



## Диагностические и прогностические возможности анализа variability сердечного ритма

Система кровообращения с ее многоуровневой регуляцией представляет собой функциональную систему, конечным результатом деятельности которой является обеспечение заданного уровня функционирования целостного организма. Благодаря совершенной регуляции всех функциональных звеньев этой системы осуществляется широкий диапазон приспособительных реакций к изменяющимся условиям внешней среды [1].

Частота пульса относится к числу важнейших показателей функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Известно, что в древности врачи могли различать сотни разновидностей пульса и даже ставили диагноз, на основе анализа его свойств. Исходя из данной концепции следует предположить, что анализ изменений сердечного ритма является тем необременительным и доступным методом, который может быть широко использован в медицинской и школьной практике для оценки уровня напряжения регуляторных механизмов и прогноза степени адаптации школьников к «школьному стрессу» [2].

Многочисленными исследованиями показано, что, в настоящее время одним из наиболее информативных методов, позволяющих оценить тонус автономной нервной системы является анализ variability R-R интервалов электрокардиограммы. Постоянное изменение тонуса симпатического и парасимпатического отделов автономной нервной системы приводит к незначительным колебаниям синусового ритма от его среднего значения. Отклонение длительности R-R интервалов от среднего значения, определенного за период от 2 минут до 24 часов, называют variability сердечного ритма (BCP). Оценка BCP позволяет количественно охарактеризовать активность симпатической и парасимпатической нервной системы через их влияние на функцию синусового узла [3].

Методика математического анализа сердечного ритма заключается в измерении продолжительностей динамического ряда кардиоинтервалов и обработке полученного цифрового массива с помощью различных математико-статистических методов. При этом, как правило, используются два основных метода оценки BCP – временной и частотный анализы. К основным параметрам временного анализа относятся: средняя продолжительность интервала R-R (мс), стандартное отклонение интервала R-R (SDNN, мс), стандартное отклонение средних значений R-R интервалов за все 5-минутные фрагменты (SDANN, мс), процент последовательных интервалов, различающихся более чем на 50 мс. (pNN50), корень квадратный из средней суммы квадратов разниц между нормальными соседними R-R интервалами (r-MSSD). Вышеприведенные показатели предложены к использованию Европейским кардиологиче-

ским обществом и Североамериканским обществом стимуляции и электрофизиологии и имеют следующую физиологическую трактовку: SDNN отражает общий тонус вегетативной нервной системы, рNN50 и r-MSSD – тонус парасимпатического отдела, SDANN – тонус симпатического отдела. В русской литературе традиционно используются другие временные показатели сердечного ритма, которые были предложены академиком В.В. Париным и Р.М. Баевским. Исходя из двухконтурной системы управления сердечным ритмом [2] ими было предложено рассчитывать среднее значение R-R интервалов, вариационный размах ( $\Delta X$ ), моду ( $M_0$ ), амплитуду моды ( $A M_0$ ), асимметрию (AS) и эксцесс (Ex). При этом  $\Delta X$  отражает деятельность автономной регуляции ритма сердца, связанной с дыхательными колебаниями,  $A M_0$  – степень влияния центрального контура регуляции по нервным путям, а  $M_0$  – по гуморальным путям. Предложено также несколько интегральных показателей отражающих степень напряжения регуляторных механизмов, наиболее удобным и объективным является индекс напряжения [4-6].

Спектральный анализ ВСП более объективно и полно описывает колебательные процессы, формирующие неравномерность R-R интервалов. Существует несколько математических алгоритмов, позволяющих адекватно провести анализ массивов данных [7,8]. Спектральный анализ позволяет выявить и оценить следующие показатели спектральной мощности:

– высокочастотный (High Frequency, HF) с диапазоном частот 0,15-0,50 Гц. Данный показатель характеризует состояние парасимпатической нервной системы и обусловлен дыхательной синусовой аритмией.

– низкочастотный (Low Frequency, LF) с диапазоном частот 0,05-0,15 Гц. Этот показатель, в целом может характеризовать влияние как симпатического, так и парасимпатического отделов автономной нервной системы. Мощность LF компонента может выступать в качестве показателя активности симпатического отдела автономной нервной системы. Баланс активности симпатической и парасимпатической нервной системы и их влияние на ВСП отражает индекс LF/HF .

– очень низкочастотный (Very Low Frequency, VLF) – 0,003-0,05 Гц. Физиологическое значение и его интерпретация пока не определена. Предполагают, что этот частотный спектр может отражать активность таких нейрогуморальных систем, как ренин-ангиотензин-альдостероновую, концентрацию адреналина и норадреналина, а также систем терморегуляции [9].

Pomeganz В. и соавторы [10] предполагают, что полученные данные спектрального анализа ВСП отражают не столько активность различных отделов автономной нервной системы, сколько изменения их модулирующих воздействий на синусовый узел в ответ на воздействие регуляторных механизмов.

Приведенные выше физиологические трактовки показателей спектрального анализа ВСП и рекомендации евро-американских стандартов не всегда могут быть приняты однозначно. Так, группа специалистов Кубанской государственной медицинской академии [11] считает, что широкое использование данных стандартов не привело к ожидаемому прогрессу в установлении диагностической ценности ВСП. Авторы, основываясь на современных представлениях о механизмах регуляции сердечного ритма и строгом соблюдении правил вариационной статистики, предлагают использовать 9 показателей, для правильной и объективной оценки ВСП. При этом особое внимание, по мнению авторов, должно быть уделено стандартизации условий оценки ВСП и определению уровня испытываемого стресса.

Сегодня нет сомнения в том, что анализ variability сердечного ритма является высокоинформативным необременительным методом, позволяющим объективно оценивать состояние автономной нервной системы, напря-

жение регуляторных механизмов и уровень стресса у здоровых людей, а также позволяет прогнозировать возникновение грозных сердечно-сосудистых катастроф у больных различными заболеваниями.

На ВСР оказывает влияние большое количество факторов: возраст, профессия, конституционные особенности, положение тела, время суток, дыхание, курение и др. С возрастом уменьшается ВСР, подобное происходит и у курильщиков. У детей и спортсменов отмечена противоположенная тенденция. Существенно изменяются спектральные компоненты при умеренной физической нагрузке, после приема пищи. Мощност LF компонента имеет значимую отрицательную корреляционную связь с частотой дыхания, а мощность HF компонента имеет прямую корреляционную связь с дыхательным объемом [12].

В последние годы отмечен необычайно высокий интерес к методам оценки ВСР в медицине и педагогике. Е.П. Мазыгула и соавторы [13] исследовали спектральные показатели ВСР у здоровых лиц и больных с различными аритмиями и установили, что больные с постинфарктным кардиосклерозом обнаруживают существенное снижение всех спектральных показателей ВСР, что в наибольшей степени проявляется в высокочастотной полосе спектра.

Р. Рониковски и соавторы [14], обследовав 102 пациента с хронической сердечной недостаточностью, установили целый ряд специфических изменений показателей ВСР, позволяющих сделать вывод, что сниженная ВСР является независимым прогностическим фактором смертности и осложнений у больных хронической сердечной недостаточностью.

Интересные исследования проведены в Кемеровской государственной медицинской академии [15]. У 49 больных острым инфарктом миокарда изучена ВСР до проведения, во время проведения и после проведения тромболизиса. Показано, что наиболее чувствительным показателем из анализируемых при оценке ВСР, имеющих как клиническое, так и прогностическое значение в отношении развития злокачественных аритмий, является SDNN, который характеризует ВСР в целом, и зависит от воздействия как симпатического, так и парасимпатического отделов автономной нервной системы.

Большое количество исследований посвящено изучению ВСР у больных артериальными гипертензиями [16]. Группа американских исследователей приводит результаты исследования 2103 больных АГ, в котором установлено, что существует достоверная взаимосвязь возникновения АГ с исходным уровнем LF у мужчин, в то время как у женщин подобной закономерности не обнаружено. Кроме того, у лиц с нормальным АД снижение ВСР было прямо пропорционально риску развития АГ.

Многочисленные исследования проведены у школьников. Учитывая относительную простоту, необременительность исследования и высокую информативность, метод оценки ВСР находит широкое применение и в школьной практике для диагностики и степени адаптации к «школьному стрессу». Естественно, что оценка выраженности эмоционального стресса у школьников требует оценки и учета в планировании и оптимизации учебных занятий. Проведенные специальные исследования [12] в группе из 12 школьников в возрасте 15-17 лет показали, что по данным корреляционных связей сердечного ритма и дыхания они могут быть разделены на две подгруппы. При этом, у школьников первой группы отличная учеба сопровождалась высокими значениями коэффициента корреляции между сердечным ритмом и дыханием. Во второй группе, где успеваемость была низкой, выявлена отрицательная корреляция сердечного ритма и дыхания. Учащиеся этой группы часто жаловались на утомляемость, головную боль и апатию.

Приведенные данные говорят о том, что индивидуальный анализ напряженности эмоционального стресса, оцененного по данным анализа сердечного ритма и дыхания, позволяет выявить группы школьников наиболее подверженных стрессорным нагрузкам.

А.А. Псеунок [17], используя метод вариационной пульсометрии, установила достоверную разницу в адаптации детей, начавших обучение с шестилетнего возраста. Базируясь на значениях индекса напряжения, автор выделил три типа вегетативной регуляции: ваготонический, нормотонический, симпатико- и гиперсимпатикотонический. Сделан вывод, что регуляция синусового ритма у детей, обучающихся с шестилетнего возраста осуществляется с высокой активностью симпато-адреналовой системы и центральных механизмов.

В работе В.В. Аксенова и соавторов [18] исследовалась зависимость успеваемости школьников от состояния регуляции сердечного ритма. При этом отмечено, что средняя частота спектра ВСР является достоверным индикатором доминирующей регуляции. Показано, что при снижении успеваемости у школьников тонус парасимпатического отдела существенно увеличивается, что может быть объяснено неадекватно высокими умственными нагрузками. Перспективными можно считать исследования ВСР у детей 3-7 лет [19] с целью оценки уровня физиологической зрелости систем организма ребенка. Полученные данные, с использованием общепринятых временных и спектральных показателей не выявили достоверных изменений детей 5- и 7-летнего возраста. Но, у детей более раннего возраста достоверно более низким оказался коэффициент гармонизации низких и высоких частот спектра. Это может свидетельствовать о большей доле случайных составляющих в ритме сердца.

Детальное изучение реакции сердечно-сосудистой системы на школьную нагрузку у детей 6-7-летнего возраста под влиянием различных форм организации обучения провела Лосева О.А. [20]. Используя методику анализа ВСР и дыхательных колебаний, установлено, что 6-летний возраст является существенно значимым этапом в формировании нервной регуляции сердца. Адаптационные изменения в этот период характеризуются снижением парасимпатических влияний, особенно у мальчиков, что затрудняет их приспособление к изменившимся условиям жизни. Снижение парасимпатических влияний на хронотропную функцию сердца мальчиков и девочек – одна из причин более напряженного протекания адаптации у детей 6-летнего возраста к систематическому обучению и условиям его организации. Наиболее напряженные изменения сердечно-сосудистой системы наблюдаются у учащихся подготовительного класса, в начале учебного года. У воспитанников подготовительной группы детского сада и семилетних первоклассников эти изменения более благоприятны. К концу учебного года различия в ВСР на нагрузку у детей всех трех сравниваемых групп отсутствовали. Это свидетельствует о том, что перестройка процессов адаптации детей 6-летнего возраста завершается к концу первого года обучения.

Оценке уровня стресса школьников посвящено несколько исследований. Так, в работе [21] показана высокая информативность показателей, отражающих динамический баланс переходного процесса сердечного ритма как реакции на эмоциональный стресс у школьников. Отмечено, что высокая успеваемость сочетается с высокими показателями реактивности, а это, в свою очередь указывает на более высокий функциональный ресурс и адаптивность.

Л.Я. Доцоев [22] провел исследования состояния адаптации учащихся девятых-выпускных классов в конце учебного года. При анализе ВСР им использованы как общепринятые амплитудно-временные и спектральные показате-

ли, так и некоторые нетрадиционные, такие, как коэффициент гармонизации спектральной плотности мощности, показатели дыхательной аритмии. Им установлено, что учащиеся класса с достоверно более низким уровнем знаний имели ритм сердца более частый и ригидный, меньшую гармоничность дыхательной аритмии.

Исследованию функционального состояния школьников начальных классов инновационных школ с различными мотивационными и социометрическими характеристиками посвящена работа группы авторов [23]. Ритм сердца регистрировался в покое, во время умственной нагрузки и в восстановительном периоде. Авторами показана важная диагностическая роль не только традиционных показателей анализа ВСР, но и информативность таких показателей, как спектр плоскости комплексных частот, мощность переходного процесса, коэффициент периодичности максимальной гармоника, коэффициент нестационарности максимальной гармоника и другие.

Таким образом, последние годы ознаменовались бурным развитием и внедрением анализа ВСР в различные области медицины и педагогики. Простота исследования, воспроизводимость и высокая информативность в сочетании с неинвазивностью и необременительностью делают этот метод незаменимым в исследовании функционального состояния симпатического и парасимпатического отделов автономной нервной системы. Оценка напряжения адаптационных механизмов функциональных систем организма, определение уровня и степени дезадаптации и возможность прогнозирования развития дистресса – вот неполный перечень возможностей данного метода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Анохин П.К.** Теория функциональной системы // Успехи физиологических наук, 1970. Т. 1, № 1. С. 19-54.
2. **Баевский Р.М.** Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М., 1979. – 298 с.
3. **Рябыкина Г.В., Соболев А.В.** Вариабельность ритма сердца. М., 1998. – 118 с.
4. **Рекомендации: Вариабельность Сердечного Ритма** (Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования) // Вестник аритмологии, 1999. Вып. 11. С. 53-77.
5. **Михайлов В.М.** Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода. Иваново, 2000. – 200 с.
6. **Akselrod S.** Components of heart rate variability. Basis studies. In Heart Rate Variability. Eds M.Malik, A.J. Camm.-Armonk. N.-Y. Futura Pablishty. Comp.Inc., 1995. S.147-163.
7. **Sayers B.M.** Analysis of heart rate variability. Ergonomics., 1973. 16. S. 17-32.
8. **Хаятун В.М., Лукашова Е.В.** Спектральный анализ колебаний ЧСС – известное, спорное, неизвестное // Инженеринг в медицине (1-й Всерос. симп.). Миасс, 2000. С. 71-90.
9. **Руткай-Недецкий И.** Проблемы электрокардиологической оценки влияния вегетативной нервной системы на сердце // Вестник аритмологии, 2001. С. 56-60.
10. **Pomeranz B., Mackaulay RJB, Caudill MA et.al.:** Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. Am J Physiol. 1985; 248: H151- H 153.
11. **Шейх-Заде Ю.Р., Скибицкий В.В., Катханов А.М. и др.** Альтернативный подход к оценке вариабельности сердечного ритма // Вестник аритмологии, 2001. Вып. 22. С. 49-55.
12. **Судаков К.В.** Индивидуальная устойчивость к эмоциональному стрессу. М., 1998.– 162 с.
13. **Мазыгула Е.П., Лукошкова Е.В., Голицын С.П.** Спектральные показатели вариабельности ритма сердца у здоровых лиц и больных с различными проявлениями желудочковой эктопической активности // Практикующий врач, 2001, № 20. С. 2-4.

14. **Ponikovski P., Anker S.D., Chua T.P., et al.** Depressed heart rate variability is an independent predictor of death in patients with chronic heart failure // *Eur. Heart J.*, 1997; 18: 577.
15. **Барбараш О.Л., Сорокина М.В., Гуляева Е.Н. и др.** Динамика вариабельности ритма сердца в процессе тромболизиса у больных с острым инфарктом миокарда // *Вестник аритмологии*, 2001. Вып. 22. С. 41-43.
16. **Остроумова О.Д., Мамеев В.И., Нестерова М.В. и др.** Спектральный анализ колебаний частоты сердечных сокращений у больных эссенциальной артериальной гипертензией // *Российский кардиологический журнал.*, 2000, № 6. С. 60-64.
17. **Псеунок А.А.** Регуляция сердечного ритма шестилеток. В кн. *Возрастные особенности физиологических систем детей и подростков*. М., 1990. С. 229.
18. **Аксенов В.В., Усынин А.М., Рагозин А.Н., Шерстнева Е.Г.** Ритм сердца у школьников // Сб. трудов итоговой научной конференции ЧГМА, Челябинск, 2000.
19. **Доцове Л.Я.** Возрастные особенности вариабельности сердечного ритма у детей дошкольного возраста // Сб. научных трудов симпозиума «Колебательные процессы гемодинамики». Миасс, 2000. С. 87.
20. **Обучение детей 6-летнего возраста в детском саду и школе: опыт физиологического и гигиенического исследования** / Под ред. **О.А. Лосевой** М., 1987. – 160 с.
21. **Рагозин А.Н.** Информативность спектральных показателей вариабельности сердечного ритма // *Вестник аритмологии*, 2001. Вып. 22. С. 37-40.
22. **Доцове Л.Я.** Функциональное состояние учащихся девярых классов с различным уровнем образованности // Сб. научных трудов симпозиума «Колебательные процессы гемодинамики». Миасс, 2000. С. 76-80.
23. **Аксенов В.В., Кодкин В.Л., Морозова Ю.В. и др.** Вариабельность сердечного ритма учащихся гимназии с различными мотивационными и социометрическими характеристиками // Сб. научных трудов симпозиума «Колебательные процессы гемодинамики. Пульсация и флюктуация сердечно-сосудистой системы. Миасс, 2000.

#### S U M M A R Y

*Variability heart rate, being reflection of influence of a complex of mechanisms regulation heart activity, can be for an adequate method of evolution of a degree of adaptation of children to school stress. The correct physiological interpretation of received results allows using it for personalizing school learning.*

*Поступила в редакцию 29.01.2002*

УДК 371.7 : 37.018.523 (476.5)

**С.Г. Василенко**

## Оценка психофизиологических показателей первоклассников городской и сельской местности

Комплексная оценка состояния здоровья детей и подростков [1-5] наряду с определением соответствия процессов роста и развития биологическим законам и социальным потребностям общества, степени сопротивляемости организма неблагоприятным воздействиям предусматривает исследование психофизиологической готовности организма на каждом возрастном этапе развития [5-8]. При этом следует исходить из того, что психофизиологические показатели могут изменяться при всех отклонениях равновесия организма со сре-