

УДК 612.821

КОГЕРЕНТНОСТЬ ЭЭГ ПРИ ПАССИВНОМ ВОСПРИЯТИИ ЛИНИЙ С РАЗЛИЧНЫМ УГЛОМ НАКЛОНА У ЛЕВШЕЙ И ПРАВШЕЙ

© 2012 г.

М.В. Лукоянов^{1,2}, В.Н. Крылов¹

¹Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

²Нижегородская государственная медицинская академия

lukoyanovm@gmail.com

Поступила в редакцию 07.09.2012

Исследован уровень когерентности ЭЭГ при пассивном просмотре белого экрана и линий с различным углом наклона у правшей и левшей. Особенностью группы правшей явились преимущественно локальные внутрислоушарные изменения когерентности, в то время как у левшей эти изменения были межполушарными.

Ключевые слова: ЭЭГ, когерентность, левши, межполушарная асимметрия, пассивное зрительное восприятие.

Введение

Особенности работы мозга левшей и правшей могут дать сведения для понимания принципов работы мозга в целом, так как характер доминирования одной руки над другой является отражением различной организации нервных процессов. Когерентный анализ электроэнцефалографии (ЭЭГ), отражающий взаимосвязи между определенными зонами коры в интегративной деятельности мозга, является информативным и широко распространенным подходом к исследованию этой проблемы. Когерентность электрических сигналов мозга – количественный показатель синхронности вовлечения различных корковых зон при их взаимодействии. Высокая когерентность означает, что в двух точках регистрации электрических потенциалов имеет место совпадающая по частоте и константная по соотношению фаз активность [1]. Тем не менее данные, полученные различными авторами при исследовании уровня когерентности у левшей и правшей, дают неоднозначные результаты. Так, были показаны разнонаправленные изменения межполушарной когерентности (при использовании только двух пар электродов Fz-P3 и Fz-P4) в альфа-диапазоне между левшами и правшами при переходе от состояния спокойного бодрствования к решению пространственной и арифметической задач. При этом у правшей наблюдалось увеличение, а у левшей – уменьшение межполушарной когерентности [2]. Кроме того, установлено, что левши имеют меньшую асимметрию, связанную с тестами [3]. В ряде работ было отмечено отсутствие достоверных различий межполушарной когерентности между левшами и правшами [4, 5]. По другим данным, в состоя-

нии спокойного бодрствования средние уровни внутрислоушарной когерентности ЭЭГ у правшей имели более высокие значения в левом полушарии, у левшей – в правом, что наиболее отчетливо проявилось в латеральных парах отведений (лобно-височно-центральные области). Центральная лобная когерентность в правом полушарии и у правшей, и у левшей была выше, чем в левом [6].

Цель настоящей работы – сравнение уровня когерентности ЭЭГ и ее изменения при пассивном просмотре белого экрана и линий с различным углом наклона у испытуемых с различным мануальным предпочтением. Выбор линий с различным углом наклона в качестве стимульного материала обусловлен тем, что они являются одним из элементарных составляющих любого изображения и имеют хорошо исследованные нейронные механизмы восприятия [7].

Материал и методика

Исследование было проведено на 22 добровольцах, разделенных на 2 группы: левши (4 мужчины, 5 женщин) и правши (3 мужчины, 10 женщин). Возраст испытуемых варьировал от 18 до 25 лет. Для разделения испытуемых на группы применялся Эдинбургский опросник [8], а также стандартные пробы функциональной сенсорной асимметрии [9]. В работе использовалась стандартная методика электроэнцефалографии [10]. ЭЭГ регистрировалась монополярно, ипсилатерально. Электроды устанавливались по системе 10–20 в следующих положениях: Fp1, Fp2, F3, F4, Fz, C3, C4, Cz, P3, P4, Pz, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6. Общий референтный

Таблица

Результаты сравнения (тест Манна–Уитни) уровня когерентности между левшами и правшами при пассивном просмотре белого экрана для различных групп пар отведений

Показатели	I (18)	II (18)	III (21)	IV (21)	V (9)	VI (9)
Тета-1	$U = 205,$ $Z = 1.360,$ $p = 0.181$	$U = 149,$ $Z = -0.41,$ $p = 0.696$	$U = 215,$ $Z = -0.13,$ $p = 0.901$	$U = 187,$ $Z = -0.84,$ $p = 0.4104$	$U = 41,$ $Z = 0.044,$ $p = 1$	$U = 19,$ $Z = -1.89,$ $p = 0.0625$
Тета-2	$U = 243,$ $Z = 2.562,$ $p = 0.009$	$U = 184,$ $Z = 0.696,$ $p = 0.501$	$U = 244,$ $Z = 0.591,$ $p = 0.5667$	$U = 221,$ $Z = 0.012,$ $p = 1$	$U = 56,$ $Z = 1.368,$ $p = 0.1903$	$U = 45,$ $Z = 0.397,$ $p = 0.7304$
Альфа-1	$U = 263,$ $Z = 3.195,$ $p < 0.001$	$U = 214,$ $Z = 1.645,$ $p = 0.1038$	$U = 244,$ $Z = 0.591,$ $p = 0.5667$	$U = 220,$ $Z = -0.01,$ $p = 1$	$U = 69,$ $Z = 2.516,$ $p = 0.01$	$U = 40,$ $Z = -0.04,$ $p = 1$
Альфа-2	$U = 245,$ $Z = 2.626,$ $p = 0.007$	$U = 160,$ $Z = -0.06,$ $p = 0.9626$	$U = 228,$ $Z = 0.188,$ $p = 0.8617$	$U = 194,$ $Z = -0.66,$ $p = 0.517$	$U = 51,$ $Z = 0.927,$ $p = 0.3865$	$U = 26,$ $Z = -1.28,$ $p = 0.2224$
Бета-1	$U = 258,$ $Z = 3.037,$ $p < 0.001$	$U = 201,$ $Z = 1.233,$ $p = 0.2262$	$U = 250,$ $Z = 0.742,$ $p = 0.4697$	$U = 220,$ $Z = -0.01,$ $p = 1$	$U = 75,$ $Z = 3.046,$ $p < 0.001$	$U = 42,$ $Z = 0.132,$ $p = 0.9314$
Бета-2	$U = 266,$ $Z = 3.290,$ $p < 0.001$	$U = 196,$ $Z = 1.075,$ $p = 0.2931$	$U = 265,$ $Z = 1.119,$ $p = 0.2715$	$U = 205,$ $Z = -0.38,$ $p = 0.7088$	$U = 74,$ $Z = 2.958,$ $p < 0.001$	$U = 28,$ $Z = -1.10,$ $p = 0.2973$

Примечания: В скобках указано количество пар отведений, вошедших в группу. Жирным шрифтом выделены ячейки со статистически значимыми различиями ($p < 0.05$). I – передние внутриполушарные связи левого полушария, II – передние внутриполушарные связи правого полушария, III – задние внутриполушарные связи левого полушария, IV – задние внутриполушарные связи правого полушария, V – длинные внутриполушарные связи левого полушария, VI – длинные внутриполушарные связи правого полушария, VII – длинные межполушарные связи, VIII – короткие межполушарные связи.

электрод устанавливался на мочки ушей. Электрод средней линии устанавливался на лбу. Считываемый сигнал подвергался частотной фильтрации (от 0.5 до 30 Гц). Частота оцифровки 500 Гц.

Порядок проведения эксперимента

Испытуемому давалась команда смотреть на монитор, без каких-либо дополнительных заданий. В течение 30 с испытуемым демонстрировался белый экран, затем в течение 60 с на экране демонстрировались линии с различным углом наклона. Продолжительность предъявления каждой линии составляла 2 с. Последовательность углов наклона линий была псевдорандомной и идентичной для каждого испытуемого. Всего для каждого испытуемого было записано 2 сессии длительностью 120 с.

Удаление артефактов записи ЭЭГ проводилось с использованием ICA (в программе Neuron-Spectrum.NET_UM). Для каждого отрезка рассчитывали когерентность попарно между всеми 19 отведениями (171 пара). Для вычисления когерентности использовалась функция `matplotlib.mlab.cohere` модуля `matplotlib` для языка программирования Python со следующими параметрами: окно анализа 500 отсчетов (1 с) с 50%-ным перекрытием. Полученные значения

когерентности для различных частот усреднялись для следующих частотных диапазонов: тета-1 (4–5 Гц), тета-2 (6–7 Гц), альфа-1 (8–9 Гц), альфа-2 (10–12 Гц), бета-1 (13–19 Гц), бета-2 (20–30 Гц). Для выявления значимости измененной когерентности между отрезками с различной визуальной стимуляцией внутри каждой группы использовался тест Вилкоксона (Wilcoxon signed-rank test), для межгрупповых сравнений – тест Манна–Уитни (Wilcoxon rank-sum test), реализованные в пакете COIN для языка программирования R (использовалось точное распределение). Вычисление значимости различий проводилось для каждой пары электродов отдельно. Различия считались статистически значимыми при значениях $p < 0.05$.

Результаты

При попарном сравнении отведений пассивного наблюдения белого экрана были выявлены большие значения когерентности в левом полушарии у левшей по сравнению с правшами в тета-2, альфа-1 и бета-диапазонах в лобных, височных, центральных и теменных отведениях (таблица).

Сходный паттерн различий наблюдался при сравнении показателей когерентности и при пас-

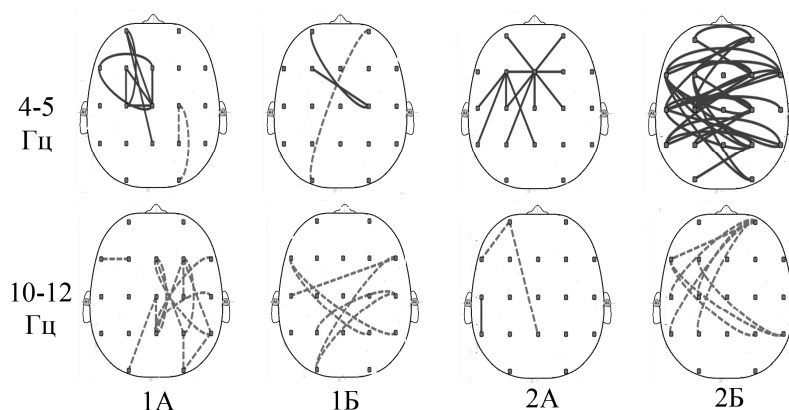


Рис. Достоверные ($p < 0.05$) изменения когерентности при пассивном просмотре линий с различным углом наклона относительно просмотра белого экрана в тета-1 (4–5 Гц) и альфа-2 (10–12 Гц) диапазонах у правой (1) и левой (2). Буквами обозначены внутриполушарные (А) и межполушарные (Б) связи. Сплошными линиями обозначены пары отведений, между которыми наблюдалось увеличение когерентности, прерывистыми – уменьшение

сивном просмотре линий с различным углом наклона. Кроме того, у левой при просмотре стимулов большая когерентность отмечалась также в межполушарных связях в альфа-1 и бета-2 (единично в бета-1) диапазонах в передних отведениях.

При сравнении значений когерентности у левой при пассивном просмотре белого экрана и линий с различным углом наклона статистически значимые изменения были выражены в виде увеличения межполушарных связей в тета-1 диапазоне практически во всех отведениях (рисунок). Менее выраженные изменения проявились в уменьшении межполушарных связей в альфа-2 диапазоне между височными и теменными отведениями левого полушария и лобным и теменными отведениями правого полушария (рисунок).

У правой изменения носили более локальный характер. В тета-диапазоне когерентность так же, как и у левой, увеличивалась, но эти изменения носили менее массовый характер и отмечались, в основном, для внутриполушарных связей передних отделов левого полушария. В задних отделах правого полушария наблюдалось уменьшение когерентности в альфа-2 и в единичных отведениях в альфа-1 диапазонах. В альфа-2 диапазоне когерентность уменьшалась и между полушариями. Следует отметить тенденцию к уменьшению когерентности в тета-1 диапазоне в правом полушарии.

Обсуждение результатов

В нашем исследовании мы пытались сравнить уровень когерентности ЭЭГ и ее изменения при двух видах фоновой нагрузки у испытуемых с различным мануальным предпочтением.

Наиболее интересные, на наш взгляд, результаты были получены в диапазонах медленноволновой активности. Было показано увеличение межполушарного взаимодействия у левой при пассивном просмотре визуальных стимулов в тета-диапазоне, в то время как у правой эти изменения происходили локально в левом полушарии. В альфа-2 диапазоне наблюдалось уменьшение межполушарной когерентности у обеих групп. Кроме того, у правой внутриполушарная когерентность уменьшалась в задних отделах правого полушария. Полученные данные можно проанализировать с нескольких позиций. Во-первых, как влияние подкорковых структур и их взаимодействие с кортикальными процессами. Во-вторых, как отражение процессов восприятия и переработки информации.

Говоря о механизмах синхронизации, следует учитывать, что активность двух полушарий синхронизируется, когда выполняются два условия: 1) прямое таламическое влияние на два полушария и 2) ревербирующая активность между полушариями [11]. Стоит отметить, что не только таламус, но и другие подкорковые структуры играют важную роль в генезисе корковых ритмов. Например указывается, что альфа-ритм, вероятно, связан с таламо-кортикальными путями, в то время как тета-ритм – с гиппокампально-кортикальными. Это согласуется с результатами других авторов, отмечающих, что альфа-активность связана с семантической памятью (общими понятиями, идеями, концептами), в то время как тета – с эпизодической (содержащей событийную информацию) [12]. Кроме того, было отмечено, что сенсорно-связанные регионы задней доли, где сенсорная информация хранится, префронтальная кора, где соответствующая информация удерживается и постоянно обновля-

ется, и гиппокамп работают как единое целое при помощи тета-синхронизации [13]. Таким образом, увеличение когерентности в тета-диапазоне в нашем исследовании является отражением как кортикальных взаимодействий, так и подкорковых влияний, по-видимому, преимущественно гиппокампа. Активность в альфа-2 диапазоне, по-видимому, отражает таламическое влияние, особенно в задних отделах у правшей.

При этом у правшей наблюдаются локальные, преимущественно внутрислоушарные изменения, что может говорить о конкурентных отношениях между полушариями. У левшей наблюдается обратная картина – активное межполушарное взаимодействие, что согласуется с концепцией, согласно которой у левшей взаимоподкрепляющие взаимодействия между полушариями являются определяющими [6]. Локальная репрезентация элементарных функций у правшей ведет к интеграции сходных элементов и повышению эффективности при выполнении задач, требующих хорошего сенсомоторного контроля, таких как двигательные навыки и речь, в то время как диффузная репрезентация у левшей может вести к интеграции несхожих элементов и, таким образом, облегчать выполнение заданий, требующих одновременной координации нескольких элементов, таких как различные пространственные способности [14].

В литературе имеется большое количество данных, связывающих изменения в тета- и альфа-диапазонах с различными когнитивными процессами и вниманием [12, 13, 15]. Кроме того, имеются сведения, что эпизодическая память осуществляется при большем межполушарном взаимодействии [16]. Тета-диапазон считается отражающим, в основном, top-down (нисходящие, концептуальные, ведомые схемами), а альфа – bottom-up (восходящие, ведомые данными) процессы [17]. Проявление процессов, широко задействованных в когнитивных функциях при пассивном восприятии изображения, в нашем исследовании может говорить об их более базисном значении. Так, недавно было сделано предположение, что гиппокамп вовлечен в различные когнитивные процессы через установление отношений и сравнение, предполагая, что критическая роль гиппокампа – быстрое и непрерывное формирование ассоциаций между разрозненными элементами во времени и пространстве, и более того, обеспечение сравнения внутренних репрезентаций с текущим перцептивным входом [18]. Кроме того, было высказано предположение о левом полушарии, формирующем устойчивую картину мира, и правом полушарии, выполняющем функции нахождения несоответствий в этой картине. Предполагается, что процесс корректировки картины мира левого

полушария требует активного межполушарного взаимодействия [19]. Описанные выше процессы находят отражение в изменении когерентности ЭЭГ. Так, стрелки с более высоким уровнем подготовки, по сравнению с менее тренированными, используют меньшее кортико-кортикальное взаимодействие, в частности между левым височным и моторными зонами, что показывает меньшее вовлечение когнитивных функций в моторные процессы [20]. Эти наблюдения говорят о важной роли, которую играют подкорковые структуры в сознательной деятельности человека, а также о уровне когерентности как отражении степени вовлеченности корковых структур в сознательную деятельность. Можно сделать предположение о том, что за счет формирования локальных высокоспециализированных систем у правшей при восприятии меньше задействуются сознательные механизмы, в то время как у левшей они играют гораздо большую роль. Особенностью правшей являются преимущественно локальные внутрислоушарные изменения когерентности, в то время как у левшей эти изменения, в основном, межполушарные.

Список литературы

1. Алфимова М.В., Мельникова Т.С., Лапин И.А. Использование когерентного анализа ЭЭГ и его реактивности на психофизиологические тесты при первом эпизоде у больных шизофренией // Журн. неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2010. Т. 110. № 3. С. 97–102.
2. Shaw J.C., O'Connor K.P., Ongley C. The EEG as a measure of cerebral functional organization // The British J. Psychiatry. 1977. V. 130. P. 260–264.
3. Galin D., Ornstein R., Herron J., Johnstone J. Sex and handedness differences in EEG measures of hemispheric specialization // Brain and Language. 1982. V. 16. № 1. P. 19–55.
4. French C.C., Beaumont J.G. A critical review of EEG coherence studies of hemisphere function // International J. Psychophysiology. 1984. V. 1. № 3. P. 241–254.
5. Jorge M.S., Botelho R.V., Melo A.C. Study of interhemispheric coherence on healthy adults // Arquivos de Neuro-Psiquiatria. 2007. V. 65. № 2B. P. 377–380.
6. Жаворонкова Л.А. Особенности межполушарной асимметрии ЭЭГ правшей и левшей как отражение взаимодействия коры и регуляторных систем мозга // Докл. АН. 2000. Т. 375. № 5. С. 696–699.
7. Weigelt S., Limbach K., Singer W., Kohler A. Orientation-selective functional magnetic resonance imaging adaptation in primary visual cortex revisited // Hum. Brain Mapp. 2012. V. 33. № 3. P. 707–714.
8. Oldfield R.C. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory // Neuropsychologia. 1971. V. 9. P. 97–113.
9. Борисенкова Е.Ю., Николаева Е.И. Сравнение разных способов оценки профиля функциональной сенсомоторной асимметрии у дошкольников //

- Асимметрия: Научно-практический журнал. 2008. Т. 2. № 1. С. 32–39.
10. Knyazeva M.G., Kiper D.C., Vildavski V.Y., Despland P.A., Maeder-Ingvar M., Innocenti G.M. Visual stimulus-dependent changes in interhemispheric EEG coherence in humans // *J. Neurophysiology*. 1999. V. 82. № 6. P. 3095–3107.
11. Зенков Л.П. Клиническая электроэнцефалогия (с элементами эпилептологии). М.: МЕДпресс-информ, 2001. 368 с.
12. Klimesch W., Hanslmayr S., Sauseng P., Gruber W., Brozinsky C.J., Kroll N.E.A., Yonelinas A.P., Doppelmayr M. Oscillatory EEG correlates of episodic trace decay // *Cerebral Cortex*. 2006. V. 16. № 2. P. 280–290.
13. Sarnthein J., Petsche H., Rappelsberger P., Shaw G.L., von Stein A. Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1998. V. 95. № 12. P. 7092–7096.
14. Semmes J. Hemispheric specialization: A possible clue to mechanism // *Neuropsychologia*. 1968. V. 6. P. 11–26.
15. Başar E., Güntekin B. A short review of alpha activity in cognitive processes and in cognitive impairment // *International J. Psychophysiology*. 2012 (in press).
16. Christman S.D., Butler M. Mixed-handedness advantages in episodic memory obtained under conditions of intentional learning extend to incidental learning // *Brain and Cognition*. 2011. V. 77. № 1. P. 17–22.
17. von Stein A., Sarnthein J. Different frequencies for different scales of cortical integration: from local gamma to long range alpha/theta synchronization // *International J. Psychophysiology*. 2000. V. 38. № 3. P. 301–313.
18. Olsen R.K., Moses S.N., Riggs L., Ryan J.D. The hippocampus supports multiple cognitive processes through relational binding and comparison // *Front Hum Neurosci*. 2012. V. 6. P. 146.
19. Niebauer C.L., Garvey K. Gödel, Escher and degree of handedness: Differences in interhemispheric interaction predict differences in understanding self-reference // *Laterality*. 2004. V. 9. P. 19–34.
20. Deeny S.P., Hillman C.H., Janelle C.M., Hatfield B.D. Cortico-cortical communication and superior performance in skilled marksmen: an EEG coherence analysis // *J. Sport and Exercise Psychology*. 2003. V. 25. P. 188–204.

EEG COHERENCE IN RIGHT- AND LEFT-HANDERS IN PASSIVE VISUAL PERCEPTION OF LINES WITH DIFFERENT SLOPE ANGLES

M.V. Lukoyanov, V.N. Krylov

The level of EEG coherence in right- and left-handers during passive viewing of white screen and lines with different slope angles has been studied. The right-handers had mostly local intrahemispheric changes of EEG coherence, while these changes in the left-handers were interhemispheric.

Keywords: EEG, coherence, left-handers, interhemispheric asymmetry, passive visual perception.