

МЕХАНІЗМИ ФОРМУВАННЯ АДАПТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ ПІД ЧАС ЗАСТОСУВАННЯ ПРИСТРОЇВ ДОДАТКОВОЇ СТИМУЛЯЦІЇ СИСТЕМИ ДИХАННЯ СПОРТСМЕНІВ

Руслан Кропта¹, Ірина Грузевич², Олександр Жирнов¹

¹Державний науково-дослідний інститут фізичної культури і спорту

²Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського

Анотація. Руслан Кропта, Ірина Грузевич, Олександр Жирнов. Механізми формування адаптаційних ефектів під час застосування пристроїв додаткової стимуляції системи дихання спортсменів // Актуальні проблеми фізичної культури і спорту. – 2019. – № 40 (1). – С. 12 - 17. *Мета* дослідження – визначити особливості адаптації спортсменів при застосуванні пристрою додаткової стимуляції системи дихання. *Методи:* ергометрія, спірометрія, аналіз газового складу повітря, що видихується. *Результати.* Встановлено основні функціональні ефекти використання пристроїв стимуляції системи дихання в стані спокою та в умовах аеробного фізичного навантаження: рання активація експіраторних м'язів, зменшення градієнтів концентрації O₂ і CO₂ за рахунок створення відмінної від атмосферної газової суміші у додатковому мертвому просторі.

Ключові слова: адаптація, спортсмени, засоби стимуляції системи дихання, функціональні ефекти.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

На всіх етапах багаторічної підготовки спортсменів для підвищення спортивних результатів передбачається виконання фізичної роботи великого обсягу і інтенсивності, що вимагає максимальної мобілізації функціональних резервів організму [1-2, 5]. Практика спортивного тренування вимагає постійного пошуку, розробки й обґрунтування нових ергогенних засобів спортивного тренування, які одночасно підсилюють вплив фізичних вправ та покращують адаптацію спортсменів до вправ високої інтенсивності [3, 6, 8].

У наукових публікаціях останніх років певну увагу приділяють впровадженню в тренувальний процес спортсменів широкого кола засобів впливу на дихальну систему: штучна гіпоксія і гіперкапнія, дихання через додатковий мертвий простір, дихання при підвищеному резистивному і еластичному опорі, довільна гіповентиляція тощо. Фахівці вказують [1, 5, 8, 11], що залучення ефективних сучасних та науково обґрунтованих засобів може дозволити значно підвищити ефективність фізичних вправ без збільшення обсягів тренувальної роботи у видах спорту, що потребують прояву витривалості [2, 12].

Для практичної діяльності, особливе значення мають пристрої додаткової стимуляції системи дихання (надалі – ПДССД): дихальні трубки для плавання, дихальні маски для бігу, занять однокористувачами та інші [6, 8, 9]. Головний механізм впливу подібних пристроїв обґрунтовано регуляцією механічного опору повітряного потоку, низькочастотною вібрацією потоку повітря, що видихається, а також можливістю їх використання під час фізичних навантажень як додаткового регулятора навантаження [5, 10]. Разом з тим, обсяг інформації щодо фізіологічної складової використання ПДССД в умовах тренувальної і змагальної діяльності спортсменів досить обмежений. В більшості наукових публікацій представлено лише педагогічну складову – режим застосування і ефективність процесу спортивного тренування, обґрунтовані результатами педагогічних експериментів [4, 7-10]. Важливість проблеми застосування ПДССД, необхідність визначення фізіологічних механізмів їх впливу на організм в умовах тренування стали підґрунтям для дослідження, результати якого є змістом цієї публікації.

Зв'язок із науковими програмами або практичними завданнями

Дослідження проведено в межах наукових тем 2015-3 «Удосконалення оцінки резервних можливостей спортсменів» (номер держреєстрації – 0115U000904) та 2015-2 «Використання ергогенних факторів в практиці підготовки кваліфікованих спортсменів» (номер держреєстрації – 0115U000902).

Мета дослідження – визначити особливості адаптації спортсменів під час застосування пристрою додаткової стимуляції системи дихання.

Методи й організація дослідження

У дослідженні взяли участь 12 спортсменів, що спеціалізуються у плаванні, віком 19 - 21 рік.

Дослідження особливостей адаптації проводили у стані спокою (сидячи) та в умовах фізичного навантаження (ручна велоергометрія; тест PWC-170). Реєстрацію показників зовнішнього дихання,

газового складу повітря, що видихується, та кровообігу здійснювали за допомогою пристрою «JEAGER Oхусон Mobile» (Німеччина).

Вимірювання показників дихання, кровообігу та газообміну у стані спокою здійснювали за схемою: 10 хв. – довільне дихання через маску аналізатора; 20 хв. – довільне дихання через маску аналізатора з приєднаним ПДССД (на цьому етапі газовий склад повітря, що видихується, почергово вимірювали безпосередньо біля маски аналізатора та на вихідному кінці ПДССД); 10 хв. – довільне дихання через маску аналізатора.

Вимірювання показників дихання, кровообігу та газообміну в умовах фізичного навантаження в тесті PWC-170 здійснювали за схемою: 5 хв. педалювання потужністю 1 Вт·кг⁻¹, темп – довільний; 4 хв. педалювання потужністю, що було підбрано за результатами першого навантаження і становила в середньому 1,5 Вт·кг⁻¹, темп довільний. Тест виконували двічі, вперше з диханням в маску аналізатора, вдруге – в маску аналізатора з приєднаним ПДССД. Час відведений на відновлення між тестами склав 60 хвилин.

Результати дослідження та їх обговорення

Дослідження показників кардіореспіраторної системи спортсменів в стані спокою та з додатковим навантаженням з боку ПДССД дає змогу стверджувати, що дихання через ПДССД формує газовий склад повітря, який вдихає спортсмен, відмінний від звичайного атмосферного повітря: $F_I O_2$ зменшується на 2,08 %, а $F_I CO_2$ збільшується на 2,1 % (Табл. 1). Причиною таких змін є додатковий мертвий простір, в якому при низькій швидкості руху повітря в стані відносного спокою (поза – сидячи, температура повітря близько 26 °С, дихання довільне) формується газовий склад від'ємний від атмосферного. Тому використання ПДССД вже у стані відносного спокою формує умови для додаткової стимуляції дихального центру.

Зменшення градієнтів концентрації, що зумовлено додатковим мертвим простором, має вплив на легеневу вентиляцію за рахунок збільшення активності дихальних м'язів (табл. 2). Так, протягом 10 хвилин дихання із застосуванням ПДССД частота дихання збільшується переважно за рахунок підвищення сили скорочення інспіраторних м'язів, про що свідчить зменшення часу вдиху і збільшення тривалості видиху. Після 10-ї хвилини дихання вже обидва показники тривалості фаз дихання зменшуються, тобто активність експіраторних м'язів також починає зростати. Фактично це є свідченням того, що дихання із застосування ПДССД в стані відносного спокою поступово посилює активність інспіраторних м'язів та активує експіраторні для забезпечення відносно форсованого дихання і підвищення вентиляції легень – фізіологічних реакцій, не притаманних стану відносного спокою.

Тест PWC-170 дав змогу встановити особливості впливу використання ПДССД під час фізичних навантажень переважно аеробного характеру (табл. 3). Порівняння даних реакції кардіореспіраторної системи спортсменів в умовах фізичного навантаження, як і в стані спокою, вказує на створення додаткового напруження з боку ПДССД як на систему зовнішнього дихання, так і на газообмін і ефективність транспорту кисню.

Таблиця 1. Вміст та парціальний тиск респіраторних газів у повітрі, що видихується, при довільному диханні в стані відносного спокою ($\bar{x} \pm \sigma$)

Вміст газу (парціальний тиск газу)	Довільне дихання в стані відносного спокою	Довільне дихання через ПДССД	
		біля маски аналізатора	на вихідному кінці ПДССД
$F_I O_2$	20,76 ± 0,06	18,68 ± 0,06	20,81 ± 0,02
$F_I CO_2$	0,20 ± 0,06	2,30 ± 0,08	0,35 ± 0,02
$F_E O_2 (P_E O_2)$	17,0±0,35 (16,06±0,33)	16,82±0,2 (15,85±0,19)	18,2±0,2 (17,22±0,21)
$F_E CO_2 (P_E CO_2)$	3,63±0,17 (3,42±0,16)	3,97±0,09 (3,74±0,08)	2,42±0,1 (2,28±0,1)
$F_{ET} O_2 (P_{ET} O_2)$	15,7±0,39 (14,79±0,37)	15,6±0,3 (14,76±0,28)	16,3±0,2 (15,42±0,27)
$F_{ET} CO_2 (P_{ET} CO_2)$	4,89±0,18 (4,61±0,17)	4,94±0,14 (4,66±0,13)	4,33±0,13 (4,08±0,12)

Примітки. F_I – концентрація газу у повітрі, що вдихується, %; F_E – концентрація газу у змішано-видихувальній газовій суміші, %; F_{ET} – концентрація газу у кінцево-видихувальній газовій суміші, %; P_E – парціальний тиск газу у змішано-видихувальній газовій суміші, кПа; P_{ET} – парціальний тиск газу у кінцево-видихувальній газовій суміші, кПа.

Таблиця 2. Показники зовнішнього дихання плавців в стані відносного спокою ($\bar{x} \pm \sigma$)

Показник зовнішнього дихання	Довільне дихання в стані відносного спокою	Довільне дихання через ПДССД	
		на 10-й хвилині	на 20-й хвилині
V_T , л	0,90 ± 0,12	1,02 ± 0,09	0,92 ± 0,08
\dot{f} , 1·хв ⁻¹	13,2 ± 1,42	13,93 ± 1,24	16,34 ± 1,04
\dot{V}_E , л·хв ⁻¹	11,79 ± 2,99	14,21 ± 0,42	14,56 ± 1,16
$t_{(E/I)}$, с	4,79 ± 0,45	4,55 ± 0,46	3,74 ± 0,46
t_E , с	2,39 ± 0,2	2,45 ± 0,23	2,06 ± 0,15
t_I , с	2,40 ± 0,19	2,10 ± 0,2	1,68 ± 0,18

Примітки. V_T – дихальний обсяг; \dot{f} - частота дихання; \dot{V}_E - легенева вентиляція; $t_{(E/I)}$ - час дихального циклу; t_E - час видиху; t_I - час вдиху.

Таблиця 3. Функціональні показники дихання, кровообігу та газообміну у плавців в умовах аеробного фізичного навантаження ($\bar{x} \pm \sigma$)

Показник	Ручне педалювання, P/m=1 Вт·кг ⁻¹ ; SR= 53-54 1·хв ⁻¹		Ручне педалювання, P/m=1,5 Вт·кг ⁻¹ ; SR= 62-63 1·хв ⁻¹	
	Довільне дихання	Довільне дихання через ПДССД	Довільне дихання	Довільне дихання через ПДССД
V_T , л	1,47 ± 0,25	1,48 ± 0,16	1,71 ± 0,23	1,67 ± 0,22
f , 1·хв ⁻¹	23,45 ± 2,7	26,23 ± 2,77	33,47 ± 5,53	33,75 ± 5,64
\dot{V}_E , л·хв ⁻¹	34,23 ± 7,97	38,70 ± 7,74	57,91 ± 16,9	57,03 ± 16,31
$t_{(E/I)}$, с	2,62 ± 0,31	2,34 ± 0,26	1,87 ± 0,4	1,83 ± 0,35
t_E , с	1,39 ± 0,11	1,25 ± 0,11	0,98 ± 0,22	0,95 ± 0,19
t_I , с	1,24 ± 0,12	1,08 ± 0,11	0,88 ± 0,19	0,88 ± 0,16
\dot{V}_{O_2} , л·хв ⁻¹	1327,7 ± 177,7	1518,78 ± 286,24	1839,2 ± 244,16	1988,5 ± 551,0
\dot{V}_{O_2} / m мл·хв ⁻¹ ·кг ⁻¹	15,64 ± 2,07	18,1 ± 3,43	21,84 ± 2,68	23,67 ± 4,27
\dot{V}_{CO_2} , л·хв ⁻¹	1188,4 ± 282,46	1302,65 ± 375,7	1771,41 ± 451,8	1861,03 ± 432,92
RQ , у.о.	0,89 ± 0,11	0,84 ± 0,11	0,95 ± 0,14	0,92 ± 0,14
HR , 1·хв ⁻¹	127,2 ± 9,2	136,53 ± 8,99	159,72 ± 13,1	161,4 ± 14,8
\dot{V}_{O_2} / HR мл·1 ⁻¹ ·хв ⁻¹	10,41 ± 0,82	11,13 ± 1,58	11,51 ± 0,53	12,53 ± 1,17
SpO_2 , %	91,2 ± 3,09	97,48 ± 0,43	92,92 ± 5,8	89,53 ± 1,2

Примітка. \dot{V}_{O_2} - споживання O₂; \dot{V}_{O_2} / m – споживання O₂ на 1 кг маси тіла; \dot{V}_{CO_2} – виділення CO₂; RQ – дихальний коефіцієнт; HR – частота серцевих скорочень; \dot{V}_{O_2} / HR – кисневий пульс; SpO_2 – насичення крові O₂.

Як і в стані відносного спокою, під час навантаження потужністю 1 Вт·кг⁻¹ з використанням ПДССД спостерігається збільшена \dot{V}_E за рахунок підвищеної частоти дихання, зменшується час дихального циклу, особливо за рахунок підвищення швидкості видиху (Див. табл. 3). Створена таким чином додаткова напруга на дихальні м'язи відображається і на показниках газообміну, які також є збільшеними порівняно з педалюванням без використання ПДССД.

При зростанні потужності роботи до 1,5 Вт·кг⁻¹, різницю у показниках зовнішнього дихання під час застосування ПДССД, порівняно з його відсутністю не спостерігали, в той час як показники газообміну та кровообігу є збільшеними (Рис. 1).

Це може бути свідченням того, що використання ПДССД в умовах аеробного навантаження не є фактором обмеження газового потоку і стимуляції зовнішнього дихання. Форсоване дихання в

умовах аеробного фізичного навантаження створює таку швидкість руху повітря, що видихується, яка нівелює вплив додаткового мертвого простору на утворення відмінної від атмосфери газової суміші, що вдихає спортсмен. Тому підвищений рівень споживання кисню пов'язаний із збільшенням м'язових зусиль і кисневого запиту як від скелетних, так і від дихальних м'язів.

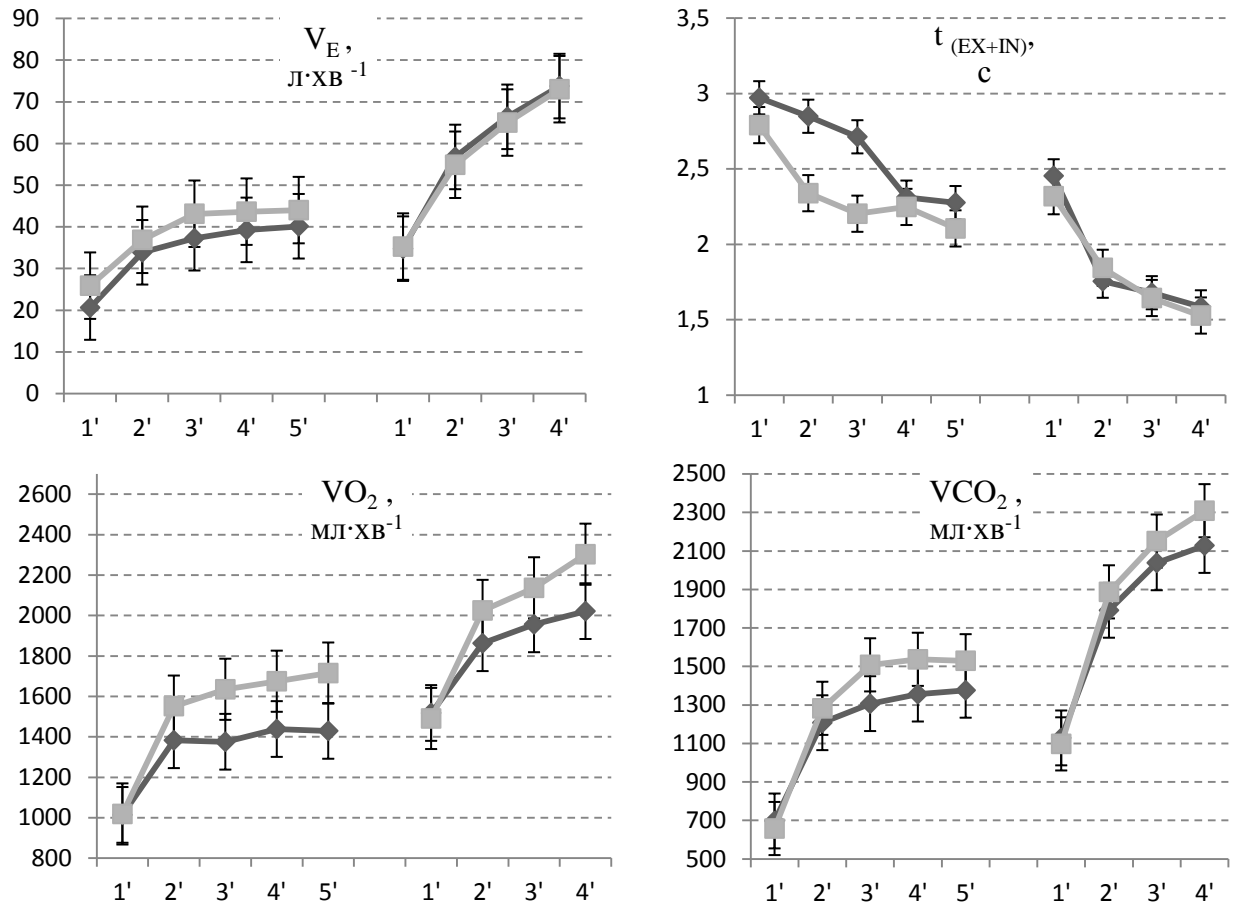


Рис. 1. Вентиляція легень (\dot{V}_E), час дихального циклу ($t_{(EX+IN)}$), споживання кисню ($\dot{V}O_2$) і виділення вуглекислого газу ($\dot{V}CO_2$) під час виконання тесту PWC-170:

Наведено середні дані двох навантажень тривалістю 5 хв. (1'-5') і 4 хв. (1'-4'). Темними смугами позначено динаміку показників під час виконання тесту без застосування ПДССД; світлими смугами – під час застосування ПДССД.

Викладене вище підтверджується динамікою вентиляційних еквівалентів за O_2 ($\dot{V}_E / \dot{V}O_2$) та за CO_2 ($\dot{V}_E / \dot{V}CO_2$), які відображають ефективність вентиляції легень відносно транспорту респіраторних газів. Відсутність різниці у показниках вентиляційних еквівалентів в умовах навантаження потужністю $1 \text{ Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$ під час застосування ПДССД, порівняно з його відсутністю, вказують на те, що в суто аеробних умовах, як і в стані відносного спокою, координація зовнішнього дихання відносно потреб газообміну відбувається достатньо ефективно, не заважаючи на додатковий опір диханню та зміни газового складу повітря, що вдихається. При підвищенні потужності роботи до $1,5 \text{ Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$, під час дихання через ПДВСД, вентиляційні еквіваленти зменшуються. Так, при однакових показниках \dot{V}_E на рівні близько $57 \pm 16 \text{ л} \cdot \text{хв}^{-1}$, $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$ становив $29,71 \pm 5,7$ у.о. під час дихання без ПДВСД та зменшився $27,43 \pm 3,35$ у.о. під час його застосування, що пов'язано зі збільшенням рівня споживання кисню. Різницю в динаміці показника $\dot{V}_E / \dot{V}CO_2$ не спостерігали на всіх стадіях тесту. Припускаємо, що в умовах навантаження із збільшенням частки анаеробного енергозабезпечення (з потужністю вище анаеробного порого), поява нереспіраторного CO_2 та підвищений запит O_2 приведуть до більш активної реакції системи дихання на застосування ПДССД.

Важливим функціональним ефектом, що спостерігався в умовах фізичного навантаження із застосуванням ПДССД, є збільшення показника хвилинного об'єму крові ($\dot{Q}tc$) за рахунок

достовірною збільшення показника ударного об'єму (SV_C) при відсутності суттєвої різниці у HR спортсменів (Рис. 2). Так, \dot{Q}_{tc} під час педалювання потужністю $1 \text{ Вт}\cdot\text{кг}^{-1}$ при використанні ПДССД становив $12,02 \pm 1,3 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}$ (без застосування ПДССД – $9,91 \pm 0,7 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}$) а при утриманні потужності $1,5 \text{ Вт}\cdot\text{кг}^{-1}$ – $13,47 \pm 1,2 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}$ (без застосування ПДССД – $12,24 \pm 0,64 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}$). Враховуючи отримані дані, можемо стверджувати, що підвищення SV_C стало основним компенсаторним механізмом забезпечення підвищеного кисневого запиту при ідентичній реакції зовнішнього дихання на застосування ПДССД, порівняно з виконанням тестового навантаження без його застосування.

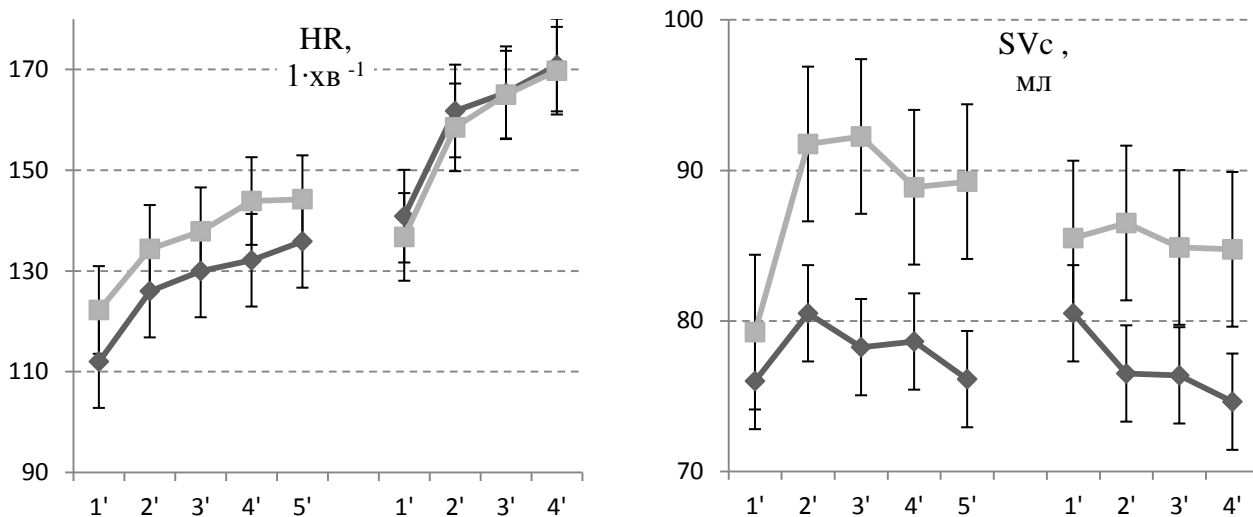


Рис. 2. Частота серцевих скорочень (HR) та ударний об'єм крові (SV_C) під час виконання тесту PWC-170:

Наведено середні дані двох навантажень тривалістю 5 хв. (1'-5') і 4 хв. (1'-4'). Темними смугами позначено динаміку показників при виконанні тесту без застосування ПДССД; світлими смугами – під час застосування ПДССД.

Висновки

1. Використання пристроїв додаткової стимуляції системи дихання як у стані відносного спокою, так і в умовах циклічного навантаження аеробного характеру є впливовим додатковим фактором підвищення можливостей кардіореспіраторної системи спортсменів.
2. Основні функціональні ефекти використання додаткової стимуляції системи дихання в стані спокою – рання активація експіраторних м'язів, зменшення градієнтів концентрації O_2 і CO_2 за рахунок створення відмінної від атмосферної газової суміші у додатковому мертвому просторі.
3. Відмічається накопичувальний ефект впливу використання пристроїв додаткової стимуляції системи дихання: перші прояви впливу спостерігаються після 10 хв. застосування і мають тенденцію до збільшення впливу в подальшому. В умовах аеробного навантаження низької інтенсивності ($1 \text{ Вт}\cdot\text{кг}^{-1}$) функціональні ефекти, притаманні стану спокою, стають більш вираженими.
4. Використання пристроїв додаткової стимуляції системи дихання в умовах аеробного навантаження середньої інтенсивності ($1,5 \text{ Вт}\cdot\text{кг}^{-1}$) викликає більшу напругу на кардіореспіраторну систему спортсменів порівняно з роботою без ПДССД, що компенсується за рахунок збільшення ударного обсягу крові.
5. Перспективою подальших досліджень є визначення впливу додаткової стимуляції системи дихання на діяльність кардіореспіраторної системи спортсменів в умовах аеробно-анаеробного переходу та при анаеробних фізичних навантаженнях.

Література

1. Кузьміна Л. М. Формування індивідуальної стійкості спортсменів до гіпоксії навантаження на етапі спеціалізованої базової підготовки [Текст]: автореф. дис... канд. фіз. вих.: 24.00.01 / НУФВСУ. – К., 2012. – 25 с.
2. Приймаков А.А. Системные взаимодействия компонентов структуры функциональных возможностей гребцов на заключительных этапах многолетнего спортивного совершенствования / А.А. Приймаков, Р.В. Кропта // Наука в олимпийском спорте. – № 1. – 2003. – С. 92-98.

3. Gething AD, Williams M and Davies B. (2004). "Inspiratory resistive loading improves cycling capacity: a placebo controlled trial", *Br J Sports Med*, no. 38, pp. 730–736. doi:10.1136/bjism.2003.007518
4. Harms CA, Wetter TJ, St Croix CM, et al. (1998). "Increased power output at VO₂max with respiratory unloading". *Med Sci Sports Exerc*, no. 30, pp. 41.
5. Hruzevych I., Bohuslavskaya V., Kropta R., Galan Y, Nakonechnyi I. and Pityn M. (2017). "The effectiveness of the endogenous-hypoxic breathing in the physical training of skilled swimmers", *J Physical Education and Sport*, no. 17(3), pp. 1009-1016, doi:10.7752/jpes.2017.s3155.
6. McConnell AK and Lomax M. (2006). "The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue", *J Physiol*, no. 577, pp.45–57.
7. McConnell AK and Romer LM. (2004). "Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy", *Int J Sports Med*, no. 25, pp. 84–93.
8. McConnell AK. (2009) "Respiratory muscle training as an ergogenic aid", *J Exerc Sci Fit*, no. 7(2), pp. 18–27.
9. Sheel A.W. (2002). "Respiratory muscle training in healthy individuals: physiological rationale and implications for exercise performance", *Sports Med*, no. 32 pp. 67–81.
10. Taylor BJ, How SC and Romer LM. (2006). "Exercise-induced abdominal muscle fatigue in healthy humans", *J Appl Physiol*, no. 100, pp. 54–62.
11. Witt JD, Guenette JA, Rupert JL, McKenzie DC and Sheel AW (2007). "Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex" *J Physiol*, no. 584:1019–28.
12. Wylegala J.A., Pendergast D.R., Gosselin L.E., Warkander D.E, and Lundgren C.E. (2007). "Respiratory muscle training improves swimming endurance in divers". *Eur J Appl Physiol* no. 99:393–404.

Abstract. *Ruslan Kropta, Irina Gruzevich, Alexander Zhirnov.* Mechanisms of formation of adaptation effects at use of devices of additional stimulation of system of breathing of athletes // Contemporary problems of physical culture and sports. – 2019. – № 40 (1). – P. 12 – 17. The purpose of the study - to determine the features of adaptation of athletes when using the device additional stimulation of the respiratory system. Methods: ergometry, spirometry, exhaled gas composition. Results. The basic functional effects of the use of stimulation devices of the respiratory system at rest and under aerobic physical activity: early activation of expiratory muscles, reduction of concentration gradients of O₂ and CO₂ by creating a different from the atmospheric gas mixture in additional dead space.

Keywords: adaptation, athletes, respiratory stimuli, functional effects.

Аннотация. *Руслан Кропта, Ирина Грузевич, Александр Жирнов.* Механизмы формирования адаптационных эффектов при применении устройств дополнительной стимуляции системы дыхания спортсменов // Актуальные проблемы физической культуры и спорта. – 2019. – № 40 (1). – С. 12 - 17. Цель исследования – определить особенности адаптации спортсменов при применении устройства дополнительной стимуляции системы дыхания. Методы: эргометрия, спирометрия, анализ газового состава выдыхаемого воздуха. Результаты. Установлены основные функциональные эффекты использования устройств стимуляции системы дыхания в состоянии покоя и в условиях аэробной физической нагрузки: ранняя активация экспираторных мышц, уменьшение градиентов концентрации O₂ и CO₂ за счет создания отличной от атмосферного воздуха газовой смеси в дополнительном мертвом пространстве.

Ключевые слова: адаптация, спортсмены, средства стимуляции дыхательной, функциональные эффекты.

Статтю отримано до публікації: серпень 2019.

Статтю прийнято до публікації: листопад 2019.