

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD629318>

Показатели окулomotorной деятельности и церебральной гемодинамики у студентов с разным типом вегетативной реактивности в процессе выполнения когнитивных задач

А.И. Талеева¹, Н.В. Звягина¹, О.Е. Карякина¹, Н.В. Попов¹, Т.В. Зотикова²¹ Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия;² ООО «Архимед Аудио», Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. На современном этапе развития человечества в условиях высокой динамики накопления знаний, ускоренного общественного и технического развития возрастает необходимость изучения психофизиологических особенностей когнитивной деятельности в условиях лимита времени.

Цель исследования — изучить показатели окулomotorной деятельности и церебральной гемодинамики у студентов с разным типом вегетативной реактивности в процессе выполнения когнитивных задач.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 110 студентов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (средний возраст $19,0 \pm 0,5$ года). Для выявления специфических особенностей обеспечения когнитивной деятельности в разных временных условиях у обследуемых определяли тип реактивности вегетативной нервной системы: проводили регистрацию движений глаз в процессе решения когнитивных задач в разных временных условиях; для оценки церебральной гемодинамики одновременно регистрировали реоэнцефалограмму; оценивали эффективность когнитивной деятельности в разных временных условиях с учётом выявленных индивидуально-типологических особенностей.

Результаты. У представителей выделенных нами групп в процессе когнитивной работы в различных временных условиях зафиксирована разная эффективность выполнения когнитивных заданий. Наиболее эффективная и скоростная обработка зрительной информации в условиях временного лимита была зафиксирована у лиц с симпатотоническим типом вегетативной реактивности благодаря более устойчивым взаимосвязям параметров окулomotorной активности и церебральной гемодинамики. Наименее устойчивая структура взаимосвязей окулomotorной активности и церебральной гемодинамики характерна для представителей ваготонического типа реактивности, у которых зафиксированы самые низкие показатели успешности когнитивной деятельности.

Заключение. У молодых лиц с разным типом вегетативной реактивности при выполнении когнитивной задачи в условиях временных ограничений выявлены общие и специфические изменения церебральной гемодинамики и окулomotorной активности, зафиксирована разная эффективность когнитивной деятельности. Выявленные особенности свидетельствуют о зависимости проявления когнитивных способностей человека в условиях стресса от типологических свойств нервной системы и могут маркироваться специфическими изменениями окулomotorных реакций и параметров церебральной гемодинамики. Наиболее успешная когнитивная деятельность в условиях лимита времени обеспечивается более устойчивым статистическим взаимодействием параметров церебральной гемодинамики и окулomotorной активности, что отражается в стабильности факторной модели зрительной когнитивной деятельности независимо от временных ограничений.

Ключевые слова: вегетативная нервная система; стресс; гемодинамика; движения глаз; саккады; когнитивные функции; мыслительный процесс; эффективность деятельности.

Как цитировать:

Талеева А.И., Звягина Н.В., Карякина О.Е., Попов Н.В., Зотикова Т.В. Показатели окулomotorной деятельности и церебральной гемодинамики у студентов с разным типом вегетативной реактивности в процессе выполнения когнитивных задач // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 3. С. 519–533. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD629318>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD629318>

Parameters of oculomotor activity and cerebral hemodynamics in students with different types of autonomic reactivity while performing cognitive tasks

Anna I. Taleeva¹, Natalya V. Zvyagina¹, Olga E. Karyakina¹, Nikolay V. Popov¹, Tatyana V. Zotikova²

¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia;

² Archimedes Audio LLC, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: At the current state of human development, with the high rates of knowledge accumulation and accelerated social and technical evolution, studying the psychophysiological features of cognitive activity within a limited time is essential.

AIM: To examine oculomotor activity and cerebral hemodynamics parameters in students with different types of autonomic reactivity while performing cognitive tasks.

MATERIALS AND METHODS: The study enrolled 110 students of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (mean age, 19.0±0.5 years). To identify specific features of cognitive activity in various timing conditions, the type of autonomic nervous system reactivity was determined. Eye movements were tracked when solving cognitive tasks at various timing conditions. A rheoencephalogram was simultaneously recorded to assess cerebral hemodynamics. The efficiency of cognitive activity was assessed in various timing conditions with consideration of the identified individual typological features.

RESULTS: The participants demonstrated different efficiency levels of cognitive activity when performing cognitive tasks at various timing conditions. Students with a sympathetic-tone type of autonomic reactivity revealed the most efficient and rapid processing of visual information under a time-constraint setting owing to the presence of a more stable relationship between oculomotor activity and cerebral hemodynamics parameters. Participants with parasympathetic-tone reactivity showed the lowest success rates in cognitive activity and the least stable relationships between oculomotor activity and cerebral hemodynamics.

CONCLUSIONS: Young individuals with different types of autonomic reactivity exhibited general and specific alterations in cerebral hemodynamics and oculomotor activity when performing cognitive tasks under a time-constraint setting. They showed different efficiency levels of cognitive activity. Thus, human cognitive abilities under stress depend on the reactivity type of the nervous system. The specific changes in oculomotor reactions and cerebral hemodynamics parameters may be considered success markers of cognitive activity. The most successful cognitive activity under limited time conditions is ensured with a more stable statistical relationship between cerebral hemodynamics and oculomotor activity parameters. This is reflected in a stable factor model of visual cognitive activity, regardless of time limitations.

Keywords: autonomic nervous system; stress; hemodynamics; eye movement; saccade; cognitive functions; thinking process; performance efficiency.

To cite this article:

Taleeva AI, Zvyagina NV, Karyakina OE, Popov NV, Zotikova TV. Parameters of oculomotor activity and cerebral hemodynamics in students with different types of autonomic reactivity while performing cognitive tasks. *Digital Diagnostics*. 2024;5(3):519–533. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD629318>

Submitted: 21.03.2024

Accepted: 20.06.2024

Published online: 16.10.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD629318>

不同类型自主性反应的学生执行认知任务过程中其动眼神经活动和脑血液动力学的指标

Anna I. Taleeva¹, Natalya V. Zvyagina¹, Olga E. Karyakina¹, Nikolay V. Popov¹, Tatyana V. Zotikova²

¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia;

² Archimedes Audio LLC, Arkhangelsk, Russia

摘要

论证。在人类发展的现阶段，知识积累高度动态、社会和技术发展加速的条件下，研究认知活动在时间限制条件下的心理生理学特征的必要性与日俱增。

研究目的—研究不同类型自主性反应的学生执行认知任务过程中其动眼神经活动和脑血液动力学的指标

材料和方法。罗蒙诺索夫（平均年龄 19.0 ± 0.5 岁）北方（北极）联邦大学的110名学生参加了这项研究。为了查明不同时间条件下保证认知活动的具体特征，确定了受试者自主神经系统的反应类型：记录不同时间条件下解决认知问题过程中的眼球运动；为了评估脑血液动力学，同时记录了脑血流图；鉴于已查明的个体类型特征，评估了不同时间条件下认知活动的有效性。

结果。在不同时间条件下的认知工作过程中，我们选取的各组代表的认知任务执行有效性各不相同。由于动眼神经活动参数和脑血液动力学之间的相互关系较为稳定，在限时条件下，交感神经型自主性反应患者对视觉信息的处理最为有效和快速。对于迷走神经反应型的代表，其动眼神经活动和脑血液动力学之间具有最不稳定的结构，认知活动成功指数最低。

结论。在限制完成认知任务时间时，可以查明不同类型的自主性反应年轻人的脑血液动力学和动眼神经活动的普遍和特殊变化，并确定认知活动的不同的有效性。已查明的特征证实，在压力条件下，人的认知能力表现取决于神经系统的类型特性，并可通过动眼神经反应和脑血液动力学参数的特殊变化来标记。在限制时间的条件下，最成功的认知活动是通过较稳定的脑血液动力学参数和动眼神经活动的统计相互作用来保证的，反映在视觉认知活动因子模型的稳定性上，而不受时间限制。

关键词：自主神经系统；压力；血液动力学；眼动；扫视；认知功能；思维过程；运行有效性。

引用本文：

Taleeva AI, Zvyagina NV, Karyakina OE, Popov NV, Zotikova TV. 不同类型自主性反应的学生执行认知任务过程中其动眼神经活动和脑血液动力学的指标. *Digital Diagnostics*. 2024;5(3):519–533. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD629318>

收到: 21.03.2024

接受: 20.06.2024

发布日期: 16.10.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Современный мир характеризуется динамичным развитием, необходимостью освоения большого объёма информации за ограниченный временной промежуток. Дефицит времени оценивается как стресс-фактор, который можно рассматривать в качестве дополнительной нагрузки, вызывающей напряжение в работе многих функциональных систем организма [1, 2]. Существует множество физиологических маркёров реакции организма на стресс-агенты, в том числе на дефицит времени [3–5]. Стресс-реакция сопровождается, как правило, усилением работы соматической и вегетативной нервных систем, увеличением кровоснабжения головного мозга и изменением мозговой активности [6, 7]. Известно, что при выполнении когнитивных задач отражением мозговой активности являются глазодвигательные реакции, которые выполняют различные функции: поиск информации; обнаружение, опознание и прослеживание значимого элемента среды; рассматривание сюжетных изображений; выполнение сложных зрительных и интеллектуальных задач [8]. Исследования А.Г. Меркуловой и соавт. [9] подтверждают, что в стрессовой ситуации происходят изменения параметров окуломоторной активности. В исследовании М. Hertzum и соавт. [10] доказано, что выполнение когнитивной задачи в условиях ограничения времени приводит к изменению диаметра зрачка. Изменение параметров саккад, фиксаций, диаметра зрачка может свидетельствовать об интенсивности выполнения когнитивных зрительных задач, интересе к зрительному объекту или его отсутствии, усложнении условий для зрительной мыслительной деятельности.

При реализации любой когнитивной функции активируются не только соответствующие мозговые центры, но и системы, которые обеспечивают трофику работающего головного мозга, поддерживают необходимый для реализации мозговой деятельности уровень кислорода и т.п. Известно, что при моторной, перцептивной и ином виде деятельности в различных зонах коры головного мозга активизируются локальные процессы. Эти функциональные сдвиги могут выражаться изменением показателей биоэлектрической активности нервных структур, параметров кровоснабжения мозга и др. [11, 12]. Выявлено, что различные когнитивные нагрузки вызывают сдвиги в церебральном кровотоке в системе внутренней сонной артерии, а именно: усиление пульсового кровенаполнения [7, 13, 14], снижение сосудистого тонуса в артериях мелкого и среднего калибров [15]. Эти функциональные сдвиги могут происходить в правом и левом полушариях мозга в зависимости от локализации функциональной активности [16].

Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что в условиях психоэмоционального напряжения обнаруживаются отчётливые различия в устойчивости людей к стрессу [17, 18]. В исследованиях М.М. Кольцовой [19]

упоминается, что ограничение времени как стресс-фактор действует на организм обследуемых по-разному, в зависимости от их индивидуальных физиологических и психофизиологических особенностей. Имеются данные о влиянии личностных особенностей на регуляцию сердечного ритма при выполнении когнитивных нагрузок в условиях стресса. Известно, что в ситуации мобилизационной готовности и при выполнении когнитивных заданий в условиях стресса представители с разным типом вегетативной нервной регуляции обладают и разными вариантами функционального обеспечения организма. Так, представители с ваготоническим типом регуляции характеризуются более низким уровнем напряжения систем организма [20], тогда как у симпатотоников преобладают активационные процессы [17, 21].

В то же время до сих пор практически нет данных о влиянии дефицита времени как стрессора на церебральную гемодинамику, окуломоторные реакции и успешность когнитивной деятельности с учётом типа вегетативной реактивности организма человека.

Цель исследования — изучить показатели окуломоторной деятельности и церебральной гемодинамики у студентов с разным типом вегетативной реактивности в процессе выполнения когнитивных задач.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено экспериментальное одноцентровое одномоментное выборочное неконтролируемое неослепленное исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения: возраст старше 18 лет; на момент обследования испытуемые отмечали физическое, психическое и социальное благополучие; участники не имели дополнительных умственных и физических нагрузок в день исследования.

Критерии исключения: наличие в анамнезе хронических заболеваний, психических расстройств; перенесённые черепно-мозговые травмы; признаки аритмии и тахикардии; заболевания сердечно-сосудистой, зрительной и нервной системы; приём лекарственных препаратов; отсутствие письменного согласия на обследование.

Условия проведения

Исследование проводилось среди студентов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова в термокомфортном изолированном помещении в положении сидя; действие отвлекающих факторов (громкие звуки, шум) было сведено к минимуму.

Продолжительность исследования

Исследование проводили в период с марта 2019 по май 2020 г. с соблюдением норм биомедицинской

этики, изложенных в Хельсинкской декларации по правам человека (2013). Все обследованные предварительно были ознакомлены с процедурой исследования.

Описание эксперимента

На начальном этапе исследования определяли реактивность вегетативной нервной системы студентов. Оценка проводилась по изменениям параметров variability ритма сердца при активной ортостатической пробе относительно фона. С помощью компьютерного комплекса «ВНС-Спектр» (ООО «Нейрософт», Россия) регистрировали фоновую кардиоинтервалограмму в первом стандартном отведении в соответствии с общепризнанной методикой в состоянии спокойного бодрствования (лёжа) — и в процессе активной ортостатической пробы. Вегетативную реактивность определяли по изменению индекса напряжения (ул. ед.) в ортостатической пробе по сравнению с фоном. Для определения индекса напряжения регуляторных систем рассчитывали показатели вариационной пульсометрии по Р.М. Баевскому [22]. Если индекс напряжения в ортопробе увеличивался более чем на 10% относительно фонового значения, респондентов относили к группе с симпатотоническим вариантом реактивности (симпатотоники), если уменьшался больше чем на 10%, то таких лиц относили к группе с ваготоническим вариантом реактивности (ваготоники). В случае если колебания индекса напряжения оставались в пределах $\pm 10\%$, респондентов относили к группе с нормотоническим вариантом (нормотоники).

Второй этап исследования был посвящён выявлению особенностей окуломоторных реакций и церебральной гемодинамики при решении когнитивной задачи в обычных условиях и при ограничении времени с учётом типа реактивности вегетативной нервной системы.

В качестве когнитивной пробы участникам исследования предлагали выполнить схожие задачи в обычных временных условиях и при ограничении времени. Стимульный материал представлял собой два набора по 40 слов из четырёх букв с пропущенной второй буквой (существительные в именительном падеже единственном числе). Необходимо было прочитать слова вслух по порядку, вставляя пропущенную букву. В процессе чтения одновременно фиксировали верные ответы и время выполнения задания для расчёта эффективности когнитивной деятельности.

Для моделирования условий ограниченного времени при когнитивной деятельности использовали процедуру, предложенную L. Benson и соавт. [23]: из средней продолжительности выполнения когнитивной задачи без ограничения времени вычитали стандартное отклонение времени её решения. Среднее время выполнения задания без ограничения времени составило 83 секунды, стандартное отклонение — 23 секунды. Таким образом, решение когнитивной задачи в условиях ограничения времени необходимо было выполнить в течение

60 секунд, при этом стимульный материал предъявляли с демонстрацией таймера в верхней правой части монитора, который посекундно отражал оставшееся время на решение задачи.

Регистрацию движения глаз в процессе решения когнитивных задач в разных временных условиях осуществляли при помощи стационарной системы бинокулярного трекинга глаз iView X™ RED, 500 Гц (Teltow, Германия). Полученные данные трекинга глаз анализировали с применением программного пакета SMI BeGaze. Для проведения статистического анализа были выбраны основные параметры окуломоторной активности.

Для оценки церебральной гемодинамики одновременно с записью движений глаз в процессе выполнения когнитивных задач в разных временных условиях регистрировали реоэнцефалограмму. Запись осуществляли методом тетраполярной реоэнцефалографии с помощью аппаратно-программного комплекса «Рео-Спектр 2» (ООО «Нейрософт»).

Этическая экспертиза

Исследование одобрено этическим комитетом Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (протокол № 1 от 14.01.2019).

Статистический анализ

Статистический анализ собранных данных проводили с использованием программы IBM SPSS Statistics 22.0. Все изучаемые показатели проходили процедуру проверки на нормальность распределения с применением критерия Шапиро–Уилка. При необходимости производили дополнительные процедуры отсеивания экстремальных значений, способствующие выравниванию распределений. В дальнейшем все процедуры статистического анализа осуществляли с использованием нормированных выборок, что позволило нам использовать в качестве характеристики данных средние значения и среднеквадратичные отклонения ($M \pm \sigma$), а также применять в качестве основного статистического метода дисперсионный анализ.

Для оценки различий окуломоторных и гемодинамических показателей между группами использовали однофакторный дисперсионный анализ. Значимость внутригрупповых различий по изучаемым параметрам при когнитивной деятельности в свободном временном режиме и с лимитом времени оценивали с использованием параметрического t -критерия Стьюдента для связанных выборок.

Выявление латентных факторов в структуре показателей окуломоторной активности и гемодинамики головного мозга осуществляли с помощью факторного анализа изучаемых параметров при деятельности в разных временных режимах. Факторизацию производили методом максимального правдоподобия с применением варимакс-вращения. Количество факторов определяли

методом Кайзера. Качество полученной факторной модели оценивали по нескольким параметрам: мера выборочной адекватности Кайзера–Мейера–Олкина $>0,6$; критерий сферичности Бартлетта ($p < 0,05$). При интерпретации структуры факторных нагрузок оценивали значения больше 0,6, поскольку в этом случае между переменными и соответствующим выделенным фактором имеются сильные и умеренные взаимосвязи.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В исследовании приняли участие 110 практически здоровых студентов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова с равномерным

распределением по полу (средний возраст $19,0 \pm 0,5$ года). Студенты были разделены на три группы с учётом реактивности вегетативной нервной системы: нормотоники ($n=16$), симпатотоники ($n=70$), ваготоники ($n=24$).

Основные результаты исследования

По результатам исследования, между студентами с разным типом вегетативной реактивности в процессе когнитивной деятельности в разных временных условиях установлены статистически значимые отличия по показателям окулomotorной активности (табл. 1). У студентов-симпатотоников при выполнении когнитивной задачи в свободном временном режиме достоверно ниже, чем у ваготоников, средняя длительность фиксаций (на 18%, $p=0,005$), амплитуда (на 16%, $p=0,002$)

Таблица 1. Показатели окулomotorной активности ($m \pm SD$) у студентов с разным типом вегетативной реактивности при решении когнитивной задачи в различных временных условиях

Показатель	Тип	Чтение без лимита	Чтение с лимитом	p
Количество фиксаций, шт.	Н	136,29±37,57	160,36±34,06	0,001*
	С	140,35±30,46	151,09±35,09	0,001*
	В	134,80±30,00	156,88±35,91	0,001*
Частота фиксаций, шт/сек	Н	2,28±0,53	2,68±0,46	0,036*
	С	2,34±0,61	2,53±0,63	0,005*
	В	2,24±0,47	2,60±0,52	0,003*
Средняя длительность одной фиксации, мс	Н	293,86±79,11	257,04±64,64	0,001*
	С	271,84±87,25#	243,23±69,13#	0,001*
	В	330,71±89,50	271,68±59,83	0,001*
Дисперсия фиксаций, мс	Н	70,90±15,78	64,97±7,50	0,267
	С	74,25±11,53	71,77±15,63##	0,224
	В	71,58±15,90	65,30±12,37	0,109
Количество саккад, шт.	Н	203,67±77,66	131,67±53,23	0,002*
	С	212,28±79,74	145,12±40,03	0,001*
	В	183,78±74,03	147,87±43,62	0,004*
Частота саккад, шт/сек	Н	2,76±0,91	2,92±1,07	0,445
	С	2,95±1,10	3,13±1,06	0,231
	В	2,54±0,96	3,12±0,83	0,001*
Средняя длительность одной саккады, мс	Н	41,05±3,64	42,59±4,42	0,338
	С	38,60±4,18	39,83±3,69	0,122
	В	39,93±4,96	40,16±4,69	0,785
Амплитуда саккад, град.	Н	3,69±1,01	4,32±0,81	0,050*
	С	3,65±0,80#	4,20±0,82	0,001*
	В	4,37±1,11	4,21±0,74	0,479
Скорость саккады, град/сек	Н	81,26±23,59	87,56±10,91	0,455
	С	84,77±20,58	93,22±19,01	0,009*
	В	89,17±15,49	86,01±18,15	0,373
Задержка саккады, мс	Н	333,37±132,68	327,78±126,76	0,817
	С	318,08±144,32#	285,13±116,15	0,022*
	В	411,07±139,93	289,69±95,32	0,001*

Примечание. Статистически значимые отличия ($p < 0,05$): * — с учётом временных условий деятельности; # — при сравнении симпатотоников и ваготоников; ## — при сравнении симпатотоников и нормотоников. Н — нормотоники; С — симпатотоники; В — ваготоники.

и задержка (на 23%, $p=0,007$) саккад. При выполнении когнитивной задачи в условиях лимита времени у симпатотоников достоверно ниже, чем у ваготоников, средняя длительность фиксаций (на 11%, $p=0,05$), достоверно выше, чем у нормотоников, дисперсия фиксаций (на 12%, $p=0,043$).

Установлены достоверные общие и специфические изменения по параметрам окуломоторной активности в группах студентов с одинаковым типом вегетативной реактивности при когнитивной деятельности в условиях ограничения времени по сравнению с работой без временного ограничения. У представителей всех рассматриваемых групп зафиксировано достоверное увеличение частоты и количества фиксаций, снижение средней длительности фиксаций, количества саккад ($p=0,001$) при введении временных ограничений в процессе когнитивной деятельности (см. табл. 1).

Специфические реакции трекинга глаз при когнитивной деятельности с изменением временных условий установлены по параметрам саккад. У студентов-нормотоников наблюдалось достоверное увеличение амплитуды саккад на 15% ($p=0,05$); у симпатотоников — увеличение амплитуды на 14% ($p=0,001$) и скорости саккад на 10% ($p=0,009$), снижение задержки саккад на 11% ($p=0,022$); у ваготоников — увеличение частоты саккад на 19% ($p=0,001$) и снижение задержки саккад на 30% ($p=0,001$).

Исследование мозговой гемодинамики не выявило значимых различий между группами студентов с разным типом вегетативной реактивности при когнитивной деятельности в разных временных условиях.

При анализе показателей гемодинамики мозга студентов внутри групп с одинаковым типом реактивности вегетативной нервной системы при выполнении когнитивной задачи в условиях ограничения времени по сравнению с работой без ограничения обнаружены статистически значимые изменения только в группах симпатотоников

и ваготоников (рис. 1). У симпатотоников снижается величина пульсового кровенаполнения в бассейне правой позвоночной артерии на 9% ($p=0,036$); повышается тонус крупных сосудов в правой позвоночной артерии на 13% ($p=0,001$); повышается тонус средних и мелких сосудов в левой позвоночной артерии на 11% ($p=0,028$); снижается периферическое сосудистое сопротивление в системе позвоночных артерий на 16% в левом бассейне ($p=0,002$), на 12% — в правом бассейне ($p=0,012$). У ваготоников статистически значимо усиливается венозный отток в бассейне правой сонной артерии на 80% ($p=0,017$).

В рамках исследования оценивали успешность когнитивной деятельности. Согласно проведённому анализу параметров успешности когнитивной деятельности у лиц с разным типом вегетативной реактивности в разных временных условиях обнаружены статистически достоверные различия (табл. 2).

Установлено, что у нормотоников эффективность выполнения когнитивной задачи без ограничения времени выше по сравнению с симпатотониками и ваготониками ($p < 0,05$). При введении лимитирующего временного фактора более успешно с задачей справились симпатотоники ($p < 0,05$).

Сравнение эффективности когнитивной деятельности у студентов внутри групп с одинаковым типом вегетативной реактивности при выполнении когнитивной задачи с ограничением времени по сравнению с работой без ограничения времени продемонстрировало статистически значимые изменения. У нормотоников при введении лимита времени эффективность выполнения когнитивной задачи статистически значимо снижается на 3% ($p=0,047$), у симпатотоников — повышается на 5% ($p=0,001$). Следует отметить, что именно у симпатотоников были выявлены статистически значимые изменения окуломоторной активности. Сравнение длительности обработки одного слова при деятельности в различных временных условиях

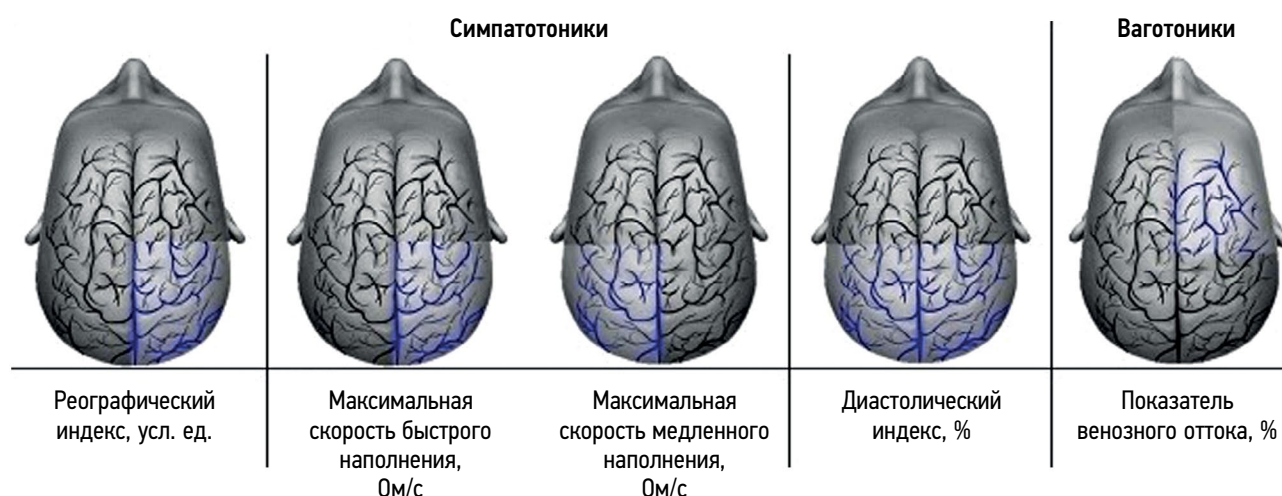


Рис. 1. Достоверные изменения показателей гемодинамики головного мозга у студентов при выполнении когнитивной задачи в условиях ограниченного времени по сравнению с деятельностью без ограничения времени. Маркировка сосудов мозга синим цветом — достоверное снижение показателей церебральной гемодинамики ($p < 0,05$).

Таблица 2. Показатели успешности выполнения когнитивной задачи ($m \pm SD$) в различных временных условиях у студентов с разным типом вегетативной реактивности

Показатель	Тип	Чтение без лимита	Чтение с лимитом	<i>p</i>
Эффективность выполнения, %	Н	87,26 $\pm$ 6,17 ^{#, ##}	85,00 $\pm$ 8,06	0,047*
	С	85,56 $\pm$ 6,37	89,77 $\pm$ 4,54 ^{#, ##}	0,001*
	В	85,42 $\pm$ 9,18	84,46 $\pm$ 7,69	0,315
Время обработки одного слова, сек	Н	2,01 $\pm$ 0,69	1,22 $\pm$ 0,23	0,001*
	С	2,03 $\pm$ 0,61	1,24 $\pm$ 0,27	0,001*
	В	2,01 $\pm$ 0,59	1,26 $\pm$ 0,25	0,001*

Примечание. Статистически значимые отличия ($p < 0,05$): * — с учётом временных условий деятельности; # — при сравнении симпатотоников и ваготоников; ## — при сравнении симпатотоников и нормотоников. Н — нормотоники; С — симпатотоники; В — ваготоники.

во всех исследуемых группах показало, что при введении лимитирующего фактора данный показатель статистически значимо снижается ($p=0,001$).

Структуру рассматриваемых параметров и их взаимосвязь между собой у представителей разных типов вегетативной реактивности при когнитивной деятельности в разных временных условиях в полной мере демонстрирует факторный анализ. Процедура факторизации параметров окуломоторной активности и церебральной гемодинамики у студентов-нормотоников выявила четыре факторные структуры взаимосвязи (рис. 2). Структура генерального — гемодинамического — фактора, объединяющего параметры пульсового кровенаполнения и тонических свойств сосудов разного калибра всех исследуемых бассейнов обоих полушарий головного мозга, на долю которого приходится 26,30% дисперсии, не изменилась при введении лимита времени, составив 25,94%.

Второй по значимости фактор, объясняющий 25,20% дисперсии, имеет смешанный характер. Данный фактор представлен показателями окуломоторной активности и гемодинамики головного мозга (частота и дисперсия фиксаций, длительность, амплитуда и скорость саккад, венозный отток во всех исследуемых бассейнах обоих полушарий). При введении лимита времени представленность показателей данного фактора изменилась, составив 23,49% дисперсии, и состояла только из параметров окуломоторной активности (количество и средняя длительность фиксации, количество, частота и задержка саккад).

Третий фактор, объясняющий 18,96% дисперсии, представлен показателями окуломоторной активности (количество и средняя длительность фиксации, количество, частота и задержка саккад). При работе с ограничением времени данный фактор изменился. На его долю пришлось 15,31% дисперсии, и он был представлен показателями окуломоторной активности и церебральной гемодинамики (дисперсия фиксаций, показатель венозного оттока и тонус магистральных артерий в бассейне внутренних сонных артерий обоих полушарий).

Четвёртый фактор (12,82% дисперсии) представлен показателями гемодинамики головного мозга (периферическое сосудистое сопротивление в окципитальных

областях, тонус магистральных артерий во всех исследуемых бассейнах обоих полушарий). При введении лимита времени на долю данного фактора пришлось 12,17% дисперсии, и он также был представлен показателями церебральной гемодинамики (периферическое сосудистое сопротивление, показатель венозного оттока и тонус магистральных артерий в вертебробазилярном бассейне).

Факторная структура взаимосвязи глазодвигательных реакций и параметров церебральной гемодинамики у студентов-симпатотоников при реализации когнитивной деятельности в разных временных условиях представлена также четырьмя факторами (см. рис. 2).

Первый фактор (21,35% дисперсии), более значимый, представлен показателями гемодинамики головного мозга и включает в себя параметры пульсового кровенаполнения, тонические свойства сосудов разного калибра всех исследуемых бассейнов обоих полушарий головного мозга. Структура данного фактора не изменилась при введении лимита времени (19,54% дисперсии).

Во второй фактор (16,44% дисперсии) вошли показатели окуломоторной активности: средняя длительность фиксации, количество, частота и задержка саккад. При когнитивной деятельности в условиях лимита времени представленность показателей данного фактора не изменилась (15,98% дисперсии).

В третий фактор, на долю которого пришлось 14,80% дисперсии, также вошли показатели окуломоторной активности: частота и дисперсия фиксаций, средняя длительность, амплитуда и скорость саккад. При введении лимита времени представленность данного фактора изменилась незначительно (13,57% дисперсии), в него вошли показатели окуломоторной активности, такие как количество и частота фиксаций, амплитуда и скорость саккад.

Четвёртый фактор (10,06% дисперсии) представлен параметрами тонуса магистральных артерий во всех исследуемых бассейнах обоих полушарий. При работе с лимитом времени данный фактор изменился незначительно (11,10%) и был представлен показателями венозного оттока вертебробазилярного бассейна и тонуса магистральных артерий во всех исследуемых бассейнах обоих полушарий.

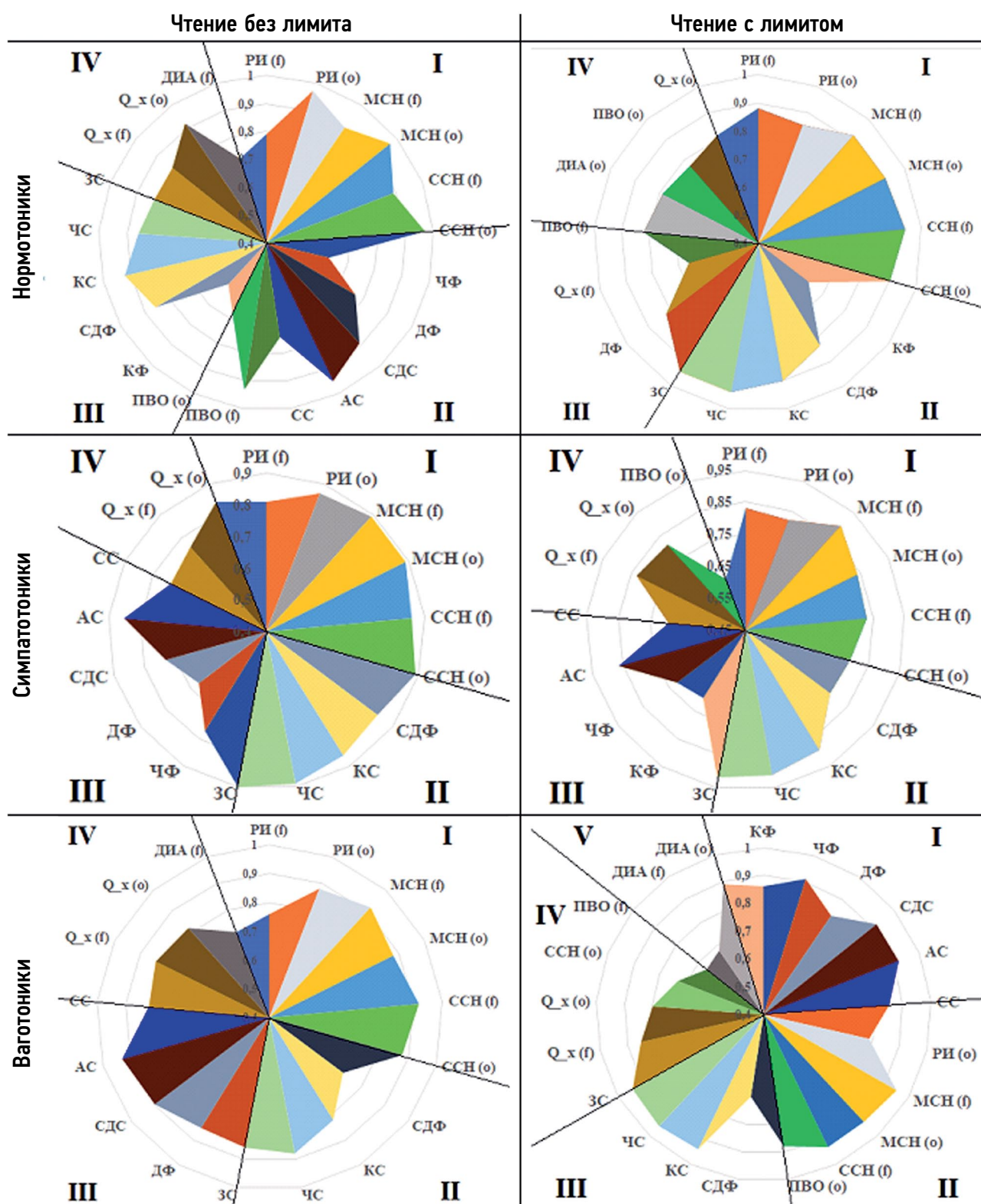


Рис. 2. Факторная структура взаимосвязи окуломоторных, гемодинамических показателей у студентов с разным типом вегетативной реактивности: РИ — реографический индекс; Q-x — время распространения пульсовой волны; МСН — максимальная скорость быстрого наполнения; ССН — средняя скорость медленного наполнения; ДИА — диастолический индекс; ПВО — показатель венозного оттока; КФ — количество фиксаций; ЧФ — частота фиксаций; СДФ — средняя длительность одной фиксации; ДФ — дисперсия фиксаций; КС — количество саккад; СДС — средняя длительность одной саккады; АС — амплитуда саккад; СС — скорость саккад; ЗС — задержка саккад; f — фронто-мастоидальные отведения; o — окципито-мастоидальные отведения.

Генеральный фактор, на долю которого приходится 24,82% объяснённой дисперсии, «нагружают» параметры артериального кровотока и эластикотонические свойства артериальных сосудов разного калибра всех исследуемых бассейнов. При введении лимита времени компонентный состав данного фактора инвертировался и был образован показателями окуломоторной активности (количество, частота и дисперсия фиксаций, длительность, амплитуда и скорость саккад). На долю этого фактора пришлось 22,97% объяснённой дисперсии.

Второй по значимости фактор составляет 19,14% объяснённой дисперсии, он был образован параметрами глазодвигательной активности (средняя длительность одной фиксации, количество, частота и задержка саккад). При лимите времени данный фактор составил 22,64%, а его компонентный состав полностью изменился: в него вошли параметры церебральной гемодинамики (пульсовое кровенаполнение бассейнов внутренних сонных артерий и тонус сосудов разного калибра).

В третий фактор (17,63% дисперсии) вошли параметры окуломоторной активности, такие как дисперсия фиксаций, длительность, амплитуда и скорость саккад. При работе с ограничением времени данный фактор (16,76% дисперсии) был представлен показателями окуломоторной активности (средняя длительность одной фиксации, количество, частота и задержка саккад).

Четвёртый фактор (10,92% дисперсии) представлен показателями церебральной гемодинамики (периферическое сосудистое сопротивление бассейна внутренних сонных артерий обоих полушарий, тонические свойства магистральных сосудов всех исследуемых бассейнов). При введении лимита времени на долю данного фактора пришлось 11,60% объяснённой дисперсии, и он также был представлен показателями гемодинамики головного мозга (тонус средних и мелких сосудов в бассейне позвоночных артерий обоих полушарий, параметр венозного оттока бассейна внутренних сонных артерий обоих полушарий и тонус магистральных артерий во всех исследуемых бассейнах обоих полушарий).

При работе с лимитом времени был сформирован пятый фактор (7,20%) объяснённой дисперсии, который был представлен параметром периферического сосудистого сопротивления во всех исследуемых бассейнах.

ОБСУЖДЕНИЕ

Острый недостаток времени является мощным лимитирующим фактором, который может запустить общие и специфические реакции вегетативной и соматической нервной системы, повлиять на церебральный кровоток и мозговую активность, изменить эффективность, качество деятельности и физиологические затраты [1, 2].

У студентов при когнитивной деятельности в условиях ограничения времени выявлены общие и специфические особенности окуломоторной активности. Установлено,

что у представителей всех рассматриваемых групп при работе в условиях ограниченного времени увеличивалось количество фиксаций и саккад, снижалась средняя длительность фиксаций. Эти данные согласуются с ранее полученными результатами, в которых указывалось, что увеличение частоты фиксаций и снижение её длительности при когнитивной деятельности может быть связано с более сложными условиями работы, влиянием стресс-фактора (в данном случае таковым является ограничение времени) [24]. При работе в условиях ограничения времени студенты успевают проанализировать большее количество слов, совершая при этом большее количество фиксаций меньшей продолжительности. Специфические особенности окуломоторной активности у представителей разной вегетативной реактивности были установлены по следующим показателям: амплитуда саккад — у нормотоников; амплитуда, задержка и скорость саккад — у симпатотоников; частота саккад и задержка саккад — у ваготоников. Известно, что увеличение амплитуды и скорости саккад свидетельствует об увеличении сложности выполняемой задачи и является следствием активации когнитивной деятельности [24]. Следует отметить, что в естественных условиях средняя длительность саккады пропорциональна их амплитуде и скорости (при увеличении длительности саккады амплитуда и скорость также возрастают) [25, 26]. Вероятно, такое соотношение параметров саккад является наиболее физиологичным. В условиях работы с ограничением временного ресурса у студентов-ваготоников отмечается тенденция снижения амплитуды и скорости саккад, при этом их длительность увеличивается, что является неспецифической реакцией на зрительную когнитивную нагрузку: именно у этих студентов отмечают наиболее низкие показатели эффективности когнитивной деятельности.

Исследование гемодинамики головного мозга у представителей разных типов вегетативной реактивности при когнитивной деятельности имеет свои особенности. Как известно, мозговая гемодинамика определяется приростом кровенаполнения сосудов и сосудистого русла за счёт пульсовых колебаний в артериальной и венозной системах головного мозга [27]. В механизмах компенсации систолического объёма крови особое значение приобретают такие факторы, как колебания внутричерепного давления, ускорение тока крови, передача артериальной пульсации на вены непосредственно через ликвор, перераспределение внутричерепного объёма между артериальной, венозной кровью и ликвором [28].

Пульсовая волна реоэнцефалограммы представляет собой комплексный биофизический сигнал сложной природы, основная информационная ценность которого заключается в возможности судить о пульсовых изменениях кровенаполнения мозговой ткани, что в свою очередь зависит от растяжимости стенок церебральных сосудов [27]. Таким образом, реоэнцефалограмма может отражать как структурные изменения стенок мозговых

сосудов, так и динамические изменения их тонуса в ответ на когнитивную нагрузку. У представителей разных типов вегетативной реактивности при когнитивной деятельности в условиях ограничения времени по сравнению с работой без ограничения времени происходит разнонаправленная перестройка церебральной гемодинамики. Специфические изменения были установлены не во всех исследуемых группах. Отмечаются избыточные реакции по регионам кровотока полушарий у симпатотоников по сравнению с нормотониками и ваготониками. У студентов с данным типом вегетативной реактивности происходит снижение пульсового кровенаполнения в сосудах мозга, увеличение тонуса артерий разного калибра, в большей степени данные изменения наблюдаются в окципитальных областях обоих полушарий. Повышение тонуса сосудов разного калибра в затылочных областях свидетельствует о перераспределении мозгового кровотока во время когнитивной нагрузки. Известно, что физиологически активные состояния человека, включая когнитивную деятельность, характеризуются активацией соответствующих нервных центров. В этом случае нет необходимости в увеличении суммарного мозгового кровотока: эта функциональная особенность реализуется путём активных сосудистых реакций, развивающихся в пределах соответствующих областей мозга. У ваготоников зафиксировано ускорение венозного оттока в бассейне правой сонной артерии. Выявленное перераспределение мозгового кровотока у представителей разных типов вегетативной реактивности при когнитивной деятельности в разных временных условиях может быть связано с разными причинами. Во-первых, с качественной перестройкой системы зрительного восприятия, большим вовлечением префронтальной коры в её реализацию и, во-вторых, с индивидуальными особенностями пространственно-временной организации активности головного мозга при умственной деятельности, что подтверждается данными комплексных электро- и реоэнцефалографических исследований [29].

Полученные нами данные об эффективности когнитивной деятельности в обычных временных условиях и в условиях дефицита времени у лиц с разной вегетативной реактивностью свидетельствуют о специфике когнитивной деятельности. Наиболее эффективная и скоростная обработка зрительной информации в условиях временного лимита была зафиксирована у симпатотоников. Лица с симпатотоническим типом вегетативной реактивности характеризуются преобладающим влиянием со стороны симпатического отдела вегетативной нервной системы как в обычных условиях, так и в условиях стресса. Как известно, симпатическая нервная система обладает катаболическим действием и мобилизует скрытые функциональные резервы организма на активную деятельность, выполняет адаптивно-трофическую функцию. Влияние стрессогенного фактора усиливает симпатические влияния, что обеспечивает приспособление организма к изменяющимся

условиям [30]. Таким образом, у представителей этой группы высокая симпатическая активность может быть особенностью их физиологического ответа как в покое, так и в условиях стресса. Это подтверждается устойчивостью взаимосвязи изучаемых параметров в факторных моделях симпатотоников. При введении временного ограничения факторная структура у представителей этой группы не претерпела значительных изменений. Очевидно, что эффективность когнитивной деятельности в условиях лимита времени осуществлялась за счёт сохранения устойчивости и избыточности нагрузки показателей окулографического (генеральный фактор) и реографического факторов (второй фактор) в факторных моделях симпатотоников.

У ваготоников преобладают парасимпатические влияния, которые в условиях стресса могут нивелироваться и смещаться в сторону активации симпатических влияний. При работе в условиях ограничения времени у представителей ваготонического типа реактивности активируются симпатические влияния, что для них является неспецифическим, влияет на изменения вегетативного баланса и приводит к изменениям в показателях окуломоторной активности и церебральной гемодинамики. Данные изменения были установлены и при факторном анализе. Факторная структура взаимосвязей окуломоторных и гемодинамических показателей при когнитивной деятельности в условиях лимита времени у студентов-ваготоников претерпевает значительные изменения. При выполнении когнитивной задачи в условиях ограничения времени факторная структура генерального и второго по значимости фактора инвертировалась: генеральный и второй фактор поменялись местами, что отражает значительные перестройки механизмов реализации когнитивной деятельности в данных условиях. Несомненно, такие перестройки приводят к использованию дополнительных функциональных ресурсов. Следствием таких изменений и может быть снижение эффективности когнитивной деятельности.

Ограничения исследования

Полученные результаты перспективны и не имеют ограничений в применении и интерпретации данных, полученных с использованием метода реоэнцефалографии (аппаратно-программный комплекс «Рео-Спектр 2») и регистрации движений глаз (iView X™ RED, 500 Гц). Исследование осуществлялось с использованием верифицированного оборудования в строгом соответствии с методикой, интерпретацию данных осуществляли с применением общепринятых и валидных подходов. Возможные ограничения могут быть связаны с применением метода реоэнцефалографии, поскольку регистрируемые с помощью этого метода параметры отражают суммарное электрическое сопротивление тканей между электродами, при этом биоэлектрические потенциалы проходят через кожу, подкожную клетчатку, кости черепа,

мозговые оболочки, мозг и т.п., — всё то, что может исказить регистрируемый сигнал. Учитывая это, объектом в данном исследовании был переменный или пульсовой импеданс, вызванный колебаниями кровенаполнения во время сердечного цикла, в этом случае влияние других факторов минимизировано. Реоэнцефалограмму регистрировали с использованием тетраполярной методики, что увеличивало точность измерения импеданса глубинных тканей. Кроме того, на данный момент оценить неинвазивным путём особенности кровоснабжения мозга возможно только с помощью реоэнцефалографии или ультразвуковых исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лимит времени следует рассматривать как важный фактор, влияющий на реализацию когнитивных функций. Как показали наши исследования, когнитивная деятельность в условиях дефицита времени сопровождается общими и специфическими изменениями параметров окуломоторной активности и специфическими изменениями церебральной гемодинамики у представителей разной вегетативной реактивности.

В результате нашего исследования выявлены наиболее чувствительные параметры церебральной гемодинамики и окуломоторной активности при когнитивной деятельности в условиях лимита времени, характерные для всех исследуемых групп. При введении временных ограничений в процессе зрительной когнитивной деятельности происходит смещение симпатопарасимпатического баланса в сторону большей активации симпатического отдела. Симпатические влияния активизируют когнитивные процессы, поэтому снижаются временные характеристики фиксации и саккад, происходит разнонаправленная перестройка церебральной гемодинамики. Интенсивность этих изменений у представителей разных типов вегетативной реактивности отличается, что обосновано свойствами центральной нервной системы и интенсивностью смещений симпатопарасимпатического баланса. Для симпатотоников когнитивная деятельность в усложнённых условиях сопровождается быстрой активацией симпатического отдела вегетативной нервной системы, которая включает привычные механизмы функциональных реакций организма на стрессогенные влияния. Именно у лиц с симпатическим типом вегетативной реактивности зафиксирована наиболее эффективная и скоростная обработка зрительной информации в условиях временного лимита. Такая эффективность когнитивной деятельности независимо от временных ограничений у симпатотоников обеспечивается также формированием более стабильной факторной структуры зрительной когнитивной деятельности с устойчивыми статистическими взаимосвязями параметров окуломоторной активности и церебральной гемодинамики. Выявлено, что у представителей ваготонического и нормотонического типа реактивности

вегетативной нервной системы изменения церебральной гемодинамики, окуломоторные реакции и факторная структура зрительной когнитивной деятельности в разных временных условиях имеют специфические особенности, которые не обеспечивают схожую с симпатотониками эффективность деятельности.

Поскольку в индивидуальной стратегии адаптации человека к лимитирующим факторам, создающим стрессовые условия, механизмы центральной нервной и вегетативной нервной систем, а также висцеральных функций взаимосвязаны, то параметры окуломоторных реакций и церебральной гемодинамики в процессе выполнения когнитивной задачи в условиях временного ограничения могут служить маркером функциональных изменений в организме и успешности когнитивной деятельности.

Учитывая цели и задачи данной работы, наиболее применимым в контексте выявления особенностей кровоснабжения мозга в процессе когнитивной деятельности авторы посчитали метод реоэнцефалографии, поскольку он позволяет вести исследование, не нарушая условий эксперимента, в процессе выполнения когнитивной задачи.

Результаты исследования окуломоторных и гемодинамических показателей рекомендуется использовать для оценки функционального состояния человека при отборе к профессиям, связанным с необходимостью принимать быстрые решения в нестандартных ситуациях, обработкой больших объёмов информации в условиях дефицита времени (лётчики, авиадиспетчеры, операторы).

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.И. Талеева, Н.В. Звягина — концепция и дизайн исследования, написание текста статьи, сбор и обработка материалов; А.И. Талеева, О.Е. Карякина, Н.В. Попов, Т.В. Зотикова — анализ полученных данных.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of

data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.I. Taleeva, N.V. Zvyagina — concept and design of the

study, writing the article, collecting and processing of the materials; A.I. Taleeva, O.E. Karyakina, N.V. Popov, T.V. Zotikova — analysis of the obtained data.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаева Ю.Д., Ротова Н.А., Сабашов П.А. Детерминанты выполнения теста интеллекта в условиях ограничения времени // Психологические исследования. 2012. Т. 5, № 25. EDN: PJSHOL doi: 10.54359/ps.v5i25.744
2. Базаров Т.Ю., Туманян Д.Г. Влияние дефицита времени на решение творческих задач // Национальный психологический журнал. 2012. № 2. С. 116–123. EDN: QGQHYG
3. Криволапчук И.А., Чернова М.Б. Функциональное состояние детей старшего дошкольного возраста и первоклассников при выполнении информационной нагрузки различной степени напряженности // Экология человека. 2020. № 3. С. 31–40. EDN: DJVFLA doi: 10.33396/1728-0869-2020-3-31-40
4. Hidalgo-Muñoz A.R., Mouratille D., Matton N., et al. Cardiovascular correlates of emotional state, cognitive workload and time-on-task effect during a realistic flight simulation // Int J Psychophysiology. 2018. Vol. 128. P. 62–69. doi: 10.1016/j.jpsycho.2018.04.002
5. Mandricka K., Peysakhovich V., Rémy F., et al. Neural and psychophysiological correlates of human performance under stress and high mental workload // Biological Psychology. 2016. Vol. 121, Pt. A. P. 62–73. doi: 10.1016/j.biopsycho.2016.10.002
6. Поскотинова Л.В., Каменченко Е.А. Показатели реоэнцефалограммы покоя у здоровых подростков 15–17 лет на Европейском Севере // Экология человека. 2011. № 9. С. 36–44. EDN: OBRIEZ
7. Zohdi H., Scholkmann F., Wolf U. Individual differences in hemodynamic responses measured on the head due to a long-term stimulation involving colored light exposure and a cognitive task: A SPA-fNIRS study // Brain Sciences. 2021. Vol. 11, N 1. P. 54. doi: 10.3390/brainsci11010054
8. Барабанщиков В.А. Окуломоторная активность человека как предмет и метод психологического исследования. Айтрекинг в психологической науке и практике. Москва: Когито-Центр, 2015.
9. Меркулова А.Г., Калинина С.А. Распределение зрительного внимания при подготовке пилотов-курсантов к летной деятельности // Гигиена и санитария. 2017. № 8. С. 752–755. EDN: ZGCTDJ doi: 10.47470/0016-9900-2017-96-8-752-755
10. Hertzum M., Holmegaard K.D. Perceived time as a measure of mental workload: Effects of time constraints and task success // Int J Human-Computer Interaction. 2013. Vol. 29, N 1. P. 26–39. doi: 10.1080/10447318.2012.676538
11. Депутат И.С., Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., и др. Анализ распределения уровня постоянного потенциала головного мозга в оценке функционального состояния организма // Экология человека. 2015. № 10. С. 27–36. EDN: UMDFGN doi: 10.17816/humeco16980
12. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В., Клопов В.И., и др. Сосудистая реактивность, вызванная когнитивной нагрузкой у больных дисциркуляторной энцефалопатией // Асимметрия. 2014. Т. 8, № 3. С. 4–22. EDN: YMZCZV doi: 10.18454/ASY.2016.10.3550
13. Зарипов В.Н., Баринаева М.О. Гемодинамические изменения церебрального кровотока под влиянием умственной нагрузки у студентов с разным типом темперамента // Вестник Ивановского государственного университета. Серия: Естественные, общественные науки. 2012. № 2. С. 14–22. EDN: PBJFXV
14. Русанов В.Б. Влияние информационной среды на функциональные особенности мозгового кровообращения формирующегося организма // Медлайн.Ру. 2007. Т. 8. С. 445–454.
15. Зарипов В.Н., Баринаева М.О., Булыгин А.Н. Влияние умственной нагрузки на состояние сердечно-сосудистой системы организма студентов // Вестник Ивановского государственного университета. Серия: Естественные, общественные науки. 2013. № 2. С. 8–13. EDN: RMRHSN
16. Микадзе Ю.В., Богданова М.Д., Лысенко Е.С., и др. Оценка латерализации церебральной гемодинамики при выполнении вербальных мнестических заданий методом функциональной транскраниальной доплерографии // Экспериментальная психология. 2015. Т. 8, № 3. С. 62–73. EDN: VCXXOV doi: 10.17759/exppsy.2015080306
17. Carroll D., Ginty A.T., Whittaker A.C., et al. The behavioural, cognitive, and neural correlates of blunted cardiovascular and cortisol reactions to acute psychological stress // Neuroscience Biobehavioral Rev. 2017. Vol. 77. P. 74–86. doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.02.025
18. Muthukrishnan S.P. Does heart rate variability predict human cognitive performance at higher memory loads? // Indian J Physiol Pharmacol. 2017. Vol. 61, N 1. P. 14–22.
19. Кольцова М.М. Медлительные дети. Санкт-Петербург: Речь, 2003.
20. Phillips A.C., Ginty A.T., Hughes B.M. The other side of the coin: Blunted cardiovascular and cortisol reactivity are associated with negative health outcomes // Int J Psychophysiology. 2013. Vol. 90, N 1. P. 1–7. doi: 10.1016/j.jpsycho.2013.02.002
21. Овчинников К.В. Взаимосвязь вариабельности сердечного ритма и психофизиологических показателей у лиц с разным типом вегетативной нервной системы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.13. Место защиты: Рост. гос. ун-т. Ростов-на-Дону, 2006.
22. Баевский Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестник аритмологии. 2002. № 24. С. 65–86. EDN: HSPLXF
23. Benson L., Beach L.R. The effects of time constraints on the prechoice screening of decision options // Organizational Behavior and Human Decision Processes. 1996. Vol. 67, N 2. P. 222–228. doi: 10.1006/obhd.1996.0075
24. Барабанщиков В.А., Жегалло А.В. Айтрекинг: методы регистрации движения глаз в психологических исследованиях и практике. Москва: Когито-Центр, 2014.
25. Барабанщиков В.А., Милад М.М. Методы окулографии в исследовании познавательных процессов и деятельности. Москва: Институт психологии РАН, 1994.
26. Duchowski A.T. Eye tracking methodology. Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-57883-5
27. Бабианц А.Я., Хананашвили Я.А. Мозговое кровообращение: физиологические аспекты и современные методы исследования

ния // Журнал фундаментальной медицины и биологии. 2018. № 3. С. 46–54. EDN: YLSVHV

28. Фролов С.В., Строев В.М., Горбунов А.В., и др. Методы и приемы функциональной диагностики. Тамбов: Издательство Тамбовского государственного технического университета, 2008.

29. Бурых Э.А. Соотношения между ЭЭГ и реографическими показателями мозгового кровотока у детей на северо-востоке Рос-

сии // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2015. № 9. С. 1066–1078. EDN: UFHJLR

30. Красникова И.В. Влияние ментального стресса на сердечный ритм студентов с различными вегетотипами // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2017. № 4. С. 73–81. EDN: YLSJBW

REFERENCES

- Babaeva YD, Rotova NA, Sabadosh PA. Determinants of intellectual test performance under time pressure. *Psikhologicheskie issledovaniya*. 2012;5(25). EDN: PJSHOL doi: 10.54359/ps.v5i25.744
- Bazarov TY, Tumanyan DG. Time constraints effect on solving creative problems. *Natsional'nyi psikhologicheskii zhurnal*. 2012;(2):116–123. EDN: QGQHYG
- Krivolapchuk IA, Chernova MB. The functional state of children of preschool age and first grade students at information load with varying degrees of stress. *Human Ecology*. 2020;(3):31–40. EDN: DJVFLA doi: 10.33396/1728-0869-2020-3-31-40
- Hidalgo-Muñoz AR, Mouratille D, Matton N, et al. Cardiovascular correlates of emotional state, cognitive workload and time-on-task effect during a realistic flight simulation. *Int J Psychophysiology*. 2018;128:62–69. doi: 10.1016/j.jpsycho.2018.04.002
- Mandricka K, Peysakhovich V, Rémy F, et al. Neural and psychophysiological correlates of human performance under stress and high mental workload. *Biological Psychology*. 2016;121(Pt. A):62–73. doi: 10.1016/j.biopsycho.2016.10.002
- Poskotinova LV, Kamenchenko EA. Quiet rheoencephalogram indicators in healthy adolescents aged 15–17 years in European north. *Human Ecology*. 2011;(9):36–44. EDN: OBRIEZ
- Zohdi H, Scholkmann F, Wolf U. Individual differences in hemodynamic responses measured on the head due to a long-term stimulation involving colored light exposure and a cognitive task: A SPA-fNIRS study. *Brain Sciences*. 2021;11(1):54. doi: 10.3390/brainsci11010054
- Barabanshchikov VA. *Human oculomotor activity as a subject and method of psychological research. Eyetracking in psychological science and practice*. Moscow: Kogito-Tsentr; 2015. (In Russ.)
- Merkulova AG, Kalinina SA. The distribution of the visual attention in the training of student-pilots for the flight activity. *Hygiene Sanitation*. 2017;(8):752–755. EDN: ZGCTDJ doi: 10.47470/0016-9900-2017-96-8-752-755
- Hertzum M, Holmegaard KD. Perceived time as a measure of mental workload: Effects of time constraints and task success. *Int J Human-Computer Interaction*. 2013;29(1):26–39. doi: 10.1080/10447318.2012.676538
- Deputat IS, Nekhoroshkova AN, Gribov AV, et al. Analysis of dc-potential level in assessment of body functional state (review). *Human Ecology*. 2015;(10):27–36. EDN: UMDFGN doi: 10.17816/humeco16980
- Fokin VF, Ponomareva NV, Klopov VI, et al. Vascular reactivity induced by cognitive load in patients with discirculatory encephalopathy. *J Asymmetry*. 2014;8(3):4–22. EDN: YMZCZV doi: 10.18454/ASY.2016.10.3550
- Zaripov VN, Barinova MO. Cerebral hemodynamics changes of girls-students with different type of temperament under the influence of intellectual loadings of various intensity. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya: Estestvennye, obshchestvennye nauki. 2012;(2):14–22. EDN: PBJFXV
- Rusanov VB. Influence of information environment on functional features of cerebral blood circulation of a forming organism. *Medline.ru*. 2012;(8):445–454. (In Russ.)
- Zaripov VN, Barinova MO, Buligin AN. Influence of mental load on the state of cardiovascular system of female students' organism. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya: Estestvennye, obshchestvennye nauki. 2013;(2):8–13. (In Russ.) EDN: RMRHSN
- Mikadze YuV, Bogdanova MD, Lysenko ES, et al. Assessment of hemodynamic cerebral lateralization during the performance of verbal mnestic tasks with the use of functional transcranial doppler ultrasound. *Ekspertimetal'naya psikhologiya*. 2015;8(3):62–73. EDN: VCXXOV doi: 10.17759/exppsy.2015080306
- Carroll D, Ginty AT, Whittaker AC, et al. The behavioural, cognitive, and neural correlates of blunted cardiovascular and cortisol reactions to acute psychological stress. *Neuroscience Biobehavioral Rev*. 2017;77:74–86. doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.02.025
- Muthukrishnan SP. Does heart rate variability predict human cognitive performance at higher memory loads? *Indian J Physiol Pharmacol*. 2017;61(1):14–22.
- Kol'tsova MM. *Slow children*. Saint Petersburg: Rech'; 2003. (In Russ.)
- Phillips AC, Ginty AT, Hughes BM. The other side of the coin: Blunted cardiovascular and cortisol reactivity are associated with negative health outcomes. *Int J Psychophysiology*. 2013;90(1):1–7. doi: 10.1016/j.jpsycho.2013.02.002
- Ovchinnikov KV. *Interrelation of heart rhythm variability and psychophysiological parameters in persons with different type of vegetative nervous system* [dissertation abstract]. 03.00.13. Place of defence: Rostov State University. Rostov-on-Don; 2006. (In Russ.)
- Baevskii RM. Analysis of heart rate variability using different electrocardiographic systems. *J Arrhythmology*. 2002;(24):65–86. EDN: HSPLXF
- Benson L, Beach LR. The effects of time constraints on the prechoice screening of decision options. *Organizational Behavior Human Decision Processes*. 1996;67(2):222–228. doi: 10.1006/obhd.1996.0075
- Barabanshchikov VA, Zhegallo AV. *Eyetracking: Eye movement recording techniques in psychological research and practice*. Moscow: Kogito-Tsentr; 2014. (In Russ.)
- Barabanshchikov VA, Milad MM. *Oculography methods in the study of cognitive processes and activities*. Moscow: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences; 1994. (In Russ.)
- Duchowski AT. *Eye tracking methodology*. Springer International Publishing; 2017. doi: 10.1007/978-3-319-57883-5
- Babiyants AY, Khananashvili YaA. Cerebral circulation: Physiological aspects and modern research methods. *Fundamental Med Biology*. 2018;(3):46–54. EDN: YLSVHV

28. Frolov SV, Stroyev VM, Gorbunov AV, et al. *Methods and devices of functional diagnostics*. Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta; 2008. (In Russ.)
29. Burykh EA. Correlations between EEG and rheographic indices of cerebral blood flow in children on north-east of Russia. *Rossiiskii*

- fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2015;(9):1066–1078. EDN: UFHJLR
30. Krasnikova IV. Influence of mental stress on the heart rhythm of students with different type of vegetative balance. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2017;(4):73–81. EDN: YLSJBN

ОБ АВТОРАХ

* **Талеева Анна Ильинична**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 163002, Архангельск,
Набережная Северной Двины, д. 17;
ORCID: 0000-0002-9346-6357;
eLibrary SPIN: 5850-6715;
e-mail: a.taleeva@narfu.ru

Звягина Наталья Васильевна, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0001-8384-0424;
eLibrary SPIN: 8090-7591;
e-mail: n.zvyagina@narfu.ru

Карякина Ольга Евгеньевна, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0003-0781-0164;
eLibrary SPIN: 3269-1935;
e-mail: o.travnikova@narfu.ru

Попов Николай Владимирович;
ORCID: 0009-0009-6220-0490;
eLibrary SPIN: 1138-5057;
e-mail: pnvnick@mail.ru

Зотикова Татьяна Витальевна;
ORCID: 0009-0003-4366-0703;
eLibrary SPIN: 1473-8312;
e-mail: zotikova.t.v@yandex.ru

AUTHORS' INFO

* **Anna I. Taleeva**, Cand. Sci. (Biology);
address: 17 Severnaya Dvina emb.,
163002 Arkhangelsk, Russia;
ORCID: 0000-0002-9346-6357;
eLibrary SPIN: 5850-6715;
e-mail: a.taleeva@narfu.ru

Natalya V. Zvyagina, Cand. Sci. (Biology), Assistant Professor;
ORCID: 0000-0001-8384-0424;
eLibrary SPIN: 8090-7591;
e-mail: n.zvyagina@narfu.ru

Olga E. Karyakina, Cand. Sci. (Biology), Assistant Professor;
ORCID: 0000-0003-0781-0164;
eLibrary SPIN: 3269-1935;
e-mail: o.travnikova@narfu.ru

Nikolay V. Popov;
ORCID: 0009-0009-6220-0490;
eLibrary SPIN: 1138-5057;
e-mail: pnvnick@mail.ru

Tatyana V. Zotikova;
ORCID: 0009-0003-4366-0703;
eLibrary SPIN: 1473-8312;
e-mail: zotikova.t.v@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author