

ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

УДК 796. 01

Глушков Сергей Павлович

Доктор технических наук, профессор кафедры легкой атлетики и лыжного спорта факультета физической культуры, Новосибирский государственный педагогический университет, rcpl@ngs.ru, Новосибирск

Осипов Валерий Михайлович

Заведующий кафедрой легкой атлетики и лыжного спорта факультета физической культуры, Новосибирский государственный педагогический университет, rcpl@ngs.ru, Новосибирск

Пицалов Евгений Владимирович

Аспирант факультета физической культуры, Новосибирский государственный педагогический университет, evgen2302@inbox.ru, Новосибирск

ВОЗДЕЙСТВИЕ НОЧНОЙ НОРМОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ И ИНТЕРВАЛЬНОЙ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ НА ОРГАНИЗМ АТЛЕТОВ

Аннотация. Использование ночной прерывистой нормобарической гипоксии (сон в палатке – СП) является одним из самых популярных эргогенических методов улучшения работоспособности. Другим альтернативным методом является применение интервальной гипоксической тренировки (ИГТ) по 60–90 мин в день. Целью исследования являлось сравнение эффектов СП и ИГТ на гематологические и негематологические показатели атлетов. Сравнивались концентрация гемоглобина в крови, максимальное потребление кислорода (МПК), скорость на МПК, удельная энергозатрата бега (УЭБ), максимальная концентрация лактата в крови и скорость бега при концентрации лактата 3,0 ммоль/л до и после 17 дней эксперимента в экспериментальных и контрольной группах.

Ключевые слова: потребление кислорода, нормобарическая гипоксия, концентрация лактата, ступенчатый тест.

Использование гипоксии как одного из методов изменения функционального состояния спортсменов уже на протяжении 50 лет пользуется успехом. За это время на практике испытаны различные варианты использования гипоксии, как естественной – в условиях среднегорья, так и искусственной – на равнинной территории, имеющей холодный климат. Искусственная гипоксия в последние десятилетия все чаще используется в подготовке атлетов, поскольку дает те же эффекты и преимущества, что и пребывание в горных условиях [9; 12].

Одним из методов использования искусственной гипоксии является сон в гипоксической палатке или барокамере, когда в течение 10–12 часов в сутки спортсмен находится в условиях нехватки кислорода. При этом наиболее распространенной методикой является моделирование высот на уровне 2000 – 3000 м над уровнем моря (НУМ). В то же время этот спортсмен живет и тренирует-

ся в естественных равнинных условиях. При применении этого метода отмечен прирост результатов у спортсменов мирового уровня в циклических видах спорта [1; 7].

Вторым методом использования искусственной гипоксии является интервальная гипоксическая тренировка (ИГТ). Основан метод на воздействии на организм спортсмена прерывистой экстремальной гипоксией в течение 60–90 мин в сутки, имитирующей высоту до 6400 м. Интервальная гипоксическая тренировка имеет ряд преимуществ по сравнению со сном в палатке: меньшее время воздействия на организм спортсмена, доступность и достаточная переносимость. Однако до сих пор не проводилось целенаправленных исследований, сравнивающих эффективность воздействия сна в палатке и ИГТ на результат спортсменов, специализирующихся в циклических видах спорта, хотя определенные исследования на эту тему за рубежом были [1; 6].

ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Влияние каждого из методов гипоксического воздействия на увеличение работоспособности спортсменов может быть оценено повышением кислородно-транспортной функции крови после трехнедельного воздействия искусственной гипоксии на организм спортсменов за счет увеличения гемоглобиновой массы [7; 11].

Задачей нашего исследования является сравнение воздействия двух методов применения искусственной гипоксии: ИГТ и сна в палатке на работоспособность спортсменов. Исследование проводилось в августе 2014 г. в г. Новосибирске в течение 21 дня на базе Регионального центра спортивной подготовки сборных команд и спортивного резерва Новосибирской области на оборудовании ООО «Инновационный центр спортивных технологий».

В исследовании приняли участие десять непрофессиональных мужчин-триатлонистов регионального уровня (первый взрослый разряд и КМС). Спортсмены случайным образом были распределены на 3 группы: группа, применяющая технологию ИГТ – 3 человека (ИГТ-группа), группа, использующая технологию сна в палатке – 3 человека (СП-группа) и контрольная группа – 4 человека (К-группа) (табл. 1). Спортсмены тренировались в одной группе и по одному тренировочному плану. Для повышения точности экспериментального исследования атлеты скорректировали тренировочный план таким образом, чтобы основной нагрузкой стала беговая в различных модификациях.

Атлеты в течение эксперимента выполняли стандартные беговые тренировки различной интенсивности, подбираемые индивидуально для каждого по данным частоты сердечных сокращений (ЧСС) и исходя из лучшего результата в беге на дистанции 21,1 км, однако объем нагрузок был одинаков у всех испытуемых. За три недели

эксперимента общий объем бега составил в среднем 270 ± 16 км.

В первый день у всех испытуемых в лабораторных условиях измерялись: максимальное потребление кислорода (МПК), скорость при МПК, «удельная энергостоймость» (экономичность) бега, скорость бега при концентрации лактата в крови 3 ммоль/л, время теста (до полного истощения), максимальная ЧСС, максимальная концентрация лактата в конце теста, гемоглобин и ферритин крови. Затем ИГТ-группа использовала технологию ИГТ и СП-группа подвергалась ночной прерывистой гипоксии на протяжении 17 дней. На двадцать первый день эксперимента было проведено повторное тестирование.

В исследовании использовалась нормобарическая гипоксия. Спортсмены из СП-группы использовали сон в гипоксической палатке в течение 9–11 часов в сутки. Гипоксическая среда создавалась с помощью портативного гипоксикатора компании ХУРОХИСО за счет фильтрации кислорода полимерными мембранами и замещения его азотом. Индивидуальная высота для сна подбиралась после вычисления индивидуального гипоксического индекса. Ежедневно перед сном проводилось повторное тестирование для нахождения изменения гипоксического индекса, а каждое утро – измерение сатурации кислорода в крови. На основе полученных данных производилась ежедневная коррекция интенсивности гипоксического воздействия для достижения максимального эффекта. В среднем по группе моделируемая высота увеличилась за время эксперимента с 1800 до 2600 м НУМ.

Для проведения ИГТ использовался гипоксикатор компании ХУРОХИСО, генерирующий воздух с пониженным содержанием кислорода от 21 до 9 %, что соответствует высотам от 100 до 6400 м НУМ с шагом 200 м. Суть метода заключалась в том, что

Таблица 1

Физические характеристики участников до начала эксперимента

Параметр	СП-группа	ИГТ-группа	К-группа
Количество объектов	3	3	4
Возраст (лет)	32 ($\pm 1,6$)	33 ($\pm 2,4$)	30 ($\pm 2,9$)
Рост (см)	180 (± 3)	178 (± 5)	181 (± 4)
Масса (кг)	70,5 ($\pm 5,9$)	68,9 ($\pm 3,3$)	72,2 (6,1)
Гемоглобин (г/л)	136 (± 5)	139 (± 6)	135 (± 7)

спортсмен определенное время дышит через маску воздухом с пониженной концентрацией кислорода – «поднимается на высоту», а потом – атмосферным воздухом – «опускается на уровень моря». Средняя продолжительность тренировки составляла 60–90 мин и задавалась на основе стандартных протоколов гипоксической тренировки на базе данных текущей сатурации кислорода в крови. Это позволило подбирать дозу гипоксического воздействия индивидуально для каждого спортсмена по данным его гипоксической устойчивости. Максимальная «высота подъема» во время сеанса ИГТ для всех испытуемых составила 6400 м НУМ.

Биохимический анализ крови проводился за один день до начала эксперимента и спустя 3 дня после окончания эксперимента. Тестирование спортсменов производилось в компании «Сиблабсервис» на биохимическом анализаторе «OLYMPUS AU 400» и гематологическом анализаторе «BeckmanCoulter LH 500» путем забора 4 мл венозной крови. Исследовались концентрация гемоглобина в крови и ферритин – запасы органического железа в организме. Дополнительно спортсмены всех групп принимали препарат «Феррофольгамма» для предотвращения возникновения дефицита элементарного железа в крови из-за возросшего вследствие гипоксического воздействия эритропоэза.

Тестирование проводилось на тредмиле. После пятиминутной разминки на скорости 12 км/ч атлеты приступили к ступенчатому тесту на скоростях 14, 15, 16 и 17 км/ч, по 4 минуты на каждой ступени и с одной минутой отдыха между ними. Данные ЧСС регистрировались в течение всего теста пульсометром Polar RS800. После каждой ступени производился забор капиллярной крови из пальца для определения концентрации лактата в крови с помощью портативного анализатора лактата Lactate Scout. Во время первичного тестирования (до гипоксического воздействия) концентрация лактата большинства испытуемых была выше 4 ммоль/л в конце четвертой ступени теста, а для спортсменов (3 чел.), у которых концентрация лактата была ниже, была добавлена еще одна ступень нагрузки на скорости 18 км/ч.

Максимальное потребление кислорода (МПК) и метаболическая стоимость пути определялась с помощью портативного ме-

таболографа Fitmate Pro.

Во время повторного тестирования независимо от концентрации лактата спортсмены завершили одинаковое количество нагрузочных ступеней – 4. В результате чего у некоторых спортсменов концентрация лактата оказалась ниже 4 ммоль/л (ниже анаэробного порога). Следовательно, для того чтобы оценить влияние гипоксии на динамику концентрации лактата, было решено определять скорость бега при уровне лактата 3,0 ммоль/л, вместо используемой во многих исследованиях концентрации 4,0 ммоль/л [4]. Скорость при концентрации лактата 3,0 ммоль/л вычислялась по методике экспоненциального соответствия.

Также до и после эксперимента проводился ступенчатый тредмил тест для определения потребления кислорода в течение всего теста. Значения потребления кислорода на последней минуте на первых двух ступенях теста были усреднены для определения удельной энергостоимости бега. После завершения последней ступени на субмаксимальной скорости был проведен тест для определения МПК и времени бега до полного истощения. Через 5 минут отдыха после субмаксимального тестирования испытуемые начинали бежать с начальной скоростью 16 км/ч, и каждую минуту скорость возрастала на 1 км/ч, вплоть до достижения скорости 20 км/ч. Тесты до гипоксического воздействия и после проводились в одно и то же время на одном и том же оборудовании через 3 часа после завтрака.

Во всех группах обнаружены изменения уровня ферритина в крови (табл. 2). Концентрация гемоглобина у спортсменов СП-группы после 17 дней эксперимента увеличилась. У спортсменов ИКТ-группы и К-группы достоверных изменений в концентрации гемоглобина не обнаружено (табл. 2).

Спортсмены СП-группы продемонстрировали значительное улучшение по удельной энергостоимости бега (УЭБ) во время субмаксимального бега (табл. 3) в сравнении со спортсменами ИГТ-группы ($-2,8 \pm 4,4$ %). Что касается их показателей по УЭБ в сравнении со спортсменами К-группы, то изменения незначительные ($-1,1 \pm 4,2$ %). Различие по УЭБ между ИГТ-группой и К-группой также было незначительным.

Гематологические параметры до и после эксперимента

Гематологический параметр	СП-группа		ИГТ-группа		К-группа	
	до экспер.	после экспер.	до экспер.	после экспер.	до экспер.	после экспер.
Ферритин, нг/мл	62,8 (± 20,2)	68,0 (± 17,1)	54,2 (± 17,7)	51,0 (± 16,5)	71,6 (± 30,2)	56,4 (± 25,8)
Гемоглобин, г/л	136 (±5)	144 (±3)	139 (±6)	141 (±4)	135 (±7)	138 (±6)

Таблица 3

Беговые параметры при ступенчатом субмаксимальном тесте на тредмиле

Параметры при субмаксимальном беговом тесте	СП-группа		ИГТ-группа		К-группа	
	до экспер.	после экспер.	до экспер.	после экспер.	до экспер.	после экспер.
УЭБ, мл·кг/мин	3,72 (± 0,58)	3,55 (± 0,62)	3,39 (± 0,63)	3,35 (± 0,63)	3,29 (± 0,66)	3,35 (± 0,59)
Скорость бега при конц. La = 3,0 ммоль/л	16,8 (± 0,4)	17,1 (± 0,7)	17,0 (± 1,0)	17,4 (± 0,8)	16,5 (± 0,7)	16,8 (± 0,8)

Скорость бега при концентрации лактата в крови 3,0 ммоль/л достоверно увеличилась только в СП-группе по сравнению с К-группой ($4,4 \pm 4,5$ %).

Обе экспериментальные группы продемонстрировали снижение концентрации лактата в крови после максимального бегового теста по окончании эксперимента в сравнении с контрольной группой (табл. 4). Не обнаружено достоверных различий в изменении скорости бега в ступенчатом тесте, скорости на уровне МПК и во времени бега до отказа.

В результате проведенного исследования использования искусственной гипоксии для изменения функционального состояния спортсменов получены следующие результаты: достоверное увеличение концентрации гемоглобина в СП-группе после

эксперимента демонстрирует активацию в организме эритропоэза в ответ на гипоксическое воздействие. Незначительное увеличение уровня ферритина в крови в ИГТ-группе после эксперимента говорит о том, что недостаток железа не являлся лимитирующим фактором активизации эритропоэза. Наиболее объективной причиной разницы в увеличении гемоглобина между ИГТ- и СП-группами явилась доза гипоксического воздействия между ними. В данном случае наши выводы совпадают с данными другого исследования [10] относительно того, что минимальной гипоксической дозой для активации эритропоэза является трехнедельный сон в палатке не менее 10 часов в сутки. В нашем исследовании мы получили средний прирост гемоглобина в СП-группе после 17 дней гипоксического воз-

Таблица 4

Беговые параметры при ступенчатом максимальном тесте на тредмиле

Параметры при максимальном беговом тесте	СП-группа		ИГТ-группа		К-группа	
	до экспер.	после экспер.	до экспер.	после экспер.	до экспер.	после экспер.
МПК, л/мин	4,82 (± 1,1)	4,84 (± 0,89)	4,56 (± 0,87)	4,63 (± 0,79)	4,47 (± 0,65)	4,60 (± 0,72)
$v_{\text{МПК}}$ = км/ч	19,3 (± 0,6)	19,6 (± 0,4)	18,9 (± 1,4)	19,1 (± 1,3)	19,6 (± 0,9)	19,6 (± 1,1)
Бег до отказа, сек	528 (± 46)	540 (± 37)	518 (± 73)	521 (± 36)	540 (± 47)	570 (± 43)
ЧСС_{max} , уд/мин	192 (± 12)	185 (± 16)	200 (± 6)	196 (± 5)	195 (± 9)	195 (± 9)
La_{max} , ммоль/л	9,7 (± 2,0)	8,3 (± 1,7)	8,8 (± 1,6)	7,4 (± 0,9)	10,0 (± 2,4)	10,4 (± 2,0)

Примечание: $v_{\text{МПК}}$ – скорость при достижении МПК; ЧСС_{max} – максимальная частота сердечных сокращений; La_{max} – концентрация лактата в крови в конце теста.

действия на 5,9 %, следовательно эффект можно получить и за меньшее количество дней (17 вместо 21) при подборе адекватного по интенсивности гипоксического воздействия. Однако в ИГТ-группе, где интенсивность гипоксического воздействия оказалась намного выше (эквивалентно 6400 м НУМ), времени воздействия 60–90 мин в сутки оказалось недостаточно для активизации эритропоэза. В аналогичном исследовании [3] гемоглобин не изменился после 4-недельного гипоксического воздействия высокой интенсивности (4000–5000 м НУМ) на протяжении 3 часов в день.

Полученные результаты опровергают аналогичное исследование, где обнаружен прирост гемоглобина и гематокрита вместе со снижением концентрации ферритина при 60–90 минутном гипоксическом воздействии в день на протяжении 3 недель [1].

В результате эксперимента не обнаружено увеличение максимальной скорости бега у спортсменов ИГТ и СП-групп по сравнению с контрольной в максимальном нагрузочном тестировании на тредмиле. Также не обнаружено увеличения МПК у СП-группы, несмотря на увеличение гемоглобина, тогда как в аналогичных исследованиях доказана высокая корреляция между гемоглобином, гемоглобиновой массой и МПК [11]. Одним из возможных объяснений неизменности величины МПК у СП-группы может быть снижение максимальной ЧСС, что замедляет транспортировку кислорода к тканям. Таким образом, увеличение доставки кислорода за счет увеличения концентрации гемоглобина одновременно снижается.

Удельная энергостойкость бега, наряду с МПК и анаэробным порогом, имеет корреляцию с результатом в беге на выносливость 0,7–0,8 [2]. Многочисленные исследования, посвященные влиянию гипоксии на негематологические изменения в организме свидетельствуют, что работоспособность и выносливость спортсменов могут увеличиваться без роста гемоглобина и гемоглобиновой массы [3]. Повышение эффективности использования кислорода во время бега являлось одним из негематологических изменений в ответ на сон в палатке [3] и ИГТ [6]. В нашем исследовании обнаружено 2,8 % улучшение по УЭБ у СП-группы по сравнению с ИГТ-группой, следовательно,

сон в палатке имеет преимущество перед ИГТ относительно увеличения скорости бега с субмаксимальной интенсивностью.

Скорость бега при концентрации лактата в крови на уровне 3,0 ммоль/л незначительно увеличилась в ИГТ- и СП-группах по сравнению с контрольной. Сдвиг вправо на графике «Лактат-скорость бега в ИГТ и СП-группах» свидетельствует о положительных сдвигах в работающих мышцах за счет увеличения митохондриальной массы или повышения плотности капилляров.

Снижение максимальной ЧСС после эксперимента в гипоксических группах по сравнению с контрольной можно отнести к возможному переутомлению спортсменов гипоксических групп [8] несмотря на то, что все группы выполняли идентичные нагрузки. Это объясняется тем, что на спортсменов помимо тренировочного стресса накладывается дополнительный физиологический стресс, вызванный искусственной гипоксией и усиливающий напряжение регуляторных систем организма.

Очевидное различие в изменении гемоглобина между ИГТ- и СП-группами говорит о том, что ежедневной 60–90-минутной гипоксической тренировки недостаточно для усиления эритропоэза. Повышение скорости бега при концентрации лактата в крови 3,0 ммоль/л в СП-группе свидетельствует, что ночная прерывистая нормобарическая гипоксия повышает скорость бега при субмаксимальной интенсивности. В целом нет свидетельства улучшения гематологических и негематологических показателей у триатлонистов в ответ на интервальную гипоксическую тренировку.

Библиографический список

1. Bonetti D. L., Hopkins W. G. and Kilding A. E. High-intensity kayak performance after adaptation to intermittent hypoxia // *International Journal of Sports Physiology and Performance*. – 2006. – № 1. – P. 246–260.
2. Di Prampero P. E., Atchou G., Bruckner J. C. and Moia C. The energetics of endurance running // *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. – 1986. – № 55. – P. 259–266.
3. Gore C. J., Hahn A. G., Aughey R. J., Martin D. T., Ashenden M. J., Clark S. A., Garnham A. P., Roberts A. D., Slater G. J. and McKenna M. J. Live high: train low increases muscle buffer capacity and

ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

- submaximal cycling efficiency // *Acta Physiologica Scandinavica*. – 2001. – № 173. – P. 275–286.
4. Heck H., Mader A., Hess G., Mucke S., Muller R. and Hollmann W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold // *International Journal of Sports Medicine*. – 1985. – № 6. – P. 117–130.
5. Hellemans J. Intermittent hypoxic training: a pilot study // *Proceedings of the Second Annual International Altitude Training Symposium*. – Flagstaff, 1999. – P. 145–154.
6. Katayama K., Matsuo H., Ishida K., Mori S. and Miyamura M. Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal exercise efficiency // *High Altitude Medicine and Biology*. – 2003. – № 4. – P. 291–304.
7. Levine B. D. And Stray-Gundersen J. “Living high-training low”: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance // *Journal of Applied Physiology*. – 1997. – № 83. – P. 102–112.
8. Meeusen R., Duclos M., Gleeson M., Rietjens G., Steinacker J. M. and Urhausen A. Prevention, diagnosis and treatment of the Overtraining Syndrome: ECSS Position Statement “Task Force” // *European Journal of Sport Science*. – 2006. – № 6. – P. 1–14.
9. Millet G. P., Roels B., Schmitt L., Woorons X. and Richalet J. P. Combining hypoxic methods for peak performance // *Sports Medicine*. – 2010. – № 40. – P. 1–25.
10. Rusko H. K., Tikkanen H. O. and Peltonen J. E. Altitude and endurance training // *Journal of Sports Science*. – 2004. – № 22. – P. 928–945.
11. Schmidt W. and Prommer N. Impact of alterations in total hemoglobin mass on VO₂max // *Exercise and Sports Science Reviews*. – 2010. – № 38. – P. 68–75.
12. Wilber R. L. Application of altitude/hypoxic training by elite athletes // *Medicine and Science in Sports and Exercise*. – 2007. – № 39. – P. 1610–1624.

Glushkov Sergey Pavlovich

Dr. Sci. (Engineer.), Prof. of chair of Track and Field Athletics and Skiing of faculty of Physical Culture, Novosibirsk State Pedagogical University, rcpl@ngs.ru, Novosibirsk

Osipov Valery Mikhaylovich

Head of the Department of track and field athletics and skiing, faculty of physical culture, Novosibirsk State Pedagogical University, rcpl@ngs.ru, Novosibirsk

Pishchalov Evgeny Vladimirovich

Graduate Student, Faculty of Physical Culture, Novosibirsk State Pedagogical University, evgen2302@inbox.ru, Novosibirsk

EFFECTS OF NIGHT NORMOBARIC HYPOXIA AND INTERMITTENT HYPOXIC TRAINING ON THE BODY OF ATHLETES

Abstract. Application of night normobaric hypoxic exposure (sleep in a tent – ST) is a popular ergogenic aid amongst athletes. An alternative hypoxia protocol, acute (60–90 min daily) Intermittent Hypoxic Training (IHT). The aim of this study was to compare directly the effect of ST and IHT on the running and blood characteristics of athletes. Changes in total haemoglobin, maximal oxygen consumption (VO₂max), velocity at VO₂max, running economy, maximal blood lactate concentration (La) and 3 mm La running speed were compared following 17 days of ST, HT and control.

Keywords: oxygen consumption, normobaric hypoxia, lactate concentration, graduated test.

Поступила в редакцию 12.03.2015