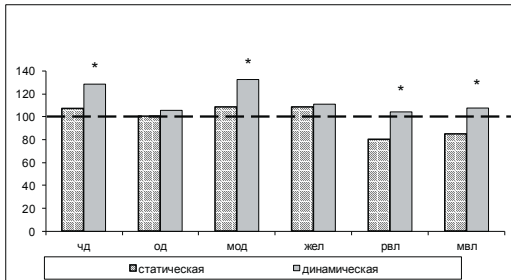


Рис. 1. Реакция показателей внешнего дыхания у мальчиков 8 лет на статическую и динамическую нагрузку в конце учебного года. \* $p < 0,05$  до и после физической нагрузки.

У детей 9 лет изменения в течение года динамических объёмов лёгких и резервов дыхания имели плавную тенденцию к росту, о чём свидетельствует динамика МВЛ, РВЛ, ОФВ<sub>1</sub>/ЖЕЛ<sub>вд</sub>. От начала к концу учебного года происходило увеличение МОД на 17,5% ( $p < 0,05$ ) при участии как объёмного, так и частотного компонентов, что свидетельствует о благоприятной реакции дыхательной системы.

После статической нагрузки у мальчиков второго класса увеличивался МОД во всех периодах исследования при вкладе частотного компонента вентиляции (напряжение респираторной системы). Снижались показатели динамических объёмов лёгких и резервов дыхания (МВЛ, РВЛ, ОФВ<sub>1</sub>/ЖЕЛ<sub>вд</sub>). Динамическая нагрузка вызывала усиление вентиляции за счёт равного увеличения частоты и глубины дыхания (рис. 2). Статическая нагрузка увеличивала ЧД, а глубина дыхания при этом практически не изменялась.

В 10-летнем возрасте ЖЕЛ в феврале составляла  $1,72 \pm 0,17$  л, что на 20,8 и 23,3% меньше, чем в октябре и мае ( $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ ). От начала к середине учебного года произошло снижение МВЛ и РВЛ на 23,6 и 20,7%, а в мае эти показатели достигают уровня октября ( $p < 0,05$ ). От февраля к маю происходит достоверное увеличение МОД, которое составляет 70,2% ( $p < 0,01$ ). Осенью у 10-летних мальчиков статические и динамические усилия вызывают математиче-

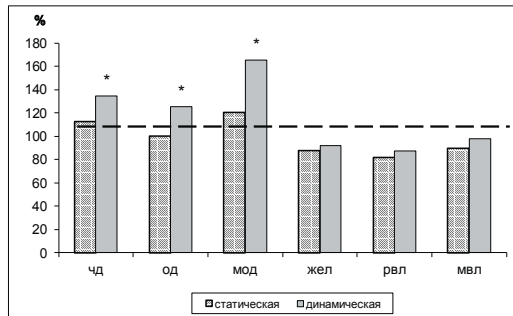


Рис. 2. Реакция показателей внешнего дыхания мальчиков 9 лет на статическую и динамическую нагрузку в конце учебного года. \* $p < 0,05$  до и после физической нагрузки.

ски недостоверное уменьшение минутного объёма дыхания, снижение ЖЕЛ на 16,6% ( $p < 0,05$ ). Зимой оба вида нагрузок приводили к положительным сдвигам в показателях ЖЕЛ, выявляя существенные резервы дыхания: МВЛ, РВЛ. МОД увеличился за счёт равного участия частотного и объёмного компонентов. В конце года статическая нагрузка вызывала увеличение МОД за счёт ЧД на фоне снижения дыхательного объёма. При этом РВЛ увеличивается на 22,5%, МВЛ на 12,9% ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,05$ ) по отношению к состоянию покоя (рис. 3). Велоэргометрическая нагрузка сопровождалась благоприятной реакцией показателей вентиляции лёгких: МОД увеличился на 47,8% ( $p < 0,01$ ) при равном участии ЧД и ДО ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,05$ ). После велоэргометрической нагрузки показатели резервов дыхания, динамических объёмов и биомеханики лёгких увеличиваются недостоверно.

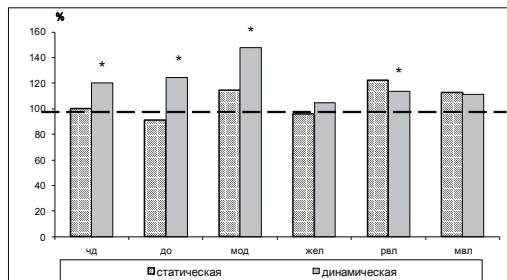


Рис. 3. Реакция показателей внешнего дыхания мальчиков 10 лет на статическую и динамическую нагрузку в конце учебного года. \* $p < 0,05$  до и после физической нагрузки.

Проведённое исследование показало, что у 8-10-летних мальчиков в течение учебного года происходят изменения функционального состояния аппарата внешнего дыхания, отражающие особенности адап-

тации дыхательной системы школьников в процессе обучения. У детей 8 лет отмечено напряжение функционального состояния дыхательной системы в начале учебного года. К концу года статическая нагрузка вызывает снижение резервов внешнего дыхания и статических объёмов лёгких с возрастанием частотного компонента их вентиляции. В 9-летнем возрасте у мальчиков процесс адаптивных перестроек функций внешнего дыхания менее напряжённый, зарегистрированы увеличение статических объёмов лёгких, совершенствование механических факторов их вентиляции, а также её экономизация после дозированной физической нагрузки. Во всех периодах исследования статическая нагрузка приводит к менее благоприятным сдвигам показателей дыхания, чем динамическая. У мальчиков, обучающихся в третьем классе, в начале года оба вида тестирующих нагрузок приводят к неблагоприятным сдвигам показателей внешнего дыхания, что может свидетельствовать об отсутствии адаптации дыхательной системы школьников данного возраста к началу обучения. В середине года возникает оптимальное состояние адаптивных возможностей дыхательной системы 10-летних школьников.

### ВЫВОДЫ

1. Локальная статическая нагрузка вызывает неблагоприятные сдвиги в дыхательной системе младших школьников, что наиболее характерно для 9-летних. Аналогичные негативные изменения проявляются к концу учебного года у мальчиков 8- и 10-летнего возраста.
2. Наиболее вероятное объяснение наблюдаемых изменений — резкое увеличение статических нагрузок и ограничение двигательной активности младших школьников в течение учебного года. На наш взгляд,

именно у мальчиков изменения двигательного статуса вызывают наиболее выраженную негативную реакцию кардиореспираторной системы.

3. Профилактикой наблюдаемых негативных явлений в функциях дыхательной системы служат систематические физические упражнения во время уроков, занятия физической культурой и активный отдых на свежем воздухе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурханов А.И. Характеристика внешнего дыхания у школьников 5-7 классов общеобразовательной школы // Гигиен. санитар. — 1994. — №4. — С. 51-53.
2. Рощевский М.П., Евдокимов В.Г., Варламов Н.Г., Овсов А.С. Региональные и сезонные особенности функционирования кардиореспираторной системы жителей Севера // Физиол. чел. — 1994. — Т. 20, №6. — С. 75-82.
3. Соколов Г.В., Кузнецова Т.Д., Самбурова И.П. Возрастное развитие резервных и адаптивных возможностей системы дыхания / Физиология развития ребёнка. — М.: Медицина, 2000. — 167-184 с.
4. Coats E.M., Rossiter H.B., Day J.R. et al. Intensity-dependent tolerance to exercise after attaining V(O<sub>2</sub>) max in humans // J. Appl. Physiol. — 2003. — Vol. 95. — P. 483-490.
5. Ferguson C., Whipp B.J., Cathcart A.J. et al. Effects of prior very-heavy intensity exercise on indices of aerobic function and high-intensity exercise tolerance // J. Appl. Physiol. — 2007. — Vol. 103. — P. 812-822.
6. Jack S., Rossiter H.B., Warburton C.J., Whipp B.J. Behavioral influences and physiological indices of ventilatory control in subjects with idiopathic hyperventilation // Behav. Modif. — 2003. — Vol. 27. — P. 637-652.
7. Miura A., Sato H., Sato H. et al. The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry // Ergonomics. — 2000. — Vol. 43. — P. 133-141.
8. Ozyener F., Rossiter H.B., Ward S.A., Whipp B.J. Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans // J. Physiol. — 2001. — Vol. 15. — P. 891-902.
9. Ozyener F., Rossiter H.B., Ward S.A., Whipp B.J. Negative accumulated oxygen deficit during heavy and very heavy intensity cycle ergometry in humans // Eur. J. Appl. Physiol. — 2003. — Vol. 90. — P. 185-190.
10. Ward S.A., Whipp B.J. Supraspinal locomotor centers do: do not contribute significantly to the hyperpnea of dynamic exercise in humans // J. Appl. Physiol. — 2006. — Vol. 100. — P. 1077-1079.