

УДК 612.825; 616:613.6

**ЛЮДИ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ ОБЩЕГО ИНТЕЛЛЕКТА
ДЕМОНСТРИРУЮТ БОЛЕЕ ВЫРАЖЕННУЮ ДЕСИНХРОНИЗАЦИЮ
МЮ-РИТМА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА ДЕЙСТВИЯМИ ДРУГИХ**

Аликина М. А., Махин С. А., Павленко В. Б.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: alikina93@gmail.com*

У 65 взрослых испытуемых с различным уровнем общего интеллекта изучали реактивность верхнего и нижнего частотных компонентов альфа-ритма в центральных, фронтальных и парietальных отведениях ЭЭГ при наблюдении за выполнением круговых движений компьютерной мышью другим человеком. Десинхронизация низкочастотного альфа-ритма была максимальной в группе людей с высоким уровнем интеллекта и минимальной – с низким. Для высокочастотного альфа-ритма значимая десинхронизация имела место лишь в выборке с высокими показателями интеллекта и менее всего была выражена в выборке со средним уровнем интеллекта.

Ключевые слова: интеллект, матрицы Равена, электроэнцефалограмма, альфа-ритм, мю-ритм.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ возможных коррелятов между индивидуальными особенностями паттерна ЭЭГ и уровнем развития интеллекта является одним из актуальных направлений исследований, посвященных поиску нейробиологических механизмов, лежащих в основе формирования когнитивных способностей у человека. К настоящему времени примеры наличия корреляционных зависимостей между индивидуальным уровнем развития интеллекта и различными параметрами ЭЭГ-активности продемонстрированы уже во многих исследованиях. Можно выделить две группы характеристик ЭЭГ, для которых были обнаружены такого рода соотношения: во-первых, показатели амплитуды ритмов, во-вторых, различные параметры коннективности ЭЭГ, такие, например, как когерентность. Мощность ЭЭГ, в целом, положительно коррелирует с уровнем общего интеллекта [1, 2]. В частности, данная закономерность имеет место для частотных диапазонов, соответствующих альфа- и бета-ритмам [3, 4]. В случае низкочастотной ЭЭГ (дельта- и тета-ритмы) более высоким показателям интеллекта соответствовала сниженная амплитуда данных ритмов в выборке детей, демонстрирующих трудности в обучении [1], чего, однако, не наблюдалось в выборке типично развивающихся детей [5]. Показана более сильная связь между интеллектом и мощностью высокочастотного альфа-ритма (10–12 Гц), по сравнению с низкочастотным (8–9 Гц) [6, 7].

Одним из объектов в исследованиях нейрофизиологических коррелятов интеллекта может выступать активность системы зеркальных нейронов в связи с представлениями о ее роли в процессах социального научения через подражание [8, 9]. Опосредуя взаимосвязь между собственными действиями человека и его восприятием действий других, оптимальное развитие данной системы должно быть важным фактором формирования общего интеллекта. Популярна гипотеза о том, что активность сенсомоторного (мю-) ритма ЭЭГ можно рассматривать в качестве одного из функциональных маркеров процессов активации «зеркальной» системы мозга [10, 11]. Считается, что данный ритм отражает процессы активации и торможения в соматосенсорных и моторных корковых проекциях. В частности, при осуществлении движений правой рукой максимальная десинхронизация мю-ритма регистрируется в центральном отведении С3 [12]. Полагают, что связанная с событием десинхронизация, вызванная процессами таламокортикальной стимуляции, является надежным коррелятом активации нейронных ансамблей [13]. Люди, имеющие более высокие показатели интеллекта, как правило, демонстрируют более выраженную корковую активацию в задачах, предполагающих обработку визуо-пространственной информации [14].

Ранее нами уже была выявлена взаимосвязь между модуляциями мю-ритма в процессе наблюдения за действиями других и уровнем когнитивного развития у детей [15]. Группой других исследователей опубликованы данные о корреляции между уровнем невербального интеллекта и силой десинхронизации мю-ритма при осуществлении целенаправленных движений у взрослых испытуемых [16]. Целью настоящего исследования стал поиск возможных взаимосвязей между уровнем общего интеллекта и особенностями десинхронизации альфа-ритма при зрительном восприятии целенаправленных движений другого человека взрослыми испытуемыми.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 65 здоровых взрослых испытуемых в возрасте от 18 до 30 лет (29 мужчин и 36 женщин). ЭЭГ регистрировалось при помощи 24-канального энцефалографа «Нейрон спектр – 3» (фирма «Нейрософт», Иваново) в диапазоне частот от 1 до 30 Гц. ЭЭГ-потенциалы отводились монополярно от фронтальных (F3, F4, Fz), центральных (C3, C4, Cz), затылочных (O1, O2), теменных (P3, P4, Pz), височных (T3, T4) локусов в соответствии с международной системой наложения электродов 10-20. В качестве референтного электрода служили объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Обработка сигналов производилась с помощью быстрых преобразований Фурье с последующим сглаживанием по методу Баттерворта.

В ходе эксперимента испытуемый и экспериментатор находились за расположенными рядом столами, экспериментатор справа. На каждом столе был размещен монитор и компьютерная мышь. Запись ЭЭГ производилась во время наблюдения за выполнением экспериментатором круговых движений правой рукой с помощью компьютерной мыши с переменной скоростью («Наблюдение»).

Контрольной ситуацией являлась зрительная фиксация на статичном видеоизображении компьютерной мыши в состоянии покоя («Фон»);

Проводился анализ реактивности альфа1- (8–10 Гц), альфа2- (10–12 Гц) частотных диапазонов ЭЭГ. Для оценки статистической значимости изменений в амплитуде ритмов в основных экспериментальных ситуациях относительно «фона» использовался дисперсионный анализ для повторных измерений (repeated measures ANOVA), который проводился отдельно для альфа1- и альфа2-частотных диапазонов. В качестве группирующих факторов были выбраны две переменные. Одна из них – «Локус»: 9 отведений ЭЭГ (Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4). Вторая – «Ситуация»: «Наблюдение» и «Фон». Для расчета статистической значимости эффектов супрессии альфа1- и альфа2-ритма в привязке отдельно к каждому из девятнадцати отведений использовался метод априорных контрастов (оценка F-распределения).

Уровень общего интеллекта у испытуемых оценивали с помощью теста «Стандартные прогрессивные матрицы Равена». Этот тест требует выявления отношений между абстрактными графическими элементами и является одним из традиционных инструментов для измерения фактора g интеллекта [17]. «Сырые» баллы, принимающие значение от нуля до 60, переводились в стандартизованную шкалу, имеющую для выборки взрослых испытуемых максимальную величину, равную 130 баллам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Психологическое тестирование с помощью методики «Стандартные прогрессивные матрицы Равена» показало, что среднее значение коэффициента интеллекта в выборке участников исследования составило 108,5 балла (стандартное отклонение 11,5 балла). Таким образом, значительная часть испытуемых находилась в диапазоне «нормального» уровня интеллекта. Значения коэффициента интеллекта варьировали в относительно широком диапазоне от 80 до 130 баллов.

С целью анализа особенностей реактивности альфа-ритма ЭЭГ в задаче на зрительное восприятие движений другого человека в зависимости от уровня общего интеллекта вся выборка была разделена на три группы. Первая группа включала 22 испытуемых, уровень интеллекта которых характеризовался как средний (IQ не превышал 102 балла); вторая группа состояла из 18 испытуемых с уровнем интеллекта выше среднего (103–120 баллов); в третью группу входили 25 человек с высокими оценками интеллекта (121–130 баллов).

Оценка силы десинхронизации альфа-ритма в выбранных отведениях ЭЭГ проводилась с помощью дисперсионного анализа отдельно для высокочастотного и низкочастотного диапазонов. В качестве внутрigrупповых факторов выступали экспериментальная ситуация («Ситуация»), локус ЭЭГ («Локус») и их взаимодействие («Ситуация» × «Локус»). Итоговые значения данного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1.
Результаты дисперсионного анализа различий в амплитуде альфа1- и альфа2-ритмов в зависимости от экспериментальной ситуации и локуса ЭЭГ

IQ	альфа1-ритм			альфа2-ритм		
	Ситуация	Локус	Ситуация × Локус	Ситуация	Локус	Ситуация × Локус
Низкий	F(1, 21) p; η^2	F(8, 168) p; η^2	F(8, 168) p; η^2	F(1, 21) p; η^2	F(8, 168) p; η^2	F(8, 168) p; η^2
	2,730	2,411	2,195	4,260	3,335	2,692
	0,113; 0,115	< 0,05; 0,103	< 0,05; 0,095	0,052; 0,169	< 0,05; 0,137	< 0,05; 0,114
Средний	F(1, 17) p; η^2	F(8, 136) p; η^2	F(8, 136) p; η^2	F(1, 17) p; η^2	F(8, 136) p; η^2	F(8, 136) p; η^2
	10,310	1,971	3,447	1,011	6,574	2,179
	< 0,05; 0,378	0,055; 0,104	< 0,001; 0,169	0,329; 0,056	< 0,001; 0,279	< 0,05; 0,114
Высокий	F(1, 24) p; η^2	F(8, 192) p; η^2	F(8, 192) p; η^2	F(1, 24) p; η^2	F(8, 192) p; η^2	F(8, 192) p; η^2
	26,365	6,268	10,421	15,843	10,807	6,459
	< 0,001; 0,523	< 0,001; 0,207	< 0,001; 0,303	< 0,001; 0,398	< 0,001; 0,310	< 0,001; 0,212

Примечание. «Локус»: ЭЭГ-отведения Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4. «Ситуация»: «Фон» – фиксация взгляда на статичном изображении и «Наблюдение» – наблюдение за движением.

Обнаружено, что для группы испытуемых со средним уровнем интеллекта значимое влияние на различия амплитуды альфа1- и альфа2-ритмов в экспериментальной и контрольной ситуациях оказывают фактор «Локус» и взаимодействие факторов «Локус» и «Ситуация». В группе с уровнем интеллекта выше среднего значимое влияние на различия амплитуды альфа1-ритма оказывают факторы «Ситуация» и взаимодействие ситуаций «Локус» и «Ситуация»; на различия амплитуды альфа2-ритма – факторы «Локус» и «Ситуация» x «Локус». На различия амплитуд альфа1- и альфа2-ритмов в группе испытуемых с высоким

уровнем интеллекта оказывали влияние как факторы «Локус» и «Ситуация», так и взаимодействие этих факторов. Максимальная десинхронизация альфа-ритма в обоих частотных диапазонах наблюдается в группе испытуемых с высоким уровнем общего интеллекта.

Чтобы оценить значимость супрессии амплитуды альфа-ритма в каждой группе испытуемых отдельно для каждого отведения ЭЭГ, использовался метод априорных контрастов. Величины падения амплитуды в процентах и статистическая значимость различий между «фоном» и «наблюдением» представлены на соответствующих рисунках ниже. В связи с ситуацией множественности сравнений, величина значимости различий корректировалась для каждого набора из девяти отведений в соответствии с поправкой Бонферрони умножением на 9. Статистически значимыми считались различия с величиной $p < 0,05$.

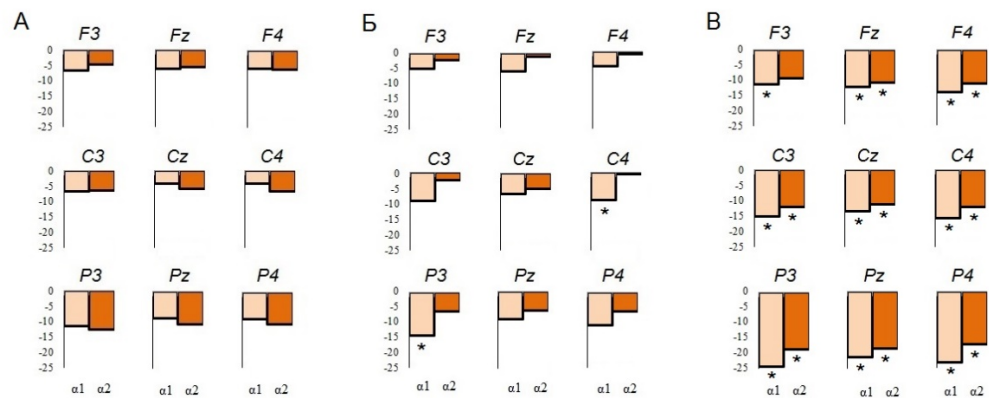


Рис. 1. Величины падения (%) амплитуды альфа1- и альфа2-ритмов при наблюдении за движениями руки экспериментатора относительно зрительной фиксации на статическом объекте в группах с средним (А), выше среднего (Б) и высоким (В) уровнями интеллекта в центральных, фронтальных и парietальных отведениях ЭЭГ. Символом «*» обозначены случаи значимых различий при $p < 0,05$.

Результаты анализа особенностей реактивности альфа-ритма в каждом из отведений отдельно в связи с уровнем интеллекта испытуемых позволяют нам утверждать, что наблюдение за целенаправленными движениями другого человека вызывает обширную десинхронизацию альфа-активности в обоих частотных диапазонах в первую очередь в группе с высоким уровнем общего интеллекта. При этом зарегистрированные эффекты не имеют выраженной полушарной латерализации. Десинхронизация альфа-активности в группе испытуемых со средним уровнем интеллекта достигала статистической значимости лишь в отведениях С4 и Р3 и только в случае низкочастотного компонента альфа-ритма. Группа испытуемых с низким интеллектом не продемонстрировала значимой десинхронизации.

Если рассматривать эффекты реактивности альфа-ритма центральной локализации как отражающие активность «зеркальной» системы мозга, то данные нашего исследования могут свидетельствовать в пользу гипотезы о том, что высокая чувствительность данной системы является одним из факторов успешного формирования показателей общего интеллекта. Представляет интерес тот факт, что низкочастотный компонент альфа-ритма характеризовался, в целом, более низкой реактивностью при переходе от группы с высоким интеллектом к группе со средним его уровнем и, далее, к группе с низким интеллектом. В случае высокочастотного альфа-ритма наблюдается менее однозначная картина. Минимальная его десинхронизация имеет место в выборке участников со средним уровнем общего интеллекта. Следует отметить, что выявленные нами закономерности не позволяют говорить в пользу гипотезы [6, 7] о более тесной связи между интеллектом и именно высокочастотным компонентом альфа-ритма, по крайней мере, в контексте его реактивности при восприятии действий других людей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Максимальная десинхронизация альфа-ритма в центральных, фронтальных и париетальных отведениях при наблюдении за циклическими круговыми движениями рукой с помощью компьютерной мыши регистрируется в выборке взрослых испытуемых, имеющих высокий уровень общего интеллекта, измеренного с помощью «Стандартных прогрессивных матриц Равена».
2. Различия в степени реактивности высоко- и низкочастотных компонентов альфа-ритма минимальны в случае выборок испытуемых с высоким и низким уровнем общего интеллекта. В группе со средним уровнем интеллекта значимо десинхронизируется лишь низкочастотный компонент альфа-ритма: в левополушарном теменном локусе P3 и правополушарном центральном локусе C4.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-015-00074.

Использовано оборудование ЦКП ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Marosi E. Broad band spectral parameters correlated with different I.Q. measurements / E. Marosi, H. Rodriguez, T. Harmony, G. Yanez, M. Rodriguez, J. Bernal, T. Fernandez, J. Silva, A. Reyes, V. Guerrero // Int. J. Neurosci. –1999. – Vol. 97, No 1–2. – P. 17–27.
2. Schmid R. G. Correlation between spectral EEG parameters and intelligence test variables in school-age children / R. G. Schmid, W. S. Tirsch, H. Scherb.// Clin Neurophysiol. – 2002. – Vol. 113, No 10. – P. 1647–1656.
3. Jausovec N. Differences in EEG current density related to intelligence / N. Jausovec, K. Jausovec // Brain Res. Cogn. Brain Res. – 2001. – Vol. 12, No 1. – P. 55–60.
4. Станкова Е. П. О связи индивидуальных характеристик электроэнцефалограммы с уровнем интеллекта / Станкова Е. П., Мышкин И. Ю. // Вестник Московского университета. – Серия 16: Биология. – 2016. – № 4. – С. 83–88.

5. Martin-Loeches M. Electrophysiology and intelligence: the electrophysiology of intellectual functions in intellectual disability / M. Martin-Loeches, J. Munoz-Ruata, L. Martinez-Lebrusant, G. Gomez-Jari // *J. Intellect. Disabil. Res.* – 2001. – Vol. 45, No 1. – P. 63–75.
6. Jausovec N. Differences in resting EEG related to ability / N. Jausovec, K. Jausovec // *Brain Topogr.* – 2000. – Vol. 12, No 3. – P. 229–240.
7. Jausovec N. Correlations between ERP parameters and intelligence: a reconsideration / N. Jausovec, K. Jausovec // *Biol. Psychol.* – 2000. – Vol. 55, No 2. – P. 137–154.
8. Blakemore S. J. The role of motor contagion in the prediction of action / Blakemore S. J., Frith C. // *Neuropsychologia.* – 2005. – Vol. 43. – P. 260.
9. Ohnishi T. The neural network for the mirror system and mentalizing in normally developed children: An fMRI study / T. Ohnishi, Y. Moriguchi, H. Matsuda, T. Mori, M. Hirakata, E. Imabayashi, K. Hirao, K. Nemoto, M. Kaga, M. Inagaki, M. Yamada, A. Uno // *Neuroreport.* – 2004. – Vol. 15. – P. 1483–1487.
10. Pineda J. A. Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development correspondence and control problems in mirroring? / J. A. Pineda // *Behav. Brain. Funct.* – 2008. – Vol. 4. – P. 47.
11. Cochin S. Observation and execution of movement: similarities demonstrated by quantified electroencephalography / S. Cochin, C. Barthelemy, S. Roux, J. Martineau // *Eur J. Neurosci.* – 1999. – Vol. 11. – P. 1839–1842.
12. McFarland D. J. Mu and beta rhythm topographies during motor imagery and actual movements / D. J. McFarland, L. A. Miner et al. // *Brain Topogr.* – 2000. – Vol. 12 (3). – P. 177–186.
13. Goldman R. I. Simultaneous EEG and fMRI of the alpha rhythm / R. I. Goldman, J. M. Stern et al. // *Neuroreport.* – 2002. – Vol. 13 (18). – P. 2487–2492.
14. Doppelmayr M. Intelligence related upper alpha desynchronization in a semantic memory task / M. Doppelmayr, V. Klimesch et al. // *Brain Res. Bull.* – 2005. – Vol. 66 (2). – P. 171–177.
15. Павленко В. Б. Связь реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ с психологическими характеристиками детей и взрослых / В. Б. Павленко, Ю. О. Дягилева, А. А. Михайлова [и др.] // *Журнал фундаментальной медицины и биологии.* – 2016. – № 2. – С. 30–36.
16. Anwar M. N., A possible correlation between performance IQ, visuomotor adaptation ability and mu suppression / M. N. Anwar, M. S. Navid, M. Khan, K. Kitajo // *Brain research.* – 2015. – Vol. 1603. – P. 84–93.
17. Анастаси А. Психологическое тестирование. 7-е изд. / Анастаси А., Урбина С. – СПб.: 2007. – 688 с.

**PEOPLE WITH HIGH LEVEL OF GENERAL INTELLIGENCE SHOW MORE
PRONOUNCED MU RHYTHM DESYNCHRONIZATION WHEN OBSERVING
ACTIONS PERFORMED BY OTHERS**

Alikina M. A., Makhin S. A., Pavlenko V. B.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: vpav55@gmail.com*

The patterns of reactivity of the EEG alpha rhythm during observation of actions were assessed in relation to the individual level of general intelligence. A sample of 65 adult subjects aged from 18 to 30 years (36 females) was divided into three groups according to their intelligence quotient measured by means of the Raven's standard progressive matrices. All the subjects underwent an EEG study when observing other people produce circular right-hand movements with a computer mouse. There have been measured the indices of alpha-rhythm desynchronization at the following EEG sites: C3, Cz, C4, F3, Fz, F4, P3, Pz, P4. The low frequency (8–10 Hz) and high frequency (10–12 Hz) alpha were

analyzed separately with the help of ANOVA with repeated measures. The within-subjects factors were the EEG locus (nine leads) and the situation (experimental and baseline ones). In the low intelligence group, the situation factor was not significantly influential, while in the medium intelligence group it showed significant effect for the low frequency alpha amplitude and in the high intelligence group – for both frequency components of the alpha rhythm. The test of contrasts (F-distribution) applied to each EEG site separately showed highly significant desynchronization for both low and high frequency alpha at the eight of nine EEG sites (excluding locus F3 for 10–12 Hz alpha) in the high intelligence group, mild but still significant desynchronization for low frequency alpha at P3 and C4 sites, and no significant attenuation of alpha in the low intelligence group. It is hypothesized that a positive association between a high intelligence level and a relatively high reactivity of alpha rhythm in central and adjacent frontal and parietal EEG loci in response to a human action observation might be interpreted in light of the concept of mirror neurons. It is thought to have a marker of its activation in the form of the mu rhythm attenuation when processing social actions produced by others. Thus, the higher the development of the mirror neuron system, the larger is individual capacity for potential intelligence development.

Keywords: intelligence, Raven's progressive matrices, electroencephalogram, alpha-rhythm, mu-rhythm.

References

1. Marosi E., Rodriguez H., Harmony T., Yanez G., Rodriguez M., Bernal J., Fernandez T., Silva J., Reyes A., Guerrero V. Broad band spectral parameters correlated with different I.Q. measurements, *Int. J. Neurosci.*, **97**(1–2), 17 (1999).
2. Schmid R. G., Tirsch W. S., Scherb H. Correlation between spectral EEG parameters and intelligence test variables in school-age children, *Clin. Neurophysiol.*, **113**(10), 1647 (2002).
3. Jausovec N., Jausovec K. Differences in EEG current density related to intelligence, *Brain. Res. Cogn. Brain. Res.*, **12**(1), 55 (2001).
4. Stankova E. P., Myshkin I. Yu. O svyazi individualnykh kharakteristik elektroentsefalogrammy s urovnem intellekta, *Bulletin of Moscow University. Series 16: Biology* **4**, 83 (2016).
5. Martin-Loeches M., Munoz-Ruata J., Martinez-Lebrusant L., Gomez-Jari G. Electrophysiology and intelligence: the electrophysiology of intellectual functions in intellectual disability, *J. Intellect. Disabil. Res.*, **45**(1), 63 (2001).
6. Jausovec N., Jausovec K. Differences in resting EEG related to ability, *Brain Topogr.*, **12**(3), 229 (2000).
7. Jausovec N., Jausovec K. Correlations between ERP parameters and intelligence: a reconsideration. *Biol. Psychol.*, **55**(2), 137 (2000).
8. Blakemore S. J., Frith C. The role of motor contagion in the prediction of action, *Neuropsychol.*, **43**, 260 (2005).
9. Ohnishi T., Moriguchi Y., Matsuda H., Mori T., Hirakata M., Imabayashi E., Hirao K., Nemoto K., Kaga M., Inagaki M., Yamada M., Uno A. The neural network for the mirror system and mentalizing in normally developed children: An fMRI study, *Neuroreport*, **15**, 1483 (2004).
10. Pineda J. A. Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development correspondence and control problems in mirroring? *Behav. Brain. Funct.*, **4**, 47 (2008).
11. Cochin S., Barthelemy C., Roux S. and Martineau J. Observation and execution of movement: similarities demonstrated by quantified electroencephalography, *Eur. J. Neurosci.*, **11**, 1839 (1999).
12. McFarland D. J., Miner L. A., et al., 2000. Mu and beta rhythm topographies during motor imagery and actual movements, *Brain Topogr.* **12**(3), 177 (2000).
13. Goldman R. I., Stern J. M., et al. Simultaneous EEG and fMRI of the alpha rhythm, *Neuroreport*. **13**(18), 2487 (2002).

14. Doppelmayr M., Klimesch W., et al. Intelligence related upper alpha desynchronization in a semantic memory task, *Brain Res. Bull.*, **66**(2), 171 (2005).
15. Pavlenko V. B., Dyagileva Yu. O., et al. Svyaz reaktivnosti sensomotornogo ritma EEG s psikhologicheskimi kharakteristikami detey i vzroslykh, *Jounral of fundamental medicine and biology*, **2**, 30 (2016).
16. Anwar M. N., Navid M. S., Khan M., Kitajo K. A possible correlation between performance IQ, visuomotor adaptation ability and mu suppression, *Brain research*, **1603**, 84 (2015).
17. Anastazi A. and Urbina S., Psychological testing (Prentice Hall, 2007)