

Закусило М. П., Радзієвський П. О.

ЕФЕКТИВНІСТЬ АДАПТАЦІЇ ДО ГІПОКСІЇ - В ПОКРАЩЕННІ СТАНУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДИХАННЯ І ПІДВИЩЕННІ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ У ВИСОКОКВАЛІФІКОВАНИХ СПОРТСМЕНІВ

У процесі вивчення дії інтегрального гіпоксичного тренування (ІГТ) на організм юних спортсменок встановлено, що воно ефективно замінює тренування в горах і дозволяє значно швидше адаптуватися до низького парціального тиску у вдихуваному повітрі більш простими і доступними засобами.

Підвищена потреба в кисні у спортсменів і спортсменок задовольняється функціональною системою дихання (ФСД), яка, за П. К. Анохіним [1], А. З. Колчинською [2], складається з органів зовнішнього дихання, транспорту газів кров'ю, що забезпечується системою кровообігу і дихальною функцією крові, тканинним диханням.

Організм спортсменів під час напруженої м'язової діяльності перебуває в стані гіпоксії, зумовленої фізичним навантаженням. Тому розробка методів, спрямованих на корекцію гіпоксичних станів, має велике значення для фізіології праці та спорту.

У спортивній практиці для адаптації організму до гіпоксії з часу Олімпійських ігор у Мехіко (1965) почали запроваджувати тренування в умовах зниженого парціального тиску кисню в

повітрі: у горах, барокамерах, пристроях для нормобаричної гіпоксії.

У 1980-ті роки було запропоновано новий метод підвищення загальної резистентності організму шляхом використання гіпоксичних газових сумішей [4]. З 1992 р. в КДІФК під керівництвом А. З. Колчинської запроваджено нормобаричне інтегральне гіпоксичне тренування (ІГТ) [3].

Дослідження дії ІГТ на функціональний стан, загальну і спеціальну працездатність спортсменів [3] переконують в ефективності адитивної дії ІГТ і спортивного тренування. Однак і дотепер докладно не вивчені фізіологічні механізми, що лежать в основі адаптації до гіпоксії. Також не вивчався вплив штучної гіпоксії на спортсменок підліткового віку, організм яких особливо чут-

ливий до гіпоксії внаслідок активізації процесу статевого дозрівання, зокрема, становлення менструальної функції.

Мета роботи

Виявити основні механізми підвищення аеробної продуктивності при адаптації до гіпоксії в курсі інтервального гіпоксичного тренування в спортсменок високої кваліфікації.

Організація і методи дослідження

Було обстежено 2 групи дівчат-спортсменок. До першої групи увійшли спортсменки з нормальною менструальною функцією (28 чол.) високої спортивної кваліфікації (КМС і МС). Середній вік дівчат - 16 ± 1 рік, зріст 174 ± 6 см, маса - 65 ± 5 кг, спортивний стаж - 8 ± 3 роки. Друга група (19 чол.) складалась із дівчат, середній вік яких - 16 ± 1 рік, зріст - 175 ± 7 см, маса - 65 ± 5 кг. Перша група одержувала курс ІГТ, друга була контрольною. Обидві групи обстежуваних спеціалізувалися в спортивних іграх (волейбол).

Курс ІГТ для спортсменок складався з 24 щоденних сеансів, крім неділь, після сніданку перед денним тренуванням. Кожний сеанс ІГТ - це 5 п'ятихвилинних серій вдихання гіпоксичних сумішей з 11 % кисню (з 1 по 8 сеанс), 10,5 % кисню (з 9 по 18 сеанс), 10 % кисню (з 19 по 24 сеанс), що чергуються з п'ятихвилинними нормоксичними інтервалами.

Для вирішення поставлених завдань до і після курсу ІГТ провели обстеження в умовах для визначення основного обміну, в умовах східчастого стрибкового тесту, під час фізичного навантаження на велоергометрі за Р. О. Astrand. Крім того, для виявлення реакції організму дівчат на гіпоксію проводився спеціальний гіпоксичний тест за А. З. Колчинською [3].

Для обробки отриманих даних застосовувалися методи математичної статистики: критерій Ст'юдента; дані інструментальних досліджень аналізували на IBM PC за програмою «Методика розрахунку кисневих параметрів» А. З. Колчинської і співавт. [3].

Результати власних досліджень

Наші дослідження впливу гіпоталамо-гіпофізарно-оваріальної системи на стан функціональної системи дихання, аеробну продуктивність і працездатність дівчат пубертатного віку, практично здорових, що займаються спортом (волейбол), показали, що в 15-17-літніх дівчат фази циклу були яскраво виражені. Це дозволило нам

установити, що в умовах нормоксії протягом усього менструального циклу (МЦ) функція системи дихання була неоднаковою в різні фази циклу. Найбільший хвилинний об'єм дихання (ХОД) ми спостерігали в III (овуляторній) фазі циклу, найменший - у II (постменструальній) і IV (постовуляторній) фазах МЦ, частота дихання (ЧД) була найбільшою в III і V (передменструальній) фазах МЦ. Найбільша величина дихального об'єму (ДО) відзначена нами в III і I фазах МЦ, найменша - у V фазі МЦ, коли ЧД була найбільшою. Споживання кисню організмом у різні фази МЦ було неоднаковим і відрізнялося від своїх середніх значень, найбільшим воно було в III і I фазах МЦ, найменшим - у V фазі циклу. Частота серцевих скорочень (ЧСС) була найменшою в II фазі МЦ і до кінця другої половини біологічного циклу досягала максимальної величини. Хвилинний об'єм крові (ХОК) протягом МЦ змінювався аналогічно ЧСС, тому що ударний об'єм (УО) змінився недостовірно ($p > 0,05$). Найбільша швидкість доставки кисню в легені й альвеоли, а також найвища швидкість споживання кисню спостерігалася в III фазі МЦ, хоча кисневі режими організму (КРО) у цій фазі циклу найменш економічні. Цю особливість можна пояснити тим, що в III фазі циклу організм дівчат перебуває в стані «біологічного» стресу, коли процес овуляції домінує. Постачання тканин киснем найбільш економічно здійснюється в II і IV фазах МЦ. Ефективність КРО до кінця МЦ знижується. Каскади парціального тиску кисню (pO_2) протягом МЦ в умовах нормоксії змінювалися недостовірно ($p > 0,05$).

При вдиханні гіпоксичної газової суміші з 11 % O_2 (ГГС-11) (pO_2 - 85 мм рт. ст.) у здорових дівчат-спортсменок збільшення показників легеневої вентиляції і кровообігу не компенсує зниження рівня доставки O_2 у легені й альвеоли, рівень транспорту кисню артеріальною і змішаною венозною кров'ю не знижується, а в другій половині МЦ вірогідно ($p < 0,05$) перевищує нормоксичні значення. У цих умовах доставка кисню на всіх ділянках його масопереносу найбільш ефективно здійснюється в II і III фазах циклу. Економічність КРО в порівнянні з умовами нормоксії була однаково низькою в кожній фазі МЦ. Гіпоксичний стан, відзначений нами в кожній фазі МЦ, був найбільш виражений в I і V фазах (напруження кисню в артеріальній крові (paO_2) - 45 ± 2 і 43 ± 2 мм рт. ст. відповідно), а також у III і II фазах циклу (paO_2 - 50 ± 2 і 52 ± 2 мм рт. ст. відповідно), де рівень paO_2 опустився нижче критичного (50 мм рт. ст.), що вка-

зувало на наявність тканинної гіпоксії. Крім артеріальної відзначалася і венозна гіпоксемія (напруження кисню в змішаній венозній крові ($p\text{vO}_2$) - 31 ± 1 мм рт. ст.), тобто спостерігався III субкомпенсований ступінь гіпоксичної гіпоксії. У IV фазі МЦ рівень $p\text{aO}_2$ був вищим за критичний (на 6 ± 1 мм рт. ст.), а венозна гіпоксемія не спостерігалася ($p\text{vO}_2$ - 36 ± 2 мм рт. ст.), що вказувало на наявність II компенсованого ступеня гіпоксичної гіпоксії.

Дослідження особливостей реакції дівчат на гіпоксію навантаження дозволили виявити, що працездатність здорових дівчат 15-17 років протягом МЦ була неоднаковою: у I, III, V фазах МЦ - знижена, а в II і IV фазах циклу - підвищена. При більш напруженій функції легеневої вентиляції і кровообігу, ніж при гіпоксичній гіпоксії, в умовах гіпоксії навантаження виявляється виражена венозна гіпоксемія ($p\text{vO}_2$ - 14-16 мм рт. ст.), найвідчутніша в I і III фазах МЦ, коли КРО менш ефективні і працездатність знижена. Найбільший обсяг роботи в II і IV фазах циклу забезпечувався меншим споживанням O_2 . Найменш сприятливою фазою МЦ щодо забезпечення організму O_2 в умовах гіпоксії навантаження є I (менструальна) фаза циклу, де найбільш виражена артеріальна і венозна гіпоксемія не компенсується найбільшою протягом МЦ швидкістю споживання O_2 при істотно зниженій працездатності.

Проведений курс ІГТ (24 сеанси) на тлі традиційного спортивного тренування (ТСТ) у здорових дівчат 15-17 років супроводжувався підвищенням вмісту гемоглобіну в крові. У спокої економічність дихання зростає в III і IV фазах МЦ, кровообігу - протягом усього циклу. Достовірне збільшення швидкості масопереносу O_2 на всіх його етапах відзначено в IV фазі циклу. Ефективність КРО підвищилася на ділянках доставки O_2 у легені й альвеоли в III фазі МЦ, транспорту його артеріальною і змішаною венозною кров'ю - у IV і V фазах циклу.

В умовах вдихання ГГС-11 у результаті застосування ІГТ зростає економічність і ефективність КРО в кожен фазу МЦ, знизилася напруженість КРО внаслідок збільшення альвеолярно-венозного градієнта щодо O_2 . У зв'язку з тим, що $p\text{aO}_2$ підвищилося і перевищило свій критичний рівень (крім V фази МЦ), гіпоксія із субкомпенсованої (III ступінь) до ІГТ стала компенсованою (II ступінь) після його впливу.

В умовах помірного навантаження (60-70 % від максимального споживання кисню (МСК)) вірогідно ($p < 0,05$) під впливом ІГТ на тлі ТСТ

збільшилась спеціальна фізична працездатність, знизилася функціональні витрати на роботу в кожній фазі МЦ. Економічність легеневої вентиляції зростає протягом усього МЦ, економічність кровообігу вірогідно ($p < 0,05$) не відрізнялася від вихідних величин. Швидкість доставки O_2 у легені й альвеоли знизилася в кожній фазі МЦ (крім IV - ($p > 0,05$)), зниження швидкості транспортування O_2 артеріальною кров'ю було недостовірним протягом усього МЦ ($Q > 0,05$). Швидкість доставки кисню змішаною венозною кров'ю в кожній фазі циклу вірогідно зростає, що свідчило про підвищення резерву O_2 в організмі дівчат. Показники ефективності КРО не мали достовірних розходжень з вихідними даними ($p > 0,05$). Достовірне збільшення $p\text{vO}_2$ протягом усього МЦ ($p > 0,05$) свідчило про зменшення ступеня венозної гіпоксемії, що супроводжує гіпоксію навантаження, тобто гіпоксія навантаження стала менш вираженою.

У спортсменок, що не пройшли курс ІГТ і мали тільки планове спортивне тренування (контрольна група), достовірних змін параметрів КРО в спокої, в умовах вдихання гіпоксичної газової суміші з 11 % O_2 , а також в умовах помірного навантаження виявлено не було ($p > 0,05$). Збільшення спеціальної працездатності було вірогідно менше, ніж у групі, що одержала 24 сеанси ІГТ ($p > 0,05$).

Нас зацікавила роль підвищення вмісту гемоглобіну в крові при адаптації до гіпоксії в регуляції хвилинного серцевого викиду, а також феномен зниження ЧСС після адаптації до зниженого парціального тиску кисню в повітрі, що вдихується, як у спокої, так і в умовах навантаження з МСК.

У результаті адаптації до гіпоксії збільшується швидкість транскрипції гена синтезу еритропоетина (під впливом гіпоксією індукованого фактора HIF-1 [5]), що і приводить до збільшення вмісту гемоглобіну в крові. Крім того, при гіпоксії покращуються умови газообміну в легенях, перфузійно-дифузійні зв'язки поліпшуються, що викликає збільшення насичення артеріальної крові киснем і підвищення напруження кисню в артеріальній крові. Збільшення $p\text{aO}_2$ зменшує імпульсацію хеморецепторів, що і приводить до зниження ЧСС, тобто серцевий м'яз працює економніше, збільшується час діастолі, знижується ризик розвитку тканинної гіпоксії міокарда. Збільшення систолічного об'єму при зниженні ЧСС в результаті адаптації до гіпоксії дозволяє підтримувати об'ємну швидкість кровообігу на рівні не меншому за нормоксичний.

З другого боку, збільшення вмісту гемоглобіну в крові спричинює зростання кисневої ємності крові, а водночас і збільшення вмісту кисню в артеріальній крові. Підтримка ХОК на нормоксичному рівні при збільшенні CaO_2 прискорює доставку кисню артеріальною кров'ю до тканин. Напруження кисню в тканинах збільшується, зменшується кількість ділянок з тканинною гіпоксією. Процес окисного фосфорилювання нормалізується, що викликає збільшення споживання кисню тканинами і в результаті поліпшує стан ФСД, підвищує аеробну продуктивність і фізичну працездатність.

Підсумовуючи все викладене вище, хочеться підкреслити, що ІГТ є ефективним заміником

тренування в горах, вона дозволяє швидше адаптуватися до низького $p\text{O}_2$ у повітрі, що вдихується, значно простішими і доступнішими засобами. Проведення курсу ІГТ у період річного циклу тренувань дозволяє раніше розпочинати підготовку до змагань. Курс ІГТ у змагальний період сприяє підвищенню аеробної й анаеробної продуктивності, а в поєднанні з ТСТ - загальної і спеціальної працездатності, поліпшенню спортивних результатів. Курс ІГТ може також слугувати ефективним засобом реабілітації після змагань. Нарешті, ІГТ може бути застосована як метод підготовки до змагань у гірських умовах.

1. Анохин П. К. Очерки по физиологии функциональных систем.- М.: Медицина, 1975.- 447 с.
2. Колчинская А. З. Кислород. Физическое состояние. Работоспособность.- К.: Наук, думка, 1990.- С. 232.
3. Колчинская А. З. Гипоксическая тренировка в спорте // J. Hypoxia Medical.- 1993.- № 3.- С. 36-37.
4. Стрелков Р. Б. Нормобарическая гипокситерапия.- М., 1980.- 313 с.
5. Sementa G. L., Wang G L. Characterization of hypoxia-inducible factor 1 and regulation of DNA binding activity by hypoxia // Biol. Chem.- 1993.- V. 268.- N 29.- P. 21513-21518.

M. P. Zakusylo, P. O. Radzievskiy

EFFICIENCY OF ADAPTATION TO HYPOXIA IN IMPROVEMENT OF A CONDITION OF FUNCTIONAL SYSTEM OF BREATH AND INCREASE OF SERVICEABILITY AT THE SPORTSMEN OF HIGH QUALIFICATION

Summarizing researches of action interval hypoxic training (IHT) on the young sportsmen, it would be desirable to emphasize, that IHT is an effective substitute of training in mountains, it allows to reach adaptation to low $p\text{O}_2$ in inhaled air during shorter period of time both more simple and accessible means. The realization of a rate IHT in the preparatory period of a year cycle of preparation allows earlier to pass to direct preparation for competitions. The rate IHT in the competitive period promotes increase aerobic and anaerobic productivity, and in a combination with traditional sports training (TST) - general and special serviceability, improvement of sports results. The rate IHT can also serve an effective means of rehabilitation after competitions. At last, IHT can be applied as a method of preparation to competitions in mountain conditions.