

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

Биология. Химия. Том 8 (74). 2022. № 4. С. 3–12.

**УДК 612.8**

## ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЛЕВАНТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

*Байгузин П. А.*

*Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия  
E-mail: baiguzhinpa@susu.ru*

Исследована реактивность вегетативной нервной системы и функционального состояния ЦНС у студенток в условиях выполнения на фоне утомления дополнительной информационной пробы, предложенной в виде модели интеллектуальной нагрузки (МИНа). Представлены результаты корреляционного анализа показателей, характеризующих реактивность указанных функциональных систем у 30-ти студенток. Выполнение интеллектуальной нагрузки с предложенной релевантной информацией характеризуется кратковременным повышением качественно-количественных параметров МИНа, ростом гипердаптивного состояния вегетативной нервной системы с включением в механизм регуляции сердечного ритма гуморально-метаболического компонента, развитием инертности нервных процессов. Определены перспективы исследования.

**Ключевые слова:** умственное утомление, модель интеллектуальной нагрузки, студентки, релевантная информация, реактивность, функциональное состояние, вариабельность сердечного ритма, вегетативная нервная система, корреляционный анализ.

### ВВЕДЕНИЕ

Условия труда современных школьников и студентов характеризуются высокой напряженностью преимущественно, за счет интеллектуальных процессов в условиях повышенных сенсорных нагрузок и с позиций физиолого-гигиенической оценки, являются вредными [1, 2]. Адаптивное преимущество процесса обучения зависит от способности обучающегося адекватно воспринимать актуальную и точную информацию. Навигация в пресыщенной перцептивной среде, формирование и проявление адекватного поведения требуют постоянного анализа и выбора, дифференциации релевантной и нерелевантной информации. При этом, ведущим механизмом селекции информации и реактивности организма, процессов постановки цели, саморегуляции, а также координации мышления и действий, является тормозный контроль [3].

Актуальной является оценка вегетативного обеспечения – реактивности [4, 5] и функционального состояния ЦНС у студентов в условиях выполнения интеллектуальной нагрузки [6, 7].

Известно, что произвольная когнитивная деятельность поддерживается физиологическими процессами, опосредованными вегетативной нервной системой (ВНС). Так, особенности variability сердечного ритма (ВСР) служат надежными маркерами качества связи между параметрами выполнения умственной нагрузки и соответствующими физиологическими событиями [8]. Изменение временных и спектральных составляющих сердечного ритма при когнитивной нагрузке свидетельствуют о перестройке нейрогуморальной регуляции сердечного ритма в сторону надсегментарных, в том числе гипофизарно-гипоталамических и кортикальных влияний [6, 9].

Целое направление исследований демонстрирует связь ВСР с когнитивными функциями: такими как память, когнитивный контроль и внимание [10, 11]. Внимание определяют в том числе, как способность дифференцировать релевантную и нерелевантную информацию, минимизировать и исключить воздействие т.н. «сбивающих» или отвлекающих стимулов [12].

Однако востребованными являются результаты исследований межсистемной организации (регуляции) и обеспечения продуктивности умственной работы на фоне развития когнитивного утомления. Значимы исследования компенсаторных механизмов утомления как комплекса динамических неблагоприятных изменений нейронной активности сетей, связанных с обработкой информации.

Цель исследования – выявить особенности взаимосвязи нейродинамических параметров и показателей ВСР у студенток в ходе решения комбинаторной задачи с использованием релевантной информации.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Исследование проведено в межсессионный период, во второй половине дня, на фоне умственного утомления (после 8-часовых учебных аудиторных занятий: лекций, практических). На основании добровольного информированного согласия, обследовано 30 студенток, средний возраст которых составил 20,4 лет (SD 1,54). Участникам рекомендовано воздерживаться от психоактивных веществ (алкоголя, кофеина) в течение 24 часов, приема пищи в течение двух часов и интенсивных физических упражнений в течение шести часов до начала обследования. Критерием включения являлось отсутствие на момент обследования у участников сердечно-сосудистых или неврологических заболеваний.

С помощью пробы «Простая зрительно-моторная реакция» (ПЗМР), реализованной на сертифицированном аппаратно-программном комплексе «НС-Психотест», оценивали интегральные показатели функционального состояния ЦНС: функциональный уровень системы (ФУС), устойчивость реакции (УР) и уровень функциональных возможностей (УФВ), зарекомендовавшие себя как информативные и чувствительные показатели [13].

Вегетативная регуляция деятельности организма при выполнении модели интеллектуальной нагрузки оценивалась в результате спектрального анализа variability ритма сердца (эпоха 300 с) с вычислением ряда показателей: частоты сердечных сокращений, уд/мин (ЧСС); общей мощности спектра, мс<sup>2</sup> (ТР); высокочастотного и низкочастотного компонентов мощности спектра, Гц/мс<sup>2</sup> (HF и

LF); очень низкочастотного компонента мощности спектра, Гц/мс<sup>2</sup> (VLF), их относительных величин (%), а также LF/HF. Регистрацию ЭКГ проводили во втором стандартном отведении на компьютерном электрокардиографе – Поли-Спектр-8 в положении сидя.

В качестве когнитивной, информационной пробы предлагалось задание – модель интеллектуальной нагрузки (МИНа), ориентированное на восприятие, обработку и переработку слабоструктурированной информации [14]. В основе предложенной модели – комбинаторика букв – процедура составления слов по элементарным правилам «словообразования».

Оценивали следующие показатели: количество составленных слов; количество ошибок (в том числе повторов и «несуществующих» слов); количество баллов, рассчитанных из букв, составляющих новое слово; продуктивность работы. В рамках обследования, МИНа была реализована в ее двукратном последовательном выполнении: первая часть (10 мин) – выполняется по инструкции, вторая (10 мин) – с предложением испытуемым дополнительной релевантной информации, учет которой позволял увеличить количество баллов, вероятно, и продуктивность работы.

Для проверки статистической значимости полученных результатов использовали непараметрический статистический Т-критерий Уилкоксона. Взаимосвязь между количественными признаками определяли с помощью корреляционного анализа по Спирмену. Критическое значение уровня статистической значимости при проверке нулевых гипотез принималось равным 0,05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Использование испытуемым дополнительной релевантной информации при выполнении второй части МИНа значительно увеличило количество выполненной работы на 9,83 % ( $p = 0,002$ ), баллов за выполненный объем – на 16,15 % ( $p < 0,001$ ), продуктивность работы – на 35,95 % ( $p = 0,001$ ).

Эффект увеличения количественных и качественных характеристик умственной работы вследствие учета релевантной информации объясняется запуском сформированного ранее стереотипа, заключающегося в автоматизации внутри- и межсистемной организации реакций, поведения. Так, очевидно, активируются специфические для данной модальности релевантной информации сенсорные и моторные информационные каналы, обеспечивающие адекватный ответ. В частности, соответствующие области коры больших полушарий активируются из таламуса, в его релейных ядрах переключается афферентация от органов чувств. Передачу информации контролирует ретикулярное ядро таламуса, которое, в свою очередь, находится под двойным контролем: возбуждающим – со стороны префронтальной коры и тормозным – со стороны неостриатума [15]. Предвосхищение, селекция внимания и соответствующее сенсомоторное реагирование как эффекты получения релевантной информации, осуществляются в нейронных модулях таламокортикальной системы, в частности – в таламокортикальной ячейке [16]. Ретикулярное ядро таламуса, получая сигналы от

коры и других ядер таламуса выполняет функцию внутриталамического регулятора. При этом, тормозное действие ретикулярных ядер таламуса пресекает активность, формируя в коре прерывистое, стробированное представление исходного сенсорного сигнала [17].

В целом, характер интеллектуальной нагрузки, предъявляемой обследованным в ходе выполнения второй части МИНа отражается в однонаправленном приросте среднего значения VLF-компонента при стабильных значениях TP – общей мощности спектра сердечного ритма. Такое развитие гипердаптивного состояния [18] сопровождается значимым приростом числа ошибок в тесте «Простая зрительно-моторная реакция» ( $Z = -2,066$  при  $p = 0,039$ ). Выявлен прирост интегральных показателей функционального состояния ЦНС (ФУС, УР и УФВ), что свидетельствует о мотивированном отношении испытуемых к выполнению пробы – «включенности в деятельность».

Корреляционный анализ показателей, полученных в первой и второй части МИНа, выявил ряд особенностей формирования и развития функциональной системы, обеспечивающей эффективность восприятия, обработки и переработки слабоструктурированной информации, в том числе с предъявлением релевантной информации во второй части МИНа.

Так, в первой части МИНа обнаружена значимая обратная взаимосвязь абсолютного показателя VLF с количеством составленных слов ( $r_s = -0,460$  при  $p = 0,041$ ) и с количеством ошибочных действий ( $r_s = -0,507$  при  $p = 0,022$ ), в том числе с количеством «несуществующих» слов ( $r_s = -0,436$  при  $p = 0,055$ ). Примечательно, что количество ошибок при выполнении первой части МИНа коррелирует со средним значением латентного периода ПЗМР ( $r_s = -0,487$  при  $p = 0,03$ ) и со среднеквадратичным отклонением ПЗМР ( $r_s = -0,445$  при  $p = 0,049$ ).

Количество «несуществующих» слов пропорционально показателю ФУС ( $r_s = 0,450$  при  $p = 0,046$ ). Выявленные взаимосвязи указывают на выполнение задания на относительно высокой скорости, снижающей качество работы за счет частого совершения ошибочных действий, в частности частых конструкторов «несуществующих» слов.

Теоретическую значимость имеет взаимосвязь ФУС и HF-компонента ( $r_s = 0,464$  при  $p = 0,039$ ). Известно, что повышение вагусного влияния на сердце отражает ориентировочно-исполнительное взаимодействие параметров сформированной функциональной системы [19]. Подобные характеристики интеллектуальной деятельности соответствуют импульсивному когнитивному стилю. Указанная взаимосвязь, отражающая активацию парасимпатического отдела автономной нервной системы, свидетельствует о развитии утомления [9, 20].

Во второй части МИНа выявлена значимая отрицательная связь показателя относительного VLF (доли компонента в общей мощности спектра ВРС) с количеством ошибочных действий ( $r_s = -0,459$  при  $p = 0,042$ ). Специфичность корреляционной плеяды исследуемых показателей заключается в закреплении их функциональных связей, что отражается на стабилизации функционального состояния ЦНС. Использование дополнительной релевантной информации во второй части МИНа усугубляет развитие гипердаптивного состояния автономной

нервной системы у испытуемых. Констатировали снижение импульсивности, которое характеризовалось увеличением вклада симпатического отдела нервной системы, на что указывает связь ЧСС и количества ошибочных действий ( $r_s = -0,397$  при  $p = 0,083$ ). Корреляционная плеяда отличается наличием связи показателя LF/HF с числом пропусков сигнала в тесте «ПЗМР» ( $r_s = 0,325$  при  $p = 0,162$ ), а также с латентным периодом ПЗМР ( $r_s = 0,348$  при  $p = 0,132$ ).

Таким образом, особенности межсистемных взаимосвязей (ВНС и ЦНС) при выполнении на фоне общего умственного утомления дополнительной интеллектуальной нагрузки с заданной релевантной информацией характеризуется кратковременным повышением качественно-количественных параметров МИНа. Реактивность ВНС, выраженная в росте гипердаптивного ее состояния (прирост VLF-компонента) указывает на стремительное развитие утомления. Последнее выражено в проявлении роста ошибочных действий, как при выполнении когнитивной задачи (прирост повторов и количества несуществующих слов), так и при выполнении сенсомоторного теста «ПЗМР». Имеются данные, что на фоне умственного утомления в ситуации вызванной необходимостью решения задач, регистрируется активация отделов лобной доли мозга как механизм компенсации вызванных утомлением нарушений в нейросети, связанной с задачей. Однако, эта компенсация прекращается по мере дальнейшего прогрессирования когнитивной усталости [21].

Ранее нами было установлено, что обработка слабоструктурированной информации инициирует формирование функциональной системы, реализующей определенный вариант реактивности ЦНС. Так, например, различное соотношение уровней функциональной подвижности нервных процессов и точности сенсомоторных реакций детерминирует последовательность развертывания реакций мобилизации или готовности [13].

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На фоне умственного утомления использование релевантной информации как способа активации когнитивной деятельности, дает кратковременный эффект повышения качественно-количественных показателей умственной работоспособности (повышение объема и продуктивности при увеличении количества ошибок). Однако параллельно развивается выраженное гипердаптивное состояние ВНС с включением в механизм регуляции сердечного ритма гуморально-метаболического компонента, а также отмечаются нейродинамические эффекты, выраженные в повышении инертности нервных процессов.

Полученные результаты важны для понимания индивидуальных различий в когнитивной утомляемости и разработке способов регуляции состояний, связанных с утомлением. В работе [22] показано, что снижение вариабельности сердечного ритма прямо пропорционально снижению когнитивной функции независимо от возраста и пола и, по мнению авторов, является ранним индикатором нарушения симпатовагального баланса.

Выявленные в настоящем исследовании корреляционные связи между вариабельностью сердечного ритма и интегральными показателями

функционального состояния ЦНС, на наш взгляд, требуют дальнейшего изучения и обоснования с позиций учета параметров профессиональной деятельности обследуемого. Перспективным считаем направление исследования механизмов развития утомления при сочетанном воздействии учебно-тренировочных факторов студентов-спортсменов. Среди которых, в частности, спортивная специализация и квалификация, стаж тренировочно-соревновательной деятельности, уровень саморегуляции и спортивной мотивации, мотивации к выполнению умственной нагрузки [23, 24] и специфичность информационных проб [25].

### Список литературы

1. Байгужин П. А. Гигиеническая оценка напряженности умственного труда студентов в ситуации тестирования теоретической подготовленности / П. А. Байгужин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. – 2011. – № 39 (256). – С. 16–18.
2. Гигиеническая оценка напряженности учебной деятельности обучающихся 5-10 классов общеобразовательных школ / В. Р. Кучма, Н. В. Ефимова, Е. А. Ткачук, И. В. Мыльникова // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 6. – С. 552–558. – DOI: 10.18821/0016-99002016-95-6-552-558.
3. Разумникова О. М. Взаимосвязь факторов тормозного контроля, успешности обучения и сохранения здоровья студентов в условиях стрессовых нагрузок образовательного процесса / О. М. Разумникова, Н. В. Асанова // Экология человека. – 2019. – № 12. – С. 46–52. – DOI: 10.33396/1728-0869-2019-12-46-52
4. Ведясова О. А. Влияние информационной нагрузки на динамику спектральных параметров вариабельности сердечного ритма у студентов с разными хронотипами / О. А. Ведясова, С. И. Павленко, И. Г. Кротова, М. В. Комарова // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2016. – Т. 102, № 8. – С. 990–1001.
5. Spangler D. P. Unraveling the cognitive correlates of heart rate variability with the drift diffusion model / D. P. Spangler, X. Yang, B. J. Weidler, J. F. Thayer, J. J. McGinley // International Journal of Psychophysiology. – 2022. – Vol. 181. – P. 73–84. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2022.08.003.
6. Игнатова Ю. П. Психофизиологические и некоторые функциональные маркеры умственной нагрузки у юношей / Ю. П. Игнатова, И. И. Макарова, А. В. Аксенова // Физиология человека. – 2018. – Т. 44, № 4. – С. 26–31. – DOI: 10.1134/S0131164618040057.
7. Связь периодических модуляций сердечного ритма с уровнем активности сенсомоторной коры / К. И. Павлов, В. Н. Мухин, А. В. Сырцев, А. Н. Архимчук, Н. М. Андиева, М. И. Петренко // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2020. – Т. 106, № 2. – С. 205–223. – DOI: 10.31857/S0869813920020089.
8. Shaffer F. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability / F. Shaffer, R. McCraty, C. L. Zerr // Frontiers in Psychology. – 2014. – Vol. 5. – 1040. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.01040.
9. Matuz A. Enhanced cardiac vagal tone in mental fatigue: Analysis of heart rate variability in Time-on-Task, recovery, and reactivity / A. Matuz, D. van der Linden, Z. Kisander, I. Hernádi, K. Kázmér, Á. Csathó // PLoS One. – 2021. – Vol. 16 (3). – e0238670. – DOI: 10.1371/journal.pone.0238670.
10. Kuch B. Short-period heart rate variability in the general population as compared to patients with acute myocardial infarction from the same source population / B. Kuch, T. Parvanov, H. W. Hense, J. Axmann, H. D. Bolte // Annals of Noninvasive Electrocardiology. – 2004. – Vol. 9 (2). – P. 113–120. – DOI: 10.1111/j.1542-474X.2004.92523.x.
11. Муртазина Е. П. Вариабельность кардиоритма и ее связь с результативностью последующей зрительно-моторной деятельности / Е. П. Муртазина // Физиология человека. – 2015. – Т. 41, № 2. – С. 29–37. – DOI: 10.7868/S0131164615020149.

12. Gillie B. L. Heart rate variability predicts control over memory retrieval / B. L. Gillie, M. W. Vasey, J. F. Thayer // *Psychological Science*. – 2014. – Vol. 25 (2). – P. 458–465. – DOI: 10.1177/0956797613508789.
13. Байгужин П. А. Функциональное состояние центральной нервной системы при воздействии слабоструктурированной информации / П. А. Байгужин, Д. З. Шибкова // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2017. – Т. 17, № 5. – С. 32–42. – DOI: 10.14529/hsm17s04.
14. Байгужин П. А. Лингвистическая комбинаторика в основе моделирования информационного стресса / П. А. Байгужин // *Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды: Материалы VII Международной научно-практической конференции*. – Челябинск: ЮУрГГПУ. – 2018. – С. 376–379.
15. Brunia C. H. The crossroads of anticipatory attention and motor preparation / C. H. Brunia // *Acta Neuropsychiatrica*. – 1997. – Vol. 9 (3). – P. 116–123. – DOI: 10.1017/S0924270800034669.
16. Coulter D. A. Thalamocortical anatomy and physiology / D. A. Coulter. In: Engel J. Jr., Pedley T. A. (ed.). *Epilepsy: a comprehensive textbook*. – Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2007. – P. 353–366.
17. Применение феноменологической математической модели для воспроизведения эффекта взаимодействия эндогенных и экзогенных осцилляций при нейробиоуправлении / И. В. Нуйдель, А. В. Колосов, В. А. Демарева, В. Г. Яхно. // *Современные технологии в медицине*. – 2019. – Т. 11, № 1. – С. 103. – DOI: 10.17691/stm2019.11.1.12
18. Флейшман А. Н. Сложная структура и нелинейное поведение very low frequency варибельности ритма сердца: модели анализа и практические приложения / А. Н. Флейшман, Т. В. Кораблина, С. А. Петровский, И. Д. Мартынов // *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика*. – 2014. – Т. 22, № 1. – С. 55–70.
19. Sørensen L. A psychophysiological investigation of the interplay between orienting and executive control during stimulus conflict: A heart rate variability study II / L. Sørensen, S. Wass, B. Osnes, E. Schanche, S. Adolfsdottir, J. L. Svendsen, E. Visted, T. Eilertsen, D. A. Jensen, H. Nordby, O. B. Fasmer, P.-E. Binder, J. Koenig, E. Sonuga-Barke // *Physiology & Behavior*. – 2019. – Vol. 211. – 112657. – DOI: 10.1016/j.physbeh.2019.112657.
20. Van Cutsem J. A drop in cognitive performance, whodunit? Subjective mental fatigue, brain deactivation or increased parasympathetic activity? It's complicated! / J. Van Cutsem, P. Van Schuerbeek, N. Pattyn, H. Raeymaekers, J. De Mey, R. Meeusen, B. Roelands // *Cortex*. – 2022. – Vol. 155. – P. 30–45. – DOI: 10.1016/j.cortex.2022.06.006
21. Yang B. Mental fatigue impairs pre-attentive processing: a MMN study / B. Yang, W. Xiao, X. Liu, S. Wu, D. Miao // *Neuroscience Letters*. – 2013. – Vol. 532. – P. 12–16. – DOI: 10.1016/j.neulet.2012.08.080.
22. Hilgarter K. Phasic heart rate variability and the association with cognitive performance: A cross-sectional study in a healthy population setting / K. Hilgarter, K. Schmid-Zalaudek, R. Csanády-Leitner, M. Mörtl, A. Rössler, H. K. Lackner // *PLoS One*. – 2021. – Vol. 16 (3). – e0246968. – DOI: 10.1371/journal.pone.0246968.
23. Herlambang M. B. The role of motivation as a factor in mental fatigue / M. B. Herlambang, N. A. Taatgen, F. Cnossen // *Human Factors*. – 2019. – Vol. 61 (7). – P. 1171–1185. – DOI: 10.1177/0018720819828569.
24. Байгужин П. А. Реактивность автономной нервной системы у лиц с различной мотивацией к выполнению функциональной нагрузки / П. А. Байгужин, К. А. Наумова // *Психология. Психофизиология*. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 96–107. – DOI: 10.14529/jpps210210.
25. Tanaka M. Effect of mental fatigue on the central nervous system: an electroencephalography study / M. Tanaka, Y. Shigihara, A. Ishii, M. Funakura, E. Kanai, Y. Watanabe // *Behavioral and Brain Functions*. – 2012. – Vol. 8 (48). – DOI: 10.1186/1744-9081-8-48.

**CHANGES IN THE FUNCTIONAL STATE OF THE NERVOUS SYSTEM  
DURING THE PROCESSING OF RELEVANT INFORMATION**

*Baiguzhin P. A.*

*South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia  
E-mail: baiguzhinpa@susu.ru*

Academic performance is associated with extensive stress, mainly provoked by cognitive processes under increased sensory load. The adaptive advantage of learning depends on the ability to adequately perceive relevant and accurate information. Situationally adequate behavior requires constant analysis and selection, as well as differentiation of relevant and irrelevant information.

The study of intersystem regulation and mental productivity under cognitive fatigue is of special relevance nowadays.

The study aims to identify the features of the relationship between neurodynamic parameters and heart rate variability (HRV) in female university students during cognitive task performance associated with the use of relevant information.

Materials and methods. The study was conducted in the out of exam period, at the end of the working day. Prior to the study, voluntary informed consent was obtained from all participants. The study involved 30 female students. The central nervous system and its performance were studied by means of the simple hand-eye coordination test. Autonomic regulation under cognitive load was assessed with HRV spectral analysis.

A model of cognitive load was used as a cognitive task aimed at perceiving, processing, and interpreting semi-structured information. The model is based on scrambled words (compiling words according to the elementary rules of word formation). Cognitive performance was also assessed. The model was used twice: the first part (10 min) was associated with instructed performance, the second (10 min) with the use of additional relevant information, which contributed to performance enhancement.

The relationship between quantitative traits was assessed with the Spearman rank correlation.

Results. The use of additional relevant information in the second part of the cognitive task increased the amount of work performed by 9.83 %, the assessment score – by 16.15 %, productivity – by 35.95 %. The nature of cognitive load during the second part of the task was associated with the increased VLF component and stable total HRV power. Such a development of a hyperadaptive state was accompanied by a significant increase in the number of errors in the hand-eye coordination test.

The correlation analysis of the data obtained in the first and second parts of the model demonstrated a number of features of the functional system. The first part of the model: the results obtained indicate that the task was completed at a relatively high speed associated with the increased number of errors. The relationship between the functional stability of the system and the HF component is significant.

The second part of the model: a significant negative relationship was found between the relative VLF and the number of errors. The use of additional relevant information in the second part of the model aggravates the hyperadaptive state of the autonomic system.



Conclusion. The use of relevant information as a way of activating cognitive activity provides a short-term effect on the qualitative and quantitative parameters of cognitive performance. However, a pronounced hyperadaptive state of the autonomic system develops with the inclusion of the humoral and metabolic components into heart rate regulation. Moreover, neurodynamic effects were noted to be associated with the increased inertia of nervous processes. The prospects for the development of the topic are proposed.

**Keywords:** mental fatigue, intellectual load model, students, relevant information, reactivity, functional state, heart rate variability, autonomic nervous system, correlation analysis.

### References

1. Baiguzhin P. A. Hygienic estimation of intensity brainwork of students in the situation of testing of theoretical readiness. *Bulletin of South Ural State University. Series "Education, Healthcare, Physical Education"*, **39(256)**, 16 (2011).
2. Kuchma V. R., Efimova N. V., Tkachuk E. A., Mylnikova I. V. Hygienic assessment of the overwroughtness of educational activity in schoolchildren of 5-10 classes of secondary schools. *Hygiene and Sanitation*, **95(6)**, 552 (2016). DOI: 10.18821/0016-99002016-95-6-552-558.
3. Razumnikova O. M., Asanova N. V. Relationship between inhibition control factors, successful training and health of students in the conditions of stress loads of the educational process. *Human Ecology*, **12**, 46 (2019). DOI: 10.33396/1728-0869-2019-12-46-52.
4. Vedyasova O. A., Pavlenko S. I., Kretova I. G., Komarova M. V. The influence of information load on the timecourse of spectral parameters of heart rate variability in students with different chronotypes. *Russian Journal of Physiology*, **102(8)**, 990 (2016).
5. Spangler D. P., Yang X., Weidler B. J., Thayer J. F., McGinley J. J. Unraveling the cognitive correlates of heart rate variability with the drift diffusion model. *International Journal of Psychophysiology*. 181. 73–84. (2022). DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2022.08.003.
6. Ignatova Yu. P., Makarova I. I., Aksenova A. V. Psychophysiological and some functional markers of mental workload in young men. *Human Physiology*, **44(4)**, 26 (2018). DOI: 10.1134/S0131164618040057.
7. Pavlov K. I., Mukhin V. N., Syrtsev A. V., Archimuk A. N., Andieva N. M., Petrenko M. I. Association between periodic modulations of the heart rate and sensorimotor cortex activation. *Russian Journal of Physiology*, **106(2)**, 205 (2020). DOI: 10.31857/S0869813920020089.
8. Shaffer F., McCraty R., Zerr C. L. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology*, **5**, 1040 (2014). DOI: 10.3389/fpsyg.2014.01040.
9. Matuz A., van der Linden D., Kisander Z., Hernádi I., Kázmér K., Csathó Á. Enhanced cardiac vagal tone in mental fatigue: Analysis of heart rate variability in Time-on-Task, recovery, and reactivity. *PLoS One*, **16(3)**, e0238670 (2021). DOI: 10.1371/journal.pone.0238670.
10. Kuch B., Parvanov T., Hense H. W., Axmann J., Bolte H. D. Short-period heart rate variability in the general population as compared to patients with acute myocardial infarction from the same source population. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, **9(2)**, 113 (2004). DOI: 10.1111/j.1542-474X.2004.92523.x.
11. Murtazina E. P. Heart rate variability during reading instruction and its interrelationship with effectiveness of subsequent visual-motor activities. *Human Physiology*, **41(2)**, 29 (2015). DOI: 10.7868/S0131164615020149.
12. Gillie B. L., Vasey M. W., Thayer J. F. Heart rate variability predicts control over memory retrieval. *Psychological Science*, **25(2)**, 458 (2014). DOI: 10.1177/0956797613508789.
13. Baiguzhin P. A., Shibkova D. Z. Functional condition of the central nervous system under the influence of weakly structured information. *Human. Sport. Medicine*, **17(S)**, 32 (2017). DOI: 10.14529/hsm17s04.

14. Baiguzhin P. A. *Linguistic combinatorics at the heart of information stress modeling*. Adaptation of biological systems to natural and extreme environmental factors: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference (Publ. house YUrGGPU, Chelyabinsk, 2018), 376 pp.
15. Brunia C. H. The crossroads of anticipatory attention and motor preparation. *Acta Neuropsychiatrica*, **9(3)**, 116 (1997). DOI: 10.1017/S0924270800034669.
16. Coulter D. A. Thalamocortical anatomy and physiology. In: Engel J. Jr., Pedley T.A. (ed.). *Epilepsy: a comprehensive textbook*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2007, 353 pp.
17. Nuidel I. V., Kolosov A. V., Demareva V. A., Yakhno V. G. Using a phenomenological mathematical model to reproduce the interaction of endogenous and exogenous oscillations under neurocontrol. *Modern Technologies in Medicine*, **11(1)**, 103 (2019). DOI: 10.17691/stm2019.11.1.12
18. Fleishman A. N., Korablina T. V., Petrovskii S. A., Martynov I. D. Complex structure and nonlinear behavior of very low frequency of heart rate variability: model of analysis, and practical applications. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*, **22(1)**, 55 (2014).
19. Sørensen L., Wass S., Osnes B., Schanche E., Adolfsdottir S., Svendsen J. L., Visted E., Eilertsen T., Jensen D. A., Nordby H., Fasmer O. B., Binder P.-E., Koenig J., Sonuga-Barke E. A psychophysiological investigation of the interplay between orienting and executive control during stimulus conflict: A heart rate variability study II. *Physiology & Behavior*, **211**, 112657 (2019). DOI: 10.1016/j.physbeh.2019.112657.
20. Van Cutsem J., Van Schuerbeek P., Pattyn N., Raeymaekers H., De Mey J., Meeusen R., Roelands B. A drop in cognitive performance, whodunit? Subjective mental fatigue, brain deactivation or increased parasympathetic activity? It's complicated! *Cortex*, **155**, 30 (2022). DOI: 10.1016/j.cortex.2022.06.006
21. Yang B., Xiao W., Liu X., Wu S., Miao D. Mental fatigue impairs pre-attentive processing: a MMN study. *Neuroscience Letters*, **532**, 12 (2013). DOI: 10.1016/j.neulet.2012.08.080.
22. Hilgarter K., Schmid-Zalaudek K., Csanády-Leitner R., Mörtl M., Rössler A., Lackner H. K. Phasic heart rate variability and the association with cognitive performance: A cross-sectional study in a healthy population setting. *PLoS One*, **16(3)**, e02469682021 (2021). DOI: 10.1371/journal.pone.0246968.
23. Herlambang M. B., Taatgen N. A., Cnossen F. The Role of Motivation as a Factor in Mental Fatigue. *Human Factors*, **61(7)**, 11712019 (2019). DOI: 10.1177/0018720819828569.
24. Baiguzhin P. A., Naumova K. A. Reactivity of the Autonomic Nervous System in Persons with Different Levels of Motivation for Exercise. *Psychology. Psychophysiology*, **14(2)**, 96 (2021). DOI: 10.14529/jpps210210.
25. Tanaka M., Shigihara Y., Ishii A., Funakura M., Kanai E., Watanabe Y. Effect of mental fatigue on the central nervous system: an electroencephalography study. *Behavioral and Brain Functions*, **8**, 48 (2012). DOI: 10.1186/1744-9081-8-48.