

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования

**«КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени В.И. Вернадского»**

(ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»)

**Институт биохимических технологий, экологии и фармации**

Кафедра физиологии человека и животных и биофизики

**АЛЕКСАНДРОВА София Евгеньевна**

**РЕАКТИВНОСТЬ СЕНСОМОТОРНЫХ РИТМОВ  
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ПРИ ВОСПРИЯТИИ  
ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ЛИЦЕВОЙ ЭКСПРЕССИИ**

НАУЧНАЯ РАБОТА

обучающейся 2 курса

Направления подготовки 06.04.01 Биология

Форма обучения очная

Научный руководитель:

профессор кафедры физиологии человека

и животных и биофизики, д.б.н.



В.В. Павленко

Симферополь 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....</b>	<b>2</b>
ВВЕДЕНИЕ.....	3
<b>РАЗДЕЛ 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ.....</b>	<b>5</b>
1.1 МЕТОД ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ.....	5
1.2. ТЕОРИЯ СИСТЕМЫ ЗЕРКАЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ.....	6
1.3. ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЗЕРКАЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ.....	8
1.4. РЕАКТИВНОСТЬ СЕНСОМОТОРНЫХ РИТМОВ ЭЭГ .....	10
1.5. ИЗМЕНЕНИЕ РЕГИСТРИРУЕМЫХ РИТМОВ ЭЭГ ПРИ ВОСПРИЯТИИ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ЛИЦЕВОЙ ЭКСПРЕССИИ.....	14
<b>РАЗДЕЛ 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. ....</b>	<b>15</b>
<b>РАЗДЕЛ 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ..</b>	<b>19</b>
4.1. СОСТАВ ВЫБОРКИ.....	19
4.2. РЕАКТИВНОСТЬ СМР ПРИ ВОСПРИЯТИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ И УЛЫБАЮЩИХСЯ ЛИЦ В ПЕРВОЙ СЕРИИ ЭКСПЕРИМЕНТА .....	19
4.3. РЕАКТИВНОСТЬ СМР ПРИ ВОСПРИЯТИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ И УЛЫБАЮЩИХСЯ ЛИЦ ВО ВТОРОЙ СЕРИИ ЭКСПЕРИМЕНТА .....	24
4.4. РЕАКТИВНОСТЬ СМР ПРИ ВОСПРИЯТИИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ НЕЙТРАЛЬНЫХ И УЛЫБАЮЩИХСЯ ЛИЦ В ПЕРВОЙ СЕРИИ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	30
4.5. РЕАКТИВНОСТЬ СМР ПРИ ВОСПРИЯТИИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ НЕЙТРАЛЬНЫХ И УЛЫБАЮЩИХСЯ ЛИЦ ВО ВТОРОЙ СЕРИИ ЭКСПЕРИМЕНТА .....	34
<b>ВЫВОДЫ.....</b>	<b>36</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>38</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Способность различать лица, мимику и аффективные образы включает процессы высшей нервной деятельности, которые применяются в психологии настроения и эмоций [Güntekin, Basar, 2014]. Одним из современных методов исследования высшей нервной деятельности человека является электроэнцефалография (ЭЭГ). Группой учёных были рассчитаны изменения мю- и затылочного альфа-ритма ЭЭГ у двадцати двух участников при просмотре динамических видеостимулов, включающих в себя эмоциональные и нейтральные выражения лица, а также небиологические стимулы. Из всех четырёх типов стимулов подавление мю-ритма было наиболее сильным при нейтральном выражении лица, а затылочного альфа-ритма – при небиологических стимулах [Karakale et al., 2019]. Полученные результаты оценки ЭЭГ могут указывать на то, что снижение доступности эмоциональной информации при нейтральном выражении лица требует большего сенсомоторного участия в расшифровке информации, которая связана с эмоциями, чем полноценные счастливые или печальные выражения, которые более легко распознаваемы [Kohler et al., 2002]. Считается, что мю-ритм ЭЭГ, являющийся сенсомоторным, отражает активность зеркальных нейронов. Однако у людей с расстройствами аутистического спектра (РАС) работа данной системы может быть нарушена. Доказано, что у людей с РАС происходит значительное подавление мю-ритма при самостоятельном движении рук, но не при наблюдаемом [Oberman et al., 2005].

Данная работа направлена на изучение нейрофизиологических механизмов процесса восприятия эмоциональной лицевой экспрессии и может быть основой для разработки методов коррекции поведения людей с расстройствами аутистического спектра.

Научная новизна: в данной работе впервые рассмотрена реактивность сенсомоторных ритмов ЭЭГ (в том числе, как индикаторов активности СЗН) у взрослых испытуемых при восприятии эмоциональной лицевой экспрессии.

Научно-практическое значение: данная работа может стать основой для последующего изучения и коррекции симптомов у людей с РАС.

Цель настоящей работы: анализ реактивности сенсомоторных ритмов ЭЭГ при восприятии эмоциональной лицевой экспрессии у здоровых взрослых испытуемых.

В качестве основной гипотезы выступает предположение о том, что при просмотре фотографий и видеоизображений лиц с разной эмоциональной экспрессией сенсомоторные ритмы будут изменяться.

В соответствии с целью и гипотезой исследования были поставлены следующие задачи:

1. Выявить различия сенсомоторных ритмов (СМР) при восприятии фотоизображений нейтральных и улыбающихся лиц при демонстрации фотоизображений после фонового изображения.

2. Выявить различия СМР при восприятии фотоизображений нейтральных и улыбающихся лиц при предъявлении фотоизображений в условиях, приближенных к естественным, без фонового изображения.

3. Выявить различия СМР при восприятии видеоизображений нейтральных и улыбающихся лиц при демонстрации видеоизображений после фонового изображения.

4. Выявить различия СМР при восприятии видеоизображений нейтральных и улыбающихся лиц при демонстрации видеоизображений в условиях, приближенных к естественным, без фонового изображения.

Объект исследования: ЭЭГ у взрослых испытуемых при восприятии эмоциональной лицевой экспрессии.

Предмет исследования: реактивность сенсомоторных ритмов ЭЭГ у взрослых испытуемых при восприятии эмоциональной лицевой экспрессии.

## РАЗДЕЛ 1

### ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ

#### 1.1 Метод электроэнцефалографии

Электроэнцефалография – это сложный электрический процесс, который можно зарегистрировать, расположив электроды на поверхности кожи головы. Электроэнцефалограмма – это результат суммации электрических потенциалов, генерируемых нейронами головного мозга. Как показывают многие исследования, электрические потенциалы нейронов тесно связаны с информационными процессами. Лишь когда собственное возбуждение нейрона достигает пороговой величины, он может генерировать потенциал действия, посредством которого передаётся возбуждение эффекторным органам или другим нейронам. На нейрон через синапсы оказываются возбуждающее и тормозящее воздействия. Именно они и определяют уровень возбуждения нейрона [Зенков, 2012].

Альфа-ритм можно зарегистрировать у большей части здоровых взрослых, находящихся в расслабленном состоянии бодрствования и с закрытыми глазами. Частота данного ритма составляет 8 – 13 Гц, а максимальная амплитуда (100 мкВ) наблюдается в затылочном отделе больших полушарий головного мозга. Амплитуда альфа-ритма может меняться в зависимости от функционального состояния мозга, а также спонтанно (волнообразное нарастание и снижение амплитуды с образованием так называемых «веретён»).

Бета-ритм регистрируется у человека во время активного бодрствования, и его частота равна 14 - 40 Гц, а амплитуда – 30 мкВ. Лучше всего данный ритм представлен в области передних центральных извилин. Он связан с двигательными и соматическими корковыми механизмами.

Тета-ритм регистрируют у людей, находящихся в состоянии усталости. Частота ритма равна 4 – 8 Гц, а амплитуда не превышает 100 мкВ [Чувилев, 2006].

Дельта-ритм регистрируется во время глубокого сна. Частота этого ритма составляет 1 – 4 Гц, а максимальная амплитуда – 250 мкВ. В ЭЭГ человека выделяют два типа дельта-колебаний: один из них имеет корковое происхождение и связан с медленными процессами КБП, а другой – таламическое [Кропотов, 2010].

Кроме перечисленных выше видов активности, существуют также каппа-ритм, мю-ритм, гамма-ритм и лямбда-волны, однако они не играют роли при клинических исследованиях, поскольку наблюдаются лишь в условиях, которые как правило не применяют при стандартном исследовании ЭЭГ [Чувилев, 2006].

## **1.2. Теория системы зеркальных нейронов**

Группа итальянских нейрофизиологов в середине 1990-х годов предложила использовать термин «зеркальные нейроны» для того, чтобы обозначить группу нейронов, которые были обнаружены в КБП макака. Данные нейроны возбуждались не только при выполнении какого-либо действия, но и при наблюдении за тем, как выполняет действие другой индивидуум. Зеркальные нейроны в первую очередь обнаружили в 44 поле по Бродману (которое соответствует центру Брока), а также в нижней теменной доле и в височной борозде [Косоногов, 2009].

Рассмотрим подробнее, как активность зеркальных нейронов влияет на ЭЭГ человека. Задний альфа-ритм ярко выражен, когда сенсорные системы человека (в особенности, зрительная система) неактивны, и исчезает при появлении сенсорных стимулов и раздражителей. В свою очередь, мю-ритм активизируется во время умственной нагрузки, и подавляется при

соматосенсорной стимуляции, а также во время двигательной активности [Rizzolatti et al., 2001]. После ряда экспериментов Гасто и Берт выяснили, что мю-ритм блокируется при наблюдении за действиями другого индивидуума, а это, в свою очередь, является доказательством активности СЗН [Gastaut, Bert, 1954].

Неоспоримую роль СЗН при формировании различных социальных навыков подтверждают исследования пациентов с расстройствами аутистического спектра.

Система зеркальных нейронов человека тесно взаимосвязана с различными формами социального взаимодействия и затрагивает процессы, включающие замещающий опыт. Учёные предположили, что деформированная СЗН может лежать в основе различных дефектов, вызывающих отклонения аутистического спектра. Данные расстройства отличаются повышенным уровнем десинхронизации бета-ритмов. Вдобавок ко всему, значительно увеличивается значение десинхронизации при просмотре изображений со счастливыми выражениями лиц. Индекс ЭЭГ активации СЗН человека (подавления мю-ритмов) является показателем чувствительности вариабельности фасциальной обработки в типично развивающемся индивидууме с высоким уровнем самоопределяющихся черт аутизма [Cooper et al., 2013].

Дисфункция СЗН может объяснить отклонения от нормы, которые наблюдаются при расстройствах аутистического спектра. Одним из методов проверки функционирования этой системы является измерение колебаний мю-ритма по отношению к фактическому и наблюдаемому движению, потому что считается, что именно мю-ритм отражает активность зеркальных нейронов. В результате исследования учёные пришли к выводу, что у людей с РАС происходит значительное подавление мю-ритма при самостоятельном движении рук, но не при наблюдаемом, в отличие от контрольной группы

здоровых людей, у которых ритм подавлялся в обоих случаях [Oberman et al., 2005].

Основным предположением о том, как люди понимают и делают выводы о намерениях и убеждениях других, является существование функционального различия между собой и другими. Для управления таким критическим различием было предложено по крайней мере две нейронные системы. Одна система, часть классической двигательной системы, специализируется на подготовке и выполнении двигательных действий, которые являются самореализующимися и добровольными, в то время как другая участвует в захвате и понимании действий. Последняя система, частью которой является система зеркальных нейронов, является канонической "резонансной" системой действия в мозге. Предполагается, что зеркальное отображение или "системы с общей схемой" участвуют в резонансе, имитации действий других людей. Ряд исследователей предположили, что общие представления о двигательных действиях могут стать основополагающим краеугольным камнем для социальных процессов более высокого порядка, таких как моторное обучение, понимание действий, имитация, восприятие перспективы, понимание эмоций на лице и сопереживание. Сенсомоторные преобразования не только необходимы для вычисления закономерностей активации мышц и кинематики во время наблюдения за действием, но и дают потенциальные ответы на проблемы разработки, соответствия и контроля [Pineda, 2008].

### **1.3. Исследования системы зеркальных нейронов**

Имитация - это основная форма моторного обучения в процессе развития. Люди предпочитают имитировать действия других, как будто смотрят в зеркало (зеркальная имитация: то есть когда актер двигает левой рукой, имитатор двигает правой рукой), а не анатомически конгруэнтной рукой (анатомическая имитация: то есть актер и имитатор двигают правой



рукой) [di Pellegrino et al., 1992]. Обзор исследований по имитации показал необходимость дальнейших исследований, направленных на определение того, какие когнитивные и нейронные структуры могут работать в сочетании с СЗН для поддержания имитации [Williams et al., 2001]. Исследователи предположили, что это предпочтение отражает изменения активности в лобно-теменных областях коры, участвующих в непосредственном сопоставлении наблюдаемых и выполняемых действий (области зеркальных нейронов). При помощи фМРТ изучали мозговую активность у нормальных добровольцев, имитирующих движения левой и правой рукой. Двусторонняя нижняя лобная и правая задняя теменная кора были более активны во время зеркальной имитации по сравнению с анатомической имитацией и контрольными двигательными задачами. Кроме того, такая же картина активности наблюдалась и в ростральной части дополнительной моторной области правого полушария. Эти результаты свидетельствуют о том, что степень вовлеченности лобно-теменных зеркальных областей в имитацию зависит от характера имитационного поведения [Koski et al., 2002].

Специалисты использовали функциональную магнитно-резонансную томографию (фМРТ), чтобы исследовать, где в человеческом мозге может быть обнаружена активация, отражающая как каноническую, так и зеркальную активность нейронов. Наблюдалась активация во внутрипариетальных и вентральных участках прецентральной борозды, когда субъекты наблюдали за объектами и когда они выполняли движения в ответ на объекты (канонические нейроны). Когда испытуемые наблюдали за жестами (зеркальные нейроны), происходила активация в дорсальной премоторной коре, внутрипариетальной коре, теменной области и верхней височной борозде. Наконец, были обнаружены активации в вентральной премоторной коре и нижней лобной извилине, когда испытуемые имитировали жесты и выполняли движения в ответ на объекты [Grezes et al., 2003].

Имитация может основываться на механизме, непосредственно сопоставляющем наблюдаемое действие с внутренним моторным представлением этого действия («гипотеза прямого соответствия»). Чтобы проверить эту гипотезу, участникам-людям было предложено наблюдать и имитировать движение пальца и выполнять то же самое движение после пространственных или символических сигналов. Активность мозга измерялась с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии. Были обнаружены области, которые становятся активными во время движения пальца, независимо от того, как оно вызывается, и их активация увеличивалась, когда одно и то же движение вызывается наблюдением за идентичным движением, совершенным другим человеком. Они располагались в левой нижней лобной коре (оперкулярная область, находящаяся между нижним концом нижней прецентральной борозды и восходящей ветвью латеральной борозды) и в самой роstralной области правой верхней теменной доли [Pascoboni et al., 1999].

При помощи ЭЭГ-исследований было обнаружено, что у людей косвенные показатели нервной активности поддерживают существование сенсомоторных механизмов зеркального отображения в лобных и теменных областях, а также существуют механизмы зеркального отображения в немоторных областях [Mukamel et al., 2010].

#### **1.4. Реактивность сенсомоторных ритмов ЭЭГ**

Известно, что синхронизированные колебания бета-частоты в первичной моторной коре участвуют в поддержании устойчивых сокращений мышц коллатеральной руки и кисти, но долгое время оставалась загадкой роль постцентральных областей коры головного мозга при поддержании двигательной активности и закономерностей их взаимодействия с моторной корой. Были исследованы функциональные взаимосвязи бета-синхронизированных нейронных узлов в до - и постцентральных областях

двух обезьян, когда они нажимали на ручной рычаг во время ожидания задачи визуальной дискриминации. Была выявлена бета-синхронизированная сеть, связывающая доцентральные и постцентральные области, а также способность переносить причинные влияния от первичной соматосенсорной и нижней задней теменной коры к моторной коре [Brovelli et al., 2004].

Бета-ритмы были наиболее ярко выражены в области миндалевидного тела при просмотре динамичных изображений, по сравнению со статическими выражениями лиц. Выраженность бета-ритмов в левом участке орбитофронтальной коры отрицательно коррелировала с временным курсом приятных лицевых выражений, которые положительно коррелируют с временным курсом счастливых лицевых выражений. Эти различия, обусловленные конкретными эмоциями, свидетельствуют о том, что наблюдаемые изменения, потенциально, полностью влияют на обработку биологического движения мимических мышц [Symons et al., 2016].

Исследования показали, что подавление реактивности сенсомоторного мю-ритма можно интерпретировать как индекс активности СЗН человека. Ранее считалось, что подавление мю-ритма является результатом постсинаптической модуляции, которая связана с микронейронами в премоторной коре головного мозга. Однако в последнее время были обнаружены клетки, получившие название M1, которые являются первичными нейронами моторной коры со свойствами зеркальных нейронов. Понятие СЗН человека можно использовать как объяснение биологических механизмов в подтверждение теории реализованного познания теории моделирования. Данная теория утверждает, что люди способны понимать и воспринимать эмоции окружающих благодаря активации подобных нейронных процессов, что и у человека, испытывающего ту или иную эмоцию. Это объясняет способ восприятия выражений лиц других людей [Cooper et al., 2013].

Несмотря на то, что подавление мю-ритма считается признаком активности СЗН человека, частота этого ритма перекрывается полосой частот альфа-ритма, которая чувствительна к колебаниям внимания и, как следствие, может вызывать нарушения показателей мю-ритма из-за изменения внимания испытуемого. Было обнаружено сильное подавление мю-ритма, ограниченное центральными электродами, у участников эксперимента, когда они выполняли движения руками. Это подтверждает факт того, что мю-ритм действительно чувствителен к активности моторной коры [Gutsell, Inzlicht, 2010]. Селективное подавление биологических и небιологических стимулов наблюдалось на центральных электродах только тогда, когда мы использовались исходная линия в рамках испытания, основанного на статическом стимуле: этот метод значительно уменьшил вариации проб в мерах подавления по сравнению с базовыми показателями, основанными на чистых испытаниях. Однако даже в этом состоянии 21% участников не показал подавление мю-ритма. Основываясь на этих данных, можно предположить, что хоть подавление мю-ритма и используется в качестве идентификатора активности СЗН человека, метод является ненадёжным, ведь его легко можно спутать с подавлением альфа-сигнала [Hobson, Bishop, 2016].

Чтобы изучить взаимосвязи между подавлением мю-ритма и активацией СЗН, группа учёных исследовала, как влияет на СЗН повреждение областей коры головного мозга, включая области, где, как считается, находится СЗН. ЭЭГ была записана у 33 пациентов с первым инсультом во время просмотра видеоклипов, демонстрирующих движения рук, тянущихся и хватающих. Величина подавления мю-ритма во время наблюдения за действием была значительно снижена в поражённом полушарии по сравнению с незатронутым полушарием. Различия между полушариями были значительными в центральных (сенсомоторных) зонах, но не в затылочных (зрительных) зонах. Общая потеря объема полушария не

коррелировала с подавлением мю-ритма. Соответственно, данное исследование поражения подтверждает роль подавления мю-ритма как маркера активации СЗН [Frenkel-Toledo, 2014].

Также было доказано, что осцилляция альфа-мю-ритма является широко используемой мерой системы зеркальных нейронов человека, которая использовалась для важных заявлений, касающихся когнитивного функционирования в здоровом и болезненном состоянии. При использовании нового многомерного аналитического подхода было выявлено, что кроссmodalные реакции мю-ритма ЭЭГ в первую очередь отражают соматосенсорные особенности действий [Coll, 2017].

Наиболее последовательный отрицательный корковый компонент соматосенсорных вызванных потенциалов, а именно фронтальный N30, можно считать более многомерным, чем строгий элемент стандартного соматосенсорного исследования, предназначенный для отслеживания афферентного импульса от потенциалов периферических сенсорных нервов к первичной соматосенсорной коре. Различные перекрывающиеся области моторной и премоторной коры головного мозга специфически участвуют в генерации N30 в форме бета-гамма-колебательной фазовой блокировки и увеличения мощности [Sebolla, 2015].

Несколько исследований показали положительный клинический эффект тренинга для реабилитации после инсульта. В этом исследовании изучалась эффективность на основе сенсомоторного ритма со звуковой сигнализацией, моторным наблюдением и мультисенсорной обратной связью для реабилитации после инсульта. Подавление мю-ритма билатерального полушария имело положительную динамику в показателях двигательной функции на второй неделе, а значит данная терапия вместе с традиционной может способствовать длительному улучшению двигательной активности [Xin Li, 2022].

## **1.5. Изменение регистрируемых ритмов ЭЭГ при восприятии эмоциональной лицевой экспрессии**

Наблюдение за эмоциональными и нейтральными выражениями лиц могут быть отображены в колебаниях тета-диапазона. В свою очередь, в верхней височной борозде, орбитофронтальной коре и, возможно, миндалевидном теле облегченная сенсорная привязка эмоциональных выражений может отражаться в синхронизации гамма-ритма. Однако доказательства более неоднозначны, когда речь заходит о роли колебаний в пределах альфа-и бета-частот, которые варьируются в зависимости от сенсорных механизмов, наличия или отсутствия прогностической информации, а также требований к вниманию или задачам [Symons et al., 2016]. В последние годы увеличилось количество исследований, анализирующих изменение ЭЭГ при восприятии лица и эмоциональных образов. Как показали эти исследования, мозг более чувствителен к эмоциональным стимулам, чем к нейтральным стимулам, особенно повышена чувствительность мозга к негативным эмоциональным картинкам [Güntekin, Basar, 2014].

Изменения мю- и затылочного альфа-ритма были рассчитаны у двадцати двух участников при просмотре динамических видеостимулов, включающих в себя эмоциональные (счастливые и грустные) и нейтральные (открывание рта) выражения лица, а также небιологические стимулы (вращение калейдоскопа). Из всех четырёх типов стимулов подавление мю-ритма было наиболее сильным при нейтральном выражении лица, а затылочного альфа-ритма – при небιологических стимулах эмоций [Ozge Karakale et al., 2019].

## РАЗДЕЛ 2

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 2.1. Регистрация ЭЭГ

Регистрацию ЭЭГ осуществляли при проведении тестовых заданий на активацию зеркальных нейронов головного мозга у взрослых испытуемых в возрасте 18-25 лет. Во время регистрации ЭЭГ участники исследования находились в затемненной комнате в положении сидя в кресле. Монитор (Dell P2213, LCD, 22", разрешение 1680x1050, частота обновления экрана 60 Гц), на котором предъявлялся стимульный материал, располагался на расстоянии 50-80 см от глаз испытуемого. Стимулы представляли собой фотографии и видеозаписи нейтральных и улыбающихся лиц из Амстердамского набора динамических экспрессий (Amsterdam Dynamic Facial Expression Set – ADFES) (Рис.2.1). Отведение ЭЭГ осуществляется по общепринятой методике с помощью современного электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-5». ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно от лобных полюсных (Fp1, Fp2), фронтальных (F3, Fz, F4), задних ниже-лобных (F7, F8), центральных (C3, Cz, C4), средне-височных (T3, T4), задневисочных (T5, T6), теменных (P3, Pz, P4) и затылочных (O1, O2) отведений, расположенных в соответствии с международной системой «10–20». Пример записи ЭЭГ представлен на рисунке 2.2. В качестве референтного использовался объединенный ушной электрод. Во время записи ЭЭГ велась видеорегистрация. Все тестовые задания предъявлялись экспериментатором.

Эксперимент проводился в две серии: в первой серии участвовали 29 испытуемых в возрасте 19 – 25 лет; во второй серии – 10 человек того же возраста. Первая часть включала в себя демонстрацию фотоизображений и видеоизображений улыбающихся лиц и лиц с нейтральной эмоциональной экспрессией после показа фонового изображения (крестика). Мы построили эксперимент таким образом, чтобы выявить наличие или отсутствие

синхронизации или десинхронизации СМР при предъявлении изображений лиц по сравнению с фоновой записью.

Регистрация ЭЭГ испытуемого выполнялась в следующих экспериментальных ситуациях:

- открытых глазах – 30 с;
- закрытых глазах – 30 с;
- фоновом изображении (крестик) – 3 с;
- статичных изображениях спокойных лиц – 3 с;
- статичных изображениях улыбающихся лиц – 3 с;
- видеоизображениях нейтральных лиц – 3 с.
- видеоизображениях улыбающихся лиц – 3 с.

Вторая часть эксперимента была проведена в более «естественных» условиях, то есть была приближена к восприятию эмоциональной экспрессии в повседневной жизни: мы не демонстрировали крестик перед фотоизображениями и видеоизображениями лиц, а изображения следовали друг за другом, ведь в жизни люди считывают эмоции, сменяющие друг друга и появляющиеся постепенно.

Регистрация ЭЭГ испытуемого выполнялась в следующих экспериментальных ситуациях:

- открытых глазах – 30 с;
- закрытых глазах – 30 с;
- статичных изображениях спокойных лиц – 3 с;
- статичных изображениях улыбающихся лиц – 3 с;
- видеоизображениях смены лиц с нейтрального на улыбающееся – 3 с.

Следует отметить, что мы предъявляли по четыре фотографии нейтральных и улыбающихся лиц (два мужских, два женских). За нейтральным лицом всегда следовало улыбающееся. Перед предъявлением стимулов испытуемому давалось задание, какая из улыбок показалась



наиболее искренней. В качестве фона в первой части эксперимента использовали изображение крестика, а во второй - промежуток времени в 1 с, когда на мониторе находилось изображение нейтрального лица, а в качестве тестового участка – 2 с от момента предъявления фотографии улыбающегося лица, либо от момента появления улыбки на видеозаписи. При обработке данных получали изображения, отражающие в децибелах логарифм отношения тестовой к фоновой мощности ЭЭГ.

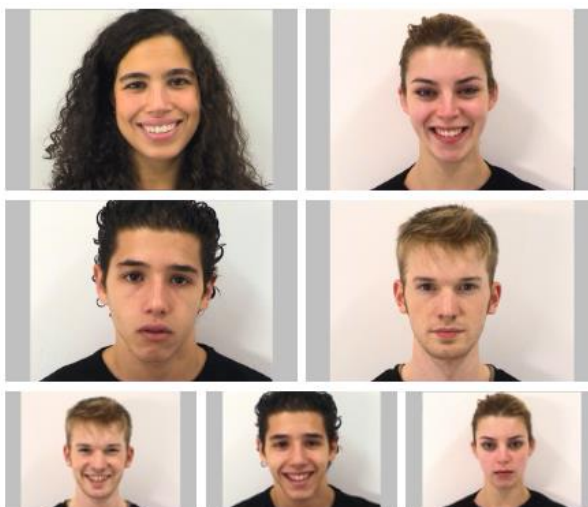


Рисунок 2.1. Примеры изображений лиц с разной эмоциональной экспрессией

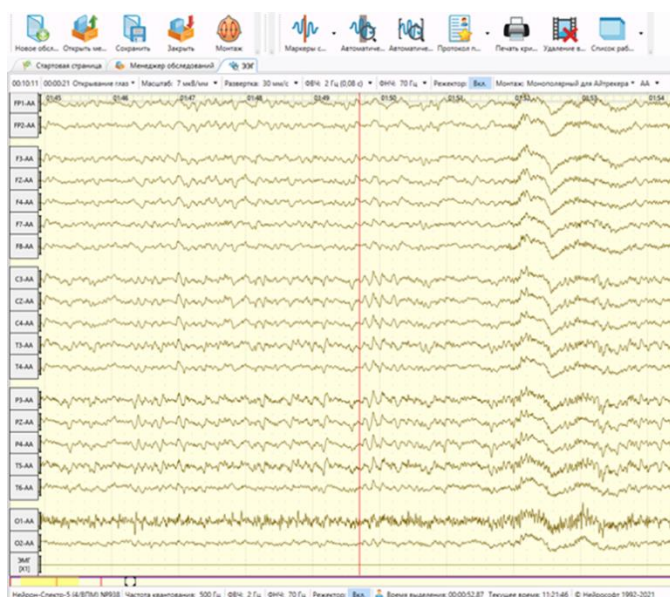


Рисунок 2.2. Пример записи ЭЭГ

## 2.2. Статистическая обработка данных

Артефакты в ЭЭГ-записи устраняли при визуальном просмотре и с помощью метода анализа независимых компонент в пакете EEGLAB toolbox (<http://www.sccn.ucsd.edu/eeglab/>). Временно-частотное разложение сигнала производили с помощью вейвлета Morlet. Для оценки изменений спектральной мощности ЭЭГ, вызванных предъявлением изображений лиц с помощью того же пакета рассчитывали связанные с событием спектральные пертурбации (СССП, event-related spectral perturbation), которые показывают изменения спектральной мощности ЭЭГ при предъявлении стимула по сравнению с уровнем престимульного интервала (фона). При обработке данных получали изображения, отражающие в децибелах логарифм отношения тестовой к фоновой мощности ЭЭГ. Отрицательные значения СССП соответствуют меньшей мощности в тестовом по сравнению с фоновым интервалом (десинхронизация ЭЭГ в определенном частотном диапазоне), положительные значения – большей мощности в тестовом интервале по сравнению с фоновым (синхронизация ЭЭГ). Достоверность различий рассчитывалась в пакете EEGLAB на основе параметрических критериев (критерий Стьюдента). Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$ .

## РАЗДЕЛ 4

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

#### 4.1. Состав выборки

В эксперименте принимали участие 39 человек в возрасте 18-25 лет, среди которых было пятнадцать юношей и двадцать четыре девушки. Средний возраст испытуемых составил  $21 \pm 0,50$  год.

Эксперимент проводился в две серии: в первой серии участвовали 29 испытуемых в возрасте 19 – 25 лет, среди которых 13 юношей, 16 девушек; во второй серии – 10 человек, среди которых 2 юношей и 8 девушек. Средний возраст испытуемых в первой серии эксперимента составил  $20,75 \pm 0,72$  год, во второй –  $20,89 \pm 0,40$  год.

#### 4.2. Реактивность СМР при восприятии нейтральных и улыбающихся лиц в первой серии эксперимента

Мы предъявляли по четыре фотографии нейтральных и улыбающихся лиц (два мужских, два женских). За нейтральным лицом всегда следовало улыбающееся. В качестве фона в первой части эксперимента использовали изображение крестика.

Вейвлет-анализ данных показал, что при предъявлении фотоизображений лиц как с нейтральной эмоциональной экспрессией, так и с выраженной эмоциональной экспрессией (улыбкой) по сравнению с фоновым изображением (крестиком) наблюдалась десинхронизация СМР на частоте 9-17 Гц в лобном отведении левого полушария, что видно на рисунке 4.1. При этом предъявление фотоизображения нейтрального выражения лица сопровождалось большей десинхронизацией на указанной частоте по сравнению с ситуацией предъявления фотоизображения улыбающегося лица ( $F_{p2}: p < 0,01$ ).

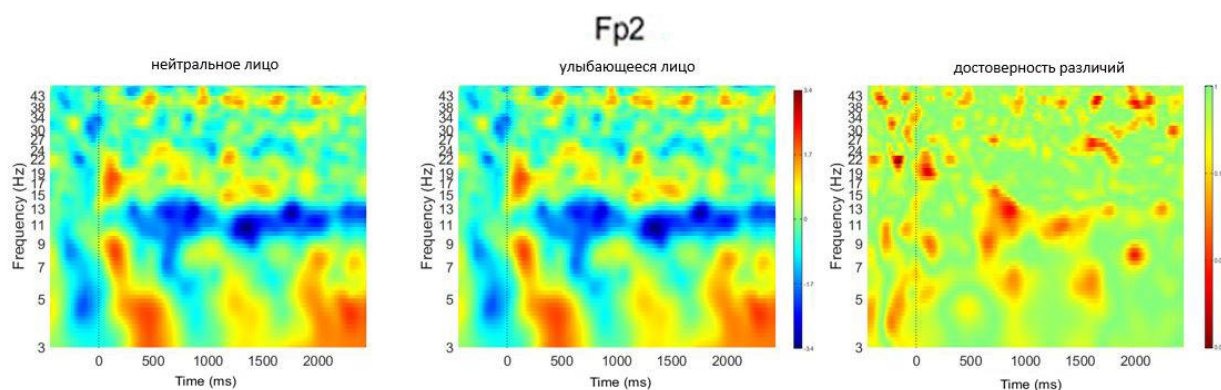


Рисунок 4.1. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. Вертикальная линия – момент появления фотоизображения лица на экране после фонового изображения (крестика). По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

Вейвлет-анализ данных показал, наблюдалась десинхронизация СМР на частоте 9-17 Гц в затылочных отведениях обоих полушарий при предъявлении фотоизображений лиц как с нейтральной эмоциональной экспрессией, так и с выраженной эмоциональной экспрессией (улыбкой) по сравнению с фоновым изображением (крестиком), это заметно на рисунке 4.2. и 4.3. Следует отметить, что предъявление фотоизображения улыбающегося лица сопровождалось большей десинхронизацией на указанной частоте по сравнению с ситуацией предъявления фотоизображения лица с нейтральным выражением (O1:  $p < 0,01$ ; O2:  $p < 0,001$ ).

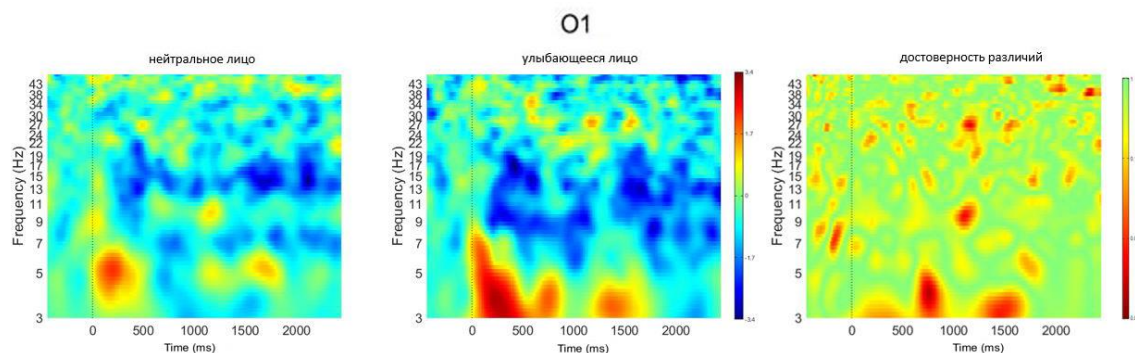


Рисунок 4.2. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. Вертикальная линия – момент появления фотоизображения лица на экране после фонового изображения (крестика). По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

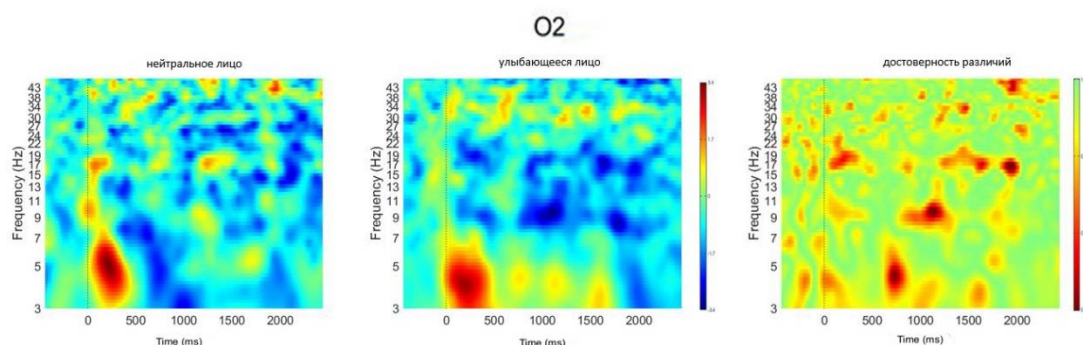


Рисунок 4.3. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. Вертикальная линия – момент появления фотоизображения лица на экране после фонового изображения (крестика). По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

Как продемонстрировал вейвлет-анализ данных, на частоте 9-17 Гц в теменном отведении правого полушария наблюдалась десинхронизация СМР

при предъявлении фотоизображений лиц как с нейтральной эмоциональной экспрессией, так и с выраженной эмоциональной экспрессией (улыбкой) по сравнению с фоновым изображением (крестиком). На изображениях ниже заметно, что предъявление фотоизображения нейтрального выражения лица сопровождалось большей десинхронизацией на указанной частоте по сравнению с ситуацией предъявления фотоизображения улыбающегося лица, что заметно на рисунке 4.4. (P4:  $p < 0,001$ ).

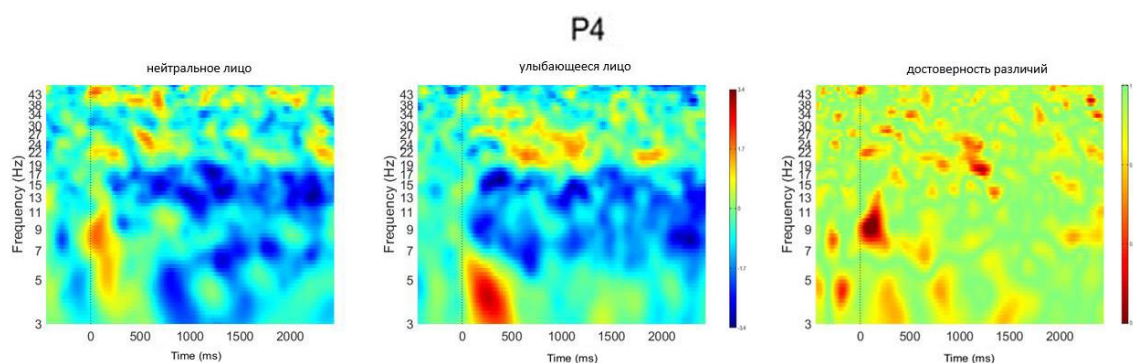


Рисунок 4.4. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. Вертикальная линия – момент появления фотоизображения лица на экране после фонового изображения (крестика). По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

Как показал вейвлет-анализ данных, при предъявлении фотоизображений лиц с нейтральной эмоциональной экспрессией и с выраженной эмоциональной экспрессией (улыбкой) по сравнению с фоновым изображением (крестиком) в медианном центральном отведении наблюдалась десинхронизация СМР на частоте 9-17 Гц. Заметно, что предъявление фотоизображения улыбающегося выражения лица сопровождалось большей десинхронизацией на указанной частоте по сравнению с ситуацией предъявления фотоизображения нейтрального лица (Cz:  $p < 0,01$ ), это видно на рисунке 4.5.

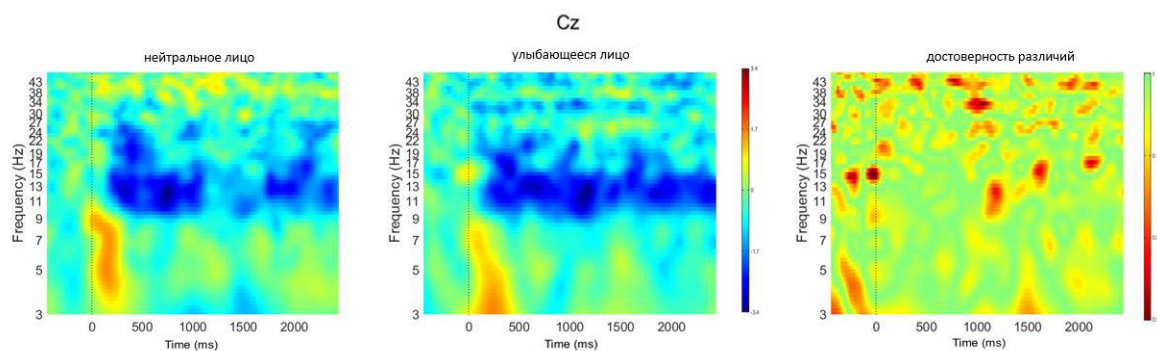


Рисунок 4.5. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. Вертикальная линия – момент появления фотоизображения лица на экране после фонового изображения (крестика). По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

Вейвлет-анализ данных показал, что при предъявлении фотоизображений лиц как с нейтральной эмоциональной экспрессией, так и с выраженной эмоциональной экспрессией (улыбкой) по сравнению с фоновым изображением (крестиком) наблюдалась десинхронизация СМР на частоте 9-17 Гц в височном отведении левого полушария. При этом предъявление фотоизображения нейтрального выражения лица сопровождалось большей десинхронизацией на указанной частоте по сравнению с ситуацией предъявления фотоизображения улыбающегося лица ( $T_5: p < 0,01$ ), что заметно на рисунке 4.6.

Таким образом, у взрослых испытуемых при предъявлении фотоизображений нейтральных и улыбающихся лиц по сравнению с фоновым изображением (крестиком) наблюдается десинхронизация СМР на частоте 9-17 Гц в лобном, затылочных, теменном, медианном и височном отведениях. Это свидетельствует о том, что у испытуемых активировалась СЗН [Cooper et al., 2013]. Благодаря этой системе у людей без отклонений и РАС происходит узнавание лиц других людей и впоследствии считывание их эмоций.

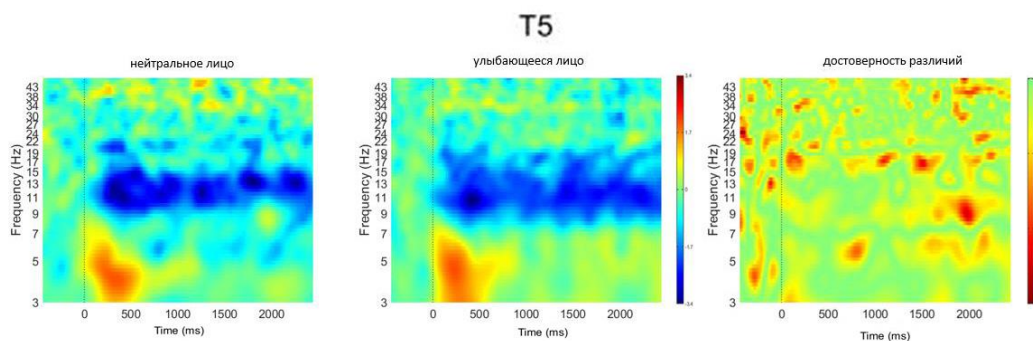


Рисунок 4.6. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. Вертикальная линия – момент появления фотоизображения лица на экране после фонового изображения (крестика). По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

### 4.3. Реактивность СМР при восприятии нейтральных и улыбающихся лиц во второй серии эксперимента

Мы предъявляли по четыре фотографии нейтральных и улыбающихся лиц (два мужских, два женских). За нейтральным лицом всегда следовало улыбающееся. В качестве фона во второй части эксперимента мы использовали промежуток времени в 1 с, когда на мониторе находилось изображение нейтрального лица, а в качестве тестового участка – 2 с от момента предъявления фотографии улыбающегося лица.

Вейвлет-анализ данных показал, что при предъявлении фотоизображений лиц с нейтральной эмоциональной экспрессией и с выраженной эмоциональной экспрессией (улыбкой) наблюдалась десинхронизация СМР на частоте 9-17 Гц в центральных отведениях. При этом предъявление фотоизображения нейтрального выражения лица сопровождалось большей десинхронизацией на указанной частоте по сравнению с ситуацией предъявления фотоизображения улыбающегося лица в центральном отведении левого полушария (С3:  $p < 0,01$ ). Тем временем, в



центральной отведении Cz наблюдалась большая десинхронизация (Cz:  $p < 0,01$ ), что видно на рисунке 4.7. и 4.8.

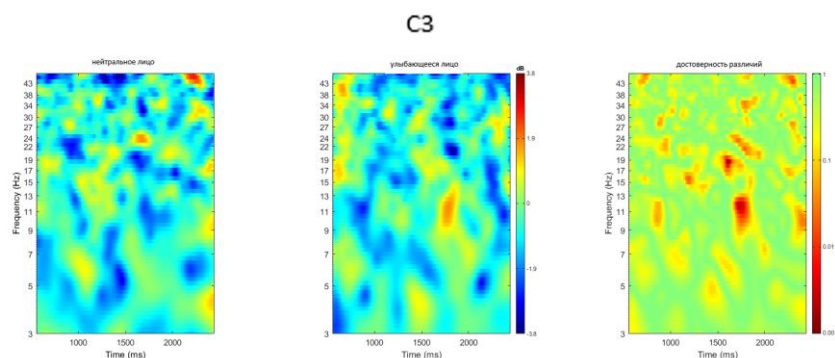


Рисунок 4.7. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

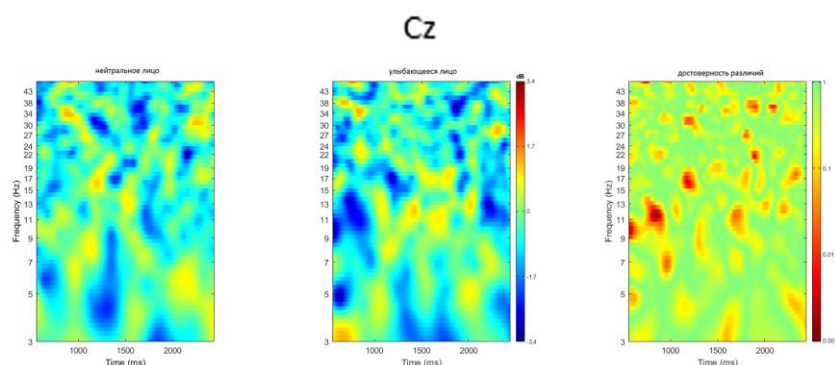


Рисунок 4.8. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

Как показал вейвлет-анализ данных, при предъявлении фотоизображений лиц с нейтральной эмоциональной экспрессией и с выраженной эмоциональной экспрессией (улыбкой) наблюдалась сначала десинхронизация, а затем синхронизация СМР на частоте 9-17 Гц в лобных

отведениях. Предъявление фотоизображения нейтрального выражения лица сопровождалось большей десинхронизацией на указанной частоте по сравнению с ситуацией предъявления фотоизображения улыбающегося лица ( $Fp1: p < 0,01$ ;  $Fz: p < 0,01$ ;  $F4: p < 0,01$ ), это мы замечаем на рисунках 4.9 – 4.11.

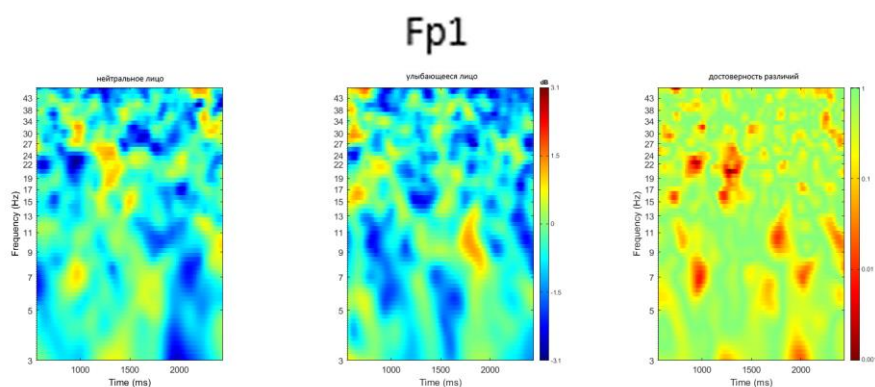


Рисунок 4.9. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

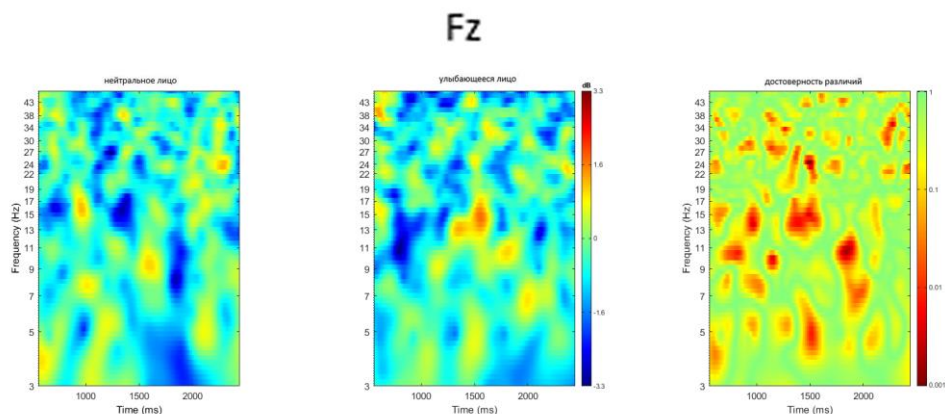


Рис.4.10. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

## F4

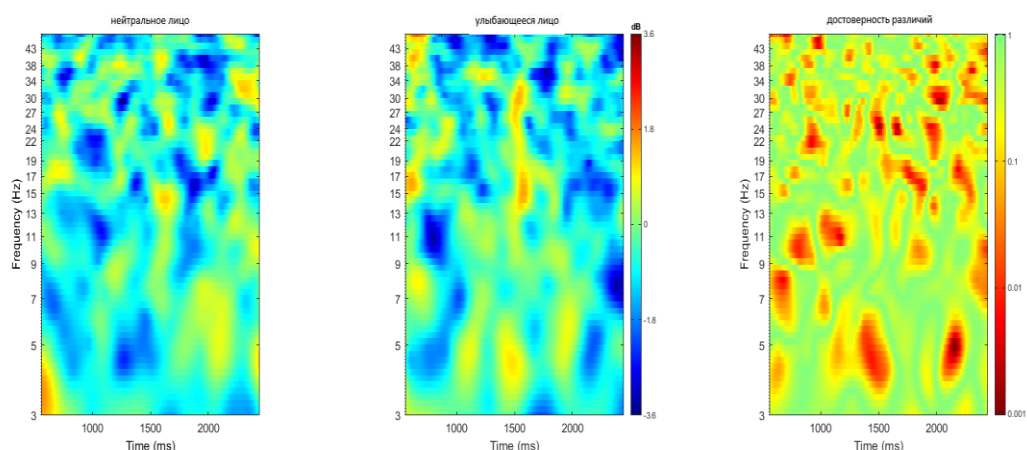


Рисунок 4.11. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

Как продемонстрировал вейвлет-анализ данных, на частоте 9-17 Гц в теменных отведениях наблюдалась десинхронизация СМР при предъявлении фотоизображений лиц как с нейтральной эмоциональной экспрессией, так и с выраженной эмоциональной экспрессией (улыбкой). На изображениях ниже заметно, что предъявление фотоизображения нейтрального выражения лица сопровождалось большей десинхронизацией на указанной частоте по сравнению с ситуацией предъявления фотоизображения улыбающегося лица ( $P_4$ :  $p < 0,01$ ;  $P_z$ :  $p < 0,001$ ), что мы можем наблюдать на рисунках 4.12 и 4.13.

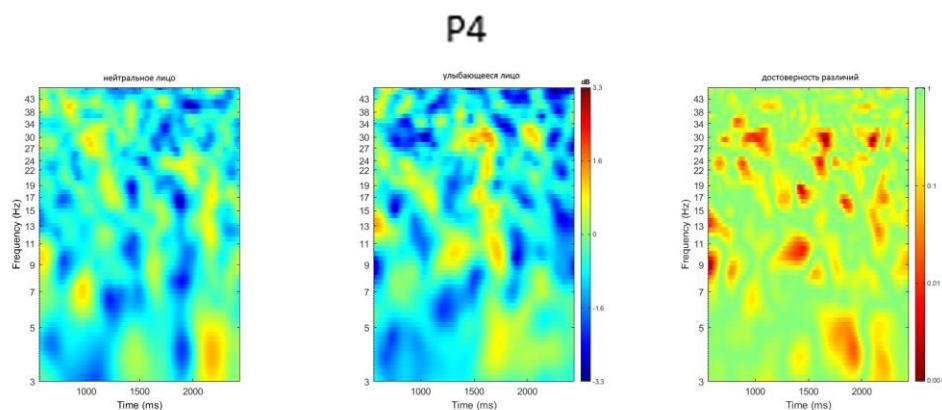


Рисунок 4.12. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

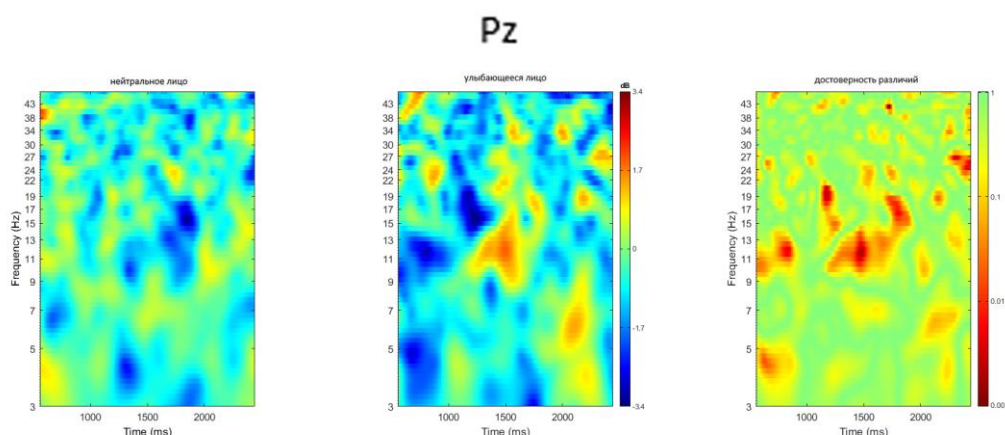


Рисунок 4.13. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

Вейвлет-анализ анализ данных показал, что при предъявлении фотоизображений лиц с нейтральной эмоциональной экспрессией и с выраженной эмоциональной экспрессией (улыбкой) наблюдалась десинхронизация СМР на частоте 9-17 Гц в височных отведениях правого

полушария. В задневисочном отведении заметна десинхронизация при предъявлении улыбающегося лица (Т6:  $p < 0,01$ ), что видно на рисунке 4.14.

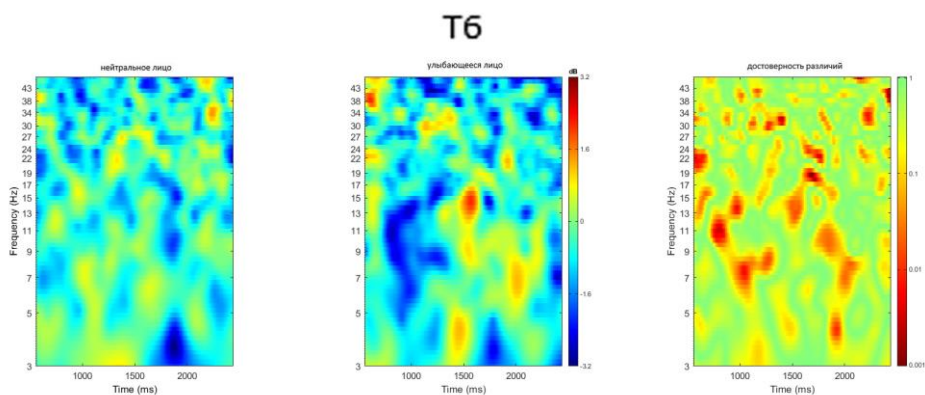


Рисунок 4.14. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

В височном отведении Т4 на рисунке 4.15 наблюдается большая десинхронизация при предъявлении лица с нейтральным выражением. (Т4:  $p < 0,01$ ).

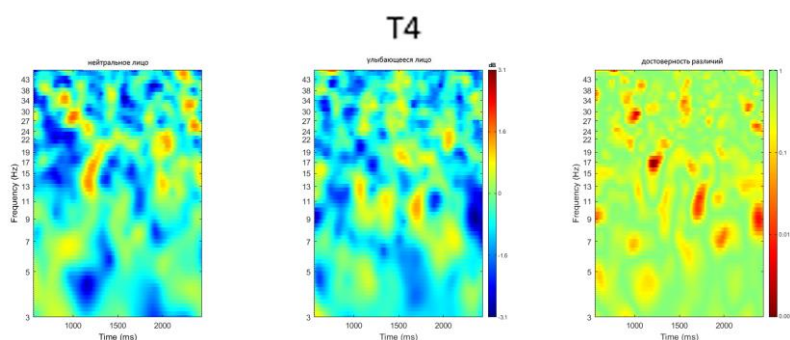


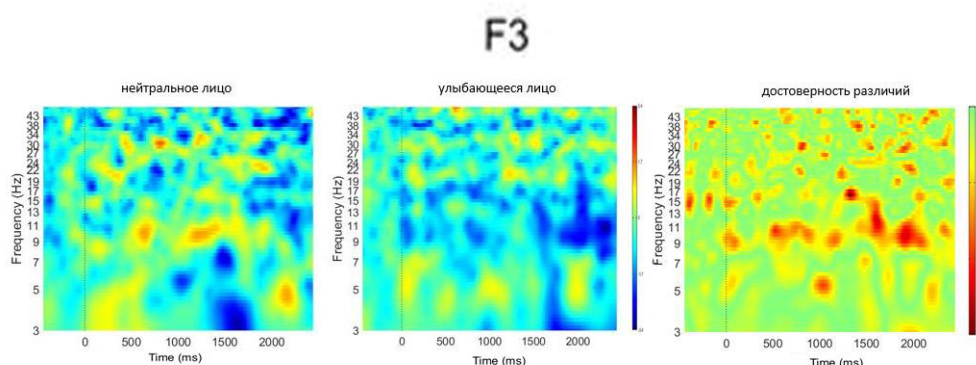
Рис.4.15. Реакция десинхронизации СМР на предъявление фотоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

Таким образом, синхронизация СМР на частоте 9-17 Гц у взрослых испытуемых наблюдается в центральных, лобных, теменных, височных отведениях при предъявлении фотоизображений лиц с нейтральной эмоциональной экспрессией и с улыбкой. Это может быть связано с расслаблением мозга после распознавания нейтрального лица (то есть СЗН сначала активировалась для распознавания нейтральных эмоций, а затем в распознавании необходимости не возникало) [Symons et al., 2016].

#### 4.4. Реактивность СМР при восприятии видеоизображений нейтральных и улыбающихся лиц в первой серии эксперимента

В первой серии эксперимента в качестве фонового изображения использовался крестик, а затем демонстрировались видеоизображения лиц с разной эмоциональной экспрессией.

Как показал вейвлет-анализ данных, при предъявлении видеоизображений лиц сначала с нейтральной эмоциональной экспрессией, а затем улыбающихся, наблюдалась синхронизация СМР на частоте 9-17 Гц при предъявлении видео нейтрального лица и десинхронизация при предъявлении видео улыбающегося в лобных отведениях ( $F_3$ :  $p < 0,01$ ;  $F_4$ :  $p < 0,001$ ), это заметно на рисунке 4.16. Вертикальная линия – начало появления улыбки на видеозаписи.



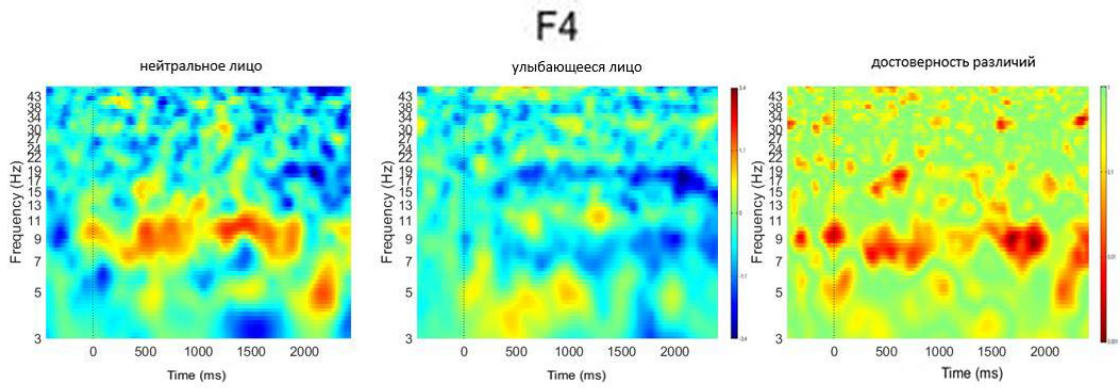


Рисунок 4.16. Реакция синхронизации СМР на предъявление видеоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

Вейвлет-анализ данных показал, что при предъявлении видеоизображений лиц сначала с нейтральной эмоциональной экспрессией, а затем улыбающихся, наблюдалась синхронизация СМР на частоте 9-17 Гц при предъявлении видео нейтрального лица и сначала синхронизация, а затем десинхронизация при предъявлении видео улыбающегося в теменном отведении ( $P_z$ :  $p < 0,001$ ), что видно из рисунка 4.17. Вертикальная линия – начало появления улыбки на видеозаписи.

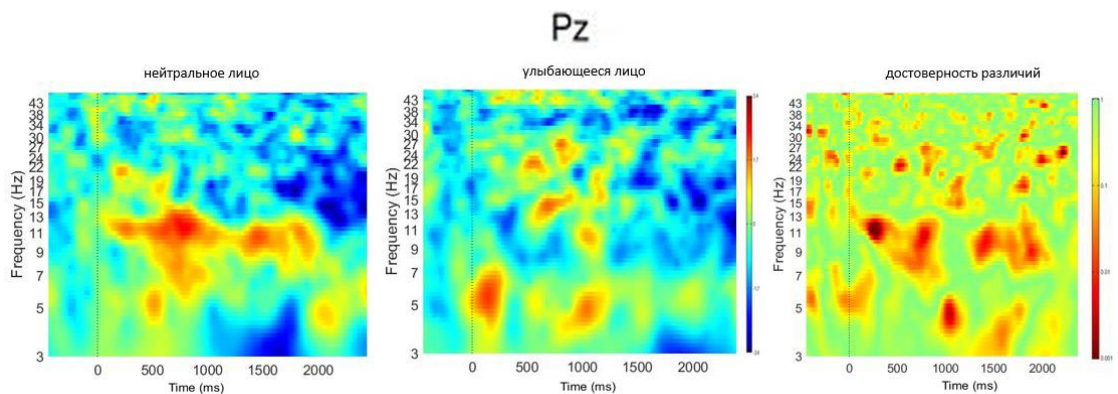


Рисунок 4.17. Реакция синхронизации СМР на предъявление видеоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

Вейвлет-анализ данных показал, что наблюдалась десинхронизация СМР на частоте 9-17 Гц при предъявлении видео лица с нейтральной эмоциональной экспрессией и улыбающегося лица в центральном отведении (С4:  $p < 0,01$ ), это заметно на рисунке 4.18. Вертикальная линия – начало появления улыбки на видеозаписи.

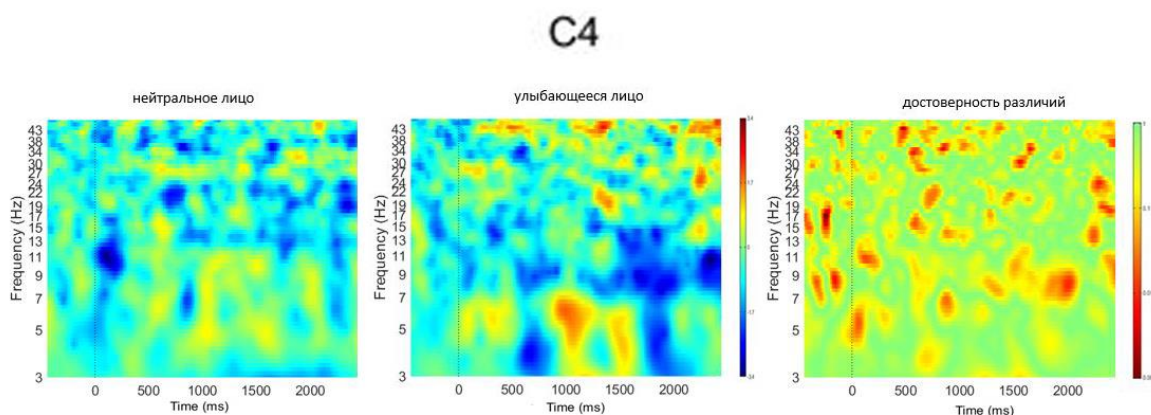
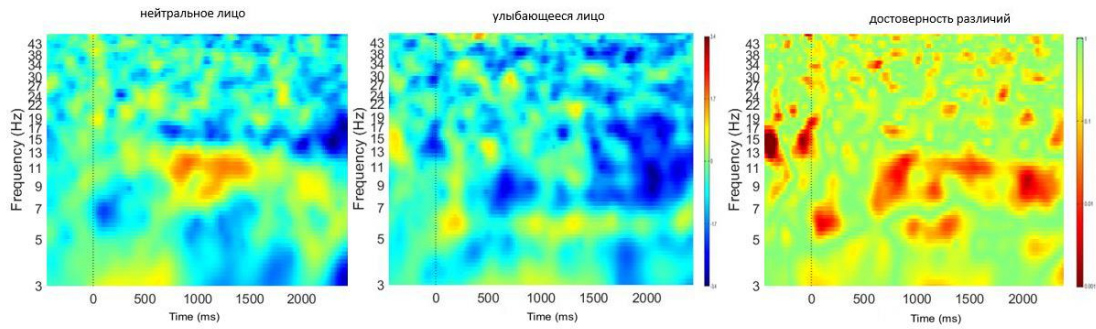


Рисунок 4.18. Реакция синхронизации СМР на предъявление видеоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

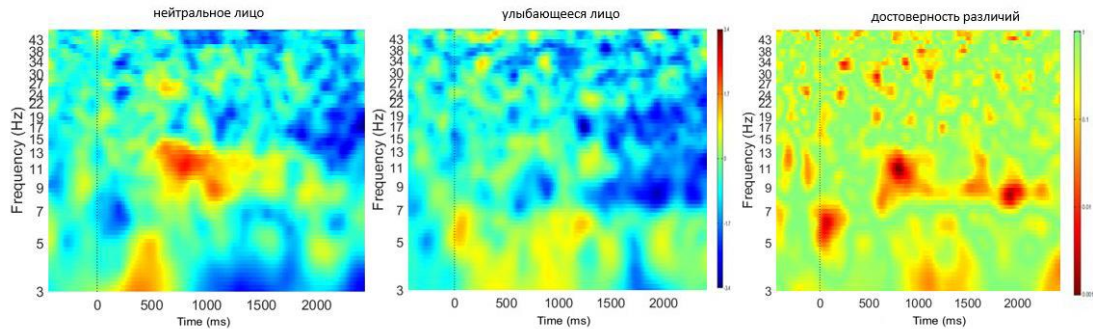
Вейвлет-анализ данных показал, что наблюдалась синхронизация СМР на частоте 9-17 Гц при предъявлении видео нейтрального лица и десинхронизация при предъявлении видео улыбающегося в височных отведениях (Т4:  $p < 0,001$ ; Т5:  $p < 0,001$ ; Т6:  $p < 0,001$ ), что ярко заметно на рисунке 4.19. Вертикальная линия – начало появления улыбки на видеозаписи.



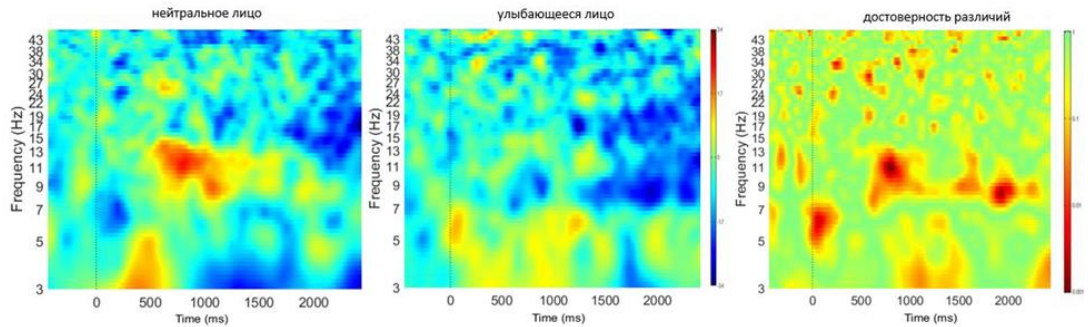
T4



T5



T5



T6

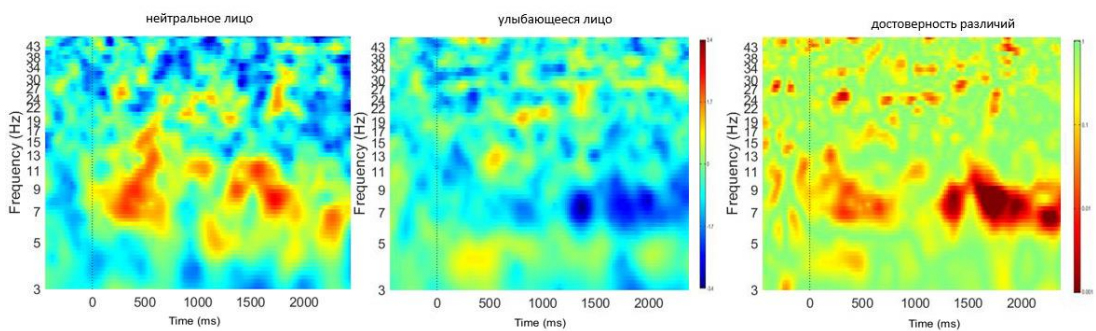
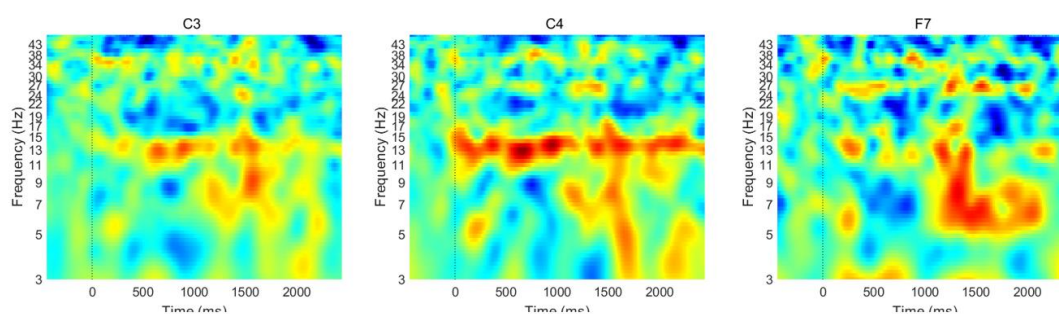


Рисунок 4.19. Реакция синхронизации СМР на предъявление видеоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц.

В итоге, десинхронизация СМР на частоте 9-17 Гц у взрослых испытуемых наблюдается в центральном, лобном, теменном и височных отведениях при предъявлении видеоизображений лиц с разной эмоциональной экспрессией. Особенно ярко заметна десинхронизация при демонстрации видеоизображения улыбающегося лица, что свидетельствует о высокой чувствительности мозга именно к эмоциональным видеоизображениям [Güntekin, Basar, 2014].

#### 4.5. Реактивность СМР при восприятии видеоизображений нейтральных и улыбающихся лиц во второй серии эксперимента

Вейвлет-анализ данных показал, что при предъявлении видеоизображений лиц, эмоциональная экспрессия которых менялась с нейтральной до улыбки, наблюдалась синхронизация СМР на частоте 9-17 Гц в лобных и центральных отведениях (C3, C4, F7, Fp1, Fp2), что заметно на рисунке 4.20. Вертикальная линия – начало появления улыбки на видеозаписи.



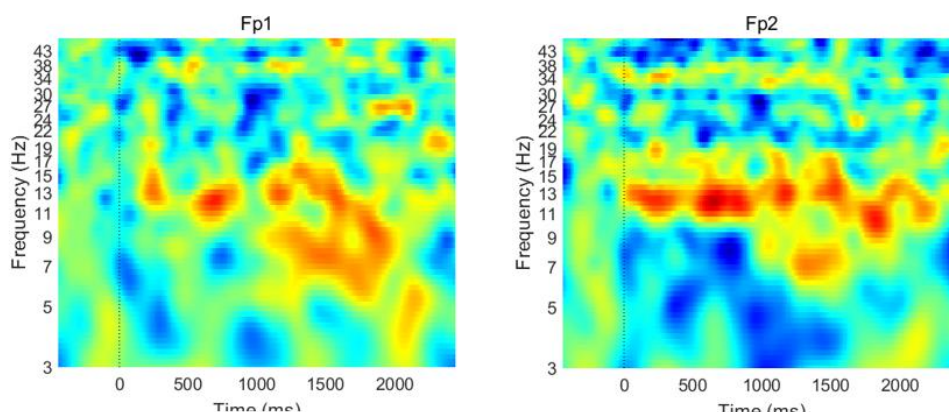


Рисунок 4.20. Реакция синхронизации СМР на предъявление видеоизображений лиц с нейтральной и выраженной эмоциональной экспрессией. СССП график усреднен по всем испытуемым и всем лицам моделей. По горизонтали – время, мс; по вертикали – частота, Гц. Вертикальной линией отмечена смена лица с нейтральной эмоциональной экспрессией на улыбающееся.

Таким образом, у взрослых испытуемых при предъявлении видеоизображений нейтральных лиц, которые постепенно меняются на улыбающиеся, наблюдается синхронизация СМР на частоте 9-17 Гц в лобных и центральных отведениях. Сначала активизируется СЗН при восприятии нейтральной эмоциональной экспрессии, с чего начинается видеоряд, а затем происходит десинхронизация, поскольку эмоции уже распознаны, а при виде улыбки человек непроизвольно расслабляется и чувствует себя комфортнее [Brovelli et al., 2004].

Проведенное исследование позволяет лучше понять принцип работы СЗН человека. Полученные данные, которые отражают особенности активации данной системы, могут быть использованы в сеансах биологической обратной связи при корректировке когнитивных заболеваний и РАС у людей во взрослом возрасте.

## ВЫВОДЫ

1. Выявлены особенности реактивности сенсомоторных ритмов ЭЭГ при восприятии эмоциональной лицевой экспрессии у здоровых взрослых испытуемых.

2. Выявлено, что у здоровых взрослых испытуемых в первой серии эксперимента при предъявлении фотоизображений нейтральных и улыбающихся лиц следом за фоновым изображением наблюдается десинхронизация ( $p < 0,01$ ) сенсомоторных мю и бета ритмов на частоте 9-17 Гц в лобном, затылочных, теменном, медианном и височном отведениях. Как упоминалось выше, это может быть связано с активацией системы зеркальных нейронов у испытуемых: после фонового изображения (крестика) активируется система, отвечающая за восприятие и распознавание эмоций [Cooper et al., 2013].

3. Обнаружено, что во второй серии эксперимента у здоровых взрослых испытуемых происходит сначала десинхронизация ( $p < 0,01$ ), а затем синхронизация ( $p < 0,01$ ) сенсомоторных мю и бета ритмов в центральных, лобных, теменных, височных отведениях при предъявлении лиц с нейтральной эмоциональной экспрессией и с улыбкой. При этом ярче заметна десинхронизация при предъявлении нейтрального фотоизображения, чем при изображении с выраженной эмоциональной экспрессией. Это связано с тем, что активируется СЗН при восприятии нейтрального лица, а затем мозг, распознавший эмоцию, "расслабляется" и, соответственно, наблюдается десинхронизация СМР [Symons et al., 2016].

4. Выявлено, что десинхронизация СМР ( $p < 0,01$ ) на частоте 9-17 Гц у взрослых испытуемых наблюдается в центральном, лобном, теменном и височных отведениях при предъявлении видеоизображений лиц с разной эмоциональной экспрессией. Особенно ярко заметна десинхронизация при демонстрации видеоизображений улыбающихся лиц, что свидетельствует о высокой чувствительности мозга именно к эмоциональным

видеоизображениям. В первой части эксперимента большая десинхронизация наблюдалась при демонстрации изображений улыбающихся лиц, поскольку мозг более чувствителен к эмоциональным стимулам [Güntekin, Basar, 2014].

5. Обнаружено, что у взрослых испытуемых при предъявлении видеоизображений нейтральных лиц, которые постепенно меняются на улыбающиеся, наблюдается синхронизация СМР на частоте 9-17 Гц ( $p < 0,01$ ) в лобных и центральных отведениях.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей / Л.Р. Зенков. – 5е изд. – М. : МЕДпрессинформ, 2012. – 356 с.
2. Косоногов В. Зеркальные нейроны: краткий научный обзор / В. Косоногов. – Ростов-на-Дону, 2009 г. – 24 с.
3. Кощавцев А.Г., Интерпретация данных электроэнцефалографии у детей раннего возраста. Текст научной статьи по специальности «Клиническая медицина» / А.Г. Кощавцев, С.В. Гречаный, 2020.
4. Кропотов Ю.Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия / Кропотов Ю.Д. – Донецк: Издатель Заславский А.Ю., 2010. – 512 с.
5. Чувилев Н.В. Современное развитие электроэнцефалографии в экспериментальной физиологии / Н.В. Чувилев, 2006.
6. A. Gevins Electroencephalographic imaging of higher brain function / A. Gevins, M. E. Smith, L. K. McEvoy, H. Leong, J. Le // Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci – 1999.
7. A. M. Cebolla Sensorimotor and cognitive involvement of the beta-gamma oscillation in the frontal N30 component of somatosensory evoked potentials / A M Cebolla, G Cheron // Review Neuropsychologia – 2015.
8. Bernier R. EEG mu rhythm and imitation impairments in individuals with autism spectrum disorder / Bernier R., Dawson G., Webb S., Murias M. // Brain Cogn. - 2007.
9. Brovelli A. Beta oscillations in a large-scale sensorimotor cortical network: directional influences revealed by Granger causality / A.

Brovelli, M. Ding, A. Ledberg, Y. Chen, R. Nakamura, S. Bressler // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America – 2004.

10. Christoph Mulert Simultaneous EEG and fMRI: towards the characterization of structure and dynamics of brain networks / Christoph Mulert // Review Dialogues Clin Neurosci – 2013.

11. Cooper N.R. Beta event-related desynchronization as an index of individual differences in processing human facial expression: further investigations of autistic traits in typically developing adults / N. R. Cooper, A. Simpson, A. Till, K. Simmons, I. Puzzo // Frontiers in Human Neuroscience -2013.

12. di Pellegrino G. Understanding motor events: a neurophysiological study / di Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V., Rizzolatti G. // Exp Brain – 1992.

13. Freeman W.J., Skarda C.A. Spatial EEG patterns, non-linear dynamics and perception: the neo-Sherringtonian view // Brain Res. – 1985.

14. Garrido-Vásquez P. Perception of emotion in psychiatric disorders: on the possible role of task, dynamics and multimodality / Garrido-Vásquez P., Jessen S., Kotz S. A// Neurosci - 2011.

15. Gastaut, H. J., Bert J., EEG changes during cinematographic presentation / Gastaut, H. J., Bert, J. // Neurophysiol. - 1954.

16. Grèzes J. Activations related to "mirror" and "canonical" neurones in the human brain: an fMRI study / J. Grèzes, J. L. Armony, J. Rowe, R. E. Passingham // Publication types // Clinical Trial – 2003.

17. Güntekin B. A review of brain oscillations in perception of faces and emotional pictures / B. Güntekin, E. Başar // Epub – 2014.

18. Gutsell J.N., Inzlicht M. Empathy constrained: prejudice predicts reduced mental simulation of actions during observation of

outgroups/ Gutsell J.N., Inzlicht M // Journal of Experimental Social Psychology - 2010.

19. H. Laufs EEG-correlated fMRI of human alpha activity / H. Laufs, A. Kleinschmidt, A. Beyerle, E. Eger, A. Salek-Haddadi, C. Preibisch, K. Krakow // Neuroimage – 2003.

20. Hobson H.M. Mu suppression - A good measure of the human mirror neuron system? / H. M. Hobson and D. V.M. Bishop // Cortex, Epub – 2016.

21. Iacoboni M. Cortical mechanisms of human imitation / M. Iacoboni, R.P. Woods, M. Brass, H. Bekkering, J.C. Mazziotta, G. Rizzolatti // Science – 1999.

22. Jin-Cheol Kim EEG-Based Evidence of Mirror Neuron Activity from App-Mediated Stroke Patient Observation / Jin-Cheol Kim, Hyun-Min Lee // Medicina (Kaunas) – 2021.

23. Karakale O. Mental Simulation of Facial Expressions: Mu Suppression to the Viewing of Dynamic Neutral Face Videos / O. Karakale, M. R. Moore, I. J. Kirk // Frontiers in Human Neuroscience – 2019.

24. Kohler E. Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons / Kohler E., Keysers C., Umiltà M. A., Fogassi L., Gallese V., Rizzolatti G. // Science - 2002.

25. Koski L. Modulation of cortical activity during different imitative behaviors / L. Koski, M. Iacoboni, M. Dubeau, R. Woods, J. Mazziotta // Journal of neuropsychology. – 2002.

26. Lieke Braadbaart Do mirror neuron areas mediate mu rhythm suppression during imitation and action observation? / Lieke Braadbaart, Justin H G Williams, Gordon D Waiter // Int J Psychophysiol – 2013.

27. Lindsley D.B. Electrical potentials of the brain in children and adults. / Lindsley D.B. // Journal of Genetic Psychology – 1938.



28. Michel-Pierre Coll Crossmodal Classification of Mu Rhythm Activity during Action Observation and Execution Suggests Specificity to Somatosensory Features of Actions / Michel-Pierre Coll, Clare Press, Hannah Hobson, Caroline Catmur, Geoffrey Bird // *J Neurosci* – 2017.

29. Mukamel R. Single-neuron responses in humans during execution and observation of actions / R. Mukamel, A.D. Ekstrom, J. Kaplan [et al.] // *Current Biology*. - 2010. - Vol. 20, № 8. - P. 750-756.

30. Niedermeyer E. The normal EEG of the waking adult in Electroencephalography: Basic principles, Clinical Applications and Related Fields / Niedermeyer E., Lopes da Silva F. H. // Baltimore: Williams and Wilkins - 2005.

31. Nishitani N. Abnormal imitation-related cortical activation sequences in Asperger's syndrome / N. Nishitani, S. Avikainen, R. Hari // *Annals of Neurology*. - 2004. - Vol. 55. - P. 558-562.

32. Oberman L.M. EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders / L.M. Oberman, E.M. Hubbard, J.P. McCleery [et al.] // *Cognitive Brain Research*. - 2005. - Vol. 24. - P. 190-198.

33. Ozge Karakale Mental Simulation of Facial Expressions: Mu Suppression to the Viewing of Dynamic Neutral Face Videos / Ozge Karakale, Matthew R. Moore and Ian J. Kirk // *Front Hum Neurosci* – 2019.

34. P. Buser, A. Rougeul-Buser Do cortical and thalamic bioelectric oscillations have a functional role? A brief survey and discussion / P. Buser, A. Rougeul-Buser // *Physiol. Paris* – 2003.

35. Pfurtscheller G. Functional dissociation of lower and upper frequency mu rhythms in relation to voluntary limb movement / G. Pfurtscheller, C. Neuper, G. Krausz // *Clinical Neurophysiology* – 2000.

36. Pineda J.A. Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: Does it solve the development,

correspondence, and control problems in mirroring? / J.A Pineda // Behavioral and Brain Functions – 2008.

37. Pineda J.A. The functional significance of mu rhythms: translating "seeing" and "hearing" into "doing" / J. A. Pineda // Brain Research Reviews – 2005.

38. Rizzolatti G. Neurophysiological mechanisms underlying action understanding and imitation / Rizzolatti G., Fogassi L., Gallese V - Nat Rev Neurosci 2001; 2: 661-670.

39. Rizzolatti G. Premotor cortex and the recognition of motor actions / G. Rizzolatti, L. Fadiga, V. Gallese, L. Fogassi // Research Support – 1996.

40. Saby J.N. The Utility of EEG Band Power Analysis in the Study of Infancy and Early Childhood / J. N. Saby, P. J. Marshall. - Dev Neuropsychol. 2012.

41. Sauseng P. Control mechanisms in working memory: a possible function of EEG theta oscillations. / Sauseng P., Griesmayr B., Freunberger R., Klimesch W. // Neuroscience and Biobehavioral Reviews – 2010.

42. Schutter D.J. Parietal electroencephalogram beta asymmetry and selective attention to angry facial expressions in healthy human subjects / D. J. Schutter, P. Putman, E. Hermans, J. van Honk // Neuroscience Letters – 2001.

43. Shmuel A. Locally measured neuronal correlates of functional MRI signals. / Shmuel A., Mulert C., Lemieux L. // Oxford: Springer; EEG-fMRI – 2009.

44. Silvi Frenkel-Toledo Mirror-neuron system recruitment by action observation: effects of focal brain damage on mu suppression / Silvi Frenkel-Toledo, Shlomo Bentin, Anat Perry, Dario G Liebermann, Nachum Soroker // Neuroimage – 2014.

45. Strafella, A. P., Paus, T. Modulation of cortical excitability during action observation: a transcranial magnetic stimulation study / Strafella, A. P., Paus // *Neuroreport* - 2000.

46. Symons A.E. The Functional Role of Neural Oscillations in Non-Verbal Emotional Communication / A.E. Symons, W. El-Deredy, M. Schwartz, S. A. Kotz // *Front Hum Neurosci* – 2016.

47. Villalobos M.E. Reduced functional connectivity between V1 and inferior frontal cortex associated with visuomotor performance in autism / M.E. Villalobos, A. Mizuno, B.C. Dahl [et al.] // *Neuroimage*. - 2005. - Vol. 25. - P. 916-925.

48. Williams J.H. Imitation, mirror neurons and autism / Williams J.H., Whiten A., Suddendorf T., Perrett D. // *Neurosci Biobehav* – 2001.

49. Xin Li Sensorimotor Rhythm-Brain Computer Interface With Audio-Cue, Motor Observation and Multisensory Feedback for Upper-Limb Stroke Rehabilitation: A Controlled Study / Xin Li, Lu Wang, Si Miao, Zan Yue, Zhiming Tang, Liujie Su, Yadan Zheng, Xiangzhen Wu, Shan Wang, Jing Wang, Zulin Dou // *Front Neurosci* – 2022.

50. Zhang D. Reference values for amplitude-integrated EEGs in infants from preterm to 3.5 months of age / D. Zhang, Y. Liu, X. Hou, C. Zhou, Y. Luo, D. Ye, H. Ding. - Epub 2011 Apr 11.