

Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. 2026. Т. 32, № 1. С. 144–153. ISSN 2073-1426

Vestnik of Kostroma State University. Series: Pedagogy. Psychology. Sociokinetics, 2026, vol. 32, no. 1, pp. 144–153.

ISSN 2073-1426

Научная статья

5.3.3. Психология труда, инженерная психология, когнитивная эргономика

УДК 159.93

EDN TOSDII

<https://doi.org/10.34216/2073-1426-2026-32-1-144-153>

ВОЗРАСТНАЯ СПЕЦИФИКА НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СОСРЕДОТОЧЕННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Тихомирова Елена Викторовна, кандидат психологических наук, доцент, Костромской государственный университет, Кострома, Россия, tichomirowa82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3844-4622>

Тихонова Инна Викторовна, кандидат психологических наук, доцент, Костромской государственный университет, Кострома, Россия, inn.007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7756-0610>

Самохвалова Анна Геннадьевна, доктор психологических наук, Костромской государственный университет, Кострома, Россия, a_samohvalova@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4401-053X>

Буйкин Степан Вячеславович, кандидат медицинских наук, Костромской государственный университет, Кострома, Россия, bsv@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2648-3245>

Сойту Алёна Константиновна, ассистент кафедры, Костромской государственный университет, Кострома, Россия, a_vorobeva@kosgos.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3910-5382>

Сибиркина Елена Александровна, Костромской государственный университет, Кострома, Россия, kotik52607@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3551-7407>

Аннотация. Длительность сосредоточенного внимания является критическим когнитивным процессом, определяющим эффективность деятельности. Настоящее исследование направлено на выявление нейрофизиологических маркеров устойчивого внимания и их связи с видом когнитивной нагрузки в различных возрастных группах. В исследовании приняли участие 155 здоровых добровольцев в возрасте от 18 до 65 лет (средний возраст $32,4 \pm 12,8$ лет, 78 женщин, 77 мужчин), которые выполняли две когнитивные задачи различной модальности: зрительный тест Ландольта (15 минут) и слуховую корректурную пробу (6 минут). Одновременно проводилась регистрация электроэнцефалограммы с использованием 6-канальной системы NeuroPlay-6С с электродами Fp1, Fp2, T3, T4, O1, O2, размещенными согласно международной системе 10-20. Несмотря на отсутствие значимых возрастных различий в поведенческих показателях, выявлены статистически значимые различия в спектральных характеристиках ЭЭГ. У молодых испытуемых эффективность зрительного внимания коррелировала с паттерном «спектральной мобилизации» (генерализованная десинхронизация альфа-ритма), тогда как у зрелых – с паттерном «амплитудной регуляции» (локальное снижение амплитуды лобных ритмов и функциональное вовлечение затылочного альфа-ритма). В слуховой модальности у зрелых испытуемых эффективность оказалась тесно связана с фронтальной альфа-активностью, в то время как у молодежи значимых корреляций не выявлено. Результаты подтверждают гипотезу о возрастной трансформации нейрофизиологических стратегий поддержания сосредоточенного внимания – от глобальной мобилизации ресурсов к более специализированной и экономичной регуляции. Полученные данные важны для разработки возраст-ориентированных методов нейрофизиологического мониторинга когнитивного состояния в профессиональной и образовательной сферах.

Ключевые слова: электроэнцефалография, когнитивная нагрузка, длительное сосредоточенное наблюдение, сосредоточенное внимание, тест Ландольта, слуховая проба, половозрастные различия, нейромаркеры.

Для цитирования: Тихомирова Е.В., Тихонова И.В., Самохвалова А.Г., Буйкин С.В., Сойту А.К., Сибиркина Е.А. Возрастная специфика нейрофизиологических маркеров длительности сосредоточенного наблюдения // Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. 2026. Т. 32, № 1. С. 144–153. <https://doi.org/10.34216/2073-1426-2026-32-1-144-153>

AGE-RELATED SPECIFICITY OF NEUROPHYSIOLOGICAL MARKERS OF FOCUSED ATTENTION DURATION

Elena V. Tikhomirova, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russia, tichomirowa82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3844-4622>

Inna V. Tikhonova, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russia, inn.007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7756-0610>

Anna G. Samokhvalova, Doctor of Psychological Sciences, Kostroma State University, Kostroma, Russia, a_samokhvalova@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4401-053X>

Stepan V. Buikin, Candidate of Medical Sciences, Kostroma State University, Kostroma, Russia, bsv@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2648-3245>

Alena K. Soyту, Assistant Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russia, a_vorobeва@kosgos.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3910-5382>

Elena A. Sibirskina, Kostroma State University, Kostroma, Russia, kotik52607@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3551-7407>

Abstract. The duration of focused attention is a critical cognitive process that determines the effectiveness of activity. The present study aims to identify neurophysiological markers of sustained attention and their relationship with the type of cognitive load across different age groups. The study involved 155 healthy volunteers aged 18 to 65 years (mean age 32.4 ± 12.8 years, 78 women, 77 men), who performed two cognitive tasks of different modalities: a visual Landolt ring test (15 minutes) and an auditory correction test (6 minutes). Electroencephalographic recording was conducted simultaneously using a 6-channel NeuroPlay-6C system with electrodes Fp1, Fp2, T3, T4, O1, O2, placed according to the international 10-20 system. Despite the absence of significant age-related differences in behavioral performance, statistically significant differences in EEG spectral characteristics were revealed. In young subjects, visual attention efficiency correlated with a “spectral mobilization” pattern (generalized desynchronization of alpha rhythm), whereas in mature subjects it correlated with an “amplitude regulation” pattern (local reduction of frontal rhythm amplitude and functional involvement of occipital alpha rhythm). In the auditory modality, performance in mature subjects was closely related to frontal alpha activity, while in young subjects no significant correlations were found. The results support the hypothesis of an age-related transformation of neurophysiological strategies for maintaining focused attention - from global resource mobilization towards more specialized and efficient regulation. The obtained data are important for developing age-oriented methods of neurophysiological monitoring of cognitive state in professional and educational settings.

Keywords: electroencephalography, cognitive load, prolonged focused observation, focused attention, Landolt ring test, auditory test, age and sex differences, neuromarkers.

For citation: Tikhomirova E.V., Tikhonova I.V., Samokhvalova A.G., Buikin S.V., Soyту A.K., Sibirskina E.A. Age-related specificity of neurophysiological markers of focused attention duration. Vestnik of Kostroma State University. Series: Pedagogy. Psychology. Sociokinetics, 2026, vol. 32, no. 1, pp. 144–153. <https://doi.org/10.34216/2073-1426-2026-32-1-144-153>

Введение. В условиях стремительной трансформации профессиональной деятельности в VUCA-мире (нестабильность, неопределенность, сложность, неоднозначность) существенно возрастают требования к когнитивным ресурсам человека. Ключевым компонентом профессиональной надежности во многих видах труда (операторская деятельность, управление сложными системами, образование, медицина) становится способность к поддержанию длительного сосредоточенного наблюдения (ДСН) – частного случая устойчивого внимания, характеризующегося высокой избирательностью и низкой частотой целевых стимулов [Руководство]¹ и другие нормативные документы). ДСН не только определяет эффективность деятельности, но и законодательно закреплено в качестве ключевого объективного показателя напряженности трудового процесса, относящегося к сенсорным нагрузкам [Приказ]².

Современная практика специальной оценки условий труда (СОУТ) для измерения ДСН опирается преимущественно на методы внешнего наблюдения: хронометраж, видеорегистрацию, опросы и экспертные оценки. Однако эти методы обладают фундаментальными ограничениями, включая отсутствие четких критериев, высокую субъективность, трудоемкость, влияние на поведение работника, проблемы конфиденциальности, зависимость от профессии и, что наиболее важно, неспособность отражать внутренние нейрофизиологические процессы, лежащие в основе внимания [Макеев: 29–31]. Подчеркивается ограниченность методов оценки напряженности трудового процесса в целом [Новикова, Широков, Егорова: 69]. Это создает разрыв между нормативной потребностью в объективном мониторинге и методической размытостью критериев оценки.

В контексте современной нейронауки внимание рассматривается как гетерогенный конструкт, включающий компоненты бдительности, ориентации и исполнительного контроля [Fan et al.: 340]. Нормативный же подход оперирует единым интегральным показателем ДСН, не дифференцируя его нейрофизиологические составляющие. Таким образом, актуальной научно-практической проблемой является разработка объективных, надежных методов диагностики ДСН, основанных на прямом измерении активности мозга в режиме, приближенном к реальному времени. Перспективная методология сбора данных без отрыва от профессиональной деятельности включает использование биодатчиков, способных измерять сосредоточенность внимания и его длительность неинвазивным способом [Mohamed, Halaby, Said, et al.: 3743].

Теоретическое обоснование. Фундаментальной основой для объективной оценки когнитивных процессов является регистрация активности центральной нервной системы, поскольку именно функционирование головного мозга детерминирует протекание психических функций и эффективность поведения [Gazzaniga, Ivry, Mangun: 1257–1258]. Среди нейрофизиологических методов электроэнцефалография (ЭЭГ) представляет собой оптимальный инструмент для решения поставленной задачи. ЭЭГ обеспечивает неинвазивное, естественное «окно» в живой мозг с миллисекундным временным разрешением, позволяя наблюдать динамику скоординированной работы нейронных ансамблей [Gkintoni, Halkiopoulos: 730; Fingelkurts, Fingelkurts: 9560]. С позиций современной биофизики мозг представляет собой сложную систему электромагнитных взаимодействий, где согласованная осцилляторная активность нейронных популяций является базовым механизмом информационных процессов, а её нарушения коррелируют с когнитивными дисфункциями [Engel, Fries, Singer: 704; Uhlhaas, Singer: 155–156]. Следовательно, анализ паттернов мозговых ритмов открывает путь к выделению объективных нейромаркеров когнитивного состояния.

Теоретическая база исследования опирается на современные представления о функциональном значении ключевых ритмов ЭЭГ в контексте внимания и когнитивного контроля.

Комплексный анализ мощности, частоты и топографии ритмов ЭЭГ предоставляет многомерную объективную картину функционального состояния мозга, лежащего в основе ДСН.

Важным аспектом, требующим специального изучения, являются возрастные различия в нейрофизиологии когнитивных процессов. Индивидуальные различия в характеристиках ЭЭГ, связанные с возрастом, представляют собой важный аспект нейрофизиологии когнитивных процессов [Watanabe, Shibata,

Tanaka et al.: 1438924]. Понимание этих различий критически важно для разработки персонализированных образовательных, психокоррекционных, нейроэргономических подходов и адекватной интерпретации нейрофизиологических данных.

Крупномасштабное исследование с участием более 1400 испытуемых в возрасте от 6 до 86 лет выявило значимые половые различия в характеристиках альфа-ритма [Chiang, Rennie, Robinson et al.: 1505]. У мужчин до 16 лет наблюдаются более высокие пиковые частоты и мощность альфа-ритма, которые затем значительно снижаются к 20 годам, демонстрируя резкий переход, связанный с завершением созревания мозга. У женщин динамика альфа-ритма характеризуется постепенным, линейным снижением с возрастом, отражая более плавные возрастные изменения нейрофизиологических процессов [Vysata, Kukul, Prochazka et al.: 35].

В исследованиях функциональной связности во время сна было установлено, что функциональная связность у женщин в высокочастотных диапазонах ЭЭГ (бета и гамма) существенно выше, чем у мужчин, тогда как в низкочастотных диапазонах (дельта и тета) значимых различий не обнаруживается [Barry, Clarke, Johnstone et al.: 2765]. Эти различия могут отражать более эффективную интеграцию информации в распределенных корковых сетях у женщин, что согласуется с данными о более высокой устойчивости когнитивных функций у женщин в процессе старения [Salthouse: 201].

Анализ спектральных характеристик ЭЭГ у детей младшего школьного возраста выявил половые различия в паттернах медленноволновой и быстроволновой активности [Reynolds, Courage, Richards: 886]. У девочек наблюдается меньшая мощность колебаний в альфа-диапазоне по сравнению с мальчиками, но большая мощность в бета-диапазоне. Эти различия интерпретируются как отражение более раннего созревания коры головного мозга у девочек, что проявляется в более выраженной высокочастотной активности. Формирование ритмического паттерна ЭЭГ происходит у девочек на 1–2 года раньше, чем у мальчиков, при этом основные этапы перестройки волновой структуры ЭЭГ также наступают раньше [Portnova, Atanov: 56–61].

Возрастные изменения параметров ЭЭГ отражают динамику созревания и старения мозга [Vysata, Kukul, Prochazka et al.: 35]. Исследование возрастной траектории альфа-ритма показывает, что с возрастом альфа-активность смещается в более фронтальные области, что может указывать на компенсаторное увеличение активности в лобной доле или снижение активности в затылочной доле [Anguera, Vossanfus, Rintoul et al.: 97]. Наиболее вероятной причиной этого эффекта является постепенное снижение средней

мощности альфа-ритма с возрастом, особенно выраженное в затылочных областях [Chiang, Rennie, Robinson et al.: 1505].

Лонгитюдное исследование на выборке испытуемых от 3 до 75 лет выявило значительные возрастные различия в стабильности амплитуды основных ритмов ЭЭГ [Portnova, Atanov: 56]. У пожилых людей наблюдается более низкая стабильность амплитуды ритмов ЭЭГ, а пик альфа-ритма меньше как у детей, так и у пожилых людей по сравнению с молодыми и среднего возраста взрослыми.

Важным аспектом возрастных изменений является динамика когерентности ЭЭГ. Исследования показывают, что у детей из-за слабого развития неокортекса характеризуется сниженная когерентность между лобными и затылочными электродами на пиковой частоте альфа-ритма. С возрастом происходит усиление дальних связей между удаленными электродами, отражающее созревание кортикальных связей и формирование более интегрированных функциональных сетей [Salthouse: 201]. У взрослых наблюдается более высокая когерентность между удаленными областями, что обеспечивает эффективную интеграцию информации при выполнении сложных когнитивных задач [McIntosh, Grady, Ungerleider et al.: 655].

Связь когнитивных функций с параметрами ЭЭГ также демонстрирует возрастную специфичность. Корреляты когнитивных способностей зависят от возраста: у молодых взрослых более высокие когнитивные функции ассоциируются с определенным паттерном TAR, тогда как у пожилых взрослых, не демонстрирующих возраст-ожидаемых изменений ЭЭГ, более вероятны когнитивные дефициты. Это предполагает, что умеренные возраст-специфичные изменения в альфа-активности и TAR являются признаком здорового старения, тогда как отсутствие таких изменений может сигнализировать о нарушенном когнитивном функционировании [Salthouse: 201].

Несмотря на прогресс в нейронауках, понимание возрастной специфики нейрофизиологических маркеров именно сосредоточенного наблюдения, особенно на российских выборках, остается дефицитным. Восполнение этого пробела представляет существенную научную ценность и практический интерес для создания возраст-ориентированных моделей объективной диагностики когнитивной надежности.

Цель исследования: выявить возрастные особенности нейрофизиологических маркеров длительности сосредоточенного наблюдения при разных видах когнитивной нагрузки.

Гипотеза исследования: длительность сосредоточенного наблюдения напрямую связана с видом когнитивной нагрузки и проявляется в специфических паттернах мощности ритмов ЭЭГ в различных

корковых отведениях, при этом данные нейрофизиологические маркеры демонстрируют значимые возрастные различия.

Процедура исследования. Общая выборка составила 155 человек. Возрастной диапазон: от 18 до 49 лет, средний возраст 29,6 лет. Гендерное распределение: 67 мужчин и 88 женщин. Критериями исключения из выборки были: прием психоактивных препаратов в течение последних 2 недель, наличие имплантированных электронных устройств, беременность, острые соматические заболевания. Анализ возрастной специфики исследуемых показателей проводился на основе стратификации исходной выборки на две когорты. Критерием разделения послужил возрастной порог в 30 лет, что обусловлено теоретическими представлениями о завершении периода молодости и переходе к зрелому возрасту в контексте нейрокогнитивного развития. В результате была сформирована следующая структура выборки: первая группа – молодость: 86 испытуемых в возрасте от 18 до 29 лет (средний возраст $21,1 \pm 2,8$ лет); вторая группа (зрелость): 69 испытуемых в возрасте от 30 до 50 лет (средний возраст $40,2 \pm 6,1$ лет).

Экспериментальный протокол был разработан с учетом требований к комплексной оценке когнитивного состояния и включал следующие этапы общей продолжительностью 28 минут:

1. Подготовка к пробам – настройка оборудования, инструктаж участника (2 минуты).

2. Тест САН – с регистрацией ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами (3 минуты).

3. Тест Ландольта – 5 сессий по 3 минуты каждая (L1–L5), общее время 15 минут. Регистрировались следующие показатели: общее количество правильно найденных целевых стимулов, количество ошибок, точность выполнения задачи (отношение неправильных ответов к общему количеству просмотренных символов), продуктивность (общее количество просмотренных символов).

4. Слуховые пробы – 6 сессий по 1 минуте каждая (H1–H6), общее время 6 минут. Пробы включали задачи на селективное слуховое внимание. Участникам через наушники предъявлялись последовательности звуковых стимулов различной частоты. Задача заключалась в обнаружении целевых стимулов и нажатии кнопки при их появлении. Регистрировались следующие показатели: G – продуктивность, AP – точность (процент успешности), R – скорость реакций.

5. Фоновая ЭЭГ – повторная регистрация в состоянии покоя (2 минуты). Регистрация ЭЭГ проводилась с использованием 6-канальной системы NeuroPlay-6C с активными электродами, расположенными в соответствии с международной систе-

мой 10-20: Fp1, Fp2 (фронтальные области), T3, T4 (височные области), O1, O2 (затылочные области). Референтный электрод располагался на мочке левого уха, заземляющий – на лбу. Частота дискретизации составляла 125 Гц. Обработка сигнала включала следующие этапы: полосовая фильтрация 0,5–50 Гц для удаления артефактов; сегментация на эпохи по 2 секунды с перекрытием 50 %; спектральный анализ с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ). Для анализа использовались четыре основных частотных диапазона: Дельта (δ): 1–3 Гц; Тета(θ): 4–7 Гц; Альфа (α): 8–12 Гц; Бета (β): 13–30 Гц.

Для каждого канала и частотного диапазона рассчитывались три метрики: суммарная мощность (sum), индекс мощности (PI) и относительная мощность (%).

Статистическая обработка данных проводилась с использованием статистического пакета SPSS 21 и пакета расчетных алгоритмов Excel. Использовались: дескриптивная статистика, критерий Манна – Уитни для межгруппового сравнения, корреляционный анализ Спирмена.

Результаты и обсуждение. Анализ возрастной специфики исследуемых показателей проводился в два этапа: на первом этапе изучались различия в показателях длительности сосредоточенного наблюдения и показателях ЭЭГ, на втором – выявлялась специфика связи изучаемых переменных в каждой возрастной группе. Данная последовательность действий выполнялась для обеих экспериментальных серий с разными видами когнитивной нагрузки: зрительной и слуховой модальности.

Сравнительный анализ ключевых показателей длительности сосредоточенного наблюдения зрительной модальности между двумя возрастными когортами не выявил статистически значимых различий. Это говорит о том, что в рамках данного исследования базовые характеристики сосредоточенного внимания, измеряемые с помощью теста Ландольта (объем работы, количество ошибок, точность и общая продуктивность), остаются стабильными в возрастном диапазоне от 18 до 50 лет.

При этом были выявлены статистически значимые различия спектральных характеристик ЭЭГ в условиях пролонгированного сосредоточенного наблюдения зрительной модальности (критерий Манна – Уитни $p \leq 0,05$) (табл. 1).

Выявлена комплексная возрастная перестройка биоэлектрической активности. Во второй возрастной группе (30–50 лет) наблюдается статистически значимое усиление бета-активности (O_{β_PI} : до 46,84 с 40,53; $O_{\beta_ \%}$: до 43,79 с 41,61) на фоне снижения тета-активности (O_{θ_PI} : до 13,70 с 15,97; $O_{\theta_ \%}$: до 11,98 с 12,92). Обнаруженные изменения носят компенсаторный характер. Повышение высокочастотной бета-активности свидетельствует о мобилизации дополнительных когнитивных ресурсов для поддержания концентрации внимания, тогда как снижение тета-ритма отражает возрастную оптимизацию работы нейронных сетей.

Сравнительный анализ выявил статистически значимые корреляции параметров ЭЭГ с показателями внимания (Q, N, A, P), структура которых различается в двух возрастных группах: 18–29 (табл. 2) и 30–50 лет (табл. 3).

В группе молодежи эффективность определяется паттерном «спектральной мобилизации». Ключевую роль играют показатели относительной мощности (%) ритмов. Эффективность положительно связана с генерализованной десинхронизацией альфа-ритма в лобной и затылочной коре, что трактуется как признак общей корковой активации. Качество выполнения (точность A) опосредовано противоположными вкладами ритмов височной коры: положительной связью с тета-активностью ($T_{\theta_ \%}$) и отрицательной – с бета-активностью ($T_{\beta_ \%}$), что маркирует состояния успешного контроля и когнитивного напряжения соответственно.

В группе зрелого возраста доминирует паттерн «амплитудной регуляции». На первый план выходят корреляции с абсолютной амплитудой ритмов. Продуктивность сопряжена со снижением амплитуды фронтальных ритмов (тета $F_{\theta_ amp}$, бета $F_{\beta_ amp}$, альфа $F_{\alpha_ amp}$), что может отражать более эконо-

Таблица 1
Статистически значимые возрастные различия спектральных характеристик ЭЭГ в условиях пролонгированного сосредоточенного наблюдения зрительной модальности (критерий Манна – Уитни $p \leq 0,05$)

Возрастная группа		$O_{\alpha_ \%}$	$O_{\beta_ PI}$	$O_{\beta_ \%}$	$O_{\theta_ PI}$	$O_{\theta_ \%}$	$O_{\theta_ amp}$
18–29 лет (N = 86)	Среднее	16,92	40,53	41,61	15,97	12,92	17,31
	Стд. отклонение	2,49	14,71	4,17	6,28	2,94	7,22
30–50 лет (N = 69)	Среднее	15,91	46,84	43,79	13,70	11,98	17,17
	Стд. отклонение	1,94	14,66	3,60	4,81	2,22	15,30
Итого	Среднее	16,47	43,34	42,58	14,96	12,50	17,25
	Стд. отклонение	2,31	14,97	4,06	5,77	2,68	11,50

Таблица 2

Статистически значимые корреляции между параметрами ЭЭГ и показателями сосредоточенного наблюдения зрительной модальности в группе молодежи 18–29 лет (N = 86)

ЭЭГ маркеры	Q (количество)	N (ошибки)	A (точность)	P (продуктивность)
O_α_%				-0,310**
T_α_%	-0,218*			
T_β_%		0,271*	-0,270*	
T_θ_%		-0,241*	0,219*	
F_α_%	-0,226*			-0,261*
F_α_amp	-0,258*	-0,221*		
F_β_PI	0,249*			
F_β_%	0,244*			

Примечание: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$.

Таблица 3

Статистически значимые корреляции между параметрами ЭЭГ и показателями сосредоточенного наблюдения зрительной модальности в группе респондентов 30–50 лет

ЭЭГ маркеры	Q (количество)	N (ошибки)	A (точность)	P (продуктивность)
O_α_%	0,246*			
T_α_PI	0,253*			
T_β_%		0,265*	-0,252*	
T_θ_amp		-0,284*	0,275*	
F_α_amp	-0,248*			
F_β_amp	-0,301*			-0,275*
F_θ_amp	-0,312**			

мичное использование когнитивных ресурсов. Качественное отличие – позитивная роль затылочного альфа-ритма (O_α_%), что согласуется с его предполагаемой функцией активного подавления нерелевантной информации [Callan et al.: 1168108]. По данным других авторов, снижение альфа-активности в затылочных областях связано с улучшением внимания к зрительным стимулам [Keller et al: 48].

Инвариантный для обеих групп механизм – связь высокой точности (A) с усилением тета- и подавлением бета-активности в височных отведениях, подчеркивающая универсальность этого контура в контроле ошибок. В то же время с возрастом наблюдается изменение роли фронтальной коры. У молодежи фронтальная кора показывает разнонаправленные корреляции (F_α_%, F_α_amp, F_β_%, F_β_PI). У зрелых наблюдается консолидация фронтального контроля с доминированием амплитудных параметров (F_α_amp, F_β_amp, F_θ_amp). С возрастом появляются новые маркеры – значимые связи с амплитудой тета-ритма в височной коре (T_θ_amp) и затылочной альфа-активностью (O_α_%), при этом отсутствуют значимые корреляции с процентным представлением тета-ритма в височной коре (T_θ_%), которые были выражены у молодежи. Происходит и трансформация

альфа-активности. У молодежи – единый негативный паттерн альфа-ритма во всех отведениях. У зрелых – разделение функций: позитивная роль затылочной альфа-активности при сохранении негативной роли фронтальной альфа-активности.

Таким образом, наблюдается трансформация нейрофизиологической стратегии: от глобальной мобилизации ресурсов (альфа-десинхронизация) у молодежи к более специализированной и экономичной регуляции, характеризующейся локальным снижением амплитуды лобных ритмов и функциональным вовлечением затылочного альфа-ритма у лиц зрелого возраста.

Далее также был проведен анализ особенностей длительности сосредоточенного наблюдения слуховой модальности (табл. 4) и его нейрофизиологических коррелятов с учетом возраста (табл. 5).

Сравнительный анализ ключевых показателей длительности сосредоточенного наблюдения слуховой модальности между двумя возрастными когортами (18–29 лет и 30–50 лет) также не выявил статистически значимых различий. Все три ключевых показателя демонстрируют практически идентичные значения в обеих возрастных группах. Это говорит о том, что слуховое внимание сохраняет высокую эффективность в возрасте 30–50 лет.

Таблица 4

Дескриптивные статистики показателей сосредоточенного наблюдения слуховой пробы в группах 18–29 лет и 30–50 лет

Возрастная группа	G (продуктивность)	AP (точность)	R (скорость реакций)
18–29 лет (N=86)	355,942	0,9887	643,7326
30–50 лет (N=69)	355,971	0,9888	643,4928

Таблица 5

Статистически значимые возрастные различия спектральных характеристик ЭЭГ в условиях пролонгированного сосредоточенного наблюдения слуховой модальности ($p \leq 0,05$)

Стат. данные	Среднее 18–29 лет (N = 86)	Стд. отклонение 18–29 лет (N = 86)	Среднее 30–50 лет (N = 69)	Стд. отклонение 30–50 лет (N = 69)
O_α_PI	22,28	9,03	20,32	11,37
O_α_%	18,17	3,69	17,12	4,11
O_β_PI	39,29	12,97	44,06	13,20
O_β_%	41,81	4,17	43,30	4,10
O_θ_PI	15,63	5,95	12,97	4,57
O_θ_%	12,61	2,82	11,65	2,42
O_θ_amp	15,88	7,45	15,31	12,18
T_β_PI	38,23	14,76	41,94	12,01
T_β_%	41,11	6,92	43,30	5,27
T_θ_PI	16,74	6,15	14,41	4,99
T_θ_%	13,67	4,04	12,04	3,10
F_α_amp	18,68	8,61	19,62	5,81
F_β_amp	16,89	5,30	18,77	6,39

Таблица 6

Статистически значимые корреляции Спирмена между параметрами ЭЭГ и показателями слуховой пробы (N = 69) во второй когорте

	G (продуктивность)	AP (точность)	R (скорость реакций)
F_α_PI	0,263*	0,263*	
F_α_%	0,383**	0,383**	-0,280*
F_θ_PI			-0,251*

Примечание: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$.

Анализ фоновой активности выявил системные изменения, свидетельствующие о возрастной перестройке корковой нейродинамики. Наиболее выраженной тенденцией является увеличение представленности бета-ритма во всех исследуемых областях коры (O_β, T_β, F_β), достигающее максимума в затылочных отведениях. Это может отражать изменения в балансе возбуждающих и тормозных нейромедиаторных систем. Параллельно наблюдается умеренное снижение мощности тета-диапазона в затылочных (O_θ) и височных (T_θ) областях. В целом паттерн характеризуется смещением спектрального баланса в сторону высоких частот у зрелых испытуемых, что согласуется с данными о возрастных изменениях в нейрональной синхронизации.

Корреляционный анализ выявил принципиальные различия в характере взаимосвязей между пара-

метрами ЭЭГ и поведенческими показателями в исследуемых возрастных группах.

В группе молодых испытуемых (18–29 лет) статистически значимые корреляции между спектральными характеристиками ЭЭГ и эффективностью выполнения слуховой пробы отсутствуют, тогда как в группе зрелых испытуемых (30–50 лет) обнаружен комплекс устойчивых значимых взаимосвязей (табл. 6).

Анализ возрастных особенностей нейрофизиологических коррелятов слухового сосредоточенного внимания в группе зрелых испытуемых (30–50 лет) показывает основные закономерности:

1. Доминирование фронтальной альфа-активности. F_α_% демонстрирует наиболее сильные корреляции: с продуктивностью (G: +0,383), с точностью (AP: +0,383), со скоростью реакции (R: -0,280).

2. Системный характер связей: F_{α_PI} показывает положительные корреляции с продуктивностью и точностью (+0,263), а F_{θ_PI} отрицательно связан со скоростью реакции (-0,251).

У зрелых людей эффективность слухового внимания напрямую зависит от фронтальной альфа-активности.

Отсутствие корреляций у молодежи свидетельствует о различных нейрофизиологических стратегиях обработки слуховой информации.

Сравнивая данные закономерности со зрительной модальностью, можно говорить, что в обеих модальностях у зрелых людей наблюдается усиление роли фронтальной коры. Альфа-ритм выступает значимым предиктором эффективности.

Выводы. Исследование подтвердило гипотезу о значимых возрастных различиях в нейрофизиологических маркерах внимания, несмотря на сохранение поведенческих показателей (точность, продуктивность) в возрастном диапазоне 18–50 лет. У молодых испытуемых (18–29 лет) эффективность зрительного внимания связана с паттерном «спектральной мобилизации», характеризующимся генерализованной десинхронизацией альфа-ритма (снижение $F_{\alpha_ \%}$, $O_{\alpha_ \%}$) как признаком общей корковой активации. У зрелых испытуемых (30–50 лет) наблюдается переход к паттерну «амплитудной регуляции», который отличается более экономичным использованием ресурсов. Он проявляется в локальном снижении амплитуды лобных ритмов (тета, бета, альфа) и функциональном вовлечении затылочного альфа-ритма ($O_{\alpha_ \%}$), что может отражать активное подавление нерелевантной информации. Возрастная перестройка также выражается в системном усилении бета-активности и снижении тета-активности, что свидетельствует о компенсаторной мобилизации ресурсов и оптимизации работы нейронных сетей.

В слуховой модальности возрастные различия проявились наиболее ярко в характере нейрофизиологических коррелятов. У зрелых испытуемых эффективность слухового внимания (продуктивность, точность, скорость) оказалась тесно связана с усилением фронтальной альфа-активности ($F_{\alpha_ \%}$, $F_{\alpha_ PI}$), тогда как у молодежи значимых корреляций не выявлено. Это указывает на формирование с возрастом более специализированной и эффективной нейрофизиологической стратегии обработки слуховой информации, опосредованной лобной корой.

Независимо от возраста и модальности, ключевым универсальным механизмом, ассоциированным с высокой точностью выполнения задач, является контур височной коры: положительная связь точности с тета-активностью и отрицательная – с бета-активностью. Это подчеркивает фундаментальную роль

данного нейрофизиологического паттерна в контроле ошибок и успешном когнитивном контроле.

Полученные данные о возрастной трансформации стратегий мозговой активности – от глобальной мобилизации ресурсов к более локализованной и экономической регуляции – важны для разработки возраст-ориентированных методов оценки когнитивного состояния, оптимизации учебных и профессиональных нагрузок, а также для создания интерфейсов «мозг-компьютер», учитывающих индивидуальные и возрастные нейрофизиологические особенности.

Примечания

¹ «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» Р 2.2.2006-05 (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005) URL: <https://base.garant.ru/>

² Приказ Минтруда России от 21.11.2023 N 817н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению» URL: <https://base.garant.ru/>

Список литературы

Макеев Н.И. Напряженность труда: критический взгляд на действующие критерии оценки // Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. 2015. № 4. С. 29–35.

Методика проведения специальной оценки условий труда: утв. приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 21.11.2023 № 817н.

Новикова А.В., Широков В.А., Егорова А.М. Напряженность труда как фактор риска развития синдрома эмоционального выгорания и тревожно-депрессивных расстройств в различных профессиональных группах (обзор литературы) // Здоровье населения и среда обитания. 2022. № 10. С. 67–74. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-10-67-74>

Anguera J.A., Boccanfuso J., Rintoul J.L. et al. Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, 2013, vol. 501, no. 7465, pp. 97–101.

Barry R.J., Clarke A.R., Johnstone S.J. et al. EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions. *Clinical Neurophysiology*, 2007, vol. 118, no. 12, pp. 2765–2773.

Callan D.E., Fukada T., Dehais F., Ishii S. The role of brain-localized gamma and alpha oscillations in inattention deafness: implications for understanding human attention. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2023, vol. 17, art. 1168108. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1168108>.

Chiang A.K., Rennie C.J., Robinson P.A. et al. Age trends and sex differences of alpha rhythms including split alpha peaks. *Clinical Neurophysiology*, 2011, vol. 122, no. 8, pp. 1505–1517.

Engel A.K., Fries P., Singer W. Dynamic predictions: Oscillations and synchrony in top-down processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 2001, vol. 2, no. 10, pp. 704–716.

Fan J., McCandliss B.D., Sommer T., Raz A., Posner M.I. Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2002, no. 14 (3), pp. 340–347. <https://doi.org/10.1162/089892902317361886>

Fingelkurts A., Fingelkurts A. Quantitative Electroencephalogram (qEEG) as a Natural and Non-Invasive Window into Living Brain and Mind in the Functional Continuum of Healthy and Pathological Conditions. *Applied Sciences*, 2022, no. 12 (19): 9560. <https://doi.org/10.3390/app12199560>

Gazzaniga M.S., Ivry R.B., Mangun G.R. *Cognitive neuroscience: The biology of the mind*, 5th ed. New York, W.W. Norton & Company, 2018, 736 p.

Gkintoni E., Halkiopoulos C. Mapping EEG Metrics to Human Affective and Cognitive Models: An Interdisciplinary Scoping Review from a Cognitive Neuroscience Perspective. *Biomimetics (Basel)*, 2025, № 10 (11), pp. 730. <https://doi.org/10.3390/biomimetics10110730>

Keller A.S., Payne L., Sekuler R. Characterizing the roles of alpha and theta oscillations in multisensory attention. *Neuropsychologia*, 2017, vol. 99, pp. 48–63. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.02.021>

McIntosh A.R., Grady C.L., Ungerleider L.G. et al. Network analysis of cortical visual pathways mapped with PET. *Journal of Neuroscience*, 1994, vol. 14, no. 2, pp. 655–666.

Mohamed Z., El Halaby M., Said T, Shawky D, Badaoui A. Characterizing Focused Attention and Working Memory Using EEG. *Sensors (Basel)*, 2018, Nov. 2, № 18 (11): 3743. <https://doi.org/10.3390/s18113743>.

Portnova G.V., Atanov M.S. Age-Dependent Changes of the EEG Data: Comparative Study of Correlation Dimension D2, Spectral Analysis, Peak Alpha Frequency and Stability of Rhythms. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology (IJIRCST)*, 2016, vol. 4, iss.2, pp. 56–61. <https://ssrn.com/abstract=3535022>

Reynolds G.D., Courage M.L., Richards J.E. Infant attention and visual preferences: Converging evidence from behavior, event-related potentials, and cortical source localization. *Developmental Psychology*, 2010, vol. 46, no. 4, pp. 886–904.

Salthouse T.A. Consequences of age-related cognitive declines. *Annual Review of Psychology*, 2012, vol. 63, pp. 201–226.

Uhlhaas P.J., Singer W. Neural synchrony in brain disorders: Relevance for cognitive dysfunctions and pathophysiology. *Neuron*, 2006, vol. 52, no. 1, pp. 155–168.

Vysata O., Kukal J., Prochazka A. et al. Age-related changes in EEG coherence. *Neurologia i Neurochirurgia Polska*, 2014, vol. 48, no. 1, pp. 35–38.

Watanabe Y., Shibata T., Tanaka M., Ishii K., Higuchi Y., Kobayashi Y., Kosugi Y. Age-related changes in EEG signal using triple correlation values. *Front. Hum. Neurosci.*, 2024, no. 18: 1438924. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1438924>

References

Makeev N.I. *Napryazhennost' truda: kriticheskii vzglyad na deistvuyushchie kriterii otsenki* [Labor Intensity: A Critical View of Current Assessment Criteria]. *Okhrana truda i tekhnika bezopasnosti na promyshlennykh predpriyatiyakh* [Occupational Health and Safety at Industrial Enterprises], 2015, vol. 4, pp. 29–35. (In Russ.)

Metodika provedeniya spetsial'noi otsenki uslovii truda: utv. prikazom Ministerstva truda i sotsial'noi zashchity Rossiiskoi Federatsii ot 21 noyab. 2023 g. № 817n [Methodology for Conducting a Special Assessment of Working Conditions: Approved by Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation of November 21, 2023 no. 817n]. (In Russ.)

Novikova A.V., Shirokov V.A., Egorova A.M. *Napryazhennost' truda kak faktor riska razvitiya sindroma emotsional'nogo vygoraniya i trevozhno-depressivnykh rasstroistv v razlichnykh professional'nykh gruppakh (obzor literatury)* [Labor Intensity as a Risk Factor for the Development of Burnout Syndrome and Anxiety-Depressive Disorders in Various Professional Groups (Literature Review)]. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* [Public Health and Life Environment], 2022, vol. 10, pp. 67–74. (In Russ.)

Anguera J.A., Boccanfuso J., Rintoul J.L. et al. Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, 2013, vol. 501, no. 7465, pp. 97–101.

Barry R.J., Clarke A.R., Johnstone S.J. et al. EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions. *Clinical Neurophysiology*, 2007, vol. 118, no. 12, pp. 2765–2773.

Callan D.E., Fukada T., Dehais F., Ishii S. The role of brain-localized gamma and alpha oscillations in inattentive deafness: implications for understanding human attention. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2023, vol. 17, art. 1168108. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1168108>.

Chiang A.K., Rennie C.J., Robinson P.A. et al. Age trends and sex differences of alpha rhythms including split alpha peaks. *Clinical Neurophysiology*, 2011, vol. 122, no. 8, pp. 1505–1517.

Engel A.K., Fries P., Singer W. Dynamic predictions: Oscillations and synchrony in top-down processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 2001, vol. 2, no. 10, pp. 704–716.

Fan J., McCandliss B.D., Sommer T., Raz A., Posner M.I. Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2002, no. 14 (3), pp. 340–347. <https://doi.org/10.1162/089892902317361886>

Fingelkurts A., Fingelkurts A. Quantitative Electroencephalogram (qEEG) as a Natural and Non-Invasive Window into Living Brain and Mind in the Functional Continuum of Healthy and Pathological Conditions. *Applied Sciences*, 2022, no. 12 (19): 9560. <https://doi.org/10.3390/app12199560>

Gazzaniga M.S., Ivry R.B., Mangun G.R. *Cognitive neuroscience: The biology of the mind*, 5th ed. New York, W.W. Norton & Company, 2018, 736 p.

Gkintoni E., Halkiopoulos C. Mapping EEG Metrics to Human Affective and Cognitive Models: An Interdisciplinary Scoping Review from a Cognitive Neuroscience Perspective. *Biomimetics* (Basel), 2025, no. 10 (11), pp. 730. <https://doi.org/10.3390/biomimetics10110730>

Keller A.S., Payne L., Sekuler R. Characterizing the roles of alpha and theta oscillations in multisensory attention. *Neuropsychologia*, 2017, vol. 99, pp. 48–63. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.02.021>.

McIntosh A.R., Grady C.L., Ungerleider L.G. et al. Network analysis of cortical visual pathways mapped with PET. *Journal of Neuroscience*, 1994, vol. 14, no. 2, pp. 655–666.

Mohamed Z., El Halaby M., Said T, Shawky D, Badawi A. Characterizing Focused Attention and Working

Memory Using EEG. *Sensors* (Basel), 2018, Nov. 2, № 18 (11): 3743. <https://doi.org/10.3390/s18113743>.

Portnova G.V., Atanov M.S. Age-Dependent Changes of the EEG Data: Comparative Study of Correlation Dimension D2, Spectral Analysis, Peak Alpha Frequency and Stability of Rhythms. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology (IJIRCST)*, 2016, vol. 4, iss. 2, pp. 56–61. <https://ssrn.com/abstract=3535022>

Reynolds G.D., Courage M.L., Richards J.E. Infant attention and visual preferences: Converging evidence from behavior, event-related potentials, and cortical source localization. *Developmental Psychology*, 2010, vol. 46, no. 4, pp. 886–904.

Salthouse T.A. Consequences of age-related cognitive declines. *Annual Review of Psychology*, 2012, vol. 63, pp. 201–226.

Uhlhaas P.J., Singer W. Neural synchrony in brain disorders: Relevance for cognitive dysfunctions and pathophysiology. *Neuron*, 2006, vol. 52, no. 1, pp. 155–168.

Vysata O., Kukul J., Prochazka A. et al. Age-related changes in EEG coherence. *Neurologia i Neurochirurgia Polska*, 2014, vol. 48, no. 1, pp. 35–38.

Watanabe Y., Shibata T., Tanaka M., Ishii K., Higuchi Y., Kobayashi Y., Kosugi Y. Age-related changes in EEG signal using triple correlation values. *Front. Hum. Neurosci*, 2024, no. 18: 1438924. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1438924>

Статья поступила в редакцию 20.11.2025; одобрена после рецензирования 25.12.2025; принята к публикации 25.12.2025.

The article was submitted 20.11.2025; approved after reviewing 25.12.2025; accepted for publication 25.12.2025.