

ОСОБЕННОСТИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РЕТРОСПЛЕНИАЛЬНОЙ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

С. А. Гуляев^{1,2}✉, Л. М. Ханухова², А. А. Гармаш¹¹ Инженерно-физический институт биомедицины Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Москва, Россия² Клиника Ла Салюте, Москва, Россия

Головной мозг человека представляет собой один из самых сложных для исследования органов. Огромный интерес представляет возможность разработки технологий, обладающих достаточной научной точностью и экономической доступностью при полном соблюдении морально-этических норм человеческого сообщества. Целью работы было изучить возможность исследования активности структур ретросплениальной коры (RSC) на основе ЭЭГ-анализа биоэлектрической активности головного мозга в альфа-диапазоне частот у 36 здоровых добровольцев возрастом в среднем 29,1 года, не имевших острых и хронических заболеваний центральной нервной системы в стадии обострения, тяжелых черепно-мозговых травм, психических заболеваний и эпилепсии. Получены статистически достоверные локализации источников с помощью решения обратной ЭЭГ-задачи, позволяющие использовать их для идентификации биоэлектрической активности структур ретросплениальной коры головного мозга. Применение данной технологии позволит расширить объем исследований функциональной активности головного мозга как в научных, так и клинических учреждениях, создав условия для понимания особенностей работы мозговых структур в условиях физиологической нормы и при наличии психических заболеваний, основу которых составляют различные функциональные изменения головного мозга.

Ключевые слова: электроэнцефалография, математические методы, ретросплениальная кора, биоэлектрическая активность головного мозга

Вклад авторов: С. А. Гуляев — идея проекта, реализация клинико-нейрофизиологического исследования, статистический анализ результатов; Л. М. Ханухова — организация исследования; А. А. Гармаш — общее руководство исследованием.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено этическим комитетом НИЯУ МИФИ (протокол № 05/23 от 25 мая 2023 г.), проведено в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующими обновлениями.

✉ **Для корреспонденции:** Сергей Александрович Гуляев
Раменки, д. 31, к. 136, г. Москва, 119607, Россия; s.gulyaev73@gmail.com

Статья получена: 27.06.2023 **Статья принята к печати:** 04.09.2023 **Опубликована онлайн:** 25.09.2023

DOI: 10.47183/mes.2023.028

FEATURES OF BIOELECTRIC ACTIVITY OF THE RETROSPLLENIAL CORTEX

Gulyaev SA^{1,2}✉, Khanukhova LM², Garmash AA¹¹ Institute for Physics and Engineering in Biomedicine, National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia² La Salute Clinic, Moscow, Russia

Human brain is one of the most difficult organs to study. The possibility of developing the technologies that have sufficient scientific accuracy and economic accessibility and never violate the moral and ethical standards of human society is of great interest. The study was aimed to study the possibility of assessing the retrosplenial cortex (RSC) structures' activity based on the EEG analysis of brain activity in the alpha frequency range in 36 healthy volunteers with an average age of 29.1 years, no acute central nervous system disorders or exacerbation of chronic central nervous system disorders, severe traumatic brain injuries, mental disorders or epilepsy. Significant source localizations were obtained by solving the EEG inverse problem that could be used for identification of the cerebral retrosplenial cortex structures' bioelectric activity. The use of such technology will allow us to expand the scope of the research focused on assessing the brain functional activity in both research and clinical centers, thereby paving the way for understanding the features of the brain structures' activity in physiologically normal conditions and in individuals with mental disorders caused by various functional alterations in the brain.

Keywords: electroencephalography, mathematical methods, retrosplenial cortex, bioelectrical activity of the brain

Author contributions: Gulyaev SA — study concept, clinical neurophysiological assessment, statistical analysis of the results; Khanukhova LM — research organization; Garmash AA — general management.

Compliance with ethical standards: the study was approved by the Ethics Committee of the National Research Nuclear University MEPhI (protocol № 05/23 of 25 May 2023) and conducted in accordance with the principles of biomedical ethics set out in the Declaration of Helsinki (1964) and its subsequent updates.

✉ **Correspondence should be addressed:** Sergey A. Gulyaev
Ramenki, 31, k. 136, Moscow, 119607, Russia; s.gulyaev73@gmail.com

Received: 27.06.2023 **Accepted:** 04.09.2023 **Published online:** 25.09.2023

DOI: 10.47183/mes.2023.028

Головной мозг человека представляет собой один из самых сложных для исследования органов, что обусловлено особенностями человеческой анатомии, необходимостью соблюдать этические нормы, а также экономической составляющей применения современных методов функциональной визуализации: компьютерной томографии (КТ), позитрон-эмиссионной (ПЭТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ). Поэтому большой интерес представляет возможность разработки таких исследовательских технологий, которые могли бы обладать достаточной научной точностью, экономической доступностью, а также не нарушать морально-этические нормы современного общества.

Одной из таких технологий стала электроэнцефалография (ЭЭГ), разработанная еще в начале прошлого века, но получившая новый стимул развития с внедрением систем математической обработки данных [1–3].

Активность головного мозга с позиции ЭЭГ-исследования представляет собой совокупность ритмических феноменов, отражающих изменения суммарного постсинаптического потенциала. Наиболее выраженным и часто регистрируемым ЭЭГ-феноменом является альфа-активность, которую в настоящее время связывают с работой зрительного анализатора или зрительной коры (VC) (полей 17, 18, 19 по Бродману) [4]. Занимая практически всю затылочную долю, он продуцирует

выраженную в затылочных отведениях ритмическую активность частотой 8–14 Гц, исчезающую при открывании глаз, связь которой со зрительной корой убедительно доказывает наличие ритмических феноменов, связанных с активностью других невральных анализаторов — мю- и каппа-ритмов, имеющих специфические раздражители и не реагирующие на пробу с открыванием глаз [5–9]. Однако в ряде исследований [10, 11] отмечена неоднородность альфа-активности у лиц с пограничными состояниями и психическими девиациями, проявляющаяся в виде полимодальности альфа-ритма, что формирует вопрос о возможном наличии измененного процесса восприятия у таких людей. В то же время выявлено [12], что источником данной неоднородности может быть не зрительная кора, а ритмическая активность задних отделов поясной извилины — структуры, относящейся к области ретроспленальной коры (retrosplenial cortex, RSC).

Изучение RSC интересно вследствие ее непосредственного участия в сложных когнитивных процессах, таких как пространственное познание, а также анализ и исправление ошибок для сенсорных состояний, связанных с внутренними представлениями об окружающей среде [13]. Расположенная в задней части поясной коры (области 26, 29, 30, 23, 31 по Бродману) [14], данная область связана с ядрами переднего таламуса, энторинальной и теменной корой, субикулумом и гиппокампом [15, 16, 17], что определяет ее основополагающую роль в процессах пространственно-временной ориентации (самоопределения человека и его ориентировки в окружающем пространстве). Изменение активности RSC может быть одним из наиболее ранних признаков деменции [18], что подтверждено клиническими исследованиями [19–21]. Помимо этого, RSC связана с процессами памяти и внимания [22–24], а также познания окружающего мира [24, 25]. RSC тесно связана со зрительной корой кодировкой визуальных стимулов [26], с формированием персональной направленности к конкретной цели [27–29]. Это мнение подтверждают наличие анатомических связей между RSC и префронтальной корой, парагиппокампальными областями, гиппокампом, ядрами переднего таламуса и теменной корой [30, 31]. В функциональных нейровизуализационных исследованиях обнаружено, что структуры RSC сильнее реагируют во время виртуального или воображаемого ориентирования по сравнению с другими задачами [32–34]. Таким образом, согласно проведенным в настоящее время исследованиям, RSC представляет собой одну из ключевых областей коры головного мозга, связанную с когнитивными и психическими функциями, а ее широкое изучение позволит получить новую информацию об особенностях ранних стадиях развития патологических состояний.

Целью работы было показать возможность исследования активности RSC на основе анализа ЭЭГ головного мозга в альфа-диапазоне частот для определения особенностей в различных состояниях пассивного бодрствования.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

По данным современной литературы RSC в первую очередь представляет собой область, ответственную за процессы пространственно-позиционного ориентирования

(возможно, временного ориентирования). В связи с этим ее ЭЭГ-идентификация возможна в периоды продуцирования структурами RSC ритмической активности в условиях выключения афферентных раздражителей от систем, контролирующих положение тела в пространстве, главной из которых является система проприорецепции. Поэтому основной функциональной пробой стало парное исследование, регистрирующее ЭЭГ-активность альфа-диапазона, когда испытуемый пребывал в состоянии пассивного расслабленного бодрствования в положении «сидя» в кресле (проприоцептивная система активна), и в положении «лежа» в постели перед периодом засыпания (выделяли аналогичный первому исследованию по продолжительности участок ЭЭГ-записи с выраженной альфа-активностью в затылочных отведениях перед началом ее фрагментации), когда проприоцептивная система была задействована минимально. Выбор данного функционального теста был основан на клиническом феномене «Falling sensation when falling asleep». Регистрацию первичных данных проводили с помощью цифрового электроэнцефалографа («Медицинские компьютерные системы»; г. Зеленоград, Россия). Частота дискретизации аналого-цифрового преобразователя составляла 500 Гц, входные параметры фильтрации сигнала — 0,03–70 Гц. Электроды располагали на поверхности скальпа головы согласно международной системе «10–20». Положение электрода уточняли при помощи линейных измерений с последующей коррекцией стандартных таблиц пространственного положения электродов. Выбор данной системы монтажа был обусловлен вопросом нарастания количества артефактов записи в многоканальной системе, связанных с воздействием внешних физических и технологических факторов [35].

На первом этапе обработки осуществляли минимизацию артефактов физической природы, для чего отключали сторонние электрические приборы, создающие паразитные электромагнитные поля, контролировали импеданс интерфейса. Также регулировали температуру в помещении, по возможности, минимизировали паразитные движения мышц, что уменьшало выраженность биологических артефактов.

На втором этапе полученный пул данных проходил процедуру стандартизации базового монтажа в единое электродное пространство с удалением артефактных сигналов посредством процедуры выделения независимых компонент сигнала, что позволяло очистить нативный сигнал от различных артефактов физиологической природы, не устраненных методом фильтрации.

На третьем этапе проводили сегментацию ЭЭГ-сигнала с выделением отдельных ЭЭГ-микросостояний посредством процедуры программного пакета sLORETA (v. 20210701 University of Zurich; Switzerland) с выделением восьми классов отдельных микросостояний (канонических I–IV [36] и четырех дополнительных (V и VIII) с учетом их вариабельности). Заключительный этап исследования включал решение обратной задачи ЭЭГ для каждого из выделенных классов ЭЭГ-микросостояний с помощью алгоритма решения обратной задачи ЭЭГ, реализованном в пакете прикладных программ sLORETA. Результаты представляли информацию о восьми вариантах источников отдельных ЭЭГ-микросостояний, согласно атласу полей К. Бродмана (по атласу Монреальского института нейрохирургии (MNI)).

Таблица 1. Парное сравнение частотных характеристик альфа-активности (Гц) в затылочных и теменных регионах в состоянии пассивного расслабленного бодрствования в положении «сидя» (наблюдение 1) и в состоянии пассивного расслабленного бодрствования перед засыпанием в положении «лежа» (наблюдение 2) (*t*-критерий Стьюдента, KS-test norm < 0,01)

Регион	O1		O2		P1		P2	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Наблюдение	1	2	1	2	1	2	1	2
M	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,1	10,3	10,1
σ	0,7	1	0,7	1	0,8	0,9	0,8	0,9
Mo	10	9,5	10	9	10	9,5	10	9,5
Me	10,2	10,4	10,2	10,3	10,2	9,8	10,2	9,8
<i>p t</i> -Student	1		0,8		0,2		0,1	

Пациенты

Исследовали 36 здоровых добровольцев различного возраста, подписавших добровольное информированное согласие. Из них 19 человек — до 30 лет, 17 — старше 30 лет. Средний возраст обследованных составил 29,1 года, Mo — 10 лет, Me — 26 лет, I-й квартиль — 18 лет, III-й квартиль — 33 года. У обследованных в возрасте до 30 лет средний возраст обследованных составил 17,4 года, стандартное отклонение — 1,7 года, Mo — 10 лет, ME — 18 лет, I-й квартиль — 12,3 года, III-й квартиль — 23,3 года. У лиц старше 30 лет средний возраст составил 43,3 года, Mo — 31 лет, Me — 34,5 лет, I-й квартиль — 31 лет, III-й квартиль — 55,8 года.

Всем обследуемым проводили ЭЭГ-запись, включавшую исследование фоновой мозговой активности в состоянии пассивного расслабленного бодрствования с закрытыми глазами в положении «сидя» и аналогичное исследование в положении «лежа» (с контролем наступления физиологического сна), поскольку у здоровых людей проявления активности RSC представлены в виде развития феномена «Falling sensation when falling asleep», наблюдаемого перед засыпанием, во время пребывания в постели в положении лежа с закрытыми глазами. При этом ощущается пространственная дезориентация, описываемая как полет и/или падение перед наступлением сна [37]. Это позволяет использовать данный феномен в качестве физиологического теста для выделения активности RSC в эксперименте.

Критерии включения в исследование: отсутствие в анамнезе острых заболеваний центральной нервной системы; отсутствие хронических заболеваний в стадии обострения; отсутствие в анамнезе тяжелых черепно-мозговых травм, психических заболеваний, эпилепсии.

Клинические обследования проводили на базе ООО «Клиника ла Салюте» согласно договору о сотрудничестве между ООО «Клиника ла Салюте» и НИЯУ МИФИ № 09-01/23 от 09 января 2023 г.

Таблица 2. Парное сравнение частотных характеристик альфа-активности (Гц) в затылочных и теменных регионах в состоянии пассивного расслабленного бодрствования в положении «сидя» (наблюдение 1) и в состоянии пассивного расслабленного бодрствования перед засыпанием в положении «лежа» (наблюдение 2) у обследованных младше 30 лет (*t*-критерий Стьюдента, KS-test norm < 0,01)

Регион	O1		O2		P1		P2	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Наблюдение	1	2	1	2	1	2	1	2
M	10,3	10,7	10,3	10,6	10,2	10,3	10,2	10,3
σ	1	1,4	1	1,4	1,2	1,3	1,2	1,3
Mo	9,6	10,5	9,6	10,5	8,2	9,5	8,2	9,5
Me	10	10,6	10	10,6	10	10,5	10	10,5
<i>p t</i> -Student	0,357		0,525		0,789		0,857	

Статистическая обработка

Полученные результаты обрабатывали согласно рекомендациям [38] с применением программы PSPP (GNU software ver. 1.6.2-g78a33a) под управлением ОС Linux Mate (v. 10.10 лицензия GNU-GPL). В расчетах использовали парное сравнение результатов решения обратной задачи ЭЭГ для восьми ЭЭГ-микросостояний с использованием теста Колмогорова–Смирнова (KS-test) для определения нормальности распределения; расчетом *t*-критерия Стьюдента для выборок с нормальным распределением и *T*-критерия Уилкоксона для взаимосвязанных статистических групп, не имеющих нормального распределения. Использовали одну степень свободы, уровень доказательности был принят как альфа < 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ альфа-активности в затылочных и теменных отведениях, проведенный в общей группе, выявил уменьшение частоты альфа-активности перед засыпанием, но показатели общей группы (табл. 1) и лиц младше 30 лет (табл. 2) не демонстрировали статистически достоверных изменений. Напротив, в группе обследованных старше 30 лет снижение частоты альфа-активности перед засыпанием было статистически значимым (табл. 3).

При исследовании отдельных ЭЭГ-микросостояний альфа-диапазона в общей группе выявлена неоднородность источников альфа-активности при изменении состояния обследуемого (табл. 4). Так, в положении сидя ритмические феномены преимущественно формировались полями 17, 18 и 19, что представляло собой ожидаемую продукцию альфа-активности со стороны структур зрительного анализатора, пребывающего в состоянии «холостого хода». Сохранение этих показателей в положении лежа (без появления статистически достоверных различий) также свидетельствовало о реакции зрительного анализатора на закрытие глаз, но в то же время пребывание в

Таблица 3. Парное сравнение частотных характеристик альфа-активности (Гц) в затылочных и теменных регионах в состоянии пассивного расслабленного бодрствования в положении сидя (наблюдение 1) и в состоянии пассивного расслабленного бодрствования перед засыпанием в положении лежа (наблюдение 2) у обследованных 30 лет и старше (*t*-критерий Стьюдента, KS-test norm < 0,01)

Регион	O1		O2		P1		P2	
	1	2	1	2	1	2	1	2
М	10,3	9,8	10,3	9,8	10,5	9,8	10,5	9,8
σ	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9
Mo	10,2	9	10,2	9	10,5	9	10,2	9
Me	10,2	9,6	10,2	9,6	10,4	9,6	10,4	9,6
<i>p t</i> -Student	0,07		0,1		0,02		0,02	

положении «лежа» демонстрировало смещение источника регистрируемой альфа-активности в поля 23, 29, 30 и 31, характеризующие структуры RSC.

Исследование возрастных особенностей данной реакции показало, что в возрасте до 30 лет наблюдаются достоверные различия продукции альфа-ритма, так как в состоянии пассивного расслабленного бодрствования в положении «сидя» альфа-активность продуцируется структурами VC (поля 17, 18 и 19), а перед засыпанием источником альфа-активности становится RSC (поля 23, 29, 30 и 31). У лиц старше 30 лет отмечается достоверная реакция RSC, в то время как структуры зрительного анализатора (VC) не демонстрируют достоверных изменений перед засыпанием (табл. 5).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе проведенной работы было показано, что даже оценка частотных характеристик мозговых ритмов позволяет определить, что регистрируемый непосредственно в ходе классического ЭЭГ-исследования альфа-ритм не представляет собой какой-то стабильной величины, определяющей «базовые» характеристики активности головного мозга человека. Альфа-активность представляет собой группу ритмических феноменов, которые демонстрируют достоверные изменения, выраженные у лиц старше 30 лет, когда мозговые структуры уже полностью сформированы.

Тем не менее, у лиц младше 30 лет прослеживается четкая смена источника альфа-активности между структурами зрительного анализатора и ретроспленальной коры (клинически проявляющееся в феномене «Falling sensation when falling asleep»), которое возможно расценить как включение большего числа мозговых структур в решение высших нервных функций с потребностью единой интеграции их деятельности.

В то же время после 30 лет, скорее всего, формируется выраженная специализация нервных центров, особенно в структурах теменных областей головного мозга и RSC, которая проявляется в виде наблюдения изменений активности альфа-ритма теменных областей и регистрацией ритмической

активности структур RSC, что по нашим наблюдениям можно расценивать как взаимосвязанные феномены.

С помощью современных математических методов анализа ЭЭГ-сигнала возможно произвести четкую дифференцировку альфа-активности с определением источника в различных мозговых структурах [39]. В условиях применения целенаправленной функциональной нагрузки это позволяет связать повторяющиеся фрагменты ЭЭГ-записи с активностью отдельных мозговых нейронных сетей [40, 41], вовлеченных в формирование альфа-активности не только в структурах зрительной коры головного мозга [42–49]. Данные наблюдения можно расценить как формирование стабильных связей и возрастающей значимости зрительной коры как главного источника информации у лиц старше 30 лет, в том числе о положении тела в пространстве, что ранее было описано для других корковых областей [50–52].

Таким образом, определяемая при классическом ЭЭГ-исследовании альфа-активность представляет собой не единый «базовый» ритм, характерный для мозговых структур, а комбинацию нескольких сходных по частотно-амплитудным характеристиками ритмов. Указанную биоэлектрическую активность продуцируют различные мозговые структуры, в частности RSC, что подтверждают выводы ряда исследований [5–9], указывающих на корковую природу альфа-ритма. Это позволяет по-новому трактовать результаты работ [53], выявляющих неоднородность спектров альфа-ритма у людей с различными психическими девиациями, а также более ранних исследований [54], особенно в области вариантов полимодального альфа-ритма.

ВЫВОДЫ

Использование частотного анализа биоэлектрической активности головного мозга в классической методике не является эффективным методом исследования высших нервных функций. Для современного ЭЭГ-исследования необходимо применение комбинации математических методов выделения отдельных ЭЭГ-микросостояний и решения обратной ЭЭГ-задачи, что позволяет получить

Таблица 4. Данные о частоте регистрации ЭЭГ-активности (в %) в отдельных полях по Бродману, полученные в ходе решения обратной ЭЭГ-задачи для модели из восьми отдельных ЭЭГ-микросостояний в общей группе (*t*-критерий Уилкоксона, KS-test norm > 0,5)

Положение обследуемых	Поля 23, 29, 30, 31 по Бродману	Поля 17, 18, 19 по Бродману
Положение «сидя»	18,3%	34,2%
Положение «лежа»	41,7%	25,0%
<i>p (t</i> -Уилкоксон)	0,01	0,4

Таблица 5. Возрастные особенности частоты регистрации ЭЭГ-активности (в %) в отдельных полях по Бродману, полученные в ходе решения обратной ЭЭГ-задачи для модели из восьми отдельных ЭЭГ-микросостояний в разных возрастных группах (*t*-критерий Уилкоксона, KS-test norm > 0,5).

RSC (поля 23, 29, 30, 31 по Бродману)		
Возраст	1–30 лет	> 30 лет
Положение «сидя»	7,4%	12,5%
Положение «лежа»	28,7%	19,8%
<i>p</i> (<i>t</i> -Уилкоксон)	0	0,05
VC (поля 17, 18, 19 по Бродману)		
Положение «сидя»	20,1%	15,6%
Положение «лежа»	27,1%	23%
<i>p</i> (<i>t</i> -Уилкоксон)	0,03	0,5

простой, экономически доступный инструмент изучения функциональной активности мозговых структур. Использование данной технологии позволит расширить объем исследований функциональной активности головного

мозга как в научных, так и клинических учреждениях, что создаст условия для понимания особенностей работы мозговых структур в условиях физиологической нормы и при наличии психических заболеваний.

Литература

- Delorme A, Makeig S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *J Neurosci Methods*. 2004; 134 (1): 9–21. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>. PMID: 15102499.
- Martínez-Cancino R, Delorme A, Truong D, Artoni F, Kreutz-Delgado K, Sivagnanam S, et al. The open EEGLAB portal Interface: High-Performance computing with EEGLAB. *Neuroimage*. 2021; 224: 116778. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116778>. Epub 2020 Apr 11. PMID: 32289453; PMCID: PMC8341158.
- Tadel F, Bock E, Niso G, Mosher JC, Cousineau M, Pantazis D, et al. MEG/EEG Group Analysis With Brainstorm. *Front Neurosci*. 2019; 13: 76. Available from: <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00076>. PMID: 30804744; PMCID: PMC6378958.
- Jasper H, Penfield W. Electroencephalograms in man: effect of voluntary movement upon the electrical activity of the precentral gyrus. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*. 1949; 183: 163–74.
- Lopes Da Silva FH, Storm Van Leeuwen W. The cortical source of the alpha rhythm. *Neurosci Lett*. 1977; 6 (2-3): 237–41. Available from: [https://www.doi.org/10.1016/0304-3940\(77\)90024-6](https://www.doi.org/10.1016/0304-3940(77)90024-6).
- Klimesch W. α -Band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends Cogn Sci*. 2012; 16 (12): 606–17. Available from: <https://www.doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>.
- Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Res Brain Res Rev*. 1999; 29 (2-3): 169–95. Available from: [https://www.doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://www.doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3).
- Klimesch W, Sauseng P, Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis. *Brain Res Rev*. 2007; 53 (1): 63–88. Available from: <https://www.doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.06.003>.
- Klimesch W, Doppelmayr M, Hanslmayr S. Upper alpha ERD and absolute power: their meaning for memory performance. *Prog Brain Res*. 2006; 159: 151–65. Available from: [https://www.doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)59010-7](https://www.doi.org/10.1016/S0079-6123(06)59010-7).
- Иванов Л. Б. Спектр мощности электроэнцефалограммы: ошибки и практика применения (лекция первая). *Медицинский алфавит*. 2021; (39): 45–52. Доступно по ссылке: <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-39-45-52>.
- Lydou EA, Nguyen LT, Shende SA, Chiang HS, Spence JS, Mudar RA. EEG theta and alpha oscillations in early versus late mild cognitive impairment during a semantic Go/NoGo task. *Behav Brain Res*. 2022; 416: 113539. DOI: 10.1016/j.bbr.2021.113539. Epub 2021 Aug 17. PMID: 34416304.
- Rusiniak M, Lewandowska M, Wolak T, Pluta A, Milner R, Skarżyński H. Możliwości i problemy jednoczesnych rejestracji EEG-fMRI-badanie rytmu alfa [The possibilities and limitations of simultaneous EEG-fMRI registration—the alpha rhythm study]. *Przegl Lek*. 2015; 72 (11): 616–9. PMID: 27012118. Polish.
- Alexander AS, Place R, Starrett MJ, Chrastil ER, Nitz DA. Rethinking retrosplenial cortex: Perspectives and predictions. *Neuron*. 2023; 111 (2): 150–75. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2022.11.006>. Epub 2022 Dec 1. PMID: 36460006.
- Todd TP, Fournier DI, Bucci DJ. Retrosplenial cortex and its role in cue-specific learning and memory. *Neurosci Biobehav Rev*. 2019; 107: 713–28. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.04.016>. Epub 2019 May 2. PMID: 31055014; PMCID: PMC6906080.
- Trask S, Fournier DI. Examining a role for the retrosplenial cortex in age-related memory impairment. *Neurobiol Learn Mem*. 2022; 189: 107601. DOI: 10.1016/j.nlm.2022.107601. Epub 2022 Feb 22. PMID: 35202816.
- Olsen GM, Ohara S, Iijima T, Witter MP. Parahippocampal and retrosplenial connections of rat posterior parietal cortex. *Hippocampus*. 2017; 27 (4): 335–58. Available from: <https://doi.org/10.1002/hipo.22701>. Epub 2017 Jan 16. PMID: 28032674.
- Sugar J, Witter MP, van Strien NM, Cappaert NL. The retrosplenial cortex: intrinsic connectivity and connections with the (para) hippocampal region in the rat. An interactive connectome. *Front Neuroinform*. 2011; 5: 7. Available from: <https://doi.org/10.3389/fninf.2011.00007>. PMID: 21847380; PMCID: PMC3147162.
- Dillen KNH, Jacobs HIL, Kukolja J, von Reutern B, Richter N, Onur ÖA, Dronse J, Langen KJ, Fink GR. Aberrant functional connectivity differentiates retrosplenial cortex from posterior cingulate cortex in prodromal Alzheimer's disease. *Neurobiol Aging*. 2016; 44: 114–26. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2016.04.010>. Epub 2016 Apr 22. PMID: 27318139.
- Squire LR, Genzel L, Wixted JT, Morris RG. Memory consolidation. *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2015; 7 (8): a021766. Available from: <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a021766>. PMID: 26238360; PMCID: PMC4526749.
- de Sousa AF, Cowansage KK, Zutshi I, Cardozo LM, Yoo EJ, Leutgeb S, Mayford M. Optogenetic reactivation of memory ensembles in the retrosplenial cortex induces systems consolidation. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2019; 116 (17): 8576–81. Available from: <https://doi.org/10.1073/pnas.1818432116>. Epub 2019 Mar 15. PMID: 30877252; PMCID: PMC6486739
- Auger SD, Maguire EA. Retrosplenial Cortex Indexes

- Stability beyond the Spatial Domain. *J Neurosci*. 2018; 38 (6): 1472–81. Available from: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2602-17.2017>. Epub 2018 Jan 8. PMID: 29311139; PMCID: PMC5815348.
22. Mitchell AS, Czajkowski R, Zhang N, Jeffery K, Nelson AJD. Retrosplenial cortex and its role in spatial cognition. *Brain Neurosci Adv*. 2018; 2: 2398212818757098. Available from: <https://doi.org/10.1177/2398212818757098>. PMID: 30221204; PMCID: PMC6095108.
 23. Corcoran KA, Yamawaki N, Leaderbrand K, Radulovic J. Role of retrosplenial cortex in processing stress-related context memories. *Behav Neurosci*. 2018; 132 (5): 388–95. Available from: <https://doi.org/10.1037/bne000223>. Epub 2018 Jun. 7. PMID: 29878804; PMCID: PMC6188831.
 24. Milczarek MM, Vann SD. The retrosplenial cortex and long-term spatial memory: from the cell to the network. *Curr Opin Behav Sci*. 2020; 32: 50–56. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2020.01.014>. PMID: 32715030; PMCID: PMC7374566.
 25. Mitchell AS, Czajkowski R, Zhang N, Jeffery K, Nelson AJD. Retrosplenial cortex and its role in spatial cognition. *Brain Neurosci Adv*. 2018; 2: 2398212818757098. Available from: <https://doi.org/10.1177/2398212818757098>. PMID: 30221204; PMCID: PMC6095108.
 26. Powell A, Connelly WM, Vasalaukaite A, Nelson AJD, Vann SD, Aggleton JP, et al. Stable Encoding of Visual Cues in the Mouse Retrosplenial Cortex. *Cereb Cortex*. 2020; 30 (8): 4424–37. Available from: <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa030>. PMID: 32147692; PMCID: PMC7438634.
 27. Fischer LF, Mojica Soto-Albors R, Buck F, Harnett MT. Representation of visual landmarks in retrosplenial cortex. *Elife*. 2020; 9: e51458. Available from: <https://doi.org/10.7554/eLife.51458>. PMID: 32154781; PMCID: PMC7064342.
 28. Fournier DI, Monasch RR, Buccini DJ, Todd TP. Retrosplenial cortex damage impairs unimodal sensory preconditioning. *Behav Neurosci*. 2020; 134 (3): 198–207. DOI: 10.1037/bne000365. Epub 2020 Mar 9. PMID: 32150422; PMCID: PMC7244381.
 29. Mao D, Molina LA, Bonin V, McNaughton BL. Vision and Locomotion Combine to Drive Path Integration Sequences in Mouse Retrosplenial Cortex. *Curr Biol*. 2020; 30 (9): 1680–8.e4. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.02.070>. Epub 2020 Mar 19. PMID: 32197086.
 30. Morris R, Pandya DN, Petrides M. Fiber system linking the mid-dorsolateral frontal cortex with the retrosplenial/presubicular region in the rhesus monkey. *J Comp Neurol*. 1999; 407 (2): 183–92. Available from: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9861\(19990503\)407:2<183::aid-cne3-3.0.co;2-n](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9861(19990503)407:2<183::aid-cne3-3.0.co;2-n). PMID: 10213090.
 31. Clark BJ, Simmons CM, Berkowitz LE, Wilber AA. The retrosplenial-parietal network and reference frame coordination for spatial navigation. *Behav Neurosci*. 2018; 132 (5): 416–29. Available from: <https://doi.org/10.1037/bne0000260>. Epub 2018 Aug 9. PMID: 30091619; PMCID: PMC6188841.
 32. Aggleton JP, Yanakieva S, Sengpiel F, Nelson AJ. The separate and combined properties of the granular (area 29) and dysgranular (area 30) retrosplenial cortex. *Neurobiol Learn Mem*. 2021; 185: 107516. DOI: 10.1016/j.nlm.2021.107516. Epub 2021 Sep 3. PMID: 34481970.
 33. Epstein RA, Parker WE, Feiler AM. Where am I now? Distinct roles for parahippocampal and retrosplenial cortices in place recognition. *J Neurosci*. 2007; 27 (23): 6141–9. Available from: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0799-07.2007>. PMID: 17553986; PMCID: PMC6672165.
 34. Spiers HJ, Maguire EA. Thoughts, behavior, and brain dynamics during navigation in the real world. *Neuroimage*. 2006; 31 (4): 1826–40. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.01.037>. Epub 2006 Apr 11. PMID: 16584892.
 35. Tamburro G, Fiedler P, Stone D, Hauelsen J, Comani S. A new ICA-based fingerprint method for the automatic removal of physiological artifacts from EEG recordings. *PeerJ*. 2018; 6: e4380. DOI: 10.7717/peerj.4380. PMID: 29492336; PMCID: PMC5826009.
 36. Lehmann D, Strik WK, Henggeler B, Koenig T, Koukkou M Brain electric microstates and momentary conscious mind states as building blocks of spontaneous thinking: I. Visual imagery and abstract thoughts. *Int J Psychophysiol*. 1998; 29 (1): 1–11. Available from: [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(97\)00098-6](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(97)00098-6).
 37. Schacter DL, Crovitz HF. "Falling" while falling asleep: sex differences. *Percept Mot Skills*. 1977; 44 (2): 656. DOI: 10.2466/pms.1977.44.2.656. PMID: 866074.
 38. Sarter M, Fritschy JM Reporting statistical methods and statistical results in *EJN*. *Eur J Neurosci*. 2008; 28 (12): 2363–4. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2008.06581.x>.
 39. Иванов Л. Б. Спектр мощности по электроэнцефалограмме: ошибки и практика применения (лекция вторая). Дисперсионный анализ электроэнцефалограммы по Росману. *Медицинский алфавит*. 2022; (9): 38–43. Available from: <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-9-38-43>.
 40. Croce P, Quercia A, Costa S, Zappasodi F. EEG microstates associated with intra- and inter-subject alpha variability. *Sci Rep*. 2020; 10 (1): 2469. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58787-w>.
 41. Poskanzer C, Denis D, Herrick A, Stickgold R. Using EEG microstates to examine post-encoding quiet rest and subsequent word-pair memory. *Neurobiol Learn Mem*. 2021; 181: 107424. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2021.107424>.
 42. Pascual-Marqui RD, Michel CM, Lehmann D. Segmentation of brain electrical activity into microstates: model estimation and validation. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1995; 42 (7): 658–65. Available from: <https://doi.org/10.1109/10.391164>.
 43. Milz P, Pascual-Marqui RD, Lehmann D, Faber PL. Modalities of Thinking: State and Trait Effects on Cross-Frequency Functional Independent Brain Networks. *Brain Topogr*. 2016; 29 (3): 477–90. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10548-016-0469-3>.
 44. Seitzman BA, Abell M, Bartley SC, Erickson MA, Bolbecker AR, Hetrick WP. Cognitive manipulation of brain electric microstates. *Neuroimage*. 2017; 146: 533–43. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.10.002>.
 45. Mishra A, Englitz B, Cohen MX. EEG microstates as a continuous phenomenon. *Neuroimage*. 2020; 208: 116454. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116454>. Epub 2019 Dec 10.
 46. Milz P, Faber PL, Lehmann D, Koenig T, Kochi K, Pascual-Marqui RD. The functional significance of EEG microstates--Associations with modalities of thinking. *Neuroimage*. 2016; 125: 643–56. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.08.023>.
 47. Pascual-Marqui RD, Esslen M, Kochi K, Lehmann D. Functional imaging with low-resolution brain electromagnetic tomography (LORETA): a review. *Methods Find Exp Clin Pharmacol*. 2002; 24 Suppl C: 91–5. PMID: 12575492.
 48. Grech R, Cassar T, Muscat J, Camilleri KP, Fabri SG, Zervakis M, et al. Review on solving the inverse problem in EEG source analysis. *J Neuroeng Rehabil*. 2008; 5: 25. Available from: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-5-25>.
 49. Neuner I, Arrubla J, Werner CJ, Hitz K, Boers F, Kawohl W, et al. The default mode network and EEG regional spectral power: a simultaneous fMRI-EEG study. *PLoS One*. 2014; 9 (2): e88214. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088214>.
 50. Vukovic N, Hansen B, Lund TE, Jespersen S, Shtyrov Y. Rapid microstructural plasticity in the cortical semantic network following a short language learning session. *PLoS Biol*. 2021; 19 (6): e3001290. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001290>. PMID: 34125828; PMCID: PMC8202930.
 51. Hubert V, Beaunieux H, Chételat G, Platel H, Landeau B, Viader F, Desgranges B, Eustache F. Age-related changes in the cerebral substrates of cognitive procedural learning. *Hum Brain Mapp*. 2009; 30 (4): 1374–86. Available from: <https://doi.org/10.1002/hbm.20605>. PMID: 18537110; PMCID: PMC2935916.
 52. Just MA, Keller TA. Converging measures of neural change at the microstructural, informational, and cortical network levels in the hippocampus during the learning of the structure of organic compounds. *Brain Struct Funct*. 2019; 224 (3): 1345–57. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00429-019-01838-4>. Epub 2019 Feb 6. PMID: 30725233.
 53. Nunez PL, Wingeier BM, Silberstein RB. Spatial-temporal structures of human alpha rhythms: theory, microcurrent sources, multiscale measurements, and global binding of local networks. *Hum Brain Mapp*. 2001; 13 (3): 125–64. Available from: <https://doi.org/10.1002/hbm.1030>. PMID: 11376500;

PMCID: PMC6872048.

54. Rodriguez-Larios J, ElShafei A, Wiehe M, Haegens S. Visual working memory recruits two functionally distinct alpha rhythms

in posterior cortex. *eNeuro*. 2022; 9 (5): ENEURO.0159-22.2022. DOI: 10.1523/ENEURO.0159-22.2022. Epub ahead of print. PMID: 36171059; PMCID: PMC9536853.

References

- Delorme A, Makeig S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *J Neurosci Methods*. 2004; 134 (1): 9–21. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>. PMID: 15102499.
- Martínez-Cancino R, Delorme A, Truong D, Artoni F, Kreutz-Delgado K, Sivagnanam S, et al. The open EEGLAB portal Interface: High-Performance computing with EEGLAB. *Neuroimage*. 2021; 224: 116778. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116778>. Epub 2020 Apr 11. PMID: 32289453; PMCID: PMC8341158.
- Tadel F, Bock E, Niso G, Mosher JC, Cousineau M, Pantazis D, et al. MEG/EEG Group Analysis With Brainstorm. *Front Neurosci*. 2019; 13: 76. Available from: <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00076>. PMID: 30804744; PMCID: PMC6378958.
- Jasper H, Penfield W. Electrocorticograms in man: effect of voluntary movement upon the electrical activity of the precentral gyrus. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*. 1949; 183: 163–74.
- Lopes Da Silva FH, Storm Van Leeuwen W. The cortical source of the alpha rhythm. *Neurosci Lett*. 1977; 6 (2-3): 237–41. Available from: [https://www.doi.org/10.1016/0304-3940\(77\)90024-6](https://www.doi.org/10.1016/0304-3940(77)90024-6).
- Klimesch W. α -Band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends Cogn Sci*. 2012; 16 (12): 606–17. Available from: <https://www.doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>.
- Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Res Brain Res Rev*. 1999; 29 (2-3): 169–95. Available from: [https://www.doi.org/10.1016/s0165-0173\(98\)00056-3](https://www.doi.org/10.1016/s0165-0173(98)00056-3).
- Klimesch W, Sauseng P, Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis. *Brain Res Rev*. 2007; 53 (1): 63–88. Available from: <https://www.doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.06.003>.
- Klimesch W, Doppelmayr M, Hanslmayr S. Upper alpha ERD and absolute power: their meaning for memory performance. *Prog Brain Res*. 2006; 159: 151–65. Available from: [https://www.doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)59010-7](https://www.doi.org/10.1016/S0079-6123(06)59010-7).
- Ivanov LB. Spektr moshhnosti ehlektroehncefalogrammy: oshibki i praktika primeneniya (lekciya pervaya). *Medicinskij alfavit*. 2021; (39): 45–52. Dostupno po ssylke: <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-39-45-52>. Russian.
- Lydon EA, Nguyen LT, Shende SA, Chiang HS, Spence JS, Mudar RA. EEG theta and alpha oscillations in early versus late mild cognitive impairment during a semantic Go/NoGo task. *Behav Brain Res*. 2022; 416: 113539. DOI: 10.1016/j.bbr.2021.113539. Epub 2021 Aug 17. PMID: 34416304.
- Rusiniak M, Lewandowska M, Wolak T, Pluta A, Milner R, Skarżyński H. Możliwości i problemy jednoczesnych rejestracji EEG-fMRI–badanie rytmu alfa [The possibilities and limitations of simultaneous EEG-fMRI registration—the alpha rhythm study]. *Przegl Lek*. 2015; 72 (11): 616–9. PMID: 27012118. Polish.
- Alexander AS, Place R, Starrett MJ, Chrastil ER, Nitz DA. Rethinking retrosplenial cortex: Perspectives and predictions. *Neuron*. 2023; 111 (2): 150–75. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2022.11.006>. Epub 2022 Dec 1. PMID: 36460006.
- Todd TP, Fournier DI, Bucci DJ. Retrosplenial cortex and its role in cue-specific learning and memory. *Neurosci Biobehav Rev*. 2019; 107: 713–28. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.04.016>. Epub 2019 May 2. PMID: 31055014; PMCID: PMC6906080.
- Trask S, Fournier DI. Examining a role for the retrosplenial cortex in age-related memory impairment. *Neurobiol Learn Mem*. 2022; 189: 107601. DOI: 10.1016/j.nlm.2022.107601. Epub 2022 Feb 22. PMID: 35202816.
- Olsen GM, Ohara S, Iijima T, Witter MP. Parahippocampal and retrosplenial connections of rat posterior parietal cortex. *Hippocampus*. 2017; 27 (4): 335–58. Available from: <https://doi.org/10.1002/hipo.22701>. Epub 2017 Jan 16. PMID: 28032674.
- Sugar J, Witter MP, van Strien NM, Cappaert NL. The retrosplenial cortex: intrinsic connectivity and connections with the (para) hippocampal region in the rat. An interactive connectome. *Front Neuroinform*. 2011; 5: 7. Available from: <https://doi.org/10.3389/fninf.2011.00007>. PMID: 21847380; PMCID: PMC3147162.
- Dillen KNH, Jacobs HIL, Kukolja J, von Reutern B, Richter N, Onur ÖA, Dronse J, Langen KJ, Fink GR. Aberrant functional connectivity differentiates retrosplenial cortex from posterior cingulate cortex in prodromal Alzheimer's disease. *Neurobiol Aging*. 2016; 44: 114–26. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2016.04.010>. Epub 2016 Apr 22. PMID: 27318139.
- Squire LR, Genzel L, Wixted JT, Morris RG. Memory consolidation. *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2015; 7 (8): a021766. Available from: <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a021766>. PMID: 26238360; PMCID: PMC4526749.
- de Sousa AF, Cowansage KK, Zutshi I, Cardozo LM, Yoo EJ, Leutgeb S, Mayford M. Optogenetic reactivation of memory ensembles in the retrosplenial cortex induces systems consolidation. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2019; 116 (17): 8576–81. Available from: <https://doi.org/10.1073/pnas.1818432116>. Epub 2019 Mar 15. PMID: 30877252; PMCID: PMC6486739
- Auger SD, Maguire EA. Retrosplenial Cortex Indexes Stability beyond the Spatial Domain. *J Neurosci*. 2018; 38 (6): 1472–81. Available from: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2602-17.2017>. Epub 2018 Jan 8. PMID: 29311139; PMCID: PMC5815348.
- Mitchell AS, Czajkowski R, Zhang N, Jeffery K, Nelson AJD. Retrosplenial cortex and its role in spatial cognition. *Brain Neurosci Adv*. 2018; 2: 2398212818757098. Available from: <https://doi.org/10.1177/2398212818757098>. PMID: 30221204; PMCID: PMC6095108.
- Corcoran KA, Yamawaki N, Leaderbrand K, Radulovic J. Role of retrosplenial cortex in processing stress-related context memories. *Behav Neurosci*. 2018; 132 (5): 388–95. Available from: <https://doi.org/10.1037/bne0000223>. Epub 2018 Jun. 7. PMID: 29878804; PMCID: PMC6188831.
- Milczarek MM, Vann SD. The retrosplenial cortex and long-term spatial memory: from the cell to the network. *Curr Opin Behav Sci*. 2020; 32: 50–56. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2020.01.014>. PMID: 32715030; PMCID: PMC7374566.
- Mitchell AS, Czajkowski R, Zhang N, Jeffery K, Nelson AJD. Retrosplenial cortex and its role in spatial cognition. *Brain Neurosci Adv*. 2018; 2: 2398212818757098. Available from: <https://doi.org/10.1177/2398212818757098>. PMID: 30221204; PMCID: PMC6095108.
- Powell A, Connelly WM, Vasalaukaite A, Nelson AJD, Vann SD, Aggleton JP, et al. Stable Encoding of Visual Cues in the Mouse Retrosplenial Cortex. *Cereb Cortex*. 2020; 30 (8): 4424–37. Available from: <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa030>. PMID: 32147692; PMCID: PMC7438634.
- Fischer LF, Mojica Soto-Albors R, Buck F, Harnett MT. Representation of visual landmarks in retrosplenial cortex. *Elife*. 2020; 9: e51458. Available from: <https://doi.org/10.7554/eLife.51458>. PMID: 32154781; PMCID: PMC7064342.
- Fournier DI, Monasch RR, Bucci DJ, Todd TP. Retrosplenial cortex damage impairs unimodal sensory preconditioning. *Behav Neurosci*. 2020; 134 (3): 198–207. DOI: 10.1037/bne0000365. Epub 2020 Mar 9. PMID: 32150422; PMCID: PMC7244381.
- Mao D, Molina LA, Bonin V, McNaughton BL. Vision and Locomotion Combine to Drive Path Integration Sequences in

- Mouse Retrosplenial Cortex. *Curr Biol*. 2020; 30 (9): 1680–8.e4. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.02.070>. Epub 2020 Mar 19. PMID: 32197086.
30. Morris R, Pandya DN, Petrides M. Fiber system linking the mid-dorsolateral frontal cortex with the retrosplenial/presubicular region in the rhesus monkey. *J Comp Neurol*. 1999; 407 (2): 183–92. Available from: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9861\(19990503\)407:2<183::aid-cne3>3.0.co;2-n](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9861(19990503)407:2<183::aid-cne3>3.0.co;2-n). PMID: 10213090.
 31. Clark BJ, Simmons CM, Berkowitz LE, Wilber AA. The retrosplenial-parietal network and reference frame coordination for spatial navigation. *Behav Neurosci*. 2018; 132 (5): 416–29. Available from: <https://doi.org/10.1037/bne0000260>. Epub 2018 Aug 9. PMID: 30091619; PMCID: PMC6188841.
 32. Aggleton JP, Yanakieva S, Sengpiel F, Nelson AJ. The separate and combined properties of the granular (area 29) and dysgranular (area 30) retrosplenial cortex. *Neurobiol Learn Mem*. 2021; 185: 107516. DOI: 10.1016/j.nlm.2021.107516. Epub 2021 Sep 3. PMID: 34481970.
 33. Epstein RA, Parker WE, Feiler AM. Where am I now? Distinct roles for parahippocampal and retrosplenial cortices in place recognition. *J Neurosci*. 2007; 27 (23): 6141–9. Available from: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0799-07.2007>. PMID: 17553986; PMCID: PMC6672165.
 34. Spiers HJ, Maguire EA. Thoughts, behavior, and brain dynamics during navigation in the real world. *Neuroimage*. 2006; 31 (4): 1826–40. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.01.037>. Epub 2006 Apr 11. PMID: 16584892.
 35. Tamburro G, Fiedler P, Stone D, Hauelsen J, Comani S. A new ICA-based fingerprint method for the automatic removal of physiological artifacts from EEG recordings. *PeerJ*. 2018; 6: e4380. DOI: 10.7717/peerj.4380. PMID: 29492336; PMCID: PMC5826009.
 36. Lehmann D, Strik WK, Henggele B, Koenig T, Koukkou M Brain electric microstates and momentary conscious mind states as building blocks of spontaneous thinking: I. Visual imagery and abstract thoughts. *Int J Psychophysiol*. 1998; 29 (1): 1–11. Available from: [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(97\)00098-6](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(97)00098-6).
 37. Schacter DL, Crovitz HF. "Falling" while falling asleep: sex differences. *Percept Mot Skills*. 1977; 44 (2): 656. DOI: 10.2466/pms.1977.44.2.656. PMID: 866074.
 38. Sarter M, Fritschy JM Reporting statistical methods and statistical results in *EJN*. *Eur J Neurosci*. 2008; 28 (12): 2363–4. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2008.06581.x>.
 39. Ivanov LB. Spektr moshnosti po ehlektroehncefalogramme: oshibki i praktika primeneniya (lekciya vtoraya). *Dispersionnyj analiz ehlektroehncefalogrammy po Rosmanu. Medicinskij alfavit*. 2022; (9): 38–43. Available from: <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-9-38-43>. Russian.
 40. Croce P, Quercia A, Costa S, Zappasodi F. EEG microstates associated with intra- and inter-subject alpha variability. *Sci Rep*. 2020; 10 (1): 2469. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58787-w>.
 41. Poskanzer C, Denis D, Herrick A, Stickgold R. Using EEG microstates to examine post-encoding quiet rest and subsequent word-pair memory. *Neurobiol Learn Mem*. 2021; 181: 107424. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2021.107424>.
 42. Pascual-Marqui RD, Michel CM, Lehmann D. Segmentation of brain electrical activity into microstates: model estimation and validation. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1995; 42 (7): 658–65. Available from: <https://doi.org/10.1109/10.391164>.
 43. Milz P, Pascual-Marqui RD, Lehmann D, Faber PL. Modalities of Thinking: State and Trait Effects on Cross-Frequency Functional Independent Brain Networks. *Brain Topogr*. 2016; 29 (3): 477–90. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10548-016-0469-3>.
 44. Seitzman BA, Abell M, Bartley SC, Erickson MA, Bolbecker AR, Hetrick WP. Cognitive manipulation of brain electric microstates. *Neuroimage*. 2017; 146: 533–43. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.10.002>.
 45. Mishra A, Englitz B, Cohen MX. EEG microstates as a continuous phenomenon. *Neuroimage*. 2020; 208: 116454. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116454>. Epub 2019 Dec 10.
 46. Milz P, Faber PL, Lehmann D, Koenig T, Kochi K, Pascual-Marqui RD. The functional significance of EEG microstates--Associations with modalities of thinking. *Neuroimage*. 2016; 125: 643–56. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.08.023>.
 47. Pascual-Marqui RD, Esslen M, Kochi K, Lehmann D. Functional imaging with low-resolution brain electromagnetic tomography (LORETA): a review. *Methods Find Exp Clin Pharmacol*. 2002; 24 Suppl C: 91–5. PMID: 12575492.
 48. Grech R, Cassar T, Muscat J, Camilleri KP, Fabri SG, Zervakis M, et al. Review on solving the inverse problem in EEG source analysis. *J Neuroeng Rehabil*. 2008; 5: 25. Available from: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-5-25>.
 49. Neuner I, Arrubla J, Werner CJ, Hitz K, Boers F, Kawohl W, et al. The default mode network and EEG regional spectral power: a simultaneous fMRI-EEG study. *PLoS One*. 2014; 9 (2): e88214. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088214>.
 50. Vukovic N, Hansen B, Lund TE, Jespersen S, Shtyrov Y. Rapid microstructural plasticity in the cortical semantic network following a short language learning session. *PLoS Biol*. 2021; 19 (6): e3001290. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001290>. PMID: 34125828; PMCID: PMC8202930.
 51. Hubert V, Beaunieux H, Chételat G, Platel H, Landeau B, Viader F, Desgranges B, Eustache F. Age-related changes in the cerebral substrates of cognitive procedural learning. *Hum Brain Mapp*. 2009; 30 (4): 1374–86. Available from: <https://doi.org/10.1002/hbm.20605>. PMID: 18537110; PMCID: PMC2935916.
 52. Just MA, Keller TA. Converging measures of neural change at the microstructural, informational, and cortical network levels in the hippocampus during the learning of the structure of organic compounds. *Brain Struct Funct*. 2019; 224 (3): 1345–57. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00429-019-01838-4>. Epub 2019 Feb 6. PMID: 30725233.
 53. Nunez PL, Wingeier BM, Silberstein RB. Spatial-temporal structures of human alpha rhythms: theory, microcurrent sources, multiscale measurements, and global binding of local networks. *Hum Brain Mapp*. 2001; 13 (3): 125–64. Available from: <https://doi.org/10.1002/hbm.1030>. PMID: 11376500; PMCID: PMC6872048.
 54. Rodriguez-Larios J, ElShafei A, Wiehe M, Haegens S. Visual working memory recruits two functionally distinct alpha rhythms in posterior cortex. *eNeuro*. 2022; 9 (5): ENEURO.0159-22.2022. DOI: 10.1523/ENEURO.0159-22.2022. Epub ahead of print. PMID: 36171059; PMCID: PMC9536853.