

УДК 616.12-053

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФИКА ПУАНКАРЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ
В ПЕРИОД ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СТРЕССА**

**APPLICATION OF THE METHOD OF POINCARÉ PLOT ANALYSIS
OF HEART RATE VARIABILITY FOR ESTIMATING FUNCTIONAL CONDITION
OF VEGETATIVE NERVOUS SYSTEM DURING MENTAL STRESS**

Д. А. Димитриев, Е. В. Саперова, Ю. Д. Карпенко, А. Н. Зотова

D. A. Dimitriev, E. V. Saperova, Y. D. Karpenko, A. N. Zotova

*ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический
университет им. И. Я. Яковлева», г. Чебоксары*

Аннотация. Данная работа посвящена изучению изменений нелинейных параметров вариабельности сердечного ритма, полученных на основе анализа графика Пуанкаре, при экзаменационном стрессе. Результаты позволяют предположить, что анализ кардиоинтервалов с помощью метода Пуанкаре может дать ценную информацию о состоянии вегетативной нервной системы в период эмоционального стресса.

Abstract. The study investigates the variations in nonlinear parameters of heart rate variability under stress during examination. The variations have been obtained due to the analysis of Poincaré plot. The results of the current study suggest that the analysis of cardio intervals, which is held by means of Poincaré method, can provide valuable information on the condition of vegetative nervous system during mental stress.

Ключевые слова: *вариабельность сердечного ритма, экзаменационный стресс, график Пуанкаре.*

Keywords: *heart rate variability, stress during examination, Poincaré plot.*

Актуальность исследуемой проблемы. Как известно, сильные эмоции сопровождаются существенными вегетативными и гуморальными реакциями. Стресс характеризуется выраженным изменением эмоционального состояния и существенными изменениями в функционировании регуляторных систем [1]. В стандартный набор переменных для оценки функционального состояния при стрессе входят: уровень тревожности, оценка самочувствия, активности и настроения, показатели гемодинамики и производные от них, параметры временной, частотной области вариабельности сердечного ритма (ВСР) и индексы Баевского [1], [8].

В настоящее время все более широкое распространение получают методы нелинейного анализа ВСР. К их числу относится анализ формы и количественных характеристик скатерограммы (графика Пуанкаре) [2], [5], [6]. В то же время в литературе отсутствуют

данные о характере изменения формы и численных параметров графика Пуанкаре при эмоциональном напряжении, вызванном экзаменационным стрессом. В связи с этим целью работы явилось изучение особенностей нелинейных показателей ВСП, полученных на основе анализа графика Пуанкаре, при экзаменационном стрессе.

Материал и методика исследований. Исследование особенностей протекания экзаменационного стресса проводилось у 392 студентов в возрасте 20–25 лет (мужчин – 16,01 %). Обследование проводилось дважды: в межсессионный период и непосредственно перед экзаменом по физиологии человека. Для изучения особенностей регуляции деятельности сердца осуществлялась регистрация сердечного ритма с помощью программно-аппаратного комплекса «Нейрософт» в соответствии с рекомендациями Европейской Ассоциации Кардиологии [8]. На основе значений интервалов RR были построены и проанализированы графики Пуанкаре, которые представляют собой точечную диаграмму: на оси абсцисс отложены значения текущего интервала RR, а на оси ординат – следующего по времени значения RR. График Пуанкаре снизу вверх пересекает линия идентичности. Положение точки на линии идентичности означает, что продолжительность интервалов RR не изменялась в течение 2-х сокращений. Таким образом, линия идентичности представляет собой график функции $x=y$ ($RR_n=RR_{n+1}$). Если точка расположена выше линии идентичности, то это означает, что $x < y$ ($RR_n < RR_{n+1}$). Соответственно, если точка расположена ниже линии идентичности, то это свидетельствует о том, что интервал RR_{n+1} короче, чем интервал RR_n . Отсюда следует, что форма «облака» из точек ($RR_n; RR_{n+1}$) на графике Пуанкаре должна отражать последовательные изменения продолжительности интервала RR, т. е. его дисперсию. Если мы проведем перпендикуляр к линии идентичности через данную точку ($RR_i; RR_{i+1}$), то сможем получить расстояние от этой точки до линии идентичности. Оно будет соответствовать отклонению этой точки от линии идентичности, т. е. дисперсии относительно данной линии, которая отражает уровень кратковременной вариабельности интервала RR. Эта мера является эквивалентом стандартного отклонения последовательных различий интервалов RR (SDSD). Согласно физиологической модели вариабельности интервалов RR [2] подразумевается наличие системы из двух сопряженных друг с другом осцилляторов – симпатического и парасимпатического (респираторного). Симпатический осциллятор представлен в форме волны с низкой частотой (LF) спектра ВСП, которая также включает в себя вазомоторную активность. Активность парасимпатического осциллятора проявляется в форме быстрого кратковременного изменения активности синусового узла. Респираторные осцилляции влияют на оба отдела вегетативной нервной системы (ВНС), но вследствие медленной реакции симпатического отдела ВНС быстрая осцилляция, обусловленная дыханием, практически полностью опосредуется парасимпатической нервной системой.

Вторым методом количественного описания формы графика Пуанкаре является оценка статистических свойств различных проекций данного графика в форме гистограмм распределений. Используются три основные проекции: 1) гистограмма точек графика Пуанкаре, отображенная на оси x (или оси y), описываемая средним и стандартным отклонениями и связанная со стандартными линейными мерами RR и SDNNm. Построение этой гистограммы дает общую характеристику ВСП; 2) «ширина», или гистограмма интервалов ΔRR , дает информацию о кратковременной изменчивости интервалов RR; 3) гистограмма «длины» описывается математическим ожиданием и стандартным отклонением, эквивалентным SD2, и отражает долговременные характеристики ВСП.

Важным свойством графика Пуанкаре является асимметричность в расположении точек относительно линии идентичности (Porta). Для описания асимметрии используются три индекса: индекс Guzik (GI) [4], индекс Porta (PI) [7] и индекс Ehler (EI) [3]. На основе вышеизложенного нами строился стандартный график Пуанкаре, на котором $x - RR_n$, а $y - RR_{n+1}$. С целью уменьшения систематической ошибки при проведении анализа скатерограммы были удалены все артефакты с использованием методики J. Piskorski и соавт. [6]. На графике Пуанкаре была построена линия идентичности. На основе скатерограммы были построены: гистограмма интервалов RR, гистограмма интервалов ΔRR и гистограмма распределения точек относительно линии идентичности (гистограмма «длины»). На основе значений интервалов RR были вычислены значения SD1, SD2, общая площадь облака SS. Для определения асимметрии проводилась классификация точек по их положению относительно линии идентичности. Классификация проводилась усовершенствованным способом, путем выделения описанных выше трех облаков. Вычленялись следующие коэффициенты асимметрии: Porta (PI) ($PI = (C(Pi-) / (C(Pi+) + C(Pi-))) \cdot 100 \%$, где $(Pi-)$ – число точек ниже линии идентичности, а $C(Pi+)$ – число точек выше линии идентичности); Guzik (GI) ($GI = (\sum(Di+) / \sum(Di)) \cdot 100 \%$, где $Di+$ – расстояние до линии идентичности до точек, находящихся над ней, Di – расстояние до линии идентичности от всех точек). Кроме того, было вычислено скорректированное значение – GIp [5].

Результаты исследований и их обсуждение. Характер изменения ритмограммы и графика Пуанкаре при эмоциональном напряжении, вызванном экзаменационным стрессом, представлен на рис. 1. Из рисунка видно, что увеличение ЧСС сопровождается уменьшением разброса точек. Особенно снижается вариабельность относительно линии идентичности. Меняется не только общая площадь облака, но и отношение его «ширины» к «длине». При этом график существенно укорачивается, что свидетельствует об уменьшении долговременной вариации RR и увеличении эксцесса. Одновременно отмечается определенный ярко выраженный сдвиг пика распределения к более низким значениям интервала RR.

На гистограмме, отражающей распределение точек скатерограммы относительно линии идентичности в межсессионный период, отчетливо видно, что гистограмма имеет низкий коэффициент эксцесса, что отражает значительную вариабельность относительно линии идентичности. На гистограмме виден пик в диапазоне $-20-0$ мс, что свидетельствует о наличии большого числа пар кардиоинтервалов, для которых характерно выраженное увеличение продолжительности второго интервала RR по отношению к первому. Экзаменационная гистограмма «ширины» имеет основной пик в диапазоне $-10-0$, что свидетельствует о преобладании в распределении пар интервалов RR, у которых второй интервал короче первого. Это указывает на увеличение числа точек, лежащих ниже линии идентичности. Также на графике отчетливо видно увеличение эксцесса, сопровождающегося существенным снижением «ширины» гистограммы: если в межсессионный период колебания значения $RR_n - RR_{n+1}$ происходили в диапазоне от -140 до $+120$ мс, то в условиях стресса амплитуда колебаний снизилась настолько, что максимальное значение разницы между последовательными интервалами RR составило $+60$ мс, а минимальное равнялось -70 мс.

Количественные характеристики графика Пуанкаре значительно меняются при переходе из состояния относительного покоя к состоянию психоэмоционального напряжения. В межсессионный период среднее значение SD1 достигало $44,41 \pm 2,8$ ms (95 % ДИ: $38,616-50,21$ ms). В условиях экзаменационного стресса происходит уменьшение «шири-

ны» облака на графике Пуанкаре, что проявляется в резком снижении (более чем в 2 раза) уровня SD2 (до $18,55 \pm 1,94$ ms; 95 % ДИ: 14,52–22,58 ms). Это снижение является статистически достоверным ($P < 0,0002$). Снижение SD2 менее выражено: с $72,74 \pm 4,00$ ms в межсессионный период до $54,07 \pm 4,04$ ms в период сдачи экзамена ($P = 0,002$). Изменение формы скатерограммы сопровождается резким снижением отношения SD1/SD2: с $0,61 \pm 0,027$ (95 % ДИ: 0,557–0,67) до $0,34 \pm 0,022$ (95 % ДИ: 0,292–0,38), $P < 0,0001$. При сопоставлении двух графиков Пуанкаре хорошо видно, что перед экзаменом облако точек ($R_n; R_{n+1}$) как будто сжимается. Это сжатие проявляется в значительном снижении площади облака. Если в межсессионный период SS составляло в среднем $10750,9 \pm 1089,092$ (95 % ДИ: 8492,26–13009,54), то в состоянии эмоционального стресса – $3569,25 \pm 588,378$ (95 % ДИ: 2349,03–4789,47). Данное различие было достоверным ($P < 0,001$).

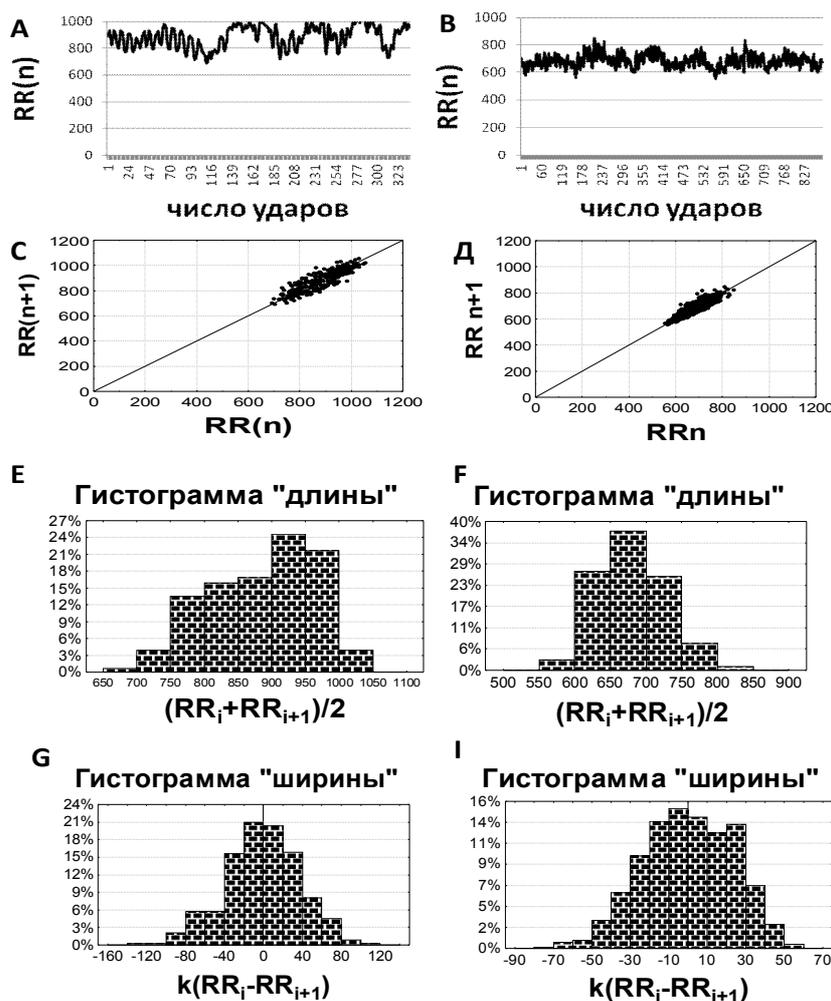


Рис. 1. Ритмограммы, записанные у одного человека в состоянии покоя (левая половина) и при стрессе (правая половина). А – последовательность интервалов RR в межсессионный период; В – последовательность интервалов RR при экзаменационном стрессе; С и D – соответствующие скатерограммы; E, F, G, I – гистограммы, характеризующие распределение точек на графике Пуанкаре

Расчет значений асимметрии графика Пуанкаре показал, что при стрессе происходит уменьшение асимметрии скатерограммы. Если в межсессионный период у всех обследованных имела место выраженная асимметрия, то в условиях стресса у части студентов она исчезла. Изменились и количественные характеристики асимметрии. Нескорректированное значение индекса GI снизилось с $0,53 \pm 0,10$ до $0,52 \pm 0,008$ ($P > 0,05$). Значение индекса Porta PI также несколько снизилось: с $0,49 \pm 0,007$ в межсессионный период до $0,48 \pm 0,004$ перед экзаменом ($P > 0,05$). Более точное определение точек, составляющих различные облака, позволило вычислить скорректированный коэффициент GIP. Значение GIP в межсессионный период составило $0,47 \pm 0,24$ (95 % ДИ: 0,425–0,53); перед экзаменом – $0,42 \pm 0,018$ (95 % ДИ: 0,382–0,46). Различие между этими двумя значениями GIP было достоверным ($P < 0,05$). Таким образом, нами установлено, что в ходе эмоционального стресса происходит существенное изменение не только формы скатерограммы, но и скрытой в ней временной динамики механизмов variability сердечного ритма.

Резюме. Нами впервые было проведено исследование влияния экзаменационного стресса на характер графика Пуанкаре и численные меры распределения точек скатерограммы относительно линии идентичности и перпендикуляра к линии идентичности. Полученные нами результаты исследования позволяют прийти к следующим выводам. Использование анализа кардиоинтервалов с помощью метода Пуанкаре представляет собой перспективное направление в физиологии сердечно-сосудистой системы и может дать ценную информацию о состоянии вегетативной нервной системы при различных функциональных состояниях. Одним из таких состояний является экзаменационный стресс, который вызывает существенные перестройки в функционировании высших вегетативных центров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баевский, Р. М.* Проблема оценки и прогнозирования функционального состояния организма и ее развития в космической медицине / Р. М. Баевский // Успехи физиологических наук. – 2006. – № 3 (Т. 37). – С. 42–57.
2. *Brennan, M.* Poincaré plot interpretation using a physiological model of HRV based on a network of oscillators / M. Brennan, M. Palaniswami, P. Kamen // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. – 2002. – Vol. 283 (№ 5). – P. 1873–1886.
3. *Ehlers, C. L.* Low doses of ethanol reduce evidence for nonlinear structure in brain activity / C. L. Ehlers, J. Havstad, D. Prichard // J. Neurosci. – 1998. – Vol. 18. – P. 7474–7486.
4. *Guzik, P.* Heart rate variability by Poincaré plot and spectral analysis in young healthy subjects and patients with type 1 diabetes / P. Guzik, B. Bychowicz, J. Piskorski et al. // Folia Cardiol. – 2005. – Vol. 12. – P. 64–67.
5. *Karmakar, C.* Heart rate asymmetry in altered parasympathetic nervous system activity / C. Karmakar; A. Khandoker; M. Palaniswami // Computing in Cardiology. – 2010. – Vol. 37. – P. 601–604.
6. *Piskorski, J.* Geometry of the Poincaré plot of RR intervals and its asymmetry in healthy hearts / J. Piskorski, P. Guzik // Physiological Measurement. – 2007. – Vol. 28. – P. 287–300.
7. *Porta, A.* Temporal asymmetries of short-term heart period variability are linked to autonomic regulation / A. Porta, K. R. Casali, A. G. Casali et al. // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. – 2008. – Vol. 295. – P. 550–557.
8. *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. – № 5 (Vol. 93). – P. 1043–1065.