

Е. В. Пищалов, С. П. Глушков

Эффект воздействия интервальной гипоксической тренировки на организм легкоатлета

В нашем исследовании мы отслеживали влияние интервальной гипоксической тренировки (ИГТ) на организм легкоатлета (спортивная ходьба) высокой квалификации. Мы оценивали сатурацию кислорода в крови в течение трех недель ИГТ, которая варьировалась от 90 % в начале ИГТ и до 70 % в конце. Моделируемая высота и продолжительность ИГТ выбирались согласно индивидуальному гипоксическому индексу. В конце ИГТ концентрация кислорода во вдыхаемой смеси составляла около 10 %, а моделируемая высота – 6400 м. С помощью спироэргометрии мы обнаружили рост абсолютного максимального потребления кислорода (МПК) с 4105 мл/мин до 4364 мл/мин. Относительное МПК выросло с 65,4 мл*мин/кг до 69,9 мл*мин/кг. Результат в тесте на 3 км улучшился на 13,7 сек. Темп ходьбы на уровне анаэробного порога (концентрация лактата в крови 4 Ммоль/л) вырос с 4,20 мин/км до 4,15 мин/км. Гематологический профиль изменился незначительно: гемоглобин вырос с 136 до 141 г/л, гематокрит – с 42 % до 43,3 %. Однако концентрация ретикулоцитов в крови увеличилась на 50 % – с 1 % до 1,5 %.

Ключевые слова: интервальная гипоксическая тренировка (ИГТ), максимальное потребление кислорода (МПК), сатурация (SpO₂), спироэргометрия, анаэробный порог.

Е. V. Pishchalov, S. P. Glushkov

The Effect Of Intermittent Hypoxic Training On The Body Of Athlete

In our study, we recorded the effect of interval hypoxic training (IHT), on the athlete's body (race walking). We estimated the oxygen saturation in the blood during three weeks of IHT, which ranged from 90 % at the beginning of IHT and up to 70 % at the end. Simulated altitude and duration of IHT was chosen according to the individual hypoxic index. At the end of IHT oxygen concentration in the air was about 10 %, and simulated altitude was 6400 m. Using spiroergometry we recorded the increase of the absolute maximum oxygen consumption (VO₂max) with 4105 ml/min to 4364 ml/min. Relative VO₂max increased from 65,4 ml*min/kg up to 69.9 ml*min/kg. The result of the test 3 km improved by 13.7 seconds. The pace of walking on the anaerobic threshold (concentration of lactate in the blood 4 Mmol/l) increased from 4,20 min/km to 4.15 min/km. A hematological profile has changed insignificantly: hemoglobin increased from 136 to 141 g/l, hematocrit, from 42 % to 43.3 %. However, the concentration of reticulocytes in the blood increased by 50 % – from 1 % to 1.5 %.

Keywords: intermittent hypoxic training (IHT), maximum oxygen consumption (VO₂max), saturation, spiroergometry, anaerobic threshold.

Введение

Гипоксические тренировки привлекли внимание спортсменов и тренеров во второй половине 20 века, изначально благодаря тому факту, что Олимпийские Игры 1068 года состоялись в Мехико на высоте 2400 м над уровнем моря (НУМ). Во время тренировки на выносливость в условиях среднегорья при условии сохранения тех же скоростей, что и в равнинных условиях, энергозатраты и нагрузка на организм увеличиваются на 10 % [8], что требует снижения интенсивности. Ряд авторов акцентируют внимание преимущества проживания и тренировок в условиях среднегорья, которые улучшают оксидативный энергетический метаболизм [3, 10]. Также несколькими исследованиями подтверждено влияние гипоксии на аэробную мощность, емкость и спортивный результат [4, 7, 8].

Часть авторов в своих исследованиях обнаружила улучшение кровяных показателей, участвующих в транспортировке кислорода к работающим мышцам [1, 4, 8]. В дополнение к этому подтверждено, что проживание в условиях нехватки кислорода не только увеличивает количество эритроцитов, но и продолжительность их жизни [3, 9].

В последнее время физиологи и ученые пытались воссоздать эффект пребывания в горах различными способами. Ученые из Финляндии (в 1993 году) и Швеции (в 1994 году) сконструировали помещения, где была имитирована атмосфера среднегорья – 2500 м НУМ. Концентрация кислорода в этих помещениях была искусственно занижена, но при этом сохранялось нормальное атмосферное давление. Принцип работы нормобарической гипоксии лежит в повышении уровня азота в гипоксических комнатах, при этом кон-

центрация кислорода снижена до 15,3 % с парциальным давлением 116 мм рт. ст. [8]. Использование искусственно моделируемой гипоксии совпадает с тренировочной моделью «живи наверху – тренируйся внизу». Еще одним методом применения гипоксии является интервальная гипоксическая тренировка (ИГТ), впервые опробованная на российских пилотах [6]. Метод основан на воздействии на организм прерывистой экстремальной гипоксией, имитирующей высоту до 6400 м. Данный метод осуществляется с помощью прибора, называемого гипоксикатором.

Особую значимость ИГТ приобретает для подготовки спортсменов из стран с холодным климатом, поскольку дает те же преимущества, что и пребывание в горах. Но, в отличие от тренировок в горах, ИГТ имеет ряд преимуществ, таких, как отсутствие акклиматизации и реакклиматизации, возможность тренироваться без снижения интенсивности и доступ к оперативному контролю за состоянием спортсмена (чего зачастую нет в местах проведения горной подготовки). Таким образом, применение нормобарической гипоксии в спорте высших достижений в России является одним из самых эффективных способов повышения работоспособности.

Методы

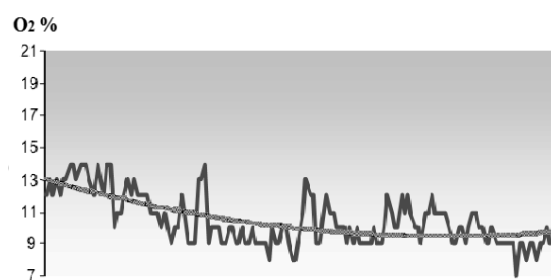
Характеристика субъекта:

Двадцатидвухлетняя спортсменка, мастер спорта международного класса по спортивной ходьбе, рост – 170 см, вес тела – 54 кг, пульс на уровне анаэробного порога 175 ± 1 уд/мин. В течение карьеры спортсменка 5 раз выезжала на тренировочные мероприятия в среднегорье продолжительностью от 3 до 6 недель с высотами от 800 до 1700 м НУМ (г. Кисловодск Россия и г. Чолпон-Ата, Кыргызстан). Спортсменка является членом сборной России по спортивной ходьбе и принимала участие в различных международных соревнованиях. Исследование проводилось в апреле и мае 2014 года в г. Новосибирске на базе некоммерческого партнерства «Профессиональная спортивная лига» и Школы высшего спортивного мастерства Новосибирской области. Для проведения ИГТ использовался гипоксикатор компании HYPOXICO, который генерирует воздух с пониженным содержанием кислорода – от 21 % до 9 %, что соответствует высотам от 100 до 6400 м НУМ с шагом 250 м. Сатурация кислорода в крови измерялась портативным пульсоксиметром компании HYPOXICO.

Спортсменка проходила курс ИГТ в свободное от тренировок время на протяжении четырех

недель (5 сеансов ИГТ через 2 дня отдыха в неделю), всего 20 тренировок. Имитируемые высоты подбирались опытным путем на основе индивидуальной восприимчивости организма к гипоксии. Каждая ИГТ длилась от 60 до 90 минут с варьированием высот от 4000 до 6400 м НУМ

В течение ИГТ спортсменка подвергалась воздействию гипоксии с содержанием кислорода во вдыхаемом воздухе от 14 до 9 %, соответствующего высоте от 3500 до 6400 м НУМ (рис 1, рис. 2). Сатурация кислорода в крови (SpO_2) опускалась с 90 % до 70 % (рис. 3).

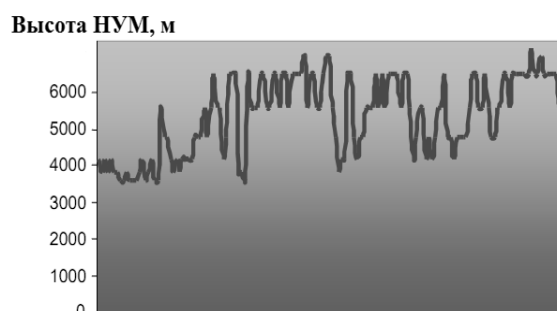


ИГТ 1 - 20 день

Рис. 1. Содержание кислорода во вдыхаемом воздухе в течение ИГТ.

Наши наблюдения строились на трех тестах:

1) Эргоспирометрия – первый тест – за 2 дня до начала ИГТ, второй тест – через 10 дней после сеанса ИГТ. Тест проводился на беговой дорожке с начальной скоростью 6 км/ч. Скорость возрастала на 1 км/ч каждые 2 минуты теста вплоть до 6-й минуты. Начиная с 7-й минуты скорость возрастала каждую минуту, пока не достигла 15 км/ч. После этого скорость не возрастала, но мы увеличивали наклон полотна беговой дорожки до тех пор пока скорость потребления кислорода не останавливалась, несмотря на повышение интенсивности нагрузки.



ИГТ 1 - 20 день

Рис. 2. Моделируемая высота НУМ в течение ИГТ.

2) Контрольный тест на 3 км (спортивная ходьба) – первый тест за один день до начала ИГТ, второй тест – через 5 дней после ИГТ. Тесты проводились на стадионе в 9.00 в схожих погодных условиях.

3) Темп на уровне анаэробного порога вычислялся с помощью анализатора уровня лактата Lactate Scout в течение теста 5 раз по 2000м на тредмиле. Каждый последующий интервал 2000м спортсменка выполняла на 10 сек быстрее предыдущего. Отдых между интервалами заключался во взятии крови из пальца для последующего анализа (30 сек). Концентрация лактата 4 ммоль/л соответствовала темпу на уровне анаэробного порога. Первый тест был проведен нами за 5 дней до ИГТ, второй – через 10 дней после ИГТ.

4) Клинический анализ крови и биохимия – первый тест проводился за 3 дня до начала ИГТ, второй тест – через 9 дней после ИГТ. Мы отслеживали изменения количества эритроцитов в крови, гемоглобин, гематокрит и процентное содержание ретикулоцитов. Тестирование спортсменки проводилось в компании «Сиблабсервис» на гематологическом анализаторе «Beckman Coulter LH 500» и биохимическом анализаторе «OLYMPUS AU 400».

Данные тесты позволяют оценить как «внутренний» (изменения МПК, показателей крови), так и «внешний» (улучшение результата в контрольном тесте) эффект ИГТ на организм спортсменки и продемонстрировать влияние гипоксии на кислородотранспортную функцию крови.

В первую неделю ИГТ мы зафиксировали сатурацию кислорода в крови на уровне 85–90 % при концентрации кислорода во вдыхаемой смеси на уровне 14 %. Как показывают графики на рисунках 1 и 3, гипоксия постепенно возрастает до уровня, сопоставимого с высотой 6400 м НУМ (с концентрацией кислорода 9 % и SpO_2 ниже 75 %).

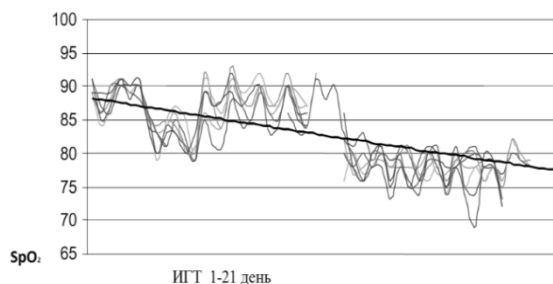


Рис. 3. Сатурация кислородом крови в течение ИГТ. (SpO_2 – сатурация)

Результаты и обсуждение

Спортсменка перенесла курс ИГТ относительно хорошо, без каких-либо негативных симптомов, часто присутствующих при гипобарической гипоксии. Единственным отрицательным моментом можно считать периодически возникающее небольшое головокружение у спортсменки во время сеанса ИГТ, что противоречит исследованиям зарубежных ученых [6], которые тестировали спортсменов во время ИГТ и не отмечали никаких негативных ощущений.

После окончания ИГТ у спортсменки периодически возникали (ориентировочно один раз в три дня) неприятные ощущения, связанные со слабостью и нежеланием тренироваться. Хотя парадоксальным моментом является то, что даже в эти дни, несмотря на неприятные ощущения, во время тренировок спортсменка отмечала повышенную работоспособность. В течение тренировки у спортсменки отмечалось хорошее самочувствие и более низкая частота сердечных сокращений (ЧСС), по сравнению с тренировками до сеансов ИГТ. К примеру, в течение четырехкилометровой тренировки с переменным темпом (200 м на уровне 105 % ПАНО и 95 % на уровне 95 % ПАНО) время преодоления уменьшилось на 21 секунду – с 17.57 до 17.36 с. В общем, мы можем констатировать факт, что спортсменка после курса ИГТ смогла выдерживать более интенсивную нагрузку при той же ЧСС, что и до ИГТ.

Эргоспирометрический тест выявил, что произошел прирост не только аэробной мощности, но и аэробной емкости. Опираясь на данные зарубежных исследователей [2, 6], мы фиксировали абсолютные и относительные величины МПК.

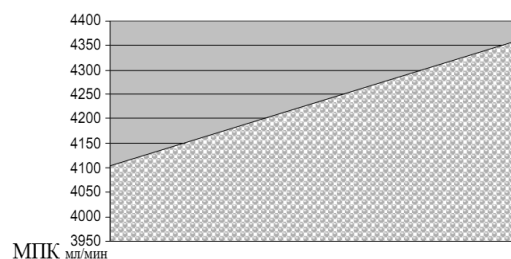


Рис. 4. Изменение относительных величин МПК в течение ИГТ.

Как мы можем наблюдать на рисунках 4 и 5, абсолютное МПК выросло с 4105 мл/мин до 4364 мл/мин. Масса тела спортсменки в течение курса ИГТ варьировалась незначительно ($\pm 0,4$ кг), что является подтверждением факта прироста относительных величин МПК с 65,4 мл/мин/кг до 69,9 мл/мин/кг.

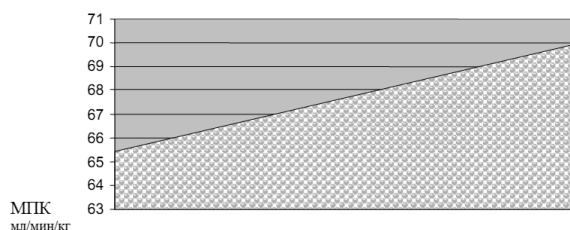


Рис. 5 Изменение абсолютных величин МПК в течение ИГТ.

Тест для определения уровня анаэробного порога 5 раз по 2000 м выполнялся за 5 дней до, и через 10 дней после курса ИГТ. Результаты теста и сдвиг темпа на уровне анаэробного порога представлены в таблице 1. Мониторинг осуществлялся в 10 утра в неизменных условиях при

Табл. 1 Сравнение концентрации лактата в крови спортсменки в тесте 5 раз по 2000 м до и после ИГТ

№ теста	1		2		3		4		5	
	Время, мин/2км	La ммоль/л	Время	La ммоль/л	Время	La ммоль/л	Время	La ммоль/л	Время	La ммоль/л
До ИГТ		2.9		3.3		4.1		5.7		7.0
После ИГТ	9.00	2.6	8.50	2.9	8.40	3.5	8.30	4.2	8.20	5.9

В видах спорта на выносливость обнаруживается [6, 9] разжижение крови за счет увеличение объема плазмы крови, что способствует снижению относительного объема некоторых компонентов крови (гемоглобин, гематокрит). Этот

температуре воздуха 19 °С на тредмиле. Как показывает тест, темп на уровне анаэробного порога улучшился с 4.20 мин/км до 4.15 мин/км, что говорит о том, что у спортсменки произошли положительные адаптационные сдвиги и повысилась аэробная экономичность.

Мы зафиксировали незначительные изменения гематологических параметров после ИГТ. Данный факт также подтверждается рядом исследований [2, 5, 9], однако некоторые авторы [3, 10] обнаружили лишь увеличение концентрации ретикулоцитов как наиболее показательный индикатор, сигнализирующий о стимулирующем эффекте ИГТ на процесс кроветворения.

факт зачастую воспринимается как ложная анемия. Изменения показателей крови после курса ИГТ представлены в табл. 2.

Табл. 2. Сравнение основных гематологических параметров до и после курса ИГТ

	Гематокрит, %	Гемоглобин, г/л	Эритроциты, млн/мкл	Ретикулоциты, %
До ИГТ	42	136	4.10	1,0
После ИГТ	43,3	141	4.28	1,5

Наиболее показательным результатом влияния ИГТ на организм спортсменки является улучшение спортивного результата в соревнованиях или контрольных тестах. Спортсменка делала трехкилометровый тест с максимальным усилием до и после ИГТ. После курса ИГТ результат улучшился на 13 секунд. Тест проводился в практически аналогичных климатических условиях в одно и то же время на стадионе «Спартак» города Новосибирска. Средняя ЧСС в тесте после ИГТ оказалась ниже на 2 уд/мин (180 и 178 уд/мин соответственно), максимальная ЧСС – ниже на 4 уд/мин в тесте после ИГТ (192 и 188 уд/мин соответственно). Мы выбрали для теста дистанцию 3 км как оптимальную, с точки зрения максимума потребления кислорода, поскольку потребление кислорода у ходяков снижается по мере увеличения продолжительности дистанции [1]. Следовательно, данный тест дал наиболее адекватную информацию о максимальной аэробной работоспособности.

Выводы

Особую значимость ИГТ приобретает для подготовки спортсменов из стран с холодным климатом, поскольку дает те же преимущества, что и пребывание в горах. Но, в отличие от тренировок в горах, ИГТ имеет ряд преимуществ, таких, как отсутствие акклиматизации и реакклиматизации, возможность тренироваться без снижения интенсивности и доступ к оперативному контролю за состоянием спортсмена (чего зачастую нет в местах проведения горной подготовки). Таким образом, применение нормобарической гипоксии в спорте высших достижений в России является одним из самых эффективных способов повышения работоспособности.

Наиболее важный показатель, который мы получили в процессе исследования – это улучшение результата в трехкилометровом тесте. На основе нашего исследования мы рекомендуем трехнедельный курс ИГТ с концентрацией вдыхаемого кислорода 15%.

хаемого воздуха 14–9 % с сатурацией 75–85 %. Мы предлагаем применять 90-минутную ИГТ в виде 6 минут гипоксии через 3 минуты нормоксии (10 раз).

Библиографический список

1. Gursky, K. People on mountains. / K. Gursky // Presov: Vydavateľstvo Michala Vasa – 1994. – 237p.

2. Katayama K. Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximum exercise efficiency / K. Katayama, H. Matsuo, K. Ishida, S. Mori, M. Miyamura // High Alt Med Biol. – 2003. – № 4(3). Pp. 291–304.

3. Kobela P. Using of optimal training methods in preparation of 17 -18 years old biathlon athletes on mountains / P Kobela // Banská Bystrica: KTVS FHV UMB. – 2007. – 138 p.

4. Levine B. «Living high-training low»: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance / B. Levine, J. Stray-Gundersen // Journal of Applied Physiology. – 1997. – № 83. Pp. 102–112.

5. Hamlin J.M. Intermittent Hypoxic Training in Endurance Athletes. In J.M. Hamlin, & J. Hellemans (eds) / J.M. Hamlin, J. Hellemans // Reported at Australian Conference of Science and Medicine in Sport. – 2003. – № 1–2.

6. Hamlin J.M. Effects of intermittent normobaric hypoxia on blood parameters in multi-sport endurance athletes / J.M. Hamlin, J. Hellemans // Med Sci Sports Exerc. – 2004. – № 31 (2). Pp. 264–268.

7. Meeuwsen T. Training-induced increases in sea level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia / T. Meeuwsen, I.J.M. Hendriksen, M. Holewijn // European Journal of Applied Physiology. – 2001. – № 84. Pp. 283–290.

8. Pupis M. Hypoxia as a component of sport training / M. Pupis, P. Korcok // Banská Bystrica: KTVS FHV UMB. – 2007. – 98 p.

9. Rodriguez F.A. Erythropoietin acute resection and hematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia / F.A. Rodriguez // European Journal of Applied Physiology. – 2000. – № 82. Pp. 170–177.

10. Springlová M. Effect of high altitude environment to adaptation of body of long distance runner / M. Springlová // Praha: Závěrečná práce trenérské školy, FTVS. – 1999. – 102 p.

6. Hamlin J.M. Effects of intermittent normobaric hypoxia on blood parameters in multi-sport endurance athletes / J.M. Hamlin, J. Hellemans // Med Sci Sports Exerc. – 2004. – № 31 (2). Pp. 264–268.

7. Meeuwsen T. Training-induced increases in sea level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia / T. Meeuwsen, I.J.M. Hendriksen, M. Holewijn // European Journal of Applied Physiology. – 2001. – № 84. Pp. 283–290.

8. Pupis M. Hypoxia as a component of sport training / M. Pupis, P. Korcok // Banská Bystrica: KTVS FHV UMB. – 2007. – 98 p.

9. Rodriguez F.A. Erythropoietin acute resection and hematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia / F.A. Rodriguez // European Journal of Applied Physiology. – 2000. – № 82. Pp. 170–177.

10. Springlová M. Effect of high altitude environment to adaptation of body of long distance runner / M. Springlová // Praha: Závěrečná práce trenérské školy, FTVS. – 1999. – 102 p.

Bibliografickij spisok

1. Gursky, K. People on mountains. / K. Gursky // Presov: Vydavateľstvo Michala Vasa – 1994. – 237p.

2. Katayama K. Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximum exercise efficiency / K. Katayama, H. Matsuo, K. Ishida, S. Mori, M. Miyamura // High Alt Med Biol. – 2003. – № 4(3). Pp. 291–304.

3. Kobela P. Using of optimal training methods in preparation of 17 -18 years old biathlon athletes on mountains / P Kobela // Banská Bystrica: KTVS FHV UMB. – 2007. – 138 p.

4. Levine B. «Living high-training low»: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance / B. Levine, J. Stray-Gundersen // Journal of Applied Physiology. – 1997. – № 83. Pp. 102–112.

5. Hamlin J.M. Intermittent Hypoxic Training in Endurance Athletes. In J.M. Hamlin, & J. Hellemans (eds) / J.M. Hamlin, J. Hellemans // Reported at Australian Conference of Science and Medicine in Sport. – 2003. – № 1–2.