

КОГЕРЕНТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЕЖПОЛУШАРНЫХ ОТНОШЕНИЙ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ МЫСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

О.М. Бахтин, Е.В. Асланян, Д.М. Лазуренко, В.Н. Кирой

НИИ нейрокибернетики, ЮФУ, г. Ростов н/Д, Россия. Kiroy@krinc.ru

В последние годы стремительно возрастает интерес к изучению нейрофизиологических механизмов и коррелятов (в т.ч., электрографических) произвольной мысленной деятельности человека. Одна из причин этого состоит в попытке создания так называемого Brain-Computer Interface (BCI), способного обеспечить прямое управление внешними техническими устройствами (в т.ч., персональным компьютером) сигналами, регистрируемыми от мозга. Как нам представляется, поиск таких маркеров целесообразно вести с позиций нейродинамического подхода [5, 6], который базируется на представлениях о пространственно-временной синхронизации активности как механизме обучения и кооперативного функционирования нейронных констелляций мозга. Известно, что изменение функционального состояния мозга, активация процессов внимания, памяти, реализация операторских задач и др. приводит к появлению специфических электрографических маркеров. В ряде случаев экспериментально продемонстрировано сходство маркеров, формирующихся, например, при восприятии реальных объектов и их мысленном представлении [1, 4, 9, 12].

Одним из способов идентификации специфических электрографических паттернов, отражающих текущее функциональное состояние мозга и лежащих в основе формирования и реализации мыслительных актов, является расчет функции когерентности как меры функциональной связи активности мозговых структур. С одной стороны, показано, что средний уровень когерентности устойчив в популяции здоровых людей [2] и может служить мерой для оценки «тонуса коры». Тем самым подчеркивается роль классического диапазона ЭЭГ-частот, в котором отражаются типологические особенности структурно-функциональной организации ЦНС и функционирования механизмов регуляции функционального состояния мозга. С другой стороны, для реализации специфических информационных задач ключевое значение приобретают события, происходящие в области более быстрых частот [5], среди которых в последнее время особое внимание уделяется колебаниям гамма-диапазона (свыше 30 Гц) [3, 8, 11]. Предполагается, что именно с участием гамма-активности

осуществляются процессы переработки текущей информации, обеспечиваются мультирегиональные взаимодействия, обеспечивающие реализацию текущей деятельности, в том числе, формирование внутренних образов (1, 3, 7]. Учитывая, что произвольная мыслительная деятельность, равно как и восприятие реальных объектов, осуществляется на основе взаимодействия функционально специализированных областей разных полушарий, есть основания полагать, что при этом должны формироваться специфические пространственно-временные паттерны активности, в т.ч., между симметричными зонами левого и правого полушарий.

Попытка идентификации таких паттернов когерентной активности была предпринята нами с использованием оригинальной методики, которая позволяет обследуемому мысленно формировать в произвольные моменты времени заданную последовательность зрительных, вербальных и кинестетических образов. Главным моментом в этой методике является возможность воспроизведения мыслительных процессов в индивидуальном темпе и с индивидуально максимальной скоростью в произвольные моменты времени, которые выбираются самим обследуемым. Процедура воспроизведения зрительных образов включала мысленное оконтуривание актуализируемых из памяти геометрических фигур (Контур), вербальных – в виде мысленного проговаривания слов (Слова), кинестетических – в мысленном воспроизведении ощущения указанной части тела (Схема).

В обследованиях участвовали 8 взрослых праворуких испытуемых в возрасте 19-22 года. В процессе мыслительной деятельности осуществлялась многоканальная регистрация ЭЭГ-активности по схеме 10-20 с частотой квантования сигналов с частотой 250 Гц по каждому каналу (система «Энцефалан -131-03», элитная версия, «Медиком МТД». г.Таганрог, Россия). ЭЭГ-активность отводилась в монополярном режиме от симметричных пар отведений: f3, f4, f7, f8, c3, c4, t3, t4, t5, t6, p3, p4, o1, o2. Референтом служили объединенные электроды, фиксируемые на мочках ушей. Нейтральный электрод располагался в области лба. Одновременно регистрировалась окулограмма от правого глаза. Каждый обследуемый участвовал в эксперименте дважды: первый раз - без регистрации ЭЭГ-активности (предварительное обследование), второй - с регистрацией ЭЭГ-активности.

В апостериорном режиме после удаления артефактов мигательного и мышечного происхождения производилась нарезка фрагментов ЭЭГ отдельно для состояния покоя с открытыми глазами (ОГ) и каждого типа деятельности путем обратного отчета от метки, свидетельствующей об окончании выполнения соответствующего задания.

Длительность фрагментов, соответствующих выполнению задания, равнялась минимальному временному интервалу, который определялся по результатам предварительного обследования, включающего как отметку об окончании, так и о начале выполнения соответствующего задания. Длительность фрагментов ЭЭГ-эпох в состоянии покоя соответствовала длительности фрагментов при выполнении задания. Все фрагменты, соответствующие определенному типу заданий, автоматически «сшивались» в один фрагмент длительностью 20-25 с, для которого и рассчитывались значения когерентности для симметричных и внутриполушарных пар отведений в частотных полосах, соответствующих альфа-(8-13 Гц), бета-2-(20-30 Гц) и гамма-(50-70 Гц) ритмам. Массивы вычисленных значений когерентности подвергались Z-преобразованию для подгонки к нормальному распределению. В дальнейшем совокупность данных подвергалась процедуре ANOVA-анализа, в рамках которого использовался метод повторных измерений (Repeated Measures Analysis of Variance). Дизайн процедуры представлял план $P \times R \times C$, где P – фактор латеральности (градации: правое / левое полушария); R – фактор ритмов ЭЭГ (градации: альфа / бета 2 / гамма); C – фактор повторных измерений, включающий в себя состояния деятельности (градации: ОГ, «Слова», «Контур», «Схема»). Все вычисления осуществлялись относительно всей группы обследуемых.

Достоверность влияний основных факторов и их взаимодействия, а также достоверность различий когерентности между парами отведений оценивалась с учетом поправки Гринхауза-Гайзера. Наличие достоверных различий между средними принималось при уровне значимости $p < 0.05$. Уровни значимости в пределах $0.05 < p < 0.08$ рассматривались как тенденция к достоверному различию.

Анализ показал наличие достоверных различий по факторам P (полушария), R (ритмы ЭЭГ), C (состояния) и их взаимодействиям: P : $F=6.955$, $p=0.008$; R : $F=27.236$, $p=0.00000$; C : $F=42.908$, $p=0.000000$; $P \times C$: $F=3.289$, $p=0.019$; $R \times C$: $F=7.100$, $p=0.0000$; $P \times R \times C$: $F=3.619$, $p=0.001$. Достоверных различий на уровне взаимодействий P (Полушария) и R (ритмы ЭЭГ) не обнаружено. Последнее могло быть связано с наличием существенных различий ЭЭГ-паттернов, формирующихся при выполнении различных типов заданий.

Наличие достоверных различий по фактору C (состояние) свидетельствовало о существовании специфических паттернов когерентной активности, характерных для каждого типа заданий, и послужило основанием для реализации попытки обнаружения констелляций межполушарных и внутриполушарных отведений, взаимодействия

которых и определяют разделения состояния ОГ от состояний деятельности, а внутри деятельности – различные ее виды. Выявление таких пар отведений производилось для отдельных частотных диапазонов посредством процедуры *контрастов* (*Planned comps*).

Проведенный анализ показал, что, по сравнению с ОГ, выполнение разных видов мыслительной работы не приводит к сколько-нибудь существенным изменениям когерентности в альфа-частотном диапазоне. Напротив, на бета-2 и особенно гамма-частотах она существенно изменяется, что проявляется в виде **достоверного снижения уровня когерентности** при мысленной работе разного вида по сравнению с состоянием пассивного бодрствования (рисунок 1). Последнее указывает на то, что выполнение деятельности сопровождается снижением сопряженной активности полушарий и усилением роли специализации полушарий для реализации разных типов работы.



Рисунок 1. Графическое изображение результатов сравнительного анализа значений межполушарной когерентности ЭЭГ, регистрируемой от симметричных областей правого и левого полушарий в состоянии ОГ и при выполнении мыслительной деятельности. Линиями обозначены пары отведений, когерентность активности которых в ОГ была достоверно выше ($p < 0.05$), чем при выполнении деятельности.

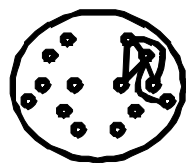
Сравнительный анализ когерентности биопотенциалов, регистрируемых в пределах правого и левого полушарий, показал, что как в состоянии ОГ, так и при выполнении заданий различных типов формируются специфические пространственные ритмозависимые паттерны когерентной активности. В ОГ такие паттерны формировались преимущественно на частотах альфа-диапазона и включали лобно-центральные пары отведений право полушария (рисунок 2), что показано и в работах ряда других авторов [1, 13].

При реализации деятельности, связанной с мысленным проговариванием слов и оперированием зрительными образами, отчетливые паттерны формировались в области

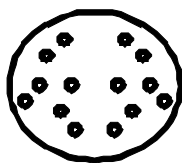
бета-2 и гамма-частот и включали лобно-центральные и частично затылочные отведения правого полушария, уровень когерентности которых был достоверно выше, чем слева. При этом обнаруживались различия, позволяющие отдифференцировать паттерны, соответствующие внутреннему проговариванию слов, и оперированию зрительными образами. При реализации кинестетических представлений межполушарных различий в паттернах когерентной активности обнаружено не было. Последнее можно было бы связать с тем, что анализировались все задания данного типа без их разделения в соответствии с латерализацией соответствующих ощущений. Однако, и последующее разделение заданий данного типа в соответствии с латерализацией актуализируемых ощущений также не выявило межполушарных различий.

Полученные результаты указывают на то, что ряд «центральных состояний», связанных с произвольной мыслительной деятельностью различного содержания, формирует специфические и различимые электрографические паттерны в виде когерентных структур, идентификация которых может представлять интерес для целей разработки систем ВСИ, обладающих существенно большей производительностью, по сравнению с ныне существующими. На основании полученных результатов можно предположить, что в наших условиях обследования характер распределения значений когерентности ЭЭГ был обусловлен, во-первых, характером деятельности, а именно, ее мыслительным статусом, и, во-вторых, типом выполняемого мыслительного задания. При этом обнаруживается, что оперирование зрительными образами и вербальная деятельность оказываются существенно более асимметрично, чем, казалось бы, такая латерализованная деятельность, как формирование кинестетических ощущений. На участие преимущественно структур правого полушария в реализации деятельности, связанной с оперированием различными образами, указывается и в многочисленных других работах [в т.ч., 1, 7]. Складывается впечатление, что в случае мысленного манипулирования даже пространственно разнесенными кинестетическими ощущениями необходимо вовлечение в работу обоих полушарий с сохранением определенного уровня их автономности, на что указывает, в частности, отсутствие повышения уровня межполушарной синхронизации биопотенциалов.

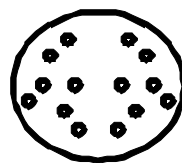
1. «ОГ»



Альфа-диапазон

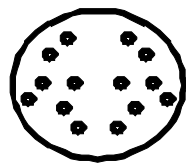


Бета-диапазон

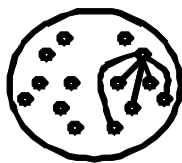


Гамма-диапазон

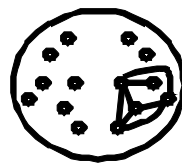
2. «Слова»



Альфа-диапазон

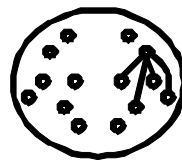
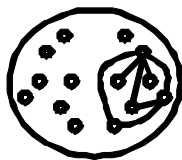
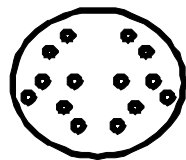


Бета-диапазон



Гамма-диапазон

3. «Контур»



4. «Схема»

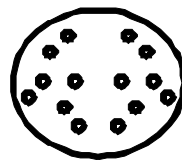
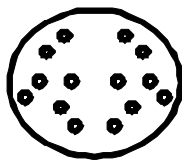
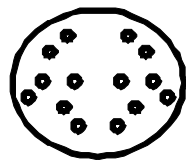


Рисунок 2. Графическое изображение результатов сравнительного анализа когерентности активности отведений правого и левого полушарий в состояниях ОГ и различной мыслительной деятельности. Линиями показаны случаи достоверного превышения ($p < 0.05$) когерентности в парах отведений одного полушарий, по сравнению с симметричными.

Список используемых источников

1. Бехтерева Н. П., Нагорнова Ж. В. Динамика когерентности ЭЭГ при выполнении заданий на невербальную (образную) креативность // Физиология человека. 2007. Т.33. № 5. С.5-13
2. Гриндель О.М. оптимальный уровень когерентности и его значение в оценке функционального состояния мозга // ЖВНД. 1980. т.30. № 1. с.62-71.
3. Думенко В. Н. Функциональное значение высокочастотных компонентов электрической активности головного мозга в процессе формирования внутренних образов // ж. Высш.Нерв.Деят. 2002. Т.52. № 5. С.539-550.
4. Жаворонкова Л.А. Правши-левши. Межполушарная асимметрия электрической активности мозга человека. М.: Наука. 2006. 223 с.
5. Кирой В. Н. Механизмы формирования функционального состояния мозга человека. Изд-во РГУ, Ростов-на-Дону, 1991, 182 с.
6. Кирой В.Н., Белова Е.И. Механизмы формирования и роль осцилляторной активности нейронных популяций в системной деятельности мозга // ж. В.Н.Д. 2000. т.50. в.2. с.179-191.
7. Кирой В.Н., Владимирский Б.М., Асланян Е.В., Бахтин О.М., Миняева Н.Р.. Электрографические корреляты реальных и мысленных движений: спектральный анализ. (ж. Высш.Нерв.Деят., в печати).
8. Мачинская Р.И. Нейрофизиологические механизмы произвольного внимания (аналитический обзор) // ж. В.Н.Д. 2003. т.53. №2. с. 133.
9. Холмская Е.Д. Нейропсихологический анализ межполушарной асимметрии мозга человека. М.: МГУ. 1986. 138 с.
10. Bressler S., Coppola R., Nakamura R. Episodic multiregional cortical coherence at multiple frequencies during visual task performance // Nature. 1993. V.366. p.153-156.
11. Freeman W. J., Barrie J. M. Analysis of spatial patterns phase in neocortical gamma EEG's in rabbit // J. Neurophysiol. 2000. V.84. p.1266-1278.
12. Kornhuber N.N. // In: F.O. Schmitt F.G. Worden (eds.) The Neuroscience. Cambridge, MIT Press, 1974. P. 267-280.
13. Tucker D.M., Roth D.L., Bair T.B. Functional connections among cortical regions: Topography of EEG coherence// EEG and Clin. Neurophysiol. 1986. Vol.63. P.242-250.