

## ВЛИЯНИЕ НОРМОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ НА ГЕМОДИНАМИКУ СПОРТСМЕНОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАГРУЗОЧНЫХ ТЕСТОВ

Р. А. Юсупов<sup>1</sup>, К. П. Романов<sup>1</sup>, А. Ф. Гизатуллина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет  
имени А. Н. Туполева — КАИ, Казань, Россия

<sup>2</sup>Центр спортивной подготовки Министерства по делам молодёжи и спорту, Казань, Россия

Приведены результаты экспериментального исследования влияния кратковременной нормобарической гипоксии на гемодинамические показатели. Рассмотрены показатели: частота сердечных сокращений, артериальное давление, двойное произведение и сатурация крови. На основании результатов определена оптимальная высота над уровнем моря, которая хорошо переносится здоровыми спортсменами и может быть успешно применена для проведения субмаксимального нагрузочного теста, определяющего толерантность организма спортсмена к гипоксическим тренировкам.

**Ключевые слова:** кратковременная нормобарическая гипоксия, толерантность к гипоксии, срочная адаптация, гипоксическая тренировка, гемодинамические показатели.

**Актуальность.** Гипоксия — состояние, возникающее при недостаточном снабжении тканей организма кислородом. Под воздействием гипоксии включаются компенсаторные механизмы на всех уровнях и во всех системах организма. От степени гипоксического стимула и длительности воздействия будет зависеть то, насколько сильно разовьются компенсаторные реакции. Физиологические механизмы адаптации активно используются в тренировочном процессе для развития специальной физической работоспособности. Тренировки в условиях гипоксии имеют широкие возможности для развития общей выносливости и скоростно-силовых качеств, поэтому актуальной является оценка механизмов адаптации организма к кратковременной дозированной гипоксии. Определение толерантности спортсменов к воздействию кратковременной гипоксии позволит подобрать индивидуальный режим гипоксической тренировки, степень и длительность гипоксического стимула [3. С. 41].

**Цель исследования:** выявление влияния искусственного дозированного гипоксического фактора на показатели гемодинамики.

**Материал и методы исследования:** Обследовано 14 студентов-хоккеистов (мужчины) в возрасте 21–22 лет, не имеющих каких-либо острых и хронических заболеваний. Со всеми спортсменами проводилась велоэргометрия. Для оценки реакции ряда показателей сердечно-сосудистой системы нами были исследованы неаклимати-

зированные атлеты, которым было предложено выполнить дозированную физическую нагрузку на велоэргометре из расчёта 2 Вт/кг. Проводилось исследование в четыре этапа: на первом этапе атлеты выполняли физическую нагрузку без гипоксии; на втором гипоксикатор моделировал условия 884 м над уровнем моря; на третьем этапе — 1 750 м; на четвёртом — 3 750 м. Временной промежуток между этапами — неделя. Перед началом физической нагрузки, во время применения гипоксикатора, испытуемые дышали гипоксической смесью в течение 5 минут. Длительность нагрузки и времени восстановления после неё — по 5 минут [5]. В течение всего теста фиксировались показатели частоты сердечных сокращений, артериального давления, двойного произведения, пульсового давления и сатурации крови [1. С. 213; 7].

Для создания условий нормобарической гипоксии был использован гипоксикатор EVEREST SUMMIT II, который может понижать уровень кислорода до 13 % (норма — 21 %). В проведённом эксперименте условия считались как на уровне моря на первом этапе (высота над уровнем моря для Казани 128 м) и посредством гипоксикатора моделировались условия, отличные от него: 884, 1 707 и 3 085 м. При сопоставлении со значениями из рис. 1 можно определить эквивалентное содержание кислорода: для высоты 884 м — 19 %, для 3 085 м — 15,3 % кислорода.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Перед началом исследования регистрировались

### Altitude Equivalents, Feet

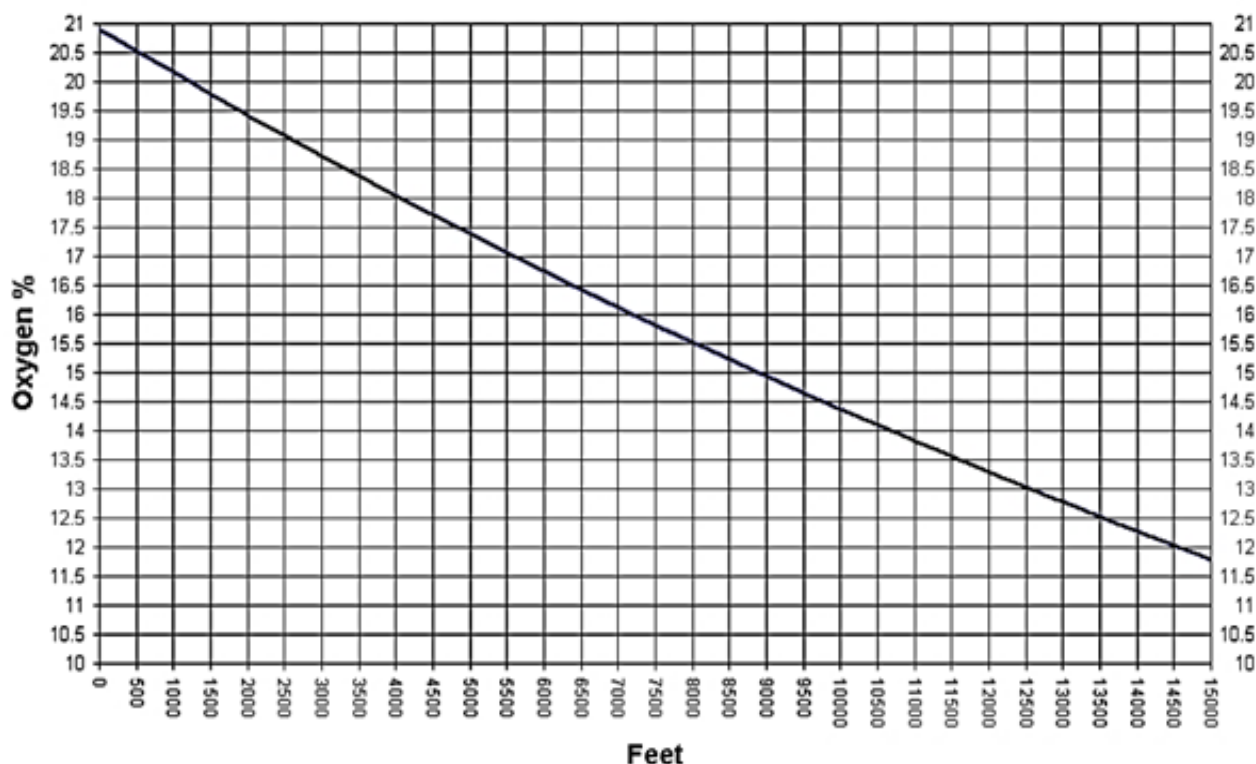


Рис. 1. Изменение содержания кислорода в зависимости от моделируемой высоты на гипоксикаторе (высота в футах, 1 фут = 0,348 м)

**Примечание.** Очевидно, что при повышении высоты не происходит снижения содержания кислорода в воздухе, а снижается его парциальное давление. Поэтому единственный выход при моделировании различных высот над уровнем моря посредством применения нормобарической гипоксии — понижение в процентах содержания  $O_2$  во вдыхаемом воздухе [2. С. 36; 6]

частота сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД) и сатурация крови кислородом, также эти показатели фиксировались сразу после нагрузочного теста, на 2-й и на 5-й минутах восстановления. Исследование заключалось в тестировании на велоэргометре (5 мин) сначала в обычных условиях и затем в условиях искусственной дозированной гипоксии на следующих высотах над уровнем моря: 884 м (содержание кислорода ~20,3 %), 1 707 м (содержание кислорода ~19,5 %), 3 085 м (содержание кислорода ~18,6 %), создаваемой гипоксическим генератором Hypoxic Altitude Training Systems Everest Summit II Hypoxic Generator and Accessories.

После нагрузки в условиях гипоксии (этап восстановления) гемодинамические показатели практически возвращались к исходным (до нагрузки) в течение 5 мин. Сразу после нагрузки с нарастанием уровня гипоксии наблюдалось снижение уровня сатурации крови кислородом (без гипоксии —

97,3±0,96 %, гипоксия 884 м — 93,9±1,88 %, гипоксия 1 707 м — 90,4±3,69 %, гипоксия 3 085 м — 83,8±3,8 %;  $p < 0,001$ ) (рис. 2).

Пульсовое давление во время нагрузки в условиях гипоксии повышалось ( $p = 0,048$ ), что говорит об увеличении ударного объема (без гипоксии — 68±15,2 мм рт. ст., гипоксия 884 м — 76,9±19,33 мм рт. ст., гипоксия 1707 м — 85±16,1 мм рт. ст., гипоксия 3085 м — 89 ± 19 мм рт. ст.) (рис. 3).

Средняя ЧСС сразу после нагрузки на высотах 1707 и 3 085 м имела субмаксимальные значения и была ниже ЧСС при нагрузке в условиях нормоксии (рис. 4).

Динамика среднего двойного произведения с увеличением высоты представлена на рис. 5.

**Выводы.** Существенного влияния искусственно вызванного, дозированного гипоксического фактора на большинство анализируемых показателей гемодинамики во время нагрузочного теста выявлено не было.

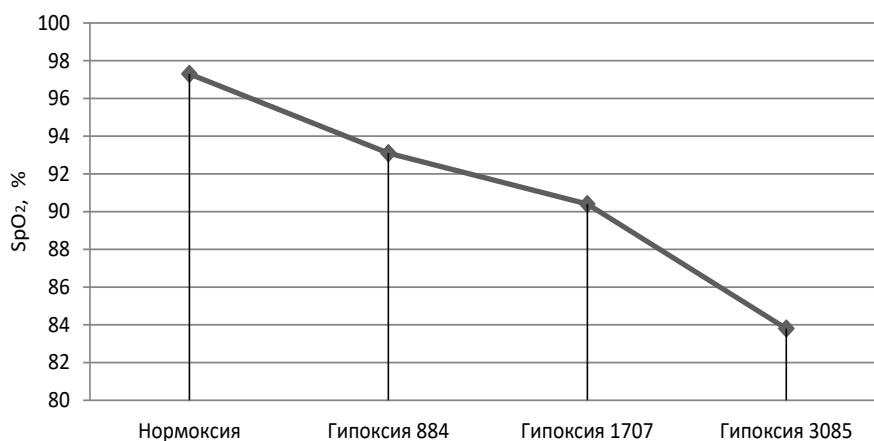


Рис. 2. Динамика среднего уровня насыщения крови кислородом сразу после нагрузки с увеличением высоты

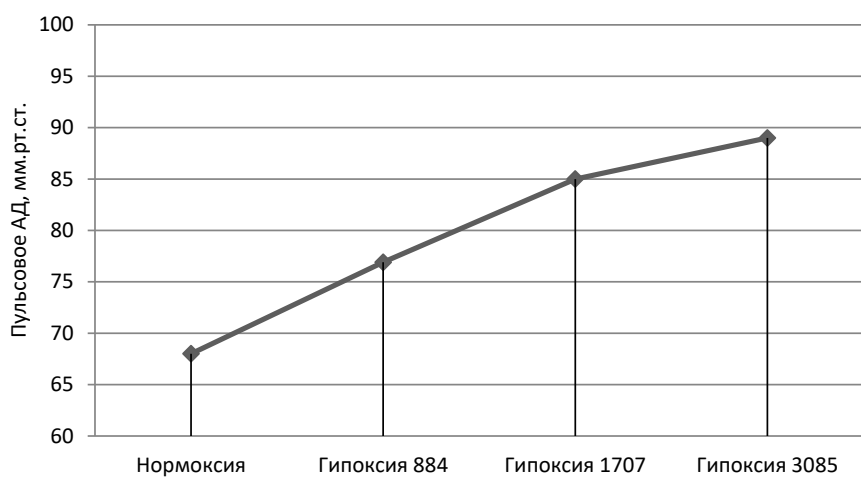


Рис. 3. Динамика среднего pulseвого артериального давления сразу после нагрузки с увеличением высоты

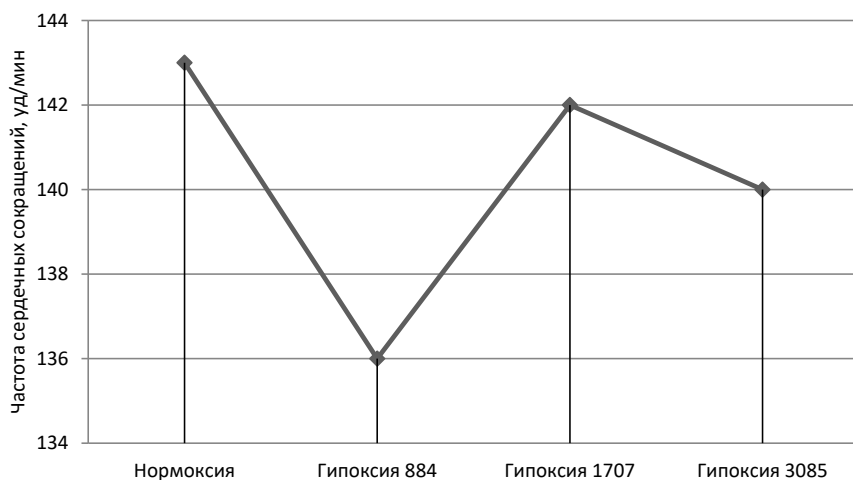


Рис. 4. Динамика средней частоты сердечных сокращений сразу после нагрузки с увеличением высоты

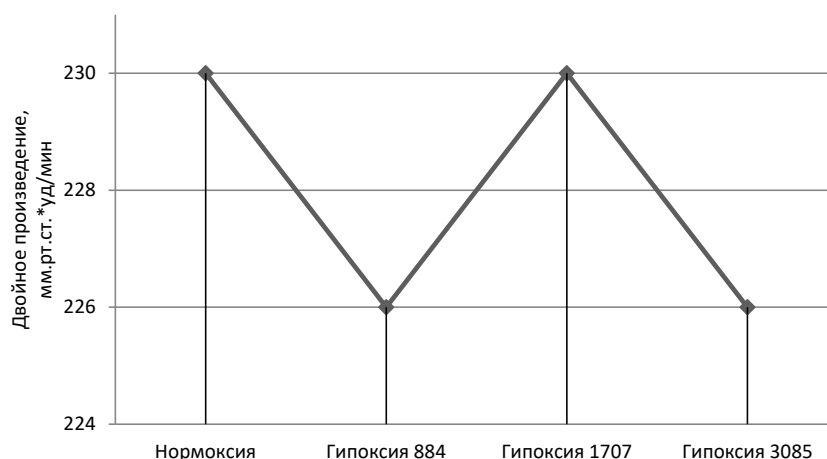


Рис. 5. Динамика среднего двойного произведения сразу после нагрузки с увеличением высоты

Проведение нагрузочного теста в условиях кратковременной дозированной гипоксии позволило определить по напряжению компенсаторных механизмов, что для получения тренировочного эффекта необходимо создать условия гипоксии 2-й степени (содержание кислорода ~18,6 %).

При кратковременной гипоксии имеется линейная зависимость увеличения ударного объема, как компенсаторного механизма, со снижением сатурации крови кислородом.

Кратковременная гипоксия 2-й степени (содержание кислорода ~18,6 %) хорошо переносится здоровыми спортсменами и может быть успешно применена для проведения субмаксимального нагрузочного теста, определяющего толерантность организма спортсмена к гипоксическим тренировкам на среднегорье (высоты 2 500–3 085 м над уровнем моря) или тренировкам с использованием гипоксических масок.

### Список литературы

1. Арбузова, О. В. Реакции кардиореспираторной системы и изменения физической работоспособности пловцов разного возраста при действии нормобарической гипоксии / О. В. Арбузова, М. В. Балыкин,

Д. В. Коптелов // Вестн. новых мед. технологий. — 2009. — Т. XVI, № 2. — С. 212–214.

2. Бельченко, Л. А. Адаптация человека и животных к гипоксии разного происхождения / Л. А. Бельченко // Соросов. образоват. журн. — 2001. — Т. 7, № 7. — С. 33–39.

3. Березовский, В. Повышение резервных возможностей человека путём тренировки прерывистой нормобарической гипоксией / В. Березовский, М. Левашов // Аэрокосм. и эколог. медицина. — 2000. — Т. 34, № 2. — С. 39–43.

4. Набатов, А. А. Гипоксическая тренировка: внимание на отрицательные стороны для митохондрий / А. А. Набатов // Учёные зап. Ун-та имени П. Ф. Лесгафта. — 2015. — № 8. — С. 104–110.

5. Платонов, В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и её практические приложения / В. Н. Платонов. — Киев: Олим. лит., 2004. — 808 с.

6. Robach, P. Hypoxic training: effect on mitochondrial function and aerobic performance in hypoxia / P. Robach, T. Bonne, D. Flück, S. Bürgi, M. Toigo, R. A. Jacobs, C. Lundby // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. — 2014. — Vol. 46, no. 10. — P. 1936–1945.

7. Schommer, K. Health risk for athletes at moderate altitude and normobaric hypoxia / K. Schommer, E. Menold, A. W. Subudhi, P. Bärtsch // *Br. J. Sports Med.* — 2012. — Vol. 46, no. 11. — Pp. 828–832.

Поступила в редакцию 11 июля 2018 г.

**Для цитирования:** Юсупов, Р. А. Влияние нормобарической гипоксии на гемодинамику спортсмена при проведении нагрузочных тестов / Р. А. Юсупов, К. П. Романов, А. Ф. Гизатуллина // *Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация*. — 2018. — Т. 3, № 3. — С. 75–79.

### Сведения об авторах

**Юсупов Ринат Андарзянович** — доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физической культуры и спорта, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева — КАИ. Казань, Россия. [rinatbox@rambler.ru](mailto:rinatbox@rambler.ru)

**Романов Константин Петрович** — кандидат медицинских наук, доцент кафедры физической культуры и спорта, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева — КАИ. Казань, Россия. *distmed@mail.ru*

**Гизатуллина Асия Фархадовна** — врач функциональной диагностики, Центр спортивной подготовки Министерства по делам молодёжи и спорту. Казань, Россия. *bonheur\_17@bk.ru*

## PHYSICAL CULTURE. SPORT. TOURISM. MOTOR RECREATION

2018, vol. 3, no. 3, pp. 75–79.

### Influence of Normobaric Hypoxia when Conducting Load Tests on the Hemodynamic Performance of Athletes

**R.A. Yusupov<sup>1a</sup>, K.P. Romanov<sup>1b</sup>, A.F. Gizatullina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI, Kazan, Russia

<sup>a</sup>*rinatbox@rambler.ru*; <sup>b</sup>*distmed@mail.ru*

<sup>2</sup>Centre of Sports Training of the Ministry of Youth and Sports of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

*bonheur\_17@bk.ru*

Hypoxia—a condition that occurs when insufficient supply of oxygen to the tissues of the body. Under the influence of hypoxia include compensatory mechanisms at all levels and in all systems of the body. Depending on the degree of hypoxic stimulus and duration of exposure will depend on how much develop compensatory reactions. Physiological mechanisms of adaptation are actively used in the training process for the development of special physical performance. Training in conditions of hypoxia have ample opportunities for the development of General endurance and speed-power qualities.

**Keywords:** *short-term normobaric hypoxia, tolerance to a hypoxia, urgent adaptation, hypoxic training, hemodynamic parameters.*

### References

1. Arbuzova O.V., Balykin M.V., Koptelov D.V. Reaktsii kardiorespiratornoy sistemy i izmeneniya fizicheskoy rabotosposobnosti plovtsov raznogo vozrasta pri deystvii normobaricheskoy gipoksii [Reactions of cardiorespiratory system and changes in physical performance of swimmers of different age under the action of normobaric hypoxia]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Bulletin of New Medical Technologies], 2009, vol. XVI, no. 2, pp. 212–214. (In Russ.).

2. Bel'chenko L.A. Adaptatsiya cheloveka i zhivotnykh k gipoksii raznogo proiskhozhdeniya [Adaptation of man and animals to hypoxia of different origin]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal* [Soros educational journal], 2001, vol. 7, no. 7, pp. 33–39. (In Russ.).

3. Berezovskiy V., Levashov M. Povysheniye rezervnykh vozmozhnostey cheloveka putyom trenirovki preryvnoy normobaricheskoy gipoksiey [Increasing the reserve capacity of a person by training intermittent normobaric hypoxia]. *Aerokosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina* [Aerospace and environmental medicine], 2000,

vol. 34, no. 2, pp. 39–43. (In Russ.).

4. Nabatov A.A. Gipoksicheskaya trenirovka: vnimaniye na otritsatel'nyye storony dlya mitokhondriy [Hypoxic training: attention to the negative sides for mitochondria]. *Uchyonyye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta* [Scientific notes of the University named after P.F. Lesgaft], 2015, no. 8, pp. 104–110. (In Russ.).

5. Platonov V.N. *Sistema podgotovki sportsmenov v olimpiyskom sporte. Obshchaya teoriya i yeyo prakticheskiye prilozheniya* [The system of training athletes in Olympic sports. General theory and its practical applications]. Kiev, 2004. 808 p. (In Russ.).

6. Robach P., Bonne T., Flück D., Bürgi S., Toigo M., Jacobs R.A., Lundby C. Hypoxic training: effect on mitochondrial function and aerobic performance in hypoxia. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2014, vol. 46, no. 10, pp. 1936–1945.

7. Schommer K., Menold E., Subudhi A.W., Bärsch P. Health risk for athletes at moderate altitude and normobaric hypoxia. *Br. J. Sports. Med.*, 2012, vol. 46, no. 11, pp. 828–832.