

И.В. Тарасова, Н.В. Вольф, О.М. Разумникова**ИЗМЕНЕНИЯ КОГЕРЕНТНОСТИ ЭЭГ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
ОБРАЗНОЙ КРЕАТИВНОЙ ЗАДАЧИ У МУЖЧИН И ЖЕНЩИН**

ГУ НИИ физиологии СО РАМН, Новосибирск

С помощью многоканального картирования когерентности ЭЭГ в диапазоне от 4 до 30 Гц исследовали половые различия в реактивности когерентности при выполнении образной творческой задачи: генерации образов на основе предъявленного фрагмента у 13 мужчин и 13 женщин. Кроме того, изучалось влияние экспериментальной инструкции «создавать оригинальные образы» на паттерны ЭЭГ и уровень креативности у мужчин и женщин. При инструкции «создавать оригинальные образы» у всех испытуемых беглость снижалась, тогда как оригинальность создаваемых образов имела тенденцию к увеличению. Были обнаружены половые различия в изменениях когерентности тета1- и бета2-частотных диапазонов, связанных с выполнением образного творческого задания независимо от инструкции. В тета1-диапазоне женщины демонстрировали большую реактивность когерентности в левом полушарии, а также между левыми фронтальными и правыми задними регионами в сравнении с мужчинами. На частоте бета2 ритма, напротив, у мужчин наблюдалась большая реактивность внутри- и межполушарной когерентности с фокусами усиленной когерентности в отведениях РЗ, О1. Таким образом, результаты нашего исследования свидетельствуют о различной организации мозговых процессов при образном творческом мышлении у мужчин и женщин.

Ключевые слова: когерентность ЭЭГ, тета1 и бета2 ритмы, образное творческое мышление, половые различия

Деление когнитивных способностей на вербальные и образно-пространственные привело к постановке вопроса о вербальной и образной креативности [3, 5, 15]. С другой стороны, известно, что при тестировании вербальных и образно-пространственных способностей отчетливо проявляются половые различия. В частности, показано, что мужчины лучше, чем женщины, выполняют образно-пространственные задания [10]. Однако женщины демонстрируют более высокие показатели в тестах образной креативности [16, 17], что может быть следствием неоднородности зрительно-пространственных способностей и возможности использования разных стратегий решения задачи [1, 2].

До настоящего времени проблеме половых различий в мозговой организации творческого мышления уделяется мало внимания. В исследованиях нашей лаборатории показаны различия паттернов мощности и когерентности ЭЭГ у мужчин и женщин при успешном выполнении вербальной творческой задачи [13].

В продолжение этих исследований в задачу настоящей работы входило изучение половых различий в корковых механизмах образного творческого мышления по показателям когерентности биопотенциалов в различных частотных диапазонах ЭЭГ. В связи с тем, что в ряде исследований показано разное влияние инструкции «быть оригинальным» на творческую продуктивность

в зависимости от пола испытуемых [6], мы также исследовали влияние инструкции на эффективность и ЭЭГ-корреляты творчества.

Методика

В исследовании приняли участие 26 испытуемых-правшей (13 юношей и 13 девушек), студенты НГУ и НГТУ в возрасте от 18 до 21 года. Все испытуемые дали добровольное согласие на участие в эксперименте, исследование было одобрено Этическим комитетом института.

Для исследования образного творческого мышления применяли субтест Торренса «Неоконченные фигуры», состоявший из 10 элементов-стимулов [4]. Задачей испытуемых было придумать как можно больше образов на основе предъявленных элементов. Эксперимент состоял из двух серий, каждая из которых содержала по пять проб. Задания первой серии выполняли с инструкцией «создать образ» (ИН1), а второй — «создать оригинальный образ» (ИН2). Каждая экспериментальная проба начиналась с 1-минутного предъявления точки фиксации, расположенной в центре монитора компьютера. Затем в центре экрана в течение 1 мин предъявляли незавершенную фигуру. В это время необходимо было придумывать образы с использованием предъявленного стимула и называть их вслух. По окончании эксперимента испытуемые рисовали на бланках с изображением предъявлявшихся фигур все

названные ими образы. Показателями образной креативности служили беглость и оригинальность. Беглость соответствовала общему числу придуманных образов. Оригинальность идеи рассчитывали в баллах как $1/(N+1)$, где N — число аналогичных образов в компьютеризированной базе данных, составленной на основе тестирования 342 студентов обоего пола. Для каждой фигуры в расчет брали самый высокий индекс оригинальности. Рассчитывали суммарную беглость и оригинальность отдельно для каждой серии.

Регистрацию ЭЭГ осуществляли при предъявлении точки фиксации (фоновая ЭЭГ) и придумывании образов. ЭЭГ регистрировали монополярно в 16 стандартных отведениях системы 10-20: $Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1, O2$ с объединенным референтным электродом на мочках ушей. Аналого-цифровое преобразование сигнала проводили с частотой дискретизации 256 Гц. Расчет параметров когерентности ЭЭГ выполняли по программе «Нейрокартограф» фирмы МБН (Москва). Эпоха анализа составляла 2 с, эпохи брали с перекрытием в 50%. Анализировали по 29 свободных от артефактов эпох ЭЭГ, записанной в состоянии спокойного бодрствования перед пробой (фон) и во время каждой пробы задания. Полученные экспериментальные данные отдельно для фона и задания усредняли по сериям для каждого испытуемого. Когерентность ЭЭГ определяли для всех 120 возможных комбинаций меж- и внутриполушарных пар отведений. Рассматривались следующие частотные диапазоны: 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).

Для нормализации данных показатели когерентности перед статистической обработкой подвергали Z-преобразованию. Статистический анализ проводили с использованием ANOVA по программе STATISTICA for Windows, Stat. Soft, Inc., 1984-2001. При интерпретации результатов статистического анализа когерентности вследствие большого числа анализируемых переменных и потому возможности ошибки II рода основное внимание уделяли рассмотрению «фокусов», или «узлов», изменений когерентности, а не отдельных когерентных связей. Информативная ценность такого подхода к анализу изменений когерентности показана ранее [12].

Результаты исследования

Для оценки эффективности выполнения образной творческой задачи был выполнен ANOVA для показателей оригинальности и беглости по следующей схеме: ПОЛ (мужчины, женщины) x ИНСТРУКЦИЯ (ИН1, ИН2). Для показателей беглости обнаружена значимость фак-

тора ИНСТРУКЦИЯ ($F(1,24)=8,66$; $p=0,007$). Последующий анализ показал, что независимо от пола испытуемых при ИН2 было характерно снижение количества создаваемых образов. Для показателей оригинальности наблюдалась тенденция к увеличению оригинальности генерируемых образов ($p=0,07$, рис. 1).

Дисперсионный анализ когерентности ЭЭГ проводили с использованием показателей реактивности, рассчитываемых как данные эксперимента минус данные фона. Для факторов, а также взаимодействий, имеющих больше трех степеней свободы, вводили поправку Гринхауза–Гейзера. Последующий анализ достоверных взаимодействий проводили методом плановых сравнений. Был проведен ANOVA реактивности внутриполушарной когерентности по схеме ПОЛ (мужчины, женщины) x ИНСТРУКЦИЯ (ИН1, ИН2) x ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ (правое полушарие, левое полушарие) x ПАРА (28 пар отведений); и межполушарной отдельно для когерентности между гомологичными и негомологичными отведениями по схеме ПОЛ (мужчины, женщины) x ИНСТРУКЦИЯ (ИН1, ИН2) x ПАРА (8 или 56 пар отведений соответственно) для каждого из рассматриваемых частотных диапазонов.

Для изменений внутриполушарной и межполушарной когерентности между негомологичными отведениями половые различия обнаружены в тета1- и бета2-диапазонах. Рассмотрение изменений межполушарной когерентности между гомологичными отведениями выявило половые различия только на частоте бета1,2 ритмов.

По показателям реактивности внутриполушарной когерентности в тета1-диапазоне

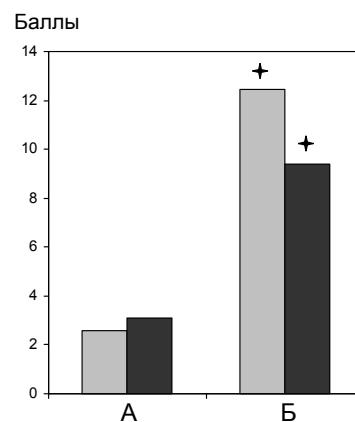


Рис. 1. Показатели оригинальности (А) и беглости (Б) при выполнении образной творческой задачи в разных экспериментальных ситуациях.

Светлые столбики — показатели при создании любого завершённого образа на основании предъявленного элемента (ИН1), темные — показатели при создании неординарного, оригинального образа (ИН2). Одинаковыми знаками обозначены достоверные различия между соответствующими показателями

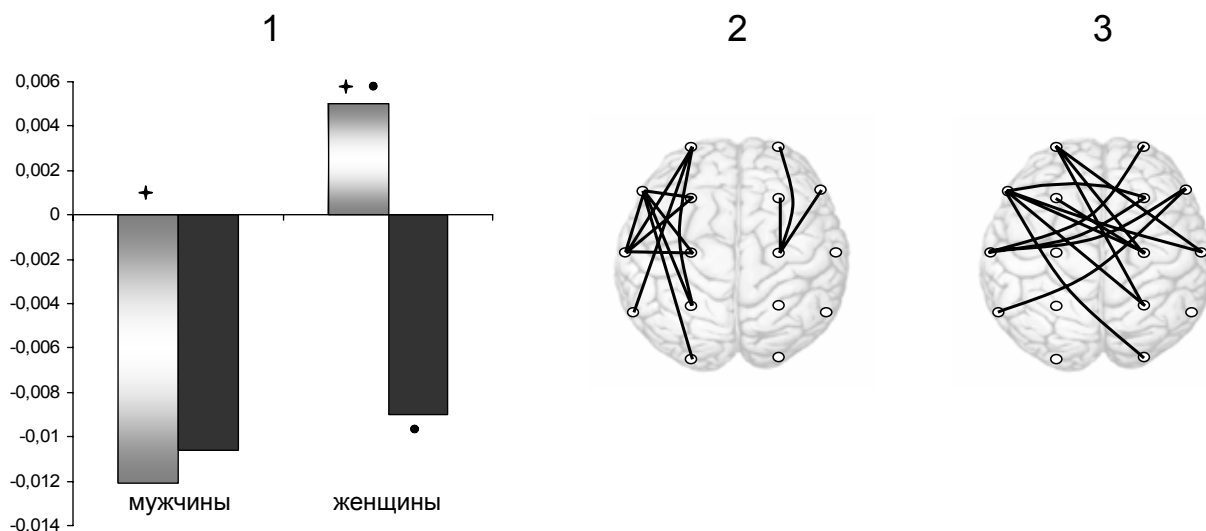


Рис. 2. Половые различия в суммарной реактивности внутриполушарной когерентности (1) и топографические особенности изменений внутриполушарной (2) и межполушарной (3) когерентности тета1-ритма.

1 – светлые столбики — реактивность когерентности в левом полушарии, темные — в правом полушарии, одинаковыми значками обозначены достоверные различия между соответствующими показателями, 2, 3 — черными сплошными линиями обозначены пары отведений, в которых отмечены достоверные половые различия

достоверным было взаимодействие факторов ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ \times ПОЛ ($F(1,24)=4,69$; $p=0,04$). Плановые сравнения показали, что реактивность левополушарной когерентности у мужчин была ниже, чем у женщин. Только у женщин реактивность когерентности в левом полушарии была выше, чем в правом (Рис. 2 (1)). Близким к достоверности было взаимодействие ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ \times ПАРА \times ПОЛ ($F(27,648)=2,02$; $p=0,002$; с поправкой Гринхауза-Гейссера $p=0,059$). Поскольку взаимодействие было близким к достоверному с введением строгой поправки, представлялось целесообразным провести сравнение изменений отдельных когерентных связей у мужчин и женщин. Обнаружено, что реактивность когерентности в передних отделах левого и правого полушария у мужчин была ниже, чем у женщин (Рис. 2 (2)). При рассмотрении показателей реактивности межполушарной когерентности между негомнологичными отведениями для биопотенциалов тета1-частотного диапазона были выявлены половые различия, обусловленные значимостью взаимодействия факторов ПАРА \times ПОЛ ($F(55,1320)=2,25$; $p=0,00000$; с поправкой Гринхауза-Гейссера $p=0,049$). Независимо от инструкции реактивность когерентности тета1-ритма между фронтальными, темпоральными и центральными отделами контрлатеральных полушарий у мужчин была достоверно ниже, чем у женщин, с формированием «узлов» в отведениях $Fp1, F7$ (Рис. 2 (3)).

В бета1-частотном диапазоне для реактивности межполушарной когерентности между гомоло-

гичными отведениями обнаружена достоверность фактора ПОЛ ($F(1,24)=9,78$; $p=0,005$). У мужчин при создании образов реактивность когерентности была выше, чем у женщин (Рис. 3).

В бета2-диапазоне для показателей реактивности внутриполушарной когерентности достоверным был фактор ПОЛ ($F(1,24)=8,37$; $p=0,008$). Суммарная реактивность когерентности была выше у мужчин по сравнению с женщинами (Рис. 4 (1, а)). Для реактивности межполушарной когерентности между негомнологичными отведениями значимыми были фак-

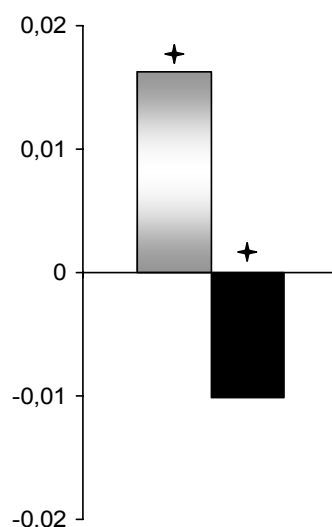


Рис. 3. Половые различия в суммарной реактивности межполушарной когерентности между гомологичными отведениями бета1-ритма. Одинаковыми значками обозначены достоверные различия между соответствующими показателями

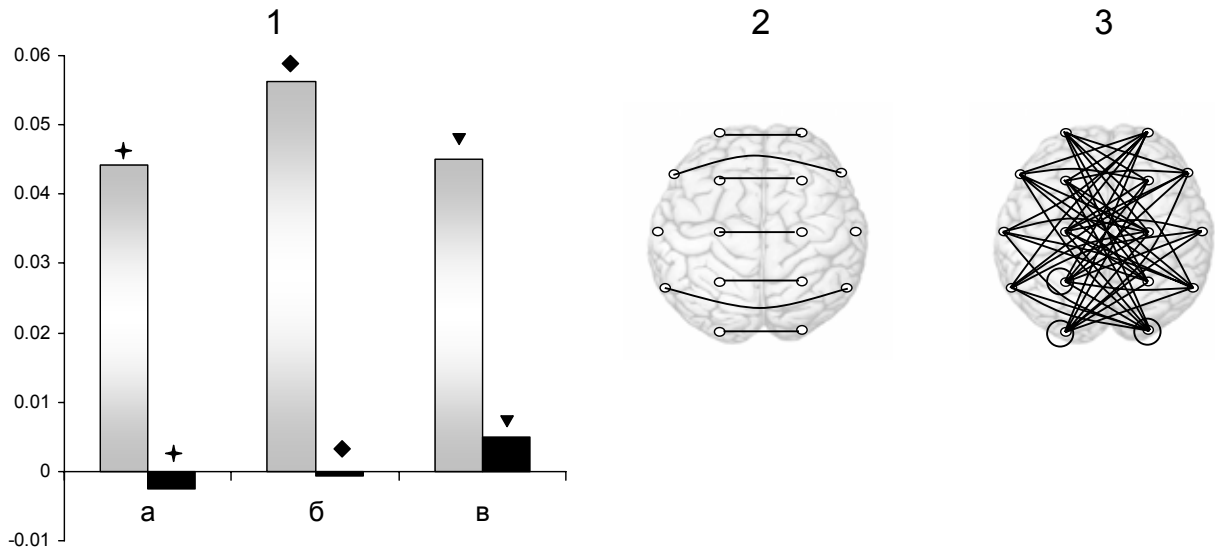


Рис. 4. Половые различия в суммарной реактивности когерентности (1) и топографические особенности изменений межполушарной когерентности бета2-ритма между гомологичными (2) и негомологичными отведениями (3)

1 — а — реактивность внутриполушарной когерентности, б — межполушарной между гомологичными отведениями, в — между негомологичными; светлые столбики — реактивность когерентности у мужчин, темные — у женщин, одинаковыми значками обозначены достоверные различия между соответствующими показателями. 2, 3 — черными сплошными линиями обозначены пары отведений, в которых отмечены достоверные половые различия, черными кругами отмечены «узлы» когерентных связей

тор ПОЛ ($F(1,24)=9,70$; $p=0,005$) и взаимодействие ПОЛ x ПАРА ($F(55,1320)=3,90$; $p=0,00000$; с поправкой Гринхауза-Гейссера $p=0,003$). У мужчин при выполнении образной творческой задачи суммарная реактивность межполушарной когерентности была выше, чем у женщин, топографические особенности половых различий были связаны с «узлами» когерентных связей в отведениях P3, O1 (Рис. 4 (1, в; 3)). Для изменений межполушарной когерентности между гомологичными отведениями была обнаружена значимость фактора ПОЛ ($F(1,24)=11,49$; $p=0,002$) и взаимодействия факторов ПОЛ x ПАРА ($F(7,168)=4,4$; $p=0,0002$; с поправкой Гринхауза-Гейссера $p=0,008$). Реактивность когерентности между гомологичными отведениями полушарий была выше у мужчин, и наибольшие различия отмечены для париетальных и окципитальных отведениями (Рис. 4 (1, б; 2)).

Обсуждение результатов

Анализ поведенческих данных не выявил половых различий в эффективности выполнения образной творческой задачи. Полученные данные отличаются от результатов ряда работ, в которых показано преимущество лиц женского пола при выполнении тестов образной креативности [16, 17]. Можно предположить, что наблюдаемые противоречия связаны с разным возрастом испытуемых: дети и подростки в приведенных исследованиях, тогда как наши испытуемые — взрослые. Другой причиной различий в результатах может быть разный уровень способностей испытуемых. Показано, что у подростков с высоким

уровнем успеваемости нет половых различий при выполнении тестов образной креативности [8]. Поскольку нашими испытуемыми были студенты, то по сравнению с недифференцированной выборкой их можно считать группой с высоким уровнем способностей.

Как видно из результатов нашей работы, половые различия в изменениях когерентности ЭЭГ, связанных с выполнением образной творческой задачи, обнаружены на частотах тета1- и бета1,2-ритмов.

В тета1-частотном диапазоне женщины показывают большую, чем у мужчин, кооперацию нейронных ансамблей в левом полушарии и большее взаимодействие фронто-темпоральных отделов левого полушария со средне-фронтальными и центрально-париетальными областями правого полушария. Можно предположить, что в процессе генерации образов мужчины и женщины используют разные стратегии. Показано, что ментальные образы могут формироваться двумя различными способами [19]. В одном случае, используется описание относительного расположения частей объекта, а в другом, — пространственно-метрические соотношения между его частями. Авторы полагают, что эти описания пространственных соотношений хранятся в виде символических репрезентаций и поэтому более доступны левому полушарию. Также было показано, что при использовании вербальных стратегий при выполнении задачи на построение фигур из заданных элементов происходит смещение фокусов активности на частотах тета-диапазона в левое полу-

шарие [2]. Сопоставление этих фактов позволяет предположить, что женщины решают образную творческую задачу с использованием символических репрезентаций. Кроме того, при конструировании образа у женщин наблюдается большая, чем у мужчин, кооперация между фронтальными областями левого полушария и правыми центро-париетальными отделами коры. Возможно, что процесс создания образа у женщин опосредуется в большей мере контролируемыми механизмами внимания и планирования ответа. Как известно, эти функции связаны с лобными отделами мозга. Кроме того, показана роль лобной коры в модулировании задних кортикальных регионов путем динамической фильтрации или селекции irrelevantной информации [9]. Следует отметить, что наблюдаемые половые различия обнаружены в тета1-диапазоне. Как установлено ранее, увеличение тета1-когерентности, в первую очередь, связано с процессами памяти [7, 18]. Таким образом, можно предположить, что большая кооперация корковых областей в левом полушарии и левых фронтальных отделов с центро-париетальными областями правого полушария у женщин отражает процессы извлечения и ментального сканирования памяти при конструировании образов [14].

Выраженные половые различия в изменениях когерентности получены также в бета-частотных диапазонах. В бета1 и 2-частотных диапазонах мужчины по сравнению с женщинами демонстрируют большую кооперацию корковых областей. Эти данные, в общем, согласуются с полученными ранее результатами, показавшими большую когерентность биопотенциалов бета2-диапазона при успешном творческом мышлении у мужчин по сравнению с женщинами [13]. Хотя усиление когерентности имеет генерализованный характер, рассмотрение наиболее достоверных связей позволяет выделить «узлы» различий когерентных связей преимущественно в левых парието-окципитальных областях коры.

В своих работах Пульвермюллер и соавторы пришли к выводу, что высокочастотный бета2 ритм является индикатором процессов, обеспечивающих объединение отдельных характеристик стимулов в единое целое [11]. Известно также, что генерация образов связана со зрительной ассоциативной корой [14]. Можно предположить, что усиление длиннодистантных внутри- и межполушарных когерентных связей у мужчин способствует объединению множественных ассоциаций, возникающих в связи с представленным фрагментом.

На основании проведенного исследования можно заключить, что процесс образного творческого мышления характеризуется специфичным

для каждого пола паттерном функциональной интеграции корковых областей, которая обеспечивается синхронизацией нейронных ансамблей, функционирующих преимущественно на частотах тета- и бета-ритмов ЭЭГ.

*Работа выполнена при поддержке
гранта РГНФ N05-06-06234a
«Структура внимания как фактор
креативного мышления»*

EEG COHERENCE CHANGES DURING PERFORMANCE OF FIGURAL CREATIVE TASK IN MALES AND FEMALES

I.V. Tarasova, N.V. Volf, O.M. Razumnikova

The study investigated sex-related differences in cortical activity during performance of figural creative task: generating visual images on the base of presented fragments. Additionally, we interested whether there are sex differences in the influence of instruction «to create unique images» on the creativity scores and EEG-patterns. Twenty six students (13 males and 13 females) participated in the study. EEG was recorded from 16 sites. EEG coherence was computed for six frequency ranges between 4-30 Hz. Under «to create unique images» instruction fluency score decreased in both groups while originality scores insignificantly increased. Sex differences in task induced changes of coherence were found in the theta1 and beta2 bands and were independent of instruction. In the theta1 band females displayed more cooperation between areas of the left hemisphere and over the left frontal regions paired with right posterior regions in comparison to males. In the beta2 frequency band diffuse intra- and interhemispheric coherence increases were found. Significant interhemispheric coherence increases concentrated in the P3, O1 and F4 electrode sites. Thus, our results indicate that brain mechanisms engaged by males and females during creative figural thinking are different.

Литература

1. Вольф, Н.В. Половые различия функциональной организации процессов полушарной обработки речевой информации / Н.В. Вольф. — Ростов-на-Дону, 2000. — 240 с.
2. Иваницкий, А.М. Исследование динамики внутрикоркового взаимодействия в процессе мыслительной деятельности / А.М. Иваницкий, И.М. Подклетнова, Г.В. Таратынова // Журн. высш. нерв. деят. — 1990. — Т.40. — №2. — С. 230-237.
3. Исследование мозговой организации творчества. Сообщение 3. Активация мозга по данным анализа локального мозгового кровотока и ЭЭГ / Н.П. Бехтерева,

С.Г. Данько, М.Г. Старченко, и др. // Физиология человека. — 2001. — Т. 27. — №4. — С. 6-14.

4. *Разумникова, О.М.* Способы определения креативности / О.М. Разумникова. — Новосибирск, 2002. — 35 с.

5. *Теплов, Б.М.* Избранные труды. В 2-х томах / Б.М. Теплов. — М., 1985. — 385 с.

6. *Baer, J.* Gender differences in the effects of extrinsic motivation on creativity / J. Baer // J. Creat. Behav. — 1998. — Vol. 32. — P. 18-37.

7. *Bhattacharya, J.* Shadows of artistry: cortical synchrony during perception and imagery of visual art / J. Bhattacharya, H. Petsche // Brain Res. Cogn. Brain Res. — 2002. — Vol. 13. — P. 179-186.

8. *DeMoss, K.* Gender, creativity, depression, and attributional style in adolescents with high academic ability / K. DeMoss, R. Milich, S. DeMers // J. Abnorm. Child. Psychol. — 1993. — Vol. 21. — P. 455-467.

9. *Goldman-Rakic, P.S.* The circuitry of working memory revealed by anatomy and metabolic imaging / P.S. Goldman-Rakic, H.R. Friedman // Frontal lobe function and dysfunction / H.S. Levin, H.M. Eisenberg, A.L. Benton (Eds.). — Oxford University Press, New York, Oxford, 1991. — P. 72-91.

10. *Halpern, D.F.* Sex Differences in Cognitive Abilities, 3rd Edition / D.F. Halpern. — Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Mahwah, New Jersey, London. — 2000. — 420 p.

11. High-frequency brain activity: Its possible role in attention, perception and language processing / F. Pulvermüller, N. Birbaumer, W. Lutzenberger, et al. // Progress Neurobiol. — 1997. — Vol. 52. — P. 427-445.

12. Non-linear dynamical coupling between different brain areas during evoked emotions: An EEG investigation / L.I. Aftanas, N.V. Lotova, V.I. Koshkarov, et al. // Biol. Psychol. — 1998. — Vol. 48. — P. 121-138.

13. *Razumnikova, O.M.* Gender differences in hemispheric organization during divergent thinking: an EEG investigation in human subjects / O.M. Razumnikova // Neurosci. Lett. — 2004. — Vol. 362. — P. 193-195.

14. *Roland, P.E.* Visual imagery and visual representation / P.E. Roland, B. Gulyas // Trends Neurosci. — 1994. — Vol. 17 — P. 281-287.

15. *Shah, P.* The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach / P. Shah, A. Miyake // J. Exp. Psychol. Gen. — 1996. — Vol. 125 — P. 4-27.

16. *Shutiva, C.L.* Creativity differences between reservation and urban American Indians / C.L. Shutiva // J. American Indian Education — 1991. — Vol. 31 — P. 33-52.

17. *Stephens, K.R.* Gender differences in creativity among american indian third and fourth grade students / K.R. Stephens, F.A. Karnes, J. Whorton // J. American Indian Education. — 2001. — Vol. 40 — P. 57-65.

18. Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during working memory tasks in humans / J. Sarnthein, P. Rappelsberger, G.L. Shaw, et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. — 1998. — Vol. 95 — P. 7092-7096.

19. Two types of image generation: evidence for left and right hemisphere process / S.M. Kosslyn, V. Maljkovic, S.E. Hamilton, et al. // Neuropsychologia. — 1995. — Vol. 33. — P. 1485-1510.