

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ НЕЛИНЕЙНОГО АНАЛИЗА В ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ПРИМЕРЕ ОПИСАНИЯ ДИНАМИКИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ЛЕВОЛАТЕРАЛЬНЫХ ДЕТЕЙ В ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯХ РАЗНОЙ ВАЛЕНТНОСТИ

Николаева Е.И.¹, Вергунов Е.Г.², Добрин А.В.³

¹*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I; Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, klemtina@yandex.ru;*

²*Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины СО РАМН, Новосибирский государственный педагогический университет;*

³*Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина.*

В настоящей работе дан краткий обзор наиболее эффективных (и сравнительно малотрудоёмких) инструментов нелинейного анализа, а также показывается применимость некоторых из них для описания состояний такой динамической системы, как сердечный ритм. Кардиоритм человека, включенного в ту или иную деятельность, далек от стационарных состояний, хотя, за неимением необходимого инструментария, многие исследователи пытаются описывать его как стационарный процесс, пользуясь типичным набором статистических методов. В данном исследовании кардиоритм записывался у детей 7-8 лет в трех состояниях: в состоянии спокойного бодрствования (фон), при припоминании положительно окрашенных и негативно окрашенных событий (соответственно поощрение и наказание). Кроме того, используя наборы типичных проб, были описаны профили функциональной сенсомоторной асимметрии детей. С помощью типологического и одного из численных методов описывается характер изменений variability кардиоритма в эмоциональных состояниях разной валентности у детей с полностью левым латеральным профилем функциональной сенсомоторной асимметрии – по контрасту с полностью правопрофильными детьми. Полученные данные свидетельствуют о том, что в эмоциональных ситуациях регуляторные механизмы управления сердечным ритмом у детей с праволатеральным профилем имеют количество степеней свободы меньше, чем у детей с леволатеральным профилем.

Ключевые слова: кардиоритм, аттрактор, нелинейные методы анализа, дети, эмоциональные ситуации.

APPLICATION OF THE INSTRUMENTS OF A NONLINEAR ANALYSIS IN PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH ON AN EXAMPLE OF DESCRIPTION OF A HEART RATE DYNAMICS OF CHILDREN WITH LEFT AND RIGHT PREDOMINANCE IN THE EMOTIONAL STATE OF DIFFERENT VALENCE

Nikolaeva E.I.¹, Vergunov E.G.², Dobrin A.V.³

¹*Petersburg State Transport University, Herzen State Pedagogical University, , klemtina@yandex.ru;*

²*Scientific Research Institute of Physiology and Fundamental Medicine SBRAMS, Novosibirsk State Pedagogical University;*

³*Eletsk State university.*

In the article the short review of the most effective (and rather effortless) instruments of a nonlinear analysis is done and usefulness of some of them is shown for the description of the dynamic system – cardio rhythm. Cardio rhythm of a human being incorporated in any activity does not a stationary state though failing necessary instruments a lot of researches try to describe it as stationary process using typical set of statistic methods. The cardiac rhythms of 7-8 years old children were recorded in three states: in a quiet wakeful state (background), during the processes of positive and negative events recalling (rewards and punishment respectively). In addition using the sets of typical tests the profiles of functional sensori-motor asymmetry were assessed. Using typological and one of the numerical methods a character of cardiac rhythms variability changing in emotional states of different valences of children with left profiles of sensori-motor asymmetry and right one. Our data show that executive mechanism of heart rate regulating in emotional situations for children with right profiles have less degrees of freedom than children with left profiles.

Keywords: cardio rhythm, attractor, nonlinear methods of analysis, children, emotional situation.

Аппарат анализа variability сердечного ритма для состояния оперативного покоя (спокойного бодрствования) «нормативного» испытуемого описан достаточно подробно. Но

в ряде случаев наиболее прогностически значимым является анализ переходных процессов, которые сопровождаются нестационарными участками в записи ЭКГ [1]. Нами ранее уже обсуждались различные аспекты, связанные с визуализацией и подготовкой сырых данных в кардиоинтервалометрии (предобработка записей ЭКГ), а также с подходами к анализу собственно variability сердечного ритма (статистическими, спектральными и нелинейными) с учётом постобработки участков кардиоинтервалометрии с разным уровнем стационарности [3,4].

В данной работе, опираясь на исследования, выявившие различия в особенностях регуляции сердечно-сосудистой системы людей с разными типами профиля функциональной сенсомоторной асимметрии [7], мы попытались описать особенности реагирования кардиоритма детей с разными латеральными предпочтениями в трех ситуациях: в состоянии спокойного бодрствования и при припоминании ситуаций поощрения и наказания в семье. Эти состояния типичны для ребенка данного возраста, однако практически не исследованы с точки зрения центральной регуляции кардиоритма в виду сложности обработки данных нелинейными методами анализа.

Краткий обзор динамических систем

Для изучения нелинейных процессов используются методы анализа динамических систем, при этом любой процесс, который развивается во времени, можно эффективно описать средствами теории динамических систем [1]. Для этого используется Лангражиан (требуется решить столько дифференциальных уравнений, сколько изучаемых элементов, что удобно при описании 1-2 элементов) или Гамильтониан (надо решать только два дифференциальных уравнения при любом количестве изучаемых элементов), которые, по сути, являются наборами правил о том, как получить состояние системы в момент времени T_1 если известно ее состояние в момент времени T_0 . Причём при отсутствии систематических или разовых возмущающих воздействий динамика состояний системы приобретает такую траекторию в фазовом пространстве (принцип наименьшего действия), которая максимально быстро уменьшает значение Гамильтониана (Лангражиана, если используют Лангражиан), а равновесное состояние системы – стабильное или метастабильное – достигается в точках (соответственно) глобального или локального минимума Гамильтониана (или Лангражиана). Гамильтониан универсален, он используется для описания нелинейных процессов в физике, химии, биологии, медицине, генетике, метеорологии, социальных науках [6].

Топологические методы

А. Пуанкаре в 1860г. показал, что и Лангражиан, и Гамильтониан в общем случае не имеют решения в аналитическом виде, но для описания динамической системы достаточно

анализа топологии (в первую очередь – аттракторов) траектории её состояний в фазовом пространстве А. Пуанкаре решал Гамильтониан способом конечных разностей, используя для этого метод восстановления траектории динамической системы в фазовом пространстве из одномерного массива данных (Poincaré plot) по приращениям значений измеряемых показателей состояния динамической системы от момента T_n до момента T_{n+1} . В 1981 году Ф. Такенс [9] доказал (теорема Такенса о типичном вложении временного ряда в n-мерном евклидовом пространстве), что надёжной оценкой траектории состояний динамической системы в фазовом пространстве является траектория состояний системы в фазовом пространстве вложений (ряд значений с «запаздыванием»). Результаты изучения топологии реконструкции с «запаздыванием» (то есть по значениям измеряемых показателей $X: X_n, X_{n+1}, X_{n+2} \dots$) также являются надёжными оценками топологии реконструкции с «приращениями», полученными из анализа рекуррентного сечения фазового пространства, определений экспонент Ляпунова, корреляционной размерности, энтропии и др. [10].

Заметим, что в отношении сердечного ритма, который представлен одномерным рядом длин R-R интервалов, удобно для визуального представления:

- построить траекторию состояний сердечного ритма данного испытуемого в фазовом пространстве вложений по вектору из трёх координат: RR_n, RR_{n+1}, RR_{n+2} ;

- построить траекторию состояний сердечного ритма в фазовом пространстве различных функциональных состояний организма данного испытуемого, например: $RR_{\text{в оперативном покое}}, RR_{\text{при воздействии}}, RR_{\text{после воздействия}}$;

- при наличии системы из более чем одного испытуемого (например, одновременная работа команды из трёх взаимодействующих испытуемых) построить траекторию состояний сердечного ритма в фазовом пространстве функциональных состояний разных испытуемых, например: $RR_{\text{участник-1}}, RR_{\text{участник-2}}, RR_{\text{участник-3}}$.

Отметим также использование в последнее время в психофизиологических статьях понятие «квазиаттракторы», в том числе и по отношению к состояниям сердечного ритма [8]. К квазиаттракторам относят не только периоды метастабильности (кратковременной стационарности) сердечного ритма при экспериментальном воздействии на данного испытуемого, но и значимо различающиеся между собой облака состояний разных испытуемых в требуемый момент времени. При этом математический аппарат для работы с аттракторами распространим на описанные виды квазиаттракторов [6].

Испытуемые и методы исследования

Были обследованы 150 школьников, 86 мальчиков (средний возраст $7,27 \pm 0,45$ лет) и 64 девочки (средний возраст $7,19 \pm 0,39$).

У каждого испытуемого была произведена оценка типа профиля функциональной

сенсомоторной асимметрии с использованием набора проб, наиболее часто встречающихся в литературе, включающий выявление ведущих руки, ноги глаза, уха и совокупного показателя, а также произведена запись variability кардиоритма (при помощи программно-аппаратного комплекса «ОМЕГА-М», разработанного центром биомедицинских исследований «Динамика»).

Запись кардиоритма производилась в трех ситуациях: в состоянии спокойного бодрствования (фон), в процессе припоминания ребенком приятных и неприятных событий (поощрение и наказание в семье). Ребенок припоминал об эмоциональных событиях, отвечая на вопросы из опросника о методах наказания и поощрения в семье.

Результаты и их обсуждение

Ранее нами было показано, что траектории состояний сердечного ритма в фазовом пространстве вложения для леворуких детей при воспоминании о поощрении и наказании в семье (по сравнению с состоянием оперативного покоя) отличаются от таковых для праворуких детей. Статистически значимая разница между реакциями леворуких и праворуких детей наблюдалась при их переходе от состояния оперативного покоя в состояние воспоминания о поощрении (праворукие реагировали более интенсивно). Это подтвердило предположение авторов о различии в деятельности центрального контура вегетативной регуляции сердечного ритма у леворуких и праворуких людей [7] уже с возраста 7–8 лет.

Условием включения в эксперимент было наличие синусного сердечного ритма, отсутствие хронических заболеваний и письменное разрешения родителей на проведение исследования с объяснением того, что будет проводиться на каждом этапе исследования. Дети, родители которых не дали разрешение на обследование, в нём не участвовали.

Частота сердечных сокращений детей этого возраста достаточно велика (около 80-100 ударов в минуту), поэтому все обследование, начиная с наложения электродов и заканчивая записью ответов, составляло 8-10 минут. Предобработка каждой из трёх сырых записей ЭКГ для получения кардиоинтервалограмм производилась в соответствии с подходом, которым руководствуются авторы [4] – решения вопроса в записях ЭКГ по артефактам технического и биологического характера, выбор и выделение частотного диапазона спектра сердечного ритма для дальнейшего изучения с помощью быстрого преобразования Фурье.

Поскольку в нашей выборке не было детей, которых наказывали физически, можно предположить, что уровень эмоциональной активации соответствовал умеренному. Данная процедура исследования позволила оценить сам переход регуляции сердечного ритма от спокойного бодрствования (оперативный покой) к эмоциональному состоянию, а так же переход от эмоционального состояния одной валентности к другой.

Пример типичного реагирования ребёнка с леволатеральным профилем с точки зрения состояний его сердечного ритма в фазовом пространстве длин R-R интервалов показан на Рисунке 1. Для анализа сравнительно долговременных состояний сердечного ритма были взяты частоты спектра от 0,035 Гц (28,6) и медленнее, соответствующие гуморальным влияниям на сердечный ритм [2, 10]. Траектория состояний сердечного ритма содержит квазиаттракторы[6], орбиты которых достаточно сложны: число центров составляет несколько десятков (точное определение их числа предполагает использование специальных математических методов, что выходит за рамки обсуждаемой тематики).

Траектория состояний сердечного ритма в фазовом пространстве "Оперативный покой-Поощрение-Наказание" (лев)

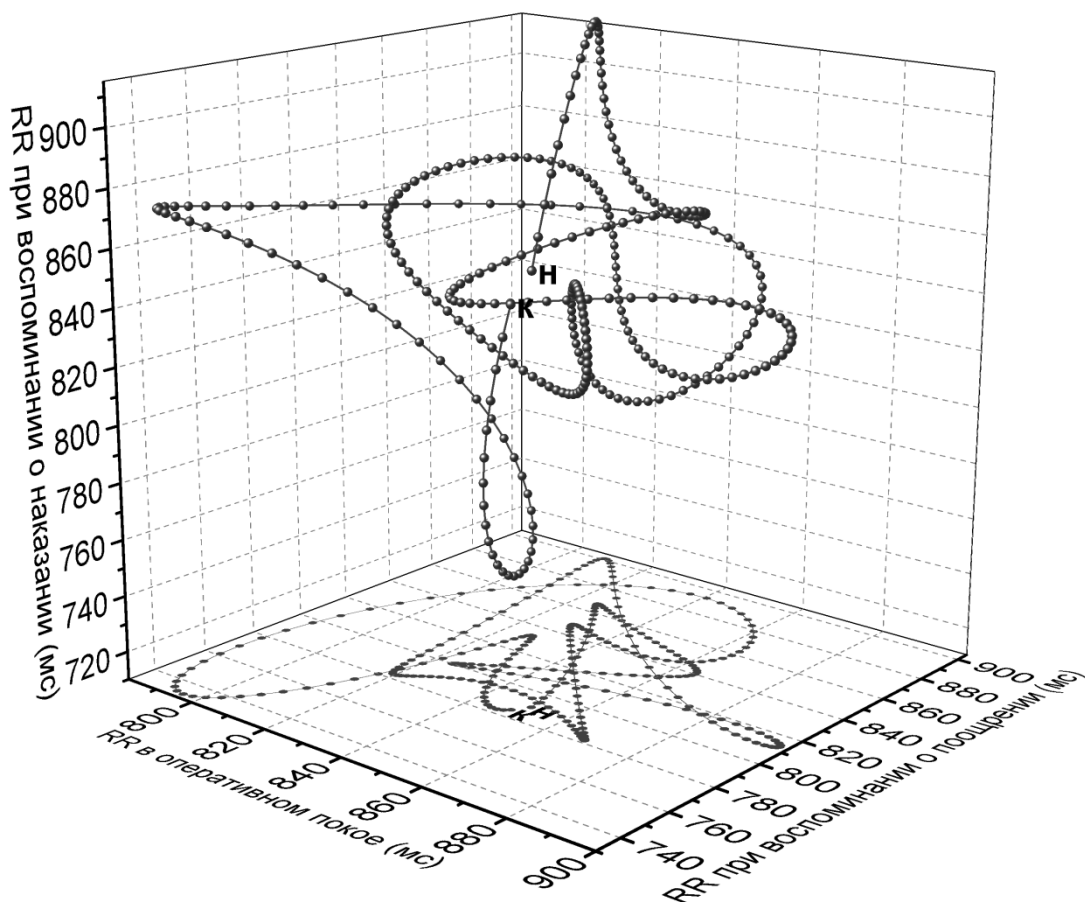


Рис. 1. Траектория состояний сердечного ритма ребёнка с леволатеральным профилем в фазовом пространстве «Оперативный покой (ось X) – «Воспоминание о поощрении в семье» (ось Y) – «Воспоминание о наказании в семье» (ось Z). Для построения были взяты длины R-R интервалов после отсечения коротковолновой части спектра до 0,035 Гц (28,6 сек). Буквами Н и К отмечены начало и конец траектории.

Пример типичного реагирования ребёнка с праволатеральным профилем с точки зрения состояний его сердечного ритма в фазовом пространстве длин R-R интервалов показан на Рисунке 2 (параметры те же, что и для анализа реагирования ребёнка с леволатеральным профилем). Траектория состояний сердечного ритма в данном случае проходит ряд орбит, из

которых можно выделить два квазиаттрактора: один с более простой орбитой (3 центра), другой с более сложной орбитой (8 центров).

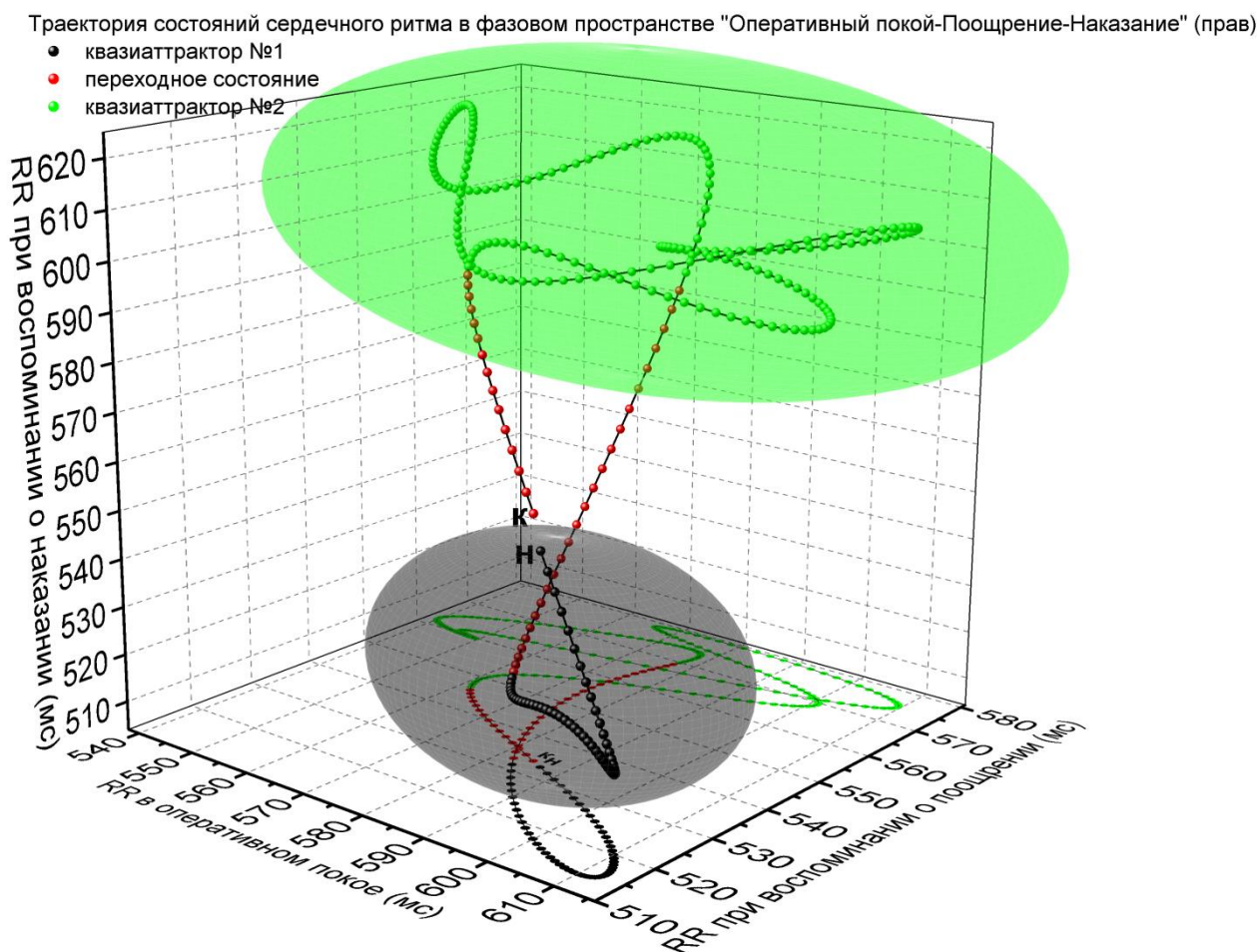


Рис. 2. Траектория состояний сердечного ритма ребёнка с праволатеральным профилем в фазовом пространстве «Оперативный покой (ось X) – «Припоминание о поощрении в семье» (ось Y) – «Припоминание о наказании в семье» (ось Z). Для построения были взяты длины R-R интервалов после отсечения коротковолновой части спектра до 0,035 Гц (28,6 сек). Буквами Н и К отмечены начало и конец траектории. На траектории выделяются два квазиаттрактора (выделены чёрным и зелёным цветами).

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о том, что в эмоциональных ситуациях регуляторные механизмы управления сердечным ритмом у детей с праволатеральным профилем имеют количество степеней свободы меньше, чем у детей с леволатеральным профилем.

Работа поддержана грантом РГНФ 14-06-00195

Список литературы

1. Арройо Э. Путешествие от частицы до Вселенной. Математика газовой динамики /

Пер. с исп. – М.: Де Агостини, 2014. – 144 с.

2. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. – М.: Медицина, 1979.
3. Вергунов Е.Г., Николаева Е.И. Оценка психофизиологической стоимости креативности в междисциплинарных исследованиях // Вестник психофизиологии. – 2014. – Т. 1.– С. 74-82.
4. Вергунов Е.Г., Николаева Е.И. Проблема получения научного знания на примере методологии анализа variability сердечного ритма // Естественно-научный подход в современной психологии. – М.: Изд-во ИПРАН, 2014. – С. 232-238.
5. Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Дегтярев Д.А., Еськов В.В, Балтикова А.А. Динамика квазиаттракторов параметров произвольных микродвижений конечностей человека как реакция на локальные термические воздействия // Вестник новых медицинских технологий. – 2012. – Т. XIX, № 4. – С. 26- 29.
6. Мадрид К. Бабочка и ураган. Теория хаоса и глобальное потепление / Карлос Мадрид / Пер. с исп. – М.: Де Агостини, 2014.
7. Николаева А.А., Николаев К.Ю., Николаева Е.И., Куроедов А.Ю., Попова Л.В. Соотношение сосудистой реактивности с липидным спектром крови и состоянием перекисного окисления липидов при нестабильной стенокардии //Терапевтический архив. - 1998. - Т. 70, № 12. - С. 13-15.
8. Шимшиева О.Н., Логинов С.И. Влияние физической нагрузки на параметры variability сердечного ритма юношей при широтном перемещении // Теория и практика физической культуры. – 2014 - № 6. – С. 87-90.
9. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence / FlorisTakens // Lecture Notes in Mathematics. – 1981. -V. 898. – P.366–381.
10. Tarvainen M.P., Niskanen P., Lipponen J.A., Ranta-Aho P.O.,Karjalainen P.A. Kubios HRV – heart rate variability analysis software // Comput. MethodsProgramsBiomed. – 2014. – V. 113, №1. – P. 210–220.

Рецензенты:

Ситников В.Л., д.псх.н., заведующий кафедрой «Прикладная психология» Петербургского университета путей сообщения императора Александра I, г.Санкт-Петербург;

Барышева Т.А., д.псх.н., профессор кафедры педагогики начального образования и художественного развития ребенка РГПУ им. А.И. Герцена, г.Санкт-Петербург.