



© И. В. Ермакова, С. Б. Догадкина, Л. В. Рублева, Г. В. Кмить, В. Н. Безобразова, А. Н. Шарапов

DOI: [10.15293/2658-6762.1905.11](https://doi.org/10.15293/2658-6762.1905.11)

УДК 612.65/612.13+176+612(2+22+28)+371

Особенности адаптации сердечно-сосудистой системы, автономной нервной регуляции сердечного ритма и эндокринной системы к нагрузкам разного характера у школьников 10–15 лет

И. В. Ермакова, С. Б. Догадкина, Л. В. Рублева, Г. В. Кмить,
В. Н. Безобразова, А. Н. Шарапов (Москва, Россия)

***Проблема и цель.** Адаптация организма подростков к изменяющимся условиям окружающей среды представляет один из важнейших вопросов возрастной физиологии. С целью выявления особенностей адаптации организма подростков проведено исследование реакции системы кровообращения, автономной нервной и эндокринной систем на нагрузки различного характера.*

***Методология.** Методами спектрального анализа вариабельности сердечного ритма, электрокардиографии, поликардиографии, биполярной реоэнцефалографии и иммуноферментного определения кортизола в слюне обследовано 200 детей 10–15-летнего возраста.*

**Раздел работы о реакции эндокринной системы на умственную нагрузку выполнен при частичной поддержке РФФИ (№ 15-06-0893а)*

Ермакова Ирина Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория комплексных исследований процессов адаптации, Институт возрастной физиологии Российской академии образования.

E-mail: ermek61@mail.ru

Догадкина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория комплексных исследований процессов адаптации, Институт возрастной физиологии Российской академии образования.

E-mail: almanac@mail.ru

Рублева Лариса Вячеславовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория комплексных исследований процессов адаптации, Институт возрастной физиологии Российской академии образования.

E-mail: LariusR@mail.ru

Кмить Галина Васильевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория комплексных исследований процессов адаптации, Институт возрастной физиологии Российской академии образования.

E-mail: galkmit@mail.ru

Безобразова Валерия Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория комплексных исследований процессов адаптации, Институт возрастной физиологии Российской академии образования.

E-mail: lerabezo@mail.ru

Шарапов Алим Насимович – доктор медицинских наук, заведующий лабораторией, лаборатория комплексных исследований процессов адаптации, Институт возрастной физиологии Российской академии образования.

E-mail: alim.sharapov@yandex.ru

Результаты. У всех детей 10–15 лет отмечается увеличение симпатической и существенное снижение парасимпатической активности в регуляции сердечного ритма в ответ на ортостаз. Показано, что основными критериями успешности адаптации организма являются: ваго- или нормотонический тип автономной нервной регуляции сердечного ритма, высокая вариабельность сердечного ритма с преобладанием высокочастотного компонента, адекватная реакция вариабельности сердечного ритма на ортостатическое воздействие.

Физическая нагрузка динамического характера вызывает у детей 10–15 лет укорочение общей длительности сердечного цикла и электрической систолы, уменьшение времени предсердно-желудочковой проводимости. Изменения биоэлектрической активности миокарда свидетельствуют об адекватном адаптационном ответе у детей данного возраста на физическую нагрузку.

Выявлено два варианта краткосрочной адаптации сократительной функции миокарда к физической нагрузке. Первый вариант наблюдался у большинства подростков 10–15 лет и свидетельствовал о благоприятной реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку. При втором варианте наблюдалась более напряженная реакция сократительной функции миокарда на физическую нагрузку, которая отмечена у девочек 11, 12 и 13 лет и мальчиков 12–13 лет.

Срочная адаптация кровообращения головного мозга к умственной нагрузке у большинства подростков 10–15 лет не сопровождалась напряжением механизмов регуляции мозгового кровообращения и носила благоприятный характер, тогда как у части подростков 10–15 лет (22–34 % испытуемых) отмечено напряжение механизмов регуляции.

Выявлено два типа реакции эндокринной системы на умственную нагрузку: первый тип – повышение уровня кортизола в слюне, второй тип – понижение его концентрации.

Заключение. Полученные результаты показали, что физическая нагрузка у всех детей вызывает адекватную реакцию параметров биоэлектрической активности миокарда, два варианта адаптации сократительной функции миокарда: благоприятная и протекающая с напряжением сократительной функции, наблюдаемая в возрасте 11–13 лет. Умственная нагрузка вызывает два типа реакции кровообращения головного мозга: первый тип не сопровождается напряжением регуляции кровообращения головного мозга и носит благоприятный характер, второй тип сопровождается напряжением механизмов регуляции. Со стороны эндокринной системы также отмечено два типа реакции на умственную нагрузку: с повышением и снижением уровня кортизола в слюне. Ортостатическое воздействие приводит к сдвигу вегетативной нервной активности в сторону усиления симпатических влияний. На основании реакции ВСР на ортостатическое воздействие выявлены критерии успешной адаптации.

Ключевые слова: адаптация; подростки; вариабельность сердечного ритма; электрокардиография; сократительная функция миокарда; тонус мозговых артерий; кортизол; ортостатическое воздействие; физическая нагрузка; умственная нагрузка.

Постановка проблемы

Процесс обучения в школе сопряжен с форсированным вступлением в иной социум, резким нарастанием умственных, эмоциональных и физических нагрузок, ломкой традиционных стереотипов поведения. При этом подросток в процессе роста и развития

испытывает влияние возрастных перестроек организма. Отсюда возникает необходимость детального изучения адаптационных возможностей подростков школьного возраста, их функционального состояния.

Адаптация организма подростков к изменяющимся условиям окружающей среды

представляет собой один из важнейших вопросов возрастной физиологии. Отклонения, возникающие в регулирующих системах, предшествуют гемодинамическим, метаболическим, энергетическим и, следовательно, являются наиболее ранним признаком неблагоприятного течения адаптации у детей.

Адаптация организма подростков к изменяющимся условиям внешней среды представляет собой один из важнейших вопросов возрастной физиологии. Ранее показано, что процесс приспособления ребенка к новым для него условиям микросоциальной среды сопровождается напряжением регуляторных систем. Отклонения, возникающие в регулирующих системах, предшествуют гемодинамическим, метаболическим, энергетическим и, следовательно, являются наиболее ранним признаком неблагоприятного течения адаптации у детей [3; 9; 10; 11]. Анализ автономных регуляторных влияний на ритм сердца у детей позволяет не только охарактеризовать состояние механизмов, регулирующих деятельность сердца, но и оценить степень созревания этих механизмов. Состояние регуляторных систем деятельности сердца ребенка определяется его возрастом, полом, индивидуально-типологическими особенностями¹ [15; 16; 23].

Ведущую роль в адаптации организма к воздействию факторов внешней среды играет сердечно-сосудистая система, которая лимитирует развитие приспособительных реакций растущего организма в процессе его адаптации к условиям обучения и воспитания. В подростковом возрасте происходят значительные морфологические и функциональные изменения в сердечно-сосудистой си-

стеме. Одним из основных критериев функционального состояния миокарда является его сократительная функция.

Физическая и умственная нагрузки вызывают изменение функционального состояния различных систем организма школьников: сердечно-сосудистой, вегетативной нервной и эндокринной. Так, под влиянием умственной нагрузки увеличивается частота сердечных сокращений, меняется активность вегетативной нервной системы [2; 17; 24], концентрация гормонов [20]. Изменение активности данных систем при умственной деятельности является не только показателем ментального стресса, но и следствием адаптационной перестройки всего организма [1]. Нервная вегетативная и эндокринная системы играют интегративную роль в обеспечении адаптации организма к факторам внешней среды, к которым можно отнести умственную деятельность, осуществляемую в ходе обучения детей и подростков.

Цель статьи: выявить адаптационные способности сердечно-сосудистой системы, автономной нервной регуляции сердечного ритма и эндокринной системы к нагрузкам разного характера у школьников 10–15 лет.

Материалы и методы исследования

Проведено комплексное обследование 200 детей 10–15 лет – учащихся общеобразовательных школ г. Москвы. Все обследованные дети, согласно данным медицинских карт, относились к I–II группам здоровья и имели физическое развитие, соответствующее возрастным нормам. Исследование проводилось в первой половине дня, в период наибольшей активности физиологических функции. Роди-

¹ Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological interpretation and clinical use // Circulation. –

1996. – Vol. 93. – P. 1043–1065. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8598068>

тели подростков, принимавших участие в обследовании, дали письменное информированное согласие.

Функциональное состояние автономной (вегетативной) нервной системы (ВНС) оценивали с помощью спектрального анализа вариабельности сердечного ритма. Для оценки симпато-парасимпатического баланса использовали отношение мощностей низкочастотного и высокочастотного диапазонов спектра (коэффициент LF/HF) [22]. Для оценки адаптационных возможностей организма проводили ортостатическую пробу.

Возбудимость и проводимость миокарда изучались с помощью метода электрокардиографии. Амплитуда и длительность зубцов ЭКГ определялись в 12 общепринятых отведениях, длительность интервалов ЭКГ определялась по данным II стандартного отведения. Для изучения сократительной функции миокарда был применен метод поликардиографии. Анализ поликардиограммы базировался на сопоставлении элементов записанных кривых во времени по методике В. Л. Карпмана (1965)². При изучении возбудимости, проводимости и сократительной функции миокарда в качестве функциональной пробы в работе была использована физическая динамическая нагрузка: модифицированная проба Летунова (20 приседаний за 30 секунд).

Изучение мозгового кровообращения проводилось в положении испытуемого лежа. Использовался метод биполярной реоэнцефалографии³. Регистрация реоэнцефалограмм проводилась при помощи компьютерного реографа «Реоспектр» в бифронтальном (F-F) отведении, что позволяло получать информацию о кровообращении лобных областей больших

полушарий головного мозга. В качестве функциональной пробы использовалась умственная нагрузка, которая заключалась в выполнении испытуемыми устного счета в течение 10 минут: предлагалось задание – от 200 вычитать 7.

Тест «счёт в уме» – стандартизированный лабораторный стресс-тест, вызывающий измеримые физиологические изменения. Для оценки реакции эндокринной системы на умственную нагрузку (обратный счёт в уме; из трех- и четырехзначных чисел последовательно вычитали 7 или 13) определяли концентрацию кортизола в слюне до и после счета в уме (набор реагентов фирмы DRG; ИФА-анализатор «StatFax 2100») и выражали в нг/мл. Все анализы были сделаны в соответствии с протоколом наборов, контрольные показатели были в рамках принятых пределов.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием компьютерного пакета программы «Statistica 6.0» и «SPSS 20». Для проверки статистических гипотез исследования использовался t-тест Стьюдента для независимых и попарно сопряженных выборок, F-критерий ANOVA. Оценку тесноты статистической связи между показателями осуществляли с помощью корреляционного анализа (коэффициент Пирсона). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования, обсуждение

Результаты оценки реакции вариабельности сердечного ритма на ортостатическую пробу у детей 10–15 лет представлены в таблицах 1 и 2. Выявлен ряд возрастных и половых различий в значениях показателей, характеризующих адаптацию.

² Карпман В. Л. Фазовый анализ сердечной деятельности. – М: Медицина, 1965. – 159 с.

³ Яруллин Х. Х. Клиническая реоэнцефалография. – Л.: Медицина, 1988. – 275 с.

Таблица 1

Показатели спектрального анализа вариабельности сердечного ритма у учащихся 10–15 лет в покое и в ответ на ортостатическую пробу (M±m)

Table 1

Indicators of spectral analysis of heart rate variability in students 10–15 years at rest and in response to an orthostatic test (M±m)

Воз-раст	Пол	Состояние	TP, мс ²	VLF, мс ²	LF, мс ²	HF, мс ²	LF n.u.	HF n.u.	LF/HF n.u.	% LF	% HF
10	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	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	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	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	41,0# ±2,5	28,1# ±3,4
11 лет	М	покой	3589 ±675,1	950,5 ±115,2	885,0 ±169,9	1408,5 ±429,9	39,05 ±3,1	60,95 ±3,1	0,645 ±0,13	26,1 ±2,1	48,6 ±3,2
		орто-стаз	5337# ±697,4	2098,0# ±422,6	1585,0# ±247,4	965,0 ±167,3	65,5# ±2,8	34,5# ±2,82	1,91# ±0,32	36,5# ±2,56	18,5# ±1,9
	Д	покой	5531,0* ±1059	936,0 ±279,1	1541,0* ±187,1	2142,0 ±886,0	31,1 ±4,05	68,9 ±4,1	0,452 ±0,14	24,4 ±2,6	47,1 ±4,8
		орто-стаз	3060,1# ±509,8	1550 ±268,7	1096, ±196,5	537,0# ±144,3	64,2# ±2,8	37,3# ±2,8	1,8# ±0,26	35,2# ±1,7	19,3# ±2,4
12 лет	М	покой	5050 ^{&} ±619,1	1475 ±366,6	1137,6 ±276	2437,2 ^{&} ±416,0	38,5 ±3,1	61,5 ±3,1	0,830 ±0,13	24,7 ±2,1	41,7 ±3,2
		орто-стаз	2711# ±419,6	873,6# ±130,6	1208,2 ±233,0	629,5# ±151,9	67,1# ±2,8	32,3# ±2,82	2,7# ±0,25	43,8# ±2,3	22,1# ±1,9
	Д	покой	4858 ±1059	2128,1* ±279,1	1105,7 ±187,1	1624,5* ±360,9	41,5 ±3,8	58,5 ±4,1	0,804 ^{&} ±0,13	24,5 ±2,6	37,9 ±4,8
		орто-стаз	2619,3# ±430,1	1049,1# ±268,7	1105,18 ±196,5	464,4# ±118,3	70,3# ±4,5	29,8# ±2,8	2,9# ±0,43	43,0# ±1,7	18,9# ±2,4
13 лет	М	покой	2644,0 ^{&} ±523,3	1370,0 ±283,1	870,0 ±170,1	1055,0 ^{&} ±268,0	45,4 ±3,6	54,6 ±3,6	0,833 ±0,2	27,4 ±3,3	40,6 ±3,5
		орто-стаз	3451,0 ±478,0	1353,0 ±270,3	1416,0# ±303,2	440,0#± 96,2	76,4# ±2,0	23,6# ±2,0	3,2# ±0,3	45,0# ±3,4	13,9# ±1,5
	Д	покой	4100,51* ±493,3	1119,5 ^{&} ±157,6	881,0 ±177,3	1724,0 ±287,2	38,6* ±3,5	61,4 ±3,5	0,628 ±0,1	27,3 ±2,7	43,2 ±2,7
		#	2862,0# ±570,8	1377,5 ±188,2	989,5 ±251,1	531,0# ±89,1	70,6# ±2,4	29,4# ±2,4	2,4# ±0,18	43,1# ±2,2	15,7# ±1,5
14 лет	М	покой	3696,8 ±488,4	1535,2 ±223,3	846,4 ±189,6	1315,0 ±169,4	39,2 ±3,0	60,7 ±3,1	0,71 ±0,20	24,6 ±2,4	37,0 ±1,8
		орто-стаз	4153,1 ±490,2	2028,7# ±264,3	1307,2 ±238,6	817 ±106,8	65,9# ±2,7	34,1# ±2,7	2,8# ±0,34	38,6# ±2,5	18,9# ±3,1

Окончание таблицы 1

	Д	покой	7144,4 ^{&*} ±483,4	1095,7 ±279,0	2196 ^{&*} ±197,4	4852,5 ^{&*} ±260,7	37,8 ±3,5	62,2 ±2,9	0,730 ±0,33	31* ±2,0	52,6* ±2,7
		орто-стаз	15957,8 [#] ±570,8	3616,4 [#] ±286,9	4764,5 [#] ±210,6	3576,1 [#] ±290,5	61,6 [#] ±4,3	38,3 [#] ±3,2	2,7 [#] ±0,23	34,9 ±1,8	24,5 [#] ±2,1
15 лет	М	покой	5437,6 ±523,3	1654,7 ±283,1	1932,1 ±170,1	3850,5 ±170,1	51,33 ±2,0	48,67 ±3,6	1,1 ±0,6	33,2 ±3,3	31,3 ±3,5
		орто	12142,9 #±478,0	3605,8 [#] ±270,3	4122,4 [#] ±303,2	2414,4 [#] ±96,2	71,35 [#] ±2,0	28,65 [#] ±2,0	3,1885 #±0,3	39,6 ±3,4	17,1 [#] ±1,5
	Д	покой	8552* ±493,3	1436,5 ±157,6	1657,5 ±177,3	5458,2* ±287,2	33,9* ±3,5	66,1 ±3,5	0,6122 *±0,1	26,4 ±2,7	53,8* ±2,7
		орто	8448,25 ±570,8	4536,5 [#] ±188,2	2797,2 [#] ±251,1	1114,2 [#] ±89,1	67,8 [#] ±2,4	32,1 [#] ±2,4	2,7575 #±0,18	35,4 ±2,2	16,3 [#] ±1,5

Примечание. М – мальчики, Д – девочки; * – достоверность различий между показателями у мальчиков и девочек; # – достоверность различий между показателями в покое и во время ортостаза; & – достоверность различий между показателями у детей 10–15 лет

Notes. М – boys, Д – girls; * – significance of differences between boys and girls; # – significance of differences between indicators at rest and during orthostasis; & – significance of differences between indicators in children 10–15 years

Как показано нами ранее [9], анализ ВРС (табл. 1) выявил половые различия в значениях показателей спектрального анализа у детей, начиная с 10 лет, со снижением низкочастотного компонента спектра у мальчиков в период 11–13 лет и значимым его повышением к 14–15 годам. У девочек отмечается период 12–13 лет, когда происходит значимое снижение значений низко и высокочастотного компонентов спектра, что, по-видимому, связано с периодом интенсивных гормональных перестроек. В возрасте 14–15 лет отмечены достоверно более высокие значения низко- и высокочастотных показателей ($LF\text{ мс}^2$, $HF\text{ мс}^2$) и $TP\text{ (мс}^2)$ у девочек по сравнению с мальчиками.

Проведение активной ортостатической пробы (являющейся одним из наиболее простых и безопасных функциональных тестов,

который позволяет оценить резервные возможности системы регуляции кровообращения) вызвало существенные изменения спектральных показателей ВРС у детей 10–15 лет (табл. 1).

У всех детей в ответ на ортостатическую пробу отмечено существенное увеличение общей мощности ВРС, очень низкочастотного, низкочастотного компонентов спектра ВРС (в абсолютных, относительных единицах и в процентах) и снижение высокочастотной составляющей спектра.

У детей обоего пола выявлен существенный сдвиг автономной нервной регуляции в сторону симпатических влияний, что свидетельствует об адекватной реакции АНС на ортостатическое воздействие^{4, 5} [19; 25]. Следует отметить, что в целом выраженность реакции вегетативной регуляции сердечного

⁴ Берсенева И. А. Оценка адаптационных возможностей организма у школьников на основе анализа вариабельности сердечного ритма в покое и при ортостатической пробе: Автореф. дис. канд. биол. наук. – 2000. – 17 с.

⁵ Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения. – Иваново: Иван. Гос. Мед. академия, 2002. – 290 с.

ритма в ответ на активное ортостатическое воздействие увеличивается с возрастом.

Начиная с 10-летнего возраста выявляются половые различия в характере изменения частотных компонентов вариабельности ритма сердца на ортостатическое воздействие. Выделяется период у девочек с 11 до 13 лет, а у мальчиков с 12 до 14 лет включительно, когда сдвиг вегетативной нервной регуляции сердечного ритма происходил только за счет значительного снижения высокочастотных колебаний, при неадекватной реакции симпатического отдела ВНС. По-видимому, это связано с активным половым созреванием в этот

возрастной период и снижением адаптационных возможностей.

На основании значений показателя LF/HF, характеризующего симпато-парасимпатический баланс [18], все обследуемые школьники 10–15 лет без учета пола были разделены на 3 группы. Дети с LF/HF > 1,0 составили 3 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 1 группу (с преобладанием парасимпатических влияний в регуляции сердечного ритма) (табл. 2).

Таблица 2

Показатели спектрального анализа вариабельности сердечного ритма у учащихся 10–15 лет с разным типом автономной нервной регуляции (M±m)

Table 2

Indicators of spectral analysis of heart rate variability in students aged 10–15 years with different types of autonomic nervous regulation (M±m)

Возраст	тип АНР	Состояние	TP мс ²	VLF мс ²	LF мс ²	HF мс ²	LF/HF п.у.
10-11	1	Покой	3509,6 ±583,2	1054,3 ±168,1	1481,8 ±210,1	973,6 ±146,7	1,62 ±0,17
		орто-стаз	3350,0 ±410,1	1481,0 ±182,8	1315,5 ±199,0	552,8 [#] ±90,4	2,90 [#] ±0,41
	2	покой	3070,0 ±560,6*	855,3 ±122,0	921,7 ±183,4	1292,6 ±292,4	0,757* ±0,04
		орто-стаз	5900,6 [#] ±568,5	2736,0 [#] ±444,0	2054,3 [#] ±248,6	1110,1 ±248,0	2,2 [#] ±0,08
	3	покой	7691,6* ±557,6	1333,1* ±91,8	1429,1 ±195,6	4869,0*±318, 0	0,326* ±0,03
		орто-стаз	4944 [#] ±626	2183 [#] ±282,6	1584 ±218,0	1176,6 [#] ±157,2	1,57 [#] ±0,08
12	1	покой	4769,2 ±419	3094,2±13 0,5	1246,8 ±425,6	620,4 ±126,6	3,1 ±0,08
		орто-стаз	2661,5 [#] ±733,9	1148,8 [#] ±445,2	935,4 ±212,3	576,7 ±285,4	2,9 ±0,99
	2	покой	3186,2* ±787,6	979,4* ±228,7	908,0 ±283,1	1298,5* ±381,9	0,667* ±0,04
		орто-стаз	2343,9 ±408,6	753,7 ±121,8	1178,0 ±237,4	412,1 [#] ±74,6	2,9 [#] ±0,31

Окончание таблицы 2

	3	покой	5050,2 ±619,9	1475,0* ±355,6	1137,6 ±276,0	2437,2* ±316,9	0,830* 0,256
		орто-стаз	2711,3# ±419,6	873,5# ±130,5	1208,2 ±223,0	629,5# ±151,9	2,6# ±0,477
13	1	покой	4593,7 ±564,5	1283,2 ±229,5	1903,5 ±435,6	1399,5 ±376,4	1,3 ±0,121
		орто-стаз	3884,3 ±756,3	1653,2 ±283,5	1688,3 ±195,4	542,3 ±150,3	3,12 ±0,355
	2	покой	3627,5 ±576,4	1099,1 ±153,5	1049,5 ±264,3	1479,2 ±358,9	0,75 ±0,297
		орто-стаз	4505,0 ±586,4	1929,4 ±301,4	1958,5 ±419,0	616,3 ±167,9	3,2 ±0,368
	3	покой	6223,3 ±478,4	1172,3 ±187,3	1321,0 ±203,1	3729,8 ±359,4	0,30 ±0,168
		орто-стаз	3003,2 ±548,1	1187,9 ±196,3	1291,2 ±264,1	520,4 ±159,0	2,5 ±0,35
14	1	покой	3086,7 ±563,2	871,7 ±365,5	1315,7 ±364,5	899,3 ±267,1	1,44 ±0,12
		орто-стаз	5000# ±476,2	2489# ±386,9	2024,7 ±240,4	486 ±362,6	4,7# ±0,31
	2	покой	8412,4* ±436,8	1738* ±195,7	2594,2* ±257,9	4080,2* ±284,8	0,717* ±0,21
		орто-стаз	17909,6# ±598,3	2604 ±240,1	5384 ±378,1	9921# ±475,1	2,43# ±0,15
	3	покой	4094,5 ±456,7	1185,3 ±256,2	729,8*# ±145,5	2179* ±378,5	0,362* ±0,12
		орто-стаз	6038,16# ±486,1	3171,5# ±329,0	1584,8# ±297,6	1281,5# ±359,0	2,042# ±0,164
15	1	Покой	7433,7* ±478,4	1232,5 ±187,3	3953,8 ±203,1	2447,3* ±359,4	1,6156* ±0,168
		Орто-стаз	11430,8# ±548,1	1840,2# ±196,3	4470,2# ±264,1	4120,1# ±159,0	1,0850# ±0,35
	2	Покой	7509 ±576,4	1662,5 ±153,5	2953,5* ±264,3	2892,7 ±358,9	0,7513 ±0,297
		Орто-стаз	10605,5# ±586,4	1504,3 ±301,4	5493,8 ±419,0	3606,8# ±167,9	1,1925# ±0,368
	3	Покой	5752,6 ±564,5	1353,1 ±229,5	941,6 ±435,6	3457,8 ±376,4	0,2723 ±0,121
		орто-стаз	6833,1 ±756,3	2444,5# ±283,5	2005,1# ±195,4	1383,3# ±150,3	1,4495# ±0,355

Примечание. 1 группа – ваготоники; 2 группа – нормотоники; 3 группа – симпатотоники; * – достоверность различий показателей между группами с разным типом АНС; # – достоверность различий между показателями в покое и во время ортостаза

Note. Group 1 – vagotonics; group 2 – normotonics; group 3 – sympathotonics; * – significance of differences of indicators between groups with different types of ANS; # – significance of differences between parameters at rest and during orthostasis

Дети с преобладанием парасимпатической активности в регуляции сердечного ритма характеризуются достоверно более низкой мощностью низкочастотного компонента спектра в сравнении с детьми 2-ой и 3-ей групп (табл. 2). В данной группе преобладают колебания высокочастотного спектра (в 2 раза больше по сравнению с детьми с симпатической активностью ВСП) [4; 14].

Оценка изменений показателей спектрального анализа ВРС в ответ на ортостатическое воздействие у детей с разным типом автономной нервной регуляции выявила относительный рост LF у детей с сбалансированным типом автономной нервной регуляции сердеч-

ного ритма и у детей с преобладанием парасимпатических влияний в регуляцию сердечного ритма, что указывает на активное включение вазомоторного центра в процесс регуляции сосудистого тонуса. Указанный характер изменений автономной нервной регуляции при проведении активной ортостатической пробы связан с совершенствованием автономной нервной регуляции сердечного ритма⁴.

На рисунке представлен характер изменения низко- и высокочастотных колебаний спектра variability сердечного ритма в ответ на ортостатическое воздействие у детей 10–11 и 15 лет с разными типами вегетативной нервной регуляции.

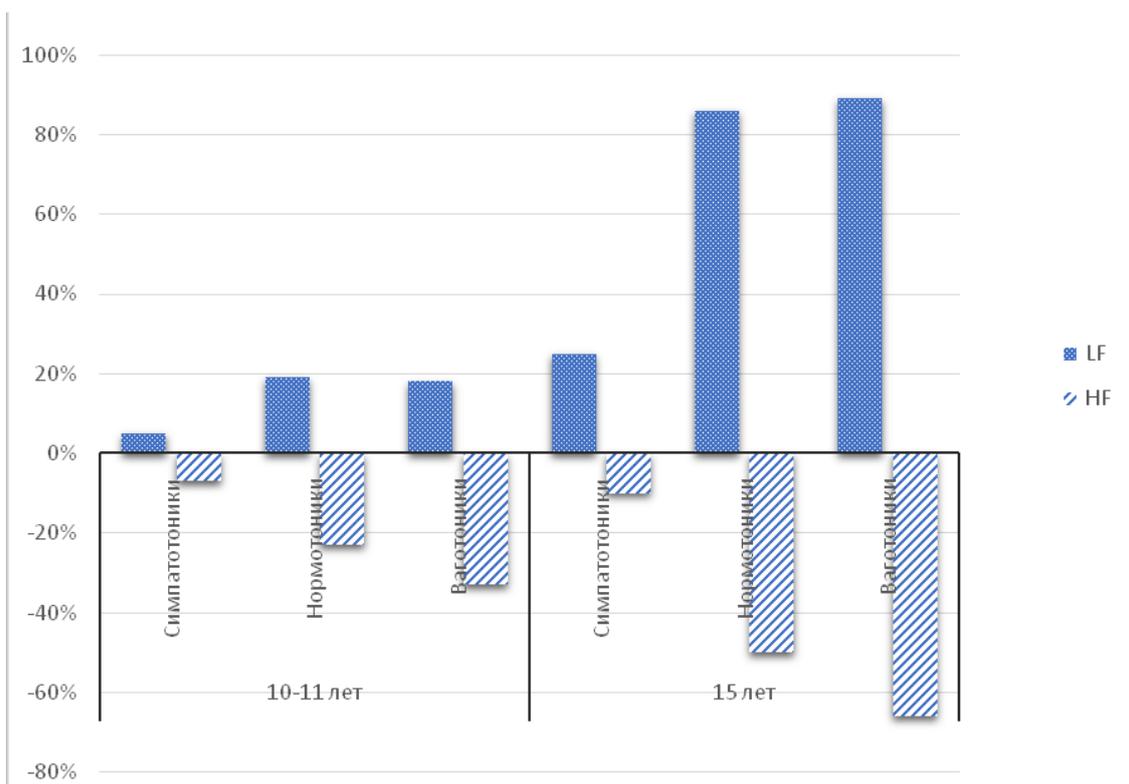


Рис. 1. Изменение показателей спектрального анализа ВРС на ортопробу у детей 10–11 и 15 лет с разными типами автономной нервной регуляции в процентах к исходному уровню

Примечание. 1 – симпатический тип АНР; 2 – сбалансированный тип АНР; 3 – парасимпатический тип АНР

Fig. 1. Change of indices of the spectral analysis of HRV to orthostasis in children 10–11 and 15 years with different types of autonomous nervous regulation in percent to the baseline level

Note. 1 – sympathetic ANR type; 2 – balanced ANR type; 3 – parasympathetic ANR type

* – the significance of the differences between the indicators for boys and girls; # – the significance of the differences between the indicators at rest and during orthostasis

Выраженность реакции увеличивается от 10 к 15 годам.

При ортостатическом воздействии у детей 10–15 лет независимо от пола существенно изменяется симпато-парасимпатический баланс: усиливается активность симпатических влияний на сердечный ритм (табл. 2, рис. 1). Структура реакции показателей ВРС на ортостатическое воздействие определяется типом вегетативной нервной регуляции. У детей с преобладанием симпатических влияний на ритм сердца выявлена неадекватная реакция на ортостатическую пробу, с незначительным изменением всех составляющих спектра, что указывает на сниженные адаптационные возможности у детей данной группы. У детей со сбалансированным и парасимпатическим

типом автономной нервной регуляции сердечного ритма выявлен относительный рост низкочастотного и снижение высокочастотного показателей спектра ВРС, что указывает на активное включение вазомоторного центра в процесс регуляции сосудистого тонуса⁴ [19; 22; 25].

В ходе исследования нами были проанализированы данные электрокардиограмм детей и подростков 10–15 лет. Проведенный нами анализ ЭКГ показал, что абсолютные значения большинства показателей ЭКГ обследованных детей в целом соответствуют возрастным нормативам, представленным в литературе^{6, 7}. Данные о длительности интервалов и амплитуде зубцов ЭКГ представлены в таблицах 3, 4.

Таблица 3

Временные характеристики основных интервалов ЭКГ детей 10–15-летнего возраста в покое и при физической нагрузке (M±m)

Table 3

Time characteristics of the main ECG intervals of children 10–15 years of age at rest and during exercise (M±m)

Показатели					
Возр., лет	Состояние	R-R, с	P-Q, с	QRS, с	QT, с
10м	покой	0,753± 0,0531	0,135± 0,0034	0,098± 0,0013	0,374± 0,0174
	нагр	0,731±* 0,0361	0,134± 0,0030	0,098± 0,0011	0,370±* 0,0125
10д	покой	0,811± 0,0531	0,124± 0,0034	0,097± 0,0014	0,390± 0,0173
	нагр	0,785±* 0,0361	0,123± 0,0031	0,097± 0,0012	0,377±* 0,0129
11м	покой	0,763± 0,0531	0,136± 0,0034	0,098± 0,0013	0,377± 0,0174
	нагр	0,737±* 0,0371	0,135± 0,0033	0,098± 0,0013	0,374±* 0,0135

⁶ Макаров Л. М. Нормативные показатели ЭКГ у детей: Методические рекомендации. – «Медпрактика-М», Москва, 2018. – 20 с.

⁷ Мурашко В. В., Струтынский А. В. Электрокардиография. – МЕДпресс, 2019. – 360 с.



Окончание таблицы 3

11 д	покой	0,831± 0,0531	0,126± 0,0034	0,097± 0,0014	0,391± 0,0173
	нагр	0,795±* 0,0371	0,124± 0,0033	0,097± 0,0013	0,379±* 0,0135
12 м	покой	0,853± 0,0531	0,135± 0,0034	0,095± 0,0013	0,367± 0,0174
	нагр	0,797±* 0,0371	0,129± 0,0033	0,093± 0,0013	0,344±* 0,0135
12 д	покой	0,841± 0,0531	0,129± 0,0034	0,094± 0,0014	0,361± 0,0173
	нагр	0,789±* 0,0371	0,124± 0,0033	0,092± 0,0013	0,349±* 0,0135
13 м	покой	0,823± 0,0531	0,131± 0,0034	0,095± 0,0013	0,352± 0,0174
	нагр	0,787±* 0,0371	0,128± 0,0033	0,093± 0,0013	0,331±* 0,0135
13 д	покой	0,891± 0,0531	0,131± 0,0034	0,095± 0,0014	0,369± 0,0173
	нагр	0,797±* 0,0371	0,125± 0,0033	0,092± 0,0013	0,351±* 0,0135
14 м	покой	0,893± 0,0531	0,132± 0,0034	0,095± 0,0013	0,359± 0,0174
	нагр	0,798±* 0,0371	0,127± 0,0033	0,094± 0,0013	0,342±* 0,0135
14 д	покой	0,911± 0,0531	0,133± 0,0034	0,096± 0,0014	0,369± 0,0173
	нагр	0,808±* 0,0371	0,128± 0,0033	0,094± 0,0013	0,355±* 0,0135
15 м	покой	0,953± 0,0511	0,138± 0,0034	0,096± 0,0013	0,376± 0,0170
	нагр	0,888±* 0,0301	0,129± 0,0030	0,094± 0,0013	0,358±* 0,0131
15 д	покой	0,941± 0,0523	0,137± 0,0032	0,097± 0,0012	0,373± 0,0171
	нагр	0,881±* 0,0361	0,130± 0,0031	0,094± 0,0011	0,361±* 0,0138

Примечание. Интервалы представлены по данным II стандартного отведения, * – достоверность различий по сравнению с покоем.

Notes. Intervals are presented according to standard lead II, * – significance of differences compared to rest.

Таблица 4

**Амплитудные характеристики основных зубцов ЭКГ детей 10–15-летнего возраста
в покое и при физической нагрузке (M±m)**

Table 4

Amplitude characteristics of the main teeth of ECG children 10-15 years of age at rest and during exercise (M±m)

Возр лет	Сост	Показатели				
		P, мм	Q, мм	R, мм	S, мм	T, мм
10м	покой	0,898 ±0,046	-0,268 ±0,062	10,436 ±0,514	-1,403 ±0,184	4,383 ±0,174
10м	нагр	1,034* ±0,071	-0,284 ±0,062	10,444 ±0,308	-1,817* ±0,135	3,894* ±0,130
10д	покой	1,076 ±0,065	-0,308 ±0,055	9,725 ±0,407	-1,480 ±0,135	4,167 ±0,150
10д	нагр	1,138* ±0,073	-0,294 ±0,063	10,438 ±0,318	-1,827* ±0,130	3,883* ±0,131
11м	покой	0,888 ±0,046	-0,266 ±0,062	10,416 ±0,514	-1,400 ±0,184	4,183 ±0,174
11м	нагр	1,038* ±0,073	-0,294 ±0,063	10,438 ±0,318	-1,827* ±0,130	3,883* ±0,131
11д	покой	0,984 ±0,066	-0,310 ±0,062	9,727 ±0,410	-1,477 ±0,147	3,957 ±0,154
11д	нагр	1,196* ±0,066	-0,322 ±0,052	9,644 ±0,504	-1,644 ±0,184	3,682* ±0,166
12м	покой	0,868 ±0,046	-0,256 ±0,062	10,216 ±0,514	-1,400 ±0,184	4,213 ±0,174
12м	нагр	1,048* ±0,073	-0,284 ±0,063	10,115 ±0,318	-1,827* ±0,130	3,943* ±0,131
12д	покой	1,090 ±0,066	-0,311 ±0,062	9,637 ±0,417	-1,489 ±0,145	3,757 ±0,154
12д	нагр	1,294* ±0,071	-0,312 ±0,062	9,324 ±0,518	-1,666 ±0,190	3,383* ±0,171
13м	покой	0,898 ±0,046	-0,266 ±0,062	10,336 ±0,514	-1,420 ±0,184	4,483 ±0,174
13м	нагр	1,048* ±0,073	-0,284 ±0,063	10,115 ±0,318	-1,827* ±0,130	3,939* ±0,131
13д	покой	0,971 ±0,066	-0,321 ±0,062	9,237 ±0,417	-1,476 ±0,145	3,657 ±0,154
13д	нагр	1,234* ±0,071	-0,312 ±0,062	8,984 ±0,518	-1,658 ±0,190	3,293* ±0,171
14м	покой	0,888 ±0,046	-0,256 ±0,060	9,836 ±0,510	-1,310 ±0,174	4,183 ±0,178
14м	нагр	1,038* ±0,073	-0,274 ±0,062	9,515 ±0,317	-1,327 ±0,134	3,639* ±0,129
14д	покой	0,951 ±0,066	-0,281 ±0,061	8,837 ±0,420	-1,376 ±0,141	3,557 ±0,154

Окончание таблицы 4

14д	нагр	1,174* ±0,071	-0,311 ±0,061	8,284* ±0,515	-1,358 ±0,191	3,133* ±0,174
15м	покой	0,868 ±0,046	-0,246 ±0,060	9,336 ±0,510	-1,313 ±0,174	3,923 ±0,178
15м	нагр	1,123* ±0,073	-0,254 ±0,062	8,915 ±0,317	-1,309 ±0,134	3,439* ±0,129
15д	покой	0,931 ±0,066	-0,281 ±0,061	8,237 ±0,420	-1,306 ±0,141	3,117 ±0,154
15д	нагр	1,224* ±0,071	-0,311 ±0,061	7,942* ±0,515	-1,338 ±0,191	2,883* ±0,174

Примечание. Величина амплитуды представлена по данным II стандартного отведения, * – достоверность различий по сравнению с покоем.

Notes. The magnitude of the amplitude is presented according to the II standard lead, * – the accuracy of the differences in comparison with the rest.

Исследование показало, что существенное увеличение длительности сердечного цикла отмечается у мальчиков к 12 годам и у девочек к 13 годам. У 13-летних мальчиков наблюдается существенное уменьшение длительности сердечного цикла и электрической систолы. Также выявлено, что от 14 к 15 годам как у девочек, так и у мальчиков, наблюдается выраженное увеличение таких временных показателей, как длительность сердечного цикла, время предсердно-желудочковой проводимости и электрической систолы. Амплитуда зубцов R и T во II стандартном и левых грудных отведениях к 15-летнему возрасту уменьшается у детей обоего пола.

Увеличение длительности сердечного цикла, времени предсердно-желудочковой проводимости и электрической систолы связано в основном с возрастным повышением тонической активности центров блуждающего нерва. Усиление влияний из центров блуждающих нервов, обладающих отрицательным батмотропным эффектом, приводит также к снижению возбудимости миокарда и уменьшению амплитуды ряда зубцов ЭКГ. Укорочение данных интервалов у 13-летних мальчиков обусловлено, вероятно, их интенсивным

половым развитием на этом периоде онтогенеза. В период интенсивного полового созревания помимо воздействий на сердце со стороны нервной системы, существенное значение приобретают гормональные влияния, в особенности катехоламины (адреналин и норадреналин), экскреция которых в пубертатный период значительно возрастает. Изменение амплитуды зубцов ЭКГ может быть обусловлено также гетерохронным развитием сердечной мышцы, а снижение амплитуды показателей возбудимости в грудных отведениях может объясняться увеличением массы, утолщением стенки грудной клетки с возрастом.

Динамическая нагрузка вызывала у детей 10–15-летнего возраста следующие изменения ЭКГ (табл. 3, 4). У всех обследованных детей укорачивалась общая длительность сердечного цикла и электрической систолы, у большинства детей уменьшалось время предсердно-желудочковой проводимости. В ответ на нагрузку у всех детей 10–15 лет происходило достоверное увеличение зубца PП. Также в ответ на нагрузку у большинства как мальчиков, так и девочек, отмечалось некоторое снижение амплитуды зубца R и достоверное

уменьшение амплитуды зубца Т во II стандартном и левых грудных отведениях.

Уменьшение общей длительности сердечного цикла, времени предсердно-желудочковой проводимости и электрической систолы в ответ на нагрузку, свидетельствует об усилении влияния на миокард со стороны симпатического отдела автономной нервной системы. Увеличение амплитуды зубца Р обусловлено, вероятно, интенсификацией деятельности предсердий в ответ на нагрузку. Оно происходит за счет растяжения волокон миокарда предсердий, связанного с увеличением внутриполостного давления при физической нагрузке.

Уменьшение амплитуды зубца R (особенно в левых грудных отведениях) свидетельствует об уменьшении полости левого желудочка в ответ на нагрузку и адекватном адаптационном ответе, хорошей тренированности сердечной мышцы у детей старшего школьного возраста. Снижение амплитуды Т в

начале нагрузки может отражать временное несоответствие уровня обмена веществ в миокарде возросшим потребностям.

В исследовании также показано, что с возрастом степень выраженности реакции временных параметров ЭКГ в ответ на физическую нагрузку увеличивается (рис. 2). Увеличение функциональных сдвигов непосредственно во время нагрузки может быть обусловлено как возрастным увеличением адаптационных возможностей миокарда, так и более низкими фоновыми значениями длительности сердечного цикла у младших школьников.

Выявленные особенности электрофизиологического состояния миокарда отражают гетерохронность развития функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы в онтогенезе. С возрастом резервные возможности организма возрастают и существенную роль в этом процессе играет совершенствование механизмов регуляции системы кровообращения.

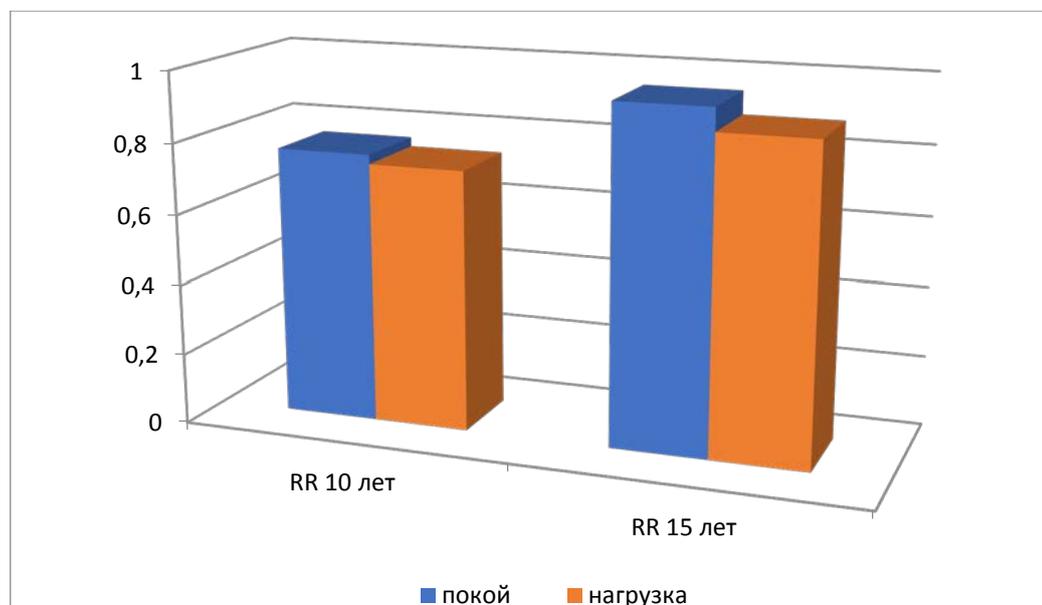


Рис. 2. Изменение длительности сердечного цикла у мальчиков различного возраста в ответ на динамическую физическую нагрузку (мс)

Fig. 2. Change in the duration of the cardiac cycle in boys of different ages in response to dynamic exercise (MS)

Изучение сократительной функции миокарда показало, что основной тенденцией изменения структуры сердечного цикла с возрастом является увеличение продолжительности фаз и периодов сердечного цикла.

Возрастные изменения параметров сократительной функции миокарда гетерохронны, интенсивность увеличения длительности отдельных периодов неодинакова. Как было показано в нашем предыдущем исследовании [9] наиболее значимые изменения фазовой структуры сердечного цикла у подростков 10–15 лет происходят от 12 к 13 и от 14 к 15 годам как у мальчиков, так и у девочек. Изменения с возрастом обусловлены различными воздействиями на миокард со стороны автономной нервной системы, гетерохронностью развития различных отделов сердца, изменениями гормонального статуса и рядом других факторов. В возрасте от 10 до 13 лет в фазовой структуре сердечного цикла отмечаются половые различия параметров (продолжительность общей и механической систол, времени изгнания крови), характеризующих сократительную активность миокарда, что связано с нейрогуморальными влияниями на сердце.

Для изучения краткосрочной адаптации сократительной функции миокарда и более полной оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы подростков 10–15 лет была применена функциональная проба с дозированной физической динамической нагрузкой.

При изучении реакции сократительной функции миокарда на физическую динамическую нагрузку было показано (табл. 5), что у всех подростков 10–15 лет происходят существенные перестройки фазовой структуры сердечного цикла, которые заключаются в значительном укорочении продолжительности сердечного цикла, времени изгнания крови, общей, механической и электрической систол; а также в возрасте 12–14 лет у подростков обоего пола выявлено достоверное укорочение фазы изометрического сокращения и периода напряжения. Необходимо особо отметить существенное снижение продолжительности диастолической паузы на нагрузку в 11 лет у 35 % девочек; в 12 лет у 40 % девочек и у 30 % мальчиков; в 13 лет у 25 % девочек и у 35 % мальчиков.

Таблица 5

Изменение длительности фаз сердечного цикла при физической динамической нагрузке у подростков 10–15 лет ($M \pm m$)

Table 5

Change in the duration of the phases of the cardiac cycle with physical dynamic load in adolescents 10–15 years ($M \pm m$)

Момент исслед.	Возр./пол	R-R	ФАС	ФИС	T	E	Sm	So	Sэ	Д
Покой	10 М	760.5 ±24.1	48.1 ±1.6	26.4 ± 1.3	74.5 ± 2.0	243.7 ±8.4	270.2 ±5.1	328.3 ±4.8	336.9 ±4.6	436.4 ±23.9
Сразу после нагрузки		667.0 ±16.9*	51.3 ±2.2	25.2 ±1.8	76.5 ±2.9	201.7 ±7.8*	226.7 ±6.8*	238.1 ±6.3*	311.2 ±3.6*	393.9 ±17.3
Покой	10 Д	759.4 ±28.2	49.5 ±2.2	27.7 ±1.4	77.2 ±2.8	251.3 ±5.4	279.0 ±5.3	342.3 ±4.8	351.8 ±4.6	458.5 ±34.3
Сразу после нагрузки		660.0 ±24.8*	56.5 ±1.9	25.2 ±1.8	81.7 ±2.8	213.3 ±5.9*	238.5 ±4.6*	297.0 ±5.3*	308.3 ±6.5*	398.8 ±23.7



Окончание таблицы 5

Покой	11 М	761.5 ±22.1	47.7 ±1.8	26.3 ±1.3	74.1 ±2.0	245.7 ±8.8	269.5 ±5.1	327.3 ±4.3	332.8 ±4.7	439.4 ±20.9
Сразу после нагрузки		660.0 ±16.9*	51.9 ±2.2	25.5 ±1.9	76.4 ±2.9	200.7 ±7.8*	220.7 ±6.8*	236.1 ±6.1*	310.2 ±3.7*	373.9 ±17.3*
Покой	11 Д	769.2 ±24.2	49.6 ±2.2	26.6 ±1.6	76.2 ±2.5	257.3 ±5.1	280.0 ±5.3	346.9 ±4.2	350.8 ±4.5	464.5 ±23.3
Сразу после нагрузки		659.0 ±20.1*	52.5 ±2.0	25.2 ±1.8	77.7 ±2.8	211.3 ±5.0*	231.4 ±4.1*	291.0 ±5.0*	302.3 ±5.8*	362.8 ±23.7*
Покой	12 М	764.4 ±21.2	54.6 ±2.4	29.6 ±2.3	84.2 ±3.8	266.6 ±9.4	296.2 ±5.3	350.8 ±4.7*	345.8 ±5.6	414.5 ±24.3
Сразу после нагрузки		702.8 ±20.6*	49.0 ±2.3*	26.8 ±1.4	75.8 ±3.5*	279.8 ±10.2	311.5 ±2.4	361.3 ±2.4	319.8 ±3.4*	304.0 ±14.4*
Покой	12 Д	788.1 ±35.2	53.4 ±2.1	32.0 ±1.2	85.4 ±2.7	217.7 ±12.1	250.0 ±6.7	303.7 ±10.9	347.2 ±8.4	484.4 ±34.9
Сразу после нагрузки		599.5 ±33.3*	47.5 ±2.1*	27.0 ±1.5*	75.2 ±2.8*	222.0 ±13.3	245.9 ±8.4	293.5 ±12.4	289.6 ±11.1*	306.0 ±23.5*
Покой	13 М	762.4 ±28.2	48.3 ±1.1	34.4 ±2.1	82.7 ±2.2	233.7 ±5.8	268.1 ±6.1	316.4 ±5.4*	336.6 ±8.7	448.3 ±26.2
Сразу после нагрузки		632.1 ±22.6*	47.1 ±1.8	28.7 ±1.7*	75.8 ±2.2*	218.0 ±7.1*	248.1 ±6.7*	293.4 ±4.6*	308.2 ±3.5*	381.7 ±21.2*
Покой	13 Д	778.7 ±30.2	48.5 ±1.8	32.6 ±1.9	81.1 ±2.1	252.2 ±10.8	284.8 ±10.6	333.3 ±10.1	357.0 ±13.5	446.2 ±23.8
Сразу после нагрузки		606.9 ±28.4*	46.8 ±2.1	27.0 ±1.9*	73.4 ±2.8*	213.7 ±6.1*	245.9 ±8.4*	240.7 ±7.4*	287.5 ±7.5*	326.9 ±23.5*
Покой	14 М	782.1 ±22.2	49.2 ±2.1	34.2 ±2.1	83.4 ±2.3	243.7 ±5.2	278.1 ±5.1	326.2 ±5.7	346.6 ±7.7	458.3 ±26.2
Сразу после нагрузки		642.2 ±21.6*	46.1 ±1.9	27.3 ±1.8*	73.4 ±2.1*	217.0 ±6.1*	241.1 ±6.5*	291.4 ±4.4*	307.2 ±3.6*	398.7 ±30.2
Покой	14 Д	791.5 ±31.2	49.9 ±1.9	33.6 ±1.8	83.5 ±2.4	258.2 ±11.8	294.8 ±11.1	350.3 ±12.1	360 ±12.5	456.3 ±33.8
Сразу после нагрузки		626.8 ±21.4*	47.9 ±2.2	27.3 ±1.7*	75.2 ±2.0*	219.7 ±6.0*	243.9 ±8.1*	240.7 ±4.4*	307.5 ±8.5*	396.9 ±23.5
Покой	15 М	950.1 ±20.2	67.2 ±2.0	28.2 ±2.4	95.4 ±2.1	278.7 ±5.1	373.1 ±5.0	367.2 ±5.4	367.6 ±7.8	576.3 ±25.2
Сразу после нагрузки		823.5 ±20.0*	64.7 ±2.0	27.7 ±2.0	92.4 ±2.1	234.0 ±5.1*	263.0 ±5.0*	325.1 ±4.4*	326.7 ±3.8*	498.4 ±23.0
Покой	15 Д	952.5 ±21.2	66.9 ±1.8	29.6 ±2.2	97.5 ±2.4	278.2 ±9.8	374.8 ±8.1	368.3 ±10.1	370 ±10.5	586.3 ±23.8
Сразу после нагрузки		820.1 ±20.0*	64.0 ±2.3	27.7 ±2.1	91.7 ±2.1	230.0 ±5.2*	261.0 ±5.0*	322.1 ±4.4*	324.7 ±3.8*	500.4 ±21.0

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

Note. – significance of differences between baseline and load.*

Основным механизмом уменьшения длительности сердечного цикла при физической работе считают снижение тонуса блуждающих нервов и увеличение симпатических влияний на сердце. Выявленное снижение длительности сердечного цикла у подростков 10–15 лет, происходящее за счет хорошей сократительной активности миокарда 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 восстановление энергетических ресурсов миокарда и обуславливает эффективность последующей систолы^{8, 9, 10} [5].

У девочек 11, 12 и 13 лет и мальчиков 12–13 лет снижение длительности сердечного цикла происходило также и за счет существенного укорочения времени диастолы, что свидетельствует о более напряженной реакции сократительной функции миокарда на физическую нагрузку.

На примере девочек 11 и 15 лет показаны два варианта реакции сократительной функции миокарда на физическую динамическую нагрузку (рис. 3).

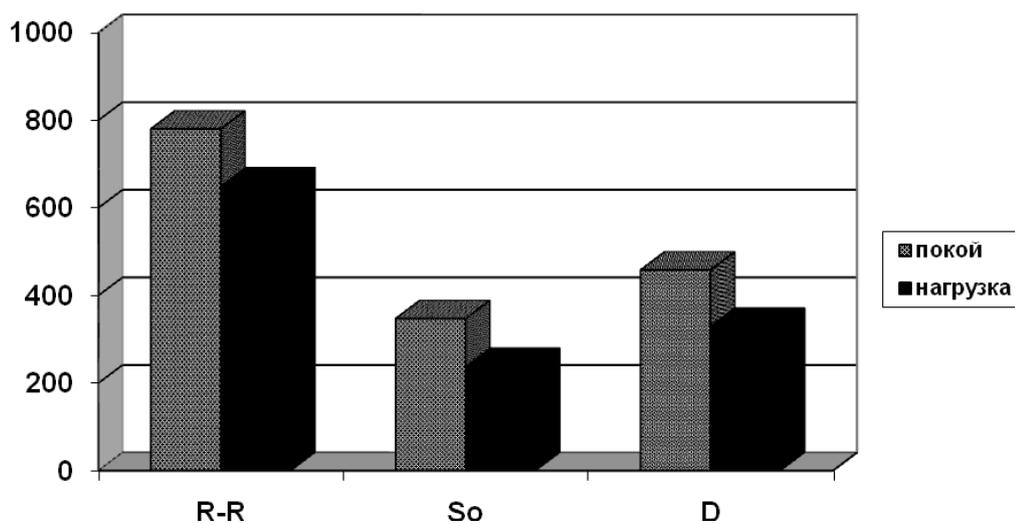


Рис. 3. Изменения продолжительности сердечного цикла (R–R), общей систолы (So) и диастолы (D) при физической нагрузке у девочек 11 лет (напряженная адаптация сократительной функции миокарда)

Fig. 3. Changes in the duration of the cardiac cycle (R–R), total systole (So) and diastole (D) during exercise in girls 11 years (intense adaptation of myocardial contractile function)

⁸ Меерсон Ф. З. Адаптация сердца к большой нагрузке и сердечная недостаточность. – М.: Наука, 1975. – 263 с.

⁹ Тупицын И. О. Возрастная динамика и адаптационные изменения сердечно-сосудистой системы школьников: Автореф. дис. ... докт. мед. наук. – М., 1986. – 42 с.

¹⁰ Тупицын И. О., Андреева И. Г., Безобразова В. Н. с соавт. Развитие системы кровообращения // Физиология развития ребенка / Под ред. М. М. Безруких, Д. А. Фарбер, 2000. – С. 148–166.

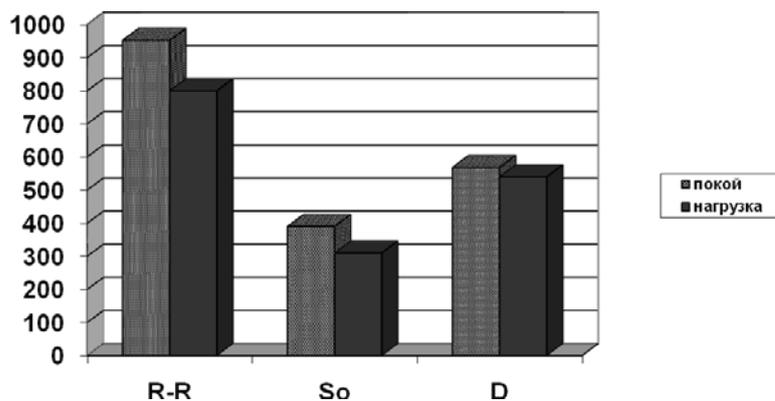


Рис. 4. Изменения продолжительности сердечного цикла (R–R), общей систолы (So) и диастолы (D) при физической нагрузке у девочек 15 лет (благоприятная адаптация сократительной функции миокарда)

Fig. 4. Changes in the duration of the cardiac cycle (R–R), total systole (So) and diastole (D) during exercise in girls 15 years (favorable adaptation of myocardial contractile function)

Таким образом, продолжительность диастолической паузы при действии физической динамической нагрузки является важным критерием успешности краткосрочной адаптации сократительной функции миокарда.

Проведенное реоэнцефалографическое исследование кровообращения головного мозга не показало достоверных различий изученных показателей между мальчиками и девочками в возрастной период 10–15 лет как в состоянии покоя, так и при умственной деятельности. Изучение адаптации мозгового кровообращения к умственной нагрузке выявило у всех испытуемых 10–15 лет разнонаправленные изменения большинства показателей РЭГ. В качестве примера приведена таблица с результатами исследования у школьников 13 лет (табл. 6). Был проведен индивидуальный анализ динамики параметров РЭГ в соответствии с изменениями показателя, отражающего артериальный приток (АЧП, у. е.).

Все испытуемые были разделены на две группы. В группу 1 вошли дети с увеличением АЧП (78–66 % испытуемых), группу 2 составили испытуемые со снижением АЧП (22–34 % испытуемых).

Умственная нагрузка вызывала у всех испытуемых 1 группы (табл. 6) существенное повышение показателя АЧП и снижение а/Г. Следовательно, реакция мозгового кровообращения характеризовалась существенным увеличением артериального притока, снижением тонуса мозговых артерий крупного и среднего калибра в лобных областях головного мозга. Указанные изменения кровообращения головного мозга согласуются с результатами исследований у школьников разного возраста, показавших снижение тонического напряжения церебральных артерий при различных видах умственной деятельности^{11,12} [7; 8].

¹¹ Безобразова В. Н., Догадкина С. Б., Пономарева Т. А. Возрастное развитие периферического отдела сердечно-сосудистой системы // Физиология развития ребёнка: руководство по возрастной физиологии / под ред. М. М. Безруких, Д. А. Фарбер. – М.– Воронеж: МПСИ, 2010. – С. 483–526.

¹² Есипова И. К. Морфологические параллели в исследовании кровеносных сосудов и классификация последних // Очерки по гемодинамической перестройке сосудистой системы. – М., 1971. – С. 3–18.

Таблица 6

Динамика показателей мозгового кровообращения детей 13 лет при действии умственной нагрузки ($M \pm m$)

Table 6

Dynamics of indicators of cerebral circulation in children 13 years under the action of mental stress ($M \pm m$)

группа	Показатели									
	А, Ом		АЧП, у.е.		di, %		a/T, %		ЧСС, уд/м	
	ИС	Н	ИС	Н	ИС	Н	ИС	Н	ИС	Н
Общая	0,229± 0,011	0,231± 0,012	2,7± 0,18	3,12± 0,19	65,3± 1,23	54,9± 1,34*	23,2± 0,74	20,2± 0,79	84,5± 2,48	85,7± 3,11
1	0,212± 0,011	0,208± 0,010	2,76± 0,17	3,33± 0,14*	61,1± 1,19	51,8± 1,37*	21,3± 0,32	17,8± 0,29*	86,6± 2,67	87,9± 2,64
2	0,246± 0,012	0,222± 0,011	3,16± 0,16	2,5± 0,12*	66,0± 1,21	61,4± 1,28*	21,0± 0,28	22,7± 0,19*	83,7± 2,61	89,6± 2,56*

Примечание. И.С. – исходное состояние; Н – умственная нагрузка; * – достоверные отличия показателей по сравнению с исходным состоянием; 1 группа – дети с увеличением АЧП; 2 группа – дети со снижением АЧП

Notes. I. S. – initial state; H – mental load; * – significant differences in indicators compared to the initial state; group 1 – children with increased ACP; group 2 – children with reduced ACP

Выявленные изменения мозгового кровообращения свидетельствуют о том, что данная реакция системы мозгового кровообращения на умственную деятельность является благоприятной, поскольку не сопровождается существенным напряжением механизмов регуляции^{10, 13}.

У всех детей 2 группы наблюдалось выраженное снижение АЧП, и возрастание a/T, а также увеличение ЧСС (табл. 6). Следовательно, реакция мозгового кровообращения характеризовалась снижением артериального притока, повышением тонуса крупных и средних мозговых артерий в лобных областях головного мозга на фоне значительного возрастания ЧСС.

Отмеченное снижение артериального притока и повышение тонуса церебральных

артерий крупного калибра можно характеризовать как проявление реакции ауторегуляции мозгового кровообращения, обусловленное изменениями параметров центральной гемодинамики¹⁴. Выявленное повышение тонического напряжения церебральных артерий свидетельствует о напряжении механизмов регуляции мозгового кровообращения при умственной деятельности, что соответствует результатам исследований, проведенных у детей разного возраста^{10,12}. Отмеченные изменения изученных параметров мозгового кровообращения указывают на генерализованный характер реакции сердечно-сосудистой си-

¹³ 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.

¹⁴ Мчедlishvili Г. И. Регуляция мозгового кровообращения. – М.: «Мецниераба», 1980. – 158 с.

стемы, что в условиях умственной деятельности характеризует напряжение механизмов адаптации системы кровообращения^{10, 15, 16}.

Важным является тот факт, что у всех испытуемых умственная нагрузка сопровождалась достоверным снижением дикротического индекса (в 10 лет с $58,1 \pm 1,2$ % до $51,3 \pm 1,3$ %. В 13 лет с $65,3 \pm 1,3$ % до $51,9 \pm 1,4$ %. В 15 лет с $57,1 \pm 1,2$ % до $48,9 \pm 1,2$ %). Следовательно, краткосрочная адаптация мозгового кровообращения к умственной нагрузке характеризовалась существенным снижением тонуса мозговых артерий малого калибра, что соответствует результатам изучения мозгового кровообращения у детей школьного возраста при умственной деятельности¹⁰. Выявленное снижение тонического напряжения церебральных артерий малого калибра является проявлением ауторегуляции мозгового кровотока, направленной на поддержание адекватного кровоснабжения нервной ткани при повышении ее функциональной активности во время умственной деятельности.

При изучении реакции эндокринной системы на умственную нагрузку было установлено, что мальчики статистически значимо не отличались от девочек, это позволило объединить их в одну группу. Концентрация кортизола в слюне до умственной нагрузки не зависела от фактора «возраст» ($F(5, 140) = 1,62$; $p = 0,157$) в отличие от уровня гормона после счёта в уме ($F(5, 140) = 2,27$; $p < 0,05$), но *post-hoc* анализ (тест Тьюки) показал статистически значимые различия только между 10 и 15-летними детьми. Корреляционная связь между концентрацией кортизола после умственной нагрузки и возрастом была статистически значима ($p < 0,05$). Попарное сравнение уровня

кортизола до и после теста в разных возрастных группах выявило статистически значимое различие между данными показателями только у 10-летних школьников ($p = 0,01$). В этой группе наблюдался самый высокий процент прироста ($-12,39 \pm 4,40$ %) по сравнению с детьми 11–15 лет.

С помощью индивидуального анализа направленности изменения концентрации кортизола (δ , %) после умственной нагрузки установили, что у 42,47 % школьников счёт в уме вызывал повышение уровня гормона (I тип реакции) в среднем на $17,20 \pm 2,01$ %, а у 57,53 % школьников – понижение (II тип реакции) в среднем на $-15,33 \pm 1,26$ %. Исходный уровень кортизола у детей с I типом реакции оказался ниже, чем у испытуемых со II типом, но различия не были статистически значимы. Попарное сравнение концентрации гормона до и после счёта в уме в группах разного возраста и типа реакции на нагрузку выявило статистически значимые различия между изучаемыми показателями ($p < 0,05-0,001$). Установлена корреляционная связь между уровнем гормона до нагрузки с его приростом после теста: положительная для I типа реакции и отрицательная для II типа реакции ($r = 0,40$ и $r = -0,78$; при $p < 0,01$).

На рис. 5 представлена динамика содержания кортизола в слюне у школьников 10–15 лет с разным типом реакции на счёт в уме. Необходимо отметить, что в группе 10-летних и 14-летних школьников количество детей со II типом реакции на умственную нагрузку было в 3,5 и 2,2 раза больше, чем с I типом. В других возрастных группах соотношение числа детей с I и II типом реакции на тест было

¹⁵ Пономарёва Т. А. Срочная адаптация системы кровообращения детей младшего школьного возраста к работе на компьютере: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2005. – 20 с.

¹⁶ Шварков С. Б. Синдром вегетативной дистонии у детей и подростков: Автореф. дис. ... докт. мед. наук – М., 1993. – 70 с.

примерно одинаковым. Самый высокий процент прироста кортизола у школьников с I типом реакции отмечен в 15 лет ($24,91 \pm 6,98 \%$),

со II типом реакции – в 10 лет ($-19,89 \pm 3,44 \%$).

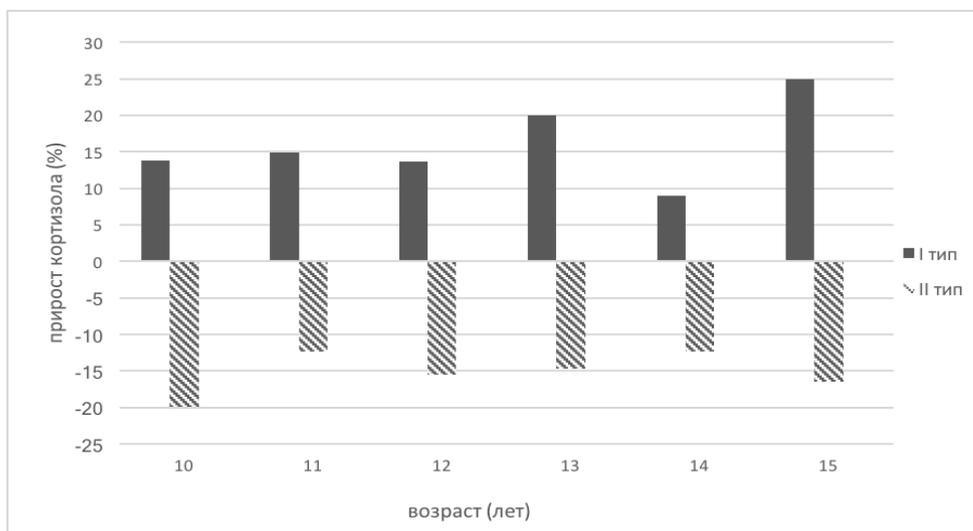


Рис. 5. Динамика прироста концентрации кортизола у школьников 10–15 лет в зависимости от типа реакции на умственную нагрузку

Fig. 5. Dynamics of cortisol concentration increase in schoolchildren aged 10–15 years, in depending on the type of reaction to mental stress

Счет в уме является широко применяемым лабораторным стресс-тестом [2], а уровень кортизола – одним из чувствительных показателей, с помощью которого выявляют и оценивают физиологические изменения, происходящие в ответ на умственную нагрузку [20].

Результаты проведенного анализа позволили установить у детей отсутствие половых различий по реакции на умственную нагрузку, что согласуется с выводами других авторов [12; 13]. Наши данные свидетельствуют о том, что изменение уровня кортизола на счет в уме зависит от фактора «возраст». Gunnar et al. (2009) [13], которые обнаружили у 15-летних подростков самые высокие значения концентрации кортизола до и после TSST-C по сравнению с 9–13-летними детьми. Авторы отмечают гипореактивность гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси (ГГН-оси) у младших детей, которую мы наблюдали у школь-

ников в 10 лет. С одной стороны, такую реакцию можно объяснить активацией эндокринной системы до теста (т. е. упреждающее возбуждение), что часто связывают с плохой регуляторной способностью. С другой стороны, не исключается влияние начала полового созревания на стресс-реактивность ГГН-оси младших детей. Также обращают на себя внимание 14-летние школьники, среди которых преобладают дети, у которых уровень кортизола на счёт в уме снижается. По свидетельству других исследований, возраст 14 лет характеризуется выраженными изменениями функционального состояния детей [6].

Заключение

У всех детей 10–15 лет отмечается увеличение симпатической и существенное снижение парасимпатической активности в регуляции сердечного ритма в ответ на ортопробу. Рост низкочастотного компонента в ответ на

ортостатическое воздействие, особенно значительный у мальчиков 14 и 15 лет и девочек 14 лет указывает на активное включение вазомоторного центра в процесс регуляции сосудистого тонуса [4; 14].

Наиболее высокая суммарная активность нейрогуморальных влияний и активность парасимпатического звена вегетативной нервной регуляции отмечается у детей 14–15 лет со сбалансированной регуляцией сердечного ритма и с преобладанием парасимпатической активности ВНС.

Основными критериями успешности адаптации организма являются: тип автономной нервной регуляции сердечного ритма, высокая вариабельность сердечного ритма с преобладанием высокочастотного компонента, адекватная реакция вариабельности сердечного ритма на ортостатическое воздействие.

Физическая нагрузка динамического характера вызывает у детей 10–15 лет укорочение общей длительности сердечного цикла и электрической систолы, уменьшение времени предсердно-желудочковой проводимости. Изменения биоэлектрической активности миокарда свидетельствуют об адекватном адапционном ответе детей данного возраста на нагрузку.

Выявлено 2 варианта краткосрочной адаптации сократительной функции миокарда к физической нагрузке. Первый вариант наблюдался у большинства подростков 10–15 лет и характеризовался существенным снижением длительности сердечного цикла за счет хорошей сократительной активности миокарда без существенного изменения времени диастолы, что свидетельствует о благоприятной реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку. При втором варианте снижение длительности сердечного цикла

происходило также и за счет существенного укорочения времени диастолы, что свидетельствует о более напряженной реакции сократительной функции миокарда на физическую нагрузку. Более напряженная адаптация сократительной функции миокарда отмечена у девочек 11, 12 и 13 лет и мальчиков 12–13 лет.

Срочная адаптация кровообращения головного мозга к умственной нагрузке у большинства подростков 10–15 лет не сопровождалась напряжением механизмов регуляции мозгового кровообращения и носила благоприятный характер. Умственная нагрузка вызывала существенное увеличение артериального притока, снижение тонуса мозговых артерий в лобных областях головного мозга.

Срочная адаптация мозгового кровообращения к умственной нагрузке у части подростков 10–15 лет (22–34 % испытуемых) характеризовалась напряжением механизмов регуляции. Умственная деятельность сопровождалась снижением артериального притока, повышением тонуса мозговых артерий крупного и среднего калибра при существенном возрастании частоты сердечных сокращений.

Срочная адаптация мозгового кровообращения к умственной нагрузке у всех детей 10–15 лет характеризуется снижением тонуса церебральных артерий малого калибра.

Умственная нагрузка оказывает существенное влияние на школьников 10–15 лет. Установлены возрастные особенности динамики уровня гормона у детей при счете в уме и отсутствие половых различий реакции эндокринной системы на тест. В зависимости от направленности изменения концентрации кортизола при умственной нагрузке выявлено два типа реакции: первая – повышение активности эндокринной системы, вторая – понижение.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берестнева О. Г., Марухина О. В., Шаропин К. А. Применение информационно-энтропийного подхода для исследования особенностей адаптации студентов к обучению в вузе // Интернет-журнал Науковедение. – 2013. – № 3 (16). – С. 51. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20194709>
2. Димитриев Д. А., Саперова Е. В. Вариабельность сердечного ритма и артериальное давление при ментальном стрессе // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2015. – Т. 101, № 1. – С. 98–107. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22831763>
3. Иванов Г. Г., Эльгаили А. А., Ахмед М. Некоторые особенности стандартной ЭКГ (этнические, расовые и половозрастные) // Функциональная диагностика. – 2010. – № 2. – С. 68–78. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16406947>
4. Максимов А. Л., Лоскутова А. Д. Возрастные изменения вариабельности сердечного ритма и гемодинамики в зависимости от преобладающего типа вегетативной нервной регуляции // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2014. – Т. 100, № 5. – С. 634–647. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21530986>
5. Прокофьева В. Н., Кузнецов В. И., Корневская А. А. Зависимость продолжительности фаз и периодов сердечного цикла у спортсменов от направленности тренировочного процесса // Физиология человека. – 2007. – Т. 33, № 6. – С. 71–78. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9562641>
6. Тарасова О. Л., Казин Э. М., Фёдоров А. И., Игишева Л. Н., Четверик О. Н. Комплексная оценка нейродинамических и вегетативных показателей у подростков: возрастные, гендерные и типологические особенности // Физиология человека. – 2017. – Т. 43, № 1. – С. 45–54. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=28172458>
7. Шаратов А. Н., Безобразова В. Н., Догадкина С. Б., Кмить Г. В., Рублева Л. В., Ермакова И. В. Адаптация сердечно-сосудистой и нейроэндокринной систем к нагрузкам разного вида у подростков 12–14 лет // Новые исследования. – 2016. – № 4 (49). – С. 21–43. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32323240>
8. Шаратов А. Н., Сельверова Н. Б., Рублева Л. В., Кмить Г. В., Догадкина С. Б., Безобразова В. Н., Ермакова И. В. Функциональное состояние сердечно-сосудистой и нейроэндокринной систем у подростков 14–15-летнего возраста // Новые исследования. – 2017. – № 4 (53). – С. 88–110. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34993986>
9. Шаратов А. Н., Сельверова Н. Б., Догадкина С. Б., Кмить Г. В., Рублева Л. В., Безобразова В. Н., Ермакова И. В. Возрастное развитие сердечно-сосудистой системы, автономной нервной регуляции сердечного ритма и эндокринной системы у школьников 10–15 лет // Новые исследования. – 2018. – № 2 (55). – С. 39–56. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=36448149>
10. Шлык Н. И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов: монография. – Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2009. – 254 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19551410>
11. Astakhov S., Nenasheva A., Astakhov A., Ragozin A. Heart rate variability and photoplethysmogram indicators in assessment of adaptation levels in students experiencing examination loads // Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche. – 2018. – Vol. 177 (3 Suppl 1). – P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.23736/S0393-3660.17.03722-6>
12. Doom J. R., Doyle C. M., Gunnar M. R. Social stress buffering by friends in childhood and adolescence: Effects on HPA and oxytocin activity // Social Neuroscience. – 2016. – Vol. 12, Issue 1. – P. 8–21. DOI: <https://doi.org/10.1080/17470919.2016.1149095>
13. Gunnar M. R., Wewerka S., Frenn K., Long J. D., Griggs C. Developmental changes in hypothalamus-pituitary-adrenal activity over the transition to adolescence: normative changes and



- associations with puberty // *Development and Psychopathology*. – 2009. – Vol. 21, Issue 1. – P. 69–85. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954579409000054>
14. **Herzig D., Eser P., Radtke T., Wenger A., Rusterholz T., Wilhelm M., Achermann P., Arhab A., Jenni O. G., Kakebeeke T. H., Leeger-Aschmann C. S., Messerli-Bürgy N., Meyer A. H., Munich S., Puder J. J., Schmutz E. A., Stülb K., Zysset A. E., Kriemler S.** Relation of Heart Rate and its Variability during Sleep with Age, Physical Activity, and Body Composition in Young Children // *Frontiers in Physiology*. – 2017. – Vol. 8. – P. 109. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00109>
 15. **Koenig J., Thayer J. F.** Sex differences in healthy human heart rate variability: A meta-analysis // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. – 2016. – Vol. 64. – P. 288–310. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.03.007>
 16. **Longin E., Dimitriadis C., Shazi S., Genstner T., Lenz T., Königh S.** Autonomic nervous system function in infants and adolescents: impact of autonomic tests on heart rate variability // *Pediatric Cardiology*. – 2009 – Vol. 30. – P. 311. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00246-008-9327-8>
 17. **Monaco A., Cattaneo R., Ortu E., Constantinescu M. V., Pietropaoli D.** Sensory trigeminal ULF-TENS stimulation reduces HRV response to experimentally induced arithmetic stress: A randomized clinical trial // *Physiology and Behavior*. – 2017. – Vol. 173. – P. 209–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.02.014>
 18. **Pagani M., Lombardi F., Guzzetti S., Rimoldi O., Furlan R., Pizzinelli P., Sandrone G., Malfatto G., Dell’Orto S., Picaluga E.** Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog // *Circulation Research*. – 1986. – Vol. 59, № 2. – P. 178–193. DOI: <https://doi.org/10.1161/01.res.59.2.178>
 19. **Topcu B., Akalin F.** The autonomic nervous system dysregulation in response to orthostatic stress in children with neurocardiogenic syncope // *Cardiology in the Young*. – 2010. – Vol. 20, Issue 2. – P. 165–172. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1047951109991211>
 20. **Trico D., Fanfani A., Varocchi F., Bernini G.** Endocrine and haemodynamic stress responses to an arithmetic cognitive challenge // *Neuro Endocrinology Letters*. – 2017. – Vol. 38, № 3. – P. 182–186. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28759186>
 21. **Urfer-Maurer N., Ludyga S., Stalder T., Brand S., Holsboer-Trachsler E., Gerber M., Grob A., Weber P., Lemola S.** Heart rate variability // *Psychoneuroendocrinology*. – 2018. – Vol. 87. – P. 27–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.10.004>
 22. **van den Berg M., Rijnbeek P. R., Niemeijer M. N., Hofman A., van Herpen G., Bots M. L., Hillege H., Swenne C. A., Eijgelsheim M., Stricker B. H., Kors J. A.** Normal Values of Corrected Heart-Rate Variability in 10-Second Electrocardiograms for All Ages // *Frontiers in Physiology*. – 2018. – Vol. 9. – P. 424. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00424>
 23. **Vazquez L., Blood J. D., Wu J., Chaplin T. M., Hommer R. E., Rutherford H. J., Potenza M. N., Mayes L. C., Crowley M. J.** High frequency heart-rate variability predicts adolescent depressive symptoms, particularly anhedonia, across one year // *Journal of Affective Disorders*. – 2016. – Vol. 196. – P. 243–247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.02.040>
 24. **Wang X., Liu B., Xie L., Yu X., Li M., Zhang J.** Cerebral and neural regulation of cardiovascular activity during mental stress // *BioMedical Engineering OnLine*. – 2016. – Vol. 15 (Suppl 2). – P. 160. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12938-016-0255-1>
 25. **Zaidi S. N., Collins S. M.** Orthostatic Stress Induced Changes in Heart Rate Variability, Pulse Transit Time and QRS Duration // *Journal of Bioengineering and Biomedical Science*. – 2016. – Vol. 6. – P. 194. DOI: <https://doi.org/10.4172/2155-9538.1000194>



DOI: [10.15293/2658-6762.1905.11](https://doi.org/10.15293/2658-6762.1905.11)

Irina Vladimirovna Ermakova,

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,
Laboratory of Complex Studies of Adaptation Processes,
Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of
Education, Moscow, Russian Federation.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7430-4849>

E-mail: ermek61@mail.ru

Svetlana Borisovna Dogadkina,

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,
Laboratory of Complex Studies of Adaptation Processes,
Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of
Education, Moscow, Russian Federation.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7387-9998>

E-mail: almanac@mail.ru

Larisa Vyacheslavovna Rubleva,

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,
Laboratory of Complex Studies of Adaptation Processes,
Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of
Education, Moscow, Russian Federation.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0363-2375>

E-mail: LariusR@mail.ru

Galina Vasilievna Kmit,

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,
Laboratory of Complex Studies of Adaptation Processes,
Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of
Education, Moscow, Russian Federation.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3749-9891>

E-mail: galkmit@mail.ru

Valeriya Nikolaevna Bezobrazova,

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,
Laboratory of Complex Studies of Adaptation Processes,
Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of
Education, Moscow, Russian Federation.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2406-7192>

E-mail: lerabezo@mail.ru

Alim Nasimovich Sharapov,

Doctor of Medical Sciences, MD, Head of laboratory,
Laboratory of Complex Studies of Adaptation Processes,
Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of
Education, Moscow, Russian Federation.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6862-8115>

E-mail: alim.sharapov@yandex.ru

Features of the adaptation of cardiovascular system, autonomous nervous regulation of heart rhythm and endocrine system to the loads of different character in 10-15 years-old schoolchildren

Abstract

Introduction. *Adaptation of adolescents to changing environmental conditions is one of the most important issues of age-related physiology. In order to study the characteristics of the body's adaptation of adolescents, a study was conducted of the reaction of the circulatory system, autonomic nervous and endocrine systems to different types of loads.*

Materials and Methods. *200 children of aged 10-15 years of age were examined with using the methods of spectral analysis of heart rate variability, electrocardiography, polycardiography, bipolar rheoencephalography and enzyme immunoassay for cortisol in saliva. It has been established the increase in sympathetic and significant decrease in parasympathetic activity in the regulation of heart rhythm in response to the orthostasis in all children aged 10–15 years old.*

Results. *It was shown that the main criteria for successful adaptation of an organism are: the vagal or normotonic type of the autonomic nervous regulation of heart rhythm, high heart rate variability with a predominance of the high frequency component, an adequate response of heart rate variability to orthostatic effects.*

Exercise of a dynamic nature causes shortening of the total duration of the cardiac cycle and electrical systole in children aged 10–15 years of age, reducing the time of atrioventricular conduction. Changes in the bioelectric activity of the myocardium indicate an adequate adaptation response of children of this age to the load.

Two variants of short-term adaptation of the contractile function of the myocardium to exercise were identified. The first option was observed in the majority of adolescents 10-15 years old and testified to the favorable reaction of the cardiovascular system to physical exertion. In the second variant, a more intense reaction of the contractile function of the myocardium to physical activity was observed, which was noted in girls 11, 12 and 13 years old and boys 12-13 years old.

The urgent adaptation of the cerebral blood circulation to mental stress in most adolescents 10–15 years old was not accompanied by tension in the cerebral blood flow regulation mechanisms and was favorable, whereas in some adolescents 10–15 years old (22–34% of subjects) stress regulation mechanisms.

Two types of endocrine response to mental load were identified: the first type is an increase in the level of cortisol in the saliva, the second type is a decrease in its concentration.

Conclusions. *The results showed that physical activity in all children causes an adequate reaction of indicators of myocardial bioelectrical activity, 2 variants of adaptation of the contractile function of the myocardium: the first is favorable and the second is flowing with contractile function tension, observed at the age of 11-13 years. Mental load causes 2 types of cerebral blood circulation reactions: the 1st type is not accompanied by tension regulating the blood circulation of the brain and is favorable, the 2nd type is accompanied by tension of regulation mechanisms. The endocrine system also noted 2 types of response to mental stress: with an increase and decrease in the level of cortisol in saliva. Orthostatic effect leads to a shift in autonomic nervous activity in the direction of increasing sympathetic influences. Based on the response of HRV to orthostatic effects, criteria for successful adaptation are identified.*

**Keywords**

Adaptation; Adolescents; Heart rate variability; Electrocardiography; Myocardial contractile function; Tone of cerebral arteries; Cortisol; Orthostatic effect; Physical stress; Mental stress.

Acknowledgments

The study was financial support of the Russian Foundation for Basic Research (A section of the work on the reaction of the endocrine system to mental stress, No. 15-06-0893a)

REFERENCES

1. Bereseneva O. G., Maruxina O. V., Sharopin K. A. Application information and entropy approach to study the peculiarities of student's adaptation to teaching at the university. *Online Journal Naukovedenie*, 2013, no. 3, pp. 51. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20194709>
2. Dimitriev D. A., Saperova E. V. Heart rate variability and blood pressure during mental stress. *Russian Journal of Physiology*, 2015, vol. 101, no. 1, pp. 98–107. (In Russian) URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22831763>
3. Ivanov G. G., Elgaili A. A., Ahmed M. Some peculiarities of standard ECG (ethnic, racial, gender and age). *Functional Diagnostics*, 2010, no. 2, pp. 68–78. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16406947>
4. Maksimov A. L., Loskutova A. D. Age-related changes in the heart rate variability and hemodynamics shown by aboriginals in dependence on the leading type of vegetative nervous regulation. *Russian Journal of Physiology*, 2014, vol. 100, no. 5, pp. 634–647. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21530986>
5. Prokof'eva V. N., Kuznecov V. I., Korenevskaya A. A. Zavisi most` The durations of the phases and periods of the cardiac cycle in athletes as dependent on the specific type of training. *Human Physiology*, 2007, vol. 33, no. 6, pp. 71–78. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9562641>
6. Tarasova O. L., Kazin E. M., Fyodorov A. I., Igisheva L. N., Chetverik O. N. Integrated assessment of neurodynamic and autonomic indicators in adolescents: Age-specific, gender-specific, and typological characteristics. *Human Physiology*, 2017, vol. 43, no. 1, pp. 45–54. (In Russian) URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=28172458>
7. Sharapov A. N., Bezobrazova V. N., Dogadkina S. B., Kmit` G. V., Rubleva L. V., Ermakova I. V. Adaptation of cardiovascular and neuroendocrine systems to loads of different types in 12-14-year-old adolescents. *New Research*, 2016, no. 4, pp. 21–43. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32323240>
8. Sharapov A. N., Sel`verova N. B., Rubleva L. V., Kmit` G. V., Dogadkina S. B., Bezobrazova V. N., Ermakova I. V. Functional state of cardiovascular and neuroendocrine systems in 14-15-year-old adolescents. *New Research*, 2017, no. 4, pp. 88–110. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34993986>
9. Sharapov A. N., Sel`verova N. B., Dogadkina S. B., Kmit` G. V., Rubleva L. V., Bezobrazova V. N., Ermakova I. V. Age development of cardiovascular system, autonomic nervous regulation of heart rhythm and endocrine system in 10-15-year-old schoolchildren. *New Research*, 2018, no. 2, pp. 39–56. (In Russian) URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=36448149>
10. Shly`k N. I. *Heart rate and regulation type of children, teenagers and sportsmen*. Monograph. Izhevsk, Udmurt State University Publ., 2009, 254 p. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19551410>



11. Astakhov S., Nenasheva A., Astakhov A., Ragozin A. Heart rate variability and photoplethysmogram indicators in assessment of adaptation levels in students experiencing examination loads. *Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche*, 2018, vol. 177 (3 Suppl 1), pp. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.23736/S0393-3660.17.03722-6>
12. Doom J. R., Doyle C. M., Gunnar M. R. Social stress buffering by friends in childhood and adolescence: Effects on HPA and oxytocin activity. *Social Neuroscience*, 2016, vol. 12, no. 1, pp. 8–21. DOI: <https://doi.org/10.1080/17470919.2016.1149095>
13. Gunnar M. R., Wewerka S., Frenn K., Long J. D., Griggs C. Developmental changes in hypothalamus-pituitary-adrenal activity over the transition to adolescence: Normative changes and associations with puberty. *Development and Psychopathology*, 2009, vol. 21, issue 1, pp. 69–85. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954579409000054>
14. Herzig D., Eser P., Radtke T., Wenger A., Rusterholz T., Wilhelm M., Achermann P., Arhab A., Jenni O. G., Kakebeeke T. H., Leeger-Aschmann C. S., Messerli-Bürgy N., Meyer A. H., Munich S., Puder J. J., Schmutz E. A., Stüb K., Zysset A. E., Kriemler S. Relation of heart rate and its variability during sleep with age, physical activity, and body composition in young children. *Frontiers in Physiology*, 2017, vol. 8, pp. 109. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00109>
15. Koenig J., Thayer J. F. Sex differences in healthy human heart rate variability: A meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2016, vol. 64, pp. 288–310. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.03.007>
16. Longin E., Dimitriadis C., Shazi S., Genstner T., Lenz T., Königt S. Autonomic nervous system function in infants and adolescents: Impact of autonomic tests on heart rate variability. *Pediatric Cardiology*, 2009, vol. 30, pp. 311. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00246-008-9327-8>
17. Monaco A., Cattaneo R., Ortu E., Constantinescu M. V., Pietropaoli D. Sensory trigeminal ULF-TENS stimulation reduces HRV response to experimentally induced arithmetic stress: A randomized clinical trial. *Physiology and Behavior*, 2017, vol. 173, pp. 209–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.02.014>
18. Pagani M., Lombardi F., Guzzetti S., Rimoldi O., Furlan R., Pizzinelli P., Sandrone G., Malfatto G., Dell'Orto S., Picaluga E. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circulation Research*, 1986, vol. 59, no. 2, pp. 178–193. DOI: <https://doi.org/10.1161/01.res.59.2.178>
19. Topcu B., Akalin F. The autonomic nervous system dysregulation in response to orthostatic stress in children with neurocardiogenic syncope. *Cardiology in the Young*, 2010, vol. 20, no. 2, pp. 165–172. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1047951109991211>
20. Trico D., Fanfani A., Varocchi F., Bernini G. Endocrine and haemodynamic stress responses to an arithmetic cognitive challenge. *Neuro Endocrinology Letters*, 2017, vol. 38, no. 3, pp. 182–186. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28759186>
21. Urfer-Maurer N., Ludyga S., Stalder T., Brand S., Holsboer-Trachsler E., Gerber M., Grob A., Weber P., Lemola S. Heart rate variability. *Psychoneuroendocrinology*, 2018, vol. 87, pp. 27–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.10.004>
22. van den Berg M., Rijnbeek P. R., Niemeijer M. N., Hofman A., van Herpen G., Bots M. L., Hillege H., Swenne C. A., Eijgelsheim M., Stricker B. H., Kors J. A. Normal values of corrected heart-rate variability in 10-second electrocardiograms for all ages. *Frontiers in Physiology*, 2018, vol. 9, pp. 424. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00424>
23. Vazquez L., Blood J. D., Wu J., Chaplin T. M., Hommer R. E., Rutherford H. J., Potenza M. N., Mayes L. C., Crowley M. J. High frequency heart-rate variability predicts adolescent depressive



- symptoms, particularly anhedonia, across one year. *Journal of Affective Disorders*, 2016, vol. 196, pp. 243–247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.02.040>
24. Wang X., Liu B., Xie L., Yu X., Li M., Zhang J. Cerebral and neural regulation of cardiovascular activity during mental stress. *BioMedical Engineering OnLine*, 2016, vol. 15 (Suppl 2), pp. 160. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12938-016-0255-1>
25. Zaidi S. N., Collins S. M. Orthostatic stress induced changes in heart rate variability, pulse transit time and QRS duration. *Journal of Bioengineering and Biomedical Science*, 2016, vol. 6, pp. 194. DOI: <https://doi.org/10.4172/2155-9538.1000194>

Submitted: 18 August 2019

Accepted: 09 September 2019

Published: 31 October 2019



This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. (CC BY 4.0).