

УДК 612.821:612.822.3

ПОЛУШАРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ ПОИСКЕ ОРИГИНАЛЬНЫХ ВЕРБАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ: ОСОБЕННОСТИ КОГЕРЕНТНОСТИ БИОПОТЕНЦИАЛОВ КОРЫ У КРЕАТИВНЫХ МУЖЧИН И ЖЕНЩИН

© 2005 г. О. М. Разумникова, Е. Н. Ларина

Государственное учреждение Научно-исследовательский институт физиологии СО РАМН, Новосибирск,

e-mail: razoum@iph.ma.nsc.ru

Поступила в редакцию 09.03.2005 г.

Принята в печать 27.04.2005 г.

Изучение полушарных взаимодействий при креативном вербальном мышлении проводили с помощью анализа паттернов когерентности ЭЭГ в диапазоне 4–30 Гц. В экспериментах принимали участие студенты-правши (18 мужчин и 21 женщина). Выполнение креативного задания (поиск оригинальных отдаленных ассоциаций) сопровождалось повышением когерентности биопотенциалов в тета1- и бета2-диапазонах по сравнению с фоном или простыми вербальными операциями вне зависимости от пола. При успешном поиске оригинальных слов-ассоциаций в сравнении с неуспешным отмечено более локальное усиление межполушарной когерентности бета2-ритма, преимущественно в париетально-темпоральных отделах коры. При этом у креативных мужчин организация эффективного для поиска оригинальных ассоциаций повышения межполушарного взаимодействия осуществляется за счет фронто-темпоральных отделов правого полушария и окципитальной области левого, а у креативных женщин – за счет левых фронто-темпоральных областей коры. Мужчины с высокой вербальной креативностью отличались от некреативных большими значениями межполушарной и внутримушарной когерентности и были сходны по уровню межполушарного взаимодействия с женщинами. Регионарное распределение фокусов реактивности межполушарной когерентности указывает, что корковая организация вербальных функций определяется не только полом, но и креативностью мужчин и женщин.

Ключевые слова: дивергентное мышление, функциональная асимметрия полушарий, половые различия, вербальные функции.

Hemispheric Interactions during a Search of Original Verbal Associations: EEG Coherence in Creative Men and Women

O. M. Razumnikova, E. N. Larina

Institute of Physiology Russian Academy of Sciences, Siberian Division, Novosibirsk

e-mail: razoum@iph.ma.nsc.ru

A hemispheric interaction during verbal creative thinking was studied by the analysis of EEG coherence in the band of 4–30 Hz. The experiments enrolled 18 male and 21 female right-handed university students. Independently of gender, the performance of Remote Associates Task was accompanied by an increase in coherence in the theta1 and beta2 frequency bands as compared to the states of rest and the letter-fluency and simple associate's tasks. Successful search for original word associates as compared to generation of standard words was accompanied by a local increase in the interhemispheric coherence of the beta2 rhythm mostly in the parieto-temporal cortex. In creative men, the increase in the hemispheric interaction efficient for a search for original words was focused in the frontal and temporal loci of the right hemisphere and in the left occipital locus, whereas in creative women the increase in coherence was observed in the left frontal and temporal regions. Creative men differed from non-creative ones by higher inter- and intrahemispheric coherence and were similar to women in the level of hemispheric interaction. The cortical distribution of foci of interhemispheric coherence reactivity indicates that the cortical organization of verbal functions depends on both sex and creativity of men and women.

Key words: divergent thinking, functional hemispheric asymmetry, gender differences, verbal functions

В последние годы появился ряд работ по изучению ЭЭГ-коррелятов творческой (креативной) деятельности [3, 7, 18]. Общим эффектом, обнаруженным в разных экспериментальных моделях, было увеличение когерентности между дистантно расположенными участками коры. Установлено также, что у высококреативных персон межполушарная асимметрия выражена в меньшей степени, чем у низкокреативных [1, 11]. С другой стороны, меньшая функциональная асимметрия при более тесном межполушарном взаимодействии отмечена у женщин по сравнению с мужчинами [2, 29]. Из сопоставления этих данных можно предположить существование особых механизмов полушарного взаимодействия, обеспечивающего творческую продуктивность мужчин и женщин. В пользу гипотезы о половых различиях в функциональной организации полушарий свидетельствуют данные разных авторов (например, [17, 30]), в том числе полученные при исследовании ЭЭГ-коррелятов успешного решения эвристической задачи [7, 28] или запоминания конкурентно предъявляемых слов [2].

Целью настоящей работы стало определение особенностей межполушарных и внутриполушарных взаимодействий при выполнении вербального задания дивергентного типа с учетом фактора пола, так как именно для вербальных функций обнаружены относительно устойчивые половые различия с большей успешностью женщин как по вербальной гибкости, так и по вербальной креативности [13, 17]. Другой предпосылкой изучения полушарного взаимодействия в избранной экспериментальной модели стали факты, свидетельствующие о том, что правое полушарие включено в организацию вербальной креативности [14, 21] и, с другой стороны, определяет особенности организации вербальных процессов у женщин [2, 17]. Обнаруженное нами ранее ослабление межполушарной когерентности у креативных женщин при ее повышении у мужчин в случае успешного решения эвристического задания позволило предположить, что известная диспропорция в творческой продуктивности мужчин и женщин может быть обусловлена более выраженным у первых тормозным воздействием левого полушария на правое [7, 28]. При учете имеющихся данных о важной роли торможения для развития сопротивления интерференции ментальных операций [19] и предположения о связи креативности с особенностями обмена между полушариями возбудительных и тормозных процессов [23] несомненный интерес представляла проверка этой гипотезы в другой экспериментальной модели.

МЕТОДИКА

В экспериментах участвовали 18 мужчин и 21 женщина (студенты-правши 17–20 лет). Исследо-

вание проводилось в рамках медицинских и этических норм и было одобрено Этическим комитетом ГУ НИИ физиологии СО РАМН. Все испытуемые были ознакомлены с условиями экспериментов и дали добровольное согласие на участие в них.

В качестве креативного вербального задания был использован тест отдаленных ассоциаций С. Медник. Испытуемому предъявлялись три слова из отдаленных семантических категорий. Необходимо было подобрать такое оригинальное слово, которое имело бы ассоциативную связь с каждым из слов-стимулов. Например, к триаде “снег – хлеб – медведь” можно придумать разные ассоциации: и стереотипную (“белый”), и более оригинальную (“грязный”). Количественную оценку оригинальности ассоциаций на триаду предъявленных слов и время генерации каждого ответа проводили с помощью созданной нами ранее компьютеризированной версии этого теста [5]. Для сравнительного анализа ЭЭГ-коррелятов креативного вербального мышления были использованы два простых вербальных задания: генерация слов на заданную букву (Экс1) и составление цепочки ассоциаций (Экс2). Каждое из двух первых заданий выполнялось в течение 1 мин, время придумывания отдаленных ассоциаций (Экс3) не ограничивалось. Для тренировки все испытуемые выполняли эти три задания в указанной последовательности с записью ответов на бланке. Затем, при регистрации ЭЭГ задания повторялись, но с другой начальной буквой в Экс1, другим первым словом в цепочке в Экс2 и другим набором триад слов в Экс3. Первые два задания испытуемые выполняли “в уме”. При этом они смотрели на экран компьютера, где была представлена заставка ассоциативного теста. В ситуации Экс3 на экране предъявлялось 20 триад слов, на каждую из которых нужно было придумать одну оригинальную ассоциацию. Ответы записывались на диктофон, а время генерации ответа (t_{ac}) фиксировалось нажатием на клавишу клавиатуры компьютера, после чего предъявлялась следующая триада слов.

Во время исследования испытуемые находились в звукоизолированной камере. ЭЭГ регистрировали монополярно в 16 отведениях, расположенных по системе 10/20 в симметричных точках правого и левого полушарий: $Fp1$, $Fp2$, $F3$, $F4$, $F7$, $F8$, $C3$, $C4$, $P3$, $P4$, $O1$, $O2$, $T3$, $T4$, $T5$, $T6$. В качестве референтного использовали объединенный ушной электрод. Межэлектродное сопротивление не превышало 5 кОм. Регистрацию ЭЭГ производили с помощью электроэнцефалографа “Galileo” (Италия) при постоянной времени 0.3 с и верхнем ограничении частот 30 Гц. Частота дискретизации сигнала 256 Гц, эпоха анализа 2 с. Анализировали по 29 свободных от артефактов эпох (взятых с перекрытием 50%) ЭЭГ общей длительностью 30 с. Регистрацию ЭЭГ проводили в состоянии спокойного бодрствования и при выполнении трех указан-

ных выше вербальных заданий. В ситуации Экс3 анализировали участки ЭЭГ, соответствующие начальному (Экс3н) и конечному (Экс3к) этапам выполнения задания. Обработку ЭЭГ производили с помощью программы “Нейрокартограф-3.63” фирмы МБН (Москва) на компьютере IBM PC. Для каждого отведения методом быстрого преобразования Фурье были получены значения спектральной плотности ЭЭГ в шести частотных диапазонах: тета1 (4–6 Гц), тета2 (6–8 Гц), альфа1 (8–10 Гц) и альфа2 (10–13 Гц), бета1 (13–20 Гц) и бета2 (20–30 Гц). Показатели когерентности ЭЭГ определяли для всех 120 возможных комбинаций меж- и внутриполушарных пар отведений. При интерпретации результатов статистического анализа когерентности вследствие возможности ошибок I и II рода рассматривались только те отведения, где наблюдались ее множественные изменения (“фокусы” или “узлы” когерентных связей). Информативная ценность такого подхода к анализу относительных изменений когерентности при сравнении различных групп испытуемых показана ранее [2, 7, 18, 26].

Статистический анализ данных производили после z-преобразования показателей когерентности с использованием дисперсионного анализа ANOVA/MANOVA. Коррекцию статистической значимости выполняли по методу Гринхауза – Гейссера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение значения частотных диапазонов ЭЭГ в функциональных изменениях когерентности биоэлектрических потенциалов коры при креативном вербальном мышлении

На первом этапе анализ данных проводили для суммарных значений когерентности в каждом из шести частотных диапазонов. Анализ межполушарной когерентности биоэлектрических потенциалов в негомологичных отведениях (МПНКог) выполняли по схеме ПОЛ (2: мужчины – женщины) × ЭКСПЕРИМЕНТ (ЭКС) (5: фон – Экс1 – Экс2 – Экс3н – Экс3к). Значимость фактора ЭКС была обусловлена повышением значений в бета1 диапазоне в ситуации Экс3 по сравнению с другими экспериментальными условиями, а в бета2 – не только для Экс3, но и для Экс2 ($p < 0.0001$).

Дисперсионный анализ суммарной внутриполушарной когерентности (ВПКог) проводили по схеме ПОЛ (2) × ЭКС (5) × ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ (ЛАТ) (2). Фактор ЭКС, обусловленный снижением ВПКог в Экс1 по сравнению с фоном, был значимым для всех частотных диапазонов (табл. 1). Вместе с тем согласно результатам планового анализа дополнительное уменьшение ВПКог альфа1-ритма отмечено для Экс3н по сравнению с Экс2, для тета1-диапазона обнаружено увеличение сум-

Таблица 1. Изменения внутриполушарной когерентности в зависимости от экспериментальной ситуации вербальной деятельности

Частотный диапазон	Фон	Экс1	Экс2	Экс3н	Экс3к
Тета1	0.49**	0.44**	0.44	0.42*	0.44*
Тета2	0.45**	0.42**	0.43	0.40	0.41
Альфа1	0.47**	0.41**	0.42*	0.39*	0.39
Альфа2	0.41**	0.36**	0.38	0.35	0.35
Бета1	0.32**	0.28**	0.29	0.29	0.29
Бета2	0.24**	0.21**°	0.23	0.25°	0.24

Примечание. Экс1 – генерация слов, Экс2 – придумывание простых ассоциаций, Экс3н – начальный этап и Экс3к – конечный этап поиска отдаленных ассоциаций; одинаковыми значками отмечены достоверные ($p < 0.005$) различия значимой когерентности в каждом частотном диапазоне между соответствующими стадиями эксперимента.

марной ВПКог на конечной стадии теста отдаленных ассоциаций по сравнению с его началом, а для бета2 – повышение ВПКог для обеих стадий Экс3 по сравнению с Экс1. Для ВПКог обнаружено достоверное взаимодействие факторов ЭКС × ЛАТ для тета2-, альфа2- и бета2-диапазонов. Плановый анализ данных показал, что в тета2-диапазоне ВПКог в правом полушарии уменьшалась в Экс1 по сравнению с фоном ($p < 0.00001$), а в левом – увеличивалась ($p = 0.049$). В альфа2-диапазоне обнаружено изменение полушарной асимметрии в зависимости от экспериментальных условий вербальной деятельности: в фоне ВПКог в правом полушарии была больше, чем в левом, а в Экс2 происходила инверсия этого соотношения ($p = 0.01$). В бета2-диапазоне в фоне ВПКог была выше в правом полушарии, в Экс1, напротив – в левом, а в Экс3н – снова в правом (соответственно $p = 0.001$ и $p = 0.002$ при сравнении латеральных различий ВПКог в Экс1 с фоном и Экс3н с Экс1).

При анализе межполушарной когерентности между гомологичными отведениями (МПГКог) использовали схему ПОЛ (2) × ЭКС (5) × ОТВЕДЕНИЕ (8) (ОТВ). В этом случае фактор ЭКС оказался значимым для тета1- и бета2-диапазонов (соответственно $F(4.148) = 2.63$; $p = 0.04$ и $F(4.148) = 23.33$; $p < 0.0001$). В тета1 значимое возрастание МПГКог было характерно на стадии Экс2 (с дальнейшим повышением в Экс3) по сравнению с фоном и Экс1 ($p < 0.0001$), а в бета2- на стадии Экс3 ($p < 0.00001$ при сравнении как Экс3н, так и Экс3к с предыдущими стадиями эксперимента).

Таким образом, вне зависимости от пола креативное вербальное мышление сопровождается повышением когерентности биоэлектрических потенциалов преимущественно в тета1- и бета2-диапазонах по сравнению как с фоновыми значениями, так и за-

Таблица 2. Основные характеристики вербальной деятельности в группах мужчин и женщин, различающихся успешностью выполнения креативного задания

Пол	ГР0					ГР1				
	<i>n</i>	ориг.	<i>t</i> _{ac}	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>n</i>	ориг.	<i>t</i> _{ac}	<i>N1</i>	<i>N2</i>
Мужчины	10	7.7**	266.6	12.4*	13.3	8	12.2**	219.2	13.3	14.5
Женщины	12	8.7**	226.2	15.6*	14.4	9	13.5**	242.5	14.4	13.7

Примечание. ГР0 – некреативные, ГР1 – креативные лица; *n* – число испытуемых в группах, ориг. – оригинальность ассоциаций (баллы), *t*_{ac} – суммарное время поиска отдаленных ассоциаций (с), *N1* – число слов в Экс1, *N2* – число слов в Экс2; * – $p < 0.05$ между мужчинами и женщинами, ** – $p < 0.001$ между группами.

регистрованными при выполнении простых вербальных заданий. Кроме того, для простых вербальных операций характерны большие значения ВПКог в левом полушарии, а для более сложного поиска оригинальных ассоциаций – в правом.

Изменения когерентности биопотенциалов коры в зависимости от успешности выполнения креативного вербального задания

Следующий этап анализа данных проводился с учетом успешности выполнения креативного вербального задания. Для этого все испытуемые согласно их индивидуальным показателям оригинальности ассоциаций были разделены на две группы: ГР0 – с низкими значениями вербальной креативности и ГР1 – с высокими (табл. 2). Кроме того, в ГР0 женщины генерировали достоверно большее число слов в Экс1, чем мужчины.

Дисперсионный анализ значений когерентности биопотенциалов выполняли для двух диапазонов: тета1 и бета2, так как согласно первой части анализа данных на этих частотах были обнаружены наиболее выраженные изменения когерентности, связанные с выполнением креативного задания. Анализ МПГКог проводили по схеме ПОЛ (2) × ГРУППА (ГР) (2) × ЭКС (2) × ОТВЕДЕНИЕ (ОТВ) (8) со сравнением каждой двух стадий экспериментальных ситуаций (ЭКС) (например, Экс3к – Экс1, Экс3н – Экс1 и т.д.) Анализ МПНКОг и ВПКог выполняли для средних значений когерентности, суммированных для всех пар в каждом из 16 отведений, по схеме ПОЛ (2) × ГР (2) × ЭКС (2) × ОТВ (8) × ЛАТ (2).

Связанные с выполнением вербального креативного задания изменения когерентности биопотенциалов в тета1-диапазоне

Достоверные эффекты функциональных изменений когерентности биопотенциалов в тета1-диапазоне представлены в табл. 3. Взаимодействие ЭКС × ОТВ для МПНКОг тета1-диапазона было связано с увеличением значений когерентности в Экс3н или Экс3к по сравнению с Экс1 в передней части коры (в отведениях *Fp1*, *Fp2*, *F3*, *F4*, *F7*, *F8*, *C3*, *C4*, *T3*, *T4*). Плановый анализ взаимодействия

ПОЛ × ГР × ЭКС × ЛАТ показал, что при общем увеличении МПНКОг в Экс3н по сравнению с Экс1 или Экс2 в ГР0 значения когерентности у женщин были выше, чем у мужчин, а в ГР1 – не различались. Вместе с тем в ситуации Экс3н МПНКОг в правом полушарии у мужчин ГР1 была больше, чем у женщин этой группы, а в Экс1, напротив, меньше.

Взаимодействие ПОЛ × ГР × ЭКС × ОТВ при сравнении Экс3к и Экс3н было связано с индивидуальными особенностями изменения МПГКог во фронтальных и центральных отведениях (рис. 1, А). У мужчин ГР0 МПГКог в *Fp1–Fp2* ослабевала к концу тестирования вербальной креативности, а в ГР1, напротив, увеличивалась. При этом у мужчин МПГКог в *F3–F4* и *C3–C4* была выше в ГР1, чем в ГР0, а у женщин – наоборот, ниже (для Экс3н этот эффект был на уровне тенденции: $p = 0.15$, а для Экс3к – достоверен: $p = 0.038$). В ГР0 женщины характеризовались большими значениями когерентности, чем мужчины, тогда как в ГР1 половых различий в показателях когерентности не обнаружено. При сравнении МПНКОг в Экс3к с Экс1 достоверным было взаимодействие ГР × ЭКС × ЛАТ, обусловленное тем, что в Экс3к значения МПНКОг в ГР1 и ГР0 сравнивались за счет большего усиления МПНКОг в ГР0, тогда как в ситуации Экс1 МПНКОг в ГР1 была выше, чем в ГР0. При этом в Экс3к латеральные различия в ГР1 ослабевали из-за более интенсивного повышения МПНКОг в левом полушарии.

Плановый анализ взаимодействия ПОЛ × ГР × ЭКС × ЛАТ для ВПКог показал ослабление левополушарной когерентности в Экс3к по сравнению с простыми вербальными заданиями (Экс1 и Экс2) в группе креативных мужчин. У креативных женщин на этой стадии эксперимента было обнаружено ослабление правополушарной когерентности при сравнении как с Экс2, так и с Экс3н и усиление левополушарной – при сравнении Экс3к и Экс3н. В последнем случае у некреативных женщин, напротив, отмечено усиление правополушарной когерентности.

Таблица 3. Результаты ANOVA когерентности тета1- и бета2-ритмов при сравнении креативного задания с простыми вербальными операциями

	Экс1	Экс2	Экс3н
Тета1			
Экс3н			
МПНКог	ЭКС × ОТВ**, ПОЛ × ГР × ЭКС × ЛАТ*	ПОЛ × ГР × ЭКС × ЛАТ*	–
Экс3к			
МПГКог	–	–	ПОЛ × ГР × ЭКС × ОТВ*
МПНКог	ЭКС × ОТВ**, ГР × ЭКС × ЛАТ*	–	–
ВПКог	ПОЛ × ГР × ЭКС × ЛАТ*	ПОЛ × ГР × ЭКС × ЛАТ*	ПОЛ × ГР × ЭКС × ЛАТ*
Бета2			
Экс3н			
МПГКог	ПОЛ × ГР × ЭКС × ОТВ*	ЭКС × ОТВ**	–
МПНКог	ПОЛ × ГР × ЭКС × ЛАТ*	ЭКС × ОТВ × ЛАТ*, ПОЛ × ГР × ЭКС × ОТВ × ЛАТ	–
ВПКог	ЭКС × ОТВ**	–	–
Экс3к			
МПГКог	ЭКС × ОТВ**	ЭКС × ОТВ**	–
МПНКог	ЭКС × ОТВ**, ПОЛ × ГР × ЭКС × ОТВ × ЛАТ	ПОЛ × ГР × ЭКС × ОТВ × ЛАТ**	–
ВПКог	ЭКС × ОТВ**	ЭКС × ОТВ**	ПОЛ × ЭКС × ЛАТ*, ПОЛ × ГР × ЭКС × ОТВ × ЛАТ

Примечание. МПГКог – показатель межполушарной когерентности биопотенциалов в гомологичных отведениях полушарий, МПНКог – негомологичных, ВПКог – внутриполушарная когерентность; ПОЛ, ГР, ЭКС, ОТВ, ЛАТ – соответственно факторы пола, группы креативных и некреативных лиц, стадии эксперимента, отведения и латеральности полушарий; * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; остальные обозначения как в табл. 1.

Связанные с выполнением вербального креативного задания изменения когерентности биопотенциалов в бета2-диапазоне

Результаты дисперсионного анализа когерентности бета2-ритма представлены в табл. 3. Эффект фактора ЭКС, описанный выше, – большие значения суммарной МПГКог при креативном мышлении по сравнению с более простыми вербальными операциями – оказался зависимым как от пола испытуемых, так и от успешности выполнения креативного задания и характеризовался регионарной специфичностью. Плановый анализ взаимодействия ЭКС × ОТВ показал достоверное увеличение МПГКог для передней части коры (отведения $Fp1-Fp2$, $F3-F4$, $C3-C4$, $P3-P4$) в ситуациях Экс3н или Экс3к по сравнению с Экс1 и Экс2. Взаимодействие ПОЛ × ГР × ЭКС × ОТВ было связано с тем, что в ГР0 для ситуации Экс1 у женщин были обнаружены большие в сравнении с мужчинами значения МПГКог в $F3-F4$ и $C3-C4$, а в ГР1 половые различия были представлены в $O1-O2$: в Экс1 МПГКог у женщин была выше, чем у мужчин, а в Экс3н – наоборот ($p = 0.03$) (рис. 1, Б). Из рис. 1, Б видно, что у креативных мужчин повышение МПГКог в Экс3н было представлено в окци-

питальных областях коры, а у креативных женщин – в центральных. Причем для $C3-C4$ достоверные половые различия с большими значениями когерентности у женщин были обнаружены в Экс1. ГР1 и ГР0 различались между собой только у мужчин: креативные лица характеризовались более тесным взаимодействием полушарий во фронтальных ($F3-F4$) отведениях как в ситуации Экс1, так и в Экс3н.

Согласно анализу взаимодействия ПОЛ × ГР × ЭКС × ЛАТ для МПНКог, полученного при сравнении Экс3н с Экс1, в ГР1 асимметрия полушарий с большими значениями МПНКог для правого полушария в ситуации Экс1 была характерна для женщин, а в Экс3н – для мужчин. Повышение когерентности в Экс3н по сравнению с Экс2 согласно взаимодействию ЭКС × ОТВ × ЛАТ в большей степени было представлено в передних отделах левого полушария при уменьшении значений МПНКог в его задней части.

При анализе ВПКог в дополнение к смене левополушарного доминирования в Экс1 на правополушарное – в Экс3н, описанной выше, в бета2-диапазоне обнаружено взаимодействие ЭКС × ОТВ, обусловленное повышением ВПКог в центрально-

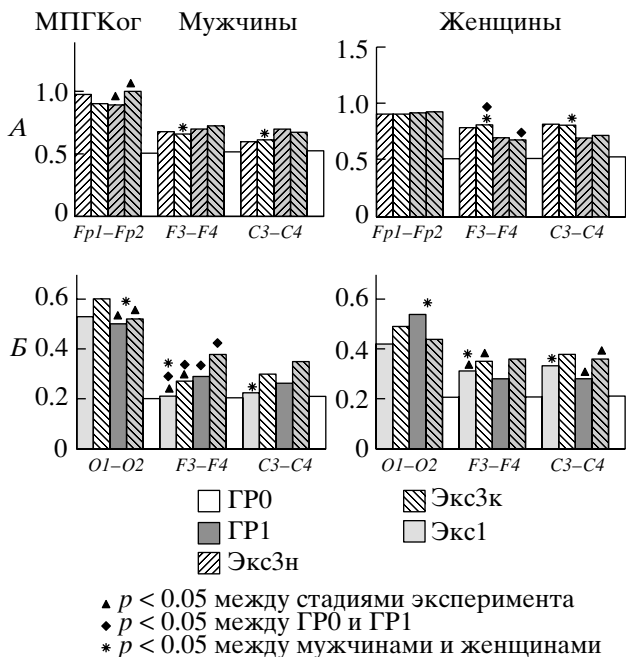


Рис. 1. Регионарные изменения межполушарной когерентности биопотенциалов в гомологичных отведениях в зависимости от пола и успешности выполнения вербального креативного задания. А – тета1-диапазон, сравнение конечного и начального этапов креативного задания; В – бета2-диапазон, сравнение конечного этапа креативного задания с генерацией слов. GR0 (светлые столбики) – некреативные, GR1 (темные столбики) – креативные лица. Стадии эксперимента отмечены разными штриховками: Экс1 – генерация слов на заданную букву, Экс3н – начальный этап и Экс3к – конечный этап поиска отдаленных ассоциаций. Одинаковыми значками отмечены достоверные различия между соответствующими группами испытуемых или стадиями эксперимента. Они указывают, что межполушарная когерентность тета1-ритма при вербальном креативном мышлении только в неуспешной группе у женщин выше, чем у мужчин, а в успешной эти различия отсутствуют за счет меньших значений когерентности в GR1, чем в GR0 у женщин (А); регионарное повышение межполушарной когерентности бета2-ритма, связанное с выполнением вербального креативного задания, отличается в зависимости от пола и креативности испытуемых (В).

Fig. 1. Regional changes of interhemispheric coherence in the homological sites according to gender factor and a successfulness of performance of the verbal creative task. А – the theta band, a comparison between the final and beginning phases of creative task; В – the beta2-band, a comparison between the final phase of creative task and the fluency test. GR0 – noncreative, GR1 – creative persons. Experimental conditions marked various shading: Экс1 – the letter-fluency task, Экс3н – beginning phase and Экс3к – final phase of the remote associates task. The same signs indicate significant differences between the groups of subjects or the experimental conditions.

париетальных отделах коры в ситуациях Экс3н и Экс3к по сравнению с Экс2 и Экс1. Анализ взаимодействия ПОЛ × ЭКС × ЛАТ при сравнении Экс3к и Экс3н показал, что снижение суммарной ВПКог в правом полушарии в ходе выполнения задания

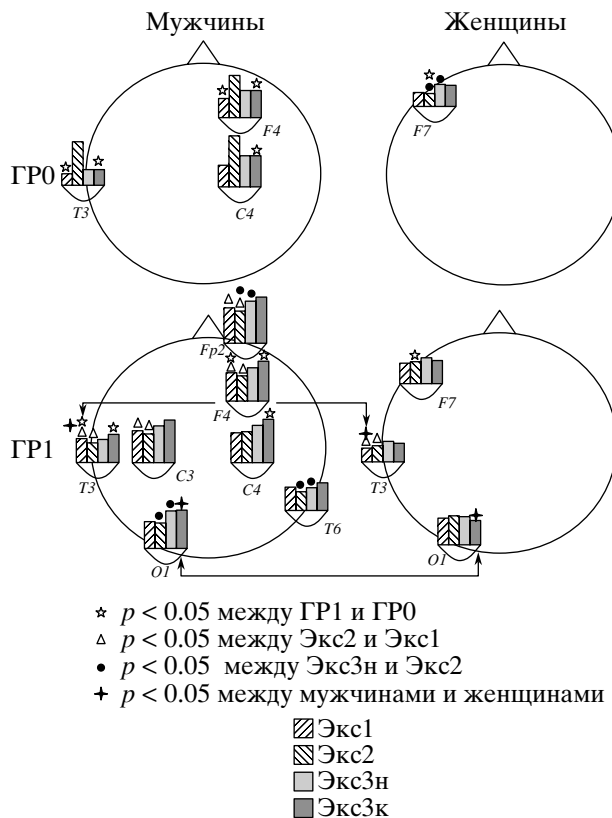


Рис. 2. Регионарные значения суммарной межполушарной когерентности бета2-ритма, изменения которой связаны с вербальной деятельностью креативных и некреативных мужчин и женщин в четырех экспериментальных условиях. Одинаковыми значками отмечены достоверные различия между соответствующими группами испытуемых или стадиями эксперимента. Остальные обозначения как на рис. 1.

Fig. 2. Regional changes of total interhemispheric coherence in the beta2-band associated to verbal thinking of creative and noncreative men and women while four experimental conditions. Signs are identical with Fig. 1.

было сходно у мужчин и женщин, а в левом полушарии у мужчин было отмечено повышение показателя ВПКог в Экс3к по сравнению с Экс3н ($p = 0.0008$) при отсутствии достоверных изменений у женщин.

Взаимодействие факторов ПОЛ × ГР × ЭКС × ОТВ × ЛАТ, обнаруженное при анализе когерентности бета2-ритма (см. табл.3), было достоверным при сравнении ситуаций Экс3к и Экс2 ($p = 0.01$). В остальных случаях такие взаимодействия, отмеченные в табл. 3 при сравнении разных экспериментальных ситуаций, были близки к достоверным ($0.10 < p < 0.15$), в связи с чем проведен их плановый анализ. На рис. 2 показаны регионарные значения МПНКОг для всех четырех экспериментальных ситуаций вербальной деятельности с учетом пола и успешности выполнения креативного вербального задания.

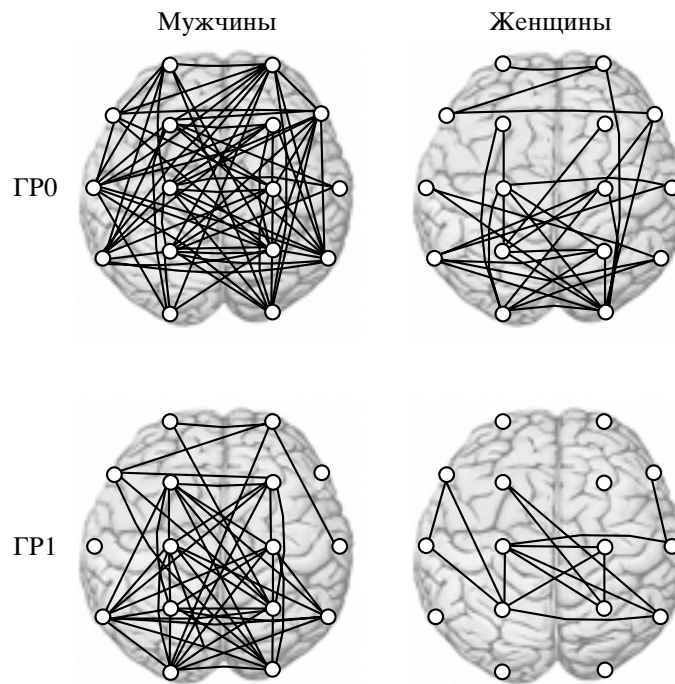


Рис. 3. Карта изменений когерентных связей в бета2-диапазоне у креативных и некреативных мужчин и женщин при сравнении конечного этапа выполнения поиска отдаленных ассоциаций и генерации слов на заданную букву. Сплошными линиями соединяют отведения, в которых обнаружено достоверное увеличение когерентности биопотенциалов ($p < 0.05$) в Экс3к по сравнению с Экс1. ГР0 – некреативные, ГР1 – креативные лица.

Fig. 3. The map of coherence changes in the beta-2-band in groups of the creative and noncreative men and women while comparison the final phase of the remote associative task and fluency test. The lines connecting electrode sites indicate the significant increase of coherence in final phase of creative task with respect to the fluency test ($p < 0.05$). ГР0 – noncreative, ГР1 – creative persons.

Из рисунка следует, что, во-первых, функциональные изменения межполушарной когерентности бета2-ритма, связанные с переходом от выполнения одной вербальной деятельности к другой, у креативных персон представлены регионарно шире, чем у некреативных. Другая особенность заключается в том, что эти изменения когерентных связей, т.е. фокусы функциональной реактивности биопотенциалов у мужчин располагаются в обоих полушариях, тогда как у женщин – только в левом полушарии. При этом значения МПНКог в ГР1 оказались выше, чем в ГР0 для разных экспериментальных ситуаций: у мужчин в отведении *T3* для ситуаций Экс1 и Экс3к, в *F4* – для Экс1 и в *F4*, *C4* – для Экс3к. У женщин достоверные различия между ГР1 и ГР0 выявлены только в *F7* для Экс2. Различия, связанные с полом и выразившиеся большими значениями МПНКог у мужчин, были обнаружены в височном (для Экс1) и затылочном (для Экс3к) отведениях левого полушария. Рисунок также иллюстрирует факт регионарно широкого повышения МПНКог при успешном поиске оригинальных ассоциаций у мужчин ГР1. Этот эффект достоверен для биопотенциалов в отведениях *O1*, *T6* и *Fp2* при сравнении ситуаций Экс3н и Экс2, а в остальных случаях, в том числе для конечного этапа креативного мышления, выражен на уровне

тенденции. У мужчин ГР0 достоверных изменений в показателях МПНКог, связанных с выполнением вербальных операций, не обнаружено. У женщин, напротив, только для ГР0 характерен локальный рост МПНКог в *F7* при сравнении Экс3н и Экс2, а для ГР1 достоверные изменения суммарной когерентности отсутствуют (за исключением повышения МПНКог в *T3* при сравнении Экс2 и Экс1).

Рис. 3 дает представление о регионарных изменениях когерентности с учетом всех рассмотренных пар отведений при сравнении Экс3к с Экс1. Видно, что креативным персонам (ГР1), вне зависимости от пола, присуще меньшее число взаимодействующих корковых областей по сравнению с некреативными лицами. Фокусы когерентных связей, значения которых увеличились в Экс3к по сравнению с Экс1, у креативных лиц больше смещены в заднюю часть коры, и этот эффект особенно отчетливо проявляется в группе креативных женщин, у которых фокусы измененных когерентных связей представлены отведениями *C3* и *P3*. Иначе говоря, для креативных лиц характерно более локальное усиление межполушарного взаимодействия при выполнении креативного задания по сравнению с простой генерацией слов. Напротив, для некреативных лиц повышение когерентности

бета2-ритма диффузно охватывает обширные области коры. При этом в ГР0 у мужчин по сравнению с женщинами следует отметить более выраженные функциональные связи между фронтальными и центрально-темпоральными отделами коры.

Плановый анализ взаимодействия ПОЛ × ГР × ЭКС × ОТВ × ЛАТ для ВПКог показал, что в ситуации Экс3к по сравнению с Экс3н у мужчин ГР1 повышаются связи в правом полушарии для пар *C4-F8*, *C4-T4* и *T4-F4* при их снижении в левом полушарии – для пар *T3-F7* и *T3-Fp1*. У женщин достоверные изменения ВПКог представлены, напротив, в ГР0, где отмечено снижение когерентности для пар *T6-O2*, *T6-Fp2* и *Fp2-F4*.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно первой части анализа ЭЭГ коррелятами креативного вербального мышления являются функциональные изменения когерентности биопотенциалов тета1- и бета-диапазонов. Усиление когерентности бета2-ритма было обнаружено в разных моделях дивергентного мышления: и при выполнении вербальных креативных заданий [3, 26], и при решении эвристической задачи [7, 28]. Повышение когерентности биопотенциалов в тета1-диапазоне было отмечено, напротив, при конвергентном мышлении на примере выполнения арифметических действий [7]. На основе данных литературы [10, 20, 22, 26] такие функциональные особенности тета- и бета-диапазонов были связаны нами с разными процессами внимания: соответственно поддерживающего и так называемого дифференцированного внимания. Выявленное в настоящей работе повышение когерентных связей в обоих частотных диапазонах позволяет заключить, что при поиске ассоциаций к триадам слов из отдаленных семантических категорий одновременно требуется использование и поддерживающего внимания – для обеспечения адекватной готовности к выполнению трудного вербального задания с объединением ресурсов обоих полушарий, – и “дифференцированного” внимания – для регионарно широко представленной “мозаичной” селекции вербальной информации, необходимой для поиска оригинальной словесной ассоциации.

Доказательства связи тета1-диапазона с индивидуальной готовностью внимания и возможности его адекватной концентрации получены при изучении восприятия сенсорных стимулов [10, 15]. Наряду с этим известно предположение о связи тета1-ритма с вызванными эмоциями [22]. Так как в наших экспериментальных условиях использовались неэмоциональные слова-стимулы и испытываемые в процессе выполнения заданий не подвергались какому-либо оценочному воздействию со стороны экспериментатора, то полученное усиление синхронизации тета-ритма можно связать с большей

концентрацией внутреннего внимания при выполнении более сложной вербальной задачи – поиска оригинальной ассоциации, а не с эмоциональной реакцией. В пользу такой интерпретации свидетельствует наблюдаемое повышение внутриполушарной когерентности тета1-диапазона к концу тестирования вербальной креативности по сравнению с его начальной стадией при ослаблении этого показателя в ситуации выполнения легкого вербального задания – генерации слов на заданную букву. Термин “дифференцированное” внимание был предложен Г. Петчем для описания множественного взаимодействия корковых областей при креативном мышлении – мысленном сочинении рассказа или создании картины [26] – и использован нами ранее для объяснения функциональной активности корковых нейронов на бета2-частоте при решении эвристической задачи [7, 28]. Выполнение креативного задания в этих разных экспериментальных моделях, как и поиск отдаленных ассоциаций, требовало объединения (интеграции) многочисленных (дифференцированных) близлежащих и удаленных друг от друга корковых областей обоих полушарий, взаимодействующих на высоких частотах бета2-диапазона. При этом успех творческого мышления обеспечивает не только само включение “дифференцированного” внимания, но и связанная с ним специфика функциональной интеграции корковых областей.

Широко известна гипотеза “нейронной эффективности”, согласно которой высокие интеллектуальные способности обусловлены точностью переработки информации в мозге из-за точной локализации активированных при ментальных нагрузках корковых областей в соответствии с их когнитивной специализацией (см., например, [16, 24]). В рамках этой гипотезы рассматриваются факты о связи креативных способностей с менее выраженной корковой активацией по показателям десинхронизации альфа-ритма [18]. Более локально представленные в нашей экспериментальной модели творческого мышления паттерны межполушарной когерентности, соответствующие успешному поиску оригинальных ассоциаций по сравнению с его неуспешным выполнением, также можно рассматривать как свидетельство более точной и “экономной” организации корковых областей. Преимущественное фокусирование когерентных связей в центрально-париетальных и темпоральных областях левого полушария совпадает с данными других авторов, исследовавших вербальную креативность и особенности корковой синхронизации при ассоциативном вербальном мышлении [4, 9]. Такая точность нейронной организации, необходимая для успешного поиска оригинальных ассоциаций, обеспечивается, по-видимому, большей гибкостью регуляторных процессов вербальной деятельности у креативных лиц. Об этом свидетельствуют широко представленные у них фоку-

сы функциональной реактивности когерентности, связанной с выполнением разных вербальных задач. Для некреативных лиц, напротив, в ситуации креативного мышления характерно регионарно диффузное (как бы “размазанное”) усиление взаимодействия между многочисленными корковыми областями. По-видимому, такая хаотичная и сравнительно слабая (о чем свидетельствуют меньшие значения когерентности у некреативных лиц по сравнению с креативными) реакция корковых нейронов выражается в отсутствии у них тех функциональных корковых фокусов когерентности, которые четко выражены у креативных лиц.

Известна специализация левополушарных корковых областей в выполнении таких речевых функций, как генерация слов или создание сильно связанных ассоциаций. Напротив, в случае использования широкой сети слов, в том числе лексически несвязанных категорий, доминирует правое полушарие [12, 25]. Поиск оригинальной ассоциации требует генерации множества “пробных” слов и перебора их ассоциативных связей для решения о наиболее оригинальной. Такая стратегия мышления, по-видимому, должна опираться на функции как левого, так и правого полушарий. Действительно, согласно показателям суммарной когерентности усиление межполушарного и правополушарного взаимодействия оказалось основным признаком выполнения креативного задания по сравнению с более простыми вербальными операциями. Эти данные соответствуют известным фактам о более тесном межполушарном взаимодействии у креативных персон [1, 11] и о преимущественном значении в креативной деятельности правого полушария [7, 8]. При этом особую роль в поиске оригинальных ассоциаций у креативных лиц обоего пола играет задняя система внимания (центрально-париетальные области), ориентированная на селекцию мультимодальных стимулов и процессы дискриминации слов [27]. Таким образом, специфичным признаком креативного вербального мышления является тесная интеграция функций обоих полушарий на высоких частотах бета2-диапазона с доминирующим значением правого полушария. Наряду с этим нами установлено, что общие закономерности взаимодействия полушарий, связанные с выполнением креативной задачи, имеют частотно-пространственные особенности в зависимости от пола и степени креативности испытуемых.

Успешному поиску оригинальных ассоциаций у мужчин сопутствует тесное межполушарное взаимодействие височных областей коры с включением в функциональную нейронную сеть центрально-париетальных и окципитальных областей. Такая “продуктивная” организация корковых областей обеспечивается у креативных мужчин формированием на высоких частотах бета2-диапазона своеобразной “когнитивной оси”: передние отде-

лы коры правого полушария – окципитальная часть левого (см. рис. 2 и 3). На низких частотах тета1-диапазона для этой группы (ГР1) наряду с тесным объединением гомологичных областей во фронтальной коре характерно ослабление левополушарного взаимодействия. Такие особенности организации взаимодействия корковых областей можно интерпретировать как свидетельство объединения автоматизированных процессов поддерживающего внимания и “дифференцированного” внимания.

Напротив, для креативных женщин в тета1-диапазоне левополушарное взаимодействие при выполнении задания усиливалось, а правополушарное – ослаблялось. Этот эффект вместе с левополушарной представленностью у женщин фокусов функциональных изменений межполушарной когерентности в высокочастотном бета2-диапазоне может указывать на большее значение у них произвольного контроля вербальной деятельности. Большее значение межполушарной когерентности в латерально-фронтальной области левого полушария у креативных женщин по сравнению с некреативными уже на этапе простого ассоциативного мышления позволяет предположить, что последующий поиск оригинальных ассоциаций происходит у них уже при изначально заданном “фоновом” контроле вербальных функций, достаточном для их эффективной организации. Дополнительное усиление активности этого региона коры для выполнения более сложного задания необходимо (и осуществляется) только в группе менее креативных женщин.

Другим отличительным признаком организации активности коры у женщин является более локально представленное при успешном креативном мышлении межполушарное взаимодействие, что может отражать относительную легкость выполнения ими вербальных операций по сравнению с мужчинами. В пользу такого заключения свидетельствуют лучшие показатели вербальной деятельности у женщин, в том числе – генерации слов и вербальной памяти [2, 17]. Это преимущество формируется за счет более тесного у них по сравнению с мужчинами межполушарного взаимодействия, способствующего активному использованию правого полушария в речевой деятельности [2, 29]. В наших экспериментальных условиях такие половые различия в уровне суммарной межполушарной когерентности были характерны только для лиц, хуже справлявшихся с поиском отдаленных ассоциаций, тогда как креативные мужчины и женщины не различались по этому показателю. Более того, на конечном этапе тестирования креативности повышение полушарного взаимодействия в окципитальных отделах коры было представлено у креативных мужчин сильнее, чем у женщин.

Более тесное межполушарное взаимодействие у креативных мужчин проявлялось также в больших, чем у женщин, значениях межполушарной когерентности, сфокусированной в левом височном отведении, при простой вербальной деятельности – генерации слов. Ранее нами было показано, что высокие интеллектуальные способности характеризуются определенной “преднастройкой” взаимодействия корковых областей, специализированных для выполнения вербальных, арифметических или образных операций [6]. Следовательно, более выраженные у креативных мужчин межполушарные связи левой височной области можно рассматривать как результат такой “преднастройки” речевой зоны коры, которая создает у них условия успешного выполнения простых вербальных операций, о чем свидетельствует отсутствие половых различий в показателях вербальной деятельности для креативных групп. Однако полученные данные свидетельствуют, что даже при одинаковой продуктивности вербальной деятельности мужчин и женщин существуют половые различия в нейрофизиологических процессах, лежащих в основе самих способов организации вербальных функций.

ВЫВОДЫ

1. Выполнение креативного вербального задания (поиск отдаленных оригинальных ассоциаций) сопровождается повышением когерентности биопотенциалов в тета1- и бета2-диапазонах по сравнению с фоном или простыми вербальными операциями вне зависимости от пола.
2. Мужчины с высокой вербальной креативностью отличаются от некреативных большими значениями межполушарной и внутрислошарной когерентности и сходны по уровню межполушарного взаимодействия с женщинами.
3. Усиление межполушарной когерентности бета2-ритма при успешном выполнении креативного задания по сравнению с неуспешным более локально и смещено в задние отделы коры.
4. Организация эффективной для поиска оригинальных слов-ассоциаций корковой системы по сравнению с выполнением простых вербальных операций у креативных мужчин осуществляется за счет повышения межполушарного взаимодействия с фокусами во фронтальном и темпоральном отделах правого и окципитальной области левого полушария. У креативных женщин такая система более локально представлена в центрально-париетальных областях, а в регуляции разных вербальных операций большее значение имеет фронто-темпоральная область левого полушария.
5. При сходной для мужчин и женщин особой функциональной значимости высокочастотного бета2-диапазона в корковой организации вербаль-

ного креативного мышления половые различия заключаются в регионарно широко представленном межполушарном взаимодействии у мужчин при локальности этого эффекта у женщин.

Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект 05-06-06179а) и программы “Университеты России” (УР 10.01.188).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бехтерева Н.П., Данько С.Г., Старченко М.Г. Исследование мозговой организации творчества. Сообщение III. Активация мозга по данным локального мозгового кровотока и ЭЭГ // Физиология человека. 2001. Т. 27. № 4. С. 6–19.
2. Вольф Н.В. Половые различия функциональной организации процессов полушарной обработки речевой информации. Ростов-на-Дону: Изд-во ООО “ЦВВР”, 2000. 238 с.
3. Данько С.Г., Старченко М.Г., Бехтерева Н.П. Локальная и пространственная синхронизация ЭЭГ при выполнении теста на инсайтную стратегию решения творческих вербальных задач // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 4. С. 129–132.
4. Иванецкий Г.А., Николаев А.Р., Иванецкий А.М. Взаимодействие лобной и левой теменно-височной коры при вербальном мышлении // Журн. высш. нерв. деят. 2002. Т. 52. № 1. С. 5–11.
5. Разумникова О.М. Пол и профессиональная направленность студентов как факторы креативности // Вопр. психологии. 2002. № 1. С. 111–125.
6. Разумникова О.М. Отражение структуры интеллекта в пространственно-временных особенностях фоновой ЭЭГ // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 5. С. 115–122.
7. Разумникова О.М. Мышление и функциональная асимметрия мозга. Новосибирск: Изд-во СО РАМН, 2004. 276 с.
8. Симонов П.В. Нейробиологические основы креативности // Физиология человека. 1995. Т. 21. № 2. С. 1–9.
9. Bechtereva N.P., Korotkov A.D., Pakhomov S.V., Roudas M.S., Starchenko M.G., Medvedev S.V. PET study of brain maintenance of verbal creative activity // Int. J. Psychophysiol. 2004. V. 53. № 1. P. 11–20.
10. Bruneau N., Roux S., Guerin P., Garreau B., Lelord G. Auditory stimulus intensity responses and frontal midline theta rhythm // EEGa. Clin. Neurophysiol. 1993. V. 86. № 3. P. 213–216.
11. Carlsson I., Wendt P.E., Risberg J. On the neurobiology of creativity. Differences in frontal activity between high and low creative subjects // Neuropsychology. 2000. V. 38. P. 873–885.
12. Deacon D., Grose-Fifer J., Yang C.M., Stanick V., Hewitt S., Dynowska A. Evidence for a new conceptualization of semantic representation in the left and right cerebral hemispheres // Cortex. 2004. V. 40. № 3. P. 467–478.
13. DeMoss K., Millch R., DeMers S. Gender, creativity, depression, and attributional style in adolescents with high

- academic ability // *J. Abnorm. Child Psychol.* 1993. V. 21. № 4. P. 455–467.
14. *Faust M., Lavidor M.* Semantically convergent and semantically divergent priming in the cerebral hemispheres: lexical decision and semantic judgment // *Brain Res. Cogn. Brain. Res.* 2003. V. 17. № 3. P. 585–597.
 15. *Gundel A., Wilson G.F.* Topographical changes in the ongoing EEG related to the difficulty of mental tasks // *Brain Topogr.* 1992. V. 5. № 1. P. 17–25.
 16. *Haier R.J., Benbou C.P.* Sex differences and lateralization in temporal lobe glucose metabolism during mathematical reasoning // *Dev. Neuropsychol.* 1995. № 4. P. 405–414.
 17. *Halpern D.F.* Sex differences in cognitive abilities. 3rd ed. Mahwah, New York, London: Lawrence Erlbaum Assoc. Publ., 2000. 420 c.
 18. *Jausovec N.* Differences in cognitive processes between gifted, intelligent, creative, and average individuals while solving complex problems: an EEG study // *Intelligence.* 2000. V. 28. № 3. P. 213–237.
 19. *Johnson J., Im-Bolter N., Pascual-Leone J.* Development of mental attention in gifted and mainstream children: the role of mental capacity, inhibition, and speed of processing // *Child Dev.* 2003. V. 74. № 6. P. 1594–1614.
 20. *Klimesch W., Doppelmayr M., Pachinger T., Russegger H.* Event-related desynchronization in the alpha band and the processing of semantic information // *Cognitive Brain Res.* 1997. V. 6. № 2. P. 83–94.
 21. *Knateb A., Michel C.M., Pegna A.J., O'Dochartaigh S.D., Landis T., Annoni J.-M.* Processing of semantic categorical and associative relations: an ERP mapping study // *Intern. J. Psychophysiol.* 2003. V. 49. P. 41–55.
 22. *Krause C.M., Viemero V., Rosenqvist A., Sillanmaki L., Astrom T.* Relative electroencephalographic desynchronization and synchronization in humans to emotional film content: an analysis of the 4–6, 6–8, 8–10 and 10–12 Hz frequency bands // *Neurosci. Lett.* 2000. V. 286. P. 9–12.
 23. *Miran M., Miran E.* Cerebral asymmetries: neuropsychological measurement and theoretical issues // *Biol. Psychol.* 1984. V. 19. № 3–4. P. 295–304.
 24. *Neubauer A.C., Fink A., Schrausser D.G.* Intelligence and neural efficiency: The influence of task content and sex on the brain – IQ relationship // *Intelligence.* 2002. V. 30. P. 515–536.
 25. *Nocentini U., Goulet P., Roberts P.M., Joannette Y.* The effects of left – versus right hemisphere lesions on the sensitivity to intra- and interconceptual semantic relationships // *Neuropsychology.* 2001. V. 39. № 5. P. 443–451.
 26. *Petsche H., Etlinger S.C.* EEG and Thinking. Wien: ÖAW, 1998. 383 p.
 27. *Posner M.I.* The attention system of the human brain // *Ann. Rev. Neurosci.* 1990. V. 13. P. 25–42.
 28. *Razumnikova O.M.* Gender differences in hemispheric organization during divergent thinking: An EEG investigation in human subjects // *Neurosci. Lett.* 2004. V. 362. № 3. P. 193–195.
 29. *Shaywitz B.A., Shaywitz S.E., Pugh K.R., Constable R.T., Skudlarski P., Fulbright R.K., Bronen R.A., Fletcher J.M., Shakweiler D.P., Katz L., Gore J. C.* Sex differences in the functional organization of the brain for language // *Nature.* 1995. V. 373. P. 607–609.
 30. *Welsh T., Elliott D.* Gender differences in a dichotic listening and movement task: lateralization or strategy? // *Neuropsychology.* 2001. V. 39. P. 25–35.