

УДК 612.821

DOI 10.5281/ZENODO.20788545

ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ УСВОЕНИЯ РИТМА ПРИ ВОСПРИЯТИИ РИТМИЧЕСКОЙ ФОТОСТИМУЛЯЦИИ: ВЛИЯНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИЧНОСТИ

Мустафаев Э. Р., Тум М. В., Куличенко А. М., Гурнаков Н. В., Павленко В. Б.

**ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: vpav55@gmail.com**

Целью исследования являлся анализ изменения ЭЭГ у здоровых взрослых испытуемых при проведении сеанса ритмической фотостимуляции 5, 10 и 15 Гц, а также выявление влияния индивидуальных психологических особенностей человека на степень реакции усвоения ритма (РУР). В наибольшей степени РУР наблюдалась при частоте стимуляции 5 и 15 Гц. Выявлено, что у лиц со слабостью «Сверх-Я», низким самоконтролем и конформным поведением отмечается статистически значимое преобладание РУР на частоте 5 и 10 Гц во фронтальных, теменных и затылочных отведениях, что может свидетельствовать о снижении способности к произвольной регуляции восприятия и обработки сигналов. Результаты исследования подчёркивают важность учёта личностных черт при интерпретации особенностей РУР. Они также могут быть полезны для разработки персонализированных подходов к применению ритмической фотостимуляции в коррекционной работе.

Ключевые слова: ритмическая фотостимуляция, ЭЭГ, реакция усвоения ритма.

ВВЕДЕНИЕ

Первые исследования влияния ритмической фотостимуляции (РФС) на функциональную активность головного мозга проводились, начиная с середины прошлого века. РФС использовали как фактор выявления феномена фотосенситивности для диагностики эпилепсии при рутинной регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) [1]. В настоящее время метод РФС в сочетании с применением электроэнцефалографии также широко применяется в клинической диагностике эпилептических расстройств [2]. В этом случае РФС рассматривается как функциональная проба, которая основывается на предъявлении световых стимулов с определенными частотами [3].

С открытием в 1970-х годах искусственных стабильных функциональных связей и разработкой метода их физиологической активации, было высказано предположение, что реакцию усвоения ритма (РУР), развивающуюся в ЭЭГ при РФС можно использовать в качестве маркера восстановления состояния нервной системы при корректировке функциональных расстройств [4]. Изучая восприимчивость к РФС установили, что восприятие световых вспышек зависит не

только от степени анатомо-функциональных нарушений корковых и подкорковых структур мозга [5]. В. Д. Небылицыным было показано, что на характер РУР влияет также степень нестабильности процессов нейродинамики, уравновешенности процессов торможения и возбуждения [6]. Данным автором было установлено, что РУР на низких частотах более выражена у лиц с преобладанием высокого динамического торможения, а навязывание ритма на высоких частотах характерно для лиц с низким динамичным возбуждением.

В последние годы проводились работы по исследованию усвоения ритмов, соответствующих определенным частотным характеристикам световых мельканий. И. И. Коробейниковой и соавторами было определено, что временные параметры интеллектуальной деятельности взаимосвязаны с РУР при частоте стимуляции, приближенной к основному ритму ЭЭГ [7]. Зарипов К. А. и Нагорнова Ж. В. анализировали ЭЭГ у детей, проживающих в нескольких областях Севера России, и выявили, что у детей, живущих в разных географических регионах, фиксируется отличающаяся картина возрастного развития двух нейрофизиологических параметров: мощности ЭЭГ и способности мозга «подстраиваться» под ритмы фотостимуляции на высоких частотах [8]. В ряде работ упоминается зависимость проявления частотной модуляции ЭЭГ от особенностей РФС, в том числе от «несущей» частоты фотостимуляции, ее интенсивности и продолжительности [9, 10].

РФС нашла свое место в реабилитационной терапии: ее применяют для снижения уровня невротизма у людей с паническими атаками [11]. Также рекомендуют применение РФС для улучшения когнитивных функций пациентов с последствиями нарушений мозгового кровообращения. Исходят из того, что при проведении РФС сигналы воспринимаются зрительным анализатором с вовлечением в процесс корковых и лимбических структур, а также ретикулярной формации, что влияет на нейрогуморальную регуляцию организма в целом [12].

В тоже время, насколько нам известно, исследований по выявлению взаимосвязи между личностными характеристиками испытуемыми, определяемыми современными тест-системами, и особенностями РУР не проводились. Поэтому, целью нашего исследования являлся анализ изменения ЭЭГ у здоровых взрослых испытуемых при проведении сеанса РФС и выявление влияния индивидуальных психологических особенностей человека на степень РУР.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 80 студентов в возрасте от 18 до 45 лет (15 представителей мужского пола и 65 – женского; по национальной принадлежности 40 испытуемых отнесли себя к русским, 20 – к украинцам и 20 – к крымским татарам). Участники исследования были праворукими, имели нормальное или скорректированное до нормального зрение. По словам испытуемых, у них отсутствовали клинические нарушения, которые могли бы быть противопоказанием к применению РФС (фотосенситивность). Все процедуры, выполненные в исследовании, соответствуют этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года, ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. Они также были одобрены этическим комитетом ФГАОУ

ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» (г. Симферополь), протокол № 1 от 25 января 2022 г. Каждый участник исследования дал добровольное информированное согласие после получения разъяснений о потенциальных рисках и преимуществах, а также о характере предстоящего исследования.

Для оценки психологических особенностей испытуемых использовались 16-ти факторный личностный опросник Кеттелла (16PF, форма А) и опросник Спилбергера-Ханина для оценки тревожности (STAI). Участники исследования проходили тестирование в дистанционной форме на сайте «Психологические тесты онлайн» (<https://psytests.org>). Для выявления воздействия психологического фактора личности на ЭЭГ выделяли группы с крайними (более выраженными) значениями психологического параметра (выше или ниже медианы, причем значения, равные медиане, исключались).

Во время регистрации ЭЭГ участники исследования сидели в кресле в затемненной комнате в положении сидя в кресле. Регистрация ЭЭГ осуществлялась с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-5» (ООО «Нейрософт», Россия). ЭЭГ-потенциалы записывали монополярно в 19 отведениях (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, C3, C4, Cz, T3, T4, T5, T6, P3, P4, Pz, O1, O2) по международной системе «10–20». Референтным электродом служили объединенные контакты на мочках ушей. Частоты среза фильтров высоких и низких частот составляли, соответственно, 0,5 и 35 Гц, частота квантования – 500 Гц.

Для проведения РФС применяли светодиодный стимулятор «ФС-1», входящий в комплект электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-5», формирующий прямоугольные направленные импульсы света красного спектра. Стимулятор располагали на расстоянии 10–15 см от глазных орбит, направляя его свет в область глазных яблок. В соответствии с рекомендациями Международной федерации клинической нейрофизиологии (IFCN) [13] исследование проводилось в два этапа: регистрация ЭЭГ в состоянии покоя и при воздействии стимула, с общей продолжительностью процедуры не более семи минут. В состоянии покоя ЭЭГ записывали при открытых глазах (2 мин.) и закрытых глазах (3 мин.). Световая стимуляция осуществлялась в три этапа по 20 секунд, с частотами 5, 10 и 15 Гц, разделенными 7-секундными паузами.

Артефакты в ЭЭГ-записи устраняли при визуальном просмотре и с помощью метода анализа независимых компонент (Independent Components Analysis, ICA) в пакете EEGLAB toolbox (<http://www.sccn.ucsd.edu/eeglab/>). Для анализа изменения спектральной мощности различных частотных компонент в сигналах ЭЭГ использовался быстрый алгоритм преобразования Фурье. При этом анализ ЭЭГ проводили в полосах частот, соответствующие основным ритмам ЭЭГ: при стимуляции 5 Гц оценивали значения в полосе частот 4–6 Гц, т.е. в диапазоне тета-ритма; при 10 Гц – в полосе частот 9–11 Гц (в диапазоне альфа-ритма); при 15 Гц – в полосе частот 14–16 Гц (в диапазоне бета-ритма). Данные значения сравнивали с фоновыми при закрытых глазах и представили в виде процента отношения показателей ЭЭГ при РФС к фоновым значениям. Для сравнения значений мощности ЭЭГ у испытуемых разных групп ее показатели подвергали дисперсионному анализу с повторными измерениями (RM ANOVA) в пакете Statistica 12 с факторами: ГРУППА (две группы испытуемых с высокими и низкими показателями черты личности), ЛОКУС (19 отведений ЭЭГ), а также при их взаимодействии (ГРУППА × ЛОКУС).

Для оценки достоверности различий в каждом из 19 отведений после проведения дисперсионного анализа в качестве post-hoc теста использовали метод контрастов.

Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Степень усвоения ритма на разных частотах анализировали с помощью дисперсионного анализа с факторами СИТУАЦИЯ (фон и стимуляция) и ЛОКУС. Обнаружено статистически значимое влияние фактора СТИМУЛЯЦИЯ при воздействии на частотах 5 ($F_{1,74} = 36,79$ при $p < 0,001$), 10 ($F_{1,72} = 11,07$ при $p < 0,01$) и 15 Гц ($F_{1,69} = 73,24$ при $p < 0,001$). Степень и статистическую значимость РУР в разных отведениях выявили методом контрастов. Эффекты фотостимуляции на разных частотах представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Степень усвоения ритма у 80 испытуемых в разных отведениях ЭЭГ при ритмической фотостимуляции (РФС) с частотой 5, 10 и 15 Гц

Отведения ЭЭГ	Навязывание ритма в полосе частот (в %)		
	4-6 Гц (РФС 5 Гц)	9-11 Гц (РФС 10 Гц)	14-16 Гц (РФС 15 Гц)
Fp1	166,9±12,2***	118,7±12,8	349,8±29,3**
Fp2	177,6±13,8***	121,2±11,9	367,8±30,6**
F3	158,7±16,6***	119,9±11,6	317,2±24,5**
Fz	142,5±7,4***	119,3±12,7	317,1±24,1**
F4	155,6±9,9***	117,7±13,5	315,6±24,3**
F7	159,0±11,3***	119,4±12,1*	303,8±25,0**
F8	181,9±11,9***	118,9±12,2***	308,1±27,3**
C3	135,4±7,9***	113,3±12,2*	284,2±24,2***
Cz	144,5±7,0***	118,2±12,0	339,8±32,7**
C4	147,6±7,2***	114,7±11,4*	286,3±22,0**
T3	145,2±9,3***	112,1±11,2*	255,4±19,9***
T4	170,1±11,9***	118,4±12,1*	244,1±17,6**
P3	151,1±10,2***	118,2±14,7	290,5±24,5***
Pz	219,1±19,3***	175,2±38,0	463,1±47,0**
P4	152,9±9,6***	118,4±15,1	281,2±27,8***
T5	146,8±9,5***	109,6±12,7	240,8±18,7***
T6	158,5±10,2***	107,2±11,2*	221,5±16,8***
O1	410,8±55,5***	170,4±31,8	653,9±78,7**
O2	429,7±58,9***	153,2±22,2	695,1±79,8**

Примечание: Представлены средние значения изменений мощности ЭЭГ в процентах по отношению к фону и их ошибки; различия по отношению к фону значимы при: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$.

Из таблицы видно, что увеличение мощности ЭЭГ наблюдалось с наибольшей степенью усвоения ритма при частоте стимуляции 5 и 15 Гц. Так, мощность ЭЭГ в соответствующей частотной полосе при РФС 5 Гц в разных отведениях увеличивалась на 35–330 %, при стимуляции с частотой 15 Гц – на 121–95 %. Что касается эффектов стимуляции на частоте 10 Гц, то степень РУР была заметно меньше, и значимые эффекты наблюдались только в отведениях F7, C3, C4, T3, T4 и T6. Мощность ЭЭГ при этом возросла на 7–70 %.

Для выявления влияния индивидуальных психологических особенностей испытуемых на степень РУР при РФС провели дисперсионный анализ с факторами ГРУППА (группы испытуемых с разной выраженностью черт личности) и ЛОКУС. Далее приведены эффекты только для тех факторов личности, которые оказывали статистически значимое влияние на характер РУР.

Как отмечалось выше, исходя из величины медианы испытуемых разделили на группы с низким и высоким уровнем фактора первого порядка G (Слабость/Сила «Сверх-Я») 16-факторного опросника Кеттелла. В группах оказалось 19 испытуемых с низким и 21 – с высоким значением фактора G. Результаты исследования выявили статистически значимое влияние взаимодействия факторов ЛОКУС и ГРУППА на усвоение ритма при РФС с частотой 5 и 10 Гц (табл. 2).

Взаимодействие факторов ЛОКУС И ГРУППА отражается в противоположной направленности РУР у испытуемых указанных групп в разных областях коры. Так, post-hoc анализ методом контрастов показал, что при частоте стимуляции 5 Гц у испытуемых с низким и высоким значением силы «Сверх-Я» значимо отличалась степень РУР в отведении F7 (Рис. 1, представлены часть отведений). Как видно из рисунка, у людей низким значением фактора G, т.е. со слабостью «Сверх-Я», навязывание ритма в этом и большинстве других фронтальных отведений выше, чем у испытуемых с высоким значением данного фактора. В тоже время, у людей с высокой силой «Сверх-Я» в затылочных отведениях присутствует тенденция к более высокой степени усвоения ритма. Слабость «Сверх-Я» отражает непостоянство, переменчивость, недобросовестность и низкую нормативность поведения [14]. Можно предположить, что у испытуемых с такими особенностями нервной системы высокая степень навязывания ритма во фронтальных отведениях обусловлена относительно слабым развитием лобной коры. Данная область неокортекса ответственна за регуляцию поведенческих реакций, выступая в качестве внутреннего регулятора поведения [15]. Вероятно, у испытуемых группы с низкими значениями фактора G регулятивная функция ослаблена, что и проявляется в характерных для них негативных элементах поведения. Высокие показатели фактора G (сила «Сверх-Я») характерны для стойких, упорных, обязательных людей. Выраженное усвоение ритма в затылочной коре у испытуемых с высокими значениями фактора G является адекватной реакцией зрительной коры на световые стимулы [16].

Что касается РУР при частоте стимуляции 10 Гц, достоверных различий у испытуемых с низким и высоким значением силы «Сверх-Я» методом контрастов в определенных отведениях ЭЭГ выявлено не было.

Таблица 2.

Дисперсионный анализ влияния особенностей личности испытуемых (16-факторный опросник Кеттелла) на реакцию усвоение ритма при ритмической фотостимуляции с частотой 5, 10 и 15 Гц

ГРУППА	ЛОКУС	ГРУППА×ЛОКУС
5 Гц		
Фактор первого порядка G (Слабость «Сверх-Я»/Сила «Сверх-Я»)		
$F_{1, 40} = 0,07;$ $p = 0,800$	$F_{18, 738} = 10,33;$ $p < \mathbf{0,001}$	$F_{18, 738} = 1,85;$ $p = \mathbf{0,017}$
Фактор второго порядка F4 (Конформность/Независимость)		
$F_{1, 55} = 0,46;$ $p = 0,462$	$F_{18, 990} = 0,74;$ $p < \mathbf{0,001}$	$F_{18, 990} = 1,64;$ $p = \mathbf{0,044}$
10 Гц		
Фактор первого порядка G (Слабость "Сверх-Я"/Сила "Сверх-Я")		
$F_{1, 40} = 0,14;$ $p = 0,710$	$F_{18, 720} = 0,89;$ $p = 0,585$	$F_{18, 720} = 1,78;$ $p = \mathbf{0,024}$
Фактор первого порядка Q3 (Низкий самоконтроль поведения/Высокий самоконтроль поведения)		
$F_{1, 46} = 1,89;$ $p = 0,175$	$F_{18, 828} = 0,88;$ $p = 0,607$	$F_{18, 828} = 2,82;$ $p < \mathbf{0,001}$
15 Гц		
Фактор второго порядка F1 (Низкая тревожность/Высокая тревожность)		
$F_{1, 54} = 0,03;$ $p = 0,87$	$F_{18, 972} = 0,30;$ $p < \mathbf{0,001}$	$F_{18, 972} = 1,99;$ $p = \mathbf{0,008}$

Для выявления влияния психологического фактора личности F4 (Конформность/Независимость) испытуемых разделили на группы с низким и высоким уровнем данного фактора (28 и 27 человек, соответственно). Результаты исследования свидетельствуют, что и в этом случае восприятие и усвоение ритма при РФС с частотой 5 Гц обусловлено взаимодействием факторов ЛОКУС и ГРУППА при $p = 0,044$ (см. табл. 2). Высокие показатели фактора F4 (независимость) характерны для самостоятельных и самодостаточных людей, проявляющих поведенческую, эмоциональную и мировоззренческую независимость. Они склонны сохранять свои убеждения, принимать решения самостоятельно и не поддаваться слепо групповому давлению [17]. Показатель конформности свидетельствует о склонности индивида к уступчивости, его зависимости от социального давления и принятии групповых норм как своих собственных [14]

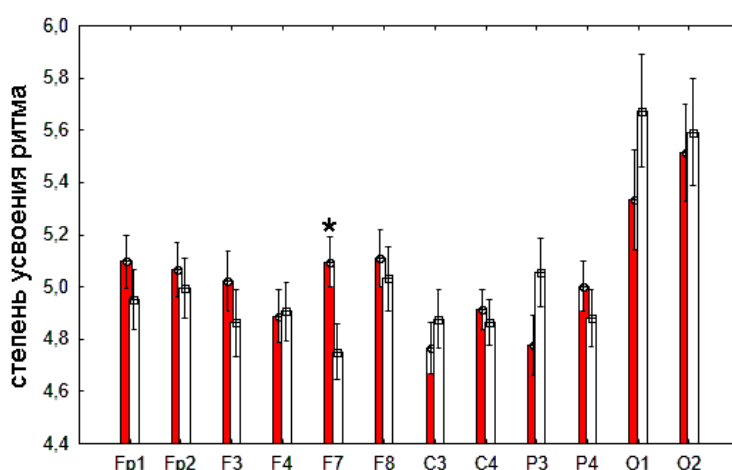


Рис. 1. Степень реакции усвоения ритма при ритмической фотостимуляции с частотой 5 Гц у испытуемых со слабостью «Сверх-Я»/силой «Сверх-Я» (красные и белые столбики, соответственно).

Примечания: По горизонтали – отведения ЭЭГ, по вертикали – логарифмированные значения степени усвоения ритма. Приведены средние значения и ошибки среднего. Красные столбики – выборка испытуемых с выраженной слабостью «Сверх-Я», белые столбики – с выраженной силой «Сверх-Я».

Анализ методом контрастов выявил, что у групп испытуемых с низким и высоким значением фактора F4 при частоте симуляции 5 Гц значимо отличалась степень РУР в отведении Fp1 (при $p = 0,031$) и F8 (при $p = 0,047$). В ходе исследования у испытуемых с выраженным проявлением конформности было обнаружено увеличение степени РУР во фронтальных отведениях, по сравнению с группой, имеющей ярко выраженную независимость поведения. В свою очередь, у испытуемых с высокими значениями данного фактора, т.е. с независимостью поведения, была выявлена тенденция к более высокой степени усвоения ритма в затылочных областях.

По значению психологического фактора первого порядка Q3 (Низкий самоконтроль поведения/Высокий самоконтроль поведения) испытуемых разделили на группы с низким и высоким уровнем данного фактора (25 и 21 человек, соответственно). Данный фактор отражает способность к волевому регулированию, планированию, сдерживанию импульсивных реакций и поддержанию целенаправленного поведения. Эти функции опосредованы активностью коры и её нисходящими связями с подкорковыми структурами. Самоконтроль предполагает более эффективную модуляцию возбудимых и тормозных процессов, адаптацию нейронных сетей к ритмическим стимулам, избегание избыточной эмоциональной реактивности, а также способность гибко подстраивать нейронную активность под частоту стимула [14, 17]. Результаты исследования свидетельствуют, что восприятие и усвоение ритма при РФС с частотой 10 Гц обусловлено взаимодействием факторов

ЛОКУС и ГРУППА при $p < 0,001$ (см. табл. 2). Методом контрастов выявили, что у групп испытуемых с низким и высоким значением фактора Q3 значимо отличалась степень РУР при частоте стимуляции 10 Гц в отведениях R3 (при $p = 0,028$), Pz (при $p = 0,033$) и O2 (при $p = 0,018$). Причем степень навязывания ритма выше у людей с низким самоконтролем.

По значению психологического фактора второго порядка F1 (Низкая тревожность/Высокая тревожность) испытуемых разделили на группы с низким и высоким уровнем данного фактора (в группах оказалось 30 и 24 человек, соответственно). Результаты исследования свидетельствуют, что восприятие и усвоение ритма при РФС с частотой 15 Гц обусловлено взаимодействием факторов ЛОКУС и ГРУППА при $p = 0,008$ (см. табл. 2). Однако методом контрастов не удалось выявить отведения ЭЭГ, в которых наблюдались бы статистически значимые различия.

Для оценки влияния ритмической фотостимуляции на РУР испытуемых в зависимости от особенностей, оцениваемых по методике Спилбергера-Ханина, испытуемые были разделены на группы с низкими и высокими значениями личностной тревожности. В группах оказалось 23 испытуемых с низким и 25 – с высоким уровнем данного психологического параметра личности. В этом случае обнаружено взаимодействие факторов ГРУППА и ЛОКУС при РФС с частотой 10 Гц (табл. 3).

Таблица 3.

Дисперсионный анализ влияния личностной тревожности (опросник Спилбергера-Ханина) на усвоения ритма при фотостимуляции с частотой 10 Гц

ГРУППА	ЛОКУС	ГРУППА × ЛОКУС
$F_{1, 48};$ p	$F_{18, 864};$ p	$F_{18, 864};$ p
0.20; 0.660	0.84; 0.939	1.66; 0.041

По ситуативной тревожности испытуемые также были разделены на группы, но статистически значимого влияния фактора ГРУППА и взаимодействия факторов при этом выявлено не было.

Личностная тревожность, в отличие от ситуативной, которая носит временный характер, является устойчивой чертой. Эта черта отражает предрасположенность индивида воспринимать обширный круг ситуаций как состояния, представляющие опасность. Уровень личностной тревожности коррелирует с активностью лимбической системы (в частности, миндалевидного тела и гипоталамуса) [18]. Однако значимых различий между группами в конкретных отведениях по методу контрастов выявлено не было.

Влияние принадлежности испытуемых к той или иной национальности на степень РУР не было обнаружено при всех исследованных частотах фотостимуляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о наличии взаимосвязи между психологическими характеристиками личности и особенностями регуляции РУР при РФС. Выявлено, что у лиц со слабостью «Сверх-Я», низким самоконтролем и конформным поведением отмечается статистически значимое выраженное навязывание ритмов 5 и 10 Гц во фронтальных, теменных и затылочных отведениях. Данный факт может свидетельствовать о повышенной реактивности первичных и ассоциативных зон коры по отношению к стимуляции, снижении способности к произвольной регуляции восприятия и обработки сигналов. У лиц с высоким уровнем показателей самоконтроля, силы «Сверх-Я» и независимости поведения наблюдается тенденция к высокой степени навязывания ритма в затылочных отведениях. Такая особенность указывает на преимущественную вовлеченность зрительных зон в обработку ритмических сигналов без значительного вовлечения высших регуляторных центров, а также на большую способность к селективной обработке информации (т.е. относительно активного восприятия ритмических стимулов на уровне сенсорной коры, без избыточной активации лобных долей). Результаты исследования подчёркивают важность учёта личностных черт при интерпретации ЭЭГ-данных в клинко-диагностической и исследовательской практике. Они также могут быть полезны для разработки персонализированных подходов к применению РФС в коррекционной работе.

Исследование выполнено на оборудовании Центра социальной антропологии и формирования личности и ЦКП научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» в рамках инициативной темы № 126060421664-2 «Закономерности и механизмы адаптации организма к факторам разной природы»

Список литературы

1. Walter W. G. Analysis of the electrical response of the human cortex to photic stimulation / W. G. Walter, V. J. Dovey, H. Shipton // Nature. – 1946. – Vol. 158, №. 4016. – P. 540–541.
2. Богданова Е. П. Функциональные пробы и модулирующие воздействия во время электроэнцефалографии: методика проведения и серия клинических наблюдений / Е. П. Богданова, О. Д. Ельшина, В. Ю. Ноговицын [и др.] // Нервные болезни. – 2024. – № 4. – С. 58–68.
3. Александров М. В. Электроэнцефалография: руководство / М. В. Александров, Л. Б. Иванов, С. А. Лытаев [и др.] – СПб.: Издательство «СпецЛит». – 2020. – 224 с.
4. Святогор И. А. Анализ изменений ЭЭГ паттернов в ответ на ритмическую фотостимуляцию при различных нарушениях функционального состояния центральной нервной системы / И. А. Святогор, О. Е. Дик, А. Д. Ноздрачев [и др.] // Физиология человека. – 2015. – Т. 41, № 3. – С. 41–49.
5. Корсакова Н. К. К истории концепции А. Р. Лурии о трёх структурно-функциональных блоках мозга человека / Н. К. Корсакова, И. Ф. Рошина // Медицинская психология в России. – 2021. – Т. 13, № 2. – С. 3–10.
6. Небылицын В. Д. Избранные психологические труды / Небылицын В. Д. – М.: Издательство «Педагогика». – 1990. – 408 с.
7. Коробейникова И. И. Усвоение ритма световых мельканий и результативность интеллектуальной деятельности / И. И. Коробейникова, Н. А. Каратыгин, Я. А. Венерина, Е. В. Бирюкова // Тюменский медицинский журнал. – 2017. – Т. 19, № 2. – С. 37–43.

8. Зарипов К. А. Возрастные эффекты фотостимуляции 13–21 Гц у детей, проживающих в заполярном и приполярном регионах РФ / К. А. Зарипов, Ж. В. Нагорнова // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 2020. – Т. 56, №. 7. – С. 594.
9. Савчук Л. В. Резонансное сканирование и анализ электроэнцефалограммы при определении зрелости корковой ритмики у младших школьников / Л. В. Савчук, С. А. Полевая, С. Б. Парин [и др.] // Биофизика. – 2022. – Т. 67, №. 2. – С. 354–361.
10. Туровский Я. А. Частотная модуляция электроэнцефалограммы при фотостимуляции. / Я. А. Туровский, С. В. Борзунов, В. Ю. Алексеев [и др.] // Биофизика. – 2021. – Т. 66, №. 3. – С. 583–589.
11. Дик О. Е. Анализ паттернов ЭЭГ у лиц с паническими атаками / О. Е. Дик, И. А. Святогор, Т. Н. Резникова, Д. А. Федоряка, А. Д. Ноздрачев // Физиология человека. – 2020. – Т. 46, №. 2. – С. 63–75.
12. Дробышев В. А. Аудиовизуальная и магнитная стимуляция головного мозга в реабилитации постинсультных когнитивных нарушений (обзор литературы) / В. А. Дробышев, Л. А. Щепанкевич, Д. В. Белик [и др.] // Journal of Siberian Medical Sciences. – 2025. – Том 9, №. 3. – С. 109–127.
13. Babiloni C. International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN) – EEG research workgroup: Recommendations on frequency and topographic analysis of resting state EEG rhythms. Part 1: Applications in clinical research studies / C. Babiloni, R. J. Barry, K. J. Blinowska [et al] // Clinical Neurophysiology. – 2020. – Vol. 131, №. 1. – P. 285–307.
14. Мельников В. М. Введение в экспериментальную психологию личности / В. М. Мельников, Л. Т. Ямпольский // М.: Просвещение. – 1985. – 319 с.
15. Артеменков А. А. Сенсорная полимодальная интеграция когнитивных функций мозга человека / А. А. Артеменков // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2025. – №. 3. – С. 20–40.
16. Козин А. В. Индивидуальный подход к выбору частоты фотостимуляции в системах ИМК на основе SSVEP-парадигмы и моделей машинного обучения / А. В. Козин, А. К. Герасимов, М. А. Бакаев // Системы анализа и обработки данных. – 2025. – Т. 99, №. 3. – С. 45–68.
17. Рукавишников А. А. Факторный личностный опросник Кеттелла: диагностика личностных черт детей, подростков и взрослых, методическое руководство / А. А. Рукавишников, М. В. Соколова // СПб.: ИМАТОН. – 2019. – 91 с.
18. Венерина Я. А. Физиологические корреляты тревожности при когнитивной деятельности: дисс. ... канд. мед. наук: 03.03.01/ Я. А. Венерина – Москва, 2022. – 156 с.

FEATURES OF THE RHYTHM ASSIMILATION REACTION IN THE PERCEPTION OF RHYTHMIC PHOTOSTIMULATION: THE INFLUENCE OF PSYCHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE PERSONALITY

Mustafaev E. R., Tum M. V. Kulichenko A. M. Gurnakov N. V., Pavlenko V. B.

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

The aim of our study was to analyze EEG changes in healthy adult subjects during a session of rhythmic photostimulation (RPS) and to identify the influence of individual psychological characteristics on the degree of rhythm assimilation response (RAR).

The study involved 80 students aged 18 to 45 years (15 males and 65 females; 40 subjects identified themselves as Russian, 20 as Ukrainian, and 20 as Crimean Tatar). To assess the psychological characteristics of the subjects, the Cattell 16-factor personality questionnaire (16PF) and the Spielberger-Khanin anxiety inventory (STAI) were used. To

determine the impact of the psychological factor of personality on the EEG, groups with extreme (more pronounced) values of the psychological parameter (above or below the median, and values equal to the median were excluded). EEG was recorded using a Neuron-Spectrum-5 electroencephalograph. EEG potentials were recorded unipolarly in 19 leads using the international 10–20 system. The reference electrodes were connected to the earlobes.

A red-spectrum LED stimulator was used to perform RFS. Light stimuli were applied for three 20-second intervals at frequencies of 5, 10, and 15 Hz, with 7-second pauses. EEG analysis was performed in frequency bands corresponding to the main EEG rhythms. With 5 Hz stimulation, values were assessed in the 4–6 Hz frequency band, i.e., in the theta rhythm range; with 10 Hz stimulation, in the 9–11 Hz frequency band (in the alpha rhythm range); and with 15 Hz stimulation, in the 14–16 Hz frequency band (in the beta rhythm range).

An increase in EEG power during RFS was observed with the highest degree of rhythm assimilation at stimulation frequencies of 5 and 15 Hz. To identify the influence of individual psychological characteristics of subjects on the degree of RUR during RFS, an analysis of variance was performed with the factors GROUP (groups of subjects with varying severity of personality traits) and LOCUS (19 leads). The analysis revealed an interaction of factors G (strength/weakness of the superego), F4 (conformity/independence), Q3 (low/high behavioral self-control), F1 (low/high anxiety), and indicators of personal anxiety with the LOCUS factor. The interaction of the LOCUS and GROUP factors is reflected in the opposite direction of RUR in subjects of the indicated groups in different areas of the cortex. The conducted analysis allows us to conclude that there is a relationship between the psychological characteristics of an individual and the features of RUR regulation during RFS. Individuals with a weak superego, low self-control, and conformist behavior were found to exhibit statistically significant, pronounced rhythm imposition of 5 and 10 Hz in the frontal, parietal, and occipital leads. This may indicate increased reactivity of the primary and association areas of the cortex to stimulation, as well as a reduced capacity for voluntary regulation of perception and signal processing. Individuals with high levels of self-control, a strong superego, and independent behavior tend to exhibit a high degree of rhythm imposition in the occipital leads, indicating the predominant involvement of the visual areas in processing rhythmic stimuli without significant involvement of higher regulatory centers.

The study's results highlight the importance of considering personality traits when interpreting EEG data in clinical diagnostic and research practice. They may also be useful for developing personalized approaches to the use of RFS in correctional work.

Keywords: rhythmic photostimulation, EEG, rhythm learning response

References

1. Walter W. G., Dovey V. J. and Shipton H., Analysis of the electrical response of the human cortex to photic stimulation, *Nature*, **158** (4016), 540 (1946).
2. Bogdanova E. P., Elshina O. D., Nogovitsyn V. Yu. and Sinkin M. V., Functional tests and modulating interventions during electroencephalography: methodology and a series of clinical observations, *Nervous Diseases*, (4), 58 (2024).

3. Alexandrov M. V., Ivanov L. B., Lytaev S. A., Cherny V. S., Alexandrova T. V., Chukhlov A. A. and Kostenko I. A., *Electroencephalography: a guide*, 224 (SpetsLit, Saint Petersburg, 2020).
4. Svyatogor I. A., Dik O. E., Nozdachev A. D. and Guseva N. L., Analysis of EEG pattern changes in response to rhythmic photostimulation in various disorders of the functional state of the central nervous system, *Human Physiology*, **41(3)**, 41 (2015).
5. Korsakova N. K. and Roshchina I. F., On the history of A. R. Luria's concept of three structural functional blocks of the human brain, *Medical Psychology in Russia*, **13(2)**, 3 (2021).
6. Nebylitsyn V. D., *Selected psychological works*, 408 p. (Pedagogika, Moscow, 1990).
7. Korobeinikova I. I., Karatygin N. A., Venerina Ya. A. and Biryukova E. V., Assimilation of light flicker rhythm and intellectual performance efficiency, *Tyumen Medical Journal*, **19(2)**, 37 (2017).
8. Zaripov K. A. and Nagornova Zh. V., Age related effects of photostimulation at 13–21 Hz in children living in the polar and subpolar regions of the Russian Federation, *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, **56(7)**, 594 (2020).
9. Savchuk L. V., Polevaya S. A., Parin S. B., Bondar A. T., and Fedotchev A. I., Resonant scanning and EEG analysis in assessing cortical rhythm maturity in primary schoolchildren, *Biophysics*, **67(2)**, 354 (2022).
10. Turovsky Ya. A., Borzunov S. V., Alekseev V. Yu. and Karpova M. A., Frequency modulation of the electroencephalogram during photostimulation, *Biophysics*, **66(3)**, 583 (2021).
11. Dik O. E., Svyatogor I. A., Reznikova T. N., Fedoryaka D. A. and Nozdachev A. D., Analysis of EEG patterns in individuals with panic attacks, *Human Physiology*, **46(2)**, 63 (2020).
12. Drobyshev V. A., Shchepankevich L. A., Belik D. V., Shekalov A. V., Abramovich S. G., Agasarov L. G., Shpagina L. A., Ponomareva M. S. and Karmanovskaya S. A., Audiovisual and magnetic brain stimulation in rehabilitation of post-stroke cognitive impairment (literature review), *Journal of Siberian Medical Sciences*, **9(3)**, 109 (2025).
13. Babiloni C., Barry R., Blinowska K., Basar E., Cichocki A., Drinkenburg W., Klimesch W., Knight R., Jeong J., Lopes da Silva F., Nunez P., Oostenveld R., Pascual-Marqui R., Valdes Sosa P. and Hallett M., International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN) – EEG research workgroup: Recommendations on frequency and topographic analysis of resting state EEG rhythms. Part 1: Applications in clinical research studies, *Clinical Neurophysiology*, **131(1)**, 285 (2020).
14. Melnikov V. M. and Yampolsky L. T., *Introduction to experimental personality psychology*, 319 p. (Prosveshchenie, Moscow, 1985).
15. Artemenkov A. A., Sensory multimodal integration of human brain cognitive functions, *Ulyanovsk Medical Biological Journal*, **(3)**, 20 (2025).
16. Kozin A. V., Gerasimov A. K. and Bakaev M. A., Individual approach to selecting photostimulation frequency in BCI systems based on the SSVEP paradigm and machine learning models, *Systems of Data Analysis and Processing*, **99(3)**, 45 (2025).
17. Rukavishnikov A. A. and Sokolova M. V., *Cattell's factor personality questionnaire: diagnostics of personality traits in children, adolescents and adults: methodological guide*, 91 p. (IMATON, Saint Petersburg, 2019).
18. Venerina Ya. A., *Physiological correlates of anxiety during cognitive activity*: Dissertation for the degree of Candidate of Medical Sciences (specialty 03.03.01 «Physiology»), 156 p. (Moscow, 2022).