

АДАПТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОНОМНОЙ НЕРВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ
У ШКОЛЬНИКОВ 8 ЛЕТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

Догадкина С. Б.

ФГБНУ «Институт возрастной физиологии РАО»

С целью оценки состояния вегетативной нервной регуляции сердечного ритма проведен временной и спектральный анализ variability ритма сердца у детей 8-9 лет в состоянии покоя и при выполнении когнитивного теста (таблица Шульте) на электронных устройствах.

Показано, что выполнение когнитивного теста на цифровых устройствах приводит к снижению парасимпатической регуляции сердечного ритма и сдвигу вегетативного баланса в сторону усиления симпатической активности. Выявлено два типа срочной адаптации вегетативных регуляторных механизмов к когнитивной нагрузке, выполняемой на цифровых устройствах. Первый тип вегетативной нервной регуляции характеризуется снижением общей плотности мощности — интегрального показателя, учитывающего степень активации как симпатических, так и парасимпатических влияний на сердечный ритм, сдвигом вегетативного баланса в сторону симпатических влияния за счет значимого снижения высокочастотных колебания при неизменной активности симпатического отдела ВНС. Второй тип реакции характеризуется повышением общей плотности мощности, значительным усилением симпатической активности и, предположительно, связан со стрессовой реакцией.

По показателю симпато-парасимпатический баланс (LF/HF) все дети были разделены в исходном состоянии, на 3 группы: с преобладанием симпатических влияний в регуляции сердечного ритма, со сбалансированной регуляцией сердечного ритма и с преобладанием парасимпатических влияний на сердечный ритм. У детей со сбалансированной регуляцией CP и с преобладанием парасимпатической активности в исходном состоянии отмечена достоверно более высокая активность парасимпатического отдела ВНС и низкая активность симпатического отдела ВНС. Наилучшими адаптационными возможностями обладают дети со сбалансированным типом регуляции сердечного ритма

Ключевые слова: детский возраст, цифровые технологии, вегетативная нервная система, симпатическая нервная система, парасимпатическая нервная система, variability сердечного ритма

Adaptive capabilities of autonomous nervous regulation in schoolchildren aged 8 years when using digital devices. In order to assess the state of autonomic nervous regulation of heart rate, a temporal and spectral analysis of heart rate variability in children aged 8-9 years at rest and when performing a cognitive test (Schulte table) on electronic devices was carried out.

It is shown that performing a cognitive test on digital devices leads to a decrease in parasympathetic regulation of the heart rate and a shift in the vegetative balance towards increased sympathetic activity. Two types of urgent adaptation of vegetative regulatory mechanisms to cognitive load performed on digital devices have been identified. The first type of autonomic nervous regulation is characterized by a decrease in the total power density — an integral indicator that takes into account the degree of activation of both sympathetic and parasympathetic influences on the heart rate, a shift in the autonomic balance towards sympathetic influences due to a significant decrease in high-frequency oscillations with constant activity of the sympathetic part of the ANS. The second type of reaction is characterized by an increase in the overall power density, a significant increase in sympathetic activity and, presumably, is associated with a stress reaction.

According to the indicator of sympatho-parasympathetic balance (LF/HF), all children were divided in the initial state into 3 groups: with a predominance of sympathetic influences in the regulation of heart rate, with balanced regulation of heart rate and with a predominance of parasympathetic influences on heart

rate. In children with balanced regulation of CP and with a predominance of parasympathetic activity in the initial state, significantly higher activity of the parasympathetic department of the ANS and low activity of the sympathetic department of the ANS were noted. Children with a balanced type of heart rate regulation have the best adaptive capabilities

Keywords: *childhood, digital technologies, autonomic nervous system, sympathetic nervous system, parasympathetic nervous system, heart rate variability*

Использование цифровых устройств в практике начальной школы создает дополнительную нагрузку на организм младшего школьника, находящегося в процессе интенсивных морфофункциональных перестроек. В связи с этим актуальным является оценка влияния работы на компьютере на организм школьника, в частности на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы.

Показано, что работа на цифровых устройствах оказывает существенное воздействие на организм ребенка, в том числе на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы [9; 13; 20], однако практически отсутствуют исследования, в которых были бы представлены данные об изменениях автономной нервной регуляции деятельности сердца у младших школьников во время работы на цифровых устройствах.

Регулируемый ВНС ритм сердечных сокращений чутко реагирует на любые воздействия и несет информацию о состоянии адаптационно-приспособительных механизмов регуляции, что позволяет проводить анализ variability сердечного ритма (BCP) в качестве информативного неинвазивного метода оценки состояния общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС. Динамика BCP в ответ на какую-либо деятельность отражает адаптивные возможности состояния организма [4; 14; 17].

В задачу нашего исследования входила оценка функционального состояния и адаптационных возможностей вегетативной нервной регуляции у школьников 8 лет при использовании компьютерных технологий обучения.

Организация и методы исследования

Исследование проводилось на базе ГБОУ «Школа № 138» г. Москвы, в котором приняли участие 80 учащихся 2 класса в возрасте 8-9 лет (среднее значение $8,90 \pm 0,06$ лет). В ходе исследования учащиеся выполняли тест «таблицы Шульце» на электронных устройствах.

На экране электронного устройства предьявлялась таблица с расположенными случайным образом от 1 до 25 числами. Испытуемые последовательно находили числа от 1 до 25, отмечая их с помощью компьютерной «мыши» на ноутбуке или нажимая пальцем на сенсорный экран планшета. В случае правильного выбора предьявлялась следующая таблица. Время выполнения задания составляло 5 минут.

Регистрацию ЭКГ во II стандартном отведении проводили с помощью прибора «Поли-Спектр-12» (Нейрософт, г. Иваново) в положении исследуемого сидя в покое (исходное состояние) и во время выполнения тестового задания (3-5 минута нагрузки). По частотно-временным показателям variability сердечного ритма (BCP) оценивали характер активности вегетативной нервной системы.

Состояние вегетативной нервной системы оценивали по частотно-временным показателям variability сердечного ритма. ВРЕМЕННОЙ МЕТОД АНАЛИЗА АНС заключаются в измерении продолжительности последовательных интервалов R-R и использовании классических статистических характеристик. Увеличение или уменьшение данных показателей свидетельствует о смещении вегетативного баланса [1; 6 и др.]

При проведении СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА АНС частотный спектр, получаемый при анализе кратковременных записей ЭКГ, согласно используемым сейчас "Стандартам измерения, физиологической интерпретации и клиническому использованию variability ритма сердца" [12] разбит на 3 диапазона: очень низкочастотный (VLF) с границами от 0 до 0,04 Гц, низкочастотный (LF) с границами от 0,04 до 0,15 Гц и высокочастотный (HF) с границами от 0,15 до 0,4 Гц.

Для оценки баланса между симпатической и парасимпатической системами использовали отношение мощностей низкочастотного и высокочастотного диапазонов спектра (коэффициент LF/HF) [15].

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием компьютерного

*АДАПТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОНОМНОЙ НЕРВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ
У ШКОЛЬНИКОВ 8 ЛЕТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ*

пакета «SPSS-23». При нормальном распределении анализируемых признаков вычисляли среднее значение (M) и стандартную ошибку среднего (m). В связи с тем, что подавляющее большинство изучаемых показателей не имело нормального распределения, использовали методы непараметрической статистики. Парное сравнение сопряженных выборок проводили с помощью критерия Уилкоксона, для сравнения независимых выборок использовали критерий Манна-Уитни.

2.3. Результаты исследования и их обсуждение

При изучении реакции вегетативной нервной системы на выполнение теста «таблицы Шульте» на цифровых устройствах у детей 8-9 лет не выявлено статистически значимых половых различий, что позволило объединить их в одну группу.

Данные временного и спектрального анализ ВРС представлены в таблице 1.

Выполнение когнитивного теста (тест Шульте) на электронных устройствах привело к изменению состояния вегетативной нервной системы у детей 8-9 лет,

Таблица 1

Показатели спектрального и временного анализа variability сердечного ритма у учащихся 8-9 лет в покое и во время выполнения когнитивного теста на цифровых устройствах

Показатели	Me		
	фон	1-5 мин	p
ЧСС	82,00 (75,25; 93,00)	88,00 (81,25; 96,00)	0,001
TP, мс ²	3238,00 (1938,75; 5662,25)	2313,50 (1621,75; 4748,50)	0,001
VLF, мс ²	1381,30 (660,25; 1779,50)	782,00 (473,75; 1148,00)	0,001
HF, мс ²	1123,50 (567,50; 2587,50)	664,50 (386,75; 1586,75)	0,000
LF, мс ²	951,50 (567,00; 1639,50)	845,50 (560,00; 1597,75)	0,264
HF nu	55,700 (44,55; 64,975)	44,60 (38,10; 56,65)	0,002
LF nu	43,45 (34,65; 55,05)	55,40 (43,35; 61,90)	0,001
LF/HF	,794 (,538; 1,247)	1,245 (,7640; 1,622)	0,002
VLF%	34,95 (22,40; 43,37)	32,25 (21,72; 39,85)	0,056
HF%	34,85(27,62; 48,35)	33,50 (26,73; 40,75)	0,311
LF%	27,25 (20,85; 34,45)	34,550 (26,125; 43,125)	0,000
RRNN	674,00 (606,25; 724,25)	643,00 (592,75; 682,50)	0,000

SDNN	50,00 (37,25; 58,75)	41,50 (32,25;59,75)	0,000
RMSSD	44,00 (29,00; 63,75)	33,50 (23,00; 51,50)	0,000
pNN50	19,95 (6,96; 39,175)	10,60(3,89; 29,70)	0,000
CV	7,39 (5,98; 8,85)	6,45 (5,43; 8,85)	0,036

Примечание: Ме- медиана

Выявлено снижение плотности общей мощности спектра (TP), SDNN, отражающего состояние механизмов регуляции, и зависящего в целом от влияния на синусовый узел симпатического и парасимпатического отделов АНС, сдвиг вегетативной нервной активности в сторону симпатических влияний (увеличение показателя LF/HF). Отмечено снижение мощности высокочастотных колебаний, RMSSD, pNN50%, характеризующих парасимпатическую активность в регуляции сердечного ритма(см.табл.1).

Таким образом, выполнение когнитивной нагрузки на цифровых устройствах привело к значимому снижению общей вариабельности сердечного ритма (снижение показателей TP, SDNN), наблюдается выраженное угнетение активности парасимпатического отдела ВНС (снижение показателей RMSSD), снижение мощности низкочастотного компонента и сдвиг вегетативной нервной системы в сторону симпатических влияний (увеличение показателя LF/HF), т.е. отмечается относительное увеличение активности симпатoadреналовой системы. Низкочастотный компонент спектра, свидетельствующий о симпатической активности, значимо не изменяется. Колебания ВСР в диапазоне VLF, отражающие нейрогуморальный и метаболический уровень регуляции, значимо снижаются (табл. 1).

Исходя из межиндивидуальных различий тонической активности вегетативной нервной системы и ее влияния на ритм сердца [8; 3; 18], можно предположить наличие нескольких типов вегетативной адаптации к когнитивной деятельности.

Как показано в работе Yamamoto Y. et al [20] и др. изменение отношения LF/HF свидетельствует об изменении симпатической активности и может характеризовать симпато-парасимпатический баланс. Используя показатель симпато-парасимпатического баланса LF/HF мы разделили всех детей согласно значениям LF/HF в исходном состоянии, на 3 группы (табл. 2.) Дети с LF/HF > 1,0 составили 1-группу (с преобладанием симпатических влияний в регуляции сердечного ритма, условно «симпатотоники»), дети с LF/HF от 0.5 до 1.0 составили 2 группу (со сбалансированной регуляцией сердечного ритма, условно «нормотоники») и дети с LF/HF<0.5 составили 3 группу (с преобладанием парасимпатических влияний в регуляции сердечного ритма, условно «ваготоники»).

Таблица 2 Динамика показателей вариабельности сердечного ритма в процессе выполнения теста на электронных устройствах в группах с разным типом вегетативной нервной регуляции. ME(Q1; Q3)

показатели	Момент Исслед.	симпатотоники		нормотоники		ваготоники	
			p		p		p
ЧСС	покой	90,00	,194	81,00	,000	76,00	,001
	нагрузка	93,00		88,00		84,00	
TP, мс ²	Покой	2605,00	,194	2683,00	,005	5114,00	,072
	нагрузка	1808,00		2063,00		3726,00	
VLF, мс ²	Покой	908,00	,016	1294,00	,005	1049,00	,549
	нагрузка	696,00		927,00		968,00	
HF, мс ²	Покой	610,00	,577	873,00	,000	2590,00	,009
	нагрузка	490,00		551,00		1550,00	
LF, мс ²	Покой	962,00	,577	749,00	,095	1058,00	,841
	нагрузка	719,00		831,00		990,00	

*АДАПТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АУТОНОМНОЙ НЕРВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ
У ШКОЛЬНИКОВ 8 ЛЕТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ*

LF nu	Покой	59,90	,853	43,80	,000	29,00	,009
	нагрузка	59,90		58,00		37,30	
LF/HF	Покой	1,52	,853	,779	,000	,409	,009
	нагрузка	1,49		1,38		,595	
VLF%	Покой	38,30	,041	41,10	,023	23,50	,549
	нагрузка	31,80		35,00		29,60	
HF%	Покой	24,40	,001	33,80	,353	53,30	,003
	нагрузка	30,80		32,900		43,35	
LF%	Покой	37,50	,095	25,80	,002	20,50	,072
	нагрузка	38,70		37,20		26,00	
RRNN	Покой	638,00	,095	690,00	,000	703,00	,000
	нагрузка	616,00		652,00		667,00	
SDNN	Покой	43,00	,012	47,00	,002	62,00	,102
	нагрузка	36,00		38,00		57,00	
RMSSD	Покой	32,00	,012	44,00	,000	63,00	,000
	нагрузка	25,00		30,00		50,00	
pNN50	Покой	11,20	,095	19,30	,000	37,90	,001
	нагрузка	4,51		8,61		20,10	

В группах детей со сбалансированной регуляцией СР и с преобладанием парасимпатической активности в исходном состоянии отмечена достоверно более высокая активность парасимпатического отдела ВНС и низкая активность симпатического отдела ВНС (LFnu) по сравнению с детьми с преобладанием симпатических влияний на СР. Суммарная активность нейрогуморальных влияний на СР характеризуется более высокими значениями у детей с преобладанием парасимпатической активности по сравнению с «симпатотониками» (табл. 3).

Выполнение когнитивной нагрузки у всех детей привело к изменению показателей ВСР (табл. 3).

При выполнении когнитивной нагрузки у детей со сбалансированным типом регуляции сердечного ритма происходит значимое снижение общей variability сердечного ритма (TP, RRNN, SDNN). У детей со сбалансированным типом регуляции СР и детей с преобладанием парасимпатической активности наблюдается выраженное снижение активности парасимпатического отдела ВНС (RMSSD), снижение мощности HF-компонента и сдвиг активности вегетативной нервной системы в сторону симпатических влияний (LFnu, LF/HF).

У детей с преобладанием симпатической активности в регуляции сердечного ритма не выявлено изменения LF/HF, у них отмечена высокая симпатическая активность в состоянии покоя. Повышенная активность симпатического отдела вегетативной нервной системы у этих детей может быть предстартовой, о чем свидетельствуют и результаты оценки симпато-парасимпатического баланса в исходном состоянии перед выполнением теста. Повышенная симпатическая активность регуляции сердечного ритма приводит к неблагоприятному течению адаптации при выполнении тестового задания.

Колебания ВСР в диапазоне VLF-спектра, отражающие нейрогуморальный и метаболический уровень регуляции, значимо снижаются в группах «нормотоников» и «симпатотоников».

Проводимый нами анализ динамики variability ритма сердца во время когнитивной нагрузки (в объединенной группе детей, выполняющих тесты на цифровых устройствах), в частности изменение общей плотности мощности — интегрального показателя, учитывающего степень активации как симпатических, так и парасимпатических влияний на сердечный ритм позволил выделить два типа адаптации вегетативных регуляторных механизмов к нагрузке (табл. 2).

Все дети были разделены на группы с увеличением и снижением общей плотности мощности (группа 2 и группа 1) в процессе выполнения тестового задания. В группе со снижением TP происходит значимое снижение активности парасимпатического отдела ВНС (значимо снижается HFmc2, RMSSDmc, pNN50,%). При этом низкочастотные колебания (LFmc2) в этой группе значимо не изменяются, отмечена лишь тенденция к увеличению LF (табл. 2). Показатель вегетативного баланса LF/HF увеличивается на 45%. В этой группе отмечено значимое снижение VLF, обусловленное, по-видимому, снижением гуморально-метаболических и церебральных эрготропных влияний.

Первый тип вегетативной нервной регуляции характеризуется сдвигом вегетативного балан-

са в сторону симпатических влияния за счет значимого снижения высокочастотных колебания при неизменной активности симпатического отдела ВНС, что совпадает с изменениями, описанными в работах Montano N et al.,2009; Wu M et al.,2015, Nakayama N. et al., 2018 и других [15; 16; 19]. Наиболее часто регистрируемым фактором, связанным с вариацией переменных ВСР, была низкая парасимпатическая активность, характеризующаяся уменьшением полосы высоких частот и увеличением полосы низких частот.

Таблица 3.

Динамика показателей variability сердечного ритма в процессе выполнения теста на электронных устройствах в группах уменьшением TP (1) и увеличением TP (2). ME(Q1; Q3)

показатели	проба	1 группа понижение TP (n=30)	2 группа Повышение TP (n=11)
TP, мс ²	фон	3698,00 (2441,00; 5312,50)	2813,00 (2313,00; 3918,00)
	5 мин	2640,00 (1881,00; 3627,50)	3212,00 (2643,00; 4966,00)
	p (ф-5 мин)	0,000	0,000
VLF, мс ²	фон	1095,00 (989,50; 1718,00)	870,00 (563,00; 1095,00)
	5 мин	948,00 (593,50; 1196,50)	1127,00 (745,00; 1277,00)
	p (ф-5 мин)	0,012	0,011
LF, мс ²	фон	941,00 (668,00;1804,75)	749,00 (597,00; 1365,00)
	5 мин	1031,5 (613,0; 1303,00)	871,00 (770,00; 1597,00)
	p (ф-5 мин)	0,959	0,013
HF, мс ²	фон	1138,00 (637,00; 2353,00)	1239,00 (469,00; 1524,00)
	5 мин	655,00 (470,00; 1288,50)	1154,00 (770,00; 1701,00)
	p (ф-5 мин)	0,001	0,131
LF/HF, у.е.	фон	0,744 (0,553; 1,34)	0,81 (0,56; 1,56)
	5 мин	1,42 (0,875; 1,945)	1,25 (0,59; 1,54)
	p (ф-5 мин)	0,000	0,445
RNNN мс	фон	679,00 (636,00; 721,50)	673,00 (645,00; 752,00)
	5 мин	659,00 (613,5; 680,00)	659 (624,00; 714,00)
	p (ф-5 мин)	0,000	0,046
SDNN мс	фон	52,0 (41,5;65,0)	45,00 (39,00; 56,00)
	5 мин	45,0 (37,00; 54,50)	55,00 (45,00; 64,00)
	p (ф-5 мин)	0,001	0,003

*АДАПТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АУТОНОМНОЙ НЕРВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ
У ШКОЛЬНИКОВ 8 ЛЕТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ*

RMSSD мс	фон	41,00 (32,50; 58,00)	41,00 (35,00; 59,00)
	5 мин	32,00 (29,00; 45,00)	40,00 (38,00; 47,00)
	p (ф-5 мин)	0,000	,431

Примечание: Ме- медиана

Во второй группе, с увеличением ТР, происходит усиление активности очень низкочастотных колебаний. Значимо повышается LF ($p < 0,01$), LF/HF ($p < 0,05$), показатели парасимпатической активности (RMSSD, рNN50, %) значимо не изменяются. Увеличение низкочастотных и очень низкочастотных колебаний в данном случае свидетельствует о существенном увеличении симпатических влияний.

Второй тип реакции связан со значительным усилением симпатической активности при выполнении компьютеризированного теста на цифровых устройствах.

Таким образом, при выполнении детьми 8-9 лет когнитивной пробы на цифровых устройствах происходит снижение показателей ВРС, характеризующих в целом функциональное состояние организма (ТР, SDNN, RRNN). Наиболее часто регистрируемым фактором, связанным с вариацией переменных ВРС, было снижение парасимпатической активности, характеризующейся уменьшением высокочастотного компонента спектра. Это подтверждается в исследованиях влияния умственного напряжения во время работы на компьютере у взрослых, проведенные A.N. Garde et al. [10], которые выявили существенное снижение активности парасимпатической нервной системы, учащение сердечного ритма и увеличение артериального давления. Быстрые изменения выраженности влияний блуждающего нерва на сердечный ритм могут свидетельствовать о высокой чувствительности автономного контура регуляции ритма сердца к импульсации от баро- и хеморецепторов, способствующие оптимальному согласованию работы дыхательной и сердечно-сосудистой систем [11].

Показатель симпатической активности, низкочастотный компонент спектра ВРС при выполнении данного теста значимо не изменяется, однако показатель вегетативного баланса (LF/HF) свидетельствует о сдвиге баланса в сторону симпатических влияний. Показано, что снижение общей мощности спектра ВРС на фоне сдвига показателя вегетативного баланса в сторону симпатических влияний, сопровождается системными процессами в ответ на сигнал о чрезмерном рассогласовании в контекстах эмоциональной, информационной и физической нагрузки [1, 7].

При выполнении данного теста отмечается выраженное снижение очень низкочастотных колебаний (VLF), что свидетельствует об ослаблении связи автономных уровней регуляции с надсегментарными, в том числе с гипофизарно-гипоталамическим уровнем.

На основании оценки реакции такого интегрального показателя, учитывающего степень активации как симпатических, так и парасимпатических влияний на сердечный ритм, как ТР выделено 2 типа реакции на предъявляемую когнитивную пробу. Первый тип вегетативной нервной регуляции, со снижением общей плотности мощности, когда сдвиг вегетативного баланса в сторону симпатических влияний происходит за счет значимого снижения высокочастотных колебания при неизменных значениях низкочастотных колебаний спектра, совпадает с таковым, описанным в работах Montano N et al., 2009 [15]; Wu M et al., 2015 [19], Nakayama N. et al., 2018 [16] и других. Наиболее часто регистрируемым фактором, связанным с вариацией переменных ВРС, была низкая парасимпатическая активность, характеризующаяся уменьшением высокочастотных колебаний спектра.

Второй тип реакции, по-видимому, менее благоприятный, связан со значительным усилением симпатической активности при выполнении компьютеризированного теста на ноутбуке. Поскольку при этом повышается активность и очень низкочастотных, и низкочастотных колебания, а одновременное повышение этих компонентов ВНС принято считать показателем симпатоадреналовой активности, можно предложить, что реакция на нагрузку в данной группе детей проходит с включением центрального контура регуляции.

Подобные типы реактивности общей плотности мощности (ТР) и индекса вегетативного баланса (LF/HF), выявлены в работе Бахчиной, 2014 [2] при чрезмерной эмоциональной нагрузке, вызванная публичным выступлением: возрастание общей мощности спектра ВРС и ИВБ, и снижение общей мощности спектра ВРС на фоне возрастания ИВБ.

Известно, что симпатическая активация обеспечивает, в первую очередь, генерализованную мо-

билизацию ресурсов организма, а парасимпатическая — локальную адаптацию отдельных органов и систем, специфично по отношению к их вовлечению в текущую деятельность [5]. В частности, быстрые изменения выраженности влияний блуждающего нерва на сердечный ритм могут свидетельствовать о высокой чувствительности автономного контура регуляции ритма сердца к импульсации от баро- и хеморецепторов, способствующие оптимальному согласованию работы дыхательной и сердечно-сосудистой систем [11].

При выполнении задания на цифровых устройствах второй тип регуляции сердечного ритма составляет 20-25%.

При напряженной регуляции необходима активация более высоких уровней управления. Это проявляется увеличением низкочастотных колебаний и появлением медленных волн более высоких порядков (VLF) в группе «симпатотоников».

Полученные результаты позволяют сделать заключение о том, что обучение с использованием новых образовательных технологий, характеризующихся повышенными умственными нагрузками, вызывает развитие достаточно сильного утомления и затрудняет протекание процессов адаптации. Лучшие адаптационные возможности выявлены у детей со сбалансированным типом регуляции СР и с преобладанием парасимпатических влияний на ритм сердца.

ВЫВОДЫ

1. Выполнение детьми 8-9 лет когнитивного теста на цифровых устройствах приводит к снижению парасимпатической активности автономной нервной регуляции, и сдвигу вегетативного баланса в сторону усиления симпатической активности.

2. Выделено два типа срочной адаптации вегетативных регуляторных механизмов к когнитивной нагрузке, выполняемой на цифровых устройствах и бумаге. Первый тип вегетативной нервной регуляции, когда сдвиг вегетативного баланса в сторону симпатических влияния происходит за счет значимого снижения высокочастотных колебания при неизменной активности симпатического отдела ВНС, характеризуется снижением общей плотности мощности. Второй тип реакции связан со значительным усилением суммарной спектральной мощности регуляторных влияний на ритм сердца, усилением симпатической активности и, предположительно, связан со стрессовой реакцией.

3. Наилучшими адаптационными возможностями обладают дети со сбалансированным типом регуляции сердечного ритма.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом — ИМЧ РАН (Санкт-Петербург).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский Р.М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В., Довгалевский П. Я., Кукушкин Ю. А., Миронова Т. Ф., Прилуцкий Д. А., Семенов А. В., Федоров В. Ф., Флейшман А. Н., Медведев М. М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (Часть 1) // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 65-87.

2. Бахчина А.В., Александров Ю. И. Сложность сердечного ритма при временной системной дифференциации // Экспериментальная психология. 2017. Т. 10. № 2. С. 114-130. 7. Психология эмоций. Тексты / Под ред. В.К. Вилюнаса, Ю.Б. Гиппенрейтер. М.: Изд-во Моск.

3. Бодров И.Г., Шишелова А. Ю., Алиев Р. Р. Типология вегетативной адаптации к когнитивной нагрузке по динамике variability сердечного ритма/ Экспериментальная психология 2018. Т. 11. № 3. С. 78-93

4. Догодкина С. Б., Ермакова И. В., Шарапов А. Н. Вегетативное и гормональное обеспечение когнитивной деятельности детей (работа на смартфоне) в зависимости от психологических особенностей

и типа вегетативной нервной активности//Новые исследования.-№ 2-2020.-С.15-33

5.Котельников С.А., Ноздрачев А. Д., Одинак М. М., Шустов Е. Б., Коваленко И. Ю., Давыденко В. Ю. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах // Физиология человека. 2002. Т 28. № 1. С. 130-143.

6.Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения. –Иваново: Иван. Гос. Мед. Академия, 2002.–290 с

7.Флейшман А.Н., Кораблина Т. В., Халиулин И. Г., Петровский С. А., Неретин А. А. Половые различия VLF100 и VLF50 спектра вариабельности ритма сердца у здоровых лиц молодого возраста и старшего с сосудистой патологией в условиях SEVEN TEST, гипервентиляции и ортостаза. Медицина в Кузбассе. 2017. 16(4). С. 23-33.

8.Шлык Н.И. Управление тренировочным процессом спортсменов с учетом индивидуальных характеристик вариабельности ритма сердца/ Физиология человека, 2016, том 42, № 6, с. 81-91

9.Al Abdi RM, Alhithary AE, Abdul Hay EW, Al-Bashir AK Objective detection of chronic stress using physiological parameters//Med biol eng comput. 2018 dec;56(12):2273-2286. Doi: 10.1007/s11517-018-1854-8

10.Garde A.N., Laursen B., Jorgensen A. N., Jensen B. R. Effects of mental and physical demands on heart rate variability during computer work //Eur.J.Appl.Physiol.- 2002.- № 87(4-5).- P. 456-461.

11.Hayano J., Yasuma F. Hypothesis: respiratory sinus arrhythmia is an intrinsic resting function of cardiopulmonary system // Cardiovascular Research. 2003. Vol. 58. Issue 1. P. 1-9.

12.Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological interpretation and clinical use// Circulation. –1996.–93. – P. 1043-1065

13.Major L., Haßler B., Hennessy S. Tablet use in schools: impact, affordances and considerations // In book: Handbook on Digital Learning for K-12 Schools. Chapter: 8. Editors: Ann Marcus-Quinn, Triona Hourigan. 2017. Pp. 115-128. DOI: 10.1007/978-3-319-33808-8_8

14.Malliani A. Association of heart rate variability components with physiological regulatory mechanisms. In: Malik M, Camm AJ, eds. Heart Rate Variability. Armonk, NY: Futura, Publishing Company Inc., 1995:173-188.

15.Montano N, Porta A, Cogliati C, Costantino G, Tobaldini E, Casali KR, et al. Heart rate variability explored in the frequency domain. A tool to investigate the link between heart and behavior. Neurosci Biobehav Rev. 2009;33(2): 71-80

16.Nakayama N., Arakawa N., Ejiri H., Matsuda R. [et al.] Heart rate variability can clarify students' level of stress during nursing simulation //plos One. 2018. V. 13, № 4 e0195280.

17.Schiweck Carmen, Lutin E., De Raedt W., Morrens Manuel Heart rate and heart rate variability as trait or state marker for depression? Insights from a ketamine treatment paradigm//European Neuropsychopharmacology. 2020. 40. 2. S145-S146

18.Takada M., Ebara T., Sakai Y., Kuwano Y. Stationarity of the heart rate variability by acceleration plethysmography: short-term measurements of healthy young males in daily life // J Hum Ergol (Tokyo). 2009. Vol. 38. № 2. P. 41-50. 29.

19.Wu M, Cao H, Nguyen HL, Surmacz K, Hargrove C. Modeling perceived stress via HRV and accelerometer sensor streams. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2015;2015: 1625-1628. Pmid:26736586

20.Yamamoto Y. Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability/ Yamamoto Y., Hughson RL, Peterson JC // J. Appl. Physiol.–1991.–71. – P. 1143-1150

REFERENCE

Baevskij R. M., Ivanov G. G., Chirejkin L. V., Dovgalevskij P. Ya., Kukushkin Yu.A., Mironova T. F., Priluckij D. A., Semenov A. V., Fedorov V. F., Flejshman A. N., Medvedev M. M. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnyh elektrokardiograficheskikh sistem (Chast' 1) // Vestnik aritmologii. 2001. № 24. S. 65-87.

2. Bahchina A.V., Aleksandrov Yu.I. Slozhnost' serdechnogo ritma pri vremennoi sistemnoi dedifferenciacii // Eksperimental'naya psihologiya. 2017. T. 10. № 2. S. 114-130. 7. Psihologiya emocii. Teksty / Pod red. V.K. Vilyunasa, Yu.B. Gippenreiter. M.: Izd-vo Mosk.

3. Bodrov I.G., Shishelova A. Yu., Aliev R. R. Tipologiya vegetativnoj adaptacii k kognitivnoj nagruzke po dinamike variabel'nosti serdechnogo ritma/ Eksperimental'naya psihologiya 2018. T. 11. № 3.

С. 78-93

4. Dogadkina S.B., Ermakova I. V., Sharapov A. N. Vegetativnoe i gormonal'noe obespechenie kognitivnoj deyatel'nosti detej (rabota na smartfone) v zavisimosti ot psihologicheskikh osobennostej i tipa vegetativnoj nervnoj aktivnosti//Novye issledovaniya.-№ 2-2020.-S.15-33

5. Kotel'nikov S.A., Nozdrachev A. D., Odinak M. M., Shustov E. B., Kovalenko I. Yu., Davydenko V. Yu. Variabel'nost' ritma serdca: predstavleniya o mekhanizmah // Fiziologiya cheloveka. 2002. T 28. № 1. S. 130-143.

6. Mihajlov V.M. Variabel'nost' ritma serdca: opyt prakticheskogo primeneniya. –Ivanovo: Ivan. Gos. Med. Akademiya, 2002.–290 s

7. Flejshman A.N., Korablina T. V., Haliulin I. G., Petrovskij S. A., Neretin A. A. Polovye razlichiya VLF100 i VLF50 spektra variabel'nosti ritma serdca u zdorovyh lic molodogo vozrasta i starshogo s sosudistoj patologiej v usloviyah SEVEN TEST, giperventilyacii i ortostaza. Medicina v Kuzbasse. 2017. 16(4). S.23-33.

8. Shlyk N.I. Upravlenie trenirovochnym processom sportsmenov s uchetom individual'nyh harakteristik variabel'nosti ritma serdca/ Fiziologiya cheloveka, 2016, tom 42, № 6, s. 81-91