

УДК 616.12-008.3:[796.071.2:613.65]

**ВАРИАбельНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ  
СПОРТСМЕНОВ НА ФОНЕ ФИЗИЧЕСКОГО ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ  
(ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

*Л.М. Зиддинова*

Рассмотрен ряд симптомов, включая изменение функционирования вегетативной нервной системы, ассоциированных с синдромом перетренированности у спортсменов. Проведен анализ variability сердечного ритма, как метода выявления состояния утомления в целях предупреждения перетренированности у спортсменов.

*Ключевые слова:* variability сердечного ритма; спортсмены; физическое перенапряжение.

---

**THE HEART RATE VARIABILITY  
IN ELITE ATHLETES WITH PHYSICAL OVEREXERTION  
(REVIEW)**

*L.M. Ziddinova*

The article considers a number of symptoms, including changes in the functioning of the autonomic nervous system, associated with the syndrome of overtraining in sportsmen. The analysis of heart rate variability (HRV) as a method of detecting the state of fatigue for the prevention of overtraining in athletes is conducted.

*Keywords:* heart rate variability; sportsmen; physical overexertion.

**Актуальность.** За последние пять десятилетий, прошедших от предложения использовать анализ variability сердечного ритма (BCP) в клинической, экспериментальной медицине, интерес к данному методу не снижается, и оценка BCP находит все более широкое развитие как в Кыргызстане, Казахстане, России, так и за рубежом. В последние годы в Кыргызской Республике все большее количество людей приобретает к занятиям физической культурой и спортом. Это влечет за собой необходимость совершенствования медицинского обеспечения лиц с повышенным уровнем физической активности как на уровне диспансеров спортивной медицины, так и общей лечебной сети. Одним из наиболее актуальных является вопрос о том, что принимать за “норму” и на что следует обратить пристальное внимание при выявлении каких-либо отклонений у спортсменов. Метод BCP основан на детекции QRS-комплексов, измерении временных интервалов между R-зубцами электрокардиограммы, построении динамических рядов кардиоинтервалов с последующим математическим анализом [1, 2].

В соответствии с разработками, выводами и положениями отечественных исследователей анализ variability сердечного ритма рассматривается в качестве метода оценки состояния механизмов регуляции, в частности общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции деятельности сердца, соотношения активности симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы [1]. Методологический базис BCP основан на трех концепциях [1].

Колебания сердечного ритма можно рассматривать с позиций общего адаптационного синдрома, а систему кровообращения – как индикатор адаптивных реакций целостного организма. Оценивать BCP следует как результат взаимодействия многоконтурной, иерархически организованной многоуровневой системы управления физиологическими функциями, доминирующая роль отдельных звеньев которой определяется текущими потребностями организма. Основой такого подхода являются положения биологической кибернетики и теории функциональных систем П.К. Анохина.

Двухконтурная модель регуляции синусового узла включает взаимосвязанные и взаиморегулируемые уровни: автономный (ассоциированный с дыхательной аритмией) и центральный (недыхательная аритмия). Взаимосвязь обусловлена нервными и гуморальными аспектами. Состояние покоя характеризуется превалированием активности автономного контура, психоэмоциональные и физические нагрузки на организм приводят к вовлечению в регуляцию центрального контура.

Третья концепция, принцип которой широко используется зарубежными учеными, основана на регуляции сердечного ритма посредством рефлекторных (механических), нервных и гуморальных механизмов [1, 3]. Как в покое, так и во время физической нагрузки короткие периодические модуляции частоты сердечных сокращений и артериального давления являются результатом комплексного взаимодействия центральных и периферических регуляторных систем: снижение и повышение артериального давления, согласованное с фазой дыхательного цикла, вторично индуцирует дыхательную вариабельность ритма посредством барорефлекторного эффекта [3]. Наиболее часто, по результатам использования ВСП в клинической медицине, цитируются работы, посвященные изучению вегетативных изменений при инфаркте миокарда и выявлению вегетативной диабетической нейропатии. Диапазон возможностей использования данного метода в спорте высших достижений не является в настоящее время четко очерченным, хотя ежегодное достаточно большое количество публикаций указывает на попытки поиска диагностических альтернатив.

Целью настоящего обзора является предоставление информации о современных направлениях применения анализа ВСП в спорте по данным литературных источников.

В 1999 г. К. Niizeki и Y. Miyamoto показали, что сокращение мышц нижней конечности модулирует длительность RR-интервала: положительный хронотропный эффект наблюдался в случае прихода мышечного сокращения на фазу систолы и отрицательное хронотропное влияние на сердечный ритм выявлялось в период попадания сокращения мышцы в период диастолы [4]. Дальнейшие исследования подтвердили, что педалирование постоянно модулирует хронотропный ответ сердца на нагрузку, потенцируя появление нового частотного компонента ВСП, связанного с частотой педалирования [5].

Результатом адаптации организма спортсмена к физическим нагрузкам являются специфические изменения вегетативного баланса в зависимости

от его физической подготовленности и спортивной квалификации [6]. Е.А. Гаврилова (2009) ссылается на ряд авторов, считающих патологическим симпатикотонический тип регуляции сердечного ритма для спортсменов и физиологическим – переход от нормотонического к парасимпатикотоническому [7].

При анализе вариабельности сердечного ритма у спортсменов-гиревиков установлено, что показатель моды отражает интенсивность физической нагрузки, а уровень тренированности организма спортсмена ассоциирован с величиной высокочастотного компонента спектра как одного из показателей активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Обследование пожилых лиц, в прошлом профессионально занимавшихся спортом, выявило прямую зависимость параметров SDNN (стандартное отклонение нормальных RR-интервалов), RMSSD (корень квадратный из суммы квадратов разности последовательных RR-интервалов), HF (высокочастотный спектральный компонент) и HF/(LF+HF) от уровня интенсивности текущей дневной физической активности [8].

Е.Л. Melanson установил, что временные и частотные показатели вариабельности сердечного ритма выше у индивидуумов, ведущих активный образ жизни, однако не существует дозозависимого эффекта между уровнем физической активности и ВСП [9].

Вместе с тем F.S. Martinelli и соавт. не наблюдали различий в спектральных показателях в покое и во время пассивной ортостатической пробы в группах спортсменов и нетренированных лиц [10]. Вариабельность сердечного ритма у спортсменов с увеличивающимся по мере роста тренированности параметром максимального потребления кислорода (МПК) характеризовалась высокими показателями HF и Total (общая мощность спектра) [11]. Статистически значимая корреляция установлена между уровнем МПК и вагус-зависимыми показателями ВСП (RMSSD, pNN50 – количество пар последовательных RR-интервалов, отличающихся более чем на 50 мс, выраженное в процентах, HF) [12]. Большинство исследователей связывают кардиопротекторный эффект физических тренировок с тенденцией роста парасимпатической активности, что находит отражение в увеличении вагус-ассоциированных показателей.

Увеличение интенсивности нагрузки сопровождается статистически значимым ростом HFnu, снижением LFnu (мощность низкочастотного спектрального компонента) и LF/HF – у тренированных индивидуумов [13]. Исследование спектральных

составляющих ВСР при нагрузке ниже порога аэробного обмена, между аэробно-анаэробным порогом и выше анаэробного порога позволило выявить рост мощности HF и снижение LF на протяжении всех стадий увеличения нагрузки со значительным приростом первого показателя после превышения анаэробного порога. Оценка спектральных показателей при выполнении нагрузки разной интенсивности (ниже и выше порога аэробного обмена) приведена в работе F. Cottin и соавт. (2004). Так, нагрузка средней интенсивности приводила к превалированию мощности низкочастотного компонента над мощностью высокочастотного компонента ( $LF = 80 \pm 10 \%$ ;  $HF = 20 \pm 10 \%$ ), во время высокоинтенсивной нагрузки наблюдалась противоположная тенденция в динамике показателей ( $LF = 11 \pm 8 \%$ ;  $HF = 89 \pm 8 \%$ ). При этом выполнение нагрузки выше аэробного порога сопровождалось ростом частоты дыхания и снижением длительности среднего RR-интервала с сохранением кардиореспираторной синхронизации [14].

W.H. Cooke и соавт. (2002) наблюдали увеличение МПК и SDNN в ответ на физическую тренировку, однако установили, что физическая нагрузка по-разному модулирует симпатическую и парасимпатическую активность: кардиовагальная барорефлекторная чувствительность увеличивается, но симпатическая реакция на снижение артериального давления не изменяется [15].

В работе A.P. Pichon и соавт. (2000) показано, что высокоинтенсивная тренировочная нагрузка приводит к дрейфу вегетативного баланса в сторону превалирования симпатического воздействия над парасимпатическим [16]. Интересные данные, полученные в результате обследования низко-, средне- и высокотренированных индивидуумов без признаков перетренированности, обнародовали M.I. Buchheit и соавт. (2004). Оказалось, что средние по интенсивности тренировочные нагрузки приводят к значимому росту показателей, отражающих уровень парасимпатических влияний, в то время как показатели активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы у высокотренированных спортсменов, несмотря на более низкую ЧСС, сопоставимы с группой низкотренированных индивидуумов как во время регистрации ВСР в фазу медленного сна, так и в малоактивный утренний период [17]. Изучение ночной вегетативной модуляции после воздействия физических нагрузок продолжено в исследованиях E. Nupunen и соавт. (2010), которые выявили пролонгированное дозозависимое влияние нагрузки, проявившееся в снижении вагус-индуцированных показателей [18]. В статье В.М. Хаютина (2002)

приведены данные, объясняющие превышение в несколько раз мощности высоко- и низкочастотных спектральных компонентов у спортсменов [19]. Предполагается, что относительно низкая частота дыхания у лиц, занимающихся спортом, может приводить к значительному росту дыхательных колебаний и смещению части мощности HF в полосу низкочастотных колебаний (ниже 0,15 Гц). Поднимается вопрос возможности применения анализа ВСР в диагностике перенапряжения и перетренированности. Целый ряд симптомов, включая изменение функционирования вегетативной нервной системы, ассоциирован с синдромом перетренированности, и анализ ВСР может служить методом выявления состояния утомления в целях предупреждения перетренированности у спортсменов. Анализ ВСР у спортсменов с высокой степенью перетренированности показал снижение SDNN- и LF-компонента в сравнении с контрольной группой при исследовании непосредственно после пробуждения с отсутствием различий в указанных показателях во время ночного сна. При этом коэффициент вариации RR-интервалов от сна к пробуждению снижался более значительно в группе спортсменов в состоянии перетренированности [20]. По данным L. Mougot и соавт. (2004), синдром перетренированности у атлетов сопровождается падением мощности HF, Total и ростом показателя вагосимпатического взаимодействия [21]. Однако рядом авторов подчеркивается, что состояние кратковременной перетренированности не сопровождается изменением мощности высоко- и низкочастотных волн спектра [22]. S. Suzuki и соавт. (2008) изучили динамику HF-компонента ВСР в последовательные 7-секундные отрезки восстановительного периода у бегунов молодого и среднего возраста. У молодых спортсменов выявлены более высокие величины показателя во втором сегменте, а у лиц среднего возраста – на третьем отрезке восстановительного периода, по сравнению с периодом, предшествовавшим окончанию нагрузки [23]. V.F. Gladwell и соавт. (2010) наблюдали снижение RMSSD, lnHF, lnLF и Total в течение 5 минут восстановительного периода после выполнения нагрузки на уровне концентрации лактата в крови, равного 2 ммоль/л, и в течение 15 минут при 3 и 4 ммоль/л с восстановлением к исходному уровню показателей ВСР в течение 30 минут у молодых нетренированных лиц [24]. Одним из наиболее актуальных вопросов в спорте высших достижений является возможность прогнозирования конечного спортивного результата. В исследовании M. Buchheit и соавт., опубликованном в 2010 г.,

показана потенциальная возможность прогнозирования и оценки влияния тренировки аэробной направленности на результативность у спортсменов высокого класса путем анализа ВСР. Таким образом, актуализируются следующие направления изучения ВСР:

1. Модуляция variability сердечного ритма у спортсменов как непосредственно при выполнении нагрузок различной направленности и интенсивности, так и в восстановительном периоде с оценкой скорости протекания восстановительных процессов.

2. Влияние длительной профессиональной спортивной деятельности.

3. Поиск возможности ранней диагностики состояния переутомления, перенапряжения и перетренированности.

4. Прогнозирование спортивной результативности.

Вариабельность сердечного ритма как метод оценки и диагностики функционального состояния организма, его резервных возможностей, состояния вегетативной нервной системы и механизмов регуляции нашла широкое применение в различных областях медицины. В спортивной медицине данный метод привлекает внимание возможностью оперативной оценки функционального состояния организма спортсменов, которая может быть осуществлена за несколько минут как в стационарных условиях, так и в ситуации учебно-тренировочных сборов и соревнований.

Высокая чувствительность и специфичность метода диктуют необходимость учитывать ряд индивидуальных критериев: возрастно-половые особенности, направленность тренировочного процесса, объем и интенсивность текущих психоэмоциональных и физических нагрузок, наличие симптомов переутомления, перетренированности, перенапряжения, суточную периодичность, аппарат, использованный для анализа. Это позволит избежать ошибок в интерпретации данных в ходе динамического наблюдения за спортсменом.

Таким образом, определение ВСР сердца у спортсменов может иметь практическое значение, так как это позволит более эффективно управлять тренировочным процессом при сохранении здоровья спортсмена, а также проводить спортивный отбор, возможность прогнозирования конечного результата.

#### Литература

1. *Баевский Р.М.* Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: метод. рекомендации / Р. М. Баевский и др. // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 65–87
2. 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 // *European Heart Journal*. 1996. Vol. 17. P. 334–381.
3. *Cottin F.* Effect of heavy exercise on spectral baroreflex sensitivity, heart rate, and blood pressure variability in well-trained humans / F. Cottin, C. Medigue, Y. Papelier // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2008. Vol. 295. P. 1150–1155.
4. *Niizeki K.* Phase-dependent heartbeat modulation by muscle contractions during dynamic handgrip in humans / K. Niizeki, Y. Miyamoto // *Am J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 1999. Vol. 276. P. 1331–1338.
5. *Blain G.* Time-frequency analysis of heart rate variability reveals cardiocomotor coupling during dynamic cycling exercise in humans / G. Blain et al. // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2009. Vol. 296. P. 1651–1659.
6. *Орешников Е.В.* Variability сердечного ритма у спортсменов-гиревиков / Е.В. Орешников, В.Ф. Тихонов, Т.В. Агафонкина // *Физиология человека*. 2009. Т. 35. № 4. С. 139–141.
7. *Гаврилова Е.В.* Спортивное сердце. Стрессорная кардиомиопатия: монография / Е.А. Гаврилова. М.: Советский спорт, 2007. 200 с.
8. *Buchheit M.* Heart rate variability in sportive elderly: relationship with daily physical activity / M. Buchheit et al. // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004. Vol. 36. № 4. P. 601–605.
9. *Melanson E.L.* Resting heart rate variability in men varying in habitual physical activity / E.L. Melanson // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000. Vol. 32. № 11. P. 1894–1901.
10. *Martinelli F.S.* Heart rate variability in athletes and non-athletes at rest and during head-up tilt / F.S. Martinelli et al. // *Braz. J. Med. Biol. Res.* 2005. Vol. 38. № 4. P. 639–647.
11. *Hedelin R.* Heart rate variability in athletes: relationship with central and peripheral performance / R. Hedelin, P. Bjerle, K. Henriksson Larsén // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2001. Vol. 33. № 8. P. 1394–1398.
12. *Buchheit M.* Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load / M. Buchheit, C. Gindre // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2006. Vol. 291. P. 451–458.

13. *Pichon A.P.* Spectral analysis of heart rate variability during exercise in trained subjects / A.P. Pichon et al. // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004. Vol. 36. № 10. P. 1702–1708.
14. *Cottin F.* Heart rate variability during exercise performed below and above ventilatory threshold / F. Cottin et al. // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004. Vol. 36. № 4. P. 594–600.
15. *Cooke W.H.* Effects of exercise training on cardiovagal and sympathetic responses to Valsalva's maneuver / W.H. Cooke et al. // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2002. Vol. 34. № 6. P. 928–935.
16. *Pichot V.* Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners / V. Pichot et al. // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000. Vol. 32. № 10. P. 1729–1736.
17. *Buchheit M.* Effect of increased training load on vagal-related indexes of heart rate variability: a novel sleep approach / M. Buchheit et al. // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2004. Vol. 287. № 6. P. 2813–2818.
18. *Hynynen E.* Effects of moderate and heavy endurance exercise on nocturnal HRV / E. Hynynen et al. // *Int. J. Sports Med.* 2010. Vol. 31. № 6. P. 428–432.
19. *Хаяутин В.М.* Колебания частоты сердечбиений: спектральный анализ / В.М. Хаяутин, Е.В. Лукошкова // *Вестник аритмологии.* 2002. № 26. С. 10–21.
20. *Hynynen E.* Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes / E. Hynynen et al. // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2006. Vol. 38. № 2. P. 313–317.
21. *Mourot L.* Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincare plot analysis // L. Mourot et al. // *Clin. Physiol. Funct. Imaging.* 2004. Vol. 24. № 1. P. 10–18.
22. *Hedelin R.* Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability / R. Hedelin et al. // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000. Vol. 32. № 8. P. 1480–1484.
23. *Suzuki S.* Cardiac autonomic control immediately after exercise in female distance runners / S. Suzuki, K. Sumi, M. Matsubara // *J. Physiol. Anthropol.* 2008. Vol. 27. № 6. P. 325–332.
24. *Gladwell V.F.* Cardiac vagal activity following three intensities of exercise in humans / V.F. Gladwell, G.R. Sandercock, S.L. Birch // *Clin. Physiol. Funct. Imaging.* 2010. Vol. 30. № 1. P. 17–22.