

Регуляція зовнішнього дихання людини як біомеханічна основа підвищення рівня фізіологічних резервів кардіореспіраторної діяльності

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника (м. Івано-Франківськ)

Постановка наукової проблеми. Свідома регуляція дихання виражається у здатності людини довільно змінювати темп, ритм та амплітуду дихальних рухів [1; 4]. Вентиляція легенів, з одного боку, забезпечується свідомим скороченням дихальних м'язів, а з іншого – є автономною (вегетативною) функцією. Тому регуляція дихальних рухів може здійснюватися в широких межах, але разом із тим вона жорстко обмежена вимогами, які зумовлюють необхідність підтримки гомеостазу [2]. Існує повна залежність систем, які забезпечують транспорт кисню, від зміни характеру метаболізму, рівня активності дихальних ферментів та інших чинників, які в сукупності забезпечують певний рівень споживання кисню [8; 10].

Разом із тим будь-яка свідомо рухова діяльність, що відрізняється цілеспрямованістю, точністю й тонкістю виконання, властива тільки людині та підкоряється вимогам психоемоційної сфери. При цьому здатність людини довільно управляти диханням еволюційно пов'язана з розвитком мови [7; 9; 10].

У регуляції дихання значна частка належить передньому мозку, особливо нервовим центрам у корі головного мозку, що безпосередньо управляють руховою сферою, частиною якої є дихальні м'язи. Із них немовби перекидається “фізіологічний місток” між свідомо керованими скелетними м'язами й не підвладними волі вегетативними процесами [1; 2].

Здатність довільно управляти легеневою вентиляцією дає змогу людині суттєво доповнити “мимовільні” рефлекторно-гуморальні механізми, які контролюють функцію дихання [3].

На основі регуляції дихання широко застосовують різні режими регуляції рівня вентиляції легенів для підвищення фізичної працездатності та загальної витривалості, оскільки існує тісний взаємозв'язок між дихальною й серцево-судинною системами, який здійснюється на різних рівнях цих систем: від рецепторних полів до дихального та судиннорухового ядер довгастого мозку й коркових центрів рухового аналізатора.

Мета роботи – вивчити вплив гіпоксичного тренування на підвищення резервів кардіореспіраторної системи.

Методи та організація дослідження. Вивчали вплив довільного оптимального зменшення (ДОЗ) хвилинного об'єму дихання (ХОД) на показники кардіореспіраторної діяльності. Враховуючи особливості цілого комплексу природно-географічних умов Прикарпаття, що лежить на висоті 800 м над рівнем моря, ми припустили, що в ліцеїстів, які постійно проживають у цих умовах і мають порівняно невисокий резерв адаптаційних можливостей, при ДОЗ легеневої вентиляції можна досягти підвищення рівня їх фізичної працездатності. Це питання викликає великий інтерес у спеціалістів різних наукових галузей, зокрема спортивної науки.

Кероване управління диханням, як відомо, виражається в здатності людини свідомо змінювати величину вентиляції легенів. В умовах нашого експерименту ліцеїсти збільшували тривалість вдиху (до 7–10 с) методом вдихання повітря “тонким струменем”. Вдих проводився так, щоб у момент закінчення зберігалася можливість його продовження. Наступний, за довільним вдихом, видих був звичайним, мимовільним. Свідомо збільшуючи час вдиху, зосереджували увагу на зменшенні його секундних дихальних об'ємів без збільшення дихальних рухів грудної клітки. Вдих і видих здійснюється через ніс повільно, безшумно та плавно (без форсажу).

Удосконалення ДОЗ дихання в спокої здійснювалося за систематичного щоденного тренування, яке сприяє розвитку вміння досягти значного зменшення ХОД до 2–2,5 л/хв без порушення метаболічних потреб організму.

У процесі ДОЗ ХОД реєстрували ЕКГ у 2-му стандартному відведенні й проводили запис спірограми.

Експеримент проводився в юнаків 14–16 років ліцею № 2 м. Івано-Франківська. За методикою ДОЗ ХОД ліцеїсти тренувалися самостійно (тричі на день по 10 хв). У домашніх умовах тренування

проводилося з обов'язковою фіксацією ЖСЛ на портативному спірографі. Під час тренування зусиллям волі потрібно було концентрувати всю свою увагу на дихальних м'язах, які працюють.

Дослідження були проведені до й після тренування, під час звичайного дихання у спокої та під час виконання легкого фізичного навантаження (стрибки із 30-сантиметрової тумби вгору-вниз і підняття 10-кілограмової гантелі двома руками – по 5–7 хв). Реєстрували частоту дихання, ЧСС і спірограму в стані спокою, а також при ДОЗХОД (чотири дихальні рухи за 1 хв).

Результати дослідження та їх обговорення. ДОЗ ХОД складається головним чином із подовженої фази вдиху, що і є результатом вольових зусиль, спрямованих на зміну природного ритму й перехід на заздалегідь намічений певний ритм дихання, а саме 4 рази/хв замість 14–16 разів/хв при нормальному ритмі.

У звичайних умовах частота дихання в середньому складала 15 разів/хв, ХОД – 9300 мл. Якщо вважати, що об'єм “мертвого” простору здорової людини становить приблизно 150 мл, то цей об'єм за 1 хв становитиме 2250 мл, тобто за цей час тільки 7050 мл (75,8 %) безпосередньо братиме участь у газообміні.

Те ж саме спостерігалось при ДОЗ легеневої вентиляції (4 рази/хв) із тією лише різницею, що при цьому об'єм “мертвого” простору був набагато менший (600 мл). У результаті помітно (до 92,8 %) збільшується кількість повітря, що бере участь в газообміні. Ці дані послужили контрольними для порівняння з даними під час виконання невеликої фізичної роботи. При цьому частота дихання становила 26 разів/хв, ХОД – 17 400 мл, а при довільному зменшенні дихання (до 4 разів/хв) ХОД становив 16 600 мл.

Указані вище дані, зафіксовані в ліцеїстів і в спокійному стані, і під час фізичного навантаження, у свою чергу, слугували контрольними для подальших дослідів, проведених після двомісячного тренування тих же ліцеїстів.

Під час тренування ДОЗ ХОД відбувається формування системного структурно-функціонального сліду адаптації, що створює передумову для посилення резервів киснево-транспортної системи.

Після запропонованого тренування спостерігалися деякі зрушення в показниках зовнішнього дихання. Так, під час спокійного дихання частота зменшувалася до 12 разів/хв, ХОД зменшувався до 7600 мл, а при ДОЗ до 4 разів/хв ХОД становив 6900 мл. Під час фізичного навантаження тієї ж інтенсивності наприкінці експерименту частота дихання становила 22 рази/хв, а ХОД – 11 900 мл. У цих же юнаків під час довільного зменшення частоти дихання до 4 разів/хв ХОД становив 11 100 мл.

Зважаючи на те, що ДОЗ легеневої вентиляції та економізація зовнішнього дихання суттєво змінює й центральні механізми регуляції дихання, і серцево-судинної системи, паралельно зі спірограмою реєстрували ЕКГ. При звичайному диханні із частотою 15 разів/хв ЧСС становила в середньому 75 уд./хв; при ДОЗ ХОД – 77,8 уд./хв, тобто серцевий ритм не зазнає особливих змін. Слід, проте, вказати, що ЧСС у період одного дихального циклу під час довільного зменшення частоти дихання до 4 разів/хв зазнає фазових змін.

Так, при 15-секундній тривалості дихального циклу в перші 5 с вдиху спостерігається виражене підвищення ЧСС до 124,8 % від середньої частоти в період усєї 15-секундної тривалості дихального циклу. В наступні 10 с, навпаки, починається зниження ЧСС до 92,8 %. Прискорення серцевого ритму на початку ДОЗ ХОД можна пояснити підвищенням тону центральних симпатичної нервової системи [6; 10], а розвиток брадикардії у другій фазі ДОЗ ХОД пояснюють, з одного боку, підвищенням внутрішньогрудного тиску, з іншого – впливом гуморальних і рефлекторних факторів із механорецепторів судинних рефлексогенних зон легеневої судин та паренхіми легенів [1; 8].

Слід зазначити, що при цьому мали місце індивідуальні відмінності в спрямованості та інтенсивності змін параметрів ЕКГ.

Після тренування за ДОЗ ХОД встановлено, що воно створює вплив майже на всі параметри зовнішнього дихання. Так, якщо частота дихання в результаті тренування в спокої зазнавала незначних змін (12 разів/хв проти 15 разів/хв), то під час фізичного навантаження вона зменшувалася із 26 до 20 разів/хв. У результаті тренування при ДОЗ вентиляції легенів показник ХОД зменшується на 10,8 % ($P < 0,05$). Це досягається за рахунок підвищення надбульбарної стимуляції дихального центру, пониження його чутливості до зміни газового складу крові, головним чином, до накопичення CO_2 [5; 9; 10].

Результати проведених досліджень показують, що менший приріст ХОД у стані спокою й під час фізичного навантаження підвищує фізичну працездатність за рахунок зменшення її енергетичної вартості. У міру звикання до режиму ДОЗ ХОД формуються тимчасові зв'язки, які обумовлюють оптимізацію відповідей дихального апарату та запобігають зниженню легеневої вентиляції [2].

Після тренування за ДОЗ ХОД були помічені також деякі зрушення в частоті та в амплітудно-частотних параметрах ЕКГ. Так, загалом ЧСС зменшується на 10,2 %, а її початкове 5-секундне підвищення у фазі вдиху значно згладжується і становить тільки 3,1 % ($P > 0,05$). Має місце також деяке збільшення зубця R, подовження інтервалів окремих хвиль ЕКГ.

Отже, виникнення й прогресивне підвищення резерву економічності зовнішнього дихання сприяє позитивним якісним змінам економічності серцевої діяльності. Зіставивши дані за ХОД у звичайних умовах і під час довільного зменшення легеневої вентиляції (4 рази/хв) видно, що об'єм повітря в першому випадку становить 620 мл, тоді як при довільному зменшенні вентиляції легенів – 2075 мл, що приводить до більшого розкриття альвеол і поліпшення газообміну між альвеолярним повітрям та кров'ю. При цьому майже вчетверо скорочується енергія, що витрачається на роботу дихальних м'язів (4 рази/хв проти 15 разів/хв). Відомо, що переміщення повітряного потоку в процесі дихання пов'язане з чималою витратою енергії дихальною мускулатурою. Згідно з теорією “точки рівних тисків” на вдиху доводиться долати еластичний опір легенів і м'яких тканин грудної клітки, еластичний опір органів, що зміщуються під час дихання, внутрішньогрудний та внутрішньочеревний тиск, а також опір трахеобронхіального дерева [2; 3; 7].

Як було вказано вище, при ДОЗ частоти дихання зменшується також хвилинний об'єм “мертвого” простору й, відповідно, збільшується об'єм альвеолярного повітря. Якщо врахувати також зміни метаболізму, що відбуваються на тканинному й молекулярному рівнях, то можна сказати, що при довільній регуляції дихання ефективність економізації зовнішнього дихання організму значно зростає. У другій серії експериментів те ж саме було проведено при легкому фізичному навантаженні. Цьому ми надавали важливого значення, оскільки м'язова діяльність є найбільш сильним природним стимулом для дихання [5; 6]. Як тільки посилюється м'язове навантаження, частішає та поглиблюється дихання. Імпульси, що поступають із сенсомоторної кори до працюючих м'язів, одночасно створюють прямий вплив на дихальний центр через кортико-бульбарні шляхи [1].

Крім того, дихання стимулюється аферентною імпульсацією, що поступає з пропріорецепторів м'язів, які працюють [4; 5; 8].

Було показано, що під час виконання легкої фізичної роботи в умовах спокійного дихання та його ДОЗ різниця в показниках вентиляції легенів незначна. Це засвідчує, що організм у змозі повністю покрити кількість кисню, яка витрачається на виконання цього фізичного навантаження при довільному зменшенні частоти дихання більш ніж у п'ятеро. Цього можна досягти тільки завдяки тісному взаємозв'язку економізуючих факторів і функцій інших систем організму, оскільки він відбувається не тільки на системному, органному, а й на клітинному, субклітинному, молекулярному рівнях [4].

Таким чином, ХОД є індикатором економічності зовнішнього дихання, що управляє, не тільки у спокої, а й під час фізичного навантаження. Менший приріст ХОД під час фізичної роботи підвищує фізичну працездатність завдяки зменшенню її енергетичної вартості. Зниження ХОД у спокої та під час фізичної діяльності – взаємодіюча ланка єдиного процесу підвищення економічності зовнішнього дихання [10].

Регуляція зовнішнього дихання настільки складно інтегрована, що при його довільному зменшенні, крім рефлекторної саморегуляції, пропріорецептори дихальних м'язів створюють рефлекторний вплив на всю локомоторну мускулатуру.

У свою чергу, локомоторна пропріорецепція створює вплив на дихальні м'язи. Так, доведено, що пропріорецептивна імпульсація з м'язів нижньої кінцівки поступає в структури дихального центру. Це означає, що всі ядра та значна частина нейронів дихального центру безпосередньо пов'язані із м'язовою аферентацією [5; 8]. Після двомісячного тренування по ДОЗ легеневої вентиляції на ЕКГ як за частотою, так і за електричною активністю серця спостерігалось поліпшення серцевої діяльності відповідно до рівня економізації зовнішнього дихання. Наприклад, встановлено тісну позитивну кореляцію рівня ХОД із частотою серцевих скорочень (ЧСС), МСК і хвилинним об'ємом крові, тобто з параметрами, що характеризують інтенсивність фізичної роботи. Це дає змогу припустити, що під час виконання фізичної роботи з однією й тією ж потужністю та тривалістю, зменшення ХОД корелює зі зменшенням ЧСС і підвищує економічність серцевої діяльності [10].

В умовах адаптації людини до екстремальних дій під час фізичних тренувань спортсменів та інших видів рухової діяльності також змінюються функції зовнішнього дихання: зменшується ХОД і підвищується коефіцієнт використання кисню. Проте, як показують експериментальні дані, різні форми фізичного тренування без регуляції дихання є недостатньо ефективним способом такої еконо-

мізації. Так, збереження під час нерегульованого дихання меншого, ніж при його свідомій регуляції ступеня зменшення ХОД, очевидно, свідчить про дотримання дихальним центром принципу поступової економізації зовнішнього дихання [7; 10].

Тому для прискорення адаптаційного процесу й тренуваності спортсменів доцільно проведення довільної оптимізації та подальшої автоматизації зовнішнього дихання, спрямованої на дозоване зменшення його інтенсивності. Це пояснюється тим, що дихальні м'язи морфологічно подібні з іншими скелетними м'язами, але при цьому мають і екстерорецептивні, й інтерорецептивні механізми регуляції.

Висновки. При ДОЗ ХОД адаптаційні зміни метаболізму, активності дихальних ферментів, аеробного дихання приводять до нового рівня кисневого забезпечення, отже до значних змін органів і систем, які відповідають за кисне забезпечення організму людини. ДОЗ прискорює процес адаптації, що дає можливість зменшити ХОД і підвищити коефіцієнт використання кисню організмом. При ДОЗ ХОД тривалість фаз дихання збільшується до 10–15 с, що при тривалому тренуванні забезпечує новий ритм роботи та автоматизацію дихального центру. В результаті частота дихання зменшується до 4 разів/хв проти мимовільної – 15 разів/хв. При цьому зменшується ХОД, відповідно й об'єм “мертвого” простору, що також сприяє помітному збільшенню об'єму повітря, яке бере участь у газообміні. Після двомісячного тренування за ДОЗ ХОД у ліцеїстів відбуваються фізіологічні й біохімічні зрушення в зовнішньому та тканинному диханні, що сприяє поліпшенню використання кисню, який входить до ХОД, а також покращення використання енергії в анаеробному режимі.

Після двомісячного тренування ліцеїстів за довільним зменшенням легеневої вентиляції і за частотою, і за електричною активністю серця спостерігається поліпшення серцевої діяльності відповідно до рівня економізації зовнішнього дихання. Так, помітне подовження серцевого циклу в основному за рахунок діастолі (показник поліпшення кровонаповнення серця й збільшення ударного об'єму), збільшення амплітуди зубців R і T, подовження інтервалу Q–T, що свідчить про поліпшення кисневого постачання серцевого м'яза та підвищення його скоротливої здатності.

Оскільки існує багато функціонально загального в локомоторних й інтерорецептивних механізмах регуляції дихання, виявляється синхронний зв'язок соматичних і вегетативних функцій. Звідси практично будь-яка зміна активності управляючих систем, або гомеостатичних, які пов'язані з дією чинників зовнішнього середовища, фізичними або психоемоційними навантаженнями і так далі, відображається в рівні функціонування системи дихання, а у зв'язку з диханням – і системи кровообігу.

Література

1. Бреслав И. С. О соотношении кортикальных и хеморецептивных стимулов в регуляции дыхания человека / И. С. Бреслав, А. Г. Жиронкин, А. М. Шмелева // IX Всесоюз. конф. по проблеме кортико-висцеральной физиологии : сб. ст. – Баку, 2002 – С. 34–35.
2. Бреслав И. С. Произвольное управление дыханием и облигатный уровень легочной вентиляции / И. С. Бреслав, А. Г. Жиронкин, А. М. Шмелева // Физиол. журн. – 2003. – Вып. 9. – С. 34–36.
3. Габдрахманов Р. Ш. Роль медиальной зоны продолговатого мозга в ритмической деятельности нейронных дыхательного центра / Р. Ш. Габдрахманов // Физиол. журн. – 2006. – Вып. 58. – С. 1514–1520.
4. Лоога Р. Ю. О физиологических основах использования вариантов произвольной задержки дыхания в практической медицине / Р. Ю. Лоога // Произвольное управление дыханием человека : материалы науч.-практ. конф. : тез. докл. – СПб. : [б. и.], 2005. – С. 26–27.
5. Сороко С. И. Изменение центральных и вегетативных механизмов регуляции при воздействии экспериментальной высокогорной гипоксии / С. И. Сороко, Т. П. Родкина // Интеграция механизмов регуляции функций : материалы симп. : тез. докл. – Майкоп, 2006. – С. 77–78.
6. Ченегин В. М. Динамика тонуса вегетативной нервной системы при задержке дыхания / В. М. Ченегин, С. М. Полудин, Л. В. Бондарев // Состояние и регуляция вегетативных функций в здоровом организме человека и животных : материалы науч.-практ. конф. : тез. докл. – Владимир, 2005. – С. 28–29.
7. Язловецкий В. С. Изучение степени произвольного управления школьниками некоторыми параметрами дыхания / В. С. Язловецкий, В. А. Гримберг, В. В. Мунтянов // Возрастные особенности физиологических систем детей и подростков. – М. : [б. и.], 2007. – Т. 1. – 200 с.
8. Fitzgerald R. S. Relationships between tidal volume and phrenic nerve activity during hypercapnia and hypoxia / R. S. Fitzgerald // Acta. Neurobiol. Exp. – 2003. – № 2. – P. 419–430.
9. Lin C. J. Tissue oxygen and carbon dioxide partial pressure changes in normal subjects during hyperventilation / C. J. Lin // Chung Hua Nei Ko Tsa Chin. – 2002. – Vol. 22, № 4. – P. 201–203.
10. Magel J. R. Heart rate response to apnea and faceimmersion / J. R. Magel, W. D. McArdle, N. L. Weiss // J. Sports Med. and Phys. Fitness. – 2002. – Vol. 22, № 2. – P. 135–146.

Анотації

У статті показано роль довільної затримки дихання на формування системного структурно-функціонального сліду адаптації, який є основою для підвищення фізіологічних резервів кардіореспіраторної діяльності.

Ключові слова: гіпоксичне тренування, кардіореспіраторна система.

Богдан Мыцкан, Сергей Попель, Роман Файчак. Регуляция внешнего дыхания человека как биомеханическая основа повышения уровня физиологических резервов кардиореспираторной деятельности. В статье показана роль произвольной задержки дыхания на формирование системного структурно-функционального следа адаптации, который является основой для повышения физиологических резервов кардиореспираторной деятельности.

Ключевые слова: гипоксическая тренировка, кардиореспираторная система.

Bogdan Myckan, Sergey Popel', Roman Faychak. The Regulation of the External Breathing of the Man as Biomechanics Basis of Increase of Level of Physiological Backlogs of Cardiorespiratory Activity. In the article the role of arbitrary breath-holding is rotined on forming of system structurally functional track of adaptation, which is basis for the increase of physiology backlogs of cardio-respiratory activity.

Key words: hypoxia training, cardio-respiratory system.