

**КОГНИТИВНАЯ НАУКА В МОСКВЕ 2015**

**КОГНИТИВНАЯ НАУКА  
В МОСКВЕ: НОВЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ**

**МАТЕРИАЛЫ  
КОНФЕРЕНЦИИ**



**2015**

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман

ISBN 978-5-4465-0705-4



9 785446 507054 >

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ НАПРАВЛЕННОГО МОДАЛЬНО-СПЕЦИФИЧЕСКОГО ПРЕДВОСХИЩАЮЩЕГО ВНИМАНИЯ: АНАЛИЗ КОГЕРЕНТНОСТИ АЛЬФА-РИТМА В ПРОСТРАНСТВЕ ИСТОЧНИКОВ<sup>47</sup>

Талалай И.В. \*, Курганский А.В., Мачинская Р.И.

[wtalalay@mail.ru](mailto:wtalalay@mail.ru)

Институт возрастной физиологии РАО, Москва

*Аннотация.* У взрослых испытуемых с помощью анализа когерентности альфа-ритма в пространстве источников исследовались функциональные корково-корковые связи при внимании, направляемом стимулом-подсказкой в период, предшествующий решению задач на различение порядка следования зрительных или слуховых стимулов в мономодальной паре. Для обеих модальностей вызванное подсказкой предвосхищение целевого сигнала сопровождалось усилением дистантных фронто-париетальных и фронто-окципитальных связей по сравнению с условием мобилизационной готовности. В каудальных зонах степень функционального взаимодействия по альфа-ритму также возрастала для обеих модальностей. При этом усиления темпоро-париетальных и темпоро-фронтальных связей наблюдались только для слуховой модальности. Результаты свидетельствуют в пользу участия альфа-ритма в настройке нейронных сетей на удержание релевантной информации в отсутствие сенсорного притока.

*Ключевые слова:* Направленное внимание, зрительные и слуховые задачи, когерентность в пространстве источников, альфа-ритм

## Введение

В экспериментальных условиях предвосхищающее внимание моделируется с помощью стимулов-подсказок, заранее информирующих испытуемого о значимых параметрах целевых сигналов. Предъявление стимула-подсказки, указывающего на место появления зрительного целевого стимула, способствует повышению скорости и точности реакции выбора (Posner, Fan, 2008), а релевантное предупреждение о модальности целевого сигнала позитивно влияет на различение зрительных и слуховых стимулов (Spence, Driver, 1997). Психологические эксперименты оставляют открытыми ряд важных для когнитивной науки вопросов. Почему обработка сенсорной информации осуществляется более эффективно, если ей предшествует предупреждение о значимых пара-

---

<sup>47</sup> Работа поддержана грантом Российского научного фонда, проект № 14-18-037037.

метрах стимула? Происходят ли изменения в обрабатывающих структурах мозга до активации сенсорных входов, и если происходят, то каковы механизмы такой предстимульной селекции? Заглянуть в «черный ящик» можно с помощью различных методов регистрации активности мозга в период между предупреждением и появлением целевых сигналов. Один из методов исследования мозговых механизмов когнитивных процессов состоит в анализе степени статистического сходства ритмической электрической активности нейронных сетей в различных корковых зонах — корково-корковых функциональных связей. В основе этого метода лежат представления о роли ритмической электрической активности мозга в формировании нейрокогнитивных сетей (*neurocognitive networks*), обеспечивающих реализацию определенных когнитивных операций (Bressler, 2008). Формирование нейронных «временных рабочих коллективов» на основе общего ритмического сигнала отражается в увеличении степени функционального взаимодействия различных корковых зон, которое можно выявить с помощью количественных методов анализа электроэнцефалограммы (ЭЭГ).

**Цель данной работы** состояла в исследовании функциональных корково-корковых связей при модально-специфическом предвосхищающем внимании, направляемом стимулом-подсказкой в период, предшествующий решению задач на различение порядка следования зрительных или слуховых стимулов в мономодальной паре (*temporal order judgment task*).

### Методы

В исследовании приняло участие 16 здоровых испытуемых-правшей (8 мужчин и 8 женщин) в возрасте  $23 \pm 5.7$  лет с нормальным или скорректированным до нормального зрением.

**Стимулы.** Зрительные и слуховые стимулы предъявлялись парами, в которых сигналы одной модальности следовали друг за другом с интервалом в 40 мс. Зрительные стимулы — вытянутые прямоугольники двух оттенков серого (светлого и темного) — появлялись в центре черного экрана под углом 90 градусов друг к другу, длительность предъявления каждого стимула составляла 15 мс. Слуховые стимулы — короткие звуки комфортно-Сй громкости двух разных частот (300 Гц и 3000 Гц) предъявлялись бинаурально, длительность каждого стимула в паре составляла 25 мс. В исследовании использовались также стимулы-подсказки — схематические изображения глаза или уха. Порядок следования целевых стимулов внутри мономодальных пар чередовался псевдослучайным образом.

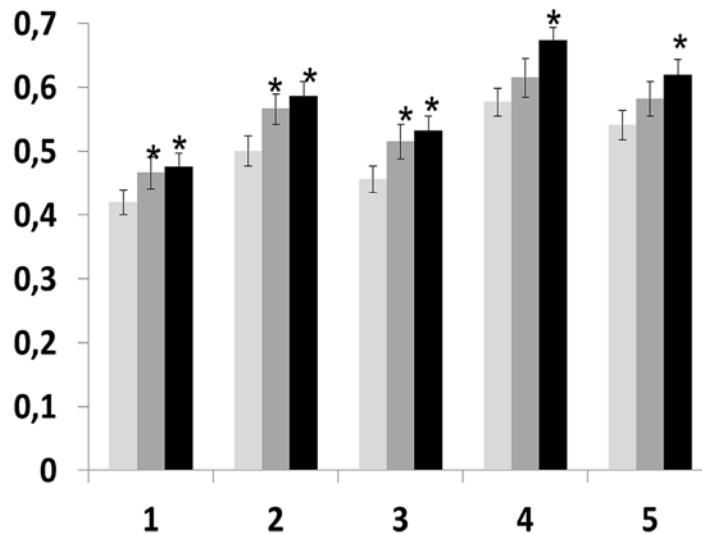
**Экспериментальная процедура.** Испытуемый должен был определить, какой из двух зрительных (слуховых) целевых стимулов был предъявлен первым, и нажать как можно быстрее одну из кнопок ответ-

ного устройства. В предварительных экспериментах сенсорные задачи были уравнены по трудности с частотой правильного ответа .6–.8 для обеих модальностей. Каждая экспериментальная проба начиналась с предъявления фиксационного креста в центре экрана. Далее через 1000–1500 мс на 80 мс в центре экрана появлялся стимул-подсказка, после которого с плавающим интервалом 3500–4000 мс предъявлялась пара целевых зрительных или слуховых стимулов. Последовательность зрительных и слуховых задач была псевдослучайной. Количество зрительных и слуховых проб было одинаковым (по 40 предъявлений).

**Регистрация и анализ ЭЭГ.** ЭЭГ регистрировалась с помощью компьютерной системы EGI (Electrical Geodesics, Inc.) от 128 датчиков с вертексным референтным электродом. Частота оцифровки составляла 250 Гц, частота пропускания сигнала — 0.5–70 Гц. Функциональные корково-корковые связи анализировались по отрезкам ЭЭГ, записанным в течение 1 секунды перед стимулом-подсказкой (мобилизационная готовность) и в течение 2 секунд перед первым целевым стимулом (модально-специфическое направленное внимание) для проб, соответствующих правильным решениям сенсорной задачи. С помощью метода минимальной нормы (MNE, Pascual-Marqui et al., 2011), основанного на решении обратной задачи энцефалографии, вычислялись сигналы в единице объема корковой ткани (вокселе). При этом использовались стандартные координаты сенсоров шлема HydroCel GSN ([www.egi.com](http://www.egi.com)) и стандартная геометрия черепа и головного мозга с известными координатами в системе Монреальского неврологического института MNI ([www.bic.mni.mcgill.ca](http://www.bic.mni.mcgill.ca)). Из всего множества сигналов в отдельных вокселях отбирались те, которые соответствовали 12 симметричным областям интереса (ОИ). На основании литературных данных были выбраны следующие ОИ: зрительная проекционная область (V1, BA 17); слуховая проекционная область (A1, BA 41/42), латеральная префронтальная кора (LPFC, BA 9/46), фронтальная глазодвигательная область (FEF, BA 8), латеральная интрапариетальная зона (LIP, латеральная часть внутренней теменной борозды), нижнетеменная кора (IPC, часть поля BA 40). Для локализации ОИ использовались MNI-координаты. Все воксели, расположенные внутри шара с радиусом 10 мм с центром, соответствующим центру ОИ, рассматривались как принадлежащие этой ОИ. Для последующей оценки функциональных связей каждая ОИ была представлена одним характеристическим сигналом (источником). Для пар источников, соответствующих ОИ вычислялись оценки функции когерентности (КОГ) в диапазоне альфа-частот. Для вычисления КОГ использовались коэффициенты векторной авторегрессионной модели 14-го порядка.

## Результаты исследования

15 пар областей, составленных из ОИ, были группированы в 5 подмножеств (см. подпись к рис. 1). Дисперсионный анализ КОГ проводился отдельно для каждого подмножества и включал следующие внутригрупповые факторы: УСЛОВИЕ (мобилизационная готовность, зрительное направленное внимание, слуховое направленное внимание), ПОЛУШАРИЕ (левое, правое), ЛОКАЛИЗАЦИЯ (3 пары областей, входящие в данное подмножество). Средние значения величины альфа-КОГ в пяти подмножествах пар областей в трех экспериментальных условиях представлены на рис. 1.



**Рисунок 1.** Средние значения альфа-КОГ в подмножествах пар областей при мобилизационной готовности (светло-серые столбики), зрительном (темно-серые столбики) и слуховом (черные столбики) предвосхищающем внимании. Индикаторы погрешностей соответствуют величинам ошибки среднего (SEM). \* Различия значимы ( $p < .05$ ) с учетом поправки Бонферрони. Подмножества пар областей: 1 — (LPFC – V1, LPFC – IPC, LPFC – LIP), 2 — (FEF – V1, FEF – IPC, FEF – LIP), 3 — (V1 – IPC, V1 – LIP, V1 – A1), 4 — (A1 – IPC, A1 – LIP, IPC – LIP), 5 — (A1 – LPFC, A1 – FEF, LPFC – FEF)

Для пар удаленных областей с участием префронтальных, теменных и затылочных зон (1) обнаружено значимое влияние фактора УСЛОВИЕ ( $F(2,14) = 7.470$ ,  $p = .006$ ). Значимый рост альфа-КОГ отмечался как при зрительном ( $F(1,15) = 5.079$ ,  $p = .04$ ), так и при слуховом ( $F(1,15) = 15.996$ ,  $p = .001$ ) внимании. Сходные изменения были характерны для связей между фронтальной глазодвигательной областью и каудальными отделами (2). Здесь также фактор УСЛОВИЕ оказался значимым и в целом

( $F(2,14) = 17.693, p < .0001$ ), и отдельно для зрительной ( $F(1,15) = 6.858, p = .047$ ) и слуховой ( $F(1,15) = 37.570, p < .0001$ ) задач.

Для локальных связей, куда входили теменные и обе сенсорно-специфические зоны (3), был выявлен главный эффект фактора УСЛОВИЕ ( $F(2,14) = 13.955, p < .0001$ ). Увеличение КОГ при направленном внимании по сравнению с мобилизационной готовностью обнаружено как для слуховой ( $F(1,15) = 29.902, p < .0001$ ), так и для зрительной ( $F(1,15) = 11.618, p = .012$ ) модальностей. В височно-теменных (4) и лобно-височных (5) парах значимый рост КОГ был обнаружен только для слуховой модальности:  $F(1,15) = 23.47, p = .001, F(1,15) = 8.25, p = .035$  соответственно.

### Выводы

1. Обусловленное стимулом-подсказкой предвосхищение целевых сигналов при решении сенсорных зрительных и слуховых задач сопровождалось сходным для обеих модальностей вовлечением фронто-париетальных нейронных сетей мозга, участвующих в управляющем контроле внимания (Bressler et al., 2008; Simpson, 2011) и удержании информации в рабочей памяти (D'Esposito, 2007).
2. Степень функционального взаимодействия в локальных связях, объединяющих теменные, зрительные и слуховые корковые зоны, возрастала при решении задач обеих модальностей. При этом для связей слуховых сенсорных областей с теменными и лобными зонами рост степени функционального взаимодействия наблюдался только при ожидании слуховой задачи.
3. Мы предполагаем, что интеграция ритмической электрической активности корковых зон в диапазоне альфа-ритма способствует избирательной настройке нейронных сетей на анализ и удержание релевантной информации в отсутствие сенсорного притока.

### Литература

*Bressler S.L., Tang W., Sylvester C.M., Shulman G.L., Corbetta M.* Top-down control of human visual cortex by frontal and parietal cortex in anticipatory visual spatial attention // *The Journal of neuroscience*. 2008. Vol. 28. No. 40. P. 10056–10061.

*D'Esposito M.* From cognitive to neural models of working memory // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2007. Vol. 362. No. 1481. P. 761–772.

*Pascual-Marqui R.D., Lehmann D., Koukkou M., Kochi K., Anderer P., Saletu B., Tanaka H., Hirata K., John E.R., Prichep L., and others.* Assessing interactions in the brain with exact low-resolution electromagnetic tomography //

Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2011. Vol. 369. No. 1952. P. 3768–3784.

*Posner M.I., Fan J.* Attention as an organ system // Topics in integrative neuroscience: From cells to cognition / Ed. J.R. Pomerantz. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. P. 31–61.

*Simpson G.V., Weber D.L., Dale C.L., Pantazis D., Bressler S.L., Leahy R.M., Luks T.L.* Dynamic activation of frontal, parietal, and sensory regions underlying anticipatory visual spatial attention // The Journal of Neuroscience. 2011. Vol. 31. No. 39. P. 13880–13889.

*Spence C., Driver J.* On measuring selective attention to an expected sensory modality // Perception & Psychophysics. 1997. Vol. 59. No. 3. P. 389–403.

## **EEG-Source Alpha Coherence Analysis of Cued Modality-Specific Anticipatory Attention**

**Talalay I.V. \*, Kurgansky A.V., Machinskaya R.I.**

[wtalalay@mail.ru](mailto:wtalalay@mail.ru)

Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of Education,  
Moscow, Russia

**Abstract.** In the experimental condition, anticipatory attention is modulated by cue-stimuli that inform participants about relevant characteristics of target stimuli and increase participants' performance. In the present study, EEG-source alpha coherence analysis was applied to assess a cue-related shift in cortical functional connectivity. It was shown that, compared to sustained attention, spell out what COH is here (COH) significantly increased during anticipatory attention for the long-range fronto-parietal and fronto-occipital links. Modality-related COH changes were observed for the short-range cortical connections in occipito-parietal links (for both modalities) and in temporo-parietal and temporo-frontal connections (for the auditory modality). These results suggest that the alpha oscillatory system is involved in the modulation of both the fronto-parietal attention network and cortical sensory processing areas.

**Keywords:** directed modality-specific attention (cued attention), visual and auditory tasks, source-space coherence, alpha rhythm