

# НОВЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ЧИСЛОВЫХ РЯДОВ ДЛИТЕЛЬНОСТИ 100 R-R-ИНТЕРВАЛОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИКИ РИТМА СЕРДЦА

УДК 616.12–008.318–073

Поступила 22.12.2014 г.

© **А.С. Денисов**, инженер 1-й категории кафедры биомедицины<sup>1</sup>;  
**В.И. Борисов**, д.м.н., профессор кафедры общей клинической фармакологии<sup>2</sup>;  
**Е.Е. Волкова**, студентка биологического факультета<sup>1</sup>;  
**Н.В. Вдовина**, к.б.н., доцент кафедры биомедицины<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород, 603950, пр. Гагарина, 23;<sup>2</sup>Нижегородская государственная медицинская академия, Н. Новгород, 603950, пл. Минина и Пожарского, 10/1

**Цель исследования** — оценить эффективность нового подхода к анализу изменения продолжительности 100 последовательных R–R-интервалов при определении вариантов динамики ритма сердца при ортостатической пробе.

**Материалы и методы.** У 74 практически здоровых детей в возрасте  $12,8 \pm 0,16$  года, из которых 34 человека в течение 1,5–2 лет занимались в секции футбола, при ортостатической пробе регистрировали электрокардиограмму и измеряли продолжительность 100 следующих друг за другом R–R-интервалов. При обработке числовых рядов 100 R–R-интервалов впервые применяли цветовое кодирование значений каждого из них, в том числе соответствующих параметру «истинный» ритм сердца (ИРС). Для этого, разделив область значений R–R-интервалов от 0,35 до 1,25 с на промежутки  $i$  по 0,15 с, каждое значение интервала в зависимости от его принадлежности  $i$ , а также R–R-интервалы, соответствующие ИРС, выделяли определенным цветом. Параметр «истинный» ритм сердца определяли по известному эмпирическому уравнению  $(118,1 - 0,57a)$  уд./мин, где  $a$  — возраст в годах. Оценивали совокупность параметров: моду ( $M_0$ , с) — наиболее часто встречающееся значение длительности R–R-интервала; амплитуду моды ( $A_{M_0}$ ) — количество повторений значений  $M_0$  — и некоторые из них впервые использовали в кардиоинтервалографии (общее количество промежутков  $i$ , в которых происходило варьирование R–R-интервалов —  $i_0$ ; количество переходов из одного промежутка  $i$  в другой —  $N_{acc}$ ; длительность R–R, соответствующих ИРС).

**Результаты.** Разработанный подход обеспечил возможность наглядно представить изменение ритма сердца во времени, количественно оценить динамику ритма сердца во времени и выявить варианты ее изменения при ортостатическом тесте. Обнаружено, что набор вариантов у здоровых детей, отличающихся уровнем физической активности, одинаков, но соотношение их разное: при переходе к ортостазу у юных футболистов чаще, чем у детей с более низким уровнем физической активности, встречаются случаи слабой выраженности влияния вегетативной нервной системы на ритм сердца.

**Заключение.** Использование для исследования ВРС цветового кодирования последовательности R–R-интервалов и оценки предлагаемой нами совокупности параметров дает возможность наглядно представлять динамику ритма сердца и оценивать выраженность активности разных отделов вегетативной нервной системы без преобразования числовых рядов последовательности R–R-интервалов в аналоговую форму. Программное обеспечение автоматизированной обработки результатов исследования, созданное на основе предложенного нами алгоритма, позволяет оценивать вегетативное управление ритма сердца в различных группах испытуемых.

**Ключевые слова:** вариабельность ритма сердца; 100 R–R-интервалов; ортостатическая проба.

## English

## A New Approach to the Analysis of Numeric Series of 100 R–R Intervals Duration in Studying Heart Rate Dynamics

**A.S. Denisov**, Engineer, Department of Biomedicine<sup>1</sup>;  
**V.I. Borisov**, MD, DSc, Professor, Department of General Clinical Pharmacology<sup>2</sup>;  
**E.E. Volkova**, Student, Biological Faculty<sup>1</sup>;  
**N.V. Vdovina**, PhD, Associate Professor, Department of Biomedicine<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, 23 Prospect Gagarina, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation;<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State Medical Academy, 10/1 Minin and Pozharsky Square, Nizhny Novgorod, 603005, Russian Federation

**Для контактов:** Вдовина Наталия Всеволодовна, e-mail: nataliya.vdovina@mail.ru

**The aim of the investigation** was to assess a new approach to the analysis of variations in 100 successive R–R intervals duration in determining heart rate dynamics variants during an orthostatic test.

**Materials and Methods.** Electrocardiogram was recorded and duration of 100 R–R intervals following each other was measured during an orthostatic test in 74 healthy children aged  $12.8 \pm 0.16$  years, 34 of which were training to play football during 1.5–2 years. While processing numeric series of 100 R–R intervals we were the first to apply color coding of each value, including those corresponding to the “true” heart rate (THR) parameter. For this purpose, having divided the region of R–R interval values from 0.35 to 1.25 into  $i$  spaces by 0.15 s, each interval value depending on its belonging to  $i$ , as well as R–R intervals corresponding to THR, were marked by a certain color. A “true” heart rate parameter was determined by a known empirical equation  $(118.1 - 0.57a)$  beats per minute, where  $a$  is age in years. Evaluating the whole set of parameters: mode ( $M_o$ , s) — the most frequently occurring R–R interval duration; mode amplitude ( $A_{Mo}$ ) — a number of  $M_o$  value repetitions, — some of which were used in cardiointervalography for the first time (a total quantity of  $i$  spaces, in which R–R interval variations occurred —  $i_i$ ; the quantity of transitions from one space  $i$  to another —  $N_{abs}$ ; R–R duration corresponding to THR).

**Results.** The approach developed made it possible to present clearly the change of the heart rate in time, to assess quantitatively the heart rate dynamics in time and determine the variants of its alteration in the orthostatic test. Their set in healthy children with a high level of physical activity has been found to be similar, though the ratio of diverse variants is different: in changing over to orthostasis cases of a weak influence of the vegetative nervous system on the heart rate occur more often in the young football players than in children with a lower physical load.

**Conclusion.** Application of color coding of the R–R intervals succession and assessment of the suggested set of parameters for heart rate variability investigation make it possible to present clearly heart rate dynamics and evaluate activity intensity of various parts of the vegetative nervous system without conversion of the numeric series of R–R interval succession to the analog form. The software for automated processing of the investigated data, created on the basis of the algorithm suggested by us, provides the opportunity to assess a vegetative control of the heart rate in various groups under investigation.

**Key words:** heart rate variability; 100 R–R intervals; orthostatic test.

Возможность оценивать по характеру вариабельности ритма сердца выраженность различных воздействий на деятельность сердца продолжает привлекать внимание к кардиоинтервалографии (КИГ). Этот метод не требует сложных технических решений, больших экономических затрат, он безопасен и удобен для скрининговых исследований. Доказана перспективность применения КИГ для оценки баланса различных отделов вегетативной нервной системы (ВНС) при разных состояниях организма: заболеваниях сердечно-сосудистой системы [1], неврологических заболеваниях [2, 3], беременности [4], инфекционных заболеваниях [5], в разных возрастных группах и при различных уровнях физической активности, например при занятиях спортом [6, 7]. В КИГ используются различные подходы к обработке данных о продолжительности следующих друг за другом R–R-интервалов и представлению результатов обработки данных. Так, многие исследователи проводят статистическую обработку выборок значений длительности R–R-интервалов (как правило, не менее 100 следующих друг за другом R–R-интервалов) и анализируют совокупность таких параметров, как мода ( $M_o$ ) — наиболее часто встречающееся значение R–R-интервала; амплитуда  $M_o$  ( $A_{Mo}$ ) — количество в выборке R–R-интервалов, имеющих длительность, равную  $M_o$ ; размах варьирования ( $V$ ) — разность между наибольшим и наименьшим значением длительности R–R-интервалов в данной выборке и др. Кроме того, данные об исследуемых выборках R–R-интервалов представляют в аналоговой форме. Это гистограммы, отражающие структуру ритма (количество R–R-интервалов различной длительности [1, 8, 9]) и спектрограммы, получаемые при спектральном анализе с помощью Фурье-преобразования данных о длительности R–R-интервалов за длительный (от нескольких минут до нескольких часов) период времени [8–11]. Данные

об изменении продолжительности R–R-интервалов во времени (динамика ритма сердца) представляют в виде ритмограмм, на которых отображают длительность каждого из R–R-интервалов, или в виде скатерограмм [9–11]. Несмотря на возможность оценки вегетативной регуляции ритма в разных группах испытуемых с помощью этих подходов к обработке результатов КИГ, ни в одном из них не учитываются возрастные особенности функционирования пейсмекерных клеток главного водителя ритма сердца — синоатриального узла (САУ) — и их взаимодействие с регуляторными влияниями ВНС. Вместе с тем известно об изменении ритма сердца и соотношении активности различных отделов ВНС в ходе онтогенеза.

Начав с применения при исследовании динамики ритма сердца у детей, отличающихся уровнем здоровья и физической активностью, известных подходов к обработке результатов исследования [3, 7], мы пришли к выводу о возможности увеличения наглядности представления динамики ритма сердца и выраженности регуляторных влияний на него разных отделов ВНС. Разработанный нами подход к анализу числовых рядов следующих друг за другом 100 R–R-интервалов отличается прежде всего тем, что без использования представления результатов исследования в аналоговом виде он позволяет наглядно отобразить длительность каждого R–R-интервала и ее изменения в период обследования. Кроме того, мы предположили, что можно повысить информативность КИГ, учитывая так называемый истинный ритм сердца (ИРС), характеризующий возрастные особенности функционирования пейсмекерных клеток САУ. Этот ритм можно определить по эмпирическому уравнению  $(118,1 - 0,57a)$  уд./мин, где  $a$  — количество лет (возраст испытуемого) [12]. Выделяя R–R-интервалы, длительность которых соответствует ИРС, можно наглядно представлять и ана-

лизировать изменение во времени и выраженность влияний на ритм сердца разных отделов ВНС, а также «регулируемость» (наличие «ответа» на регуляторные воздействия) клеток САУ и, возможно, особенности организации пейсмекерной активности клеток САУ.

В настоящее время имеются данные о «неоднородности» клеток САУ [5, 13, 14]. Обнаружено, что структура мембран клеток разных участков САУ отличается по присутствию в них и по соотношению белков, выполняющих различные функции: рецепторов, каналоформеров, ионных «помп» и антипортеров. От этих веществ зависит способность клеток САУ взаимодействовать с различными нейромедиаторами, проницаемость их биологической мембраны, длительность фаз потенциалов действия (ПД), генерируемых ими. Считается, что ритм сердца на отдельных промежутках времени задает «лидирующий сайт пейсмекеринга» — это группа клеток САУ, которая генерирует ПД, распространяющийся по САУ и другим отделам проводящей системы сердца, вызывая его сокращение. Предполагается, что функцию «лидирующего сайта пейсмекеринга» могут выполнять разные ансамбли клеток САУ и он «мигрирует», в частности, в зависимости от активности различных отделов ВНС.

Известно, что ритм сердца изменяется в онтогенезе. Это связывают с возрастной динамикой функционального состояния различных отделов ВНС. Вместе с тем ИРС, наблюдаемый при действии блокаторов рецепторов различных отделов ВНС, также изменяется с возрастом, что, возможно, связано с изменениями в онтогенезе структуры мембран клеток различных участков САУ. Другими словами, выраженность регуляторных воздействий ВНС зависит от возрастных, а возможно, и индивидуальных особенностей структуры САУ и от взаимодействия пейсмекерных клеток САУ друг с другом и нейромедиаторами ВНС.

Эти данные позволили предположить, что, выделяя при исследовании временной динамики ритма сердца промежутки времени, в которые продолжительность R–R-интервалов соответствует ИРС (т.е. промежутки времени, в которые влияния ВНС минимальны), можно будет оценить индивидуальные особенности изменения во времени влияний разных отделов ВНС, и это, вероятно, повысит информативность КИГ.

**Цель исследования** — оценить эффективность разработанного подхода к анализу ритма сердца и, используя ортостатическую пробу, определить варианты динамики ритма сердца у детей школьного возраста, отличающихся уровнем физической активности.

**Материалы и методы.** Получены цифровые записи электрокардиограмм (ЭКГ) у 74 практически здоровых детей в возрасте от 10 до 16 лет. Образованы 2 группы детей, отличающихся уровнем физической активности. В 1-ю группу (n=40) включены дети, у которых регистрацию ЭКГ проводили в летнем оздоровительном лагере (средний возраст детей —  $13,3 \pm 0,22$  года). Во 2-ю группу вошли 34 человека (средний возраст —  $12,2 \pm 0,19$  года). Дети этой группы посещали секцию футбола в детской спортивной школе. Стаж регулярных занятий данным видом спорта был 1,5–2 года.

Во 2-й группе ЭКГ регистрировали за 20–30 мин до начала тренировки.

Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией (принятой в июне 1964 г. (Хельсинки, Финляндия) и пересмотренной в октябре 2000 г. (Эдинбург, Шотландия)) и одобрено Этическим комитетом ННГУ им. Н.И. Лобачевского. От родителей пациентов получено информированное согласие.

В обеих группах ЭКГ регистрировали с помощью прибора для электрофизиологических исследований MP-36 (BIOPAC Systems, Inc., США), сопряженного с персональным компьютером [15]. Электроды располагали на запястье правой верхней конечности и на щиколотках левой и правой нижних конечностей (II стандартное отведение). Запись ЭКГ выполняли сначала в течение 2–3 мин в положении ребенка лежа на спине, а затем в течение 2–3 мин сразу после перехода в положение стоя (ортостаза). Программное обеспечение прибора давало возможность получения цифровых записей ЭКГ. На цифровой записи (300 измерений в секунду), характеризующей изменение во времени суммарной электрической активности сердца, выделяли максимумы значений электрических потенциалов поверхности тела, соответствующие R-зубцам ЭКГ, и измеряли (в секундах) продолжительность 100 следующих друг за другом R–R-интервалов. Результаты измерений протоколировали в программе Excel в виде числового ряда значений R–R-интервалов. При этом в зависимости от продолжительности интервалов каждая ячейка в столбце (строке) числового ряда 100 R–R-интервалов автоматически выделялась определенным цветом (см. рисунок). Исходя из того, что признаком наличия синусовой аритмии является различие между наибольшим и наименьшим значениями R–R-интервалов не менее 0,15–0,16 с [9], а также учитывая данные, полученные нами в этих и предыдущих исследованиях [7, 16], о том, что в области от 1,25 до 0,35 с находятся все значения продолжительности R–R-интервалов у испытуемых обеих групп в положениях лежа и стоя, мы разделили область от 1,25 до 0,35 с на промежутки (i) по 0,15 с. При длительности R–R не менее 1,1 с (промежутки i1) ячейки были окрашены в белый цвет, ячейки со значениями R–R от 1,09 до 0,95 с (i2) — в желтый цвет, со значениями от 0,94 с до 0,8 с (i3) — в зеленый, а от 0,79 до 0,65 с (i4) — в синий цвет. В связи с тем, что в следующем интервале — 0,15 с — находилось большинство значений длительности R–R-интервалов в положении стоя, в нем выделили два участка: от 0,64 до 0,58 с (i5) — серый цвет и от 0,57 до 0,5 с (i6) — красный цвет. Ячейки со значениями R–R-интервалов не более 0,49 с (i7) выделяли фиолетовым цветом, а значения, соответствующие ИРС, — оранжевым цветом.

Для количественного анализа числовых рядов 100 R–R-интервалов использовали «стандартные», принятые в КИГ параметры, а также параметры, характеризующие динамику перехода значений R–R-интервалов в разные 0,15-секундные промежутки их варьирования, которые мы предлагаем использовать для исследования характера изменения ритма сердца во времени [16].

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...
0,83	0,82	0,81	0,75	0,69	0,71	0,96	0,91	0,76	0,85	0,76	0,80	0,89	...

...	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
...	0,78	0,80	0,88	0,81	0,71	0,88	0,83	0,69	0,71	0,77	0,76	0,72	0,82

а

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...
0,53	0,54	0,55	0,57	0,54	0,52	0,55	0,56	0,59	0,54	0,57	0,57	0,57	...

...	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
...	0,61	0,59	0,60	0,53	0,55	0,57	0,53	0,59	0,55	0,58	0,59	0,60	0,59

б

Числовой ряд длительности 100 R–R-интервалов в положении лежа (а) и стоя (б); верхняя строка — номер R–R-интервала, нижняя строка — длительность в секундах

По числовым рядам R–R-интервалов в положениях лежа и стоя определяли длительность 100 R–R-интервалов ( $\Sigma 100R-R$ , с), моду ( $M_o$ , с), как наиболее часто встречающееся значение R–R-интервала, и  $A_{Mo}$ . Для определения  $A_{Mo}$  каждый из промежутков  $i$  разделяли на отрезки по 0,05 с [8] и подсчитывали количество интервалов R–R, находящихся в том же интервале длительностью 0,05 с, что и  $M_o$  ( $M_o \pm 0,25$  с).

Впервые в КИГ были подсчитаны такие параметры, как  $i_o$ ,  $N_{abc}$ ,  $N$  и  $R-R_{ИРС}$ . Параметр  $i_o$  — это количество промежутков длительностью 0,15 с, в пределах которых происходило варьирование интервала R–R. Его оценка не только позволяет оценить размах варьирования R–R-интервалов, но и дает возможность выявить изменение области их варьирования при различных условиях. Параметр  $N_{abc}$  — это количество переходов из одного промежутка  $i$  в другой, включая переходы между промежутками  $i5$  и  $i6$ . В области изменения значений  $N_{abc}$  выделяли 8 интервалов и определяли параметр  $N$ . Если в записи 100 R–R наблюдалось от 2–5 до 10 переходов из одного интервала  $i$  в другой, то считали  $N$  равным 1. При наличии 11–20 переходов  $N$  было равно 2, и так далее до  $N=8$  — более 71 перехода. Кроме этого вычисляли отношение  $N_{abc}/\Sigma 100R-R$  как параметр, косвенно отражающий частоту (в Гц) переходов R–R в различные промежутки  $i$ . Параметр  $R-R_{ИРС}$  определяли по формуле  $60/ИРС$ . Таким образом, для каждого числового ряда значений 100 R–R получали совокупность нескольких параметров и сравнивали их значения в положении лежа и стоя.

При качественном анализе числовых рядов 100 R–R считали, что наличие R–R с длительностью  $R-R_{ИРС} \pm 0,025-0,003$  с свидетельствует об отсутствии (или об очень малой выраженности) влияний ВНС. У детей обследованной возрастной группы это в среднем соответствовало диапазону значений  $0,545 \pm 0,025$  с. Предполагали, что фрагменты времени, в которые длительность R–R была больше  $R-R_{ИРС}-0,025$  с, свидетельствовали о влиянии на ритм сердца парасимпатической

нервной системы (ПНС). Считали, что при  $M_o$  в промежутке  $i1-2$  влияния ПНС очень выражены, при  $M_o$  в  $i3$  они менее сильные, при  $i4$  — умеренные, а при  $M_o$  в  $i5$  влияния ПНС проявляются слабо. Фрагменты времени, в которые длительность R–R-интервалов была менее 0,52 с, расценивали как периоды выраженных влияний симпатической нервной системы (СНС).

Для сравнения параметров, характеризующих ВРС, в разных группах использовали как параметрические методы математической статистики (расчет средних арифметических, их ошибок, проверка гипотезы о наличии количественных различий выборок с помощью критерия Стьюдента, расчет коэффициентов парной корреляции для выборок оцениваемых параметров), так и непараметрические, предназначенные для малых выборок, — точный метод Фишера (ТМФ) [17]. Непараметрические методы применяли для оценки различий параметров выборок, сформированных по значению  $M_o$  в положении лежа ( $M_{o,i}$ ) в определенном промежутке  $i$  ( $M_{o,i}$  в  $i1-2, i3, i4, i5-6, i7$ ).

**Результаты и обсуждение.** В обеих группах в положении лежа средние арифметические значения  $M_o$ ,  $\Sigma 100R-R$ ,  $N$  ( $N_{abc}, N_{abc}/\Sigma 100R-R$ ) были больше, а  $A_{Mo}$  — меньше, чем в положении стоя (уровень значимости различий средних арифметических ( $p$ ) по критерию Стьюдента ( $t$ ) не менее 0,05). Средние значения  $i_o$  только в 1-й группе в положении лежа были статистически значимо ( $p \leq 0,05$ ) большими, чем в положении стоя. В процессе сравнения индивидуальных особенностей изменения параметров при различных положениях тела было обнаружено, что переход к ортостазу сопровождался уменьшением значения  $M_o$ ,  $i_o$ ,  $N$  и увеличением  $A_{Mo}$  у 32% детей 1-й группы и у 29% детей 2-й группы. При этом параметр  $M_o$  при вставании уменьшался не менее чем на 0,05 с у 92% всех испытуемых (95% — в 1-й группе и 88% — во 2-й группе). Параметр  $N$  при вставании также уменьшался у 73% детей. У 12% детей он сохранял свое значение при ортостазе (отличался не более чем на 10 переходов из одного  $i_o$  в другой),

а у 15% — в положении стоя увеличивался. Параметр  $i_0$  при переходе в положение стоя у 37% детей не изменялся, у 49% — уменьшался, а у 14% детей — увеличивался. При этом, как правило, если значение  $i_0$  в обоих положениях тела было одинаковым, то в положении стоя промежутки варьирования R–R были смещены в область меньших значений. Например, в обоих положениях  $i_0$  равно 3, но в положении лежа R–R варьирует в промежутках  $i2-i4$ , а в положении стоя —  $i3-i5-6$  или  $i4-i7$ . Параметр Амо при переходе в положение стоя увеличивался у 60% детей, не изменялся (отличался не более, чем на 5) — у 30%, а уменьшался — у 20% детей.

Исходя из того, что параметр  $M_0$ , как наиболее часто повторяющийся результат различных регуляторных воздействий на клетки САУ, можно использовать для оценки выраженности влияний на ритм сердца разных отделов ВНС, мы посчитали, что  $M_0$  в  $i1-2$  является признаком сильных влияний ПНС, при  $M_0$  в  $i3$  они менее сильные, в  $i4$  — умеренные, а в  $i5$  влияния ПНС проявляются слабо. В положении лежа в 1-й группе несколько чаще, чем во 2-й группе,  $M_0$  была в  $i3$  (соответственно 33 и 21%), но реже наблюдалась в  $i4$  (40 и 47% соответственно). Количество детей, имеющих параметр  $M_0$  в  $i1-2$  и в  $i5-6$ , в обеих группах было приблизительно одинаковое. На основании этого можно сделать вывод, что в 1-й группе в положении лежа были более выражены влияния ПНС.

В положении стоя в обеих группах  $M_0$  по разным  $i$  распределялась приблизительно одинаково. Наиболее часто при ортостазе  $M_0$  попадала в  $i6$  — у 38% всех испытуемых; в  $i5$  — у 27%, в  $i4$  — у 24%, в  $i7$  — у 7%, а в  $i3$  — у 4%. Следовательно, можно констатировать, что у многих здоровых детей в положении стоя влияния ПНС сохранялись.

В процессе сравнения выборок параметров при значениях  $M_0$  в разных промежутках  $i$  было обнаружено, что при  $M_0$  в  $i4$  в 1-й группе чаще, чем в 2-й группе, встречаются более низкие значения Амо:  $<19$  в положении лежа и  $<36$  в положении стоя ( $p=0,05$  по ТМФ). Мы предположили, что параметр Амо в совокупности с параметрами  $i_0$  и  $N$  ( $N_{абс}$ ,  $N_{абс}/\Sigma 100R-R$ ) можно использовать в качестве показателя числа «степеней свободы» клеток САУ, отражающего индивидуальные особенности характера миграции «лидирующего сайта пейсмекеринга» неоднородных клеток САУ, регулируемость САУ, т.е. чувствительность к регуляторным воздействиям ВНС. Низкие значения Амо при относительно высоких значениях  $i_0$ ,  $N$  ( $N_{абс}$ ,  $N_{абс}/\Sigma 100R-R$ ) мы расценивали как «мягкую» (возможно, энергетически более выгодную) регуляцию, при которой влияния ВНС не уменьшают, а в некоторых случаях и увеличивают число «степеней свободы» клеток САУ. Высокие значения Амо и/или низкие значения  $i_0$ ,  $N$  ( $N_{абс}$ ,  $N_{абс}/\Sigma 100R-R$ ) считали признаком уменьшения числа «степеней свободы» клеток САУ. Причиной этого может быть или «жесткая» регуляция, подчиняющая, синхронизирующая все клетки САУ, как это может быть при  $M_0$  в  $i1-2$  и  $i3$ , или, наоборот, ослабление регуляторных влияний ПНС, как в областях значений длительности R–R-интервалов,

немного меньших «истинного» ритма САУ ( $M_0$  в  $i4$ ,  $i5$ ). Мы предположили, что Амо при  $M_0$  в области значений R–R-интервалов вблизи «истинного» ритма САУ ( $M_0$  в  $i6$ ) характеризует индивидуальные особенности клеток САУ, например количество клеточных ансамблей, способных определять ритм САУ, а при  $M_0$  в  $i7$  отражает выраженность воздействий ПНС. Поэтому наличие более высоких значений Амо при  $M_0$  в  $i4$  у многих детей 2-й группы может свидетельствовать о том, что у них воздействия ПНС и миграция «лидирующего сайта пейсмекеринга» были менее выражены.

При  $M_0$  в  $i5-6$  выявлены статистически значимые ( $p=0,05$  по ТМФ) выборки параметров  $N$ ,  $N_{абс}$ ,  $N_{абс}/\Sigma 100R-R$ . Так, в 2-й группе чаще встречались более низкие значения данных параметров. На основании этого можно сделать вывод, что и при таких значениях  $M_0$  у многих детей 2-й группы влияние ПНС было менее выражено.

Сравнение выборок значений параметров при  $M_0$  в разных промежутках  $i$  также позволило выявить различия между группами, которые заключались в том, что в обоих положениях тела в 1-й группе различия между выборками параметров встречались чаще, чем во 2-й группе (табл. 1). Кроме того, в положении стоя во 2-й группе были выражены различия параметров при  $M_0$  в  $i4$  и  $i5-6$ , отсутствующие в 1-й группе.

Наличие различий динамики ритма сердца в обеих группах также подтверждается результатами исследования выраженности парной корреляции параметров (табл. 2).

В 2-й группе корреляция между значениями большинства параметров в положении лежа и при ортостазе была более выражена, чем в 1-й группе. Кроме того, в положении лежа во 2-й группе отмечалась низкая корреляция между параметром Амо и параметрами  $M_0$ ,  $\Sigma 100R-R$ ,  $i_0$ ,  $N$ , в то время как в положении стоя в этой группе различные параметры коррелировали больше, чем в 1-й группе.

Можно предполагать, что выявленные различия коэффициентов корреляции и отличия выборок параметров при  $M_0$  в разных промежутках  $i$  в обеих группах свидетельствуют о наличии в этих группах различной вегетативной регуляции. В частности, во 2-й группе при  $M_0$  в  $i4$  и  $i5$  воздействие на САУ со стороны ПНС у многих детей менее выражено.

Исходя из представлений о наличии «истинного» ритма сердца, мы предположили, что при значениях R–R, соответствующих «истинному» ритму сердца R–R<sub>ИРС</sub> (в обследованных нами группах испытуемых — это в среднем  $0,545 \pm 0,025$  с), имеется высокая вероятность проявления в ритме сердца свойств клеток САУ. Обнаружено, что у детей 1-й группы в положении лежа в записях 100 R–R наблюдались эпизоды с длительностью R–R<sub>ИРС</sub> у 7,5% детей, а в положении стоя — у 82,5%, а в 2-й группе соответственно у 24 и 88%. Это позволяет сделать вывод о том, что в положении лежа во 2-й группе у большего количества детей влияния ПНС были менее выражены, а в положении стоя у подавляющего большинства испытуемых обеих групп значительно уменьшается влияние ВНС и в рит-

Таблица 1

Статистически значимые различия выборок параметров ( $p=0,05$  по ТМФ) при  $M_0$  в положении лежа в разных промежутках  $i$  у детей, отличающихся по уровню физической активности

1-я группа — дети с более низкой активностью									
Положение лежа					Положение стоя				
Параметр		Амо	$i_0$	N	$N_{абс}/\Sigma 100R-R$	Параметр		Амо	$i_0$
D		—	<4*	<6*	<0,48*	D		—	<3*
$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$			$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$		
1-2	6	—	2	1	1	1-2	6	—	2
3	13	—	10	9	7	3	13	—	10
D		>34*	<4*	<6*	<0,44*	D		<36*	—
$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$			$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$		
1-2	6	0	2	1	0	1-2	6	3	—
4	16	11	13	13	9	4	16	0	—
D		—	>2*	—	<0,44*	D		<48*	—
$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$			$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$		
4	5	—	0	—	0	3	13	2	—
5-6	16	—	11	—	9	4	16	10	—
D		>34*	>3*	>4*	—	D		—	>2*
$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$			$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$		
1-2	6	0	6	1	—	1-2	6	—	4
5-6	5	5	0	1	—	5-6	5	—	0

  

2-я группа — дети-спортсмены									
Положение лежа			Положение стоя						
Параметр		N	Параметр		Амо	$i_0$	N	$N_{абс}/\Sigma 100R-R$	
D		<4*	D		<30*	—	—	—	
$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$	$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$				
1-2	6	0	3	7	0	—	—	—	
4	16	19	4	16	8	—	—	—	
D		—	D		—	—	>1*	>0,23*	
$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$	$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$				
4	16	—	4	16	—	—	12	9	
5-6	5	—	5-6	5	—	—	1	0	
D		>4*	D		—	>2*	<2*	>23*	
$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$	$M_{0,vi}$	$n_0$	$n_d$				
1-2	6	5	1-2	6	—	4	0	5	
5-6	5	0	5-6	5	—	0	4	0	

Примечание. D — значение параметра, при котором различия между выборками были статистически значимы по ТМФ;  $n_0$  — общее количество членов сравниваемых выборок;  $n_d$  — количество членов сравниваемых выборок, которые были больше (>) или меньше (<) D; \* —  $p=0,05$ . Индекс Л — положение лежа.

ме сердца проявляются индивидуальные особенности взаимодействия пейсмекерных клеток SAN. Что касается влияния СНС, то с ним мы связывали эпизоды с длительностью R-R менее 0,52 с. В положении лежа они встречались в записях 100 R-R у 7,5% детей 1-й

группы и у 12% — во 2-й группе, а в положении стоя соответственно у 60 и 88% испытуемых. Это свидетельствует о несколько большей выраженности влияния СНС у детей 2-й группы в положении стоя, что, возможно, связано с занятиями спортом, а возможно, с тем,

Таблица 2

Коэффициенты парной корреляции параметров, характеризующих вариабельность ритма сердца у детей 1-й (n=40) и 2-й группы (n=34) в положениях лежа и стоя

Параметры	Группы		Параметры	Группы			
	1-я	2-я		1-я	2-я	1-я	2-я
				Лежа		Стоя	
$Mo_n \leftrightarrow Mo_c$	0,37	0,63	$Mo \leftrightarrow i_o$	0,55	0,45	0,47	0,75
$i_{on} \leftrightarrow i_{oc}$	0,26	0,44	$Mo \leftrightarrow N$	0,56	0,58	0,21	0,64
$N_n \leftrightarrow N_c$	0,08	0,24	$Mo \leftrightarrow Amo$	-0,59	-0,1	-0,34	-0,58
$Amo_n \leftrightarrow Amo_c$	0,1	0,58	$Mo \leftrightarrow \Sigma 100R-R$	0,9	0,95	0,98	0,97
$\Sigma 100R-R_n \leftrightarrow \Sigma 100R-R_c$	0,35	0,76	$i_o \leftrightarrow N$	0,61	0,52	0,12	0,66
			$i_o \leftrightarrow Amo$	-0,58	-0,21	-0,3	-0,47
			$i_o \leftrightarrow \Sigma 100R-R$	0,64	0,53	0,53	0,78
			$N \leftrightarrow Amo$	-0,66	-0,21	-0,09	-0,36
			$N \leftrightarrow \Sigma 100R-R$	0,66	0,67	0,23	0,66
			$Amo \leftrightarrow \Sigma 100R-R$	-0,65	-0,19	-0,41	-0,62

Здесь: индекс Л — положение лежа, индекс С — положение стоя.

что у них регистрировали ЭКГ непосредственно перед тренировкой.

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о перспективности предлагаемого подхода к анализу записей 100 R-R-интервалов. Этот подход обеспечивает высокую наглядность результатов кардиоинтервалографии, позволяет оценивать индивидуальные особенности динамики ритма сердца, обнаруживать в режиме реального времени изменение выраженности и характера вегетативной регуляции ритма сердца. Использование для оценки вариабельности ритма сердца предлагаемой совокупности параметров дает возможность количественно описывать изменения ритма сердца во времени у различных групп испытуемых. Алгоритм анализа записей числовых рядов, разработанный нами, может быть использован для разработки программного обеспечения полностью автоматизированной обработки результатов исследования.

**Финансирование исследования и конфликт интересов.** Исследование не финансировалось какими-либо источниками, и конфликты интересов, связанные с данным исследованием, отсутствуют.

**Литература**

1. Борисов В.И., Матусова А.П., Мудрова Л.А., Рейман А.М. Анализ вариабельности сердечного ритма в оценке состоянии больных инфарктом миокарда. Н. Новгород: НГМА; 1997.  
 2. Соколова Н.А., Иванова Н.Е., Панунцев В.С., Козырева Л.В. Оценка вегетативной дисфункции методом анализа вариабельности сердечного ритма при нетравматических внутрисердечных кровоизлияниях. Бюллетень сибирской медицины 2008; 7(5-2): 385-390.

3. Денисов А.С., Вдовина Н.В., Борисов В.И., Радаева Т.М. Вариабельность сердечного ритма у детей здоровых и с некоторыми неврологическими заболеваниями. В кн.: Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием «Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение». Ижевск; 2011; с. 411-412.  
 4. Гудков Г.В., Пенжоян М.А. Новые подходы к оценке патологической динамики вариабельности сердечного ритма плода для прогнозирования перинатальных исходов. Вестник новых медицинских технологий 2009; 16(3): 191-193.  
 5. Papaioannou V.E, Verkerk A.O., Amin A.S., de Bakker J.M. Intracardiac origin of heart rate variability, pacemaker funny current and their possible association with critical illness. Curr Cardiol Rev 2013; 9(1): 82-96, <http://dx.doi.org/10.2174/157340313805076359>.  
 6. Шлык Н.И., Сапожникова Е.Н., Кириллова Т.Г., Жужгова А.П. Об особенностях ортостатической реакции у спортсменов с разными типами вегетативной регуляции. Вестник Удмуртского университета 2012; 6-1: 114-125.  
 7. Денисов А.С., Вдовина Н.В., Борисов В.И. Вариабельность ритма сердца при различных положениях тела у детей школьного возраста, отличающихся уровнем здоровья и физической активности. Вестник ННГУ им. Н.И. Лобачевского 2013; 5-1: 153-159.  
 8. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Кукушкин Ю.А., Миронова Т.Ф., Прилуцкий Д.А., Семенов А.В., Федоров В.Ф., Флейшман А.Н., Медведев М.М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем. Вестник аритмологии 2001; 24: 69-85.  
 9. Родионов А. Клиническое значение исследования вариабельности сердечного ритма. URL: [www.medicus.ru/cardiology/spec/?cont=article&art\\_id=947](http://www.medicus.ru/cardiology/spec/?cont=article&art_id=947).

10. Соболев А.В. Методы анализа variability ритма сердца на длительных промежутках времени. М: Медпрактика 2009; 172 с.

11. Флейшман А.Н. Variability ритма сердца и медленные колебания гемодинамики: нелинейные феномены в клинической практике. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН; 2009; 194 с.

12. Снежицкий В.А. Дисфункция синусового узла: вопросы диагностики и лечения. Медицинские новости 2003; 1: 22–26.

13. Mangoni M.E., Nargeot J. Genesis and regulation of heart automaticity. *Physiol Rev* 2008; 88(3): 919–982, <http://dx.doi.org/10.1152/physrev.00018.2007>.

14. Абрамочкин Д.В. Миграция водителя ритма в синоатриальном узле и ее механизмы. Дис. ... канд. биол. наук. М; 2009.

15. R–R interval processing using BIOPAC's HRV algorithm implementation. Application note 246. URL: [http://www.biopac.com/Manuals/app\\_pdf/app246.pdf](http://www.biopac.com/Manuals/app_pdf/app246.pdf).

16. Вдовина Н.В., Денисов А.С. Варианты изменения ритма сердца у детей школьного возраста при ортостатической пробе. В кн.: От кризиса к модернизации: мировой опыт и российская практика фундаментальных и прикладных научных разработок. СПб; 2014; с. 34–39.

17. Гублер Е.В. Вычислительные методы анализа и распознавание патологических процессов. Л: Медицина; 1978.

## References

1. Borisov V.I., Matusova A.P., Mudrova L.A., Reyman A.M. *Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma v otsenke sostoyanii bo'lnykh infarktom miokarda* [Analysis of heart rate variability in assessing the state of patients with myocardium infarction]. Nizhny Novgorod: NGMA; 1997.

2. Sokolova N.A., Ivanova N.Ye., Panuntsev V.S., Kozyreva L.V. Evaluation of the vegetative dysfunction using heart rate variability analysis during nontraumatic intracranial hemorrhages. *Byulleten' sibirskoy meditsiny* 2008; 7(5–2): 385–390.

3. Denisov A.S., Vdovina N.V., Borisov V.I., Radaeva T.M. Variabel'nost' serdechnogo ritma u detey zdorovykh i s nekotorymi nevrologicheskimi zabolevaniyami. V kn.: *Materialy V Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem "Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primeneniye"* [Heart rate variability in healthy children and those having some neurological diseases. In: Materials of V All-Russian Symposium with international participation "Heart rate variability: theoretical aspects and practical application"]. Izhevsk; 2011; p. 411–412.

4. Gudkov G.V., Penzhoyan M.A. New approaches to assessment of pathological dynamics of the heart rate variability of a fetus in forecasting perinatal outcomes. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* 2009; 16(3): 191–193.

5. Papaioannou V.E., Verkerk A.O., Amin A.S., de Bakker J.M. Intracardiac origin of heart rate variability,

pacemaker funny current and their possible association with critical illness. *Curr Cardiol Rev* 2013; 9(1): 82–96, <http://dx.doi.org/10.2174/157340313805076359>.

6. Shlyk N.I., Sapozhnikova E.N., Kirillova T.G., Zhuzhgova A.P. About the peculiarities of orthostatic reaction of sportsmen with different types of vegetative regulation. *Vestnik Udmurtskogo universiteta* 2012; 6–1: 114–125.

7. Denisov A.S., Vdovina N.V., Borisov V.I. Heart rate variability in different body positions in school-age children with different health and physical activity levels. *Vestnik NNGU im. N.I. Lobachevskogo* 2013; 5–1: 153–159.

8. Baevskiy R.M., Ivanov G.G., Chireykin L.V., Gavrilushkin A.P., Dovgalevskiy P.Ya., Kukushkin Yu.A., Mironova T.F., Prilutskiy D.A., Semenov A.V., Fedorov V.F., Fleyshman A.N., Medvedev M.M. Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems. *Vestnik aritmologii* 2001; 24: 69–85.

9. Rodionov A. *Klinicheskoe znachenie issledovaniya variabel'nosti serdechnogo ritma* [Clinical value of heart rate variability study]. URL: [www.medicus.ru/cardiology/spec/?cont=article&art\\_id=947](http://www.medicus.ru/cardiology/spec/?cont=article&art_id=947).

10. Sobolev A.V. *Metody analiza variabel'nosti ritma serdtsa na dlitel'nykh promezhutkakh vremeni* [Methods of heart rate variability analysis in the long time intervals]. Moscow: Medpraktika 2009; 172 p.

11. Fleyshman A.N. *Variabel'nost' ritma serdtsa i medlennye kolebaniya gemodinamiki: nelineynye fenomeny v klinicheskoy praktike* [Heart rate variability and slow hemodynamics fluctuations: non-linear phenomena in clinical practice]. Novosibirsk: Izdatel'stvo Sibirskogo otdeleniya RAN; 2009; 194 p.

12. Snezhitskiy V.A. Dysfunction of the sinus node: problems of diagnosis and treatment. *Meditsinskie novosti* 2003; 1: 22–26.

13. Mangoni M.E., Nargeot J. Genesis and regulation of heart automaticity. *Physiol Rev* 2008; 88(3): 919–982, <http://dx.doi.org/10.1152/physrev.00018.2007>.

14. Abramochkin D.V. *Migratsiya voditelya ritma v sinoatrial'nom uzle i ee mekhanizmy*. Dis. ... kand. biol. nauk [Migration of the pacemaker rate in the sinoatrial node and its mechanisms. PhD Dissertation]. Moscow; 2009.

15. R–R interval processing using BIOPAC's HRV algorithm implementation. Application note 246. URL: [http://www.biopac.com/Manuals/app\\_pdf/app246.pdf](http://www.biopac.com/Manuals/app_pdf/app246.pdf).

16. Vdovina N.V., Denisov A.S. Varianty izmeneniya ritma serdtsa u detey shkol'nogo vozrasta pri ortostaticheskoy probe. V kn.: *Ot krizisa k modernizatsii: mirovoy opyt i rossiyskaya praktika fundamental'nykh i prikladnykh nauchnykh razrabotok* [Variants of heart rate alteration in school-age children using orthostatic test. In: From crisis to upgrading: world experience and Russian practice of fundamental and applied scientific developments]. Saint Petersburg; 2014; p. 34–39.

17. Gubler E.V. *Vychislitel'nye metody analiza i raspoznavanie patologicheskikh protsessov* [Computational methods in the analysis and recognition of pathological processes]. Leningrad: Meditsina; 1978.