

УДК 612.821

doi: 10.17223/19988591/56/5

**С.А. Махин, А.И. Кайда, Е.В. Эйсмонт, А.А. Михайлова, В.Б. Павленко**

*Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия*

### **Динамика частоты альфа-ритма ЭЭГ при слуховом восприятии действий и ее связь с уровнем интеллекта у детей 7–10 лет**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования, науки и молодежи Республики Крым в рамках научного проекта № 20-413-910001 p\_a.

*Исследована динамика индивидуальной частоты теменно-затылочного альфа-ритма (ИЧА) электроэнцефалограммы (ЭЭГ) у детей в возрасте 7–10 лет ( $n = 62$ ) при восприятии с закрытыми глазами звуков знакомых инструментальных действий (перемещение компьютерной мыши экспериментатором), а также ее связь с показателями развития вербального и невербального интеллекта. В исходной ситуации расслабленного бодрствования выявлены значимо более высокие значения ИЧА в группе девочек 9–10 лет по сравнению с группой 7–8 лет; различия между группами мальчиков не достигали статистической значимости. Установлено, что уровень развития невербального интеллекта положительно коррелировал ( $r = 0,28$ ) с ИЧА в совокупной выборке детей. Условие слухового восприятия знакомых инструментальных действий приводило к снижению ИЧА у большинства испытуемых, что в наибольшей степени выражено в группе девочек 9–10 лет. Дети, показавшие рост ИЧА в процессе звукового восприятия знакомых инструментальных действий, характеризовались более низким, по сравнению со сверстниками, уровнем развития невербального интеллекта. Результаты исследования указывают на наличие связи между особенностями реактивности индивидуальной частоты альфа-ритма и уровнем развития невербального интеллекта у детей младшего школьного возраста.*

**Ключевые слова:** индивидуальная частота альфа-ритма; слуховое восприятие действий; вербальный интеллект; невербальный интеллект

**Для цитирования:** Махин С.А., Кайда А.И., Эйсмонт Е.В., Михайлова А.А., Павленко В.Б. Динамика частоты альфа-ритма ЭЭГ при слуховом восприятии действий и ее связь с уровнем интеллекта у детей 7–10 лет // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2021. № 56. С. 81–97. doi: 10.17223/19988591/56/5

### **Введение**

Среди различных ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) альфа-ритм обладает наиболее устойчивыми индивидуальными характеристиками, прежде всего – показателями спектральной мощности и доминирующей частоты [1, 2]. Попытки выявить связь между интериндивидуальными различиями в доминирующей частоте альфа-ритма ЭЭГ человека (так называемая ин-

дивидуальная частота альфа-ритма, ИЧА) и эффективностью когнитивной переработки информации неоднократно предпринимались исследователями еще во второй половине прошлого века [3, 4]. К настоящему времени продемонстрирована возможность использования показателя ИЧА как предиктора меры успешности при выполнении человеком различных перцептивных [5, 6] и когнитивных [7] задач. Показано, что индивиды с относительно низкими значениями ИЧА обрабатывают информацию медленнее [8], а также менее успешны при выполнении задач на оценку памяти [4] и общего интеллекта [9] по сравнению с индивидами, имеющими относительно высокие показатели ИЧА.

ИЧА принято рассматривать как довольно устойчивый индивидуальный признак [10], обладающий высокой степенью наследуемости [11, 12] и тест-ретестовой надежности [13, 14]. Интериндивидуальные различия в ИЧА в состоянии покоя могут рассматриваться как эндофенотипические черты, которые связаны с различиями в механизмах активации мозга и генерации альфа-волн [15] и характеризуют предрасположенность к эффективной когнитивной деятельности [16]. Обращает на себя внимание также тот факт, что снижение ИЧА сопровождает процессы выраженного ослабления ряда когнитивных способностей в пожилом возрасте [17, 18].

Ряд исследователей указывает на возможность использования показателя ИЧА в качестве одного из информативных нейрофизиологических маркеров общей когнитивной эффективности мозга человека [9, 10]. Например, в исследованиях со взрослыми испытуемыми показано, что наибольшая успешность в обучении достигается у лиц, ЭЭГ которых отличается сочетанием высокой частоты и широкого диапазона альфа-активности [19]. При этом значимая связь между ИЧА и уровнем общего интеллекта обнаруживается лишь в группе людей позднего зрелого возраста [20].

Мы полагаем, что исследования особенностей взаимосвязи между индивидуальной эффективностью когнитивных процессов и параметрами осцилляций ЭЭГ в частотном диапазоне альфа-ритма более продуктивно осуществлять в контексте анализа характеристик реактивности ИЧА в процессе выполнения когнитивных задач различной степени сложности и модальной специфичности. Включение в анализ показателей общего интеллектуального развития подразумевает учет уже известных закономерностей между эффективностью когнитивной обработки и степенью вовлечения в нее релевантных мозговых процессов (так называемая теория нервной эффективности [21]), которые, в свою очередь, могут отражаться в динамике отдельных параметров ЭЭГ, в частности модуляциях ИЧА.

Цель данного исследования – изучение особенностей реактивности доминирующей частоты альфа-ритма у детей младшего школьного возраста в процессе слухового восприятия звуков, сопровождающих знакомые инструментальные движения, а также оценка ее возможной связи с показателями развития вербального и невербального интеллекта. Дополнительно оценено

возможное влияние на данные показатели и связь с ними таких факторов, как пол и возраст ребенка.

### Материалы и методики исследования

*Испытуемые и критерии их отбора.* В настоящем исследовании приняли участие дети младшего школьного возраста в диапазоне от 7 до 10 лет (62 человека), которые соответствовали специальным критериям отбора. Данный возрастной период выбран с целью ограничения возможного влияния на зависимые переменные (уровни вербального и невербального интеллекта) факторов, связанных с социальной ситуацией развития и психофизиологическими особенностями взросления. С целью изучения возможного влияния фактора возраста выборку участников дополнительно делили на две группы: 7–8 лет (24 мальчика, 10 девочек) и 9–10 лет (14 мальчиков, 14 девочек). Родителям участвующих в исследовании детей предоставлена актуальная информация, касающаяся целей и процедуры исследования. От родителей получено письменное согласие на участие их детей в эксперименте. Настоящее исследование соответствовало этическим принципам Хельсинкской декларации 1964 г. и одобрено этическим комитетом Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Основным критерий отбора испытуемых для дальнейшего анализа в рамках настоящего исследования – наличие нормального (или скорректированного до нормального) уровня зрения и слуха, предпочтение правой руки в работе с компьютерной мышью, а также достаточный уровень когнитивного развития (уровень общего интеллекта не менее 80 баллов). Дополнительные требования – наличие как минимум 20 секунд безартефактной записи ЭЭГ в рамках анализируемых этапов эксперимента, а также отсутствие статистических выбросов в анализируемых показателях.

*Процедура эксперимента.* В ходе эксперимента испытуемого и экспериментатора размещали в положении сидя за расположенными рядом рабочими местами (экспериментатор справа на расстоянии около 1,5 м). Перед каждым из них на столе находились монитор и компьютерная мышь (КМ). На экран монитора перед испытуемым выводили видеоизображение участка стола экспериментатора с КМ. Совокупность экспериментальных заданий включала в себя этапы (длительностью 30 с каждый) пассивной зрительной фиксации на видеоизображении неподвижной КМ, выполнения самостоятельных круговых движений с КМ, наблюдения за аналогичными движениями экспериментатора, имитации движений экспериментатора в режиме реального времени, периода отдыха при условии закрытых глаз, а также слухового восприятия характерных звуков, сопровождавших движения КМ экспериментатора (при условии закрытых глаз). С более детальным содержанием методики эксперимента можно ознакомиться в ранее опубликованных публикациях [22, 23].

В данной работе анализировали динамику ЭЭГ участников на этапах эксперимента, соответствующих двум заключительным ситуациям при условии закрытых глаз: расслабленного бодрствования (РБ) и слухового восприятия (СВ) знакомых движений с КМ, осуществляемых экспериментатором. Выбор именно этих двух этапов обусловлен следующими соображениями: во-первых, ожиданием того, что к моменту их достижения у участников уже должны сформироваться прочные слуховые ассоциации между выполнением экспериментатором инструментальных движений и сопровождающими их периодическими звуками трения КМ о рабочую поверхность стола и, во-вторых, относительной простотой выделения доминирующей частоты альфа-ритма в затылочно-теменных отведениях даже при условии открытых глаз. С целью сохранения устойчивого внимания к звуковым стимулам участникам предварительно давали задание подсчитать количество циклов вращения экспериментатором КМ, которые они воспринимали на слух.

*Регистрация ЭЭГ.* Запись, обработку и анализ ЭЭГ осуществляли по общепринятой методике с помощью автоматизированного комплекса, состоящего из электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-3» (фирма «Нейро-софт», Россия) и персонального компьютера. ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно от 19 электродов, стандартно расположенных по системе 10–20. В качестве референтного электрода использовали объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Частоты среза фильтров высоких и низких частот составляли соответственно 1,5 и 35 Гц, частота оцифровки ЭЭГ-сигналов – 250 Гц, эпохи анализа – 4 с (с перекрытием 50%). Сигналы обрабатывали с помощью быстрого преобразования Фурье. Для обработки данных использовали компьютерную программу WinEEG (фирма «Мицар», Россия). Артефакты удаляли с помощью встроенного в приложение метода независимых компонент с дополнительным визуальным контролем качества записи.

*Определение частоты альфа-ритма и ее реактивности.* Областью интереса в рамках настоящего исследования выступала активность латерально расположенных теменных (P3, P4) и затылочных (O1, O2) электродов, для которых рассчитывались показатели ИЧА в диапазоне частот 7–13 Гц (с помощью компьютерной программы «EEG-Mapping 3», программист Е.Н. Зинченко), усредненные по четырем указанным отведениям в совокупности для соответствующих этапов эксперимента. Реактивность частоты альфа-ритма определялась отдельно для каждого испытуемого как разница между значениями доминирующей частоты альфа-ритма в двух ситуациях: слухового восприятия инструментальных движений и расслабленного бодрствования (с закрытыми глазами). Положительные значения реактивности частоты указывали на ее рост в условиях слухового восприятия движений, а отрицательные – на ее падение.

*Уровень интеллекта.* Уровень общего интеллектуального развития участников оценен с помощью детского варианта теста Векслера (WISC)

[24] непосредственно в день проведения эксперимента. Методика состоит из 12 субтестов, по результатам выполнения которых рассчитывают уровни развития вербального и невербального интеллекта, а также интегральный балл общего интеллекта. Суммы первичных оценок переведены в стандартные баллы в соответствии с возрастными нормами для каждого участника исследования. В контексте настоящей работы проанализированы показатели вербального и невербального интеллекта отдельно.

*Статистическая обработка.* Собранные материалы обрабатывали в программном пакете StatSoft Statistica 12.0 с помощью стандартных методов описательной и индукционной статистики. Рассчитаны средние значения анализируемых показателей, а также соответствующие им среднеквадратические (стандартные) отклонения. Для оценки нормальности распределения использован W-критерий Шапиро–Уилка. Статистические выбросы определены с помощью критерия Граббса. Различия между уровнями анализируемых переменных оценены с помощью  $t$ -критерия Стьюдента для независимых выборок. Связь между показателями интеллекта и доминирующей частотой альфа-ритма оценена с помощью расчета коэффициентов корреляции Пирсона. Оценка значимости изменений в частоте альфа-ритма проведена с помощью многофакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями. Оценка связи между показателями реактивности частоты альфа-ритма и уровнями вербального и невербального интеллекта выполнена с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Данные в работе представлены в виде средней арифметической величины и стандартного отклонения ( $M \pm SD$ ).

### Результаты исследования

Усредненные по возрастной группе и полу показатели вербального и невербального интеллекта, а также индивидуальной частоты затылочно-теменного альфа-ритма в исследуемой выборке детей представлены в табл. 1.

Различия в ИЧА между участниками разного пола в младшей группе незначимы, при этом в группе детей в возрасте 9–10 лет у девочек данный показатель статистически значимо выше ( $t = -3,66$ ;  $p = 0,001$ ).

При сравнении детей одного пола в старшей группе мальчиков увеличение частоты альфа-ритма несущественное, а в группе девочек – статистически значимое ( $t = 2,32$ ;  $p = 0,03$ ).

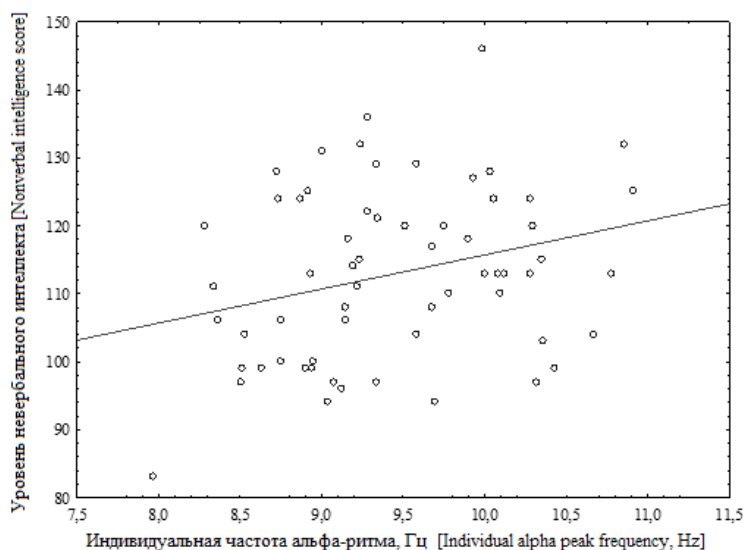
Статистически значимых различий в уровне развития вербального и невербального интеллекта детей разного пола и возраста не выявлено.

Корреляционный анализ взаимосвязи между ИЧА и степенью развития интеллекта позволил выявить статистически значимую положительную корреляцию с уровнем невербального интеллекта младших школьников ( $r = 0,28$ ;  $p = 0,028$ ). Корреляционное поле, отражающее данную взаимосвязь, представлено на рис. 1.

Таблица 1 [Table 1]

**Усредненные показатели индивидуальной частоты альфа-ритма  
и уровней развития вербального и невербального интеллекта  
в группах детей разного пола и возраста**  
[Mean individual alpha peak frequency values and verbal and nonverbal intelligence  
scores in children grouped by gender and age] ( $M \pm SD$ )

| Показатель<br>[Indicator]                                      | Возраст, год [Age, years] |                    |                    |                    |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                                                | 7–8                       |                    | 9–10               |                    |
|                                                                | Мальчики<br>[Boys]        | Девочки<br>[Girls] | Мальчики<br>[Boys] | Девочки<br>[Girls] |
| Частота альфа-ритма, Гц<br>[Alpha peak frequency, Hz]          | 9,18 $\pm$ 0,54           | 9,45 $\pm$ 0,76    | 9,25 $\pm$ 0,61    | 10,11 $\pm$ 0,63   |
| Вербальный интеллект, балл<br>[Verbal intelligence score]      | 111,6 $\pm$ 14,6          | 109,9 $\pm$ 5,7    | 112,1 $\pm$ 14,0   | 114,4 $\pm$ 15,4   |
| Невербальный интеллект, балл<br>[Nonverbal intelligence score] | 112,3 $\pm$ 13,2          | 110,3 $\pm$ 11,9   | 110,4 $\pm$ 12,5   | 118,4 $\pm$ 12,2   |



**Рис. 1.** Взаимосвязь между индивидуальной частотой альфа-ритма и уровнем невербального интеллекта у детей 7–10 лет.

*Примечание.* По оси абсцисс отложены значения индивидуальной частоты альфа-ритма, Гц. По оси ординат – уровень развития невербального интеллекта, в баллах  
[Fig. 1. Correlation between individual alpha peak frequency and nonverbal intelligence score in children aged 7-10 years.

On the X-axis - Individual alpha peak frequency, Hz. On the Y-axis - Nonverbal intelligence score]

В ситуации слухового восприятия инструментальных движений относительно условия расслабленного бодрствования (с закрытыми глазами)

значение доминирующей частоты альфа-ритма в совокупной выборке испытуемых снижалось в среднем на  $0,13 \pm 0,28$  Гц. Значимость модуляций ИЧА в связи с анализируемыми экспериментальными условиями оценивали с помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями. Условие СВ инструментальных движений статистически значимо влияло на частоту альфа-ритма ( $F_{1,58} = 16,79; p < 0,001$ ) как в качестве основного фактора, так и при его взаимодействии с фактором пола ( $F_{1,58} = 7,61; p = 0,008$ ), а также при взаимодействии с факторами пола и возраста ( $F_{1,58} = 6,6; p = 0,013$ ).

По результатам индивидуальной оценки реактивности частоты альфа-ритма совокупную выборку детей дополнительно разделили на подгруппы в соответствии с характером модуляций частоты альфа-ритма: тех, у кого частота альфа-ритма росла более чем на 0,1 Гц (подгруппа роста частоты альфа-ритма), тех, у кого частота альфа-ритма падала более чем на 0,1 Гц (подгруппа падения частоты альфа-ритма), а также тех, у кого частота альфа-ритма изменялась несущественно, в пределах  $\pm 0,1$  Гц (подгруппа стабильной частоты альфа-ритма).

Усредненные значения сдвига доминирующей частоты альфа-ритма в ситуации СВ во всех подгруппах, а также количество детей в каждой из них с определенным типом реактивности частоты альфа-ритма представлены в табл. 2.

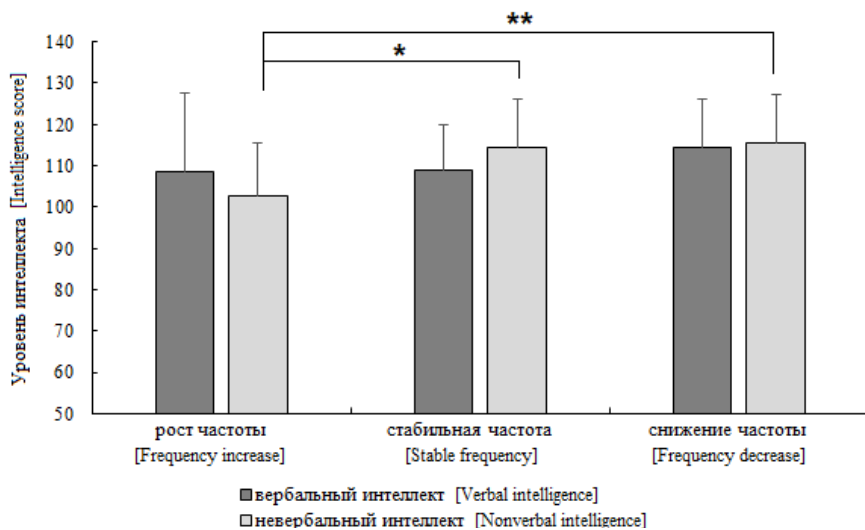
Таблица 2 [Table 2]

**Показатели сдвига индивидуальной частоты альфа-ритма в ситуации слухового восприятия инструментальных движений относительно условия спокойного бодрствования в группах детей разного пола и возраста**  
**[Individual alpha peak frequency shifts under condition of the auditory perception of instrumental movements relative to the condition of wakeful rest in children grouped by gender and age] ( $M \pm SD, n$ )**

| Показатель<br>[Indicator]                                                                                  | Возраст, год [Age, years] |                    |                    |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                                                                                            | 7–8                       |                    | 9–10               |                    |
|                                                                                                            | Мальчики<br>[Boys]        | Девочки<br>[Girls] | Мальчики<br>[Boys] | Девочки<br>[Girls] |
| Средний сдвиг частоты альфа-ритма, Гц<br>[Mean shift value for alpha rhythm frequency, Hz]                 | $-0,11 \pm 0,23$          | $-0,12 \pm 0,25$   | $0,02 \pm 0,33$    | $-0,34 \pm 0,2$    |
| Рост частоты альфа-ритма, количество человек<br>[Increased alpha rhythm frequency, number of subjects]     | 2                         | 5                  | 4                  | 0                  |
| Стабильная частота альфа-ритма, количество человек<br>[Stable alpha rhythm frequency, number of subjects]  | 6                         | 2                  | 5                  | 1                  |
| Снижение частоты альфа-ритма, количество человек<br>[Decreased alpha rhythm frequency, number of subjects] | 13                        | 6                  | 5                  | 13                 |

Сравнительная гистограмма показателей вербального и невербального интеллекта в подгруппах с разным типом реактивности частоты альфа-ритма в ситуации СВ представлена на рис. 2.

По причине относительно низкого числа испытуемых с определенным типом реактивности частоты альфа-ритма в отдельных подгруппах, выделенных на основе возраста и пола участников, дальнейший анализ взаимосвязей между модуляциями частоты альфа-ритма и интеллектуальным развитием детей проводили без учета факторов пола и возраста.



**Рис. 2.** Средние показатели уровня развития вербального и невербального интеллекта в подгруппах детей, демонстрирующих разный тип реактивности частоты альфа-ритма в ситуации слухового восприятия инструментальных движений.

*Примечание.* На оси абсцисс указан тип модуляций частоты альфа-ритма в ответ на слуховое восприятие инструментальных движений; на оси ординат обозначен уровень развития интеллекта, в баллах; \* – статистически значимые различия при  $p < 0,05$ ; \*\* – статистически значимые различия при  $p < 0,01$

[Fig. 2. Mean values of verbal and nonverbal intelligence levels in children grouped by different types of individual alpha peak frequency reactivity under condition of the auditory perception of instrumental movements. On the X-axis - Alpha frequency modulation type in response to the auditory perception of instrumental movements.

On the Y-axis - Intelligence score. \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ]

Однофакторный дисперсионный анализ, выполненный для показателей вербального и невербального интеллекта (отдельно для каждого типа интеллекта) у детей, относящихся к подгруппам с разным характером реактивности частоты альфа-ритма, позволил выделить значимые различия только в уровне невербального интеллекта ( $F_{2,59} = 4,95$ ;  $p = 0,01$ ).

Расчет контрастов ( $F$ -статистика) выявил статистически значимо более низкие показатели невербального интеллекта в подгруппе детей, продемонстрировавших в ситуации СВ рост частоты альфа-ритма, относительно

подгруппы со стабильными показателями частоты альфа-ритма ( $t = -2,4$ ;  $p = 0,019$ ), а также относительно подгруппы, в которой у детей частота альфа-ритма снижалась ( $t = -3,11$ ;  $p = 0,003$ ) (см. рис. 2).

### Обсуждение результатов исследования

При сопоставлении показателей доминирующей частоты теменно-затылочного альфа-ритма в ситуации РБ выявлены статистически значимо более высокие значения в группе девочек 9–10 лет по сравнению как со сверстниками мальчиками, так и с девочками из младшей группы в возрасте 7–8 лет. Данный факт может указывать на более высокую скорость роста индивидуальной частоты альфа-ритма в анализируемом возрастном диапазоне именно у девочек и, по сути, соответствует результатам, полученным некоторыми другими исследователями [25]. Таким образом, уже в возрасте 9–10 лет имеется возможность зарегистрировать статистически более высокие показатели пиковой частоты альфа-ритма у девочек при сопоставлении с мальчиками, предшествующие аналогично наблюдаемому соотношению во взрослой популяции [26, 27].

Важно подчеркнуть, что различия в степени развития вербального и невербального интеллекта в изучаемых подгруппах не достигали уровня статистической значимости, что указывает на достаточную однородность исследуемой выборки по этим показателям. А выявленная для совокупной выборки положительная корреляция между уровнем невербального интеллекта и доминирующей частотой альфа-ритма в ситуации РБ действительно может свидетельствовать о несколько более высокой эффективности невербальной когнитивной обработки информации у детей младшего школьного возраста с более высокими значениями индивидуальной частоты альфа-ритма. Отсутствие значимой связи между доминирующей частотой альфа-ритма и уровнем развития вербального интеллекта может говорить о том, что успешность овладения языковыми навыками в большей степени зависит от благоприятных условий развития и воспитания, чем от базовых психофизиологических характеристик индивида.

Особый интерес вызывает тот факт, что условие СВ звуков, сопровождающих знакомые инструментальные движения, приводило к статистически значимому снижению ИЧА в совокупной выборке испытуемых. Можно предположить, что активность в теменно-затылочных участках коры тормозилась в процессе аудиального восприятия, что, в свою очередь, приводило к снижению доминирующей частоты альфа-ритма в соответствующих отведениях ЭЭГ. С учетом уже полученных результатов можно говорить о наличии тренда на снижение активности в теменно-затылочных областях коры в процессе слухового узнавания и дальнейшего восприятия звуковых сигналов, свидетельствующих о действиях другого человека.

Анализируемая в настоящей работе экспериментальная ситуация относится к группе задач, гипотетически вызывающих активацию так называемой зеркальной системы мозга в ходе восприятия действий, осуществляемых другими [28], маркером активации которой могут выступать модуляции мю-ритма (разновидность альфа-ритма) в центральных и прилегающих к ним областях коры [29]. В частности, исследователи указывают на функциональную специфичность отдельных поддиапазонов мю-ритма, которые могут отражать активность разных нейросетевых осцилляторов [30]. Поэтому мы решили дополнительно учесть в анализе разнотипные модуляции частоты альфа-ритма, которые могут отражать особенности когнитивной обработки детьми экспериментальных стимулов. Условно определив варианты модуляций ИЧА в ситуации СВ как стабильные (в пределах  $\pm 0,1$  Гц относительно ситуации РБ), увеличивающиеся (рост более чем на  $0,1$  Гц) и снижающиеся (снижение более чем на  $0,1$  Гц), мы получили результаты, которые сложно трактовать однозначно по причине редкой встречаемости модуляций отдельного типа при определенных сочетаниях факторов. Однако более всего бросается в глаза факт практически однородного снижения значений ИЧА в подгруппе девочек в возрасте 9–10 лет, которая характеризовалась также и более высокими значениями исходной частоты теменно-затылочного альфа-ритма. Данный факт дополнительно свидетельствует о необходимости принимать во внимание возможность ускоренного роста частоты ЭЭГ у девочек уже к 9–10 годам, в частности, при исследовании закономерностей, показывающих связь между особенностями ЭЭГ-активности и показателями когнитивного развития детей младшего школьного возраста.

Предварительно обозначив тип модуляций ИЧА как независимую переменную для проведения однофакторного дисперсионного анализа различий в степени развития вербального и невербального интеллекта, мы обнаружили, что испытуемые, частота альфа-ритма которых в процессе аудиального восприятия инструментальных движений росла, характеризовались значительно более низким уровнем развития невербального интеллекта. Указанный показатель составил  $102,7 \pm 12,7$  балла против  $114,3 \pm 11,9$  в группе со стабильной ИЧА и  $115,5 \pm 11,7$  – в группе с падением ИЧА. Следует указать, что данная группа детей была относительно малочисленной (~18%), поэтому полученные результаты требуют дополнительного подтверждения. Реакция роста частоты теменно-затылочного альфа-ритма в ситуации СВ испытуемыми знакомых инструментальных движений могла быть признаком, например, актуализации зрительно-пространственных представлений, ассоциированных с выполнявшимися раньше действиями. Возможно, особенно в экспериментальной ситуации (испытуемых не информировали заранее о том, что в ситуации расслабления с закрытыми глазами им будут предъявлены звуковые стимулы) требовали от некоторых испытуемых необходимости лучше понять происходящее, обращаясь к более ярким зрительным образам. При этом могли активироваться дополнительные, более высокочастотные

нейронные осцилляторы диапазона альфа-ритма. Судя по полученным результатам, такие реакции свойственны детям с более низкой степенью развития невербального интеллекта, которая тем не менее находилась все еще в пределах среднего уровня данного показателя (90–109 баллов). В качестве альтернативного объяснения можно предположить, что выявленная закономерность может быть следствием разной скорости привыкания к слуховым стимулам у детей, имеющих разный уровень невербального интеллекта. Возможно, у детей с низкой скоростью привыкания, которая может быть следствием меньшей степени развития невербального интеллекта, слуховые стимулы, связанные с движением КМ, вызывали дополнительную активацию ЦНС. Как результат, частота альфа-ритма у таких детей нарастала. В то же время в выборке детей с более высоким интеллектом привыкание наступало раньше, следствием чего наблюдалось угасательное торможение ЦНС. В результате частота альфа-ритма у них либо в целом существенно не изменялась, либо даже снижалась.

Таким образом, можно заключить, что в период младшего школьного возраста у детей с относительно низкими показателями невербального интеллекта условие аудиального восприятия знакомых инструментальных движений приводит к значимой активации теменно-затылочных областей коры, маркером чего является рост доминирующей частоты альфа-ритма в соответствующих отведениях ЭЭГ. В целом же уровень невербального интеллекта может быть связан с индивидуальными особенностями развития совокупности нейросетевых осцилляторов неокортекса, что и проявляется в разнонаправленных реакциях изменения ИЧА.

### Выводы

1. В границах младшего школьного возраста индивидуальная частота теменно-затылочного альфа-ритма в ситуации расслабленного бодрствования у мальчиков различается незначительно между группами в возрасте 7–8 и 9–10 лет. У девочек данный показатель в старшей группе статистически значимо выше ( $p < 0,001$ ).

2. Для детей в возрасте 7–10 лет обнаружена статистически значимая положительная связь между индивидуальной частотой альфа-ритма в ситуации расслабленного бодрствования и уровнем развития невербального интеллекта. Связь с вербальным интеллектом не выявлена.

3. Условие слухового восприятия звуков, сопровождающих знакомые инструментальные действия, приводит к снижению частоты теменно-затылочного альфа-ритма у большей части детей младшего школьного возраста. В наибольшей степени это характерно для группы девочек 9–10 лет. Относительно небольшая доля детей (~18%), демонстрирующих в этих условиях рост частоты теменно-затылочного альфа-ритма, характеризуется более низкими по сравнению со сверстниками показателями невербального интел-

лекта. Таким образом, уровень невербального интеллекта может быть связан с индивидуальными особенностями развития нейросетевых осцилляторов, которые и проявляются у разных детей в разнонаправленных реакциях изменения частоты альфа-ритма.

### *Литература*

1. Базанова О.М. Вариабельность и воспроизводимость индивидуальной частоты альфа-ритма ЭЭГ в зависимости от экспериментальных условий // Журнал высшей нервной деятельности. 2011. № 61 (1). С. 102–111.
2. Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д. Устойчивость паттернов ЭЭГ человека в различных задачах: проблема аутентификации личности // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2020. Т. 70, № 1. С. 40–49.
3. Vogel W., Broverman D.M. Relationship between EEG and test intelligence: A critical review // Psychological Bulletin. 1964. Vol. 62, № 2. PP. 132–144.
4. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis // Brain Research Reviews. 1999. Vol. 29, № 2–3. PP. 169–195.
5. Cecere R., Rees G., Romei V. Individual differences in alpha frequency drive cross modal illusory perception // Current Biology. 2015. Vol. 25, № 2. PP. 231–235.
6. Samaha J., Postle B.R. The speed of alpha-band oscillations predicts the temporal resolution of visual perception // Current Biology. 2015. Vol. 25, № 22. PP. 2985–2990.
7. Klimesch W., Doppelmayr M., Hanslmayr S. Upper alpha ERD and absolute power: Their meaning for memory performance // Prog Brain Res. 2006. № 159. PP. 151–165.
8. Klimesch W., Doppelmayr M., Schimke H., Pachinger T. Alpha frequency, reaction time, and the speed of processing information // Journal of Clinical Neurophysiology. 1996. Vol. 13, № 6. PP. 511–518.
9. Grandy T.H., Werkle-Bergner M., Chicherio C., Lovden M., Schmiedek F., Lindenberger U. Individual alpha peak frequency is related to latent factors of general cognitive abilities // NeuroImage. 2013. № 79. PP. 10–18.
10. Grandy T.H., Werkle-Bergner M., Chicherio C., Schmiedek F., Lovden M., Lindenberger U. Peak individual alpha frequency qualifies as a stable neurophysiological trait marker in healthy younger and older adults // Psychophysiology. 2013. Vol. 50, № 6. PP. 570–582.
11. Malone S.M., Burwell S.J., Vaidyanathan U., Miller M.B., McGue M., Iacono W.G. Heritability and molecular genetic basis of resting EEG activity: A genome-wide association study // Psychophysiology. 2014. Vol. 51, № 12. PP. 1225–1245.
12. Smit C.M., Wright M.J., Hansell N.K., Geffen G.M., Martin N.G. Genetic variation of individual alpha frequency (IAF) and alpha power in a large adolescent twin sample // International Journal of Psychophysiology. 2006. Vol. 61, № 2. PP. 235–243.
13. Kondacs A., Szabo M. Long-term intra-individual variability of the background EEG in normal // Clinical Neurophysiology. 1999. Vol. 110, № 10. PP. 1708–1716.
14. Näpflin M., Wildi M., Sarnthein J. Test-retest reliability of resting EEG spectra validates a statistical signature of persons // Clinical Neurophysiology. 2007. Vol. 118, № 11. PP. 2519–2524.
15. Bazanova O.M., Vernon D. Interpreting EEG alpha activity // Neurosci Biobehav Rev. 2014. № 44. PP. 94–110.
16. Афтанас Л.И., Тумялис А.В. Индивидуальная частота  $\alpha$  осцилляций электроэнцефалограммы как нейрофизиологический эндофенотип эмоциональных predispositions // Вестник Российской академии медицинских наук. 2013. Т. 68, № 12. С. 69–79.
17. Hedden T., Gabrieli J.D.E. Insights into the ageing mind: A view from cognitive neuroscience // Nature Reviews Neuroscience. 2004. Vol. 5, № 2. PP. 87–96.

18. Salthouse T.A. Neuroanatomical substrates of age-related cognitive decline // *Psychological Bulletin*. 2011. Vol. 137, № 5. PP. 753–784.
19. Базанова О.М., Афтанас Л.И. Успешность обучения и индивидуальные частотно-динамические характеристики альфа-активности электроэнцефалограммы // *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2006. № 6. С. 30–33.
20. Белоусова Л.В., Разумникова О.М., Вольф Н.В. Возрастные особенности связи интеллекта и характеристик ЭЭГ // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2015. Т. 65, № 6. С. 699.
21. Neubauer A.C., Grabner R.H., Fink A., Neuper C. Intelligence and neural efficiency: further evidence of the influence of task content and sex on the brain-IQ relationship // *Brain Res Cogn Brain Res*. 2005. Vol. 25, № 1. PP. 217–225.
22. Eismont E.V., Makhin S.A., Bakunova A.V., Kaida A.I., Pavlenko V.B. Properties of the EEG  $\mu$  rhythm and its reactivity during the performance, observation, imitation, and auditory recognition of movements in children aged 4–14 years // *Human Physiology*. 2017. Vol. 43, № 3. PP. 274–279.
23. Кайда А.И., Махин С.А., Эйсмонт Е.В., Павленко В.Б. Возрастная динамика и топография реактивности индивидуального мю-ритма ЭЭГ у детей 4–14 лет // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2019. № 45. С. 106–127.
24. Филимонов Ю.И. Тест Д. Векслера. Диагностика структуры интеллекта (детский вариант): методическое руководство. СПб. : ИМАТОН, 2016. 106 с.
25. Soroko S.I., Shemyakina N.V., Nagornova Z.V., Bekshaev S.S. Longitudinal study of EEG frequency maturation and power changes in children on the Russian North // *International Journal of Developmental Neuroscience*. 2014. № 38. PP. 127–137.
26. Langrova J., Kremlacek J., Kuba M., Kubova Z., Szanyi J. Gender impact on electrophysiological activity of the brain // *Physiol. Res*. 2012. № 61. PP. 119–127.
27. Garces P., Vicente R., Wibral M., Pineda-Pardo J.A., Lopez M.E., Aurtenetxe S. Brain-wide slowing of spontaneous alpha rhythms in mild cognitive impairment // *Front. Aging Neurosci*. 2013. № 5. PP. 100.
28. Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д., Карпычев В.В., Мальцев В.Ю. Зеркальная система мозга при наблюдении, выполнении и представлении моторных задач – нейрофизиологическое отражение восприятия чужого сознания // *Журн. высш. нерв. деят.* им. И.П. Павлова. 2018. Т. 68, № 2. С. 204–215.
29. Fox N.A., Bakermans-Kranenburg M.J., Yoo K.H., Bowman L.C., Cannon E.N., Vanderwert R.E., Ferrari P.F. Assessing human mirror activity with EEG mu rhythm: A meta-analysis // *Psychol Bull*. 2016. Vol. 142, № 3. PP. 291–313.
30. Бушов Ю.В., Светлик М.В., Есипенко Е.А., Джафарова С.Р. Коровые взаимодействия и спектральные характеристики мю-ритма у человека при наблюдении, произнесении и мысленном воспроизведении неэмоционального слова // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2019. № 45. С. 91–105.

*Поступила в редакцию 30.04.2021 г.; повторно 20.11.2021 г.;  
принята 17.12.2021 г.; опубликована 29.12.2021 г.*

**Авторский коллектив:**

**Махин Сергей Анатольевич**, канд. биол. наук, доцент кафедры общей психологии и психофизиологии, факультет психологии, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3288-0343>

E-mail: [smakhin@inbox.ru](mailto:smakhin@inbox.ru)

**Кайда Анна Ивановна**, канд. биол. наук, м.н.с. кафедры общей психологии и психофизиологии, факультет психологии, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0208-8638>

E-mail: [kaydaanna@gmail.com](mailto:kaydaanna@gmail.com)

**Эйсмонт Евгения Владимировна**, канд. биол. наук., доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики, факультет биологии и химии, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1668-5345>

E-mail: [evgenija.eismont@mail.ru](mailto:evgenija.eismont@mail.ru)

**Михайлова Анна Андреевна**, канд. биол. наук, ст. преподаватель кафедры физиологии человека и животных и биофизики, факультет биологии и химии, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6386-9147>

E-mail: [anna.kulenkova@gmail.com](mailto:anna.kulenkova@gmail.com)

**Павленко Владимир Борисович**, д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой общей психологии и психофизиологии, факультет психологии, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3311-3688>

E-mail: [vpav55@gmail.com](mailto:vpav55@gmail.com)

**For citation:** Makhin SA, Kaida AI, Eismont YV, Mikhailova AA, Pavleko VB. The EEG alpha rhythm frequency dynamics during the auditory perception of actions and its relation to intelligence level in children aged 7-10 years. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2021;56:108-124. doi: 10.17223/19988591/56/5

**Sergey A. Makhin, Anna I. Kaida, Yevgeniya V. Eismont,  
Anna A. Mikhailova, Vladimir B. Pavlenko**

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation*

### **The EEG alpha rhythm frequency dynamics during the auditory perception of actions and its relation to intelligence level in children aged 7-10 years**

A number of studies have shown the possibility of taking the EEG individual alpha peak frequency (IAPF) as an informative neurophysiological indicator of the overall cognitive efficiency of the human brain. The main goal of the present work was to study the IAPF reactivity in primary school age children in the process of auditory perception of sounds accompanying familiar instrumental movements, and to measure its hypothesized correlation to the verbal and non-verbal intelligence development. The effects of gender and age of children on these interrelations have also been estimated.

We analyzed the data pertaining to the sample of primary school children aged 7-10 years (62 subjects). To assess possible age-related effects, the sample of children was additionally divided into two groups aged 7-8 years (24 boys and 10 girls) and 9-10 years (14 boys and 14 girls). During the experiment, the subject and the experimenter sat at the adjacent places, with a monitor and a computer mouse (CM) placed on the table in front of each of them. A video showing the CM section of the experimenter's table was displayed on the monitor screen in front of the subject. Experimental tasks comprised a series of stages (30 s each) including the conditions of a passive visual fixation on the video image of a motionless CM, execution of self-paced circular right-hand movements with CM, observation of similar movements produced by the experimenter, real-time imitation of the experimenter's movements, wakeful rest with eyes closed, and auditory perception of familiar sounds accompanying the CM movements produced by the experimenter (subject's eyes still closed). In the context of the present study, we analyzed the EEG dynamics in subjects during the two final stages with eyes closed: wakeful rest (WR) and auditory perception (AP) of familiar CM movements produced by the experimenter. The area of interest in the present study was the electrical activity of the laterally located parietal (P3, P4) and occipital (O1, O2)

EEG electrodes. IAPF values were calculated for each of them within 7-13 Hz frequency range and averaged for the sum of them for the two corresponding experimental stages. The reactivity of the alpha rhythm frequency was calculated for each subject separately as the difference between the values of the dominant alpha rhythm frequency in two situations: the auditory perception of instrumental movements and the wakeful rest. Positive values of the frequency reactivity indicated its increase under condition of auditory perception of movements, and negative values - its decrease. The intelligence development levels of the participants were assessed with the help of the Wechsler test for children (WISC). In the context of the present study, the verbal and non-verbal intelligence scores were analyzed separately.

We can conclude that in the primary school age children, the individual frequency of the parieto-occipital alpha rhythm in boys does not differ significantly between the groups aged 7-8 and 9-10 years. In girls, in the older group this indicator has a significantly higher value (*See Table 1*). For children aged 7-10 years, a significant positive correlation was identified between IAPF and non-verbal intelligence score. No connection with verbal intelligence has been found (*See Fig. 1*). The condition of auditory perception of sounds accompanying familiar instrumental actions evokes the decrease in the parieto-occipital alpha rhythm frequency in the majority of primary school age children, which is most characteristic for the groups of girls aged 9-10 years (*See Table 2*). A relatively small percentage of children (~ 18%) who demonstrated an increase in the frequency of the parieto-occipital alpha rhythm under condition of auditory perception of familiar instrumental actions, are characterized by lower scores of nonverbal intelligence, relative to their peers (*See Fig. 2*). Thus, nonverbal intelligence development can be related to the individual developmental characteristics of neural network oscillators, which can be reflected in children as multidirectional reactions in alpha rhythm frequency.

**Key words:** individual alpha peak frequency; auditory perception of instrumental actions; verbal intelligence; nonverbal intelligence; children.

*The paper contains 2 Figures, 2 Tables, and 30 References.*

**Funding:** The work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research and the Ministry of Education, Science and Youth of the Republic of Crimea in the framework of the scientific project No. 20-413-910001 p\_a.

*The Authors declare no conflict of interest.*

### References

1. Bazanova OM. Variabel'nost' i vosproizvodimost' individual'noy chastoty al'fa-ritma EEG v zavisimosti ot eksperimental'nykh usloviy [Individual alpha peak frequency variability and reproducibility in various experimental conditions]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti = Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2011;61(1):102-111. In Russian
2. Lebedeva NN, Karimova ED. Stability of human EEG patterns in different tasks: the person authentication problem. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2020;50(7):874-880. doi: [10.1007/s11055-020-00980-5](https://doi.org/10.1007/s11055-020-00980-5)
3. Vogel W, Broverman DM. Relationship between EEG and test intelligence: A critical review. *Psychological Bulletin*. 1964;62(2):132-144. doi: [10.1037/h0049067](https://doi.org/10.1037/h0049067)
4. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews*. 1999;29(2-3):169-195. doi: [10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)
5. Cecere R, Rees G, Romei V. Individual differences in alpha frequency drive cross modal illusory perception. *Current Biology*. 2015;25(2):231-235. doi: [10.1016/j.cub.2014.11.034](https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.11.034)
6. Samaha J, Postle BR. The speed of alpha-band oscillations predicts the temporal resolution of

- visual perception. *Current Biology*. 2015;25(22):2985-2990. doi: [10.1016/j.cub.2015.10.007](https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.10.007)
7. Klimesch W, Doppelmayr M, Hanslmayr S. Upper alpha ERD and absolute power: Their meaning for memory performance. *Prog Brain Res*. 2006;159:151-165. doi: [10.1016/S0079-6123\(06\)59010-7](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(06)59010-7)
  8. Klimesch W, Doppelmayr M, Schimke H, Pachinger T. Alpha frequency, reaction time, and the speed of processing information. *Journal of Clinical Neurophysiology*. 1996;13(6):511-518. doi: [10.1097/00004691-199611000-00006](https://doi.org/10.1097/00004691-199611000-00006)
  9. Grandy TH, Werkle-Bergner M, Chicherio C, Lovden M, Schmiedek F, Lindenberger U. Individual alpha peak frequency is related to latent factors of general cognitive abilities. *NeuroImage*. 2013;79:10-18. doi: [10.1016/j.neuroimage.2013.04.059](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.04.059)
  10. Grandy TH, Werkle-Bergner M, Chicherio C, Schmiedek F, Lovden M, Lindenberger U. Peak individual alpha frequency qualifies as a stable neurophysiological trait marker in healthy younger and older adults. *Psychophysiology*. 2013;50(6):570-582. doi: [10.1111/psyp.12043](https://doi.org/10.1111/psyp.12043)
  11. Malone SM, Burwell SJ, Vaidyanathan U, Miller MB, McGue M, Iacono WG. Heritability and molecular genetic basis of resting EEG activity: A genome-wide association study. *Psychophysiology*. 2014;51(12):1225-1245. doi: [10.1111/psyp.12344](https://doi.org/10.1111/psyp.12344)
  12. Smit CM, Wright MJ, Hansell NK, Geffen GM, Martin NG. Genetic variation of individual alpha frequency (IAF) and alpha power in a large adolescent twin sample. *International Journal of Psychophysiology*. 2006;61(2):235-243. doi: [10.1016/j.ijpsycho.2005.10.004](https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.10.004)
  13. Kondacs A, Szabo M. Long-term intra-individual variability of the background EEG in normal. *Clinical Neurophysiology*. 1999;110(10):1708-1716. doi: [10.1016/s1388-2457\(99\)00122-4](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(99)00122-4)
  14. Näpflin M, Wildi M, Sarnthein J. Test-retest reliability of resting EEG spectra validates a statistical signature of persons. *Clinical Neurophysiology*. 2007;118(11):2519-2524. doi: [10.1016/j.clinph.2007.07.022](https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.07.022)
  15. Bazanova OM, Vernon D. Interpreting EEG alpha activity. *Neurosci Biobehav Rev*. 2014;44:94-110. doi: [10.1016/j.neubiorev.2013.05.007](https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.05.007)
  16. Aftanas LI, Tumlalis AV. Individual alpha frequency EEG as neurophysiological endophenotype of affective predispositions. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk = Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2013;68(12):69-79. doi: [10.15690/vramn.v68i12.863](https://doi.org/10.15690/vramn.v68i12.863) In Russian
  17. Hedden T, Gabrieli JDE. Insights into the ageing mind: A view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*. 2004;5(2):87-96. doi: [10.1038/nrn1323](https://doi.org/10.1038/nrn1323)
  18. Salthouse TA. Neuroanatomical substrates of age-related cognitive decline. *Psychological Bulletin*. 2011;137(5):753-784. doi: [10.1037/a0023262](https://doi.org/10.1037/a0023262)
  19. Bazanova OM, Aftanas LI. Learnability and individual frequency characteristics of EEG alpha activity. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2006;6:30-33. In Russian
  20. Belousova LV, Razumnikova OM, Volf NV. Age effect on relationship between intelligence and EEG characteristics. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova = Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2015;65(6):699. doi: [10.7868/S0044467715060040](https://doi.org/10.7868/S0044467715060040) In Russian
  21. Neubauer AC, Grabner RH, Fink A, Neuper C. Intelligence and neural efficiency: further evidence of the influence of task content and sex on the brain-IQ relationship. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2005;25(1):217-225. doi: [10.1016/j.cogbrainres.2005.05.011](https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.05.011)
  22. Eismont EV, Makhin SA, Bakunova AV, Kaida AI, Pavlenko VB. Properties of the EEG  $\mu$  rhythm and its reactivity during the performance, observation, imitation, and auditory recognition of movements in children aged 4–14 years. *Human Physiology*. 2017;43(3):274-279. doi: [10.1134/S0362119717030057](https://doi.org/10.1134/S0362119717030057)
  23. Kaida AI, Makhin SA, Eismont EV, Pavlenko VB. Age dynamics and topography of an individual EEG  $\mu$  rhythm reactivity in children aged 4-14 years. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2019;45:106-127. doi: [10.17223/19988591/45/6](https://doi.org/10.17223/19988591/45/6) In Russian, English Summary

24. Filimonenko YuI. Test D. Vekslera. Diagnostika struktury intellekta (detskiy variant): metodicheskoe rukovodstvo [D. Wechsler test. Diagnostics of the intelligence structure (children version). Manual]. St. Petersburg: IMATON Publ.; 2016. 106 p. In Russian
25. Soroko SI, Shemyakina NV, Nagornova ZV, Bekshaev SS. Longitudinal study of EEG frequency maturation and power changes in children on the Russian North. *International Journal of Developmental Neuroscience*. 2014;38:127-137. doi: [10.1016/j.ijdevneu.2014.08.012](https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2014.08.012)
26. Langrova J, Kremlacek J, Kuba M, Kubova Z, Szanyi J. Gender impact on electrophysiological activity of the brain. *Physiol Res*. 2012;61:119-127. doi: [10.33549/physiolres.932421](https://doi.org/10.33549/physiolres.932421)
27. Garces P, Vicente R, Wibrál M, Pineda-Pardo JA, Lopez ME, Aurteneixe S. Brain-wide slowing of spontaneous alpha rhythms in mild cognitive impairment. *Front Aging Neurosci*. 2013;5:100. doi: [10.3389/fnagi.2013.00100](https://doi.org/10.3389/fnagi.2013.00100)
28. Lebedeva NN, Karimova ED, Karpichev VV, Maltsev VYu. The mirror system of the brain on observation, performance, and imagination of motor tasks – neurophysiological reflection of the perception of another person’s consciousness. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2019;49(6):714-722. doi: [10.1007/s11055-019-00791-3](https://doi.org/10.1007/s11055-019-00791-3)
29. Fox NA, Bakermans-Kranenburg MJ, Yoo KH, Bowman LC, Cannon EN, Vanderwert RE, Ferrari PF. Assessing human mirror activity with EEG mu rhythm: A meta-analysis. *Psychol Bull*. 2016;142(3):291-313. doi: [10.1037/bul0000031](https://doi.org/10.1037/bul0000031)
30. Bushov YuV, Svetlik MV, Esipenko EA, Dzhafarova SR. Cortical interactions and spectral characteristics of the mu rhythm in humans during observation, pronunciation and mental pronunciation of non-emotional words. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2019;45:91-105. doi: [10.17223/19988591/45/5](https://doi.org/10.17223/19988591/45/5) In Russian, English Summary

*Received 30 April, 2021; Revised 20 November, 2021;*

*Accepted 17 December, 2021; Published 29 December, 2021.*

#### Author info:

**Makhin Sergey A**, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Professor, General Psychology and Psychophysiology Department, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Vernadskogo Pr., Simferopol 295007, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3288-0343>

E-mail: [smakhin@inbox.ru](mailto:smakhin@inbox.ru)

**Kayda Anna I**, Cand. Sci. (Biol.), Junior Researcher, General Psychology and Psychophysiology Department, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Vernadskogo Pr., Simferopol 295007, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0208-8638>

E-mail: [kaydaanna@gmail.com](mailto:kaydaanna@gmail.com)

**Eismont Evgeniya V**, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Professor, Department of Human and Animal Physiology and Biophysics, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Vernadskogo Pr., Simferopol 295007, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1668-5345>

E-mail: [evgenija.eismont@mail.ru](mailto:evgenija.eismont@mail.ru)

**Mikhailova Anna A**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Lecturer, Department of Human and Animal Physiology and Biophysics, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Vernadskogo Pr., Simferopol 295007, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6386-9147>

E-mail: [anna.kulenkova@gmail.com](mailto:anna.kulenkova@gmail.com)

**Pavlenko Vladimir B**, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Head of General Psychology and Psychophysiology Department, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Vernadskogo Pr., Simferopol 295007, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3311-3688>

E-mail: [vpav55@gmail.com](mailto:vpav55@gmail.com)