

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПАЦИЕНТОВ С АФАЗИЯМИ

Карпов О.Э., Даминов В.Д., Новак Э.В.*, Слепнева Н.И.

DOI: 10.25881/BPNMSC.2021.55.99.012

ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова», Москва

Резюме. Обоснование: Афазия, как причина нарушений не только вербального, но и невербального общения, совместно с другими проявлениями инсульта приводит к развитию эмоциональных расстройств у данной категории пациентов. Большинство традиционных психологических методик требует лингвистического взаимодействия.

Цель: Оценить субъективные и объективные изменения в психоэмоциональном состоянии пациентов с афазиями после погружения в расслабляющую виртуальную реальность (VR).

Методы: Всего 40 пациентов в 1-й год после инсульта было рандомизировано в основную и контрольную группы с последующей повторной оценкой настроения по визуальной аналоговой шкале (ВАШ) и записью электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в начале исследования, после 5-минутного отдыха и после вмешательства. Основная группа погружалась в расслабляющую VR на 20 минут, контрольная посещала традиционное занятие с психологом.

Результаты: По демографическим показателям пациенты обеих групп статистически не отличались. При сравнении оценки настроения по ВАШ ($p < 0,042$) отмечалось улучшение в обеих группах. При анализе ЭЭГ абсолютная спектральная мощность альфа- ($p = 0,003$) и низкочастотного бета-ритма ($p = 0,004$) нарастала в обеих группах с незначительным преобладанием в основной группе. Обе группы также показывали прирост в относительной мощности низкочастотного альфа-ритма (относительно общей мощности) ($p = 0,031$) и снижение мощности подгрупп бета-ритмов (относительно альфа-ритма). Статистически значимо отмечалось увеличение относительной мощности низкочастотного бета-ритма (относительно высокочастотного) в группе с VR ($p = 0,005$) при сравнении с контрольной.

Обсуждение: Изменения биоэлектрической активности головного мозга во время погружения в расслабляющую VR указывают на объективное снижение уровня стресса у пациентов с афазиями, со статистически значимым замедлением бета-ритма при сравнении с контрольной группой.

Ключевые слова: виртуальная реальность, электроэнцефалография, депрессия, афазия, стресс.

Введение

Афазия является приобретенным мультимодальным нарушением речи, которое чаще наблюдается после инсультов в левом полушарии. [1] Учитывая статистические данные США (около 2 млн. их граждан имеет данное нарушение), можно ожидать в какой-то степени сопоставимые данные по РФ. Пациенты с афазией имеют проблемы не только с устным языком, но и с письменным, то есть они теряют возможность к нормальной коммуникации не только с помощью вербальных сообщений, но и с помощью написания и чтения текстовых сообщений. Следовательно, нарушаются их нормальные социальные взаимодействия, профессиональная и досуговая активности, то есть оказавшись в стрессовой ситуации инвалидизирующей болезни данные люди теряют возможность использовать привычные механизмы (копинг-стратегии) преодоления неблагоприятных последствий стресса, что часто приводит к развитию депрессивной

THE IMPACT OF VIRTUAL REALITY ON THE EMOTIONAL STATE OF PATIENTS WITH APHASIA

Karpov O.E., Daminov V.D., Novak E.V.*, Slepnyova N.I.

Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow

Abstract. Introduction: Aphasia, with the impairment of both verbal and non-verbal communication, and other symptoms of stroke causes emotional disorders. There is a range of conventional psychological interventions to improve that; however, they could have a limited value due to the loss of language.

Aim: This study estimates subjective and objective alternations in the emotional state of patients with aphasia after a relaxing session in virtual reality (VR).

Methods: In total, 40 patients during the first post-stroke year were randomized in the study and control group and successfully completed the study. The former underwent relaxation in VR for 20 minutes, whereas a conventional relaxation technique was used in the latter. Patients from both groups were tested with visual analogue scale (VAS) for their mood and electroencephalography (EEG) at the beginning, after a 5-minutes rest and after the intervention.

Results: Demographic parameters and VAS score for mood were comparable in both groups, and the latter improved altogether ($p < 0,042$). The EEG analysis revealed a significant increase in the alpha-power ($p = 0,003$) and low beta-power ($p = 0,004$) for all patients with a slight dominance in the study group. The relative power of low alpha-rhythm ($p = 0,031$) grew while that of low and high beta-rhythm decreased. There was a significant rise of the low/high beta-rhythm ration ($p = 0,005$) in the study group in comparison to the control group.

Discussion: VR relaxation evokes changes in the brain activity comparable with those which have been described after other stress reduction interventions. Further research is required to understand long-term perspectives and the clinical effect.

Keywords: virtual reality, electroencephalography (EEG), depression, aphasia, stress.

симптоматики, осложняющей реабилитационные мероприятия и ограничивающей восстановление. Данные по распространенности симптомов депрессии среди пациентов с афазиями ограничены в литературе, посвященной инсульту, вероятно, это связано со сложностями получением информированного согласия и включением данной группы пациентов в исследование. Кроме того, сам процесс клинической оценки психического статуса пациентов значительно усложняется, требуя специальных навыков от врачей при целенаправленном выявлении косвенных признаков депрессии, например, таких как потеря аппетита, нарушения сна, бессилие или заторможенность, особенно учитывая, что они могут быть прямым следствием самого инсульта. [2]

Несмотря на отсутствие «золотого» стандарта в диагностике депрессивных и тревожных расстройств у пациентов с афазиями и ограниченными данными в литературе, нельзя не согласиться, что данная категория

* e-mail: novakev@pirogov-center.ru

пациентов нуждается в оказании специализированной психологической помощи, направленной не только на нейропсихологическую реабилитацию, но и на коррекцию психоэмоционального состояния [3]. При этом традиционные занятия с психологом пациентов с афазиями на госпитальном этапе преимущественно направлены на работу с когнитивным и регуляторным дефицитом и показывают эффективность в этом направлении, в то время как симптомы депрессии и тревоги, по некоторым данным, остаются без изменений или даже ухудшаются к моменту выписки из стационара [4].

Поиск альтернативных психологических методик для данной категории пациентов не может игнорировать стремительно развивающиеся в последние годы технологии виртуальной реальности (VR), которые достигли большого технологического прогресса в создании шлемов VR для полного погружения в виртуальную среду. При изучении медицинской литературы в базе данных pubmed.gov первые упоминания о VR появились уже в начале 90-х гг., так в статье «Виртуальная реальность: применение в медицине и психиатрии» Е. Самара ещё в 1993 году сообщал о нововведённом понятии VR для описания новой компьютерной технологии, позволяющей пользователю входить в 3D искусственный мир, с которыми можно взаимодействовать [5]. Однако, технологии того времени имели несколько ограниченные возможности по полному погружению в VR.

В медицинских статьях (вплоть до середины 2010-х гг.) под «VR» понимались любые взаимодействия пользователей с виртуальным миром, в том числе посредством обычного монитора компьютера. В современное время под «VR» больше понимается реальность, создаваемая с помощью шлема VR. Нами было предложено биомедицинское, основанное на механизмах взаимодействия организма с окружающей средой, определение VR: *виртуальная реальность — это компьютерные технологии, которые замещают или искажают информацию от органов чувств, изменяют и анализируют ответные реакции организма, обеспечивая взаимодействие организма с создаваемой виртуальной средой* [6]. Потенциал VR в улучшении психоэмоционального состояния пациентов с афазиями связан с тем, что данная технология необязательно требует лингвистического взаимодействия, и психотерапевтические методики могут быть доставлены в контролируемых и повторяемых условиях, что не всегда возможно в реальной жизни. Кроме того, перспективно использование VR в домашних условиях, учитывая увеличение её доступности и привлекающий пациентов интерфейс, что, безусловно, может повысить её рентабельность [7].

Учитывая вышеизложенные данные, в ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» после одобрения локального этического комитета было начато рандомизированное контролируемое исследование безопасности и эффективности применения технологий VR у пациентов с афазией во время реабилитации для коррекции эмоционального состояния в сравнении с традиционными психологиче-

скими занятиями. В данной статье будут рассмотрены предварительные результаты.

Методология

Участники

Пациенты, поступающие на реабилитацию в Клинику реабилитации ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» и соответствующие нижеперечисленным критериям, были распределены в основную и контрольную группы с помощью он-лайн рандомизатора (www.randomizer.org).

Критерии включения:

- афазия (лёгкой, средней и тяжелой степени) после ишемического, геморрагического инсульта, черепно-мозговой травмы;
- давность до 12 месяцев на момент включения;
- возраст 25–75 лет,
- подписанное информированное согласие.

Критерии невключения:

- эпилепсия;
- эндогенные психические расстройства;
- декомпенсированные хронические заболевания;
- выраженное снижение слуха и зрения.

Критерии исключения:

- наличие выраженных двигательных, чувствительных и нейропсихологических (памяти, внимания, регуляции произвольной деятельности, апраксии, планирования, зрительного восприятия, сенсорная афазия) нарушений, препятствующих взаимодействию с системой VR.

Критерии выбывания:

- повторный инсульт;
- обострение хронических заболеваний;
- инфекционные осложнения.

Описание используемых VR технологий

Основные характеристики шлема: разрешение 2160×1200, разрешение дисплеев каждого глаза 1200×1080 с возможностью настройке межзрачкового расстояния и расстояния до линз, частота обновления дисплея 90 Гц, встроенный микрофон, встроенные датчики SteamVR Tracking, акселерометр, гироскоп, датчик приближения, линейный аудиовыход с подключением наушников, угол обзора 110°, собственные контроллеры. Характеристики персонального компьютера: операционная система Windows 10, модель дискретной видеокарты NVIDIA GeForce GTX 1060, модель процессора Intel Core i5 4590, размер оперативной памяти 4 Гб [8].

Программа VR была разработана на основе платформы Unity Technologies (<https://unity3d.com/ru/unity>) и представляла собой набор изображений виртуальных сред в формате 3D с углом обзора 360° и возможностью передвижения внутри каждой среды и взаимодействием с ней. Виртуальные среды включали в себя: подводный мир, космос, пляжи, джунгли, лесные, горные пейзажи в разные времена года и время суток (Рис. 1). Каждая виртуальная среда имела мелодичное расслабляющее музыкальное сопровождение.



Рис. 1. Интерфейс программы VR с возможностью выбора разных виртуальных сред для релаксации.

Визуальные аналоговые шкалы для оценки настроения

С целью минимизации лингвистической сложности оценки психоэмоционального состояния пациентов с афазиями рассматривалась стандартизированная визуальная аналоговая шкала настроения, которая была разработана американским коллективом во главе с R.A. Stren в 1997 г. специально для пациентов с неврологическими нарушениями, включая афазии [9]. Однако, шкала доступна только на коммерческой основе, поэтому, вероятно, в российской литературе не удалось найти исследований, посвященных валидации данной шкалы у русскоязычного населения, поэтому было принято решение использовать наиболее похожую альтернативу — вторую часть европейского опросника качества жизни EQ-5D, представляющего вертикальную визуальную аналоговую шкалу (ВАШ) в виде 20-ти сантиметровой градуированной линейки для оценки количественной оценки общего состояния здоровья (от «0» — худшее, которое можно представить, до «100» — лучшее, которое можно представить) [10]. Русскоязычная версия опросника EQ-5D (EuroQOL) была зарегистрирована в 1995 г. международной организацией по изучению качества жизни и было разрешено ее применение в научных и клинических исследованиях без дополнительного согласования с разработчиками, что нашло отражение в возросшем её использовании для оценки качества жизни у различных категорий пациентов [11]. Пациентам простым языком и жестами объяснялось, что они должны оценить какое у них сейчас настроение по представленной шкале. Только после понимания пациентом инструкций шкала предоставлялась для маркировки соответствующего значения — всего три раза: до погружения в VR, через 5 минут отдыха и после погружения в VR.

Объективные методы оценки психоэмоционального состояния

Учитывая ограничения и субъективизм ВАШ, было принято решение включить в исследование объективные нейрофизиологические методы оценки психоэмоционального состояния пациентов, в частности ЭЭГ, которая длительное время использовалась в диагностике психических расстройств и получила новый виток развития с приходом продвинутых компьютерных технологий математического анализа данных [12].

Процедура погружения в VR

Исследование проводилось в тихом и затемненном кабинете, пациенты размещались в офисном кресле. В день записи пациентам сначала объяснялась процедура исследования с коротким 2–3 минутным погружением в VR для ознакомления с управлением и навигацией внутри VR, подписывалось информированное согласие, заполнялась ВАШ настроения, затем надевалась 19-электродная шапочка ЭЭГ (со стандартным расположением электродом по международной системе «10–20») с использованием электропроводящей пасты. После проверки сопротивление под каждым электродом оценивалось (<10 кОм) производилась 5-минутая запись ЭЭГ на электроэнцефалографе «Нейрон-Спектр» (Нейрософт, Иваново) в расслабленном состоянии с закрытыми глазами. Для дополнительного контроля и исключения изменений на ЭЭГ, обусловленных длительностью неактивного расслабленного состояния, пациенты были проинструктированы оставаться в кресле с открытыми глазами в расслабленном состоянии молча еще на 5 минут, после чего повторялось заполнение ВАШ настроения и запись ЭЭГ. В последующем на пациентов основной группы надевался шлем VR на шапочку ЭЭГ и предоставлялся

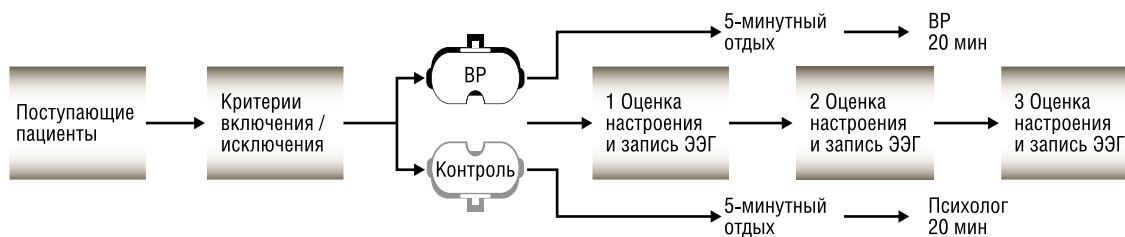


Рис. 2. Дизайн исследования.

доступ к любой среде по предпочтениям пациента, а в основной группе работал психолог с проведением дыхательной гимнастики, направленной на снятие напряжения. Данный этап длился 20–30 минут в зависимости с продолжающейся записью ЭЭГ для анализа на эпилептиформные феномены. После завершения терапевтического воздействия пациенты оставались в кресле в спокойном и расслабленном состоянии еще 5 минут для контрольной записи ЭЭГ с последующим заполнением ВАШ настроения (Рис. 2).

Результаты

Участники

Из 42 пациентов, включенных в исследование, завершили его 40: один пациент из основной группы выбыл в связи с развитием повторного инсульта, один пациент из контрольной группы выбыл в связи с развитием сложных парциальных эпилептических приступов с постиктальным гемипарезом до 2-х дней. Статистический анализ групп с независимым t-критерием Стьюдента при сравнении двух групп по возрасту и давности инсульта не выявил статистически значимой разницы (Таблица 1).

Визуальная аналоговая шкала настроения

Средние арифметические значения ВАШ настроения (EQ-5D-VAS) были проанализированы с помощью дисперсионного анализа ANOVA (от англ. ANalysis Of VAriance) с повторными измерениями: 2 группы и 3 временных интервала. Была получен значимый главный эффект времени ($p < 0,042$) и статистически незначимый главный эффект групп и эффектам группово-временного взаимодействия ($p = 0,582$). Оценка настроения линейно улучшалась в обеих группах, как с традицион-

ным психологическим воздействием, так и с VR. Средние арифметические и средние квадратичные отклонение по группам, а также все остальные зависимые переменные представлены в Таблице 2.

Анализ электроэнцефалограммы

ЭЭГ-сигналы были отфильтрованы с помощью фильтра высоких частот с нижней граничной частотой 0,1 Гц (для подавления низких частот) и режекторного фильтра 50 Гц (для устранения шума электрической сети комнаты). Артефакты мышечных сокращений и движений исключались из анализа вручную. Для анализа использовалось программное обеспечение «Нейрон-Спектр.NET» (Нейрософт, Иваново). В нативных ЭЭГ были выделены эпохи с минимальным количеством артефактов для спектрального анализа, при этом вся запись оценивалась независимо двумя врачами функциональной диагностики на наличие эпилептиформных феноменов по общепринятым критериям. 13,4% записи ЭЭГ в основной группе и 16,1% в контрольной группе было удалено из-за большого количества артефактов.

При спектральном анализе оценивались такие показатели, как абсолютное значение амплитуды, абсолютная амплитуда мощности, среднее значение доминирующих частот и относительный коэффициент асимметрии для дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов. Градация частот производилась по общепринятым категориям с соответствующим физиологическим состоянием:

- дельта-диапазон (<4 Гц) — глубокий сон;
- тета-диапазон (4–8 Гц) — состояние засыпания, гипнагогия;
- низкочастотный альфа1-диапазон (8–10 Гц) — спокойное состояние отдыха с закрытыми глазами;
- высокочастотный альфа2-диапазон (10–12 Гц) — расслабленная повышенная готовность (например, перед совершением какого-то действия)
- низкочастотный бета1-диапазон (13–18 Гц) — выполнение когнитивных задач;
- высокочастотный бета2-диапазон (18–30 Гц) — высокий уровень концентрации, а также ассоциирован с эмоциональным напряжением и тревогой [12].

Показатель значения доминирующих частот (Гц) по выбранным частотным диапазонам характеризует частоты, соответствующие максимуму на участке спектрограммы.

Табл. 1. Демографические характеристики участников исследования

Характеристика	Группа VR	Группа Контроль
Пол	50% женский	40% женский
Возраст (лет)	54,25±13,75	54,71±10,75
Давность инсульта (дней)	172,14±99,28	184,43±88,56
Тип инсульта	29% геморрагический	24% геморрагический
Сторона поражения	100% левая	90% левая
Лёгкая-средняя-тяжелая афазия	40–30–30%	25–45–30%

Табл. 2. Средние и стандартные ошибки оценки настроения по ВАШ, абсолютной и относительной спектральной мощности ритмов при измерениях в начале (1), после 5-минутного отдыха (2) и в конце исследования (3) в основной группе (BP) и контрольной группе (контроль)

	BP 1	Контроль 1	BP 2	Контроль 2	BP 3	Контроль 3
Оценка настроения						
ВАШ	54,131±27,017	58,131±30,127	58,702±21,333	61,047±17,893	80,333±22,123	74,761±15,831
Абсолютная спектральная мощность ритмов (мкВ)						
Альфа	5,811±0,659	4,981±0,801	6,097±0,533	6,001±0,638	6,341±0,537	6,188±0,456
Бета	5,017±0,346	4,333±0,387	5,211±0,314	5,883±0,435	5,293±0,318	5,476±0,766
Альфа 1	4,299±0,656	3,753±0,657	4,493±0,631	4,451±0,633	5,003±0,741	4,150±0,333
Альфа 2	4,003±0,457	3,461±0,512	4,303±0,521	3,111±0,717	4,011±0,485	3,212±0,631
Бета 1	3,421±0,241	2,933±0,442	3,507±0,288	2,735±0,472	3,589±0,371	2,886±0,577
Бета 2	3,057±0,211	2,797±0,333	3,177±0,271	3,003±0,553	3,076±0,404	3,033±0,673
Относительная спектральная мощность (соотношение мощностей ритмов)						
Альфа / Сумма	0,622±0,044	0,552±0,047	0,617±0,033	0,547±0,044	0,641±0,038	0,577±0,033
Бета / Сумма	0,579±0,023	0,594±0,023	0,557±0,021	0,590±0,026	0,569±0,021	0,594±0,021
Альфа / Бета	1,107±0,099	0,953±0,107	1,119±0,081	0,966±0,099	1,137±0,088	1,013±0,088
Альфа 1 / Сумма	0,461±0,049	0,429±0,051	0,451±0,034	0,414±0,050	0,478±0,044	0,441±0,036
Альфа 2 / Сумма	0,399±0,039	0,333±0,041	0,392±0,029	0,345±0,044	0,404±0,037	0,355±0,029
Бета 2 / Сумма	0,360±0,027	0,408±0,029	0,347±0,021	0,401±0,031	0,333±0,017	0,388±0,018
Бета 1 / Сумма	0,367±0,018	0,371±0,021	0,366±0,012	0,374±0,022	0,368±0,014	0,375±0,015
Бета 2 / Альфа	0,643±0,091	0,834±0,089	0,635±0,078	0,808±0,093	0,566±0,067	0,771±0,069
Бета 1 / Альфа	0,663±0,058	0,751±0,059	0,637±0,049	0,733±0,062	0,613±0,051	0,688±0,055
Бета 1 / Бета 2	1,090±0,051	0,946±0,053	1,095±0,044	0,955±0,051	1,188±0,055	0,978±0,061
Альфа 1 / Альфа 2	1,375±0,181	1,353±0,211	1,333±0,157	1,289±0,178	1,431±0,167	1,303±0,188

Статистический анализ

Статистический анализ проводился с использованием программы STATISTICA 8.0 (TIBCO Software Inc.). Серия 2*3 (Группа*Время) смешанной модели дисперсионного анализа ANOVA (от англ. ANalysis Of VAriance) с повторными измерениями проводилась для каждого диапазона частот по среднему арифметическому мощности спектра и по соотношению спектральной мощности. Данные, полученные со всех 19 электродов, подвергались анализу с целью выявления значимых изменений. При обнаружении сферичности переменных при сравнении временных интервалов использовалась коррекция уровня свобод по методу Huynh-Feldt. Пороговое значение значимости было установлено $\alpha = 0,05$ с последующим однофакторным дисперсным анализом и коррекцией по Bonferroni для множественных сравнений в случаях, когда выявлялись групповые различия.

В том случае, если разница между двумя группами выявляется в разные временные интервалы, можно говорить о влиянии группово-временной взаимосвязи. Эффект взаимодействия обозначает, что другая переменная влияет на взаимоотношения между зависимой и независимой переменными. Улучшение количественных показателей психоэмоционального состояния пациентов при повторных измерениях может зависеть от использования ВР, а может быть просто обусловлено тем, что пациенты просто отдохнули во время процедуры и ВР не оказал никакого влияния на улучшение их психоэмоционального состояния. В случае отсутствия такого влияния, статистический анализ

будет продолжен для выявления основного влияния принадлежности к группе (разница между средними групп, усредненных по временным интервалам) и основного влияния временного интервала (разница между средними первого измерения и последующих, усредненных по группам). При переводе с английского данные параметры могут также называться: эффект группово-временных взаимодействий (group-by-time interaction effect), главный эффект группы (main effect of group) и главный эффект времени (main effect of time).

Абсолютная спектральная мощность

Для оценки электрофизиологических параметров, отражающих психоэмоциональное состояние пациентов, первоначально был использован анализ средних арифметических показателей абсолютной мощности исследуемого диапазона частот с каждого электрода. Альфа ($p = 0,003$) и бета ($p = 0,004$) диапазоны имели значительный главный эффект времени — в обеих группах имелся умеренный линейный прирост мощности. Когда альфа- и бета-диапазоны были разделены на подгруппы для увеличения чувствительности, альфа-1 ($p = 0,003$) и альфа-2 ($p = 0,005$), а также низкочастотный бета-ритм ($p = 0,001$) продемонстрировали значимый главный эффект времени, в отличие от высокочастотного бета-ритма ($p = 0,081$). При сравнении мощности альфа-1 ритма в 1 и 3 временном интервале отмечено её увеличение в обеих группах, но больше в группе с ВР ($p = 0,032$). При сравнении мощности альфа-2 ритма в контрольной группе имелся

незначительный прирост мощности, однако в основной группе после погружения в ВР отмечалось незначительное снижение мощности спектра. Среднее арифметическое и стандартная ошибка для каждой группы представлены в Таблице №2 и показывают сопоставимые линейные изменения при повторных измерениях.

Группово-временные взаимодействия не достигли статистической значимости в изменениях альфа- и бета-ритмов, включая их подгруппы, в разные временные интервалы. Однако, главный эффект группы оказался статистически значимым при сравнении средней мощности как обеих подгрупп альфа-ритма ($p = 0,035$), так и низкочастотного бета2-ритма ($p = 0,033$). Последующее исследование этой разницы с помощью однофакторного дисперсионного анализа в каждом временном интервале показало, что в начале исследования группы были статистически сопоставимы по альфа-ритму ($p = 0,065$), однако при сравнении в конце исследования демонстрировали значимую разницу ($p = 0,029$). При однофакторном дисперсионном анализе по бета-ритму было выявлено, что мощность низкочастотного бета1-ритма в начале исследования была незначимо выше в основной группе ($p = 0,051$), но при сравнении в конце исследования показала значительный прирост ($p = 0,025$). Суммируя, спектральная мощность как альфа-ритма, так и низкочастотного бета1-ритма в основной группе статистически значимо увеличилась после погружения в ВР. Представленные данные по спектральным мощностям альфа- и низкочастотного бета-ритмов дополняют значимый главный эффект группы, полученный при первичном многофакторном дисперсионном анализе с повторяющимися данными.

Таким образом, спектральная мощность низкочастотного и высокочастотного альфа-ритма и низкочастотного бета2-ритмов значимо увеличивалась за время исследования в обеих группах, при этом при сравнении двух групп в конце исследования удалось выявить небольшое преобладание спектральной мощности общего альфа-ритма и низкочастотного бета2-ритма в основной группе.

Относительная спектральная мощность (соотношение мощностей)

Для дальнейшего анализа изменений в спектральной мощности различных диапазонов относительно друг друга, то есть вычисления относительной мощности, среднее значение абсолютных мощностей были представлены, как соотношения между собой. Сначала вычислялись изменения мощности отдельных частотных диапазонов относительно общей суммарной спектральной мощности всех ритмов (Сумма 1–30 Гц), затем относительно друг друга. Статистически значимый главный эффект времени был выявлен для соотношения альфа/сумма ($p = 0,015$) и альфа/бета ($p = 0,009$), однако не для соотношения бета/сумма ($p = 0,523$). В целом, во время исследования мощность альфа-ритма увеличивалась пропорционально общей сумме мощностей и мощности бета-ритма, в

то время как соотношение бета/сумма незначительно уменьшалось. Среднее соотношений для изучаемых диапазонов представлено в Таблице 2. Анализ главного эффекта группы и группово-временных взаимодействий не выявил статистической значимости в изменениях соотношений альфа/сумма, альфа/бета и бета/сумма.

При разделении альфа- и бета-ритмов на подгруппы в соотношениях альфа1/сумма ($p = 0,025$), высокочастотный бета2/сумма ($p = 0,009$), высокочастотный бета2/альфа ($p < 0,001$), низкочастотный бета1/альфа ($p = 0,008$) низко-/высокочастотный бета ($p < 0,001$) был выявлен значимый главный эффект времени и незначимый эффект группы. В целом, за время исследования в обеих группах соотношения альфа1/сумма значимо увеличилось ($p = 0,031$), напротив соотношения низкочастотного бета1/альфа ($p = 0,028$) и высокочастотный бета2/альфа ($p = 0,002$) уменьшились. Значение соотношения высокочастотный бета2/сумма ($p = 0,009$) линейно снижалось во время исследования незначительно в контрольной группе и более заметно в группе с ВР. Изменения в соотношениях высокочастотный альфа2/сумма ($p = 0,093$), низкочастотный бета1/сумма ($p = 0,660$), низко-/высокочастотный альфа ($p = 0,375$) оказались незначительными как между временными интервалами, так и между группами. Рисунок №3 показывает динамику относительной спектральной мощности в основной и контрольной группе в исследуемых временных интервалах.

Примечательно, что статистически значимые взаимодействия были получены для соотношения низко-/высокочастотный бета ($p = 0,032$). Последующий дисперсионный анализ (ANOVA) показал, что между первой и второй записью, разделенной периодом 5-минутного отдыха, соотношение низко-/высокочастотный бета было статистически сопоставимо между группами ($p = 0,057$). В то время, как при сравнении с последней записью разница достигла статистически значимой ($p = 0,048$). Разница в соотношении низко-/высокочастотный бета при первой и второй записи в основной группе являлась статистически незначимой ($p = 0,958$), в отличие от сравнения первой и последней записи ($p = 0,005$). В контрольной группе аналогичное сравнение не выявило статистической значимости ни в одном из изучаемых временных интервалов. На Рисунке №3 изображены данные взаимодействия. Таким образом, в основной группе (с ВР) относительная мощность низкочастотного бета-ритма значимо увеличивалась (относительно высокочастотного бета-ритма).

Заключение

Данное исследование является одним из первых в оценке потенциального позитивного влияния технологий ВР на психоэмоциональное состояние пациентов с афазиями. При сравнении настроения по ВАШ в основной группе (с ВР) и контрольной (с традиционным психологическим занятием) было выявлено субъективное улучшение в обеих группах. Кроме того, в основной группе были определены объективные электрофизиологические

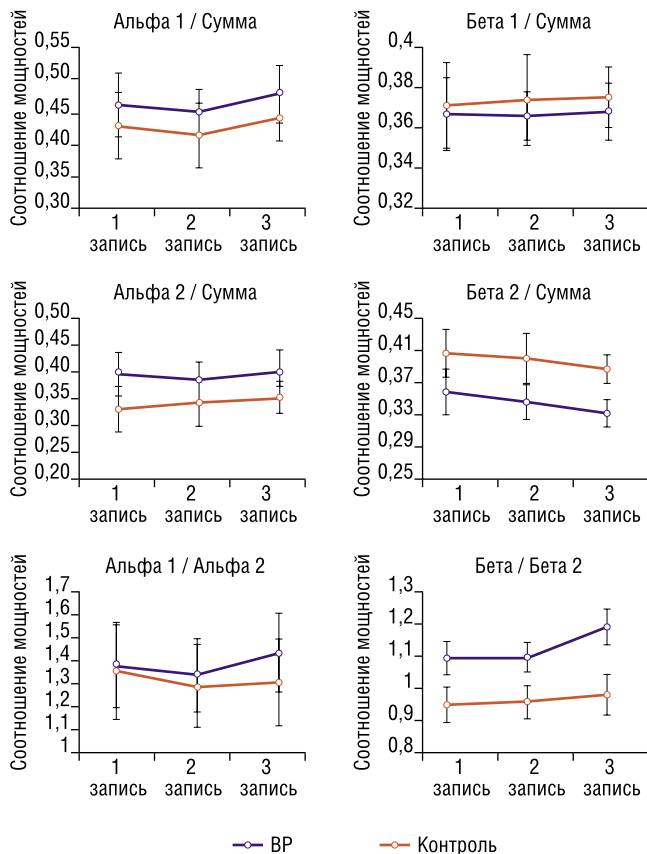


Рис. 3. Изменения мощности низкочастотных и высокочастотных альфа- и бета-ритмов относительно суммарной мощности и относительно друг друга во время исследования в VR и контрольной группах (приведены средние арифметические значения с указанием границ доверительных интервалов).

маркеры, ассоциированные со снижением уровня стресса и тревоги. Погружение в VR приводило к статистически значимому увеличению относительной спектральной мощности низкочастотного бета-ритма (относительно альфа-ритма) при сравнении с контрольной группой и к сопоставимому увеличению абсолютных мощностей альфа-ритма и низкочастотного бета-ритма.

Полученные результаты соотносятся с данными литературы: недавний обзор [12] методологии и результатов 184 исследований ЭЭГ в состоянии покоя у пациентов с различными психическими расстройствами, в которых сообщалось об изменениях или их отсутствии в спектральной мощности различных частотных диапазонов, выявил в литературе 21 исследование рассматривающее изменения ЭЭГ при депрессии и тревоге. На основании данных исследований был сделан вывод, что при депрессии часто наблюдалось увеличение абсолютной мощности бета-ритма как с закрытыми, так и с открытыми глазами, однако при пересчёте относительной спектральной мощности не во всех исследованиях сохранялась статистическая значимость. Ещё более свежий обзор [13] 13-ти исследований (всего 316 участников), оценивающих изменения ЭЭГ при использовании кратковременных релаксационных техник, показал снижение мощности

бета-ритма и достигшее статистической значимости увеличение мощности альфа-ритма, что определялось, как нейрофизиологический маркер для релаксации.

Следует отметить, что настоящее исследование имеет ряд ограничений и требует дальнейшего изучения долгосрочного влияния курсов расслабляющей VR на психоэмоциональное состояние пациентов с афазиями.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Ashaie S, Hurwitz R, Cherney L. Depression and Subthreshold Depression in Stroke-Related Aphasia. *Arch Phys Med Rehabil.* 2019; 7:1294–1299.
2. Mitchell A, Sheth B, Gill J, Yadegarfar M, Stubbs B, Yadegarfar M, Meader N. Prevalence and predictors of post-stroke mood disorders: A meta-analysis and meta-regression of depression, anxiety and adjustment disorder. *Gen Hosp Psychiatry.* 2017; 47: 48–60.
3. Baker C, Worrall L, Rose M, Hudson K, Ryan B, O'Byrne L. A systematic review of rehabilitation interventions to prevent and treat depression in post-stroke aphasia. 2017: 1464–5165.
4. Русских О.А., Чумакова У.О., Смирнова Е.А., Перевощиков П.В., Сыроматникова Л.И. Взаимосвязь речевых нарушений с тревогой и депрессией у постинсультных пациентов и возможности нейропсихологической реабилитации // *Человек. Искусство. Вселенная.* — 2018. — №1. — С. 267–271. [Russkikh OA, Chumakova UO, Smirnova EA, Perevoshchikov PV, Syromiatnikova LI. The relationship of speech disorders with anxiety and depression in post-stroke patients and possibilities of neuropsychological rehabilitation. *Chelovek. Iskusstvo. Vselennaya,* 2018; 1: 267–271. (In Russ).]
5. Camara E. Virtual reality: applications in medicine and psychiatry. *Hawaii Med J.* 1993; 52(12): 332–333.
6. Карпов О.Э., Даминов В.Д., Новак Э.В., Мухаметова Д.А., Слепнева Н.И. Технологии виртуальной реальности в медицинской реабилитации, как пример современной информатизации здравоохранения // *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.* — 2020. — Т.15. — №1. — С.89–98. [Karpov OE, Daminov VD, Novak EV, Mychametova DA, Slepnyova NI. Virtual reality technologies in medical rehabilitation as an example of modern health informatization. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center.* 2020; 15(1): 89–98. (In Russ).]
7. Freeman D, Reeve S, Robinson A, Ethlers A, Clark D, Spanlang B, Slater M. Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological Medicine.* 2017; 47: 1–8.
8. Даминов В.Д., Горохова И.Г., Даминов М.В., Новак Э.В., Слепнева Н.И. Применение системы технологий виртуальной реальности в клинической реабилитации. — М.: Мaska, 2020. [Daminov VD, Gorochova IG, Daminov MV, Novak EV, Slepnyova NI. *Primenenie sistemy tekhnologij virtual'noj real'nosti v klinicheskoy rehabilitacii.* М.: Maska; 2020 (In Russ).]
9. Kontou E, Thomas S, Lincoln N. Psychometric properties of a revised version of the Visual Analog Mood Scales. 2012; 26(12): 1133–1140.
10. EuroQol Research Foundation. EQ-5D-5L User Guide. 2019. Available at: <https://euroqol.org/publications/user-guides>. Accessed Dec 12, 2020.
11. Акулова А.И., Гайдукова И.З., Ребров А.П. Валидация версии 5L опросника EQ-5D в России // *Научно-практическая ревматология.* — 2018. — Т.56. — №3. — С.351–355. [Akulova AI, Gaydukova IZ, Rebrov AP. Validation of the EQ-5D-5L version in Russia. *Rheumatology Science and Practice.* 2018; 56(3): 351–355. (In Russ).]
12. Newson J, Thiagarajan T. EEG Frequency Bands in Psychiatric Disorders: A Review of Resting State Studies. 2019; 12: 521.
13. Gaur S, Panjwani U, Kumar B. EEG Brain Wave Dynamics: A Systematic Review and Meta Analysis on Effect of Yoga on Mind Relaxation. *J Biomed Res Environ Sci.* 2020; 1(7): 353–362.