

П.О. Радзієвський

## Механізми адаптації до нормобаричної гіпоксії в курсі інтервального гіпоксичного тренування у висококваліфікованих спортсменів

*Нормобарическая интервальная гипоксическая тренировка (ИГТ) – эффективное средство улучшения состояния функциональной системы дыхания, повышения аэробной производительности, общей и специальной работоспособности спортсменов высокой квалификации. Эффективность ИГТ в улучшении состояния всех звеньев функциональной системы дыхания у спортсменов обусловлена чередованием гипоксических влияний и нормоксических интервалов между ними, во время которых уровень пластических процессов остается повышенным, а напряжение кислорода в артериальной крови и тканях увеличивается до нормоксических значений.*

### ВСТУП

Підвищена потреба в кисні в спортсменів задовольняється функціональною системою дихання [1, 2]. Організм спортсменів, які знаходяться в стані напруженої м'язової діяльності, постійно випробовує на собі дію гіпоксії навантаження чи гіперметаболічної гіпоксії. 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 р.) стали застосовувати тренування в умовах зниженого парціального тиску кисню в повітрі: у горах, барокамерах, приладах для нормобаричної гіпоксії [3]. У 1980-ті роки було запропоновано новий метод підвищення загальної резистентності організму за допомогою використання гіпоксичних газових сумішей [4]. З 1992 р. у КДІФК під керівництвом Колчинської почали використовувати нормобаричне інтервальне гіпоксичне тренування (ИГТ) [3].

Мета нашої роботи – виявити основні механізми підвищення аеробної продук-

тивності при адаптації до гіпоксії в курсі ИГТ у спортсменок високої кваліфікації.

### МЕТОДИКА

Були обстежені спортсменки-волейболістки віком 16 років, масою  $65 \pm 5$  кг. До першої групи ввійшли 28 дівчат (кандидати в майстри спорту і майстри спорту), які проходили курс ИГТ, друга група, до якої ввійшли 19 дівчат, була контрольною.

За час курсу ИГТ було проведено 4 мікроцикли спортивного тренування. У першому, дозмагальному мікроциклі, було проведено 5 тренувальних занять перемінної інтенсивності (частота серцевих скорочень – ЧСС  $106-201$  хв<sup>-1</sup>) тривалістю 1,5–2 год. Після двох вихідних днів почалися другий і третій змагальний мікроцикли. В другому мікроциклі було проведено 3 гри (1–1,5 год) і 2 тренувальні заняття (1,5 год). У третьому мікроциклі – 2 гри (1–1,5 год) і 3 тренувальні заняття (1 год). Після двох змагальних мікроциклів був четвертий мікроцикл активного відпочинку, під час якого було проведено 3 тренувальних за-

няття (гра у футбол, рухливі ігри, вправи на гнучкість, акробатика – 50 хв).

Курс ІГТ для спортсменок складався з 24 сеансів, проведених щодня, крім неділь, після сніданку перед денним тренуванням. Кожен сеанс ІГТ містив у собі 5 5-хвилинних серій вдихань гіпоксичних газових сумішей (ГГС) з 11 % кисню (1–8 сеансів), 10,5 % кисню (9–18 сеансів), 10 % кисню (19–24 сеанси), що чергуються з 5-хвилинними нормоксичними інтервалами.

Для вирішення поставлених задач обстеження були проведені до і після курсу ІГТ в таких умовах: для визначення основного обміну, в умовах східчастого стрибкового тесту, під час фізичного навантаження на велоергометрі. Крім того, для виявлення реакції організму на гіпоксію проводили спеціальний гіпоксичний тест [3].

Для обробки отриманих результатів застосовували критерій *t* Стьюдента. Аналіз результатів інструментальних досліджень був проведений на IBM PC за програмом «Методика розрахунку кисневих параметрів» [2].

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Обстеження, проведені за умов нормоксії, у спокої, до і після курсу ІГТ, дозволили вия-

вити динаміку деяких показників систем дихання, кровообігу, дихальної функції крові в спортсменок (табл. 1). Так, відзначене в результаті ІГТ збільшення хвилинного об'єму дихання (ХОД) у групі спортсменок, що пройшли курс ІГТ (І група) відбулося внаслідок збільшення дихального об'єму (ДО) при недостовірному збільшенні частоти дихання (ЧД) ( $P > 0,05$ ), тобто пристосування до кисневої недостатності відбувалося більш економічно. У контрольній (ІІ) групі ХОД залишився практично без зміни ( $P > 0,05$ ). Сеанси ІГТ викликали недостовірне збільшення споживання кисню ( $V_{O_2}$ ) у стані спокою ( $P > 0,05$ ). Відсоток насичення киснем артеріальної крові ( $Sa_{O_2}$ ) також істотно не змінився ( $P > 0,05$ ) як у дослідній, так і в контрольній групах.

ЧСС у І групі спортсменок мала тенденцію до зниження ( $P < 0,05$ ), у групі контролю – не змінювалася. Зміни хвилинного об'єму крові (ХОК) були подібні до змін ЧСС, тому що ударний об'єм після курсу ІГТ у спокої за умов нормоксії змінився недостовірно ( $P > 0,05$ ).

У результаті курсу ІГТ у спортсменок відбулося достовірне збільшення вмісту гемоглобіну в крові ( $P < 0,05$ ), у групі контролю ці зміни були незначними ( $P > 0,05$ ; рис. 1).

Таблиця 1. Зміни показників системи дихання та кровообігу до і після курсу інтервального гіпоксичного тренування (ІГТ) у спортсменок у стані спокою

Показник	Контрольна група		Дослідна група	
	вихідне тестування	Повторне тестування	до ІГТ	після ІГТ
Хвилинний об'єм дихання, мл · хв <sup>-1</sup>	7540±183	7630±178	7535±213	7902±181
Частота дихання, хв <sup>-1</sup>	21,28±0,72	21,41±0,72	21,01±0,81	21,59±0,48
Дихальний об'єм, мл	354,3±51,0	356,4±48,0	359,4±49,3	367,8±35,0
Споживання кисню організмом, мл · хв <sup>-1</sup>	220,0±17,3	222,1±18,1	218,2±15,3	237,4±18,6
Вентиляційний еквівалент	34,28±0,27	34,35±0,32	34,55±0,31	33,28±0,23
Частота серцевих скорочень, хв <sup>-1</sup>	68,1±2,25	66,2±1,81	67,36±2,9	64,64±2,51
Ударний об'єм, мл	62,31±0,86	62,85±0,56	62,64±0,8	62,59±0,8
Хвилинний об'єм крові, мл · хв <sup>-1</sup>	4243,3±41,3	4160,5±53,1	4213,4±35	4016,3±37,3*
Гемодинамічний еквівалент	19,29±0,41	18,73±0,53	19,35±0,37	16,95±0,27*
Насичення киснем артеріальної крові, %	97,4±0,73	97,3±0,69	97,5±0,7	97,7±0,35

Примітка. Тут і в табл. 2 \*  $P < 0,05$  порівняно з вихідним тестуванням.

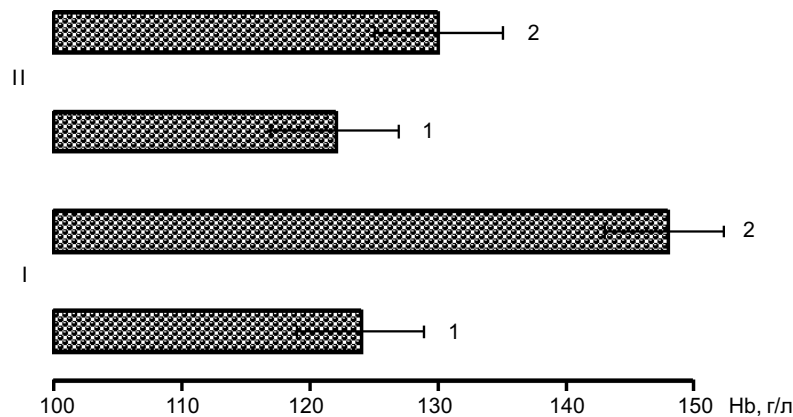


Рис. 1. Зміна вмісту гемоглобіну в крові спортсменок: I – курс інтервальних гіпоксичних тренувань (ІГТ) на фоні традиційних спортивних тренувань, 1 – до курсу, 2 – після курсу ІГТ; II – контроль, 1 – вихідне, 2 – повторне тестування

Внаслідок підвищення вмісту гемоглобіну в крові обстежених I групи після 24 сеансів ІГТ збільшився вміст кисню в артеріальній і змішаній венозній крові, артеріо-венозне розходження за киснем і насичення змішаної венозної крові киснем ( $P < 0,05$ ). У контрольній групі за цей час достовірних змін вищезгаданих показників не спостерігалось ( $P > 0,05$ ).

Про адаптацію організму спортсменок до гіпоксичної гіпоксії свідчили результати гіпоксичного тесту (10-хвилинне вдихання ГГС з 11 %  $O_2$ ), проведеного до і безпосередньо після курсу ІГТ. Під впливом сеансів ІГТ при вдиханні ГГС-11 отримано достовірні зміни показників систем дихання і кровообігу (табл. 2). При проведенні повторного гіпоксичного тесту, після курсу ІГТ

Таблиця 2. Зміни показників дихання та кровообігу на 3-й і 8-й хвилинах вдихання гіпоксичної газової суміші (11 %  $O_2$ ) до та після курсу інтервального гіпоксичного тренування (ІГТ) у спортсменок

Показник	Контрольна група		Дослідна група	
	вихідне тестування	Повторне тестування	до ІГТ	після ІГТ
Хвилинний об'єм дихання, мл . хв <sup>-1</sup>				
3 хв	11003±151	11263±163	11249±173	9695,5±205*
8 хв	12836±201	13100±217	12413±196	1042,2±226*
Частота дихання, хв <sup>-1</sup>				
3 хв	25,41±0,39	26,21±0,61	25,69±0,44	21,46±0,56*
8 хв	31,03±0,70	31,33±0,89	30,90±0,62	22,36±0,76*
Споживання кисню організмом, мл . хв <sup>-1</sup>				
3 хв	275,07±23	281,56±31	281,23±23	342,01±26*
8 хв	295,23±34	294,75±47	291,71±31	359,15±36*
Вентиляційний еквівалент				
3 хв	40,00±2,21	40,00±2,13	39,99±2,25	28,31±0,78*
8 хв	43,47±2,53	44,45±2,53	42,55±2,40	29,01±0,81*
Частота серцевих скорочень, хв <sup>-1</sup>				
3 хв	89,91±8,9	91,03±7,91	90,18±8,3	85,45±7,37
8 хв	90,36±7,3	92,6±8,9	93,49±8,6	89,71±7,52
Хвилинний об'єм крові, мл . хв <sup>-1</sup>				
3 хв	5599,7±41,2	5161,18±57*	5574,42±43	5643,86±61
8 хв	5817,6±48,5	5417,88±56*	5702,32±53	5741,2±59
Гемодинамічний еквівалент				
3 хв	19,91±0,29	15,09±0,17*	20,27±0,33	0,05±0,23
8 хв	19,94±0,31	15,09±0,19*	19,31±0,30	19,48±0,32

на 3-й його хвилині ХОД став нижчим ( $P < 0,05$ ), дихання – менш частим і більш глибоким: ЧД знизилася ( $P < 0,05$ ), ДО збільшився ( $P > 0,05$ ).

Збільшився відсоток поглинутого кисню, внаслідок цього вірогідно ( $P < 0,05$ ) збільшилася швидкість його споживання (на  $36,1 \% \pm 1,43 \%$ ). ХОК після ІГТ був вірогідно нижчим ( $P < 0,05$ ). На 8-й хвилині повторного гіпоксичного тесту ознаки адаптації до низького  $P_{O_2}$  у вдихуваному повітрі були більш виражені. ХОД порівняно з першим гіпоксичним тестом був більшим на  $19,1 \% \pm 1,67 \%$  ( $P < 0,05$ ), при цьому ЧД зменшилася на  $38,19 \% \pm 1,43 \%$ , ДО збільшився на  $16,5 \% \pm 1,76 \%$  ( $P < 0,05$ ). Після курсу ІГТ збільшилися ( $P < 0,05$ )  $V_{O_2}$  і  $Sa_{O_2}$ . Зниження ЧСС становило  $4,3 \% \pm 0,08 \%$ , ХОК –  $7,4 \% \pm 0,09 \%$  ( $P < 0,05$ ). Аналогічні показники в контрольній групі змінювалися недостовірно ( $P > 0,05$ ) як на 3-й, так і на 8-й хвилині вдихання ГГС-11 (див. табл. 2).

У спортсменок, що пройшли курс ІГТ і вдихали ГГС-11 зменшилися вентиляційні та геодинамічні еквіваленти (ВЕ і GE). У контрольній групі достовірних змін цих показників, що характеризують економічність функціонування легеневої вентиляції та кровотоку не було (див. табл. 2).

Для визначення впливу ІГТ на загальну

працездатність і аеробну продуктивність спортсменок до і після сеансів ІГТ було проведено велоергометричне тестування. Курс ІГТ на фоні традиційного спортивного тренування більше вплинув на функціональний стан спортсменок і їх працездатність, ніж традиційне спортивне тренування.

Обсяг роботи максимальної потужності при велоергометричному тестуванні у спортсменок, що не проходили курс ІГТ, за 4 мікроцикли традиційного спортивного тренування збільшився на  $2,1 \%$  (див. рис. 2). Максимальне споживання кисню і ХОД в цих спортсменок не змінилися. При незначному збільшенні обсягу роботи у спортсменок контрольної групи ЧСС при навантаженні граничної потужності незначно змінилася.

У спортсменок, що пройшли курс ІГТ, на фоні такого самого, як у контрольній групі традиційного спортивного тренування, обсяг роботи на останній сходінці велоергометра збільшився на  $36 \%$  ( $P < 0,05$ ; див. рис. 2).

Зменшилися функціональні затрати організму при напруженій м'язовій діяльності: максимальний ХОД був на  $9 \%$  меншим, ніж до курсу ІГТ ( $P > 0,05$ ). При виконанні навантаження більшої потужності в цих спортсменок ЧСС була на  $6 \%$  меншою до курсу ІГТ ( $P > 0,05$ ).

Більша потужність максимального на-

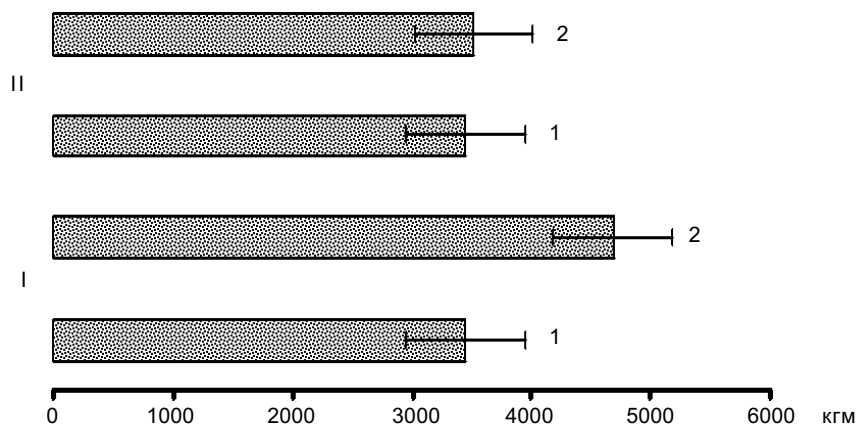


Рис. 2. Обсяг роботи максимальної потужності під час велоергометричного тесту в групі спортсменок, що пройшли курс інтервального гіпоксичного тренування (I) і у контрольній групі (II): 1 – до, 2 – після 24 сеансів гіпоксичного тренування

вантаження під час заключного тестування забезпечувалася збільшенням на  $18,2\% \pm 1,5\%$  рівнем максимального споживання кисню, що збільшився після курсу ІГТ до  $3020 \text{ мл} \cdot \text{хв}^{-1} \pm 98,3 \text{ мл} \cdot \text{хв}^{-1}$  ( $P < 0,05$ ; рис. 3).

Усі наведені результати свідчать про те, що внаслідок ІГТ підвищилася загальна працездатність і відбулась економізація функцій дихання і серцево-судинної системи.

Зміну економічності кисневих режимів організму у велоергометричному тестуванні ми могли оцінити за кисневим ефектом серцевого циклу, який у спортсменок після курсу ІГТ під час повторного тестування був вірогідно вищим ( $1,1\% \pm 0,09\%$ ), ніж у контролі (див. рис. 3).

Нас зацікавила роль підвищення вмісту гемоглобіну в крові при адаптації до гіпоксії в регуляції хвилинного серцевого викиду, а також феномен зменшення ЧСС після адаптації до зниженого парціального тиску кисню у вдихуваному повітрі, як в умовах спокою, так і підчас навантаження максимальним споживанням кисню.

У результаті адаптації до гіпоксії збільшується швидкість транскрипції гена синтезу еритропоєтину під впливом фактора, індукованого гіпоксією [5], що і призводить до збільшення вмісту гемоглобіну в крові. Крім того, при гіпоксії поліпшуються умови газообміну в легенях, перфузійно-дифузійні відношення, що спричинює збільшення насичення артеріальної крові

киснем і до підвищення напруження кисню в артеріальній крові ( $P_{aO_2}$ ). Збільшення  $P_{aO_2}$  зменшує імпульсацію хеморецептора, що і призводить до зменшення ЧСС, тобто серцевий м'яз працює більш ошадливо, збільшується час діастолі, знижується ризик розвитку тканинної гіпоксії міокарда. Збільшення систолічного об'єму при зниженні ЧСС, що відбувається внаслідок адаптації до гіпоксії, дає змогу підтримувати об'ємну швидкість кровотоку на рівні не меншому, ніж нормоксичний. З іншого боку, збільшення вмісту гемоглобіну в крові спричинює підвищенню кисневої ємності крові, а з нею і збільшення вмісту кисню в артеріальній крові  $CaO_2$ . Підтримка ХОК на нормоксичному рівні при збільшенні  $CaO_2$  забезпечує підвищення швидкості доставки кисню артеріальною кров'ю до тканин. Напруження кисню в тканинах збільшується, зменшується кількість ділянок з тканинною гіпоксією. Процес окисного фосфорилування нормалізується, що призводить до збільшення споживання кисню тканинами і виявляється в підсумку поліпшенням стану функціональної системи дихання, збільшенням аеробної продуктивності і фізичної працездатності.

## ВИСНОВКИ

1. Підвищення вмісту гемоглобіну в крові при адаптації до гіпоксії відіграє головну

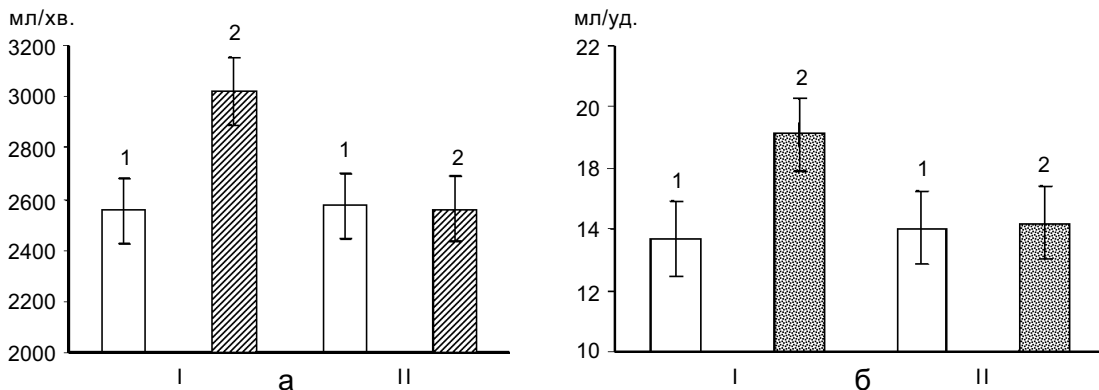


Рис. 3. Максимальне споживання кисню (а), кисневий пульс (б) у групі спортсменок, що пройшли курс інтервального гіпоксичного тренування (І) і у контрольній групі (ІІ): 1 – до, 2 – після 24 сеансів гіпоксичного тренування

роль у регуляції хвилинного серцевого викиду, внаслідок чого зменшується ЧСС, знижуються функціональні витрати на м'язову роботу після адаптації до зниженого парціального тиску кисню у вдихуваному повітрі, як у спокої, так і при навантаженні з максимальним споживанням кисню.

2. Слід підкреслити, що ІГТ може бути одним з методів підготовки спортсменів, що дозволить частково замінити тренування в горах. Нормобарична ІГТ дає змогу досягати адаптації до низького  $PO_2$  у вдихуваному повітрі протягом більш короткого періоду часу і є більш простими і доступними засобами, ніж в умовах гір. Проведення курсу ІГТ у підготовчому періоді річного циклу дозволяє переходити до безпосередньої підготовки до змагань у більш короткі терміни. Курс ІГТ у змагальному періоді сприяє підвищенню аеробної й анаеробної продуктивності, а в сполученні з традиційним спортивним тренуванням – загальної і спеціальної працездатності, поліпшенню спортивних результатів. Він може також бути ефективним засобом реабілітації після змагань. Нарешті, ІГТ може бути застосовано як метод підготовки до змагань у гірських умовах.

*Київ. міськ. пед. ун-т ім. Б.Грінченка*

**P.O.RADZIEVSKY**

## **MECHANISMS OF ADAPTATION TO INTERMITTENT HYPOXIC TRAINING COURSE IN SPORTSMEN OF HIGH QUALIFICATION**

Normobaric intermittent hypoxic training (IHT) is an effective method for improvement of the FRS state, increase of the aerobic productivity, as well as general and special capacity for work in sportsmen of high qualification. High efficacy of IHT in improving all aspects of sportsmen FRS is a result of alternating the hypoxic influences and normoxic intervals between them during which the level of plastic processes remains increased, oxygen tension in arterial blood and tissues increases to normoxic values. After IHT course, the state of organ respiration improves, the respiration volume, a part of alveolar ventilation in the minute volume of respiration, oxygen saturation of arterial blood, hemoglobin content in blood – increase as well as economy and efficacy of oxygen regimes of organism, general and special (especially important) physical capacity for work.

*Boris Grinchenko Kyiv Municipal Pedagogical University*

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

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. – 232 с.
3. Колчинская А.З. Гипоксическая тренировка в спорте // *Hypoxia Medical. J.* – 1993. – №3. – С. 36–37.
4. Стрелков Р.Б. Нормобарическая гипокситерапия. – М.: Минздрав России. 1980. – 313 с.
5. Sementa G.L., Wang G.L. Characterization of hypoxia-inducible factor 1 and regulation of DNA binding activity by hypoxia // *J. Biol. Chem.* – 1993. – **268**, №29. – P. 21513–21518.

*Матеріал надійшов до  
редакції 10.09.2004*