

УДК 612.172.2-053.5:[612.176:612.825.8]-053.5

## ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

© 2012 г. Е. Ю. Сеницкая, Т. В. Волокитина

Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск

Сердечно-сосудистой системе кроме выполнения гидродинамических функций отводится роль согласующего звена во взаимоотношениях механизмов регуляции и информации с морфологическими структурами организма [16]. Изменения сердечного ритма в связи с механизмами нейрогуморальной регуляции можно рассматривать как результат активности различных звеньев вегетативной нервной системы, модулирующих сердечную деятельность. В свою очередь, вегетативные реакции представляют некоторую суммарную и неспецифическую характеристику регуляторных процессов. Регистрация вегетативных реакций, в том числе и изменений частоты сердечных сокращений, относится также к косвенным методам измерения информационных процессов мозга, связанных с управлением функциями организма [1, 10, 26].

Изучение интегративных показателей функционального состояния организма позволяет более эффективно оценивать организацию различных видов деятельности человека. В качестве индикатора функционального состояния организма в возрастной физиологии используются показатели центральной и периферической гемодинамики, исследованные в покое и на фоне нагрузки. Менее изучена роль спектральных характеристик variability сердечного ритма в качестве интегрального показателя функционирования системы управления [22].

Многочисленные исследования [18, 20, 26] показывают, что спектральный анализ сердечного ритма позволяет косвенно судить о состоянии сегментарных и надсегментарных структур мозга. По мнению А. Н. Флейшмана [24] и S. Akselrod [27], частотные характеристики variability сердечного ритма отражают уровень и характер метаболических процессов и особенности их нейровегетативной регуляции.

В течение последних лет накоплен обширный материал по оценке временных и частотных показателей variability сердечного ритма у взрослых и детей в состоянии относительного покоя [14, 17]. Для оценки вклада определенных звеньев системы управления физиологическими функциями в процессе регуляции деятельности применяется функциональное тестирование. При этом традиционно в качестве нагрузочной используется ортостатическая проба [12]. Следует отметить, что работы, посвященные изучению спектральных показателей в процессе выполнения как умственной, так и физической деятельности немногочисленны [3, 5, 9, 10]. Оценка спектральных параметров сердечного ритма при функциональной нагрузке у детей младшего школьного возраста представляется актуальной с учетом гетерохронно протекающих преобразований в физиологических системах и мозговых структурах.

С этой целью в настоящей работе выявлялись особенности механизмов вегетативной регуляции сердечного ритма на основе анализа спектральных характеристик variability сердечного ритма у детей младшего школьного возраста при умственной и физической деятельности.

Проведена оценка спектральных параметров variability сердечного ритма у 218 детей (111 мальчиков и 107 девочек) при различных видах тестирующих нагрузок. Выявлены функциональные особенности реагирования на умственную и физическую нагрузку регуляторных структур, управляющих работой сердца, в зависимости от возраста и уровня показателей умственной и физической работоспособности. Получены данные о гетерохронности созревания структур, отвечающих за регуляцию кардиоритма в процессе умственной и физической деятельности у младших школьников.

**Ключевые слова:** дети-северяне, variability ритма сердца, спектральные параметры variability сердечного ритма, умственная и физическая нагрузка, регуляция кардиоритма

## Методы

Проведено обследование 218 детей (111 мальчиков и 107 девочек) в возрасте от 8 до 10 лет, учащихся начальных классов общеобразовательных школ № 2 и 45 г. Архангельска. Все обследованные школьники относились к 1–2 группам здоровья, на уроках физкультуры занимались в основной группе.

Изучение variability сердечного ритма проводилось методом кардиоритмографии с использованием комплекса «ORTO Science» (ИПП «Живые системы», г. Кемерово), в комплект которого входит дистанционный беспроводной кардиодатчик. Характеристики variability сердечного ритма изучались трижды: в фоновых условиях (после предварительного отдыха, сидя), во время проведения функциональной пробы и в период восстановления. Из анализа кардиоритмограмм были исключены переходные периоды, длительность которых при физической нагрузке определялась временем стабилизации частоты сердечных сокращений (ЧСС) у исследуемого. Для оценки variability сердечного ритма во время умственной нагрузки анализировалась кардиоритмограмма, записанная в течение всего периода работы (10 мин).

Спектральные характеристики сердечного ритма вычислялись по методу быстрого преобразования Фурье, при этом оценивались параметры сердечного ритма в трех частотных диапазонах: высокочастотные колебания (2–10 сек., 0,40–0,15 Гц), HF (мс<sup>2</sup>); низкочастотные колебания (10–30 сек., 0,15–0,04 Гц), LF (мс<sup>2</sup>); сверхнизкочастотные колебания (больше 30 сек., 0,040–0,003 Гц), VLF (мс<sup>2</sup>); и по суммарной мощности спектра TF, (мс<sup>2</sup>). Для оценки вклада спектральных компонентов сердечного ритма определялась доля колебательных составляющих в общей variability спектра по формуле, предложенной Н. Б. Хаспековой [4, 23], что необходимо для сопоставления получаемых параметров, выраженных в абсолютных и относительных величинах. Вклад высокочастотной составляющей спектра в суммарную мощность, например, рассчитывался следующим образом:

$$\text{HF, \%} = (\text{HF} / \text{общая мощность}) \cdot 100.$$

Из показателей, вычисляемых по данным вариационной пульсометрии, оценивался индекс напряжения (ИН).

Для изучения реакции регуляторных систем на физическую и умственную нагрузку применялись функциональные нагрузочные тесты: корректурная проба Э. Ландольта с определением качественного (А) и количественного (Р) показателей и адаптированный по возрасту Гарвардский степ-тест [11, 13, 21].

Статистическая обработка полученного материала проводилась с использованием пакетов программ SPSS 12.0 for Windows. Применялись следующие методы: Крускала — Уоллиса (ANOVA), Манна —

Уитни (U-тест) для независимых выборок, теста Колмогорова — Смирнова, Вилкоксона для зависимых выборок. За достоверные принимали различия на уровне значимости 95 % ( $p < 0,05$ ). Для выявления связи между частотными показателями variability сердечного ритма в покое и при функциональном тестировании проводили корреляционный анализ. В качестве показателя сопряженности использовали непараметрический коэффициент ранговой корреляции Спирмена, что обусловлено разной степенью нормированности и ранжирования изучаемых показателей. При корреляционном анализе связь между показателями оценивали как сильную при абсолютном значении коэффициента корреляции Спирмена  $r \geq 0,70$ , имеющую среднюю силу при  $r$  от 0,69 до 0,50 и как слабую при  $r$  от 0,49 до 0,30. Учитывались только достоверные связи.

## Результаты

Изучение частотных составляющих variability сердечного ритма показало, что для всех обследованных детей 8–10 лет характерно наличие хорошо выраженных волн сердечного ритма во всех трех диапазонах частот, что совпадает с наблюдениями других авторов [8]. В спектре сердечного ритма младших школьников в состоянии покоя преобладали сверхнизкочастотные и низкочастотные волны, доля высокочастотных волн составила в среднем 20 %. Структура спектра у детей 8, 9 и 10 лет была практически идентичной (рис. 1). Достоверных отличий по параметрам относительной мощности между возрастными группами не выявлено.

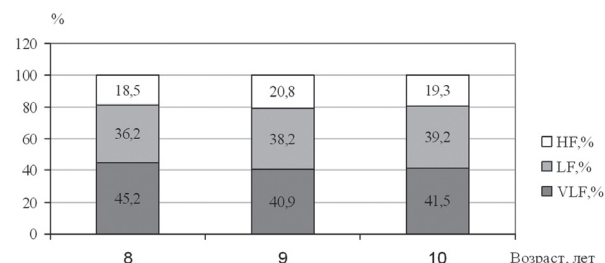


Рис. 1. Структура спектра сердечного ритма у младших школьников в покое

При сравнении абсолютных и относительных спектральных показателей сердечного ритма и значений индекса напряжения у мальчиков и девочек одного возраста не было выявлено достоверных различий, что позволило объединить их в одну группу для проведения статистических сопоставлений.

При анализе среднегрупповой реакции сердечного ритма на дозированную умственную нагрузку у детей младшего школьного возраста (табл. 1) было выявлено, что динамика спектральных показателей variability сердечного ритма имеет определенную закономерность. В покое не обнаружено достоверных различий по среднегрупповым значениям абсолютной мощности спектра у детей 8, 9 и 10 лет. Суммарная мощность спектра и абсолютные мощности всех

Таблица 1

Сопоставление динамики спектральных параметров variability сердечного ритма младших школьников при умственной нагрузке ( $M \pm m$ )

Показатель	Период измерения	Возраст, лет		
		8 (n=27)	9 (n=32)	10 (n=37)
VLF, $mc^2$	Покой	2342,23±335,15	2085,52±337,8	2231,13±247,17
	Работа	***1300,50±168,76	***965,01±101,51	***1174,96±116,35
	Восстановление	***3006,68±697,7	***2102,31±324,64	***2882,75±399,96
VLF, %	Покой	46,20±3,09	42,30±2,51	44,30±2,72
	Работа	***35,56±2,31	*32,30±2,32	***32,09±2,46
	Восстановление	**49,90±4,22	***45,12±3,74	***48,39±2,92
LF, $mc^2$	Покой	1756,59±271,31	1587,92±180,42	1814,87±178,78
	Работа	***1458,14±197,16	***1089,53±85,32*	***1494,67±155,91
	Восстановление	***2186,85±321,29	***2244,34±258,64	***2048,17±177,23
LF, %	Покой	33,78±1,91	40,11±1,82	37,42±2,14
	Работа	***40,04±1,64	40,92±2,63	40,39±1,71
	Восстановление	37,14±4,41	40,68±2,66	38,32±2,34
HF, $mc^2$	Покой	1124,85±271,94	660,88±86,35	817,85±112,7
	Работа	***560,44±87,36	***371,12±259,46*	***502,6±43,87
	Восстановление	**875,66±149,51	***807,18±120,36	***764,7±98,49
HF, %	Покой	20,01±2,43	17,51±1,81	18,26±1,82
	Работа	*15,29±1,31	13,53±0,99	14,39±1,85
	Восстановление	15,44±2,45	14,12±2,22	13,20±1,53
TF, $mc^2$	Покой	5230,00±664,39	4089,52±498,36	4881,13±383,36
	Работа	***3553,25±408,31	***2757,63±251,24	***3545,33±348,56
	Восстановление	***6656,74±335,15	***4825,56±337,69	***5826,63±523,81

Примечания: звездочками слева обозначена достоверность различий с предыдущим периодом измерений, справа — с последующим возрастом; \* —  $p < 0,05$ , \*\* —  $p < 0,01$ ; \*\*\* —  $p < 0,001$ .

диапазонов спектра достоверно снижались во время выполнения работы с последующим восстановлением исходного уровня или его превышением в послерабочем периоде ( $p \leq 0,001$ ).

Известно, что при оценке состояний, связанных с симпатической активацией, наблюдается неоднородная динамика мощности волн спектра сердечного ритма в зависимости от способа их регистрации — в абсолютных ( $mc^2$ ) или относительных единицах [26–29]. В нашем исследовании спектральные показатели, оцененные в разных единицах, изменялись в процессе тестирования неодинаково. В отличие от абсолютных значений, изменявшихся достоверно и закономерно на всех этапах тестирования, относительные величины изменялись разнонаправлено: отмечено как понижение, так и повышение вклада различных составляющих спектра в период деятельности без четкой закономерности. Поэтому, на наш взгляд, для выяснения механизмов функционирования управляющих работой сердца нервных центров более информативными оказались абсолютные значения мощности спектра, что соответствует результатам исследований, проведенных Ю. В. Шербатых [26]. В связи с выявленными закономерностями в дальнейшем приводим анализ показателей мощности спектра в абсолютных единицах.

При физической деятельности (адаптированный Гарвардский степ-тест) абсолютные мощности всех спектральных показателей и суммарная мощность спектра достоверно снижались во всех возрастных группах (табл. 2). Подобная динамика спектральных

показателей при физической нагрузке отмечена рядом авторов [20, 29]. После нагрузки значения частотных параметров восстанавливались до исходных цифр или превышали исходный.

Во всех возрастных группах наблюдалось достоверное ( $p < 0,001$ ) увеличение значений индекса напряжения при умственной и физической деятельности, причем у всех детей во время степ-теста рост показателя был значительно более выражен, чем при выполнении теста Ландольта. Так, в группе детей 8 лет ИН увеличился с  $139,96 \pm 16,20$  до  $1530,87 \pm 101,01$  при физической нагрузке и с  $116,55 \pm 18,89$  до  $146,18 \pm 19,39$  при умственной.

Использованный в качестве функциональной нагрузки невербальный тест Ландольта позволил оценить уровень умственной работоспособности младших школьников на основе оценки качественных и количественных показателей. По результатам тестирования были выделены три группы детей: с низким, средним и высоким уровнем умственной работоспособности. По результатам однофакторного дисперсионного анализа достоверных различий по всем спектральным параметрам и индексу напряжения у детей с разным уровнем умственной работоспособности в покое, во время работы и в период восстановления не выявлено, что отражает особенности механизмов вегетативной регуляции при умственной деятельности в этом возрастном диапазоне.

Для изучения механизмов регуляции деятельности был проведен анализ сопряженных связей между частотными показателями спектрального анализа и

Таблица 2

Динамика спектральных параметров вариабельности сердечного ритма младших школьников при физической нагрузке ( $M \pm m$ )

Показатель	Период измерения	Возраст, лет		
		8 (n=40)	9 (n=47)	10 (n=35)
VLF, мс <sup>2</sup>	Покой	2026,03±378,50	1822,54±212,21	1172,21±373,45
	Работа	***394,96±55,59	***639,81±107,19	***803,47±283,08
	Восстановление	***3897,52±55,59	***4109,42±775,13	***5818,52±127,24
LF, мс <sup>2</sup>	Покой	1936,59±302,57	1808,74±241,67	2032,92±262,85
	Работа	***123,84±13,32	***242,85±35,43	***359,68±102,05
	Восстановление	***2101,95±309,73	***1936,11±206,51	***2546,42±434,13
HF, мс <sup>2</sup>	Покой	1158,52±216,62	1290,23±217,16	1262,06±225,84
	Работа	***31,53±3,62	***76,94±21,19*	***274,47±124,84
	Восстановление	***1392,53±260,69	***1227,45±202,27	***1714,85±350,08
TF, мс <sup>2</sup>	Покой	5121,12±745,42	4922,25±555,51	5067,15±659,3
	Работа	***550,35±69,48	***961,23±138,04	***1430,47±441,28
	Восстановление	***7391,93±1010,63	***7274,77±1014,81	***10169,00±373,43

Примечания: звездочками справа обозначена достоверность различий со следующим возрастом; слева — с предыдущим периодом измерений; \*\*\* —  $p < 0,001$ .

индекса напряжения в группах с различным уровнем интегрального показателя умственной работоспособности. На рис. 2 представлены корреляционные плеяды показателей, характеризующие внутрисистемные отношения в процессе выполнения теста Ландольта.

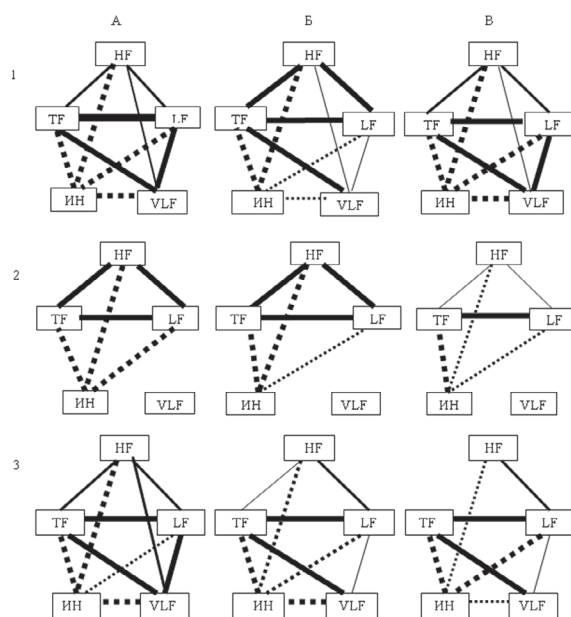


Рис. 2. Корреляционные плеяды спектральных параметров сердечного ритма младших школьников с низким (А), средним (Б) и высоким (В) уровнем интегрального показателя умственной работоспособности в фоновых условиях (1), в период выполнения теста Ландольта (2) и в период восстановления (3)

Условные обозначения:  
отрицательный коэффициент корреляции Спирмена  
 $r$  0,3–0,49 ..... ;  $r$  0,5–0,69 ..... ;  $r \geq 0,7$  .....  
положительный коэффициент корреляции Спирмена  
 $r$  0,3–0,49 ——— ;  $r$  0,5–0,69 ——— ;  $r \geq 0,7$  ———

Используемый в качестве функциональной нагрузки адаптированный Гарвардский степ-тест позволил выделить две группы детей. Первая группа — с уровнем индекса Гарвардского степ-теста (ИГСТ) ниже

среднего (56–64), вторая — с уровнем ИГСТ выше среднего (80–89) и средним (65–79). Школьники со средним значением индекса и индексом выше среднего были объединены для проведения статистических сопоставлений в одну группу, так как группа детей с уровнем ИГСТ выше среднего немногочисленна.

В фоновом состоянии и в период после работы исследуемые группы достоверно отличались по спектральным параметрам ( $p < 0,001$ ; по показателю VLF в состоянии покоя  $p < 0,05$ ): для детей с уровнем ИГСТ ниже среднего характерны более низкие значения абсолютной мощности во всех частотных диапазонах, что свидетельствует о менее интенсивном вегетативном воздействии на сердечный ритм (табл. 3). В период работы имелись достоверные отличия по показателям HF ( $p < 0,05$ ) и TF ( $p < 0,01$ ), причем более высокие значения наблюдались у детей со средним и высоким уровнем ИГСТ. Особенности различий между исследуемыми группами соотносятся с наблюдениями других авторов [8, 19], по данным которых автономный контур регуляции у детей под влиянием физической нагрузки совершенствуется в большей степени, нежели центральный. В период восстановления происходит возвращение значений спектральных показателей LF и HF к исходному уровню, а значения TF и VLF достоверно превышают исходный уровень, что соответствует описанной динамике в возрастных группах.

Результаты анализа сопряженных связей между частотными показателями спектрального анализа и индекса напряжения в группах с различным уровнем ИГСТ на этапах выполнения теста представлены на рис. 3.

Как при умственной, так и при физической активности абсолютная мощность всех спектральных показателей падала во время нагрузки, однако при физической деятельности снижение было выражено в большей степени. Так, при умственной деятельности мощность спектра в диапазонах VLF, LF и HF у восьмилетних детей уменьшалась в среднем на 44,5;

Таблица 3

Динамика спектральных параметров variability сердечного ритма младших школьников с разным уровнем ИГСТ при физической нагрузке ( $M \pm m$ )

Показатель	Период измерения	Уровень ИГСТ	
		Ниже среднего (n=65)	Средний и выше среднего (n=57)
VLF, $mc^2$	Покой	1340,77±159,21	2111,87±300,81*
	Работа	***448,76±67,11	***654,23±137,17
	Восстановление	***2603,23±539,47	***5200,17±720,70***
LF, $mc^2$	Покой	1352,36±218,85	2277,87±192,01***
	Работа	***168,73±16,28	***290,40±48,82
	Восстановление	***1397,23±188,75	***2667,85±36,25***
HF, $mc^2$	Покой	814,95±181,45	1542,95±105,47***
	Работа	***44,53±6,84	***157,89±53,85**
	Восстановление	***517,44±101,03	***2076,02±208,48***
TF, $mc^2$	Покой	3518,80±469,20	6126,12±508,23***
	Работа	***736,06±87,09	***1154,19±202,86*
	Восстановление	***4864,83±792,63	***10560,74±985,75***

Примечания: звездочками справа обозначена достоверность различий в группах; слева — с предыдущим периодом измерений; \* —  $p < 0,05$ ; \*\* —  $p < 0,01$ ; \*\*\* —  $p < 0,001$ .

16,9 и 50,2 % соответственно, а при физической деятельности — на 80,6; 93,6 и 97,4 %.

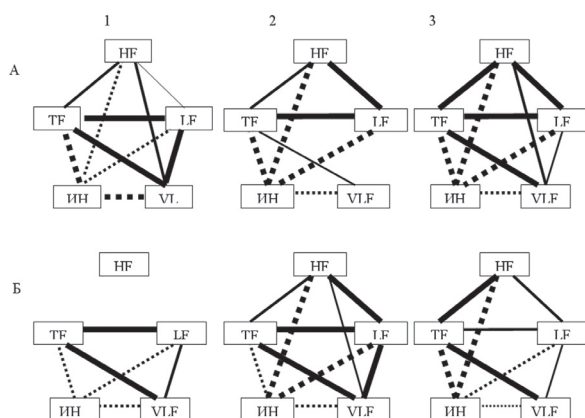


Рис. 3. Корреляционные плеяды спектральных параметров сердечного ритма младших школьников с низким (А) и средним и высоким (Б) уровнем индекса Гарвардского степ-теста в фоновом состоянии (1), в процессе выполнения теста (2) и в послерабочем периоде (3)

Условные обозначения:

отрицательный коэффициент корреляции Спирмена  
 $r$  0,3–0,49 ..... ;  $r$  0,5–0,69 ..... ;  $r \geq 0,7$  .....  
 положительный коэффициент корреляции Спирмена  
 $r$  0,3–0,49 ..... ;  $r$  0,5–0,69 ..... ;  $r \geq 0,7$  .....

### Обсуждение результатов

Выявленное падение абсолютной мощности спектральных показателей сердечного ритма при умственной и физической нагрузке может свидетельствовать об уменьшении центральных влияний на работу сердца в стрессорных условиях, что имеет определенный биологический смысл [26]. В условиях выраженной функциональной нагрузки или при стрессе все системы организма подчинены достижению цели и требованиям, предъявляемым к работе сердца, упрощаются: оно должно развить лишь максимальную производительность. При этом влияние симпатической нервной системы приводит к выравниванию ритма сердца.

Известно, что в противоположность симпатической нервной системе, обладающей способностью диффузного (необособленного) распространения импульсов сразу на несколько органов, парасимпатической системе свойственно посылать свои импульсы к одному определенному органу, в определенном направлении. Благодаря этому любой из периферических органов (сердце, печень и др.) связывается с центральной нервной системой (ЦНС) самостоятельно, обособленно, что дает ЦНС возможность избирательного изолированного действия в одном каком-либо органе, без сопутствующего действия на другие [19]. В условиях покоя влияние адренергического передатчика на сердце подавляется холинергическим, во время нагрузки парасимпатические эффекты на синусовый узел должны ослабляться для реализации симпатических влияний (выравнивание ритма сердца). Таким образом, выявленные особенности динамики спектральных показателей не противоречат основным закономерностям функционирования вегетативных центров. На фоне общей активации эрготропных механизмов в процессе умственной и физической деятельности [4], проявляющихся достоверным увеличением значений ИН, роль высших центров, генерирующих VLF- и LF-волны, направлена на создание более экономичного режима работы сердца, что соответствует задачам и возможностям парасимпатической нервной системы.

Описанную динамику параметров variability сердечного ритма у младших школьников при физической нагрузке, в отличие от умственной, можно объяснить тем, что реакция сердца на физическую нагрузку формируется в соответствии с состоянием высших отделов ЦНС и экстракардиальной нервной системы ребенка [11]. Оценивая реакцию сердца на физическую нагрузку, необходимо учитывать и уровень возбудимости ЦНС ребенка, и присущее ему усиление ориентировочной реакции. Основным типом адаптации сердца к условиям физической деятель-

ности у детей является его хронотропная реакция при малом приросте инотропной. Таким образом, физическая работа в зоне умеренной мощности вызывает в организме детей 8–10 лет значительные функциональные сдвиги, сопровождающиеся выраженным учащением сердцебиения и требующие развития максимальной работоспособности сердца. Это проявляется в выраженном уменьшении общей variability сердечного ритма (падение TF), выравнивании структуры ритма сердца (рост ИН) и снижении центральных влияний на ритм сердца (падение VLF, LF).

При изучении возрастной динамики спектральных показателей не выявлено достоверных различий между детьми 8 и 9 лет в процессе умственной деятельности и в послерабочем периоде. У десятилетних школьников по сравнению с девятилетними в период умственной деятельности отмечено достоверно более высокое абсолютное значение HF- и LF-компонентов сердечного ритма и достоверно более низкие значения индекса напряжения. В период физической работы мощность HF-волн увеличивалась от девяти к десяти годам. Отмечена тенденция к росту HF-параметра в группах детей 8 и 9 лет.

У детей с разным уровнем умственной работоспособности по результатам однофакторного дисперсионного анализа не выявлено достоверных различий по всем спектральным параметрам и индексу напряжения в покое, во время работы и в период восстановления. Это может свидетельствовать об одинаковом уровне активности сегментарных и надсегментарных структур на всех этапах тестирования у младших школьников исследуемых групп.

В то же время выявлены значимые межгрупповые особенности в группах с различным уровнем ИГСТ. Исследуемые группы достоверно отличались по спектральным параметрам и значениям индекса напряжения в фоновом состоянии: для группы с ИГСТ ниже среднего характерны более низкие значения абсолютной мощности во всех частотных диапазонах и более высокие — индекса напряжения. В период работы отмечены достоверные отличия по показателям HF и TF, причем более высокие значения наблюдаются у детей со средним уровнем ИГСТ.

Полученные результаты хорошо соотносятся с данными Н. И. Шлык [25], по которым структура сердечного ритма меняется более существенно у детей с расширенным двигательным режимом, чем при обычном двигательном режиме: расширенный режим ускоряет, а сниженный замедляет созревание системы кровообращения и ее регуляторных механизмов. Становление вегетативных регуляторных влияний с возрастом сопровождается увеличением мощности спектральных составляющих сердечного ритма, что выявлено при исследовании онтогенетических закономерностей развития параметров variability сердечного ритма [8, 25]. Учитывая результаты собственных исследований и данные вы-

шеназванных авторов, можно предположить, что для детей с оптимальным уровнем восстановления ЧСС после физической нагрузки характерен более высокий уровень созревания регуляторных систем.

При сопоставлении результатов анализа внутри-системных корреляционных взаимоотношений между спектральными параметрами сердечного ритма младших школьников при разных видах деятельности выявлено следующее. У младших школьников с низким, средним и высоким уровнем внимания в процессе умственной деятельности уменьшается количество связей между частотными диапазонами по сравнению с исходным. По данным С. В. Булатецкого [3], подобная динамика наблюдается при информационной нагрузке у взрослых с низким уровнем развития интеллекта. Таким образом, можно предположить, что реакция регуляторных систем, управляющих ритмом сердца, на умственную нагрузку детей 8–10 лет, мозговые структуры которых находятся на стадии созревания, является недостаточно сформированной, аналогичной реакции регуляторных систем взрослых с низким уровнем развития интеллекта. Дозированная умственная нагрузка переводит систему регуляции кардиоритма в неустойчивое, хаотическое состояние, при котором необходимые функциональные связи формируются недостаточно эффективно.

В процессе физической деятельности младших школьников увеличение числа корреляционных связей между спектральными параметрами кардиоритма наблюдалось в группе детей со средним и высоким уровнем ИГСТ, а в группе с низким уровнем индекса отмечено уменьшение числа корреляционных связей.

Исходя из этого, можно предположить, что усложнение структуры корреляционных взаимоотношений в процессе деятельности свидетельствует о более выраженной адаптивности процессов, протекающих в системе регуляции сердечного ритма у детей.

Известно, что длительный и гетерохронный характер созревания структур мозга определяет специфику мозговой организации в различные возрастные периоды. Основная закономерность в характере созревания мозга как многоуровневой иерархически организованной системы проявляется в том, что эволюционно более древние структуры созревают раньше [15]. Это прослеживается в ходе созревания структур мозга по вертикали — от стволовых образований к коре больших полушарий, и по горизонтали — от проекционных отделов к ассоциативным.

Наиболее поздно созревающими являются третичные зоны больших полушарий, которые у человека обеспечивают наиболее сложные формы психической деятельности. Структуры, отвечающие за регуляцию двигательной активности (система базальных ганглиев), созревают на более раннем этапе онтогенеза. Функциональная зрелость коры и подкорковых структур коррелирует с уровнем работоспособности и совершенствуется по мере возрастного развития

структурно-функциональной организации мозга [2]. Учитывая это, можно предположить, что полученные в ходе исследования данные свидетельствуют о гетерохронности созревания структур, отвечающих за регуляцию кардиоритма в процессе умственной и физической деятельности у детей 8–10 лет: структуры, ответственные за управление кардиоритмом во время физической деятельности, созревают раньше, чем структуры, регулирующие ритм сердца при умственной работе [6, 7].

Таким образом, в результате проведенной оценки спектральных параметров variability сердечного ритма у детей 8–10 лет при различных видах тестирующих нагрузок выявлены функциональные особенности реагирования на умственную и физическую нагрузку регуляторных структур, управляющих работой сердца, у детей в зависимости от возраста и уровня показателей умственной и физической работоспособности.

### Выводы

1. Динамика абсолютных мощностей всех спектральных показателей variability сердечного ритма у детей 8–10 лет при умственной и физической нагрузке имеет однонаправленный характер: показатели всех диапазонов спектра снижаются во время выполнения работы с последующим восстановлением исходного уровня или его превышением в послерабочем периоде.

2. Изменение мощности всех спектральных показателей сердечного ритма у детей 8–10 лет выражено в большей степени при физической нагрузке, чем при умственной.

3. Достоверные отличия по спектральным параметрам ( $p < 0,05$ ) между возрастными группами в период работы выявлены у девятилетних и десятилетних школьников при умственной деятельности по низкочастотной и высокочастотной составляющим спектра, а при физической — только по показателю высокочастотной составляющей, что свидетельствует об увеличении активности сегментарного отдела вегетативной нервной системы в процессе функционального тестирования от восьми к десяти годам.

4. В фоновом состоянии, во время работы и в период восстановления для группы детей с уровнем индекса Гарвардского степ-теста ниже среднего характерны достоверно более низкие значения суммарной мощности спектра и абсолютной мощности во всех частотных диапазонах ( $p < 0,001$ ; по показателю VLF в состоянии покоя  $p < 0,05$ ) по сравнению с группой детей, имеющих уровень ИГСТ средний и выше среднего.

5. Группы детей 8–10 лет с разным уровнем ИГСТ отличаются по характеру корреляционных взаимосвязей спектральных параметров в исходном состоянии, при нагрузке и в послерабочем периоде. Более адекватной реакции на физическую нагрузку сердечно-сосудистой системы младших школьников соответствует усложнение характера взаимодействия

структурных элементов регуляторных систем, управляющих ритмом сердца.

### Список литературы

1. Безруких М. М. Динамика показателей сердечного ритма у младших школьников при адаптации к учебной нагрузке // Вопросы физиологии сердечно-сосудистой системы школьников. М., 1980. С. 39–45.
2. Безруких М. М., Мачинская Р. И., Сугробова Г. А. Дифференцированное влияние функциональной зрелости коры и регуляторных структур мозга на показатели познавательной деятельности у детей 7–8 лет // Физиология человека. 1999. № 5. С. 14–21.
3. Булатецкий С. В., Бяловский Ю. Ю. Корреляционные взаимосвязи спектральных параметров ритма сердца при проведении психоэмоциональной пробы у лиц с различным уровнем интеллекта // Вестник новых медицинских технологий. 2003. № 1–2. С. 20–22.
4. Вегетативные расстройства: клиника, лечение, диагностика / под ред. А. М. Вейна. М.: Мединформагентство, 1998. 752 с.
5. Волокитина Т. В., Иваницкая Е. Ю. Исследование спектральных характеристик сердечного ритма у младших школьников при умственной деятельности // Медицинская техника. 2005. № 2. С. 27–29.
6. Волокитина Т. В., Синицкая Е. Ю. Спектральная характеристика variability сердечного ритма у детей 8–10 лет при умственной и физической деятельности. Архангельск: Поморский университет, 2008. 102 с.
7. Волокитина Т. В., Тихонова О. Н., Гринюк Н. В. Психомоторное развитие детей-северян с разным уровнем произвольного внимания // Экология человека. 2008. № 9. С. 22–26.
8. Галеев А. Р., Игишева Л. Н., Казин Э. М. Variability сердечного ритма у здоровых детей в возрасте 6–16 лет // Физиология человека. 2002. № 4. С. 54–58.
9. Гриднев В. И., Киселев А. Р., Посненкова О. М. и др. Применение спектрального анализа variability сердечного ритма для повышения диагностической значимости нагрузочных проб // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 11: Медицина. 2008. № 2. С. 18–31.
10. Данилова Н. Н., Астафьев С. Г. Изменение variability сердечного ритма при информационной нагрузке // Журнал высшей нервной деятельности. 1999. № 1. С. 28.
11. Детская спортивная медицина: руководство для врачей / под ред. С. Б. Тихвинского, С. В. Хрущева. М.: Медицина, 1991. 560 с.
12. Догадкина С. Б. Характер автономной нервной регуляции сердечного ритма и адаптационные резервы организма детей 7–10 лет // Новые исследования. 2007. Т. 1, № 13–1. С. 134–144.
13. Карпман В. Л., Белоцерковский З. Б., Гудков И. А. Тестирование в спортивной медицине. М.: Физкультура и спорт, 1988. 208 с.
14. Кушир С. М., Антонова Л. К., Кулакова Н. И. Variability ритма сердца у здоровых детей // Российский вестник перинатологии и педиатрии (Вопросы охраны материнства и детства). 2010. Т. 55, № 5. С. 37–39.
15. Лурия А. Р. Основы нейропсихологии: уч. пособие для вузов. М.: АСАДЕМIA, 2004. 380 с.
16. Нидеккер И. Г., Федоров Б. М. Проблема математического анализа сердечного ритма // Физиология человека. 1993. № 3. С. 80–87.

17. Нифонтова О. Л., Гудков А. Б., Щербакова А. Э. Характеристика параметров ритма сердца у детей коренного населения Ханты-Мансийского автономного округа // Экология человека. 2007. № 11. С. 41–44.
18. Ноздрачев А. Д., Щербатых Ю. В. Современные способы оценки функционального состояния автономной (вегетативной) нервной системы // Физиология человека. 2001. № 6. С. 95–101.
19. Ноздрачев А. Д. Физиология вегетативной нервной системы. Л. : Медицина, 1983. 296 с.
20. Сердечный ритм как критерий функциональной зрелости и степени мобилизации адаптационных возможностей / А. И. Босенко, Т. Н. Цонева, А. И. Дудник и др. // Вариабельность сердечного ритма. Теоретические аспекты и практическое применение : тезисы докл. междунар. симп., Ижевск, 2003. С. 158–159.
21. Сысоев В. П. Методика диагностики работоспособности. Тест Э. Ландольта. СПб. : Иматон, 1996. 29 с.
22. Усенко А. Б., Кузьмина К. А. Вегетативный баланс как природная предпосылка процессов психической саморегуляции // Психологические исследования: научный электронный журнал. 2011. № 3 (17). URL: <http://psystudy.ru> (дата обращения: 20.10.2012)
23. Хаспекова Н. Б. Регуляция вариативности ритма сердца у здоровых и больных с психогенной и органической патологией мозга : дис. ... д-ра мед. наук. М., 1996. 217 с.
24. Флейшман А. Н. Медленные колебания гемодинамики: теория, практическое применение в клинической медицине и практике. Новосибирск : Наука, 1999. 264 с.
25. Шлык Н. И. Особенности вариабельности сердечного ритма у детей и подростков с различным уровнем зрелости регуляторных систем организма // Вариабельность сердечного ритма. Теоретические аспекты и практическое применение : тезисы докл. междунар. симп., Ижевск, 2003. С. 52–72.
26. Щербатых Ю. В. Вегетативные проявления экзаменационного стресса : дис. ... д-ра биол. наук. Воронеж, 2001. 313 с.
27. Akselrod S. Components of heart rate variability. Basis studies // Heart Rate Variability. New York, 1995. P. 147–163.
28. Malliani A., Lombardi F., Pagani M. Power spectral analysis of heart rate variability: a tool to explore neural regulatory mechanisms // Br. Heart J. 1994. Vol. 71. P. 1–2.
29. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability: Standards of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use // Circulation. 1996. Vol. 93(5). P. 1043–1065.
30. Volokitina T. V., Ivanitskaya E. Yu. *Meditsinskaya tekhnika* [Medical equipment]. 2005, no. 2, pp. 27–29. [in Russian]
31. Volokitina T. V., Sinitskaya E. Yu. *Spektral'naya kharakteristika variabel'nosti serdechnogo ritma u detei 8–10 let pri umstvennoi i fizicheskoi deyatelnosti* [Spectral response characteristic of heart rate variability in 8–10-year-old children as a result of intellectual and physical activity]. Arkhangelsk, 2008, 102 p. [in Russian]
32. Volokitina T. V., Tikhonova O. N., Grinyuk N. V. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2008, no. 9, pp. 22–26. [in Russian]
33. Galeev A. R., Igisheva L. N., Kazin E. M. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 2002, no. 4, pp. 54–58. [in Russian]
34. Gridnev V. I., Kiselev A. R., Posnenkova O. M. i dr. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 11: Meditsina* [Bulletin of Saint-Petersburg University. Series 11: Medicine]. 2008, no. 2, pp. 18–31. [in Russian]
35. Danilova N. N., Astaf'ev S. G. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatelnosti* [Journal of Higher Nervous Activity]. 1999, no. 1, p. 28. [in Russian]
36. *Detskaya sportivnaya meditsina : rukovodstvo dlya vrachei / pod red. S. B. Tikhvinskogo, S. V. Khrushcheva* [Children's Sports Medicine. S. B. Tikhvinskii, S. V. Khrushchev (eds.)]. Moscow, 1991, 560 p. [in Russian]
37. Dogadkina S. B. *Novye issledovaniya* [New studies]. 2007, vol. 1(13–1), pp. 134–144. [in Russian]
38. Karpman V. L., Belotserkovskii Z. B., Gudkov I. A. *Testirovanie v sportivnoi meditsine* [Testing in Sports Medicine]. Moscow, 1988, 208 p. [in Russian]
39. Kushnir S. M., Antonova L. K., Kulakova N. I. *Rossiiskii vestnik perinatologii i pediatrii (Voprosy okhrany materinstva i detstva)* [Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics (Problems of maternity and child protection)]. 2010, vol. 55(5), pp. 37–39. [in Russian]
40. Luriya A. R. *Osnovy neiropsikhologii* [Principles of Neuropsychology]. Moscow, 2004, 380 p. [in Russian]
41. Nidekker I. G., Fedorov B. M. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1993, no. 3, pp. 80–87. [in Russian]
42. Nifontova O. L., Gudkov A. B., Shcherbakova A. E. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2007, no. 11, pp. 41–44. [in Russian]
43. Nozdrachev A. D., Shcherbatykh Yu. V. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 2001, no. 6, pp. 95–101. [in Russian]
44. Nozdrachev A. D. *Fiziologiya vegetativnoi nervnoi sistemy* [Vegetative Nervous System Physiology]. Leningrad, 1983, 296 p. [in Russian]
45. Bosenko A. I., Tsoneva T. N., Dudnik A. I. i dr. *Variabel'nost' serdechnogo ritma. Teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primenenie : tezisy dokl. mezhdunar. simp., Izhevsk, 2003* [Heart rate variability. Theoretical aspects and practical application : Abstract of report at International Symposium, Izhevsk, 2003], pp. 158–159. [in Russian]
46. Sysoev V. P. *Metodika diagnostiki rabotosposobnosti. Test E. Landol'ta* [Method of working ability diagnostics. Test by E. Landolt]. Saint Petersburg, 1996, 29 p. [in Russian]
47. Usenko A. B., Kuz'mina K. A. *Psikhologicheskie issledovaniya: nauchnyi elektronnyi zhurnal* [Psychological studies. Research Electronic Journal]. 2011, no. 3(17). Available at: <http://psystudy.ru> (Oct. 2012) [in Russian]

## References

1. Bezrukikh M. M. *Voprosy fiziologii serdechno-sosudistoi sistemy shkol'nikov* [Problems of schoolchildren's cardiovascular system physiology]. Moscow, 1980, pp. 39–45. [in Russian]
2. Bezrukikh M. M., Machinskaya R. I., Sugrobova G. A. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1999, no. 5, pp. 14–21. [in Russian]
3. Bulatetskii S. V., Byalovskii Yu. Yu. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Bulletin of New Medical Technologies]. 2003, no. 1–2, pp. 20–22. [in Russian]
4. *Vegativnye rasstroystva: klinika, lechenie, diagnostika. Red. Vein A. M.* [Vegetative disorders: clinical picture, treatment, diagnostics. Vein A. M. (ed.)]. Moscow, 1998, 752 p. [in Russian]

23. Khaspekova N. B. *Regulyatsiya variativnosti ritma serdtsa u zdorovykh i bol'nykh s psikhogennoi i organicheskoi patologiei mozga : dis... d-ra med. nauk* [Regulation of heart rate variability in healthy persons and sick persons with brain psychogenic and organic pathology (Doctoral thesis)]. Moscow, 1996, 217 p. [in Russian]

24. Fleishman A. N. *Medlennye kolebaniya gemodinamiki: teoriya, prakticheskoe primeneniye v klinicheskoi meditsine i praktike* [Slow fluctuations of hemodynamics: theory, practical application in clinical medicine and practice]. Novosibirsk, 1999, 264 p. [in Russian]

25. Shlyk N. I. *Variabel'nost' serdechnogo ritma. Teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primeneniye: tezisy dokl. mezhdunar. simp., Izhevsk, 2003* [Heart rate variability. Theoretical aspects and practical application : Abstract of report at International Symposium Izhevsk, 2003], pp. 52-72. [in Russian]

26. Shcherbatykh Yu. V. *Vegetativnye proyavleniya ekzamenatsionnogo stressa : dis. ... d-ra biol. Nauk* [Vegetative manifestations of examination stress (Abstract of doctoral thesis), Voronezh, 2001, 313 p. [in Russian]

27. Akselrod S. Components of heart rate variability. Basic studies. *Heart Rate Variability*. New York, 1995, pp. 147-163.

28. Malliani A., Lombardi F., Pagani M. Power spectral analysis of heart rate variability: a tool to explore neural regulatory mechanisms. *Br. Heart J.* 1994, vol. 71, pp. 1-2.

29. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability: Standards of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use. *Circulation*. 1996, vol. 93(5), pp. 1043-1065.

## ESTIMATION OF FUNCTIONAL CONDITION OF HEART RATE VEGETATIVE REGULATION IN PRIMARY SCHOOLCHILDREN

E. Yu. Sinitskaja, T. V. Volokitina

*Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia*

Spectral parameters of the heart rate variability in 218 children (111 boys and 107 girls) have been estimated with use of various test loads. There have been detected functional features of regulatory structures' (controlling the heart rate) reactions to intellectual and physical loads depending on age and levels of intellectual and physical working capacity. The data on heterochronous nature of maturation of structures responsible for the heart rate regulation during mental and physical activity in primary school children have been received.

**Keywords:** children-northerners, heart rate variability, spectral parameters of heart rate variability, intellectual and physical load, heart rate regulation

### Контактная информация:

Синицкая Елена Юрьевна — кандидат биологических наук, доцент кафедры адаптивной физической культуры и физиологии спорта, докторант кафедры физиологии и патологии развития человека Института физической культуры, спорта и здоровья ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ) имени М. В. Ломоносова»

Адрес: 163045, г. Архангельск, проезд Бадигина, д. 3. Институт медико-биологических исследований

Тел. (8182) 24-09-06

E-mail: selemur@gmail.com