

МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ И ПАТОФИЗИОЛОГИЯ MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY AND PATHOPHYSIOLOGY

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И УРОВЕНЬ КОРТИЗОЛА У ДЕТЕЙ ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА ПРИ РАЗНОЙ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКЕ

Догадкина С.Б.,
Ермакова И.В.,
Адамовская О.Н.,
Кмить Г.В.,
Рублева Л.В.,
Шарапов А.Н.

ФГБНУ «Институт возрастной физиологии
Российской академии образования»
(119121, г. Москва, ул. Погодинская, 8.,
корп. 2, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Ермакова Ирина Владимировна,
e-mail: ermekb1@mail.ru

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Актуальной задачей возрастной физиологии является изучение функционального состояния организма детей школьного возраста при когнитивной деятельности из-за большой учебной нагрузки и использования в образовательном процессе информационно-компьютерных технологий. Выявление особенностей реактивности организма обучающихся при выполнении когнитивной нагрузки разного вида, в том числе и на электронных устройствах, необходимо для организации школьной образовательной среды.

Цель исследования. Оценить характер вегетативной, сердечно-сосудистой и гормональной реактивности при когнитивной нагрузке разного вида у детей школьного возраста.

Материалы и методы. Методами анализа вариабельности сердечного ритма, электрокардиографии, тонометрии и иммуноферментного определения кортизола в слюне обследовано 117 детей школьного возраста при выполнении когнитивной нагрузки разного вида.

Результаты. При выполнении школьниками когнитивной нагрузки происходит изменение показателей вариабельности сердечного ритма. Устный счёт вызывает рост симпатических влияний на сердечный ритм при снижении парасимпатической активности, а также сдвиг вагосимпатического баланса. Работа на электронных устройствах вызывает снижение общей плотности мощности спектра и увеличение показателя соотношения низкочастотных и высокочастотных колебаний за счёт снижения парасимпатической активности.

Выявлено два типа реакции: I тип – повышение концентрации кортизола в слюне, повышение симпатических влияний на сердечный ритм с одновременным снижением парасимпатической активности (счёт), снижение общей плотности мощности спектра (ноутбук), уменьшение парасимпатической активности (планшет). II тип – понижение уровня гормона и снижение очень низкочастотных колебаний и парасимпатической активности независимо от вида предъявляемой нагрузки.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют, что характер реактивности показателей сердечного ритма и стресс-гормона кортизола у обучающихся зависит не столько от того на каком электронном устройстве она выполняется, а от вида когнитивной нагрузки.

Ключевые слова: дети школьного возраста, когнитивная нагрузка, вариабельность сердечного ритма, кортизол

Статья получена: 12.11.2021

Статья принята: 28.04.2022

Статья опубликована: 05.07.2022

Для цитирования: Догадкина С.Б., Ермакова И.В., Адамовская О.Н., Кмить Г.В., Рублева Л.В., Шарапов А.Н. Вариабельность сердечного ритма и уровень кортизола у детей школьного возраста при разной когнитивной нагрузке. *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(3): 169-179. doi: 10.29413/ABS.2022-7.3.18

HEART RATE VARIABILITY AND CORTISOL LEVELS IN SCHOOL-AGE CHILDREN WITH DIFFERENT COGNITIVE TESTS

Dogadkina S.B.,
Ermakova I.V.,
Adamovskaya O.N.,
Kmit G.V.,
Rubleva L.V.,
Sharapov A.N.

Institute of Development Physiology
of the Russian Academy of Education
(Pogodinskaya str. 8, build. 2, Moscow
119121, Russian Federation)

Corresponding author:
Irina V. Ermakova,
e-mail: ermek61@mail.ru

ABSTRACT

Background. An urgent task of age-related physiology is to study the functional state of the body of school-age children in cognitive activity due to the large academic load and the use of information and computer technologies in the educational process to identify the characteristics of the reactivity of the body of students when performing cognitive load of various types, including on electronic devices, is necessary for the organization of the school educational environment.

The aim. To assess the nature of vegetative, cardiovascular and hormonal reactivity in cognitive load of various types in school-age children.

Materials and methods. By methods of heart rate variability analysis, electrocardiography, tonometry and enzyme immunoassay of cortisol in saliva, 117 school-age children were examined while performing cognitive load of various types.

Results. There is a change in heart rate variability indicators while performing cognitive load. Oral counting causes an increase in sympathetic influences on the heart rate with a decrease in parasympathetic activity, as well as a shift in the vagosympathetic balance. Operation on the electronic devices causes a decrease in the total power density of the spectrum and an increase in the index of low-frequency and high-frequency vibrations ratio due to a decrease in parasympathetic activity. Two types of reaction were revealed: type I – an increase in the concentration of cortisol in saliva, an increase in sympathetic effects on Heart rate with a simultaneous decrease in parasympathetic activity (counting), a decrease in the total power of the spectrum density (laptop), a decrease in parasympathetic activity (tablet). Type II – a decrease in hormone levels and a decrease in very low-frequency vibrations and parasympathetic activity, regardless of the type of load presented

Conclusion. The results obtained indicate that the nature of the reactivity of heart rate indicators and the stress hormone cortisol in students depends not so much on which electronic device it is performed on, but on the type of cognitive load.

Key words: school-age children, cognitive test, cardiovascular system, heart rate variability, cortisol

Received: 12.11.2021
Accepted: 28.04.2022
Published: 05.07.2022

For citation: Dogadkina S.B., Ermakova I.V., Adamovskaya O.N., Kmit G.V., Rubleva L.V., Sharapov A.N. Heart rate variability and cortisol levels in school-age children with different cognitive tests. *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(3): 169-179. doi: 10.29413/ABS.2022-7.3.18

ОБОСНОВАНИЕ

Учебная деятельность, в основе которой лежат когнитивные процессы, является основной для детей школьного возраста. Когнитивная нагрузка оказывает значительное влияние на организм человека [1]. Поэтому важной задачей возрастной физиологии является изучение функционального состояния организма детей школьного возраста при когнитивной деятельности в связи с большими учебными нагрузками и использованием в образовательном процессе информационно-компьютерных технологий, которые влияют не только на уровень и качество обучения в школе [2, 3], но и на организм обучающихся.

Известно, что при когнитивной нагрузке увеличивается потребность в интенсивном кровоснабжении головного мозга, а, следовательно, отмечается более выраженная активность сердечно-сосудистой системы [4], когда увеличивается частота сердечных сокращений, повышается артериальное давление [5–7]. При поддержании деятельности интенсивно работающих органов происходит перестройка вегетативных регуляторных влияний. Биологическим маркером таких перестроек является сердечный ритм, в управлении которым участвуют различные зоны головного мозга, в том числе префронтальная кора больших полушарий и миндалина [8, 9].

Известно, что при умственной деятельности изменяется вариабельность сердечного ритма [7, 10, 11] и уровень стресс-гормона кортизола [12] – главных биологических маркеров адаптации организма к факторам внутренней и внешней среды. Динамика вариабельности сердечного ритма и концентрации кортизола во время любой деятельности отражает стресс-реактивные и адаптивные возможности организма.

Вероятно, физиологическая реакция детского организма будет различаться в зависимости от объёма или вида когнитивной нагрузки, однако работ, посвящённых этой проблеме, крайне мало [13]. По-прежнему недостаточно изученным является влияние когнитивной нагрузки, выполняемой на электронных устройствах, на функциональное состояние организма обучающихся.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель настоящего исследования заключается в изучении особенностей вариабельности сердечного ритма и гормональной реактивности при когнитивной нагрузке разного вида, в том числе выполняемой на электронных устройствах, у детей школьного возраста.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 117 детей школьного возраста, относящихся к I–II группам здоровья (средний возраст – 10,67 ± 0,07 года), обучающиеся в 4–5-м классе во втором полугодии учебного года. Критериями исключения были острое инфекционное заболева-

ние или обострение хронического заболевания. До начала обследования родители участников дали письменное информированное согласие.

В качестве когнитивной нагрузки использовали счёт в уме (последовательное вычитание числа 7 из 100) – КН1 и компьютеризированный вариант теста «Таблицы Шульте», выполняемый на ноутбуке – КН2 и планшете – КН3. Когнитивная нагрузка выполнялась в течение 5 минут. Обследуемые выполняли тест на планшете, ноутбуке и счёт в уме в разные исследовательские дни.

С целью оценки вариабельности сердечного ритма (BCP) проводили регистрацию ЭКГ с помощью компьютерного кардиографа «Поли-Спектр-12» («Нейрософт», г. Иваново). Регистрацию ЭКГ проводили в положении обследуемого сидя до предъявления когнитивного задания (исходное состояние) и на 3–5-й минуте выполнения теста (нагрузка). Кардиоинтервалограммы изучали методами временного и спектрального анализа вариабельности сердечного ритма. Для оценки BCP использовали показатели временного (среднее значение продолжительности R-R-интервалов (RRNN), мс); стандартное отклонение величин нормальных R-R-интервалов (SDNN, мс); квадратный корень из среднего квадратов разностей величин последовательных пар интервалов N-N (RMSSD, мс); доля последовательных интервалов N-N, различие между которыми превышает 50 мс (pNN50, %) и спектрального (общая мощность спектра (TP, мс²); мощность высокочастотных (HF, мс²), низкочастотных (LF, мс²) и очень низкочастотных (VLF, мс²) колебаний) анализа. Для оценки баланса отделов вегетативной нервной системы (ВНС) (соотношение симпатических и парасимпатических влияний) использовали отношение LF/HF [14].

Состояние центральной гемодинамики определяли по следующим показателям: систолическое (САД, мм рт. ст.) и диастолическое (ДАД, мм рт. ст.) артериальное давление, частота сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин). Давление и частота пульса измерялись с помощью цифрового аппарата AND модель UA-777 (Япония). Данные показатели регистрировались в состоянии относительного покоя (исходное состояние) и после тестового задания (нагрузка), с интервалом 1–2 мин.

Реакцию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы (ГНЧС) оценивали по концентрации кортизола в слюне, которую собирали до и после когнитивной нагрузки (с интервалом 2–3 мин) в положении сидя. Концентрацию гормона (в нг/мл) определяли на анализаторе «StatFax 2100» (США), применяемом для иммуноферментного анализа (ИФА), с помощью коммерческих наборов фирмы «DRG International, Inc.». Пробы до ИФА хранили при температуре –20 °С. Анализы выполнялись согласно протоколу диагностического набора фирмы-производителя.

Исследование проводили в первой половине дня (с 9.00 до 13.00 ч.).

Полученные данные обрабатывали с помощью программы «SPSS-23». Так как большинство изучаемых показателей имело распределение отличное от нормального, применяли методы непараметрической статисти-

ки, вычисляя медиану (ME), и интерквартильный размах (25-й – Q1 и 75-й – Q3 квантили). Использовали критерий Уилкоксона при попарном сравнении сопряжённых выборок и критерий Краскела – Уоллиса и Манна – Уитни для сравнения независимых выборок. При проведении корреляционного анализа для оценки тесноты статистической связи между показателями использовали коэффициент Спирмена. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Основополагающим принципом исследования было отсутствие риска для здоровья детей, соблюдение гуманных и этических норм согласно Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (ред. 2013 г.). Работа проводилась в соответствии с решением комитета по биоэтике ФГБНУ «ИВФ РАО» (протокол № 3 от 14.10.2021).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Активность вегетативной нервной системы, обеспечивающей адаптацию организма к когнитивной деятельности, оценивали по показателям временного и спектрального анализа вариабельности сердечного ритма. Данные представлены в таблице 1. Оценена система нейрогуморальной регуляции как неспецифическая система адаптации к воздействию когнитивной нагрузки разного вида: КН1 против КН2 и КН3.

Спектральный и временной анализ вариабельности сердечного ритма у детей школьного возраста не выявил статистически значимых половых различий в значениях исследованных показателей, в связи с чем оценка реакции вегетативной регуляции сердечного ритма проводилось в общей группе.

Анализ реактивности ВСР при выполнении КН1 показал статистически значимое увеличение показателя низкочастотного компонента спектра LF и сдвига вагосимпатического баланса в сторону симпатической активности: LF/HF, у. е. ($p = 0,000$), что свидетельствует об усилении симпатических влияний на ВСР. Отмечается также

снижение активности парасимпатического отдела ВСР (HF, RMSSD, pNN50; $p = 0,002-0,000$). Вероятно, что КН1 вызывает сильное напряжение. Статистически значимое снижение VLF ($p = 0,004$) в данном случае свидетельствует об ослаблении связи автономных уровней регуляции с надсегментарными, в том числе с гипофизарно-гипоталамическим уровнем.

Выполнение КН2 и КН3 привело к значимому снижению общей вариабельности сердечного ритма (снижение показателей TP, SDNN: КН2 – $p = 0,007$ и $p = 0,002$; КН3 – $p = 0,001$ и $p = 0,001$ соответственно); наблюдается выраженное угнетение активности парасимпатического отдела ВНС (снижение показателей RMSSD, pNN50: КН2 – $p = 0,001$ и $p = 0,000$; КН3 – $p = 0,001$ и $p = 0,000$ соответственно), снижение мощности HF-компонента и сдвиг вегетативной нервной системы в сторону симпатических влияний (увеличение показателя LF/HF), т. е. отмечается относительное увеличение активности симпатoadrenalной системы. Низкочастотный компонент спектра, свидетельствующий о симпатической активности, статистически значимо не изменяется. Колебания ВСР в диапазоне VLF, отражающие нейрогуморальный и метаболический уровень регуляции, статистически значимо снижаются при КН2 ($p = 0,002$), но не при КН3 ($p = 0,125$).

Исходя из межиндивидуальных различий тонической активности вегетативной нервной системы и её влияния на сердечный ритм, можно предположить наличие нескольких типов вегетативной адаптации к когнитивной деятельности. Был проведён анализ индивидуальных различий динамики вариабельности сердечного ритма во время когнитивной нагрузки (т. к. различий изучаемых показателей в исходном состоянии не выявлено, анализировали группу в целом), что позволило выявить два типа адаптации вегетативных регуляторных механизмов к нагрузке. Основой для классификации послужило изменение общей плотности мощности – интегрального показателя, учитывающего степень активации как симпатических, так и парасимпатических влияний на сердечный ритм (рис. 1).

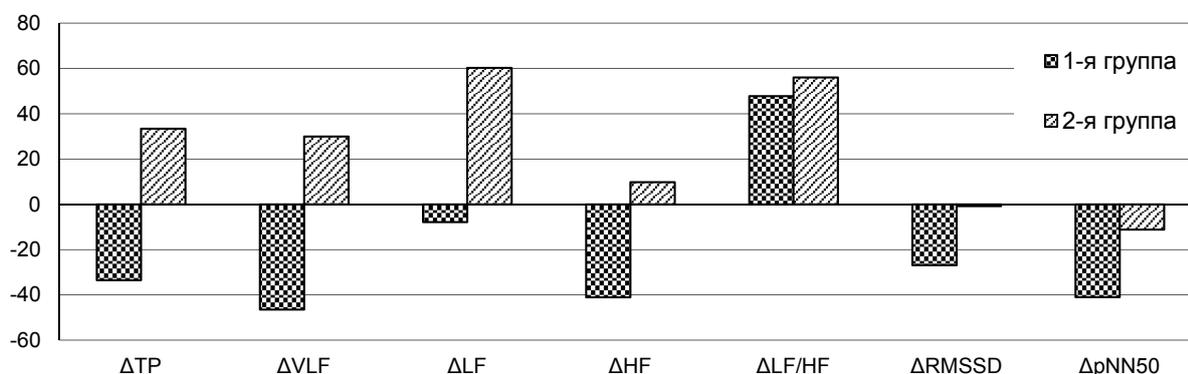


РИС. 1.

Изменения показателей временного и спектрального анализа вариабельности сердечного ритма при разных типах реакции TP во время выполнения когнитивного задания: 1-я группа – ΔTP снижается; 2-я группа – ΔTP увеличивается; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$

FIG. 1.

Changes in the indicators of temporal and spectral analysis of heart rate variability in dependence of different types of TP response during the cognitive tests: group 1 – ΔTP decreases; group 2 – ΔTP increases; * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$

ТАБЛИЦА 1
ПОКАЗАТЕЛИ ВРЕМЕННОГО И СПЕКТРАЛЬНОГО
АНАЛИЗА ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО
РИТМА ДЕТЕЙ В ПОКОЕ И ВО ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
КОГНИТИВНОГО ТЕСТА МЕ (Q1; Q3)

TABLE 1
INDICATORS OF TEMPORAL AND SPECTRAL ANALYSIS
OF CHILDREN'S HEART RATE VARIABILITY AT REST
AND DURING THE COGNITIVE TEST, ME (Q1; Q3)

Показатели	Проба	КН1 (n = 39)	КН2 (n = 39)	КН3 (n = 39)
TP, мс ²	фон	4038,0 (1558,0; 6079,0)	3128,0 (1675,0; 5412,0)	3784,0 (2363,0; 6647,0)
	нагрузка	3588,0 (2250,0; 5230,0)	1957,0 (1436,0; 4741,0)	2812,0 (1818,0; 4892,0)
	p (ф-н)	0,322	0,007	0,003
VLF, мс ²	фон	1244,0 (491,0; 1784,0)	1136,0 (703,0; 2015,0)	1095,0 (677,0; 1793,0)
	нагрузка	684,0 (372,0; 990,0)	638,0 (398,0; 1009,0)	840,0 (661,0; 1375,0)
	p (ф-н)	0,004	0,002	0,125
LF, мс ²	фон	1222,0 (497,0; 1702,0)	1026,0 (511,0; 1653,0)	951,0 (659,0; 1841,0)
	нагрузка	1772,0 (1211,0; 2479,0)	700,0 (508,0; 1598,0)	1017,0 (697,0; 1643,0)
	p (ф-н)	0,000	0,426	0,802
HF, мс ²	фон	1410,0 (481,0; 2500,0)	827,0 (558,0; 2153,0)	1362,0 (613,0; 2796,0)
	нагрузка	951,0 (465,0; 1598,0)	596,0 (389,0; 1701,0)	818,0 (397,0; 1550,0)
	p (ф-н)	0,005	0,010	0,000
LF/HF, у. е.	фон	0,98 (0,51; 1,61)	0,81 (0,53; 1,52)	0,78 (0,59; 1,19)
	нагрузка	1,87 (1,35; 3,33)	1,16 (0,69; 1,51)	1,35 (0,80; 1,71)
	p (ф-н)	0,000	0,052	0,000
RRNN, мс	фон	639,0 (608,0; 693,0)	673,9 (597,0; 741,0)	678,0 (626,0; 725,0)
	нагрузка	596,0 (552,0; 619,0)	630,0 (585,0; 702,0)	653,0 (605,0; 680,0)
	p (ф-н)	0,000	0,000	0,000
SDNN, мс	фон	53,0 (33,0; 68,0)	48,0 (37,0; 62,0)	56,0 (40,0; 72,0)
	нагрузка	46,0 (37,0; 61,0)	38,0 (31,0; 61,0)	45,0 (36,0; 59,0)
	p (ф-н)	0,119	0,002	0,001
RMSSD, мс	фон	37,0 (24,0; 51,0)	41,0 (29,0; 63,0)	45,0 (30,0; 72,0)
	нагрузка	26,0 (20,0; 45,0)	35,0 (21,0; 56,0)	35,0 (26,0; 52,0)
	p (ф-н)	0,001	0,001	0,000
pNN50, %	фон	14,50 (2,85; 28,30)	18,60 (6,69; 42,60)	23,40 (8,68; 42,40)
	нагрузка	5,14 (2,12; 19,20)	7,46 (2,78; 31,70)	11,60 (5,44; 30,30)
	p (ф-н)	0,000	0,000	0,000
RR_min	фон	531 (491–559)	546 (509–577)	538 (505–572)
	нагрузка	492 (458–531)	552 (502–575)	525 (512–525)
	p (ф-н)	0,000	0,459	0,523
RR_max	фон	789 (741–920)	825 (742–913)	872 (773–932)
	нагрузка	760 (694–862)	807 (692–917)	829 (760–926)
	p (ф-н)	0,003	0,028	0,098

Проведён анализ динамических изменений общей плотности мощности спектра с учётом присутствия ориентировочной реакции в исходном состоянии, на основании которого вся выборка была разделена на две группы: 1-я группа ($n = 74$) – снижение, 2-я группа ($n = 43$) – увеличение значения данного показателя при выполнении когнитивного задания. В 1-й группе происходило статистически значимое снижение активности парасимпатического отдела ВНС (HF, RMSSD, pNN50; $p = 0,000$). При этом низкочастотные колебания (LF) в этой группе статистически значимо не изменяются ($p = 0,410$). Показатель вегетативного баланса LF/HF увеличивается на 45%. В этой группе отмечено статистически значимое снижение VLF ($p = 0,000$), обусловленное, по-видимому, снижением гуморально-метаболических и церебральных эрготропных влияний.

Во 2-й группе происходило усиление активности низкочастотных колебаний. Статистически значимо повышается LF, LF/HF ($p = 0,000$ и $p = 0,002$ соответственно), показатели парасимпатической активности (RMSSD, pNN50) статистически значимо не изменяются ($p = 0,600$ и $p = 0,114$ соответственно). Увеличение низкочастотных и очень высокочастотных колебаний в данном случае свидетельствует о существенном увеличении симпатических влияний.

Показатели артериального давления и ЧСС в исходном состоянии между группами, разделёнными по направленности и выраженности изменения общей плотности мощности спектра, статистически значимо не различались (ME: САД – 96 (88–100) в 1-й группе против 95 (89–105) во 2-й; ДАД – 62 (57–67) против 62 (57–70); ЧСС – 83 (76–92) против 82 (74–91) соответственно). Ана-

лиз динамики артериального давления и частоты сердечных сокращений показал, что когнитивная нагрузка вызвала статистически значимый прирост САД в среднем на 5–6 %, ДАД – на 8 % и ЧСС – на 4–7 %, но различий между группами выявлено не было ($p = 0,311–0,830$).

Функциональное состояние эндокринной системы при выполнении когнитивной нагрузки (КН1, КН2 и КН3) оценивали по уровню кортизола в слюне (табл. 2).

Попарное сравнение концентрации кортизола в слюне выявило статистически значимое различие между изучаемыми показателями при выполнении когнитивной нагрузки: КН1 ($p = 0,022$), КН2 ($p = 0,010$) и КН3 ($p = 0,05$).

Индивидуальный анализ направленности динамики концентрации кортизола (δ , %) выявил два типа реакции эндокринной системы на когнитивную нагрузку: I тип – повышение и II тип – понижение уровня стресс-гормона. Оказалось, что I тип реакции характерен для 31–38 % школьников, когда концентрация кортизола в среднем увеличивается на 8–14 % после выполнения когнитивного теста. Статистически значимые различия между приростом уровня кортизола (I тип реакции) обнаружены только при КН1 и КН3 ($p = 0,04$). Уровень кортизола и в исходном состоянии, и после нагрузки при КН1 был статистически значимо выше, чем при КН2 и КН3 ($p = 0,01–0,02$). Попарное сравнение концентрации кортизола в слюне выявило статистически значимое различие между изучаемыми показателями при выполнении когнитивной нагрузки: КН1 ($p = 0,001$), КН2 ($p = 0,003$) и КН3 ($p = 0,001$).

II тип реакции – понижение уровня кортизола при различных видах когнитивной нагрузки – выявлен

ТАБЛИЦА 2
ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ КОРТИЗОЛА
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ,
МЕ (Q1; Q3)

TABLE 2
DYNAMICS OF CORTISOL CONCENTRATION DURING
COGNITIVE TEST, ME (Q1; Q3)

Показатель	Проба	КН1	КН2	КН3
Вся выборка				
Кортизол, нг/мл	фон	4,92 (4,24; 6,35)	3,70 (3,35; 4,19)	3,69 (3,11; 4,90)
	нагрузка	4,83 (3,70; 5,76)	3,47 (3,00; 4,24)	3,52 (3,04; 4,35)
	p (ф-н)	0,022	0,010	0,050
I тип реакции				
Кортизол, нг/мл	фон	5,01 (3,73; 5,81)	3,64 (3,00; 4,05)	3,33 (2,78; 4,34)
	нагрузка	5,18 (4,21; 6,63)	4,01 (3,18; 4,73)	4,02 (3,24; 4,35)
	p (ф-н)	0,001	0,003	0,001
II тип реакции				
Кортизол, нг/мл	фон	4,92 (4,29; 6,39)	3,84 (3,49; 4,47)	4,08 (3,39; 5,59)
	нагрузка	4,71 (3,56; 5,62)	3,28 (2,97; 4,17)	3,44 (3,02; 4,28)
	p (ф-н)	0,000	0,000	0,000

у 62–69 % школьников, концентрация кортизола в среднем понижалась на 14–17 %. Статистически значимые различия между изучаемыми показателями при разной когнитивной нагрузке не обнаружены (0,378–0,669). Уровень кортизола и в исходном состоянии, и после нагрузки при КН1 был статистически значимо выше, чем при КН2 и КН3 ($p = 0,003$ – $0,037$). Попарное сравнение концентрации кортизола в слюне выявило статистически значимое различие между изучаемыми показателями при выполнении когнитивной нагрузки: КН1 ($p = 0,000$), КН2 ($p = 0,000$) и КН3 ($p = 0,000$).

Затем мы сравнили динамику показателей ВСР при выполнении когнитивной нагрузки в группах детей с разной реакцией ГНС.

Когнитивная нагрузка (КН1) в группе с I типом реакции ГНС вызывала статистически значимое усиление симпатических влияний на сердечный ритм (повышение значений LF и LF/HF; $p = 0,003$ и $p = 0,011$ соответственно) с одновременным снижением парасимпатического влияния (RMSSD и pNN50; $p = 0,038$ и $p = 0,026$ соответственно). При II типе реакции ГНС, кроме динамики показателей, выявленной при I типе реакции, отмечалось статистически значимое снижение VLF и HF ($p = 0,020$ и $p = 0,040$ соответственно). Снижение VLF в данном случае свидетельствует об ослаблении связи автономных уровней регуляции с надсегментарными, в том числе с гипофизарно-гипоталамическим уровнем.

При выполнении КН2 в группе с I типом реакции ГНС наблюдалось статистически значимое снижение показателей, характеризующее функциональное состояние организма: TP и SDNN ($p = 0,028$ и $p = 0,031$ соответственно) и VLF ($p = 0,019$). Остальные показатели ВСР статистически значимо не изменялись. При II типе реакции ГНС показатели, характеризующие активность парасимпатического отдела ВНС (HF, RMSSD и pNN50), статистически значимо снижались ($p = 0,037$, $p = 0,003$, $p = 0,000$ соответственно). Также отмечалось снижение значений показателя VLF ($p = 0,041$).

Когнитивная нагрузка (КН3) в группе с I типом реакции ГНС вызывала только статистически значимое снижение парасимпатического влияния на сердечный ритм (HF, RMSSD, pNN50; $p = 0,047$, $p = 0,033$ и $p = 0,031$ соответственно). Соотношение LF/HF увеличивалось на уровне тенденции ($p = 0,061$). При II типе реакции ГНС также наблюдается снижение парасимпатического влияния ВНС (HF, RMSSD и pNN50; $p = 0,047$, $p = 0,033$ и $p = 0,031$ соответственно), и за счёт этого происходит повышение значения вегетативного баланса (LF/HF; $p = 0,003$). Происходит статистически значимое снижение значения VLF ($p = 0,028$).

Показатели артериального давления и ЧСС в исходном состоянии между группами, разделёнными по направленности и выраженности изменения уровня кортизола, статистически значимо не различались (ME: САД – 96 (89–100,5) в 1-й группе против 94 (88–102) во 2-й; ДАД – 61 (57–69) против 62 (57–67); ЧСС – 86 (73,5–97) против 82 (75–91) соответственно). Анализ динамики артериального давления и частоты сердечных сокращений показал, что когнитивная нагрузка вызывала статисти-

чески значимый прирост САД в среднем на 5 % при обеих типах реакции ГНС ($p = 0,005$ – $0,000$), ДАД – на 11 % при I типе реакции ГНС ($p = 0,002$) и 6 % – при II типе ($p = 0,000$). ЧСС так же увеличивался при когнитивной нагрузке на 7 % при I типе и на 5 % при II типе реакции ГНС ($p = 0,000$). Корреляционный анализ позволил выявить, что при I типе реакции (повышение уровня кортизола) выявлена статистически значимая положительная связь между САД и приростом уровня кортизола ($r = +0,523$) и LF/HF ($r = +0,584$), а ДАД – с VLF ($r = +0,681$). При II типе реакции (понижение уровня кортизола) взаимосвязь между САД и LF/HF ($r = -0,535$), LF ($r = -0,54$), ДАД и VLF ($r = -0,382$) была отрицательной.

ОБСУЖДЕНИЕ

Когнитивную нагрузку можно рассматривать как кратковременное стрессовое воздействие, которое активирует вегетативную нервную систему, изменяет сердечно-сосудистую деятельность и воздействует на гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковую систему, увеличивая уровень кортизола [15, 16]. Вариабельность сердечного ритма является надёжным биологическим коррелятом реакции на стресс [7].

Сравнение реактивности ВСР при когнитивных нагрузках разного вида выявило, что КН1 вызывала большее симпатическое влияние на сердечный ритм по сравнению с КН2 и КН3. Вероятно, что КН1 вызывает более сильное напряжение, чем нагрузка другого вида. По данным И.Е. Штина и соавт. (2019), у обучающихся по углублённой программе выявлена повышенная активность симпатического отдела вегетативной нервной системы [13], т. е. реакция зависит от объёма и интенсивности нагрузки. В другом исследовании отмечается, что устный ответ вызывает больший стресс у школьников, чем другие виды учебной деятельности [17]. Возможно, в этом случае на физиологическую реакцию организма кроме когнитивной нагрузки оказывает также влияние социально-оценочная угроза [12].

Исходя из межиндивидуальных различий тонической активности вегетативной нервной системы и её влияния на сердечный ритм [18], предположили наличие нескольких типов вегетативной адаптации к когнитивной деятельности. На основании оценки реакции общей плотности мощности (TP) выделено два типа реакции на предъявляемую когнитивную нагрузку. Первый тип вегетативной нервной регуляции, когда сдвиг вегетативного баланса в сторону симпатических влияний происходит за счёт статистически значимого снижения высокочастотных колебания при неизменных значениях низкочастотных колебаний спектра, выявлен в 63 % случаев наблюдения и совпадает с результатами исследований других авторов [19, 20]. Ряд авторов также наблюдали снижение мощности спектра VLF после выполнения когнитивной нагрузки (тест Струпа) [21] и компьютеризированного варианта арифметического теста [22]. Считается, что при стрессовой реакции происходит одновременное увеличение LF/HF, свидетельству-

ющее о симпатической активации, и уменьшение парасимпатической деятельности [23], а также снижение общей плотности мощности спектра. Объяснением этому служит модель нейровисцеральной интеграции J. Thayer [8], согласно которой дезактивация парасимпатических и активация симпатических нейронов в ходе когнитивных или эмоциональных процессов происходит вследствие подавления активности миндалины из-за торможения префронтальной коры головного мозга. Некоторые авторы предлагают считать маркером стресс-реакции одновременное снижение общей мощности плотности (TP), отражающей тормозящее влияние эндогенной опиоидной системы на активацию ГНС и увеличение LF/HF, характеризующее активацию симпатической и подавление парасимпатической систем ВНС [17].

Второй тип реакции, по-видимому, менее благоприятный, связан со значительным усилением симпатической активности при выполнении КН2. Поскольку при этом повышается активность и очень низкочастотных, и низкочастотных колебаний, а одновременное повышение этих компонентов ВНС принято считать показателем симпатоадреналовой активности [24], можно предложить, что реакция на нагрузку в данной группе детей проходит с включением центрального контура регуляции.

Известно, что индивидуумы различаются по реакции сердечно-сосудистой системы и кортизола на острый стресс. В ходе нашего исследования установлено, что большая часть школьников (62–69 %) реагировала на когнитивную нагрузку понижением концентрации кортизола в слюне. Снижение секреции кортизола в слюне при стрессе, по мнению D. Carroll et al. (2017), является показателем дисрегуляции функции ГНС, отражающим нарушение регуляции лобно-лимбической области коры головного мозга [15].

Понижение уровня стресс-гормона после нагрузки объясняется упреждающим возбуждением эндокринной системы в исходном состоянии, что связано с недостаточной регуляторной способностью [25]. Такая особенность эндокринной системы детей проявляется как в ситуации учебного или социального стресса, так и во время профилактического медицинского осмотра [26–28]. В нашем исследовании повышение концентрации кортизола после когнитивной нагрузки было характерно только для 32–39 % детей. По мере взросления, в подростковом возрасте такой тип реактивности наблюдается уже в 63 % случаев [29].

При когнитивной деятельности не было статистически значимого различия уровня кортизола ни в исходном состоянии, ни после теста, выполняемого на разных электронных устройствах. Концентрация кортизола до и после счёта в уме была статистически значимо выше, чем при КН2 и КН3. Возможно, при счёте в уме школьники испытывают так называемую «математическую тревожность», проявляющуюся при работе с числовыми вычислениями. Математическая тревожность увеличивает активацию миндалины (усиливается стресс) и передней поясной коры, тем самым нарушая механизмы рабочей памяти в префронтальной коре [30].

При оценке реакции показателей ВСР на различные виды когнитивной нагрузки в группе со II типом реакции ГНС происходит выраженное снижение значений показателя VLF. Это свидетельствует об ослаблении связи автономных уровней регуляции с надсегментарными, в том числе с гипофизарно-гипоталамическим уровнем, и является индикатором управления метаболическими процессами [31]. Устный счёт вызывал более выраженное увеличение значений низкочастотного компонента и показателя вагосимпатического взаимодействия LF/HF, что свидетельствует об усилении симпатических влияний на ВСР [32].

Выявлены положительные корреляционные связи в группе с I типом реакции ГНС на когнитивную нагрузку между АД и показателями ВСР. Этот факт вполне объясним при данном типе реакции, поскольку известно, что активация симпатического отдела вегетативной нервной системы (LF/HF), сердечно-сосудистого подкоркового нервного центра (VLF) и повышение уровня кортизола приводят к повышению артериального давления [33, 34].

Перспективы дальнейшего исследования проблемы заключаются в поиске критериев оценки функционального состояния и реактивности организма школьников, позволяющих прогнозировать успешность их обучения и применять для разработки методов, направленных на повышение работоспособности и качества образования обучающихся.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование позволило выявить, что реактивность вегетативной нервной и эндокринной систем школьников зависит не столько от того на каком электронном устройстве она выполняется, а от вида когнитивной нагрузки. Установлено, что устный счёт, по нашему мнению, являясь более стрессорным воздействием по сравнению с другой нагрузкой, вызывает самые существенные изменения показателей ВСР в процессе выполнения нагрузки. Выявлено статистически значимое увеличение низкочастотного компонента и показателя вагосимпатического взаимодействия LF/HF, что свидетельствует об усилении симпатических влияний на сердечный ритм.

Уровень кортизола при устном счёте и в исходном состоянии, и после нагрузки был статистически значимо выше, чем при других когнитивных нагрузках, что можно объяснить упреждающим возбуждением эндокринной системы в исходном состоянии, связанным с недостаточной регуляторной способностью организма детей данного возраста. В ходе выполнения когнитивной нагрузки разного вида выявлено два типа реакции эндокринной системы: I тип – повышение концентрации кортизола в слюне, II тип – понижение уровня гормона.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

ЛИТЕРАТУРА

- Куликов В.Ю., Антропова Л.К., Арчибасова Е.А. Гендерные особенности спектральной мощности альфа-ритма и variability ритма сердца при когнитивной нагрузке у здоровых студентов. *Сибирский медицинский вестник*. 2020; 3: 55-67.
- Krumsvik RJ, Berrum E, Jones LØ. Everyday Digital Schooling – implementing tablets in Norwegian primary school. Examining outcome measures in the first cohort. *Nord J Digit Lit*. 2018; 3(3): 152-178. doi: 10.18261/issn.1891-943x-2018-03-03
- Major L, Haßler B, Hennessy S. Tablet use in schools: Impact, affordances and considerations. In: *Marcus-Quinn A, Hourigan T (eds). Handbook on digital learning for K-12 schools*. 2017; 115-128. doi: 10.1007/978-3-319-33808-8_8
- Ложкина Е.М., Лукина С.Ф., Шагров Л.Л. Методы исследования влияния когнитивных нагрузок на работу сердца. *Международный студенческий научный вестник*. 2015; 2-3: 312-313.
- Atchley R, Ellingson R, Klee D, Memmott T, Oken B. A cognitive stressor for event-related potential studies: The Portland Arithmetic Stress Task. *Stress*. 2017; 20(3): 277-284. doi: 10.1080/10253890.2017.1335300
- Hunt TE, Bhardwa J, Sheffield D. Mental arithmetic performance, physiological reactivity and mathematics anxiety amongst UK primary school children. *Learn Individ Differ*. 2017; 57: 129-132. doi: 10.1016/j.lindif.2017.03.016
- Finke JB, Zhang X, Plein D, Schilling TM, Schächinger H, Larra MF. Combining mental and physical stress: Synergy or interference? *Physiol Behav*. 2021; 233: 113365. doi: 10.1016/j.physbeh.2021.113365
- Thayer JF, Lane RD. Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neurosci Biobehav Rev*. 2009; 33(2): 81-88. doi: 10.1016/j.neubiorev.2008.08.004
- Wei L, Chen H, Wu GR. Structural covariance of the prefrontal-amygdala pathways associated with heart rate. *Front Hum Neurosci*. 2018; 12: 2. doi: 10.3389/fnhum.2018.00002
- Dimitriev D, Saperova EV, Dimitriev A, Karpenko Y. Recurrence quantification analysis of heart rate during mental arithmetic stress in young females. *Front Physiol*. 2020; 11: 40. doi: 10.3389/fphys.2020.00040
- Dong S-Y, Lee M, Park H, Youn I. Stress resilience measurement with heart-rate variability during mental and physical stress. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2018; 2018: 5290-5293. doi: 10.1109/embc.2018.8513531
- Kothgassner OD, Goreis A, Glenk LM, Kafka JX, Pfeffer B, Beutl L, et al. Habituation of salivary cortisol and cardiovascular reactivity to a repeated real-life and virtual reality Trier Social Stress Test. *Physiol Behav*. 2021; 242: 113618. doi: 10.1016/j.physbeh.2021.113618
- Штина И.Е., Валина С.Л., Устинова О.Ю., Эйсфельд Д.А., Зенина М.Т. Особенности вегетативного и тиреоидного статуса у школьников при различной напряжённости учебного процесса. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(2): 183-188. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-183-188
- Shiga K, Izumi K, Minato K, Sugio T, Yoshimura M, Kitazawa M, et al. Subjective well-being and month-long LF/HF ratio among deskworkers. *PLoS One*. 2021; 16(9): e0257062. doi: 10.1371/journal.pone.0257062
- Carroll D, Ginty AT, Whittaker AC, Lovallo WR, de Rooij SR. The behavioural, cognitive, and neural corollaries of blunted cardiovascular and cortisol reactions to acute psychological stress. *Neurosci Biobehav Rev*. 2017; 77: 74-86. doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.02.025
- Clow A, Smyth N. Salivary cortisol as a non-invasive window on the brain. *Int Rev Neurobiol*. 2020; 150: 1-16. doi: 10.1016/bs.irn.2019.12.003
- Prokofieva V, Kostromina S, Polevaia S, Fenouille F. Understanding emotion-related processes in classroom activities through functional measurements. *Front Psychol*. 2019; 10: 2263. doi: 10.3389/fpsyg.2019.02263
- Сапожникова Е.Н., Шлык Н.И., Шумихина И.И., Кириллова Т.Г. Типологические особенности variability сердечного ритма у школьников 7–11 лет в покое и при занятиях спортом. *Вестник Удмуртского университета. Серия биология. Науки о земле*. 2012; 2: 79-88.
- Blons E, Arzac LM, Gilfriche P, McLeod H, Lespinet-Najib V, Grivel E, et al. Alterations in heart-brain interactions under mild stress during a cognitive task are reflected in entropy of heart rate dynamics. *Sci Rep*. 2019; 9(1): 18190. doi: 10.1038/s41598-019-54547-7
- Celka P, Charlton PH, Farukh B, Chowienczyk P, Alastruey J. Influence of mental stress on the pulse wave features of photoplethysmogram. *Healthc Technol Lett*. 2019; 7(1): 7-12. doi: 10.1049/htl.2019.0001
- 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
- Montoro CI, Duschek S, del Paso GAR. Variability in cerebral blood flow velocity at rest and during mental stress in healthy individuals: Associations with cardiovascular parameters and cognitive performance. *Biol Psychol*. 2018; 135: 149-158. doi: 10.1016/j.biopsycho.2018.04.005
- Berntson GG, Quigley KS, Norman G, Lozano D. Cardiovascular psychophysiology. In: Cacioppo JT, Tassinary LG, Berntson GG (eds). *Handbook of psychophysiology; 4th ed*. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2016. doi: 10.1017/9781107415782.009
- Михайлов В.М. Реакция организма при воздействии стресс-стимула. URL: <https://risr.institute/doc/publication5.pdf> [дата доступа: 05.11.2021].
- Gunnar MR, Wewerka S, Frenn K, Long JD, Griggs C. Developmental changes in hypothalamus-pituitary-adrenal activity over the transition to adolescence: normative changes and associations with puberty. *Dev Psychopathol*. 2009; 21(1): 69-85. doi: 10.1017/S0954579409000054
- Anesiadou S, Makris G, Michou M, Bali P, Papassotiropoulou I, Apostolaki F, et al. Salivary cortisol and alpha-amylase daily profiles and stress responses to an academic performance test and a moral cognition task in children with neurodevelopmental disorders. *Stress Health*. 2021; 37(1): 45-59. doi: 10.1002/smi.2971
- Kapsdorfer D, Hlavacova N, Vondrova D, Argalasova L, Sevcikova L, Jezova D. Neuroendocrine response to school load in prepubertal children: focus on trait anxiety. *Cell Mol Neurobiol*. 2018; 38(1): 155-162. doi: 10.1007/s10571-017-0544-7

28. Vlad R, Pop AM, Olah P, Monea M. The evaluation of dental anxiety in primary school children: A cross-sectional study from Romania. *Children (Basel)*. 2020; 7(10): 158. doi: 10.3390/children7100158

29. Gunnar MR, Reid BM, Donzella B, Miller ZR, Gardow S, Tsakonas NC, et al. Validation of an online version of the Trier Social Stress Test in a study of adolescents. *Psychoneuroendocrinology*. 2021; 125: 105111. doi: 10.1016/j.psyneuen.2020.105111

30. Moustafa AA, Porter A, Megreya AM. Mathematics anxiety and cognition: An integrated neural network model. *Rev Neurosci*. 2020; 31(3): 287-296. doi: 10.1515/revneuro-2019-0068

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

32. Ciproso P, Colombo D, Riva G. Computational psychometrics using psychophysiological measures for the assessment of acute mental stress. *Sensors (Basel)*. 2019; 19(4): 781. doi: 10.3390/s19040781

33. Бастриков О.Ю. Гормональные, иммунологические и психологические маркеры психоэмоционального напряжения у пациентов с артериальной гипертензией. *Артериальная гипертензия*. 2018; 24(2): 151-161. doi: 10.18705/1607-419X-2018-24-2-151-161

34. El Sayed K, Macefield VG, Hissen SL, Joyner MJ, Taylor CE. Blood pressure reactivity at onset of mental stress determines sympathetic vascular response in young adults. *Physiol Rep*. 2018; 6(24): e13944. doi: 10.14814/phy2.13944

REFERENCES

1. Kulikov VY, Antropova LK, Archibasova EA. Gender differences of alpha-rhythm spectral power and heart rate variability in cognitive stress in healthy students. *Sibirskiy meditsinskiy vestnik*. 2020; 3: 55-67. (In Russ.).

2. Krumsvik RJ, Berrum E, Jones LØ. Everyday Digital Schooling – implementing tablets in Norwegian primary school. Examining outcome measures in the first cohort. *Nord J Digit Lit*. 2018; 3(3): 152-178. doi: 10.18261/issn.1891-943x-2018-03-03

3. Major L, Haßler B, Hennessy S. Tablet use in schools: Impact, affordances and considerations. In: *Marcus-Quinn A, Hourigan T (eds). Handbook on digital learning for K-12 schools*. 2017; 115-128. doi: 10.1007/978-3-319-33808-8_8

4. Lozhkina EM, Lukina SF, Sharov LL. Methods of studying the influence of cognitive loads on the work of the heart. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*. 2015; 2-3: 312-313. (In Russ.).

5. Atchley R, Ellingson R, Klee D, Memmott T, Oken B. A cognitive stressor for event-related potential studies: The Portland Arithmetic Stress Task. *Stress*. 2017; 20(3): 277-284. doi: 10.1080/10253890.2017.1335300

6. Hunt TE, Bhardwa J, Sheffield D. Mental arithmetic performance, physiological reactivity and mathematics anxiety amongst UK primary school children. *Learn Individ Differ*. 2017; 57: 129-132. doi: 10.1016/j.lindif.2017.03.016

7. Finke JB, Zhang X, Plein D, Schilling TM, Schächinger H, Larra MF. Combining mental and physical stress: Synergy or in-

terference? *Physiol Behav*. 2021; 233: 113365. doi: 10.1016/j.physbeh.2021.113365

8. Thayer JF, Lane RD. Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neurosci Biobehav Rev*. 2009; 33(2): 81-88. doi: 10.1016/j.neubiorev.2008.08.004

9. Wei L, Chen H, Wu GR. Structural covariance of the prefrontal-amygdala pathways associated with heart rate. *Front Hum Neurosci*. 2018; 12: 2. doi: 10.3389/fnhum.2018.00002

10. Dimitriev D, Saperova EV, Dimitriev A, Karpenko Y. Recurrence quantification analysis of heart rate during mental arithmetic stress in young females. *Front Physiol*. 2020; 11: 40. doi: 10.3389/fphys.2020.00040

11. Dong S-Y, Lee M, Park H, Youn I. Stress resilience measurement with heart-rate variability during mental and physical stress. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2018; 2018: 5290-5293. doi: 10.1109/embc.2018.8513531

12. Kothgassner OD, Goreis A, Glenk LM, Kafka JX, Pfeiffer B, Beutl L, et al. Habituation of salivary cortisol and cardiovascular reactivity to a repeated real-life and virtual reality Trier Social Stress Test. *Physiol Behav*. 2021; 242: 113618. doi: 10.1016/j.physbeh.2021.113618

13. Shtina EI, Valina SL, Ustinova OYu, Eisfeld DA, Zenina MT. Peculiarities of autonomous and thyroidal state in school children under different intensity of educational process. *Hygiene and Sanitation*. 2019; 98(2): 183-188. (In Russ.). doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-183-188

14. Shiga K, Izumi K, Minato K, Sugio T, Yoshimura M, Kitazawa M, et al. Subjective well-being and month-long LF/HF ratio among deskworkers. *PLoS One*. 2021; 16(9): e0257062. doi: 10.1371/journal.pone.0257062

15. Carroll D, Ginty AT, Whittaker AC, Lovallo WR, de Rooij SR. The behavioural, cognitive, and neural correlates of blunted cardiovascular and cortisol reactions to acute psychological stress. *Neurosci Biobehav Rev*. 2017; 77: 74-86. doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.02.025

16. Clow A, Smyth N. Salivary cortisol as a non-invasive window on the brain. *Int Rev Neurobiol*. 2020; 150: 1-16. doi: 10.1016/bs.irn.2019.12.003

17. Prokofieva V, Kostromina S, Polevaia S, Fenouille F. Understanding emotion-related processes in classroom activities through functional measurements. *Front Psychol*. 2019; 10: 2263. doi: 10.3389/fpsyg.2019.02263

18. Sapozhnikova EN, Shlyk NI, Shumikhina II, Kirillova TG. Typological peculiarities of heart rate variability of 7-11 years old students at rest and when doing sport. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2012; 2: 79-88. (In Russ.).

19. Blons E, Arzac LM, Gilfriche P, McLeod H, Lespinet-Najib V, Grivel E, et al. Alterations in heart-brain interactions under mild stress during a cognitive task are reflected in entropy of heart rate dynamics. *Sci Rep*. 2019; 9(1): 18190. doi: 10.1038/s41598-019-54547-7

20. Celka P, Charlton PH, Farukh B, Chowieniczky P, Alastruey J. Influence of mental stress on the pulse wave features of photoplethysmogram. *Healthc Technol Lett*. 2019; 7(1): 7-12. doi: 10.1049/htl.2019.0001

21. 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

22. Montoro CI, Duschek S, del Paso GAR. Variability in cerebral blood flow velocity at rest and during mental stress in healthy individuals: Associations with cardiovascular parameters and cognitive performance. *Biol Psychol.* 2018; 135: 149-158. doi: 10.1016/j.biopsycho.2018.04.005
23. Berntson GG, Quigley KS, Norman G, Lozano D. Cardiovascular psychophysiology. In: Cacioppo JT, Tassinari LG, Berntson GG (eds). *Handbook of psychophysiology; 4th ed.* Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2016. doi: 10.1017/9781107415782.009
24. Mikhailov VM. *The reaction of the body when exposed to a stress stimulus* URL: <https://risr.institute/doc/publication5.pdf> [date of access: 05.11.2021]. (In Russ.)
25. Gunnar MR, Wewerka S, Frenn K, Long JD, Griggs C. Developmental changes in hypothalamus-pituitary-adrenal activity over the transition to adolescence: normative changes and associations with puberty. *Dev Psychopathol.* 2009; 21(1): 69-85. doi: 10.1017/S0954579409000054
26. Anesiadou S, Makris G, Michou M, Bali P, Papassotiropoulou I, Apostolou F, et al. Salivary cortisol and alpha-amylase daily profiles and stress responses to an academic performance test and a moral cognition task in children with neurodevelopmental disorders. *Stress Health.* 2021; 37(1): 45-59. doi: 10.1002/smi.2971
27. Kapsdorfer D, Hlavacova N, Vondrova D, Argalasova L, Sevcikova L, Jezova D. Neuroendocrine response to school load in prepubertal children: focus on trait anxiety. *Cell Mol Neurobiol.* 2018; 38(1): 155-162. doi: 10.1007/s10571-017-0544-7
28. Vlad R, Pop AM, Olah P, Monea M. The evaluation of dental anxiety in primary school children: A cross-sectional study from Romania. *Children (Basel).* 2020; 7(10): 158. doi: 10.3390/children7100158
29. Gunnar MR, Reid BM, Donzella B, Miller ZR, Gardow S, Tsakonas NC, et al. Validation of an online version of the Trier Social Stress Test in a study of adolescents. *Psychoneuroendocrinology.* 2021; 125: 105111. doi: 10.1016/j.psyneuen.2020.105111
30. Moustafa AA, Porter A, Megreya AM. Mathematics anxiety and cognition: An integrated neural network model. *Rev Neurosci.* 2020; 31(3): 287-296. doi: 10.1515/revneuro-2019-0068
31. Fleishman AN, Korablina TV, Khaliulin IG, Petrovsky SA, Neretin AA. Sex differences of vlf100 and vlf50 spectrum of heart rate variability in healthy individuals of young age and older subjects with vascular pathology in terms of SEVEN-TEST, hyperventilation and orthostasis. *Medicine in Kuzbass.* 2017; 16(4): 23-33. (In Russ.).
32. Cipresso P, Colombo D, Riva G. Computational psychometrics using psychophysiological measures for the assessment of acute mental stress. *Sensors (Basel).* 2019; 19(4): 781. doi: 10.3390/s19040781
33. Bastrikov OYu. Hormonal, immunological and psychological markers of emotional stress in hypertensive patients. *"Arterial'naya Gipertenziya" ("Arterial Hypertension").* 2018; 24(2): 151-161. (In Russ.). doi: 10.18705/1607-419X-2018-24-2-151-161
34. El Sayed K, Macefield VG, Hissen SL, Joyner MJ, Taylor CE. Blood pressure reactivity at onset of mental stress determines sympathetic vascular response in young adults. *Physiol Rep.* 2018; 6(24): e13944. doi: 10.14814/phy2.13944

Сведения об авторах

Догадкина Светлана Борисовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория комплексных исследований процессов адаптации, ФГБНУ «Институт возрастной физиологии Российской академии образования», e-mail: almanac@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7387-9998>

Ермакова Ирина Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория комплексных исследований процессов адаптации, ФГБНУ «Институт возрастной физиологии Российской академии образования», e-mail: ermek61@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7430-4849>

Адамовская Оксана Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория комплексных исследований процессов адаптации, ФГБНУ «Институт возрастной физиологии Российской академии образования», e-mail: krysyuk-19@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0197-3379>

Кмить Галина Васильевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория комплексных исследований процессов адаптации, ФГБНУ «Институт возрастной физиологии Российской академии образования», e-mail: galkmit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3749-9891>

Рублева Лариса Вячеславовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория комплексных исследований процессов адаптации, ФГБНУ «Институт возрастной физиологии Российской академии образования», e-mail: LariusR@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0363-2375>

Шарапов Алим Насимович – доктор медицинских наук, заведующий лабораторией, лаборатория комплексных исследований процессов адаптации, ФГБНУ «Институт возрастной физиологии Российской академии образования», e-mail: alim.sharapov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6862-8115>

Information about the authors

Svetlana B. Dogadkina – Cand. Sc. (Biol.), Senior Research Officer at the Laboratory of Complex Studies of Adaptation Processes, Institute of Development Physiology of the Russian Academy of Education, e-mail: almanac@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7387-9998>

Irina V. Ermakova – Cand. Sc. (Biol.), Senior Research Officer at the Laboratory of Complex Studies of Adaptation Processes, Institute of Development Physiology of the Russian Academy of Education, e-mail: ermek61@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7430-4849>

Oksana N. Adamovskaya – Cand. Sc. (Biol.), Senior Research Officer at the Laboratory of Complex Studies of Adaptation Processes, Institute of Development Physiology of the Russian Academy of Education, e-mail: krysyuk-19@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0197-3379>

Galina V. Kmit – Cand. Sc. (Biol.), Senior Research Officer at the Laboratory of Complex Studies of Adaptation Processes, Institute of Development Physiology of the Russian Academy of Education, e-mail: galkmit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3749-9891>

Larisa V. Rubleva – Cand. Sc. (Biol.), Senior Research Officer at the Laboratory of Complex Studies of Adaptation Processes, Institute of Development Physiology of the Russian Academy of Education, e-mail: LariusR@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0363-2375>

Alim N. Sharapov – Dr. Sc. (Med.), Head of the Laboratory of Complex Studies of Adaptation Processes, Institute of Development Physiology of the Russian Academy of Education, e-mail: alim.sharapov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6862-8115>