



## ДИНАМИЧЕСКАЯ БРАДИКАРДИЯ КАК КРИТЕРИЙ УСТОЙЧИВОСТИ СПОРТСМЕНОВ К ГИПОКСИИ

Н.А. ФУДИН, Ю.Е. ВАГИН, Е.В. БЫКОВА

ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий»,  
ул. Балтийская, д. 8, г. Москва, 125315, Россия

**Аннотация.** Динамика частоты пульса при гиповентиляционных тренировках была изучена недостаточно. **Цель исследования** – определить длительности выработки рефлекса ныряльщика у начинающих спортсменов. **Материалы и методы исследования.** Спортсмены работали на велоэргометре на фоне максимальной произвольной задержки дыхания до, в ходе и после гиповентиляционных тренировок в течение 4 недель. Измеряли длительность задержек дыхания, длительность работы на велоэргометре и частоту пульса. **Результаты и их обсуждение.** В покое при задержках дыхания возникала брадикардия. При работе на фоне задержки дыхания возникала тахикардия. Тренировки увеличивали время задержек дыхания на 113% и работы на 29%. При тренировках при задержках дыхания в покое брадикардия сохранялась. При работе на фоне задержки дыхания тахикардия исчезала, и через 4 недели тренировок возникала брадикардия. **Заключение.** Тренировки не занимающихся фридайвингом спортсменов вырабатывали рефлекс ныряльщика, что повышало их резервные возможности.

**Ключевые слова:** гиповентиляционные тренировки, задержка дыхания, частота пульса, рефлекс Геринга, рефлекс ныряльщика.

## DYNAMIC BRADYCARDIA AS A CRITERION OF ATHLETES' RESISTANCE TO HYPOXIA

N.A. FUDIN, Yu.E. VAGIN, E.V. BYKOVA

Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center for Original and Promising Biomedical and Pharmaceutical Technologies”, 8 Baltiyskaya str., Moscow, 125315, Russia

**Abstract.** The dynamics of heart rate during hypoventilation training has been under researched. **Purpose of the study** was to determine the duration of diver reflex production in novice athletes. **Materials and methods of the study.** The athletes were working on a bicycle ergometer in the background of maximum voluntary breath-holding before, during and after hypoventilation training for 4 weeks. The duration of breath-holds, duration of work on the bicycle ergometer and heart rate were measured. **Results and their discussion.** At rest, bradycardia occurred during breath-holds. When working against the background of breath-holding, tachycardia occurred. Training increased the time of breath-holding by 113% and work by 29%. In training during breath-holding at rest, bradycardia was preserved. During work at breath-holding, tachycardia disappeared and bradycardia appeared after 4 weeks of training. **Conclusion.** Training of non-freediving athletes produced the diver's reflex, which increased their reserve capabilities.

**Key words:** hypoventilation training, breath-holding, heart rate, Goring reflex, diver's reflex.

**Введение.** Известно, что при максимальной произвольной задержке дыхания (ЗД) на вдохе у человека в состоянии покоя изменяется частота пульса (ЧП) [1]. У одних людей ЧП изменяется незначительно, у других возникает тахикардия, но у большей части людей происходит брадикардия [1] за счет врожденного рефлекса Геринга [4, 7]. У подготовленных к ЗД фридайверов при ЗД как в состоянии физического покоя, так и при физической нагрузке возникает брадикардия [9] за счет приобретенного рефлекса ныряльщика [3, 8, 10]. Чем лучше у спортсмена выражен рефлекс ныряльщика, тем больше его устойчивость к статической гипоксии при ЗД в покое и динамической гипоксии при физической работе [1].

Известно, что для увеличения работоспособности и гипоксической устойчивости спортсменов применяют гиповентиляционные тренировки (ГВТ) [2, 5, 6]. Однако динамика ЧП при ГВТ изучена недостаточно. Имело значение выяснить возможность выработки рефлекса ныряльщика с помощью ГВТ у начинающих спортсменов не занимающихся фридайвингом.

**Цель исследования** – определение длительности выработки рефлекса ныряльщика у начинающих спортсменов.

**Материалы и методы исследования.** Протокол исследования был выполнен в соответствии с рекомендациями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации [11].

**Контингент обследуемых спортсменов.** Были обследованы 12 начинающих спортсменов в возрасте 18-20 лет, которые проводили двигательные тренировки два раза в неделю. Все спортсмены не имели врачебных противопоказаний к физическим упражнениям и произвольным задержкам дыхания.

**Последовательность исследования.** В состоянии физического покоя у спортсменов регистрировали ЧП с помощью пальцевого пульсоксиметра ZK-301 (RoHS CE PC). Затем спортсмены выполняли пробу Штанге, и у них измеряли длительность ЗД и ЧП в конце ЗД.

Физическую нагрузку спортсмены выполняли на велоэргометре SE-300-45 (Россия), вращая педали на фоне ЗД до предела физиологической возможности. Скорость вращения педалей была 1 оборот в секунду при сопротивлении вращения 60 Вт, которое контролировали датчиком прибора SIGMA-bc-509 (Германия). Измеряли длительность работы на велоэргометре и ЧП в конце работы.

Потом спортсменов обучали гиповентиляционному ритму дыхания в покое в положении сидя. Дыхание было спокойным и ритмичным с длительностью вдоха 1,2 с, выдоха 1,5 с и удлиненной паузой после выдоха в течение 5-10 с. Затем спортсмены самостоятельно проводили ГВТ по 30 минут три раза в день. Длительность ГВТ была 4 недели, что было достаточно для получения положительных изменений в организме спортсменов, как было установлено нашими предыдущими исследованиями [2]. После каждой тренировки спортсмены самостоятельно измеряли длительность ЗД. Кроме того, раз в неделю проводили ГВТ спортсменов под руководством исследователя в течение 40 мин. Каждая такая тренировка включала измерение ЗД в покое в начале, в середине и после окончания тренировки, приседания на фоне ЗД в начале и середине тренировки и два этапа гиповентиляционного дыхания по 10 мин.

Через каждую неделю ГВТ у спортсменов измеряли длительность ЗД в покое, время работы на велоэргометре и ЧП в покое, при ЗД и при работе на велоэргометре.

**Статистический анализ.** Полученные результаты обрабатывали с помощью параметрического пакета программы Statistica 10 компании «Microsoft». В каждой группе спортсменов вычисляли средние арифметические величины и среднее квадратичное отклонение для каждого исследуемого параметра. Вариационные ряды зарегистрированных параметров имели нормальность распределения, о чем свидетельствовала симметричная колоколообразная форма гистограмм частоты каждого вариационного ряда параметров, разбитых на классы. Различия между средними величинами параметров были при статистической значимости  $p < 0,05$ , которую оценивали по  $t$ -критерию Стьюдента.

**Результаты и их обсуждение.** **Длительность ЗД.** Через 4 недели ГВТ спортсменов длительность их максимальной произвольной ЗД увеличилась статистически значимо при  $p < 0,001$  на  $113 \pm 18\%$ . У спортсменов повышалась вентиляционная устойчивость к гипоксии.

**ЧП при ЗД.** В состоянии физического покоя спортсменов до ГВТ при ЗД средние значения ЧП уменьшились на  $8,0 \pm 4,6$  уд/мин, через 1 неделю ГВТ – на  $11,6 \pm 3,9$ , через 2 недели – на  $19,7 \pm 5,5$ , через 3 недели – на  $10,9 \pm 6,3$  и через 4 недели – на  $12,3 \pm 4,8$  уд/мин. Уменьшение ЧП было статистически значимым до ГВТ и на 1 неделе ГВТ при  $p < 0,05$ , на 2 неделе ГВТ при  $p < 0,005$  и на 4 неделе ГВТ при  $p < 0,001$  (рис. 1). Уменьшение ЧП спортсменов при ЗД в состоянии физического покоя до и в ходе ГВТ происходило вследствие врожденного рефлекса Геринга [4, 7]. ГВТ спортсменов не влияли на брадикардию при ЗД.

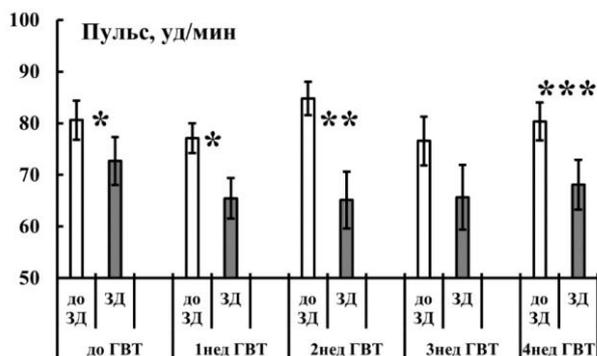


Рис. 1. Частота пульса (уд/мин) спортсменов в состоянии физического покоя до и при задержке дыхания (ЗД) до гиповентиляционных тренировок (ГВТ) и через 1, 2, 3 и 4 недели ГВТ.

**Примечание:** \* – статистически значимое отличие между частотой пульса до ЗД и при ЗД до ГВТ и через 1 неделю ГВТ при  $p < 0,05$ . \*\* – статистически значимое отличие между частотой пульса до ЗД и при ЗД и через 2 недели ГВТ при  $p < 0,005$ . \*\*\* – статистически значимое отличие между частотой пульса до ЗД и при ЗД и через 4 недели ГВТ при  $p < 0,001$

*Длительность работы.* Через 4 недели ГВТ спортсменов длительность их работы на велоэргометре на фоне максимальной произвольной ЗД увеличилась статистически значимо при  $p < 0,001$  на  $29 \pm 5\%$ . У спортсменов повышалась работоспособность на фоне вентиляционной и двигательной гипоксии.

*ЧП при работе.* При работе на велоэргометре спортсменов на фоне ЗД до ГВТ среднее значение ЧП увеличилось статистически значимо при  $p < 0,001$  на  $20,6 \pm 6,3$  уд/мин, что было вызвано увеличением кислородного запроса в работающей мускулатуре. В течение трех недель ГВТ при работе на велоэргометре спортсменов на фоне ЗД средние значения ЧП статистически значимо не изменились, а была тенденция к их уменьшению. Через 4 недели ГВТ при работе на велоэргометре спортсменов на фоне ЗД среднее значение ЧП уменьшилось статистически значимо при  $p < 0,001$  на  $24,2 \pm 5,6$  уд/мин (рис. 2). Брадикардия была одним из процессов, происходящих у спортсменов при регулярных гипоксических тренировках [1, 7]. Следовательно, через 4 недели ГВТ у спортсменов начал вырабатываться рефлекс ныряльщика.

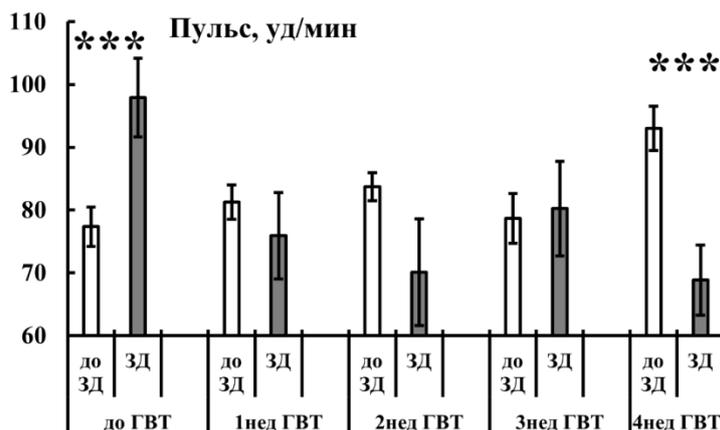


Рис. 2. Частота пульса (уд/мин) спортсменов до задержки дыхания (ЗД) в покое и при работе на велоэргометре на фоне ЗД до гиповентиляционных тренировок (ГВТ) и через 1, 2, 3 и 4 недели ГВТ.

*Примечание:* \*\*\* – статистически значимое отличие между частотой пульса до ЗД и при ЗД до ГВТ и через 4 недели ГВТ при  $p < 0,001$

**Заключение.** При ЗД у спортсменов в состоянии покоя возникала брадикардия вследствие врожденного рефлекса Геринга [4, 7]. ГВТ спортсменов не влияли на этот рефлекс при ЗД. При работе на велоэргометре на фоне ЗД возникала тахикардия, которая улучшала кровообращение в работающих мышцах. При ГВТ спортсменов тахикардия исчезала, и ЧП не изменялась в течение трех недель при работе на велоэргометре на фоне ЗД. Через 4 недели ГВТ спортсменов при работе на велоэргометре на фоне ЗД возникала брадикардия. Брадикардия была направлена на поддержание жизнедеятельности сердца и других жизненно важных органов при вентиляционной и двигательной гипоксии, что могло улучшить резервные возможности спортсменов [1, 3, 9]. Таким образом, ГВТ не занимающихся фридайвингом спортсменов вырабатывали у них рефлекс ныряльщика [3, 8, 10] в течение 4 недель.

## Литература

1. Вагин Ю.Е. Причины брадикардии при статической дыхательной гипоксии у спортсменов // Спортивная медицина: наука и практика. 2021. № 1(11). С. 30–36. DOI: 10.47529/2223-2524.2021.1.3.
2. Вагин Ю.Е., Фудин Н.А., Классина С.Я. Процессы, определяющие увеличение работоспособности спортсменов после гиповентиляционного дыхания // Вестник новых медицинских технологий. 2022. № 2(29). С. 53–56. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-2-53-56.
3. Зеленкова И.Е. Разучиться дышать. М., СПб.: НесторИстория, 2015. 78 с.
4. Смирнов В.М., Судаков К.В. Словарь-справочник по физиологии. М.: МИА, 2010. 504 с.
5. Фудин Н.А., Вагин Ю.Е. Физиологические механизмы произвольной гипоксии, повышающие спортивную работоспособность // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2023. №2. Публикация 3-4. URL: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-2/3-4.pdf> (дата обращения: 14.04.2023). DOI: 10.24412/2075-4094-2023-2-3-4. EDN UEJZNK
6. Фудин Н.А., Хадарцев А.А., Бадтиева В.А. Физиологическая целесообразность гиповентиляционных тренировок и спортивная работоспособность. Москва, 2023.
7. Hering H.E. Analysis of pulsus irregularis perpetuus // PragMed. Wocenschr. 1903. № 28. P. 377–381.

8. Lin Y.C. Applied physiology of diving // Sports Med. 1988. №5(1). P. 41-56. DOI: 10.2165/00007256-198805010-00004
9. Manley L. Apnoeic heart rate responses in humans. A review // Sports Med. 1990. №9(5). P. 286-310. DOI: 10.2165/00007256-199009050-00004
10. Schagatay E., M. Kampen, S. Emanuelsson, B. Holm. Effects of physical and apnea training on apneic time and the diving response in humans // Eur. J. Appl. Physiol. 2000. №3(82). P. 161–169. DOI: 10.1007/s004210050668
11. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for medical research involving human subjects // JAMA. 2013. №20(310). P. 2191–2194. DOI: 10.1001/jama.2013.281053

### References

1. Vagin YuE. Prichiny bradikardii pri staticheskoj dykhatel'noj gipoksii u sportsmenov [Causes of bradycardia with static respiratory hypoxia in athletes]. Sports medicine: science and practice. 2021;11(1):30-6. DOI: 10.47529/2223-2524.2021.1.3. Russian.
2. Vagin YuE. Fudin NA, Klassina SYa. Protsessy, opredelyayushchiye uvelicheniye rabotosposobnosti sportsmenov posle gipoventilyatsionnogo dykhaniya [Processes determining an increase in athletes' working capability after hypoventilation breathing]. Journal of New Medical Technologies.. 2022;29(2): 53-56. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-2-53-56. Russian.
3. Zelenkova IE. Razuchit'sya dyshat' [Unlearn to breathe]. Moskva, SPb.: NestorIstoriya. 2015:78. Russian.
4. Smirnov VM, Sudakov KV. Slovar'-spravochnik po fiziologii [Dictionary of Physiology]. Moskva: MIA. 2010:504. Russian.
5. Fudin NA, Vagin YuE. Fiziologicheskie mehanizmy proizvol'noj gipoksii, povyshajushhie sportivnuju rabotosposobnost' [Physiological mechanisms of voluntary hypoxia increasing sports performance]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2023 [cited 2023 Apr 14];2 [about 7 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-2/3-4.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2023-2-3-4. EDN UEJZNK
6. Fudin NA, Hadarcev AA, Badtieva VA. Fiziologicheskaja celesoobraznost' gipoventilyatsionnyh trenirovok i sportivnaja rabotosposobnost' [Physiological expediency of hypoventilation training and athletic performance]. Moskva, 2023. Russian.
7. Hering HE. Analysis of pulsus irregularis perpetuus. PragMed. Wocenschr. 1903; 28:377–381.
8. Lin YC. Applied physiology of diving. Sports Med. 1988;5(1):41-56. DOI: 10.2165/00007256-198805010-00004
9. Manley L. Apnoeic heart rate responses in humans. A review. Sports Med. 1990;9(5):286-310. DOI: 10.2165/00007256-199009050-00004
10. Schagatay E, Kampen M, Emanuelsson S, Holm B.. Effects of physical and apnea training on apneic time and the diving response in humans. Eur. J. Appl. Physiol. 2000;3(82):161–9. DOI: 10.1007/s004210050668
11. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for medical research involving human subjects. JAMA. 2013;20(310);2191–2194. DOI: 10.1001/jama.2013.281053

### Библиографическая ссылка:

Фудин Н.А., Вагин Ю.Е., Быкова Е.В. Динамическая брадикардия как критерий устойчивости спортсменов к гипоксии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2024. №2. Публикация 3-2. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2024-2/3-2.pdf> (дата обращения: 22.03.2024). DOI: 10.24412/2075-4094-2024-2-3-2. EDN KKRTEZ\*

### Bibliographic reference:

Fudin NA, Vagin YuE, Bykova EV. Dinamicheskaja bradikardija kak kriterij ustojchivosti sportsmenov k gipoksii [Dynamic bradycardia as a criterion of athletes' resistance to hypoxia]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2024 [cited 2024 Mar 22];2 [about 4 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2024-2/3-2.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2024-2-3-2. EDN KKRTEZ

\* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2024-2/e2024-2.pdf>

\*\*идентификатор для научных публикаций EDN (eLIBRARY Document Number) будет активен после загрузки полной версии журнала в eLIBRARY