

УДК 57.048:[612.1+612.821]

ВЛИЯНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ НАГРУЗКИ И СЕЗОННОГО ФАКТОРА НА ПОКАЗАТЕЛИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ

© 2021 г. Н. Б. Панкова¹, *, И. Б. Алчинова¹, О. И. Ковалёва¹, М. А. Лебедева¹,
Н. Н. Хлебникова¹, А. Б. Черепов¹, Л. А. Носкин², М. Ю. Карганов¹

¹ФГБНУ Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии,
Москва, Россия

²ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики имени Б.П. Константинова»
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,
Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: nbpankova@gmail.com

Поступила в редакцию 09.02.2021 г.

После доработки 17.03.2021 г.

Принята к публикации 22.03.2021 г.

Целью данного исследования был анализ показателей сердечно-сосудистой системы, включая показатели вариабельности сердечного ритма (СР) и артериального давления (АД), у учащихся начальной школы с разным уровнем компьютерной нагрузки. В работу включены результаты 4084 учащихся 1–4-х классов (в возрасте 7–12 лет) из 66 различных образовательных организаций Москвы. Объем урочной и внешкольной компьютерной нагрузки оценивали учителя, на основании требований СанПиН: 0 баллов – нет нагрузки, 1 балл – соответствие гигиеническим нормативам, 2 балла – двукратное и более превышение требований. Физиологические обследования проведены методом спирометрической маски в надетой спирометрической маске, что соответствует условиям функциональной нагрузочной пробы (мягкая гиперкапния/гипоксия). Тестирования проходили весной и осенью (независимые выборки). Статистическую обработку данных проводили с использованием непараметрических критериев. Выявлено, что внедрение компьютерных технологий в образовательную среду в урочное время в пределах гигиенических нормативов сопровождается повышением в границах нормы величины систолического АД у девочек в конце 2-го и 4-го классов, у мальчиков – в начале и в конце 4-го класса. Превышение гигиенических нормативов в 2 и более раза не оказывает дополнительного влияния на уровень АД, однако провоцирует сдвиги в функционировании систем автономной регуляции. Более чувствительными к влиянию данного фактора оказались мальчики. У них меняется паттерн сезонной изменчивости общей мощности спектра вариабельности СР (TP) на противоположный, по сравнению с таковым у детей, не использующих компьютеры в школе: значения TP становятся более высокими в весенних обследованиях. В 4-м классе данный процесс сопровождается повышением величины чувствительности спонтанного артериального барорефлекса и снижением относительной мощности диапазона LF в спектре вариабельности систолического АД. Описанные сдвиги, по нашему мнению, отражают развитие адаптивного ответа в организме детей в ответ на изменение образовательной среды.

Ключевые слова: артериальное давление, вариабельность сердечного ритма, сезонная вариабельность, дети, начальная школа, компьютерная нагрузка, гигиенические нормативы.

DOI: 10.31857/S0131164621060096

В оценке функционального состояния организма человека в период роста и развития ведущая роль принадлежит изучению состояния регуляторных систем – нервной (автономной нервной системы) и гуморальной (нейроэндокринной системы) [1]. Среди неинвазивных методов такой оценки не теряет актуальности непрерывная регистрация параметров сердечного ритма (СР) длительностью несколько минут, с последующим

анализом их вариабельности по алгоритмам спектрального, геометрического и статистического анализа [2]. В детских коллективах метод оценки вариабельности СР весьма эффективен при изучении влияния на растущий организм факторов образовательной среды. В первую очередь это относится к гиподинамии [3–5], а также к внедряемым в последние годы цифровым образовательным технологиям [6, 7].

Естественно, что компьютеризация и информатизация образовательной среды, перешедшие в настоящее время в стадию тотальной цифровизации, усиливают гиподинамию у детей школьного возраста [8]. Это особенно ярко проявилось в период вынужденного дистанционного обучения в связи с COVID-19, когда время, проводимое школьниками за компьютерами, увеличилось до 3 раз [9, 10]. И, хотя непосредственного негативного влияния общения с компьютерами и различными гаджетами на сердечно-сосудистую систему не описано [11], возрастание в структуре поведения детей доли сидящего образа жизни повышает риск развития кардио-метаболического синдрома [12, 13]. Кроме того, известно, что у детей и подростков низкий уровень двигательной активности негативно сказывается на эффективности автономной регуляции сердечно-сосудистой системы [3–5], а также ослабляет их циркадную вариабельность [14].

Авторы настоящей статьи проводят многолетние мониторинговые исследования показателей сердечно-сосудистой системы детей и подростков, включая анализ вариабельности СР и артериального давления (АД) методом спироартериокардиографии (САКР) [15]. Было обнаружено, что с 2002–2003 по 2014 гг. по этим показателям у первоклассников г. Москвы произошли значимые изменения [16]: в спектре вариабельности СР отмечено возрастание мощности диапазона LF , с соответствующим возрастанием индекса LF/HF . Проведенная одновременно прямая (при измерении в дыхательном цикле) и непрямая (по α -индексу) оценка величины чувствительности спонтанного артериального барорефлекса не выявила динамики данного показателя [16]. Кроме того, обнаружено, что такие показатели, как систолическое АД (АДсист.) и отношение LF/HF в спектре вариабельности СР, обладают сезонной изменчивостью [17]. На выборках 2004–2007 гг. учащихся начальной и основной школы, а также взрослых людей при оценке динамики этих показателей (степени изменения за полугодие – от весны к осени, или от осени к весне) выявлено снижение за учебный год АДсист. и возрастание LF/HF . Однако в 2016–2019 гг. в выборке учащихся начальной школы динамические процессы изменили знак на противоположный: возрастание за учебный год (осень–весна) АДсист. и снижение LF/HF (со 2-го по 5-й класс) [17].

Таким образом, обнаружили существенные изменения в показателях сердечно-сосудистой системы (включая показатели их вариабельности, отражающие состояние регуляторных систем) у учащихся начальной школы, произошедшие за последние годы, и высказали предположение о связи таких изменений с компьютеризацией образования. Целью настоящего исследования стала проверка данной гипотезы – анализ показате-

лей сердечно-сосудистой системы (включая показатели вариабельности СР и АД) у учащихся начальной школы с разным уровнем компьютерной нагрузки. Мониторинг проводился в 2006–2011 гг., на первых этапах компьютеризации образования, когда еще не все школы использовали новые технологии в образовательном процессе. Обследования проведены методом САКР, с тестированиями весной и осенью (независимые выборки).

МЕТОДИКА

В исследовании использовали данные, полученные в образовательных организациях г. Москвы в рамках программы “Здоровье школьника” Департамента образования г. Москвы (2006–2011 гг.). Всего в работу были включены результаты 4084 учащихся 1–4-х классов (в возрасте 7–12 лет) из 66 различных образовательных организаций, без подтвержденной патологии сердечно-сосудистой системы и без выявленных в исследовании нарушений СР.

Метод САКР (производитель приборного комплекса с программным обеспечением ООО “ИНТОКС”, Россия) позволяет проводить одновременную непрерывную регистрацию ЭКГ в 1-м стандартном отведении (с последующей оценкой вариабельности СР), пальцевого АД методом фотоплетизмографии (с последующей оценкой вариабельности систолического и диастолического АД – АДсист. и АДдиаст.), а также показателей дыхания с использованием ультразвукового датчика регистрации воздушного потока (при надежной спирометрической маске). Помимо спектральных показателей вариабельности СР и АД (общая мощность спектра TP , абсолютная и относительная мощность стандартных диапазонов HF , LF и VLF), происходит регистрация максимальных, минимальных и средних величин. Кроме того, возможна оценка расчетных индексов на основе спектральных показателей вариабельности (LF/HF спектра СР, индекс централизации $= (VLF + LF)/HF$ спектра СР, α -индекс $= (LF(СР)/LF(АДс))^{1/2}$), а также статистических и геометрических показателей вариабельности. Отдельными опциями предусмотрена оценка величины чувствительности спонтанного артериального барорефлекса (при прямом измерении в дыхательном цикле) и показателей сердечной производительности.

Все исследования проводили в первой половине дня, в положении сидя. Длительность регистрации составляла 2 мин, что исключает возможность корректной оценки и анализа диапазонов VLF в спектрах вариабельности СР и АД.

Тестирование проводили в надетой спирометрической маске, с произвольным дыханием. Ра-

Таблица 1. Численность выборок детей в разных точках тестирования

Точка тестирования	n	0 баллов		1 балл		2 балла	
		абс.	%	абс.	%	абс.	%
Девочки							
1-1	513	94	18.3	403	78.6	16	3.1
1-2	310	55	17.7	242	78.1	13	4.2
2-1	208	78	37.5	122	58.7	8	3.8
2-2	129	68	52.7	52	40.3	9	7.0
3-1	332	121	36.4	204	61.4	7	2.1
3-2	369	174	47.2	180	48.8	15	4.1
4-1	392	126	32.1	260	66.3	6	1.5
4-2	350	135	38.6	205	58.6	10	2.9
Всего	2603	851		1668		84	
Мальчики							
1-1	510	99	19.4	395	77.5	16	3.1
1-2	321	69	21.5	239	74.5	13	4.0
2-1	96	21	21.9	67	69.8	8	8.3
2-2	103	48	46.6	49	47.6	6	5.8
3-1	166	15	9.0	141	84.9	10	6.0
3-2	129	47	36.4	71	55.0	11	8.5
4-1	109	14	12.8	90	82.6	5	4.6
4-2	47	20	42.6	22	46.8	5	10.6
Всего	1481	333		1074		74	

Примечание: обозначения точек: первая цифра обозначает класс (от 1 до 4), вторая – сезон (1 – осень, 2 – весна).

нее выяснили, что регистрация в таких условиях не безразлична для испытуемых [15], а прямые измерения состава вдыхаемого и выдыхаемого воздуха подтвердили, что надетая маска моделирует состояние мягкой смешанной гипоксии и гиперкапнии [18]. Регистрацию использовали в надежной спирометрической маске в качестве функциональной нагрузочной пробы [19].

Объем школьной компьютерной нагрузки оценивали учителя, на основании действовавших во время проведения обследований гигиенических правил и нормативов (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42836/). Ранжирование компьютерной нагрузки проводили в баллах: 0 баллов – нет нагрузки, 1 балл – соответствие требованиям СанПиН (15 мин в день, только на одном уроке), 2 балла – двукратное (и выше) превышение требований. Внешкольные компьютерные нагрузки также оценивали учителя, на основании анкетирования родителей, по тому же принципу.

Обследования проводили дважды в год (октябрь, март–апрель), точки тестирования обозначены двумя цифрами: первая обозначает класс (от 1 до 4), вторая – сезон (1 – осень, 2 – весна). Все выборки были независимыми. Численность и

общая характеристика выборок представлена в табл. 1.

Проверку нормальности распределения полученных массивов данных проводили по алгоритму Шапиро-Уилка, который позволяет работать с выборками объемом до 3000 участников (пакет *Statistica 7.0*). По результатам проверки последующую статистическую обработку данных проводили с использованием непараметрических критериев. Межгрупповые различия оценивали с использованием *H*-критерия Краскела-Уоллиса (множественные сравнения) или *U*-критерия Манна-Уитни (попарные сравнения), связи между показателями – на основании коэффициента корреляции Спирмена. Данные в таблицах и на рисунках представлены в виде медианы и межквартильного размаха (*Me [Q1; Q3]*).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные в целом были близки к нормативным медицинским величинам (по частоте сердечных сокращений, АД, показателям сердечной производительности) и к данным других исследователей (по показателям вариабель-

ности СР – с учетом условий тестирования в наддетой спирометрической маске) в соответствующих половозрастных выборках [20]. Не удалось обнаружить статистически значимых межгрупповых различий по параметрам дыхания (дыхательный объем, частота дыхания), сердечной производительности (ударный и минутный объемы крови), величины чувствительности спонтанного артериального барорефлекса (при прямом измерении в дыхательном цикле), а также статистическим и геометрическим показателям вариабельности СР. Как было выявлено при дальнейшем анализе, для достижения поставленной в работе цели наиболее информативными оказались показатели АДсист., и параметры, отражающие активность автономной регуляции АД (относительная мощность диапазона LF в спектре вариабельности АДсист.) и СР (TP и α -индекс, характеризующий чувствительность спонтанного артериального барорефлекса [21]): только по этим показателям выявили статистически значимые межгрупповые различия. Кроме того, обращали внимание на величину LF/HF в спектре вариабельности СР, которую интерпретируют как показатель автономного баланса [2, 20], обладающую сезонной изменчивостью [17]. Усредненные величины этих показателей приведены в табл. 2.

В текущем исследовании, несмотря на анализ независимых выборок, выявлена сезонная изменчивость АДсист. в виде снижения данного показателя за учебный год: у девочек – на интервале от точки тестирования 1-1 до точки 2-1, у мальчиков – от точки 1-1 до точки 4-1. Это совпадает с динамикой, описанной нами ранее в 2004–2007 гг. в разных возрастных группах. Для остальных показателей сезонная вариабельность статистически не подтверждена, что естественно, поскольку индивидуальная изменчивость измеряемых параметров (не только в сердечно-сосудистой системе) обычно достаточно велика и маскирует сезонные изменения при анализе усредненных величин независимых выборок. Именно поэтому для обнаружения сезонной вариабельности оптимально использовать повторные измерения одной и той же выборки с анализом “дельты” показателей [17, 22].

Расчет коэффициентов корреляции показал наличие связи между отобранными для детального анализа показателями и уровнем школьной компьютерной нагрузки, но не внешкольными нагрузками (табл. 3). По данным табл. 3 видно, что существует прямая корреляция между уровнем АДсист. и продолжительностью школьной компьютерной нагрузки: у девочек – в конце 1-го (точка 1-2), 2-го (2-2) и 4-го (4-2) классов и в начале 3-го (3-1) класса, у мальчиков – в 4-м классе (точки 4-1 и 4-2).

Более высокие величины АДсист. среди школьников, использующих компьютеры в шко-

ле в рамках гигиенических нормативов, по сравнению с теми, кто обходится без них (различия между группами 0 баллов и 1 балл), обнаружены у девочек на точках тестирования 2-2 и 4-2, у мальчиков – в точке 4-1 (рис. 1). При повышении уровня компьютерной нагрузки до 2 баллов отмечены более низкие, по сравнению с группами 0 и 1, величины АДсист. у девочек в начале 2-го класса (точка 2-1) и, наоборот, более высокие – у мальчиков в начале 4-го класса (точка 4-1).

Единственный показатель, у которого распределение в точках 4-1 и 4-2 у мальчиков было нормальным – АДсист. Поэтому провели расчет в этих точках по данному показателю у мальчиков еще и по параметрическому алгоритму *ANOVA*. В точке 4-1: $F(2, 106) = 3.2010, p = 0.039$. Различия средних по критерию Тьюки: 0-1 – 0.039, 0-2 – 0.235. Мощность критерия *ANOVA* для 3 групп, с рассчитанной величиной $RMSSE = 14.17$, при выявленных средних величинах АДсист., составила 1.000, даже допустив, что все 3 группы имели размер не более $n = 5$. При попарном сравнении по критерию Стьюдента: 0-1 $\beta = 1 - 0.773 = 0.227, t = 2.466, df = 102, p = 0.0153$; 0-2 $\beta = 1 - 0.391 = 0.609, t = 1.995, df = 17, p = 0.0623$. В точке 4-2: $F(2, 44) = 4.4748, p = 0.017$. Различия средних по критерию Тьюки: 0-1 – 0.020, 0-2 – 0.144. Мощность критерия для 3 групп, с рассчитанной величиной $RMSSE = 10.02$, при выявленных средних величинах АДсист., составила 1.000, даже допустив, что все 3 группы имели размер не более $n = 5$. При попарном сравнении по критерию Стьюдента: 0-1 $\beta = 1 - 0.984 = 0.016, t = 2.689, df = 40, p = 0.0104$; 0-2 $\beta = 1 - 0.819 = 0.181, t = 1.732, df = 23, p = 0.0966$.

Таким образом, у мальчиков на точках тестирования 4-1 и 4-2 средние величины АДсист. в выборках детей с компьютерной нагрузкой в пределах гигиенических нормативов (группа 1) были выше, чем в группах без нагрузки (0). В группах детей с высокой компьютерной нагрузкой (2) на обеих точках тестирования выявлена тенденция к отличию показателей от группы 0, которая не достигла уровня статистической значимости. Однако высокая вероятность ошибки второго рода позволяет предположить, что данная проблема может быть снята при увеличении выборки в группе 2.

Наши национальные гигиенические нормативы являются более жесткими по сравнению с таковыми в зарубежных странах [23], а величины компьютерной нагрузки в 2 балла в текущем исследовании сопоставимы со “средними” в близких по теме работах [24]. Тем не менее, можно сравнить наши данные с результатами других исследовательских групп. На сегодняшний день нет убедительных доказательств негативного влияния компьютерных нагрузок как таковых на базо-

Таблица 2. Показатели сердечно-сосудистой системы (в виде медианы и межквартильного размаха) у детей в разных точках тестирования

Точка тестирования	Девочки	Мальчики
АДсист., мм рт. ст.		
1-1	101.0 [93.5; 106.6]	100.2 [92.3; 107.0]
1-2	96.9 [90.6; 103.6] [#]	97.8 [91.0; 104.1] [#]
2-1	102.1 [95.5; 110.8] [#]	106.4 [97.0; 116.9] ^{#, *}
2-2	102.5 [86.7; 120.0] [#]	100.3 [89.3; 111.5] [#]
3-1	103.6 [96.5; 112.5] [#]	104.8 [97.0; 116.9] [#]
3-2	108.6 [97.3; 117.4] [#]	100.2 [90.7; 109.7] ^{#, *}
4-1	106.6 [97.0; 116.1]	108.8 [100.1; 117.4] [#]
4-2	108.9 [99.7; 117.6] [#]	109.8 [92.3; 115.7]
Относительная мощность диапазона <i>LF</i> в спектре мощности АДсист., %		
1-1	22.9 [17.3; 29.4]	23.0 [17.4; 31.3]
1-2	24.4 [18.1; 31.2]	26.5 [19.1; 32.9] ^{#, *}
2-1	21.4 [13.4; 28.7] [#]	22.8 [18.0; 33.3]
2-2	21.5 [15.3; 30.3]	22.9 [15.3; 34.6] [*]
3-1	19.6 [13.2; 28.7] [#]	23.6 [15.4; 30.0] [*]
3-2	22.1 [16.0; 30.0] [#]	24.1 [17.4; 32.2]
4-1	22.8 [15.6; 30.6]	23.2 [17.0; 32.1]
4-2	22.2 [15.9; 31.5]	23.6 [17.1; 31.6]
α -индекс, мс/мм рт. ст.		
1-1	8.46 [5.80; 12.58]	8.59 [5.87; 12.27]
1-2	8.24 [6.30; 12.42]	8.70 [6.21; 12.74]
2-1	10.10 [7.06; 15.76] [#]	9.17 [6.61; 13.97]
2-2	11.37 [7.62; 15.20]	11.57 [6.78; 16.87] [#]
3-1	10.19 [6.89; 14.97]	11.27 [7.32; 15.59]
3-2	10.95 [7.45; 15.74]	10.04 [6.35; 14.34]
4-1	11.06 [7.53; 16.29]	11.02 [7.86; 15.42] [#]
4-2	9.61 [6.60; 14.40]	12.81 [7.40; 16.01]
Общая мощность спектра variability CP (<i>TP</i>), мс ²		
1-1	3774 [2168; 6650]	3382 [1781; 6384]
1-2	4399 [2181; 7275] [#]	3708 [1860; 7246]
2-1	3855 [2223; 7524]	3050 [1503; 6933]
2-2	4080 [2203; 6209]	3807 [2017; 7639]
3-1	3367 [1890; 6257] [#]	3065 [1582; 7418]
3-2	3800 [2163; 7750] [#]	3137 [1636; 7034] [*]
4-1	3816 [2035; 7486]	4008 [2299; 6677]
4-2	3924 [2157; 6996]	4396 [2064; 7645]
Отношение <i>LF/HF</i> спектра variability CP		
1-1	0.59 [0.33; 1.04]	0.67 [0.36; 1.14] [*]
1-2	0.59 [0.35; 1.03]	0.67 [0.39; 1.28] [*]
2-1	0.60 [0.32; 1.09]	0.68 [0.37; 1.22]
2-2	0.49 [0.26; 0.84] [#]	0.64 [0.33; 1.09] [*]
3-1	0.64 [0.35; 1.06] [#]	0.72 [0.32; 1.51]
3-2	0.61 [0.35; 1.06]	0.60 [0.31; 1.02]
4-1	0.63 [0.36; 1.15]	0.58 [0.29; 1.03]
4-2	0.58 [0.33; 1.02]	0.73 [0.34; 1.40]

Примечание: обозначения статистической значимости межгрупповых различий ($p < 0.05$ по критерию Манна-Уитни): * – отличия от девочек, # – отличия от предыдущей точки тестирования.

Таблица 3. Коэффициенты непараметрической корреляции (Спирмена) между показателями сердечно-сосудистой системы и уровнем школьной компьютерной нагрузки

Точка тестирования	АДсист.	LF% (АДсист.)	α -индекс	TP	LF/HF
Девочки					
1-1	0.054	0.044	0.060	0.072	0.054
1-2	0.122	-0.058	0.085	0.004	0.035
2-1	-0.069	0.139	-0.075	-0.039	-0.010
2-2	0.262	0.012	-0.193	-0.016	-0.022
3-1	0.130	0.007	-0.048	-0.076	-0.029
3-2	0.057	-0.002	0.077	-0.022	0.066
4-1	0.039	0.082	-0.090	-0.093	-0.065
4-2	0.152	0.105	0.125	0.081	-0.041
Мальчики					
1-1	-0.121	-0.032	0.023	0.056	0.003
1-2	0.004	0.059	0.032	-0.054	0.085
2-1	0.019	-0.097	-0.126	-0.063	0.056
2-2	0.085	0.178	-0.038	0.044	-0.035
3-1	0.035	0.101	-0.093	-0.144	0.079
3-2	0.089	0.117	-0.050	-0.061	0.157
4-1	0.238	0.055	-0.254	-0.222	0.057
4-2	0.331	-0.469	0.419	0.319	-0.451

Примечание: статистически значимые величины ($p < 0.05$) выделены жирным шрифтом.

вые показатели сердечно-сосудистой системы [11] и их реактивность при выполнении нагрузочных тестов [7], по крайней мере, среди студентов. Однако показано, что дополнительные информационные (и связанные с работой на компьютере) нагрузки у детей 6–7 лет вызывают существенную активацию автономной регуляции сердечно-сосудистой системы со сдвигом баланса в сторону симпатикотонии [25]. Аналогичные сдвиги описаны другими авторами у мальчиков 9 лет [26] и у учащихся 5-х классов [27]. При высокой компьютерной нагрузке (свыше 2 ч в сумме в школе и дома) у здоровых детей и подростков возрастает риск развития гипертензии [28], которая часто сопровождается клиническими признаками нарушений липидного обмена с переходом в ожирение [29, 30]. Увеличение уровня компьютерной нагрузки до экстремального у детей с развившейся зависимостью от интернета коррелирует с наличием автономной дисфункции (симпатикотонии) центрального генеза [31]. Следовательно, выявленные нами признаки повышения АДсист. при внедрении в образовательную среду компьютерных технологий не противоречат результатам других исследовательских групп, хотя в условиях соблюдения гигиенических нормативов выявляемые сдвиги показателя не выходят за границы пологовозрастной нормы.

Компьютеризация образовательной среды предъявляет новые требования к организму ребенка [32]. По сути, этот процесс является стрессорным фактором, индуцирующим адаптивный ответ организма детей [33, 34], “след” которого может изменять программу развития мозга ребенка вплоть до морфологических изменений [35]. Обнаружено, что в возрасте 6–7 лет по мере нарастания времени использования компьютеров происходит снижение функциональных возможностей организма детей (по тестам физического развития и их вегетативного обеспечения) [24]. В нашем исследовании повышение АДсист. не вышло за границы нормальных величин даже в группах с высокой компьютерной нагрузкой (2 балла), следовательно, у нас нет оснований утверждать, что использование компьютеров в образовательной среде является фактором риска для здоровья детей. Однако именно в этих группах (2 балла) видны значимые сдвиги ряда показателей, которые отражают развитие адаптивного ответа в организме детей. В частности, к таковым, помимо АДсист., относятся показатели вариабельности СР и АДсист., как корреляты функционального состояния систем автономной регуляции. Так, оказалось, что в конце 4-го класса (точка 4-2) у мальчиков с высокой компьютерной нагрузкой (2 балла), помимо повышения АДсист., была значимо снижена относительная мощность диапазона LF в спектре вариабельности АДсист.

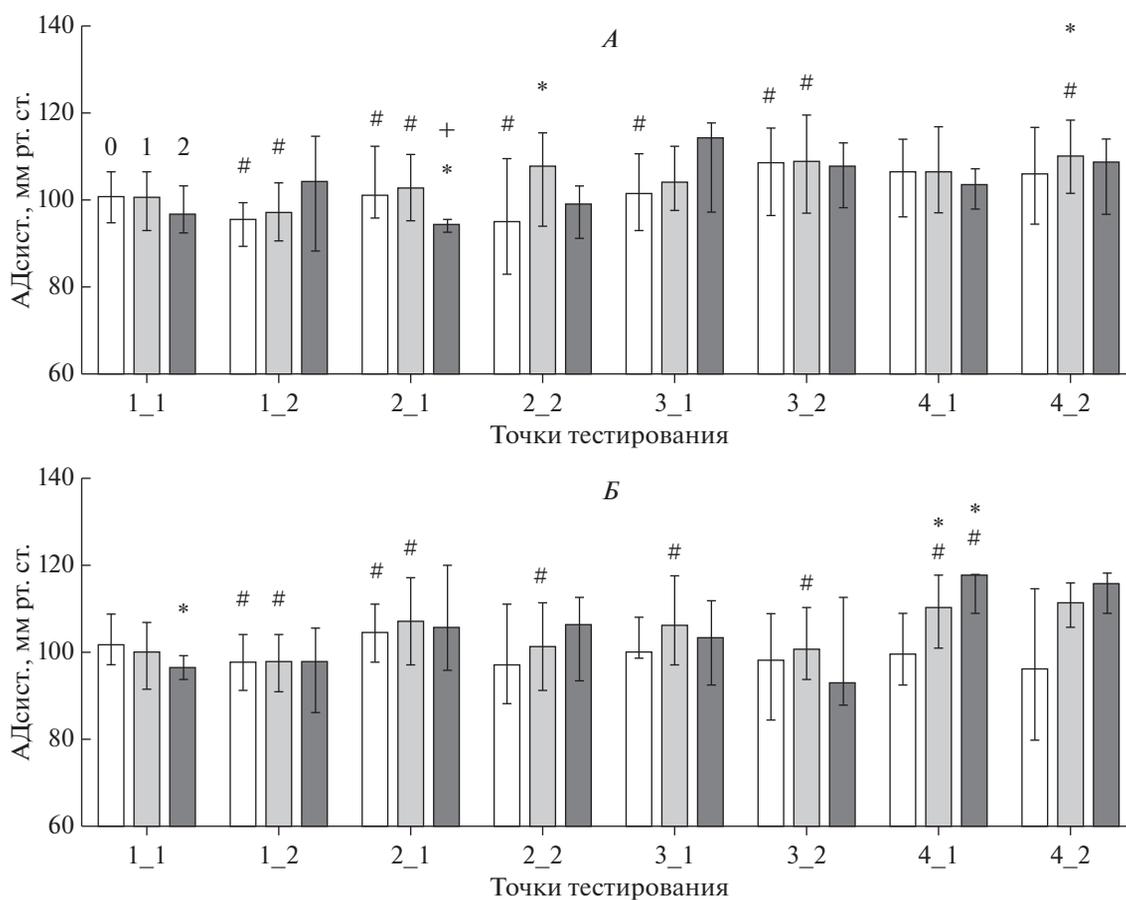


Рис. 1. Величины АДсист. (мм рт. ст., данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха) у девочек (А) и мальчиков (Б).

Точки тестирования: первая цифра – класс, вторая – сезон (1 – осень, 2 – весна). Группы детей: 0 – без компьютерной нагрузки, 1 – с компьютерной нагрузкой в соответствии с гигиеническими требованиями, 2 – с нагрузкой, превышающей норматив в 2 и более раза. Статистическая значимость межгрупповых различий: * – отличия от группы 0 по *H*-критерию Краскела–Уоллиса ($p < 0.05$); + – отличия от группы 1 по *H*-критерию Краскела–Уоллиса ($p < 0.05$); # – отличия показателя группы от предыдущей точки тестирования по *U*-критерию Манна–Уитни ($p < 0.05$).

(рис. 2). Данный показатель обычно интерпретируют как коррелят уровня функциональной активности стволовых центров [36] и барорефлекторной регуляции [2, 20]. В нашем исследовании был использован α -индекс, рассчитывающий величину чувствительности спонтанного артериального барорефлекса на основании спектральных показателей variability CP и AD [21]. Обнаружено, что α -индекс на точке 4-2 в группе детей с высокой компьютерной нагрузкой (2 балла) был повышен как у мальчиков, так и у девочек (рис. 3). Следовательно, есть основания предполагать, что более высокие величины АДсист. могут быть обусловлены недостаточной функциональной активностью симпатической регуляции сосудистого тонуса. Мы не получили аналогичных результатов при анализе спектральных показателей CP, однако направление описанных сдвигов совпадает с динамикой величины *LF/HF*,

обнаруженной в мониторинговых исследованиях 2016–2019 гг. [17].

Стоит особо отметить, что α -индекс у мальчиков в 3-м и 4-м классах имел сезонную изменчивость, противоположную по направлению в группах 0 (без компьютерной нагрузки) и 2 (с высокой нагрузкой) (рис. 3).

Сезонная вариабельность АДсист. в виде снижения показателя за учебный год, характерная для всей выборки в целом (табл. 2), воспроизвелась в группах 0 (без компьютерной нагрузки) у девочек в диапазоне точек тестирования 1-1–3-1, у мальчиков – 1-1–2-1. Однако у мальчиков данный тип вариабельности был также обнаружен и в группе 1 (с компьютерной нагрузкой в пределах гигиенических нормативов) в диапазоне 1-1–4-1 (рис. 1). У девочек же в группе 1 выявлена противоположная динамика – более высокие показатели АДсист. в конце 3-го и 4-го учебных годов (точки 3-2 и 4-2). И ни у девочек, ни у мальчиков

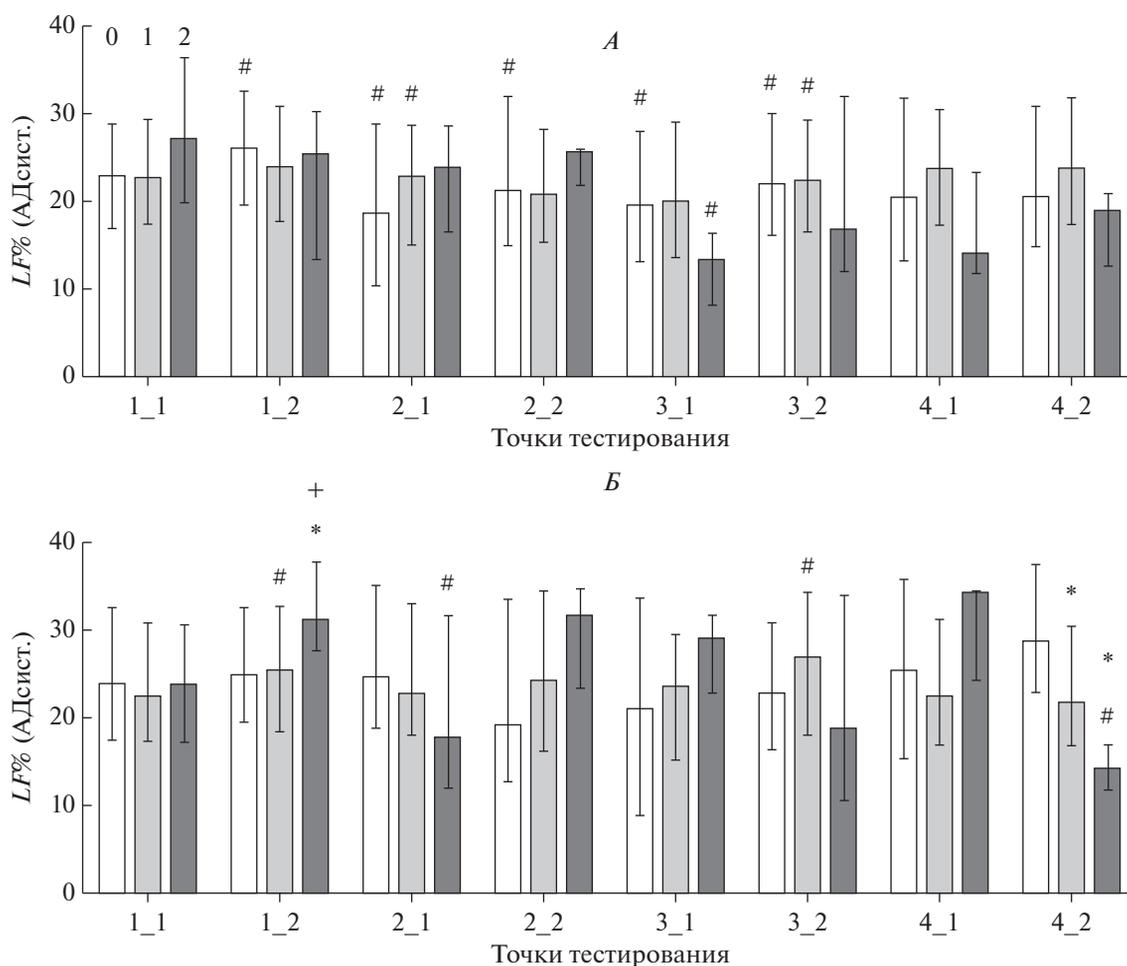


Рис. 2. Относительная мощность диапазона *LF* спектра variability АДсист. (% , данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха) у девочек (*А*) и мальчиков (*Б*). Обозначения см. рис. 1.

не было сезонной variability АДсист. в группе 2 (с высокой компьютерной нагрузкой).

Однако об изменении паттерна сезонной изменчивости показателей автономной регуляции наиболее наглядно свидетельствуют результаты анализа общей мощности спектра variability *СР* (*TR*), которую трактуют как суммарный показатель активности регуляторных систем [2, 20]. Мы обнаружили, что у мальчиков, начиная со 2-го класса, сезонная variability величины *TR* противоположна в группах 0 (без компьютерной нагрузки) и 2 (с высокой нагрузкой): в первом случае показатель выше в осенних тестированиях, во втором — наоборот, в весенних (рис. 4). Иными словами, у мальчиков при обучении без компьютеров общий уровень автономной активности к весне снижается, тогда как в условиях высокой компьютерной нагрузки — наоборот, повышается. У девочек в нашем исследовании данный процесс уровня статистической значимости не достиг. Тем не менее, противоположно направ-

ленные сезонные колебания величины *TR* у детей с разным уровнем компьютерной нагрузки могут объяснить описанное нами ранее [17] изменение паттерна сезонной variability показателей сердечно-сосудистой системы от 2004–2007 к 2016–2019 гг. именно компьютеризацией образовательной среды.

Безусловно, дополнительным фактором, индуцирующим сдвиги в работе систем автономной регуляции, включая метаболические сдвиги в сторону анаболизма, является гиподинамия, неизбежно сопровождающая возрастание времени, проводимого ребенком перед монитором компьютера или в других гаджетах [8–10]. Однако в нашем исследовании уровень физической активности не учитывался. Можно констатировать, что в 2006–2011 гг. все образовательные организации г. Москвы работали по единым стандартам, с рекомендуемыми 3 уроками физической культуры в неделю. Специализированных же школ со спор-

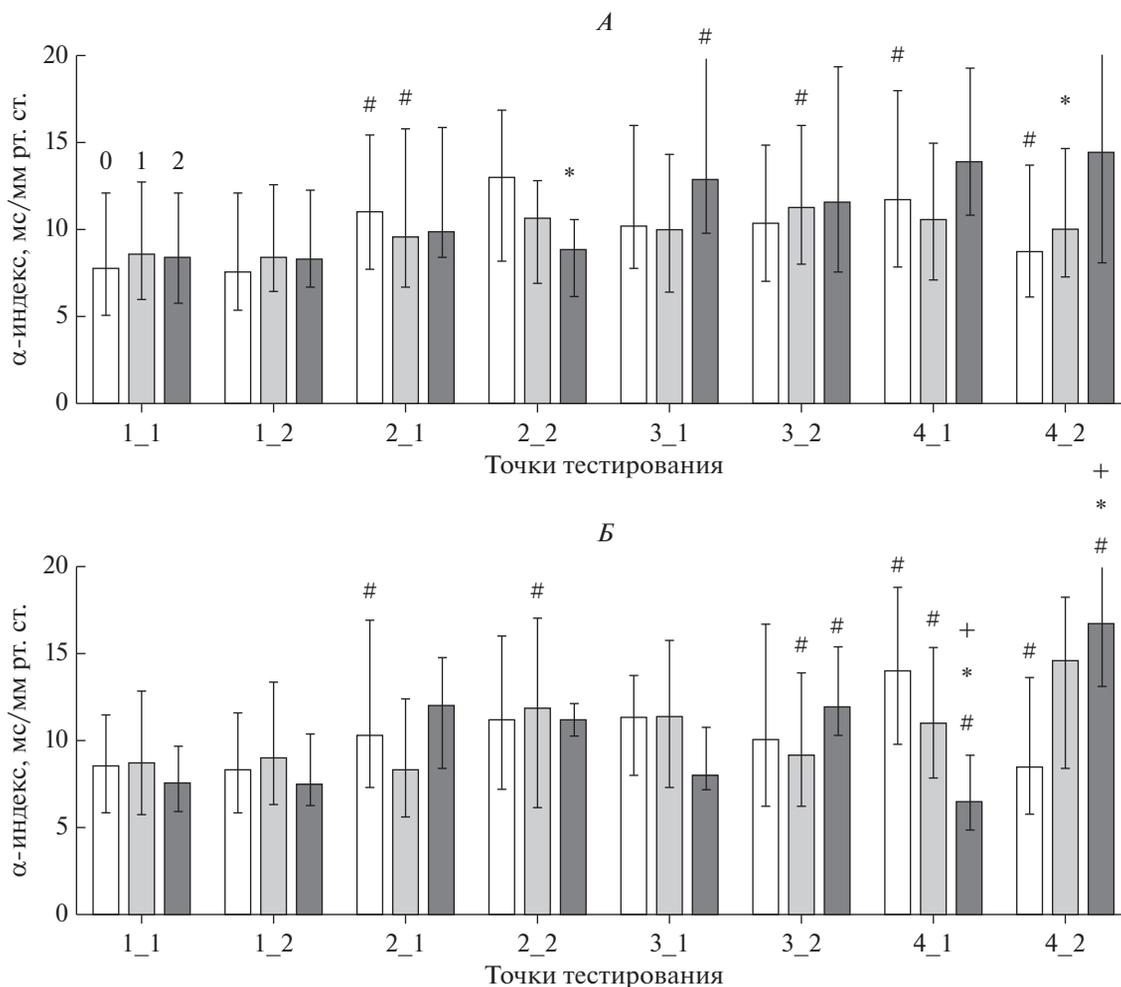


Рис. 3. Величина α -индекса (мс/мм рт. ст., данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха) у девочек (А) и мальчиков (Б). Обозначения см. рис. 1.

тивным уклоном в настоящем исследовании не было.

Следует отдельно обратить внимание, что выявленные изменения в показателях сердечно-сосудистой системы у учащихся начальной школы с разным уровнем компьютерной нагрузки зарегистрированы в условиях нагрузочной пробы [15]. Обычно такие условия провоцируют манифестацию скрытых (латентных, донозологических) сдвигов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное скрининговое исследование выявило значимое влияние компьютеризации образования на показатели сердечно-сосудистой системы у учащихся начальной школы в условиях нагрузочной пробы. Использование компьютеров в образовательной среде (в школе, в урочное время) в пределах гигиенических нормативов

сопровождается повышением в границах нормы величины АДсист. у девочек в конце 2-го и 4-го классов, у мальчиков — в начале и в конце 4-го класса. Превышение гигиенических нормативов в 2 и более раза не оказывает дополнительного влияния на уровень АД, однако провоцирует сдвиги в функционировании систем автономной регуляции. Более чувствительными к влиянию данного средового фактора оказались мальчики. У них паттерн сезонной изменчивости общей мощности спектра вариальности СР изменяется на противоположный по сравнению с таковым у детей, не использующих компьютеры в школе, с более высокими значениями показателя в весенних обследованиях. В 4-м классе данный процесс сопровождается повышением величины чувствительности спонтанного артериального барорефлекса и снижением относительной мощности диапазона LF в спектре вариальности АДсист. Описанные сдвиги отражают развитие адаптив-

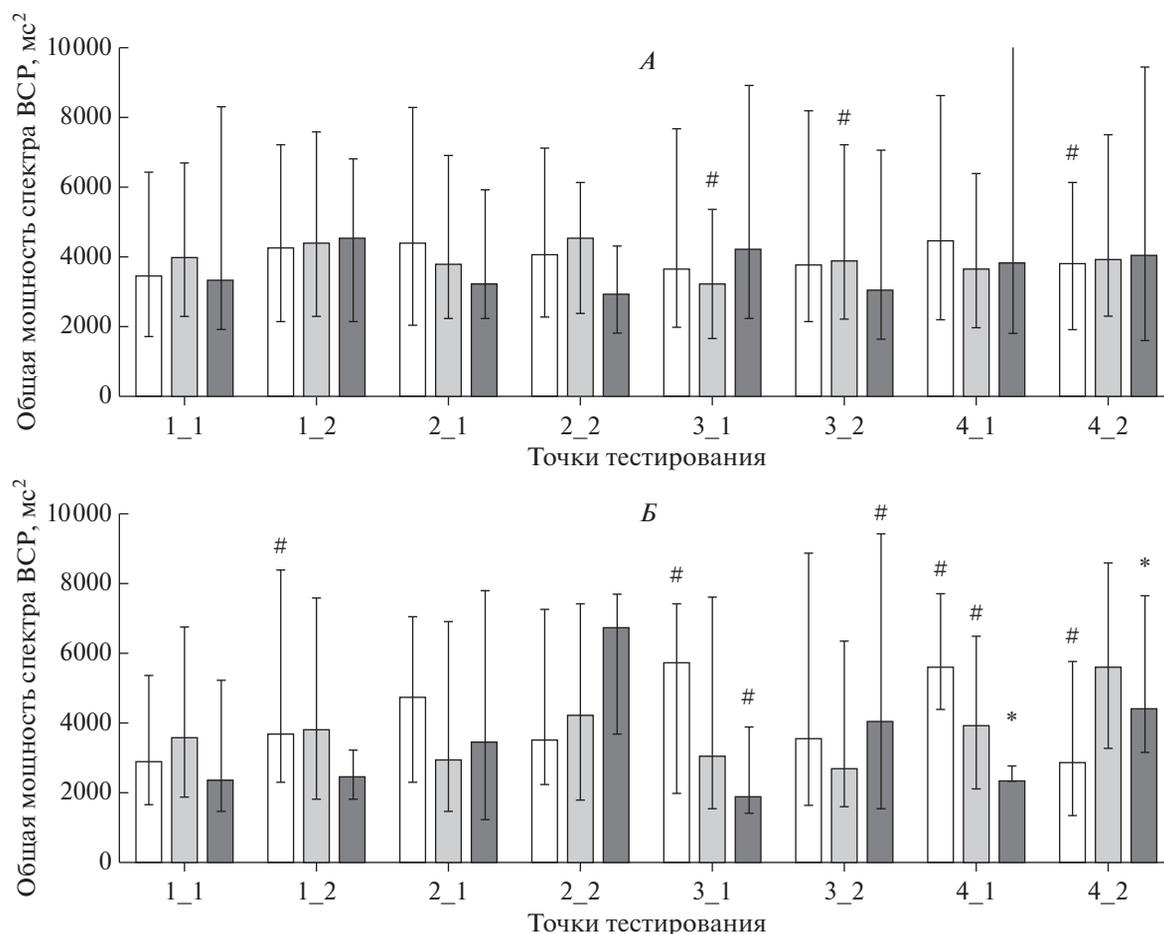


Рис. 4. Общая мощность спектра variability CP (ms^2 , данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха) у девочек (А) и мальчиков (Б). Обозначения см. рис. 1.

ного ответа в организме детей в ответ на изменение образовательной среды, что, несомненно, имеет позитивную оценку. Кроме того важно, что такие сдвиги не выходят из области нормальных (соответствующих половозрастным нормативам) величин, даже с учетом проведения тестирований в условиях нагрузочной пробы.

Этические нормы. Соответствие протокола исследования международным (включая Хельсинкскую декларацию в редакции 2013 г.) и российским законам о правовых и этических принципах научных исследований с участием человека было подтверждено решением Комитета по этике Научно-исследовательского института общей патологии и патофизиологии (Москва), протокол № 1, 22.01.2019.

Информированное согласие. Все исследования, в соответствии со статьями 5, 6 и 7 “Всеобщей декларации о биоэтике и правах человека”, проводились только с согласия учащихся и их родителей (или законных представителей).

Финансирование работы. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 19-29-14 104 мк “Инструментальная оценка влияния цифровизации образования на физиологический баланс организма”.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Криволапчук И.А., Чернова М.Б.* Особенности факторной структуры функционального состояния детей 9–10 лет // Физиология человека. 2019. Т. 45. № 1. С. 37.
Krivozapchuk I.A., Chernova M.B. Peculiarities of the Factorial Structure of the Functional State in Children Aged 9–10 Years // Human Physiology. 2019. V. 45. № 1. P. 30.
2. *Baevsky R.M., Chernikova A.G.* Heart rate variability analysis: physiological foundations and main methods // Cardiometry. 2017. № 10. P. 66.

3. *Oliveira R.S., Barker A.R., Wilkinson K.M. et al.* Is Cardiac Autonomic Function Associated with Cardiorepiratory Fitness and Physical Activity in Children and Adolescents? A Systematic Review of Cross-Sectional Studies // *Int. J. Cardiol.* 2017. V. 236. P. 113.
4. *Braaksma P., Stuive I., Garst R.M.E. et al.* Characteristics of Physical Activity Interventions and Effects on Cardiorepiratory Fitness in Children Aged 6–12 years—A Systematic Review // *J. Sci. Med. Sport.* 2018. V. 21. № 3. P. 296.
5. *Veijalainen A., Haapala E.A., Väistö J. et al.* Associations of Physical Activity, Sedentary Time, and Cardiorepiratory Fitness with Heart Rate Variability in 6- to 9-year-old Children: The PANIC Study // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2019. V. 119. № 11–12. P. 2487.
6. *Макарова Л.В., Лукьянец Г.Н., Параничева Т.М., Турина Е.В.* Влияние компьютерной нагрузки на состояние физиологических функций у детей 7–10 лет // *Физиология человека.* 2017. Т. 43. № 2. С. 66. *Makarova L.V., Lukanets G.N., Paranicheva T.M., Turina E.V.* Effect of computer work on the state of physiological functions in children aged 7 to 10 years // *Human Physiology.* 2017. V. 43. № 2. P. 177.
7. *Коурова О.Г., Попова Т.В., Кокорева Е.Г. и др.* Эколого-физиологические аспекты компьютерных технологий в образовательном процессе // *Экология человека.* 2019. № 7. С. 59. *Kourova O.G., Popova T.V., Kokoreva E.G. et al.* [Ecology-Physiological Aspects of Computer Technologies in Educational Process] // *Ekologiya cheloveka [Human Ecology].* 2019. № 7. P. 59.
8. *Carson V., Hunter S., Kuzik N. et al.* Systematic review of sedentary behaviour and health indicators in school-aged children and youth: an update // *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2016. V. 41. № 6. Suppl 3. P. S240.
9. *Кучма В.Р., Седова А.С., Степанова М.И. и др.* Особенности жизнедеятельности и самочувствия детей и подростков, дистанционно обучающихся во время эпидемии новой коронавирусной инфекции (COVID-19) // *Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья.* 2020. № 2. С. 4.
10. *Xiang M., Zhang Z., Kuwahara K.* Impact of COVID-19 pandemic on children and adolescents' lifestyle behavior larger than expected // *Prog. Cardiovasc. Dis.* 2020. V. 63. № 4. P. 531.
11. *Stiglic N., Viner R.M.* Effects of screentime on the health and well-being of children and adolescents: a systematic review of reviews // *BMJ Open.* 2019. V. 3. № 9(1). P. e023191.
12. *Vanderloo L.M., Keown-Stoneman C.D.G., Sivanesan H. et al.* Association of screen time and cardiometabolic risk in school-aged children // *Prev. Med. Rep.* 2020. V. 20. P. 101183.
13. *Sivanesan H., Vanderloo L.M., Keown-Stoneman C.D.G. et al.* The association between screen time and cardiometabolic risk in young children // *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* 2020. V. 17. № 1. P. 41.
14. *Miyagi R., Sasawaki Y., Shiotani H.* The Influence of Short-Term Sedentary Behavior on Circadian Rhythm of Heart Rate and Heart Rate Variability // *Chronobiol. Int.* 2019. V. 36. № 3. P. 374.
15. *Труханов А.И., Панкова Н.Б., Хлебникова Н.Н., Карганов М.Ю.* Использование метода спироартериокардиоритмографии в качестве функциональной пробы для оценки состояния кардио-респираторной системы взрослых и детей // *Физиология человека.* 2007. Т. 33. № 5. С. 82. *Trukhanov A.I., Pankova N.B., Khlebnikova N.N., Karganov M.Yu.* The use of spiroarteriocardiorhythmography as a functional test for estimating the state of the cardiorespiratory system in adults and children // *Human Physiology.* 2007. V. 33. № 5. P. 585.
16. *Панкова Н.Б., Карганов М.Ю.* Сравнительный анализ показателей функционального состояния современных московских первоклассников и их сверстников в 2002–2003 годах // *Вестник Новосибирского государственного педагогического университета.* 2017. Т. 7. № 1(35). С. 173. *Pankova N.B., Karganov M.Yu.* Comparative analysis of indicators of the functional state in contemporary moscow first-graders and their peers in 2002–2003 // *Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin.* 2017. V. 7. № 1. P. 173.
17. *Панкова Н.Б., Карганов М.Ю.* Сезонная и секулярная вариабельность индикаторов сердечно-сосудистой системы у детей 7–11 лет // *Экология человека.* 2020. № 12. С. 37. *Pankova N.B., Karganov M.Yu.* [Seasonal and Secular Variations in Selected Indicators of the Cardiovascular System among 7–11 Years Old Children] // *Ekologiya cheloveka [Human Ecology].* 2020. № 12. P. 37.
18. *Панкова Н.Б., Архипова Е.Н., Алчинова И.Б. и др.* Сравнительный анализ методов экспресс-оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы // *Вестник восстановительной медицины.* 2011. № 6(46). С. 60.
19. *Панкова Н.Б., Мавренкова П.В., Лебедева М.А., Карганов М.Ю.* Показатели вариабельности сердечного ритма и артериального давления у подростков с нервно-психическими нарушениями при выполнении нагрузочных проб // *Патогенез.* 2020. Т. 18. № 4. С. 64.
20. *Shaffer F., Ginsberg J.P.* An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms // *Front. Public Health.* 2017. V. 5. P. 258.
21. *Rydlewska A., Ponikowska B., Borodulin-Nadziejka L. et al.* [Assessment of the functioning of autonomic nervous system in the context of cardiorespiratory reflex control] // *Kardiol. Pol.* 2010. V. 68. № 8. P. 951.
22. *Bhutani S., Hanrahan L.P., Vanwormer J., Schoeller D.A.* Circannual variation in relative weight of children 5 to 16 years of age // *Pediatr. Obes.* 2018. V. 13. № 7. P. 399.
23. *Gottschalk F.* Impacts of technology use on children: Exploring literature on the brain, cognition and well-being // *OECD Education Working Papers.* 2019. № 195. 45 p.

24. *Криволапчук И.А., Герасимова Ф.Ф., Чернова М.Б.* Функциональное развития детей 6–7 лет с разным уровнем информатизации условий жизнедеятельности // Сибирский педагогический журн. 2020. № 5. С. 121.
25. *Криволапчук И.А., Чернова М.Б.* Функциональное состояние школьников при напряженной информационной нагрузке в начальный период адаптации к образовательной среде // Экология человека. 2018. № 9. С. 18.
Krivilapchuk I.A., Chernova M.B. [Schoolchildren's functional state under intensive information load at the initial adaptation period to educational environment] // *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018. № 9. P. 18.
26. *Литвин Ф.Б., Брук Т.М., Терехов П.А., Быкова И.В.* Динамика вариабельности сердечного ритма в течение учебного года у мальчиков 8–9-летнего возраста из разных радиоэкологических мест проживания // Культура физическая и здоровье. 2019. Т. 72. № 4. С. 152.
27. *Четверик О.Н., Тарасова О.Л., Казин Э.М.* Особенности психофизиологической адаптации пятиклассников к различным режимам учебного процесса // Психология. Психофизиология. 2019. Т. 12. № 2. С. 89.
28. *Wyszyńska J., Podgórska-Bednarz J., Dereń K., Mazur A.* The Relationship between Physical Activity and Screen Time with the Risk of Hypertension in Children and Adolescents with Intellectual Disability // *Biomed. Res. Int.* 2017. V. 2017. P. 1940602.
29. *Heshmat R., Qorbani M., Babaki A.E.S. et al.* Joint Association of Screen Time and Physical Activity with Cardiometabolic Risk Factors in a National Sample of Iranian Adolescents: The CASPIANIII Study // *PLoS One.* 2016. V. 11. № 5. P. e0154502.
30. *Norman G.J., Carlson J.A., Patrick K. et al.* Sedentary Behavior and Cardiometabolic Health Associations in Obese 11–13-Year Olds // *Child Obes.* 2017. V. 13. № 5. P. 425.
31. *Lin P.-C., Kuo S.-Y., Lee P.-H. et al.* Effects of Internet Addiction on Heart Rate Variability in School-Aged Children // *J. Cardiovasc. Nurs.* 2014. V. 29. № 6. P. 493.
32. *Байгузжин П.А., Шибкова Д.З., Айзман Р.И.* Факторы, влияющие на психофизиологические процессы восприятия информации в условиях информатизации образовательной среды // *Science for Education Today.* 2019. Т. 9. № 5. С. 48.
Baiguzhin P.A., Shibkova D.Z., Aizman R.I. Factors affecting the psychophysiological processes of perception of information in the conditions of informatization of the educational environment // *Science for Education Today.* 2019. V. 9. № 5. P. 48.
33. *Gunnar M., Quevedo K.* The neurobiology of stress and development // *Annu. Rev. Psychol.* 2007. V. 58. № 1. P. 145.
34. *O'Connor D.B., Thayer J.F., Vedhara K.* Stress and Health: A Review of Psychobiological Processes // *Annu. Rev. Psychol.* 2021. V. 4. № 72. P. 663.
35. *Hoffman E.A., Clark D.B., Orendain N. et al.* Stress exposures, neurodevelopment and health measures in the ABCD study // *Neurobiol. Stress.* 2019. V. 10. P. 100157.
36. *Pfurtscheller G., Schwerdtfeger A.R., Ressler B. et al.* Verification of a Central Pacemaker in Brain Stem by Phase-Coupling Analysis Between HR Interval- and BOLD-Oscillations in the 0.10–0.15 Hz Frequency Band // *Front. Neurosci.* 2020. V. 14. P. 922.

Effects of Screen Time and Seasons on the Cardiovascular System Indicators in Primary Schoolchildren

**N. B. Pankova^{a, *}, I. B. Alchinova^a, O. I. Kovaleva^a, M. A. Lebedeva^a, N. N. Khlebnikova^a,
A. B. Cherepov^a, L. A. Noskin^b, M. Yu. Karganov^a**

^a*Research Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russia*

^b*Konstantinov Petersburg Institute of Nuclear Physics, St. Petersburg, Russia*

^{*}*E-mail: nbpankova@gmail.com*

The aim of this study was to analyze the indicators of the cardiovascular system, including parameters of heart rate variability (HR) and blood pressure (BP), in primary school students with different computer load (screen time). The work includes the results of 4084 students in grades 1–4 (aged 7–12 years) from 66 different educational institutions in Moscow. The volume of lesson and out-of-school computer load (screen time) was assessed by teachers, based on the requirements of National Hygienic Recommendations: 0 points – no load, 1 point – compliance with hygienic standards, 2 points – twice or more exceeding the requirements. Physiological examinations were carried out by the method of spiroarteriocardiography wearing a spirometric mask, which corresponds to the conditions of the functional stress test (mild hypercapnia/hypoxia). Testing took place in spring and autumn (independent samples). Statistical data processing was performed using nonparametric criteria. It was revealed that the introduction of computer technologies into the educational environment at school hours within the limits of hygienic standards is accompanied by an increase within the normal range of the systolic BP in girls at the end of the 2nd and 4th grades, in boys – at the beginning and at the end of the 4th grade. Exceeding the hygienic standards by 2 or more times does not have

an additional effect on the BP level, however, it provokes shifts in the functioning of autonomic regulation. Boys were more sensitive to the influence of this environmental factor. Their pattern of seasonal variability of the total power of the spectrum of variability of HR (TP) is reversed compared to that of children who do not use computers at school: TP values become higher in spring surveys. In grade 4, this process is accompanied by an increase in the sensitivity of the spontaneous arterial baroreflex and a decrease in the relative power of the LF range in the spectrum of variability of systolic BP. The described changes, in our opinion, reflect the development of an adaptive response in the body of children in response to a change in the educational environment.

Keywords: blood pressure, heart rate variability, seasonal variability, children, primary school, computer load, hygiene standards.