

АНАТОМИЯ ЧЕЛОВЕКА. ФИЗИОЛОГИЯ



УДК 612.171.1:612.821: 612.176.4

DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.1\(126\).38-42](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.1(126).38-42)

ИЗМЕНЕНИЕ ВОЛНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ КАРДИОРИТМА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СПОРТСМЕНОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КОГНИТИВНОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Р.Я.Власенко, А.Д.Балашова

CHANGES IN WAVE PARAMETERS OF HEART RATE AMONG PROFESSIONAL ATHLETES PERFORMING COGNITIVE AND PHYSICAL LOADS

R.Ya.Vlasenko, A.D.Balashova

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, romex@mail.ru

Проведен сравнительный анализ изменений в регуляции кардиоритма профессиональных спортсменов в состоянии когнитивной и физической нагрузки. Цель работы — изучение характерных различий волновых параметров вариабельности ритма сердца как в состоянии когнитивного диссонанса, так и при выполнении физической нагрузки. В экспериментах участвовали две группы спортсменов: 32 индивида в первой группе и 36 спортсменов-добровольцев — во второй. Респонденты мужского пола (средний возраст $21 \pm 1,5$ года), имеющие сопоставимые показатели уровня физической работоспособности, занимающиеся циклическими видами спорта. Исследование проводилось в одно и то же время, за 2 часа исключался прием пищи и физическая нагрузка. Продолжительность исследования составляла около 30 минут для каждого испытуемого. Для регистрации волновых параметров кардиоритма использовали систему функциональной диагностики «Валента». В качестве когнитивной нагрузки использовали серийный счет по Крепелину, физической — стандартный тест PWC_{170} — вариант велоэргометрия. Для характеристики различий применяли Т-критерий Вилкоксона, для выявления взаимосвязей между показателями использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Все полученные результаты были обработаны программой STATISTICA 10. Было показано, что умственная нагрузка уменьшала долю волн высокой частоты и увеличивала активность низкочастотных волн, общая мощность спектра модулировалась индивидуально. После выполнения нагрузочного теста значительно увеличивался вклад низкочастотного компонента вариабельности ритма сердца. Наблюдали уменьшение общей мощности спектра у всех испытуемых второй группы. Таким образом, наблюдали характерные изменения волновых параметров вариабельности кардиоритма: отдельные изменения были сопоставимы с таковыми как при умственной, так и при физической работе.

Ключевые слова: волновые параметры кардиоритма, когнитивный диссонанс, тест PWC_{170} , максимальное потребление кислорода

Для цитирования: Власенко Р.Я., Балашова А.Д. Изменение волновых параметров кардиоритма профессиональных спортсменов при выполнении когнитивной и физической нагрузки // Вестник НовГУ. Сер.: Медицинские науки. 2022. №1(126). С.38-42. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.1\(126\).38-42](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.1(126).38-42)

The article describes a comparative analysis of changes in the regulation of heart rate among professional athletes in a state of cognitive and physical stress. The purpose of the study is to explore specific differences in wave parameters of heart rate variability both in the state of cognitive dissonance and when performing a dosed physical activity. The research involved two groups of athletes: 32 persons in the first group and 36 volunteer athletes in the second group. The subjects were males (mean age was 21 ± 1.5 years) with a comparable level of physical performance, engaged in cyclic sports. The study was conducted in the afternoon at the same time; 2 hours before that, eating and physical activity were excluded. The duration of the study was about 30 minutes for each subject. The Valenta complex of functional diagnostics was used to register wave parameters of heart rate. The Kraepelin's arithmetic test was used as a cognitive load, and a standard veloergometric test PWC_{170} was used as a physical one. The Wilcoxon signed-rank test was used to characterize the differences and the Spearman's rank correlation coefficient — to analyze the relationship between the various indicators. The obtained data were processed using the STATISTICA 10 software package. It was shown that cognitive load reduced the proportion of high-frequency waves and increased the activity of low-frequency waves, but the total power of the spectrum was modulated individually. After the load test, the contribution of the low-frequency component of the heart rate variability significantly increased. A decrease in the total power of the spectrum was observed among all subjects of the second group. Thus, specific changes in the wave parameters of heart rate variability were discovered: each of them was comparable to those during cognitive and physical load.

Keywords: wave parameters of heart rate, cognitive dissonance, PWC_{170} test, maximum oxygen consumption

For citation: Vlasenko R.Ya., Balashova A.D. Changes in wave parameters of heart rate among professional athletes performing cognitive and physical loads // Vestnik NovSU. Issue: Medical Sciences. 2022. №1(126). P.38-42. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.1\(126\).38-42](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.1(126).38-42)

Согласно теории когнитивного диссонанса, предложенной Леоном Фестингером [1], в которой существуют две взаимосвязанные психологические установки, противоречащие друг другу, которые приводят, субъекта к конфликтному состоянию. Поскольку противоречие эмоционально некомфортно, это мотивирует личность устранить его и достичь гармонии (консонанс) [1]. Далее, если диссонанс продолжает существовать, личность будет активно избегать ситуаций и информации, которые способны породить его. Механизмы возникновения мотивационно-эмоционального конфликта описаны различными физиологами в своих теориях. Теория функциональных систем академика П.К.Анохина [2] трактует развитие конфликта при несоответствии реально полученных параметров результата запланированным в акцепторе результатам действия. В работах П.В.Симонова [3] речь идет только лишь о вероятности достижения результата деятельности в условиях дефицита информации (или времени). В трудах академика К.В.Судакова [4] говорится о длительном последствии отрицательных эмоций в состоянии мотивационно-эмоционального конфликта. Физиологическим сопровождением такого состояния являются разнообразные изменения прежде всего со стороны сердечно-сосудистой системы. Наиболее чувствительным индикатором таких состояний являются параметры вариабельности сердечного ритма, которые могут нести актуальное диагностическое значение.

Можно выделить различные формы-проявления подобных состояний: рискованное поведение, агрессия и т.п. Необходимо отметить, что эти формы поведения имеют прикладное значение и оказывают существенное влияние на результат деятельности, например в спорте.

Прогресс в изучении системогенеза конфликт-индуцированного поведения является возможным лишь благодаря оценке модальности мотивационного и подкрепляющего возбуждений [5] в состоянии, в котором осуществляется целенаправленная деятельность субъекта. Безусловно, что одной из форм проявлений подобного поведения является двигательная активность, сопровождающаяся естественными вегетативными изменениями (и естественной формой адаптации организма). Всегда ли вегетативные изменения наиболее выражены в процессе физической работы, а не в условиях умственной нагрузки — вопрос, который требует дискуссии и изучения в современной психофизиологии. Характерные модуляции в регуляции ритма сердца наблюдаются при постоянных спортивных тренировках [6]. Спектральный анализ волновой структуры кардиоритма — пожалуй, самый релевантный метод оценки его вариабельности. *Цель настоящего исследования* — провести сравнительный анализ характеристик сердечного ритма профессиональных спортсменов в условиях когнитивной и физической нагрузки.

Методика

В исследовании приняли участие 68 спортсменов-добровольцев в возрасте $21 \pm 1,5$ года, у кото-

рых отмечали примерно равные параметры физической работоспособности. Условия эксперимента соответствовали этическим требованиям Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Исследование проводилось в одно и то же время, за 2 часа исключались прием пищи и физическая нагрузка. Продолжительность исследования составляла около 30 минут для каждого испытуемого. Эксперимент осуществляли на базе лаборатории лечебной физической культуры кафедры физической культуры Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. Все испытуемые имели квалификацию не ниже кандидата в мастера спорта.

При регистрации и оценке показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) использовали программно-аппаратный комплекс «Валента» (Санкт-Петербург). Регистрировали кардиоритмограмму не менее 400 кардиоинтервалов в состоянии относительного покоя, в этот период испытуемым (1-я группа, $n = 32$) предлагалось произносить вслух различные числа. Затем на фоне записи выполнялся серийный счет по Крепелину (500–7), что рассматривали в качестве когнитивной нагрузки. Регистрировали частоту сердечных сокращений (ЧСС) (уд/мин), мощность высокочастотных волн — HF (% от общей мощности спектра), мощность низкочастотных волн — LF (% от общей мощности спектра), симпато-вагальный индекс — LF/HF, мода — Мо (мс), амплитуда значений моды ряда нормальных кардиоинтервалов — Амо (%), коэффициент вариации — CV. Результативность счета оценивали с помощью процента правильных ответов и скорости счета.

Характеристики личности — агрессия и готовность к риску — оценивали с помощью анкетирования респондентов (2-я группа, $n = 36$). Использовали опросник враждебности Баса—Дарки (вариант А.К.Осницкого) в оценке агрессивности субъектов. Оценка готовности к риску проводилась с помощью теста Шуберта [7]. Регистрация показателей ВСР так же, как и у испытуемых 1-й группы, осуществлялась с помощью программно-аппаратного комплекса «Валента». Фиксировались кардиоритмограммы (400 кардиоинтервалов) в состоянии функционального покоя, до и после выполнения дозированной физической нагрузки (стандартный тест PWC₁₇₀). Учитывали: общий спектр (TP), HF, LF и очень низкочастотный (VLF) компоненты, а также индекс напряжения. Общую физическую работоспособность оценивали по величинам максимального потребления кислорода (МПК) и максимальной мощности работы.

Результаты были статистически обработаны с помощью пакета программ STATISTICA 10. Для оценки достоверности изменений показателей относительно состояния покоя использовали непараметрический Т-критерий Вилкоксона. Данные представлены в виде $M \pm m$ и Me (25; 75). Анализ взаимосвязей между различными показателями произведен с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные по динамике волновых характеристик у испытуемых 1-й группы представлены в табл. 1.

Таблица 1
Показатели ВСР в состоянии покоя и в состоянии конфликта у спортсменов 1-й группы

Параметры	В покое	В процессе счета
ЧСС, уд/мин	69,14±4,59	79,40±8,45*
HF, %	60,70±7,15	47,67±3,34*
LF, %	26,54±6,37	36,45±2,05*
LF/HF	0,39±0,19	0,98±0,45*
Мо, мс	0,92±0,07	0,8±0,07*
АМо, %	33,67±2,78	33,87±4,67
CV	9,24±1,68	9,87±1,87

*Достоверность различий при $p < 0,01$ и выше по отношению к состоянию покоя.

Было показано, что в процессе выполнения серийного счета у респондентов достоверно возрастала ЧСС ($p < 0,01$), а также наблюдалась модуляция ряда параметров ВСР: HF, LF, LF/HF, Мо, мс. Полученные данные согласуются с результатами других работ об увеличении ЧСС и других показателей регуляции кардиоритма у субъектов в процессе решения арифметических задач [8,9]. Когнитивная нагрузка индуцировала достоверное изменение волновых параметров ритма сердца у испытуемых. Изменение параметров в 1-й экспериментальной группе в виде уменьшения активности волн высокой частоты и увеличения вклада низкочастотных волн была сопоставима, характеристика спектра общей мощности менялась индивидуально. В покое преобладала дыхательная аритмия, в состоянии когнитивной нагрузки сохранялась структура общего спектра мощности (преобладали волны HF, $p < 0,01$). В обсуждении полученных результатов оптимально использовать принципы системного подхода [10]. Приспособительным результатом спортсменов в процессе решения арифметических задач являлось наибольшее число корректных ответов. В процессе оценки результативности данной деятельности спортсменов была выявлена относительно высокая скорость счета (14,17 ответов/мин), тем не менее, количество правильных ответов было невелико ($T = 87\%$). У отдельных испытуемых наиболее приоритетной задачей в данной экспериментальной ситуации был насколько возможно оперативный выход из сложившегося конфликта. Их результативность не была высокой. Преобладала симпатизация в регуляции ритма сердца, некоторые испытуемые даже отказывались закончить эксперимент (их данные не учитывали в работе).

У спортсменов 2-й группы показатель уровня максимальной мощности составил 2,8 (2,6; 2,9) Вт/кг, а величина максимального количества кислорода (МПК) — 3,8 (3,7; 4,1). Такие результаты говорят о хороших резервах аэробной производительности. Оценивая агрессивность, использовали суммарный индекс агрессии, значение которого было 25 (12; 25),

что говорит о средневысокой степени агрессивности. В тесте Шуберта среди спортсменов результат составил 15 баллов (3; 22), т. е. средняя и высокая степень готовности субъектов к риску.

Параметры вариабельности ритма сердца до и после выполнения теста PWC₁₇₀ приведены в табл. 2.

Таблица 2
Параметры вариабельности ритма сердца до и после выполнения теста PWC₁₇₀

Параметр	В покое	После PWC ₁₇₀
TP, мс ²	2420 (1147;4325)	1540 (302;1832)*
HF, %	32.70 (22.97;45.50)	26.12 (20.38;34.00)
LF, %	47.54 (29.25;53.05)	52.72 (43.68;65.35)*
VLF, %	21.52 (12.30;27.20)	12.90 (10.48;25.60)*
SI, усл. ед.	56 (35;78)	143 (75;329)*

*Достоверность различий при $p < 0,05$ и выше по отношению к состоянию покоя.

До нагрузки у респондентов было обнаружено высокое значение общего волнового спектра (TP), что говорит о высокой вариабельности кардиоритма (вероятная причина — кумулятивный эффект тренировки). Кроме того, преобладал LF-компонент в общем спектре, что интерпретируется как тенденция к централизации управления ритмом сердца (высокая адаптивная способность к оперативному включению в работу). В других работах этот компонент рассматривают как стресс-реализующий, что крайне важно для оперативной и максимальной мобилизации целого ряда физических качеств в различных видах спорта [11].

Сразу после выполнения нагрузочного теста PWC₁₇₀ практически у всех испытуемых наблюдалось снижение общей мощности спектра ВСР. Как и в случае с 1-й группой, эти изменения происходили за счет увеличения относительного вклада LF-компонента спектра — повышалась активность центрального контура регуляции кардиоритма. Можно предположить, что отдельные субъекты, выполняющие стандартный нагрузочный тест, могли также находиться в состоянии когнитивного диссонанса. В данной экспериментальной ситуации вероятностным полезным результатом деятельности было максимально положительное завершение теста PWC₁₇₀. Однако, выполняя работу на велоэргометре, испытуемый мог только прогнозировать конечный результат (большинство спортсменов выполняли тест впервые). Безусловно, основные модуляции в спектре ВСР наблюдались после выполнения нагрузочного теста. Отмечали уменьшение вклада VLF-компонента спектра, который характеризует как гуморальные, так и метаболические влияния на регуляцию работы сердца [12], чего не наблюдали у спортсменов 1-й группы.

В процессе корреляционного анализа было показано наличие положительных и отрицательных

взаимосвязей между показателями вариабельности ритма сердца, а также МПК и личностными диспозициями. Наиболее значимые корреляции на уровне $p < 0,05$ показаны в табл.3.

Таблица 3
Корреляционные связи (по Спирмену)
между личностными диспозициями, значением
общего волнового спектра (ТР) и МПК ($p < 0,05$)

Показатели	Коэффициент корреляции
Готовность к риску — ТР _{после нагрузки}	0,71
Индекс агрессии — ТР _{после нагрузки}	–0,68
ТР _{после нагрузки} — МПК	0,80
Индекс агрессии — МПК	–0,76

Данные значения коэффициента корреляции говорят об умеренных ($\pm 0,5-0,7$) и сильных ($\pm 0,7-1,0$) связях между показателями. Можно предположить относительную независимость этих личностных диспозиций, а также говорить об их противоположных по знаку корреляционных связях с вариабельностью сердечного ритма и аэробной производительностью (по уровню МПК).

Выводы

Исходя из изложенных результатов нашей экспериментальной работы, можно сформулировать следующие выводы:

1. Умственная нагрузка у спортсменов сопровождалась оригинальными изменениями в регуляции кардиоритма (включение высших структур в управление ритмом во время счета), при этом сохранялось преобладающее влияние автономного контура регуляции ритма сердца.

2. В целом наблюдались сопоставимые модуляции волновых параметров кардиоритма профессиональных спортсменов 1-й и 2-й экспериментальных групп.

3. У лиц, выполняющих физическую нагрузку, было отмечено уменьшение вклада VLF-компонента спектра, чего не наблюдалось у респондентов 1-й группы.

Таким образом, можно предположить наличие характерных изменений в регуляции кардиоритма у спортсменов, решающих когнитивные задачи и выполняющих физическую работу. Однако при выполнении ими физической нагрузки нельзя также исключать состояние мотивационно-эмоционального конфликта.

1. Фестингер Л. Теория когнитивного диссонанса. СПб.: Эксмо, 2018. С.7-12.
2. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Медицина, 2012. 450 с.
3. Симонов П.В. Высшая нервная деятельность человека. Мотивационно-эмоциональные аспекты. М.: Ленанд, 2021. 176 с.

4. Судаков К.В. Информационные аспекты системной организации психической деятельности // Вестник РАМН. 2012. Т.67. №8. С.53-56.
5. Власенко Р.Я., Котов А.В. Ангиотензины в центральных механизмах реализации питьевой инструментальной активности у крыс с различными проявлениями рискованного поведения // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П.Павлова. 2018. Т.26(2). С.222-228. DOI: <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2018262222-228>
6. Яблучанский Н.И., Мартыненко А.В. Вариабельность сердечного ритма. В помощь практическому врачу. Харьков, 2010. 131 с.
7. Райгородский Д.Я. Практическая психодиагностика: методики и тесты. Самара: Бахрам-М, 2015. 672 с.
8. Туманян А.А., Тадевосян Н.Э., Хачунц А.С., Тадевосян И.Г. Динамика показателей вариабельности сердечного ритма при умственной нагрузке у испытуемых различных возрастных групп // Вестник СПбГУ. Сер.3. 2015. Вып.3. С.87-94.
9. Лукина А.И. Показатели вариабельности сердечного ритма во время экзамена у студентов с различными профилями моторного доминирования // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. 2012. 3/1(94). С.203-209.
10. Воробьев К.П. Теоретические основы использования параметров вариабельности сердечного ритма для оценки функционального состояния организма // Загальна патологія та патологічна фізіологія. 2011. Т.6(4). С.5-17.
11. Гаврилова Е.А. Спорт, стресс, вариабельность. М.: Спорт, 2015. 167 с.
12. Кудря О. Н. Влияние физических нагрузок разной направленности на вариабельность ритма сердца у спортсменов // Бюллетень сибирской медицины. 2009. Т.8. №1. С.36-42. DOI: <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2009-1-36-42>

References

1. Festinger L. Teoriya kognitivnogo dissonansa [The theory of cognitive dissonance]. Saint-Petersburg, Eksmo Publ., 2018. pp. 7-12
2. Anokhin P.K. Ocherki po fiziologii funkcional'nyh sistem [Essays on the physiology of functional systems]. Moscow, Meditsina Publ., 2012. 450 p.
3. Simonov P.V. Vysshaya nervnaya deyatel'nost' cheloveka. Motivacionno-emocional'nye aspekty [Higher nervous activity of a person. Motivational and emotional aspects]. Moscow, Lenand Publ., 2021. 176 p.
4. Sudakov K.V. Informatsionnye aspekty sistemnoy organizatsii psicheskoy deyatel'nosti [Informational aspects of the systemic organization of mental activity]. Moscow, Vestnik RAMN [Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences], 2012, no. 8, pp. 53-56. (In Russian)
5. Vlasenko R.Ya., Kotov A.V. Angiotenziny v central'nyh mekhanizmah realizatsii pit'evoj instrumental'noy aktivnosti u kryss s razlichnymi proyavleniyami riskovogo povedeniya [Angiotensins in the central mechanisms of implementation of drinking instrumental activity among rats with various manifestations of risk behavior]. Rossijskij mediko-biologicheskij vestnik imeni akademika I.P. Pavlova [I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald], 2018, vol. 26, no. 2, pp. 222-228. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2018262222-228>
6. Yabluchanskij N.I., Martynenko A.V. Variabel'nost' serdechnogo ritma. V pomoshch' prakticheskomu vrachu [Heart rate variability. To help the practitioner]. Kharkov, 2010. 131 p.
7. Rajgorodskij D.Ja. Prakticheskaja psihodiagnostika: metodiki i testy [Practical Psychodiagnostics: Methods and Tests]. Samara, Bahram-M Publ., 2015. 672 p.
8. Tumanyan A.A., Tadevosyan N.E., Hachunc A.S., Tadevosyan I.G. Dinamika pokazatelej variabel'nosti serdechnogo ritma pri umstvennoj nagruzke u ispytuemyh razlichnyh vozrastnyh grupp [The dynamics of heart rate variability measures during mental load in subjects of different age groups]. Vestnik SPbGU [Saint Petersburg State University Bulletin], 2015, vol. 3, no. 3, pp. 87-94. (In Russ.)

9. Lukina A.I. Pokazateli variabel'nosti serdechnogo ritma vo vremya ekzamena u studentov s razlichnymi profilyami motornogo dominirovaniya [Indicators of heart rate variability during the exam among students with different profiles of motor dominance]. Vestnik SamGU Estestvennonauchnaya seriya [Journal of Samara State University. Natural Science Series], 2012, vol. 3/1(94), pp. 203-209. (In Russian)
10. Vorobyov K.P. Theoretical foundations of the use of heart rate variability parameters to assess the functional state of the body [Theoretical foundations of using the parameters of heart rate variability to assess the functional state of the body]. Zagal'na patologiiia ta patologichna fiziologiiia — General Pathology and Pathological Physiology, 2011, vol. 6(4), pp. 5-17.
11. Gavrilova E.A. Sport, stress, variabel'nost' [Sport, stress, variability]. Moscow, Sport Publ., 2015. 167 p.
12. Kudrya O.N. Vliyanie fizicheskikh nagruzok raznoj napravlenosti na variabel'nost' ritma serdca u sportsmenov [The influence of different physical loads on heart rate variability of the sportsmen]. Byulleten' sibirskoj mediciny [Bulletin of Siberian Medicine], 2009, vol. 8, no. 1, pp. 36-42. (In Russian) doi: <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2009-1-36-42>