



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

DOI: [10.15293/2658-6762.2101.09](https://doi.org/10.15293/2658-6762.2101.09)

УДК 373.3+612.13+612.89+612.453+159.492.5

Особенности реакции вегетативной нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем при выполнении когнитивной нагрузки у младших школьников с разным уровнем личностной тревожности и нейротизма

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

***Проблема и цель.** В статье исследуется проблема адаптивной реакции к когнитивной деятельности у младших школьников с разными индивидуальными психологическими характеристиками. Цель исследования: изучение реакции вегетативной нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем на когнитивную нагрузку у младших школьников с разным уровнем тревожности и нейротизма.*

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства просвещения Российской Федерации (тема № АААА-А19-119100990088-6).

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

E-mail: krysyuk-19@yandex.ru

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

E-mail: almanac@mail.ru

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

E-mail: ermek61@mail.ru

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

E-mail: galkmit@mail.ru

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

E-mail: LariusR@mail.ru

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

E-mail: alim.sharapov@yandex.ru

Методология. Методами спектрального и временного анализа вариабельности сердечного ритма, электрокардиографии, биполярной реоэнцефалографии, тонометрии и иммуноферментного определения кортизола в слюне обследовано 38 детей младшего школьного возраста с разным уровнем личностной тревожности (шкала СМАС в адаптации А. М. Прихожан) и нейротизма (тест Г. Айзенка) при выполнении когнитивной нагрузки (компьютеризированная версия теста «таблицы Шульте»).

Результаты. Авторами выявлено, что характер и выраженность реакции вегетативной нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем у младших школьников различается в зависимости от личностных особенностей – уровня тревожности и нейротизма. Установлено, что у детей со средним уровнем тревожности и низким уровнем нейротизма реакция организма на когнитивную нагрузку наиболее благоприятная. Самая выраженная и генерализованная реакция организма отмечается при повышенном уровне тревожности и среднем уровне нейротизма. Выявлено, что гипореактивность вегетативной нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем у младших школьников с высоким уровнем тревожности и нейротизма обусловлена исходно высоким уровнем изучаемых показателей.

Заключение. Реакция вегетативной нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем на когнитивную нагрузку носит напряженный характер у младших школьников с повышенным и высоким уровнем тревожности и нейротизма. В связи с этим необходимы психолого-педагогические мероприятия по диагностике и коррекции тревожных состояний у младших школьников.

Ключевые слова: младшие школьники; когнитивная нагрузка; личностные особенности; сердечно-сосудистая система; вегетативная нервная регуляция сердечного ритма; эндокринная система; мозговое кровообращение.

Постановка проблемы

Учебная деятельность становится ведущей в младшем школьном возрасте, но её реализация осуществляется без учета психофизиологической «цены», которую ученик «платит» за приобретение знаний, умений и навыков [9].

Дети младшего школьного возраста отличаются такими личностными особенностями,

как впечатлительность, импульсивность, эмоциональность, неуверенность в себе [13], тревожность и нейротизм¹ [3; 12; 40]. Эти индивидуальные психологические характеристики оказывают влияние на протекание когнитивных процессов [2; 5; 12; 37], прогнозируют утомляемость², успешность обучения в школе³ [16], сохранность здоровья [23].

Около 25 % школьников находятся в группе риска, так как имеют высокий уровень

¹ Алексеева Е. Е., Созинова А. Г. Эмоционально-личностные особенности младших школьников (9–11 лет) с разным социометрическим статусом // Психолого-педагогическое сопровождение образования детей в контексте ФГОС дошкольного и начального общего образования: сборник научных статей по материалам всероссийской научно-практической конференции. – 2016. – С. 7–11. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26116087>

² Вахтанова Г. М., Лялякин С. В. Количественная оценка умственной работоспособности школьников

с разным уровнем тревожности // Актуальные проблемы экологии в XXI веке: труды III международной научной конференции. – 2016. – С. 123–128. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30494843>

³ Кузьменкова О. В., Завьялова Е. Н. Особенности школьной тревожности у младших школьников с высокой академической успеваемостью // Приоритеты педагогики и современного образования: сборник статей VI международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 169–171. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37400195>

личностной тревожности и нейротизма⁴ [38]. М. В. Смирнова⁵ выделяет два типа причин устойчивой тревожности: внешняя – длительная стрессовая ситуация, возникшая из-за частого переживания тревоги, внутренняя – психологические и/или физиологические особенности. С одной стороны, высокий уровень личностной тревожности и нейротизма генетически детерминирован [27; 34], с другой стороны, современная образовательная среда выступает в качестве стрессора и вызывает у обучающихся значительное психоэмоциональное напряжение [1; 7; 8]. Такие школьники нуждаются в особой психолого-педагогической поддержке, включающей как своевременное выявление их индивидуальных особенностей, так и коррекционную работу по снижению уровня тревожности и эмоциональной лабильности⁶ с целью профилактики школьного стресса [39] и сохранения здоровья обучающихся.

Главными физиологическими системами человека, участвующими в обеспечении стресс-реакции, адаптационных процессов и поддержании внутреннего гомеостаза являются вегетативная нервная, сердечно-сосудистая и эндокринная системы. К биологическим маркерам их активности относят вариабельность сердечного ритма (ВСР) и уровень кортизола [14]. Люди различаются по своей физиологической и психологической реакции на стресс. Одним из факторов, объясняющим это различие, могут быть личностные особенности человека, т. к. они влияют как на восприятие и оценку потенциально стрессовой ситуации, так и на ответную биологическую

реакцию, о чем свидетельствуют литературные данные [15; 24]. Однако исследования реакции этих систем на когнитивную нагрузку у младших школьников с учетом их личностных особенностей практически отсутствуют. Имеются единичные работы, изучающие реакцию стресс-систем во время умственной деятельности у детей и подростков с разным уровнем тревожности и/или нейротизма [21; 30; 35].

Исходя из вышесказанного целью нашего исследования явилось изучение реакции вегетативной нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем на когнитивную нагрузку у младших школьников с разным уровнем тревожности и нейротизма.

Методология исследования

В исследовании приняли участие 38 учащихся младших классов г. Москва (50 % девочек; средний возраст – $8,89 \pm 0,06$ лет). Все дети, согласно данным медицинских карт, относились к I–II группам здоровья. От родителей участников было получено письменное информированное согласие на обследование.

До проведения эксперимента у всех испытуемых оценивали личностную тревожность по шкале явной тревожности СМАС (адаптация А. М. Прихожан) и нейротизм по опроснику Г. Айзенка.

В качестве когнитивной нагрузки использовали компьютеризированный вариант теста «таблицы Шульце» хорошо зарекомендовавший себя при изучении особенностей внимания детей. Младшие школьники последовательно находили числа от 1 до 25, отмечая

⁴ Смирнова М. В. Уровень явной тревожности у детей младшего школьного возраста // Психологическая наука и образование. – 2012. – № 3. – С. 70–76. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18441705>

⁵ Там же.

⁶ Батюта М. Б., Сидорина Е. В. Коррекция личностной тревожности у младших школьников в процессе изучения английского языка // Проблемы современного педагогического образования. – 2018. – № 59-1. – С. 432–435. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35130123>

их с помощью компьютерной «мыши». В случае правильного выбора предъявлялась следующая таблица. Тест выполнялся на ноутбуке *hp* с разрешением экрана 1366x768 пикселей, светодиодной подсветкой технологии LED. Время выполнения задания составляло 5 минут.

Регистрацию ЭКГ во II стандартном отведении проводили с помощью прибора «Поли-Спектр-12» (Нейрософт, г. Иваново, 2002) в положении исследуемого сидя в покое (исходное состояние) и во время выполнения тестового задания (нагрузка). Состояние вегетативной нервной системы (ВНС) оценивали по частотно-временным показателям вариабельности сердечного ритма. Для оценки симпато-парасимпатического баланса использовали отношение мощностей низкочастотного и высокочастотного диапазонов спектра (коэффициент LF/HF).

Возбудимость и проводимость миокарда изучалась с помощью метода электрокардиографии. Амплитуда и длительность зубцов ЭКГ определялась в 12 общепринятых отведениях, длительность интервалов и амплитуда зубцов ЭКГ определялась во II стандартном отведении.

Состояние центрального отдела сердечно-сосудистой системы оценивали по показателям систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления, пульсового давления (ПД), частоте сердечных сокращений (ЧСС), ударного (УО) и минутного объемов кровообращения (МОК). Давление и частота пульса измерялись с помощью цифрового аппарата AND модель UA-777 (Япония) с использованием детской манжеты. Пульсовое давление определяли по формуле $ПД = САД - ДАД$. Ударный объем вычисляли по формуле Старра для детей 8–14 лет: $УО = 80 + 0,5 \times ПД - 0,6 \times ДД - 2 \times \text{возраст}$. МОК определяли по формуле: $МОК = УО \times ЧСС$. Данные показатели

регистрировались в состоянии относительного покоя (исходное состояние) и на 5 минуте тестового задания (нагрузка).

Изучение мозгового кровообращения проводили методом биполярной реоэнцефалографии (РЭГ) с помощью прибора «Рео-Спектр» (Нейрософт, г. Иваново). В настоящем исследовании оценка мозгового кровообращения проводилась на основании ряда показателей реографического комплекса. $a/T, \%$ – отношение длительности периода восходящей части волны (сек) к длительности всей револны (T, сек). Это отношение показывает, какая часть пульсового притока крови (в процентах) тратится на преодоление упругого сопротивления стенок артерий крупного и среднего калибра, т. е. характеризует тонус сосудов крупного и среднего калибра. $di, \%$ – дикротический индекс. Величина дикротического индекса отражает тонус сосудов мелкого калибра, позволяет судить о периферическом сосудистом сопротивлении. $AЧП, y.e.$ – амплитудно-частотный показатель, который отражает кровоток в единицу времени.

Реакцию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы (ГГНС) оценивали по концентрации кортизола в слюне, собранной до, после и через 15 минут после тестового задания. До проведения анализа пробы хранили в морозильной камере при температуре – 20°C. Концентрацию кортизола определяли иммуноферментным методом (ИФА) на анализаторе «StatFax 2100» (США), используя стандартные диагностические наборы фирмы «DRG International, Inc.» и выражали в нг/мл. Все анализы были сделаны в соответствии с протоколом наборов, контрольные показатели были в рамках принятых пределов.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием компьютерного пакета программы «SPSS-23». С целью разделения испытуемых на группы по

уровню тревожности и нейротизма проводили иерархический кластерный анализ. При нормальном распределении анализируемых признаков вычисляли среднее значение (M) и стандартную ошибку среднего (m). Для проверки статистических гипотез исследования использовался t -тест Стьюдента для независимых и попарно сопряженных выборок. В связи с тем, что подавляющее большинство изучаемых показателей не имело нормального распределения, использовали методы непараметрической статистики с вычислением медианы (ME), нижнего ($Q1$) и верхнего ($Q3$) квартилей. Попарное сравнение сопряженных выборок проводили с помощью критерия Уилкоксона, для сравнения независимых выборок использовали критерий Краскала-Уолиса, критерий Манна-Уитни. Оценку тесноты статистической связи между показателями осуществляли с помощью корреляционного анализа (коэффициент Спирмена). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования, обсуждение

Используя данные по личностной тревожности и нейротизму, с помощью иерархического кластерного анализа, было сформировано 3 группы: 1-я ($n=10$) – младшие школьники со средним уровнем тревожности и низким уровнем нейротизма ($5,20 \pm 0,36$ балла и $7,20 \pm 0,61$ балла); 2-я ($n=20$) – с повышенным уровнем тревожности и средним уровнем нейротизма ($7,70 \pm 0,25$ балла и $14,30 \pm 0,44$ балла); 3-я группа ($n=8$) – с высоким уровнем тревожности и нейротизма ($9,75 \pm 0,16$ балла и $20,87 \pm 0,51$ балла).

Анализ изучаемых показателей в исходном состоянии у младших школьников с разным психоэмоциональным статусом позволил выявить ряд различий в величинах временных и спектральных показателей variability ритма сердца (рис. 1).

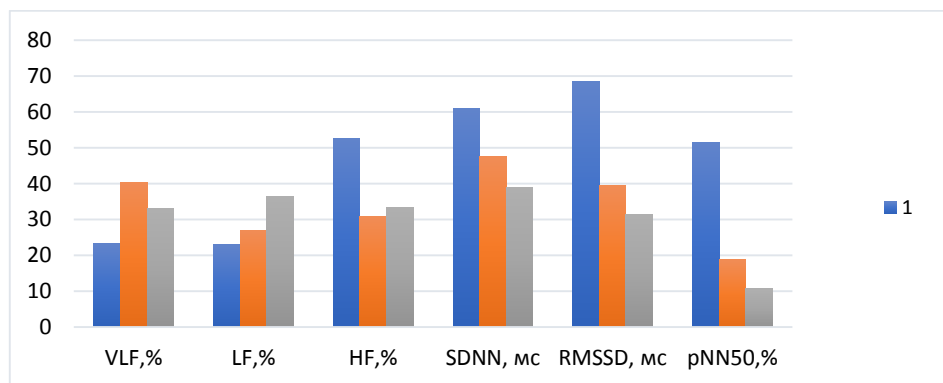


Рис. 1. Характеристика показателей variability ритма сердца у детей с разным уровнем личностной тревожности и нейротизма в исходном состоянии.

Примечание: 1 группа ($n=10$) – дети со средним уровнем тревожности и низким уровнем нейротизма; 2 группа ($n=20$) – дети с повышенным уровнем тревожности и средним уровнем нейротизма; 3 группа ($n=8$) – дети с высоким уровнем тревожности и нейротизма.

Fig. 1. Characteristics of indicators of heart rate variability of children with different levels of personal anxiety and neuroticism in the initial state.

Note: Group 1 ($n=10$) – children with an average level of anxiety and a low level of neuroticism; Group 2 ($n=20$) – children with an increased level of anxiety and an average level of neuroticism; Group 3 ($n=8$) – children with a high level of anxiety and neuroticism.

Так, у младших школьников 1 группы отмечаются более высокие показатели, характеризующие активность парасимпатического отдела ВНС (RMSSD, мс; рNN50 %, HF, %) в сравнении с детьми 2 и 3 групп. Можно предположить, что у детей с ростом уровня тревожности и нейротизма происходит снижение общего тонуса вегетативной нервной системы и смещение баланса в сторону усиления симпатических влияний на сердечный ритм, что согласуется с данными других авторов [10]. Из литературы известно, что нейротизм и тревожность демонстрируют отрицательную связь с HF и положительную с LF/HF [36]. В нашем исследовании выявлена значимая связь этих личностных особенностей детей с показателями ВСР (LF/HF - $r=0,33$, и с RMSSD – $r=-0,33$; $p<0,05$).

Кроме того, у младших школьников 1 группы по сравнению с детьми 2 и 3 групп в исходном состоянии отмечен самый низкий тонус крупных сосудов (а/Т, %) в затылочных областях головного мозга (табл. 3), что может быть связано с высокой активностью парасимпатического отдела ВНС до когнитивной нагрузки у этих детей.

Анализ динамики показателей сердечно-сосудистой системы, вегетативной нервной регуляции сердечного ритма и концентрации кортизола позволил выявить особенности срочной адаптации к когнитивной нагрузке.

При выполнении когнитивной нагрузки (табл. 1) у всех младших школьников выявлено статистически значимое снижение показателя рNN50%, характеризующего активность парасимпатической нервной системы. У младших школьников 3 группы, помимо этого, отмечено уменьшение величин

RMSSD, мс; SDNN, мс, HF, мс², что также указывает на снижение активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. У младших школьников 2 группы при выполнении когнитивной нагрузки выявлено уменьшение значений VLF, мс²; VLF, %, и увеличение LF, % (табл. 1), свидетельствующих о снижении гуморально-метаболических влияний и повышении активности симпатического отдела ВНС в регуляции сердечного ритма.

Таким образом, при выполнении когнитивной нагрузки у младших школьников с повышением уровня тревожности выявлена более генерализованная реакция организма с вовлечением гуморально-метаболической системы и симпатического отдела ВНС (2 группа), либо более выраженная реакция парасимпатического отдела ВНС (3 группа).

Известно, что при тревожности и нейротизме наблюдается рассогласование активности симпатического и парасимпатического отделов ВНС и уменьшение вариабельности сердечного ритма [19; 22], что можно рассматривать как снижение вегетативной гибкости [31], т. е. способности к адаптивной перестройке в ответ на воздействие факторов среды. В работе L. S. Colzato и др. [17] выявлено, что у лиц с более низкой ВСР отмечается большее время реакции при переключении внимания во время выполнения теста на компьютере. В нашем исследовании дети 3 группы, характеризующиеся сниженной активностью парасимпатического отдела ВНС в покое, показали меньшую эффективность работы при выполнении когнитивной нагрузки по сравнению с детьми 1 группы.

Таблица 1

Динамика показателей variability сердечного ритма у младших школьников с разным уровнем личностной тревожности и нейротизма при выполнении когнитивной нагрузки (медиана и межквартильный размах: 25–75 процентиля)

Table 1

Dynamics of heart rate variability of children with different levels of personal anxiety and neuroticism when performing cognitive load (median and interquartile range: 25–75 percentiles)

показатели	проба	группы с разным уровнем личностной тревожности и нейротизма		
		1 группа	2 группа	3 группа
TP, мс ²	исх. сост.	4422 (2558,5; 9291)	3090 (1368,5; 6189,7)	2224 (1610,5; 3923,5)
	нагрузка	5124,5 (1521; 6865,75)	1848,5(1491,7; 3899,7)	1542(1072,25; 3274,0)
	p	0,114	0,062	0,093
VLF, мс ²	исх. сост.	1125,5 (862; 2070,7)	1418,50(617,2; 2445,5)	762,5(615,2; 1128,5)
	нагрузка	929,5 (468,25; 1446,5)	631,0 (389,0; 1088,25)	566,5 (375,5; 677,25)
	p	0,241	0,010	0,123
LF, мс ²	исх. сост.	1272,5(554,5; 1952,5)	1031,0(405,2; 1740,2)	905,5 (445,25; 1406,5)
	нагрузка	1240,0(525,75; 1653,5)	699,5(541,75; 1588,7)	590,5 (432,0; 974,25)
	p	0,386	0,681	0,779
HF, мс ²	исх. сост.	2332 (746,5; 5403,25)	799,0 (460,0; 1924,0)	626,0 (562,75; 1336,0)
	нагрузка	2097,5(489,25; 4104,75)	635,0(386,75; 1522,25)	446,5(284,75; 1419,75)
	p	0,333	0,145	0,036
LF/HF, у.е.	исх. сост.	0,564 (0,327; 0,827) a*	0,835 (0,631; 1,637)	0,959 (0,4610; 1,637)
	нагрузка	0,673 (0,289; 1,322)	1,140 (0,797; 1,487)	1,475 (1,014; 1,917)
	p	0,285	0,514	0,123
VLF, %	исх. сост.	23,30 (12,57; 34,40) a*, b*	40,45 (32,87; 46,77)	33,00 (22,52; 41,80)
	нагрузка	28,35 (15,72; 34,62)	32,70 (22,52; 40,82)	31,60 (16,37; 41,52)
	p	0,799	0,012	0,484
LF, %	исх. сост.	22,95 (14,45; 31,90)	27,00 (20,02; 34,60)	36,35 (22,20; 41,70)
	нагрузка	28,55 (19,82; 35,60)	36,30 (24,32; 43,97)	41,85 (28,50; 45,95)
	p	0,646	0,038	0,327
HF, %	исх. сост.	52,70 (33,72; 56,62) a**, b*	30,90 (21,55; 36,15)	33,50 (25,35; 47,10)
	нагрузка	42,65 (31,77; 66,62)	31,70 (28,75; 37,37)	29,05 (21,80; 33,70)
	p	0,721	0,204	0,176
RRNN, мс	исх. сост.	748 (663,5; 768,5)	667,5 (577,6; 698,5)	620,5 (582,5; 667,75)
	нагрузка	700 (611,5; 755,0)	629,0 (592,7; 667,7)	599,5 (566,5; 646,5)
	p	0,005	0,005	0,012
SDNN, мс	исх. сост.	61,0 (43,0; 89,0)	47,5 (36,0; 68,75)	39,0 (31,25; 57,50)
	нагрузка	65,5 (34,75; 76,25)	37,5 (31,25; 56,25)	33,0 (26,5; 47,25)
	p	0,086	0,050	0,042
RMSSD, мс	исх. сост.	68,5 (35,25; 105,25) a*	39,5 (29,5; 57,75)	31,5 (22,75; 52,0)
	нагрузка	59,0 (27,25; 91,50)	35,5 (21,5; 54,0)	21,0 (19,0; 43,0)
	p	0,059	0,061	0,012

Окончание таблицы 1.

pNN50, %	исх. сост.	51,5 (12,34; 61,90) a*	18,75 (6,71; 31,85)	10,65 (4,59; 31,42)
	нагрузка	38,2 (5,79; 56,15)	5,98 (2,46; 27,47)	3,050 (2,06; 23,55)
	p	0,037	0,009	0,012

Примечание: характеристику и численность групп см. в примечании к рис. 1. Различия статистически значимы: a – между 1 и 2 группой; b – между 1 и 3 группой; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; p – различия между исходным состоянием и нагрузкой. P – различия между исходным состоянием и нагрузкой.

Note: for the characteristics and number of groups, see the note to Fig. 1. The differences are statistically significant: a – between groups 1 and 2; b – between 1 and 3 groups; * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; p – between the initial state and the load. P – between the initial state and the load.

Когнитивная нагрузка у младших школьников 1 группы не вызывала существенных изменений параметров центрального отдела сердечно-сосудистой системы, отмечено

лишь увеличение ЧСС ($p=0,052$) на уровне тенденции (табл. 2), что свидетельствует о благоприятной адаптации этих детей к нагрузке.

Таблица 2

Динамика показателей сердечно-сосудистой системы у младших школьников с разным уровнем личностной тревожности и нейротизма при выполнении когнитивной нагрузки (медиана и межквартильный размах: 25–75 процентиля)

Table 2

Dynamics of indicators of the cardiovascular system of children with different levels of personal anxiety and neuroticism when performing cognitive load (median and interquartile range: 25–75 percentiles)

показатели	проба	группы с разным уровнем личностной тревожности и нейротизма		
		1 группа	2 группа	3 группа
ЧСС, уд/мин	исх. сост.	77,00 (71,25;85,75)	86,00 (75,75;92,75)	90,00 (82,25;93,75)
	нагрузка	81,00 (70,25;92,25)	90,50 (85,50;97,00)	92,0 (80,75;101,75)
	p	0,052	0,002	0,674
САД, мм рт. ст.	исх. сост.	91,50 (86,50; 99,25)	95,00 (85,00; 03,50)	97,00 (92,25; 98,75)
	нагрузка	95,00 (91,00; 105,75)	96,00 (84,00; 03,00)	94,00 (91,25;105,25)
	p	0,113	0,169	0,917
ДАД, мм рт. ст.	исх. сост.	68,0 (58,75; 70,25)	63,50 (58,00; 67,50)	66,50 (59,25; 73,75)
	нагрузка	66,0 (63,25; 73,00)	65,50 (63,25; 72,25)	65,50 (63,00; 77,50)
	p	0,201	0,001	0,726
ПД, мм рт. ст.	исх. сост.	28,5 (20,75; 32,75)	30,50 (24,50; 36,75)	27,50 (24,75; 33,00)
	нагрузка	30,5 (26,50; 37,25)	29,00 (22,00; 32,75)	26,00 (24,25; 35,75)
	p	0,497	0,176	0,735
УО, мл.	исх. сост.	37,0 (32,92; 41,17)	37,75 (35,70; 42,92)	36,15 (30,62; 41,80)
	нагрузка	37,5 (34,30; 42,15)	37,00 (33,32; 39,60)	35,70 (31,47; 39,77)
	p	0,683	0,013	0,327

Окончание таблицы 2.

МОК, л/мин	исх. сост.	3,10 (2,17; 3,52)	3,40 (3,10; 3,92)	3,35 (2,55; 3,85)
	нагрузка	3,30 (2,77; 3,40)	3,30 (3,12; 3,72)	3,15 (2,70; 3,87)
	p	0,798	0,437	0,799

Примечание: характеристику и численность групп см. в примечании к рис. 1.; p – различия между исходным состоянием и нагрузкой.

Note: for the characteristics and number of groups, see the note to Fig. 1.; p – the difference between the initial state and the load

У младших школьников 2 группы выявлено увеличение ЧСС ($p=0,002$), диастолического давления ($p=0,001$) и снижение ударного объема крови ($p=0,013$). В 3 группе не отмечено какой-либо реакции на нагрузку. Необходимо отметить, что в состоянии относительного покоя параметры сердечно-сосудистой системы у детей разных групп не отличались. Следовательно, у детей 2 группы выявлены существенные изменения параметров центральной гемодинамики на нагрузку. Как показано в нашем исследовании у детей этой группы при выполнении когнитивного теста характерно преобладание симпатических влияний (за счет снижения доли парасимпатических влияний) на сердечный ритм, что влечет за собой увеличение ЧСС и ДАД. Некоторые авторы предполагают, что повышение ЧСС при когнитивной нагрузке связано с увеличением кровотока в миокарде и активацией β 1-адренергических рецепторов симпатической нервной системы [26].

Также в нашем комплексном исследовании выявлено, что у младших школьников 2 группы по сравнению с другими испытуемыми уровень слюнного кортизола был выше и составлял 4,05 нг/мл (3,46; 4,62) (табл. 4). Установлена положительная корреляционная связь средней степени между уровнем кортизола обследованных детей и показателями гемодинамики (ЧСС и МОК) как в состоянии относительного покоя ($r=0,38$ $p<0,05$ и $r=0,50$ $p<0,01$ соответственно), так и после когнитивной нагрузки ($r=0,37$ $p <0,05$ и $r=0,33$ $p<0,05$

соответственно). Известно, что кортизол оказывает прямое влияние на сердце и кровеносные сосуды [29]. Следовательно, у детей с более высоким уровнем свободного кортизола в слюне сердечно-сосудистая система в большей степени реагирует на когнитивную нагрузку. Наши данные согласуются с результатами исследования, показавшего положительную корреляционную связь между уровнем слюнного кортизола и реактивностью сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку [11], что свидетельствует о возможной регулирующей роли кортизола в обеспечении гемодинамических ответов при нагрузках разного характера.

Отсутствие выраженной реакции центрального отдела сердечно-сосудистой системы у младших школьников 3 группы на когнитивную нагрузку может быть связано с изначально высоким уровнем активности симпатического отдела ВНС. У этих детей уже в состоянии относительного покоя ЧСС была относительно высокой по сравнению с другими испытуемыми, и на этом фоне сложно ожидать адекватного ответа со стороны ВРС. Мы считаем, что адаптация сердечно-сосудистой системы этих детей к когнитивной деятельности происходит с напряжением. Наши данные согласуются с результатами исследований на взрослых, показавших низкую реактивность центрального отдела сердечно-сосудистой системы на ментальный стресс у лиц с высоким уровнем нейротизма [28].

При выполнении когнитивной нагрузки у всех младших школьников отмечались изменения ЭКГ: несколько укорачивался сердечный цикл (RR, мс), (в 1 группе – с 0,720 (0,661; 0,790) до 0,715 (0,649; 0,759); во 2 группе – с 0,655 (0,602; 0,700) до 0,634 (0,574; 0,699) на уровне тенденции – $p=0,064$; в 3 группе – с 0,635 (0,585; 0,782) до 0,618 (0,606; 0,703). Сходная динамика длительности RR-интервалов у людей с высоким уровнем тревожности и нейротизма в процессе целенаправленной деятельности отмечается также в работе других авторов [6]. Также у всех детей отмечалось увеличение амплитуды зубца R, мВ (в 1 группе – с 1,25 (1,05; 1,50) до 1,35 (1,01; 1,50); во 2 группе – с 1,10 (0,82; 1,47) до 1,20 (1,000 1,37); в 3 группе – с 1,20 (0,82; 1,55) до 1,30 (0,95; 1,37). Выявленные амплитудные изменения у детей связаны, вероятно, с интенсификацией деятельности предсердий в ответ на нагрузку вследствие смещения вегетативного баланса в сторону усиления симпатических влияний на сердечный ритм (табл. 1).

Мозговое кровообращение в исходном состоянии у младших школьников 3 группы по сравнению с детьми 1 группы характеризуется повышенным тонусом сосудов крупного и среднего калибра в лобных и затылочных областях головного мозга: отмечены более высокие значения показателя а/Т, % в бифронтальном отведении (FF₁) и биокципитальном отведении (ОО₁) (табл. 3). При выполнении компьютеризированного варианта теста «таблицы Шульте» у детей 3 группы наблюдается уменьшение значений а/Т, % в бифронтальном отведении (FF₁), свидетельствующего о снижении тонуса крупных сосудов в лобных областях головного мозга, у детей 1 группы – увеличение а/Т, % в биокципитальном отведении (ОО₁), свидетельствующего о повышении тонуса сосудов крупного и среднего калибра в затылочных областях головного мозга. Показатели артериального притока (АЧП, у.е.) и тонуса сосудов головного мозга мелкого калибра (di, %) в лобных и затылочных областях у всех детей статистически значимо не изменяются.

Таблица 3

Динамика показателей мозгового кровообращения у младших школьников с разным уровнем личностной тревожности и нейротизма при выполнении когнитивной нагрузки (медиана и межквартильный размах: 25–75 процентиля)

Table 3

Dynamics of cerebral circulation indicators of children with different levels of personal anxiety and neuroticism when performing cognitive load (median and interquartile range: 25–75 percentiles)

показатели	отведение	проба	группы с разным уровнем личностной тревожности и нейротизма		
			1 группа	2 группа	3 группа
АЧП, у.е	FF1	исх. сост.	3,95 (2,81; 5,04)	3,44 (2,63; 5,45)	3,77 (3,19; 3,99)
		нагрузка	3,89 (2,42; 4,64)	3,14 (2,39; 4,11)	3,65 (2,32; 4,61)
		p	0,333	0,052	0,889
	ОО1	исх. сост.	1,49 (1,15; 1,84)	2,04 (1,75; 4,42)	2,32 (1,74; 3,56)
		нагрузка	1,36 (0,80; 2,64)	2,02 (1,53; 2,58)	2,00 (1,48; 2,64)
		p	0,917	0,093	0,207

Окончание таблицы 3.

a/T, %	FF1	исх. сост.	17,50 (15,5; 22,25) b*	20,00 (17,25; 21,75)	22,00 (19,50; 23,75)
		нагрузка	18,00 (17,0; 20,25)	19,50 (18,00; 21,00)	19,00 (14,50; 21,75)
		p	0,395	0,757	0,028
	OO1	исх. сост.	15,00 (15,00; 17,75) a**; b*	20,50 (18,25; 24,00)	19,50 (16,75; 23,25)
		нагрузка	18,50 (16,50; 20,00)	19,50 (16,75; 21,00)	19,00 (17,25; 21,50)
		p	0,043	0,288	0,458
di, %	FF1	исх. сост.	60,5 (51,00; 67,75)	57,00 (48,75; 72,00)	59,00 (38,50; 72,75)
		нагрузка	69,0 (48,00; 78,25)	58,50 (52,25; 72,00)	53,50 (34,25; 68,50)
		p	0,475	0,538	0,528
	OO1	исх. сост.	45,0 (29,50; 68,25)	68,50 (68,50; 78,75)	60,50 (51,25; 69,50)
		нагрузка	74,5 (38,25; 92,00)	63,50 (38,00; 77,50)	63,00 (33,50; 78,25)
		p	0,207	0,400	0,833

Примечание: характеристику и численность групп см. в примечании к рис. 1. Различия статистически значимы: a – между 1 и 2 группой; b – между 1 и 3 группой; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; p – различия между исходным состоянием и нагрузкой.

Note: for the characteristics and number of groups, see the note to Fig. 1. The differences are statistically significant: a – between groups 1 and 2; b – between 1 and 3 groups; * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; p – between the initial state and the load.

Повышение тонуса сосудов крупного и среднего калибра в затылочных областях у младших школьников 1 группы свидетельствует о перераспределении мозгового кровотока во время когнитивной нагрузки. Известно, что физиологически активные состояния человека, включая интеллектуальную деятельность, характеризуются активацией соответствующих нервных центров. В этом случае нет необходимости в увеличении суммарного мозгового кровотока, эта функциональная особенность реализуется путем активных сосудистых реакций, развивающихся в пределах соответствующих областей мозга⁷. Перераспределение мозгового кровотока при когни-

тивной нагрузке у младших школьников может быть связано, во-первых, с качественной перестройкой системы зрительного восприятия, характеризующейся заменой генерализованного однотипного реагирования на регионарно-специфический анализ и переработку стимула в разных зонах коры головного мозга⁸ и зрительно-пространственной рабочей памяти, с большим вовлечением префронтальной коры в ее реализацию у детей 9–10 лет по сравнению с детьми 7–8 лет⁹, и во-вторых, с индивидуальными особенностями пространственно-временной организации активности головного мозга при умственной деятельно-

⁷ Бабиянц А. Я., Хананашвили Я. А. Мозговое кровообращение: физиологические аспекты и современные методы исследования // Журнал фундаментальной медицины и биологии. – 2018. – № 3. – С. 46–54. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36313816>

⁸ Фарбер Д. А., Бетелева Т. Г. Формирование системы зрительного восприятия в онтогенезе // Физиология

человека. – 2005. – Т. 31, № 5. – С. 26–36. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10747-005-0091-3> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9143675>

⁹ Безруких М. М., Фарбер Д. А. Актуальные проблемы физиологии развития ребенка // Новые исследования. – 2014. – Т. 40, № 3. – С. 4–19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23373084>

сти, что подтверждается данными комплексных электро- и реоэнцефалографических исследований у детей школьного возраста [4].

Снижение тонуса крупных сосудов в лобных областях головного мозга у детей 3 группы скорее всего, связано с высоким тонусом этих сосудов в исходном состоянии. Необходимо отметить, что при выполнении когнитивной нагрузки у младших школьников этой группы сохраняется повышенный тонус в

затылочных отделах головного мозга, а у детей 2 группы – повышенный тонус сосудов крупного и среднего калибра сохраняется и в лобных, и в затылочных областях головного мозга (табл. 3).

Реакция эндокринной системы младших школьников на когнитивную нагрузку по данным кортизола в слюне представлена в таблице 4.

Таблица 4

Динамика уровня кортизола у младших школьников с разным уровнем личностной тревожности и нейротизма при выполнении когнитивной нагрузки (медиана и межквартильный размах: 25–75 процентиля)

Table 4

Dynamics of cortisol levels of children with different levels of personal anxiety and neuroticism when performing cognitive load (median and interquartile range: 25–75 percentiles)

показатели	проба	группы с разным уровнем личностной тревожности и нейротизма		
		1 группа	2 группа	3 группа
кортизол, нг/мл	исх. состояние	3,49 (2,96; 3,94)	4,05 (3,46; 4,62)	3,69 (3,41; 4,07)
		a		
	нагрузка	3,36 (3,09; 3,90)	3,59 (3,01; 4,27)	3,91 (2,99; 4,61)
	восстановление	3,46 (2,61; 4,12)	4,05 (3,45; 4,63)	3,15 (2,70; 3,75)
		c		
	p (исх.сост.-нагрузка)	0,767	0,004	0,779
	p (восст.-нагрузка)	0,799	0,936	0,025

Примечание: характеристику и численность групп см. в примечании к рис. 1. Различия статистически значимы: а – между 1 и 2 группой; б – между 1 и 3 группой; с – между 1 и 3 группой. * – $p < 0,05$; p – различия между исходным состоянием и нагрузкой.

Note: for the characteristics and number of groups, see the note to Fig. 1. The differences are statistically significant: a – between groups 1 and 2; b – between 1 and 3 groups; c – between 1 and 3 groups. * – $p < 0.05$; p – between the initial state and the load.

Проведенные исследования выявили, что у младших школьников 1 группы уровень кортизола до, после и через 15 минут после когнитивной нагрузки статистически значимо не различался ($p=0,721 \dots 0,799$). Можно предположить, что когнитивная нагрузка у них не вызывала существенного напряжения эндокринной системы, так как уровень кортизола оста-

вался неизменным. Известно, что реактивность ГГНС находится в прямой зависимости от интенсивности и длительности нагрузки [25]. Вероятно, для детей этой группы тест, выполняемый на компьютере, не был стрессорным фактором, и когнитивная деятельность у них протекала в условиях незначительных адаптивных перестроек.

У младших школьников 2 группы в ответ на нагрузку происходило снижение концентрации кортизола на 12 % ($p=0,004$), с последующим восстановлением до исходного уровня. Примечательно, что у них выявлена самая высокая исходная концентрация гормона, статистически значимая в сравнении с 1 группой ($p=0,037$) и на уровне тенденции по сравнению с 3 группой ($p=0,093$). Полученные данные могут свидетельствовать о том, что школьники 2 группы проявляют ориентировочную реакцию ещё до нагрузки. У подавляющего большинства (85 %) детей этой группы ожидание работы на ноутбуке вызывало большее напряжение эндокринной системы по сравнению с испытуемыми других групп (40 % – в 1 группе и 62 % – в 3 группе). Эту особенность детей младшего школьного возраста отмечают и другие авторы [30].

У младших школьников 3 группы уровень кортизола до и после когнитивной нагрузки был практически одинаковым, а на 15 минуте после теста происходило его заметное снижение ($p=0,025$). В литературе есть сведения, что повышенная эмоциональность связана более с низкой реактивностью кортизола и часто зависит от самовосприятия стресса [20]. Необходимо отметить межгрупповые различия по динамике стресс-гормона: а) в ответ на нагрузку – значимые между 1 и 2 группой (ME: 0,13 % против -10,12 %; $p=0,012$) и на уровне тенденции между 2 и 3 группой (ME: -10,12 % против -7,84 %; $p=0,060$); б) через 15 минут после нагрузки – значимые между 1 и 3 группой (ME: -4,64 % против -16,17 %; $p=0,049$) и между 2 и 3 группой (ME: -1,87 % против -16,17 %; $p=0,013$). Считается, что реакция ГГНС наступает через несколько минут после воздействия раздражителя [33]. Если рассматривать полученные данные с этой позиции, то у детей с высоким

уровнем тревожности и нейротизма на 15 минуте после воздействия когнитивной нагрузки регистрируется самая низкая концентрация кортизола, это может свидетельствовать о гипореактивности эндокринной системы, на что указывает ряд авторов [15; 18; 32].

Заключение

Проведенное исследование позволило установить, что характер реакции вегетативной нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем на когнитивную нагрузку у младших школьников зависит от их личностных особенностей – уровня тревожности и нейротизма.

У младших школьников со средним уровнем тревожности и низким уровнем нейротизма реакция на когнитивную нагрузку носит благоприятный характер: наблюдается усиление симпатических влияний на сердечный ритм без существенных изменений показателей сердечно-сосудистой и эндокринной систем.

У школьников с повышенным уровнем тревожности и средним уровнем нейротизма при умственной нагрузке отмечается генерализованная реакция организма: повышение симпатической активности, увеличение ЧСС и диастолического давления, снижение ударного объема крови, сохранение повышенного уровня кортизола, что указывает на напряженную реакцию организма.

У младших школьников с высоким уровнем тревожности и нейротизма когнитивная нагрузка не вызывала выраженной реакции вегетативной нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, вследствие исходно высокого уровня симпатической активности, ЧСС, повышенного тонуса сосудов крупного и среднего калибра в лобных и затылочных областях головного мозга.



Полученные результаты говорят о необходимости учитывать личностные особенности школьников при обучении в условиях со-

временной образовательной среды, своевременно выявлять и корректировать их психоэмоциональное состояние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова И. Э. Технология обеспечения безопасной для здоровья школьников организации обучения в цифровой образовательной среде: гигиеническая оптимизация урока и расписания // Школьные технологии. – 2019. – № 2. – С. 45–52. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38583438>
2. Бартош О. П., Бартош Т. П. Динамические характеристики внимания у первоклассников Севера в зависимости от уровня тревожности // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2018. – Т. 104, № 9. – С. 1039–1048. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869813918090034> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36333273>
3. Бартош О. П., Бартош Т. П., Мычко М. В. Особенности тревожности детей младшего школьного возраста в разных городах Магаданской области // Репродуктивное здоровье детей и подростков. – 2020. – Т. 16, № 3. – С. 5–14. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44050102>
4. Бурых Э. А. Соотношения между ЭЭГ и реографическими показателями мозгового кровотока у детей на Северо-Востоке России // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2015. – Т. 101, № 9. – С. 1066–1078. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24004182>
5. Грибанов А. В., Депутат И. С., Нехорошкова А. Н., Кожевникова И. С., Панков М. Н., Иорданова Ю. А., Старцева Л. Ф., Иконникова И. В. Психофизиологическая характеристика тревожности и интеллектуальной деятельности в детском возрасте (обзор) // Экология человека. – 2019. – № 9. – С. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-9-50-58> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39542853>
6. Клименко А. В., Перцов С. С., Яковенко И. Ю. Взаимосвязь между уровнем нейротизма и результативностью целенаправленной деятельности человека на модели базовых эндокринных тренировок // Физиология человека. – 2019. – Т. 45, № 6. – С. 68–75. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0131164619050047> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?doi=10.1134/S0131164619050047>
7. Кучма В. Р., Ткачук Е. А., Тармаева И. Ю. Психофизиологическое состояние детей в условиях информатизации их жизнедеятельности и интенсификации образования // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 12. – С. 1183–1188. DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-12-1183-1188> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28089945>
8. Кучма В. Р., Ткачук Е. А., Шишарина Н. В., Подлиняев О. Л. Гигиеническая оценка инновационных образовательных технологий в начальной школе // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 3. – С. 288–293. DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-3-288-293> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37241640>
9. Лезарева Т. А., Лытаев С. А. Об эффективности механизмов психофизиологической адаптации в динамике учебно-образовательного процесса // Педиатр. – 2019. – Т. 10, № 6. – С. 67–77. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED10667-77> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42478529>



10. Пшеничникова И. И., Школьников М. А., Захарова И. Н., Творогова Т. М. Адаптация детей к обучению в учреждениях различного типа: влияние вегетативного гомеостаза и личностных адаптивных ресурсов // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2018. – Т. 63, № 5. – С. 81–91. DOI: <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-5-81-91> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36376244>
11. Сидоров С. С., Чанчаева Е. А., Айзман Р. И. Зависимость реактивности сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку от уровня саливарного кортизола у детей // Сибирский научный медицинский журнал. – 2018. – Т. 38, № 6. – С. 130–136. DOI: <https://doi.org/10.15372/SSMJ20180619> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36534248>
12. Чанчаева Е. А., Сидоров С. С., Остапович О. В., Айзман Р. И. Особенности взаимосвязи когнитивных показателей с уровнем тревожности и самооценки школьников первого года обучения в поликультурной среде // Science for Education Today. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 238–253. DOI: <https://doi.org/10.15293/2658-6762.1903.14> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38538218>
13. Шатохина Л. В., Калашникова М. М. Возрастные изменения свойств темперамента // Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие. – 2019 – Т. 7, № 3. – С. 538–548. DOI: <https://doi.org/10.23888/humJ20193538-548> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40380835>
14. Aimie-Salleh N., Malarvili M. B., Whittaker A. C. Fusion of heart rate variability and salivary cortisol for stress response identification based on adverse childhood experience // Medical & Biological Engineering & Computing. – 2019. – Vol. 57 (6). – P. 1229–1245. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11517-019-01958-3>
15. Bibbey A., Carroll D., Roseboom T. J., Phillips A. C., de Rooij S. R. Personality and physiological reactions to acute psychological stress // International Journal of Psychophysiology. – 2013. – Vol. 90 (1). – P. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.10.018>
16. Butcher P. R., Heubeck B. G., Welvaert M. Anxiety and verbal learning in typically developing primary school children: Less efficient but equally effective // British Journal of Educational Psychology. – 2020. – Vol. 22. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjep.12380>
17. Colzato L. S., Jongkees B. J., de Wit M., van der Molen M. J. W., Steenbergen L. Variable heart rate and a flexible mind: Higher resting-state heart rate variability predicts better task-switching // Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience. – 2018. – Vol. 18 (4). – P. 730–738. DOI: <https://doi.org/10.3758/s13415-018-0600-x>
18. Coyle D. K. T., Howard S., Bibbey A., Gallagher S., Whittaker A. C., Creaven A.-M. Personality, cardiovascular, and cortisol reactions to acute psychological stress in the Midlife in the United States (MIDUS) study // International Journal of Psychophysiology. – 2020. – Vol. 148 (2). – P. 67–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.11.014>
19. Čukić I., Bates T. C. The association between neuroticism and heart rate variability is not fully explained by cardiovascular disease and depression // PLoS ONE. – 2015. – Vol. 10 (5). – P. e0125882. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125882>
20. Evans B. E., Greaves-Lord K., Euser A. S., Tulen J. H. M., Franken I. H. A., Huizink A. C. Determinants of physiological and perceived physiological stress reactivity in children and adolescents // PLoS ONE. – 2013. – Vol. 8 (4). – P. e61724. DOI: <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0061724>
21. Evans B. E., Stam J., Huizink A. C., Willems A. M., Weanetberg M., Branje S., Meeus W., Koot H. M., van Lier P. A. C. Neuroticism and extraversion in relation to physiological stress



- reactivity during adolescence // *Biological Psychology*. – 2016. – Vol. 117 (5). – P. 67–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.03.002>
22. Fiskum C., Andersen T. G., Bornas X., Aslaksen P. M., Flaten M. A., Jacobsen K. Non-linear heart rate variability as a discriminator of internalizing psychopathology and negative affect in children with internalizing problems and healthy controls // *Frontier in Physiology*. – 2018. – Vol. 9. – P. 561. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00561>
 23. Friedman H. S. Neuroticism and health as individuals age // *Personality Disorders: Theory, Research and Treatment*. – 2019. – Vol. 10 (1). – P. 25–32. DOI: <https://doi.org/10.1037/per0000274>
 24. Gallagher S., O'Riordan A., McMahon G., Creaven A.-M. Evaluating personality as a moderator of the association between life events stress and cardiovascular reactivity to acute stress // *International Journal of Psychophysiology*. – 2018. – Vol. 126 (4). – P. 52–59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.02.009>
 25. Giles G. E., Mahoney C. R., Brunye T. T., Taylor H. A., Kanarek R. B. Stress effects on mood, HPA axis, and autonomic response: comparison of three psychosocial stress paradigms // *PLoS ONE*. – 2014. – Vol. 9 (12). – P. e113618. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113618>
 26. Gordan R., Gwathmey J. K., Xie L. H. Autonomic and endocrine control of cardiovascular function // *World Journal of Cardiology*. – 2015. – Vol. 7 (4). – P. 204–214. DOI: <https://doi.org/10.4330/wjc.v7.i4.204>
 27. Hill W. D., Weiss A., Liewald D. C., Davies G., Porteous D. J., Hayward C., McIntosh A. M., Gale C. R., Deary I. J. Genetic contributions to two special factors of neuroticism are associated with affluence, higher intelligence, better health, and longer life // *Molecular Psychiatry*. – 2020. – Vol. 25 (11). – P. 3034–3052. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41380-019-0387-3>
 28. Jonassaint C. R., Why Y. P., Bishop G. D., Tong E. M., Diong S. M., Enkelmann H. C., Khader M., Ang J. The effects of neuroticism and extraversion on cardiovascular reactivity during a mental and an emotional stress task // *International Journal of Psychophysiology*. – 2009. – Vol. 74 (3). – P. 274–279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2009.09.012>
 29. Iob E., Steptoe A. Cardiovascular disease and hair cortisol: a novel biomarker of chronic stress // *Current Cardiology Reports*. – 2019. – Vol. 21 (10). – P. 116. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11886-019-1208-7>
 30. Kapsdorfer D., Hlavacova N., Vondrova D., Argalassova L., Sevcikova L., Jezova D. Neuroendocrine response to school load in prepubertal children: focus on trait anxiety // *Cellular and Molecular Neurobiology*. – 2018. – Vol. 38 (1). – P. 155–162. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10571-017-0544-7>
 31. Nas Z., Riese H., van Roon A. M., Rijdsdijk F. V. Higher anxiety is associated with lower cardiovascular autonomic function in female twins // *Twin Research and Human Genetics*. – 2020. – Vol. 23 (3). – P. 156–164. DOI: <https://doi.org/10.1017/thg.2020.47>
 32. Poppelaars E. S., Klackl J., Pletzer B., Wilhelm F. H., Jonas E. Social-evaluative Threat: Stress Response Stages and Influences of Biological Sex and Neuroticism // *Psychoneuroendocrinology*. – 2019. – Vol. 109 (11). – P. 104378. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2019.104378>
 33. Pulpulos M. M., Vanderhasselt M. F., De Raedt R. Association between changes in heart rate variability during the anticipation of a stressful situation and the stress-induced cortisol response // *Psychoneuroendocrinology*. – 2018. – Vol. 94. – P. 63–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2018.05.004>
 34. Reinhard J., Drepper C., Weber H., Schiele M. A., Kneer K., Mittermeier A., Frey L., Reif A., Pauli P., Domschke K., Deckert J., Romanos M. Anxiety risk SNPs on chromosome 2 modulate



- arousal in children in a fear generalization paradigm // *European Child and Adolescent Psychiatry*. – 2020. – Vol. 29 (9). – P. 1301–1310. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00787-019-01458-7>
35. Rozenman M., Sturm A., McCracken J. T., Piacentini J. Autonomic arousal in anxious and typically developing youth during a stressor involving error feedback // *European Child & Adolescent Psychiatry*. – 2017. – Vol. 26 (12). – P. 1423–1432. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007%2Fs00787-017-1001-3>
36. Shepherd D., Mulgrew J., Hautus M. J. Exploring the autonomic correlates of personality // *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*. – 2015. – Vol. 193. – P. 127–131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2015.05.004>
37. Studer-Luethi B., Bauer C., Perrig W. J. Working memory training in children: Effectiveness depends on temperament // *Memory and Cognition*. – 2016. – Vol. 44 (2). – P. 171–186. DOI: <https://doi.org/10.3758/s13421-015-0548-9>
38. Tackett J. L., Smack A. J., Herzhoff K., Reardon K. W., Daoud S., Granic I. Measuring child personality when child personality was not measured: Application of a thin-slice approach // *Personality and Mental Health*. – 2017. – Vol. 11 (1). – P. 4–13. DOI: <https://doi.org/10.1002/pmh.1351>
39. Warghoff A., Persson S., Garmy P., Einberg E.-L. A focus group interview study of the experience of stress amongst school-aged children in Sweden // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – Vol. 17 (11). – P. 4021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17114021>
40. Wauthia E., Lefebvre L., Huet K., Blekic W., El Bouragui K., Rossignol M. Examining the Hierarchical Influences of the Big-Five Dimensions and Anxiety Sensitivity on Anxiety Symptoms in Children // *Frontiers in Psychology*. – 2019. – Vol. 10. – P. 1185. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01185>



DOI: [10.15293/2658-6762.2101.09](https://doi.org/10.15293/2658-6762.2101.09)

Oksana Nikolaevna Adamovskaya

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

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0197-3379>

E-mail: krysyuk-19@yandex.ru

Svetlana Borisovna Dogadkina

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

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

E-mail: almanac@mail.ru

Irina Vladimirovna Ermakova

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

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

E-mail: ermek61@mail.ru

Galina Vasilievna Kmit

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

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

E-mail: galkmit@mail.ru

Larisa Vyacheslavovna Rubleva

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

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

E-mail: LariusR@mail.ru

Alim Nasimovich Sharapov

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

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

E-mail: alim.sharapov@yandex.ru



Characteristics of the reaction of the autonomic nervous, cardiovascular and endocrine systems to cognitive load in primary schoolchildren with different levels of anxiety and neuroticism

Abstract

Introduction. *The article examines the problem of adaptive response to cognitive activity in primary schoolchildren with different individual psychological characteristics. The objective of the research is to study the response of the autonomic nervous, cardiovascular and endocrine systems to cognitive load in primary school children with different levels of anxiety and neuroticism.*

Materials and Methods. *The research sample consisted of 38 primary schoolchildren. The data for this study were collected using the following methods: spectral and temporal analysis of heart rate variability, electrocardiography, bipolar reoencephalography, tonometry and enzyme-linked immunosorbent determination of cortisol in saliva. The levels of anxiety were identified using the CMAS scale adapted by A.M. Prikhozhan. In order to assess the level of neuroticism, the authors applied the Eysenck Personality Questionnaire. The cognitive load involved working with digital Schulte tables.*

Results. *The authors found that the type and intensity of the reaction of the autonomic nervous, cardiovascular and endocrine systems in primary schoolchildren depend on personal characteristics (the level of anxiety and neuroticism). The study revealed that children with medium anxiety and low neuroticism levels showed the most beneficial organism response to cognitive load. The most pronounced and generalized reaction of the organism was indicated among schoolchildren with high levels of anxiety and medium levels of neuroticism. It was revealed that the hyperactivity of the autonomic nervous, cardiovascular and endocrine systems in primary schoolchildren with high levels of anxiety and neuroticism was determined by the initially high level of the studied indicators.*

Conclusions. *The response of the autonomic nervous, cardiovascular and endocrine systems to cognitive load is stressful for primary schoolchildren with increased and high levels of anxiety and neuroticism. In this regard, the authors emphasize the need for psychological and teaching interventions aimed at measuring and treating anxiety disorders in primary school children.*

Keywords

Primary school students; Cognitive load; Personal characteristics; Cardiovascular system; Autonomic nervous regulation of heart rate; Endocrine system; Cerebral circulation.

Acknowledgments

The study was financially supported by the state assignment of Ministry of Education of the Russian Federation Project No. AAAA-A19-119100990088-6.

REFERENCES

1. Alexandrova I. E. Technology to ensure safe for the health of students organization of training in the digital educational environment: Hygienic optimization of the lesson and schedule. *Journal of School Technology*, 2019, no. 2, pp. 45–52. (In Russian) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38583438>
2. Bartosh O. P., Bartosh T. P. The dynamic characteristics of attention in first-graders of northern regions with different level of anxiety. *Russian Journal of Physiology*, 2018, vol. 104 (9), pp. 1039–1048. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869813918090034> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36333273>



3. Bartosh O. P., Bartosh T. P., Mychko M. V. Child anxiety at primary school age observed in different cities of Magadan region. *Pediatric and Adolescent Reproductive Health*, 2020, vol. 16 (3), pp. 5–14. (In Russian) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44050102>
4. Burykh E. A. Correlations between EEG and rheographic indices of cerebral blood flow in children on North-East of Russia. *Russian Journal of Physiology*, 2015, vol. 101 (9), pp. 1066–1078. (In Russian) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24004182>
5. Griбанov A. V., Deputat I. S., Nekhoroshkova A. N., Kozhevnikova I. V., Pankov M. N., Iordanova Y. A., Startseva L. F., Ikonnikova I. V. Psychophysiological characteristics of anxiety and intellectual activity in childhood (review). *Human Ecology*, 2019, no. 9, pp. 50–58. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-9-50-58> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39542853>
6. Klimenko A. V., Percov S. S., Yakovenko I. Y. Relationship between neuroticism level and results of goal-directed behavior in humans as observed in the model of basic endosurgical training. *Human Physiology*, 2019, vol. 45 (6), pp. 68–75. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.1134/S0131164619050047> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?doi=10.1134/S0131164619050047>
7. Kuchma V. R., Tkachuk E. A., Tarmaeva I. Y. Psychophysiological state of children in conditions of informatization of their life activity and intensification of education. *Hygiene and Sanitation*, 2016, vol. 95 (12), pp. 1183–1188. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-12-1183-1188> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28089945>
8. Kuchma V. R., Tkachuk E. A., Shisharina N. V., Podlinyaev O. L. Hygienic evaluation of innovative educational technologies in primary school. *Hygiene and Sanitation*, 2019, vol. 98 (3), pp. 288–293. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-3-288-293> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37241640>
9. Lezareva T. A., Lytaev S. A. On the effectiveness of mechanisms of psychophysiological adaptation in the dynamics of the educational process. *Pediatrician (St. Petersburg)*, 2019, vol. 10 (6), pp. 67–77. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.17816/PED10667-77> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42478529>
10. Pshenichnikova I. I., Shkolnikova M. A., Zaharova I. N., Tvorogova T. M. Adaptation of children to studying in various institutions: The influence of vegetative homeostasis and personal adaptive resources. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*, 2018, vol. 63 (5), pp. 81–91. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-5-81-91> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36376244>
11. Sidorov S. S., Chanchaeva E. A., Ayzman R. I. Cardiovascular system reactivity to physical activity dependence on the cortisol salivary content at children. *Siberian Scientific Medical Journal*, 2018, vol. 38 (6), pp. 130–136. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.15372/SSMJ20180619> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36534248>
12. Chanchaeva E. A., Sidorov S. S., Ostapovich O. V., Aizman R. I. Peculiarities of correlation between cognitive parameters and anxiety and self-assessment levels in year-1 schoolchildren within the polycultural environment. *Science for Education Today*, 2019, vol. 9 (3), pp. 238–253. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.15293/2658-6762.1903.14> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38538218>
13. Shatokhina L. V., Kalashnikova M. M. Age changes of properties of temperament. *Personality in a Changing World: Health, Adaptation, Development*, 2019, vol. 7 (3), pp. 538–548. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.23888/humJ20193538-548> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40380835>



14. Aimie-Salleh N., Malarvili M. B., Whittaker A. C. Fusion of heart rate variability and salivary cortisol for stress response identification based on adverse childhood experience. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 2019, vol. 57 (6), pp. 1229–1245. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11517-019-01958-3>
15. Bibbey A., Carroll D., Roseboom T. J., Phillips A. C., de Rooij S. R. Personality and physiological reactions to acute psychological stress. *International Journal of Psychophysiology*, 2013, vol. 90 (1), pp. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.10.018>
16. Butcher P. R., Heubeck B. G., Welvaert M. Anxiety and verbal learning in typically developing primary school children: Less efficient but equally effective. *British Journal of Educational Psychology*, 2020, vol. 22. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjep.12380>
17. Colzato L. S., Jongkees B. J., de Wit M., van der Molen M. J. W., Steenbergen L. Variable heart rate and a flexible mind: Higher resting-state heart rate variability predicts better task-switching. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 2018, vol. 18 (4), pp. 730–738. DOI: <https://doi.org/10.3758/s13415-018-0600-x>
18. Coyle D. K. T., Howard S., Bibbey A., Gallagher S., Whittaker A. C., Creaven A.-M. Personality, cardiovascular, and cortisol reactions to acute psychological stress in the midlife in the United States (MIDUS) study. *International Journal of Psychophysiology*, 2020, vol. 148 (2), pp. 67–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.11.014>
19. Čukić I., Bates T. C. The association between neuroticism and heart rate variability is not fully explained by cardiovascular disease and depression. *PLoS ONE*, 2015, vol. 10 (5), pp. e0125882. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125882>
20. Evans B. E., Greaves-Lord K., Euser A. S., Tulen J. H. M., Franken I. H. A., Huizink A. C. Determinants of physiological and perceived physiological stress reactivity in children and adolescents. *PLoS ONE*, 2013, vol. 8 (4), pp. e61724. DOI: <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0061724>
21. Evans B. E., Stam J., Huizink A. C., Willems A. M., Weanetberg M., Branje S., Meeus W., Koot H. M., van Lier P. A. C. Neuroticism and extraversion in relation to physiological stress reactivity during adolescence. *Biological Psychology*, 2016, vol. 117 (5), pp. 67–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.03.002>
22. Fiskum C., Andersen T. G., Bornas X., Aslaksen P. M., Flaten M. A., Jacobsen K. Non-linear heart rate variability as a discriminator of internalizing psychopathology and negative affect in children with internalizing problems and healthy controls. *Frontier in Physiology*, 2018, vol. 9, pp. 561. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00561>
23. Friedman H. S. Neuroticism and health as individuals age. *Personality Disorders: Theory, Research and Treatment*, 2019, vol. 10 (1), pp. 25–32. DOI: <https://doi.org/10.1037/per0000274>
24. Gallagher S., O'Riordan A., McMahon G., Creaven A.-M. Evaluating personality as a moderator of the association between life events stress and cardiovascular reactivity to acute stress. *International Journal of Psychophysiology*, 2018, vol. 126 (4), pp. 52–59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.02.009>
25. Giles G. E., Mahoney C. R., Brunye T. T., Taylor H. A., Kanarek R. B. Stress effects on mood, HPA axis, and autonomic response: Comparison of three psychosocial stress paradigms. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9 (12), pp. e113618. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113618>
26. Gordan R., Gwathmey J. K., Xie L. H. Autonomic and endocrine control of cardiovascular function. *World Journal of Cardiology*, 2015, vol. 7 (4), pp. 204–214. DOI: <https://doi.org/10.4330/wjc.v7.i4.204>



27. Hill W. D., Weiss A., Liewald D. C., Davies G., Porteous D. J., Hayward C., McIntosh A. M., Gale C. R., Deary I. J. Genetic contributions to two special factors of neuroticism are associated with affluence, higher intelligence, better health, and longer life. *Molecular Psychiatry*, 2020, vol. 25 (11), pp. 3034–3052. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41380-019-0387-3>
28. Jonassaint C. R., Why Y. P., Bishop G. D., Tong E. M., Diong S. M., Enkelmann H. C., Khader M., Ang J. The effects of neuroticism and extraversion on cardiovascular reactivity during a mental and an emotional stress task. *International Journal of Psychophysiology*, 2009, vol. 74 (3), pp. 274–279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2009.09.012>
29. Iob E., Steptoe A. Cardiovascular disease and hair cortisol: A novel biomarker of chronic stress. *Current Cardiology Reports*, 2019, vol. 21 (10), pp. 116. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11886-019-1208-7>
30. Kapsdorfer D., Hlavacova N., Vondrova D., Argalasova L., Sevcikova L., Jezova D. Neuroendocrine response to school load in prepubertal children: Focus on trait anxiety. *Cellular and Molecular Neurobiology*, 2018, vol. 38 (1), pp. 155–162. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10571-017-0544-7>
31. Nas Z., Riese H., van Roon A. M., Rijdsdijk F. V. Higher anxiety is associated with lower cardiovascular autonomic function in female twins. *Twin Research and Human Genetics*, 2020, vol. 23 (3), pp. 156–164. DOI: <https://doi.org/10.1017/thg.2020.47>
32. Poppelaars E. S., Klackl J., Pletzer B., Wilhelm F. H., Jonas E. Social-evaluative threat: Stress response stages and influences of biological sex and neuroticism. *Psychoneuroendocrinology*, 2019, vol. 109 (11), pp. 104378. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2019.104378>
33. Pulpulos M. M., Vanderhasselt M. F., De Raedt R. Association between changes in heart rate variability during the anticipation of a stressful situation and the stress-induced cortisol response. *Psychoneuroendocrinology*, 2018, vol. 94, pp. 63–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2018.05.004>
34. Reinhard J., Drepper C., Weber H., Schiele M. A., Kneer K., Mittermeier A., Frey L., Reif A., Pauli P., Domschke K., Deckert J., Romanos M. Anxiety risk SNPs on chromosome 2 modulate arousal in children in a fear generalization paradigm. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 2020, vol. 29 (9), pp. 1301–1310. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00787-019-01458-7>
35. Rozenman M., Sturm A., McCracken J. T., Piacentini J. Autonomic arousal in anxious and typically developing youth during a stressor involving error feedback. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 2017, vol. 26 (12), pp. 1423–1432. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007%2Fs00787-017-1001-3>
36. Shepherd D., Mulgrew J., Hautus M. J. Exploring the autonomic correlates of personality. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 2015, vol. 193, pp. 127–131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2015.05.004>
37. Studer-Luethi B., Bauer C., Perrig W. J. Working memory training in children: Effectiveness depends on temperament. *Memory and Cognition*, 2016, vol. 44 (2), pp. 171–186. DOI: <https://doi.org/10.3758/s13421-015-0548-9>
38. Tackett J. L., Smack A. J., Herzhoff K., Reardon K. W., Daoud S., Granic I. Measuring child personality when child personality was not measured: Application of a thin-slice approach. *Personality and Mental Health*, 2017, vol. 11 (1), pp. 4–13. DOI: <https://doi.org/10.1002/pmh.1351>
39. Warghoff A., Persson S., Garmy P., Einberg E.-L. A focus group interview study of the experience of stress amongst school-aged children in Sweden. *International Journal of Environmental*



- Research and Public Health*, 2020, vol. 17 (11), pp. 4021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17114021>
40. Wauthia E., Lefebvre L., Huet K., Blekic W., El Bouragui K., Rossignol M. Examining the hierarchical influences of the big-five dimensions and anxiety sensitivity on anxiety symptoms in children. *Frontiers in Psychology*, 2019, vol. 10, pp. 1185. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01185>

Submitted: 24 November 2020

Accepted: 10 January 2021

Published: 28 February 2021



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