

Межполушарная нейродинамика спектра когерентности ЭЭГ в процессе вероятностного прогнозирования

© Авторы, 2017

© ООО «Издательство «Радиотехника», 2017

Н.А. Рябчикова – д.б.н., ст. науч. сотрудник, кафедра высшей нервной деятельности, биологический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: nat@guesstest.ru

А.В. Савельев – к.филос.н., ст. науч. сотрудник, начальник патентного агентства «@Уникально честное патентование» (Москва)
E-mail: gmkristo@yandex.ru

В.Л. Ефимова – зам. генерального директора, ООО «Прогноз» (Москва)
E-mail: prefish@yandex.ru

Изучены закономерности межполушарной нейродинамики пространственно-временной синхронизации ЭЭГ мозга человека методом спектрально-корреляционного анализа в процессе его прогностической деятельности. При этом учтены корреляция степени успешности прогнозирования и топографии спектра когерентности ЭЭГ, особенно в диапазоне альфа- и тета-частот, связанных с процессами восприятия, внимания, памяти, мышления, прогнозирования.

Ключевые слова: межполушарная нейродинамика, спектр когерентности ЭЭГ, прогнозирование.

Our purpose was to study patterns of interhemispheric neurodynamics of spatial-temporal synchronization of the human brain EEG by the method of spectral-correlation analysis in the process of prognostic activity. Taking into account the extent correlation of the prognosis success and the topography of spectrum coherence EEG, particularly in the alpha and theta frequencies area associated with the perception, attention, memory, thinking, prognosing.

Keywords: interhemispheric neurodynamics, synchronization of the human brain EEG, memory, prognosing.

Ц е л ь р а б о т ы – изучение закономерностей межполушарной нейродинамики пространственно-временной синхронизации ЭЭГ мозга человека методом спектрально-корреляционного анализа в процессе его прогностической деятельности [1–3].

Методика исследования

В экспериментах приняли участие 32 студента МГУ в возрасте 17–21 год. Каждый испытуемый проходил психологическое тестирование и электрофизиологическое обследование.

Для выявления особенностей прогностической деятельности испытуемых проводилось психологическое тестирование по компьютерному варианту методики предсказания последовательностей элементов Прогнозис 2.5 [2]. Испытуемый путем нажатия на кнопки со стрелками «вправо» и «влево» определял порядок появления двух букв («А» и «Б») в трех регулярных симметричных (АБАБ) и асимметричных (ААБ и БАББА) последовательностях. После окончания последовательного предъявления этих трех наборов испытуемый воспроизводил по памяти порядок чередования букв в каждой из них. В соответствии с результатами выполнения прогностической задачи испытуемые были разделены на две группы: 1) с адекватным формированием прогноза (АП), включающую 21 человек; 2) с трудностями прогнозирования (ТП), включающую 11 человек. Группа испытуемых с АП характеризовалась высокой скоростью формирования прогноза, то есть минимальным количеством ошибок (до четырех) и правильным воспроизведением порядка чередования букв во всех трех последовательностях. Испытуемые с ТП характеризовались низкой скоростью выхода на правильный прогноз, что выражалось в гораздо большем количестве допущенных ошибок (в среднем 19 ошибок) и испытывали значительные затруднения при воспроизведении по памяти порядка чередования элементов в последовательностях.

В пределах одного эксперимента после психологического тестирования проводили электрофизиологическое исследование: ЭЭГ регистрировали монополярно по международной системе

10–20%, от симметричных областей правого (d) и левого (s) полушарий головного мозга: затылочных (O), теменных (P), центральных (C), лобных (F), передне- (T_a) и задневисочных (T_p) зон на 16-канальном электроэнцефалографе «Medicor» (Венгрия) при полосе пропускания от 0,1 до 30 Гц с постоянным временем 0,3 с. Референтными служили ушные электроды.

Исследование проводили в следующих ситуациях: 1) в условиях спокойного бодрствования; 2) при предъявлении 15 световых вспышек с нерегулярными интервалами (2 – 3, 5 с) в условиях: «а» – ненаправленного и «б» – направленного внимания, когда испытуемого просили сосчитать количество стимулов в серии. Испытуемые при обследовании находились в экранированной, звукозаглушенной темной камере. Использовался фотостимулятор типа FTS 21 («Medicor», Венгрия) с импульсной разрядной трубкой, встроенной в излучающую головку, расположенную на уровне глаз испытуемого. Эпоха анализа – 3000 мс при регистрации 30 с отрезков фоновой ЭЭГ, 2700 мс при регистрации вызванного потенциала (ВП) на световые стимулы (300 мс – предстимульный интервал). Нулевая линия устанавливалась на отрезке от 0 до 3000 мс до начала усреднения автоматически системой CONANm-1.5 [4]. Устранение технических помех и наводок мышечных потенциалов осуществлялось автоматически с помощью программы CONANm-1.5 [4]. В программе CONANm-1.5 вычислялись спектры когерентности (КОГ), характеризующие степень статистической связанности электрических процессов в разных точках больших полушарий. Спектры КОГ вычислялись для усредненных по трем реализациям записям в ситуации ненаправленного и направленного внимания, а также для записи фоновой активности. В усредненной записи вырезался предстимульный интервал 300 мс и первые 100 мс после стимула.

Для анализа КОГ устанавливались парные межполушарные отношения между отведениями: F_s-F_d ; C_s-C_d ; P_s-P_d ; T_s-T_d ; O_s-O_d ; а также внутрислошарные: O_s-P_s ; O_d-P_d ; O_s-C_s ; O_d-C_d . Разрешающая способность по частоте составляла 0,39 Гц при соответствующей длительности реализации 2600 мс. спектры КОГ сравнивали по средним уровням КОГ, определяемым как средние значения спектральных компонент в соответствующем диапазоне частот: $тега1$ – 4...6 Гц; $тега2$ – 6...8 Гц; $альфа1$ – 8...10 Гц; $альфа2$ – 10...12 Гц; $альфа3$ – 12...14 Гц. На основе показателей средних уровней КОГ для каждой пары отведений вычислялись внутригрупповые значения среднего уровня КОГ по всем отведениям в $тега$ и $альфа$ диапазонах. Стандартная статистическая обработка осуществлялась с помощью статистического пакета «STADIA» [5]. Использован непараметрический тест Вилкоксона.

Исследовался спектр когерентности ЭЭГ затылочной, центральной и височной областей коры у всех испытуемых во всех экспериментальных ситуациях. Установлено, что прогностическая деятельность влияет на межцентральные отношения, изменяя пространственную картину корреляций спектров мощности ЭЭГ различных отведений.

В состоянии спокойного бодрствования выявлено следующее:

1) В диапазоне $тега2$ -ритма у испытуемых с ТП наблюдается увеличение когерентности в височных (T_s-T_d : ТП – 0,81, АП – 0,79) и центральных (C_s-C_d : ТП – 0,91, АП – 84) отведениях левого и правого полушарий, по сравнению с таковыми показателями у испытуемых с АП (табл. 1, 2).

2) в диапазоне $альфа2$ -ритма когерентность в височных отведениях левого и правого полушарий (T_s-T_d : ТП – 0,7, АП – 0,79) у лиц с ТП уменьшается по сравнению с аналогичными показателями у испытуемых с АП (табл. 1, 2).

В ситуации ненаправленного (непроизвольного) внимания отметим следующие:

1) уровень когерентности ритмики $альфа2$ -диапазона в центральных (АП – 0,9, ТП – 0,78), височных (АП – 0,85, ТП – 0,7) и затылочных (АП – 0,9, ТП – 0,87) областях левого и правого полушарий у лиц с АП значительно выше, по сравнению с аналогичными данными для испытуемых с ТП (табл. 1, рис. 1).

2) уровень синхронизации корковой ритмики в $тега1$ -диапазоне в височных (у АП – 0,73, у ТП – 0,83) и затылочных (у АП – 0,85, у ТП – 0,89) отведениях левого и правого полушарий у лиц с адекватным прогнозированием несколько ниже, по сравнению с аналогичными данными для испытуемых с трудностями прогнозирования.

Таблица 1. Средние значения когерентности по всем ЭЭГ отведениям в диапазоне тета- и альфа-частот в экспериментальных ситуациях у испытуемых разных групп

Экспериментальная ситуация	Частотный диапазон	Группа испытуемых		К.Т. (испытуемый с адекватным прогнозированием)	А.М. (испытуемый с трудностями прогнозирования)
		с адекватным прогнозированием	с трудностями прогнозирования		
Спокойное бодрствование	θ	0,87 ± 0,03	0,87 ± 0,02	0,82 ± 0,01	0,85 ± 0,01
	$\alpha 1$	0,86 ± 0,02	0,84 ± 0,02	0,86 ± 0,005	0,87 ± 0,01
	$\alpha 2$	0,85 ± 0,02	0,87 ± 0,02	0,84 ± 0,003	0,83 ± 0,004
	$\alpha 3$	0,82 ± 0,03	0,80 ± 0,02	0,84 ± 0,004	0,81 ± 0,005
	α	0,84 ± 0,02	0,83 ± 0,03	0,85 ± 0,01	0,84 ± 0,03
Ненаправленное внимание	θ	0,85 ± 0,02	0,85 ± 0,02	0,82 ± 0,01	0,87 ± 0,01
	$\alpha 1$	0,86 ± 0,03	0,87 ± 0,03	0,91 ± 0,005	0,87 ± 0,004
	$\alpha 2$	0,90 ± 0,02	0,83 ± 0,02	0,91 ± 0,01	0,86 ± 0,01
	$\alpha 3$	0,85 ± 0,03	0,80 ± 0,02	0,87 ± 0,01	0,78 ± 0,01
	α	0,87 ± 0,02	0,83 ± 0,03	0,90 ± 0,02	0,84 ± 0,04
Направленное внимание	θ	0,85 ± 0,02	0,85 ± 0,03	0,77 ± 0,005	0,90 ± 0,01
	$\alpha 1$	0,89 ± 0,02	0,83 ± 0,02	0,91 ± 0,01	0,80 ± 0,01
	$\alpha 2$	0,86 ± 0,03	0,86 ± 0,03	0,89 ± 0,004	0,84 ± 0,01
	$\alpha 3$	0,83 ± 0,03	0,83 ± 0,01	0,84 ± 0,01	0,88 ± 0,01
	α	0,86 ± 0,03	0,84 ± 0,01	0,88 ± 0,03	0,84 ± 0,03

Таблица 2. Средние значения когерентности по различным ЭЭГ отведениям ($O_s - O_d$, $C_s - C_d$, $P_s - P_d$, $T_s - T_d$) в правом и левом полушариях головного мозга, зарегистрированные в экспериментальных ситуациях у разных групп испытуемых

Отведения		$C_s - C_d$		$P_s - P_d$		$T_s - T_d$		$O_s - O_d$	
Экспериментальная ситуация	Частотный диапазон	Группы испытуемых							
		с адекватным прогнозированием	с трудностями прогнозирования	с адекватным прогнозированием	с трудностями прогнозирования	с адекватным прогнозированием	с трудностями прогнозирования	с адекватным прогнозированием	с трудностями прогнозирования
Спокойное бодрствование	$\theta 1$	0,91 ± 0,02	0,91 ± 0,02	0,91 ± 0,02	0,90 ± 0,02	0,73 ± 0,02	0,82 ± 0,04	0,84 ± 0,06	0,75 ± 0,03
	$\theta 2$	0,84 ± 0,03	0,91 ± 0,01	0,91 ± 0,01	0,91 ± 0,01	0,79 ± 0,01	0,81 ± 0,03	0,81 ± 0,01	0,87 ± 0,04
	θ	0,88 ± 0,08	0,91 ± 0,01	0,91 ± 0,03	0,91 ± 0,04	0,76 ± 0,03	0,82 ± 0,01	0,82 ± 0,03	0,81 ± 0,05
	$\alpha 1$	0,91 ± 0,04	0,91 ± 0,04	0,88 ± 0,07	0,83 ± 0,14	0,73 ± 0,06	0,74 ± 0,01	0,78 ± 0,03	0,79 ± 0,02
	$\alpha 2$	0,85 ± 0,03	0,87 ± 0,04	0,85 ± 0,04	0,88 ± 0,03	0,79 ± 0,01	0,70 ± 0,01	0,79 ± 0,04	0,90 ± 0,03
	$\alpha 3$	0,81 ± 0,07	0,87 ± 0,05	0,79 ± 0,05	0,75 ± 0,04	0,68 ± 0,02	0,62 ± 0,02	0,73 ± 0,03	0,72 ± 0,02
	α	0,86 ± 0,05	0,88 ± 0,02	0,84 ± 0,04	0,82 ± 0,06	0,73 ± 0,1	0,69 ± 0,06	0,76 ± 0,03	0,80 ± 0,09
Ненаправленное внимание	$\theta 1$	0,88 ± 0,02	0,86 ± 0,01	0,88 ± 0,02	0,91 ± 0,02	0,73 ± 0,02	0,83 ± 0,03	0,85 ± 0,01	0,89 ± 0,02
	$\theta 2$	0,87 ± 0,02	0,85 ± 0,02	0,84 ± 0,03	0,90 ± 0,01	0,72 ± 0,03	0,77 ± 0,02	0,86 ± 0,02	0,80 ± 0,03
	θ	0,87 ± 0,01	0,85 ± 0,01	0,86 ± 0,02	0,91 ± 0,01	0,73 ± 0,03	0,80 ± 0,04	0,85 ± 0,01	0,84 ± 0,03
	$\alpha 1$	0,85 ± 0,02	0,89 ± 0,02	0,92 ± 0,01	0,89 ± 0,02	0,77 ± 0,02	0,78 ± 0,03	0,89 ± 0,02	0,88 ± 0,03
	$\alpha 2$	0,90 ± 0,05	0,78 ± 0,04	0,89 ± 0,01	0,90 ± 0,02	0,85 ± 0,04	0,70 ± 0,03	0,90 ± 0,02	0,87 ± 0,02
	$\alpha 3$	0,86 ± 0,03	0,81 ± 0,02	0,81 ± 0,02	0,79 ± 0,01	0,76 ± 0,03	0,82 ± 0,02	0,87 ± 0,02	0,82 ± 0,02
	α	0,87 ± 0,02	0,83 ± 0,05	0,87 ± 0,05	0,86 ± 0,06	0,80 ± 0,05	0,77 ± 0,05	0,89 ± 0,02	0,86 ± 0,03
Направленное внимание	$\theta 1$	0,88 ± 0,01	0,91 ± 0,01	0,83 ± 0,01	0,88 ± 0,02	0,77 ± 0,01	0,81 ± 0,01	0,80 ± 0,01	0,85 ± 0,01
	$\theta 2$	0,86 ± 0,02	0,92 ± 0,01	0,85 ± 0,03	0,80 ± 0,02	0,84 ± 0,02	0,81 ± 0,01	0,76 ± 0,01	0,88 ± 0,02
	θ	0,87 ± 0,01	0,91 ± 0,01	0,84 ± 0,02	0,89 ± 0,01	0,81 ± 0,04	0,81 ± 0,01	0,78 ± 0,02	0,87 ± 0,03
	$\alpha 1$	0,95 ± 0,02	0,93 ± 0,02	0,92 ± 0,01	0,88 ± 0,02	0,87 ± 0,02	0,83 ± 0,01	0,83 ± 0,01	0,83 ± 0,02
	$\alpha 2$	0,86 ± 0,03	0,87 ± 0,02	0,86 ± 0,02	0,86 ± 0,02	0,86 ± 0,01	0,82 ± 0,01	0,81 ± 0,01	0,82 ± 0,01
	$\alpha 3$	0,88 ± 0,01	0,89 ± 0,01	0,86 ± 0,01	0,88 ± 0,02	0,84 ± 0,02	0,82 ± 0,01	0,83 ± 0,01	0,8 ± 0,01
	α	0,90 ± 0,04	0,89 ± 0,03	0,88 ± 0,03	0,87 ± 0,01	0,86 ± 0,01	0,82 ± 0,004	0,82 ± 0,01	0,82 ± 0,01

При увеличении значимости стимулов (ситуация направленного внимания – Б) динамика корковой ритмики характеризуется:

1) увеличением активности и уровня когерентности ритмов *альфа*₂-диапазона у испытуемых с АП, по сравнению с таковыми у лиц с ТП, в височных (АП – 0,86, ТП – 0,82) областях коры;

2) при анализе выраженности уровня синхронизации ритмики ЭЭГ в *тета*₁-диапазоне в той же ситуации обнаружено ее увеличение у лиц с ТП, по сравнению с испытуемыми с АП, для центральных (ТП – 0,91, АП – 0,88), теменных (ТП – 0,88, АП – 0,83), височных (ТП – 0,81, АП – 0,77) и затылочных (ТП – 0,85, АП – 0,8) областей коры левого и правого полушария, то есть во всех отведениях ЭЭГ в эксперименте (рис. 2).

При переходе от ситуации ненаправленного внимания (А) к ситуации направленного внимания (Б) наблюдается тенденция к увеличению значений уровня синхронизации в *альфа*-диапазоне в центральных (рис. 3) и височных областях коры в обеих группах испытуемых.

При этом в височных областях коры уровень синхронизации по разнице его значений в ситуациях ненаправленного и направленного внимания у лиц с АП немного превышает таковой у лиц с ТП (АП – 0,06, ТП – 0,05) (рис. 4).

Рассмотрим уровень когерентности в этих же условиях (А и Б) в затылочных областях коры головного мозга:

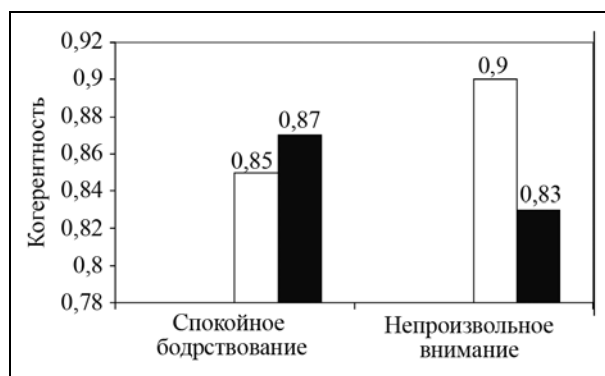


Рис. 1. Средние значения когерентности по всем ЭЭГ отведениям в *альфа*₂-диапазоне, зарегистрированные в условиях спокойного бодрствования и ненаправленного внимания у испытуемых разных групп: белые столбики – испытуемые с адекватным прогнозированием, темные столбики – испытуемые с трудностями прогнозирования, $p < 0,02$

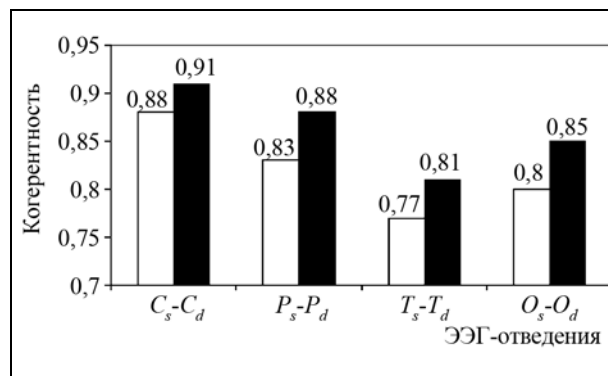


Рис. 2. Средние значения уровня когерентности ЭЭГ *тета*₁-ритмики в отведениях C_s-C_d , P_s-P_d , T_s-T_d , O_s-O_d левого и правого полушарий мозга в ситуации направленного внимания у испытуемых разных групп. Обозначения см. на рис. 1, $p < 0,02$

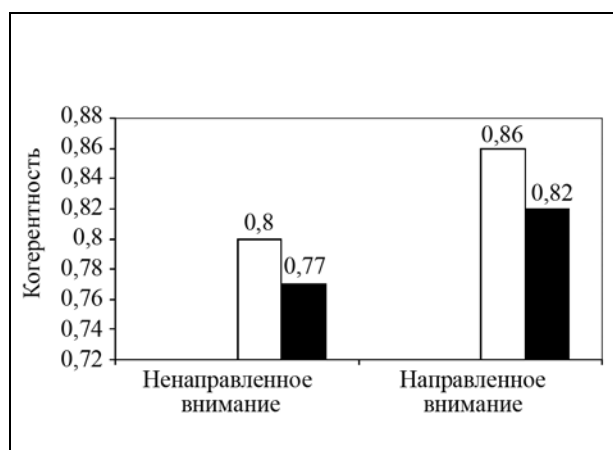


Рис. 3. Средние значения когерентности в условиях не привлеченного (А) и привлеченного (Б) внимания, зарегистрированные в *альфа*-диапазоне центральных зон левого и правого полушарий мозга (ЭЭГ-отведения C_s-C_d); обозначения см. на рис. 1, $p < 0,02$

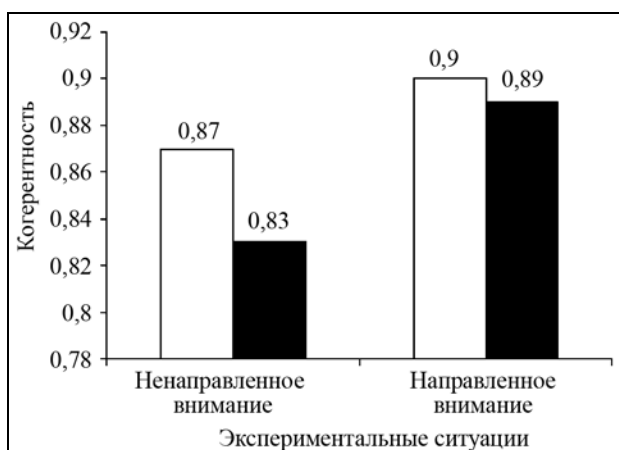


Рис. 4. Средние значения когерентности в условиях не привлеченного (А) и привлеченного (Б) внимания, зарегистрированные в *альфа*-диапазоне парietальных зон левого и правого полушарий мозга (ЭЭГ-отведения T_s-T_d) у разных групп испытуемых: обозначения см. на рис. 1, $p < 0,02$

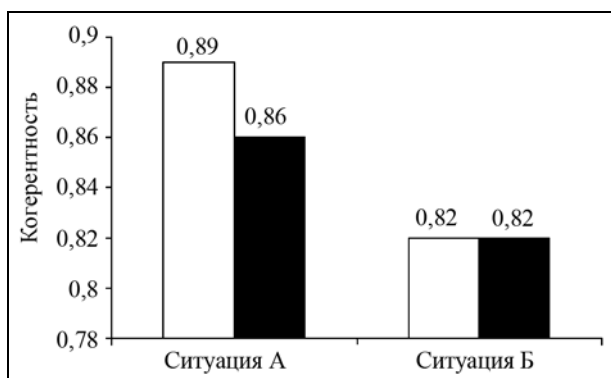


Рис. 5. Средние значения когерентности в *альфа*-диапазоне окципетальных зон левого и правого полушарий мозга (ЭЭГ-отведения O_s-O_d), зарегистрированные в ситуациях ненаправленного (ситуация А) и направленного (ситуация Б) внимания у испытуемых разных групп: обозначения см. на рис. 1, $p < 0,02$

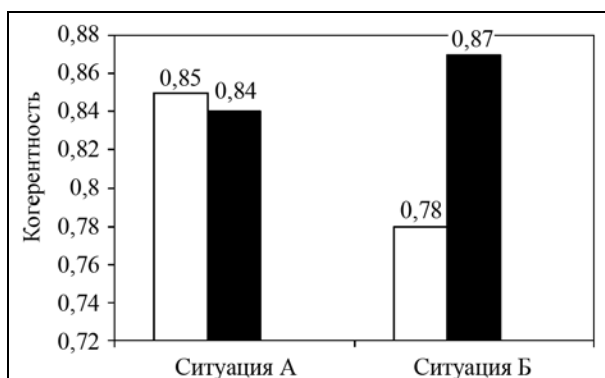


Рис. 6. Средние значения когерентности в условиях не привлеченного (А) и привлеченного (Б) внимания, зарегистрированные в тета-диапазоне (ЭЭГ – отведения O_s-O_d) окципетальных зон левого и правого полушарий мозга у разных групп испытуемых: обозначения см. на рис. 1, $p < 0,02$

1) в *альфа*-диапазоне наблюдается значительное снижение уровня когерентности до одинаковых значений (0,82) в ситуации Б в обеих группах испытуемых. При этом разница в значениях уровня синхронизации ЭЭГ в этих областях мозга у лиц с АП, по сравнению с таковыми у лиц с ТП, еще более выражена (АП – 0,07, ТП – 0,04) (рис. 5);

2) в *тета*-диапазоне у лиц с ТП значения уровня когерентности увеличиваются (на 0,03), а у испытуемых с АП в этих же областях, напротив, значительно уменьшаются (на 0,07) (рис. 6).

Обсуждение экспериментальных данных

Известно, что психофизиологи часто связывают тета-активность с проявлением чрезмерного эмоционального напряжения или его следствием – некоторым механизмом торможения [6, 7], что сочетается с обнаруженной нами низкой эффективностью решения задач прогнозирования [2, 3]. Эти положения хорошо согласуются с нашими данными о различной выраженности составляющих спектра когерентности у испытуемых с АП и с ТП. Некоторыми авторами [8–10] были выделены различные типы расположения в коре фокусов максимальной синхронизации потенциалов и проведена корреляция с психологическими особенностями испытуемых и эффективностью решения зрительных и арифметических задач. Отмечалось, что у испытуемых, плохо решающих задачи, межцентральные отношения устанавливаются не в *альфа*-, а в *тета*-диапазоне, что, очевидно, связано с увеличением уровня эмоционального состояния. Это положение подтверждается результатами анализа межгрупповых значений спектрально-корреляционных характеристик ЭЭГ в ситуации направленного внимания. В этом плане интересно отметить также снижение уровня когерентности в низкочастотных составляющих спектра – *тета1*-диапазона во всех исследуемых областях левого и правого полушарий у испытуемых с адекватным прогнозированием по сравнению с теми же показателями у лиц с трудностями прогнозирования.

В спектре когерентности для центральных и теменных областей коры у испытуемых с АП при решении прогностических задач наиболее значительно увеличивается мощность на *альфа*-частотах при переходе от ситуации ненаправленного к направленному вниманию. У испытуемых с ТП когерентность, меньше изменявшаяся при ненаправленном внимании в этом диапазоне частот (в височном и затылочном отведениях), в процессе решения задач повышается на *тета1*-частотах, что может свидетельствовать о недостаточности генерализованной активации. Такая недостаточность у лиц с ТП может быть связана со слабостью активирующей системы мозга, которая включает лимбико-ретикулярные структуры и воспринимающие корковые элементы [11]. Следовательно, различия как в состоянии покоя, так и при интеллектуальной деятельности могут свидетельствовать о дисбалансе интегративной деятельности мозга у лиц с ТП. Этот дисбаланс обусловлен иной, чем у лиц с АП, системной организацией структур мозга, принимающих участие в реализации прогностической деятельности.

В затылочных областях в *тета*-диапазоне при переходе к направленному вниманию наблюдаются противоположные закономерности изменения уровня когерентности: у хорошо прогнозирующего испытуемого значения когерентности уменьшаются, а у лиц с ТП – увеличиваются. Это может свидетельствовать о различных механизмах обработки информации мозговыми структурами и использовании различных частотных диапазонов в проекционных областях головного мозга.

В то же время у лиц с АП наблюдается стабилизация высокочастотного ритма (*альфа*-диапазон), выраженные различия частоты спектра, достаточно высокий уровень зрелости таламокорковых ритмогенных систем, сформированность множественных *альфа*-генераторов. Более низкий уровень когерентности в *тета*-диапазоне, по сравнению с *альфа*-диапазоном, у лиц с ТП свидетельствует о достаточно развитой системе коркового торможения диэнцефальных структур мозга [6].

Необходимо отметить, что у лиц с ТП системная организация мозга характеризуется некоторым ослаблением деятельности ассоциативных структур головного мозга [9] и, возможно, замедлением межполушарной интеграции [10]. У испытуемых с ТП корреляционные связи устанавливаются преимущественно в полосе *тета*-активности, которую связывают с эмоциональным напряжением, приводящим к торможению, что сочетается с низкой эффективностью решения прогностических задач [12].

Адекватное прогнозирование характеризуется увеличением параметров *альфа*-активности и более высоким уровнем когерентности ЭЭГ в полосе *альфа*-диапазона, что свидетельствует об увеличении ритмической модуляции возбудимости нервных структур.

- Анализ полученных данных свидетельствует об использовании в качестве интеграционного механизма разными группами испытуемых различных ритмов в пределах *альфа*- и *тета*-активности, которые имеют различный функциональный смысл, разные источники происхождения и связаны с различным уровнем эффективности вероятностного прогнозирования.

Изучение когерентности биопотенциалов позволяет достаточно полно характеризовать взаимосвязанность отдельных частотных диапазонов, составляющих ЭЭГ заинтересованных областей мозга в ситуациях ненаправленного и направленного внимания у лиц с разной эффективностью прогнозирования.

Исследование спектра когерентности ЭЭГ затылочной, центральной и височной областей коры у обеих групп испытуемых в ситуациях направленного и ненаправленного внимания показало, что выполняемый вид деятельности влияет на межцентральные отношения, изменяя пространственную картину корреляций спектров ЭЭГ.

Работа частично выполнена при финансовой поддержке РГНФ в рамках проекта № 15-03-00519а «Постнеклассическая парадигма искусственного интеллекта».

Литература

1. Moskalenko Yu.E., Ryabchikova N.A., Weinstein G.B., Halvorson P., Vardy T.C. Changes of Circulatory – Metabolic Indices and Skull Biomechanics with Brain Activity During Aging // Journal of Integrative Neuroscience a Transdisciplinary Journal. Imperial College Press. 2011. V. 10. № 2. P. 131–160.
2. Рябчикова Н.А., Базиян Б.Х., Бец Л.В., Хальворсон П. Вероятностное прогнозирование как метод оценки интеллектуальных возможностей человека // IV Съезд физиологов СНГ. Дагомыс, Россия, 8–12 октября 2014. С. 46.
3. Фейгенберг И.М., Лаврик В.В. Вероятностное прогнозирование // Воображение. Мир психологии. 2001. № 1(25). С. 174–179.
4. Кулаичев А.П. Интегрированная система для контроля процессов и анализа сигналов Conanm-1.5. Руководство пользователя. М.: Информатика и компьютеры. 1993. С. 59.
5. Кулаичев А.П. Методы и средства анализа данных в среде Windows: Stadia 6.0. М., Информатика и компьютеры. 1996. С. 257.
6. Новикова Л.А., Фарбер Д.А. Функциональное созревание коры и подкорковых структур мозга в различные возрастные периоды по данным электрофизиологических исследований // Возрастная физиология. Л. 1975. С. 26.
7. Симонов П.В. Эмоциональный мозг. М. 1981. С. 215.
8. Ливанов М.Н. Пространственная организация процессов головного мозга. М. 1972. С. 181.
9. Свидерская Н.Е., Королькова Т.А., Николаева Н.О. Пространственно-частотная структура электрических корковых процессов при различных интеллектуальных действиях человека // Физиология человека. 1990. Т. 16. № 5. С. 5–12.

-
10. Фишман М.Н. Интегративная деятельность мозга детей и патология: Электрофизиологическое исследование. М.: Педагогика. 1989. С.144.
 11. Данилова Н.Н. Психофизиологическая диагностика функциональных состояний. М.: Изд-во МГУ. 1992. С. 78–106.
 12. Рябчикова Н.А., Савельев А.В., Ефимова В.Л., Ефимов О.И., Хальворсон П., Сычев С.М. Математическая модель процесса решения человеком прогностической задачи в проблемной ситуации // Биомедицинская радиоэлектроника. 2015. № 6. С. 21–25.

Поступила 3 мая 2017 г.

Interhemispheric neurodynamics of the EEG coherence spectrum in the process of probabilistic prediction

© Authors, 2017

© Radiotekhnika, 2017

N.A. Ryabchikova – *Dr.Sc. (Biology), Senior Research Scientist, Department of higher nervous activity, Faculty of Biology, M.V. Lomonosov Moscow State University*
E-mail: RNA@protein.bio.msu.ru

A.V. Savelyev – *Ph.D. (Philos.), Senior Research Scientist, Director of the Patent agency «@Uniquely honest patenting» (Moscow)*
E-mail: gmkristo@rambler.ru

V.L. Efimova – *Deputy General Director «Prognosis» Ltd. (Moscow)*
E-mail: prefish@yandex.ru

Our purpose was to study patterns of interhemispheric neurodynamics of spatial-temporal synchronization of the human brain EEG by the method of spectral-correlation analysis in the process of prognostic activity. Taking into account the extent correlation of the prognosis success and the topography of spectrum coherence EEG, particularly in the alpha and theta frequencies area associated with the perception, attention, memory, thinking, prognosing. Individuals with adequate prognosis have a stabilization of the high-frequency rhythm (alpha range), pronounced differences in the frequency of the spectrum, a sufficiently high level of maturity of thalamo-cortical rhythmogenic systems, the formation of multiple alpha-generators. A lower level of coherence in the theta range, in comparison with the alpha range, in persons with difficulties in predicting indicates a sufficiently developed system of cortical inhibition of the diencephalic structures of the brain. The persons with difficulties in predicting the systemic organization of the brain is characterized by a certain weakening of the activity of the associative structures of the brain and, possibly, a slowing of interhemispheric integration. In subjects with difficulties in predicting correlation relationships are established predominantly in the theta-activity band, which is associated with emotional stress leading to inhibition, which is combined with poor efficiency in solving prognostic problems. The analysis of the obtained data testifies to the use of different rhythms within the alpha and theta activities as an integration mechanism by different groups of subjects, which have different functional meaning, different sources of origin, and are associated with different levels of probabilistic prediction efficiency. The study of the coherence of biopotentials makes it possible to characterize quite adequately the interconnectedness of the individual frequency ranges constituting the EEG of the brain regions concerned in situations of undirected and directional attention in persons with different predictive efficiencies. Investigation of the EEG coherence spectrum of the occipital, central and temporal cortical areas in both groups of subjects in situations of directional and non-directional attention has shown that the activity performed affects inter-central relationships, changing the spatial pattern of EEG spectra correlations.

This work was supported financially by RFH in grant № 15-03-00519a «Post-non-classic paradigm of artificial intellect».

REFERENCES

1. Moskalenko Yu.E., Ryabchikova N.A., Weinstein G.B., Halvorson P., Vardy T.C. Changes of Circulatory – Metabolic Indices and Skull Biomechanics with Brain Activity During Aging // *Journal of Integrative Neuroscience a Transdisciplinary Journal*. Imperial College Press. 2011. V. 10. № 2. P. 131–160.
2. Ryabchikova N.A., Baziyan B.X., Becz L.V., Xal'vorson P. Veroyatnostnoe prognozirovanie kak metod ocenki intellektual'ny'x vozmozhnostej cheloveka // *IV S'ezd fiziologov SNG*. Dagomy's, Rossiya, 8–12 oktyabrya 2014. S. 46.
3. Fejgenberg I.M., Lavrik V.V. Veroyatnostnoe prognozirovanie // *Vooobrazhenie*. Mir psixologii. 2001. № 1(25). S. 174–179.
4. Kulaichev A.P. Integrirovannaya sistema dlya kontrolya processov i analiza signalov Conanm-1.5. Rukovodstvo pol'zovatelya. M.: Informatika i komp'yutery'. 1993. С. 59.
5. Kulaichev A.P. Metody' i sredstva analiza dannyx v srede Windows: Stadia 6.0. M., Informatika i komp'yutery'. 1996. С. 257.
6. Novikova L.A., Farber D.A. Funkczional'noe sozrevanie kory' i podkorkovy'x struktur mozga v razlichny'e vozrastny'e periody' po dannym e'lektrofiziologicheskix issledovanij // *Vozrastnaya fiziologiya*. L. 1975. S. 26.
7. Simonov P.V. E'mocional'ny'j mozg. M. 1981. S. 215.
8. Livanov M.N. Prostranstvennaya organizacziya processov golovnogogo mozga. M. 1972. S. 181.
9. Sviderskaya N.E., Korol'kova T.A., Nikolaeva N.O. Prostranstvenno-chastotnaya struktura e'lektricheskix korkovy'x processov pri razlichny'x intellektual'ny'x dejstviyax cheloveka // *Fiziologiya cheloveka*. 1990. T. 16. № 5. S. 5–12.
10. Fishman M.N. Integrativnaya deyatel'nost' mozga detej i patologiya: E'lektrofiziologicheskoe issledovanie. M.: Pedagogika. 1989. S.144.
11. Danilova N.N. Psixofiziologicheskaya diagnostika funkczional'ny'x sostoyanij. M.: Izd-vo MGU. 1992. S. 78–106.
12. Ryabchikova N.A., Savel'ev A.V., Efimova V.L., Efimov O.I., Xal'vorson P., Sy'chev S.M. Matematicheskaya model' processa resheniya chelovekom prognosticheskoy zadachi v problemnoj situaczi // *Biomedicinskaya radioe'lektronika*. 2015. № 6. S. 21–25.