

агрессивности, недостаток эмоциональной лабильности служили причиной внутриличностного конфликта у 4 из 5 обследованных. На втором месте в ряду причин ВЛК стоял избыток ригидности и избыток сенситивности у каждого 2-го ребенка. Выделить ведущие причины ВЛК у допризывников с максимально выраженным СБС было сложно. Отметим лишь тенденцию к росту удельного веса конфликтов, связанных с избытком/недостатком экспансивных качеств по сравнению с конструктивными.

Таблица

Сравнительная характеристика причин ВЛК у подростков-допризывников в зависимости от СБС (абс., %)

	Подростки с СБС (n=180)		Контроль (n=410)		Достоверность различий
	абс.	%	абс.	%	
ВЛК связан с избытком в актуальном «Я» следующих черт характера:					
– экстравертированности	-	-	-	-	
– спонтанности	50	27,78	68	16,59	p<0,01
– агрессивности	88	48,89	-	-	
– ригидности	82	45,56	65	15,85	p<0,01
– интровертированности	26	14,44	137	33,41	p<0,01
– сенситивности	54	30	139	33,90	
– тревожности	17	9,44	68	16,59	p<0,01
– эмоциональной лабильности	28	15,56	-	-	
ВЛК связан с недостатком в актуальном «Я» следующих черт характера:					
– экстравертированности	98	54,44	128	31,22	p<0,01
– спонтанности	57	31,67	137	33,41	
– агрессивности	15	8,33	65	15,85	p<0,01
– ригидности	9	5	-	-	
– интровертированности	23	12,78	68	16,59	
– сенситивности	27	15	-	-	
– тревожности	58	32,22	137	33,41	
– эмоциональной лабильности	92	51,11	139	33,90	p<0,01
Отсутствие ВЛК	1	0,56	68	16,59	p<0,01

Выявлены сильные корреляционные связи между ВЛК, связанными с избытком агрессивности, эмоциональной лабильности, недостатком сенситивности в актуальном «Я» и формированием СБС – коэффициент корреляции равен 0,32–0,58 усл.ед. Развитие минимальной выраженности СБС связано с избытком агрессивности, эмоциональной лабильности, недостатком сенситивности и ригидности в актуальном «Я» ($k > 0,33$ усл.ед.). Сила корреляционных связей между ВЛК и умеренной степенью СБС по большинству октант была в пределах 0,2–0,33 усл.ед. Почти все варианты ВЛК вели к формированию максимально выраженного вегетативного дисбаланса, наибольшая сила корреляционных связей отмечена в отношении избытка агрессивности, интровертированности, недостатка экстравертированности и эмоциональной лабильности ($k = 0,74–0,82$ усл.ед.).

Для допризывников с СБС функционального генеза характерно наличие ВЛК. Ведущими причинами ВЛК является преобладание экспансивных черт характера. Нарастание степени выраженности СБС сопровождается усилением интенсивности ВЛК. Такие подростки требуют внимания медработников и педагогов-психологов образовательных учреждений. Введение занятий с психологом, направленных на осознание подростком внутренних причин своего поведения, сильных и слабых сторон своего характера позволит снизить распространенность СБС функционального генеза, что уменьшит долю допризывников, нуждающихся в дополнительном функциональном обследовании в ходе медицинского освидетельствования на призывной комиссии.

Литература

1. Алексеева Ю. А. Клинико-функциональные и метаболические критерии формирования и прогнозирования уровня здоровья

детей и подростков: Дис. ... д. м. н. – Иваново, 2003. – 289 с.

2. Антропов А. Ф. Психосоматические расстройства у детей и подростков – М., 1997. – 198 с.

3. Баранов А. А. / Рос. педиатр. ж. – 1998. – № 1. – С. 5–8.

4. Вейн А. М. Вегетативные расстройства. Клиника, диагностика, лечение. – М., 2002. – 240 с.

5. Дербенев Д. П. Психическое здоровье и социальная адаптация подростков в условиях социально-экономического кризиса: Автореф. дис. ... д.м.н. – М., 1998. – 45 с.

6. Жуков С. В. Социально-психологические детерминанты формирования и прогрессирования синдрома вегетативной дистонии у детей 12–14 лет: Автореф. дис. ... к. м. н. – Смоленск, 2004. – 18 с.

7. Жуков С. В. // Тез. Всерос. конгр. Кардиология 2002. – М., 2002. – С. 190–191.

8. Кушнир С. М. и др. Микросоциальные и психологические детерминанты формирования синдрома вегетативной дистонии в подростковом возрасте. – Тверь: Герс, 2004. – 96 с.

9. Медведев В. П. и др. // Педиатрия. – 1987. – №2. – С. 31–34.

10. Собчик Л. Н. Диагностика межличностных отношений. – М., 1990. – 40 с.

УДК 616. 12-073. 97

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИМВОЛЬНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА НАРУШЕНИЙ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ НОЦИЦЕПТИВНОЙ СТИМУЛЯЦИИ

Ю.Б. АБРАМОВ, А.Ю. КОЗЛОВ, Л.В. МЕЗЕНЦЕВА*

Введение. Стрессорные нагрузки изменяют показатели степени регулярности сердечного ритма [1–2]. Для количественной оценки этих изменений применяют математические методы анализа вариабельности ритма сердца [1, 7]. Но эти методы не применимы для анализа коротких временных диапазонов, содержащих информацию о переходных процессах, идущих в сердечно-сосудистой системе под влиянием нагрузок. Поэтому математический аппарат для анализа ЭКГ-сигнала постоянно совершенствуется. К числу новых относятся подходы, базирующиеся на теории детерминированного хаоса и метод символической динамики, являющийся развитием теории хаоса [5–6, 8–10]. Наши исследования показали эффективность методов хаос-анализа при экспериментальном изучении нарушений сердечного ритма, вызванных эмоциональным стрессом у крыс [2–4] и кроликов. Эмоциональный стресс вносит десинхронизацию в электрическую активность сердца. Развитием этих исследований является выявление специфических особенностей вегетативных реакций, сопровождающих стрессорные нагрузки и поиск адекватных математических методов, выявляющих специфические особенности этих реакций.

Цель работы – изучение влияния на сердечную деятельность термального болевого стресса и применение этой модели для оценки эффективности и степени адекватности разных методов математического анализа сердечного ритма.

Методика. Опыты проводили на 15 крысах-самках линии Вистар массой 200–250 г. Животных размещали в боксах, максимально ограничивающих их подвижность, и позволяющих фиксировать их в горизонтальном положении с выведенным наружу хвостом. Анализировали перцептуальный компонент ноцицептивной реакции методом «тейл-флик» с регистрацией латентного периода отведения хвоста на термальное раздражение (TF) с помощью специализированного прибора «Tail Flick» model – DS20 фирмы «Ugo Basile» [Italy]. Вегетативный компонент оценивали с помощью методики регистрации электрической активности сердца (ЭКГ во II стандартном отведении) неинвазивным методом и компьютерным анализом кардиоритма. Все показатели измерялись у животных после помещения в боксы через 30 мин. после адаптации (фон), во время ноцицептивных воздействий и сразу после их прекращения

* ГУ НИИ нормальной физиологии им. П.К.Анохина РАМН 125009, Москва, Моховая 11, кор.4

(последствие). Матанализ вели с применением программного обеспечения ECGDIG Medical software. Использовали фрагменты ЭКГ-сигнала, насчитывающие 100 RR-интервалов. При коротких переходных процессах длительность фрагментов составляла 20–50 кардиоциклов. Математическая обработка данных включала в себя 3 вида анализа:

- стандартная статистическая обработка вариационного ряда RR-интервалов (BPC-анализ). Рассчитывались следующие показатели: МО – мода вариационного ряда; АМО – амплитуда моды вариационного ряда; вариационный размах (BP); среднее значение RR-интервалов (М); стандартное отклонение (SD); индекс напряжения $ИН = АМО / 2BP \times МО$;

- анализ с помощью методов теории хаос-анализа: построение траектории аттрактора и расчет энтропии хаотической системы. Для оценки свойств аттрактора использовался геометрический метод построения хаос-грамм, позволяющий геометрически проследить хаотическую динамику и внутреннюю структуру хаоса [4];

- анализ с помощью метода символьной динамики (СД-метод). Изложение метода представлено в монографии Бай-Линь-Хао и Вей-Мо-Ченга [5]. Суть метода заключается в кодировке реальных данных определенным набором символов. Анализируемые временные ряды кодируются. Например: реальное значение каждого элемента ряда сравнивается с его средним значением за последние N импульсов. Если интервал превышает $x + \delta$, то он кодируется как «2», при значениях, меньших, чем $x - \delta$, ему присваивается код «0»; при больших, чем $x - \delta$ и меньших, чем $x + \delta$, – ему присваивается код «1». Показатель δ – параметр толерантности. Получаются символьные слова, заменяющие реальные значения анализируемых временных рядов. При анализе «m» временных процессов получаются символьные слова длиной «m». Параметр толерантности δ и объем выборки N выбираются исходя из специфики исследуемых процессов. Здесь положили $m=2$, и значение параметра толерантности – 20 мс. Нами были проведены предварительные тестовые оценки эффективности значений параметра толерантности и найдено его оптимальное значение, равное 20 мс. Объем выборки определялся длительностью реакции TF и составлял 20–40 кардиоциклов. В результате такой кодировки исходная последовательность RR-интервалов преобразовывалась в последовательность символьных слов $\{RR[i], RR[i+1]\}$. Каждый символ характеризовался своим значением вероятности появления. Результаты представлялись в форме функций плотности вероятности значений символьных слов. Далее были построены гистограммы распределения плотностей вероятностей этих символов. Символьную кардиодинамику можно проследить с помощью анализа временного ряда последовательных значений символьных кодов.

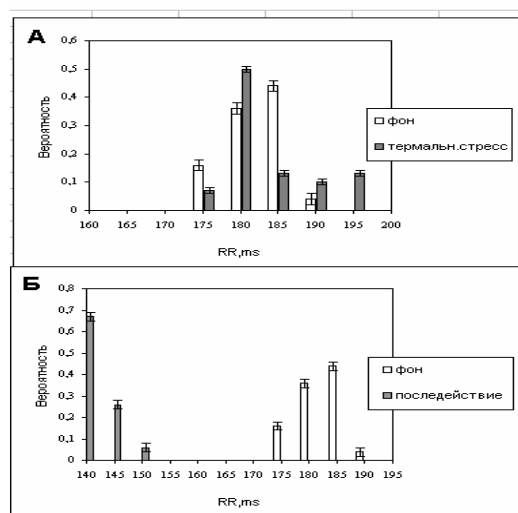


Рис. 1. Влияние ноцицептивной стимуляции на BPC. А – исходная гистограмма RR-интервалов (фон) и при термальной болевой нагрузке. Б – исходная гистограмма RR-интервалов (фон) и после прекращения тер-

мального болевого раздражения (последствие). Ось абсцисс – RR-интервал (мс), ось ординат – вероятность данного значения RR-интервала

Результаты. На рис.1 показаны типичные исходные гистограммы распределения RR-интервалов в условиях термальной стрессорной нагрузки (рис.1А) и после ее прекращения (последствие, рис.1Б). Во время термального болевого стресса распределение RR-интервалов сдвигается в сторону их роста. Отмечена тенденция роста среднего RR-интервала с 178,4 мс до 184,3 мс. Достоверные изменения BPC-параметров в сторону преобладания коротких интервалов отмечались в последствии. Средний RR-интервал уменьшается с 184,3 мс, наблюдаемому во время ноцицептивной стимуляции, до 144,9 мс. Показатель вариабельности – среднее квадратичное отклонение снижается с 9,2 мс во время ноцицептивной стимуляции до 3,2 мс в последствии. ИН при этом возрастает, что говорит об активации симпатического звена регуляции сердечного ритма. Во время ноцицептивной стимуляции идет появление длинных RR-интервалов и увеличение вариабельности (SD) с 4,6 мс до 9,2 мс. Данные рис. 1, характеризующие болевую реакцию, типичны для всех экспериментов. Результат усреднения дает представление о количественных значениях показателей сердечного ритма, но не раскрывает особенностей его динамики. Для анализа специфических особенностей нелинейной динамики сердечного ритма в условиях ноцицептивной стимуляции использовали методы хаос-анализа.

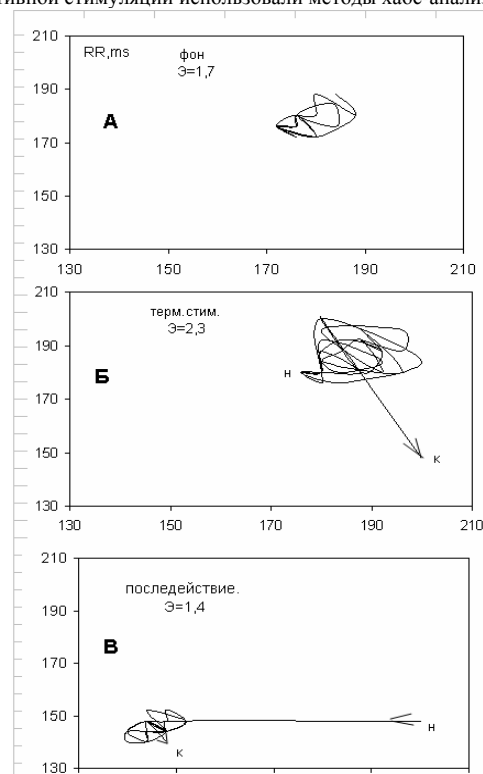


Рис.2. Влияние ноцицептивной стимуляции на хаотическую динамику RR-интервалов. А – исходная хаос-грамма. Энтропия (Э) равна 1,7. Б – хаос-грамма при термальной болевой нагрузке. Э=2,3. Точка «н» – начало термальной стимуляции, точка «к» – конец стимуляции. В – хаос-грамма после прекращения термального болевого раздражения (последствие). Э=1,4. Точка «н» – начальная, точка «к» – конечная. Ось абсцисс – предыдущий RR-интервал (мс), ось ординат – последующий RR-интервал

На рис.2 – геометрические фигуры, изображающие динамику RR-интервалов в контроле (рис.2А), во время ноцицептивной стимуляции (рис.2Б) и в последствии (рис.2В). Из рис. 2 видно, что исходно траектории сосредоточены в правом верхнем углу фазовой плоскости. Во время ноцицептивной стимуляции, при той же локализации траекторий, площадь поверхности, в которой концентрируются траектории, увеличена по сравнению с контролем, что отражает рост вариабельности сердечного ритма. Момент прекращения стимуляции имеет характерный «хвост» в сторону удлинения RR-интервала. Это – «особая точка», когда крыса испытывает максимальную боль и отдергивает хвост. Точка к на рис.2Б совпадает с точкой н на рис.2В, на котором изображено последствие. Из рис. 2В, можно видеть, что гео-

метрическая фигура, показывающая хаотическую динамику в последствии, «сжимается» и перемещается в левый нижний угол фазовой плоскости. Это отражает реакцию роста частоты сердечных сокращений после действия стрессорных нагрузок.

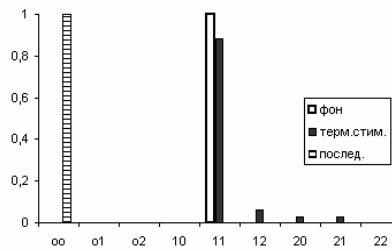


Рис. 3. Влияние ноцицептивной стимуляции на символьные гистограммы RR-интервалов. Ось абсцисс – кодовые значения символьных слов, ось ординат – вероятности данных значений символьных слов

На рис.3 показаны символьные гистограммы, представляющие вероятности появления значений символьных слов 00, 01, 02, 10, 11, 12, 20, 21, 22. Можно видеть, что исходно наиболее вероятным является символ «11», а вероятности появления других значений символов равны 0. В условиях ноцицептивной стимуляции не нулевыми становятся вероятности появления символов со значениями «12», «21» и «20». Для последствия наиболее вероятным становится символ «00», вероятности появления символов с другими значениями становятся нулевыми. Такое сжатое представление информации, содержащейся в скрытом виде в традиционных гистограммах, выявляет суть процесса: преобладание символа «00» в последствии означает достоверное уменьшение длительностей RR интервалов в последствии по сравнению с фоном и стрессом; преобладание символа «11» во время ноцицептивной стимуляции означает, что длительности RR интервалов достоверно не изменяются по сравнению с фоном; болевая стрессорная нагрузка приводит к появлению символов со значениями «12», «21» и «20».

Для оценки специфических особенностей кардиодинамики в условиях термальной стимуляции и понимания физиологического смысла появления символов «12», «21» и «20», построена символьная динамика кодированных значений кардиоинтервалов. Из рис. 4 можно видеть, что моменты начала и конца термального раздражения совпадают с появлением символов «12», «21» и «20». Это говорит о включении перестроечных механизмов регуляции сердечной деятельности в момент начала ноцицептивной стимуляции. Можно также видеть наличие резкого скачка – перехода от «2» к «0» в момент отдергивания хвоста. Этот скачок – символ «20» – точка бифуркации, т.е. изменений параметров регуляторных механизмов кардиодинамики. Точка бифуркации совпадает с моментом прекращения ноцицептивной стимуляции и видна на хаос-граммах в виде «хвоста».

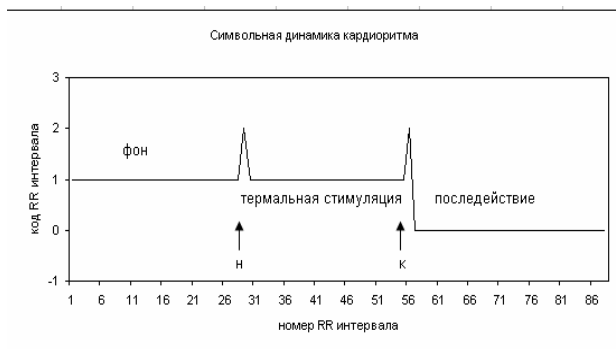


Рис. 4. Влияние ноцицептивной стимуляции на символьную динамику кардиоритма. Ось абсцисс – номер RR-интервала, ось ординат – код RR-интервала

Обсуждение. Вариабельность сердечного ритма является чувствительным показателем напряжения функций в организме при ноцицептивной стимуляции. Накоплен опыт исследований вариабельности ритма сердца при различных функциональных состояниях организма. Наиболее распространенными традицион-

ными методами математического анализа ВРС являются статистические и спектральные методы, некоторые из которых стандартизированы [7]. Спектральные методы отражают периодическую составляющую сердечного ритма, а статистические выявляют его случайную компоненту. Непериодическая составляющая ВРС отражает события, связанные с рефлекторными воздействиями на сердечный ритм факторов внутренней или внешней среды. Применение спектральных методов позволило сформировать представления об иерархической структуре системы управления сердечным ритмом, включающие разные уровни регуляции. Практическое применение спектральных методов анализа ЭКГ ограничено требованием стационарности записи. Этот метод чрезвычайно чувствителен к изменениям частоты ритма сердца, в связи с чем приходится применять различные виды фильтров для исключения эктопических сокращений сердца и артефактов. Оба метода (спектральный и статистический) основаны на усреднении большого числа RR-интервалов, нужных для заданной точности. При таком усреднении исчезают специфические эффекты, связанные с особенностями динамики анализируемых временных сигналов. Традиционные методы ВРС-анализа не дают оценить специфику перестроечных механизмов регуляции сердечной деятельности при экстремальных воздействиях. Геометрический хаос-тест не зависит от стационарности и от минимально необходимого для анализа объема выборки и позволил выявить особенности вегетативного компонента болевой реакции – «косые точки» реакции, которые нельзя обнаружить традиционными методами. Одна из них, точка бифуркации, совпадает с максимальным напряжением болевой реакции. Мы выявили специфические особенности термального болевого стресса по сравнению с другими видами стрессорных нагрузок. Предыдущие исследования [2] показали, что эмоциональный стресс вызывает перемещение хаос-грамм из правого верхнего угла фазовой плоскости в левый нижний. Аналогичные закономерности имели место и для ноцицептивной стимуляции. Исходные хаос-граммы, локализованные в правом верхнем углу фазовой плоскости, перемещаются в левый нижний угол после прекращения ноцицептивной стимуляции. Если адаптация к эмоциональному стрессу шла постепенно, без резких скачков и «особых» точек, то в условиях термального болевого стресса проявилось наличие критической точки. При этом традиционные показатели ВРС-анализа при ноцицептивной стимуляции обнаруживают те же тенденции, что и при эмоциональным и не выявляют эту точку.

Метод символьной динамики является развитием теории хаоса. Перевод реальных оцифрованных временных процессов в ограниченный набор символов является процедурой сжатия исходной информации, что позволяет уменьшить объем цифровой информации и исключить незначимые детали процесса. Для анализа сердечного ритма метод был применен в работах [5–6, 8]. Метод символьной динамики эффективен для анализа изменений сердечного ритма при быстропотекающих переходных процессах, вызванных экстремальными воздействиями, включая острый эмоциональный стресс или ноцицептивную стимуляцию.

Литература

1. Баевский Р.М. и др. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. – М.: Наука, 1984.
2. Каушанов С.Н. и др. // Росс. физиол. Ж. им. И.М.Сеченова. – 2001. – № 87 (12). – С. 1626–1633.
3. Мезенцева Л.В. и др. // Биофизика. – 2002. – № 2. – С. 352–359.
4. Мезенцева Л.В. Амплитудно-временная упорядоченность сердечного ритма и электрическая стабильность сердца. – М.: НИИ НФ РАМН, 2002.
5. Bai-Lin Hao, Wei-Mou Zheng. Applied Symbolic Dynamic and Chaos. – World Scientific, Singapore. 1997.
6. Baranovsky R., Zebrowsky J. // J. of Electrocardiology. – 2002. – Vol. 35(2). – 95–103.
7. Heart rate variability. // Circulation. – 1996. – Vol. 93(5). – P. 1043–1045.
8. Ravelly F., Antolini R. // Biol. Cybern. – 1992. – Vol. 67(1). – P. 57–65.
9. Ryan S.M. et al. // J. Am Coll. Cardiol. – 1994. – Vol. 24. – P. 1700.
10. Zebrowsky J.J. et al. // Chaos, Solutions and Fractals. – 2000. Vol. 11. – P. 1061–1072.