

УДК [612.176.4+612.43]:613.95+373.3

DOI: 10.37482/2687-1491-Z087

АДАПТАЦИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ И ЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ К КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕСТА НА НОУТБУКЕ

А.Н. Шарапов* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6862-8115>

О.Н. Адамовская* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0197-3379>

С.Б. Догадкина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7387-9998>

И.В. Ермакова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7430-4849>

Г.В. Кмить* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3749-9891>

Л.В. Рублева* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0363-2375>

*Институт возрастной физиологии Российской академии образования
(Москва)

Адаптация организма детей к когнитивной деятельности является важной проблемой возрастной физиологии. **Цель** исследования – оценить характер адаптации сердечно-сосудистой и эндокринной систем детей младшего школьного возраста к когнитивной нагрузке при выполнении теста на ноутбуке. **Материалы и методы.** Методами спектрального и временного анализа вариабельности сердечного ритма, электрокардиографии, биполярной реоэнцефалографии, тонометрии и иммуноферментного определения концентрации кортизола в слюне обследовано 32 ребенка младшего школьного возраста (10–11 лет) при выполнении когнитивного задания (таблицы Анфимова) на ноутбуке. Показатели сердечно-сосудистой системы оценивали до и во время теста, слюну собирали до и после когнитивной нагрузки. **Результаты.** У младших школьников процесс краткосрочной адаптации сердечно-сосудистой и вегетативной нервной систем к когнитивной нагрузке происходил благоприятно, без напряжения механизмов регуляции и сопровождался усилением симпатических влияний, увеличением частоты сердечных сокращений, уменьшением интервала RR, повышением тонуса средних и мелких сосудов в затылочных областях головного мозга без изменения показателей, характеризующих интенсивность кровотока. Выявлено два типа реакции эндокринной системы на когнитивную нагрузку: I – повышение концентрации кортизола в слюне, наблюдаемое у 40 % детей; II – понижение уровня данного гормона, характерное для большинства обследованных младших школьников. Полученные результаты показали, что краткосрочная адаптация сердечного ритма, гемодинамических показателей к когнитивной нагрузке у младших школьников имеет благоприятный ха-

Ответственный за переписку: Ермакова Ирина Владимировна, *адрес:* 140009, Московская обл., г. Люберцы, ул. Красногорская, д. 33; *e-mail:* ermek61@mail.ru

Для цитирования: Шарапов А.Н., Адамовская О.Н., Догадкина С.Б., Ермакова И.В., Кмить Г.В., Рублева Л.В. Адаптация сердечно-сосудистой и эндокринной систем младших школьников к когнитивной нагрузке при выполнении теста на ноутбуке // Журн. мед.-биол. исследований. 2022. Т. 10, № 1. С. 24–33. DOI: 10.37482/2687-1491-Z087

рактик. Отличительная особенность детей этого возраста – упреждающая реакция эндокринной системы на воздействие факторов внешней среды, что проявилось в повышении уровня стресс-гормона кортизола до когнитивной нагрузки.

Ключевые слова: дети младшего школьного возраста, адаптация к когнитивной нагрузке, сердечно-сосудистая система, вариабельность сердечного ритма, вегетативная нервная система, кортизол, мозговое кровообращение.

Современный мир характеризуется стремительным развитием и распространением информационных технологий, что приводит к постоянному увеличению числа детей, которые используют компьютер на школьных уроках, для подготовки домашних заданий, а также проводят за ним свободное время. Последствия использования цифровых технологий в настоящее время недостаточно изучены, по всей видимости, многофакторны и могут зависеть от типа используемой компьютерной техники, количества «экранного» времени, а также от физического и психологического состояния ребенка. Все это диктует необходимость более детального и тщательного изучения влияния компьютерных технологий на состояние организма школьников.

Основным видом деятельности младших школьников является учеба, успешность которой во многом зависит от умственной работоспособности, для оценки которой широко применяется корректурная проба по таблицам Анфимова [1–4].

В современной литературе практически отсутствуют данные о реакции сердечно-сосудистой и эндокринной систем ребенка на когнитивную нагрузку, при работе с компьютером, хотя эти системы первыми включаются в процесс адаптации и могут определять его эффективность. В некоторых исследованиях, проведенных в этом направлении, изучались отдельные аспекты адаптивных изменений в сердечно-сосудистой и эндокринной системах [5–10].

Цель исследования – оценить характер адаптации сердечно-сосудистой и эндокринной систем детей младшего школьного возраста к когнитивной нагрузке при выполнении теста на ноутбуке.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 32 учащихся 4-го класса I-II групп здоровья (средний возраст – $10,54 \pm 0,06$ лет; средний рост – $145,65 \pm 0,63$ см; средняя масса тела – $34,00 \pm 0,36$ кг). До начала обследования родители участников дали письменное согласие. Основопологающим принципом исследования было отсутствие риска для здоровья детей, соблюдение гуманных и этических норм согласно Хельсинкской декларации (с изменениями 2013 года).

В качестве когнитивной нагрузки использовали компьютеризированный вариант корректурной пробы по таблицам Анфимова – задание, оценивающее умственную работоспособность и используемое для оценки устойчивости, распределения и переключения внимания у детей и подростков. На экране ноутбука предъявлялась буквенная таблица, при просмотре которой слева направо нужно было находить буквы «В» и «К», отмечая их косой чертой с помощью определенных клавиш клавиатуры. Ноутбук (марки HP), используемый для выполнения когнитивного задания, имел следующие характеристики: разрешение экрана – 1366×768 пикселей; LED-подсветка. Тест выполнялся в течение 5 мин.

Электрокардиограмму (ЭКГ) регистрировали с помощью компьютерного кардиографа «Поли-Спектр-12» («Нейрософт», г. Иваново). Кардиоинтервалограммы изучали методами временного и спектрального анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР). Регистрацию ЭКГ проводили в положении обследуемого сидя до предъявления когнитивного задания (исходное состояние) и на 3-5-й минуте выполнения теста (нагрузка).

Для оценки ВСП использовали показатели временного (стандартное отклонение величин нормальных R-R-интервалов (SDNN, мс); квадратный корень из среднего квадратов разностей величин последовательных пар интервалов N-N (RMSSD, мс); долю последовательных интервалов N-N, различие между которыми превышает 50 мс (pNN50, %), и спектрального (общая мощность спектра (TP, мс²); мощность (%) высокочастотных (HF), низкочастотных (LF) и очень низкочастотных (VLF) колебаний) анализа. Для оценки баланса между симпатической и парасимпатической системами использовали отношение мощностей низкочастотного и высокочастотного диапазонов спектра (коэффициент LF/HF) [11].

Биоэлектрические функции (возбудимость и проводимость) миокарда определяли во II стандартном отведении ЭКГ. Оценивали следующие показатели ЭКГ: длительность сердечного цикла (RR, с); продолжительность предсердно-желудочковой проводимости (PQ, с); длительность электрической систолы желудочков (QT, с); амплитуду зубцов P, R, T (мм).

Состояние центральной гемодинамики оценивали по следующим показателям: систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) артериальное давление, пульсовое давление (ПД), частота сердечных сокращений (ЧСС), ударный (УО) и минутный (МОК) объемы кровообращения. Давление и частоту пульса измеряли с помощью цифрового аппарата AND модели 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: $УО = 80 + 0,5 \cdot ПД - 0,6 \cdot ДАД - 2 \cdot \text{возраст}$. Минутный объем кровообращения рассчитывали по формуле $МОК = УО \cdot ЧСС$.

Оценку мозгового кровообращения проводили методом биполярной реоэнцефалографии (РЭГ), реограммы регистрировали с помощью прибора «Рео-Спектр» («Нейрософт», г. Иваново). Определяли следующие показатели реографического комплекса: реографический индекс (РИ, у. е.) – характеризует величину

пульсового кровенаполнения; время быстрого кровенаполнения (a_1 , с) – отражает состояние тонуса сосудов распределения; время медленного кровенаполнения (a_2 , с) – показывает состояние тонуса сосудов сопротивления; время восходящей части реограммы (a , с) – свидетельствует о состоянии сосудистой стенки; модуль упругости (a/RR , %); дикротический индекс (di , %) – характеризует тонус сосудов мелкого калибра, позволяет судить о периферическом сосудистом сопротивлении; амплитудно-частотный показатель (АЧП, у. е.) – отражает кровоток в единицу времени.

Реакцию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы (ГГНС) оценивали по концентрации кортизола в слюне, которую собирали до и после когнитивной нагрузки. Концентрацию гормона (в нанограммах на миллилитр) определяли на анализаторе Stat Fax 2100 (США), применяемом для иммуноферментного анализа (ИФА), с помощью коммерческих наборов фирмы DRG International, Inc. Пробы до ИФА хранили при температуре -20°C . Анализ выполняли согласно протоколу диагностического набора фирмы-производителя, контрольные показатели не выходили за рамки указанных пределов.

Полученные данные обрабатывали с помощью программы SPSS 23. Вычисляли среднее значение (M) и стандартную ошибку среднего (m). Применяли t -тест Стьюдента для независимых и попарно сопряженных выборок с целью проверки статистических гипотез исследования и корреляционный анализ (коэффициент Пирсона) для оценки тесноты статистической связи между показателями. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. Статистический анализ не выявил половых различий реакции сердечно-сосудистой, вегетативной нервной и эндокринной систем на когнитивную нагрузку (корректирующая проба по таблицам Анфимова), поэтому мальчики и девочки были объединены в одну группу. Данные временного и спектрального анализа ВСП младших школьников представлены в *табл. 1*.

Таблица 1

**ИЗМЕНЕНИЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА
У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ ($n = 32$) ПРИ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКЕ
(тест на ноутбуке), $M \pm m$**
**CHANGES IN HEART RATE VARIABILITY
IN PRIMARY SCHOOL CHILDREN ($n = 32$) UNDER COGNITIVE LOAD
(test on a laptop), $M \pm m$**

Показатель	Исходное состояние	Нагрузка	p
<i>Спектральный анализ</i>			
TP, мс^2	3359,57±331,48	2533,00±192,45	0,001
VLF, %	34,61±2,99	36,06±1,96	0,595
LF, %	35,69±2,05	45,20±1,90	0,000
HF, %	29,57±2,00	18,76±1,08	0,000
LF/HF	1,38±0,12	2,68±0,22	0,000
<i>Временной анализ</i>			
SDNN, мс	45,57±2,46	40,29±1,71	0,000
RMSSD, мс	33,50±3,30	21,67±0,95	0,000
pNN50, %	9,45±1,64	3,68±0,37	0,000

Выполнение когнитивного задания сопровождалось снижением суммарной активности вегетативных воздействий на сердечный ритм (TP), ослаблением парасимпатических воздействий (HF, RMSSD, pNN50) и активацией симпатического отдела вегетативной нервной системы (LF, LF/HF).

Процесс срочной адаптации центральной гемодинамики к когнитивной нагрузке происходил без существенного напряжения (табл. 2). При этом отмечено значительное увеличение ЧСС ($p = 0,000$), снижение ПД ($p = 0,000$) и некоторое снижение УО (на уровне тенденции – $p = 0,055$).

Таблица 2

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ
У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ ($n = 32$) ПРИ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКЕ
(тест на ноутбуке), $M \pm m$**
**CHANGES IN CENTRAL HAEMODYNAMIC PARAMETERS
IN PRIMARY SCHOOL CHILDREN ($n = 32$) UNDER COGNITIVE LOAD
(test on a laptop), $M \pm m$**

Показатель	Исходное состояние	Нагрузка	p
ЧСС, уд/мин	78,4±2,47	85,5±2,05	0,000
САД, мм рт. ст.	94,5±1,20	94,2 ±1,48	0,799
ДАД, мм рт. ст.	60,4±1,72	62,7±1,94	0,208
ПД, мм рт. ст.	34,1±1,49	31,4±1,26	0,000
УО, мл	39,4±1,68	36,7±1,05	0,055
МОК, л/мин	3,1±0,17	3,1±0,12	0,607

Для оценки функционального состояния и адаптационных возможностей миокарда младших школьников методом ЭКГ были изучены основные биоэлектрические функции миокарда при когнитивной нагрузке (табл. 3).

Краткосрочная адаптация мозгового кровообращения к когнитивной нагрузке характеризовалась повышением тонуса средних и мелких сосудов (a_2 , с; a/RR , %) в затылочных областях (см. рисунок), без значимых изменений показателя

Таблица 3

ИЗМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКГ
У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ ($n = 32$) ПРИ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКЕ

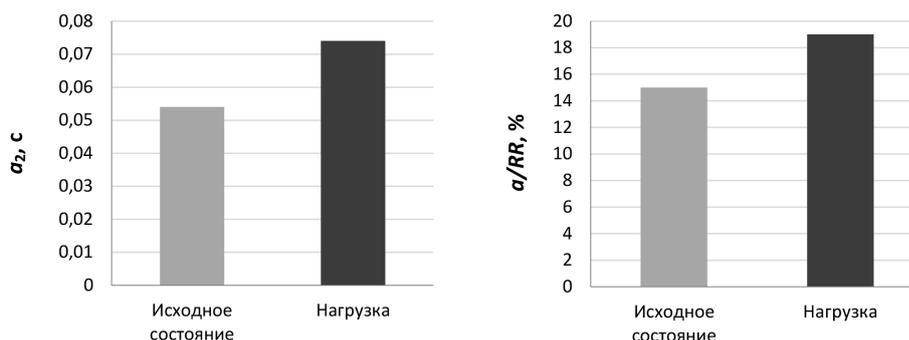
(тест на ноутбуке), $M \pm m$

CHANGES IN KEY BIOELECTRICAL ECG PARAMETERS
IN PRIMARY SCHOOL CHILDREN ($n = 32$)
UNDER COGNITIVE LOAD (test on a laptop), $M \pm m$

Показатель	Исходное состояние	Нагрузка	p
RR, с	0,70±0,016	0,66±0,014	0,01
PQ, с	0,128±0,002	0,127±0,002	0,756
QT, с	0,359±0,003	0,356±0,003	0,673
P, мм	1,14±0,052	1,22±0,061	0,03
R, мм	9,77±0,499	9,85±0,500	0,585
T, мм	3,19±0,162	3,11±0,155	0,659

Адаптация биоэлектрических процессов миокарда характеризовалась снижением продолжительности сердечного цикла (RR) и увеличением амплитуды зубца P во II стандартном отведении. Продолжительность предсердно-желудочковой проводимости (PQ) и электрической систолы (QT) существенно не изменялась.

тепей реоэнцефалограммы в лобных областях головного мозга. Данный тип гемодинамической реакции свидетельствует о перераспределении кровотока в пользу активно работающих областей мозга без существенных изменений суммарного мозгового кровотока за счет механизмов ауторегуляции.



Динамика показателей мозгового кровообращения (затылочное отведение OO_1) у младших школьников при когнитивной нагрузке (тест на ноутбуке): изменения статистически значимы ($p < 0,05$)

Dynamics of cerebral circulation parameters (occipital lead OO_1) in primary school children under cognitive load (test on a laptop): the changes are statistically significant ($p < 0.05$)

При изучении реакции эндокринной системы младших школьников на когнитивную нагрузку установлено, что уровень кортизола до и после теста статистически значимо не различался ($p = 0,410$). В ходе индивидуального анализа динамики концентрации данного гормона выявлено, что после выполнения когнитивного теста (таблицы Анфимова) у 37,50 % детей происходило повышение уровня гормона (на $20,89 \pm 1,98$ %), а у 62,50 % – понижение (на $18,70 \pm 1,25$ %). Реактивность ГГНС, характеризующуюся повышением концентрации кортизола, мы определили как I тип реакции, а характеризующуюся понижением данного показателя – как II тип реакции. При этом уровень кортизола до теста у детей с I типом реакции оказался ниже по сравнению с таковым у детей со II типом, но без статистически значимых различий.

Обсуждение. Динамика ВСР во время какой-либо деятельности, в т. ч. и при умственной нагрузке в ходе выполнения задания на электронных устройствах, отражает адаптивные возможности организма и может служить прогностическим маркером успешности адаптации.

Известно, что характер адаптивных сдвигов сердечно-сосудистой системы при воздействии факторов внешней среды определяется исходным состоянием вегетативной нервной системы. В нашем исследовании у детей 10–11 лет установлен одинаковый вклад высокочастотного (HF), низкочастотного (LF) и очень низкочастотного (VLF) компонентов в регуляцию сердечного ритма (см. *табл. 1*), т. е. ВСР характеризовался сбалансированностью сегментарных (симпатического и парасимпатического) и надсегментарных отделов вегетативной нервной системы (VLF-компонента). Необходимо отметить, что мощность очень низкочастотного компонента значимо не изменялась в ходе когнитивной нагрузки и оставалась довольно высокой (36 %). Роль надсегментарных отделов вегетативной нервной системы (VLF-компонента) в адаптации сердечно-сосудистой системы к воздействию внешних факторов у детей довольно высока: за счет выраженной связи автономных

уровней регуляции с надсегментарными обеспечивается высокий уровень функционирования кровообращения [12]; такой вариант адаптации характерен в большей степени для детей до 14–15 лет [13].

При выполнении когнитивного задания младшими школьниками отмечалось снижение тонуса вегетативной нервной системы, уменьшение парасимпатической активности, усиление симпатических влияний, что согласуется с данными, полученными другими авторами [14–16]. По мнению некоторых ученых, высокая симпатическая активность при выполнении когнитивного задания понижает концентрацию внимания [17], особенно при действии монотонных раздражителей, какими являются буквы таблицы Анфимова.

Необходимо отметить, что у младших школьников при выполнении тестового задания в наибольшей степени изменялись ЧСС (повышалась) и ПД (снижалось), в наименьшей степени – показатели мозговой гемодинамики (повышался тонус сосудов и не изменялись показатели, характеризующие интенсивность кровотока). Выявленные незначительные изменения параметров гемодинамики, видимо, связаны с повышением симпатической активности, а также с медленно реагирующими гуморальными факторами. Некоторые авторы считают, что возрастание ЧСС при умственной работе может быть связано с возбуждением β_1 -адренергических рецепторов симпатического отдела автономной нервной системы [18].

Широко известным физиологическим маркером реакции эндокринной системы на влияние факторов окружающей среды является кортизол. Измерение уровня данного гормона в слюне, а не в крови наиболее приемлемо при исследовании реактивности ГГНС у детей в ходе естественного школьного эксперимента [19, 20]. Примерно у 40 % детей когнитивная нагрузка, выполняемая на ноутбуке, вызвала повышение концентрации кортизола. Аналогичная стресс-реактивность также наблюдается у взрослых лиц при работе на компьютере [10]. У большинства детей отмечалась неудов-

летворительная эндокринная регуляция, которая характеризовалась активацией ГГНС до когнитивной нагрузки. Эта особенность детей младшего школьного возраста проявляется как в ситуации учебного или социального стресса, так и во время профилактического медицинского осмотра [20–22].

Таким образом, проведенное комплексное исследование позволило установить, что у младших школьников процесс краткосрочной адаптации сердечно-сосудистой и вегетативной нервной систем к когнитивной нагрузке происходит благоприятно, без напряжения механизмов регуляции и сопровождается усилением симпатической активности, увеличением ЧСС, уменьшением интервала RR, повышении-

ем тонуса средних и мелких сосудов в затылочных областях головного мозга без изменения показателей, характеризующих интенсивность кровотока. Выявлено два типа реакции эндокринной системы на когнитивную нагрузку: I – повышение концентрации кортизола в слюне, II – понижение уровня данного гормона.

Настоящая работа является начальным этапом продолжающегося проекта и направлена на решение проблем профилактики и коррекции неблагоприятных изменений функционального состояния организма детей и подростков в процессе обучения с использованием компьютерных технологий, повышения их работоспособности и школьной успешности.

Конфликт интересов отсутствует.

Список литературы

1. Криволапчук И.А., Мышьяков В.В., Герасимова А.А., Криволапчук И.И., Кесель С.А., Савушкина Е.В. Умственная работоспособность учащихся начальной школы при разной организации режима физической активности // Сиб. пед. журн. 2019. № 6. С. 140–153. DOI: [10.15293/1813-4718.1906.13](https://doi.org/10.15293/1813-4718.1906.13)
2. Кучма В.Р., Ткачук Е.А., Тармаева И.Ю. Психологическое состояние детей в условиях информатизации их жизнедеятельности и интенсификации образования // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95, № 12. С. 1183–1188. DOI: [10.18821/0016-9900-2016-95-12-1183-1188](https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-12-1183-1188)
3. Сидоренко И.А. Повышение умственной работоспособности у школьников среднего возраста (11–13 лет) средствами хатха-йоги // Науч.-спортив. вестн. Урала и Сибири. 2020. № 1(25). С. 42–46.
4. Чельщикова Т.В., Гречишкина С.С., Аббасова Л.А. Динамика умственной работоспособности младших школьников // Материалы Междунар. науч. конф. «Биосфера и человек» (24–25 октября 2019 г.) / Адыг. гос. ун-т, науч. ред. А.В. Шаханова. Майкоп: ЭлИТ, 2019. С. 416–417. URL: <https://201824.selcdn.ru/elit-110/index.html> (дата обращения: 10.11.2020).
5. Соколов С.А., Подковкин В.Г. Особенности изменений физиологических и биохимических показателей школьников разного пола при работе за компьютером // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2009. Т. 11, № 1-4. С. 773–775.
6. Шарапов А.Н., Безобразова В.Н., Зиненко Е.С., Кмить Г.В. Краткосрочная адаптация сердечно-сосудистой системы детей 5–7 лет к умственной нагрузке // Физиология человека. 2010. Т. 36, № 3. С. 74–81.
7. Догадкина С.Б., Ермакова И.В., Кмить Г.В., Рублева Л.В. Влияние умственной нагрузки, выполняемой на планшете и ноутбуке на сердечно-сосудистую и эндокринную системы детей 9 лет // Новые исследования. 2019. № 2(58). С. 5–22.
8. Cassidy-Bushrow A.E., Johnson D.A., Peters R.M., Burmeister C., Joseph C.L. Time Spent on the Internet and Adolescent Blood Pressure // J. Sch. Nurs. 2015. Vol. 31, № 5. P. 374–384. DOI: [10.1177/1059840514556772](https://doi.org/10.1177/1059840514556772)
9. Celka P., Charlton P.H., Farukh B., Chowienczyk P., Alastruey J. Influence of Mental Stress on the Pulse Wave Features of Photoplethysmograms // Healthc. Technol. Lett. 2019. Vol. 7, № 1. P. 7–12. DOI: [10.1049/htl.2019.0001](https://doi.org/10.1049/htl.2019.0001)
10. Trico D., Fanfani A., Varocchi F., Bernini G. Endocrine and Haemodynamic Stress Responses to an Arithmetic Cognitive Challenge // Neuro Endocrinol. Lett. 2017. Vol. 38, № 3. P. 182–186.
11. van den Berg M., Rijnbeek P.R., Niemeijer M.N., Hofman A., van Herpen G., Bots M.L., Hillege H., Swenne C.A., Eijgelsheim M., Stricker B.H., Kors J.A. Normal Values of Corrected Heart-Rate Variability in 10-Second Electrocardiograms for All Ages // Front. Physiol. 2018. Vol. 9. Art. № 424. DOI: [10.3389/fphys.2018.00424](https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00424)

12. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина, 1997. 236 с.
13. Адамовская О.Н., Ермакова И.В., Сельверова Н.Б. Особенности вегетативной и гормональной реактивности при умственной деятельности у детей и подростков // Физиология человека. 2018. Т. 44, № 5. С. 14–21. DOI: [10.1134/S0131164618050028](https://doi.org/10.1134/S0131164618050028)
14. Castaldo R., Xu W., Melillo P., Pecchia L., Santamaria L., James C. Detection of Mental Stress Due to Oral Academic Examination via Ultra-Short-Term HRV Analysis // Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2016. Vol. 2016. P. 3805–3808. DOI: [10.1109/embc.2016.7591557](https://doi.org/10.1109/embc.2016.7591557)
15. Dimitriev D., Saperova E.V., Dimitriev A., Karpenko Y. Recurrence Quantification Analysis of Heart Rate During Mental Arithmetic Stress in Young Females // Front. Physiol. 2020. Vol. 11. Art. № 40. DOI: [10.3389/fphys.2020.00040](https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00040)
16. Jalilian H., Zamanian Z., Gorjizadeh O., Riaei S., Monazzam M.R., Abdoli-Eramaki M. Autonomic Nervous System Responses to Whole-Body Vibration and Mental Workload: A Pilot Study // Int. J. Occup. Environ. Med. 2019. Vol. 10, № 4. P. 174–184. DOI: [10.15171/ijoem.2019.1688](https://doi.org/10.15171/ijoem.2019.1688)
17. Rudd K.L., Yates T.M. The Implications of Sympathetic and Parasympathetic Regulatory Coordination for Understanding Child Adjustment // Dev. Psychobiol. 2018. Vol. 60, № 8. P. 1023–1036. DOI: [10.1002/dev.21784](https://doi.org/10.1002/dev.21784)
18. Gordan R., Gwathmey J.K., Xie L.-H. Autonomic and Endocrine Control of Cardiovascular Function // World J. Cardiol. 2015. Vol. 7, № 4. P. 204–214. DOI: [10.4330/wjc.v7.i4.204](https://doi.org/10.4330/wjc.v7.i4.204)
19. Dimolareva M., Gee N.R., Pfeffer K., Maréchal L., Pennington K., Meints K. Measuring Cortisol in the Classroom with School-Aged Children – a Systematic Review and Recommendations // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2018. Vol. 15, № 5. Art. № 1025. DOI: [10.3390/ijerph15051025](https://doi.org/10.3390/ijerph15051025)
20. 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. Vol. 38, № 1. P. 155–162. DOI: [10.1007/s10571-017-0544-7](https://doi.org/10.1007/s10571-017-0544-7)
21. Gunnar M.R., Wewerka S., Frenn K., Long J.D., Griggs C. Developmental Changes in Hypothalamus–Pituitary–Adrenal Activity over the Transition to Adolescence: Normative Changes and Associations with Puberty // Dev. Psychopathol. 2009. Vol. 21, № 1. P. 69–85. DOI: [10.1017/s0954579409000054](https://doi.org/10.1017/s0954579409000054)
22. Vlad R., Pop A.M., Olah P., Monea M. The Evaluation of Dental Anxiety in Primary School Children: A Cross-Sectional Study from Romania // Children (Basel). 2020. Vol. 7, № 10. Art. № 158. DOI: [10.3390/children7100158](https://doi.org/10.3390/children7100158)

References

1. Krivolapchuk I.A., Mysh'yakov V.V., Gerasimova A.A., Krivolapchuk I.I., Kesel' S.A., Savushkina E.V. Umstvennaya rabotosposobnost' uchaschikhysya nachal'noy shkoly pri raznoy organizatsii rezhima fizicheskoy aktivnosti [Mental Working Capability of Primary School Pupils at Different Management of Physical Activity Regime]. *Sibirskiy pedagogicheskiy zhurnal*, 2019, no. 6, pp. 140–153. DOI: [10.15293/1813-4718.1906.13](https://doi.org/10.15293/1813-4718.1906.13)
2. Kuchma V.R., Tkachuk E.A., Tarmaeva I.Yu. Psikhofiziologicheskoe sostoyanie detey v usloviyakh informatizatsii ikh zhiznedeyatel'nosti i intensivatsii obrazovaniya [Psychophysiological State of Children in Conditions of Informatization of Their Life Activity and Intensification of Education]. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 12, pp. 1183–1188. DOI: [10.18821/0016-9900-2016-95-12-1183-1188](https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-12-1183-1188)
3. Sidorenko I.A. Povyshenie umstvennoy rabotosposobnosti u shkol'nikov srednego vozrasta (11–13 let) sredstvami khatkha-yogi [Middle-Aged Schoolchildren's (11–13 Years) Mental Performance Improvement by Hatha Yoga Means]. *Nauchno-sportivnyy vestnik Urala i Sibiri*, 2020, no. 1, pp. 42–46.
4. Chelyshkova T.V., Grechishkina S.S., Abbasova L.A. Dinamika umstvennoy rabotosposobnosti mladshikh shkol'nikov [Dynamics of Mental Workability of Younger Schoolchildren]. Shakhanov A.V. (ed.). *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Biosfera i chelovek"* [Proc. Int. Sci. Conf. "Biosphere and Man"]. Maykop, 2019, pp. 416–417. Available at: <https://201824.selcdn.ru/elit-110/index.html> (accessed: 10 November 2020).
5. Sokotun S.A., Podkovkin V.G. Osobennosti izmeneniy fiziologicheskikh i biokhimicheskikh pokazateley shkol'nikov raznogo pola pri rabote za komp'yuterom [Features of Changes of Physiological and Biochemical Parameters of Schoolboys and Schoolgirls at Work Behind the Computer]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2009, vol. 11, no. 1-4, pp. 773–775.

6. Sharapov A.N., Bezobrazova V.N., Zinenko E.S., Kmit' G.V. Short-Term Adaptation of Five- to Seven-Year-Old Children to Mental Load. *Hum. Physiol.*, 2010, vol. 36, no. 3, pp. 312–318.
7. Dogadkina S.B., Ermakova I.V., Kmit' G.V., Rubleva L.V. Vliyanie umstvennoy nagruzki, vypolnyaemoy na planshete i noutbuke na serdechno-sosudistuyu i endokrinnuyu sistemy detey 9 let [Influence of Mental Load During Using a Tablet or a Computer on the Cardiovascular and Endocrine Systems in 9-Year-Old Children]. *Novye issledovaniya*, 2019, no. 2, pp. 5–22.
8. Cassidy-Bushrow A.E., Johnson D.A., Peters R.M., Burmeister C., Joseph C.L. Time Spent on the Internet and Adolescent Blood Pressure. *J. Sch. Nurs.*, 2015, vol. 31, no. 5, pp. 374–384. DOI: [10.1177/1059840514556772](https://doi.org/10.1177/1059840514556772)
9. Celka P., Charlton P.H., Farukh B., Chowienczyk P., Alastruey J. Influence of Mental Stress on the Pulse Wave Features of Photoplethysmograms. *Healthc. Technol. Lett.*, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 7–12. DOI: [10.1049/htl.2019.0001](https://doi.org/10.1049/htl.2019.0001)
10. Trico D., Fanfani A., Varocchi F., Bernini G. Endocrine and Haemodynamic Stress Responses to an Arithmetic Cognitive Challenge. *Neuro Endocrinol. Lett.*, 2017, vol. 38, no. 3, pp. 182–186.
11. van den Berg M.E., Rijnbeek P.R., Niemeijer M.N., Hofman A., van Herpen G., Bots M.L., Hillege H., Swenne C.A., Eijgelsheim M., Stricker B.H., Kors J.A. Normal Values of Corrected Heart-Rate Variability in 10-Second Electrocardiograms for All Ages. *Front. Physiol.*, 2018, vol. 9. Art. no. 424. DOI: [10.3389/fphys.2018.00424](https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00424)
12. Baevskiy R.M., Berseneva A.P. *Otsenka adaptatsionnykh vozmozhnostey organizma i risk razvitiya zabolevaniy* [Assessment of the Body's Adaptive Abilities and the Risk of Developing Diseases]. Moscow, 1997. 236 p.
13. Adamovskaya O.N., Ermakova I.V., Selverova N.B. Features of Autonomic and Hormonal Reactivity During Mental Activity in Children and Teenagers. *Hum. Physiol.*, 2018, vol. 44, no. 5, pp. 503–509. DOI: [10.1134/S036211971805002X](https://doi.org/10.1134/S036211971805002X)
14. Castaldo R., Xu W., Melillo P., Pecchia L., Santamaria L., James C. Detection of Mental Stress Due to Oral Academic Examination via Ultra-Short-Term HRV Analysis. *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, 2016, vol. 2016, pp. 3805–3808. DOI: [10.1109/embc.2016.7591557](https://doi.org/10.1109/embc.2016.7591557)
15. Dimitriev D., Saperova E.V., Dimitriev A., Karpenko Y. Recurrence Quantification Analysis of Heart Rate During Mental Arithmetic Stress in Young Females. *Front. Physiol.*, 2020, vol. 11. Art. no. 40. DOI: [10.3389/fphys.2020.00040](https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00040)
16. Jalilian H., Zamanian Z., Gorjizadeh O., Riaei S., Monazzam M.R., Abdoli-Eramaki M. Autonomic Nervous System Responses to Whole-Body Vibration and Mental Workload: A Pilot Study. *Int. J. Occup. Environ. Med.*, 2019, vol. 10, no. 4, pp. 174–184. DOI: [10.15171/ijoem.2019.1688](https://doi.org/10.15171/ijoem.2019.1688)
17. Rudd K.L., Yates T.M. The Implications of Sympathetic and Parasympathetic Regulatory Coordination for Understanding Child Adjustment. *Dev. Psychobiol.*, 2018, vol. 60, no. 8, pp. 1023–1036. DOI: [10.1002/dev.21784](https://doi.org/10.1002/dev.21784)
18. Gordan R., Gwathmey J.K., Xie L.-H. Autonomic and Endocrine Control of Cardiovascular Function. *World J. Cardiol.*, 2015, vol. 7, no. 4, pp. 204–214. DOI: [10.4330/wjc.v7.i4.204](https://doi.org/10.4330/wjc.v7.i4.204)
19. Dimolareva M., Gee N.R., Pfeffer K., Maréchal L., Pennington K., Meints K. Measuring Cortisol in the Classroom with School-Aged Children – a Systematic Review and Recommendations. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2018, vol. 15, no. 5. Art. no. 1025. DOI: [10.3390/ijerph15051025](https://doi.org/10.3390/ijerph15051025)
20. 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, vol. 38, no. 1, pp. 155–162. DOI: [10.1007/s10571-017-0544-7](https://doi.org/10.1007/s10571-017-0544-7)
21. Gunnar M.R., Wewerka S., Frenn K., Long J.D., Griggs C. Developmental Changes in Hypothalamus–Pituitary–Adrenal Activity over the Transition to Adolescence: Normative Changes and Associations with Puberty. *Dev. Psychopathol.*, 2009, vol. 21, no. 1, pp. 69–85. DOI: [10.1017/s0954579409000054](https://doi.org/10.1017/s0954579409000054)
22. Vlad R., Pop A.M., Olah P., Monea M. The Evaluation of Dental Anxiety in Primary School Children: A Cross-Sectional Study from Romania. *Children (Basel)*, 2020, vol. 7, no. 10. Art. no. 158. DOI: [10.3390/children7100158](https://doi.org/10.3390/children7100158)

DOI: 10.37482/2687-1491-Z087

*Alim N. Sharapov** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6862-8115>
*Oksana N. Adamovskaya** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0197-3379>
*Svetlana B. Dogadkina** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7387-9998>
*Irina V. Ermakova** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7430-4849>
*Galina V. Kmit'** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3749-9891>
*Larisa V. Rubleva** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0363-2375>

*Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of Education
(Moscow, Russian Federation)

ADAPTATION OF THE CARDIOVASCULAR AND ENDOCRINE SYSTEMS OF PRIMARY SCHOOL CHILDREN TO COGNITIVE LOAD WHEN PERFORMING A TEST ON A LAPTOP

Adaptation of children's body to cognitive activity is an important issue for developmental physiology. The **purpose** of this study was to assess the nature of short-term adaptation of the cardiovascular and endocrine systems of primary school children to cognitive load when performing a test on a laptop. **Materials and methods.** Using spectral and temporal analysis of heart rate variability, electrocardiography, bipolar rheoencephalography, tonometry, and enzyme immunoassay to determine cortisol concentrations in saliva, we examined 32 primary school children (10–11 years old) performing a cognitive task (Anfimov's tables) on a laptop. The cardiovascular system parameters were assessed before and during the test, the saliva was collected before and after the cognitive load. **Results.** In primary school children, the process of short-term adaptation of the cardiovascular and autonomic nervous systems to cognitive load was going favourably, without straining the regulation mechanisms, and was accompanied by an increase in sympathetic influences and heart rate, a decrease in the RR interval, and an increase in the tone of medium and small vessels in the occipital regions of the brain without changes in the indicators characterizing blood flow intensity. Two types of reaction of the endocrine system to cognitive load were revealed: 1) an increase in cortisol concentration in the saliva, observed in 40 % of children; 2) a decrease in the level of cortisol, characteristic of the majority of the examined schoolchildren. The obtained results showed that short-term adaptation of heart rate and haemodynamic parameters to cognitive load in primary school children is a problem-free process. A distinctive feature of children of this age is the manifestation of a proactive response of the endocrine system to the effects of environmental factors, which manifested itself in an increase in the level of the stress hormone cortisol before cognitive load.

Keywords: *primary school children, adaptation to cognitive load, cardiovascular system, heart rate variability, autonomic nervous system, cortisol, cerebral circulation.*

Поступила 02.03.2021

Принята 10.11.2021

Received 2 March 2021

Accepted 10 November 2021

Corresponding author: Irina Ermakova, address: ul. Krasnogorskaya 33, Lyubertsy, 140009, Moskovskaya obl., Russian Federation; e-mail: ermek61@mail.ru

For citation: Sharapov A.N., Adamovskaya O.N., Dogadkina S.B., Ermakova I.V., Kmit' G.V., Rubleva L.V. Adaptation of the Cardiovascular and Endocrine Systems of Primary School Children to Cognitive Load When Performing a Test on a Laptop. *Journal of Medical and Biological Research*, 2022, vol. 10, no. 1, pp. 24–33. DOI: 10.37482/2687-1491-Z087