

# ОСОБЕННОСТИ НЕЙРО-ЭНДОКРИННОЙ РЕГУЛЯЦИИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ АДАПТАЦИИ К УМСТВЕННОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКАМ У ШКОЛЬНИКОВ 9-ЛЕТНЕГО ВОЗРАСТА

А.Н. Шаронов, В.Н. Безобразова, С.Б. Догадкина<sup>1</sup>, Г.В. Кмить, Л.В. Рублева  
ФГНУ Институт возрастной физиологии РАО, Москва

*Методами спектрального анализа вариабельности ритма сердца, электрокардиографии, поликардиографии и биполярной реоэнцефалографии проведено комплексное исследование адаптации сердечно-сосудистой системы к физической и умственной нагрузкам детей 9 лет. Выявлены группы детей с адекватной, сниженной и неадекватной реакцией ВРС на ортопробу. Неадекватная реакция наиболее часто отмечалась у детей с преобладанием симпатической активности в регуляции СР. Показано, что краткосрочная адаптация к динамической физической нагрузке характеризуется уменьшением длительности сердечного цикла, продолжительности периода напряжения и фазы изометрического сокращения миокарда, продолжительности электрической систолы и предсердно-желудочковой проводимости. Краткосрочная адаптация мозгового кровообращения к умственной нагрузке характеризовалась двумя вариантами – благоприятным и неблагоприятным.*

**Ключевые слова:** адаптация, детский возраст, нейро-эндокринная регуляция.

**Neuroendocrine regulation of blood circulation during adaptation to mental and physical work in 9-year-old school children.** *Complex study of adaptation of cardiovascular system to physical and mental work in 9-year-old children was held using spectral analysis of heart rate variability, electrocardiography, polycardiography and bipolar rheoencephalography. There were revealed children with adequate, lower and inadequate HRV reaction to orthostatic test. Inadequate reaction was typical for children with dominant sympathetic heart rate regulation. It was shown, that short-term adaptation to dynamic physical work is characterised by reduced length of heart cycle, shorter tension period, shorter phase of myocardial contraction, electrical systole and A-V conduction. Short-term adaptation of brain blood circulation to mental work was either favourable or unfavourable.*

**Key words:** adaptation, child age, neuroendocrine regulation.

Адаптация организма ребенка к изменяющимся условиям внешней среды является процессом, регулируемым нейрогуморальными механизмами, которые с возрастом претерпевают существенные изменения. Ведущую роль в адаптации организма к воздействию факторов внешней среды играет сердечно-сосудистая система. Функциональное состояние системы кровообращения является своего рода индикатором адаптации к различным видам деятельности.

Между тем, практически отсутствуют данные о комплексных межсистемных исследованиях, включающих оценку ВРС, биоэлектрических функций миокарда,

---

Контакты: <sup>1</sup> С.Б. Догадкина – E-mail: <almanac@mail.ru>

состояния сократительной способности сердечной мышцы и кровообращения головного мозга в покое, а также в процессе умственной и физической нагрузок у детей 9-летнего возраста, что подчёркивает новизну и актуальность изучаемой проблемы и явилось задачей нашего исследования.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Проведено комплексное исследование, включавшее изучение автономной нервной регуляции сердечного ритма, сократительной функции, биоэлектрических характеристик миокарда и церебральной гемодинамики у детей 9 лет.

Обследовано 40 детей 9 лет, отнесенных к I-II группам здоровья, учащихся общеобразовательной школы № 27 г. Москвы. Исследование проводили с письменного согласия родителей в первой половине дня (с 9 до 13 часов) – периоде наибольшей активности физиологических функций.

Изучение автономной нервной регуляции сердечного ритма (СР) проводили методом спектрального анализа вариабельности ритма сердца (ВРС) [7]. Возбудимость и проводимость миокарда изучали с помощью метода электрокардиографии. Регистрация ЭКГ осуществлялась в 12 общепринятых отведениях. Длительность интервалов и зубцов ЭКГ определялась по данным II стандартного отведения. Сократительная функция миокарда изучалась методом поликардиографии. Проводилась синхронная регистрация ЭКГ во II стандартном отведении, фонокардиограммы и каротидной сфигмограммы с помощью прибора Поли-Спектр-12. Анализ поликардиограммы базировался на сопоставлении элементов записанных кривых во времени по методике В.Л. Карпмана [4]. При изучении возбудимости, проводимости и сократительной функции миокарда в качестве функциональной пробы в работе была использована динамическая нагрузка: модифицированная проба Летунова (20 приседаний за 30 секунд). Регистрация всех параметров ЭКГ и ПКГ производилась в исходном состоянии и сразу после нагрузки.

Изучение мозгового кровообращения проводилось методом биполярной реоэнцефалографии [13] посредством компьютерного реографа "Реоспектр" в бифронтальном (F-F) и биокципитальном (ОО) отведениях, отражающих кровообращение лобных и затылочных областей больших полушарий головного мозга. Измерение артериального давления (АД) проводилось по методу Н.С. Короткова. В качестве функциональной пробы использовалась умственная нагрузка – устный счет в течение 10 минут. Регистрация изучаемых параметров проводилась в состоянии покоя и на 10-й минуте выполнения задания.

Экспериментальные данные обработаны общепринятыми методами вариационной статистики. Степень достоверности различий между показателями в исходном состоянии и после нагрузки определялась по критерию Стьюдента. Во всех случаях граничным считался уровень значимости при  $p < 0,05$ .

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Проведенное исследование позволило оценить состояние автономной нервной регуляции у детей 9 лет. Результаты анализа спектральной структуры ВРС в покое и в ответ на ортостатическую пробу представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели спектрального анализа variability сердечного ритма у детей 9 лет в состоянии покоя и в ответ на ортостатическую пробу ( $M \pm m$ )

Группы	Период ис-след.	TP, мс <sup>2</sup>	VLF, мс <sup>2</sup>	LF, мс <sup>2</sup>	HF, мс <sup>2</sup>	LF п.у.	HF п.у.	LF/HF п.у.	VLF %	LF %	HF %
Общая	покой	4989,8 ±693,5	1183,9 ±235,2	1359,4 ±191,8	2446,4 ±432,0	40,9 ±3,1	59,0 ±3,1	0,836 ±0,114	25,3 ±2,7	29,4 ±2,0	45,5 ±3,5
	орто-стаз	5222,7 ±881,8	1574,3 ±327,7	2069,8# ±409,6	1558,6 ±439,7	60,9# ±2,5	39,0# ±2,5	1,873# ±0,205	32,9# ±2,3	40,5# ±2,0	26,4# ±2,0
М	покой	4068,6 ±748,8	1101,0 ±288,4	1224,4 ±328,6	1743,0 ±601,1	45,3 ±4,6	54,6 ±4,6	1,021 ±0,195	29,6 ±4,4	30,9 ±3,2	40,0 ±4,8
	орто-стаз	4268,0 ±867,9	1390,9 ±263,2	1837,6 ±528,2	999,3# ±187,1	61,8# ±3,9	38,1# ±3,9	1,987# ±0,318	35,2 ±3,2	40,1#± 3,3	24,6# ±2,4
Д	покой	5911,0* ±873,1	1266,7 ±382,3	1494,3 ±205,7	3149,8* ±577,8	36,6 ±3,9	63,4 ±3,9	0,652 ±0,103	21,1 ±2,9	27,8 ±2,6	51,0 ±4,8
	орто-стаз	6177,5 ±1992,8	1757,7 ±610,5	2301,9# ±641,3	2118,0 ±847,6	60,0# ±3,4	39,9# ±3,4	1,759# ±0,267	30,7# ±3,4	41,0# ±2,5	28,1# ±3,4

Примечание: М – мальчики; Д – девочки; \* – достоверность различий между показателями у мальчиков и девочек; # – достоверность различий между показателями в покое и во время ортостаза.

В целом у большинства детей 9 лет отмечено хорошее состояние автономной нервной регуляции сердечного ритма (СР). У этих детей ВРС характеризуется хорошо выраженными волнами короткого, длинного и очень длинного периодов. Наибольший вклад в регуляцию СР у детей 9 лет вносит парасимпатическая система (фоновая ваготония покоя). Данный вариант регуляции СР отражает хорошее физическое состояние и стрессоустойчивость организма.

Установлены достоверные половые различия в значениях частотных и временных показателей ВРС (табл. 1). Так, общая плотность мощности частотных колебаний достоверно выше у девочек 9-летнего возраста в сравнении с мальчиками за счет достоверно более высоких величин показателей высокочастотных колебаний ВРС. Показатель отношения низкочастотных колебаний к высокочастотным достоверно ниже у девочек 9 лет, что свидетельствует о преобладании парасимпатических влияний в регуляции сердечного ритма (табл. 1)

Преобладание парасимпатического компонента в структуре ВРС девятилетних девочек согласуется с представлением об адаптационно-трофическом действии блуждающих нервов на сердце и является показателем индивидуальной устойчивости здорового организма к стрессирующим факторам [1; 7].

Таким образом, у всех обследованных детей частотный спектр ВРС характеризовался хорошо выраженными волнами высокой, низкой и очень низкой частот. При этом у большинства обследованных школьников суммарная мощность спек-

тра в диапазоне высоких частот доминировала над величинами мощности спектра в очень низкочастотном диапазоне. Это свидетельствует о преобладании модулирующего симпато-парасимпатического регуляторного влияния над гуморально-метаболическими и центральными эрготропными регуляторными стимулами.

Выявленное преобладание парасимпатических влияний на сердечный ритм и более высокая суммарная активность нейрогуморальных влияний на сердечный ритм у девочек 9 лет также свидетельствуют о большей устойчивости девочек 9 лет к стрессирующим факторам в сравнении с мальчиками этого же возраста, что совпадает с данными исследований E. Longin et al. [15].

Оценка изменений спектральных характеристик сердечного ритма (табл. 1) показала, что у детей при проведении ортостатической пробы наблюдается разнонаправленная динамика изменения частотных составляющих спектра. Выявлено существенное увеличение мощности очень низкочастотного и низкочастотного компонентов и достоверное снижение мощности высокочастотного компонента спектра сердечного ритма (табл. 1). Следовательно, реакция на ортостаз характеризуется существенным увеличением симпатической и снижением парасимпатической активности АНС. У детей обоего пола выявлен существенный сдвиг автономной нервной регуляции в сторону симпатических влияний. Все это свидетельствует об адекватной реакции АНС на ортостатическое воздействие [3; 7; 17].

Отношение LF/HF, характеризующее симпато-парасимпатический баланс [16; 18], использовано нами при разделении детей на три группы. Дети с LF/HF > 1,0 составили 1-группу (с преобладанием симпатических влияний в регуляции сердечного ритма), дети с LF/HF от 0,5 до 0,9 составили 2 группу (со сбалансированной регуляцией сердечного ритма) и дети с LF/HF < 0,5 составили 3 группу (с преобладанием парасимпатических влияний в регуляции сердечного ритма).

В таблице 2 приведены показатели временного и спектрального анализа ВРС у детей 9 лет с разным типом регуляции сердечного ритма.

Дети 1-й группы (симпатотоники) характеризуются достоверно более низкой общей мощностью спектра в сравнении с детьми 2-ой (нормотоники) и 3-ей (парасимпатотоники) групп за счет более низкой мощности высокочастотного компонента вариабельности ритма сердца (HF). Структура симпатико-парасимпатического воздействия на сердечный ритм симпатотоников характеризуется большим вкладом в регуляцию сердечного ритма центральных эрготропных и симпатических влияний в сравнении с детьми, у которых преобладают парасимпатические влияния. Реакция сердечного ритма на ортостатическую пробу у детей с исходной симпатикотонией характеризуется отсутствием достоверных изменений как низкочастотных так и высокочастотных колебаний, сравнительно более низкими значениями индекса  $K_{30:15}$  ( $0,085 \pm 0,028$ ), что свидетельствует о неадекватной реакции на ортопробу и весьма низких адаптационных возможностях у детей данной группы [7].

У детей с номотоническим (2-я группа) и ваготоническим (3-я группа) типами автономной нервной регуляции, напротив, отмечена адекватная реакция сердечного ритма на пробу с ортостазом, которая сопровождалась снижением высокочастотных компонентов, наряду с увеличением спектра низкочастотных колебаний сердечного ритма (табл. 2).

Таблица 2

Показатели спектрального анализа variability сердечного ритма у учащихся 9 лет с разным типом автономной нервной регуляции в покое и во время ортостаза ( $M \pm m$ )

Группа	Период исследования	TP мс <sup>2</sup>	VLF мс <sup>2</sup>	LF мс <sup>2</sup>	HF мс <sup>2</sup>	LF п.п.	HF п.п.	LF/HF п.п.	VLF %	LF %	HF %
1	Покой	2903,8 ±583,2	1036,3 ±380,6	1087,5 ±183,7	780,0 ±146,7	58,1 ±2,3	41,8 ±2,3	1,469 ±0,17	33,0 ±4,4	38,8 ±2,8	29,0 ±2,7
	Орто-стаз	2773,0 ±330,9	993,6 ±233,5	1170,3 ±144,8	609,3 ±81,4	65,2 ±3,5	34,7 ±3,5	2,165 ±0,36	33,8 ±4,4	42,4 ±2,7	23,6 ±3,1
2	Покой	6682,5 ±560,6 *	1773,7 ±522,0	1914,8 ±451,4	2993,7 ±300,2 *	39,6 ±1,8 *	60,3 ±1,8 *	0,669 ±0,05 *	27,3 ±4,9	28,8 ±2,3 *	43,8 ±3,3 *
	Орто-стаз	5265,6 ±602,6	1524,4 ±308,8	2450,0 ±182,7	1291,3 ±314,6 #	62,2 ±3,7 #	37,7 ±3,7 #	1,878 ±0,29 #	31,8 ±3,2 #	42,4 ±3,2 #	25,7±2, 7 #
3	Покой	5117,6 ±557,6 *	662,3 ±91,8 *	985,7 ±195,6 *	3469,5 ±318,0 *	23,4 ±2,4 *	76,5 ±2,4 *	0,316 ±0,04 *	14,9 ±2,1 *	19,6 ±1,8 *	65,4 ±3,5 *
	Орто-стаз	7728,2 ±691,4 #	2278,7 ±549,4 #	2572,7 ±356,4 #	2818,7 ±450,1	53,9 ±5,0 #	46,0 ±5,0 #	1,474 ±0,17 #	33,7 ±4,4 #	35,7 ±4,3 #	30,4 ±4,3 #

Примечание: 1 группа – симпатоники; 2 группа – нормотоники; 3 группа – ваготоники; \* – достоверность различий между показателями в группах детей с разным типом АНС # – достоверность различий между показателями в покое и во время ортостаза

Таким образом, состояние симпато-парасимпатического баланса АНС во многом определяет адаптационные возможности ребенка. Дети с преобладанием симпатотонических нервных влияний на ритм сердца характеризуются относительно сниженными адаптационными возможностями организма.

Проведенный анализ ЭКГ показал, что абсолютные значения большинства показателей ЭКГ обследованных детей в целом соответствуют возрастным нормативам, представленным в литературе [8; 10; 11]. Данные о длительности интервалов и амплитуде зубцов ЭКГ представлены в таблицах 3, 4.

Индивидуальный анализ электрокардиограмм 9-летних детей позволил выявить ряд особенностей, характеризующих ЭКГ детей данного возраста в ходе нагрузочной пробы динамического характера.

Под влиянием динамической нагрузки у детей 9 лет наблюдались следующие изменения амплитуды зубцов Т и R (по данным II стандартного отведения): амплитуда зубца Т у мальчиков повышалась в 35 % случаев, снижалась – в 65 % случаев; у девочек – в 11 % случаев повышалась, в 89 % – снижалась; амплитуда зубца R у мальчиков повышалась в 22 % случаев, в 78 % случаев – снижалась; у дево-

чек в 22 % случаев – повышалась, в 78 % случаев – снижалась. В целом по группе в ответ на динамическую нагрузку наблюдается уменьшение амплитуды зубца R во II стандартном отведении и грудных отведениях V5 (достоверно только у мальчиков) и V6 (достоверно у мальчиков и девочек) и достоверное уменьшение зубца T во II стандартном отведении и грудных отведениях V5-V6. Выявленные изменения возбудимости миокарда в ответ на физическую нагрузку обусловлены особенностями морфофункционального созревания сердечной мышцы, а также особенностями регуляторных влияний на миокард со стороны автономной нервной системы в данном возрасте.

Также под влиянием физической нагрузки отмечено достоверное уменьшение длительности сердечного цикла, предсердно-желудочковой проводимости и электрической систолы. Данные изменения в ответ на нагрузку свидетельствует об усилении влияний на миокард со стороны симпатического отдела автономной нервной системы.

Таблица 3

*Временные характеристики основных зубцов и интервалов ЭКГ детей 9-летнего возраста в покое и при нагрузке ( $M \pm m$ )*

Пол	Период исслед.	Показатели						
		R-R, с	P-Q, с	QRS, с	QT, с	P, с	Q, с	R, с
М	покой	0,746± 0,0521	0,134± 0,0044	0,094± 0,0014	0,368± 0,0174	0,099± 0,0023	0,016± 0,0029	0,051± 0,0052
	нагрузка	0,689±* 0,0471	0,127±* 0,0033	0,092± 0,0013	0,346±* 0,0175	0,098± 0,0014	0,016± 0,0029	0,046± 0,0046
Д	покой	0,797± 0,0521	0,129± 0,0044	0,092± 0,0014	0,381± 0,0174	0,097± 0,0023	0,016± 0,0029	0,052± 0,0052
	нагрузка	0,728±* 0,0471	0,128± 0,0033	0,091± 0,0013	0,354±* 0,0175	0,098± 0,0014	0,016± 0,0029	0,049± 0,0046

*Примечания: параметры указаны по данным II стандартного отведения, \* – достоверность различий по сравнению с покоем.*

Таблица 4

*Амплитудные характеристики основных зубцов ЭКГ детей 9-летнего возраста в покое и при нагрузке ( $M \pm m$ ) (по данным II стандартного отведения)*

Пол	Состояние	Показатели				
		P, мм	Q, мм	R, мм	S, мм	T, мм
М	Покой	1,138 ±0,066	-0,376 ±0,062	11,569 ±0,517	-1,069 ±0,185	4,053 ±0,174
	Нагрузка	1,269 ±0,071	-0,392 ±0,062	11,246 ±0,518	-1,338 ±0,190	3,507* ±0,171
Д	Покой	1,102 ±0,066	-0,246 ±0,062	8,661 ±0,517	-1,200 ±0,185	3,884 ±0,174
	Нагрузка	1,284 ±0,071	-0,2692 ±0,062	8,238 ±0,518	-1,530 ±0,190	3,230* ±0,171

*Примечания: см. табл. 5.*

В исследовании была также изучена частота встречаемости некоторых функциональных изменений ЭКГ у детей 9 лет. У значительной части детей наблюдались различные нарушения хронотропной функции миокарда. Синусовая аритмия отмечалась у 35 % детей обоего пола. Синусовая тахикардия была отмечена 21 % мальчиков и 14 % девочек. Нарушения внутрижелудочковой проводимости регистрировались у 7 % мальчиков и 14 % девочек. Нарушения процессов реполяризации миокарда наблюдались у 12 % детей.

Следовательно, наиболее частыми в данном возрасте являются различные нарушения хронотропной функции миокарда. Высокая распространенность различных функциональных нарушений сердечного ритма является одной из отличительных особенностей хронотропной функции сердца в детском возрасте [5].

Нарушения сердечного ритма могут быть связаны с процессами формирования механизмов вегетативной регуляции сердца. В частности, тахикардия на данном этапе онтогенеза возможно обусловлена положительным хронотропным эффектом со стороны симпатических нервов. Функциональные изменения миокарда, такие как нарушения внутрижелудочковой проводимости, нарушения процессов реполяризации миокарда связаны, вероятно, с морфологическим и функциональным созреванием сердечной мышцы на данном этапе онтогенеза, а также с гетерохронностью процессов роста и развития сердца.

При изучении **реакции сократительной функции миокарда** на физическую динамическую нагрузку у детей 9 лет было отмечено существенное снижение длительности сердечного цикла, продолжительности периода напряжения и фазы изометрического сокращения миокарда (табл. 5).

Таблица 5

*Изменение длительности фаз сердечного цикла  
при физической динамической нагрузке у детей 9 лет (M±m)*

ПАРАМЕТРЫ									
Период исслед.	R– R, мс	ФАС, мс	ФИС, мс	T, мс	E, мс	Sm, мс	So, мс	Sэ, мс	Д, мс
Исход. сост– е	769,3± 15,4	47,3± 0,88	31,1± 0,88	78,6± 1,29	241± 4,33	272,5± 4,39	319,5± 4,62	332,4± 4,69	448± 22,6
Конец нагрузки	746,7± 17,6*	46,6± 0,79	27,4± 0,86*	74,0± 1,10*	244,4± 4,6	271,7± 4,43	318,6± 4,81	328,0± 4,44	427,7± 20,1

*Примечание:* \* – достоверность различий показателей между исходным состоянием и нагрузкой.

Помимо этого у детей данного возраста в ответ на физическую динамическую нагрузку отмечено достоверное увеличение внутрисистолического показателя (t=2,47) и снижение индекса напряжения миокарда (t=2,2).

Основным механизмом уменьшения длительности сердечного цикла при физической работе считают сочетанное снижение тонуса блуждающих нервов и увеличение симпатических влияний на сердце.

Отмеченное достоверное снижение длительности сердечного цикла, происходящее за счет уменьшения продолжительности периода напряжения без существенного изменения времени диастолы, свидетельствует о благоприятной реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку, поскольку период расслабления является одним из ведущих факторов саморегуляции сокращения миокарда и восстановления энергетических запасов в мышечных клетках. Выявленное уменьшение продолжительности сердечного цикла без существенного изменения времени диастолы не нарушает процесса восстановления энергетических ресурсов миокарда и обуславливает эффективность последующей систолы [6].

Повышение внутрисистолического показателя и уменьшение индекса напряжения миокарда на физическую динамическую нагрузку свидетельствует об увеличении эффективности сокращения миокарда.

По характеру изменений продолжительности отдельных фаз при различных нагрузках В.Л. Карпманом [4] было выделено пять фазовых синдромов, при этом для физиологии основное значение имеют два из них – синдром гиподинамии и гипердинамии миокарда. В настоящем исследовании при индивидуальном анализе было установлено, что у 23 % детей на физическую динамическую нагрузку отмечался фазовый синдром гипердинамии миокарда, который проявлялся в укорочении фазы изометрического сокращения, снижении времени изгнания крови и механической систолы. У 15 % детей отмечен фазовый синдром гиподинамии миокарда, т. е. удлинение периода напряжения за счет фазы изометрического сокращения, снижение времени изгнания крови и механической систолы, а также увеличение индекса напряжения миокарда. У остальных детей фазовый синдром на нагрузку не определен, изменения показателей структуры сердечного цикла носили разнонаправленный характер.

Предполагается, что гипердинамический синдром перестройки сократительной функции миокарда является результатом повышенной активности симпатического отдела вегетативной нервной системы, а гиподинамический – парасимпатического отдела [6]. Гипердинамический тип реакции является более благоприятным и свидетельствует о хороших функциональных резервах сердца [4].

Для характеристики **функционального состояния мозгового кровообращения** детей 9 лет использована умственная нагрузка.

Умственная нагрузка вызывала у всех испытуемых 9 лет достоверное снижение величин дикротического индекса (табл. 6). Следовательно, у испытуемых 9 лет краткосрочная адаптация мозгового кровообращения к умственной нагрузке характеризовалась существенным снижением тонуса мозговых артерий малого калибра, что можно расценивать, как проявление реакции ауторегуляции мозгового кровотока, направленной на поддержание адекватного кровоснабжения нервной ткани при повышении ее функциональной активности. [9]

Проведенный индивидуальный анализ изменений показателя АЧП при умственной нагрузке позволил разделить детей 9 лет на группы. Группа 1 характеризовалась увеличением АЧП в бифронтальном и биокципитальном отведениях (40 % испытуемых); группа 2А – увеличением АЧП в бифронтальном отведении (11 % испытуемых); группа 2Б – увеличением АЧП в биокципитальном отведении (13 % испытуемых); группа 3 – снижением АЧП в бифронтальном и биокципитальном отведениях (36 % испытуемых).

При устном счете (табл. 6) у испытуемых группы 1 отмечено достоверное уве-

личение АЧП, Аарт, а также снижение а/Т в бифронтальном и биокципитальном отведениях РЭГ. В ответ на нагрузку у испытуемых групп 2А и 2Б наблюдалось достоверное увеличение АЧП и снижение а/Т соответственно в бифронтальном или биокципитальном отведениях. У детей группы 3 при устном счете отмечено уменьшение величин АЧП, Аарт и повышение а/Т во всех отведениях РЭГ.

Таблица 6

Результаты индивидуального анализа показателей кровообращения головного мозга при умственной нагрузке у детей 9 лет ( $M \pm m$ )

Группа	Период исследования	Показатели							
		АЧП, у.е.		di, %		а/Т, %		А арт, Ом	
		FF <sub>1</sub>	ОО <sub>1</sub>	FF <sub>1</sub>	ОО <sub>1</sub>	FF <sub>1</sub>	ОО <sub>1</sub>	FF <sub>1</sub>	ОО <sub>1</sub>
1	И.С.	3,6± 0,15	3,2± 0,12	64,7± 3,16	63,1± 2,14	25,0± 0,97	25,3± 1,02	0,208± 0,014	0,199± 0,011
	У.Н.	4,4± 0,11*	3,9± 0,12*	52,3± 2,24*	51,4± 2,57*	18,6± 1,35*	20,6± 0,82*	0,220± 0,011*	0,215± 0,012*
2А	И.С.	3,1± 0,17	3,4± 0,16	65,2± 2,16	61,6± 3,11	25,8± 0,82	25,9± 1,79	0,210± 0,010	0,198± 0,014
	У.Н.	4,0± 0,12*	3,0± 0,22	52,4± 2,32*	51,2± 2,11*	20,2± 0,73*	24,2± 1,98	0,208± 0,008	0,197± 0,014
2Б	И.С.	3,4± 0,14	3,1± 0,11	64,6± 2,50	63,5± 2,10	25,1± 0,78	25,5± 0,71	0,211± 0,011	0,194± 0,013
	У.Н.	3,6± 0,18	3,6± 0,14*	52,2± 2,42*	53,2± 2,26*	24,8± 0,69	20,5± 0,74*	0,210± 0,010	0,198± 0,009
3	И.С.	3,6± 0,14	3,3± 0,12	66,1± 1,67	65,4± 2,11	25,3± 0,83	25,6± 0,86	0,214± 0,008	0,209± 0,009
	У.Н.	2,4± 0,17*	2,5± 0,11*	58,0± 1,65*	58,0± 2,15*	26,9± 0,88*	26,8± 1,02*	0,188± 0,008*	0,187± 0,007*

Примечания: И.С. – исходное состояние; У.Н. – умственная нагрузка; \* – достоверные различия показателей по сравнению с исходным состоянием ( $p < 0,05$ ); FF<sub>1</sub> – бифронтальное отведение РЭГ; ОО<sub>1</sub> – биокципитальное отведение РЭГ

Таким образом, проведенное исследование показало, что у детей 9 лет умственная нагрузка вызывала 2 варианта реакции мозгового кровообращения. Первый вариант характеризовался существенным увеличением артериального притока, снижением тонуса мозговых артерий крупного и среднего калибра в лобных и затылочных областях головного мозга или же в одной из изученных областей. Выявленные изменения кровообращения головного мозга свидетельствуют о том, что срочная адаптация к умственной нагрузке не сопровождается напряжением механизмов регуляции мозгового кровообращения и носит благоприятный характер [2].

Второй вариант реакции отличался снижением артериального притока, повышением тонуса крупных и средних мозговых артерий в лобных и затылочных областях головного мозга. Необходимо отметить, что у испытуемых этой группы отмечалось достоверное возрастание САД, ДАД и ЧСС, что указывает на значи-

тельные изменения со стороны центральной гемодинамики и согласуется с данными исследований, проведенных у детей дошкольного и младшего школьного возраста при умственной деятельности [2; 12].

Следовательно, отмеченное снижение артериального притока и повышение тонуса церебральных артерий крупного и среднего калибра можно характеризовать как проявление реакции ауторегуляции мозгового кровообращения, обусловленное изменениями параметров центральной гемодинамики [9; 14]. Выявленные изменения указывают на напряженный характер адаптации мозгового кровообращения к умственной нагрузке, обусловленный значительным эмоциональным напряжением испытуемых [2].

## ВЫВОДЫ

1. Выявлены половые отличия в структуре вариабельности сердечного ритма у детей 9 лет, проявляющиеся более высокой общей мощностью спектра ВРС и преобладанием высокочастотных влияний на сердечный ритм у девочек в сравнении с мальчиками того же возраста.

2. На основании результатов, полученных в ходе ортостатического воздействия с анализом переходного периода и волновой структуры вариабельности сердечного ритма, выявлены дети с «адекватной» (оптимальные изменения частотных компонентов), «сниженной» и «неадекватной» (избыточная реактивность) реакцией ВРС. У детей с преобладанием симпатической активности в регуляции СР наиболее часто отмечалась неадекватная реакция на ортостаз. У мальчиков 9 лет по сравнению с девочками чаще встречается сниженная реакция на ортопробу. Более высокие адаптационные возможности организма выявлены у девочек, а также у испытуемых детей с преобладанием парасимпатических влияний на СР.

3. Срочная адаптация функции миокарда к физической динамической нагрузке характеризовалась уменьшением продолжительности электрической систолы и предсердно-желудочковой проводимости, снижением амплитуды зубцов Т и R во II стандартном и левых грудных отведениях, а также существенной перестройкой фазовой структуры сердечного цикла. Выявлено снижение длительности сердечного цикла за счет уменьшения продолжительности периода напряжения и составляющей его фазы изометрического сокращения; увеличение внутрисистолического показателя и снижение индекса напряжения миокарда, что свидетельствует о благоприятной реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку. У 23 % детей отмечался фазовый синдром гипердинамии миокарда, у 15 % детей – синдром гиподинамии миокарда.

4. Срочная адаптация мозгового кровообращения к умственной нагрузке у детей 9 лет протекала по двум вариантам. Первый вариант характеризовался существенным увеличением артериального притока, снижением тонуса мозговых артерий в лобных и затылочных областях головного мозга или же в одной из них и не сопровождался напряжением механизмов регуляции мозгового кровообращения. Второй вариант реакции отличался снижением артериального притока и повышением тонуса крупных и средних мозговых артерий в лобных и затылочных областях головного мозга, что указывает на напряженный характер адаптации мозгового кровообращения к умственной нагрузке.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский Р.М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов // <http://koi.Ecg.ru/books>
2. Зиненко Е.С. Срочная адаптация центральной гемодинамики и кровообращения головного мозга детей дошкольного возраста к умственной нагрузке: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2010. – 19 с.
3. Игишева, Л.Н. Возрастные индивидуально-типологические особенности вариабельности ритма сердца у детей и подростков / Л.Н. Игишева, А.Р. Галеев, Е.А. Анисова // Вестник аритмологии. – 2000. – № 18. – С. 86.
4. Карпман В.Л. Фазовый анализ сердечной деятельности. – М: Медицина, 1965. – 159 с.
5. Кубергер М.Б. Руководство по клинической электрокардиографии детского возраста. – М.: Медицина, 1983. – 368 с.
6. Меерсон Ф.З. Адаптация сердца к большой нагрузке и сердечная недостаточность. – М.: Наука, 1975. – 263 с.
7. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения. – Иваново: Иван. Гос. Мед. академия, 2002. – 290 с.
8. Мурашко Е.В. Стандартная электрокардиография в педиатрической практике // Лечащий врач. – 2005. – № 1. – С. 52-57.
9. Мchedlishvili Г.И. Регуляция мозгового кровообращения. – Тбилиси: «Мецниереба», 1980. – 158 с.
10. Рублева Л.В. Развитие основных функций миокарда детей 7-15 лет, проживающих в различных экологических условиях: дис. ... канд. биол. наук. – М., 1999. – 188 с.
11. Справочник педиатра-кардиоревматолога / Под ред. Р.Э. Мазо. – Минск: Наука и техника, 1982. – 342 с.
12. Шарапов А.Н. Срочная адаптация сердечно-сосудистой системы детей 5-7 лет к умственной нагрузке / А.Н. Шарапов, В.Н. Безобразова, Е.С. Зиненко, Г.В. Кмит // Физиология человека. – 2010. – Т. 36, № 3. – С. 74-81.
13. Яруллин Х.Х. Клиническая реоэнцефалография. – М.: Медицина, 1983. – 217 с.
14. Aaslid R., Lash S.R., Bardy G.H., et al. Dynamic pressure – flow velocity relationships in the human cerebral circulation // Stroke. – 2003. – Vol. 34. – P. 326-341.
15. Longin E. et al. Autonomic nervous system function in infants and adolescents: impact of autonomic tests on heart rate variability // *Pediatr Cardiol.* – 2009. – 30, № 3. – P. 311-24.
16. Pagani M. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. // *COT Res.* – 1986. – 59. – P. 178-193.
17. Topcu B Akalin The autonomic nervous system dysregulation in response to orthostatic stress in children with neurocardiogenic syncope // *Cardiol Young.* – 2010. – 20, N 2. – P. 165-72.
18. Ubiria I., Telia A., Abuladze G. Relation between Heart Rate Variability and Peak Expiratory Flow in Healthy Schoolchildren//*Bull. Of the Georgian Academy of Sciences.* – 2003. – 67, № 3. – P. 546-548.