



Научная статья
УДК 612.8:159.91
DOI: 10.37482/2687-1491-Z224

Реактивность нервной системы студенток при когнитивной нагрузке на фоне умственного и физического утомления

Павел Азифович Байгужин* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5092-0943>
Сергей Львович Сашенков** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6007-1041>

*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)
(Челябинск, Россия)

**Южно-Уральский государственный медицинский университет
(Челябинск, Россия)

Аннотация. Соблюдение условно специфических требований учебно-профессиональной деятельности запускает у студентов компенсаторные механизмы, активность которых отражает высокую цену адаптации организма к условиям образовательной среды. **Цель работы** – выявить и сравнить показатели функционального состояния нервной системы у студенток, занимающихся и не занимающихся спортом, при выполнении когнитивной пробы на фоне утомления. **Материалы и методы.** В исследовании добровольно (на основании информированного согласия) приняли участие 23 студентки Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета (13 неспортсменок) и Уральского государственного университета физической культуры (10 гимнасток). Обследование проводилось в межсессионный период (предсоревновательный период у студенток-спортсменок) во второй половине дня на фоне умственного утомления у неспортсменок, умственного и физического утомления у спортсменок. Оценка функционального состояния центральной нервной системы осуществлялась по сенсомоторным показателям; автономной нервной системы – по показателям спектрального анализа variability сердечного ритма. В качестве когнитивной нагрузки использовалось задание, ориентированное на восприятие, обработку и переработку слабоструктурированной информации. **Результаты.** Дополнительная интеллектуальная нагрузка у студенток, не занимающихся спортом, вызывает следующие эффекты: со стороны центральной нервной системы – при стабильных продуктивности труда и точности сенсомоторных реакций отмечается развитие торможения нервных процессов, а со стороны автономной нервной системы – повышение парасимпатической активности. В группе спортсменок относительно низкая продуктивность при выполнении тестов характеризуется стабильной точностью сенсомоторных реакций на фоне снижения суммы времени тормозных реакций и повышением активности симпатического отдела автономной нервной системы.

Ключевые слова: реактивность, автономная нервная система, центральная нервная система, студентки, умственное утомление, физическое утомление, variability сердечного ритма, умственная нагрузка

© Байгужин П.А., Сашенков С.Л., 2025

Ответственный за переписку: Павел Азифович Байгужин, адрес: 454080, г. Челябинск, просп. Ленина, д. 76; e-mail: baiguzhinpa@susu.ru

Для цитирования: Байгузин, П. А. Реактивность нервной системы студенток при когнитивной нагрузке на фоне умственного и физического утомления / П. А. Байгузин, С. Л. Сашенков // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 1. – С. 5-16. – DOI 10.37482/2687-1491-Z224.

Original article

Reactivity of the Nervous System in Female Students Under Cognitive Load at Mental and Physical Fatigue

Pavel A. Baiguzhin* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5092-0943>
Sergey L. Sashenkov** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6007-1041>

*South Ural State University (National Research University)
(Chelyabinsk, Russia)

**South-Urals State Medical University
(Chelyabinsk, Russia)

Abstract. The specific requirements of educational and professional settings trigger compensatory mechanisms in students, being a high cost of adaptation. The **purpose** of this study was to examine the physiological responses of female students (athletes and non-athletes) to cognitive testing under fatigue conditions, with particular focus on the functional parameters of the nervous system. **Materials and methods.** The sample included 23 female students from South-Ural State Humanitarian Pedagogical University (13 non-athletes) and the Urals State University of Physical Culture (10 gymnasts). All subjects provided their informed consent to participate in the study. For non-athletes, examinations were performed during the semester in the afternoons under mental fatigue conditions. For athletes, examinations were performed during the pre-competition period in the afternoons under both mental and physical fatigue conditions. Sensorimotor parameters were used for the functional assessment of the central nervous system. Autonomic nervous system activity was evaluated through spectral analysis of heart rate variability. Weakly structured data was used as a model of cognitive load. **Results.** For non-athletes, stable performance and accurate sensorimotor reactions were recorded, coupled with increased inhibition and enhanced activity of the parasympathetic nervous system. For athletes, relatively low performance and accurate sensorimotor reactions were recorded, accompanied by reduced inhibitory reaction times and increased activity of the sympathetic nervous system.

Keywords: reactivity, autonomic nervous system, central nervous system, female students, mental fatigue, physical fatigue, heart rate variability, cognitive load

For citation: Baiguzhin P.A., Sashenkov S.L. Reactivity of the Nervous System in Female Students Under Cognitive Load at Mental and Physical Fatigue. *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 1, pp. 5–16. DOI: 10.37482/2687-1491-Z224

Corresponding author: Pavel Baiguzhin, address: prosp. Lenina 76, Chelyabinsk, 454080, Russia; e-mail: baiguzhinpa@susu.ru

Очевидно, что выполнение условно специфических требований учебно-профессиональной деятельности запускает у студентов компенсаторные механизмы, активность которых отражает высокую цену адаптации организма к условиям образовательной среды.

Утомление определяется как функциональное состояние человека, проявляющееся в неспецифических изменениях физиологических функций, ряде субъективных ощущений, объединенных ощущением усталости, в результате выполнения интенсивной или длительной работы. При этом субъективно утомление выражается как усталость, которая не всегда синхронизируется с изменениями, протекающими в организме. Такая десинхронизация обусловлена степенью проявления качеств и свойств мотивационно-потребностной и волевой сфер личности [1]. Показано, что высокая умственная работоспособность в большей мере зависит от влияния внешних факторов [2], определяющих исходное состояние биоэлектрической активности головного мозга, чем от индивидуально-типологических особенностей организма [3].

Известно, что уровень физической или умственной работоспособности обусловлен спецификой деятельности, в основе которой различная скорость развития утомления, выраженного в снижении производительности работы. Продуктивность работы определяется степенью нарушений контроля со стороны центральной нервной системы (ЦНС), выражающихся в снижении точности, выносливости, а также силовых, скоростных характеристик на фоне повышения дискоординации и аритмичности движения.

Так, причиной утомления у спортсменов являются угнетение деятельности нервных центров и изменения внутренней среды организма вследствие кислородной недостаточности с дальнейшим развитием гипоксемии, снижением рН крови из-за увеличения содержания лактата [4]. Характер развития утомления у спортсменов зависит от ряда индивидуально-типологических параметров, половозрастных

особенностей и, конечно, квалификации (стажа) и специализации.

При умственном утомлении фиксируются снижение функциональной подвижности нервных процессов и развитие охранительного торможения, дефицит внутреннего координационного торможения в коре головного мозга, нарушение дифференцировок, ухудшение способности к образованию сложных доминант, снижение показателей когнитивных процессов: восприятия, памяти, внимания. Нейрофизиологи и нейропсихологи трактуют умственный труд как результат наиболее сложных комбинаций нервных процессов и гистохимических изменений в нейронах корково-подкорковых образований [5]. При этом системность работы мозга при умственном труде высока, обширна и включает большее количество систем и подсистем, чем при выполнении физических задач [6]. Безусловно, учет психофизиологических параметров, в частности нейродинамических характеристик нервной системы, детерминирующих темпераментальные особенности, в организации форм и методов обучения существенно повышает результативность студентов [7].

Анализ результатов исследований, проведенных за последние 10 лет, показал, что у студентов – представителей умственного труда к концу учебного дня признаки умственного утомления отмечаются в 80 % случаев [8, 9]. Наблюдаются повышение активности парасимпатического и снижение активности симпатического отделов автономной нервной системы (АНС) в регуляции сердечной деятельности [8]. Показано, что умственная работа, наряду с объективными параметрами утомления, вызывает снижение и субъективных показателей – ухудшаются самочувствие и активность [10].

В настоящий момент малоизученными остаются вопросы динамики умственной работоспособности у отдельных групп обучающихся, таких как магистранты, студенты заочной формы обучения, аспиранты [11]. В данном контексте практический интерес вызывают также данные о характере и особенностях развития

утомления, вызванного сочетанной нагрузкой, например физической тренировкой после учебного дня. Не менее значимы результаты изучения физиологических и психофизиологических реакций организма в ответ на дополнительную умственную нагрузку на фоне утомления, которое вызвано физической нагрузкой.

В отечественной литературе подобные исследования немногочисленны и проводятся в рамках концепции «двойной карьеры» [12]. Так, анализ психофизиологических характеристик студентов-спортсменов, обучающихся по стандартному учебному плану, выявил у них к концу учебного года значительные негативные сдвиги функционального уровня ЦНС и адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы на фоне совершенствования общего уровня саморегуляции [13]. Оценка временных параметров сенсомоторных реакций продемонстрировала относительно сниженный уровень функционального состояния ЦНС у студенток-спортсменок. Наличие ошибочных действий в ходе реализации психомоторных функций на фоне преобладания процессов торможения указывает на рост энтропии и развитие состояния утомления у студенток, сочетающих учебную и спортивную деятельность [12].

Работы зарубежных авторов, в которых изучены эффекты взаимодействия физического и умственного труда, достаточно многочисленны [14–16]. Исследователи в рамках нейрофизиологической теории утомления предполагают, что усталость, вызванная физической работой, может более эффективно устраняться во время отвлекающих периодов когнитивной деятельности, чем при пассивном отдыхе [16].

Следует отметить, что изучение механизмов утомления (равно как и восстановления) выходит далеко за рамки физиологии. Многоаспектность данного феномена оправдывает интерес со стороны целого ряда научных дисциплин.

Цель работы – выявить и сравнить показатели функционального состояния нервной системы у студенток (спортсменок и неспортсменок) при выполнении когнитивной пробы на фоне утомления.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 23 девушки, давшие добровольное информированное согласие. Испытуемые были разделены на группы: 1) студентки Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета (направление подготовки «Биология»), не занимающиеся спортом ($n = 13$; возраст $20,6 \pm 1,1$ года); 2) студентки Уральского государственного университета физической культуры, занимающиеся спортивной гимнастикой и имеющие квалификации кандидат в мастера спорта и мастер спорта ($n = 10$; возраст $19,8 \pm 1,4$ года). Всем участницам было рекомендовано в течение 24 ч до начала эксперимента воздерживаться от приема психоактивных веществ (алкоголя, кофеина), от приема пищи – в течение 2 ч. Критерием включения в выборку являлось отсутствие сердечно-сосудистых или неврологических заболеваний на момент обследования; критерием исключения – предменструальная фаза овариально-менструального цикла (информация получена со слов испытуемых).

Обследование неспортсменок проводилось в межсессионный период (март) во второй половине дня (16–17 ч.) на фоне умственного утомления (после 8-часовых учебных аудиторных занятий: лекционных, практических); обследование спортсменок проходило в аналогичных условиях, но после дополнительной физической нагрузки – тренировочного занятия (предсоревновательный период подготовки). Эксперимент соответствовал этическим принципам Хельсинкской декларации (редакция 2013 года).

В качестве когнитивной пробы использовалась модель интеллектуальной нагрузки – задание, ориентированное на восприятие, обработку и переработку слабоструктурированной информации. В основе предложенной модели лежит комбинаторика букв – процедура составления слов по элементарным правилам словообразования. Каждая буква алфавита имеет свою ценность, выраженную в баллах (например, «А» – 1 балл, «Б» – 3 балла и т. п.). Оценка осуществлялась по следующим пока-

зателям: количество составленных слов; количество ошибок (в т. ч. повторов и несуществующих слов); количество баллов, рассчитанных из букв, составляющих новое слово; продуктивность работы (отношение количества баллов ко времени выполнения когнитивной пробы). В рамках обследования когнитивная проба была применена дважды: первый этап (10 мин) – задание выполнялось по инструкции, второй (10 мин) – аналогично, но с предложением испытуемым дополнительной релевантной информации, учет которой позволял увеличить количество баллов, а значит, и продуктивность работы [17].

Функциональное состояние ЦНС, в частности свойства нервных процессов, оценивалось с помощью тестов «Простая зрительно-моторная реакция» – ПЗМР (показатели: среднее время реакции, мс; среднеквадратичное отклонение времени реакции, мс; коэффициент точности Уиппла, у. е.) и «Реакция на движущийся объект» – РДО (показатели: среднее время реакции, мс; среднеквадратичное отклонение времени реакции, мс; число точных реакций, опережений и запаздываний; сумма времени опережений и запаздываний, мс; баланс торможения и возбуждения, %), реализованных на сертифицированном аппаратно-программном комплексе «НС-Психотест» («Нейрософт», г. Иваново, Россия). Функциональное состояние АНС, в т. ч. и вегетативная регуляция деятельности организма при выполнении когнитивной пробы, оценивалось по результатам спектрального анализа variability ритма сердца (эпоха – 300 с) с вычислением ряда показателей: частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин); общей мощности спектра (TP, мс²); высокочастотного и низкочастотного компонентов мощности спектра (HF и LF, мс²); очень низкочастотного компонента мощности спектра (VLF, мс²), их относительных величин (%HF и %LF), в т. ч. выраженных в нормализованных единицах (HF_{norm} и LF_{norm}), а также их соотношения (LF/HF, у. е.). Регистрация ЭКГ проводилась во втором стандартном отведении на компьютерном электрокардиографе «Поли-Спектр-8» («Нейрософт»,

г. Иваново, Россия) в положении сидя. Анализу подвергались эпохи ритмограммы с 5-й по 10-ю минуту (вторая половина первого этапа когнитивной пробы) и с 15-й по 20-ю минуту (вторая половина второго этапа когнитивной пробы).

Статистическая обработка данных осуществлялась в программе SPSS Statistics 23.0. Для проверки статистической значимости полученных результатов использовались непараметрический Z-критерий Уилкоксона (внутригрупповые сравнения) и U-критерий Манна–Уитни (межгрупповые сравнения). Критический уровень значимости (*p*) при проверке нулевых гипотез принимался равным 0,05. Результаты в таблицах представлены в виде медианы, 1-го и 3-го квартилей, соответствующих 25-му и 75-му центилю, – *Me* [*Q*₁; *Q*₃].

Результаты. При выполнении когнитивной пробы установлена относительно низкая продуктивность работы в группе спортсменок (*U* = 20; *Z* = -2,79; *p* = 0,005) при сравнительно малой вариабельности значений этого показателя (табл. 1, см. с. 10). Инструкция выполнения второго этапа тестирования предусматривала решение задачи с релевантной информацией, что выражено в практически одинаковом объеме выполненной работы у студенток сравниваемых групп.

При этом в группе спортсменок низкое качество работы выражено в меньшем количестве набранных баллов (*U* = 22; *Z* = -1,67; *p* = 0,008) на фоне сравнительно большего числа ошибочных действий (*U* = 38,5; *Z* = -1,66; *p* = 0,096). Когнитивные механизмы, обеспечивающие результативность решения комбинаторных задач, у спортсменок, пребывающих в состоянии утомления, вызванного физической нагрузкой, реализуются неэффективно.

В результате предварительного обследования были выявлены межгрупповые различия медианных значений среднеквадратичного отклонения времени реакции в тесте ПЗМР (*U* = 32; *Z* = -2,050; *p* = 0,041), указывающие на относительно низкую стабильность (высокую вариабельность) сенсомоторных реакций в группе

Таблица 1

Умственная работоспособность студенток, занимающихся и не занимающихся спортом, после выполнения этапов когнитивной пробы, $Me [Q_1; Q_3]$
 Mental performance in female students engaged and not engaged in sports, after completing the stages of the cognitive test, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	Первый этап		Второй этап	
	Неспортсменки	Спортсменки	Неспортсменки	Спортсменки
Количество слов	43,0 [37,0; 47,0]	26,0 ⁺⁺ [24,0; 37,0]	41,0* [37,0; 51,0]	38,0** [32,0; 42,3]
Количество ошибок	2,0 [0; 7,0]	1,5 [1,0; 5,0]	1,0 [0; 2,0]	4,0 [3,0; 6,5]
Количество баллов	208,0 [153,0; 247,0]	126,5 ⁺⁺ [118,6; 174,8]	234,0** [201,0; 272,0]	189,0 ^{++*} [148,8; 197,3]
Продуктивность работы, у. е.	32,9 [16,5; 40,5]	11,3 ⁺⁺ [9,8; 16,3]	39,6** [30,1; 53,2]	21,7 ^{+++*} [15,1; 31,3]

Примечание. Установлены статистически значимые различия: *, ** – внутригрупповые при $p \leq 0,05$ и $p \leq 0,01$ соответственно; ++ – межгрупповые при $p \leq 0,01$.

спортсменок (табл. 2). Данную особенность следует рассматривать как признак развития утомления, вызванного физической нагрузкой (тренировкой). После выполнения когнитивной пробы рассматриваемый показатель в сравниваемых группах стабилизировался.

У студенток, не занимающихся спортом, после когнитивной пробы наблюдалось снижение коэффициента точности Уиппла ($Z = -1,801$; $p = 0,07$), что отражает активацию механизмов мобилизации когнитивных функций. В группе спортсменок при сохранении среднего времени реакции снижалась вариабельность временных характеристик (размах) сенсомоторных реакций, что применительно к тесту ПЗМР может свидетельствовать о повышении концентрации внимания.

Однако анализ данных теста РДО выявил ряд особенностей, указывающих на признаки энергодефицитного состояния у студенток-неспортсменок. Изменение показателей после нагрузки говорит о том, что в сравниваемых группах число точных реакций имело тенденцию к увеличению. На это указывает снижение медиан среднеквадратичного отклонения

времени реакции: на 17,9 % у спортсменок и на 10,5 % – у неспортсменок ($p > 0,05$). Кроме того, количество запаздывающих реакций, характеризующих тормозные процессы, в группе неспортсменок после выполнения когнитивной пробы увеличилось вдвое, что сопровождалось также повышением суммы времени запаздываний на 57,6 % на фоне снижения суммы времени опережений на 38,4 % (см. табл. 2). В группе спортсменок при сохраняющемся числе запаздываний, напротив, отмечалось снижение суммы времени исследуемых реакций на 33,2 %. Таким образом, у неспортсменок наблюдалась неуравновешенность процессов в сторону преобладания торможения, на что указывает изменение баланса торможения и возбуждения ($Z = -2,411$; $p = 0,016$).

При оценке изменения функционального состояния АНС акцент был сделан на межгрупповых различиях показателей спектрального анализа вариабельности сердечного ритма у студенток сравниваемых групп до нагрузки (табл. 3, см. с. 12). На данном этапе медиана ТР была в 2 раза меньше в группе студенток-

Таблица 2

**Психофизиологические показатели студенток, занимающихся и не занимающихся спортом,
до и после выполнения когнитивной пробы, $Me [Q_1; Q_3]$**
**Psychophysiological parameters of female students engaged and not engaged in sports,
before and after the cognitive test, $Me [Q_1; Q_3]$**

Показатель	Тестирование до нагрузки		Тестирование после нагрузки	
	Неспортсменки	Спортсменки	Неспортсменки	Спортсменки
<i>Простая зрительно-моторная реакция</i>				
Среднее время реакции, мс	207,07 [197,07; 210,23]	204,63 [199,64; 207,75]	216,60 [195,62; 222,67]	205,80 [199,93; 210,47]
Среднеквадратичное отклонение времени реакции, мс	32,99 [27,41; 40,16]	45,83 ⁺ [33,25; 51,84]	36,05 [27,55; 43,56]	38,62 [29,37; 43,29]
Коэффициент точности Уиппла, у. е.	1,00 [1,00; 1,00]	1,00 [0,95; 1,00]	0,97 [0,94; 1,00]	1,00 [0,94; 1,00]
<i>Реакция на движущийся объект</i>				
Среднее время реакции, мс	-7,0 [-24,0; 12,0]	8,0 [-12,3; 21,5]	4,0 [-15,0; 27,0]	8,0 [0,8; 18,0]
Среднеквадратичное отклонение времени реакции, мс	57,0 [48,0; 126,0]	58,5 [50,0; 67,0]	51,0 [45,0; 140,0]	48,0 [40,8; 55,8]
Число точных реакций	16,0 [15,0; 20,0]	15,5 [15,0; 18,0]	17,0 [15,0; 20,0]	17,5 [16,0; 21,0]
Число опережений	6,0 [5,0; 10,0]	6,0 [3,3; 8,8]	4,0 [3,0; 6,0]	5,0 [3,3; 6,0]
Число запаздываний	4,0 [3,0; 10,0]	7,5 [5,3; 8,8]	8,0 [4,0; 10,0]	7,0 [3,5; 8,0]
Сумма времени опережений, мс	-472,0 [-960,0; -375,0]	-419,5 [-769,5; -235,8]	-291,0 [-940,0; -202,0]	-346,5 [-374,0; -206,8]
Сумма времени запаздываний, мс	309,0 [195,0; 710,0]	699,5 [352,8; 854,3]	487,0 [299,0; 952,0]	467,0 [283,5; 664,8]
Баланс торможения и возбуждения, %	-25,0 [-50,0; 29,0]	3,50 [-23,5; 39,0]	29,0* [-14,0; 58,0]	12,5 [-28,3; 37,3]

Примечание. Установлены статистически значимые различия: * – внутригрупповые при $p \leq 0,05$; + – межгрупповые при $p \leq 0,05$.

спортсменок, чем в группе сравнения ($U = 33$, $Z = -1,985$; $p = 0,047$). Зафиксированы относительно высокие абсолютные значения VLF у студенток-неспортсменок ($U = 34$, $Z = -1,923$; $p = 0,055$). Выявленные особенности указывают на специфику утомления у лиц сравниваемых групп.

Анализ межгрупповых различий исследуемых показателей после выполнения когнитивной пробы выявил ряд особенностей – изменений в механизмах регуляции АНС студентов (см. табл. 3). Так, HF у неспортсменок превышал в 2,5 раза таковой показатель у спортсменок ($U = 29$, $Z = -2,233$;

Таблица 3

Показатели спектрального анализа variability сердечного ритма у студенток, занимающихся и не занимающихся спортом, до и после выполнения когнитивной пробы, $Me [Q_1; Q_3]$
 Spectral analysis parameters of heart rate variability in female students engaged and not engaged in sports, before and after the cognitive test, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	Тестирование до нагрузки		Тестирование после нагрузки	
	Неспортсменки	Спортсменки	Неспортсменки	Спортсменки
TP, мс ²	4250,0 [2870,0; 7042,0]	2025,0 ⁺ [1417,5; 2828,8]	3474,0 [2313,0; 4928,0]	3350,0 [1900,0; 3814,0]
HF, мс ²	1004,0 [360,0; 1920,0]	519,0 [519,0; 344,0]	1170,0 [686,0; 2120,0]	470,5 ⁺ [197,3; 893,8]
LF, мс ²	1104,0 [846,0; 1593,0]	814,0 [500,8; 978,8]	887,0 [822,0; 1241,0]	1297,5 [768,3; 1729,0]
VLF, мс ²	1979,0 [786,0; 2897,0]	535,5 ⁺ [487,0; 1023,5]	1590,0 [937,0; 1982,0]	1102,0 [854,3; 1384,5]
HF _{norm} , у. е.	45,2 [35,4; 51,6]	43,1 [23,1; 52,8]	58,0** [48,3; 72,0]	26,9*** [17,9; 35,4]
LF _{norm} , у. е.	54,8 [48,4; 64,6]	56,9 [47,2; 76,9]	42,0** [28,0; 51,7]	73,2*** [64,7; 82,1]
LF/HF	1,2 [0,9; 1,8]	1,3 [0,9; 3,4]	0,7** [0,40; 1,1]	2,8*** [1,8; 4,6]
%HF	23,8 [19,8; 34,1]	26,0 [13,1; 37,2]	36,0** [30,4; 43,0]	14,5**** [10,6; 24,3]
%LF	29,9 [25,3; 39,1]	37,1 [28,3; 47,1]	28,0 [19,0; 29,6]	44,7** [31,2; 45,2]
%VLF	34,4 [27,4; 49,1]	33,4 [23,5; 44,5]	35,4 [29,6; 49,1]	43,1 [29,8; 47,3]
ЧСС, уд/мин	73,0 [69,0; 82,0]	81,4 [72,8; 90,4]	67,0** [63,0; 76,0]	83,5 ⁺ [72,1; 90,6]

Примечание. Установлены статистически значимые различия: *, ** – внутригрупповые при $p \leq 0,05$ и $p \leq 0,01$ соответственно; +, ++ – межгрупповые при $p \leq 0,05$ и $p \leq 0,005$ соответственно.

$p = 0,026$); выраженная ваготоническая реакция у студенток первой группы отражалась в изменении ряда показателей (HF_{norm}, %HF, ЧСС) и отличалась, например, в соотношении LF/HF ($U = 14, Z = -3,163; p = 0,002$).

Оценка внутригрупповых различий, отражающих степень влияния интеллектуальной нагрузки на регуляторные механизмы АНС, позволила установить специфичность вегетативных реакций у студенток сравниваемых

групп, пребывающих в состоянии сниженной работоспособности, вызванном умственной (неспортсменки) и сочетанной (спортсменки) нагрузкой.

Так, у неспортсменок в 1,7 раза снизился показатель LF/HF ($Z = -3,040; p = 0,002$) на фоне увеличения HF_{norm} ($Z = -2,760; p = 0,006$), %HF ($Z = -2,341; p = 0,019$) и снижения LF_{norm} ($Z = -2,760; p = 0,006$). У спортсменок, напротив, наблюдался противоположный эффект –

снизились %HF ($Z = -2,701$; $p = 0,007$) и HF_{norm} ($Z = -2,191$; $p = 0,028$) на фоне повышения LF_{norm} ($Z = -2,191$; $p = 0,028$). На правах тенденции отмечался также прирост абсолютного и относительного вклада в общую мощность спектра гуморально-метаболического компонента: VLF – в 2 раза ($Z = -1,682$; $p = 0,093$); %VLF – на 29,0 % ($Z = -1,682$; $p = 0,093$).

Обсуждение. Таким образом, характеризуя изменение исследуемых показателей функционального состояния ЦНС и АНС, можно заключить, что дополнительная интеллектуальная нагрузка для сравниваемых групп студенток вызывает следующие эффекты: со стороны ЦНС у студенток, не занимающихся спортом, при стабильной точности сенсомоторных реакций отмечается развитие торможения нервных процессов, а со стороны АНС – повышение парасимпатической активности. При этом качество работы и ее продуктивность в целом удовлетворительные. В группе спортсменок относительно низкая продуктивность при выполнении когнитивной пробы характеризуется оптимальными показателями функционального состояния ЦНС (стабильная точность сенсомоторных реакций на фоне снижения суммы времени тормозных реакций), а реактивность АНС – повышением симпатической активности регуляторных механизмов.

На фоне умственного утомления использование релевантной информации как способа активации когнитивной деятельности дает кратковременный эффект повышения качественно-количественных показателей умственной работоспособности (рост объема и продуктивности при увеличении количества ошибок). Нейродинамические эффекты, выраженные в повышении инертности нервных процессов, параллельно развивают гипердаптивное состояние АНС с включением в механизм регуляции сердечного ритма гуморально-метаболического компонента, парасимпатического кардиоингибиторного центра продолговатого мозга.

При выполнении гимнастических упражнений утомление развивается вследствие снижения пропускной способности мозга и функционального состояния мышц (уменьшаются их сила и возбудимость, снижаются скорости сокращения и расслабления) [4]. Особенности гимнастических упражнений, многократного повторения их связок, наглядно отражают эффекты сочетания профессионально значимых физических и когнитивных задач. Одновременное решение физических и когнитивных задач рассматривается как неблагоприятный фактор с точки зрения эффективности деятельности, что проявляется в снижении показателей координации на фоне повышения утомляемости и производительности труда [15].

Полученные нами данные указывают на возможность применения когнитивной деятельности как способа сокращения времени восстановления после утомления, вызванного физической нагрузкой.

В целом мы солидарны с мнением А.А. Артеменкова о том, что нормирование физиологической активности студентов, ее соотношение с зонами активности [2], подбор вариантов сочетания физической и умственной нагрузок позволяют минимизировать риски возникновения неблагоприятных функциональных состояний, приводящих к перенапряжению, переутомлению и дезадаптации.

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы:

1. Установлена различная по степени реактивность ЦНС и АНС, выраженная в эффектах от выполнения дополнительной интеллектуальной работы на фоне умственного утомления, вызванного воздействием учебной нагрузки у студенток, не занимающихся спортом, и утомления, вызванного сочетанным воздействием учебной и тренировочной, – у студенток-спортсменок.

2. Для оценки реактивности АНС и ЦНС в указанных условиях целесообразно использо-

вать нормализованные и относительные показатели спектрального анализа variability сердечного ритма, суммы времени опережающих и запаздывающих реакций, а также интегральный показатель «баланс торможения и возбуждения» в тесте РДО.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Байгужин П.А., Наумова К.А. Реактивность автономной нервной системы у лиц с различной мотивацией к выполнению функциональной нагрузки // Психология. Психофизиология. 2021. Т. 14, № 2. С. 96–107.
2. Артеменков А.А. Работоспособность и утомление у лиц умственного труда: понятие о зонах активности человека // Медицина труда и экология человека. 2020. № 1(21). С. 20–35.
3. Яценко М.В., Кайгородова Н.З. Индивидуальные особенности устойчивых и неустойчивых параметров ЭЭГ в контексте их взаимосвязи с показателями умственной работоспособности // Психолог. 2017. № 2. С. 9–18. <https://doi.org/10.7256/2409-8701.2017.2.22372>
4. Солодков А.С. Особенности утомления и восстановления спортсменов // Уч. зап. ун-та им. П.Ф. Лесгафта. 2013. № 6(100). С. 131–143.
5. Uyas K.S., Stratton T.D., Soares N.S. Sources of Medical Student Stress // Educ. Health (Abingdon). 2017. Vol. 30, № 3. P. 232–235. https://doi.org/10.4103/efh.efh_54_16
6. Barrett M., Georgoff P., Matusko N., Leininger L., Reddy R.M., Sandhu G., Hughes D.T. The Effects of Feedback Fatigue and Sex Disparities in Medical Student Feedback Assessed Using a Minute Feedback System // J. Surg. Educ. 2018. Vol. 75, № 5. P. 1245–1249. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2018.02.019>
7. Ильин Е.П. Типологические особенности проявления свойств нервной системы // Психология спорта в терминах, понятиях, междисциплинарных связях. М.: Нац. гос. ун-т физ. культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, 1996. 450 с.
8. Частоедова И.А., Спицин А.П., Новожилова Ю.А. Особенности проявлений умственного утомления у студентов младших курсов медицинского вуза // Вят. мед. вестн. 2019. № 4(64). С. 26–30.
9. Куулар А.С. Исследование умственной работоспособности студентов Тувинского государственного университета // Вестн. Тувин. гос. ун-та. № 2 Естеств. и с.-х. науки. 2015. № 2(25). С. 44–48.
10. Пучкова А.Н., Ткаченко О.Н., Дорохов В.Б. Экспериментальная модель исследования умственного утомления и адаптивной функции дневного сна для восстановления работоспособности // Эксперим. психология. 2013. Т. 6, № 1. С. 48–60.
11. Жукова О.В., Поцелуев Н.Ю., Шульц К.В., Нагорняк А.С., Швед О.И. Гигиеническая оценка работоспособности студентов при различных режимах обучения // Азимут науч. исследований: педагогика и психология. 2021. Т. 10, № 3(36). С. 317–320. <https://doi.org/10.26140/anip-2021-1003-0080>
12. Байгужин П.А., Макунина О.А., Шибкова Д.З. Нейродинамические маркеры в прогнозе психофизиологической надежности организма у молодежи, реализующей учебную и спортивную деятельность // Ресурсы жизнеспособности и стрессоустойчивости соврем. человека: психол., психофизиол., нейробиол., пед. аспекты. Челябинск: Полиграф-Мастер, 2021. С. 4–19.
13. Макунина О.А., Харина И.Ф. Психофизиологические характеристики студентов-спортсменов в условиях «двойной карьеры» // Психология. Психофизиология. 2022. Т. 15, № 4. С. 94–105.
14. Singh S., Aghazadeh F., Ray T.G. Interaction of Physical and Mental Work // Int. J. Occup. Saf. Ergon. 2002. Vol. 8, № 4. P. 451–463. <https://doi.org/10.1080/10803548.2002.11076547>
15. Mixer S., Mathiassen S.E., Jahncke H., Hygge S., Lyskov E., Hallman D.M., Lewis C. Effects of Combining Occupationally Relevant Physical and Cognitive Tasks. A Systematic Review // Ann. Work Expo. Health. 2023. Vol. 67, № 3. P. 303–319. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxac082>

16. Mathiassen S.E., Hallman D.M., Lyskov E., Hygge S. Can Cognitive Activities During Breaks in Repetitive Manual Work Accelerate Recovery from Fatigue? A Controlled Experiment // PLoS One. 2014. Vol. 9, № 11. Art. № e112090. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112090>

17. Байгузин П.А. Изменения функционального состояния нервной системы при обработке релевантной информации // Уч. зап. Крым. федер. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2022. Т. 8, № 4. С. 3–12.

References

1. Baiguzhin P.A., Naumova K.A. Reactivity of the Autonomic Nervous System in Persons with Different Levels of Motivation for Exercise. *Psychol. Psychophysiol.*, 2021, vol. 14, no. 2, pp. 96–107 (in Russ.).

2. Artemenkov A.A. Efficiency and Deplicence in Persons of Mental Work: The Concept About Zones of Human Activity. *Occup. Health Hum. Ecol.*, 2020, no. 1, pp. 20–35 (in Russ.).

3. Yatsenko M.V., Kaygorodova N.Z. Individual'nye osobennosti ustoychivykh i neustoychivykh parametrov EEG v kontekste ikh vzaimosvyazi s pokazatelyami umstvennoy rabotosposobnosti [Individual Characteristics of Stable and Unstable EEG Parameters in the Context of Their Relationship with the Parameters of Cognitive Performance]. *Psikholog*, 2017, no. 2, pp. 9–18. <https://doi.org/10.7256/2409-8701.2017.2.22372>

4. Solodkov A.S. Osobennosti utomleniya i vosstanovleniya sportsmenov [Features of Fatigue and Restoration of the Athletes]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2013, no. 6, pp. 131–143.

5. Vyas K.S., Stratton T.D., Soares N.S. Sources of Medical Student Stress. *Educ. Health (Abingdon)*, 2017, vol. 30, no. 3, pp. 232–235. https://doi.org/10.4103/efh.efh_54_16

6. Barrett M., Georgoff P., Matusko N., Leininger L., Reddy R.M., Sandhu G., Hughes D.T. The Effects of Feedback Fatigue and Sex Disparities in Medical Student Feedback Assessed Using a Minute Feedback System. *J. Surg. Educ.*, 2018, vol. 75, no. 5, pp. 1245–1249. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2018.02.019>

7. Il'in E.P. Tipologicheskie osobennosti proyavleniya svoystv nervnoy sistemy [Typological Features of Manifestation of Properties of the Nervous System]. *Psikhologiya sporta v terminakh, ponyatiyakh, mezhdistsiplinarnykh svyazyakh* [Sport Psychology in Terms, Concepts and Interdisciplinary Connections]. Moscow, 1996. 450 p.

8. Chastodova I.A., Spitsin A.P., Novozhilova Yu.A. Osobennosti proyavleniy umstvennogo utomleniya u studentov mladshikh kursov meditsinskogo vuza [Peculiarities of Manifestation of Mental Fatigue in Junior Students of Medical University]. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*, 2019, no. 4, pp. 26–30.

9. Kuular A.S. Issledovanie umstvennoy rabotosposobnosti studentov Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta [Study of Students' Mental Health in the Tuvan State University]. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. No. 2 Estestvennye i sel'skokhozyaystvennye nauki*, 2015, no. 2, pp. 44–48.

10. Puchkova A.N., Tkachenko O.N., Dorokhov V.B. Eksperimental'naya model' issledovaniya umstvennogo utomleniya i adaptivnoy funktsii dnevnogo sna dlya vosstanovleniya rabotosposobnosti [Experimental Model Aimed to Study Mental Fatigue and Adaptive Function of a Daytime Nap for Restoration of Operational Capability]. *Eksperimental'naya psikhologiya*, 2013, vol. 6, no. 1, pp. 48–60.

11. Zhukova O.V., Potseluev N.Yu., Shul'ts K.V., Nagorniyak A.S., Shved O.I. Gigienicheskaya otsenka rabotosposobnosti studentov pri razlichnykh rezhimakh obucheniya [Hygienic Assessment of the Performance of Students at Different Modes of Training]. *Azimuth nauchnykh issledovaniy: pedagogika i psikhologiya*, 2021, vol. 10, no. 3, pp. 317–320. <https://doi.org/10.26140/anip-2021-1003-0080>

12. Bayguzhin P.A., Makunina O.A., Shibkova D.Z. Neyrodinamicheskie markery v prognoze psikhofiziologicheskoy nadezhnosti organizma u molodezhi, realizuyushchey uchebnuyu i sportivnuyu deyatel'nost' [Neurodynamic Markers in Predicting the Body's Psychophysiological Reliability in Young People Engaged in Educational and Sports Activities]. *Resursy zhiznesposobnosti i stressoustoychivosti sovremennogo cheloveka: psikhologicheskie, psikhofiziologicheskie, neyrobiologicheskie, pedagogicheskie aspekty* [Resources of Viability and Stress Resistance of a Modern Person: Psychological, Psychophysiological, Neurobiological, and Pedagogical Aspects]. Chelyabinsk, 2021, pp. 4–19.

13. Makunina O.A., Kharina I.F. Psychophysiological Characteristics of University Students in Dual Career Conditions. *Psychol. Psychophysiol.*, 2022, vol. 15, pp. 94–105 (in Russ.).

14. Singh S., Aghazadeh F., Ray T.G. Interaction of Physical and Mental Work. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, 2002, vol. 8, no. 4, pp. 451–463. <https://doi.org/10.1080/10803548.2002.11076547>

15. Mixter S., Mathiassen S.E., Jahncke H., Hygge S., Lyskov E., Hallman D.M., Lewis C. Effects of Combining Occupationally Relevant Physical and Cognitive Tasks. A Systematic Review. *Ann. Work Expo. Health*, 2023, vol. 67, no. 3, pp. 303–319. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxac082>

16. Mathiassen S.E., Hallman D.M., Lyskov E., Hygge S. Can Cognitive Activities During Breaks in Repetitive Manual Work Accelerate Recovery from Fatigue? A Controlled Experiment. *PLoS One*, 2014, vol. 9, no. 11. Art. no. e112090. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112090>

17. Bayguzhin P.A. Izmeneniya funktsional'nogo sostoyaniya nervnoy sistemy pri obrabotke relevantnoy informatsii [Changes in the Functional State of the Nervous System During the Processing of Relevant Information]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*, 2022, vol. 8, no. 4, pp. 3–12.

*Поступила в редакцию 10.10.2023 / Одобрена после рецензирования 27.07.2024 / Принята к публикации 01.11.2024.
Submitted 10 October 2023 / Approved after reviewing 27 July 2024 / Accepted for publication 1 November 2024.*