

УДК: 572.7.001.37.004.12

О.О. Ровна, В.М. Ільїн

ВПЛИВ ГІПОКСИЧНОЇ ГІПЕРКАПНІЇ НА СИСТЕМУ ЗОВНІШНЬОГО ДИХАННЯ СПОРТСМЕНОК СИНХРОННОГО ПЛАВАННЯ

Вимірювали параметри системи зовнішнього дихання на 13 спортсменках синхронного плавання віком 17-20 років при 10 сеансах зворотнього дихання, що проводились через день. Реєстрували дихальний об'єм, хвилинний об'єм та частоту дихання, концентрацію вуглекислого газу та кисню в кінці видиху, розраховували коефіцієнт використання кисню. При першому сеансі зворотнього дихання у спортсменок постійно збільшувалась вентиляція легенів за рахунок збільшення частоти дихальних рухів при деякому зниженні дихального об'єму. Стимулятором цього було підвищення концентрації вуглекислого газу в кінці видиху. При повторних проведеннях проби зворотнього дихання до шостого сеансу спостерігається стрибкоподібні зміни її тривалості, а потім поступове збільшення до 10 сеансу. Після 10 сеансів зворотнього дихання спостерігались адаптаційні компенсаторні зміни у кардіо-респіраторній системі, що проявлялось у зниженні реактивності її показників на гіперкапнічний та гіпоксичний стимули. Показано, що пристосування до гіперкапнічної гіпоксії відбувається за рахунок більш ефективного використання кисню, зниження чутливості каротидного синуса та дихального центра до підвищення концентрації вуглекислого газу.

Ключові слова: гіпоксія, гіперкапнія, дихання, спортсменки

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. У умовах спортивної діяльності синхронного плавання, крім гіпоксичних умов, спостерігаються умови і гіперкапнії. Обмеженість функції дихання, а саме, вентиляційних можливостей, пов'язаних з виконанням навантаження при затримці дихання, а не при активній вентиляції, сприяє швидкому накопиченню ендогенного CO₂. Тому вивчення впливу зворотнього дихання на респіраторну систему важливе як для визначення рівня адаптованості спортсменок до специфічних навантажень так і для пошуку додаткових тренувальних дій на їх організм.

Проведена велика кількість досліджень гіпоксичних впливів на організм людини і тварин [1, 3], в тому числі і у спортсменок синхронного плавання різного віку [6]. Також вивчалися реакції зовнішнього дихання людей різного віку і в умовах зростаючої гіперкапнії [4, 8]. В той же час вивчення спряженої дії гіпоксії та гіперкапнії на дихання спортсменок синхронного плавання не проводились.

Мета статті. Вивчити зміни у респіраторній системі спортсменок синхронного плавання при систематичних тривалих впливах зворотнього дихання.

Методика

Виміри проведені на 13 спортсменках синхронного плавання віком 17-20 років. Застосовувався додатковий вплив у вигляді 10 сеансів зворотнього дихання, які проводилися через день. Методика проведення зворотнього дихання була наступною: використовувався мішок Дугласа об'ємом 30 л. Випробовуваний дихав повітрям з цього мішка, а повітря, що видихається, по шлангу знову поверталось в нього. Наявні клапани на шлангах забезпечували розділення вдихуваного та видихуваного повітря. Шланг для видиху мав відвідну трубку, через яку бралися проби повітря (кожні 10 хв) і прокачувалися через газоаналізатор для оцінки складу газової суміші. В ході зворотнього дихання фіксувалися функціональні показники серцево-судинної і системи дихання: дихальний об'єм (ДО, мл), хвилинний об'єм дихання (ХОД, л/хв), частота дихання (BF, хв⁻¹), коефіцієнт використання кисню (КВО₂), концентрація CO₂ в кінці видиху (F_ECO₂), концентрація O₂ в кінці видиху (F_EO₂), також враховувалися

концентрація вуглекислого газу, кисню та тривалість дихання упродовж кожного сеансу.

Результати та їх обговорення

Під час сеансу зворотнього дихання фіксувався максимальний час дихання газовою сумішшю з вказаним процентним змістом вуглекислого газу і кисню, при якому підтримувалася певна частота дихання. Збільшення частоти дихання на 1 було критерієм для виміру концентрації газів і відліку тривалості дихання в наступній серії. Аналізуючи одержані дані, можна бачити лінійну залежність між тривалістю дихання в замкнутій простір, підвищенням $F_{E}CO_2$ і зниженням $F_{E}O_2$ в повітрі (табл.1), що видихається, і збільшення частоти дихання на 1 у перших трьох серіях виникає при збільшенні концентрації $F_{E}CO_2$ на 1-1,2%, а в подальших серіях спостерігається збільшення частоти дихання на 1 при прирості концентрації на 0,3-0,2%. Середньогруповий показник тривалості сеансу зворотнього дихання склав $32,1 \pm 0,75$ хв ($p < 0,001$).

Таблиця 1

Динаміка функціональних показників та тривалості зворотнього дихання під час 1-го сеансу у спортсменок синхронного плавання ($n=13$), ($X \pm m$)

T, хв	$F_{E}CO_2$ %	$F_{E}O_2$ %	BF хв ⁻¹	ДО, л	МОД л хв ⁻¹	HR хв ⁻¹	КВО ₂ мл хв ⁻¹
7,5±0,03	1,8±0,01	19,3±0,07	13±0,09	0,72±0,145	9,36±0,002	65±0,7	37±1,4
6,6±0,01	4,0±0,02	17,0±0,1	14±0,08	0,76±0,043	10,64±0,011	71±0,78	33±0,9
5,6±0,01	5,4±0,01	15,5±0,07	15±0,1	0,78±0,141	11,7±0,012	71±0,9	35±0,7
4,0±0,03	6,1±0,01	14,3±0,12	16±0,12	0,76±0,223	12,16±0,302	74±1,01	31±0,4
3,1±0,04	6,3±0,03	14,1±0,13	17±0,09	0,70±0,032	11,90±0,041	82±1,01	29±1,0
2,6±0,01	6,7±0,03	13,8±0,12	18±0,09	0,66±0,111	11,88±0,022	94±1,0	30±0,4
2,2±0,01	7,2±0,02	13±0,08	19±0,09	0,64±0,004	12,12±0,032	100±1,58	31±0,7
1,8±0,02	7,4±0,03	12,4±0,12	20±0,12	0,64±0,501	12,8±0,102	102±1,58	26±0,9
1,7±0,03	7,5±0,01	12,3±0,09	21±0,12	0,62±0,041	13,02±0,005	105±1,23	26±1,1
0,7±0,02	7,7±0,02	11,8±0,09	22±0,11	0,64±0,222	14,08±0,003	107±1,22	27±1,2

Тривалість зворотнього дихання четвертої серії знизилася на 53,33%, а процентний зміст CO_2 збільшився на 38,8% ($p < 0,001$), склад видихуваної газової суміші, був - $F_{E}CO_2$ 6,1%, а $F_{E}O_2$ – 14,3%. Як видно, процентний вміст $F_{E}O_2$ зменшився на 26,9% ($p < 0,001$). В десятій серії, яка тривала всього 45с, концентрація CO_2 досягла 7,7%, що в 4,2 рази більше ніж в першій серії. Концентрація O_2 в останньому сеансі знизилася на 39,8% ($p < 0,001$).

Підвищення $F_{E}CO_2$ і одночасне зниження $F_{E}O_2$ указує на зміну газового гомеостазису організму і стимулює включення термінових компенсаторних реакцій, а саме, збільшення частоти дихання і серцевих скорочень. Вже після четвертої серії, одночасно з підвищенням $F_{E}CO_2$ збільшувалася частота дихання на 30,7% ($p < 0,001$). Надалі спостерігалось значне підвищення частоти дихання на 61,5% ($p < 0,001$).

Отже, постійне підвищення $F_{E}CO_2$ є стимулятором збільшення вентиляції легенів, яка зростає більшою мірою за рахунок збільшення частоти дихання, не дивлячись на деяке зниження дихального об'єму. Збільшення вентиляції склало 50,4%, а зниження дихального об'єму – 13,8%. ЧСС змінювалась паралельно частоті дихання. Так, після п'ятої серії ЧСС підвищилось на 13,8%, а в останній – на 64,5% ($p < 0,001$).

Аналізуючи динаміку сумарної тривалості зворотнього дихання, видно, що до шостого сеансу спостерігається стрибкоподібні її зміни. Так, після першого сеансу сумарна тривалість дихання знизилася на 29,33% ($p < 0,01$). Аналогічна динаміка

спостерігається після третього і четвертого сеансів. Після п'ятого сеансу теж спостерігається зниження сумарного часу дихання на 8,4% ($p < 0,05$). З шостого сеансу починається поступове підвищення показника сумарного часу дихання в замкнутий простір. Найбільша тривалість дихання в замкнутий простір спостерігається в останньому 10-у сеансі. Збільшення тривалості дихання в останньому сеансі склало 32,7% ($p < 0,001$) (рис.1).

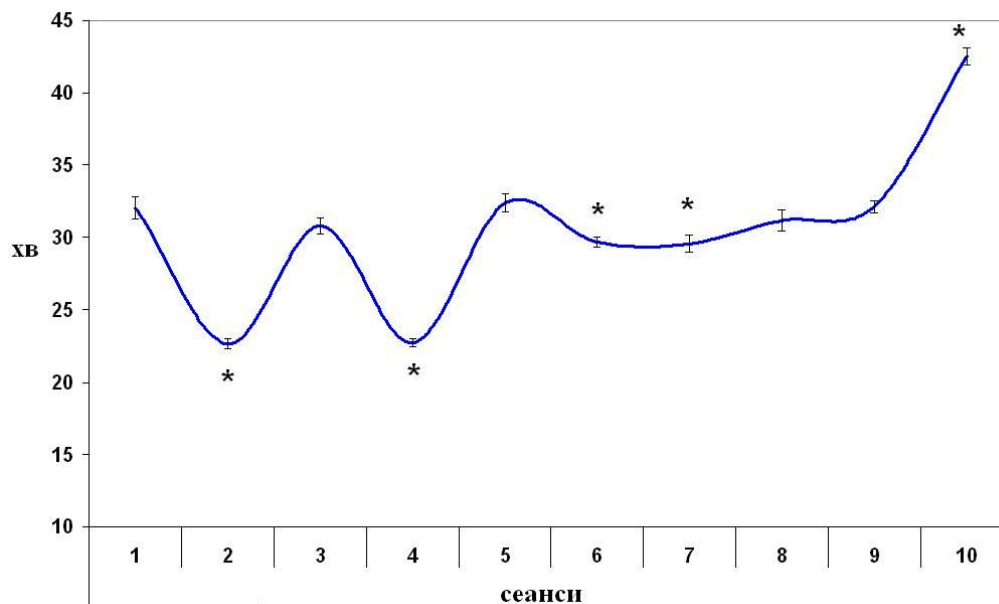


Рис. 1. Зміни тривалості сеансів зворотнього дихання в ході експерименту. * - $p < 0,05$ у порівнянні з першим сеансом

Починаючи з шостого сеансу, час першої спроби коливався від 8,25 хв до 9,25 хв. З них 30% досліджуваних мали відносно стійкі адаптаційні реакції. Начиня с шестого сеанса, время первой попытки колебалось с 8,25 мин до 9,25 мин. При цьому 30% досліджуваних мали відносно стійкі адаптаційні реакції дихальної системи до гіперкапічної гіпоксії.

Після 10 сеансів зворотнього дихання спостерігалися адаптаційні компенсаторні зміни в кардіо-респіраторній системі. Вони проявлялись в зниженні реактивності серцево-судинної системи і системи дихання на гіперкапічний і гіпоксичний стимули (табл. 2).

Тривалість 10-го сеансу зворотнього дихання склала $42,54 \pm 0,56$ хв, що на 11,13% більше початкового показника ($p < 0,001$). Кінцева концентрація вуглекислого газу в останній серії видихуваної газової суміші склала 8%, а її тривалість збільшилася на 15% в порівнянні з останньою серією першого сеансу зворотнього дихання. Таким чином, адаптація до гіперкапічної гіпоксії відбувається за рахунок більш ефективного використання кисню, посилення метаболічних процесів внутрішньоклітинного дихання і зниження хеморецепторної чутливості каротидного синусу і дихального центру до підвищення концентрації вуглекислого газу, оскільки достовірних змін досліджуваних функціональних показників не спостерігалось [7].

Варіабельність тривалості зворотнього дихання знаходилась в межах $\pm 5,8\%$ від середньогрупових показників, що визначається індивідуальним характером фізіологічних механізмів адаптації до гіпоксичних навантажень в основі яких лежить індивідуальна чутливість до концентрації ендogenous CO₂ [2, 5].

Таблиця 2

Динаміка функціональних показників та тривалості зворотнього дихання під час 10-го сеансу у спортсменок синхронного плавання (n=13), ($X \pm m$)

T, хв	F _E CO ₂ %	F _E O ₂ %	BF хв ⁻¹	ДО, л	МОД л хв ⁻¹	HR хв ⁻¹	КВО ₂ мл хв ⁻¹
8,0±0,03	1,8±0,01	19,3±0,07	12±0,09	0,72±0,145	8,64±0,001	65±0,7	39±0,4
7,1±0,11	4,0±0,02	17,0±0,1	13±0,08	0,76±0,043	9,88±0,021	72±0,78	38±0,5
6,6±0,01	5,4±0,01	15,5±0,076	14±0,1	0,78±0,141	10,92±0,032	71±0,9	35±0,7
4,5±0,03	6,3±0,01	14,3±0,12	15±0,12	0,76±0,223	11,40±0,302	73±1,01	33±0,1
3,6±0,04	6,5±0,03	14,1±0,13	16±0,09	0,70±0,032	11,20±0,041	81±1,01	33±0,2
2,6±0,01	6,9±0,03	13,8±0,12	17±0,09	0,66±0,111	11,22±0,022	94±1,0	30±0,4
2,3±0,01	7,4±0,02	13±0,08	18±0,09	0,64±0,004	11,48±0,032	99±1,58	30±0,7
1,8±0,02	7,6±0,03	12,4±0,12	19±0,12	0,64±0,501	12,16±0,102	102±1,58	28±0,9
1,7±0,03	7,8±0,01	12,3±0,09	20±0,12	0,62±0,041	12,40±0,005	104±1,23	28±1,1
1,7±0,02	8,0±0,02	11,8±0,09	21±0,11	0,64±0,222	13,44±0,003	108±1,22	27±0,7

Висновки

1. Перший сеанс зворотнього дихання у спортсменок приводив до постійного підвищення F_ECO₂, який є стимулятором збільшення вентиляції легенів, що зростала у більшому ступені за рахунок збільшення частоти дихання при деякому зниженні дихального об'єму.
2. При повторних проведеннях проби зворотнього дихання до шостого сеансу спостерігається стрибкоподібні зміни її тривалості, а потім поступове збільшення до 10 сеансу.
3. Після 10 сеансів зворотнього дихання спостерігались адаптаційні компенсаторні зміни у кардіо-респіраторній системі, що проявлялось у зниженні реактивності її показників на гіперкапнічний та гіпоксичний стимули.

Література

1. Агаджанян Н.А. Гипоксические, гипокапнические и гипероксические состояния / Н.А. Агаджанян, А.Я. Чижов. - М.: Медицина, 2003. - 128 с.
2. Буков Ю.А. Работоспособность в условиях измененной газовой среды. Кислород, азот, гелий, CO₂ / Ю.А. Буков, Н.П. Красников. - Симферополь: КМИ, 1998. - 212 с.
3. Кривошеков С.Г. Индивидуальные особенности внешнего дыхания при прерывистой нормобарической гипоксии / С.Г. Кривошеков, Г.М. Диверт, В.Э. Диверт // Физиология человека. - 2006, - Т.32, №3. - С. 62-69.
4. Миняева А.В. Зависимость реакций абдоминального и торакального компонентов дыхания на прогрессирующую гиперкапнию от позы / А.В. Миняева // Пути оптимизации функции дыхания при нагрузках, в патологии и в экстремальных состояниях: [сб. науч. трудов]. - Тверь: Изд-во Тверского ун-та, 1995. - С. 50-62.
5. Повышение сопротивляемости организма к различным экстремальным факторам с помощью нормобарической гипоксической стимуляции / Стрелков Р.Б., Бельх А.Г., Караш Ю.М. [и др.] // Вести. АМН СССР. - 1988. - № 5. - С. 77-82.
6. Ровна О.О. Механізми адаптації кардіо-респіраторної системи у спортсменок синхронного плавання до умов нормобаричної гіпоксії / О.О. Ровна // Вісник Черкаського університету. Серія Біологічні науки. Вип 156. - Черкаси. - 2009. - С.94-99.
7. Сафонов В.А. Нервная регуляция дыхания / В.А. Сафонов, Н.Н. Тарасова // Физиология человека. - 2006. - Т. 32, № 4. - С. 64-76.
8. Сонькин В.Д. Физическая работоспособность и энергообеспечение мышечной функции в постнатальном онтогенезе человека / В.Д. Сонькин // Физиология человека. - 2007. - Т. 33, № 3. - С. 81-99.

Аннотация. *Ровная О.А., Ильин В.Н. Влияние гипоксической гиперкапнии на систему внешнего дыхания спортсменок синхронного плавания. Измеряли параметры системы внешнего дыхания на 13 спортсменках синхронного плавания возрастом 17-20 лет при 10 сеансах возвратного дыхания, которые проводились через день. Регистрировали дыхательный объем, минутный объем и частоту дыхания, концентрацию углекислого газа и кислорода в конце выдоха, рассчитывали коэффициент использования кислорода. При первом сеансе возвратного дыхания у спортсменок постоянно увеличивалась вентиляция легких за счет увеличения частоты дыхательных движений при некотором снижении дыхательного объема. Стимулятором этого было повышение концентрации углекислого газа в конце выдоха. При повторных проведениях пробы возвратного дыхания к шестому сеансу наблюдается скачкообразные изменения ее длительности, а затем постепенное увеличение до 10 сеанса. После 10 сеансов обратного дыхания наблюдались адаптационные компенсаторные изменения в кардио-респираторной системе, что проявлялось в снижении реактивности ее показателей на гиперкапнический и гипоксический стимулы. Показано, что приспособление к гиперкапнической гипоксии происходит за счет более эффективного использования кислорода, снижения чувствительности каротидного синуса и дыхательного центра к повышению концентрации углекислого газа.*

Ключевые слова: гипоксия, гиперкапния, дыхание, спортсменки

Summary. *Rovnaya O., Ilyin V. Influence of the hypoxia of hypercapnia is on system of external breathing of sportswomen of synchronous swimming. Measured the parameters of the system of the external breathing on 13 sportswomen of the synchronous swimming age 17-20 years at 10 sessions of the specific experimental breathing, which was conducted through a day. Registered a respiratory volume, minute volume and breathing frequency, concentration of carbon dioxide and oxygen at the end of exhalation, expected the coefficient of the use of oxygen. At the first session of the specific experimental breathing for sportswomen constantly ventilation of lungs increased due to the increase of frequency of respiratory motions at some decline of respiratory volume. Stimulation of it was an increase of concentration of carbon dioxide at the end of exhalation. At the repeated realizations of test of the specific experimental breathing to the sixth session it is observed saltatory changes of her duration, and then gradual increase a to 10 session. After 10 sessions of the reverse breathing there were adaptation scray changes in the cardiorespiratory system, that showed up in the decline of reactivity of her indexes on hypercapnia and hypoxia stimulations. It is shown that adaptation to the hypercapnia hypoxia takes place due to more effective use of oxygen, decline of sensitiveness of carotide and respiratory center to the increase of concentration of carbon dioxide.*

Key words: hypoxia, hypercapnia, breathing, sportswomen

**Харківська державна академія фізичної культури
Національний університет фізичного виховання і спорту України**

Одержано редакцією 6.12.2012
Прийнято до публікації 9.01.2013