

## IV. МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА

УДК 612.17:612.017+796.01:612

### РИТМ СЕРДЦА – ОТРАЖЕНИЕ АДАПТАЦИИ РЕГУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА

*Д.К. Zubovskiy*, канд. мед. наук,  
Белорусский государственный университет физической культуры,  
Минск, Республика Беларусь

*Изучение variability сердечного ритма (BCP) у спортсменов проводится исходя из знаний о роли вегетативной регуляции в лимитировании физической работоспособности. В предлагаемой публикации представлен краткий обзор возможностей BCP как высокоинформативного метода оценки состояния регуляторных систем организма спортсменов.*

*Ключевые слова: адаптация; вегетативная нервная система; регуляция; сердечный ритм; спортсмен; работоспособность.*

### HEART RATE AS REFLECTION OF THE REGULATORY SYSTEMS ADAPTATION OF THE ORGANISM

*Investigation of the heart rate variability (HRV) in athletes is carried out according to the knowledge of the role of the vegetative regulation in limitation of physical working capacity. A short review of the HRV potentialities as a high-informative method of assessment of the state of the regulatory systems of athletes' organisms is presented in the offered publication.*

*Keywords: adaptation; vegetative nervous system; regulation; heart rate; athlete; working capacity.*

Одной из основных функций кровеносной системы является транспорт кислорода и питательных веществ к органам и тканям. В соответствии с запросом организма, в том числе в ходе спортивной тренировки, частота сокращений сердца (ЧСС) в известных пределах постоянно изменяется (варьируется). Лабильность ЧСС практически вне зависимости от сознания человека при физической нагрузке, психоэмоциональном стрессе, климатогеографических изменениях и др. формирует вегетативная нервная система (ВНС) [1–9].

Изменение (вариабельность) сердечного ритма (BCP) является универсальным индикатором взаимодействия ВНС и сердечно-сосудистой системы (ССС), а математический анализ BCP широко применяется в качестве метода индивидуального динамического контроля адаптационных возможностей [3,10]. Как не вспомнить слова Лиса, обращенные к Маленькому принцу: «Зорко одно лишь сердце. Самого главного глазами не увидишь».

В ходе многочисленных исследований было установлено, что симпатический отдел ВНС мобилизует резервы в экстренных ситуациях, увеличивает трату энергетических ресурсов. Проявления симпатикотонии: артериальная гиперто-

ния, нарастание ЧСС и минутного объема крови (МОК), активизация дыхания, возрастание температуры, склонность к запорам, раздражительность и др. Парасимпатический отдел ВНС способствует восстановлению и накоплению сил организма. Проявления парасимпатикотонии противоположны: снижение ЧСС, МОК, уменьшение артериального давления (АД) при вставании (ортостатическая гипотония) и др.

Эти два отдела ВНС принимают участие в регуляции жизненных процессов не по принципу «или-или», а действуют одновременно и пропорционально неожиданно возникшей нагрузке на организм. Всегда имеется преобладание или симпатических, или парасимпатических воздействий [5, 11]. Тесное взаимодействие отделов ВНС в совокупности с влияниями иммунной и эндокринной систем обеспечивает адаптацию и нормальную жизнедеятельность в определенных условиях существования [7]. Таким образом, для симпатического отдела ВНС характерны преобладание процессов диссимиляции, возрастание активности. Это – «педаль газа»; для парасимпатического отдела ВНС характерны возрастание ассимиляции, снижение активности. Это – «педаль тормоза».

Как все изложенное касается спорта?

Для большинства спортсменов в состоянии покоя характерно преобладание парасимпатического тонуса и умеренное участие подкорковых нервных центров в регуляции работы сердца (и других систем). И вроде бы «руководство» должно быть спокойно за дела на периферии. Это условия устойчивости к воздействию нагрузок. У 25–30 % спортсменов в покое может преобладать симпатический характер деятельности ССС с более выраженным «центральной» участием, т. е. с умеренным напряжением вегетативной регуляции сердечного ритма.

Преобладание тех или иных вегетативных воздействий проявляется в непрерывных колебаниях следования кардиоинтервалов (временных промежутков между сокращениями сердца). Это значит, что в тех или иных ситуациях следующий удар пульсовой волны происходит раньше или позже предыдущего. Удары пульса могут следовать с той или иной частотой, и эти колебания ритма сердца позволяют количественно оценить активность определенных звеньев ВНС. Измеряя вариации последовательного ряда кардиоинтервалов, отражающих влияние ВНС на сердце, можно в определенной мере судить о состоянии организма в целом [12].

Таким образом, анализ ВСР основывается на математическом определении длительности кардиоинтервалов – промежутков между нормальными сокращениями сердца при физиологической синусовой аритмии, зависящей от фаз дыхания. Мы рассматриваем аспект использования ВСР для оценки риска переутомления спортсмена. Кроме того, анализ ВСР может быть использован для формирования прогноза предстоящего тренировочного цикла и для оценки эффективности восстановления спортсмена.

Для оценки ВСР используются несколько методов. Мы в большей степени остановимся на анализе частотных составляющих колебаний ритма сердца (спектр ВСР), отражающих активность определенных отделов ВНС.

Согласно рекомендациям Европейского общества кардиологов и Северо-Американского общества по электростимуляции и электрофизиологии (1996) [13], колебания ритма сердца выделяются в виде следующих спектральных компонентов:

– низкочастотный компонент (Low Frequency, LF; 0,06–0,10 Гц) занимает 25–35 % мощности спектра, является мерой мощности преимущественно сим-

*патического* звена регуляции. В определенной степени характеризует состояние сосудистого тонуса. Увеличение мощности LF в положении «лежа» указывает на участие в регуляции, например, АД подкорковых вегетативных центров;

– высокочастотная составляющая (High Frequency, HF; 0,4–0,15 Гц) занимает 40–55 % суммарной мощности спектра и представляет меру мощности *парасимпатической* активности. Снижение HF указывает на преобладание симпатического отдела ВНС. В жизни спортсмена сильные эмоции в виде волнения, страха, учащенного дыхания и пульса – дело обычное и нормальное. В сочетании же с отклонениями других показателей и, прежде всего, с уровнем LF, может проявиться разбалансировка влияния отделов ВНС на сердечный ритм. В связи с этим применяется соотношение LF/HF – мера баланса симпато-парасимпатического взаимодействия (баланса), приближающегося у здорового человека в положении «лежа» к 1,0;

– очень низкочастотный домен (Very Low Frequency, VLF; 0,04–0,015 Гц) занимает от 6 до 15 % суммарной мощности спектра. Физиологическая сущности VLF досконально не определена, считается, что это компонент отражает степень участия в регуляции ВСП центральных, *надсегментарных структур* (кора и ствол головного мозга) в активности симпатического отдела ВНС. При увеличении мощности VLF-волн в ответ на нагрузку можно говорить о физическом перенапряжении; а при снижении VLF – о постнагрузочном энергодефиците;

– ультранизкочастотный компонент (Ultra Low Frequency, ULF; 0,015–0,003 Гц) также нуждается в дальнейшем изучении и определяется в настоящее время как мера мощности циркадианных биологических систем регуляции.

В обеспечении тяжелой, порой экстремальной, работы спортсмена участвуют все компоненты (вегетативный, соматический, психологический) многоуровневой системы физиологических функций организма как совокупности функциональных систем (П.К. Анохин, 1975; Р.М. Баевский, 1966).

Психоземotionalные и физические нагрузки, как на тренировках, так и на соревнованиях, являются для спортсмена сильнейшими стрессорами. Однако справедливо утверждая переход деятельности ССС на новый уровень функционирования, не следует возводить в абсолют вышеизложенные положения. Индивидуальные психофизиологические особенности спортсмена (уравновешенность, устойчивость, способность к выбору), волевые качества и др. мобилизуют спортсмена к достижению обозначенной цели, что может не «вписаться» в рамки оценки ВСП.

Поэтому существуют, во-первых, иные методы анализа ВСП, кроме спектральных, а во-вторых, среди последних необходимо выделить показатель общей мощности спектра ВСП – Total Power (TP). В сущности – это сумма резервов регуляции ритма сердца. С другой стороны, конечно важна структура TP, так как при одинаковых его значениях распределяться его составляющие могут по-разному. В норме структура спектра соответствует распределению HF>LF>VLF>ULF [7]. У высококвалифицированных спортсменов показатель парасимпатической активности (HF) не только преобладает в спектре, но и возрастает, что проявляется характерной синусовой брадикардией.

Для определения степени адаптации ССС и адекватности тренировочного процесса на основе вариационной пульсометрии предложен ряд интегральных показателей, среди которых наиболее известен индекс напряжения (ИН) регуляторных систем (индекс Баевского), показывающий «озабоченность» ствола и

коры головного мозга обеспечением работы ССС, степень вовлеченности организма в стресс. Так, когда ритм сердца (РС) управляется синусовым узлом, показатель ИН не более 100 ед. При стрессовых состояниях или при неадекватном восстановлении к управлению СР подключаются надсегментарные отделы мозга (прежде всего гипоталамус). ЧСС растет, вариабельность кардиоинтервалов уменьшается, ИН повышается так, что повышение его до 500 ед. и выше указывает на некомпенсированный дисстресс и кризис систем адаптации [14, 15].

Таким образом, чем ближе показатели ВСР к норме, тем лучше протекает адаптация к нагрузкам. Тренировочные усилия приводят к соревновательному успеху, если мастерство спортсмена доведено до уровня рефлекса, навыка. У такого спортсмена без признаков перенапряжения в состоянии относительного покоя вне соревновательного периода можно выявить умеренным ростом уровней ТР и HF и снижение показателей LF, VLF, LF/HF и ИН [9, 16, 17].

Исследования, проведенные Н.А. Агаджаняном и совт. (2006), показали, что у спортсменов-победителей соревнований показатели ТР накануне их были достоверно ниже при сравнении с выступившими менее удачно [13]. Рост ИН на 200–300 %, отмечавшийся на соревнованиях, наблюдался также в течение всего годового цикла.

Усиление централизации управления деятельностью ССС – неизбежный спутник работы организма спортсмена высокой квалификации. В современном спорте высших достижений – это необходимое условие, так как запредельные нагрузки выводят спортсмена на уровень экстремального состояния и успешное продолжение заданной работы при повышенном функциональном запросе организма возможно лишь при мобилизации всех его резервов. Как указывал один из основателей школы науки о здоровье Г.Л. Апанасенко: «Адаптация к экстремальным воздействиям сопровождается «платой» за адаптацию. Компенсаторные механизмы... формируются за счет резервов структуры и функции органов и систем» [18]. В этом аспекте определение и анализ показателей ВСР в особенности важно, так как их изменения можно зафиксировать раньше, чем отклонения при медицинских лабораторных исследованиях.

Проведенные нами исследования, в которых участвовали лыжники (мужчины 25–28 лет; I разряд – 23 и кандидаты в мастера спорта – 9 человек), указали на характерное для спортсменов преобладание в покое активности парасимпатического отдела ВНС. При проведении ортостатической пробы возрос показатель VLF, а уровни HF и LF снизились. Это понятно с позиций двухконтурной регуляции сердечного ритма, согласно которой, чем выше уровень управления, тем больше период медленноволновых составляющих сердечного ритма (VLF), отражающих активность надсегментарных центров регуляции ВНС.

Также были изучены особенности регуляции сердечного ритма у 17–18-летних боксеров и бегунов на короткие и средние дистанции как показатели адаптации к физическим нагрузкам скоростно-силового характера. Изучались пространственно-спектральные компоненты ВСР (LF, HF, LF/HF, VLF, ТР) и показатели вариационной пульсометрии: Мо (наиболее часто встречающееся значение кардиоинтервала), АМо (амплитуда моды – процент кардиоинтервалов RR, соответствующий значению моды), ВР (вариационный размах – разность между длительностью наибольшего и наименьшего RR-интервала). Оценивались расчетные индексы (у.е.): ИВР (индекс вегетативного равновесия:  $ИВР = АМо/ВР$ ), ИНБ (индекс напряжения Баевского, показатель вегетативной реактивности).

Результаты выявили умеренную парасимпатическую активность ВНС, т. е. рабочее состояние регуляторных систем организма с экономизацией функций ССС у бегунов и боксеров в ответ на тренировочные нагрузки.

Однако несмотря на одинаковую направленность тренировочного процесса (скоростно-силовую), функциональное состояние механизмов вегетативной регуляции сердечной деятельности у 17–18-летних боксеров было несколько лучшим, чем у бегунов на короткие и средние дистанции. В состоянии покоя боксеры характеризовались оптимальным соотношением составляющих спектра ВСР: HF>LF>VLF. Паттерн регуляции сердечного ритма у бегунов (HF>VLF>LF) свидетельствовал об усилении центральных уровней управления и, следовательно, напряжением работы ВНС в регуляции деятельности ССС. Ваготония в покое (HF), свидетельствующая об экономизации функционирования системы кровообращения, была отмечена у 30,0 % боксеров и только у 13,3 % легкоатлетов. Исходная симпатикотония у легкоатлетов была отмечена значительно чаще, чем у боксеров. При проведении активной ортостатической пробы динамика, как спектральных, так и временных показателей ВСР у бегунов, указывала на большее напряжение регуляторных механизмов, снижение парасимпатической регуляции и более высокую степень централизации в управлении сердечным ритмом по сравнению с боксерами.

Таким образом, состояние ССС в группе молодых бегунов на короткие и средние дистанции в подготовительном периоде годичного цикла спортивной тренировки демонстрировало угрозу дезадаптации.

Анализ ВСР и индекса массы тела (ИМТ), являясь простыми и информативными методами, использованы нами для донозологической диагностики функционального состояния студентов при обследовании студентов с различным составом тела. Показано, что для лиц со сниженным ИМТ характерно выраженное напряжение показателей ВСР в ортостазе. У лиц с повышенным ИМТ значения ВСР указали на выраженное напряжение вегетативной регуляции ССС, выявленные уже в состоянии покоя.

Угроза дезадаптивных реакций организма требует профилактического применения средств восстановления. В наибольшей степени этому соответствуют немедикаментозные восстановительные технологии. Установлено, что модулирующее в основном парасимпатотропное влияние на функции ВНС оказывают физические факторы.

В качестве гипотезы одного из наших исследований предполагалось, что проведение курса процедур гемоманнитотерапии (ГМТ) с помощью специально разработанных аппаратуры и методик ее применения с учетом лечебных возможностей ГМТ и следовых реакций на ее применение станет фактором восстановления, сохранения, повышения работоспособности спортсменов на основе улучшения функции ССС и ВНС.

Полученные данные продемонстрировали усиление парасимпатического влияния ВНС при одновременном уменьшении влияния надсегментарных центров регуляции симпатического отдела ВНС после проведения курса процедур ГМТ. Это связано с модулирующим действием ГМТ на структуры центральной нервной системы. Под влиянием ГМТ произошла не столько активизация парасимпатического отдела ВНС, сколько нормализация ее деятельности, о чем свидетельствует уменьшение в отдаленном периоде в течение 4 недель после курса процедур ГМТ прироста показателя VLF при проведении активной ортостатиче-

ской пробы. Изучение коэффициентов корреляции обнаружило умеренной силы зависимость между показателями общей работоспособности и уровнем парасимпатикотонии по значению HF ( $r=0,419$ ,  $p<0,05$ ). После курса ГМТ корреляционная связь между этими показателями усилилась ( $r=0,468$ ,  $p<0,05$ ), что может свидетельствовать о нормализующе-стимулирующем эффекте курса процедур ГМТ на состояние ВНС и работоспособности.

Выявленный рост мощности VLF в спектре ВСР связан с напряжением вегетативных механизмов саморегуляции на межсистемном уровне с участием психогенных и нейроэндокринных факторов. Поэтому полученные результаты свидетельствуют об активном коррекционно-модулирующем воздействии ГМТ в виде снижения функционального напряжения регуляторных механизмов деятельности ССС, подтвержденного динамикой показателей психоэмоционального состояния (ПЭС) спортсменов. Особо следует подчеркнуть, что данная динамика показателей ПЭС и ВСР сохранялась спустя 2 и 4 недели после курса процедур ГМТ, что свидетельствует о пролонгированном положительном эффекте влияния ГМТ (эффект последействия). Этот феномен и может быть использован для планирования программы восстановления работоспособности спортсмена на перспективу.

В заключение считаем уместным отметить, что абсолютизировать изучаемые процессы не следует, а нужно помнить об индивидуальностях вегетативного обеспечения спортсменов. Учет этого и контроль динамики ВСР поможет достоверней оценить характер индивидуальной адаптации спортсменов к напряженным нагрузкам.

1. Жемайтите, Д. И. Вегетативная регуляция синусового ритма сердца у здоровых и больных / Д. И. Жемайтите; под ред. Д. И. Жемайтите, Л. С. Толькниса. – Вильнюс, 1982. – 130 с.

2. Power spectrum analysis of heart rate variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt / N. Montano [et al.] // *Circulation*. 1994. – № 90. – P. 1826–1831.

3. Хаспекова, Н. Б. Регуляция вариативности ритма сердца у здоровых и больных с психогенной и органической патологией мозга : автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Н. Б. Хаспекова ; ИВНД и НФ РАН. – М., 1996. – 217 с.

4. Баевский, Р. М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов. – М. : Медицина, 2000. – 295 с.

5. Вейн, А. М. Вегетативные расстройства: клиника, диагностика, лечение / под ред. А. М. Вейна. – М. : Мед. информ. агенство, 2003. – 752 с.

6. Агаджанян, Н. А. Соревновательный стресс у представителей различных видов спорта по показателям вариабельности сердечного ритма // Теория и практика физической культуры / Н. А. Агаджанян, Т. Е. Батоцыренова, Ю. Н. Семенов. – 2006. – № 1. – С. 2–5.

7. Шлык, Н. И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов : монография / Н. И. Шлык. – Ижевск : Удмурт. гос. ун-т, 2009. – 255 с.

8. Еремина Н. М. Вегетативные параметры гомеостаза у практически здоровых молодых людей по показателям вариабельности сердечного ритма и артериального давления при психоэмоциональном тестировании / Н. М. Еремина, Р. В. Хурса // *Военная медицина*. – 2011. – № 2. – С. 91–95.

9. Гаврилова, Е. А. Использование вариабельности ритма сердца в оценке успешности спортивной деятельности / Е. А. Гаврилова // *Практическая медицина*. – 2015. – № 3 – С. 52–57.

10. Овчинников, К. В. Взаимосвязь вариабельности сердечного ритма и психофизиологических показателей у лиц с разным типом вегетативной нервной системы : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.13 / К. В. Овчинников ; Ростов. гос. ун-т. – Ростов-н/Д, 2006. – 23 с.

11. Kerdo, I. Ein aus Daten der Blutzirkulation kalkulierter Index zur Beurteilung der vegetativen Tonuslage / I. Kerdo // *Acta neurovegetativa*. – 1966. – Bd. 29, № 2. – S. 250–268.

12. Пивовар, С. Н. Методологические подходы к оценке тонуса отделов вегетативной нервной системы / С. Н. Пивовар, Ю. С. Рудык, Ю. Г. Горб. – II Всерос. конгр. : сб. тр. – 2003. – С. 18–24.

13. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use / Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology // Eur. Heart J. – 1996. – Vol. 17. – P. 354–381.

14. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем / Р. М. Баевский [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65–86.

15. Баевский, Р. М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – М. : Медицина, 1997. – 265 с.

16. Гаврилова, Е. А. Методы оценки эффективности реабилитационных мероприятий в спорте / Е. А. Гаврилова, Е. Ю. Ковбас // Научный поиск. – 2015. – № 2. – С. 46–48.

17. Питкевич, Ю. Э. Вариабельность сердечного ритма у спортсменов / Ю. Э. Питкевич // Проблемы здоровья и экологии. – 2010. – Т. 26, № 4. – С. 101–106.

18. Апанасенко, Г. Л. Здоровье спортсмена: критерии оценки и прогнозирования / Г. Л. Апанасенко, Ю. С. Чистяков // Теория и практика физической культуры. – 2006. – № 1. – С. 19–22.

Поступила 11.09.2018

УДК 796.01:612

## **ВЛИЯНИЕ АЭРОБНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ГЕМОДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, ВЕГЕТАТИВНУЮ РЕГУЛЯЦИЮ СЕРДЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ФИЗИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СТУДЕНТОК-СПОРТСМЕНОК**

**Т.В. Лойко**, канд. пед. наук, доцент, **Н.В. Жилко**,  
Белорусский государственный университет физической культуры,  
Минск, Республика Беларусь

*В работе представлены особенности состояния гемодинамики и вегетативной регуляции сердечной деятельности, а также физической работоспособности студенток-спортсменок, выполняющих аэробные физические нагрузки различной систематичности.*

*Ключевые слова: спортивная тренировка; аэробная физическая нагрузка; физическая работоспособность; адаптация; система кровообращения; гемодинамика; вегетативная регуляция сердечной деятельности.*

## **THE EFFECT OF AEROBIC PHYSICAL LOADS ON THE HAEMO DYNAMIC STATE, VEGETATIVE REGULATION OF CARDIAC PERFORMANCE, AND PHYSICAL EFFICIENCY OF FEMALE STUDENTS-ATHLETES**

*Features of the state of hemodynamics and vegetative regulation of cardiac performance, as well as physical efficiency of female students-athletes carrying out aerobic physical loads of various systematic character are presented in the article.*