

УДК 616-092+612.1+57.026

Повышение величины систолического артериального давления у подростков за период с 2004 по 2020 годы при регистрации в учебное время

Панкова Н.Б.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии».

125315, Москва, ул. Балтийская, д. 8

В последние годы происходят существенные изменения социальной среды обитания человека, связанные с развитием компьютеров и тотальной цифровизацией. Этот процесс затронул и образовательную среду, которая во многом определяет жизненное пространство и занимает значительную часть времени у школьников в подростковом возрасте.

Целью нашего исследования стал поиск возможных изменений показателей сердечно-сосудистой системы у подростков в период с 2004 по 2020 годы на фоне внедрения в образовательную среду цифровых технологий.

Методика. Проведен сравнительный анализ показателей сердечно-сосудистой системы подростков от 13,9 до 15,4 лет: 57 девочек и мальчиков в 2004 году, и 53 подростка обоего пола в 2020 году. Использован приборный комплекс спироартериокардиоритмограф, позволяющий оценивать сердечный ритм (СР) и артериальное давление (АД), спектральные показатели вариабельности СР, вариабельности систолического (АДс) и диастолического (АДд) АД. Регистрации (длительностью 2 минуты) проводили в положении сидя, в спокойном состоянии. Все исследования проведены в школе, во время учебных занятий, в феврале-марте.

Результаты. Обнаружено возрастание в 2020 году средних величин АДс, с повышением доли подростков с уровнем АД в диапазоне «гипертензия» до 55%. В спектре вариабельности СР при постоянстве суммарной мощности выявлено возрастание относительной мощности диапазона LF и тенденция к снижению абсолютной мощности диапазона VLF. В спектре вариабельности АДс обнаружено возрастание суммарной мощности при усилении всех диапазонов, но со снижением относительной мощности диапазона LF. В спектре вариабельности АДд при постоянстве суммарной мощности зафиксировано снижение абсолютной мощности диапазона VLF. Изменений стресс-индекса и альфа-индекса не обнаружено. Различия в динамике показателей между девочками и мальчиками отсутствовали.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о значимых сдвигах показателей сердечно-сосудистой системы у подростков с 2004 по 2020 годы, регистрируемых во время школьных уроков. Это может отражать школьно-обусловленное повышение психоэмоционального напряжения школьников, и быть интерпретировано как адаптивный ответ их организма на изменения (в первую очередь – цифровизацию) образовательной среды.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система; артериальное давление; вариабельность сердечного ритма; вариабельность артериального давления; подростки; образовательная среда.

Для цитирования: Панкова Н.Б. Повышение величины систолического артериального давления у подростков за период с 2004 по 2020 годы при регистрации в учебное время. *Патогенез*. 2022; 20(2): 45-54.

DOI: 10.25557/2310-0435.2022.02.45-54

Для корреспонденции: Панкова Наталия Борисовна, e-mail: nbpankova@gmail.com

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта № 19-29-14104 мк «Инструментальная оценка влияния цифровизации образования на физиологический баланс организма».

Поступила: 17.06.2022

Increased values of systolic blood pressure in adolescents from 2004 through 2020 when recorded during school hours

Pankova N.B.

Institute of General Pathology and Pathophysiology,
Baltiyskaya St. 8, Moscow 125315, Russian Federation

In recent years, significant changes in the human social environment have been associated with the development of computers and total digitalization. The educational environment, that largely determines the living space and takes much time of adolescents, has also been modified by these processes.

The purpose of our study was searching for possible changes in cardiovascular parameters in adolescents during the period from 2004 through 2020 associated with the introduction of digital technologies to the educational environment.

Methods. A comparative analysis of cardiovascular parameters was performed in female and male adolescents aged 13.9 to 15.4 years (57 adolescents in 2004 and 53 adolescents in 2020). We used a spiroartheriocardiorhythmograph that allows recording of heart rate (HR), blood pressure (BP), and spectral parameters of the HR variability and the variability of systolic (sBP) and diastolic (dBP) BP. These parameters were recorded at rest in the sitting position over 2 min. All studies were performed during school hours in February-March.

Results. An increase in mean sBP values and an up to 55% increase in the proportion of adolescents with BP in the "hypertensive" range were found in 2020. The total power of the HR variability spectrum remained constant while the relative power of the LF

range increased and the absolute power of the VLF range tended to decrease. In the sBP variability spectrum, increases in the total power and in all its ranges were detected but the relative power of the LF range decreased. In the dBP variability spectrum, the absolute power of the VLF range decreased while the total power remained constant. No changes in the stress index and the alpha index were detected. The time-related changes in these parameters were similar in male and female adolescents.

Conclusion. These findings indicate significant shifts in the cardiovascular parameters of adolescents recorded during school hours from 2004 through 2020. This may reflect a school-associated increase in the psycho-emotional tension of schoolchildren and can be interpreted as an adaptive response to changes in the educational environment, first of all its digitalization.

Key words: cardiovascular system; blood pressure; heart rhythm variability; blood pressure variability; adolescents; educational environment.

For citation: Pankova N.B. [Increased values of systolic blood pressure in adolescents from 2004 through 2020 when recorded during school hours]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2022; 20(2): 45-54 (in Russian).

DOI: 10.25557/2310-0435.2022.02.45-54

For correspondence: Pankova Nataliya Borisovna, e-mail: nbpankova@gmail.com

Funding. The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research. Project #19-29-14104, "Instrumental assessment of the impact of digitalization of education on the physiological balance of the body".

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received: 17.06.2022

Введение

В последние годы происходят существенные изменения социальной среды обитания человека, связанные с развитием компьютеров и тотальной цифровизацией. Этот процесс затронул и образовательную среду, которая во многом определяет жизненное пространство и занимает значительную часть времени у школьников в подростковом возрасте. Безусловно, современному человеку необходимо адаптироваться к новым условиям жизни. Это облегчает выполнение повседневных задач, дает новые возможности развития личности, однако таит и угрозы для здоровья.

Во Всероссийском обществе развитие школьной и университетской медицины и здоровья к рискам здоровью школьников в современных условиях относят целый ряд факторов, каждый из которых оказывает выраженное влияние на состояние сердечно-сосудистой системы [1]. Так, нарушение гигиенических требований к организации образовательного процесса создаёт обстановку психологического стресса, который является важным фактором риска гипертонической болезни [2]. Нарушения школьниками режима дня, частые недосыпания могут сопровождаться мультисистемной гиперактивацией, включая симпатическую гиперактивность, индуцирующую развитие сосудистой патологии [3]. Нездоровое питание часто является причиной появления метаболических расстройств у школьников [4], которые также являются фактором риска сердечно-сосудистых заболеваний.

Однако наибольшее опасение вызывает цифровизация образования. Так, описано что при решении арифметических задач появляются признаки психического стресса, и активируются мозговые центры симпатической активации сердечно-сосудистой системы [5]. Важно, что при работе на компьютере активация мозговых структур, ответственных за психомоторику и регуляцию её вегетативного обеспечения, происходит одновременно, даже во время игры [6], и также включают активацию симпатической регуляции [7]. В результате оказа-

лось, что видеоигры длительностью более 24 мин (что ниже актуальных гигиенических нормативов) вызывают повышение артериального давления (АД) до уровня «гипертензия» у 42% подростков [8]. Важно, что эффект в виде симпатической активации и повышения АД даёт работа не только на компьютере, но и в смартфоне [9], использование которого занимает всё больше времени подростков [10].

Целью нашего исследования стал поиск возможных изменений показателей сердечно-сосудистой системы у учеников 8-х классов (14–15 лет) за период от 2004 до 2020 года.

Материалы и методы исследования

В исследование включены результаты оценки показателей сердечно-сосудистой системы 110 учащихся 8-х классов двух общеобразовательных школ, расположенных на окраинах Москвы. Подростки из одной школы обследованы в 2004 году, из другой школы – в 2020 году, общая характеристика выборки представлена в **табл. 1**. Этнический состав в обоих случаях был смешанный, с преобладанием (85–90 %) коренного населения (как русские, так и представители других национальностей, все белой расы), остальная часть детей проживала в Москве недавно, но попадала под те же определения. Согласно медицинской документации, все подростки были практически здоровы: группы здоровья 1 и 2, основная группа для занятий физической культурой.

Показатели сердечно-сосудистой системы изучали с помощью прибора спироартериокардиограф (ИНТОКС, Санкт-Петербург, Россия; комплекс разрешён к применению Росздравнадзором и Минздравом РФ, сертифицирован и рекомендован к работе в детских коллективах ЦГСЭН в г. Москве: № МОС. МУ 2.4.8.002-01.), позволяющего одновременно регистрировать ЭКГ в I стандартном отведении с оценкой variability сердечного ритма (СР), пальцевое АД методом фотоплетизмографии с оценкой variability систолического (АДс) и диасто-

Результаты исследования

лического (АДд) АД. Длительная непрерывная регистрация показателей СР и АД, помимо максимальных, минимальных и средних значений, позволяет оценить спектральные параметры их вариабельности: суммарную мощность спектра (ТР), абсолютную и относительную мощность стандартных диапазонов HF, LF и VLF, стресс-индекс и расчётные индексы (соотношение LF/HF, альфа-индекс).

Регистрацию длительностью 2 мин проводили в положении сидя, в первой половине дня, во время школьных занятий. В обеих школах эксперимент проходил в конце февраля – начале марта. В 2020 году все измерения были завершены до введения ограничений и перевода школьников на дистанционное обучение в связи с пандемией COVID-19.

Соблюдение международных и российских законодательных актов о юридических и этических принципах проведения научных работ с участием человека подтверждено решением Этического комитета ФГБНУ «НИИОПП» (протокол № 1 от 22.01.2019).

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакетов программ Statistica 8.0 (Statsoft, США) и GraphPad Prism 6 (GraphPad Software, США). Оценку нормальности полученных массивов данных проводили с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для показателей возраста, частоты сердечных сокращений (ЧСС) и АД межгрупповые сравнения проводили с использованием двухфакторного дисперсионного анализа ANOVA (факторы «время» и «пол») с последующим сравнением средних значений с помощью теста Дункана; данные в таблицах представлены в виде $M \pm SE$. В остальных случаях межгрупповые сравнения проводились с использованием критерия множественных сравнений Краскела–Уоллиса с последующим использованием критерия множественных сравнений Данна; данные в таблицах и рисунках представлены в виде медианы и межквартильного размаха.

В сомнительных случаях мы рассчитывали мощность статистического критерия, и проводили попарные сравнения среди девочек и среди мальчиков для разных точек тестирования с использованием критерия Манна–Уитни.

Для сравнения частотных показателей (долей) использовали точный метод Фишера (χ^2 , $df=1$), двусторонний критерий.

При сравнении результатов частоты сердечных сокращений (ЧСС) у подростков в разные годы мы не выявили статистически значимых различий между группами 2004 и 2020 годов среди девочек и мальчиков по отдельности, хотя обнаружили снижение величины ЧСС за оцениваемый период в выборках в целом: для фактора «время» $F(1, 106) = 6,688$, $p = 0,011$ (табл. 2). По величине АДс как в группах девочек, так и в группах мальчиков обнаружено значимое увеличение показателя, при аналогичной динамике в целом по выборке: $F(1, 106) = 54,659$, $p < 0,001$. Величина АДд за оцениваемый период ни в подгруппах по полу, ни в выборке в целом не изменилась. Отметим, что по всем перечисленным показателям сердечно-сосудистой системы различий между девочками и мальчиками ни на одной точке тестирования не было, взаимодействие между факторами «время» и «пол» также отсутствовало.

Анализ представленности разных оценок АДс в терминах «нормальное АД» (<120 мм рт.ст), «повышенное АД» (121–130 мм рт.ст) и «гипертензия» (>130 мм рт.ст) проведен согласно рекомендациям профильных специалистов Европы [11], США [12, 13], а также действующим национальным Клиническим рекомендациям «Артериальная гипертензия у детей» [14]. Показано значимое возрастание доли как девочек, так и мальчиков с уровнем АДс в диапазоне «гипертензия» ($\chi^2 = 8,28$, $p = 0,004$; $\chi^2 = 20,95$, $p < 0,001$ соответственно) за счёт снижения в обоих случаях доли подростков с АДс «нормальное АД» (χ^2 , $df = 9,82$, $p = 0,002$; χ^2 , $df = 17,92$, $p < 0,001$ соответственно) (рис. 1). Доля подростков с уровнем АДс в диапазоне «повышенное АД» за оцениваемый период не изменилась. Отметим, что уже в точке тестирования 2004 года распределение показателей величины АДс не соответствовало референтным значениям в 90% для «нормального АД» (ниже 90-го перцентиля) и 5% для «повышенного АД» (от 90-го до 95-го перцентиля), 5% для «гипертензия» (выше 95-го перцентиля).

Анализ спектральных показателей вариабельности СР в абсолютных величинах (ms^2) не выявил статистически значимых ($p < 0,05$) изменений внутри подгрупп девочек и мальчиков за оцениваемый период по общей мощности спектра ТР (СР), величине LF (СР), и по величине стресс-индекса (табл. 3). Была обнаруже-

Таблица 1

Общая характеристика выборок

Группы (пол, год)	n	Средний возраст, лет ($M \pm m$)	Возрастной диапазон, годы (мин; макс)
Девочки, 2004	30	14,48 ± 0,06	14,1; 15,2
Девочки, 2020	22	14,50 ± 0,07	14,1; 15,2
Мальчики, 2004	27	14,51 ± 0,06	14,1; 15,2
Мальчики, 2020	31	14,56 ± 0,08	13,9; 15,4

на общую тенденция ($p = 0,072$) к снижению мощности диапазона VLF (CP), подтвердившаяся при попарных сравнениях с использованием критерия Манна–Уит-

ни у девочек ($U = 209,0, p = 0,024$, при $p = 0,181$ по тесту Данна), и не подтвердившаяся у мальчиков ($U = 328,0, p = 0,161$, при $p = 0,855$ по тесту Данна) (рис. 2).

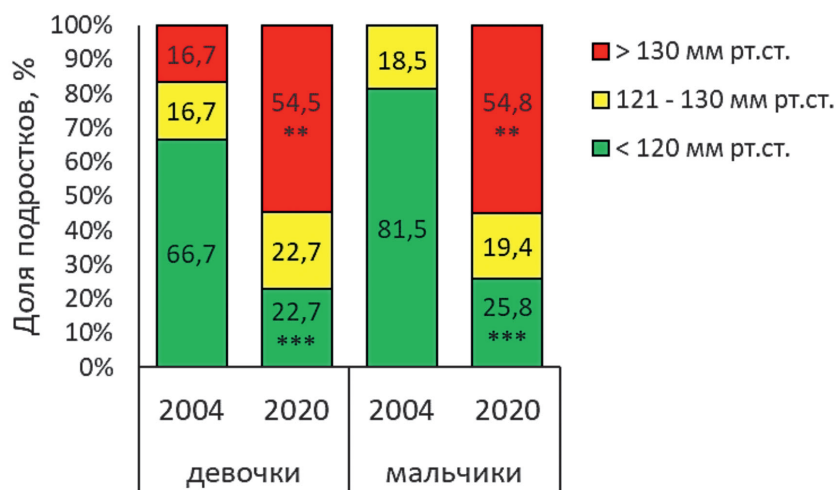


Рис. 1. Представленность разных величин систолического АД. Статистически значимые отличия от 2004 года (по точному методу Фишера): ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$.

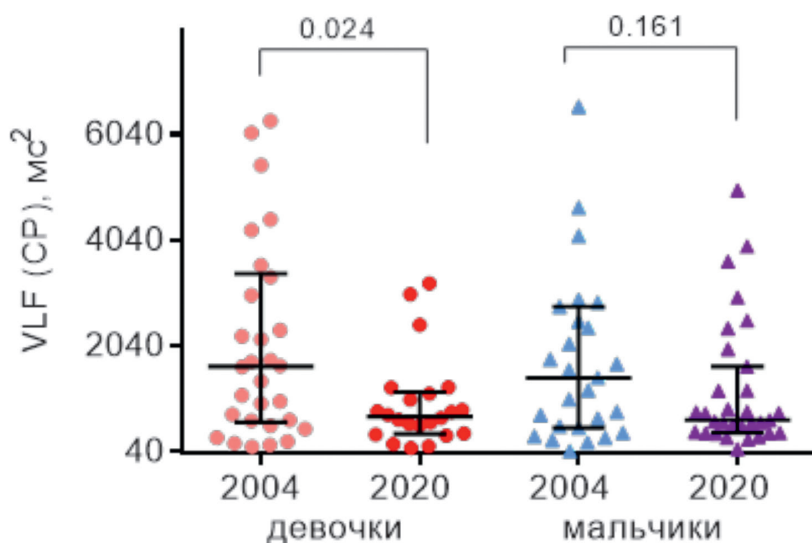


Рис. 2. Абсолютная мощность (в mC^2) диапазона очень низких частот (VLF) в спектре вариальности CP. Данные представлены как медиана (Me) и межквартильный размах (Q1; Q3), с индивидуальными значениями. Статистически значимые отличия от 2004 года – по критерию Данна.

Таблица 2

Основные показатели сердечно-сосудистой системы у девочек и мальчиков в разные годы, и статистическая значимость различий между группами.

	Значения показателя ($M \pm SE$)				Фактор «время»		Фактор «время × пол»	
	Девочки		Мальчики		F (df)	p	F (df)	p
	2004	2020	2004	2020				
ЧСС (уд/мин)	94,3 ± 2,6	88,7 ± 1,9	91,7 ± 3,1	83,3 ± 2,7	6,688 (1, 106)	0,011	0,288 (1, 106)	0,592
АДс (мм рт.ст)	110,1 ± 3,4	133,9 ± 3,9***	105,9 ± 2,4	137,8 ± 4,4***	54,659 (1, 106)	< 0,001	1,124 (1, 106)	0,291
АДд (мм рт.ст)	78,6 ± 3,3	75,9 ± 1,9	75,6 ± 2,2	82,0 ± 2,8	0,469 (1, 106)	0,494	2,724 (1, 106)	0,102

Примечания. Данные представлены в виде среднего с ошибкой среднего ($M \pm SE$). Межгрупповые различия рассчитаны по алгоритму факторного анализа ANOVA (время × пол). CP – сердечный ритм, АДс – систолическое артериальное давление, АДд – диастолическое артериальное давление. *** – статистически значимые отличия от выборок 2004 года ($p < 0,001$ по тесту Дункана).

Для данного показателя мы рассчитали мощность статистической оценки по алгоритму Two-Way ANOVA: сигма 8324, RMSSE при сравнении групп во временном аспекте 0,6413, при сравнении по полу 0,1929, взаимодействие факторов 0,1241; мощность критерия составила 0,98, 0,24 и 0,20 соответственно. Следовательно, количественный состав групп и характеристики выборки позволяют с высокой вероятностью сделать заключение о влиянии фактора времени на величину VLF (CP), хотя для количественной оценки этого эффекта были использованы непараметрические статистические критерии, в соответствии с результатами проверки выборок на нормальность распределения.

Общая тенденция к существованию различий по величине HF (CP) ($p = 0,070$) и отношению LF/HF ($p = 0,055$) при попарных сравнениях не подтвердилась ни при использовании критерия Данна, ни при попарном сравнении по U -критерию Манна–Уитни. Однако мы увидели возрастание относительной (в %) мощности диапазона LF (CP) (рис. 3), как у девочек (ранговая разность средних $-37,93$, $p < 0,001$), так и у мальчиков (ранговая разность средних $-22,40$, $p = 0,045$).

В спектре variability АДс мы обнаружили значимые изменения уже при анализе абсолютных величин (мм рт.ст) (табл. 3). Так, мы отмечаем возрастание общей мощности спектра TP (АДс) (для выборки в целом $N(3, 110) 22,948$, $p < 0,001$), проявившееся как в подгруппе девочек, так и в подгруппе мальчиков. Такое возрастание TP (АДс) произошло за счёт возрастания мощности всех оцениваемых показателей. При этом у девочек отмечено значимое усиление диапазона VLF (АДс) (в целом по выборке $N(3, 110) 20,372$, $p < 0,001$), у мальчиков при сходной тенденции уровень статистической значимости не достигнут. Зато у мальчиков отмечено значимое усиление диапазонов LF (АДс) (в целом по выборке $N(3, 110) 8,951$, $p = 0,029$) и HF (АДс)

($N(3, 110) 26,590$, $p < 0,001$), тогда как у девочек при сходной тенденции уровень статистической значимости не достигнут. Кроме того, мы обнаружили значимое снижение относительной мощности (в %) диапазона LF (АДс) у девочек (ранговая разность средних $24,16$, $p = 0,041$), у мальчиков также была тенденция к снижению данного показателя (ранговая разность средних $21,50$, $p = 0,061$) (рис. 4).

Важно также отметить, что мы не увидели изменений величины альфа-индекса, рассчитываемого на основании спектральных показателей variability CP и АДс ($N(3, 110) 1,258$, $p = 0,739$), и характеризующего барорефлекторную регуляцию.

В спектре variability АДд при анализе абсолютных величин (мм рт.ст) мы выявили только снижение мощности диапазона VLF (АДд) (для выборки в целом $N(3, 110) 26,579$, $p < 0,001$), характерное как для девочек, так и для мальчиков (табл. 3). Перераспределения относительных (в %) показателей в спектре variability АДд мы не увидели.

Обсуждение

До 2017 года в педиатрической практике границей повышенного АД в детской популяции считался 95-й процентиль соответствующей половозрастной выборки. Согласно такому распределению, доля детей с повышенным АД должна составлять около 5%. Именно такие величины получены в исследованиях 1982 года в Хорватии (945 мальчиков и 980 девочек 6–17 лет) – 3,1% для АДс и 2,9% для АДд [15], в 2005-2006 годах в Швейцарии (2621 мальчиков, 2586 девочек, средний возраст $12,3 \pm 0,5$ лет) – 2,2% [16], в 2003-2008 годах в России (1300 учащихся 8-11-х классов, 14-17 лет) – 3,7% [17]. При этом педиатры с большой неохотой ставили диагноз «гипертония» детям, настаи-

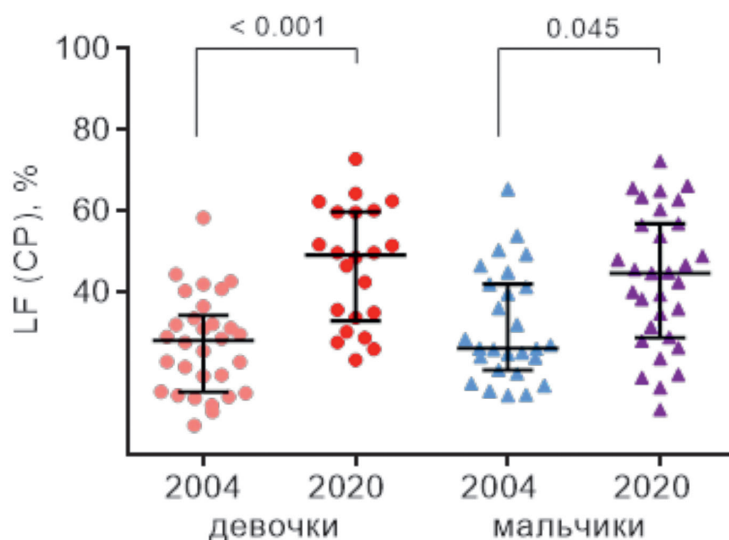


Рис. 3. Относительная мощность (в %) диапазона низких частот (LF) в спектре variability CP, остальные обозначения – как на рис. 2.

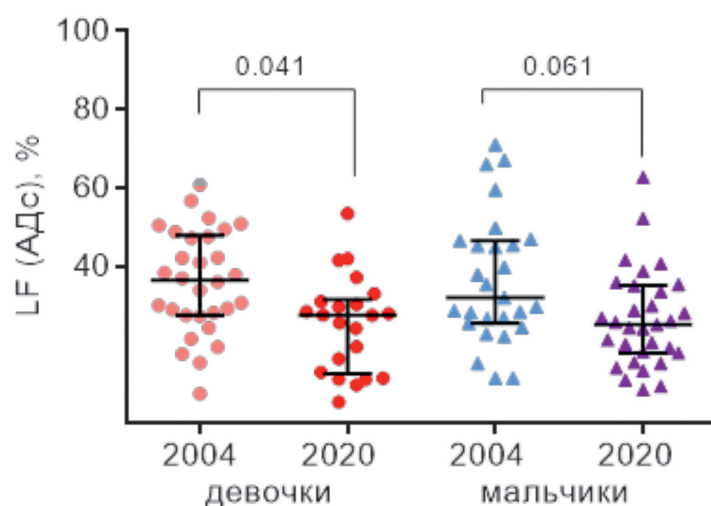


Рис. 4. Относительная мощность (в %) диапазона низких частот (LF) в спектре variability АДс. остальные обозначения – как на рис. 2.

Таблица 3

Спектральные показатели variability CP, АДс и АДд у девочек и мальчиков в разные годы, и статистическая значимость различий между группами

	Значения показателя (Me (Q1; Q3))				N (df)	p
	Девочки		Мальчики			
	2004	2020	2004	2020		
TP (CP), мс ²	4800 (2309; 6536)	3103 (2278; 4649)	4317 (1606; 9662)	3216 (1867; 5242)	2,781 (3, 110)	0,427
VLF (CP), мс ²	1652 (598; 3731)	704 (380; 1166)	1439 (488; 2782)	634 (393; 1647)	7,010 (3, 110)	0,072
LF (CP), мс ²	1142 (340; 2887)	1465 (872; 2375)	871 (349; 1581)	1328 (786; 2352)	4,194 (3, 110)	0,241
HF (CP), мс ²	1287 (292; 3122)	794 (335; 1615)	304 (170; 912)	680 (201; 2015)	7,036 (3, 110)	0,070
LF (CP) / HF (CP), y.e.	0,99 (0,66; 1,89)	1,81 (1,06; 3,92)	1,82 (1,03; 4,99)	1,79 (0,66; 3,27)	7,615 (3, 110)	0,055
Стресс-индекс, y.e.	167,7 (84,9; 264,9)	134,9 (100,6; 210,9)	120,4 (57,7; 191,5)	117,4 (56,7; 166,5)	2,643 (3, 86)	0,449
TP (АДс), мм рт.ст. ²	33,58 (12,80; 65,87)	81,70 ** (42,70; 144,60)	24,36 (12,94; 57,46)	68,60 ** (42,70; 155,00)	22,948 (3, 110)	< 0,001
VLF (АДс), мм рт.ст. ²	12,15 (3,67; 26,55)	52,80 ** (21,70; 46,40)	15,28 (4,88; 48,38)	32,80 (15,80; 93,90)	20,372 (3, 110)	< 0,001
LF (АДс), мм рт.ст. ²	9,41 (5,56; 19,48)	17,45 (8,80; 44,10)	7,29 (3,35; 16,21)	15,40 * (11,50; 49,90)	8,951 (3, 110)	0,029
HF (АДс), мм рт.ст. ²	5,28 (2,73; 12,12)	11,50 (5,70; 16,40)	2,98 (0,85; 5,69)	10 ** (4,80; 24,40)	26,590 (3, 110)	< 0,001
Альфа-индекс, мс / мм рт.ст.	9,4 (6,3; 20,1)	9,0 (6,5; 11,9)	11,7 (5,0; 17,7)	11,5 (6,2; 13,9)	1,258 (3, 110)	0,739
TP (АДд), мм рт.ст. ²	23,89 (14,91; 49,44)	15,40 (12,40; 26,50)	17,84 (12,60; 68,20)	19,50 (13,10; 60,40)	3,217 (3, 110)	0,359
VLF (АДд), мм рт.ст. ²	15,02 (7,70; 29,36)	6,80 *** (3,90; 11,40)	29,79 (17,33; 91,38)	10,30 *** (5,70; 33,20)	26,579 (3, 110)	< 0,001
LF (АДд), мм рт.ст. ²	6,62 (4,02; 8,86)	6,20 (4,60; 10,50)	4,28 (3,09; 14,47)	7,80 (4,00; 11,30)	1,537 (3, 110)	0,673
HF (АДд), мм рт.ст. ²	1,95 (0,20; 4,79)	1,95 (1,20; 2,70)	2,41 (1,09; 3,30)	2,40 (1,80; 5,10)	4,210 (3, 110)	0,239

Примечания. Данные представлены в виде медианы (Me) и межквартильного размаха (Q1; Q3). Межгрупповые различия рассчитаны по критерию Краскела–Уоллиса (H). Спектральные диапазоны: TP – общая мощность спектра (Total Power), VLF – диапазон очень низких частот (Very Low Frequencies), LF – диапазон низких частот (Low Frequencies), HF – диапазон высоких частот (High Frequencies). Остальные обозначения – как в табл. 1. Статистически значимые отличия от 2004 года (по критерию Данна): * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

вая на длительном наблюдении, повторении измерений, и поиске сопутствующих клинических признаков, характерных для гипертензии взрослых [15, 16]. В 2017 году требования к предельным показателям АД, которые считаются нормой, были ужесточены как для взрослых, так и для детей. Для подростков 13 лет и старше рекомендуется использовать граничные величины взрослой выборки, что составляет 120/80 мм рт.ст для верхней границы нормального АД, 130/80 мм рт.ст для границы между повышенным АД и гипертензией [18]. Проведенные в США исследования [19] показали, что при оценке АД по новым правилам распространенность гипертензии у детей и подростков (22224 обследований, 10–17 лет) осталась на уровне 2–4%, поскольку подход к диагностике остался прежним (величина АД выше 95-го перцентиля). Однако доля популяции, попадающая в диапазон повышенного АД, возросла до 16%.

В нашем исследовании к ранжированию величин АД применены подходы согласно последним рекомендациям профильных сообществ. Оказалось, что уже в 2004 году доля подростков с повышенным АД превышала рекомендуемые педиатрами пропорции и данные, полученные коллегами [19]. Здесь мы особо обращаем внимание, что наши результаты не могут быть расценены как показатели распространенности гипертензии в подростковой популяции в медицинском аспекте: для верификации медицинского диагноза «гипертензия» или «повышенное АД» необходимо проводить стандартизованную медицинскую процедуру, согласно рекомендациям профильных профессиональных ассоциаций. В нашем же исследовании все измерения проведены в учебное время, и отражают текущее состояние организма подростка, в условиях действия стрессорного фактора (обучения). Изменение параметров сердечно-сосудистой системы в ответ на действие средового фактора не является патологией, а наоборот, свидетельствует о способности организма к адаптации. Например, повышение ЧСС и АД во время физической активности.

Таким образом, мы видим, что в уже 2004 году процесс школьного обучения был небезразличен для организма подростков, и у части выборки сопровождался повышением АД. Однако к 2020 году произошли существенные изменения в структуре выборки, с драматическим возрастанием представленности подростков (как девочек, так и мальчиков) с гипертензией, и сопутствующим возрастанием средних величин АДс. Поскольку измерения показателей сердечно-сосудистой системы проведены в одной и той же местности, с отсутствием за интервал наблюдения природных катаклизмов и социально-экономических потрясений, мы убеждены, что причину таких сдвигов следует искать в изменении социальной среды обитания, возможно, что в первую очередь — в её тотальной цифровизации. О чём свидетельствуют результаты исследований коллег о влиянии компьютерных игр [8] и смартфонов [9] на рост веро-

ятности развития подростковой гипертензии. А также свидетельства о высокой распространенности гипертензии и предгипертензии среди молодых специалистов по программному обеспечению [20].

В нашем исследовании длительность регистрации показателей сердечно-сосудистой системы составляла 2 минуты, что меньше классических рекомендаций (5 минут). Однако условия проведения обследований (в школе, только в урочное время) не позволяли нам затягивать работу. Мы понимаем, что столь короткие записи снижают надёжность полученных данных. Однако мы опираемся на результаты сравнительных исследований разных длительностей записи ЭКГ, подтверждающих принципиальную возможность такого подхода [21], и возможность анализа на 2-минутных записях всех трех значимых диапазонов спектра variability — VLF, LF и HF [22]. В свою очередь, анализ спектральных показателей даёт возможность предположить механизмы формирования выявленных сдвигов в сердечно-сосудистой системе.

В нашем исследовании при анализе variability CP обнаружено возрастание относительной мощности диапазона LF (CP). В действующих рекомендациях по оценке variability сердечного ритма (например, [22]) принято, что мощность диапазона LF отражает барорефлекторные влияния и уровень симпатической активности в регуляции сердечной деятельности. Поскольку величина альфа-индекса, расчётного показателя, определяющего величину чувствительности спонтанного артериального барорефлекса [23], оказалась неизменной, мы предполагаем, что причиной возрастания относительной мощности диапазона LF (CP) было усиление симпатических влияний на сердечный ритм. Согласно современным данным, ритмические колебания частотного диапазона LF (CP) характерны как для бульбарного отдела симпатической системы (и являются результатом работы центрального нервного водителя ритма) [24], так и для других звеньев этой системы [25].

Однако симпатическая нервная система не только участвует в регуляции CP, но и играет ключевую роль в долгосрочной регуляции АД благодаря способности центральной нервной системы интегрировать нейрогуморальные сигналы и дифференцированно регулировать симпатический нервный сигнал к конкретным конечным органам [26]. Поэтому самый неоспоримый и вместе с тем шокирующий результат нашего исследования — возрастание за время наблюдения у подростков АДс, сопровождаемое ростом общей мощности спектра variability за счёт усиления всех диапазонов — является логичным.

По принятым подходам к интерпретации показателей variability АД, усиление спектральной мощности отражает усиление функциональной активности механизмов, регулирующих АД [27]. При этом мощность диапазона LF (АДс) определяется симпатическим тонусом, диапазон HF (АДс) связан с дыханием,

а диапазон VLF (АДс) отражает самые медленные влияния гуморальной регуляции. В нашем исследовании мы обнаружили возрастание мощности всех диапазонов спектра, при снижении относительной мощности диапазона LF (АДс), собственно связанного с симпатическим тонусом. Это предполагает относительное усиление вклада других механизмов, участвующих в определении величины АД, как и СР: неведущая роль усиления симпатических влияний на сердечно-сосудистую систему может объяснить и обнаруженное нами снижение СР в 2020 году.

По современным представлениям, базирующимся на данных нейровизуализации, в головном мозге существует морфофункциональное образование, называемое «симпатический коннектом», определяющее супрабульбарные влияния на АД [28]. В него входят островок, гипоталамус, некоторые области лимбической системы. Расширение при помощи современных методов изучения головного мозга списка систем, регулирующих АД, подтверждает на уровне функциональной архитектуры давно известные эмпирические данные о чувствительности АД к стрессовым ситуациям (с посредством лимбических структур) [2, 5] и к состоянию гуморальных регуляторных систем, берущих начало в гипоталамусе [11, 12, 14]. Такие влияния на сердечно-сосудистую систему обычно отражаются на спектральной мощности диапазона VLF в спектре СР [22]. Изменение мощности данного диапазона продемонстрировано в исследовании variability СР во время струп-тестирования и при восстановлении после него [29]. Обнаружено, что при выполнении теста, как варианта психологического стресса, мощность диапазона VLF (СР) снижалась, тогда как отношение LF/HF наоборот, возрастало, что считается коррелятом усиления симпатических влияний. В восстановительный период отношение LF/HF восстановилось менее, чем за 15 минут, а мощность диапазона VLF (СР) не вернулась к исходным величинам и через 2 часа.

В нашем исследовании мы увидели тенденцию к снижению мощности диапазона VLF (СР) у подростков за период с 2004 по 2020 годы. Данный факт можно интерпретировать как наличие у подростков в 2020 году более выраженного психоэмоционального напряжения, чем в 2004 году. Получению этого результата, скорее всего, помогло проведение исследования непосредственно в школе, во время занятий. Весьма вероятно, в аналогичных исследованиях в выходные и неучебные дни, в медицинских учреждениях такого эффекта можно и не увидеть.

В спектрах variability АД мы также обнаружили снижение мощности диапазона VLF, но только для АДд, которое считается «стабильным компонентом» артериальной сфигмограммы [30].

Мы считаем, что возрастание психоэмоционального напряжения может быть связано с более широким использованием в образовательной среде компьютерных и цифровых технологий в 2020 году по сравнению с 2004 годом. Тогда, полученные результаты можно рас-

ценивать как адаптивный ответ организма подростков на изменения среды обитания. Однако наши результаты ставят целый ряд задач и вопросов, требующих дальнейших исследований:

— если выявленные повышенные величины АД и спектральных показателей variability действительно связаны с образовательной средой, они должны быть обратимы и компенсироваться к началу следующего учебного дня; необходим мониторинг показателей в течение учебного дня (недели, года);

— в противном случае, если цифровизация образования приводит к стойкой гипертензии у обучающихся, необходимо определить границы безопасности для здоровья детей у данной технологии, разработать обоснованные нормативы;

— может ли высокая реактивность сердечно-сосудистой системы подростков на условия обучения рассматриваться как фактор риска для развития гипертензии во взрослом состоянии?

Отдельный интерес представляет оценка возможных сдвигов показателей сердечно-сосудистой системы в условиях дистанционного обучения, например, при ограничениях во время пандемии COVID-19, когда время, проводимое учащимися в цифровой среде не с целью развлечения, значительно возросло.

Заключение

Таким образом, проведя сравнительный анализ параметров сердечно-сосудистой системы подростков во время школьных занятий, мы получили данные о том, что в 2020 году показатели АДс оказались выше, чем в 2004 году. Анализ спектральных показателей variability СР, АДс и АДд позволяет предположить, что повышение АД произошло у подростков не только за счёт усиления симпатических влияний. Свой вклад также внесла активация супрабульбарных структур (при возрастании психоэмоционального напряжения), вероятно обусловленная интенсификацией учебного процесса при использовании в образовательной среде цифровых технологий.

Список литературы

1. Кучма В.Р. Риск здоровью обучающихся в современной российской школе. *Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья*. 2018; 4: 11–18.
2. Elsaid N., Saied A., Kandil H., Soliman A., Taher F., Hadi M., Giridharan G., Jennings R., Casanova M., Keynton R., El-Baz A. Impact of stress and hypertension on the cerebrovasculature. *Front. Biosci. (Landmark Ed)*. 2021; 26(12): 1643–1652. DOI: 10.52586/5057
3. Fink A.M. Measuring the effects of night-shift work on cardiac autonomic modulation: an appraisal of heart rate variability metrics. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*. 2020; 33(4): 409–425. DOI: 10.13075/ijomh.1896.01560
4. Resiak M., Walentukiewicz A., Łysak-Radomska A., Woźniak K., Skonieczny P. Determinants of overweight in the population of parents of school-age children. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*. 2019; 32(5): 677–693. DOI: 10.13075/ijomh.1896.01455
5. Wang X., Liu B., Xie L., Yu X., Li M., Zhang J. Cerebral and neural regulation of cardiovascular activity during mental stress. *Biomed. Eng. Online*. 2016; 15(Suppl2): 160. DOI: 10.1186/s12938-016-0255-1

6. Subhani A.R., Likun X., Malik A.S. Association of autonomic nervous system and EEG scalp potential during playing 2D Grand Turismo 5. *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2012; 2012: 3420–3423. DOI: 10.1109/EMBC.2012.6346700
7. Krarup K.B., Krarup H.B. The physiological and biochemical effects of gaming: A review. *Environ. Res.* 2020; 184: 109344. DOI: 10.1016/j.envres.2020.109344
8. Lubrano R., Spiga S., Falsaperla R., Elli M. Videogames unmask hypertension in children. *Minerva Pediatr.* 2018; 70(4): 411–412. DOI: 10.23736/S0026-4946.17.04814-9
9. Delgado-Ron J.A. Overview of studies linking time spent on smartphones with blood pressure. *Hypertens. Res.* 2021; 44(2): 259–261. DOI: 10.1038/s41440-020-00540-x
10. Ушаков И.Б., Попов В.И., Скоблина Н.А., Маркелова С.В. Длительность использования мобильных электронных устройств как современный фактор риска здоровью детей, подростков и молодежи. *Экология человека.* 2021; 7: 43–50. DOI: 10.23396/1728-0869-2021-7-43-50
11. Williams B., Mancia G., Spiering W., Agabiti Rosei E., Azizi M., Burnier M., Clement D.L., Coca A., de Simone G., Dominiczak A., Kahan T., Mahfoud F., Redon J., Ruilope L., Zanchetti A., Kerins M., Kjeldsen S.E., Kreutz R., Laurent S., Lip G.Y.H., McManus R., Narkiewicz K., Ruschitzka F., Schmieder R.E., Shlyakhto E., Tsioufis C., Aboyans V., Desormais I.; ESC Scientific Document Group. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. *Eur. Heart J.* 2018; 39(33): 3021–3104. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy339
12. Whelton P.K., Carey R.M., Aronow W.S., Casey D.E.Jr., Collins K.J., Himmelfarb C.D., DePalma S.M., Gidding S., Jamerson K.A., Jones D.W., MacLaughlin E.J., Muntner P., Ovbigele B., Smith S.C.Jr., Spencer C.C., Stafford R.S., Taler S.J., Thomas R.J., Williams K.A.Sr., Williamson J.D., Wright J.T.Jr. 2017 ACC/AHA/AA-PA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Hypertension.* 2018; 71(6): e13–e115. DOI: 10.1161/HYP.0000000000000065
13. Sinha R., Saha A., Samuels J. American Academy of Pediatrics Clinical Practice Guidelines for Screening and Management of High Blood Pressure in Children and Adolescents: What is New? *Indian Pediatr.* 2019; 56(4): 317–321. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy339
14. Клинические рекомендации «Артериальная гипертензия у детей». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_325241/дата_обращения_17.01.2022
15. Rumboldt M., Pavlicević I., Kuzmanić M., Rumboldt Z. Prevalence of hypertension in school children. *J. Hypertens.* 2008; 26(3): 610–611. DOI: 10.1097/HJH.0b013e3282f4836d
16. Chiolerio A., Cachat F., Burnier M., Paccaud F., Bovet P. Prevalence of hypertension in schoolchildren based on repeated measurements and association with overweight. *J. Hypertens.* 2007; 25(11): 2209–2217. DOI: 10.1097/HJH.0b013e3282ef48b2
17. Панкова Н.Б., Алчинова И.Б., Афанасьева Е.В., Карганов М.Ю. Функциональные показатели сердечно-сосудистой системы у подростков с предгипертензией. *Физиология человека.* 2010; 36(3): 82–89.
18. Göknar N., Çalıřkan S. New guidelines for the diagnosis, evaluation, and treatment of pediatric hypertension. *Turk. Pediatr. Ars.* 2020; 55(1): 11–22. DOI: 10.14744/TurkPediatriArs.2020.92679
19. Bell C.S., Samuel J.P., Samuels J.A. Prevalence of Hypertension in Children. *Hypertension.* 2019; 73(1): 148–152. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.118.11673
20. Babu G.R., Mahapatra T., Detels R. Job stress and hypertension in younger software professionals in India. *Indian J. Occup. Environ. Med.* 2013; 17(3): 101–107. DOI: 10.4103/0019-5278.130848
21. Boos C.J., Bakker-Dyos J., Watchorn J., Woods D.R., O'Hara J.P., Macconnachie L., Mellor A. A comparison of two methods of heart rate variability assessment at high altitude. *Clin. Physiol. Funct. Imaging.* 2017; 37(6): 582–587. DOI: 10.1111/cpf.12334
22. Johnston B.W., Barrett-Jolley R., Krige A., Welters I.D. Heart rate variability: Measurement and emerging use in critical care medicine. *J. Intensive Care Soc.* 2020; 21(2): 148–157. DOI: 10.1177/1751143719853744
23. Rydlewska A., Ponikowska B., Borodulin-Nadzieja L., Banasiak W., Jankowska E.A., Ponikowski P. [Assessment of the functioning of autonomic nervous system in the context of cardiorespiratory reflex control]. *Kardiol. Pol.* 2010; 68(8): 951–957. (in Polish)
24. Pfurtscheller G., Schwerdtfeger A.R., Rassler B., Andrade A., Schwarz G., Klimesch W. 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; 14: 922. DOI: 10.3389/fnins.2020.00922
25. Ang R., Marina N. Low-Frequency Oscillations in Cardiac Sympathetic Neuronal Activity. *Front. Physiol.* 2020; 11: 236. DOI: 10.3389/fphys.2020.00236
26. DeLalio L.J., Sved A.F., Stocker S.D. Sympathetic Nervous System Contributions to Hypertension: Updates and Therapeutic Relevance. *Can. J. Cardiol.* 2020; 36(5): 712–720. DOI: 10.1016/j.cjca.2020.03.003
27. Stauss H.M. Identification of Blood Pressure Control Mechanisms by Power Spectral Analysis. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 2007; 34(4): 362–368. DOI: 10.1111/j.1440-1681.2007.04588.x
28. Macefield V.G., Henderson L.A. Identification of the human sympathetic connectome involved in blood pressure regulation. *Neuroimage.* 2019; 202: 116119. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.116119
29. Usui H., Nishida Y. The very low-frequency band of heart rate variability represents the slow recovery component after a mental stress task. *PLoS One.* 2017; 12(8): e0182611. DOI: 10.1371/journal.pone.0182611
30. Flint A.C., Conell C., Ren X., Banki N.M., Chan S.L., Rao V.A., Melles R.B., Bhatt D.L. Effect of Systolic and Diastolic Blood Pressure on Cardiovascular Outcomes. *N. Engl. J. Med.* 2019; 381(3): 243–251. DOI: 10.1056/NEJMoa1803180

References

1. Kuchma V.R. [Risk to the health of students]. *Voprosy shkol'noi i universitetskoi meditsiny i zdorov'ya [School and University Medicine and Health Issues]*. 2018; 4: 11–18. (in Russian)
2. Elsaid N., Saied A., Kandil H., Soliman A., Taher F., Hadi M., Giridharan G., Jennings R., Casanova M., Keynton R., El-Baz A. Impact of stress and hypertension on the cerebrovasculature. *Front. Biosci. (Landmark Ed)*. 2021; 26(12): 1643–1652. DOI: 10.52586/5057
3. Fink A.M. Measuring the effects of night-shift work on cardiac autonomic modulation: an appraisal of heart rate variability metrics. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health.* 2020; 33(4): 409–425. DOI: 10.13075/ijom.1896.01560
4. Resiak M., Walentukiewicz A., Łysak-Radomska A., Woźniak K., Skonieczny P. Determinants of overweight in the population of parents of school-age children. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health.* 2019; 32(5): 677–693. DOI: 10.13075/ijom.1896.01455
5. Wang X., Liu B., Xie L., Yu X., Li M., Zhang J. Cerebral and neural regulation of cardiovascular activity during mental stress. *Biomed. Eng. Online.* 2016; 15(Suppl2): 160. DOI: 10.1186/s12938-016-0255-1
6. Subhani A.R., Likun X., Malik A.S. Association of autonomic nervous system and EEG scalp potential during playing 2D Grand Turismo 5. *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2012; 2012: 3420–3423. DOI: 10.1109/EMBC.2012.6346700
7. Krarup K.B., Krarup H.B. The physiological and biochemical effects of gaming: A review. *Environ. Res.* 2020; 184: 109344. DOI: 10.1016/j.envres.2020.109344
8. Lubrano R., Spiga S., Falsaperla R., Elli M. Videogames unmask hypertension in children. *Minerva Pediatr.* 2018; 70(4): 411–412. DOI: 10.23736/S0026-4946.17.04814-9
9. Delgado-Ron J.A. Overview of studies linking time spent on smartphones with blood pressure. *Hypertens. Res.* 2021; 44(2): 259–261. DOI: 10.1038/s41440-020-00540-x
10. Ushakov I.B., Popov V.I., Skobolina N.A., Markelova S.V. [Duration of the Use of Mobile Electronic Devices as a Risk Factor for Health of Children, Adolescents and Youth]. *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. 2021; 7: 43–50. DOI: 10.23396/1728-0869-2021-7-43-50 (in Russian)
11. Williams B., Mancia G., Spiering W., Agabiti Rosei E., Azizi M., Burnier M., Clement D.L., Coca A., de Simone G., Dominiczak A., Kahan T., Mahfoud F., Redon J., Ruilope L., Zanchetti A., Kerins M., Kjeldsen S.E., Kreutz R., Laurent S., Lip G.Y.H., McManus R., Narkiewicz K., Ruschitzka F., Schmieder R.E., Shlyakhto E., Tsioufis C., Aboyans V., Desormais I.; ESC Scientific Document Group. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial

- hypertension. *Eur. Heart J.* 2018; 39(33): 3021–3104. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy339
12. Whelton P.K., Carey R.M., Aronow W.S., Casey D.E.Jr., Collins K.J., Himmelfarb C.D., DePalma S.M., Gidding S., Jamerson K.A., Jones D.W., MacLaughlin E.J., Muntner P., Ovbigele B., Smith S.C.Jr., Spencer C.C., Stafford R.S., Taler S.J., Thomas R.J., Williams K.A.Sr., Williamson J.D., Wright J.T.Jr. 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/ APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Hypertension.* 2018; 71(6): e13–e115. DOI: 10.1161/HYP.0000000000000065
 13. Sinha R., Saha A., Samuels J. American Academy of Pediatrics Clinical Practice Guidelines for Screening and Management of High Blood Pressure in Children and Adolescents: What is New?/ *Indian Pediatr.* 2019; 56(4): 317–321. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy339
 14. [Clinical guidelines “Arterial hypertension in children”]. Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_325241/ Accessed 17.01.2022. (in Russian)
 15. Rumboldt M., Pavlicević I., Kuzmanić M., Rumboldt Z. Prevalence of hypertension in school children. *J. Hypertens.* 2008; 26(3): 610–611. DOI: 10.1097/HJH.0b013e3282f4836d
 16. Chiolero A., Cachat F., Burnier M., Paccaud F., Bovet P. Prevalence of hypertension in schoolchildren based on repeated measurements and association with overweight. *J. Hypertens.* 2007; 25(11): 2209–2217. DOI: 10.1097/HJH.0b013e3282f4836d
 17. Pankova N.B., Alchinova I.B., Afanaseva E.V., Karganov M.Yu. [Functional characteristics of the cardiovascular system in adolescents with high normal blood pressure]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 2010; 36(3): 319–324. DOI: 10.1134/S0362119710030102 (in Russian)
 18. Gökner N., Çalışkan S. New guidelines for the diagnosis, evaluation, and treatment of pediatric hypertension. *Turk. Pediatri. Ars.* 2020; 55(1): 11–22. DOI: 10.14744/TurkPediatriArs.2020.92679
 19. Bell C.S., Samuel J.P., Samuels J.A. Prevalence of Hypertension in Children. *Hypertension.* 2019; 73(1): 148–152. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.118.11673
 20. Babu G.R., Mahapatra T., Detels R. Job stress and hypertension in younger software professionals in India. *Indian J. Occup. Environ. Med.* 2013; 17(3): 101–107. DOI: 10.4103/0019-5278.130848
 21. Boos C.J., Bakker-Dyos J., Watchorn J., Woods D.R., O’Hara J.P., Maccconnachie L., Mellor A. A comparison of two methods of heart rate variability assessment at high altitude. *Clin. Physiol. Funct. Imaging.* 2017; 37(6): 582–587. DOI: 10.1111/cpf.12334
 22. Johnston B.W., Barrett-Jolley R., Krige A., Welters I.D. Heart rate variability: Measurement and emerging use in critical care medicine. *J. Intensive Care Soc.* 2020; 21(2): 148–157. DOI: 10.1177/1751143719853744
 23. Rydlewska A., Ponikowska B., Borodulin-Nadzieja L., Banasiak W., Jankowska E.A., Ponikowski P. [Assessment of the functioning of autonomic nervous system in the context of cardiorespiratory reflex control]. *Kardiol. Pol.* 2010; 68(8): 951–957. (in Polish)
 24. Pfurtsceller G., Schwerdtfeger A.R., Rassler B., Andrade A., Schwarz G., Klimesch W. 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; 14: 922. DOI: 10.3389/fnins.2020.00922
 25. Ang R., Marina N. Low-Frequency Oscillations in Cardiac Sympathetic Neuronal Activity. *Front. Physiol.* 2020; 11: 236. DOI: 10.3389/fphys.2020.00236
 26. DeLalio L.J., Sved A.F., Stocker S.D. Sympathetic Nervous System Contributions to Hypertension: Updates and Therapeutic Relevance. *Can. J. Cardiol.* 2020; 36(5): 712–720. DOI: 10.1016/j.cjca.2020.03.003
 27. Stauss H.M. Identification of Blood Pressure Control Mechanisms by Power Spectral Analysis. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 2007; 34(4): 362–368. DOI: 10.1111/j.1440-1681.2007.04588.x
 28. Macefield V.G., Henderson L.A. Identification of the human sympathetic connectome involved in blood pressure regulation. *Neuroimage.* 2019; 202: 116119. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.116119
 29. Usui H., Nishida Y. The very low-frequency band of heart rate variability represents the slow recovery component after a mental stress task. *PLoS One.* 2017; 12(8): e0182611. DOI: 10.1371/journal.pone.0182611
 30. Flint A.C., Conell C., Ren X., Banki N.M., Chan S.L., Rao V.A., Melles R.B., Bhatt D.L. Effect of Systolic and Diastolic Blood Pressure on Cardiovascular Outcomes. *N. Engl. J. Med.* 2019; 381(3): 243–251. DOI: 10.1056/NEJMoa1803180

Сведения об авторе:

Панкова Наталья Борисовна — доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»; <https://orcid.org/0000-0002-3582-817X>