

Белорусская медицинская академия последипломного образования¹
НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь²

В статье обсуждается проблема выбора показателя для оценки вариабельности ритма сердца у спортсменов. Предложен оригинальный «веgetативный показатель», преимуществами которого являются комплексность, относительная нечувствительность к артефактам, экстрасистолам, случайным явлениям, независимость от частоты дыхания, возможность расчета с помощью простых и широко распространенных методов анализа, удобство использования в практической работе.

Ключевые слова: вариабельность ритма сердца, веgetативный показатель

Введение

Достижение высоких спортивных результатов неразрывно связано с эффективностью управления подготовки спортсменов. При этом одним из наиболее важных принципов построения тренировочного процесса является соответствие нагрузок текущему функциональному состоянию [5, 9]. Объективными критериями оценки текущего функционального состояния и физической подготовленности спортсменов являются физиологические показатели, отражающие состояние механизмов веgetативной регуляции сердечной деятельности [3]. Хорошо сбалансированная регуляция позволяет спортсмену при наличии должного уровня мотивации максимально использовать свои функциональные возможности, обеспечивает необходимую экономизацию функций при работе на выносливость и определяет быстроту восстановительных процессов.

Нарушение веgetативной регуляции сердечно-сосудистой системы служит ранним признаком срыва адаптации организма к нагрузкам и ведет к снижению работоспособности [10]. При превалировании симпатического звена регуляции организм работает в условиях внутреннего стрессорного напряжения.

Длительное и непрерывное функционирование организма спортсмена в условиях стресса может через какое-то время привести к формированию органических нарушений, вначале обратимых, а затем малообратимых [8].

В последние годы для оценки функционального состояния спортсменов все более популярным становится анализ вариабельности ритма сердца (ВРС), являющийся простым, неинвазивным и информативным методом исследования веgetативной нервной системы [1, 7].

По мнению многих авторов ВРС является интегральным показателем функционального состояния сердечно-сосудистой системы и организма в целом [7, 11]. Низкая ВРС, регистрируемая при доминировании симпатического отдела веgetативной нервной системы, наблюдается при недостаточном восстановлении спортсменов, при тяжелых физических перегрузках, перетренированности, интоксикациях, других патологических состояниях [8].

Анализ ВРС позволяет получить ценную информацию о функциональном состоянии спортсменов и в зависимости от его уровня своевременно корректировать тренировочный процесс, что весьма важно при современных высокоинтенсивных спортивных нагрузках [3, 5, 8]. Следовательно, внедрение методов анализа ВРС в практику подготовки высококвалифицированных спортсменов, несомненно, является целесообразным и перспективным. При анализе ВРС различают длинные (холтеровское мониторирование) и короткие записи. Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки. Например, преимуществом коротких записей является возможность достижения стационарности процесса, преимуществом холтеровского мониторирования – возможность анализа ВРС за сутки. Для оценки функционального состояния спортсменов чаще используют короткие записи. В соответствии с международным стандартом [14] продолжительность короткой записи должна составлять 5 минут. В настоящее время существует большое количество методов анализа ВРС. Среди них выделяют методы временного (time domain) анализа (статистические, графические (геометрические), вариационная пульсометрия по Р.М. Баевскому); методы частотного (frequency domain) анализа (спектральный анализ, визуально-логический анализ ритмограммы); методы анализа нелинейных хаотических колебаний кардиоритма. Наиболее часто используются следующие показатели: временного анализа: RRNN, мс (среднее значение интервалов RR), SDNN (СКО), мс (среднее квадратическое отклонение величин NN-интервалов анализируемой записи), RMSSD, мс (корень квадратный из средней суммы квадратов разностей величин соседних пар NN-интервалов), pNN50, % (процент пар последовательных интервалов NN, которые различаются более, чем на 50 мс), CV, % (коэффициент вариации, рассчитывается по формуле $SDNN/RRNN \times 100\%$); показатели спектрального анализа: TP (Total Power), мс² (общая мощность в диапазоне частот $\leq 0,4$ Гц), HF (High Frequency), мс² (мощность в диапазоне высоких (0,15–0,4 Гц) частот (волны длительностью 2,5–6,5 сек)), LF (Low Frequency), мс² (мощность в диапазоне низких (0,04–0,15 Гц) частот (волны длительностью 6,5–25 сек)), VLF (Very Low Frequency), мс² (мощность в диапазоне очень низких ($\leq 0,04$ Гц) частот (волны длительностью более 25 сек)), HFnorm, % (нормализованная мощность в диапазоне высоких частот) – отражает относительный вклад HF-компонента в общую мощность за вычетом VLF-компонента, LFnorm, % (нормализованная мощность в диапазоне низких частот) – отражает относительный вклад LF-компонента в общую мощность за вычетом VLF-компонента; LF/HF; показатели кардиоинтервалографии по Р.М. Баевскому: СК, с² (среднее квадратическое отклонение динамического ряда), Мо (мода), с (наиболее часто встречающееся значение RR), АМо (амплитуда моды), % (количество кардиоинтервалов, соответствующих диапазону моды (в %)), ВР (вариационный размах), с (разница между максимальным и минимальным значениями RR), ИВР (индекс вегетативного равновесия), у.е. ($ИВР = АМо/ВР$); ПАПР (показатель адекватности процессов регуляции), у.е. ($ПАПР = АМо/Мо$); ВПР (вегетативный показатель ритма), у.е. ($ВПР = 1/Мо \times ВР$); ИН (индекс напряжения регуляторных систем), у.е.; ($ИН = АМо/2 \times ВР \times Мо$).

При анализе ВРС наиболее полную картину можно получить при использовании комплекса показателей. При этом врач анализирует полученную информацию и выносит решение о функциональном состоянии обследуемого. Однако для практической работы спортивного врача и тренера достаточно было бы иметь 1–2 наиболее информативных и удобных показателя, адекватно отражающих состояние спортсмена. Использование 1–2 показателей также позволило бы легко сравнивать состояние спортсмена при динамическом наблюдении. Это особенно важно, ведь в некоторых исследованиях было показано, что при оценке динамики ВРС нередко один показатель меняется в сторону увеличения, а другой показатель – в сторону уменьшения ВРС [6]. В такой ситуации становится неясным, на основании какого из них делать заключение об изменении состояния обследуемого.

Между тем, выбрать конкретный показатель для оценки ВРС не так просто. В настоящее время существует большое количество методов анализа и показателей ВРС, среди которых нередко тяжело сориентироваться. Эксперты рабочей группы Европейского кардиологического общества и Северо-Американской Ассоциации электрофизиологии и кардиостимуляции также не пришли к консенсусу о том, какой показатель ВРС является лучшим для клинического использования в различных ситуациях [12, 14].

Оптимальным для оценки ВРС спортсменов был бы показатель, который 1) можно легко рассчитать с помощью простых и широко распространенных методов анализа; 2) адекватно отражает текущее функциональное состояние спортсменов и его динамику; 3) мало чувствителен к случайным явлениям; 4) является комплексным, учитывающим различные составляющие ВРС.

Целью настоящей работы было выделить из существующих и/или разработать новый показатель для анализа ВРС, отвечающий вышеуказанным требованиям.

Результаты и обсуждение

При анализе функционального состояния спортсменов важное значение имеет оценка активности парасимпатического звена вегетативной нервной системы. Смещение равновесия вегетативной нервной системы в сторону влияния парасимпатического отдела обеспечивает оптимальное снабжение организма спортсмена кислородом в покое и восстановление после нагрузок, экономизацию деятельности сердечно-сосудистой системы, характеризует функциональный резерв организма для выполнения интенсивной физической нагрузки [3].

Для оценки активности парасимпатического звена вегетативной нервной системы исследователи чаще используют следующие показатели ВРС: RMSSD, pNN50, HF, HFnorm, % HF, BP [1, 2, 3, 7, 11]. При выборе показателя следует учитывать, что значения показателей ВРС сильно коррелируют между собой. Так, по нашим наблюдениям (на основании анализа 255 кардиоритмограмм), коэффициент корреляции, рассчитанный с помощью метода Спирмена, между показателями pNN50 и RMSSD составляет 0,95, pNN50 и HF – 0,9, между показателями RMSSD и HF – 0,92. Поэтому, для оценки влияния парасимпатической нервной системы логично выбрать какой-либо один из них. При анализе показателей спектральной области нами было также выявлено, что HF имел более сильные корреляционные связи (по сравнению с HFnorm и % HF) с показателями временной области ВРС и КИГ, отражающими влияние

парасимпатической нервной системы и общей ВРС. Принимая во внимание этот факт, можно говорить о том, что показатель HF является более информативным для оценки влияния парасимпатического звена нервной системы, чем HFnorm и %HF.

Между тем, необходимо учитывать, что значение HF зависит от частоты дыхания. Некоторые пациенты имеют редкое (9 и менее в мин) дыхание. В таких случаях компьютерная программа расценивает дыхательные (HF) волны как LF-компонент, увеличивается мощность LF-волн, значения %LF и LF/HF, что можно ошибочно расценить как увеличение активности симпатического отдела вегетативной нервной системы.

Следует также принимать во внимание, что на значения большинства показателей ВРС влияет, нередко значительно, наличие экстрасистол, артефактов, выпадающих комплексов, случайных явлений. Так, по нашим наблюдениям (на основании анализа 50 ритмограмм с наличием 1–2 экстрасистол или артефактов до и после ручной коррекции записи) значения показателей ВРС в некоторых случаях отличались в несколько раз. Особенно чувствительными к случайным явлениям были HF и ВР. Относительно стабильными оставались ЧСС (и, соответственно, RRNN), pNN50, Мо и Ме, изменения которых, как правило, не превышали 2%, а также АМо (которая изменялась, в среднем, не более, чем на 6%).

Таким образом, учитывая вышеописанные наблюдения, можно говорить о том, что наиболее приемлемым для оценки состояния парасимпатической активности является показатель pNN50, который высоко коррелирует с другими высокочастотными показателями временного и спектрального анализа, мало чувствителен к случайным явлениям, а также не искажается при редком дыхании.

Хотелось бы отметить перспективность для анализа ВРС показателя АМо. По нашим наблюдениям (на основании анализа 255 ритмограмм) АМо имел сильные корреляционные связи (положительные либо отрицательные) с многочисленными показателями ВРС: SDNN, RMSSD, pNN50, CV, TP, LF, HF, ВР, ИВР, ПАПР, ВПР, ИН. АМо отражает степень централизации управления ритмом сердца [2], поэтому вполне понятно, что его значения находятся в обратной зависимости от значений показателей, характеризующих общую ВРС и активность парасимпатического звена вегетативной нервной системы. АМо исследователи используют как самостоятельно, так и для расчета других показателей: ИВР, ПАПР, ИН, триангулярного индекса, TINN.

Между тем, для оценки ВРС более предпочтительным был бы комплексный показатель, зависящий от нескольких составляющих. Исследователями предлагались различные комплексные показатели. Примерами могут служить отношение LF/HF, индексы, предложенные Р.М. Баевским, показатель ПАРС [1]. Считается, что отношение LF/HF отражает установившийся баланс между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы [14]. Однако следует учитывать, что информативность показателей спектрального анализа до сих пор обсуждается [6]. К настоящему времени признается только связь мощности HF-компонента (дыхательных волн) с активностью парасимпатического звена вегетативной нервной системы [7,13,14].

Что касается LF- VLF-компонентов, то их роль до настоящего времени до конца не выяснена. Считается, что LF-волны могут быть связаны с активностью как симпатической, так и парасимпатической нервной системы, VLF-волны – с симпатической и парасимпатической активностью, ренин-ангиотензин-альдостероновой системой, концентрацией катехоламинов в плазме, системой терморегуляции, церебральными эрготропными структурами и др. [7, 13, 14]. Кроме того, как уже описывалось выше, значения показателей HF и LF зависимы от частоты дыхания и при редком дыхании (9 и менее в минуту) не могут быть адекватно оценены.

Из индексов, предложенных Р.М. Баевским, рассчитываемых на основе гистограммы распределения RR-интервалов, наиболее информативными для оценки ВРС являются ИВР и ИН. По нашим наблюдениям (на основании анализа 255 кардиоритмограмм) именно они в наибольшей степени коррелируют с другими (временными и спектральными) показателями ВРС. Между тем, они зависимы от наличия случайных явлений, поскольку учитывают вариационный размах.

Комплексно оценивает вариабельность сердечного ритма показатель ПАРС. Он не имеет аналогов в зарубежных исследованиях и вычисляется в баллах по специальному алгоритму, учитывающему ЧСС, RMSSD, ИН, TP, HF, LF, VLF и IC. Между тем значение этого показателя зависит от частоты дыхания, случайных явлений и показателей LF и VLF, информативность которых в отношении отражения активности определенных механизмов вегетативной регуляции не считается четко доказанной.

Таким образом, в настоящее время отсутствует единое мнение о том, какой показатель ВРС является лучшим для клинического использования. На значения большинства из них влияют, нередко значительно, артефакты, экстрасистолы, случайные явления, частота дыхания. Информативность некоторых показателей для отражения определенных механизмов вегетативной регуляции не считается четко доказанной. С этих позиций наиболее приемлемыми для оценки ВРС и ее динамики являются показатели рNN50 (отражающий активность парасимпатического звена вегетативной нервной системы) и АМо (характеризующий степень централизации управления ритмом сердца). Показатели рNN50 и АМо могут использоваться как самостоятельно, так и в составе предлагаемого нами комплексного «вегетативного показателя» (ВП), рассчитываемого по следующей формуле:

$$\text{ВП} = \text{рNN50}/10 + (100 - \text{АМо})/10$$

где ВП (ед.) – вегетативный показатель;

рNN50 (%) – процент пар последовательных интервалов NN, которые различаются более, чем на 50 мс. Чем выше значение рNN50, тем больше активность парасимпатической нервной системы;

АМо (%) – количество кардиоинтервалов (в %), соответствующих диапазону моды при ширине столбца диаграммы 50 мс. Чем выше значение АМо, тем больше влияние центральных механизмов регуляции сердечным ритмом. Чем больше разность (100 – АМо), тем больше общая ВРС.

ВП характеризует общую ВРС, при этом формирующуюся преимущественно за счет влияния на ритм сердечных сокращений парасимпатического звена вегетативной нервной системы. Чем выше значение ВП, тем больше общая ВРС и активность парасимпатической системы; чем меньше значение ВП, тем больше влияние центральных механизмов регуляции.

Преимуществами ВП являются комплексность (в его состав входят рNN50 и АМо); относительная нечувствительность к артефактам, экстрасистолам, выпадающим комплексам; независимость от частоты дыхания; ВП можно легко рассчитать с помощью простых и широко распространенных методов анализа; его удобно использовать как для сравнения ВРС различных людей, так и при динамическом наблюдении. Принимая во внимание то, что значения рNN50 и АМо могут быть от 0 до 100%, значение ВП может варьировать от 0 до 20 ед., что удобно для практической работы с данными.

Говоря о нормальных значениях ВП, как, впрочем, и других показателей ВРС, следует иметь в виду, что индивидуальный оптимум организма не всегда совпадает со среднестатистической нормой [1], поэтому всегда лучше ориентироваться на оценку ВП в динамике. Тем не менее, на основании анализа 255 кардиоритмограмм и сопоставления значений ВП типичных кардиоритмограмм с общепринятой интерпретацией ВРС [1, 4, 7], мы предлагаем следующие ориентиры (таблица 1).

Таблица 1. Интерпретация значений вегетативного показателя

ВП	Интерпретация
↓ 2	Текущее функциональное состояние значительно снижено: значительно уменьшена активность парасимпатического звена вегетативной нервной системы, централизация управления ритмом сердца
2 – 5,9	Текущее функциональное состояние снижено: наблюдается уменьшение активности парасимпатического звена вегетативной нервной системы
6 – 10,9	Текущее функциональное состояние удовлетворительное: влияние парасимпатической нервной системы уравновешивается другими механизмами управления ритмом сердца
11 – 15,9	Текущее функциональное состояние хорошее: умеренное преобладание парасимпатической нервной системы в управлении ритмом сердца
16 и ↑	Текущее функциональное состояние хорошее: выраженное преобладание парасимпатической нервной системы в управлении ритмом сердца

Заключение

Таким образом, на основании изучения современной научной литературы, результатов собственных наблюдений, проведенного анализа корреляционных связей показателей ВРС, изменений значений показателей ВРС при наличии случайных явлений предложен оригинальный показатель для оценки ВРС («вегетативный показатель»).

Преимуществами ВП являются комплексность (в его состав входят показатель рNN50, отражающий активность парасимпатического звена вегетативной нервной системы и АМо, характеризующая степень централизации управления ритмом сердца); относительная нечувствительность к артефактам, экстрасистолам, выпадающим комплексам; независимость от частоты дыхания; ВП можно легко рассчитать с помощью простых и широко распространенных методов анализа; его удобно использовать как для сравнения ВРС различных людей, так и при динамическом наблюдении. Значение ВП может варьировать от 0 до 20 ед., что удобно для практической работы с данными. Предложенный показатель достаточно легко может быть внесен в программное обеспечение медицинской техники отечественного производства, предназначенной для анализа ВРС.

Литература

1. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: метод. рекомендации / Р. М. Баевский [и др.]. М., 2002. 53 с.
2. Баевский, Р. М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. М.: Медицина, 1997. 265 с.
3. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение // Тез. докл. IV всерос. симп. / отв. ред. Н. И. Шлык, Р. М. Баевский. УдГУ. Ижевск, 2008. 344 с.
4. Вегетативные расстройства: клиника, диагностика, лечение / под ред. А. М. Вейна. М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2003. 752 с.
5. Граевская, Н. Д. Спортивная медицина: курс лекций и практические занятия: учеб. пособие / Н. Д. Граевская, Т. И. Долматова. М.: Советский спорт, 2004. 304 с.
6. Макаров, Л. М. Холтеровское мониторирование / Л. М. Макаров. М.: Медпрактика-М, 2008. 456 с.
7. Михайлов, В. М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода / В. М. Михайлов. Иваново, 2002. 290 с.
8. Оржоникидзе, З. Г. Физиология футбола / З. Г. Оржоникидзе, В. И. Павлов. М.: Человек, 2008. 240 с.
9. Платонов, В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В. Н. Платонов. К.: Олимпийская литература, 2004. 808 с.
10. Приходько, В. И. Особенности функционального состояния сердечно-сосудистой системы юных пловцов, достигших высоких спортивных результатов / В. И. Приходько, Л. М. Беляева // Теория и практика физ. культуры. 1996. № 9. С. 2–5.
11. Рябыкина, Г. В. Вариабельность ритма сердца / Г. В. Рябыкина, А. В. Соболев. М.: Оверлей, 2001. 200 с.
12. Sudden cardiac death: role of heart rate variability to identify patients at risk / F. Lombardi [et al.] // Cardiovascular Research. 2001. Vol. 50. P. 210–217.

13. Sztajzel, J. Heart rate variability: a noninvasive electrocardiographic method to measure the autonomic nervous system / J. Sztajzel. *Swiss Med Wkly*. 2004. Vol. 134. P. 514–522.
14. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standards of Measurement. Physiological interpretation and clinical use // *Circulation*. 1996. V. 93. P. 1043–1065