

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.1.3>

УДК 612.821:612.766.1

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original article



Причины брадикардии при статической дыхательной гипоксии у спортсменов

Ю.Е. Вагин

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П. К. Анохина», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

По одним литературным сведениям, при произвольной длительной задержке дыхания (ЗД) частота сердечных сокращений (ЧСС) увеличивается, а по другим — уменьшается.

Цель исследования: определить психофизиологические параметры, которые вызывают изменение ЧСС при ЗД у спортсменов с различной устойчивостью к дыхательной гипоксии.

Материалы и методы: ЧСС при ЗД исследовали у 14 начинающих спортсменов, 15 баскетболистов и 12 пловцов-ныряльщиков. Регистрировали длительность ЗД. ЧСС регистрировали на мониторе сердечного ритма. После регистрации электрокардиограммы вычисляли стандартное отклонение длительности сердечных циклов. Насыщение артериальной крови кислородом измеряли пульсоксиметром. Статистически значимые значения коэффициента корреляции (r) были $\geq 0,33$ при $p < 0,05$.

Результаты: установлено, что из 41 спортсмена ЧСС увеличилась более 5 % у 4-х, изменилась незначительно у 7-ми и уменьшилась менее 5 % у 30-ти. У начинающих спортсменов была тахикардия, и ЗД быстро прерывалась императивным вдохом. Насыщение артериальной крови кислородом у них не менялось и не влияло на изменение ЧСС. Уменьшение ЧСС у пловцов-ныряльщиков по сравнению с двумя другими группами обследованных людей было статистически значимым ($p < 0,05$). Длительность ЗД имела прямую корреляционную связь ($r = 0,5$) с брадикардией у этих людей. Длительность ЗД обуславливала ($r = 0,8$) гипоксию, величина которой также прямо влияла ($r = 0,38$) на выраженность брадикардии. Кроме того, уменьшение ЧСС зависело от высокой ЧСС ($r = 0,36$) и низкой вариабельности сердечного ритма ($r = 0,38$) перед ЗД.

Заключение: тахикардия возникает у начинающих спортсменов, испытывающих ощущение дискомфорта при ЗД. Брадикардия возникает у спортсменов с установкой на длительную ЗД без неприятных ощущений. Симпатикотония в предстартовом состоянии предопределяет выраженность брадикардии при ЗД. Длительность ЗД и возникающая при этом гипоксия обеспечивают возникновение брадикардии.

Ключевые слова: задержка дыхания, проба Штанге, частота сердечных сокращений, тахикардия, брадикардия, гипоксия, вариабельность сердечного ритма

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Вагин Ю.Е. Причины брадикардии при статической дыхательной гипоксии у спортсменов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2021;11(1):30–36. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.1.3>

Поступила в редакцию: 11.01.2021

Принята к публикации: 15.04.2021

Online first: 20.05.2021

Опубликована: 21.06.2021

Causes of bradycardia with static respiratory hypoxia in athletes

Yuriy E. Vaguine

P. K. Anokhin Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia

ABSTRACT

According to some literature data, during voluntary long-term breath holding (BH), the heart rate (HR) increases, and according to others, it decreases.

Objective: to determine the psychophysiological parameters that cause a change in HR during BH in athletes with different resistance to respiratory hypoxia.

Materials and methods: HR at BH was studied in 14 beginner athletes, 15 basketball players and 12 swimmers-divers. Duration of BH was recorded. The HR was recorded on a heart rate monitor. After recording an electrocardiogram, the standard deviation of the duration of cardiac cycles was calculated. The arterial oxygen saturation was measured with a pulse oximeter. The statistically significant values of the correlation coefficient (r) were ≥ 0.33 with $p < 0.05$.

Results: it was found that out of 41 sportsmen, HR increased by more than 5 % in 4, changed insignificantly in 7 and decreased by less than 5 % in 30. Beginner athletes had tachycardia, and BH was quickly interrupted by an imperative inhalation. The saturation of arterial blood with oxygen did not

change and did not affect the change in HR. The decrease in heart rate in swimmers-divers in comparison with the other two groups of people examined was statistically significant ($p < 0.05$). The duration of BH had a direct correlation ($r = 0.5$) with bradycardia in these people. The duration of BH caused ($r = 0.8$) hypoxia, the value of which also directly influenced ($r = 0.38$) the severity of bradycardia. In addition, the decrease in HR depended on high HR ($r = 0.36$) and low HR variability ($r = 0.38$) before BH.

Conclusion: tachycardia occurs in beginner athletes who experience discomfort with BH. Bradycardia occurs in sportsmen with a long-term BH setting without discomfort. Sympathicotonia in the prelaunch state predetermines the severity of bradycardia in BH. The duration of BH and the resulting hypoxia provide the occurrence of bradycardia.

Keywords: breath holding, Shtange test, heart rate, tachycardia, bradycardia, hypoxia, heart rate variability

Conflict of interests: the author declares no conflict of interest.

For citation: Vaguine Yu.E. Causes of bradycardia with static respiratory hypoxia in athletes. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2021;11(1):30–36. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.1.3>

Received: 11 January 2021

Accepted: 15 April 2021

Online first: 20 May 2021

Published: 21 June 2021

1. Введение

Определение длительности максимальной задержки дыхания (ЗД) на вдохе называют пробой В.А. Штанге (1856–1918). Пробу считают одним из простых и надежных способов оценки уровня здоровья людей и применяют для обследования детей, студентов, спортсменов и больных людей [1]. Установлено, что при пробе В.А. Штанге у здоровых людей частота сердечных сокращений (ЧСС) может увеличиваться, но не более чем на 20 %. Увеличение ЧСС более 20 % при ЗД считают признаком патологии сердечно-сосудистой или дыхательной системы [2].

Но в других исследованиях зарегистрировали уменьшение ЧСС при ЗД. Начало таких исследований было заложено Г.Э. Герингом (1866–1948). Он исследовал нерегулярность пульса при чередовании вдоха и выдоха ритмичного дыхания. На вершине вдоха пульс замедлялся. Обнаруженный эффект указывает на влияние дыхательного центра на изменение тонуса сосудодвигательного центра. Однако центральные механизмы нерегулярности пульса при дыхании изучены не были [3]. В физиологии эти изменения ЧСС известны как Геринг-феномен или Геринг-рефлекс [4].

В настоящее время установлено, что ЧСС уменьшается при ЗД у пловцов-ныряльщиков как в покое, так и при физической нагрузке. Этот феномен назвали рефлексом ныряльщика [5]. Уменьшение ЧСС происходит при одновременном увеличении вариабельности сердечного ритма, что обусловлено увеличением тонуса парасимпатической нервной системы [6]. Исследователи функциональных перестроек в организме пловцов-ныряльщиков считают этот рефлекс уникальным феноменом, отличающим ныряльщиков за жемчугом и спортсменов фридайверов от обычных здоровых людей [7].

Однако уменьшение ЧСС зарегистрировано не только у пловцов-ныряльщиков, но и у некоторых других спортсменов при сочетании физической и дыхательной гипоксии. Уменьшение ЧСС при ЗД назвали безусловным гипоксическим вагальным рефлексом, на основе которого развивается рефлекс ныряльщика под влиянием постоянных тренировок по ЗД [8].

Одной из причин уменьшения ЧСС считают увеличение артериального давления в начале физической нагрузки, которое вызывает депрессорный рефлекс [9]. При увеличении артериального давления происходит раздражение барорецепторов синокаротидной области, что рефлекторно увеличивает тонус блуждающих нервов и вызывает уменьшение ЧСС. Это один из врожденных механизмов регуляции постоянства артериального давления, изученный И.Н. Чермаком (1828–1873) [10] и Г.Э. Герингом [11].

Следовательно, по одним данным, ЧСС увеличивается при ЗД, а по другим — уменьшается. Причины этих изменений оказались исследованы недостаточно. Возможно, изменение ЧСС при ЗД зависит от устойчивости людей к гипоксии или других функциональных процессов.

Цель исследования: определить психофизиологические параметры, которые вызывают изменение ЧСС при ЗД у спортсменов с разной степенью подготовки к дыхательной гипоксии.

2. Материалы и методы

Протокол исследования был одобрен комитетом по биомедицинской этике ФГБУН «НИИ нормальной физиологии им. П. К. Анохина» и выполнен в соответствии с Хельсинкской декларацией [12].

Контингент обследуемых спортсменов. В исследовании участвовал 41 начинающий и опытный спортсмен. Все спортсмены были практически здоровы и не имели медицинских противопоказаний для задержки дыхания. Всем испытуемым давали указания не совершать физические нагрузки накануне и в день проведения исследования, не есть меньше чем за 3 часа до исследования и не пить напитки, содержащие тонизирующие вещества.

Были сформированы три группы спортсменов с разной способностью длительно задерживать дыхание. 14 начинающих спортсменов не имели спортивной специализации. Их возраст был $20,0 \pm 0,5$ года, рост — 168 ± 2 см и масса тела — 70 ± 5 кг. 15 баскетболистов имели спортивные разряды от 2-го взрослого разряда до мастера спорта. Длительность их регулярных тренировок

составляла от 3 до 8 лет. Их возраст был $21,0 \pm 0,6$ года, рост — 190 ± 2 см и масса тела — 89 ± 2 кг. 12 пловцов-ныряльщиков имели спортивные разряды от кандидата в мастера спорта до мастера спорта международной категории. Длительность их регулярных тренировок составляла от 2 до 7 лет. Возраст — $30,0 \pm 1,7$ года, рост — 174 ± 2 см и масса тела — 71 ± 3 кг.

Дизайн исследования. Исследование проводили в положении сидя на седле велоэргометра, поскольку после ЗД и кратковременного перерыва они выполняли физическую работу. Результаты изменения ЧСС при физической нагрузке людей, сочетающейся с прерывными ЗД, были нами опубликованы [8, 9].

Перед началом и в ходе исследования у спортсменов непрерывно регистрировали ЧСС и насыщение артериальной крови кислородом (SpO_2). ЧСС регистрировали на мониторе сердечного ритма «RC800» фирмы «Polar» (Финляндия). SpO_2 измеряли пульсоксиметром «8600» фирмы «Nonin» (США). Датчик устанавливали на средний палец левой руки.

Перед началом исследования регистрировали электрокардиограмму (ЭКГ) во II стандартном отведении в течение 3 мин. Затем по длительности интервалов между соседними R зубцами на ЭКГ вычисляли стандартное отклонение длительности сердечных циклов (SDNN) с помощью компьютерной программы «Нейрософт». Значения SDNN характеризуют меру разброса длительностей сердечных циклов. Величина SDNN отражает весь спектр циклических компонентов, ответственных за вариабельность сердечного ритма. Величина SDNN прямо зависит от тонууса парасимпатической нервной системы и обратно — от тонууса симпатической нервной системы [13], и по величине SDNN оценивают вагосимпатический баланс в организме человека [14].

Спортсмены в положении сидя делали два-три углубленных вдоха, затем делали субмаксимальный вдох и задерживали дыхание на максимально возможную длительность. Желание как можно дольше задержать дыхание поддерживали созданием соревновательного духа достижения максимального результата по сравнению с товарищами в группе и представителями других групп.

Качественную оценку уровня здоровья каждого спортсмена проводили сложившимся в практической медицине способом. При ЗД более 60 с уровень здоровья считали отличным, от 40 до 60 с — хорошим, от 30 до 40 с — удовлетворительным и менее 30 с — плохим [2].

Длительность ЗД регистрировали от начала до окончания ЗД. SpO_2 и ЧСС регистрировали за последние 10 с ЗД.

Статистический анализ. Полученные результаты обрабатывали с помощью параметрического пакета программы *Statistica* 8 компании «Microsoft». Для каждой группы обследуемых людей вычисляли средние арифметические величины и средние квадратичные отклонения ($M \pm \sigma$) для каждого исследуемого параметра. Различия между средними величинами параметров оценивали по *t*-критерию Стьюдента. Различия между средними

величинами параметров были при статистической значимости $p < 0,05$.

Участие в исследовании 3 групп спортсменов с разной способностью к длительной произвольной ЗД позволило изучить зависимость изменения ЧСС от нескольких зарегистрированных параметров. Наличие корреляционных связей между динамикой изменения параметров оценивали параметрическим методом по коэффициентам линейной корреляции (r), значения которых могут изменяться от 0 до 1,0. Корреляционные связи между исследуемыми параметрами были статистически значимыми ($p < 0,05$) при значениях r больше критического значения. Критическую величину статистически значимых величин r вычисляли по величине *t*-критерия Стьюдента и количеству сравниваемых между собой пар параметров в двух выборках исследуемых параметров.

3. Результаты исследования и их обсуждение

Перед произвольной ЗД у начинающих спортсменов ЧСС равнялась $94,8 \pm 5,3$ уд./мин, у баскетболистов — $86,6 \pm 3,6$ уд./мин и у пловцов-ныряльщиков — $89,1 \pm 4,5$ уд./мин. Высокие значения ЧСС были обусловлены предстартовым состоянием спортсменов перед ЗД и последующей физической нагрузкой.

Перед ЗД у начинающих спортсменов SDNN было $50,5 \pm 15,4$ мс, у баскетболистов — $35,1 \pm 5,4$ мс и у пловцов-ныряльщиков — $49,3 \pm 5,8$ мс. Значения SDNN были меньше нормы 140 ± 40 мс для здоровых людей в покое [13]. Так же как повышенные значения ЧСС, низкие величины SDNN свидетельствовали о повышенном тонуусе симпатической нервной системы.

У начинающих спортсменов SpO_2 было $97,4 \pm 0,4$ %, у баскетболистов — $97,2 \pm 0,2$ % и у пловцов-ныряльщиков — $98,5 \pm 0,2$ %. Уровень SpO_2 был обычным для здоровых людей.

Зарегистрированные перед ЗД параметры не имели статистически значимых отличий между группами обследованных.

У начинающих спортсменов длительность произвольной ЗД составляла от 26 с до 1 мин 32 с. В среднем ЗД продолжалась $46,2 \pm 5,4$ с. В соответствии с оценкой длительности ЗД по пробе В.А. Штанге [2] уровень здоровья у 3-х начинающих спортсменов был отличным, 4-х — хорошим, 4-х — средним и 3-х — плохим. У баскетболистов произвольная ЗД составила от 50 с до 2 мин 3 с, в среднем — $74,2 \pm 4,9$ с. Уровень здоровья 11-ти баскетболистов был отличным и 4-х — хорошим. У пловцов-ныряльщиков произвольная ЗД — от 1 мин 5 с до 5 мин 15 с, в среднем — $153,8 \pm 20,9$ с. Уровень здоровья всех пловцов-ныряльщиков был отличным. Средняя длительность произвольной ЗД отличалась статистически значимо при $p < 0,05$ между тремя группами обследованных людей.

В конце произвольной ЗД у начинающих спортсменов SpO_2 в среднем не изменилось, уменьшившись на $0,8 \pm 1,2$ %. У баскетболистов SpO_2 уменьшилось на $2,6 \pm 1,0$ %.

У пловцов-ныряльщиков SpO_2 уменьшилось на $11,7 \pm 5,1$ %. К окончанию ЗД изменение SpO_2 было статистически значимым при $p < 0,05$ между пловцами-ныряльщиками и двумя другими группами спортсменов.

В конце максимальной произвольной ЗД у начинающих спортсменов ЧСС в среднем уменьшилась на $6,7 \pm 7,2$ %, у баскетболистов — на $9,4 \pm 6,1$ % и у пловцов-ныряльщиков — на $28,4 \pm 5,7$ %. Изменение ЧСС к окончанию ЗД по сравнению с ЧСС в предстартовом состоянии было статистически значимым при $p < 0,05$ у баскетболистов и пловцов-ныряльщиков. Уменьшение ЧСС к окончанию ЗД по сравнению с ЧСС в предстартовом состоянии было статистически значимым при $p < 0,05$ между пловцами-ныряльщиками и двумя другими группами спортсменов (рис. 1).

Однако изменения ЧСС при ЗД у разных спортсменов не были однонаправленными. Из 14 (100 %) начинающих спортсменов ЧСС уменьшилась у 7-ми (50 %), незначительно изменилась у 5-ти (35,7 %) и увеличилась у 2-х (14,3 %). Из 15 (100 %) баскетболистов ЧСС уменьшилась у 12-ти (80 %), мало изменилась у одного (6,7 %) и увеличилась у 2-х (13,3 %). Из 12 (100 %) пловцов-ныряльщиков ЧСС уменьшилась у 11-ти (91,7 %) и мало изменилась у одного (8,3 %) (рис. 2).

Для того чтобы понять причины изменения ЧСС при ЗД, проанализировали корреляционную связь между изменением ЧСС и изменениями других зарегистрированных параметров. Физиологические параметры всех спортсменов не имели статистически значимой корреляционной связи между собой. Можно было предположить, что уменьшение ЧСС у одних спортсменов

или увеличение ЧСС у других спортсменов при ЗД зависит от разных причин. Поэтому полученные данные были разделены на две группы. В первую группу вошли результаты по 4-м спортсменам с увеличением ЧСС. Двое из них были начинающими спортсменами и двое — баскетболистами. Из-за малочисленности этой группы корреляционные зависимости изменений ЧСС от изменения других параметров было невозможно провести.

Вторая группа состояла из результатов по 37 спортсменов с уменьшением и небольшим изменением ЧСС. Количество параметров было достаточным для определения корреляционной связи между зарегистрированными параметрами. При прямой возрастающей зависимости одного параметра от другого статистически значимые значения коэффициента корреляции (r) были $\geq 0,33$ при статистической значимости $p < 0,05$. При прямой убывающей зависимости одного параметра от другого статистически значимые значения r были $\leq -0,33$ при $p < 0,05$.

Увеличение длительности ЗД приводило к уменьшению SpO_2 ($r = -0,8$). Уменьшение ЧСС зависело от внешних и внутренних параметров дыхания. Чем дольше была ЗД, тем на большую величину уменьшалось ЧСС ($r = -0,5$). Уменьшение SpO_2 во время ЗД прямо влияло на уменьшение ЧСС ($r = 0,38$).

Другими факторами уменьшения ЧСС были исходные до ЗД значения ЧСС и вариабельности сердечного ритма. Чем больше было ЧСС до ЗД, тем на большую величину уменьшалось ЧСС при ЗД ($r = -0,36$). Корреляционная связь между ЧСС до ЗД и уменьшением ЧСС была особенно выражена у начинающих спортсменов ($r = -0,66$) (рис. 3).

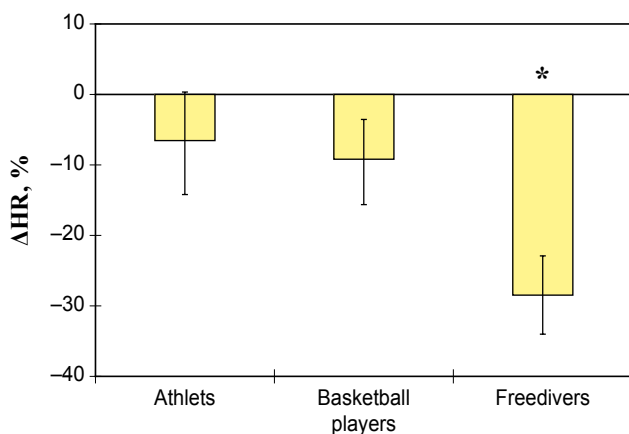


Рис. 1. Среднестатистические изменения частоты сердечных сокращений (ΔHR , %) у начинающих спортсменов (Athletes), баскетболистов (Basketball players) и пловцов-ныряльщиков (Freedivers) при задержке дыхания

Примечание: * — статистически значимое ($p < 0,05$) уменьшение ЧСС у пловцов-ныряльщиков по сравнению с двумя другими группами спортсменов.

Fig. 1. Average statistical changes in heart rate (ΔHR , %) in beginner athletes (Athletes), basketball players (Basketball players) and swimmers-divers (Freedivers) during breath holding

Note: * — statistically significant ($p < 0,05$) decrease in heart rate in swimmers-divers in comparison with the other two groups of sportsmen.

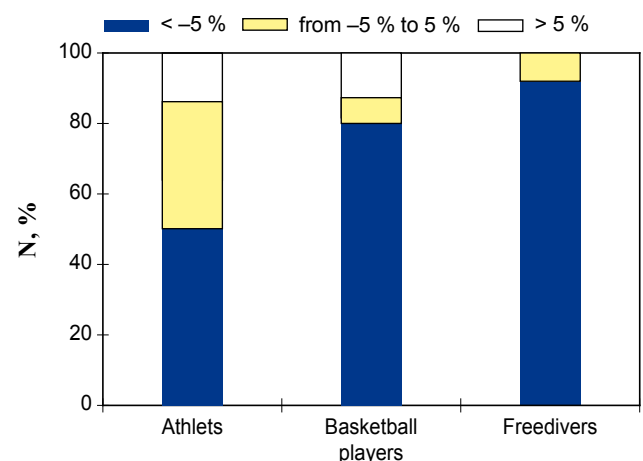


Рис. 2. Количество (N, %) начинающих спортсменов (Athletes), баскетболистов (Basketball players) и пловцов-ныряльщиков (Freedivers), у которых ЧСС уменьшалась менее -5 %, изменялась от -5 до 5 % и увеличивалась более 5 % при задержке дыхания

Fig. 2. The number (N, %) of beginner athletes (Athletes), basketball players (Basketball players) and swimmers-divers (Freedivers), whose heart rate decreased by less than -5 %, varied from -5 to 5 % and increased more 5 % during breath holding

Вариабельность сердечного ритма до ЗД также коррелировала с уменьшением ЧСС. Чем меньше были значения SDNN до ЗД, тем на большую величину уменьшалось ЧСС к концу ЗД ($r = 0,38$). Корреляционная связь между SDNN и уменьшением ЧСС была особенно выражена у пловцов-ныряльщиков ($r = 0,64$) (рис. 4).

Литературные данные описывают увеличение ЧСС при ЗД у здоровых людей и больных с патологией сердечно-сосудистой и дыхательной системы [2]. Уменьшение ЧСС при ЗД зафиксировано у пловцов-ныряльщиков и некоторых представителей других видов спорта [8, 13, 14]. То есть противоположные изменения ЧСС при ЗД получены на разных контингентах обследуемых людей.

Участие в нашем исследовании спортсменов с разной устойчивостью к дыхательной гипоксии позволило изучить зависимость изменения ЧСС от изменения длительности произвольной ЗД. Наименьшая длительность ЗД была у начинающих спортсменов, средняя — у баскетболистов и максимальная — у пловцов-ныряльщиков. В соответствии с оценкой длительности ЗД по шкале В.А. Штанге [2] большинство обследованных спортсменов были с отличным и хорошим уровнем здоровья. Уровень здоровья некоторых обследованных людей следовало оценить как средний и плохой. Но по объективным и субъективным параметрам все спортсмены были практически здоровыми [15]. Полученные результаты показывают, что не все практически здоровые люди способны задерживать дыхание на длительное время. Можно полагать, что длительность ЗД зависит не только от уровня здоровья, но и от субъективного представления человека о возможности длительной произвольной ЗД. Вероятно, одни люди легко задерживают дыхание, а другие делают это с трудом. Сознательная установка

на произвольную ЗД без неприятных ощущений максимально сформирована у пловцов-ныряльщиков в ходе регулярных тренировок [16].

В нашем исследовании у меньшей части спортсменов ЧСС увеличивалась при ЗД. Это могло быть связано с эмоциональным напряжением при ЗД. Известно, что увеличение неравномерности ритма дыхания происходит при эмоциональном напряжении [17]. Установлено, что тахикардия возникает у людей при ощущении удушья и страха за свою жизнь [18]. Возникающая при этом паника сопровождается возбуждением симпатoadrenalовой системы [19]. Ощущение нехватки воздуха вызывает императивный вдох, укорачивающий ЗД [20]. Аналогичные изменения зарегистрированы у животных при искусственно вызванной асфиксии, что сопровождается тахикардией, обусловленной попытками животного избавиться от удушья [21].

У большей части обследованных спортсменов ЧСС уменьшалась при ЗД. Преобладание брадикардии над тахикардией при ЗД было обусловлено подготовленностью большей части спортсменов к дыхательной гипоксии. Было установлено, что брадикардия при ЗД не имеет единственной причины и зависит от комплекса физиологических процессов в организме человека при длительной произвольной ЗД. Уменьшение ЧСС при ЗД прямо зависит от четырех параметров: 1) высокой ЧСС до ЗД; 2) низких значений SDNN до ЗД; 3) длительности ЗД и 4) уменьшения SpO_2 во время ЗД (рис. 5).

Следовательно, при произвольной ЗД дыхания брадикардия является одним из процессов системной психофизиологической регуляции функций организма, направленной на выживание спортсменов при дыхательной гипоксии.

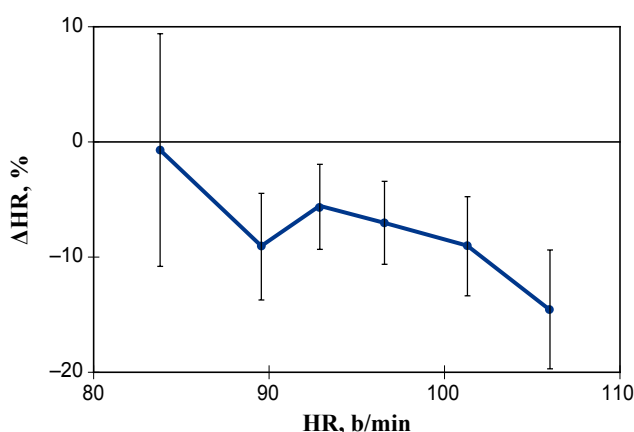


Рис. 3. График скользящей средней изменения частоты сердечных сокращений (ΔHR , %) и ее среднеквадратичного отклонения при задержке дыхания в зависимости от частоты сердечных сокращений (HR, b/min) до задержки дыхания у начинающих спортсменов

Fig. 3. Graph of the moving average change in heart rate (ΔHR , %) and its standard deviation during breath holding, depending on the heart rate (HR, b/min) before holding the breath in beginner athletes

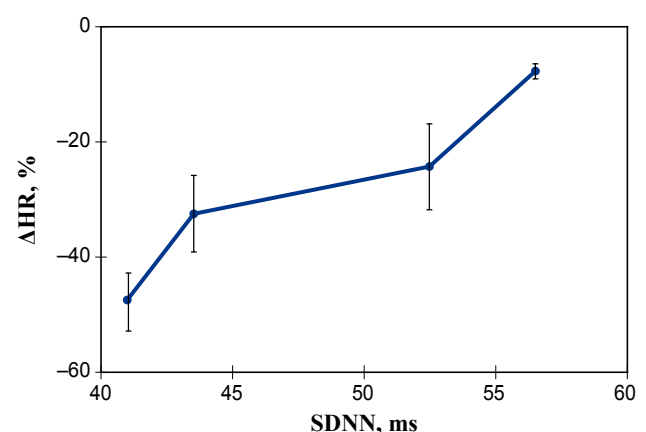


Рис. 4. График скользящей средней изменения частоты сердечных сокращений (ΔHR , %) и ее среднеквадратичного отклонения при задержке дыхания в зависимости от стандартного отклонения длительности сердечных циклов (SDNN, ms) до задержки дыхания у пловцов-ныряльщиков.

Fig. 4. Graph of the moving average change in heart rate (ΔHR , %) and its standard deviation during breath holding, depending on the standard deviation of the duration of heart cycles (SDNN, ms) before holding the breath in swimmers-divers.

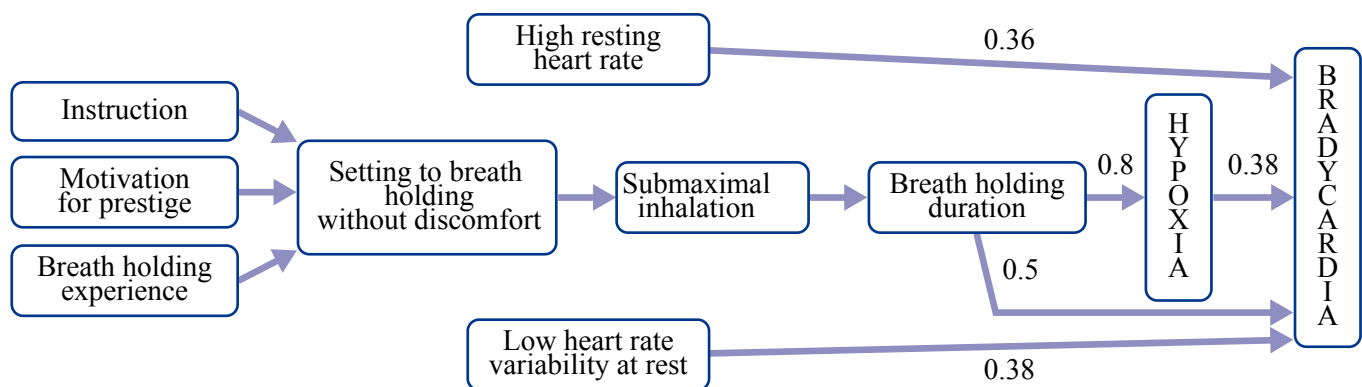


Рис. 5. Брадикардия у подготовленных к дыхательной гипоксии спортсменов как результат комплекса психофизиологических процессов при задержке дыхания. Цифры — статистически значимые величины коэффициентов корреляции ($r \geq 0,33$) между физиологическими параметрами при статистической значимости $p < 0,05$

Fig. 5. Bradycardia in sportsmen prepared for respiratory hypoxia, as a result of a complex of psychophysiological processes during breath holding. The numbers are statistically significant values of the correlation coefficients ($r \geq 0.33$) between physiological parameters with a statistical significance of $p < 0.05$

4. Выводы

Длительная произвольная ЗД у людей сопровождается различными изменениями ЧСС: от небольших изменений до выраженной тахикардии или брадикардии. Тахикардия возникает у не подготовленных к произвольной ЗД людей, испытывающих неприятные ощущения. ЗД быстро прерывается императивным вдохом. Гипоксия не успевает возникнуть и не является причиной короткой ЗД и тахикардии. Брадикардия возникает у сознательно подготовленных спортсменов к ЗД. Психическая установка спортсмена на длительную ЗД без неприятных ощущений предопределяет уменьшение ЧСС при ЗД. Симпатикотония у спортсменов

в предстартовом состоянии, сопровождающаяся увеличением ЧСС и уменьшением вариабельности сердечного ритма, предопределяет брадикардию при ЗД. Длительность ЗД и возникающая при этом гипоксия обеспечивают возникновение брадикардии.

5. Рекомендации

Для определения подготовки спортсменов к дыхательной гипоксии рекомендуется в состоянии физического покоя исследовать не только длительность произвольной ЗД, но и величину уменьшения ЧСС при ЗД. Чем больше выражена брадикардия при ЗД, тем больше устойчивость спортсменов к дыхательной гипоксии.

Вклад автора:

Вагин Юрий Евгеньевич — сбор и анализ информации, написание текста статьи, редактирование.

Authors' contributions:

Yuriy E. Vaguine — information collection and analysis, text of the article writing, editing.

Список литературы

1. Ланда Б.Х. Методика комплексной оценки физического развития и физической подготовленности. М.: Совет. спорт; 2011. 348 с.
2. Кузнецов В.С., Колодницкий Г.А. Физическая культура. М.: Кнорус; 2014. 256 с.
3. Hering H.E. Analysis of pulsus irregularis perpetuus. PragMed. Wocenschr. 1903;28:377–381.
4. Смирнов В.М., Судаков К.В. Словарь-справочник по физиологии. М.: МИА; 2010. 504 с.
5. Stromme S.B., Ingjer F. Comparison of diving bradycardia and maximal aerobic power. Aviat. Space Environ. Med. 1978;49(11):1267–1270.
6. Kiviniemi A.M., Breskovic T., Uglesic L., Kuch B., Zubin Maslov P., Sieber A., et al. Heart rate variability during static and dynamic breath-hold divers in elite divers. Autonom. Neurosci. 2012;169(2):95–101. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2012.05.004>
7. 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;82(3):161–169. <https://doi.org/10.1007/s004210050668>

References

1. Landa B.Kh. Methodology for a comprehensive assessment of physical development and physical fitness. Moscow: Sovet. Sport Publ.; 2011. 348 p. (In Russ.).
2. Kuznetsov V.S., Kolodnitskiy G.A. Physical culture. Moscow: Knorus Publ.; 2014. 256 p. (In Russ.).
3. Hering H.E. Analysis of pulsus irregularis perpetuus. PragMed. Wocenschr. 1903;28:377–381.
4. Smirnov V.M., Sudakov K.V. Dictionary of Physiology. Moscow: MIA Publ.; 2010. 504 p. (In Russ.).
5. Stromme S.B., Ingjer F. Comparison of diving bradycardia and maximal aerobic power. Aviat. Space Environ. Med. 1978;49(11):1267–1270.
6. Kiviniemi A.M., Breskovic T., Uglesic L., Kuch B., Zubin Maslov P., Sieber A., et al. Heart rate variability during static and dynamic breath-hold divers in elite divers. Autonom. Neurosci. 2012;169(2):95–101. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2012.05.004>
7. 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;82(3):161–169. <https://doi.org/10.1007/s004210050668>

8. Вагин Ю.Е., Зеленкова И.Е., Фудин Н.А. Системные механизмы целенаправленного увеличения задержки дыхания при спортивной деятельности. Спортивная медицина: наука и практика. 2015;(2):24–32. <https://doi.org/10.17238/issn2223-2524.2015.2.24>
9. Вагин Ю.Е., Зеленкова И.Е. Механизмы физической выносливости и гипоксической устойчивости фридайверов, баскетболистов и нетренированных людей при физической работе с прерывными задержками дыхания. Теория и практика физической культуры. 2016;(7):18–20.
10. Czermak J.N. Untersuchungen über die Wirkung starker Vagus-Reizung auf den Herzschlag. Pflüger, Archiv für die Gesamte Physiologie des Menschen und der Thiere. 1868;1(1):644–650. <https://doi.org/10.1007/bf01640331>
11. Hering H.E. Ueber die Wand des Sinus caroticus als Reizeempfänger und den Sinusnerv als zentripetale Bahn für die Sinusreflexe. DMV — Deutsche Medizinische Wochenschrift. 1925;51(28):1140–1141. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1136917>
12. Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации. 1964 [Internet]. Available from: <https://x7cpr.com/wp-content/uploads/2018/10/Declaration-of-Helsinki.pdf>
13. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Кукушкин Ю.А., и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: Метод. реком. Вестник аритмологии. 2001;(24):65–87.
14. Ковалева А.В., Панова Е.Н., Горбачева А.К. Анализ вариабельности ритма сердца и возможности его применения в психологии и психофизиологии. Современная зарубежная психология. 2013;(1):35–50.
15. Кожанов В.В. Саморазвитие культуры здоровья студента в процессе спортивно ориентированного физического воспитания. Теория и практика физической культуры. 2006;(2):12–14.
16. Зеленкова И.Е. Разучиться дышать. М., СПб.: Нестор-История; 2015. 78 с
17. Вагин Ю.Е. Неравномерность ритма дыхания как показатель эмоционального напряжения. Сеченовский вестник. 2015;(2):13–23.
18. Цыбулина А.В. «Язык одышки» при различных заболеваниях. Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2013;3(2):129.
19. Иржак Л.И. Спектральные показатели вариабельности сердечного ритма у человека в условиях острой нормобарической гипоксии. Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2015;(1):108–113.
20. Nesterov S. V. Autonomic regulation of the heart rate in human under conditions of experimental hypoxia. Human Physiology. 2005;31(1):70–74. <https://doi.org/10.1007/s10747-005-0010-7>
21. Волкова Н.М. Влияние гипоксии и блокирования бета-адренорецепторов коры больших полушарий на сердечный ритм у крыс. Вятский медицинский вестник. 2013;(2):12–15.
8. Vaguine Yu.E., Zelenkova I.E., Fudin N.A. Systemic mechanisms of purposeful increase in breath holding during sports activity. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika = Sports medicine: research and practice. 2015;(2):24–32. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn2223-2524.2015.2.24>
9. Vaguine Yu.E., Zelenkova I.E. Mechanisms of physical endurance and hypoxic stability of freedivers, basketball players and untrained people during physical work with intermittent breath holding. Teoriya i praktika fizicheskoi kul'tury = Theory and Practice of Physical Culture. 2016;(7):18–20. (In Russ.).
10. Czermak J.N. Untersuchungen über die Wirkung starker Vagus-Reizung auf den Herzschlag [Studies on the effect of strong vagus irritation on the heartbeat]. 1868;1(1):644–650. (In German). <https://doi.org/10.1007/bf01640331>
11. Hering H.E. Ueber die Wand des Sinus caroticus als Reizeempfänger und den Sinusnerv als zentripetale Bahn für die Sinusreflexe [Over the wall of the carotid sinus as a stimulus receiver and the sinus nerve as a centripetal path for the sinus reflexes]. DMV — Deutsche Medizinische Wochenschrift. 1925;51(28):1140–1141. (In German). <https://doi.org/10.1055/s-0028-1136917>
12. WMA Declaration of Helsinki — Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. 1964 [Internet]. Available from: <https://x7cpr.com/wp-content/uploads/2018/10/Declaration-of-Helsinki.pdf>
13. Baevskii R.M., Ivanov G.G., Chireikin L.V., Gavrilushkin A.P., Dovgalevskii P.Ya., Kukushkin Yu.A., et al. Heart rate variability analysis using different electrocardiographic systems: method. recom. Vestnik aritmologii = Journal of arrhythmology. 2001;(24):65–87. (In Russ.).
14. Kovaleva A.V., Panova E.N., Gorbacheva A.K. Analysis of heart rate variability and possibility of its utilization in psychology and psychophysiology. Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology. 2013;(1):35–50. (In Russ.).
15. Kozhanov V.V. Self-development of a student's health culture in process of sports focused physical education. Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury = Theory and Practice of Physical Culture. 2006;(2):12–14. (In Russ.).
16. Zelenkova I.E. Unlearn to breathe. Moscow, St.-Petersburg: Nestor-Istoriya Publ.; 2015. 78 p. (In Russ.).
17. Vaguine Yu.E. Uneven breathing rhythm as an indicator of emotional stress. Sechenovskii vestnik = Sechenov Medical Journal. 2015;20(2):13–23. (In Russ.).
18. Tsybulina A.V. «Dyspnoea languish» for various diseases. Byulleten' meditsinskikh internet-konferentsii = Bulletin of Medical Internet Conferences. 2013;3(2):129. (In Russ.).
19. Irzhak L.I. Spectral indicators of heart rate variability in humans under conditions of acute normobaric hypoxia. Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova = Russian Journal of Physiology. 2015;(1):108–113. (In Russ.). DOI — нет. PMID: нет.
20. Nesterov S.V. Autonomic regulation of the heart rate in human under conditions of experimental hypoxia. Human Physiology. 2005;31(1): 70–74. <https://doi.org/10.1007/s10747-005-0010-7>
21. Volkova N.M. The effect of hypoxia and blocking of beta-adrenergic receptors of the cerebral hemispheres on the heart rate in rats. Vyatskii meditsinskii vestnik = Medical Newsletter of Vyatka. 2013;(2):12–15. (In Russ.).

Информация об авторе:

Вагин Юрий Евгеньевич, д.м.н., специалист лаборатории системных механизмов спортивной деятельности ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П. К. Анохина». 125009, Россия, Москва, Моховая ул., 11 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0958-5610> (+7 (916) 839-24-53; yuvaguine@yandex.ru).

Information about the authors:

Yuriy E. Vaguine, MD, D.Sc. (Medicine), specialist of the laboratory of systemic mechanisms of sports activity of P.K. Anokhin Institute of Normal Physiology. 11, Mokhovaya str., Moscow, 125009, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0958-5610> (+7 (916) 839-24-53; yuvaguine@yandex.ru)