

Возрастные особенности динамики альфа-ритма: краткий обзор

Поликанова И.С.

*Федеральный научный центр психологических и междисциплинарных исследований (ФНЦ ПМИ), г. Москва, Российская Федерация,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>, e-mail: irinapolikanova@mail.ru*

Михеев И.Н.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ),
г. Москва, Российская Федерация,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2005-9918>, e-mail: imikheev@hse.ru*

Леонов С.В.

*Федеральный научный центр психологических и междисциплинарных исследований (ФНЦ ПМИ), г. Москва, Российская Федерация,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>, e-mail: svleonov@gmail.com*

Мартынова О.В.

*Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (ИВНД РАН),
г. Москва, Российская Федерация,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>, e-mail: omartynova@hse.ru*

В данном мини-обзоре рассмотрены возрастные особенности динамики альфа-ритма, источники его генерации и связь с когнитивными функциями. Альфа-ритм характеризуется высокой индивидуальной стабильностью и при этом имеет выраженную возрастную динамику u-формы. Пиковая частота альфа-ритма увеличивается от младенчества до молодого взрослого возраста и далее снижается в период старения мозга. До сих пор ведутся дискуссии относительно источников генерации альфа-ритма. Современные данные показывают отсутствие очевидной связи пиковой частоты альфа-ритма с когнитивными способностями человека и интеллектом. Такие параметры альфа-ритма, как индивидуальная стабильность, генетическая обусловленность и возрастные особенности, делают его перспективным маркером для определения когнитивного и биологического возраста.

Ключевые слова: ЭЭГ, альфа-ритм, возраст человека.

Финансирование: Работа выполнена в Лаборатории конвергентных исследований когнитивных процессов ФНЦ ПМИ, созданной в рамках конкурса Минобрнауки России.

Для цитаты: Поликанова И.С., Михеев И.Н., Леонов С.В., Мартынова О.В. Возрастные особенности динамики альфа-ритма: краткий обзор [Электронный ресурс] // Клиническая и специальная психология. 2024. Том 13. № 4. С. 29–50. DOI: 10.17759/cpse.2024130402

Age-Related Features of Alpha Rhythm Dynamics: A Brief Review

Irina S. Polikanova

Federal Scientific Centre for Psychological and Interdisciplinary Research, Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>, e-mail: irinapolikanova@mail.ru

Ilja N. Mikheev

National Research University Higher School of Economics (HSE), Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2005-9918>, e-mail: imikheev@hse.ru

Sergey V. Leonov

Federal Scientific Centre for Psychological and Interdisciplinary Research, Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>, e-mail: svleonov@gmail.com

Olga V. Martynova

Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS (IVND RAS), Moscow, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>, e-mail: omartynova@hse.ru

In this mini-review, the age-related features of alpha rhythm dynamics, its generation sources, and its connection to cognitive functions are discussed. The review focuses on a brief systematization of data regarding the alpha rhythm of human brain bioelectrical activity and its informativeness in determining the biological age of the human brain. The alpha rhythm is characterized by high individual stability and exhibits pronounced age-related dynamics in its U-shape. The peak frequency of the alpha rhythm increases from infancy to young adulthood and then decreases during brain aging. Discussions about the sources of alpha rhythm generation are still ongoing. Current data show a lack of a clear connection between the peak frequency of alpha rhythm and human cognitive abilities and intelligence. Parameters of the alpha rhythm, such as individual stability, genetic predisposition, and age-related characteristics, make it a promising marker for both normative development and brain aging in determining cognitive and biological age.

Keywords: EEG, alpha-rhythm, brain aging.

Funding: The work was carried out in the Laboratory of Convergent Studies of Cognitive Processes of the FSC PMI, established within the framework of the competition of the Ministry of Education and Science of Russia.

For citation: Polikanova I.S., Mikheev I.N., Leonov S.V., Martynova O.V. Age-related features of alpha rhythm dynamics: a brief review. *Klinicheskaya i spetsial'naya psikhologiya = Clinical Psychology and Special Education*, 2024. Vol. 13, no. 4, pp. 29–50. DOI: 10.17759/cpse.2024130402 (In Russ., abstr. in Engl.)

Введение

В данном мини-обзоре мы ставили цель сформировать представление о возрастных особенностях динамики альфа-ритма, акцентируя внимание на источниках его

генерации и связи с когнитивными функциями, которые также подвержены возрастным изменениям и благодаря чему альфа-ритм можно рассматривать в качестве маркера когнитивного старения.

С альфа-ритма началась история изучения биоэлектрической активности головного мозга, или электроэнцефалограммы (ЭЭГ), когда Ганс Бергер в 1924 году впервые записал, а в 1929 году опубликовал результаты по регистрации электрических потенциалов головного мозга человека [15]. Волны электрической активности головного мозга с частотой колебаний примерно 10 Гц получили название «альфа-ритм». Спустя пять лет в 1934 году вышла публикация [8], подтверждающая открытие Г. Бергера. Со временем были открыты и другие волны биоэлектрической активности мозга — бета-, тета-, дельта-ритмы [18], а также ритмические колебания на частоте, сходной с альфа-ритмом, но отличающиеся локализацией и функциональным значением — мю-ритм с максимумом мощности в сенсомоторных отведениях [39], каппа-ритм с максимумом мощности в височных отведениях [82], тау-ритмы с максимумом мощности в верхних височных отведениях [89]. В данном обзоре акцент сделан именно на альфа-ритме.

Источники генерации альфа-ритма

Альфа-ритм является основным ритмом спокойного бодрствования человека, наблюдаемым преимущественно в теменно-затылочных областях головы в виде четко модулированных веретен амплитудой от 40 до 60–80 мкВ на частоте 8–13 Гц. Альфа-ритм хорошо виден без дополнительной обработки при закрытых глазах в состоянии физического и умственного расслабления [38; 76]. При открывании глаз наблюдается снижение амплитуды альфа-ритма (эффект Бергера). Однако около 10–15% индивидуумов в норме характеризуются низкоамплитудным альфа-ритмом, не превышающим 20 мкВ [5]. Индивидуальный альфа-ритм имеет высокую интраиндивидуальную стабильность [47], а также достаточно сильную вариацию между отдельными людьми и изменчивость с возрастом [41].

Источники генерации альфа-ритма оставались неопределенными вплоть до 1970-х годов [24]. В настоящее время сложилось несколько позиций в отношении источников генерации альфа-ритма. Согласно одним позициям, альфа-ритм связан с активностью таламуса благодаря вовлеченности в сенсорные процессы. По данным исследований на животных, классический затылочный альфа-ритм управляется подушкой и/или латеральными колленчатными ядрами таламуса [72; 86]. В исследовании Мунка с коллегами [25] при одновременной регистрации ЭЭГ и функциональной магниторезонансной томографии (фМРТ) анализировали изменения амплитуды затылочного альфа-ритма для изучения гемодинамических коррелятов альфа-активности ЭЭГ. Авторы показали, что время пика альфа-ритма в таламусе возникает на несколько секунд раньше, чем в затылочной и теменной коре. При этом не обнаружено систематической BOLD (blood oxygen level dependent) активности, предшествующей активности альфа-диапазона, хотя у двух испытуемых с наиболее сильной мощностью альфа-диапазона такая корреляция присутствовала.

В то время как некоторые авторы говорят о таламусе как об источнике, генерирующем альфа-колебания [37], другие приводят доводы в пользу кортикального происхождения альфа-ритма [50; 67]. Последнее не противоречит многочисленным

данным, полученным на животных, о том, что источником альфа-ритма является субгранулярная зона гиппокампа [60; 75; 78].

В исследованиях на человеке многократно подтверждается наблюдение, что мощность альфа-ритма снижается в областях мозга, имеющих отношение к задаче [26; 34; 63; 69; 73; 84; 90]. Существует предположение, что ослабление альфа-мощности отражает освобождение релевантных задач областей от торможения [7; 40; 70; 71]. Наконец, результаты интракраниальной регистрации ЭЭГ у человека подтверждают, что преобладающим источником альфа-ритма служит электрический потенциал субгранулярной зоны зубчатой извилины [35]. В совокупности ранее полученные данные позволяют предположить, что альфа-ритм, вероятно, отражает интегральную ингибирующую внутрикортикальную обратную связь за счет торможения ассоциативных связей, которая распространяется от коры более высокого порядка к нижним слоям коры и от коры к таламусу и субгранулярной зоне гиппокампа [23; 35; 54]. В контексте исследований возраста мозга необходимо установить влияние изменений объемов, активности и проводящих путей вышеописанных структур-источников на параметры альфа-ритма. Так, например, при помощи МЭГ-исследования было показано снижение затылочно-теменного альфа-пика, связанное с одновременным повышением активности тета-диапазона в гиппокампе [36]. Однако изменение мощностей ритмов, даже при использовании МЭГ и ее более точной пространственной локализации активности, не дает точного объяснения связи возрастной динамики альфа-ритма с анатомическими изменениями мозга в результате старения.

Исследования ЭЭГ человека также указывают на гетерогенность альфа-ритма, т.е. на возможное существование нескольких параллельно действующих источников его генерации. Граттон с коллегами применили трехкомпонентную пространственную модель к данным ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма (8–12 Гц), включающую височный, затылочный и теменной компоненты [33]. Результаты показали, что при закрытых глазах средняя альфа-частота составила 9,51 Гц для височного, 9,88 Гц для затылочного и 10,14 Гц для теменного компонента. Мощность затылочного компонента была больше, чем остальных, и она значительно уменьшалась с возрастом. Возраст не имел значимой корреляции с пиковой частотой трех компонентов альфа-диапазона. Однако у пожилых людей (в возрасте 62–75 лет) отмечается тенденция к снижению частоты альфа-ритма и смещение максимума мощности во фронтальные отведения [59]. Авторы предполагают, что три компонента альфа-ритма могут отражать электрическую активность, генерируемую в различных областях зрительной системы. Затылочный компонент может быть связан с ритмической активностью в первичных зрительных областях, височный компонент может соответствовать аналогичному типу активности в зрительных областях в нижней височной доле, а теменной компонент — активности в теменных зрительных областях.

Барзегаран с коллегами [13] выявили двухкомпонентную структуру альфа-ритма в 90% выборки из 29 человек (в некоторых случаях — трехкомпонентную структуру). Типичная структура альфа-ритма в состоянии покоя состояла из высокочастотного затылочно-теменного компонента и низкочастотного затылочно-височного компонента. В нескольких случаях авторы обнаружили трехкомпонентную структуру, с двумя затылочно-теменными компонентами и одним затылочно-височным.

В исследовании на выборке из 60 здоровых испытуемых в возрасте от 20 до 81 года было показано, что альфа-ритм, как правило, состоит из двух компонентов [46].

Авторы установили, что распределение более высокочастотного затылочно-теменного компонента расширяется с возрастом, его максимум активности перемещается от дипольного источника, расположенного в полях Бродмана 18/19, к полю 37. Низкочастотный компонент, источник которого определяется в затылочно-теменных областях у молодых взрослых, также смещается ростральнее с возрастом, сохраняя свой максимум в поле Бродмана 37. Оба компонента замедляются примерно на 1 Гц в течение жизни взрослого человека. Многокомпонентный альфа-ритм чаще встречается у молодых людей, тогда как однокомпонентный альфа-ритм — у пожилых. Такая динамика альфа-ритма, включая увеличение пространственного и частотного перекрытия между его компонентами, позволяет предположить трансформацию многокомпонентного альфа-ритма в однокомпонентный альфа-ритм с возрастом [13].

Недавние исследования с применением различных регрессионных моделей вне зависимости от разновидности применяемых алгоритмов машинного и/или глубокого обучения на больших наборах данных ($n > 2500$) магнитоэнцефалограммы (МЭГ) и ЭЭГ людей от молодого до пожилого возраста подтверждают возрастную динамику альфа-ритма [30; 31]. Исследования показали, что пространственное распределение кортикальных спектров мощности в бета- (13–30 Гц) и альфа-диапазонах (8–13 Гц) является наиболее значимым фактором, объясняющим показатели возраста мозга среди многих других альтернативных характеристик обработки данных разной сложности [27]. Перспективные направления по определению интегративных показателей возраста мозга человека основаны на оценке объемов областей и проводящих путей мозга, толщины коры и васкулярных изменений [85]. Примечательно, что в одном из исследований было установлено наличие прямой связи между гиперплотностью белого вещества с более высокой мощностью альфа-ритма и с возрастом, что, по мнению авторов, является следствием влияния гиперплотности белого вещества на пространственную организацию источников альфа-ритма. При этом связи увеличения плотности проводящих путей мозга с уменьшением пиковой частоты альфа-ритма у участников исследования (60–80 лет, $n = 907$) выявлено не было [49].

Возрастные изменения мощности и частоты альфа-ритма ЭЭГ

В целом ряде исследований было показано, что альфа-пик характеризуется постепенным увеличением частоты с младенчества и до пубертата [19; 22; 28; 57; 81; 83]. В работе Гетц и коллег показано, что у детей с момента рождения до двух лет пиковая частота и мощность альфа-ритма увеличиваются с возрастом, а продолжительность и синхронность альфа-веретен уменьшаются [29]. У взрослых людей, наоборот, альфа-пик характеризуется уменьшением с возрастом: с 20 до 70 лет его частота уменьшается в среднем с 10,89 Гц до 8,24 Гц [42]. Наиболее заметное уменьшение пика альфа-ритма наблюдается в пожилом возрасте.

В исследовании Строгановой и коллег на 154 младенцах [81] было выявлено, что реакции альфа-ритма в задаче на зрительное внимание и на предъявление однородного темного фона зависела только от периода внеутробного опыта (возраста ребенка), независимо от гестационного возраста при рождении. Авторы делают вывод о связи между более высокой частотой альфа-ритма и наличием раннего визуального опыта.

Полученные данные относительно связи зрительного опыта и величины альфа-ритма согласуются как с классическими работами [3], так и с более современными

данными. К примеру, в работе Kriegseis с коллегами [48] проведено сравнение амплитуды и топографии альфа-активности ЭЭГ между врожденно слепыми и зрячими взрослыми при выполнении задач на тактильное восприятие и пространственное воображение. В обоих заданиях активность в верхнем и нижнем альфа-диапазонах была значительно ниже у врожденно слепых по сравнению со зрячими участниками в теменно-затылочных областях коры головного мозга. Авторы делают вывод о связи зрительного сигнала и структур мозга, которые обуславливают генерацию альфа-ритма в теменно-затылочных областях у здоровых взрослых. Шуберт с коллегами получили аналогичные результаты [74]. Авторы изучили осцилляторную активность мозга в процессе выполнения задания на тактильное внимание. Осознание может быть локализовано в анатомических (ощущения на коже) или внешних (ощущения тела в пространстве) координатах. Результаты показали, что у зрячих людей альфа-активность отражает использование внешних пространственных координат, а бета-активность — анатомические координаты. У слепых людей центральная альфа-активность указывает на предпочтение анатомических координат, а бета-активность не отличается от зрячих. Таким образом, различия в использовании координатных систем связаны с развитием зрения и отсутствием соответствующих нейронных механизмов у слепых людей.

Систематический лонгитюдный анализ ЭЭГ Маршалла и коллег [57] показал появление пика 6–9 Гц в разных областях скальпа у 29 участников (5, 10, 14, 24 и 51 месяц). Пик альфа-ритма, или индивидуальный альфа-ритм (ИАР), увеличивался по мере развития и роста. В рамках семилетнего лонгитюдного исследования [14] на выборке из 96 здоровых детей (47 мальчиков и 49 девочек) было показано, что в возрасте от 4 до 17 лет содержание тета-волн уменьшается, а альфа-волн — увеличивается. У девочек доля медленных альфа-волн (7,5–9,5 Гц) начинает увеличиваться в затылочных отведениях раньше, чем у мальчиков, и позже уменьшается. Быстрые альфа-волны (9,5–12,5 Гц) растут после снижения тета-волн. Изменения в затылочных отведениях происходят быстрее и активнее в раннем детстве. До 6 лет у девочек больше тета- и меньше альфа-волн по сравнению с мальчиками, но они развиваются быстрее и догоняют их. К примеру, в работе Мартинович с коллегами показано, что у девочек 13–15 лет средняя частота верхнего альфа-ритма значимо выше по сравнению с мальчиками [58]. Похожие результаты были получены также Кларке с коллегами [21].

Важно отметить, что в научной литературе приводится множество исследований, демонстрирующих гендерные и возрастные особенности развития когнитивных функций в детском возрасте [2; 6; 52; 62; 79]. Как правило отмечается опережающее развитие девочек по отношению к мальчикам, включая электрофизиологические параметры [1; 12; 55; 61]. Девочки достигают половой зрелости на 2–3 года раньше, чем мальчики. Это влияет на более раннее развитие речи у них, четкость звукопроизношения, чтение, овладение иностранными языками и другие аспекты, в том числе благодаря более раннему, по сравнению с мальчиками, развитию левого полушария. Мальчики характеризуются более ранним развитием правого полушария, что обеспечивает им лучшее пространственное и логическое мышление, математические способности [1]. При этом мальчики демонстрируют высокую когерентность в левом полушарии с одновременным снижением ее в правом полушарии, что может быть связано с большей дифференциацией и количеством нейронов, а также меньшим количеством белого вещества в правом полушарии [56].

В исследовании Chiang и коллег изучались возрастные тенденции и половые различия альфа-ритмов ЭЭГ на выборке здоровых участников (1498 человек в возрасте от 6 до 86 лет) [20]. Результаты показали, что с возрастом альфа-ритмы смещаются в более фронтальные области, что может указывать на увеличение активности в лобной доле или снижение активности в затылочной доле. Однако авторы предполагают, что снижение с возрастом средней мощности альфа-ритмов является более вероятной причиной данного эффекта. Также были обнаружены различия между мужчинами и женщинами в отношении частоты и мощности альфа-ритмов. У мужчин до 16 лет наблюдались более высокие пиковые частоты и мощность альфа-ритма, которые затем значительно снижались к 20 годам. У женщин же динамика показателей альфа-ритма отражает возрастные изменения, то есть постепенное снижение с возрастом.

Динамические изменения ЭЭГ в процессе развития и старения были изучены в работе Портновой и Атанова на выборке здоровых испытуемых в возрасте 3–75 лет [67]. Выборка была разделена на шесть подгрупп: дошкольное детство, среднее детство, подростковый возраст, ранняя зрелость, средняя зрелость, поздняя зрелость. Авторы обнаружили значительные возрастные различия в указанных группах. Было показано, что у пожилых пациентов наблюдается более низкая стабильность амплитуды основных ритмов ЭЭГ и что пик альфа-ритма меньше у детей и пожилых людей. Также авторами выявлено, что пациенты после черепно-мозговых травм демонстрируют большее сходство по мощности спектра ЭЭГ с детьми, то есть отличаются меньшей стабильностью, указывающей на возможную дисфункцию альфа-ритмической активности.

В другом исследовании на выборке 17722 здоровых испытуемых (водителей грузовиков) в возрасте от 20 до 70 лет были изучены изменения ЭЭГ с возрастом [88]. Авторы показали отрицательную корреляцию мощности всех ритмов ЭЭГ с возрастом, но наиболее значимые изменения были выявлены для альфа-ритма.

Десинхронизация или выраженное падение мощности при переходе от состояния спокойного бодрствования к активному состоянию является особенностью альфа-ритма. Было показано, что степень десинхронизации альфа-ритма менее выражена при выполнении моторных задач у пожилых людей, по сравнению с молодыми, что также связывает ослабление альфа-ритма с ухудшением моторных навыков с возрастом [53].

Еще одним важным свойством альфа-ритма является его высокая когерентность у взрослых людей между удаленными электродами. Дети из-за слабого развития неокортекса характеризуются сниженной когерентностью между лобными и затылочными электродами на пиковой частоте альфа-ритма [80]. Существуют также половые различия в когерентности альфа-ритма. Так, девочки 8–12 лет характеризуются меньшей внутрислоушной и межполушарной когерентностью, которая увеличивается по мере их развития [12].

Альфа-ритм как маркер когнитивного и биологического возраста человека

Исследования возрастных изменений альфа-ритма, его силы и пиковой частоты важны не только для изучения биологического возраста, но и для определения когнитивного возраста человека, поскольку установлена связь альфа-ритма с когнитивными функциями. Согласно некоторым исследованиям, пиковая частота альфа-ритма имеет положительную связь с успешностью выполнения когнитивных функций, связанных с вниманием, памятью и скоростью обработки информации [41; 42].

Частота индивидуального альфа-ритма возрастает больше в правом полушарии при выполнении зрительных заданий и больше в левом при выполнении арифметических заданий [9]. В ряде исследований установлено, что индивидуальная частота альфа-колебаний взаимосвязана с индивидуальными различиями в когнитивной деятельности и когнитивных способностях [16; 32; 44; 87]. Климеш показал, что испытуемые со сниженными мнестическими способностями характеризуются снижением пика альфа-ритма во время выполнения заданий на память, а испытуемые с высокими мнестическими способностями характеризуются стабильностью пика альфа-ритма в различных условиях [44; 45]. Также Климеш показал, что испытуемые с высокими мнестическими способностями и высокой скоростью обработки информации характеризуются частотой альфа-пика в среднем на 1 Гц большей по сравнению с контрольной группой [42–45; 87]. Тем не менее в некоторых работах ставится под сомнение наличие связи между спектральными характеристиками ЭЭГ и интеллектом [11; 64; 65]. Кроме того, в одной из работ показано, что дети с расстройствами аутистического спектра могут иметь более высокую частоту альфа-ритма, чем их нормотипичные сверстники [77]. При этом дети и подростки с достоверно более высоким уровнем IQ, чем их сверстники, могут иметь достоверно сниженную частоту альфа-ритма. В работе Постума с коллегами [68] проводилось исследование 271 семьи близнецов (688 участников), в котором показано отсутствие корреляций между ИАР и интеллектом, однако по отдельности данные параметры показали высокую степень наследуемости. В работе Пахор и Яушовец [65] также показано отсутствие корреляций между индивидуальным альфа-ритмом и IQ. Вместе с тем, авторы показали положительную корреляцию у мужчин между ИАР и умственным вращением, манипулированием формами и вниманием, объемом внимания, а также положительную корреляцию между ИАР и временем реакции у женщин.

Неоднозначные данные получены в ряде исследований, направленных на стимуляцию ИАР. К примеру, в работе Пахор и Яушовец [65] с использованием транскраниальной стимуляции переменным током (tACS) проводилось увеличение ИАР. У мужчин это вызвало ухудшение выполнения заданий на интеллект (матрицы Равена), а у женщин — легкий положительный эффект. В работе Бобби [17] на здоровых пожилых участниках (60–65 лет) проводились сеансы терапии с биологической обратной связью, направленные на увеличение альфа-ритма. Результаты показали увеличение производительности рабочей памяти и когнитивных навыков.

В работе Грэнди с коллегами [32] проводилось крупномасштабное тренировочное исследование, в котором здоровые молодые (20–31 год, $n = 30$) и пожилые (65–80 лет, $n = 28$) люди выполняли тренировки когнитивных функций (примерно по 100 тренировок). ЭЭГ регистрировали до и после когнитивного тренинга. В обеих возрастных группах ИАР не изменился, несмотря на значительный прирост когнитивных показателей. Это указывает на стабильность ИАР у здоровых взрослых до 80 лет и возможность использования этого показателя в качестве нейробиологического маркера когнитивных функций.

Таким образом, индивидуальная стабильность, генетическая обусловленность и возрастные особенности альфа-ритма делают его перспективным маркером как развития, так и старения мозга. Определение степени соответствия альфа-ритма нормотипичным возрастным характеристикам может способствовать развитию методик определения соответствия биологического и когнитивного возраста человека его хронологическому возрасту [4]. «Возраст мозга» также является одним из наиболее

важных индикаторов биологического возраста человека, и большинство последних работ по определению возраста мозга основано на его структурных изменениях [85] и их связи с генетическими факторами [10; 51; 66].

Несмотря на это, определение возраста мозга (преимущественно для молодого и пожилого возрастов) на основе его биоэлектрической активности и, в частности, параметров альфа-диапазона остается актуальной областью исследований и имеет перспективы развития благодаря большей распространенности процедуры записи ЭЭГ в клинической практике по сравнению с магнитно-резонансной томографией головного мозга.

Заключение

Суммируя все изложенное выше, можно подчеркнуть следующее. Альфа-ритм является доминирующим по амплитуде ритмом мозга человека в спокойном бодрствовании. Существуют разные взгляды на природу возникновения альфа-ритма. Некоторые авторы говорят о таламусе как источнике возникновения альфа-ритма в связи с его вовлеченностью в сенсорные процессы. Другие исследования говорят в пользу кортикального происхождения альфа-ритма. В последнее время все больше появляется доказательств в пользу того, что источником альфа-ритма является субгранулярная зона зубчатой извилины гиппокампа.

На сегодняшний день имеются противоречивые данные относительно взаимосвязи между величиной ИАР и когнитивными способностями человека. В то время как ранние исследования продемонстрировали явную связь между более высоким ИАР и улучшенными когнитивными функциями, такими как восприятие, внимание, сенсорная обработка и мышление, последние исследования не подтверждают столь явную связь. Вместе с тем, показана связь между гендерными особенностями, когнитивными способностями и величиной ИАР.

Альфа-ритм характеризуется высокой индивидуальной стабильностью, однако имеет выраженную возрастную динамику, которую можно описать u-формой. В период с младенчества до пубертата (а по некоторым данным до приблизительно 20 лет) индивидуальный пик альфа-ритма характеризуется более низкой частотой (5–9 Гц). С возрастом частота пика альфа-ритма постепенно увеличивается (8–13 Гц). У взрослых людей альфа-ритм характеризуется высокой стабильностью, однако отмечается снижение его пика в течение жизни (с 20 до 70 лет). В пожилом возрасте (старше 70 лет) происходит также выраженное снижение мощности альфа-ритма. В настоящее время все больше доказательств в пользу существования многокомпонентной структуры альфа-ритма (обычно двух-, иногда — трехкомпонентной). Более высокочастотный затылочно-теменной компонент характеризуется расширением с возрастом и смещением из поля Бродмана 18/19 к полю 37. Низкочастотный компонент в затылочно-теменной области характеризуется с возрастом более роstralным смещением с максимумом также в поле 37. В пожилом возрасте отмечается, как правило, наличие однокомпонентной структуры альфа-ритма. В целом, индивидуальная стабильность, генетическая обусловленность альфа-ритма и повторяющиеся данные о его возрастной динамике делают его перспективным маркером определения возраста мозга человека преимущественно для молодого и пожилого возрастов.

Литература

1. Антипанова Н.А., Сатаева А.М., Жумабаева Г.Т. Гендерный подход в развитии речи мальчиков и девочек // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3. С. 52–55.
2. Веракса А.Н., Куриленко В.Б., Новикова И.А. Феноменология детства в современных контекстах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Психология и педагогика. 2023. Том 20. № 3. С. 419–430. DOI: 10.22363/2313-1683-2023-20-3-419-430
3. Новикова Л.А. Влияние нарушений зрения и слуха на функциональное состояние мозга. М.: Просвещение, 1966. 319 с.
4. Поликанова И.С., Балан П.В., Мартынова О.В. Когнитивный и биологический возраст человека: актуальные вопросы и новые перспективы в исследовании старения // Теоретическая и экспериментальная психология. 2022. № 5 (4). С. 106–120. DOI: 10.24412/2073-0861-2022-4-106-120
5. Сазонова Е.А., Быков Е.В. Влияние электромагнитного излучения низкой интенсивности на биоэлектрическую активность головного мозга студентов-спортсменов // Научно-спортивный вестник Урала и Сибири. 2018. № 4. С. 32–39.
6. Якшина А.Н. Разновозрастные группы в детском саду: возможности и риски для развития дошкольников // Современное дошкольное образование. 2022. Том 109. № 1. С. 4–14. DOI: 10.24412/1997-9657-2022-1109-4-14
7. Abubaker M., Al Qasem W., Kvašňák E. Working memory and cross-frequency coupling of neuronal oscillations // *Frontiers in Psychology*. 2021. Vol. 12. P. 756661. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.756661
8. Adrian E.D., Matthews B.H.C. The Berger rhythm: potential changes from the occipital lobes in man // *Brain*. 1934. Vol. 57(4). P. 355–385. DOI: 10.1093/brain/57.4.355
9. Angelakis E., Lubar J.F., Stathopoulou S., Kounios J. Peak alpha frequency: an electroencephalographic measure of cognitive preparedness // *Clinical Neurophysiology*. 2004. Vol. 115 (4). P. 887–897. DOI: 10.1016/j.clinph.2003.11.034
10. Anokhin A.P. Genetic psychophysiology: Advances, problems, and future directions // *International Journal of Psychophysiology*. 2014. Vol. 93 (2). P. 173–197. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2014.04.003
11. Anokhin A., Vogel F. EEG alpha rhythm frequency and intelligence in normal adults // *Intelligence*. 1996. Vol. 23 (1). P. 1–14. DOI: 10.1016/S0160-2896(96)80002-X
12. Barry R.J., Clarke A.R., McCarthy R. et al. Age and gender effects in EEG coherence: I. Developmental trends in normal children // *Clinical neurophysiology*. 2004. Vol. 115 (10). P. 2252–2258. DOI: 10.1016/j.clinph.2004.05.004
13. Barzegaran E., Vildavski V.Y., Knyazeva M.G. Fine structure of posterior alpha rhythm in human EEG: Frequency components, their cortical sources, and temporal behavior // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7 (1). P. 1–12. DOI: 10.1038/s41598-017-08421-z
14. Benninger C., Matthis P., Scheffner D. EEG development of healthy boys and girls. Results of a longitudinal study // *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. 1984. Vol. 57 (1). P. 1–12. DOI: 10.1016/0013-4694(84)90002-6
15. Berger H. Uber das Elektroenkephalogramm des Menschen // *Archiv fur Psychiatrie und Nervenkrankheiten*. 1929. Vol. 87. P. 527–570. DOI: 10.1007/BF01797193

16. Bertaccini R., Ellena G., Macedo-Pascual J. et al. Parietal alpha oscillatory peak frequency mediates the effect of practice on visuospatial working memory performance // *Vision*. 2022. Vol. 6 (2). P. 30. DOI: 10.3390/vision6020030
17. Bobby J.S. Peak alpha neurofeedback training on cognitive performance in elderly subjects // *International Journal of Medical Engineering and Informatics*. 2020. Vol. 12 (3). P. 237–247. DOI: 10.1504/IJMEI.2020.107093
18. Buzsaki G. *Rhythms of the Brain*. New York: Oxford University Press, 2006. 464 p. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780195301069.001.0001
19. Cellier D., Riddle J., Petersen I., Hwang K. The development of theta and alpha neural oscillations from ages 3 to 24 years // *Developmental cognitive neuroscience*. 2021. Vol. 50. P. 100969. DOI: 10.1016/j.dcn.2021.100969
20. Chiang A.K.I., 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 (8). P. 1505–1517. DOI: 10.1016/j.clinph.2011.01.040
21. Clarke A.R., Barry R.J., McCarthy R., Selikowitz M. Age and sex effects in the EEG: development of the normal child // *Clinical neurophysiology*. 2011. Vol. 112 (5). P. 806–814. DOI: 10.1016/S1388-2457(01)00488-6
22. Cuevas K., Bell M.A. EEG frequency development across infancy and childhood // In: P.A. Gable, M.W. Miller, E.M. Bernat (Eds). *The Oxford Handbook of EEG Frequency*, Oxford Library of Psychology. 2022. P. 293–323. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780192898340.013.13
23. D'Souza R.D., Wang Q., Ji W. et al. Hierarchical and nonhierarchical features of the mouse visual cortical network // *Nature Communications*. 2022. Vol. 13 (1). P. 503. DOI: 10.1038/s41467-022-28035-y
24. Da Silva F.H.L., Van Leeuwen W.S. The cortical source of the alpha rhythm // *Neuroscience Letters*. 1977. Vol. 6 (2-3). P. 237–241. DOI: 10.1016/0304-3940(77)90024-6
25. de Munck J.C., Gonçalves S.I., Huijboom L. et al. The hemodynamic response of the alpha rhythm: an EEG/fMRI study // *Neuroimage*. 2007. Vol. 35 (3). P. 1142–1151. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.01.022
26. ElShafei H.A., Orlemann C., Haegens S. The impact of eye closure on anticipatory α activity in a tactile discrimination task // *eNeuro*. 2022. Vol. 9 (1). DOI: 10.1523/ENEURO.0412-21.2021
27. Engemann D.A., Mellot A., Höchenberger R. et al. A reusable benchmark of brain-age prediction from M/EEG resting-state signals // *Neuroimage*. 2022. Vol. 262. P. 119521. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2022.119521
28. Freschl J., Al Azizi L., Balboa L. et al. The development of peak alpha frequency from infancy to adolescence and its role in visual temporal processing: A meta-analysis // *Developmental Cognitive Neuroscience*. 2022. Vol. 57. P. 101146. DOI: 10.1016/j.dcn.2022.101146
29. Goetz P., Hu D., To P.D. et al. Scalp EEG markers of normal infant development using visual and computational approaches // *43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*. IEEE, 2021. P. 6528–6532. DOI: 10.1109/EMBC46164.2021.9629909
30. Goljahan A., D'Avanzo C., Schiff S. et al. A novel method for the determination of the EEG individual alpha frequency // *Neuroimage*. 2012. Vol. 60. P. 774–786. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.12.001

31. *Gonçalves S.I., de Munck J.C., Pouwels P.J. et al.* Correlating the alpha rhythm to BOLD using simultaneous EEG/fMRI: inter-subject variability // *Neuroimage*. 2006. Vol. 30 (1). P. 203–213. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2005.09.062
32. *Grandy T.H., Werkle-Bergner M., Chicherio C. et al.* Peak individual alpha frequency qualifies as a stable neurophysiological trait marker in healthy younger and older adults // *Psychophysiology*. 2013. Vol. 50 (6). P. 570–582. DOI: 10.1111/psyp.12043
33. *Gratton G., Villa A.E., Fabiani M. et al.* Functional correlates of a three-component spatial model of the alpha rhythm // *Brain Research*. 1992. Vol. 582 (1). P. 159–162. DOI: 10.1016/0006-8993(92)90332-4
34. *Haegens S., Händel B.F., Jensen O.* Top-down controlled alpha band activity in somatosensory areas determines behavioral performance in a discrimination task // *The Journal of Neuroscience*. 2011. Vol. 31 (14). P. 5197–5204. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.5199-10.2011
35. *Halgren M., Ulbert I., Bastuji H. et al.* The generation and propagation of the human alpha rhythm // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2019. Vol. 116 (47). P. 23772–23782. DOI: 10.1073/pnas.1913092116
36. *Hinault T., Baillet S., Courtney S.M.* Age-related changes of deep-brain neurophysiological activity // *Cerebral Cortex*. 2023. Vol. 33 (7). P. 3960–3968. DOI: 10.1093/cercor/bhac319
37. *Hughes S.W., Crunelli V.* Thalamic mechanisms of EEG alpha rhythms and their pathological implications // *Neuroscientist*. 2005. Vol. 11 (4). P. 357–372. DOI: 10.1177/1073858405277450
38. *Iacono W.G., Malone S.M., Vrieze S.I.* Endophenotype best practices // *International Journal of Psychophysiology*. 2017. Vol. 111. P. 115–144. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2016.07.516
39. *Inamoto T., Ueda M., Ueno K. et al.* Motor-related mu/beta rhythm in older adults: a comprehensive review // *Brain Sciences*. 2023. Vol. 13 (5). P. 751. DOI: 10.3390/brainsci13050751
40. *Klimesch W.* Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information // *Trends in Cognitive Sciences*. 2012. Vol. 16 (12). P. 606–617. DOI: 10.1016/j.tics.2012.10.007
41. *Klimesch W.* EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis // *Brain Research. Brain Research Reviews*. 1999. Vol. 29 (2-3). P. 169–95. DOI: 10.1016/S0165-0173(98)00056-3
42. *Klimesch W.* EEG-alpha rhythms and memory processes // *International Journal of Psychophysiology*. 1997. Vol. 26 (1-3). P. 319–330. DOI: 10.1016/S0167-8760(97)00773-3
43. *Klimesch W., Doppelmayr M., Pachinger T., Russegger H.* Event-related desynchronization in the alpha band and the processing of semantic information // *Cognitive Brain Research*. 1997. Vol. 6 (2). P. 83–94. DOI: 10.1016/S0926-6410(97)00018-9
44. *Klimesch W., Schimke H., Pfurtscheller G.* Alpha frequency, cognitive load and memory performance // *Brain Topography*. 1993. Vol. 5 (3). P. 241–251. DOI: 10.1007/BF01128991
45. *Klimesch W., Doppelmayr M., Schimke H., Pachinger T.* Alpha frequency, reaction time, and the speed of processing information // *Journal of Clinical Neurophysiology*. 1996. Vol. 13 (6). P. 511–518. DOI: 10.1097/00004691-199611000-00006
46. *Knyazeva M.G., Barzegaran E., Vildavski V.Y., Demonet J.F.* Aging of human alpha rhythm // *Neurobiology of Aging*. 2018. Vol. 69. P. 261–273. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2018.05.018
47. *Kondacs A., Szabó M.* Long-term intra-individual variability of the background EEG in normal // *Clinical Neurophysiology*. 1999. Vol. 110 (10). P. 1708–1716. DOI: 10.1016/S1388-2457(99)00122-4

48. *Kriegseis A., Hennighausen E., Rösler F., Röder B.* Reduced EEG alpha activity over parieto-occipital brain areas in congenitally blind adults // *Clinical Neurophysiology*. 2006. Vol. 117 (7). P. 1560–1573. DOI: 10.1016/j.clinph.2006.03.030
49. *Kumral D., Cesnaite E., Beyer F. et al.* Relationship between regional white matter hyperintensities and alpha oscillations in older adults // *Neurobiology of Aging*. 2022. Vol. 112. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2021.10.006
50. *Laufs H., Holt J.L., Elfont R. et al.* Where the BOLD signal goes when alpha EEG leaves // *Neuroimage*. 2006. Vol. 31 (4). P. 1408–1418. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.02.002
51. *Leonardsen E.H., Vidal-Piñeiro D., Roe J.M. et al.* Genetic architecture of brain age and its causal relations with brain and mental disorders // *Molecular Psychiatry*. 2023. Vol. 28 (7). P. 3111–3120. DOI: 10.1038/s41380-023-02087-y
52. *Leybina A.V., Kashapov M.M.* Understanding kindness in the Russian Context // *Psychology in Russia: State of the Art*. 2022. Vol. 15 (1). P. 66–82. DOI: 10.11621/pir.2022.0105
53. *Manor R., Cheaha D., Kumarnsit E., Samerphob N.* Age-related Deterioration of Alpha Power in Cortical Areas Slowing Motor Command Formation in Healthy Elderly Subjects // *In Vivo*. 2023. Vol. 37 (2). P. 679–684. DOI: 10.21873/invivo.13128
54. *Markov N.T., Vezoli J., Chameau P. et al.* Anatomy of hierarchy: feedforward and feedback pathways in macaque visual cortex // *The Journal of Comparative Neurology*. 2014. Vol. 522 (1). P. 225–259. DOI: 10.1002/cne.23458
55. *Markovic A., Kaess M., Tarokh L.* Gender differences in adolescent sleep neurophysiology: a high-density sleep EEG study // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10 (1). P. 15935. DOI: 10.1038/s41598-020-72802-0
56. *Marosi E., Harmony T., Becker J. et al.* Sex differences in EEG coherence in normal children // *International Journal of Neuroscience*. 1993. Vol. 72 (1-2). P. 115–121. DOI: 10.3109/00207459308991628
57. *Marshall P.J., Bar-Haim Y., Fox N.A.* Development of the EEG from 5 months to 4 years of age // *Clinical Neurophysiology*. 2002. Vol. 113 (8). P. 1199–1208. DOI: 10.1016/S1388-2457(02)00163-3
58. *Martinović Z., Jovanović V., Ristanović D.* EEG power spectra of normal preadolescent twins. Gender differences of quantitative EEG maturation // *Neurophysiologie Clinique / Clinical Neurophysiology*. 1998. Vol. 28 (3). P. 231–248. DOI: 10.1016/S0987-7053(98)80114-7
59. *Mathewson K.E., Lleras A., Beck D.M. et al.* Pulsed out of awareness: EEG alpha oscillations represent a pulsed-inhibition of ongoing cortical processing // *Frontiers in Psychology*. 2011. Vol. 2. P. 99. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00099
60. *Mejias J.F., Murray J.D., Kennedy H., Wang X.J.* Feedforward and feedback frequency-dependent interactions in a large-scale laminar network of the primate cortex // *Science Advances*. 2016. Vol. 2 (11). Art. e1601335. DOI: 10.1126/sciadv.1601335
61. *Modarres M., Cochran D., Kennedy D.N., Frazier J.A.* Comparison of comprehensive quantitative EEG metrics between typically developing boys and girls in resting state eyes-open and eyes-closed conditions // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2023. Vol. 17. P. 1237651. DOI: 10.3389/fnhum.2023.1237651
62. *Morosanova V.I., Fomina T.G., Bondarenko I.N.* Conscious Self-Regulation as a Meta-Resource of Academic Achievement and Psychological Well-Being of Young Adolescents // *Psychology in Russia: State of the Art*. 2023 Vol. 16 (3). P. 168–188. DOI: 10.11621/pir.2023.0312

63. *Morrow A., Elias M., Samaha J.* Evaluating the evidence for the functional inhibition account of alpha-band oscillations during preparatory attention // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2023. Vol. 35 (8). P. 1195–1211. DOI: 10.1162/jocn_a_02009
64. *Ociepka M., Kałamała P., Chuderski A.* High individual alpha frequency brains run fast, but it does not make them smart // *Intelligence*. 2022. Vol. 92. P. 101644. DOI: 10.1016/j.intell.2022.101644
65. *Pahor A., Jaušovec N.* Making brains run faster: are they becoming smarter? // *The Spanish Journal of Psychology*. 2016. Vol. 19. Art. E88. DOI: 10.1017/sjp.2016.83
66. *Ponomareva N.V., Andreeva T.V., Protasova M. et al.* Genetic association of apolipoprotein E genotype with EEG alpha rhythm slowing and functional brain network alterations during normal aging // *Frontiers in Neuroscience*. 2022. Vol. 16. Art. 931173. DOI: 10.3389/fnins.2022.931173
67. *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 (2). P. 56–61.
68. *Posthuma D., Neale M.C., Boomsma D.I., De Geus E.J.C.* Are smarter brains running faster? Heritability of alpha peak frequency, IQ, and their interrelation // *Behavior Genetics*. 2001. Vol. 31. P. 567–579. DOI: 10.1023/A:1013345411774
69. *Radecke J.O., Fiene M., Misselhorn J. et al.* Personalized alpha-tACS targeting left posterior parietal cortex modulates visuo-spatial attention and posterior evoked EEG activity // *Brain Stimulation*. 2023. Vol. 16 (4). P. 1047–1061. DOI: 10.1016/j.brs.2023.06.013
70. *Rempel S., Colzato L., Zhang W. et al.* Distinguishing multiple coding levels in theta band activity during working memory gating processes // *Neuroscience*. 2021. Vol. 478. P. 11–23. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2021.09.025
71. *Roux F., Uhlhaas P.J.* Working memory and neural oscillations: alpha–gamma versus theta–gamma codes for distinct WM information? // *Trends in Cognitive Sciences*. 2014. Vol. 18 (1). P. 16–25. DOI: 10.1016/j.tics.2013.10.010
72. *Saalmann Y.B., Pinsk M.A., Wang L. et al.* The pulvinar regulates information transmission between cortical areas based on attention demands // *Science*. 2012. Vol. 337(6095). P. 753–756. DOI: 10.1126/science.1223082
73. *Schneider D., Herbst S.K., Klatt L.L., Wöstmann M.* Target enhancement or distractor suppression? Functionally distinct alpha oscillations form the basis of attention // *The European Journal of Neuroscience*. 2022. Vol. 55 (11-12). P. 3256–3265. DOI: 10.1111/ejn.15309
74. *Schubert J.T., Buchholz V.N., Föcker J. et al.* Oscillatory activity reflects differential use of spatial reference frames by sighted and blind individuals in tactile attention // *NeuroImage*. 2015. Vol. 117. P. 417–428. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2015.05.068
75. *Senzai Y., Fernandez-Ruiz A., Buzsáki G.* Layer-specific physiological features and interlaminar interactions in the primary visual cortex of the mouse // *Neuron*. 2019. Vol. 101 (3). P. 500–513. Art. e5. DOI: 10.1016/j.neuron.2018.12.009
76. *Shaw J.C.* *The brain's alpha rhythms and the mind.* Amsterdam; Boston: Elsevier, 2003. 337 p.
77. *Shen G., Green H.L., Franzen R.E. et al.* Resting-state activity in children: Replicating and extending findings of early maturation of alpha rhythms in autism spectrum disorder //

- Journal of Autism and Developmental Disorders. 2023. Vol. 54. P. 1–16. DOI: 10.1007/s10803-023-05926-7
78. *Silva L.R., Amitai Y., Connors B.W.* Intrinsic oscillations of neocortex generated by layer 5 pyramidal neurons // *Science*. 1991. Vol. 251 (4992). P. 432–435. DOI: 10.1126/science.1824881
79. *Soldatova G.U., Rasskazova E.I.* Multitasking as a Personal choice of the Mode of activity in Russian children and adolescents: its relationship to experimental multitasking and its effectiveness // *Psychology in Russia: state of the art*. 2022. Vol. 15 (2). P. 113–123. DOI: 10.11621/pir.2022.0208
80. *Srinivasan R.* Spatial structure of the human alpha rhythm: global correlation in adults and local correlation in children // *Clinical Neurophysiology*. 1999. Vol. 110 (8). P. 1351–1362. DOI: 10.1016/S1388-2457(99)00080-2
81. *Stroganova T.A., Orekhova E.V., Posikera I.N.* EEG alpha rhythm in infants // *Clinical Neurophysiology*. 1999. Vol. 110 (6). P. 997–1012. DOI: 10.1016/S1388-2457(98)00009-1
82. *Sumi Y., Miyamoto T., Sudo S. et al.* Explosive sound without external stimuli following electroencephalography kappa rhythm fluctuation: A case report // *Cephalalgia*. 2021. Vol. 41 (13). P. 1396–1401. DOI: 10.1177/03331024211021773
83. *Thorpe S.G., Cannon E.N., Fox N.A.* Spectral and source structural development of mu and alpha rhythms from infancy through adulthood // *Clinical Neurophysiology*. 2016. Vol. 127 (1). P. 254–269. DOI: 10.1016/j.clinph.2015.03.004
84. *Thut G., Nietzel A., Brandt S.A., Pascual-Leone A.* α -Band electroencephalographic activity over occipital cortex indexes visuospatial attention bias and predicts visual target detection // *The Journal of Neuroscience*. 2006. Vol. 26 (37). P. 9494–9502. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0875-06.2006
85. *Vidal-Pineiro D., Wang Y., Krogsrud S.K. et al.* Individual variations in ‘brain age’ relate to early-life factors more than to longitudinal brain change // *ELife*. 2021. Vol. 10. Art. e69995. DOI: 10.7554/eLife.69995
86. *Vijayan S., Kopell N.J.* Thalamic model of awake alpha oscillations and implications for stimulus processing // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012. Vol. 109 (45). P. 18553–18558. DOI: 10.1073/pnas.1215385109
87. *Vogt F., Klimesch W., Doppelmayr M.* High-frequency components in the alpha band and memory performance // *Journal of Clinical Neurophysiology*. 1998. Vol. 15 (2). P. 167–172. DOI: 10.1097/00004691-199803000-00011
88. *Vysata O., Kukul J., Prochazka A. et al.* Age-related changes in the energy and spectral composition of EEG // *Neurophysiology*. 2012. Vol. 44 (1). P. 63–67. DOI: 10.1007/s11062-012-9268-y
89. *Wisniewski M.G., Joyner C.N., Zakrzewski A.C., Makeig S.* Finding tau rhythms in EEG: An independent component analysis approach // *Human Brain Mapping*. 2024. Vol. 45 (2). Art. e26572. DOI: 10.1002/hbm.26572
90. *Wöstmann M., Alavash M., Obleser J.* Alpha oscillations in the human brain implement distractor suppression independent of target selection // *Journal of Neuroscience*. 2019. Vol. 39 (49). P. 9797–9805. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1954-19.2019

References

1. Antipanova N.A., Sataeva A.M., Zhumabaeva G.T. Gendernyj podhod v razvitii rechi mal'chikov i devochek [Gender approach in the development of speech of boys and girls]. *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk = International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2016. No. 3, pp. 52–55. (In Russ.)
2. Veraksa A.N., Kurilenko V.B., Novikova I.A. Fenomenologija detstva v sovremennyh kontekstah [Phenomenology of childhood in modern contexts]. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Serija: Psihologija i pedagogika = RUDN Journal of Psychology and Pedagogics*, 2023. Vol. 20, no. 3, pp. 419–430. DOI: 10.22363/2313-1683-2023-20-3-419-430 (In Russ., abstr. in Engl.)
3. Novikova L.A. Vlijanie narushenij zrenija i sluha na funkcional'noe sostojanie mozga [Influence of visual and hearing impairments on the functional state of the brain]. Moscow: Prosveshhenie, 1966. 319 p. (In Russ.)
4. Polikanova I. S., Balan P. V., Martynova O. V. Kognitivnyj i biologicheskij vozrast cheloveka: aktual'nye voprosy i novye perspektivy v issledovanii starenija [Cognitive and biological age of a person: current issues and new perspectives in the study of aging]. *Teoreticheskaja i eksperimental'naja psihologija = Theoretical and Experimental Psychology*, 2022. Vol. 5(4), pp. 106–120. DOI: 10.24412/2073-0861-2022-4-106-120 (In Russ., abstr. in Engl.)
5. Sazonova E.A., Bykov E.V. Vlijanie elektromagnitnogo izlucheniya nizkoj intensivnosti na bioelektricheskuju aktivnost' golovnogogo mozga studentov-sportsmenov [Influence of electromagnetic radiation of low intensity on the bioelectrical activity of the brain of student-athletes]. *Nauchno-sportivnyj vestnik Urala i Sibiri = Scientific and Sports Bulletin of the Urals and Siberia*, 2018. No. 4, pp. 32–39. (In Russ.)
6. Jakshina A.N. Raznovozrastnye gruppy v detskom sadu: vozmozhnosti i riski dlja razvitija doshkol'nikov [Different-age groups in kindergarten: opportunities and risks for the development of preschoolers]. *Sovremennoe doshkol'noe obrazovanie = Modern preschool education*, 2022. Vol. 109, no. 1, pp. 4–14. DOI: 10.24412/1997-9657-2022-1109-4-14 (In Russ., abstr. in Engl.)
7. Abubaker M., Al Qasem W., Kvašňák E. Working memory and cross-frequency coupling of neuronal oscillations. *Frontiers in Psychology*, 2021. Vol. 12, pp. 756661. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.756661
8. Adrian E.D., Matthews B.H.C. The Berger rhythm: potential changes from the occipital lobes in man. *Brain*, 1934. Vol. 57(4), pp. 355–385. DOI: 10.1093/brain/57.4.355
9. Angelakis E., Lubar J.F., Stathopoulou S., Kounios J. Peak alpha frequency: an electroencephalographic measure of cognitive preparedness. *Clinical Neurophysiology*, 2004. Vol. 115 (4), pp. 887–897. DOI: 10.1016/j.clinph.2003.11.034
10. Anokhin A.P. Genetic psychophysiology: Advances, problems, and future directions. *International Journal of Psychophysiology*, 2014. Vol. 93 (2), pp. 173–197. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2014.04.003
11. Anokhin A., Vogel F. EEG alpha rhythm frequency and intelligence in normal adults. *Intelligence*, 1996. Vol. 23 (1), pp. 1–14. DOI: 10.1016/S0160-2896(96)80002-X
12. Barry R.J., Clarke A.R., McCarthy R. et al. Age and gender effects in EEG coherence: I. Developmental trends in normal children. *Clinical neurophysiology*, 2004. Vol. 115 (10), pp. 2252–2258. DOI: 10.1016/j.clinph.2004.05.004

13. Barzegaran E., Vildavski V.Y., Knyazeva M.G. Fine structure of posterior alpha rhythm in human EEG: Frequency components, their cortical sources, and temporal behavior. *Scientific Reports*, 2017. Vol. 7 (1), pp. 1–12. DOI: 10.1038/s41598-017-08421-z
14. Benninger C., Matthis P., Scheffner D. EEG development of healthy boys and girls. Results of a longitudinal study. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 1984. Vol. 57 (1), pp. 1–12. DOI: 10.1016/0013-4694(84)90002-6
15. Berger H. Uber das Elektroenkephalogramm des Menschen. *Archiv fur Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 1929. Vol. 87, pp. 527–570. DOI: 10.1007/BF01797193
16. Bertaccini R., Ellena G., Macedo-Pascual J. et al. Parietal alpha oscillatory peak frequency mediates the effect of practice on visuospatial working memory performance. *Vision*, 2022. Vol. 6 (2), pp. 30. DOI: 10.3390/vision6020030
17. Bobby J.S. Peak alpha neurofeedback training on cognitive performance in elderly subjects. *International Journal of Medical Engineering and Informatics*, 2020. Vol. 12 (3), pp. 237–247. DOI: 10.1504/IJMEI.2020.107093
18. Buzsaki G. Rhythms of the Brain. New York: Oxford University Press, 2006. 464 p. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780195301069.001.0001
19. Cellier D., Riddle J., Petersen I., Hwang K. The development of theta and alpha neural oscillations from ages 3 to 24 years. *Developmental cognitive neuroscience*, 2021. Vol. 50, p. 100969. DOI: 10.1016/j.dcn.2021.100969
20. Chiang A.K.I., 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 (8), pp. 1505–1517. DOI: 10.1016/j.clinph.2011.01.040
21. Clarke A.R., Barry R.J., McCarthy R., Selikowitz M. Age and sex effects in the EEG: development of the normal child. *Clinical Neurophysiology*, 2011. Vol. 112 (5), pp. 806–814. DOI: 10.1016/S1388-2457(01)00488-6
22. Cuevas K., Bell M.A. EEG frequency development across infancy and childhood. In: P.A. Gable, M.W. Miller, E.M. Bernat (Eds). *The Oxford Handbook of EEG Frequency*, Oxford Library of Psychology. 2022. Pp. 293–323. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780192898340.013.13
23. D'Souza R.D., Wang Q., Ji W. et al. Hierarchical and nonhierarchical features of the mouse visual cortical network. *Nature Communications*, 2022. Vol. 13 (1), pp. 503. DOI: 10.1038/s41467-022-28035-y
24. Da Silva F.H.L., Van Leeuwen W.S. The cortical source of the alpha rhythm. *Neuroscience Letters*, 1977. Vol. 6 (2-3), pp. 237–241. DOI: 10.1016/0304-3940(77)90024-6
25. de Munck J.C., Gonçalves S.I., Huijboom L. et al. The hemodynamic response of the alpha rhythm: an EEG/fMRI study. *Neuroimage*, 2007. Vol. 35 (3), pp. 1142–1151. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.01.022
26. ElShafei H.A., Orlemann C., Haegens S. The impact of eye closure on anticipatory α activity in a tactile discrimination task. *eNeuro*, 2022. Vol. 9 (1). DOI: 10.1523/ENEURO.0412-21.2021
27. Engemann D.A., Mellot A., Höchenberger R. et al. A reusable benchmark of brain-age prediction from M/EEG resting-state signals. *Neuroimage*, 2022. Vol. 262, p. 119521. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2022.119521
28. Freschl J., Al Azizi L., Balboa L. et al. The development of peak alpha frequency from infancy to adolescence and its role in visual temporal processing: A meta-analysis. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2022. Vol. 57, pp. 101146. DOI: 10.1016/j.dcn.2022.101146

29. Goetz P., Hu D., To P.D. et al. Scalp EEG markers of normal infant development using visual and computational approaches. *43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*. IEEE, 2021. Pp. 6528–6532. DOI: 10.1109/EMBC46164.2021.9629909
30. Goljahan A., D'Avanzo C., Schiff S. et al. A novel method for the determination of the EEG individual alpha frequency. *Neuroimage*, 2012. Vol. 60, pp. 774–786. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.12.001
31. Gonçalves S.I., de Munck J.C., Pouwels P.J. et al. Correlating the alpha rhythm to BOLD using simultaneous EEG/fMRI: inter-subject variability. *Neuroimage*, 2006. Vol. 30 (1), pp. 203–213. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2005.09.062
32. Grandy T.H., Werkle-Bergner M., Chicherio C. et al. Peak individual alpha frequency qualifies as a stable neurophysiological trait marker in healthy younger and older adults. *Psychophysiology*, 2013. Vol. 50 (6), pp. 570–582. DOI: 10.1111/psyp.12043
33. Gratton G., Villa A.E., Fabiani M. et al. Functional correlates of a three-component spatial model of the alpha rhythm. *Brain Research*, 1992. Vol. 582 (1), pp. 159–162. DOI: 10.1016/0006-8993(92)90332-4
34. Haegens S., Händel B.F., Jensen O. Top-down controlled alpha band activity in somatosensory areas determines behavioral performance in a discrimination task. *The Journal of Neuroscience*, 2011. Vol. 31 (14), pp. 5197–5204. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.5199-10.2011
35. Halgren M., Ulbert I., Bastuji H. et al. The generation and propagation of the human alpha rhythm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019. Vol. 116 (47), pp. 23772–23782. DOI: 10.1073/pnas.1913092116
36. Hinault T., Baillet S., Courtney S.M. Age-related changes of deep-brain neurophysiological activity. *Cerebral Cortex*, 2023. Vol. 33 (7), pp. 3960–3968. DOI: 10.1093/cercor/bhac319
37. Hughes S.W., Crunelli V. Thalamic mechanisms of EEG alpha rhythms and their pathological implications. *Neuroscientist*, 2005. Vol. 11 (4), pp. 357–372. DOI: 10.1177/1073858405277450
38. Iacono W.G., Malone S.M., Vrieze S.I. Endophenotype best practices. *International Journal of Psychophysiology*, 2017. Vol. 111, pp. 115–144. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2016.07.516
39. Inamoto T., Ueda M., Ueno K. et al. Motor-related mu/beta rhythm in older adults: a comprehensive review. *Brain Sciences*, 2023. Vol. 13 (5), pp. 751. DOI: 10.3390/brainsci13050751
40. Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, 2012. Vol. 16 (12), pp. 606–617. DOI: 10.1016/j.tics.2012.10.007
41. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research. Brain Research Reviews*, 1999. Vol. 29 (2-3), pp. 169–95. DOI: 10.1016/S0165-0173(98)00056-3
42. Klimesch W. EEG-alpha rhythms and memory processes. *International Journal of Psychophysiology*, 1997. Vol. 26 (1-3), pp. 319–330. DOI: 10.1016/S0167-8760(97)00773-3
43. Klimesch W., Doppelmayr M., Pachinger T., Russegger H. Event-related desynchronization in the alpha band and the processing of semantic information. *Cognitive Brain Research*, 1997. Vol. 6 (2), pp. 83–94. DOI: 10.1016/S0926-6410(97)00018-9

44. Klimesch W., Schimke H., Pfurtscheller G. Alpha frequency, cognitive load and memory performance. *Brain Topography*, 1993. Vol. 5 (3), pp. 241–251. DOI: 10.1007/BF01128991
45. Klimesch W., Doppelmayr M., Schimke H., Pachinger T. Alpha frequency, reaction time, and the speed of processing information. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 1996. Vol. 13 (6), pp. 511–518. DOI: 10.1097/00004691-199611000-00006
46. Knyazeva M.G., Barzegaran E., Vildavski V.Y., Demonet J.F. Aging of human alpha rhythm. *Neurobiology of Aging*, 2018. Vol. 69, pp. 261–273. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2018.05.018
47. Kondacs A., Szabó M. Long-term intra-individual variability of the background EEG in normal. *Clinical Neurophysiology*, 1999. Vol. 110 (10), pp. 1708–1716. DOI: 10.1016/S1388-2457(99)00122-4
48. Kriegseis A., Hennighausen E., Rösler F., Röder B. Reduced EEG alpha activity over parieto-occipital brain areas in congenitally blind adults. *Clinical Neurophysiology*, 2006. Vol. 117 (7), pp. 1560–1573. DOI: 10.1016/j.clinph.2006.03.030
49. Kumral D., Cesnaite E., Beyer F. et al. Relationship between regional white matter hyperintensities and alpha oscillations in older adults. *Neurobiology of Aging*, 2022. Vol. 112, pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2021.10.006
50. Laufs H., Holt J.L., Elfont R. et al. Where the BOLD signal goes when alpha EEG leaves. *Neuroimage*, 2006. Vol. 31 (4), pp. 1408–1418. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.02.002
51. Leonardsen E.H., Vidal-Piñeiro D., Roe J.M. et al. Genetic architecture of brain age and its causal relations with brain and mental disorders. *Molecular Psychiatry*, 2023. Vol. 28 (7), pp. 3111–3120. DOI: 10.1038/s41380-023-02087-y
52. Leybina A.V., Kashapov M.M. Understanding kindness in the Russian Context. *Psychology in Russia: State of the Art*, 2022. Vol. 15 (1), pp. 66–82. DOI: 10.11621/pir.2022.0105
53. Manor R., Cheaha D., Kumarnsit E., Samerphob N. Age-related Deterioration of Alpha Power in Cortical Areas Slowing Motor Command Formation in Healthy Elderly Subjects. *In Vivo*, 2023. Vol. 37 (2), pp. 679–684. DOI: 10.21873/invivo.13128
54. Markov N.T., Vezoli J., Chameau P. et al. Anatomy of hierarchy: feedforward and feedback pathways in macaque visual cortex. *The Journal of Comparative Neurology*, 2014. Vol. 522 (1), pp. 225–259. DOI: 10.1002/cne.23458
55. Markovic A., Kaess M., Tarokh L. Gender differences in adolescent sleep neurophysiology: a high-density sleep EEG study. *Scientific Reports*, 2020. Vol. 10 (1), pp. 15935. DOI: 10.1038/s41598-020-72802-0
56. Marosi E., Harmony T., Becker J. et al. Sex differences in EEG coherence in normal children. *International Journal of Neuroscience*, 1993. Vol. 72 (1-2), pp. 115–121. DOI: 10.3109/00207459308991628
57. Marshall P.J., Bar-Haim Y., Fox N.A. Development of the EEG from 5 months to 4 years of age. *Clinical Neurophysiology*, 2002. Vol. 113 (8), pp. 1199–1208. DOI: 10.1016/S1388-2457(02)00163-3
58. Martinović Z., Jovanović V., Ristanović D. EEG power spectra of normal preadolescent twins. Gender differences of quantitative EEG maturation. *Neurophysiologie Clinique / Clinical Neurophysiology*, 1998. Vol. 28 (3), pp. 231–248. DOI: 10.1016/S0987-7053(98)80114-7
59. Mathewson K.E., Lleras A., Beck D.M. et al. Pulsed out of awareness: EEG alpha oscillations represent a pulsed-inhibition of ongoing cortical processing. *Frontiers in Psychology*, 2011. Vol. 2, pp. 99. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00099

60. Mejias J.F., Murray J.D., Kennedy H., Wang X.J. Feedforward and feedback frequency-dependent interactions in a large-scale laminar network of the primate cortex. *Science Advances*, 2016. Vol. 2 (11), art. e1601335. DOI: 10.1126/sciadv.1601335
61. Modarres M., Cochran D., Kennedy D.N., Frazier J.A. Comparison of comprehensive quantitative EEG metrics between typically developing boys and girls in resting state eyes-open and eyes-closed conditions. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2023. Vol. 17, p. 1237651. DOI: 10.3389/fnhum.2023.1237651
62. Morosanova V.I., Fomina T.G., Bondarenko I.N. Conscious Self-Regulation as a Meta-Resource of Academic Achievement and Psychological Well-Being of Young Adolescents. *Psychology in Russia: State of the Art*, 2023 Vol. 16 (3), pp. 168–188. DOI: 10.11621/pir.2023.0312
63. Morrow A., Elias M., Samaha J. Evaluating the evidence for the functional inhibition account of alpha-band oscillations during preparatory attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2023. Vol. 35 (8), pp. 1195–1211. DOI: 10.1162/jocn_a_02009
64. Ociepka M., Kałamała P., Chuderski A. High individual alpha frequency brains run fast, but it does not make them smart. *Intelligence*, 2022. Vol. 92, p. 101644. DOI: 10.1016/j.intell.2022.101644
65. Pahor A., Jaušovec N. Making brains run faster: are they becoming smarter? *The Spanish Journal of Psychology*, 2016. Vol. 19. Art. E88. DOI: 10.1017/sjp.2016.83
66. Ponomareva N.V., Andreeva T.V., Protasova M. et al. Genetic association of apolipoprotein E genotype with EEG alpha rhythm slowing and functional brain network alterations during normal aging. *Frontiers in Neuroscience*, 2022. Vol. 16. Art. 931173. DOI: 10.3389/fnins.2022.931173
67. 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 (2), pp. 56–61.
68. Posthuma D., Neale M.C., Boomsma D.I., De Geus E.J.C. Are smarter brains running faster? Heritability of alpha peak frequency, IQ, and their interrelation. *Behavior Genetics*, 2001. Vol. 31, pp. 567–579. DOI: 10.1023/A:1013345411774
69. Radecke J.O., Fiene M., Misselhorn J. et al. Personalized alpha-tACS targeting left posterior parietal cortex modulates visuo-spatial attention and posterior evoked EEG activity. *Brain Stimulation*, 2023. Vol. 16 (4), pp. 1047–1061. DOI: 10.1016/j.brs.2023.06.013
70. Rempel S., Colzato L., Zhang W. et al. Distinguishing multiple coding levels in theta band activity during working memory gating processes. *Neuroscience*, 2021. Vol. 478, pp. 11–23. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2021.09.025
71. Roux F., Uhlhaas P.J. Working memory and neural oscillations: alpha–gamma versus theta–gamma codes for distinct WM information? *Trends in Cognitive Sciences*, 2014. Vol. 18 (1), pp. 16–25. DOI: 10.1016/j.tics.2013.10.010
72. Saalman Y.B., Pinsk M.A., Wang L. et al. The pulvinar regulates information transmission between cortical areas based on attention demands. *Science*, 2012. Vol. 337(6095), pp. 753–756. DOI: 10.1126/science.1223082
73. Schneider D., Herbst S.K., Klatt L.I., Wöstmann M. Target enhancement or distractor suppression? Functionally distinct alpha oscillations form the basis of attention. *The European Journal of Neuroscience*, 2022. Vol. 55 (11-12), pp. 3256–3265. DOI: 10.1111/ejn.15309

74. Schubert J.T., Buchholz V.N., Föcker J. et al. Oscillatory activity reflects differential use of spatial reference frames by sighted and blind individuals in tactile attention. *NeuroImage*, 2015. Vol. 117, pp. 417–428. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2015.05.068
75. Senzai Y., Fernandez-Ruiz A., Buzsáki G. Layer-specific physiological features and interlaminar interactions in the primary visual cortex of the mouse. *Neuron*, 2019. Vol. 101 (3), pp. 500–513. Art. e5. DOI: 10.1016/j.neuron.2018.12.009
76. Shaw J.C. The brain's alpha rhythms and the mind. Amsterdam; Boston: Elsevier, 2003. 337 p.
77. Shen G., Green H.L., Franzen R.E. et al. Resting-state activity in children: Replicating and extending findings of early maturation of alpha rhythms in autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2023. Vol. 54, pp. 1–16. DOI: 10.1007/s10803-023-05926-7
78. Silva L.R., Amitai Y., Connors B.W. Intrinsic oscillations of neocortex generated by layer 5 pyramidal neurons. *Science*, 1991. Vol. 251 (4992), pp. 432–435. DOI: 10.1126/science.1824881
79. Soldatova G.U., Rasskazova E.I. Multitasking as a Personal choice of the Mode of activity in Russian children and adolescents: its relationship to experimental multitasking and its effectiveness. *Psychology in Russia: State of the Art*, 2022. Vol. 15 (2), pp. 113–123. DOI: 10.11621/pir.2022.0208
80. Srinivasan R. Spatial structure of the human alpha rhythm: global correlation in adults and local correlation in children. *Clinical Neurophysiology*, 1999. Vol. 110 (8), pp. 1351–1362. DOI: 10.1016/S1388-2457(99)00080-2
81. Stroganova T.A., Orekhova E.V., Posikera I.N. EEG alpha rhythm in infants. *Clinical Neurophysiology*, 1999. Vol. 110 (6), pp. 997–1012. DOI: 10.1016/S1388-2457(98)00009-1
82. Sumi Y., Miyamoto T., Sudo S. et al. Explosive sound without external stimuli following electroencephalography kappa rhythm fluctuation: A case report. *Cephalgia*, 2021. Vol. 41 (13), pp. 1396–1401. DOI: 10.1177/03331024211021773
83. Thorpe S.G., Cannon E.N., Fox N.A. Spectral and source structural development of mu and alpha rhythms from infancy through adulthood. *Clinical Neurophysiology*, 2016. Vol. 127 (1), pp. 254–269. DOI: 10.1016/j.clinph.2015.03.004
84. Thut G., Nietzel A., Brandt S.A., Pascual-Leone A. α -Band electroencephalographic activity over occipital cortex indexes visuospatial attention bias and predicts visual target detection. *The Journal of Neuroscience*, 2006. Vol. 26 (37), pp. 9494–9502. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0875-06.2006
85. Vidal-Pineiro D., Wang Y., Krogsrud S.K. et al. Individual variations in 'brain age' relate to early-life factors more than to longitudinal brain change. *ELife*, 2021. Vol. 10, art. e69995. DOI: 10.7554/eLife.69995
86. Vijayan S., Kopell N.J. Thalamic model of awake alpha oscillations and implications for stimulus processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012. Vol. 109 (45), pp. 18553–18558. DOI: 10.1073/pnas.1215385109
87. Vogt F., Klimesch W., Doppelmayr M. High-frequency components in the alpha band and memory performance. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 1998. Vol. 15 (2), pp. 167–172. DOI: 10.1097/00004691-199803000-00011
88. Vysata O., Kukal J., Prochazka A. et al. Age-related changes in the energy and spectral composition of EEG. *Neurophysiology*, 2012. Vol. 44 (1), pp. 63–67. DOI: 10.1007/s11062-012-9268-y

Поликанова И.С., Михеев И.Н., Леонов С.В.,
Мартынова О.В. Возрастные особенности
динамики альфа-ритма: краткий обзор.
Клиническая и специальная психология.
2024. Том 13. № 4. С. 29–50.

Polikanova I.S., Mikheev I.N., Leonov S.V.,
Martynova O.V. Age-Related Features of Alpha
Rhythm Dynamics: A Brief Review.
Clinical Psychology and Special Education.
2024, vol. 13, no. 4, pp. 29–50.

89. Wisniewski M.G., Joyner C.N., Zakrzewski A.C., Makeig S. Finding tau rhythms in EEG: An independent component analysis approach. *Human Brain Mapping*, 2024. Vol. 45 (2), art. e26572. DOI: 10.1002/hbm.26572
90. Wöstmann M., Alavash M., Obleser J. Alpha oscillations in the human brain implement distractor suppression independent of target selection. *Journal of Neuroscience*, 2019. Vol. 39 (49), pp. 9797–9805. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1954-19.2019

Информация об авторах

Поликанова Ирина Сергеевна, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории психологии детства и цифровой социализации, Федеральный научный центр психологических и междисциплинарных исследований (ФНЦ ПМИ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>, e-mail: irinapolikanova@mail.ru

Михеев Илья Николаевич, аспирант Института когнитивных нейронаук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2005-9918>, e-mail: imikheev@hse.ru

Леонов Сергей Владимирович, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории психологии детства и цифровой социализации, Федеральный научный центр психологических и междисциплинарных исследований (ФНЦ ПМИ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>, e-mail: svleonov@gmail.com

Мартынова Ольга Владимировна, PhD (психофизиология), заместитель директора, заведующий лабораторией высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (ИВНД РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>, e-mail: omartynova@hse.ru

Information about the authors

Irina S. Polikanova, PhD in Psychology, Senior Researcher, Laboratory of Childhood Psychology and Digital Socialisation, Federal Scientific Centre for Psychological and Interdisciplinary Research (FSC PMI), Moscow, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>, e-mail: irinapolikanova@mail.ru

Ilya N. Mikheev, PhD student, Institute of Cognitive Neurosciences, National Research University Higher School of Economics (HSE University), Moscow, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2005-9918>, e-mail: imikheev@hse.ru.

Sergey V. Leonov, PhD in Psychology, Senior Researcher, Laboratory of Psychology of Childhood and Digital Socialisation, Federal Scientific Centre for Psychological and Interdisciplinary Research (FSC PMI), Moscow, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>, e-mail: svleonov@gmail.com.

Olga V. Martynova, PhD in Psychophysiology, Head of the Laboratory of Human Higher Nervous Activity, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences (IVND RAS), Moscow, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9047-2893>, e-mail: omartynova@hse.ru

Получена 28.01.2024

Received 28.01.2024

Принята в печать 23.09.2024

Accepted 23.09.2024