

УДК 797.215 : 612.2  
ББК 75.717.91 : 28.92

*Поддубный С. К. \*, Аикин В. А., Елохова Е. Ю.*

## ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ У ЮНЫХ ДАЙВЕРОВ

Число юных аквалангистов (дайверов) систематически пребывающих под водой с каждым годом увеличивается. Целью исследования явилось изучение показателей системы внешнего дыхания у детей при однократном подводном погружении с аквалангом в условиях плавательного бассейна. Проведено исследование состояния вентиляционной функции легких у здоровых детей, занимающихся дайвингом. В исследовании приняли участие 28 здоровых мальчиков в возрасте 12-13 лет. Спирографию у детей проводили в лабораторных условиях при помощи программно-аппаратного комплекса «Спиро-Спектр». Исследованы динамические легочные объемы и расчетные показатели. Установлено, что у детей после дайвинга отмечалось статистически значимое ( $p < 0,05$ ) снижение объемно-скоростных параметров форсированного выдоха ( $МОС_{50}$ ,  $МОС_{25}$ ,  $СОС_{25-75}$ ) и соотношений  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$  и  $СОС_{25-75}/ФЖЕЛ$ .

**Ключевые слова:** дайвинг, дети, респираторная система, спирография, астма.

*Poddubnyi S. K\*, Aikin V. A., Elokhova Yu. A.*

## EXTERNAL RESPIRATION FUNCTION PECULIARITIES OF CHILDREN DIVERS

The number of young divers systematically staying under water increases annually. The aim of this study was to investigate the external respiration indices of children undergone a single underwater scuba diving in a swimming pool. 28 healthy boys aged 12-13 years took part in the study. Spirography was carried out in the laboratory using the hardware-software complex «Spirospectrum». The dynamic lung volumes and estimates are also viewed in the article. It is found that after diving there was a significant decrease in the volume-velocity parameters of forced expiratory volume ( $MEF_{75}$ ,  $MEF_{50}$ ,  $MEF_{25}$ ,  $FEF_{25-75}$ ) and  $FEV_1/FVC$  ratio and  $FEF_{25-75}/FVC$ .

**Keywords:** diving, children, respiratory system, spirometry, asthma.

\* E-mail: psk@yandex.ru

В нашей стране любительский дайвинг с аквалангом становится все более популярным видом активного отдыха для людей всех возрастов. Число юных дайверов с каждым годом становится больше и в научной литературе дискутируется вопрос о безопасности занятий дайвингом для здоровья ребенка.

Дайвинг оказывает на организм человека такое же влияние, как и другие некоторые формы физической активности, такие как например, бег, плавание или езда на велосипеде. Однако на подводного пловца водная среда оказывает комплексное воздействие, а известный перечень факторов, действующих на организм при подводных погружениях с аквалангом обширен. Среди них наибольшее влияние оказывают гипербарическое воздействие водной среды, вы-

сокая плотность дыхательных смесей, гипероксия и декомпрессионный стресс. При этом воздействие этих факторов вызывает активацию адаптационных механизмов (Поддубный С. К. и др., 2013; Следков А. Ю. и др., 2003; Chenot J. F. et al., 2007). Показано, что под воздействием перечисленных стрессоров в условиях гипербарии могут возникать неблагоприятные и устойчивые изменения в респираторной системе и легочном кровообращении (Дмитрук А. И., 2004). Так, при увеличении глубины погружения плотность воздушной газовой смеси возрастает, подвывается сопротивление на вдохе и выдохе, растёт нагрузка на дыхательную мускулатуру дайвера, что может провоцировать бронхоспазм, с последующим развитием риска баротравмы легких (Ivkovic D., 2012).

Большинство исследований в основном проводилось среди профессиональных дайверов, имеющих многократные глубоководные погружения или в условиях искусственных погружений, с использованием барокамеры. Также очень мало исследований по изучению влияния рекреационного дайвинга на вентиляционные показатели системы дыхания у людей различного возраста. Например, экспериментальные исследования R. Smerz (2005) показали, что организм детей особенно подвержен воздействию неблагоприятных факторов водной среды. У них чаще, чем у взрослых дайверов отмечаются случаи артериальной газовой эмболии легких. Также могут быть опасными для детей. погружения под воду на большие глубины.

Исходя из вышесказанного нам представляется актуальными исследования по изучению характера происходящих функциональных перестроек в респираторной системе юных дайверов при подводных погружениях.

*Цель исследования:* изучить состояние показателей системы внешнего дыхания у детей при однократном погружении с аквалангом в условиях плавательного бассейна.

#### **Материал и методы исследования**

В исследовании приняли участие 19 относительно здоровых мальчиков в возрасте 12-13 лет, имеющих средние значения роста –  $154,5 \pm 2,1$  см; массы тела –  $42,5 \pm 1,6$  кг; индекса массы тела (ИМТ) –  $18,5 \pm 0,4$  кг/м<sup>2</sup>, допущенных к занятиям дайвингом по состоянию здоровья.

Исследования проводились в крытом плавательном бассейне «Альбатрос» Сибирского государственного университета физической культуры и спорта города Омска. Погружение осуществлялись в сопровождении инструктора. Курс обучения состоял из 10 занятий с использованием снаряжения с открытой схемой дыхания (акваланг). В качестве дыхательной смеси использовался чистый сжатый воздух под давлением 150 атм. Занятия и обследование проводились по разработанной нами методике (Аикин В. А. и др., 2013), длительность каждого занятия составляла  $30,0 \pm 5,0$  минут. Подводное плавание с аквалангом

осуществлялось на глубине 4,5 м, при температуре воды 27°C. Протокол исследования одобрен независимым этическим комитетом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет». Критериями включения испытуемых в исследование являлись: отсутствие психических, соматических и инфекционных заболеваний; соответствие показателей биоэлектрической активности, гемодинамики головного мозга, физического и нервно-психического развития возрастной физиологической норме; предоставление справки от врача о возможности заниматься дайвингом; отсутствие жалоб на состояние здоровья в период, непосредственно предшествующий занятиям дайвингом. Наличие письменного согласия родителей на участие детей в исследовании.

Функцию внешнего дыхания оценивали при помощи портативного программно-аппаратного комплекса «Спиро-Спектр», (Нейрософт, Россия) по общепринятой методике в стандартных условиях (при температуре 22–24°C, в тихой комнате в спокойной обстановке). Измерения у детей выполнены непосредственно до дайвинга и повторно, через 10 мин после подводного погружения в соответствии с объединенными рекомендациями Американского торакального и Европейского респираторного обществ (Crosbie W. et al., 1979). Во время исследования ребенок находился в удобном кресле в расслабленном состоянии.

Исследовались показатели: частота дыхания (ЧД), жизненная емкость легких (ЖЕЛ), форсированная жизненная емкость легких при резком выдохе (ФЖЕЛ), объем форсированного выдоха за первую секунду маневра (ОФВ<sub>1</sub>), пиковая (максимальная) объемная скорость выдоха при выполнении пробы ФЖЕЛ (ПОС), мгновенная объемная скорость после выдоха 25, 50 и 75 % ФЖЕЛ (МОС<sub>25</sub>, МОС<sub>50</sub>, МОС<sub>75</sub>) – в основном объективно отражает проходимость бронхов, средняя объемная скорость экспираторного потока на уровне от 25 до 75% ФЖЕЛ

(СОС<sub>25-75</sub>), отношения ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ и СОС<sub>25-75</sub>/ФЖЕЛ.

Первичная статистическая обработка экспериментальных данных включала в себя сравнение групп по показателям и проводилась методами непараметрической статистики с использованием критерия Вилкоксона. Перед проведением анализа осуществлялось формирование базы данных исходных показателей, проверка выборок на однородность и наличие нормального распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка (Гольдяпин В. В. и др., 2010). Для характеристики групп использовали среднее значение признаков и ошибку репрезентативности ( $M \pm m$ ). Статистически значимыми считали различия при  $P < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение**

Результаты исследования показали, что у детей в покое до плавания с аквалангом час-

тота дыхания составляла в среднем  $17,1 \pm 2,5$  в 1 мин. Известно, что жизненная емкость легких отражает состояние дыхательной мускулатуры, бронхиальных путей и дает возможность оценить функциональные возможности системы внешнего дыхания. Установлено, что жизненная емкость легких у юных дайверов в покое до подводного погружения составляла в среднем  $3100 \pm 500$  мл. Необходимо отметить, что указанные показатели внешнего дыхания у детей до дайвинга соответствовали их возрастной физиологической норме.

Дальнейшие исследования показали, что после подводного погружения частота дыхания в среднем составляла  $15,8 \pm 3,7$  в 1 мин, а жизненная емкость легких –  $3400 \pm 600$  мл. Установлено также, что в покое на глубине 4,5 м дыхание у детей урежалось до  $10,2 \pm 2,9$  в мин (таблица 1).

Таблица 1 – Фоновые значения частоты дыхания и жизненной емкости легких у юных дайверов, занимающихся подводным плаванием с аквалангом ( $M \pm m$ )

Показатели	До дайвинга	Во время дайвинга	После дайвинга
ЧД, дых/мин	$17,1 \pm 2,5$	$10,2 \pm 2,9$	$15,8 \pm 3,7^*$
ЖЕЛ, л	$3100 \pm 500$	–	$3400 \pm 600$

\*  $P < 0,05$  по сравнению с до погружения

Установлено, что показатели ФЖЕЛ, ОФВ<sub>1</sub> и ПОС до дайвинга существенно не отличались от показателей после дайвинга. Однако по отношению к объемно-скоростными параметрами выдоха (МОС<sub>75</sub>, МОС<sub>50</sub>, МОС<sub>25</sub>, СОС<sub>25-75</sub>) до дайвинга значения соотношений ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ; СОС<sub>25-</sub>

<sub>75</sub>/ФЖЕЛ статистически значимо ( $P < 0,05$ ) снизились после дайвинга (таблица 2). При этом необходимо отметить, что соотношение изменений параметров МОС указывает на нарушение вентиляционной способности легких по рестриктивному типу.

Таблица 2 – Вентиляционные показатели у юных дайверов, занимающихся подводным плаванием с аквалангом ( $M \pm m$ )

Параметр	До дайвинга	После дайвинга
ФЖЕЛ, л	$3,7 \pm 0,9$	$3,9 \pm 0,8$
ОФВ <sub>1</sub> , л	$3,2 \pm 0,8$	$3,3 \pm 0,8$
ПОС, л/с	$6,1 \pm 0,6$	$6,3 \pm 1,1$
ОФВ <sub>1</sub> /ФЖЕЛ, %	$85,9 \pm 1,3$	$80,2 \pm 1,5^*$
МОС <sub>25</sub> , л/с	$5,0 \pm 0,9$	$4,1 \pm 0,7^*$
МОС <sub>50</sub> , л/с	$3,6 \pm 1,0$	$2,9 \pm 0,9^*$
МОС <sub>75</sub> , л/с	$2,0 \pm 0,6$	$1,4 \pm 0,4^*$
СОС <sub>25-75</sub> , л/с	$3,4 \pm 0,9$	$3,0 \pm 0,8^*$
СОС <sub>25-75</sub> /ФЖЕЛ, %	$90,4 \pm 10$	$78,9 \pm 15^*$

\*  $P < 0,05$  различия статистически значимы по отношению к «до дайвинга»

Анализируя параметры функции внешнего дыхания после дайвинга можно отметить, что у детей в условиях относительного по-

стояния существенно снижалась ( $p < 0,05$ ) бронхиальная проводимость. Можно предположить, что дайвинг вызывает снижение сум-

марной проходимости воздухоносных путей, эластических свойств легких и грудной клетки. Из данных литературы известно, что уменьшение вышеуказанных показателей выборочно или в совокупности обусловлено сужением просвета бронхов на уровне мелких, средних и крупных бронхов (Анохин М. И., 2003). Необходимо отметить, что в ходе проведения наших исследований у детей не отмечалось клинически значимых проявлений обструкции дыхательных путей.

Литературный анализ состояния функции внешнего дыхания у взрослых дайверов показывает, что сразу после погружения на небольшие глубины у водолазов не отмечается существенных изменений функции легких (Neubauer B. et al., 2005).

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что после однократного подводного погружения с аквалангом на глубину до 5 метров у детей отмечается умеренное сужение дыхательных путей, что хорошо согласуется с полученными данными некоторых зарубежных авторов (Wollin P. et al., 2011). Учитывая анатомо-физиологические особенности органов дыхания детей (более узкий просвет дыхательных путей чем у взрослых дайверов) и условия, в которых дайвер находится – под водой, дышит сухой, плотной и охлажденной воздушной смесью, то можно предположить, что дайвинг способствует сужению бронхов у детей и привести к бронхиальной обструкции. Поэтому необходимо строго руководствоваться рекомендациями CMAS о максимально допустимой глубине погружения под воду с аквалангом для детей: 8-9 лет – 3 м, 10-11 лет – 5 м, 12-14 лет – 10 м.

Необходимо отметить, что механизмы развития описанных выше изменений и их физиологическое значение остаются до настоящего времени неизвестными. Так, результаты работ, посвященных изучению отдаленных последствий регулярных подводных погружений, достаточно противоречивы. Авторы отмечают, что выявляемые изменения могут варьировать от незначительных отклонений параметров вентиляционных показателей (Sames C. et al. 2009) до патологических нарушений в легких (Crosbie W. et al., 1979). По-видимому, у

профессиональных водолазов наблюдаются определенные изменения в системе внешнего дыхания, которое заключается в увеличении статических легочных объемов и в умеренном снижении объемно-скоростных параметров форсированного выдоха (Macdiarmid J. I. et al., 2004, Crosbie W. et al., 1979, Skogstad M., 2002).

В случаях отсутствия нарушений функции дыхания по обструктивному типу диспропорция между ЖЕЛ, ОФВ<sub>1</sub> и средней объемной скоростью форсированного выдоха отражает несоответствие между размерами дыхательных путей и легочной паренхимой. Это может быть обусловлено гипербарической оксигенацией. Кроме этого, систематические многократные подводные погружения в ряде случаев могут сопровождаться развитием хронического воспалительного процесса в воздухоносных путях и легочной паренхиматозной ткани. Этот факт подтверждают данные о возрастании бронхиальной чувствительности к факторам подводного погружения (Cirillo I., 2003), а также снижении параметров ОФВ<sub>1</sub> и СОС<sub>25-75</sub> у профессиональных водолазов (Skogstad M., 2002).

#### **Выводы**

1. После однократного подводного погружения с аквалангом у детей отмечается умеренное сужение просвета бронхов.
2. Подводное плавание с детьми 12-летнего возраста можно проводить при погружении с аквалангом на глубину не более 5 метров.

#### **Список литературы**

1. Аикин, В. А., Елохова, Ю. А., Поддубный, С. К. Особенности альфа-ритма головного мозга у подростков занимающихся дайвингом / В. А. Аикин, Ю. А. Елохова, С. К. Поддубный // Омский научный вестник. Серия Ресурсы Земли. Человек. – 2012. – № 2 (114). – С. 92-96.
2. Анохин, М. И. Спирография у детей / М. И. Анохин. – М. : Медицина, 2003. – 120 с.
3. Аикин, В. А., Елохова, Ю. А., Поддубный, С. К., Голубкова, С. И. Изменение биоэлектрической активности головного мозга в тета- и дельта-диапазонах у юных дайве-

ров / В. А. Аикин, Ю. А. Елохова, С. К. Поддубный, С. И. Голубкова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/110-9563> (дата обращения: 14.12.2013).

4. Гольпяпин, В. В., Шовин, В. А. Косогольная факторная модель артериальной гипертензии первой стадии / В. В. Гольпяпин, В. А. Шовин // Вестник Омского университета. – 2010. – № 4. – С. 120-128.

5. Дмитрук, А. И. Медицина глубоководных погружений / А. И. Дмитрук. – СПб.: ГОУ СПО «СПб ГИПТ», 2004. – 292 с.

6. Поддубный, С. К., Елохова, Ю. А., Огородников, М. А. Индивидуально-психологические особенности юных дайверов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5; URL: <http://www.science-education.ru/111-10737> (дата обращения: 15.12.2013).

7. Следков, А. Ю., Довгуша, В. В. Особенности функционирования организма человека в гипербарической среде. – СПб, 2003. – 152 с.

8. Chenot, J.-F., Simmenroth-Nayda, A. Die Tauchtauglichkeitsuntersuchung für Sporttaucher // Zeitschrift für Allgemeinmedizin. – 2007. – № 10. – P. 417-426.

9. Cirillo, I. Airway reactivity and diving in healthy and atopic subjects / I. Cirillo, A. Vizzaccaro, E. Crimi // Medicine and Science in Sports and Exercise. – 2003. – Vol. 35, N 9. – P. 1493-1498.

10. Crosbie, W., Reed, J., Clarke, M. Functional characteristics of the large lungs found in commercial divers // Journal of Applied Physiology. – 1979. – Vol. 46. – P. 639-645.

11. Ivkovic, D., Markovic, M., Todorovic, B.S. et al. Effect of a single pool dive on pulmonary function in asthmatic and non-

asthmatic divers // Diving and Hyperbaric Medicine. – 2012 – Vol. 42. – №2. – P. 72-77.

12. Macdiarmid, J. I. et al. Co-ordinated investigation into the possible long term health effects of diving at work: Examination of the long term health impact of diving: The ELTHI diving study: Research report (Great Britain. Health and Safety Executive). Vol. 230 / – Sudbury : HSE Books, 2004. – 91 p.

13. Neuman, T. S., Bove, A. A., O'Connor, R. D., Kelsen, S. G. Asthma and diving // Ann. Allergy. – 1994. – Vol. 73. – P. 344-350.

14. Neubauer, B. Mutzbauer, T. S., Struck, N. et al. Mechanical impedance of the respiratory tract in divers before and after // Eur. J. Appl. Physiol. – 2005. – Vol. 95. – P. 454-463.

15. Parker, A. L., Abu-Hijleh, M., McCool, F. Ratio between forced expiratory flow between 25 and 75 % of vital capacity and FVC is a determinant of airway reactivity and sensitivity to methacholine // Chest. – 2003. – Vol. 124, № 1. – P. 63-69.

16. Skogstad, M., Thorsen, E., Haldorsen, T., Kjuus, H. Lung function over six years among professional divers // Occupational and Environmental Medicine. – 2002. – Vol. 59, № 9. – P. 629-633.

17. Smerz, R. Epidemiology and treatment of decompression illness in children and adolescents in Hawaii, 1983-2003 // SPUMS J. – 2005. – № 35. – P. 5-10.

18. Sames, C., Gorman, D., Mitchell, S., Gamble, G. The long-term effects of compressed gas diving on lung function in New Zealand occupational divers: a retrospective analysis // Diving and Hyperbaric Medicine. – 2009. – Vol. 39. – P. 133-138.

19. Wollin, P., Christmann, M., Kroker, A., Zielen, S. Lung function testing in children before and after an age-adapted SCUBA dive in a swimming pool // Pneumologie. – 2011. – № 5. – P. 308-313.