

Показатели окуломоторной 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. Зотикова²

¹ Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия;

² 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 окуломоторной 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 окуломоторной активности и церебральной гемодинамики. Наименее устойчивая структура взаимосвязей окуломоторной 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 окуломоторной 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 окуломоторных реакций и параметров церебральной гемодинамики. Наиболее успешная когнитивная деятельность в условиях лимита времени обеспечивается более устойчивым статистическим взаимодействием параметров церебральной гемодинамики и окуломоторной 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. XX-XX. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD629318>

Рукопись получена: 21.03.2024 Рукопись одобрена: 20.06.2024 Опубликовано: 16.10.2024

Accepted for publication

Indicators of oculomotor activity and cerebral hemodynamics in students with different types of autonomic nervous system reactivity in cognitive task performance

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, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The current stage of human development is characterized by high dynamics of knowledge accumulation, acceleration of social and technical development. The need to study psychophysiological characteristics of cognitive activity with time limitation increases under these conditions. Time limit can make activity more efficient or less effective. Different effects may be associated with the functional state and individual characteristics of the human body, its resistance to the influence of stress factors.

AIM: To study indicators of oculomotor activity and cerebral hemodynamics of students with different types of autonomic nervous system reactivity during cognitive activity.

MATERIALS AND METHODS: The study involved 110 students of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (average age 19.0 ± 0.5 years). To identify specific features of ensuring cognitive activity in different time conditions, the type of reactivity of the autonomic nervous system was determined in the subjects: eye movements were recorded during solving cognitive problems in different time conditions; a rheoencephalogram was simultaneously recorded to assess cerebral hemodynamics; the effectiveness of cognitive activity was assessed in different time conditions taking into account the identified individual typological features.

RESULTS: Students with different types of reactivity of the autonomic nervous system had different effectiveness of cognitive activity without time limitation and with time limitation. Students with a sympathotonic type of autonomic reactivity had a higher result in processing visual information under time pressure. These students had more stable statistical relationships between the parameters of oculomotor activity and cerebral hemodynamics. Representatives with a vagotonic type of reactivity of the autonomic nervous system had the lowest rates of success in cognitive activity. These students showed less stable structure of statistical relationships between oculomotor activity and cerebral hemodynamics.

CONCLUSION: General and specific changes in cerebral hemodynamics and oculomotor activity, features of the effectiveness of cognitive activity under time constraints in young people with different types of autonomic nervous system reactivity were identified. The identified features indicate the dependence of the manifestation of human cognitive abilities under stress on the typological properties of the nervous system. Markers of the success of cognitive activity can be specific changes in oculomotor reactions and parameters of cerebral hemodynamics. More stable statistical relationship between the parameters of cerebral hemodynamics and oculomotor activity ensures more successful cognitive activity under time pressure.

Keywords: autonomic nervous system; physiological stress; hemodynamics; eye movement; saccade; cognitive functions; mental processes; achievement.

To cite this article:

Taleeva AI, Zvyagina NV, Karyakina OE, Popov NV, Zotikova TV. Indicators of oculomotor activity and cerebral hemodynamics in students with different types of autonomic nervous system reactivity in cognitive task performance. *Digital Diagnostics*. 2024;5(3):XX-XX. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD629318>

Submitted: 21.03.2024 Accepted: 20.06.2024 Published: 16.10.2024

Accepted for publication

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 маркеров 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 отсутствию, 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 неослеплённое 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. Оценку проводили по изменениям параметров variability ритма сердца при активной ортостатической пробе относительно фона. С помощью компьютерного комплекса «ВНС-Спектр» (Нейрософт, Иваново, 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 (усл. 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 прочесть 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 XTM 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» (Нейрософт).

ЭТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА

Исследование одобрено этическим комитетом ФГБОУ «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 окуломоторной 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%, $p=0,002$) 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 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. 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 отмечаются 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 адаптационно-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 искажать 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 симпато-парасимпатического 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 симпато-парасимпатического 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., Сабadoш 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.ijpsycho.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. 410 с.
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., Баринаова М.О. Гемодинамические изменения церебрального кровотока под влиянием умственной нагрузки у студенток 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., Баринаова М.О., Булыгин А.Н. Влияние умственной нагрузки на состояние сердечно-сосудистой системы организма студенток // *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. 96 с.
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.ijpsycho.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. 24 с.

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. Айттрекинг: методы регистрации движения глаз в психологических исследованиях и практике. Москва: Когито-Центр, 2014. 128 с.

25. Барабанщиков В.А., Милад М.М. Методы окулографии в исследовании познавательных процессов и деятельности. Москва: Институт психологии РАН, 1994. 88 с.

26. Duchowski A.T. Eye tracking methodology. Springer International Publishing, 2017. 335 p. doi: 10.1007/978-3-319-57883-5

27. Бабянц А.Я., Хананашвили Я.А. Мозговое кровообращение: физиологические аспекты и современные методы исследования // 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 приборы функциональной диагностики. Тамбов: Издательство Тамбовского государственного технического университета, 2008. 80 с.

29. Бурых Э.А. Соотношения между ЭЭГ и реографическими показателями мозгового кровотока у детей на северо-востоке России // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2015. № 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: YLSJBN

REFERENCES

1. 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.y5i25.744

2. Bazarov TY, Tumanyan DG. Time constraints effect on solving creative problems. *Natsional'nyi psikhologicheskii zhurnal*. 2012;(2):116–123. EDN: QGQHYG

3. 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

4. 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.ijpsycho.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;121(Pt. A):62–73. doi: 10.1016/j.biopsycho.2016.10.002

6. 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

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;11(1):54. doi: 10.3390/brainsci11010054

8. Barabanshchikov VA. *Human oculomotor activity as a subject and method of psychological research. Eyetracking in psychological science and practice*. Moscow: Kogito-Tsentri; 2015. 410 p. (In Russ).

9. 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

10. 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

11. Deputat IS, Nekhoroshkova AN, Gribanov 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

12. 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

13. 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

14. 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).

15. Zaripov VN, Barinova MO, Bulygin 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

16. 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. *Ekspierimental'naya psikhologiya*. 2015;8(3):62–73. EDN: VCXXOV doi: 10.17759/exppsy.2015080306

17. Carroll D, Ginty AT, Whittaker AC, et al. The behavioural, cognitive, and neural corollaries 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

18. Muthukrishnan SP. Does heart rate variability predict human cognitive performance at higher memory loads? *Indian J Physiol Pharmacol*. 2017;61(1):14–22.

19. Kol'tsova MM. *Slow children*. Saint Petersburg: Rech'; 2003. 96 p. (In Russ).

20. 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.ijpsycho.2013.02.002

21. 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. 24 p. (In Russ).

22. Baevskii RM. Analysis of heart rate variability using different electrocardiographic systems. *J Arrhythmology*. 2002;(24):65–86. EDN: HSPLXF

23. 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

24. Barabanshchikov VA, Zhegallo AV. *Eyetracking: Eye movement recording techniques in psychological research and practice*. Moscow: Kogito-Tsentr; 2014. 128 p. (In Russ).
25. 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. 88 p. (In Russ).
26. Duchowski AT. *Eye tracking methodology*. Springer International Publishing; 2017. 335 p. doi: 10.1007/978-3-319-57883-5
27. Babiyants AYa, 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. 80 p. (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	AUTHORS' INFO
* 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	* Anna I. Taleeva , Cand. Sci. (Biology); address: 17 Severnaya Dvina street, 163002 Arkhangelsk, Russia; 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	Natalya V. Zvyagina , Cand. Sci. (Biology), Assistant Professor; 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	Olga E. Karyakina , Cand. Sci. (Biology), Assistant Professor; 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	Nikolay V. Popov ; 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	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	

Accepted for publication

Таблица 1. Показатели окуломоторной 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	<i>p</i>
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.

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±6,17 ^{#, ##}	85,00±8,06	0,047*
	С	85,56±6,37	89,77±4,54 ^{#, ##}	0,001*
	В	85,42±9,18	84,46±7,69	0,315
Время обработки одного слова, сек	Н	2,01±0,69	1,22±0,23	0,001*
	С	2,03±0,61	1,24±0,27	0,001*
	В	2,01±0,59	1,26±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.

Accepted for publication

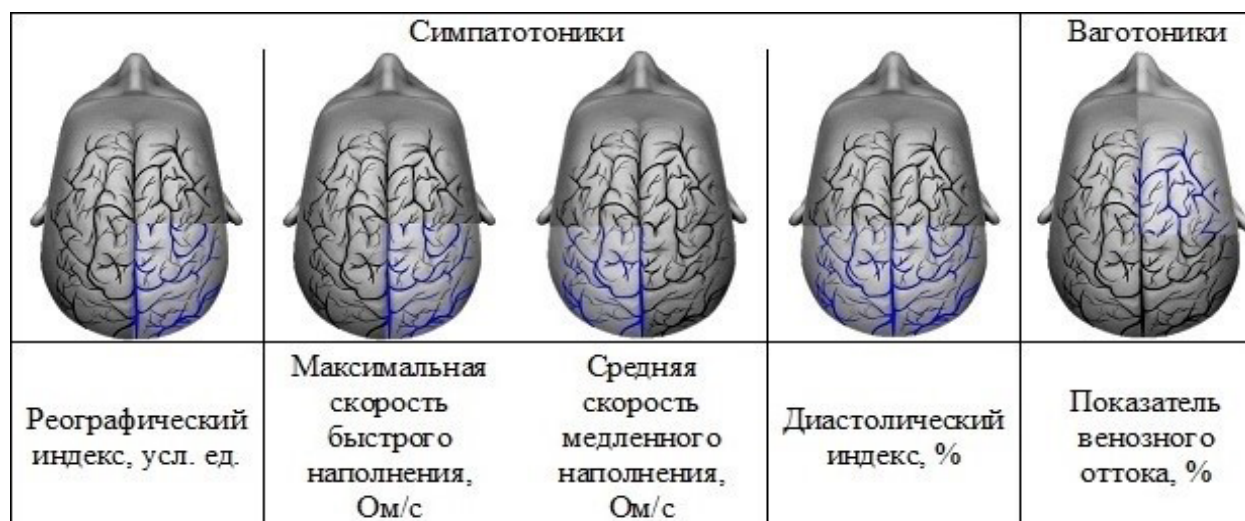


Рис. 1. Достоверные изменения показателей гемодинамики головного мозга у студентов при выполнении когнитивной задачи в условиях ограниченного времени по сравнению с деятельностью без ограничения времени. Маркировка сосудов мозга синим цветом — достоверное снижение показателей церебральной гемодинамики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

Accepted for publication

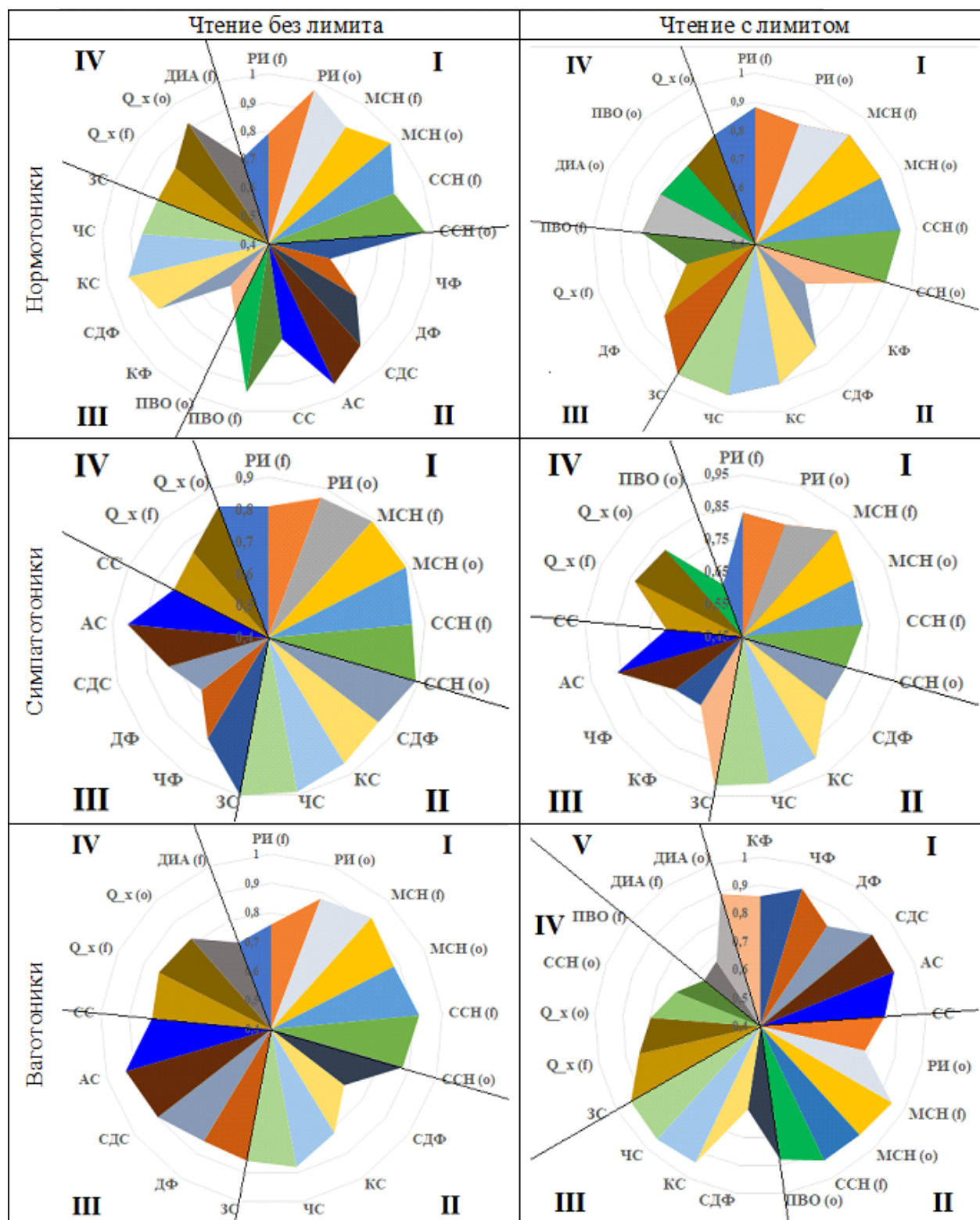


Рис. 2. Факторная структура взаимосвязи окуломоторных, гемодинамических показателей у студентов с разным типом вегетативной реактивности: РИ — реографический индекс; Q-х — время распространения пульсовой волны; МСН — максимальная скорость быстрого наполнения; ССН — средняя скорость медленного наполнения;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