

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

Счастливецва Дарья Владимировна

**ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ЭЭГ-ПАТТЕРНЫ
В ДИНАМИКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БИОПОТЕНЦИАЛОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА
ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ**

3.3.7 – Авиационная, космическая и морская медицина

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
Котровская Татьяна Ивановна, кандидат биологических наук, доцент

Москва 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	16
1.1 Условия и особенности профессиональной деятельности специалистов авиационно-космического и морского профиля.....	16
1.1.1 Условия и особенности профессиональной деятельности космонавта	18
1.1.2 Условия и особенности профессиональной деятельности летчика.....	20
1.1.3 Условия и особенности профессиональной деятельности моряков.....	21
1.2 Изучение влияния негативных факторов на организм специалистов авиационно-космического и морского профиля в реальных и моделируемых условиях профессиональной среды	22
1.3 Изучение работы мозга в осложненных условиях среды методом электроэнцефалографии	29
ГЛАВА 2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И УСЛОВИЯ ПОСТАНОВКИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.....	38
2.1 Организация исследования специалистов подводных систем при нарушении циркадианных ритмов труда и отдыха в изоляции.....	39
2.2 Организация эксперимента при вращении на центрифуге короткого радиуса.....	40
2.3 Организация исследования при измененной гипербарической гипоксической газовой средой обитания	41
2.4 Методика регистрации и анализа данных.....	43
2.4.1 Регистрация электроэнцефалограммы	43
2.4.2 Распознавание данных и удаление артефактов нативной ЭЭГ.....	45
2.4.3 Типологический анализ индивидуальных ЭЭГ-паттернов	46
2.5 Количественный анализ данных	47
2.6 Статистическая обработка	47
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	49
3.1 Исследование биопотенциалов головного мозга специалистов подводных систем при нарушении циркадианных ритмов труда и отдыха в изоляции.....	49
3.1.1 Анализ влияния нарушения циркадианных ритмов труда и отдыха в 1 экспериментальной серии	49
3.1.2 Динамика биопотенциалов головного мозга специалистов подводных систем в условиях нарушения циркадианных ритмов труда и отдыха во 2 экспериментальной серии	51

3.1.3 Индивидуально-типологические особенности биопотенциалов головного мозга добровольцев по результатам двух объединенных экспериментальных серий.....	53
3.2 Исследование влияния перегрузок при вращении центрифуги короткого радиуса (+G) на биопотенциалы головного мозга человека	56
3.2.1 ЭЭГ-параметры при вращении с максимальной перегрузкой в направлении «голова-таз» 2,1 G на центрифуге короткого радиуса	56
3.2.2 ЭЭГ-параметры при вращении с максимальной перегрузкой в направлении «голова-таз» 2,42 G на центрифуге короткого радиуса	60
3.2.3 ЭЭГ-параметры при вращении с максимальной перегрузкой в направлении «голова-таз» 2,92 G на центрифуге короткого радиуса	64
3.2.4 Сравнение трех режимов вращения центрифуги короткого радиуса по динамике ЭЭГ параметров группы добровольцев	69
3.2.5 Относительный показатель динамики ЭЭГ параметров группы добровольцев на трех режимах вращения центрифуги короткого радиуса.....	77
3.3 Исследование влияния гипербарической гипоксической искусственной газовой среды на биопотенциалы головного мозга добровольцев	87
3.3.1 Исследование влияния искусственной гипоксической кислородно-азотной среды	88
3.3.2 Исследование влияния искусственной гипоксической кислородно-азотно-аргоной среды	88
3.3.3 Исследование влияния искусственной гипоксической газовой среды при имитационном погружении на глубину до 20 метров.....	89
3.3.4 Относительный показатель динамики ЭЭГ параметров группы добровольцев во всех 3-х сериях эксперимента влияния гипербарической искусственной гипоксической газовой среды	91
ГЛАВА 4 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ	94
4.1 Зависимость церебральных реакций специалистов подводных систем от индивидуально-типологических особенностей их ЭЭГ-паттернов при нарушении распорядка труда и отдыха в изоляции	94
4.2 Динамика биопотенциалов добровольцев с ЭЭГ-паттерном, организованным во времени и пространстве, при действии увеличивающегося по силе фактора – искусственной гравитации на центрифуге короткого радиуса.....	99
4.3 Индивидуально-типологические различия ЭЭГ-паттернов обуславливают разнонаправленность ЭЭГ-реакций добровольцев на гипербарическую гипоксическую газовую среду	101

4.4 Закономерности ЭЭГ-реакций на негативные воздействия профессиональной среды специалистов авиакосмического и морского профиля.....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	107
ВЫВОДЫ	110
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	111
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	113
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	114

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Успешность профессиональной деятельности зависит от присущих ей особенностей: специфической обстановки, условий труда, наличия необходимых профессиональных знаний и практического опыта специалиста, а также от его психофизиологического состояния [Маркова Т.Л., 2016]. Профессиональная деятельность специалистов космического, авиационного и морского профиля характеризуется определенным сходством: с одной стороны, это постоянная повышенная нагрузка, определяющаяся сложностью и ответственностью деятельности, нештатными и аварийными ситуациями; с другой стороны, это сложные и необычные условия среды, возникновение ситуаций опасности для жизни и здоровья. [Столбов А., Порунов Н., 2009; Ушаков И.Б., Шалимов П.М., 1996; Новиков В.С., Сороко С.И., 2017]. Кроме того, труда этих специалистов характерен высокий темп, совмещение различных задач, переработка больших объемов информации, недостаточность данных для принятия решений, дефицит времени на выполнение требуемых действий, профессиональная гипокинезия, монотония, нарушение суточных и околосоуточных ритмов, высокая ответственность и большая «цена» ошибки [Преображенский В.Н., Ушаков И.Б., Лядов К.В., 2000; Власов П.Н., Харламов М.М., Курицын А.А. и др., 2018; Луговский В.А., Кох М.Н., Гумашанц С.В., 2018; Савельев А.И., 2019; Маряшин Ю.Е., Малащук Л. С., Писарев А.А., Запечникова И.В., 2018; Хие Н., Haugseggen O., et al., 2024].

Профессиональная деятельность специалистов осуществляется практически при постоянном действии негативных факторов среды, например, перегрузок, невесомости, радиации, вибрации, шума, высокой температуры, сенсорной депривации, оторванности от привычной среды и социальных контактов, потенциальной угрозы жизни и т.п. [Боготова Р.И., Кутина И.В., Тятых И.В., 2000; Пономаренко В.А. 2014; Новиков В.С., Сороко С.И., 2017; Орлов О.И., Колотева М.И., 2017; Котовская А.Р., Колотева М.И., Глебова Т.М., 2018; Дешева Е.А. Беляев В.С., Бычков В.Б. и др., 2019; Бондаренко В.А, Митрикас В.Г., Цетлин В.В., 2019; Степанова С.И., Королёва М.В., Нестеров В.Ф. и др., 2019; Orlov O.I., Panasiuk M.I., Shurshakov V.A., 2020], т.е. в усложненных, отличных от обычных условиях среды. Практически всегда особые, экстремальные условия профессиональной деятельности специалистов авиационно-космического и морского профиля таковы, что их нельзя исключить или изменить, в связи с чем, невозможно создание функционального комфорта деятельности. В этих условиях качество профессиональной деятельности существенно зависит от моральных, волевых и других личностных качеств специалистов, а также от свойств их нервной системы. Так, люди с сильной и уравновешенной нервной системой более выносливы к экстремному напряжению,

чем лица, обладающие слабой или неуравновешенной нервной системой, а люди с подвижной нервной системой легче переключаются с одного режима деятельности на другой [Душков Б.А., Королев А.В., Смирнов Б.А., 2005; Одинцова М.А., Самаль Е.В., 2017].

Уникальные, чрезвычайные условия пребывания в космическом пространстве, такие как невесомость, продолжительное ограничение внешних стимулов-раздражителей и монотонность обстановки (космическая станция, космический корабль), искусственно созданные и поддерживаемые на достаточно постоянном уровне условия среды, обедняют восприятие космонавта и приводят к изменениям его перцептивных процессов [Bock O., Weigelt C., Bloomberg J.J., 2010; Lackner J.R., DiZio P., 2010; Уйба В.В., Ушаков И. Б., Сапецкий А.О., 2017; Корнилова Л.Н., 2020].

Таким образом, несмотря на различия среды, в которой осуществляется профессиональная деятельность специалистов космического, авиационного и морского профиля, наблюдается определенное сходство в действии негативных факторов. С одной стороны, для профессиональной деятельности характерна постоянная повышенная нагрузка, определяющаяся сложностью и ответственностью поставленных целей и задач, возникновением нештатных и аварийных ситуаций, а, с другой стороны, сложными и необычными условиями среды, возникновением ситуаций опасности для жизни и действием других экстремальных факторов. Интенсивное или длительное воздействие этих условий приводит к развитию выходящих из ряда обычных функциональных состояний организма и, в частности, нервной системы.

Изучение влияния неблагоприятных факторов среды на организм специалиста может проводиться как непосредственно при осуществлении профессиональной деятельности, так и в экспериментах, моделирующих действие реальных производственных факторов. Второй подход имеет ряд преимуществ по сравнению с исследованиями в «полевых условиях», поскольку позволяет обеспечить высокую степень контроля проведения эксперимента, регулировать условия среды на рабочем месте, регистрировать показатели качества деятельности и др. Не менее важной является возможность задействовать различного рода исследовательское оборудование, которое невозможно установить по массе и габаритам на реальных объектах. Изучение действия негативных факторов на организм человека в искусственно созданных условиях, позволяют достаточно быстро и эффективно установить причину и механизмы наблюдаемых явлений, проанализировать воздействие отдельных факторов и спрогнозировать последствия их влияния на организм [Зароченцев К.Д., Худяков А.И., 2005; Гудвин Д., 2004]. Однако у такого рода исследований имеется существенный недостаток – комплекс всех факторов космического, надводного и подводного пространства, а также пилотажных нагрузок невозможно воспроизвести в искусственных земных условиях.

Интенсивное или длительное воздействие негативных факторов, как в реальных, так и в моделируемых экспериментах приводит к развитию выходящих из ряда обычных функциональных состояний организма и, особенно, нервной системы. Пребывание организма в неадекватных его существованию условиях внешней среды приводит к напряжению систем адаптации, которое характеризуется максимальной централизацией управления функций организма. Максимальную централизацию управления организмом обеспечивает центральная нервная система (ЦНС), которая осуществляет связь организма с окружающей средой, обеспечивая при этом регуляцию и взаимодействие систем органов, поэтому она подвергается влиянию любых внешних факторов в первую очередь. Необходимые для поддержания жизнедеятельности организма функции, такие как, обработка сенсорной информации, принятие решений, выполнение высших психических функций (память, речь, мышление, внимание и др.) регулировка и координация движения, контроль эмоционального состояния и др., осуществляются головным мозгом – главным органом ЦНС человека [Гора Е.П., 2007].

ЭЭГ-мониторинг (многочасовая on-line регистрация) является самым доступным способом оценки мозга непосредственно во время осуществления профессиональной деятельности специалистами в реальных и экспериментальных условиях [Ткаченко О.Н., 2012; Ушаков И.Б., Бубеев Ю.А., Котровская Т.И. и др., 2014; Chu H., Cao Y., Jiang J. et al., 2022; Leroy A., De Saedeleer C., Bengoetxea A. et al., 2007; Cheron G., Leroy A., De Saedeleer C. et al., 2000; Cebolla A. M., Petieau M., Dan B. et al., 2016; Petit G., Cebolla A.M., Fattinger S. et al., 2019; Бубеев Ю.А., Котровская Т.И., Счастливцева Д.В., 2016; Johannes B., Bronnikov S., Bubeev Yu. et al., 2017; Бубеев Ю.А., Усов В.М., Сергеев С.Ф. и др., 2019; Johannes B., Bronnikov S.V., Bubeev Ju.A. et al., 2019; Johannes B., Bronnikov S., Bubeev Y. et al., 2019; Edited by L. B. Landon, K. J. Slack, E. Salas, 2020; Johannes B., Bronnikov S.V., Bubeev Yu.A. et al., 2021; Johannes B., Bubeev Ju. A., Kotrovskaya T.I. et al., 2021; Piechowski S., Johannes B., Pustowalow W. et al., 2022; Dinatolo, M.F., Cohen, L.Y 2022; Pusil S., Zegarra-Valdivia J., et al., 2023].

Закономерное распределение различных компонентов ЭЭГ по всей конвекситальной поверхности коры головного мозга, которое присуще как индивидуальным проявлениям субъекта, так и характеризующее определенные особенности функционального состояния мозга здорового человека и при различных патологических состояниях называют паттерном [Поворинский А.Г., Заболотных В.А., 1987].

ЭЭГ-паттерны взрослого бодрствующего человека, интерпретируемые как норма, в основном описываются особенностями альфа-ритма. Электроэнцефалограммы, содержащие преимущественно регулярный по частоте, четко модулированный в веретена, с хорошо выраженными зональными различиями альфа-ритм, свидетельствуют об оптимальных корково-подкорковых взаимоотношениях. Известно, что обладатели ЭЭГ-паттерна, основным

компонентом которого является альфа-ритм с хорошо выраженными зональными различиями, располагают значительной устойчивостью к экстремальным воздействиям [Сороко С.И., Бекшаев С.С., Сидоров Ю.А., 1990; Сороко С.И. 1984; Сороко С.И., Сидоренко Г.В., 1993; Джунусова Г.С., Сатаева Н.У., Садыкова Г.С., 2018; Hirschfeld R.M., 1996; Бойко И.М., Мосягин И.Г., 2012; Горнов С. В., 2020]. Для лиц с таким ЭЭГ-паттерном характерен большой запас регуляторной устойчивости и незначительные вегетативные сдвиги при функциональных нагрузках. Механизмами формирования таких ЭЭГ-паттернов является баланс регуляторных процессов коры головного мозга и подкорковых структур [Куряев И.А., 2012].

ЭЭГ с высоким индексом регулярных альфа-колебаний, с низкочастотной бета- или тета-активностью без зональных различий отражает ослабление активирующих влияний на кору со стороны ретикулярной формации ствола мозга и усиление дезактивирующих влияний из других отделов лимбико-ретикулярного комплекса. Десинхронная («плоская» ЭЭГ), характеризующаяся отсутствием или резким снижением альфа-активности, увеличением количества бета- и тета-колебаний невысокой, низкой или очень низкой амплитуды без зональных различий, свидетельствует об усилении активирующих влияний со стороны ретикулярной формации ствола мозга. При ЭЭГ-паттерне с дезорганизованной (нерегулярной по частоте и амплитуде) альфа-активностью, преобладающей практически во всех областях мозга, можно говорить о неустойчивом взаимодействии корковых и модулирующих систем мозга. Адаптация к негативным условиям среды у лиц с гиперсинхронной, десинхронной и деорганизованной ЭЭГ требует большего напряжения со стороны регуляторных систем ЦНС [Данилова Н.Н., Крылова А.Л., 2002; Жирмунская Е.А., 1969; Жирмунская Е.А., 1991; Жирмунская Е.А., 1996; Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1980; Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1984; Егорова И.С., 1973; Зенков Л.Р., 2010; Неробкова Л.Н., Ткаченко С.Б., 2016; Неробкова Л.Н., Авакян Г.Г., Воронина Т.А., Авакян Г.Н., 2020; Дик О.Е., Ноздрачев А.Д., 2019].

В условиях профессиональной среды специалистов авиационного, космического и морского профиля, существует ряд экстремальных факторов, воздействие которых на работу мозга этих специалистов практически не изучено.

Так, одним из факторов, приводящих к значительному напряжению регуляторных систем организма, является изменение его физиологических и психических функций в результате нарушения суточных ритмов - десинхроноз. Общей причиной развития десинхроноза у специалистов авиационного, космического и морского профиля является сменная и ночная работа с наиболее сложным нарушением суточного ритма - с бимодальным циркадианным ритмом, который характеризуется «разорванным» графиком сон-бодрствование с наличием более одного периода сна. Еще одной причиной десинхроноза являются

трансмеридиональные и длительные транширотные перемещения, например, у летчиков дальней авиации и у моряков надводных судов при длительных морских походах.

Генератор циркадианных ритмов локализован в супрахиазматических ядрах (СХЯ) переднего гипоталамуса. Супрахиазматические ядра получают информацию о световой длине дня по ретиногипоталамическому тракту от меланопсинсодержащих клеток сетчатки глаза. Таким образом, главным внешним синхронизатором циркадианной ритмичности является цикл свет-темнота, но даже при отсутствии внешних световых (солнечных) воздействий (бункер, подводная лодка, пещера и т.п.) циркадианные ритмы сохраняются, меняясь по длительности, за счет внутренней периодичности, вероятно вследствие генетической детерминированности биоритмов и что подверженности СХЯ влияниям материнской среды [Костенко Е.В., Маневич Т.М., Разумов Н.А., 2013].

Еще одним неоднозначно воздействующим фактором на ЦНС летчиков, космонавтов и специалистов подводных систем через проприоцептивную и вестибулярную системы является изменение силы тяжести: от микрогравитации (отсутствия силы тяжести) до перегрузок (максимально до 9 G и более в случае пилотажных перегрузок при градиенте нарастания до 5 G/c и длительностью до 30 секунд) [Дворников М.В., 2006]. Проприоцепция обеспечивает ощущение положения частей собственного тела относительно друг друга и в пространстве путем группы сигналов, посылаемых в корковый отдел (передняя центральная извилина коры) от проприоцепторов, расположенных в суставных капсулах, связках, сухожилиях и мышцах. Вестибулярная система помогает человеку ориентироваться в пространстве при активном и пассивном движении. Импульсы от вестибулорецепторов вызывают перераспределение тонуса скелетных мышц, что обеспечивает сохранение равновесия тела. Изучение двойственного влияния фактора изменения силы тяжести на ЦНС через проприоцептивную и вестибулярную системы возможно с помощью центрифуги короткого радиуса (ЦКР), поскольку она применяется как для тренировки летного состава [Рабинович Б.А., 2007], а также для терапевтического действия (max +3 Gz) [Додонов А.Г., Сонис А.Г., Яшков А.В., 2016]. Дозированные перегрузки на ЦКР применяются для терапии ишемических заболеваний нижних конечностей, последствий травм, остеохондроза, гипертонической болезни, ишемической болезни сердца и т.д.. Механизмом позитивного воздействия на сердечно-сосудистую, нейроэндокринную и на опорно-двигательную системы является перераспределение жидких биологических сред, во время вращения ЦКР, что улучшает артериальное кровоснабжение нижних конечностей, стимулирует рост сосудов, способствует увеличению количества функционирующих капилляров, приводя к улучшению регионарного кровотока и оксигенации тканей [Додонов А.Г., Сонис А.Г., Яшков А.В., 2016].

ЦКР может стать перспективным средством профилактики одного из неблагоприятных факторов космического полета, приводящего к дезадаптации организма человека, отсутствия привычного уровня гравитационного воздействия с отсутствием гидростатического давления крови, весовой нагрузки на костно-мышечный аппарат и изменения функционирования афферентных систем. В результате экспериментов, проводимых в Наземном экспериментальном комплексе ГНЦ РФ-ИМБП РАН, было выяснено, что направление действия перегрузок при вращении на ЦКР вдоль продольной оси тела от головы к ногам, в невесомости создаст гидростатическое давление крови, аналогичное тому, что испытывает человек, стоя на земле [Орлов О.И., Колотева М.И., 2017; Виль-Вильямс И.Ф., Котовская А.Р., 2003].

Широкое применение обитаемых герметически замкнутых объектов различного назначения с искусственными газовыми средами, таких как водолазные, лечебные и реанимационные барокамеры, космические корабли, обитаемые подводные аппараты, командные пункты войск стратегического назначения и др., потребовало создания пожаробезопасной среды обитания, пригодной для активной жизнедеятельности специалистов космической и морской среды. Оптимальным для решения этой задачи является аргон. Эксперименты по изучению влияния на организм человека газовых сред на основе аргона показали антигипоксический эффект этого газа [Павлов Н.Б. 2006; Солдатов П.Э. 2006]. Кроме того, исследования биологических свойств аргона могут быть актуальными во время экспедиции к Марсу [Павлов Н.Б. 2006], поскольку атмосфера Марса содержит около 2% Ar , а Земли – 0,934%. Селективная сорбция из марсианской атмосферы и компрессия индифферентных газов может позволить получить азотно-аргоновую смесь, которую можно использовать для разбавления кислорода при создании искусственной газовой среды. Исследования в течение 60-ти суточного пребывания человека в пожаробезопасной среде в гермообъекте с искусственной нормобарической аргоносодержащей гипоксической газовой средой подтвердили, осуществимость данных исследований без последствий для человека [Иванов А.О., Петров В.А., Бочарников М.С., Безкишский Э.Н., 2017; Иванов А.О., Петров В.А., Безкишский Э.Н. и др., 2018; Иванов А.О., Петров В.А., Безкишский Э.Н. и др., 2017]. В организме человека нет рецепторов азота и инертных газов, однако снижение парциального давления кислорода в атмосфере определяется как артериальными хеморецепторами, так и медуллярными, первые оно стимулирует, а вторые – угнетает. Активность центральных хеморецепторов подавляется при низком содержании кислорода во вдыхаемой смеси [Mahutte C.K., Rebuck A.C., 1978]

Таким образом, исследования показателей биопотенциалов головного мозга методом ЭЭГ с учетом индивидуально-типологических нейрофизиологических особенностей добровольцев являются актуальными при действии на них экстремальных факторов

(десинхроноза, возрастающих перегрузок центрифуги короткого радиуса, искусственных дыхательных газовых сред и уровня атмосферного давления) профессиональной среды у специалистов авиационно-космического и морского профиля.

Цель работы: установить степень влияния индивидуально-типологических ЭЭГ-паттернов на динамику показателей биопотенциалов головного мозга человека при моделировании действия экстремальных факторов.

Задачи:

1) выявить зависимость динамики ЭЭГ-показателей от индивидуально-типологических свойств ЭЭГ-паттерна специалистов при нарушении распорядка режима труда и отдыха во время краткосрочной изоляции в гермообъекте;

2) определить степень действия возрастающих перегрузок центрифуги короткого радиуса в направлении «голова-таз» (+Gz) на параметры биопотенциалов головного мозга добровольцев со сходными индивидуально-типологическими ЭЭГ-паттернами;

3) оценить действие комплекса факторов (искусственных дыхательных газовых сред и уровня атмосферного давления) на динамику биопотенциалов головного мозга добровольцев с различными индивидуально-типологическими ЭЭГ-паттернами во время краткосрочной изоляции в гермообъекте.

Научная новизна

Впервые установлена степень влияния индивидуально-типологических ЭЭГ-паттернов на динамику относительного значения мощности частотных диапазонов ЭЭГ у добровольцев малых выборок при действии экстремальных факторов различной природы.

В краткосрочной изоляции в гермообъекте при нарушении режима труда и отдыха в группе добровольцев с регулярным по частоте, зонированным по амплитуде и модулированным веретенам альфа-ритма (организованный во времени и пространстве ЭЭГ-паттерн) и лиц с резким уменьшением количества альфа-волн и отсутствием зональных различий (десинхронный ЭЭГ-паттерн) основной вклад в динамику относительного значения мощности частотных диапазонов ЭЭГ вносили показатели добровольцев организованного во времени и пространстве ЭЭГ-паттерна.

В группе добровольцев с организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном сравнительный анализ позволил установить период церебрального ответа на действие возрастающего по силе фактора (перегрузки на ЦКР в направлении «голова-таз» (+Gz)) по значениям относительного показателя динамики, позволившего нивелировать различия

начального функционального состояния головного мозга, относительного значения мощности частотных диапазонов ЭЭГ.

В группе добровольцев с различными индивидуально-типологическими особенностями ЭЭГ-паттерна (с организованным во времени и пространстве, с десинхронным и с дезорганизованным ЭЭГ-паттернами) однонаправленные реакции мозга на действия факторов гипоксических газовых сред и уровня искусственной гипербарии в условиях краткосрочной изоляции в гермообъекте выявлялось при увеличении силы фактора гипербарии по параметрам относительного показателя динамики относительного значения мощности частотных диапазонов ЭЭГ.

Обнаруженные закономерности влияния индивидуально-типологических ЭЭГ-паттернов на динамику показателей биопотенциалов головного мозга человека при моделировании действия экстремальных факторов профессиональной среды позволили представить схему формирования функциональной системы церебрального ответа.

Теоретическая и практическая значимость работы

В данной работе с позиций теории функциональных систем П.К. Анохина в развитии К.В. Судакова сформировано представление об организации целостного церебрального ответа (зарегистрированного методом электроэнцефалографии) на действие экстремальных факторов профессиональной среды. В модельных экспериментах факторами пусковой афферентации являлись нарушение режима труда и отдыха, искусственная гравитация, измененная гипербарическая гипоксическая газовая среда. Обстановочная афферентация обуславливалась как изоляцией в Глубоководном комплексе и Научно-исследовательском стенде и вращение на центрифуге короткого радиуса, так и обстановочной монотонией, гиподинамией, оторванностью от привычной среды и социальных контактов и др. Реакция на экстремальные факторы профессиональной среды иерархически объединенных структур головного мозга, определяющих принятие решения, программу действия и акцептор результата действия, зависит от подкорковых образований (таламуса, гипоталамуса, ретикулярной формации ствола), которые при действии на кору головного мозга формируют ЭЭГ-паттерн здорового человека.

Практическая значимость работы заключается в определении индивидуально-типологических различий ЭЭГ-паттернов для адекватного обнаружения тех свойств воздействующего фактора и/или комплекса факторов на работу головного мозга, которые оценивались с помощью количественных параметров ЭЭГ. Было выявлено, что добровольцы с организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном с хорошо выраженным альфа-ритмом, с одной стороны, демонстрировали высокую адаптивную способность и оптимальную

реактивность при действии экстремальных факторов, с другой - параметры их ЭЭГ позволили определить, временной период, силу и направленность действия фактора. Это может иметь широкое практическое применение в области диагностики функциональных состояний, а также в разработке научного подхода для подготовки специалистов, работающих в экстремальных условиях – космонавтов, летчиков, моряков и др. Полученные в данном исследовании результаты позволяют проводить отбор участников малых экспериментальных групп, поскольку для понимания эффектов и механизмов действия факторов различной природы, интенсивности и продолжительности, наиболее предпочтительной является выборка добровольцев с организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном с хорошо выраженным альфа-ритмом. На основании литературных и собственных данных по исследованию роли индивидуально-типологических ЭЭГ-паттернов в динамике показателей биопотенциалов головного мозга человека при действии экстремальных факторов предложен алгоритм оценки перехода из оптимального функционального состояния, как в сторону активации и гиперактивации коры головного мозга с гипермобилизацией и постепенным расходом функциональных резервов, так и в сторону торможения со снижением уровня функциональных резервов специалистов, с учетом типа их ЭЭГ-паттерна. Данный алгоритм применялся в экспериментальных исследованиях в реальных и моделируемых условиях.

Положения, выносимые на защиту

1. Динамика ЭЭГ показателей добровольцев, находившихся в гермообъекте в течение 21-суток с нарушенным распорядком режима труда и отдыха, зависела от индивидуально-типологических свойств ЭЭГ-паттернов, при этом наибольший вклад в динамику относительного значения мощности ЭЭГ-спектра вносят количественные параметры ЭЭГ специалистов с организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном с хорошо выраженным альфа-ритмом, в отличие от добровольцев с десинхронным ЭЭГ-паттерном.
2. Сопоставление динамики относительных значений мощности ЭЭГ-спектра у добровольцев с организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном с хорошо выраженным альфа-ритмом при действии возрастающего по силе фактора (перегрузки на ЦКР в направлении «голова-таз» (+Gz) – 2,1 G, 2,41 G и 2,92 G) позволила выявить стадию максимального влияния действующего фактора.
3. В группе испытуемых с разнородной структурой индивидуально-типологических ЭЭГ-паттернов однонаправленные значимые изменения количественных показателей ЭЭГ-спектра выявляются при сочетании действий факторов гипоксических газовых сред и уровня искусственной гипербарии в условиях краткосрочной изоляции в гермообъекте.

Степень достоверности результатов и апробация проведённых исследований

Выводы по результатам диссертационной работы основаны на статистически значимых результатах, полученных при использовании адекватных методов оценки функционального состояния ЦНС при моделировании реальных условий профессиональной деятельности специалистов авиационно-космического и морского профиля. Статистическая значимость результатов экспериментов обусловлена достаточным количеством наблюдений и использованием современных аналитических методов исследования. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием общепринятых методов анализа данных. Интерпретация результатов проводилась на основе анализа данных мировой научной литературы по соответствующей тематике.

Основные результаты и положения диссертации были представлены и обсуждены на научных мероприятиях: XIII Конференция молодых ученых, специалистов и студентов, посвященная 50-летию полета первого в мире врача-космонавта Б.Б.Егорова (Россия, Москва, 23 апреля 2014 года), 40 Научная Ассамблея COSPAR (Россия, Москва, 2-10 августа 2014 года), XIV Конференция молодых ученых, специалистов и студентов, посвященная 65-летию со дня рождения врача-космонавта Б.В.Морукова (Россия, Москва, 14 апреля 2015 года), XVI Конференция по космической биологии и авиакосмической медицине с международным участием (Россия, Москва, 5-8 декабря 2016 года), XLI Академические чтения по космонавтике. Королевские чтения (Россия, Москва, 24-27 января 2017 года), XXIII Съезд физиологического общества им. И.П. Павлова (Россия, Воронеж, 18-22 сентября 2017 года), XVI Конференция молодых учёных, специалистов и студентов, посвящённая 60-летию со дня запуска первого искусственного спутника Земли, (Россия, Москва, 10 октября 2017), XVII Конференция молодых ученых, специалистов и студентов, посвященная 100-летию со дня рождения академика О.Г.Газенко (Россия, Москва, 17 апреля 2018 года), XLII Академические чтения по космонавтике. Королевские чтения, (Россия, Москва, 23-26 января 2018 года), 39-я Ежегодный международный симпозиум по гравитационной физиологии (Нидерланды, Нордвейк, 18-22 июня 2018 года), XLIII Академические чтения по космонавтике. Королевские чтения, (Россия, Москва, с 29 января по 1 февраля 2019 года), XLIV Академические чтения по космонавтике. Королевские чтения, (Россия, Москва, 28-31 января 2020 года), XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти С.П. Королева («Королевские чтения»), (Россия, Москва, 30 марта- 2 апреля 2021 года), XLVII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти С.П. Королева («Королевские чтения»), (Россия, Москва, 24-27 января 2023 года), 11-th International IEEE EMBS Conference on neural Engineering (США, Балтимор, 25-27 апреля 2023 года), XXIV съезд физиологического общества им. И.П. Павлова, (Россия, Санкт-Петербург, 11-15 сентября 2023 год).

По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, в том числе 6 статей в журналах из перечня ВАК РФ и баз данных Scopus/WebofScience и 14 тезисов докладов.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 138 страницах и состоит из 4 основных глав, введения, заключения, выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы. Работа иллюстрирована 50 рисунками и 12 таблицами. Список цитируемой литературы включает 230 источника, из них 160 на русском и 70 на иностранном языке.

ГЛАВА 1

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1.1 Условия и особенности профессиональной деятельности специалистов авиационно-космического и морского профиля

С точки зрения экономики и права профессиональная деятельность осуществляется физическими лицами, имеющими профессиональное образование или профессиональную подготовку, специальные знания, практические навыки и умения в определенной области, обусловленной родом занятий [Салихова Д.Ч., 2015; Власов П.Н., Харламов М.М., Курицын А.А. и др., 2018]. Психологический подход добавляет к этому определению понятия социальной значимости и личностных качеств [Луговский В.А., Кох М.Н., Гумашанц С.В., 2018; Савельев А.И., 2019; Маряшин Ю.Е., Малащук Л. С., Писарев А.А., Запечникова И.В., 2018; Тягнерев А.Т., Безкишский Э.Н., Лобозова О.В. и др., 2019; Шуванов А.Д., 2014].

Основной особенностью профессиональной деятельности специалистов авиационно-космического и морского профиля являются сопровождающие ее экстремальные условия, связанные с опасностью и риском для жизни и чрезвычайной личной ответственностью. Такие негативные факторы, как перегрузки, невесомость, сенсорная изоляция, потенциальная угроза жизни и т.п. сохраняются практически все время, что представляет как индивидуально-личностную, так и социальную опасность. Важными являются способность к концентрации, быстрое и частое переключение внимания в условиях воздействия внешних отвлекающих внимание факторов [Одинцова М.А., Смаль Е.В., 2017].

С учетом внедрения, так называемых, сквозных технологий, в различные отрасли и сектора экономики, профессиональная деятельность требует от специалистов авиационно-космического и морского профиля все возрастающих интеллектуальных, физических, нервно-психических затрат, поскольку в настоящее время применяются программные и/или аппаратные средства, способные на основе анализа значительных объемов структурированной и неструктурированной информации (Big Data) с определенной степенью автономности воспринимать, обучаться и принимать решения (искусственный интеллект (ИИ)). Эти системы являются основой киберфизических систем, частично или полностью замещающих/дополняющих функции нервной системы биологического объекта (нейротехнологии). Разработаны и внедряются технологии виртуальной (virtual reality, VR) и дополненной (augmented reality, AR) реальности. Технология-VR позволяет погрузить человека в абсолютно смоделированную реальность на основе цифрового модулирования. К ним относят 3D, 360 видео и также звуки, ощущения и запах. С помощью 360 фото и видео в виртуальной

реальности пользователю проецируется картинка, имеющая обзор 360°, в полной мере отражающая реальный мир. AR-технология дает возможность интегрировать информацию с объектами реального мира в форме текста, компьютерной графики, аудио и иных представлений в режиме реального времени, что позволяет расширить взаимодействие человека с окружающей средой [Соколова И.С., Гальдин А.А., 2018; Программа "Цифровая экономика Российской Федерации" 2017 года].

В космической технике нейросетевые и другие технологии позволяют эффективно решать задачи, связанные с обработкой больших массивов разнородной спутниковой информации, а также отдельных изображений и сигналов, в том числе на борту космического аппарата (КА); экспертные и другие интеллектуальные системы реального времени, обеспечивают автономное функционирование КА различного назначения; робототехнические средства, предназначены для орбитального обслуживания КА, проведения напланетных исследований в дальних космических миссиях и решения других задач. Широкий спектр возможных областей практического использования ИИ в космической технике позволит создавать перспективные космические системы и комплексы с качественно новыми свойствами и функциональными возможностями, способствуя тем самым более глубокому освоению космического пространства [Балухто А.Н., Романов А.А., 2019]. Так, перспективные программы освоения дальнего космоса, осуществления межпланетных полетов невозможны без использования робототехнических систем (РТС) космического назначения, например, разработки, так называемых антропоморфных роботов-помощников экипажей (АРПЭ), подобных по построению телу человека и имеющих аналогичные кинематические характеристики. Режим дистанционного управления АРПЭ наиболее эффективен в ситуациях неопределенности, где оператором может выступать член экипажа или сотрудник наземного центра управления полетами [Дудоров Е.А., Сохин И.Г., Богданов А.А., Колбасин Б.Г., 2021].

Достижения научно-технического прогресса привели к существенному возрастанию доли операторского труда у специалистов авиационно-космической и морской отраслей. Системы формирования и поддержания надежности операторской деятельности основываются на эргономических требованиях к профессиональному отбору по психологическим и психофизиологическим показателям, к обеспечению требуемой работоспособности операторов методами обучения и тренировки, а также к режиму труда и отдыха. Разработка и внедрение человеко-машинных систем требует учета возможностей человека и исследования функциональных особенностей различных органов и систем, а также организма в целом в различных условиях среды обитания [Найченко М.В., 2015].

При разработке и эксплуатации авиационной и космической техники для оптимизации средств, процессов и условий деятельности специалистов, а также для повышения безопасности

полетов, перспективным является использование технологий ИИ. Эффективность внедрения передовых технологий требует получения и описания совокупности сведений о структуре, содержании и закономерностях принятия решений человеком в различных условиях и обстоятельствах [Меденков А.А., Козлова Н.М., Захарова Н.Л. и др., 2020].

1.1.1 Условия и особенности профессиональной деятельности космонавта

Профессиональная деятельность космонавта является многоплановой, сложной и напряженной, о чем свидетельствует перечень навыков, которые отрабатываются при подготовке к полету на международную космическую станцию (МКС). Они касаются взаимодействия членов экипажа при выполнении сближения, причаливания, стыковки космического корабля (КК) со всеми стыковочными узлами российского сегмента МКС (РС МКС); подготовки действующего экипажа к приему, передаче смены и к совместной работе с другими экипажами; подготовки экипажа к выполнению операций по обеспечению срочного покидания МКС; выполнению ручного управляемого спуска и подготовки экипажа ко множеству других операций и ситуаций, включая нештатные. На РС МКС экипаж проводит обширный объем работ по техническому обслуживанию и дооснащению бортовых систем МКС, осуществляет выходы в открытый космос, выполняет программу научных исследований (до 35 различных экспериментов) [Падалка Г.И., Ревин С.Н., 2013; Власов П.Н., Харламов М.М., Курицын А.А. и др., 2018; Калери А.Ю., Кукин О.Н., Серов М.В., 2017; Курицын А.А., Ярополов В.И., Ковинский А.А. и др., 2019].

Уникальные, чрезвычайные условия пребывания в космическом пространстве, такие как невесомость, продолжительное ограничение внешних стимулов-раздражителей и монотонность обстановки (космическая станция, космический корабль), искусственно созданные и поддерживающиеся на достаточно постоянном уровне условия среды, обедняют восприятие космонавта и приводят к изменениям его перцептивных процессов [Bock O., Weigelt C., Bloomberg J.J., 2010; Lackner J.R., DiZio P., 2010; Уйба В.В., Ушаков И. Б., Сапецкий А.О., 2017; Корнилова Л.Н., 2020]. Длительная недостаточность двигательной активности (гиподинамия) является причиной отрицательных морфофункциональных изменений в организме: атрофических изменений в мышцах [Shenkman B.S., Tsaturyan A.K., Vikhlyantsev I.M. et al., 2021; Коряк Ю.А., 2015], детренированности сердечнососудистой системы [Баевский Р.М., 2005; Фомина Г.А., Котовская А.Р., Темнова Е.В., 2009; Котовская А.Р., Фомина Г.А., 2010], понижения ортостатической устойчивости [Корнилова Л.Н., 2020], изменения водно-солевого баланса [Носков В.Б., 2013; Носков В.Б., Ничипорук И.А., Васильева Г.Ю., Смирнов Ю.И., 2015] и системы крови [Пономарёв С.А., Берендеева Т.А., Калинин С.А., Муранова А.В., 2016;

Новиков В.Е., Рыкова М.П., Антропова Е.Н., 2017], деминерализации костей [Новиков В.Е., Рыкова М.П., Антропова Е.Н. и др., 2017; Гордиенко К.В., Новиков В.Е., Сервули Е.А. и др., 2018] и т.д. В итоге снижается функциональная активность органов и систем, нарушается деятельность регуляторных механизмов, обеспечивающих их взаимосвязь. После длительного пребывания на орбите детренированный организм плохо переносит перегрузки, возникающие при посадке [Глебова Т.М., Колотева М.И., 2018].

Одним из ряда негативных факторов космической среды обитания является неравномерная рабочая нагрузка экипажа в ходе полета с эпизодами недогрузки, традиционная перегруженность заключительного этапа полета, плановые ночные работы со сдвигами периодов сна к необычным часам суток. Анализ информации о наличии или отсутствии ошибочных действий, допускаемых российскими членами экипажей МКС в процессе выполнения профессиональной деятельности, выявил, что эти показатели связаны с нарушением режима труда и отдыха [Степанова С.И., Королёва М.В., Нестеров В.Ф. и др., 2019; Нечаев А.П., Степанова С.И., Бронников С.В. и др., 2019].

Кроме этого здоровье космонавтов подвергается воздействию негативных физических факторов - радиации, включая ионизирующее излучение, высокому уровню шума. Космонавты за сутки получают дозу радиации в 200 раз больше, чем человек на Земле. За год пребывания в космосе можно получить от 100 до 300 мЗв, а суммарная доза, после которой космонавта не допускают к полетам, - 1000 мЗв [Карташов Д.А., Петров В.М., Коломенский А.В. и др., 2010; Бондаренко В.А., Митрикас В.Г., Цетлин В.В., 2019; Кутина И.В., Агуреев А.Н., 2019].

Негативное влияние оказывают шум и вибрация, связанные с фазами запуска двигателей космического корабля, которые при полете с выключенными двигателями почти исчезают. Длительное или высокое по мощности воздействие шума и вибрации вызывает ощущение дискомфорта, раздражение, тошноту, а также чувства тревоги и страха, удушье, боль в области живота и позвоночника, общее утомление, затрудненное дыхание, головную боль, зуд и глухоту [Дешевая Е.А. В. С. Беляев, В. Б. Бычков и др., 2019].

При старте космического корабля перегрузки могут достигать до 7g, что является стрессовым фактором для ЦНС, функция которой нарушается уже при величинах +2,0–3,0 GZ. При нарастающем действии перегрузки +GZ прежде всего страдает процесс внутреннего торможения, затем отмечается удлинение скрытых периодов рефлексов на условные раздражители, возникают фазовые явления и, наконец, наступает полное торможение условных рефлексов [Котовская А.Р., Колотева М.И., Глебова Т.М., 2018; Котовская А.Р., 2017; Глебова Т.М., Колотева М.И., 2018].

Увеличение продолжительности и мощности действия экстремальных факторов приводит к появлению дезадаптивных изменений в организме членов экипажа, которые

проявляются в состояниях кумулятивного утомления и астенизации центральной нервной системы из-за неадекватности ее реагирования на раздражители [Мясников В.И., Степанова С.И., Сальницкий В.П. и др., 2000]. Признаком ухудшения психического состояния космонавта является частое появление выраженных отрицательных эмоциональных реакций, особенно, если они оставляют после себя длительный негативный след в виде пониженного настроения [edited by McPhee J.C., Charles J.B., 2016; Stuster J., 2010a; Stuster J., 2010b].

1.1.2 Условия и особенности профессиональной деятельности летчика

Профессиональная деятельность летчиков, безусловно, является сложной и напряженной и протекает в особых условиях. Многообразие решаемых профессиональных задач на фоне интенсивной модернизация военной авиационной техники, резкое возрастание информационных нагрузок требует от летчика при пилотировании и взаимодействии с бортовыми комплексами целостности и структурности восприятия, высокой скорости мыслительных процессов, устойчивых сенсомоторных навыков, что при длительном систематическом воздействии приводит к возникновению различных соматических заболеваний [Синельников С.Н, Агаджанян О.С., 2020; Годилю-Годлевский В.А. Воронков Ю.И., Анисеев Д.А., 2020; Mohanavelu K., Poonguzhali S., et al., 2020; Deng PY, Qiu XY, et al., 2021].

Чрезвычайно тяжелой и опасной является профессиональная деятельность экипажей сверхманевренных самолетов в связи с пилотажными перегрузками при полетах, что повышает вероятность возникновения зрительно-вестибулярных иллюзий и вестибулярных нарушений, а также общей дезориентации. Пространственная дезориентация при выполнении режимов энергичного маневрирования является основной причиной срывов полетного задания, а также катастроф и инцидентов по причине потери сознания [Гандер Д.В., Ворона А.А., Пономаренко В.А., Алексеенко М.С., 2016; Пономаренко В.А., 1990].

Большую роль играет место службы. У военных летчиков, проходящих военную службу на Европейском Севере России, большинство показателей функционального состояния ЦНС, вегетативной нервной системы и уровень операторской работоспособности снижены. На этом фоне специалисты, не имеющие состояния эмоционального выгорания, занимают активную личностную позицию и ориентированы на будущее, в то время как пилоты с выявленным эмоциональным выгоранием имеют пассивную личностную позицию, а их основные потребности ассоциируются с настоящим [Бойко И.М., Мосягин И.Г., 2012].

Наиболее критическими для надежности действий летчика являются нештатные ситуации, которые способствуют возникновению профессионального стресса, негативно

влияющего на процессы приема и переработки информации, а также на исполнительские функции. Сохранение профессиональных качеств летчика в стрессовых ситуациях определяется как физиологической устойчивостью организма, так и психической готовностью, обусловленной психическими качествами личности и подготовленностью к действиям в сложной обстановке. Кроме того, высокая эмоциональная напряженность активизирует работу механизмов, одним из которых является практически мгновенная мобилизация организма в момент опасности [Бочаров И.В., Стрелец В.В., Тукайнов Н.А., 2020]

Высококвалифицированные летчики достаточно успешно справляются со всеми стрессорами. Однако при возникновении нештатной ситуации в ходе профессиональной деятельности проблема страха и тревожности остается актуальной. В связи с этим, у части пилотов, подвергшихся чрезмерным стрессовым воздействиям, развиваются острые тревожные реакции и/или хронические реакции (посттравматический синдром) [Стрелков Ю.К., 2001].

1.1.3 Условия и особенности профессиональной деятельности моряков

Морской труд и, в частности, служба на Военно-морском флоте, связаны с воздействием на организм специалистов множества профессионально обусловленных неблагоприятных факторов химической, физической, биологической и социально-психологической природы, таких как: психоэмоциональное перенапряжение, депривация сна, монотонность труда и обстановки, гиподинамия, токсическое действие газов искусственных смесей и сред, декомпрессионное газообразование, ионизирующие и неионизирующие излучения, переохлаждение, перегревание, вибрация, шум и т.д. Комплексное воздействие негативных факторов вызывает физиологические и патологические реакции организма специалистов и определяет спектр ближайших и отдаленных рисков для здоровья, а также профессионально обусловленных заболеваний [Чумаков А.В., Черкашин Д.В., 2017].

К общим негативным факторам среды относят также относительную социальную изоляцию, неразделенность бытовой и производственной сфер жизнедеятельности на физически ограниченном пространстве судна, круглосуточный режим работы, вахтовую организацию труда, уставную систему отношений, сенсорную депривацию, а также «синдром ожидания» - переживание и осознание риска, готовность к действиям в аварийных ситуациях. Действие совокупности этих факторов оказывает значительное влияние на социально-психологические особенности морских экипажей как социальной группы - нарастает нервно-психическая напряженность, а накопление усталости у членов экипажа неизбежно вызывает ухудшение социально-психологического климата [Истомина О.А., 2007; Мишин Ю.А., Плескач В.В., Киселевич Е.Н., Педченко М.В., 2013; Ronca V., Uflaz E., et al., 2023].

Своя специфика труда существует у экипажа подводной лодки по сравнению с надводными судами, при этом основным фактором является понятие автономности - время (в сутках), в течение которого подводная лодка способна пробыть в море и выполнять свойственные ей задачи без пополнения запасов топлива, продовольствия, воды, других материальных средств и без смены личного состава. Не менее важное значение имеет фактор живучести подводной лодки, который обеспечивается, в частности наличием на них большого запаса воздуха высокого давления, средств контроля за содержанием в отсеках взрывоопасных газов, средств пожаротушения, аварийно-спасательных устройств и инструмента и т. д. [Хвощ В. А., 1989; Король А., 2006]. Управление такой сложной эргатической системой как подводная лодка, ряд крайне неблагоприятных факторов обитаемости в условиях замкнутого пространства, воздействие на организм факторов операторской деятельности, высокая ответственность за решение боевых задач и осознание реальной витальной угрозы требует от подводников предельной мобилизации психофизиологических ресурсов организма. Решение задач автономного плавания вызывает интенсивные когнитивные, эмоциональные и физические нагрузки, что может приводить к критическому снижению качества выполняемой профессиональной деятельности [Ханкевич Ю.Р., Блощинский И.А., Васильев А. С., Кальманов А.С., 2015; Ronca V.; Uflaz E.; et al., 2023; Xue H., Haugseggen O., et al., 2024].

Таким образом, несмотря на различия среды, в которой осуществляется профессиональная деятельность специалистов космической, авиационной и морской отраслей, наблюдается определенное сходство в действии негативных факторов. С одной стороны, для профессиональной деятельности характерна постоянная повышенная нагрузка, определяющаяся сложностью и ответственностью поставленных целей и задач, возникновением нештатных и аварийных ситуаций, а, с другой стороны, сложными и необычными условиями среды, возникновением ситуаций опасности для жизни и действием других экстремальных факторов. Интенсивное или длительное воздействие этих условий приводит к развитию выходящих из ряда обычных функциональных состояний организма и, в частности, нервной системы.

1.2 Изучение влияния негативных факторов на организм специалистов авиационно-космического и морского профиля в реальных и моделируемых условиях профессиональной среды

Известно, что любой природный или техногенный фактор, доза (интенсивность, длительность действия) которого превышает определенную критическую величину, вызывает развитие негативных состояний организма человека, приводит к снижению работоспособности,

ухудшению здоровья. Однако следует учитывать индивидуальные особенности - у одного человека воздействие такого фактора приводит к выраженным функциональным и даже структурным изменениям в организме, а у другого – сопровождается практически полной функциональной компенсацией [Новиков В.С., Сороко С.И., 2017.].

Изучение влияния негативных факторов профессиональной среды на системы органов и организм специалиста в целом осуществляют как в реальных, так и в экспериментальных исследованиях. На РС МКС в реальных условиях разрабатываются фундаментальные проблемы физиологии систем органов и тканей; иммунологии; радиационной безопасности экипажей космических объектов [под ред. А. И. Григорьев, И. Б. Ушаков, В. В. Богомолов и др., 2011; Носков В.Б., Ничипорук И.А., Васильева Г.Ю., Смирнов Ю.И., 2015; Kashirina D.N., Percy A.J., Pastushkova L.Kh. et al., 2019; Hirayama J., Hattori A., Takahashi A. et al., 2022; Bychkov A., Reshetnikova P., Bychkova E. et al., 2021; Fisher R., Baselet B., Vermeesen R. et al., 2020; Fonte C., Fripiat J.-P., 2020; Пономарёв С.А., Берендеева Т.А., Калинин С.А., Муранова А.В., 2016; Ничипорук И.А., Рыкова М.П., Антропова Е.Н. и др., 2017; Гордиенко К.В., Новиков В.Е., Сервули Е.А. и др., 2018; Митрикас В.Г., 2015; Карташов Д.А., Петров В.М., Коломенский А.В. и др., 2010; edited by A. J. Coster, P. J. Erickson, L. J. Lanzerotti., 2021].

Проводимые на МКС исследования влияния невесомости на динамическую организацию мозга с помощью метода ЭЭГ позволили выявить, что изменение гравипептивных входов в корковые сети влияет на механизмы мультимодальной сенсомоторной и зрительной интеграции, а также, что режим и качество сна значительно влияет на зрительно-моторную деятельность в космосе [Leroy A., De Saedeleer C., Bengoetxea A. et al., 2007; Cheron G., Leroy A., De Saedeleer C. et al., 2000; Cebolla A.M., Petieau M., Dan B. et al., 2016; Petit G., Cebolla A.M., Fattinger S. et al., 2019]. В настоящее время на РС МКС проводится космический эксперимент «Пилот-Т», в котором космонавты осуществляют операторскую деятельность с использованием программы, моделирующей ручное управление сложными динамическими объектами. Во время осуществляемой космонавтом профессиональной деятельности, у него регистрируется ряд электрофизиологических показателей (ЭЭГ, электрокардиография (ЭКГ), электромиография (ЭМГ), электроокулография (ЭОГ)), а также осуществляется тестирование памяти, восприятия и реакции на зрительные и слуховые стимулы [Бубеев Ю.А., Котровская Т.И., Счастливцева Д.В., 2016; Бубеев Ю.А., Усов В.М., Сергеев С.Ф. и др., 2019; Johannes B., Bronnikov S.V., Bubeev Ju.A. et al., 2019; Johannes B., Bubeev Ju.A., Kotrovskaya T.I. et al., 2021].

Психологические особенности поведения экипажа и его взаимодействия с персоналом центра управления полетами (ЦУП) на различных стадиях длительного космического полета изучаются на РС МКС, при этом выявляются объективные данные об индивидуальной системе ценностей каждого члена экипажа, об особенностях взаимного восприятия членов экипажа и

специалистов ЦУП, а также о специфике коммуникации между ними [Гущин В.И., Виноходова А.Г., Швед Д.М. и др., 2021; Гущин В.И., Юсупова А.К., Швед Д.М. и др., 2016; Гущин В.И., Суполкина Н.С., Швед Д.М. и др., 2022; Юсупова А.К., Швед Д.М., Гущин В.И. и др., 2018].

Изучение функционального состояния организма летчика в условиях осуществления им профессиональной деятельности крайне затруднено, тем не менее существует ряд возможностей решения этой задачи. Разработаны и применяются технологии для контроля рисков, связанных с утомляемостью и неблагоприятными психофизиологическими состояниями пилота, а также для прогноза качества профессиональной деятельности экипажа воздушного судна в реальном времени полета. Так, изучение динамики функционального состояния организма летчиков вертолетов корабельной авиации в процессе морского похода показало наличие разнонаправленных сдвигов исследованных параметров – показатели ухудшались на первой неделе, затем улучшались на третьей и вновь ухудшались с четвертой по седьмую неделю, демонстрируя развитие состояния утомления [Котляр Д.Л., 2009; Бубеев Ю.А., Кальманов А.С., Котровская Т.И., 2011]. Весьма распространена оценка функционального состояния путем автоматической обработки совокупной информации от датчиков контроля обжатия ручки управления самолетом, контроля усилий на педалях, давления в линиях наддува противоперегрузочных устройств, от приемников видеосигнала и др., обеспечивающих бесконтактный съем информации и не мешающих действиям летчика. При анализе текущих значений показателей психофизиологического состояния пилотов используется база данных индивидуальной и групповой статистики биологических сигналов по всем ранее проведенным экспериментам с использованием ретроспективного анализа. Для определения уровня функционального состояния экипажа в системах обеспечения безопасности полетов на воздушных судах, не оборудованных гермокабиной и кислородным оборудованием, применяется спектрофотометрический способ определения количества кислорода, связанного с гемоглобином, в артериальной крови и тканях. Данная подсистема посредством пульсоксиметрического модуля типа «клипса» позволяет сохранять текущие показатели частоты пульса, уровня сатурации крови кислородом и частоты дыхания в блоке сбора данных, а также отправлять на наземный диспетчерский пункт [Наквасин А.Ю., Сидоров П.П., Миронов А.Д. и др., 2017; Коптев Д. С., Бабанин И. Г., Мухин И. Е., 2019]. Использование ЭЭГ-скрининга при отборе пилотов показало, что с вероятностью около 25% лица с эпилептиформными ЭЭГ имели повышенный риск аварийности во время летной карьеры, по сравнению с 2% у пилотами с «нормальной» ЭЭГ [Hendriksen I.J., Elderson A., 2001].

Необходимость изучения функциональной надежности военно-морских специалистов надводных и подводных судов в условиях похода обусловлена наличием причинно-следственной связи между психофизиологическим состоянием и качеством их

профессиональной деятельности [Shi Y., Zeng W. et al., 2021]. Было показано [Онищенко А.В., 2008], что определяющими неблагоприятными факторами являлись уменьшение объема двигательной активности и напряженная операторская деятельность, в связи с чем, возникали неблагоприятные изменения функционального состояния организма, нервной, сердечно-сосудистой и дыхательных систем организма специалистов. Так, состояние церебральной гемодинамики у корабельных специалистов характеризовалась снижением объемного пульсового кровенаполнения мозговых сосудов и наличием ангиодистонических изменений, что сопровождалось признаками дезорганизации волновой активности головного мозга. Это приводило к снижению функциональной надежности специалиста [Онищенко А.В., 2008]. Выявили, что в период 65-суточного похода функциональное состояние организма и физическая работоспособность моряков-операторов характеризовались ухудшением условно-рефлекторной деятельности и физической работоспособности, снижением эффективности деятельности сердечно-сосудистой системы, как в состоянии покоя, так и при выполнении дозированной физической нагрузки, нарастанием утомления в центральных отделах двигательного и зрительного анализаторов [Плахов Н.Н., Буйнов Л.Г., Макарова Л.П., 2017].

Что касается операторов-подводников, осуществляющих напряженную и ответственную профессиональную деятельность во время похода, то на них действует целый комплекс негативных факторов обитаемости корабля и длительного отрыва от берега, что сопряжено с высоким риском для жизни и здоровья. Успешность работы в таких условиях в значительной степени зависит от поддержки оптимального уровня функционального состояния операторов, в связи с чем, профилактика его негативных изменений является важной задачей. Распространенной методикой подготовки к экстремальным нагрузкам является интервальная гипоксическая тренировка, которая увеличивает устойчивость к утомлению и негативным факторам обитаемости подводной лодки [Ханкевич Ю.Р., Сапожников К.В., Парфенов С.А., Седов А.В., 2016]. Также установлено, что регулярные занятия специально подобранными физическими тренировками во время похода надводного корабля специального назначения в Заполярье позволяют поддерживать оптимальное функциональное состояние сердечно-сосудистой системы в условиях гипокинезии и гиподинамии, провоцирующих возникновение патологических изменений в организме под влиянием других экстремальных факторов обитаемости до конца 60-ти суточного похода корабля [Ярков А.М., 2013]. В качестве средств коррекции функционального состояния моряков в длительном плавании проведена оценка эффективности применения энтеросорбентов на основе анализа динамики физиологических, психофизиологических и биохимических показателей. Показано, что при этом у моряков снижалось функциональное напряжение сердечно-сосудистой системы и не происходило

значимого ухудшения показателей сенсомоторной координации и сенсомоторного реагирования [Саленко Ю.А., Барчуков В.Г., 2015].

Изучение влияния негативных факторов, присущих специфичным средам обитания, на организм специалиста проводится не только в реальных условиях (field environment), но и в экспериментах, моделирующих действие факторов реальной среды в лабораторных условиях (laboratory environment). Последние имеют определенные преимущества - лабораторная среда изолирована от посторонних воздействий, что обеспечивает высокую степень контроля проведения эксперимента и регулировки параметров самой среды. Особенно важным как для фундаментальных, так и прикладных имитационных исследований является возможность задействовать различного рода необходимое оборудование, которое невозможно установить по массе, габаритам и условиям обслуживания на реальных объектах. Лабораторные эксперименты обеспечивают высокую степень внутренней достоверности и повторяемости результатов, если проводятся с соблюдением одних и тех же алгоритмов и способов подбора испытуемых-добровольцев. Изучение действия негативных факторов на организм человека в искусственно созданных условиях, позволяют установить причину и механизмы наблюдаемых явлений, проанализировать воздействие отдельных факторов на жизнедеятельность организма, спрогнозировать последствия их влияния на организм [Зароченцев К.Д., Худяков А.И., 2004]. Однако у такого рода экспериментов есть существенный недостаток – комплекс всех факторов космического, надводного и подводного пространства, а также пилотажных нагрузок невозможно синтезировать в искусственных земных условиях. Изоляционный эксперимент моделирует лишь часть этих условий.

Экспериментальная модель изоляции экипажа в ограниченном по объему, герметично замкнутом объекте принята как наиболее адекватная, поскольку показано, что длительное пребывание, как в условиях реального длительного космического полета (ДКП), морского похода на надводных и подводных судах, так и в моделируемых условиях изоляции в гермокамере, оказывает негативное воздействие на работоспособность и качество деятельности специалиста. Преимущества такой модели для изучения социально-психологических и психофизиологических реакций на комплекс воздействующих на экипаж факторов, таких как изоляция, скученность, сенсорная депривация, монотония деятельности и обстановки, публичность, ограничения и навязанный характер социальных контактов заключаются в возможности моделирования различных вариантов режима труда и отдыха специалистов с выполнением профессиональной деятельности [Симонов П.В., Мясников В.И., 1982; Мясников В.И., Степанова С.И., Сальницкий В.П. и др., 2000; Ушаков И.Б., Моруков Б.В., Бубеев Ю.А. и др., 2014].

Из всего вышесказанного следует, что успешность труда, обучения, физического и психического здоровья человека в самых различных сферах деятельности в значительной мере зависит от функционального состояния (ФС) его организма. Диапазон определений ФС чрезвычайно широк, поскольку отражает различные подходы к оценке ФС с учетом профессиональной деятельности [Пухов В.А., Иванов И.В., Чепур С.В., 2016]. Среди существующего многообразия научных определений этого понятия, наиболее признанным является сформулированное В.И. Медведевым, который полагал, что ФС это «интегративный комплекс наличных характеристик тех функций и качеств человека, которые прямо или косвенно обуславливают выполнение деятельности» [Леонова А.Б., Медведев В.И., 1981]. Такой подход наиболее популярен в эргономике и инженерной психологии, при этом само ФС оценивается не столько по физиологическим реакциям, сколько по результатам трудовой деятельности человека. Ряд авторов рассматривает эффективность деятельности в связи с тремя видами ФС человека-оператора: 1) с состоянием оптимальной работоспособности с высоким уровнем бдительности и минимальным количеством допускаемых ошибок; 2) с утомлением с характерными для него снижением уровня бодрствования, дремотой, апатией, замедленными реакциями, пропуском значимых сигналов; 3) с чрезмерным эмоциональным напряжением, ведущим к дезорганизации деятельности, к преждевременным реакциям, нарастанию ошибок по типу ложных тревог [Лукьянов А.Н., Фролов М.В., 1969; Фролов М.В., 1987; edited by G. R. J. Hockey, A. W. K. Gaillard, O. Burov, 2003].

Снижение эффективности выполняемой работы трактуется как признак ухудшения ФС, однако из этого не ясно как формируются физиологические, поведенческие и психологические (субъективные) уровни реагирования, отражающие снижение уровня ФС. За предшествующее пятидесятилетие выявлены нейрофизиологические механизмы регуляции ФС через модулирующие системы мозга – ретикулярную формацию с ее активирующими и инактивирующими отделами, а также лимбическую систему, от которой зависит мотивационное возбуждение [Данилова Н.Н., 1992; Данилова Н.Н., 2012].

Характер взаимодействия специалиста со сложной, необычной средой требует построения новых взаимоотношений, как с этой средой, так и с членами экипажа, что приводит к максимальному напряжению регуляторных механизмов. В качестве вынужденной меры для сохранения целостности организма и выживания в неадекватных его существованию условиях внешней среды формируются, так называемые, экстремальные состояния, которые характеризуются наивысшей консолидацией управления функциями организма [ред. Демченко И.Т., 1995]. Максимальную централизацию управления организмом обеспечивает ЦНС, которая осуществляет связь организма с окружающей средой, обеспечивая при этом регуляцию и взаимодействие систем органов. При действии стрессора любой природы через экстеро- и

интерорецепторы и афферентные нервные пути происходит воздействие на управляющие адаптационной деятельностью организма структуры ЦНС, которые расположены в гипоталамусе, ретикулярной формации среднего мозга, миндалевидном комплексе и гиппокампе [Суворов Н.Б., Цыган В.Н., Зуева Н.Г., 1994; Цыган В.Н., 1994; Апчел В.Я., Цыган В.Н., 1999; Посохин В.В., 2005].

Первой реакцией ЦНС на воздействие является ориентировочный рефлекс, который сопровождается торможением многих видов активности, проявлявшихся до этого момента. Затем происходит реакция возбуждения ЦНС, выраженность которой и характерный для нее эмоциональный компонент тем больше, чем сильнее факторы, действующие на организм. Затем возбудимости ЦНС снижается и переходит на новый функциональный уровень, при этом происходит выключение ряда недостаточно координированных, неэкономных и характеризовавшихся срочностью процессов реагирования органов и систем, первоначально включенных в реакцию на действие комплекса стимулов [Гора Е.П., 2007; Ильин Е.П., 2005].

Изучение структур головного мозга в свете их взаимодействия с образованием интракортикальных и корково-подкорковых связей, а также в качестве звеньев систем обеспечения приспособительного поведения была разработана шкала уровней бодрствования в виде непрерывного ряда – от комы до сверхвозбуждения, при этом уровни бодрствования рассматриваются в единстве с уровнями активации нервной системы [Илюхина В.А., 2010].

Глобальные сдвиги общего уровня бодрствования регулируются ретикулярной формацией, активация которой по восходящим путям распространяется к коре больших полушарий. По сравнению с возбуждающими эффектами ствола мозга более ограниченный характер имеют ядра неспецифического таламуса, образующие диффузную проекционную систему, которая оказывает на кору возбуждающие и тормозные влияния. Переключение активирующих влияний с уровня ретикулярной формации ствола мозга на уровень таламической системы обеспечивает переход от генерализованной к локальной активации коры [Данилова Н.Н., 1992; Плотникова М.В., 2013].

Характер взаимодействия подкорковых структур мозга и коры больших полушарий определяется показателями спонтанной биоэлектрической активности мозга с помощью метода электроэнцефалографии, позволяющим изучать процессы, для реализации которых требуются секунды и миллисекунды одним из достоинств которого является хорошее временное разрешение [Поворинский А.Г., Заболотных В.А., 1987; Кулаичев А.П., 2007; edited by D. L Schomer, F.N. Lopes da Silva, 2011; Миклашевич О.С., Ковальчук А.А., 2022; М. В. Александров, Л. Б. Иванов, С. А. Лытаев и др. под ред. М. В. Александрова, 2020; Гнездицкий В.В., 2004].

ЭЭГ-мониторинг (многочасовая on-line регистрация) является самым доступным способом оценки мозга непосредственно во время осуществления профессиональной деятельности специалистами в реальных и экспериментальных условиях [Ткаченко О.Н., 2012; Ушаков И.Б., Бубеев Ю.А., Котровская Т.И. и др., 2014; Chu H., Cao Y., Jiang J. et al., 2022; Leroy A., De Saedeleer C., Bengoetxea A. et al., 2007; Cheron G., Leroy A., De Saedeleer C. et al., 2000; Cebolla A. M., Petieau M., Dan B. et al., 2016; Petit G., Cebolla A.M., Fattinger S. et al., 2019; Бубеев Ю.А., Котровская Т.И., Счастливец Д.В., 2016; Johannes B., Bronnikov S., Bubeev Yu. et al., 2017; Бубеев Ю.А., Усов В.М., Сергеев С.Ф. и др., 2019; Johannes B., Bronnikov S.V., Bubeev Ju.A. et al., 2019; Johannes B., Bronnikov S., Bubeev Y. et al., 2019; Edited by L. B. Landon, K. J. Slack, E. Salas, 2020; Johannes B., Bronnikov S.V., Bubeev Yu.A. et al., 2021; Johannes B., Bubeev Ju. A., Kotrovskaya T.I. et al., 2021; Piechowski S., Johannes B., Pustowalow W. et al., 2022]. Регистрация ЭЭГ возможна непосредственно и при других видах деятельности, например, у профессиональных стрелков широкого спектра квалификаций (от кандидатов в мастера спорта до заслуженных мастеров спорта, призеров Олимпийских игр и чемпионатов мира) [Салихова Р.Н., 2013; Черный С.В., Щепоткин В.С., Волков П.М., 2019; Gong A., Liu J., Li F., et al., 2017; Gong A., Liu J., Jiang C., Fu Y., 2018; Schneider S., Brümmer V., Abel T. et al., 2009].

1.3 Изучение работы мозга в осложненных условиях среды методом электроэнцефалографии

Общепризнанным критерием работы головного мозга человека с помощью метода ЭЭГ является оценка частотно-амплитудных характеристик церебральных биопотенциалов. Одним из видов анализа ЭЭГ на сегодняшний день продолжает оставаться визуальная экспертиза паттерна (рисунка) ЭЭГ, в основном применяемая в клинике, которая позволяет определить соответствие ЭЭГ принятым нормам в клинике и физиологических исследованиях, если такого соответствия нет, то следует оценить отличия от нормы. Согласно определению А.Г. Поворинского и В.А. Заболотных «ЭЭГ-паттерна – это целостная картина биоэлектрической активности по всем исследуемым областям мозга, отражающая особенности распределения различных компонентов ЭЭГ» [Поворинский А.Г., Заболотных В.А., 1987]. С помощью паттерна ЭЭГ описывают как индивидуальные нейрофизиологические особенности человека, так и динамику ФС ЦНС. Описательными характеристиками ЭЭГ являются: регулярность (одинаковый интервал повторения), индекс (относительный показатель выраженности какой-либо активности ЭЭГ) – время (в %), в течение которого на каком-либо отрезке кривой выражена данная активность; интегральный индекс характеризует структуру ЭЭГ в целом – отношение интенсивности быстрых (альфа-и бета-) и медленных (дельта- и тета-) колебаний;

частота (количество полных циклов повторяющихся волн или комплексов за одну секунду, Гц); амплитуда (величина напряжения ЭЭГ волн, измеряемая от пика до пика, мкВ); модуляция (возрастание и убывание амплитуды, выглядит как горизонтальное веретено); зональное (топическое) распределение; межполушарная симметричность. Устойчивость амплитудно-временных параметров ЭЭГ свидетельствует о стабильной работе мозга, а переход из полосы одного ритма в другой, постоянный сдвиг частоты доминирующего ритма и колебания частоты биопотенциалов указывает на функциональные сдвиги [Зенков Л. Р., 2010; Неробкова Л.Н., Ткаченко С.Б., 2016; Илюхина В.А., 2010; Александров М. В., Иванов Л. Б., Лытаев С. А. и др. под ред. М. В. Александрова, 2020].

Объединить множество описательных характеристик в общее описание ЭЭГ-картины позволяет классификация. В настоящее время, в российской нейрофизиологической школе используют две основные классификации ЭЭГ-паттернов, как международную, предложенную Х. Людерсом, для проведения визуального анализа ЭЭГ, так и отечественную, разработанную Е.А. Жирмунской совместно с В.С. Лосевым

Классификация ЭЭГ по Людерс очень детальна, она включает как артефакты, так и редко встречающиеся типы ЭЭГ.

Классификация Людерс [edited by O. Hans, M. D. Luders, N. Sohey], 2000] в очень детальная и преимущественно включает различные ЭЭГ-паттерны в разнообразных ФС человека, что приводит к отсутствию четкого разграничению ЭЭГ симптома и синдрома. Классификация по Людерс включает: медленноволновые-, эпилептиформные-, специальные паттерны; паттерны комы, нормальной ЭЭГ с определением локализации – фокальные, мультифокальные, региональные, мультирегиональные, латерализованные, нелатерализованные, генерализованные, т.е. классификация представляет собой сводное описание различных ЭЭГ феноменов, выявляемых во время записи, не связанных с патологическими состояниями и патогенетическими процессами [Архипенко И.В., Гуляев С.А., Гуляева С.Е., 2013].

К ЭЭГ-симптомам, не являющимся патологическими (ЭЭГ вариант нормы) можно отнести группу ЭЭГ паттернов (симптомов), появление которых в записи, является следствием различных неспецифических процессов, адаптационного, регуляторного или инволютивного характера, соответствующих возрасту, и потому не являющимися отражением патологии.

Классификации Е.А. Жирмунской дает возможность описания общей ЭЭГ-картины и выделение электроэнцефалографических синдромов, названия которых отражают феноменологию ЭЭГ, но не механизмы их формирования. Параметры ЭЭГ нозологически неспецифичны, тем не менее, заключения, опирающиеся на связь сдвигов на ЭЭГ с локализацией патологического процесса в тех или иных структурах мозга, эффективны. На

основании этого выделено шесть синдромов – гиперсинхронизации альфа-активности; десинхронизации альфа-активности; гиперсинхронизации бета-активности; дезорганизации ритмов ЭЭГ с наличием вспышек; дезорганизации ритмов ЭЭГ с наличием пароксизмальной активности и перестройки корковой ритмики с замедлением биопотенциалов. Механизмами формирования синдромов является сочетание состояния раздражения, либо угнетения, либо нахождения в спокойном состоянии таких церебральных структур как ретикулярная формация ствола, передний и задний гипоталамус, ядра таламуса, хвостатое ядро. Дать определение понятия типа ЭЭГ с общими и существенными характеристиками биоэлектрической активности головного мозга позволяет оценка фоновой ЭЭГ (записи, зарегистрированной в состоянии покоя и не имеющей патологических феноменов) у человека со сформировавшимися корково-стволовыми процессами [Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1980; Бочкаревым В.К., Панюшкиной С.В., 2000]. Недостатками данной классификации ЭЭГ-паттернов является то, что не учитывается функциональное состояние коры головного мозга и ее влияние на нижележащие структуры. Классификация Е.А. Жирмунской основывается на влиянии на кору головного мозга шести структурных компонентов, каждый из которых находится в двух состояниях: угнетения и возбуждения. Группа ученых во главе с М.В. Александровым предлагает считать кору седьмым структурным элементом, а так же учитывать третье состояние компонентов – «нормальная активность». Таким образом, согласно М.В. Александрову с коллегами классификационная модель, с учетом семи структурных компонентов и ее трех состояний, содержит 2187 вариантов [Жирмунская Е.А., 1991; Александров М. В., Иванов Л. Б., Лытаев С. А. и др. под ред. М. В. Александрова, 2020].

На основании описанного выше подхода выделено 5 типов и 17 групп (от 2 до 5 в каждом типе) ЭЭГ-паттернов по 6 признакам: главная активность (наиболее выраженный компонент); амплитуда биопотенциалов главной активности; альфа-активность; зональные различия; бета-активность; медленная (дельта- и тета-активность). Качественным и количественным характеристикам ЭЭГ-типов и соответствующих им групп присваивались определенные коды, которые используют в настоящее время в различных ПО для анализа типа ЭЭГ-паттерна. Ниже приводится принятое в настоящее время описание ЭЭГ-типов согласно классификации Е.А. Жирмунской.

Согласно Е.А. Жирмунской с В.С. Лосеву: «тип I – организованный (во времени и пространстве). Основной компонент ЭЭГ – альфа-ритм. Он характеризуется высокой степенью регулярности, достаточно хорошо модулирован, имеет хороший или слабо измененный амплитудный градиент по областям мозга» (рисунок 1.1) [Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1984].

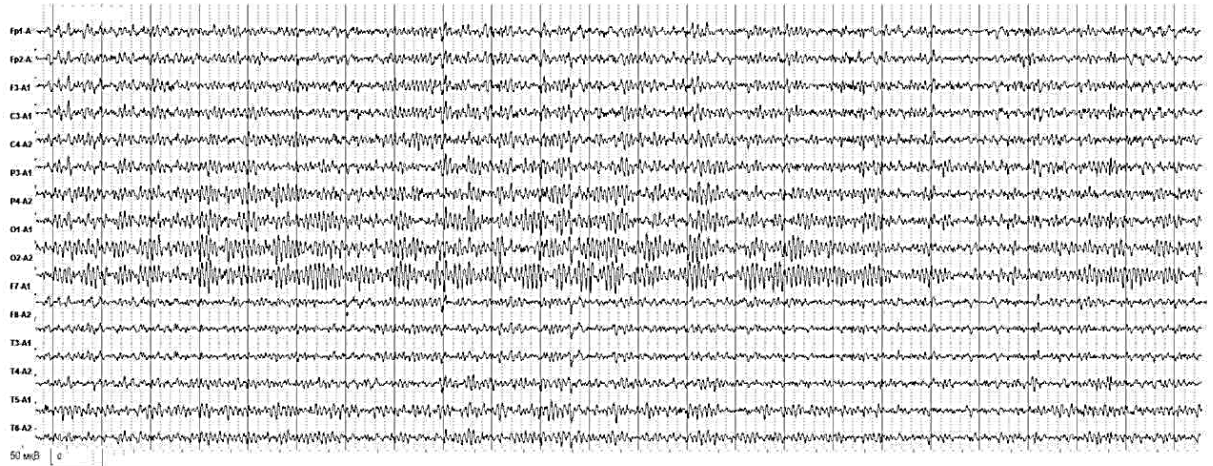


Рисунок 1.1 – Пример I типа ЭЭГ-паттерна [Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1984]

Согласно Е.А. Жирмунской с В.С. Лосеву: «тип II – гиперсинхронный (моноритмичный). Главное в структуре этого типа – чрезмерно высокая регулярность частоты колебаний биопотенциалов при высоком их индексе и потере зональных различий. Возможны разные варианты усиления синхронизации активности: с сохранением и даже усилением колебаний альфа-диапазона частот; с исчезновением альфа-активности и заменой ее на бета-активность низкой частоты или на тета-активность» (рисунок 1.2) [Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1984].



Рисунок 1.2 – Пример II типа ЭЭГ-паттерна [Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1984]

Картина доминирования альфа-ритма на ЭЭГ) характерна для 70-80 % здоровых людей.

Согласно Е.А. Жирмунской с В.С. Лосеву: «тип III – десинхронный. ЭЭГ характеризуется почти полным исчезновением или резким уменьшением количества альфа-волн, с увеличением числа бета-колебаний или без такого увеличения, а также с наличием некоторого количества медленных волн. Общий амплитудный уровень ЭЭГ этого типа невысокий, иногда очень низкий» (рисунок 1.3) [Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1984].

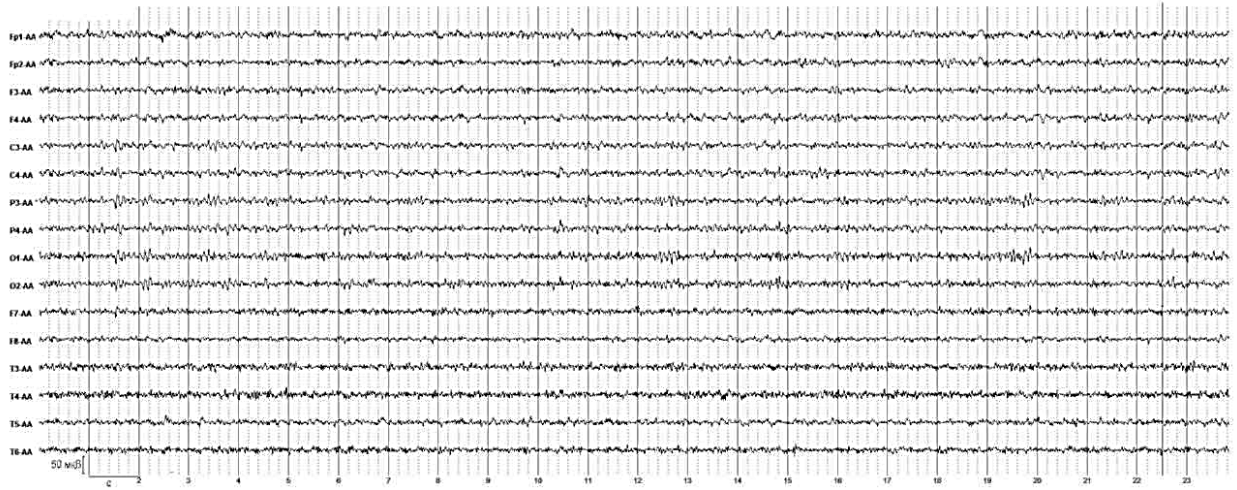


Рисунок 1.3 – Пример III типа ЭЭГ-паттерна [Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1984]

Согласно Е.А. Жирмунской с В.С. Лосеву: «тип IV – дезорганизованный (с преобладанием альфа-активности). Альфа-активность представлена на ЭЭГ в большом количестве, но недостаточно регулярная или совсем нерегулярная по частоте. Такой болеет или менее дезорганизованный альфа-ритм имеет достаточно высокую амплитуду и может даже доминировать по всем областям мозга. Бета-активность также нередко усилена, часто представлена колебаниями низкой частоты, увеличенной амплитуды. Наряду с этим на ЭЭГ могут присутствовать тэта- и дельта-волны, имеющие достаточно высокую амплитуду» (рисунок 1.4) [Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1984].

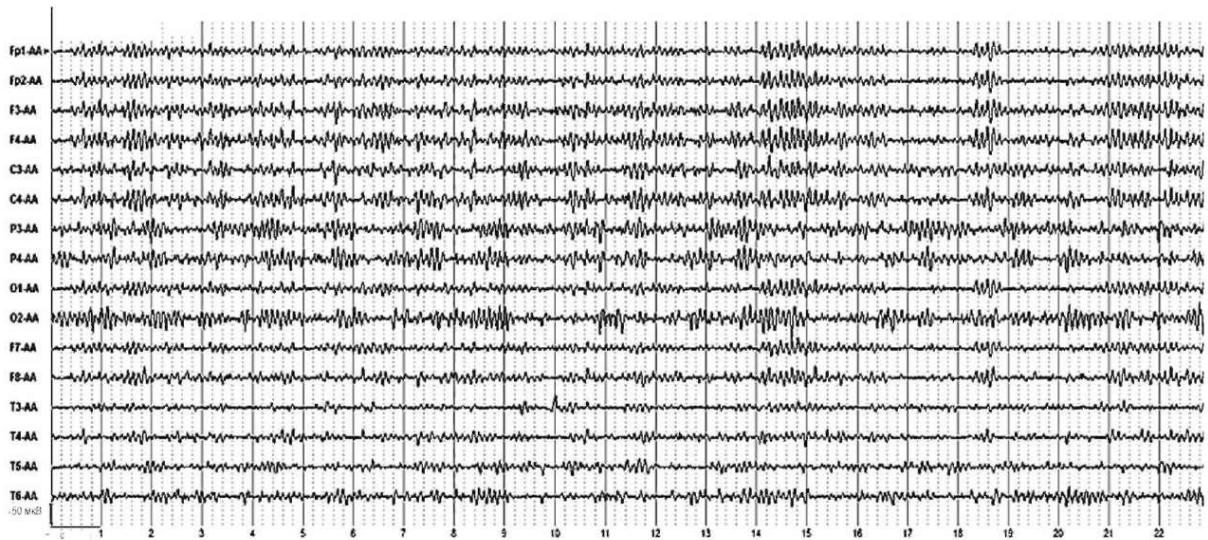


Рисунок 1.4 – Пример IV типа ЭЭГ-паттерна [Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1984]

Согласно Е.А. Жирмунской с В.С. Лосеву: «тип V – дезорганизованный (с преобладанием тэта- и дельта-активности). Главное, что характеризует структуру типа, это плохая выраженность альфа-активности. Колебания биопотенциалов альфа-, бета-, тэта- и

дельта-диапазона частот регистрируется обычно или без какой-либо четкой последовательности или в виде ритма (тэта- или дельта-диапазона частот). Такой тип кривой может иметь как средний, так и высокий амплитудный уровень» (рисунок 1.5) [Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1984].



Рисунок 1.5– Пример V типа ЭЭГ-паттерна [Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1984]

Две группы, относящихся к I типу ЭЭГ-паттерна, трактовались рядом исследователей как идеальная норма или как варианты нормы с легкими изменениями, при этом влияние систем регуляции – лимбико-ретикулярного комплекса – на кору головного мозга сбалансировано [Жирмунская Е.А., 1991]. Следует отметить, что «нормальная» ЭЭГ, и ЭЭГ «здорового» (практически здорового) человека – понятия не всегда идентичные, поскольку в 5-15 % случаев энцефалограмма здоровых (с точки зрения неврологии и психиатрии) людей значительно отличается от I типа ЭЭГ-паттерна и содержит феномены, характерные для определенных органических или функциональных нарушений деятельности мозга, что возможно связано с высокими компенсаторными возможностями мозга вне нейрофизиологических механизмов. Кроме того у субъектов с хроническим заболеванием мозга нередко встречается «нормальная» или «гипернормальная» энцефалограмма что можно объяснить включением именно нейрофизиологических компенсаторных механизмов.

ЭЭГ-паттерны, относящиеся к II и III типам, отражают регуляторные изменения в деятельности мозга. В паттерне II типа проявляется ослабление активирующих влияний на кору со стороны ретикулярной формации ствола мозга и усиление дезактивирующих влияний из

отделов лимбико-ретикулярного комплекса, а в паттерне III типа, наоборот, обнаруживается усиление активирующих влияний со стороны ретикулярной формации ствола мозга. Наличие ЭЭГ-паттерна IV типа свидетельствует о том, что у обследуемых имеется дисфункция в деятельности регулирующих систем мозга, а V типа означает, что у пациентов на первый план выступают уже не регуляторные, а микроструктурные поражения в коре головного мозга [Жирмунская Е.А., 1969; Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1980; Жирмунская Е.А., Лосев В.С., 1984; Жирмунская Е.А., 1991; Жирмунская Е.А., 1996; Егорова И.С., 1973; Зенков Л. Р., 2010; Мисюк Н.Н., 2006; Неробкова Л.Н., Авакян Г.Г., Воронина Т.А., Авакян Г.Н., 2020].

Известно, что обладатели I типа ЭЭГ-паттерна располагают максимальной адаптивностью. Исследование в течение 16 лет закономерностей организации биоэлектрических процессов мозга 69 участников Антарктических экспедиций позволило установить, что временная последовательность биоэлектрических колебаний и их перестройки отражают уровень пластичности нейродинамических процессов, которая определяется адаптивной способностью человека. Индивидуальные перестройки нейродинамических процессов коррелируют с исходным профилем ЭЭГ. По результатам исследований выделили три группы лиц: высокими, средними и низкими адаптивными способностями. Структура паттерна высокоадаптивных полярников в большой степени соответствует описанию I типа ЭЭГ по классификации Е.А. Жирмунской [Сороко С.И., Бекшаев С.С., Сидоров Ю.А., 1990; Сороко С.И., 1984; Сороко С.И., Сидоренко Г.В., 1993]. На основе метода математического анализа межкомпонентного взаимодействия ЭЭГ, разработанного С.И. Сороко с коллегами, было выявлено, что индивидуальная адаптивность и успешность адаптации высокогорных жителей к постоянно меняющимся условиям внешней среды также определяются типом центральных механизмов регуляции мозга [Джунусова Г.С., Сатаева Н.У., Садыкова Г.С., 2018]. Также обнаружено, что наличие хорошо выраженного альфа-ритма характерно для лиц с высокоадаптивным типом регуляции нейродинамических процессов, в то время как для лиц со среднеадаптивным и низкоадаптивным типами регуляции отмечалось изменение силы взаимодействия дельта-, тета- и бета- компонентов с альфа - компонентом [Hirschfeld R.M., 1996; Бойко И.М., Мосягин И.Г., 2012]. Высокая степень адаптивности обнаруживается у военных летчиков. В контрольной группе у 25 человек из 29 был выявлен хорошо соотносившийся с I типом ЭЭГ-паттерна моноритмичный тип ЭЭГ с удельным весом альфа-активности $67,5 \pm 2,1\%$. У лётчиков, участвовавших в боевых действиях, удельный вес альфа-активности был достоверно снижен до $60,3 \pm 1,1\%$, что, тем не менее, является хорошим показателем. Однако среди лётчиков после воздействия боевого стресса полиритмичный тип ЭЭГ (сходный с IV типом по классификации Е.А. Жирмунской) встречался гораздо чаще – у 44 человек из 63 по сравнению с контрольной группой (у 4 из 29) [Горнов С. В., 2020].

Существующий общепринятый набор количественных методов и связанный с ними инструментария для обработки биопотенциалов головного мозга с одной стороны увеличивает диагностическую значимость метода, а с другой является основой анализа ЭЭГ, зарегистрированных в научных экспериментах. Современные методы компьютерной обработки электроэнцефалограммы позволяют проводить детальный анализ различных ЭЭГ-феноменов, просматривать любой участок кривой в увеличенном виде, производить его амплитудно-частотный анализ, представлять полученные данные в виде карт, цифр, графиков, диаграмм. Экспериментально показано, что при соблюдении определенных условий ЭЭГ можно рассматривать как стационарный случайный процесс, для которого закон распределения не зависит от времени. Среди количественных методов в большинстве случаев используются спектрально-корреляционные методы. Спектральный анализ по смыслу близок к описанию частотных характеристик при визуальном анализе, когда можно определить не только индивидуальную выраженность различных ритмических составляющих в ЭЭГ, но и их соотношение. В основе большинства современных компьютерных программ лежит спектральный анализ ЭЭГ на базе дискретного преобразования Фурье, который позволяет получить информацию о суммарной мощности спектра ЭЭГ и его частотных составляющих, определить индекс частотных диапазонов ЭЭГ для стандартных и выделенных диапазонов частот. Индекс ритма представляет собой время выявления определенного ритма (активности) по отношению ко всему времени регистрации ЭЭГ, выраженное в процентах. В норме альфа-ритм составляет 75-95%, а его снижение ниже 50% расценивается как признак патологических изменений. Показатель мощности отражает различные аспекты функциональной активности мозга, характеризуя локальную активность нейронных ансамблей в определенной области коры. Спектры могут характеризовать абсолютную мощность каждой ритмической составляющей или относительную, т.е. выраженность мощности каждой составляющей (в процентах) по отношению к общей мощности ЭЭГ в анализируемом отрезке записи. По данным спектрального анализа можно построить топографические карты выраженности частотных диапазонов, что существенно улучшает наглядность представления полученных данных.

Частотно-амплитудные характеристики ЭЭГ являются общепризнанными критериями динамики функционального состояния ЦНС. Увеличение синхронизации и представленности медленных ритмов: тета- и дельта- диапазона в ЭЭГ отражает снижение уровня бодрствования за счет активации синхронизирующей системы мозга (неспецифические таламические ядра, структуры нижних отделов моста и некоторые ядра продолговатого мозга). Чем ниже уровень бодрствования, тем ниже частота суммарной активности и, как правило, выше амплитуда. Десинхронизация суммарной активности с регистрацией на ЭЭГ высокочастотных колебаний происходит при стимуляции восходящей активирующей системы (ретикулярной формации,

специфических ядер таламуса и лимбико-кортикальной системы) и проявляется в поведенческих реакциях повышения уровня бодрствования. Однако низковольтная, дезорганизованная, полиморфная электроэнцефалограмма с одинаковой вероятностью может регистрироваться и при повышении, и при снижении уровня активации головного мозга. Пространственно-временные изменения биопотенциалов мозга в процессе выполнения психологических заданий рассматриваются и как отражение нейронных механизмов регуляции психических функций, и как функционального состояния мозга [edited by D. L Schomer, F.N. Lopes da Silva, 2011; Неробкова Л.Н., Авакян Г.Г., Воронина Т.А., Авакян Г.Н., 2018.; Илюхина В.А., 2010; Александров М. В., Иванов Л.Б., Лытаев С. А. и др. / под ред. М. В. Александрова, 2020].

Надежно характеризовать функциональное состояние головного мозга можно по усредненным ЭЭГ-спектрам, которые достаточно стабильны, при этом минимальная продолжительность регистрации ЭЭГ для получения относительно устойчивых спектров составляет три минуты. В связи с тем, что амплитуда ЭЭГ обуславливается индивидуальными - нейрофизиологическими, анатомическими и физическими особенностями мозга и окружающих тканей, абсолютные спектры ЭЭГ отличаются большой вариативностью, что понижает статистическую значимость отклонения от нормальности относительно средних для группы испытуемых. Для минимизации этого вычисляют относительную мощность ЭЭГ спектра по формуле:

$$Pr(f) = Pa(f) / (\Sigma Pa(f,))$$

где $Pr(f)$ – относительная мощность ЭЭГ на частоте f , $Pa(f)$ – абсолютная мощность ЭЭГ на той же самой частоте, Σ – сумма мощностей ЭЭГ всего спектра или его части [Кропотов Ю.Д., 2010].

Вторичный анализ различных ЭЭГ-показателей осуществляется с использованием методов статистики. Учитывая, что в настоящее время, как правило, используется множественное отведение ЭЭГ и параллельное вычисление целого ряда показателей, разработаны пакеты прикладных программ, используемых в этих целях.

ГЛАВА 2

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И УСЛОВИЯ ПОСТАНОВКИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В исследовании принимали участие 56 добровольцев-мужчин, которые подписали информированное согласие согласно международным требованиям, принятым Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (1964 г. в редакции пересмотра 2013 г.). Исследования, проведенные на базе ГНЦ РФ – ИМБП РАН, были одобрены Комиссией по биомедицинской этике, а исследования, проведенные в ФГУП НИИ ПММ – Комитетом по вопросам этики.

Общий дизайн исследования представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1- Общий дизайн исследований

Факторы профессиональной среды	Кол-во добровольцев-мужчин	Возраст	Длительность экспериментальной серии	Количество ЭЭГ записей/чел.	Суммарная длительность ЭЭГ записей/чел.	Место проведения
I блок экспериментальных исследований						
Нарушения циркадианных ритмов труда и отдыха в изоляции	15	от 24 до 51 года (36,4±2)	21 сутки	3	6 мин	НИС (ФГУП НИИ ПММ)
	15	от 27 до 45 лет (34,4±1,5)	21 сутки	6	6 мин	НИС (ФГУП НИИ ПММ)
II блок экспериментальных исследований						
Искусственная гравитация	9	от 21 до 34 лет (27,75±3,35)	44-59 мин (+6 мин фон)	4	36 мин	ГНЦ РФ-ИМБП РАН
III блок экспериментальных исследований						
Изоляция с измененной гипербарической гипоксической газовой средой обитания	6	от 24 до 42 лет (31,8±2,3)	10 суток	4	6 мин	ГВК-250 (ГНЦ РФ-ИМБП РАН)
	6	от 24 до 42 лет (31,8±2,3)	7 суток	3	6 мин	ГВК-250 (ГНЦ РФ-ИМБП РАН)
	6	от 24 до 42 лет (31,8±2,3)	10 суток	4	6 мин	ГВК-250 (ГНЦ РФ-ИМБП РАН)
ВСЕГО	56	-	-	237	1 557 мин (25 час 57 мин)	-

Примечания – возраст от min до max лет ($M \pm m$), где M – среднее, m – ошибка среднего, НИС – научно-исследовательском стенд; ГВК-250 – глубоководный водолазный комплекс, позволяющий проводить эксперименты до глубины 250 метров водяного столба

2.1 Организация исследования специалистов подводных систем при нарушении циркадианных ритмов труда и отдыха в изоляции

Экспериментальное исследование по моделированию профессиональной деятельности вахтовым методом в условиях изоляции состояло из двух частей, длительностью 21 сутки каждая при нормальных условиях среды обитания человека, с соблюдением и поддержанием постоянного газового состава, температуры и влажности. Работа проводилась на базе ФГБУ НИИ ПММ в специализированном научно-исследовательском стенд (НИС «ДО-11») [Научно-исследовательском стенд НИС «ДО-11», 2018]. В эксперименте принимали участие специалисты подводных систем глубоководного погружения, которых отбирали случайным образом из числа специалистов в соответствии с профессиональной деятельностью. Режим труда и отдыха осуществлялся вахтовым методом: 4 часа – рабочая деятельность, 4 часа – бодрствование, 4 часа – сон (циклично на протяжении всего времени изоляции).

Во всех сериях добровольцы в течение 4 часов – рабочая деятельность (в соответствии с циклом) выполняли профессиональную деятельность, которая являлась сложной, когнитивной, операторской и эмоциональной и пр. [Кальманов А.С., Булавин В.В., Ханкевич Ю.Р. и др., 2016].

Регистрация биоэлектрической активности головного мозга человека производилась до- (фон), во время- (после выполнения специалистами подводных систем их профессиональной деятельности (на 3, 11 и 20 сутки)) и сразу после эксперимента. Циклограмма регистрации ЭЭГ в двух частях эксперимента представлена на рисунке. 2.1.



Рисунок 2.1 – Циклограмма регистрации ЭЭГ в двух частях исследования по моделированию профессиональной деятельности вахтовым методом в условиях изоляции

Программа и методика эксперимента была утверждена на заседании Комитета по вопросам этики ФГУП НИИ ПММ (протокол № 1 от 14.10.2014 г.).

2.2 Организация эксперимента при вращении на центрифуге короткого радиуса

Исследовали влияние искусственной гравитации на организм человека. Моделирование искусственной гравитации осуществлялось с помощью вращением на ЦКР, находящейся на базе ГНЦ РФ-ИМБП РАН. Действующим фактором являлись перегрузки в направлении «голова-таз» (+Gz). В эксперименте принимали участие 9 добровольцев – мужчин в возрасте от 21 до 34 лет ($27,75 \pm 3,35$). Осуществляли 3 режима вращения с возрастанием максимума разгона ЦКР, каждый из которых проводили в течение одного рабочего дня. Перерыв между первым и вторым режимами вращения составлял 2 дня, между вторым и третьем – 3 дня для всех добровольцев.

Максимальная перегрузка в направлении «голова-таз» на ЦКР в первом вращении составляла 2,1 ед., во втором вращении – 2,41 ед., в третьем вращении – 2,92 ед. Общее время 1-го и 2-го вращений составляло 59 минут, а третьего – 44 минуты, так как пребывание на максимальной перегрузке ЦКР 3 режима вращения могло оказаться крайне неблагоприятным, для непрофессионалов в этой области. Алгоритм протокола регистрации ЭЭГ во время режимов вращения приведен на рисунке 2.2, расшифровка сокращений, используемая на рисунке 2.2 и в описании результатов данного эксперимента, приведена в таблице 2.2. Гравитационный градиент ($\Delta G \%$) = 85 % (голова испытуемого находится на расстоянии ~60 см от оси вращения).

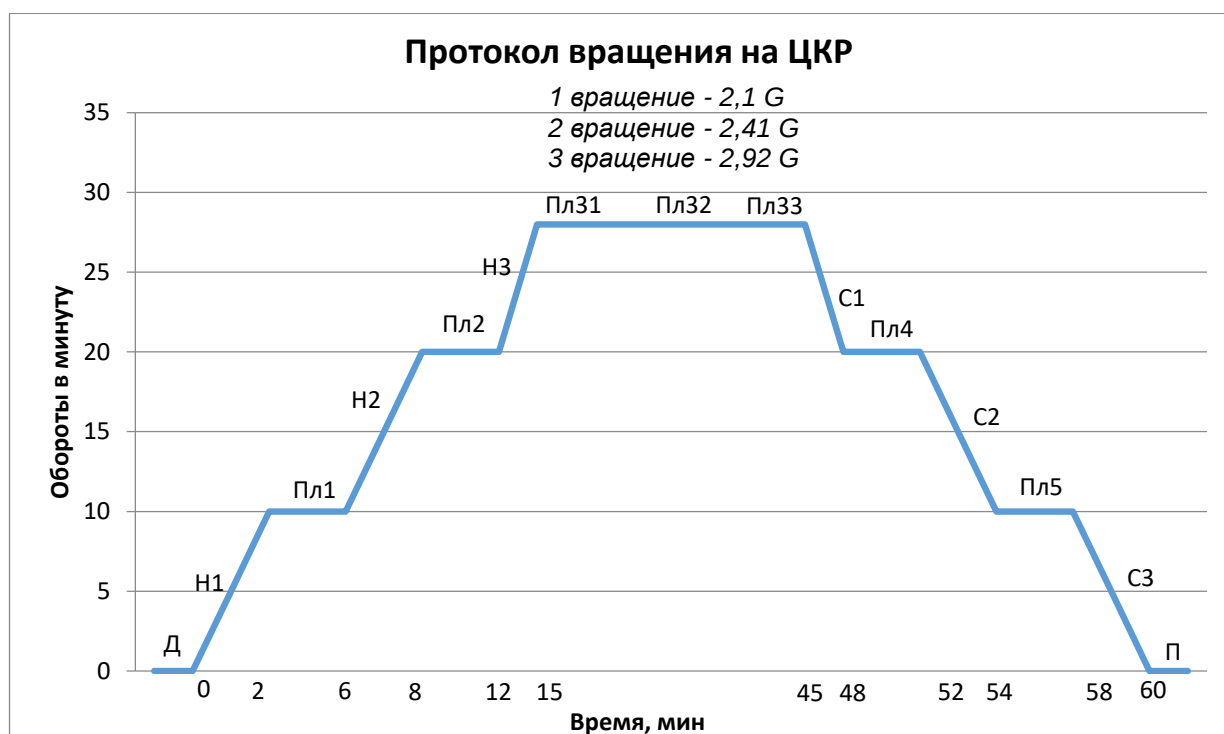


Рисунок 2.2 – Алгоритм протокола регистрации ЭЭГ во время режимов вращения на центрифуге короткого радиуса. Сокращение обозначений каждого этапа регистрации на центрифуге короткого радиуса приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2– Расшифровка сокращений обозначения в алгоритме протокола регистрации ЭЭГ во время режимов вращения на центрифуге короткого радиуса

Обозначение	Расшифровка	Время, мин
Д	Фон за 3 минуты непосредственно до запуска ЦКР	3
Н1	Разгон центрифуги короткого радиуса до перегрузки 0,263 ед	1
Пл1	Равномерное вращение («площадка») на перегрузке 0,263 ед	2
Н2	Разгон ЦКР до перегрузки 1,05 ед	1
Пл2	Равномерное вращение («площадка») на перегрузке 1,05 ед	2
Н3	Разгон ЦКР до перегрузки: 2,1 ед (1 вращение) 2,41 ед (2 вращение) 2,92 ед (3 вращение)	1,5 1,5 1,5
Пл31	Через две мин после «выхода» ЦКР на равномерное вращение («площадка») на перегрузке: 2,1 ед (1 вращение) 2,41 ед (2 вращение) 2,92 ед (3 вращение)	3 3 3
Пл32	Средний период пребывания на равномерном вращении («площадка») на перегрузке: 2,1 ед (1 вращение) 2,41 ед (2 вращение) 2,92 ед (3 вращение)	3 3 3
Пл33	Максимальное пребывание (5 минут до начала уменьшения оборотов) на равномерном вращении («площадка») на перегрузке: 2,1 ед (1 вращение) 2,41 ед (2 вращение) 2,92 ед (3 вращение)	3 3 3
С1	Уменьшение оборотов («спуск») ЦКР до перегрузки 1,05 ед	1,5
Пл4	Равномерное вращение («площадка») на перегрузке 1,05 ед	2
С2	Уменьшение оборотов («спуск») ЦКР до перегрузки 0,263 ед	1
Пл5	Равномерное вращение («площадка») на перегрузке 0,263 ед	2
С3	Уменьшение оборотов («спуск») ЦКР до полной остановки	1
П	Последействие (3 мин непосредственно после остановки ЦКР)	3

Программа эксперимента была утверждена на секции ученого совета и одобрена Комиссией по биомедицинской этике при ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 477 от 03.07.2018 г.).

2.3 Организация исследования при измененной гипербарической гипоксической газовой средой обитания

В эксперименте на базе ГНЦ РФ-ИМБП РАН в Глубоководном водолазном комплексе (ГВК-250) принимали участие одни и те же 6 практически здоровых добровольцев – мужчин в возрасте от 24 до 42 лет ($31,8 \pm 2,3$), трижды по десять дней с перерывом в 30 суток между экспериментальными сессиями. До начала исследования все прошли отбор, медицинское

освидетельствование и получили допуск Врачебно-водолазной комиссии к исследованиям с использованием глубоководного водолазного комплекса.

В первой и второй сериях добровольцы находились в течение 10 суток в ГВК-250 при давлении в 0,02 МПа, каждая из серий делилась на две части, по пять суток каждая (с первых по пятые и с шестых по десятые). Первая серия первая часть эксперимента состояла из 87,0-86,5 % N₂, 13,5-13,0 % O₂ (парциальное давление 120,0-115,5 мм рт. ст.) и вторая часть эксперимента - из 88,3-87,5 % N₂, 12,5-11,7 % O₂ (111,1-104,0 мм рт. ст.). Вторая серия первая часть эксперимента состояла из 41,7-54,4 % N₂, 32,8-42,8 % Ar, 12,4-13,3 % O₂ (110,2-118,2 мм рт. ст.) вторая часть эксперимента - из 39,0-52,0 % N₂, 35,0-45,0 % Ar, 11,7-12,4 % O₂ (104,0-110,2 мм рт. ст.). Длительность третьей серии составляла 7 суток: в течение первых суток проводилось ступенчатое повышение давления до 0,2 МПа (что соответствует имитационному погружению на глубину до 20 метров); далее 4 суток добровольцы находились в атмосфере 48,5-50,9 % N₂, 42,8-47,0 % Ar, 4,7-5,3 % O₂ (104,0-117,3 мм рт. ст.); по завершении эксперимента проводили 2 суточную декомпрессию в нормоксии (150,0-165,0 мм рт. ст.). Основные условия проведения трех серий исследования при измененной гипоксической газовой среде обитания представлена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные условия экспериментов во время краткосрочной изоляции в ГВК-250с искусственными гипоксическими газовыми средами и уровня атмосферного давления

Основные условия	Общие параметры: температура 20-25°C, влажность 30-70%				
	Серия 1		Серия 2		Серия 3
Давление избыточное	до 0,02 МПа (2 м вод.ст.)		до 0,02 МПа (2 м вод.ст.)		до 0,2 МПа (20 м вод.ст.)
Продолжительность	10 суток		10 суток		7 суток
Части эксп.серий	5 суток	5 суток	5 суток	5 суток	4 суток
Газовый состав:					
Кислород (парциальное давление)	13,5-13% (120-115,5 мм рт.ст.)	12,5-11,7% (111,1-104 мм рт.ст.)	12,4-13,3% (110,2-118,2 мм рт.ст.)	11,7-12,4% (104-110,2 мм рт.ст.)	4,7-5,3% (104-117,3 мм рт.ст.)
Аргон	-	-	32,8-42,8%	35-45%	42,8-47%
Азот	87-86,5%	88,3-87,5%	41,7-54,4%	39-52%	48,5-50,9%
Углекислый газ	Остальное < 0,5%	Остальное < 0,5%	Остальное < 0,5%	Остальное < 0,5%	Остальное < 0,16%

Во всех трех сериях добровольцы в течение дня были задействованы в различных экспериментальных исследованиях психолого-медицинской направленности. Кроме того, каждые пять дней проводили 15-20-минутные велоэргометрические (велоэргометр

ErgolineGmbH, Германия) тесты при субмаксимальном (75-80% от максимума) уровне нагрузки, для достижения которого, каждые 2 минуты ее увеличивали на 30 Вт. Максимальная нагрузка работы на велоэргометре подбиралась до начала эксперимента индивидуально [Тавровская Т.В., 2007].

В первой и второй серии эксперимента регистрировали ЭЭГ в фоне (фон), затем дважды в ГВК-250 (1 часть и 2 часть), а также сразу после выхода (после) из гермообъема. В третьей серии выделялось только 3 этапа регистрации ЭЭГ в связи со специфическими условиями эксперимента: фон, эксперимент (на 4 сутки пребывания в гипербарической гипоксии с аргоном непосредственно перед декомпрессией), сразу после выхода (выход) из гермообъема. Циклограмма регистрации ЭЭГ приведена на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Циклограмма регистрации ЭЭГ при измененной гипербарической гипоксической газовой средой обитания во время краткосрочной изоляции в ГВК-250

Программа эксперимента была утверждена на секции ученого совета и одобрена Комиссией по биомедицинской этике при ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 332 от 28.08.2013 г.).

2.4 Методика регистрации и анализа данных

2.4.1 Регистрация электроэнцефалограммы

Во время проведения экспериментальных серий использовался компьютеризированный комплекс для полиграфических исследований – электроэнцефалограф-анализатор «ЭНЦЕФАЛАН-ЭЭГА-19/26» (МТД, Медиком, Таганрог), который позволял проводить мониторинг, запись и просмотр ЭЭГ в частотном диапазоне от 0,5 до 70 Гц, с широким выбором скорости развертки и чувствительности, с разрядностью квантования 16 бит, частотой дискретизации 1000 выборок в секунду на канал. Полоса пропускания для каналов ЭЭГ составляла 0,003-80Гц.

Контроль значений подэлектродных сопротивлений (измерение между отдельным электродом и всеми остальными электродами, выражается в килоомах (кОм)) производился как в момент установки электродов, так и на протяжении всей записи ЭЭГ, и поддерживался ниже 20 кОм.

Электроэнцефалограмму (ЭЭГ) регистрировали от 19 стандартных отведений по международной системе 10-20% [Jasper Н.Н., 1958] от фронтальных (F), центральных (C), темпоральных (T), парietальных (P) и окципитальных (O) областей обеих гемисфер неокортекса относительно ушных референтных электродов и записи полиграфических каналов ЭОГ, ЭКГ, ЭМГ.

Эргономичность и адекватность регистрации сигнала ЭЭГ обеспечивалась специальной фиксирующей шапочкой (рисунок 2.4), которая способствовала точному расположению ЭЭГ-электроды над зонами регистрации сигнала.



Рисунок 2.4 – Пример установки специальной фиксирующей шапочки для регистрации биоэлектрических потенциалов: ЭЭГ, ЭОГ, ЭКГ, ЭМГ

Типы ЭЭГ-паттернов определялись во время фоновых исследований (в начале экспериментальных блоков исследований), при этом соблюдались условия для регистрации электроэнцефалограммы в покое:

- за сутки до проведения экспериментов испытуемому запрещено употребления психотропных веществ (в том числе и алкоголь);
- испытуемому не следует принимать лекарственные средства;
- в день проведения эксперимента испытуемому запрещено употреблять кофеин (кофе и другие кофеин-содержащие возбуждающие напитки);
- во время исследования состояние испытуемого должно оставаться спокойным на протяжении всей процедуры. Нужно максимально расслабить все мышцы;
- испытуемому необходимо исполнять команды «открыть глаза» и «закрыть глаза»;

- испытуемый должен минимизировать движения во время проведения исследования.

Испытуемый должен находиться с закрытыми глазами в бодрствующем состоянии, не засыпать.

2.4.2 Распознавание данных и удаление артефактов нативной ЭЭГ

Артефакты на нативной ЭЭГ могут быть как физической, так и физиологической природы возникновения (рисунок 2.5).

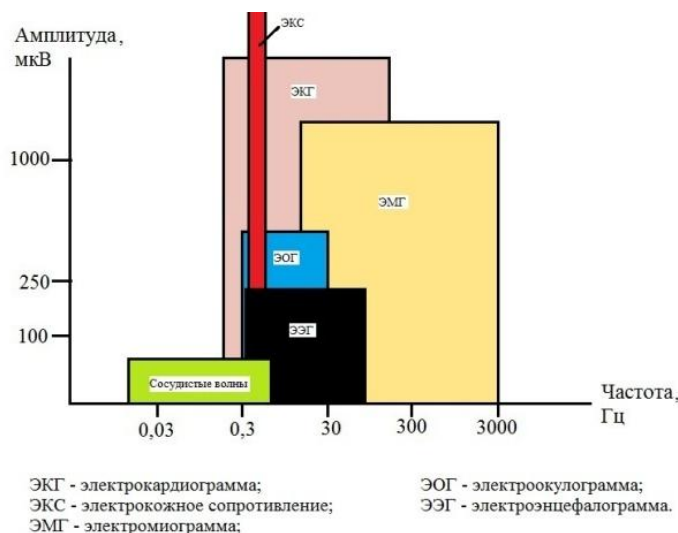


Рисунок 2.5 – Амплитудно-частотные соотношения ЭЭГ сигнала и других биоэлектрических сигналов [Гнездицкий В.В., 2004]

Кроме физиологических артефактов, указанных на рисунке 2.5, ЭЭГ-сигнал может быть зашумлен, такими физическими источниками, как сетевой наводкой в 50 Гц, электромагнитными полями промышленного оборудования и бытовых приборов. Физические помехи выглядят как регулярные колебания правильной формы наложенной на основной сигнал; поэтому их легко выявить на ЭЭГ записи. Если ЭЭГ сигнал отсутствует, то физические помехи являются единственным видом колебаний, которые регистрируются. Подавление данного вида артефактов производится методом частотной фильтрации, которая задается при монтаже схемы отведений.

Первоначально при помощи программного обеспечения физиологические артефакты ЭОГ, ЭМГ и ЭКГ удаляются автоматически. Происходит подавление артефактов поканально методом наименьших квадратов (заложенном в ПО Энцефалан).

Для подавления медленно волновых потенциалов в лобных отведениях обусловлены электрическим потенциалом, связанным с движением глаз (ЭОГ), применяется метод частотной фильтрации, где изменяется фильтр верхних частот до 2 Гц.

После проведения автоматического удаления артефактов нативной ЭЭГ, каждая запись просматривалась и в ручную удалялись участки ЭЭГ с недостаточно полной автоматической минимизации артефактов (пример приведен на рисунке 2.6).



Рисунок 2.6 – Пример удаления артефактов нативной ЭЭГ. А) запись ЭЭГ до подавления артефактов; Б) запись ЭЭГ после подавления артефактов (заложенное в ПО)

2.4.3 Типологический анализ индивидуальных ЭЭГ-паттернов

После удаления всех артефактов ПО Энцефалан определяло к какому типу по классификации Е.А. Жирмунской [Жирмунская Е.А., 1991; Жирмунская Е.А., 1996;

Жирмунская Е.А.. 1969] относиться ЭЭГ-паттерн. В редких случаях, когда ПО не обнаруживало соответствие с классификацией проводили визуальный анализ записи для определения типа ЭЭГ-паттерна, учитывая и клинический подход к описанию ЭЭГ [Поворинский А.Г., Заболотных В.А., 1987; Зенков Л.Р., 2013]. По классификации Е.А. Жирмунской существует 5 типов, так как V тип считается патологией, а добровольцы у нас прошли медицинскую комиссию, то данный тип не описывали.

2.5 Количественный анализ данных

Для количественной обработки ЭЭГ использовали метод спектрально-корреляционного анализа (на основе быстрого преобразования Фурье), рассчитывая относительные значения мощности (ОЗМ) ЭЭГ-спектра в дельта-2- (2-4 Гц), тета- (4-8 Гц), альфа- (8-13 Гц) и бета- (13-24 Гц) диапазонах суммарно для всех отведений. Из ПО Энцефалан выбрали показатель: ОЗМ, [%] – процентное отношение спектральной мощности отдельного частотного диапазона к площади всего спектра, принятой за 100% (рисунок 2.7). Этот показатель позволяет минимизировать большой разброс индивидуальных различий амплитудных характеристик ЭЭГ.

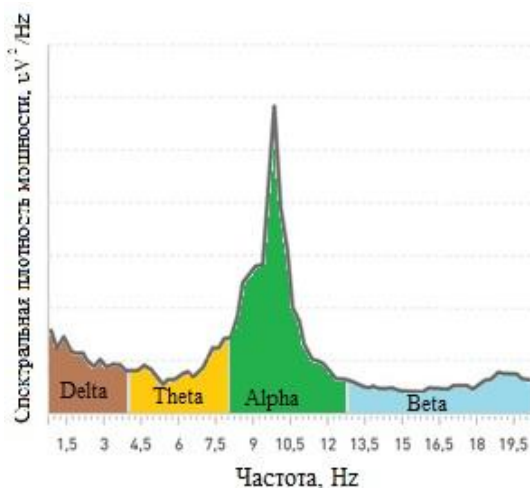


Рисунок 2.7 – График спектральной плотности мощности по частотным диапазонам ЭЭГ

2.6 Статистическая обработка

Все данные обрабатывались при помощи программы STATISTICA 10. Применяли тест Шапиро-Уилка, вследствие малой выборки данных, проверяли гипотезу H_0 о нормальном

распределении в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5479-2002 [ГОСТ Р ИСО 5479-2002; Shapiro S.S., Wilk M.B., 1965; Shapiro S.S., Francia R.S., 1972]. Статистическая значимость полученных данных определялась с использованием непараметрического парного критерия Т-Вилкоксона. Для контроля над ожидаемой долей ложных отклонений при сравнении нескольких зависимых выборок (этапы регистрации ЭЭГ добровольцев в каждом экспериментальном блоке) применяли процедуру множественных сравнений по методу Беньямини-Йекутили [Benjamini Y., Yekutieli D., 2001]. Обзор литературы по статистическому анализу в научных публикациях подтверждает выбор автора по представлению полученных результатов [Унгурияну Т.Н., Грижобовский А.М., 2011]. В случае аппроксимации применяли сглаживание полиномиального типа 6 степени, так как данная степень отражает максимальную достоверность сглаживания результатов [Данилов А.М., Гарькина И.А., 2014].

ГЛАВА 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Исследование биопотенциалов головного мозга специалистов подводных систем при нарушении циркадианных ритмов труда и отдыха в изоляции

3.1.1 Анализ влияния нарушения циркадианных ритмов труда и отдыха в 1 экспериментальной серии

Типологический анализ ЭЭГ-паттернов показал, что в группе специалистов подводных систем наблюдалось 2 типа паттернов: I тип у 8 добровольцев (рисунок 1.1), а III тип у 7 (рисунок 1.3). До начала эксперимента (фон) и по его окончании (после) тип индивидуального паттерна не менялся.

Количественный анализ экспериментальных данных продемонстрировал наличие значимых изменений в Дельта-, Тета- и Альфа-диапазонах ЭЭГ спектра (рисунки 3.1-3.3) и их отсутствие в Бета-диапазоне.

Полученные данные показывают, что ОЗМ Дельта-диапазона после выхода из изоляции возрастает относительно фона на 12,4 % ($p \leq 0,05$) (рисунка 3.1).

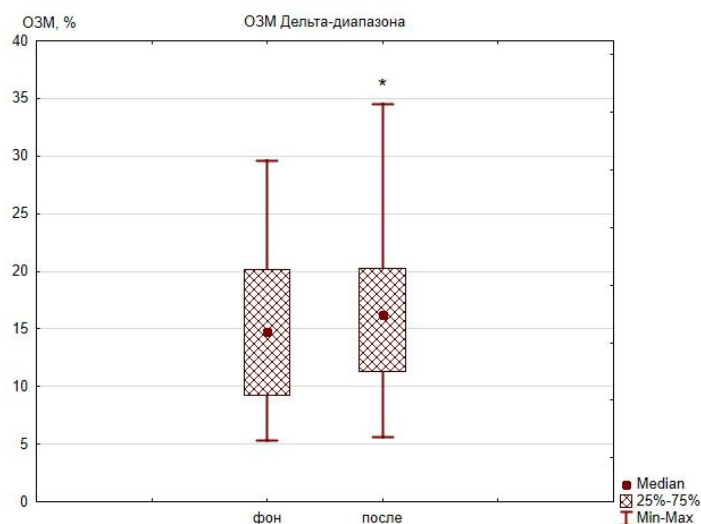


Рисунок 3.1 – ОЗМ Дельта-диапазона до и после эксперимента. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$

ОЗМ Тета-диапазона в группе добровольцев (рисунок 3.2) также нарастает в последствии относительно фона на 19 % ($p \leq 0,05$).

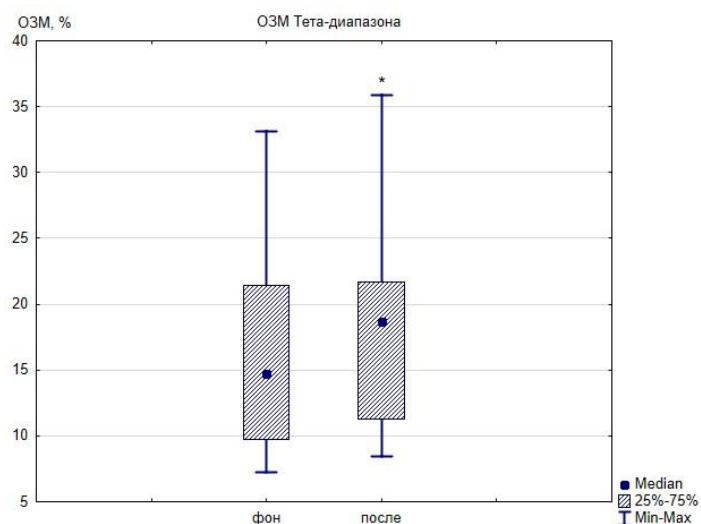


Рисунок 3.2 – ОЗМ Тета-диапазона до и после эксперимента. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$

ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.3) снижается после выхода из изоляции на 4,6 % ($p \leq 0,05$) относительно фона.

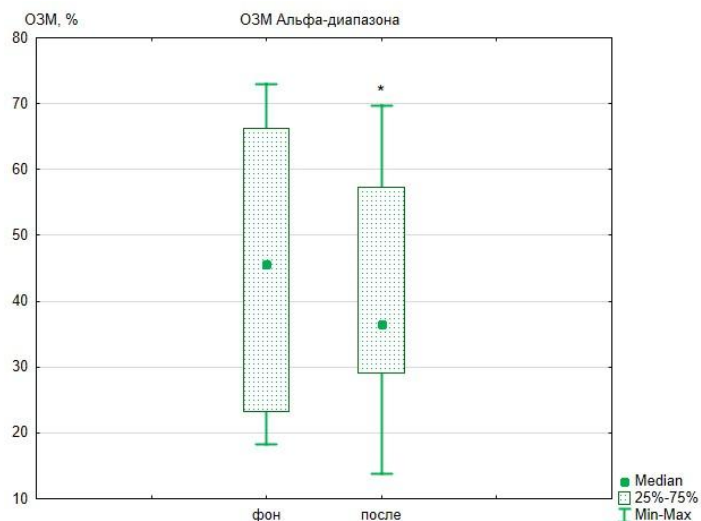


Рисунок 3.3 – ОЗМ Альфа-диапазона до и после эксперимента. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$

Таким образом, максимальное изменение (возрастание) касается медленноволновой части спектра мощности ЭЭГ, при этом Альфа-диапазон спектра снижается незначительно. Следующим этапом исследования было изучение динамики ОЗМ исследуемых ЭЭГ-диапазонов.

3.1.2 Динамика биопотенциалов головного мозга специалистов подводных систем в условиях нарушения циркадианных ритмов труда и отдыха во 2 экспериментальной серии

На основе качественного анализа ЭЭГ-паттернов выявили, что в данной группе специалистов подводных систем также наблюдалось 2 типа паттернов: I тип у 11 добровольцев, а III тип у 4 (рисунок 1.4). В ходе эксперимента и по его окончании вид индивидуального паттерна не менялся.

Анализ рисунка 3.4 показывает, что ОЗМ Дельта-диапазона изоляции возрастает относительно фона на 21,6 % ($p \leq 0,05$) только в острый период.

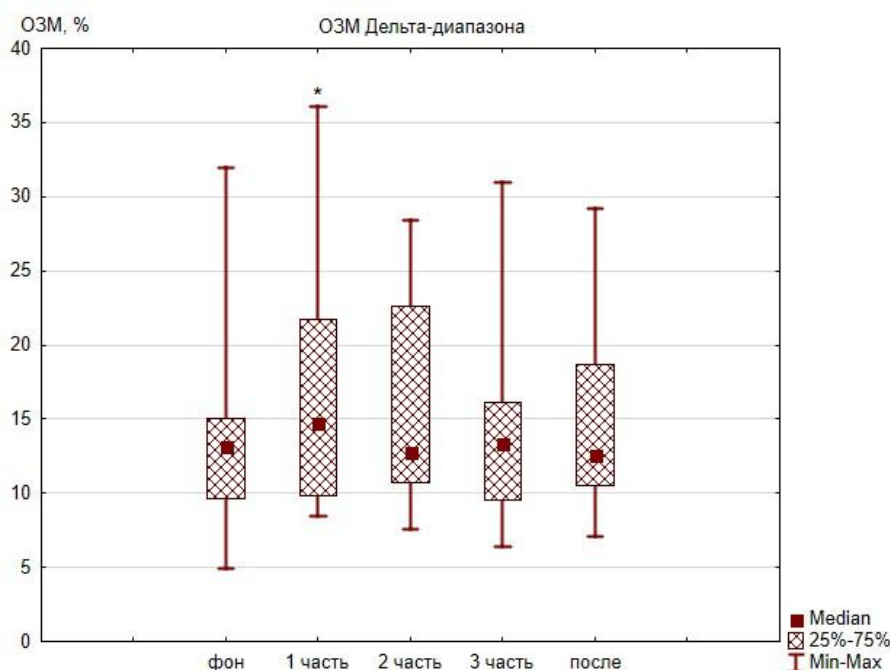


Рисунок 3.4 – ОЗМ Дельта-диапазона на всех срезах эксперимента. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$

На протяжении всего эксперимента и после его завершения происходит возрастание ОЗМ Тета-диапазона (рисунка 3.5) в первой части на 40 % ($p \leq 0,01$), во второй на 37,7 % ($p \leq 0,01$), в третьей части на 33,9 % ($p \leq 0,01$) и остается увеличенным после выхода из изоляции на 24 % ($p \leq 0,01$) по сравнению с фоном. В острый период (1 часть) выявлено корковое увеличение тета-активности добровольцев, снижение которого носит практически линейный характер на всех этапах эксперимента, но так и не достигает фоновых значений сразу после изоляции.

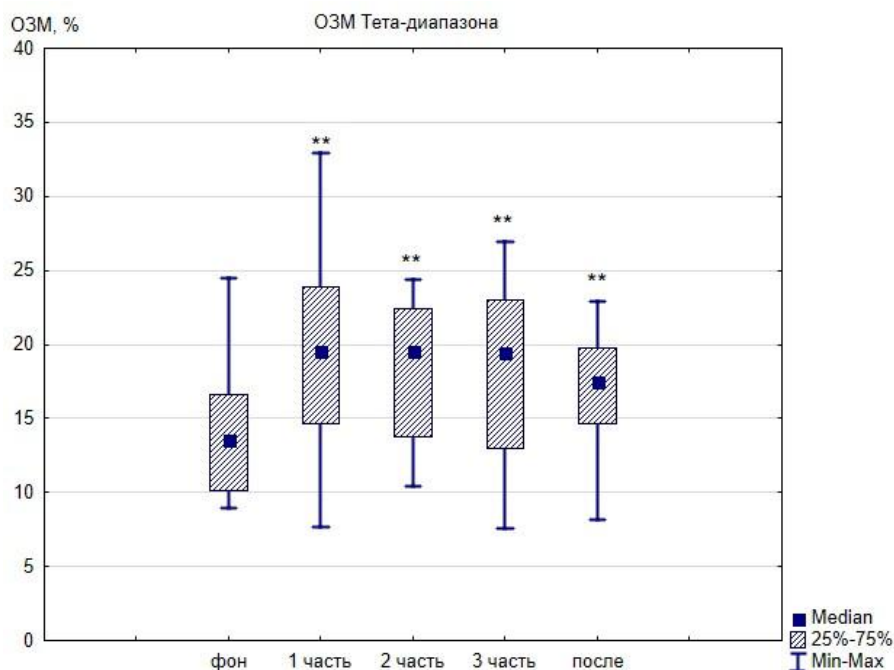


Рисунок 3.5 – ОЗМ Тета-диапазона на всех срезах эксперимента. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; ** – $p \leq 0,01$

На всех срезах эксперимента происходит уменьшение ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.6) относительно фона на 16,8 % ($p \leq 0,01$), 9,4 % ($p \leq 0,05$), 7 % ($p \leq 0,05$) и 7,4 % ($p \leq 0,05$) соответственно. Альфа-активность в 1 части снижается, но не так интенсивно как тета-активность, а затем начинает увеличиваться, но не возвращается к фону.

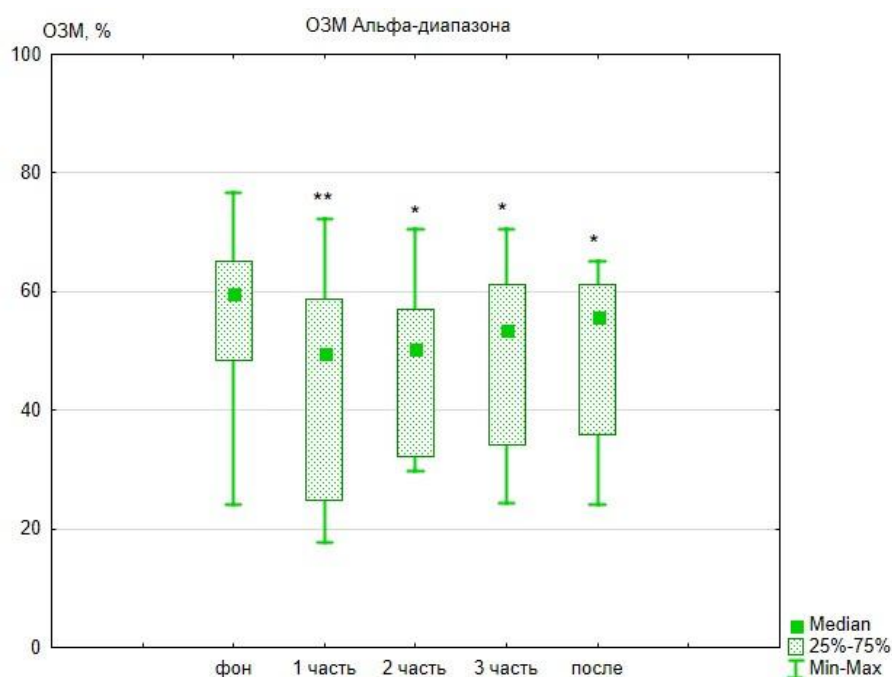


Рисунок 3.6 – ОЗМ Альфа-диапазона на всех срезах эксперимента. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; ** – $p \leq 0,01$, * – $p \leq 0,05$

Таким образом, ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.4) значительно отличалась от фона, только 1 части эксперимента; ОЗМ Тета- (рисунок 3.5) и Альфа-диапазонов (рисунок 3.6) изменялись в течение всего экспериментального периода, но по его окончании к фону не возвращались.

3.1.3 Индивидуально-типологические особенности биопотенциалов головного мозга добровольцев по результатам двух объединенных экспериментальных серий

В связи с тем, что условия проведения выше представленных экспериментов схожи не только по среде обитания и режиму труда, по гендерному и возрастному составу и, виду операторской деятельности, что важно, по уровню профессиональных навыков участников.

В связи с этим добровольцев, принимавших в обеих сериях эксперимента разделили на 2 группы согласно типу ЭЭГ по классификации Жирмунской: в 1-ую группу (*1 гр*) включили 19 специалистов подводных систем с организованным ЭЭГ-паттерном (рисунок 1.1), во 2-ую (*2 гр*) – 11 человек с десинхронным типом ЭЭГ-паттерна (рисунок 1.3).

Все статистически значимые изменения были получены только в *1 гр* специалистов подводных систем с I типом ЭЭГ-паттерна, что представлено на рисунках 3.7-3.9.

ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.7) увеличилось после эксперимента на 14,5 % ($p \leq 0,05$) относительно фона.

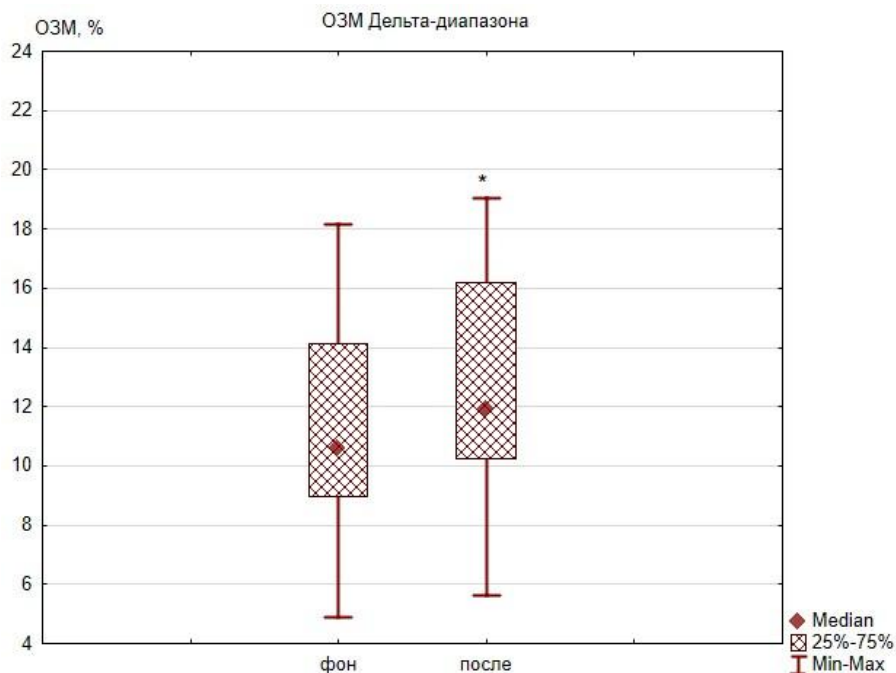


Рисунок 3.7 – ОЗМ Дельта-диапазона *1 гр*. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$

ОЗМ Тета-диапазона (рисунок 3.8) возрастает в последствии относительно фона на 22,8 % ($p \leq 0,01$).

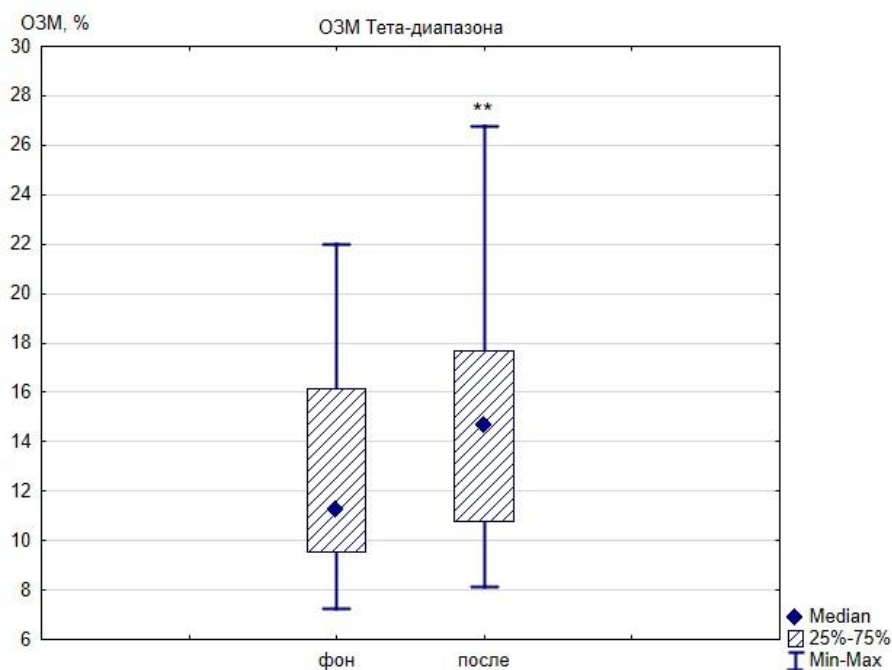


Рисунок 3.8 – ОЗМ Тета-диапазона *1 гр.* Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; ** – $p \leq 0,01$

ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.9) уменьшается в последствии относительно фона на 8,5 % ($p \leq 0,01$).

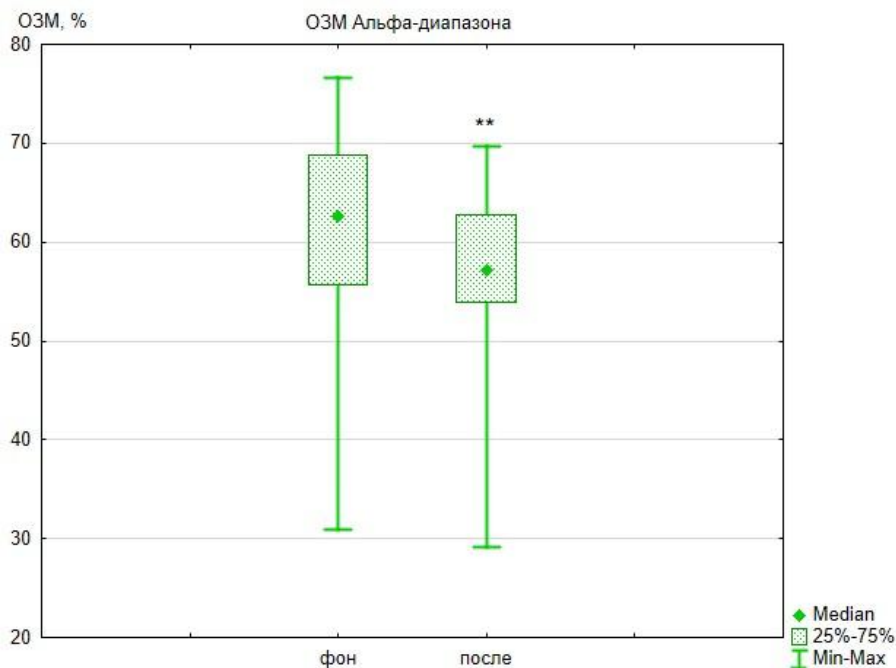


Рисунок 3.9 – ОЗМ Альфа-диапазона на всех срезах эксперимента 1 группы. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; ** – $p \leq 0,01$

Итак, для *1 гр* специалистов подводных систем с организованным ЭЭГ-паттерном по окончании экспериментов наблюдали увеличение медленноволнового диапазона спектра мощности ЭЭГ (рисунки 3.7, 3.8), при снижении ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.9), в то время как в ОЗМ Бета-диапазона изменений не обнаружено.

3.2 Исследование влияния перегрузок при вращении центрифуги короткого радиуса (+G) на биопотенциалы головного мозга человека

Исследование на центрифуге короткого радиуса показало, что на всех трех вращениях происходят изменения в изучаемых диапазонах ЭЭГ. Анализу подвергались ЭЭГ 6 добровольцев из 9, поскольку записи 3 испытуемых исключили из дальнейшей обработки вследствие технических причин. Типологический анализ показал, что у пятерых добровольцев наблюдался I тип ЭЭГ-паттерна (рисунок 1.1), а у одного – IV тип (рисунок 1.4). Количественный анализ начинали с определения статистически значимых изменений ОЗМ Дельта-, Тета-, Альфа- и Бета-диапазонов (рисунки 3.10-3.21) на всех срезах регистрации относительно показателей ОЗМ исследуемых диапазонов ЭЭГ до (Д) каждого из 3-х вращений ЦКР. Затем сравнивали показатели ОЗМ всех диапазонов ЭЭГ в каждом срезе 1-го и 2-го, 1-го и 3-го, а также 2-го и 3-го вращений (рисунки 3.22-3.25, таблицы 3.2-3.5). Учитывая существенную зависимость динамики ЭЭГ показателей от начального функционального состояния человека соотнесли ОЗМ диапазонов спектра каждого среза к ОЗМ до (Д) для каждого человека; полученные результаты сравнивали попарно (1-е и 2-е, 1-е и 3-е, а также 2-е и 3-е) для 3-х вращений ЦКР (рисунки 3.26-3.29, таблицы 3.6-3.9).

3.2.1 ЭЭГ-параметры при вращении с максимальной перегрузкой в направлении «голова-таз» 2,1 G на центрифуге короткого радиуса

Увеличение ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.10) происходило в Н2, Пл5, С3 и П на 9,9%, 15,8%, 11% и 14,2% соответственно, а в Пл1 и наблюдалось снижение данного параметра на 3,2% относительно Д (здесь и далее условные обозначения указаны в таблице 2.2).

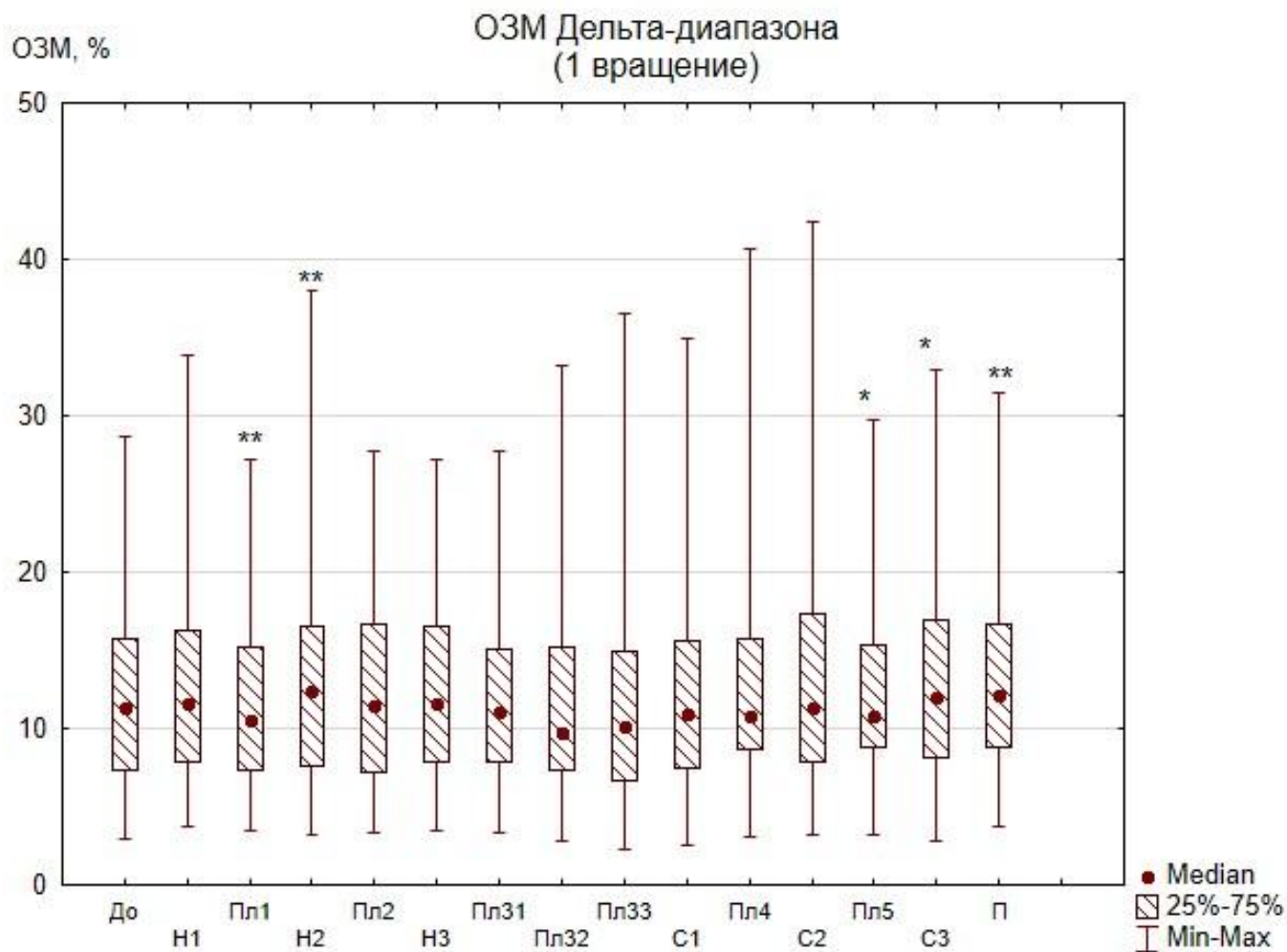


Рисунок 3.10 – ОЗМ Дельта-диапазона во время 1 вращения на ЦКР. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$

Что касается ОЗМ Тета-диапазона (рисунок 3.11), то, увеличение показателя выявлено в Пл4, Пл5, С3 и П на 7%, 15,8%, 17,5,5%, и 18,7% соответственно, и снижение – в Пл31 9,9% соответственно относительно Д.

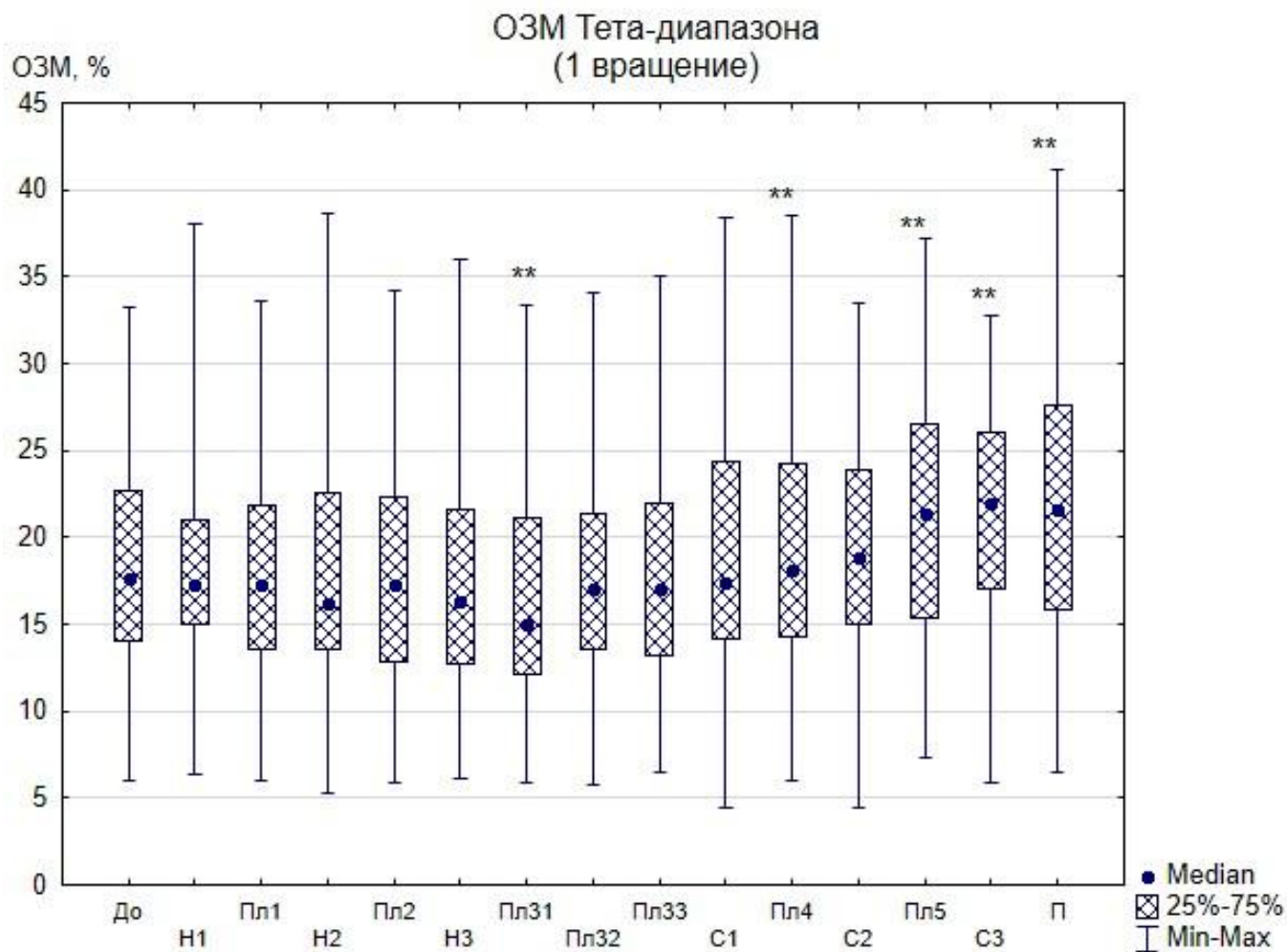


Рисунок 3.11 – ОЗМ Тета-диапазона во время 1 вращения на ЦКР. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; ** – $p \leq 0,01$

Снижение ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.12) происходило в срезах регистрации ЭЭГ – Н2, Пл2, Н3, Пл4, С2, Пл5, С3 и П на 5%, 3,2%, 3%, 2,2%, 3,3%, 7,5%, 5,5% и 7,7% соответственно относительно Д.

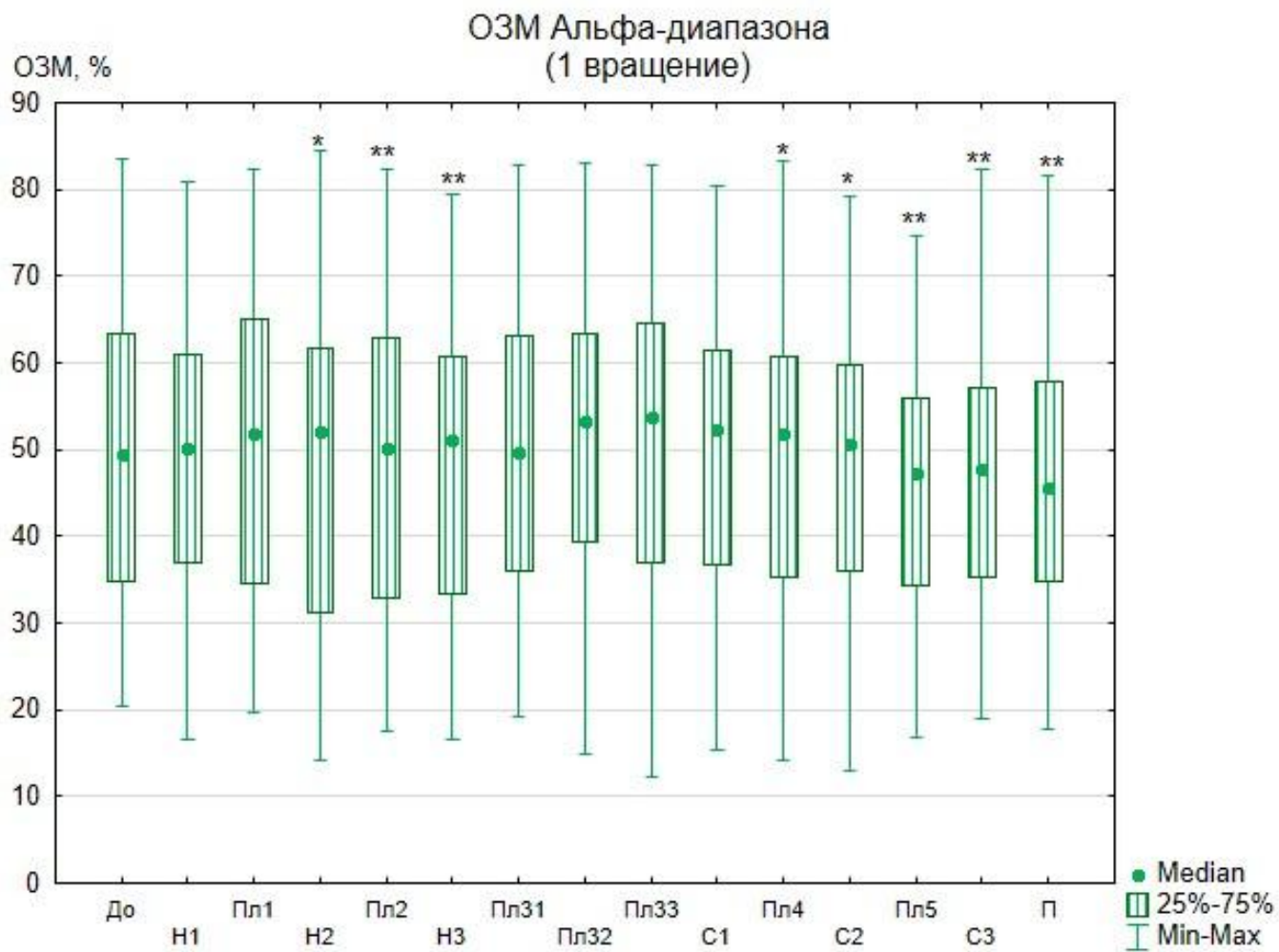


Рисунок 3.12 – ОЗМ Альфа-диапазона во время 1 вращения на ЦКР. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$

Увеличение ОЗМ Бета-диапазона (рисунок 3.13) выявлено в Пл31 на 5,6% относительно Д.

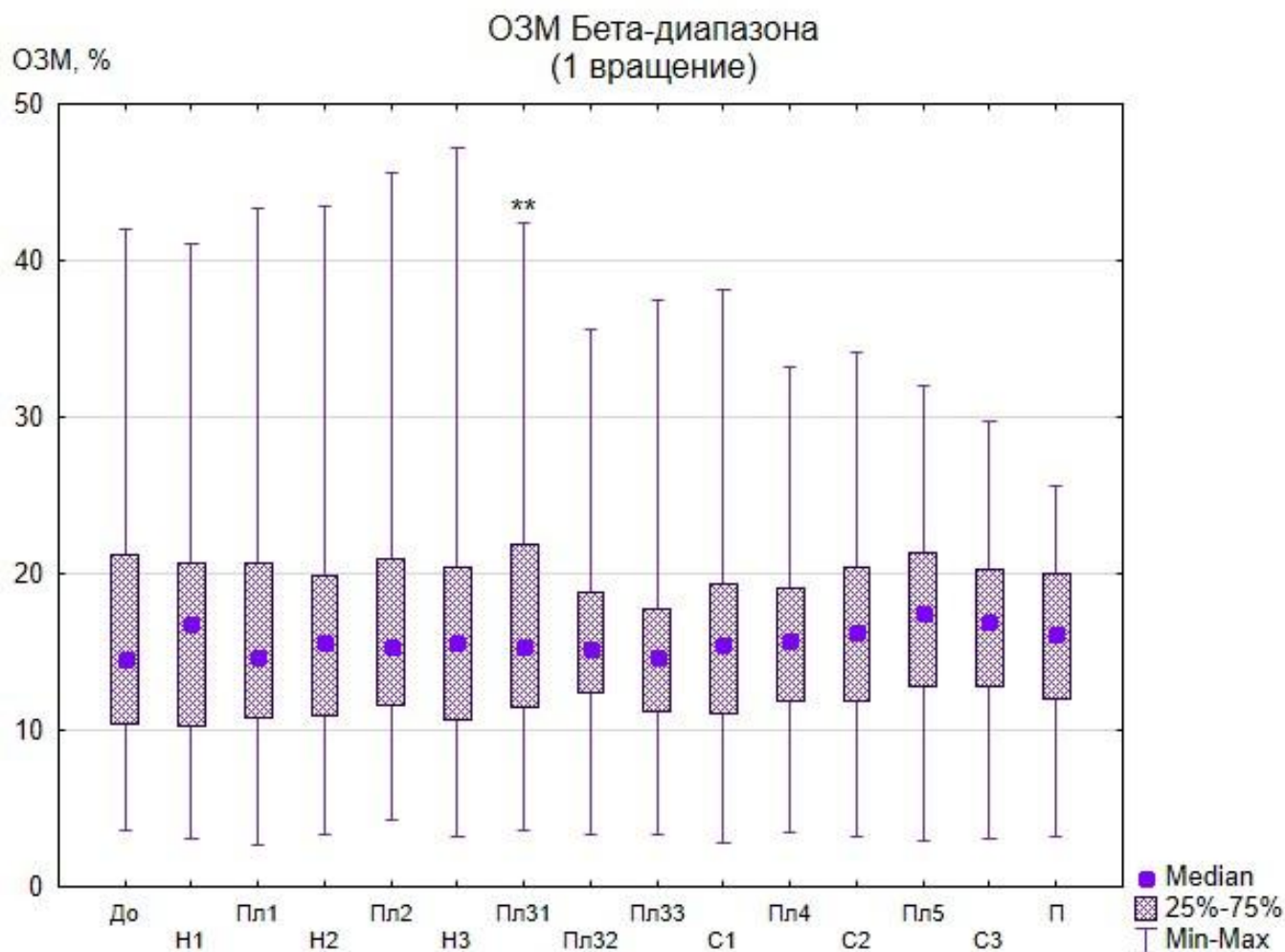


Рисунок 3.13 – ОЗМ Бета-диапазона во время 1 вращения на ЦКР. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; ** – $p \leq 0,01$

Итак, на 1 вращении ЦКР явных закономерностей в изменении изучаемых диапазонов ОЗМ ЭЭГ не обнаружено. Что касается динамики конкретных параметров, то приблизительно в трети этапов регистрации ЭЭГ отмечали: увеличение ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.10) в равной степени на подъемах, спусках и площадках; разнонаправленные изменения ОЗМ Тета-диапазона (рисунок 3.11) в основном на площадках; уменьшение ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.12) в равной степени на подъемах, спусках и площадках; ОЗМ Бета-диапазона (рисунок 3.13) изменялось разнонаправлено только на площадке при максимальном ускорении.

3.2.2 ЭЭГ-параметры при вращении с максимальной перегрузкой в направлении «голова-таз» 2,42 G на центрифуге короткого радиуса

Увеличение показателя ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.14) выявлено в Н1, Н2, С1, С2, Пл5, С3 и П на 8,4%, 8,1%, 8,3%, 7,3% 19,7%, 26,9% и 20,5% соответственно, при этом в Н3

и Пл31 наблюдалось снижение данного параметра на 4,1% и 2,1% соответственно относительно Д.

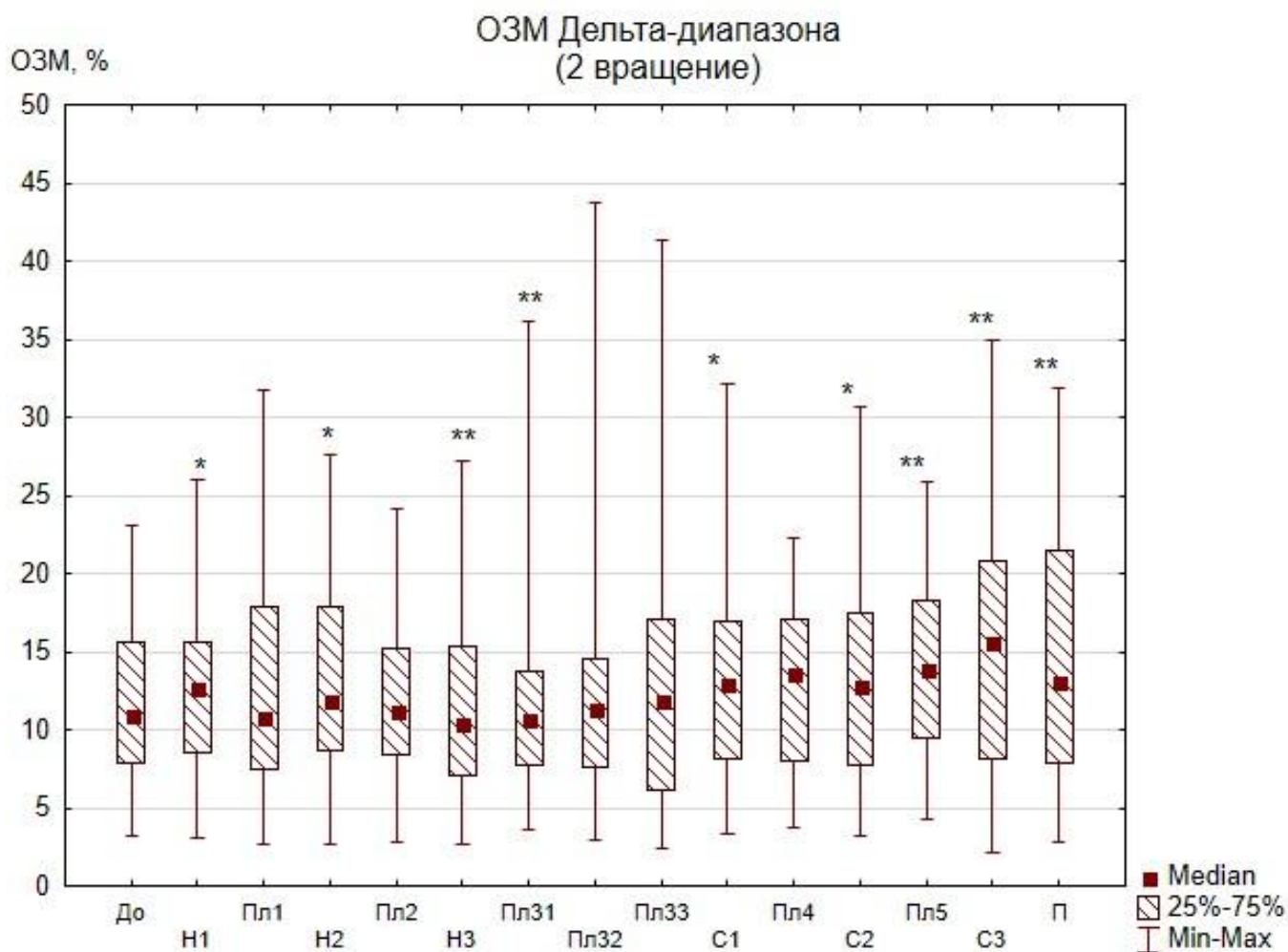


Рисунок 3.14 – ОЗМ Дельта-диапазона во время 2 вращения на ЦКР. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$

Выявлено увеличение показателя ОЗМ Тета-диапазона (рисунок 3.15) в С2, Пл5 и С3 на 12,2%, 14,5% и 12,3% соответственно, а в Н2, Н3, Пл31, Пл32 и Пл33 наблюдалось снижение данного параметра на 5,7%, 13%, 10,1%, 10,8% и 10,6% соответственно относительно Д.

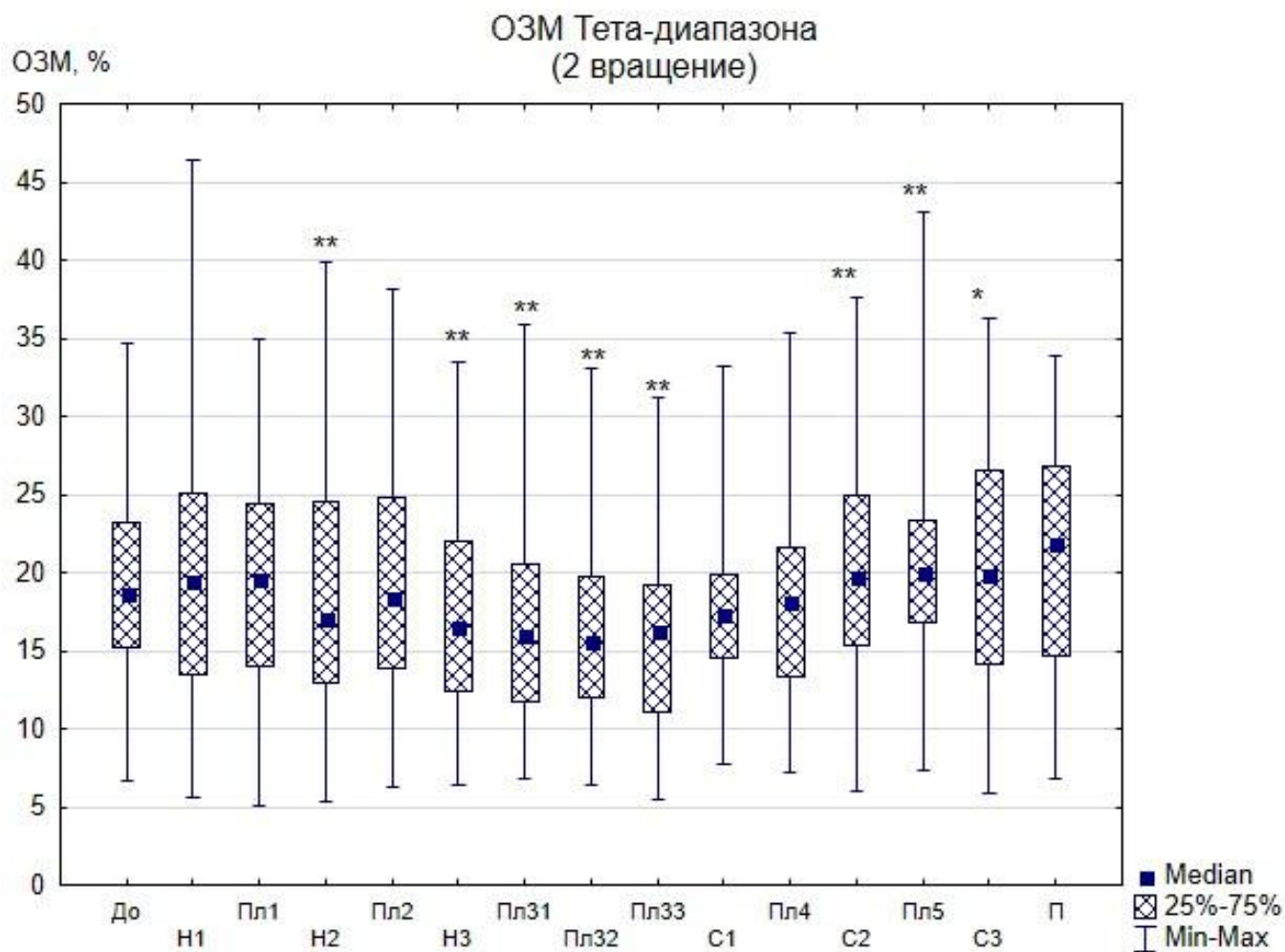


Рисунок 3.15 – ОЗМ Тета-диапазона во время 2 вращения на ЦКР. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$

ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.16) увеличивается только в Н3 на 4,3%, а в Н1, Пл2, С1, Пл4, С2, Пл5, С3 и П наблюдалось снижение данного параметра на 4,6%, 3,9%, 4,5%, 7,9%, 7,8% 6,6% 9,8% и 7% соответственно относительно Д.

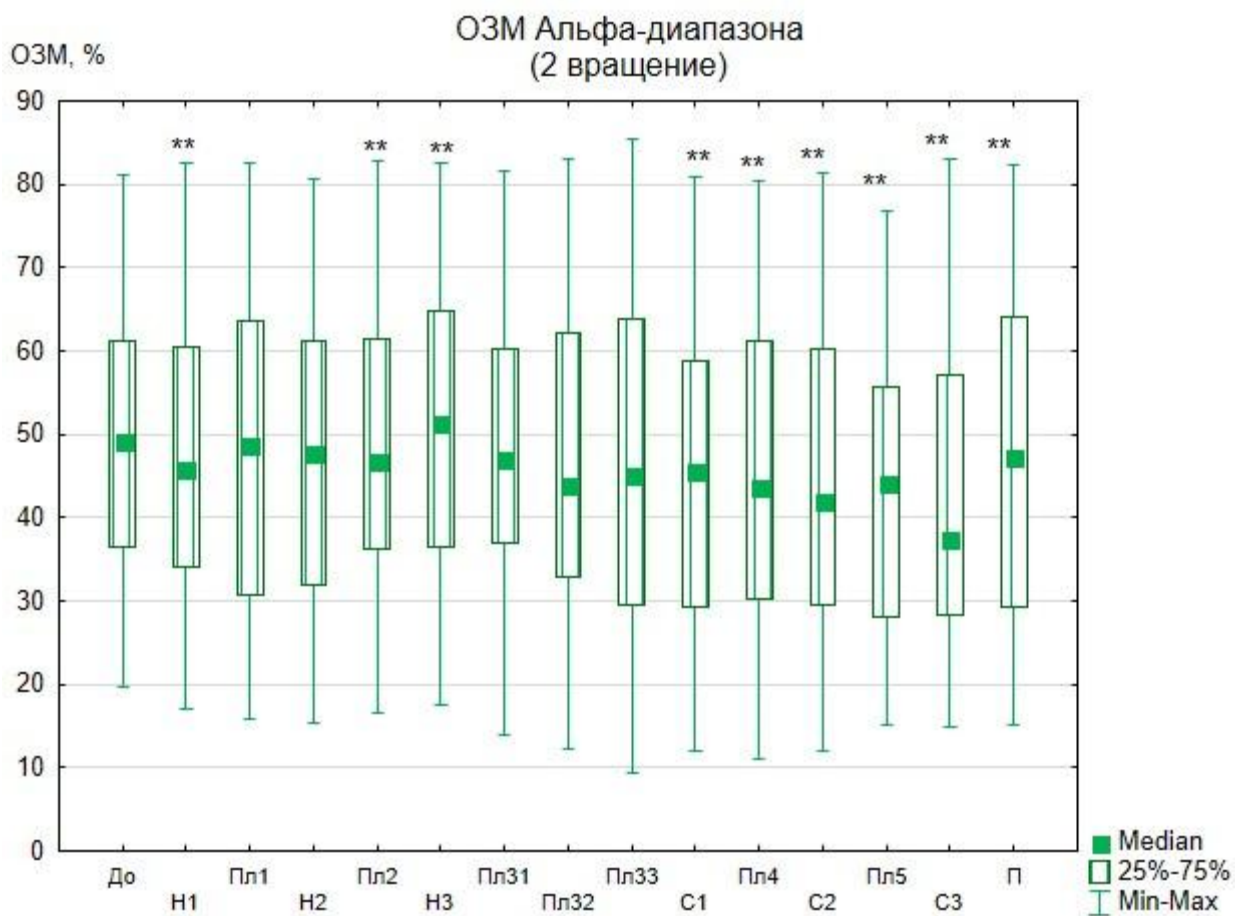


Рисунок 3.16 – ОЗМ Альфа-диапазона во время 2 вращения на ЦКР. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; ** – $p \leq 0,01$

Обнаружено увеличение показателя ОЗМ Бета-диапазона (рисунок 3.17) в Пл1 и Н2 на 4,9%, и 7,8% соответственно, а в Н3, Пл31, Пл32, Пл33, С1, Пл4, С2, Пл5, С3 и П наблюдалось снижение данного параметра на 2%, 4,2%, 4,3%, 10,2%, 3,3%, 3,3%, 5,4%, 6,5%, 7% и 3,4% соответственно относительно Д.

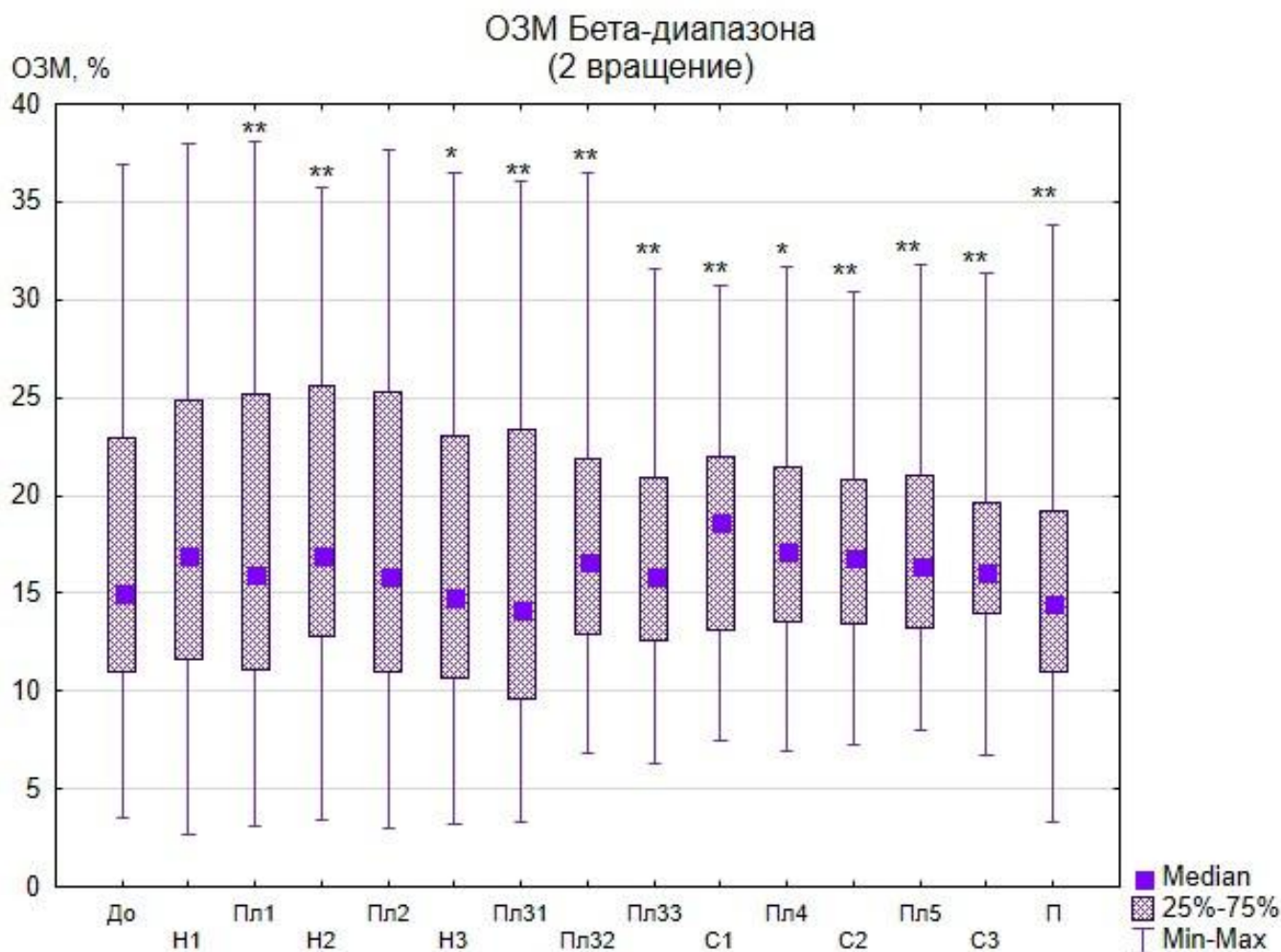


Рисунок 3.17 – ОЗМ Бета-диапазона во время 2 вращения на ЦКР. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$

Таким образом, на 2 вращении ЦКР были выявлены определенные закономерности. Динамика изменений ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.14) имела характер параболической кривой, а ОЗМ Тета-диапазона носила колебательный характер (рисунок 3.15). ОЗМ Альфа-диапазона практически на всем протяжении вращения (рисунок 3.16) было ниже параметра, измеренного до начала вращения. Динамика изменений ОЗМ Бета-диапазона (рисунок 3.17) носила колебательный характер, схожий с ОЗМ Тета-диапазона но с большей частотой.

3.2.3 ЭЭГ-параметры при вращении с максимальной перегрузкой в направлении «голова-таз» 2,92 G на центрифуге короткого радиуса

Выявлено увеличение показателя ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.18) в Н1, С2 и П на 16%, 18% и 26,5% соответственно, а в Пл31 и Пл33 наблюдалось снижение данного параметра на 5% и 3,5% соответственно относительно Д.

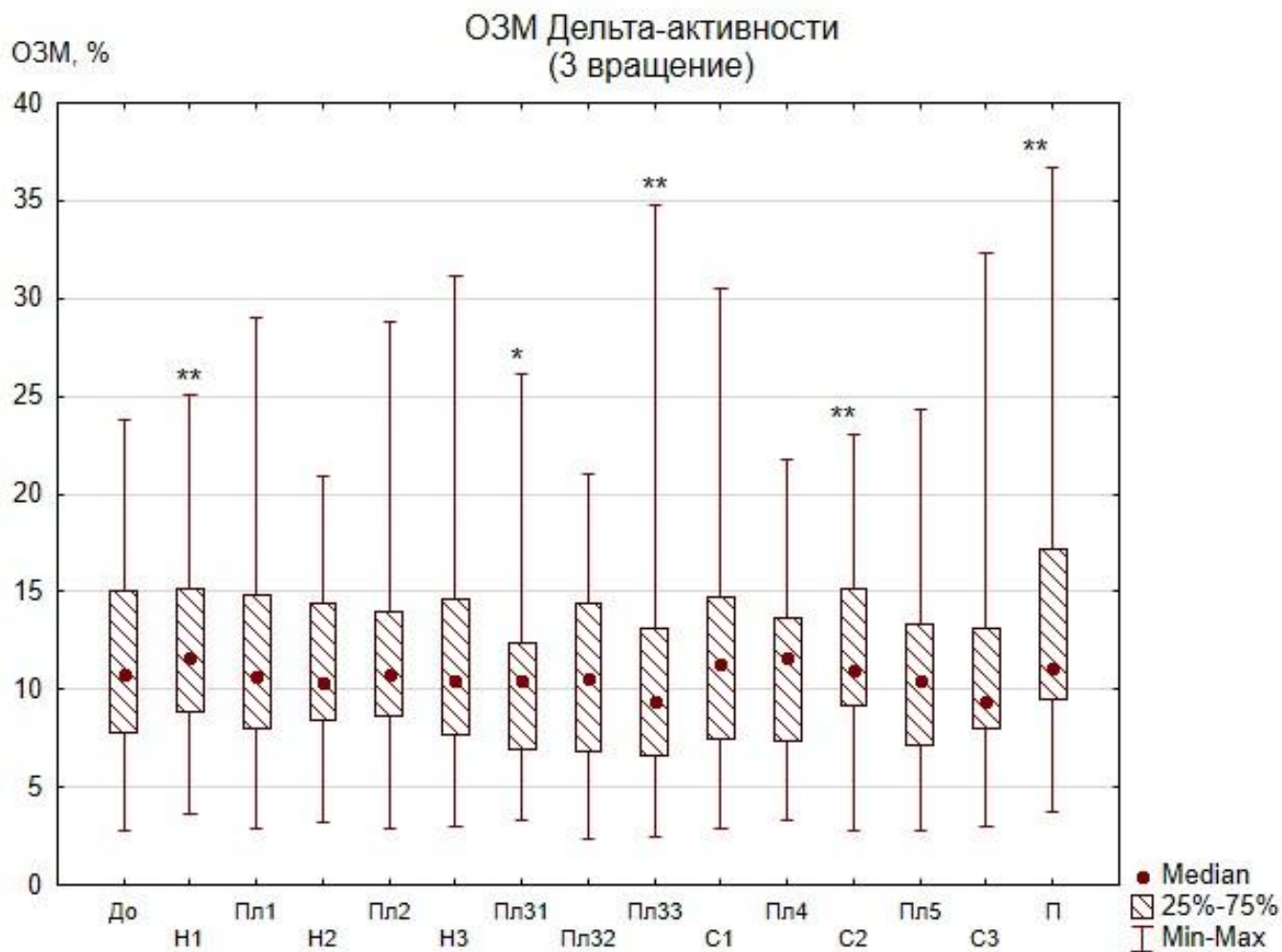


Рисунок 3.18 – ОЗМ Дельта-диапазона во время 3 вращения на ЦКР. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$

Обнаружено увеличение показателя ОЗМ Тета-диапазона (рисунка 3.19) в Пл1 на 8,4%, а в Н2, Н3, Пл31, Пл32, Пл33, С1 наблюдалось снижение данного параметра на 2,2%, 8,7%, 15,5%, 13,3%, 10,3% и 1,9% соответственно относительно Д.

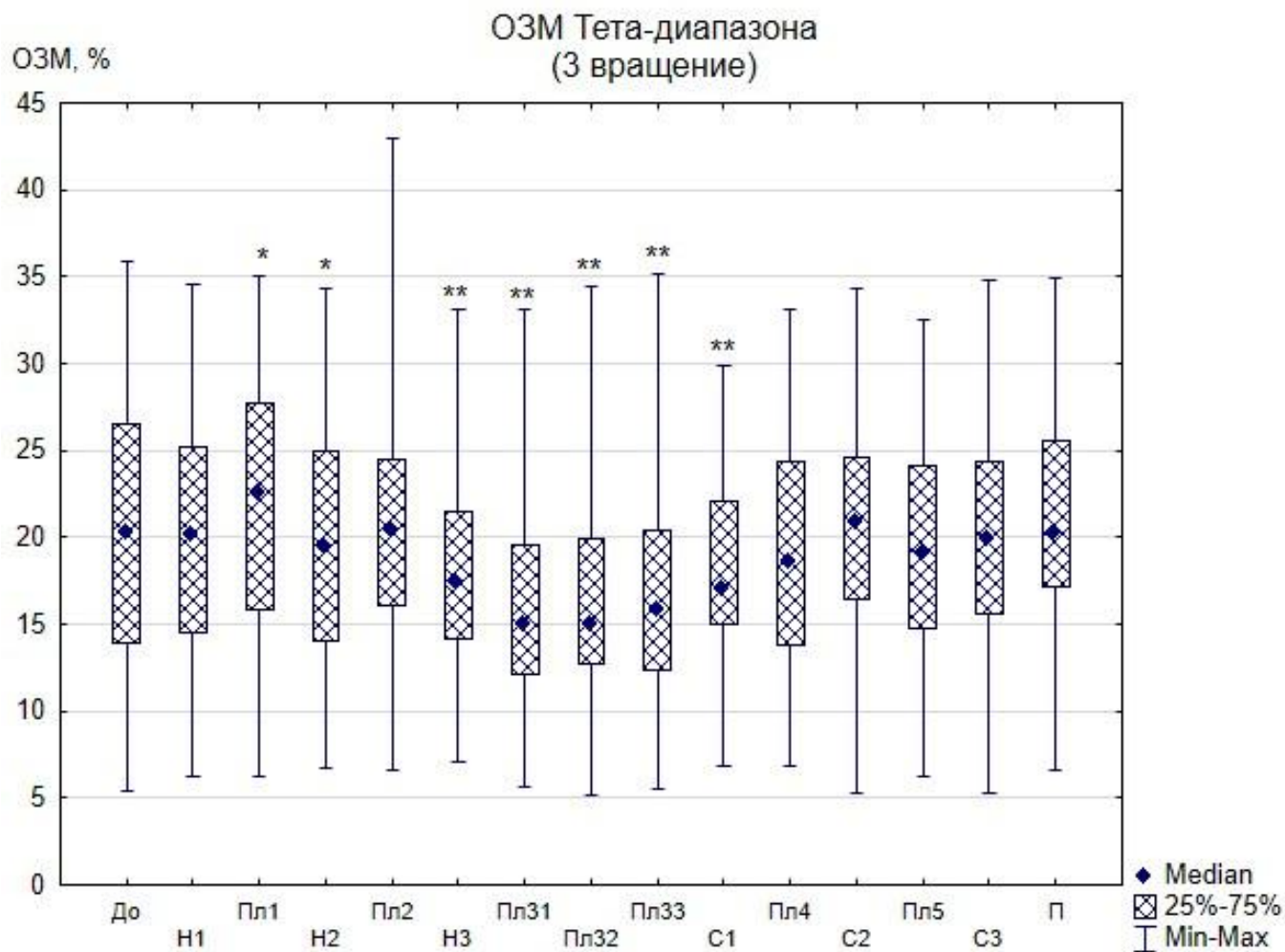


Рисунок 3.19 – ОЗМ Тета-диапазона во время 3 вращение на ЦКР. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$

В Альфа-диапазоне ОЗМ (рисунка 3.20) только снижалось относительно Д в Пл2 и П на 1,7% и 6,4% соответственно.

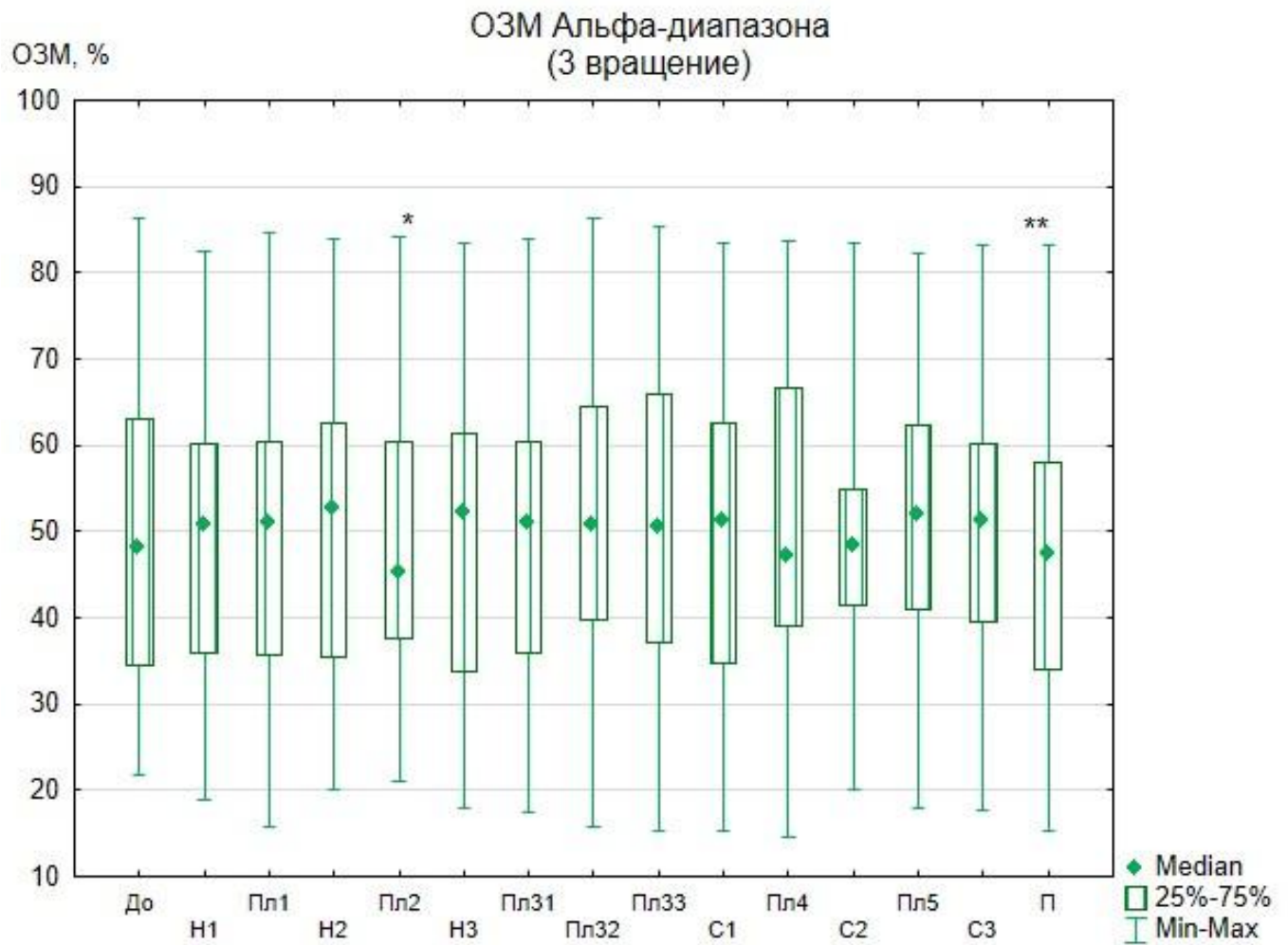


Рисунок 3.20 – ОЗМ Альфа-диапазона во время 3 вращения на ЦКР. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума; * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$

ОЗМ Бета-диапазона (рисунок 3.21) значимых изменений не обнаружено.

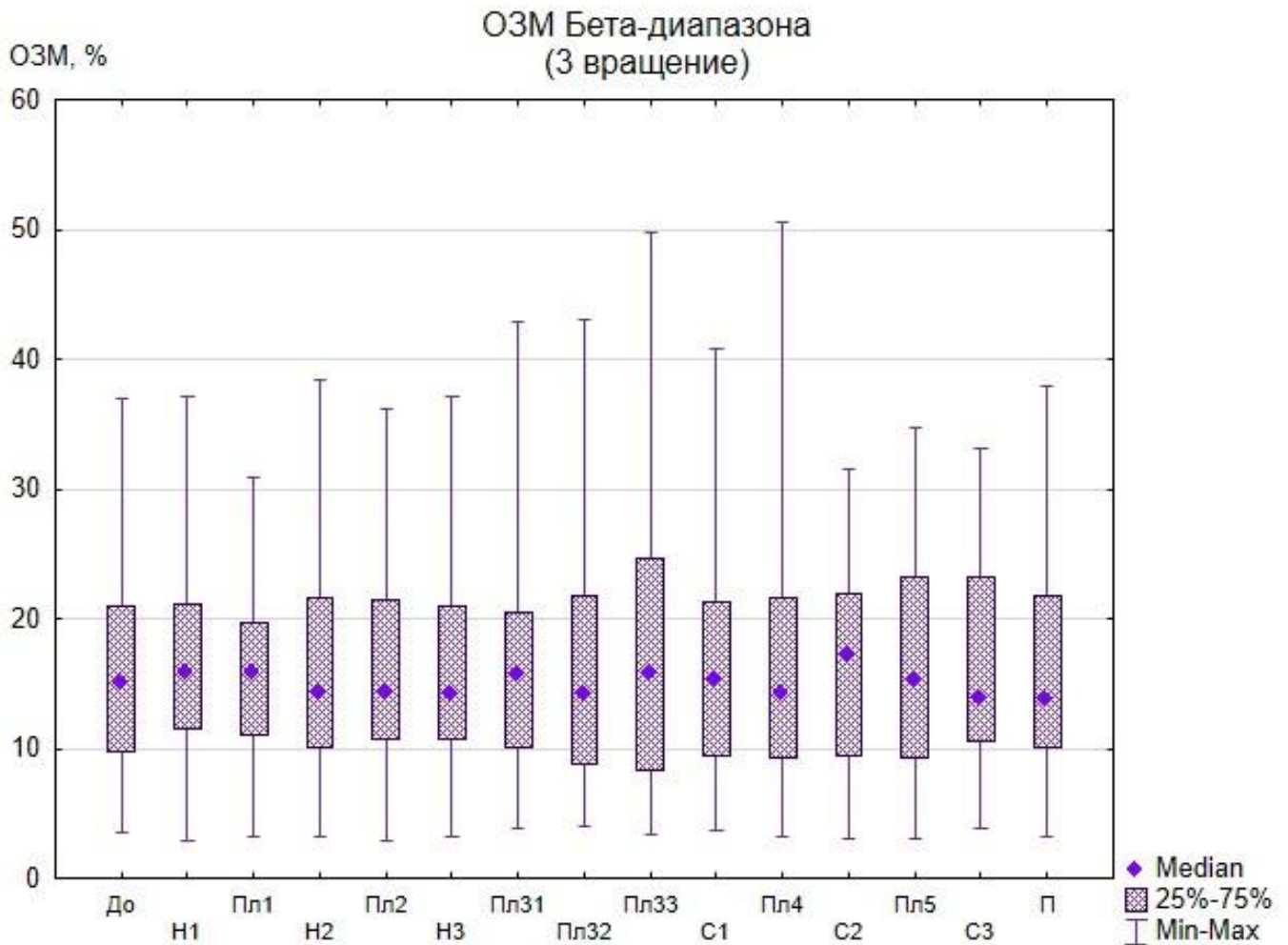


Рисунок 3.21 – ОЗМ Бета-диапазона во время 3 вращение на ЦКР. Результаты представлены в виде медианы, интерквартильных разбросов, минимума и максимума

Таким образом, на 3 вращении ЦКР в динамике исследуемых показателей был выявлен ряд закономерностей сходных с полученными на вращении 2. Значения ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.18) также располагались на параболической кривой. Снижение ОЗМ Тета-диапазона (рисунок 3.19) на разгоне, непосредственно на максимальной перегрузке и при уменьшении оборотов ЦКР после этого было более выражено по сравнению с вращением 2 (рисунок 3.15). ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.20) по сравнению с параметром до начала вращения было незначительно снижено в двух срезах (на второй площадке, а также в последствии), а ОЗМ Бета-диапазона (рисунок 3.21) не изменялся.

3.2.4 Сравнение трех режимов вращения центрифуги короткого радиуса по динамике ЭЭГ параметров группы добровольцев

Поскольку по рисункам 3.10-3.21 сложно сравнить динамику церебральных процессов выраженных в ОЗМ исследуемых диапазонов ЭЭГ-спектра, эти изменения были проиллюстрированы медианами ОЗМ Дельта-, Тета-, Альфа- и Бета-диапазонов и кривыми полиномиального сглаживания (рисунки 3.22-3.25) для группы добровольцев.

Разница значений (выраженных в процентах) ОЗМ всех исследуемых диапазонов ЭЭГ группы испытуемых сопоставленная попарно для 3-х режимов ЦКР приведено в таблицах 3.2-3.5.

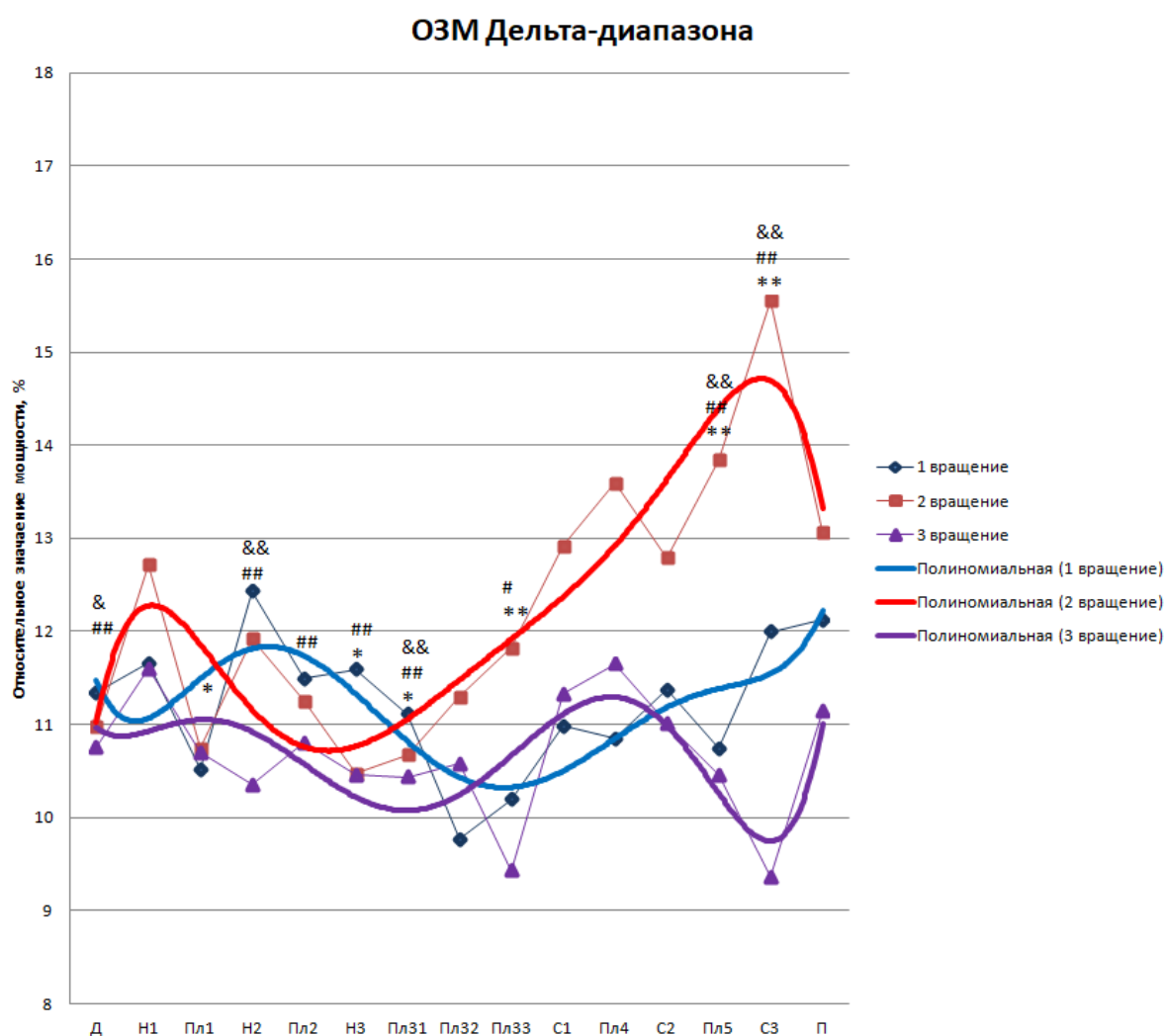


Рисунок 3.22 – Динамика ОЗМ Дельта-диапазона для всех 3-х вращений ЦКР. Результаты представлены в виде медиан для группы добровольцев в целом и линий трендов полиномиального сглаживания по эти параметрам; * – $p \leq 0,05$ 1 вращение относительно 2, ** – $p \leq 0,01$ 1 вращение относительно 2, # – $p \leq 0,05$ 1 вращение относительно 3, ## – $p \leq 0,01$ 1 вращение относительно 3, & – $p \leq 0,05$ 2 вращение относительно 3, && – $p \leq 0,01$ 2 вращение относительно 3

Таблица 3.2 – Парное сравнение значения (выраженного в процентах) ОЗМ Дельта-диапазона для всех добровольцев в каждом срезе измерений 3-х режимов ЦКР

Срезы эксперимента	2-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 2-ого
Д	-3,22	-5,20	2,05
Н1	9,10	-0,52	-8,77
Пл1	2,14	1,66	-0,47
Н2	-4,10	-16,73	-13,17
Пл2	-2,10	-6,00	-3,99
Н3	-9,66	-9,79	-0,14
Пл31	-3,92	-6,08	-2,25
Пл32	15,72	8,35	-6,37
Пл33	15,94	-7,50	-20,22
С1	17,67	3,19	-12,31
Пл4	25,31	7,42	-14,28
С2	12,49	-3,17	-13,92
Пл5	28,80	-2,65	-24,42
С3	29,64	-21,97	-39,81
П	7,84	-8,09	-14,77

Примечание – полужирным шрифтом процентное отношения статистически значимых ЭЭГ показателей в срезах при парном сравнении

ОЗМ Тета-диапазона

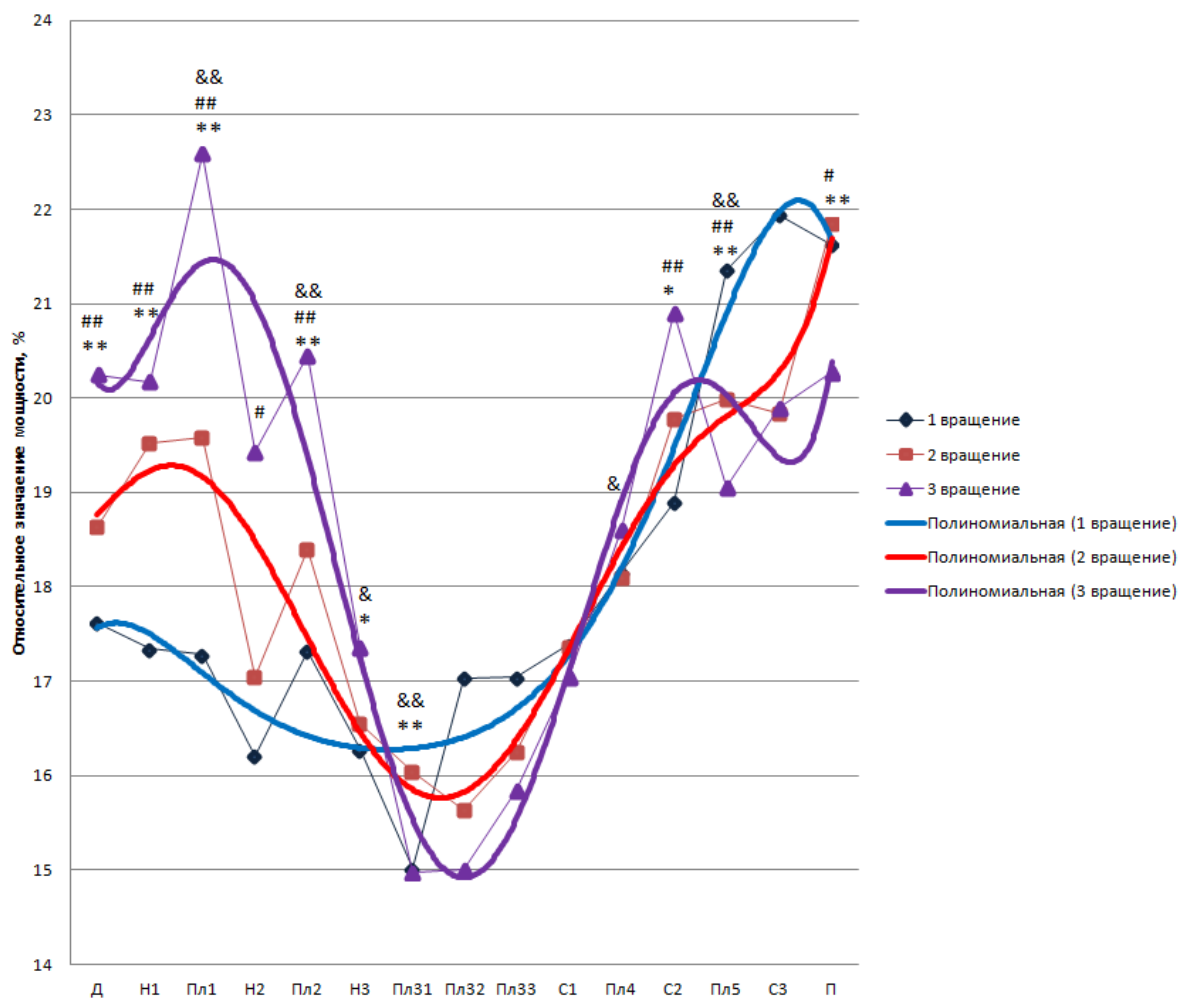


Рисунок 3.23 – Динамика ОЗМ Тета-диапазона для всех 3-х вращений ЦКР. Результаты представлены в виде медиан для группы добровольцев в целом и линий трендов полиномиального сглаживания по эти параметрам; * – $p \leq 0,05$ 1 вращение относительно 2, ** – $p \leq 0,01$ 1 вращение относительно 2, # – $p \leq 0,05$ 1 вращение относительно 3, ## – $p \leq 0,01$ 1 вращение относительно 3, & – $p \leq 0,05$ 2 вращение относительно 3, && – $p \leq 0,01$ 2 вращение относительно 3

Таблица 3.3 – Парное сравнение значения (выраженного в процентах) ОЗМ Тета-диапазона для всех добровольцев в каждом срезе измерений 3-х режимов ЦКР

Срезы эксперимента	2-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 2-ого
Д	5,79	14,93	8,64
Н1	12,54	16,35	3,38
Пл1	13,28	30,73	15,40
Н2	5,12	19,90	14,06
Пл2	6,18	18,10	11,23
Н3	1,72	6,70	4,89
Пл31	6,83	-0,27	-6,64
Пл32	-8,25	-11,95	-4,03
Пл33	-4,64	-7,04	-2,52
С1	-0,14	-1,99	-1,84
Пл4	-0,28	2,48	2,76
С2	4,66	10,64	5,72
Пл5	-6,41	-10,82	-4,70
С3	-9,55	-9,28	0,30
П	0,97	-6,27	-7,17

Примечание – полужирным шрифтом процентное отношения статистически значимых ЭЭГ показателей в срезах при парном сравнении

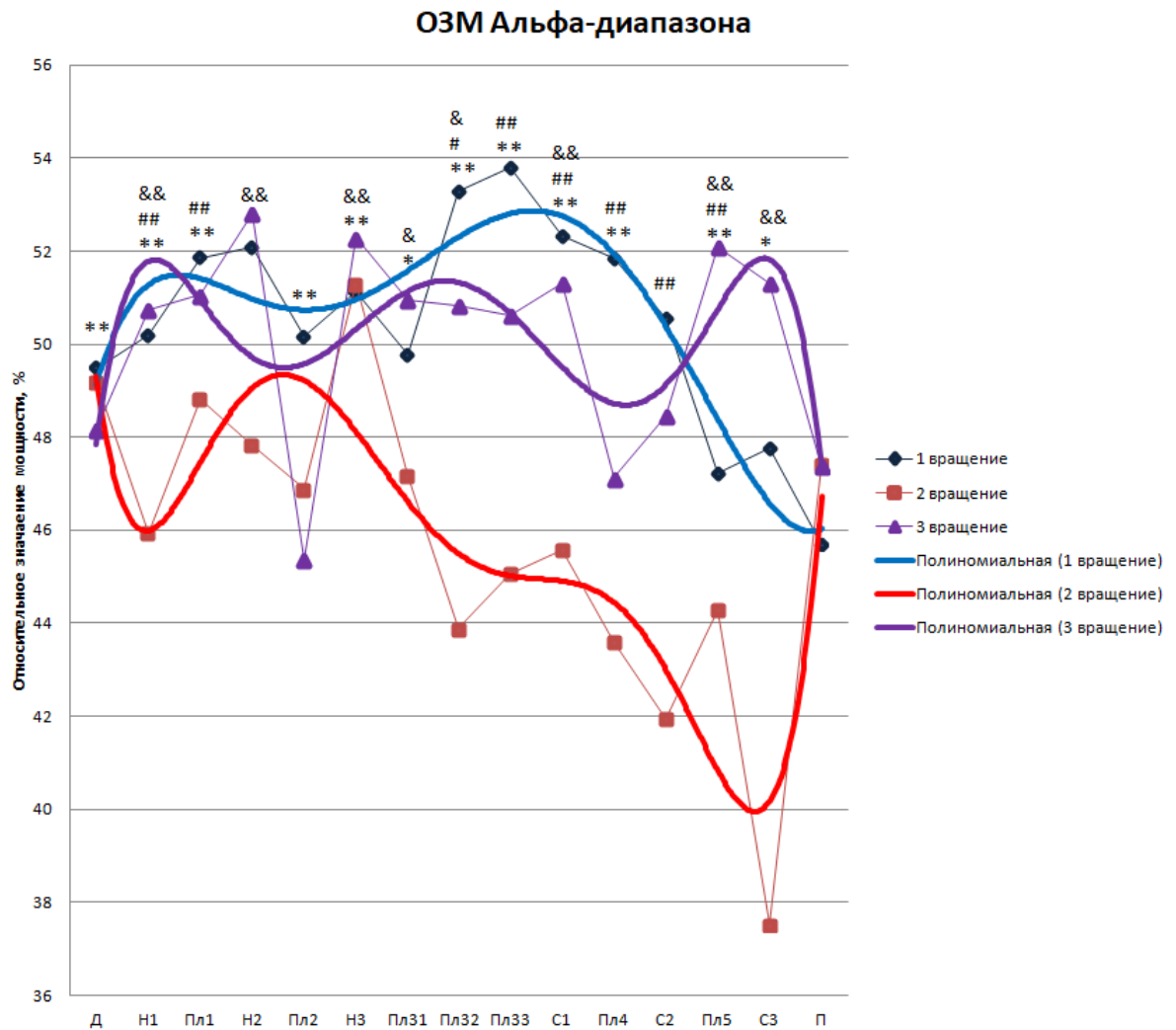


Рисунок 3.24 – Динамика ОЗМ Альфа-диапазона для всех 3-х вращений ЦКР. Результаты представлены в виде медиан для группы добровольцев в целом и линий трендов полиномиального сглаживания по эти параметрам; * – $p \leq 0,05$ 1 вращение относительно 2, ** – $p \leq 0,01$ 1 вращение относительно 2, # – $p \leq 0,05$ 1 вращение относительно 3, ## – $p \leq 0,01$ 1 вращение относительно 3, & – $p \leq 0,05$ 2 вращение относительно 3, && – $p \leq 0,01$ 2 вращение относительно 3

Таблица 3.4 – Парное сравнение значения (выраженного в процентах) ОЗМ Альфа-диапазона для всех добровольцев в каждом срезе измерений 3-х режимов ЦКР

Срезы эксперимента	2-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 2-ого
Д	-0,64	-2,67	-2,04
Н1	-8,51	1,10	10,49
Пл1	-5,85	-1,55	4,57
Н2	-8,18	1,36	10,39
Пл2	-6,55	-9,58	-3,24
Н3	0,36	2,29	1,92
Пл31	-5,25	2,36	8,04
Пл32	-17,66	-4,60	15,86
Пл33	-16,24	-5,90	12,34
С1	-12,91	-1,92	12,62
Пл4	-15,92	-9,11	8,10
С2	-17,04	-4,14	15,55
Пл5	-6,24	10,28	17,62
С3	-21,43	7,47	36,78
П	3,74	3,68	-0,06

Примечание – полужирным шрифтом процентное отношения статистически значимых ЭЭГ показателей в срезах при парном сравнении

ОЗМ Бета-диапазона

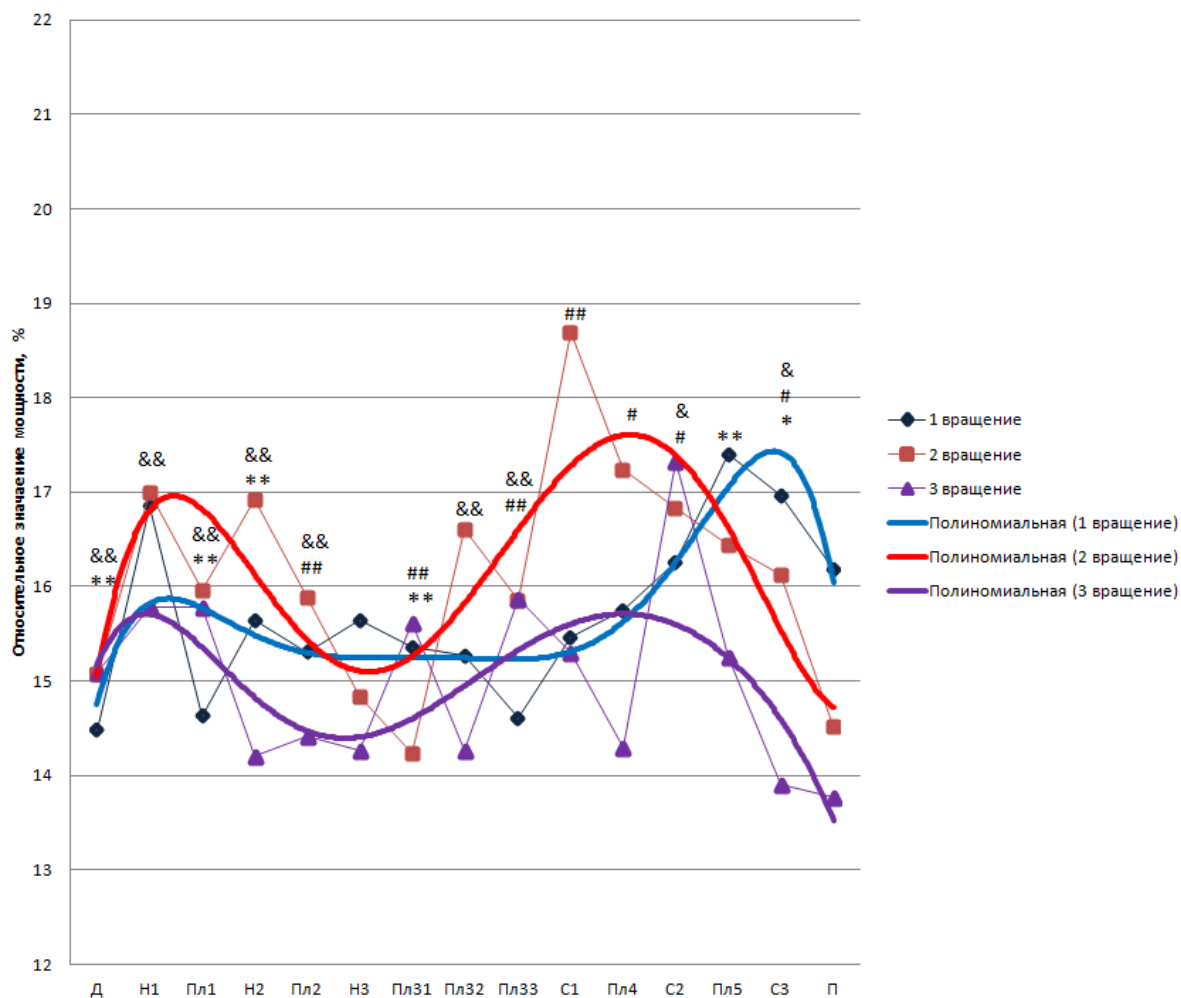


Рисунок 3.25 – Динамика ОЗМ Бета-диапазона для всех 3-х вращений ЦКР. Результаты представлены в виде медиан для группы добровольцев в целом и линий трендов полиномиального сглаживания по этим параметрам; * – $p \leq 0,05$ 1 вращение относительно 2, ** – $p \leq 0,01$ 1 вращение относительно 2, # – $p \leq 0,05$ 1 вращение относительно 3, ## – $p \leq 0,01$ 1 вращение относительно 3, & – $p \leq 0,05$ 2 вращение относительно 3, && – $p \leq 0,01$ 2 вращение относительно 3

Таблица 3.5 – Парное сравнение значения (выраженного в процентах) ОЗМ Бета-диапазона для всех добровольцев в каждом срезе измерений 3-х режимов ЦКР

Срезы эксперимента	2-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 2-ого
Д	4,11	4,21	0,10
Н1	0,83	-6,35	-7,12
Пл1	9,09	7,83	-1,16
Н2	8,18	-9,24	-16,10
Пл2	3,76	-5,85	-9,26
Н3	-5,12	-8,79	-3,88
Пл31	-7,32	1,66	9,69
Пл32	8,71	-6,55	-14,04
Пл33	8,53	8,66	0,13
С1	20,96	-1,04	-18,18
Пл4	9,43	-9,24	-17,06
С2	3,51	6,52	2,91
Пл5	-5,54	-12,38	-7,24
С3	-4,98	-18,07	-13,77
П	-10,23	-14,93	-5,23

Примечание – полужирным шрифтом процентное отношения статистически значимых ЭЭГ показателей в срезах при парном сравнении

Таким образом, динамика ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.22) во всех 3-х вращениях носит колебательный характер (здесь и далее по линиям тренда). С небольшим сдвигом фазы от вращения к вращению, и увеличенной амплитудой второго максимума на 2-ом вращении. Наиболее сходными являются процессы динамики ОЗМ Дельта-диапазона 2-го и 3-го вращений, поскольку имеют наименьшее количество значимых отличий, а наибольшая разница отмечалась между 1-м и 3-им вращениями (таблица 3.2). Характер динамики ОЗМ Тета-диапазона (рисунок 3.23) описывается параболической кривой схожей для всех 3-х вращений, особенно для 2-го и 3-его (таблица 3.3), при этом максимальное снижение ОЗМ Тета-диапазона наблюдается на 3-ем вращении. Кривые, описывающие динамику ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.24) для каждого вращения противофазны графикам, отражающим изменения ОЗМ

Дельта-диапазона (рисунок 3.22), при этом наибольшая разница отмечалась между 1-м и 2-м вращениями (таблица 3.4). Динамика ОЗМ Бета-диапазона (рисунок 3.25) описывается кривыми синусоидального характера для всех 3-х вращений. Несмотря на графическое сходство динамики ОЗМ Бета-диапазона 2-го и 3-го вращений их различие по данному показателю (таблица 3.5) наибольшее.

Попарное сравнение начального функционального состояния (Д) добровольцев в 3-х вращениях показало наличие определенных различий по показателям ОЗМ всех исследуемых диапазонов (рисунки 3.22-3.25 и таблицы 3.2-3.5). Непосредственно перед 2-м вращением наблюдали увеличение ОЗМ Тета- и Бета- и небольшое снижение ОЗМ Альфа-диапазонов относительно 1-го вращения. Перед 3-м вращением наблюдали снижение в ОЗМ Дельта- и небольшое увеличение ОЗМ Бета-диапазонов относительно 2-го вращения и снижение ОЗМ Дельта- и увеличении ОЗМ Тета-диапазонов относительно 1-го вращения.

3.2.5 Относительный показатель динамики ЭЭГ параметров группы добровольцев на трех режимах вращения центрифуги короткого радиуса

Изменения параметров функциональных систем организма анализируются с учетом его начального функционального состояния, характеризующегося набором свойств функций организма, который определяется непосредственно перед воздействием фактора/комплекса факторов.

Для нивелирования различий начального функционального состояния ЦНС добровольцев проведена нормировка с расчетом относительного показателя динамики (ОПД) ОЗМ основных ЭЭГ диапазонов (рисунок 3.26-3.29) относительно зарегистрированных непосредственно перед каждым вращением ЦКР.

ОПД рассчитывался по формуле $ОПД = \frac{П*100\%}{Д}$, где П – параметр ЭЭГ измеренные во время вращения на ЦКР и после ее остановки, Д – показатели фоновой ЭЭГ непосредственно перед каждым вращением на ЦКР. 0 на рисунках 3.26-3.29 обозначает нулевую линию, т.е. отсутствие отличий между Д и П.

Разница выраженных в процентах средних значений ОПД ОЗМ всех исследуемых диапазонов ЭЭГ группы испытуемых в целом сопоставленная попарно для 3-х режимов ЦКР приведено в таблицах 3.6-3.9.

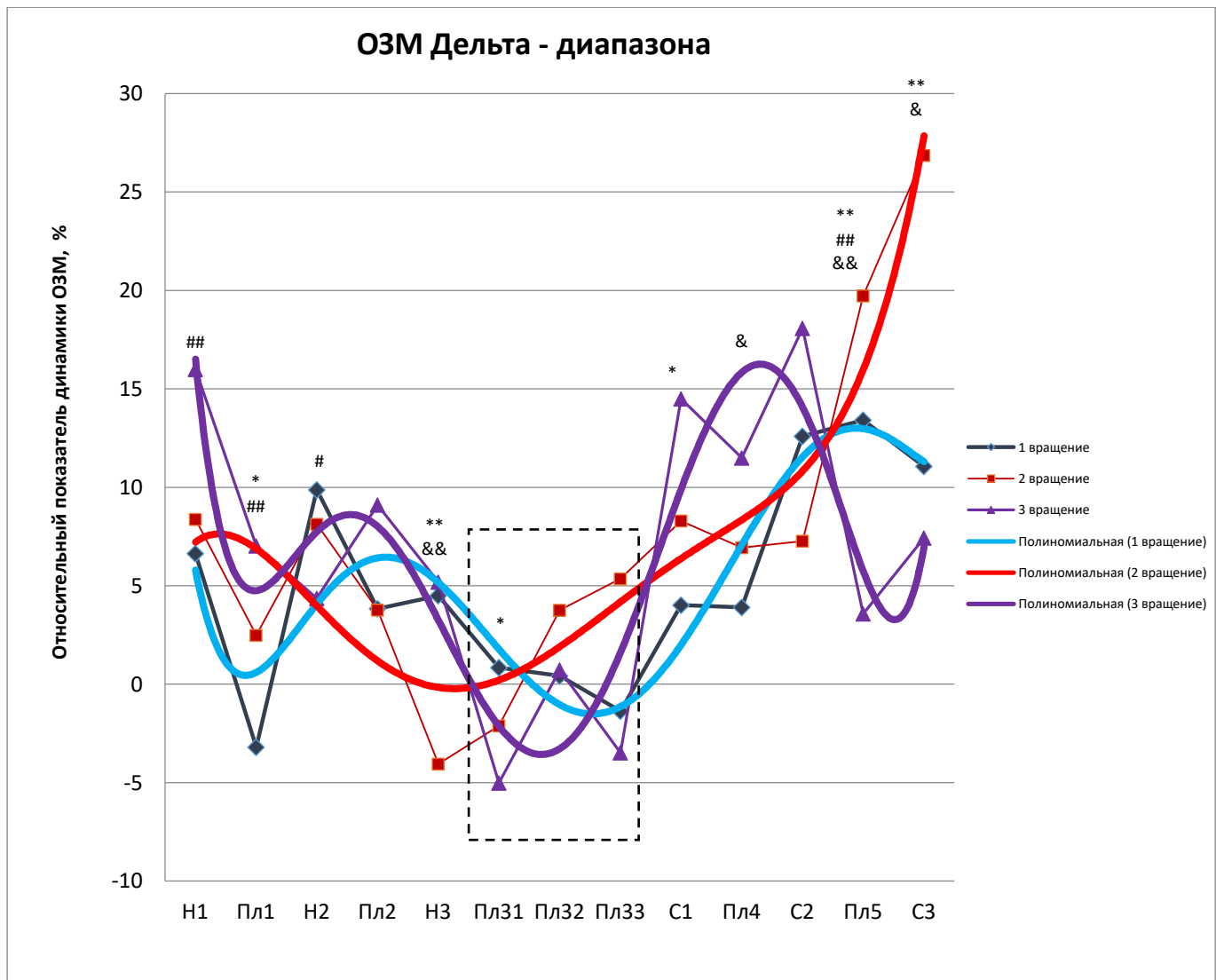


Рисунок 3.26 – Относительный показатель динамики ОЗМ Дельта-диапазона для всех 3-х вращений ЦКР. Результаты представлены в виде медиан для группы добровольцев в целом и линий трендов полиномиального сглаживания по эти параметрам; * – $p \leq 0,05$ 2 вращение относительно 1, ** – $p \leq 0,01$ 2 вращение относительно 1, # – $p \leq 0,05$ 3 вращение относительно 1, ## – $p \leq 0,01$ 3 вращение относительно 1, & – $p \leq 0,05$ 3 вращение относительно 2, && – $p \leq 0,01$ 3 вращение относительно 2

Таблица 3.6 – Разница выраженных в процентах значений относительного показателя динамики ОЗМ Дельта-диапазона для всех добровольцев в каждом срезе измерений 3-х режимов ЦКР

Срезы эксперимента	2-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 2-ого
Н1	26,19	140,99	90,99
Пл1	177,81	319,89	182,59
Н2	-17,70	-55,81	-46,31
Пл2	-1,71	137,35	141,46
Н3	-189,98	15,29	228,14
Пл31	-350,60	-694,95	137,41
Пл32	788,63	71,68	-80,68
Пл33	-492,62	155,06	-164,96
С1	106,46	260,78	74,74
Пл4	77,78	194,46	65,63
С2	-42,30	43,53	148,74
Пл5	47,05	-73,33	-81,86
С3	142,65	-32,87	-72,34

Примечание – полужирным шрифтом процентное отношения статистически значимых ЭЭГ показателей в срезах при парном сравнении

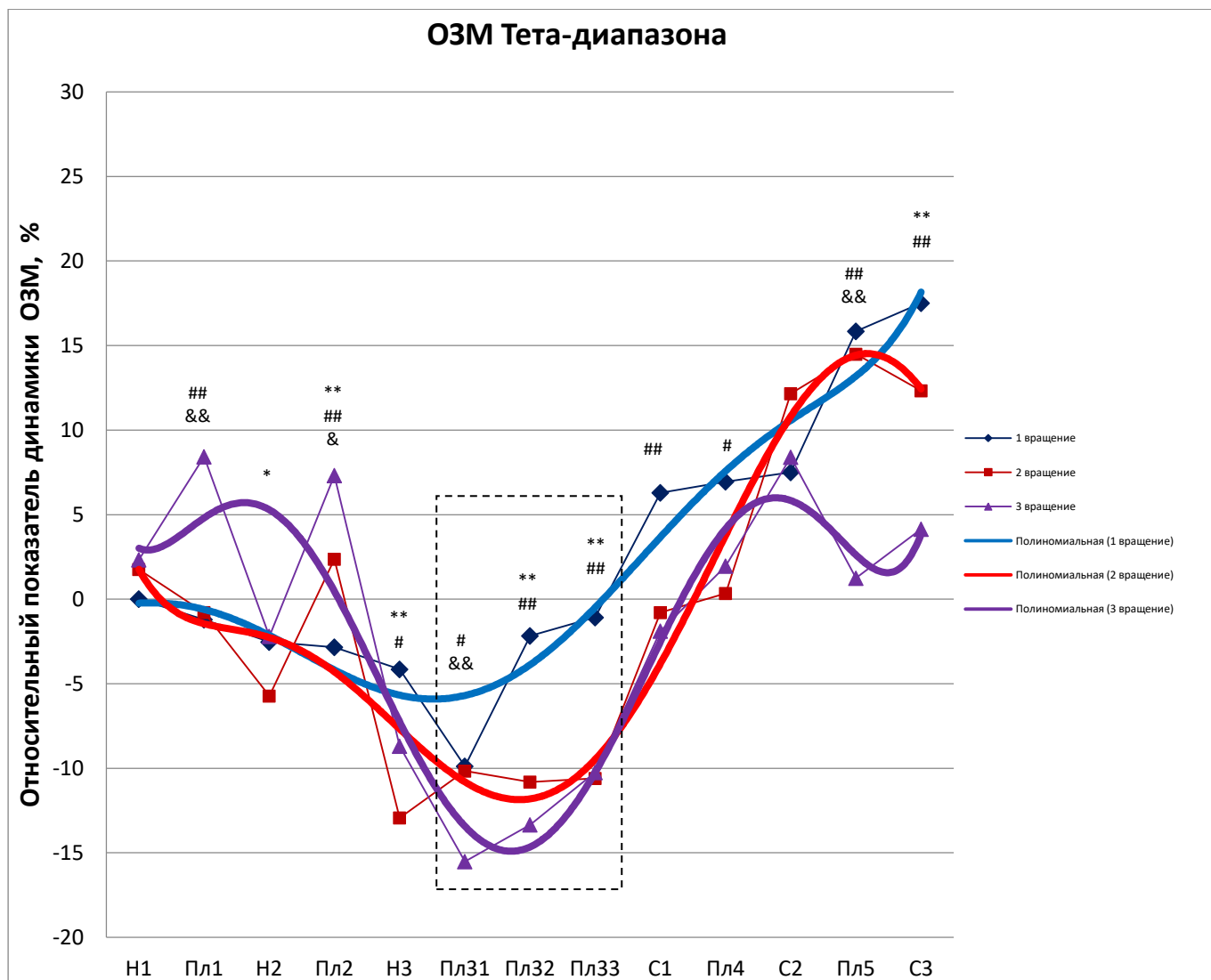


Рисунок 3.27 – Относительный показатель динамики ОЗМ Тета-диапазона для всех 3-х вращений ЦКР. Результаты представлены в виде медиан для группы добровольцев в целом и линий трендов полиномиального сглаживания по эти параметрам; * – $p \leq 0,05$ 2 вращение относительно 1, ** – $p \leq 0,01$ 2 вращение относительно 1, # – $p \leq 0,05$ 3 вращение относительно 1, ## – $p \leq 0,01$ 3 вращение относительно 1, & – $p \leq 0,05$ 3 вращение относительно 2, && – $p \leq 0,01$ 3 вращение относительно 2

Таблица 3.7 – Разница выраженных в процентах значений относительного показателя динамики ОЗМ Тета-диапазона для всех добровольцев в каждом срезе измерений 3-х режимов ЦКР

Срезы эксперимента	2-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 2-ого
Н1	58,25	109,44	32,35
Пл1	-34,68	799,14	1170,38
Н2	-126,36	-13,20	-61,65
Пл2	183,35	357,75	209,23
Н3	-211,76	-109,49	-32,81
Пл31	2,84	-57,01	-52,66
Пл32	-398,45	-515,03	23,39
Пл33	-880,97	-848,63	-3,30
С1	-112,55	-129,91	138,32
Пл4	-95,08	-71,81	473,41
С2	61,95	11,94	-30,88
Пл5	-8,54	-92,15	-91,42
С3	-29,60	-76,34	-66,40

Примечание – полужирным шрифтом процентное отношения статистически значимых ЭЭГ показателей в срезах при парном сравнении

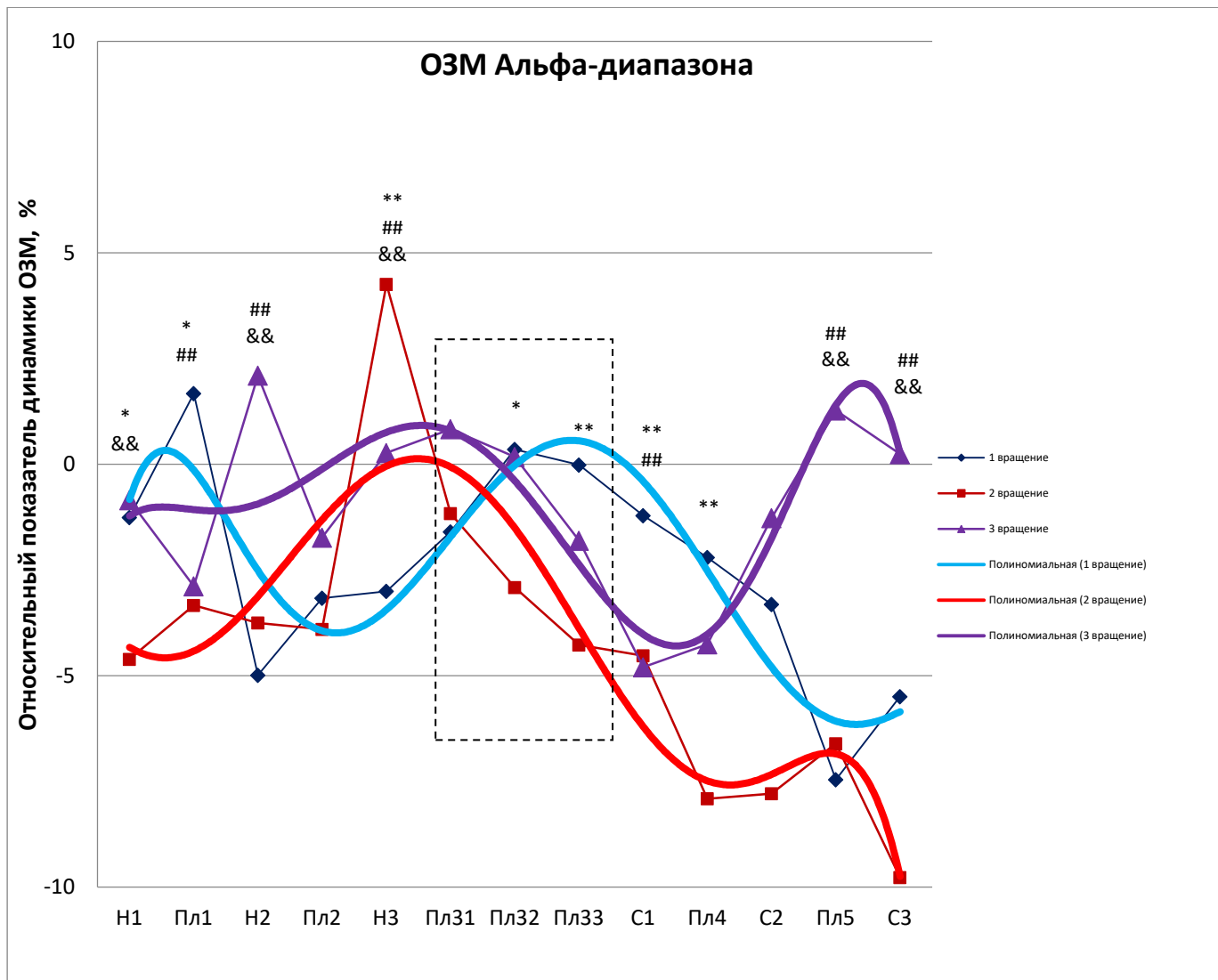


Рисунок 3.28 – Относительный показатель динамики ОЗМ Альфа-диапазона для всех 3-х вращений ЦКР. Результаты представлены в виде медиан для группы добровольцев в целом и линий трендов полиномиального сглаживания по эти параметрам; * – $p \leq 0,05$ 2 вращение относительно 1, ** – $p \leq 0,01$ 2 вращение относительно 1, # – $p \leq 0,05$ 3 вращение относительно 1, ## – $p \leq 0,01$ 3 вращение относительно 1, & – $p \leq 0,05$ 3 вращение относительно 2, && – $p \leq 0,01$ 3 вращение относительно 2

Таблица 3.8 – Разница выраженных в процентах значений относительного показателя динамики ОЗМ Альфа-диапазона для всех добровольцев в каждом срезе измерений 3-х режимов ЦКР

Срезы эксперимента	2-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 2-ого
Н1	-266,15	-32,60	81,59
Пл1	-299,66	-272,60	-13,55
Н2	-24,83	142,03	155,91
Пл2	23,27	-45,21	-55,56
Н3	241,65	108,85	-93,76
Пл31	-27,17	-151,89	-171,25
Пл32	-930,46	-50,23	-105,10
Пл33	-23746,64	9988,27	-57,70
С1	-272,26	-294,74	-6,04
Пл4	-258,61	93,01	-46,18
С2	134,99	-61,60	-83,66
Пл5	-11,42	117,06	119,26
С3	77,82	104,35	102,45

Примечание – полужирным шрифтом процентное отношения статистически значимых ЭЭГ показателей в срезах при парном сравнении

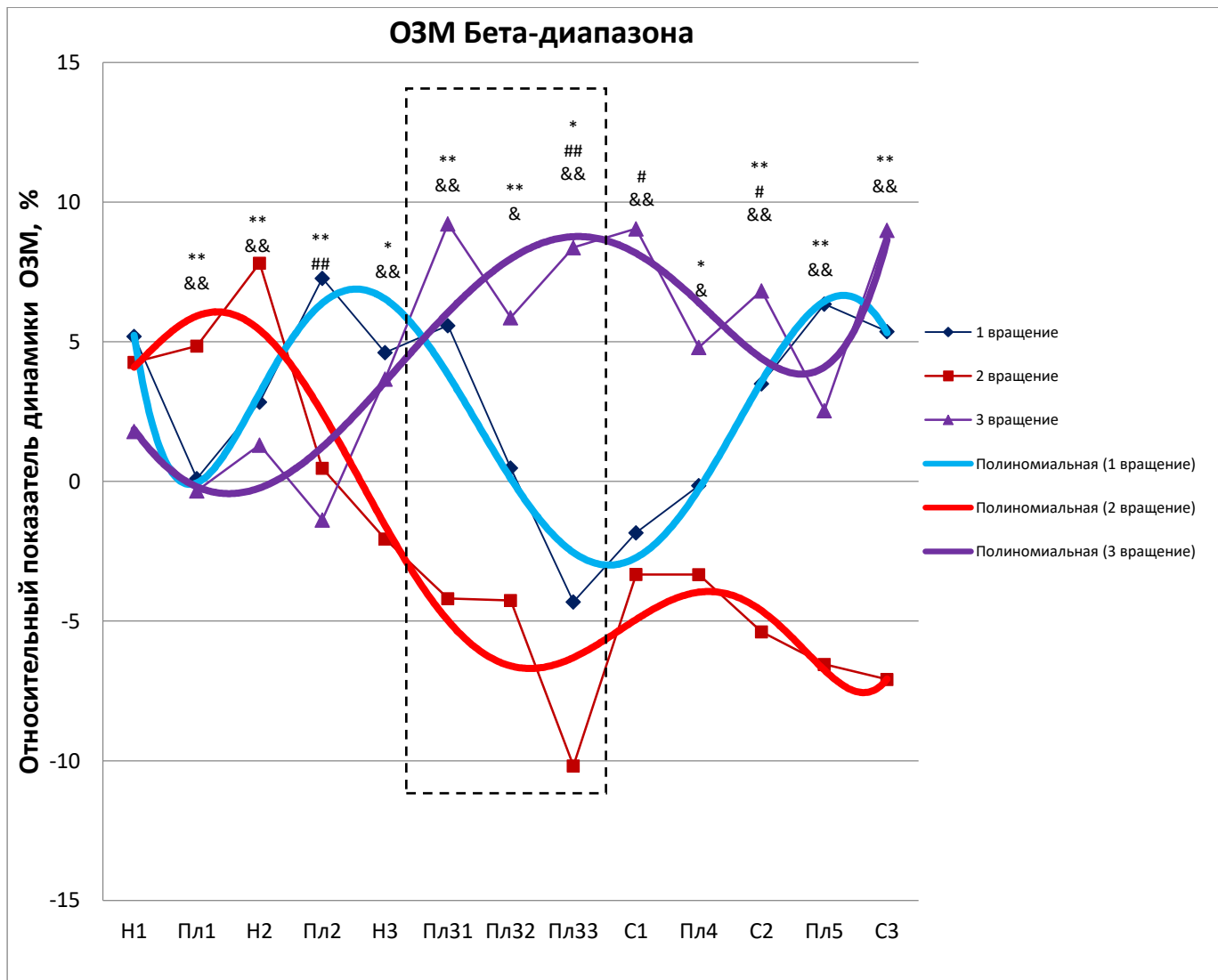


Рисунок 3.29 – Относительный показатель динамики ОЗМ Бета-диапазона для всех 3-х вращений ЦКР. Результаты представлены в виде медиан для группы добровольцев в целом и линий трендов полиномиального сглаживания по эти параметрам; * – $p \leq 0,05$ 2 вращение относительно 1, ** – $p \leq 0,01$ 2 вращение относительно 1, # – $p \leq 0,05$ 3 вращение относительно 1, ## – $p \leq 0,01$ 3 вращение относительно 1, & – $p \leq 0,05$ 3 вращение относительно 2, && – $p \leq 0,01$ 3 вращение относительно 2

Таблица 3.9 – Разница выраженных в процентах значений относительного показателя динамики ОЗМ Бета-диапазона для всех добровольцев в каждом срезе измерений 3-х режимов ЦКР

Срезы эксперимента	2-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 1-ого	3-е вращение относительно 2-ого
Н1	-17,87	-65,46	-57,94
Пл1	4499,67	-415,01	-106,85
Н2	174,1	-54,10	-83,30
Пл2	-93,45	-118,90	-388,39
Н3	-144,49	-20,51	278,67
Пл31	-175,10	65,28	320,08
Пл32	-977,92	1109,98	237,82
Пл33	-136,20	294,37	182,29
С1	81,29	-593,21	372,06
Пл4	2195,52	-3409,56	244,18
С2	-253,72	95,06	226,89
Пл5	-203,04	-60,02	138,80
С3	-231,95	67,55	226,98

Примечание – полужирным шрифтом процентное отношения статистически значимых ЭЭГ показателей в срезах при парном сравнении

Таким образом, динамика ОПД ОЗМ (здесь и далее по линии тренда) Дельта-диапазона (рисунок 3.26) во 2-ом носит параболический характер, а в 1-ом и 3-ем вращениях – синусоидальный с небольшим сдвигом фазы и увеличенной амплитудой на 3-ем вращении. Вращения различаются по данному показателю в половине и в одной трети случаев (таблица 3.6). Характер динамики ОПД ОЗМ Тета-диапазона (рисунок 3.27) описывается параболической кривой всех 3-х вращений с максимальным снижением ОПД ОЗМ Тета-диапазона в 3-ем вращении, при этом максимальное сходство наблюдается для 2-го и 3-го вращений (таблица 3.7). Динамика ОПД ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.28) во всех 3-х вращениях имеет вид синусоидальных кривых различающихся по фазе, при этом отмечалась пятидесяти процентная разница при попарном сравнении вращений по показателям ОПД ОЗМ данного диапазона (таблица 3.8). Динамика ОПД ОЗМ Бета-диапазона (рисунок 3.29) описывается синусоидальными кривыми для всех 3-х вращений, при том, что во 2-м вращении наблюдали

значительный сдвиг по амплитуде кривой, соответствующей изменениям описываемого показателя на подъеме и на третьей площадке. Кроме того, 2-е вращение отличается по ОПД ОЗМ Бета-диапазона (таблица 3.9) от 1-го и 3-го, которые относительно схожи между собой.

Для уточнения закономерностей реакции ЦНС на увеличивающийся по силе воздействия фактор провели сравнительный анализ ОПД ОЗМ исследуемых диапазонов спектра ЭЭГ при максимальной нагрузке на организм на 3-й площадке каждого вращения. Результаты показали, что 3 вращение по Дельта-диапазону в срезах Пл31, Пл32, Пл33 не отличается (рисунок 3.26, таблица 3.6) от 2; по Тета-диапазону на Пл32, Пл33 отличий нет, а на Пл31 3-го вращения этот параметр меньше на 52,7 % (рисунок 3.27, таблица 3.7) по сравнению с 2; по Альфа-диапазону на площадках отличий нет (рисунок 3.28, таблица 3.8); максимальные различия в Бета-диапазоне - в срезах Пл31, Пл32, Пл33 3 вращения этот параметр выше на 320%, 237,8%, 182,3% соответственно (рисунок 3.29, таблица 3.9) по сравнению с 2.

3.3 Исследование влияния гипербарической гипоксической искусственной газовой среды на биопотенциалы головного мозга добровольцев

Исследование церебральных реакций в различных условиях гипербарической гипоксической искусственной газовой среды обитания (3 серии) позволили выявить степень зависимости этих реакции от комплекса различных действующих факторов и индивидуально-типологических особенностей ЭЭГ-паттернов добровольцев.

Типологический анализ ЭЭГ участников показал, что из четырех типов паттернов, описанных в норме у человека, в данном исследовании у добровольцев наблюдались следующие три: тип I у 2 (рисунок 1.1); тип III у 2 (рисунок 1.3) и тип IV у 2 добровольцев (рисунок 1.4). Индивидуальные типы ЭЭГ паттернов определялись при регистрации показателей до начала данного экспериментального блока исследований. Однако при анализе данных перед началом 2-ой серии у испытуемого 1304 была выявлена смена типа паттерна с IV на III (рисунок 3.30), во всех остальных срезах данной серии эксперимента наблюдался IV тип. Кроме того, исходное функциональное состояние ЦНС испытуемых перед каждой экспериментальной сессией различалось между собой по количественным параметрам ОЗМ исследованных диапазонов ЭЭГ-спектра, особенно это касалось ОЗМ Бета-диапазона в искусственной гипоксической кислородно-азотно-аргоной среде при давлении 0,02 МПа выше на 14,6% ($p \leq 0,05$), чем в искусственной гипоксической кислородно-азотной среде при давлении 0,02 МПа; в ОЗМ Альфа-диапазона выявилось, что в искусственной гипоксической кислородно-азотно-аргоной среде при давлении 0,2 МПа выше на 19,7% ($p \leq 0,1$) чем в искусственной гипоксической кислородно-азотно-аргоной среде при давлении 0,02 МПа.

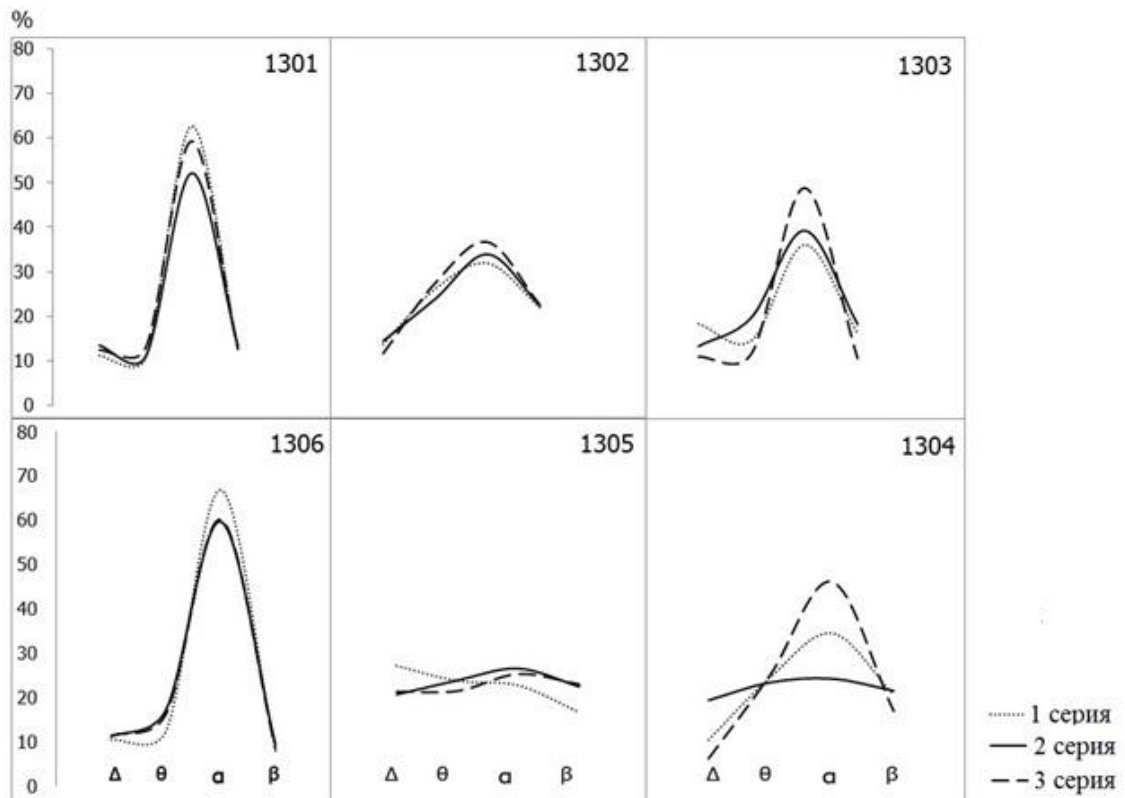


Рисунок 3.30 – Исходное функциональное состояния испытуемых перед каждой экспериментальной сессией влияния гипербарической гипоксической искусственной газовой среды

3.3.1 Исследование влияния искусственной гипоксической кислородно-азотной среды

Количественный анализ показателей ЭЭГ 6 добровольцев, находившихся в течение 10 суток в ГВК-250 в искусственной гипоксической кислородно-азотной среде при давлении 0,02 МПа (что соответствует имитационному погружению на глубину до 2 метров), показал что статистически значимых результатов ОЗМ Дельта-, Тета-, Альфа- и Бета-диапазонов получено не было при сравнении ОЗМ в 1 и 2 частях и в последствии с фоном эксперимента, в связи с разнонаправленностью изменений ЭЭГ параметров вне зависимости от типа ЭЭГ-паттерна добровольца.

3.3.2 Исследование влияния искусственной гипоксической кислородно-азотно-аргоной среды

Количественный анализ ЭЭГ тех же добровольцев, находившихся на протяжении 10 суток в ГВК-250 в искусственной гипоксической кислородно-азотно-аргоной среде при давлении 0,02 МПа (что соответствует имитационному погружению на глубину до 2 метров) показал, что из

всех изучаемых ЭЭГ диапазонов только для ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.30) наблюдали тенденцию ($p \leq 0,1$) возрастание в 1-ой части эксперимента относительно фоновых значений на 21,9 %.

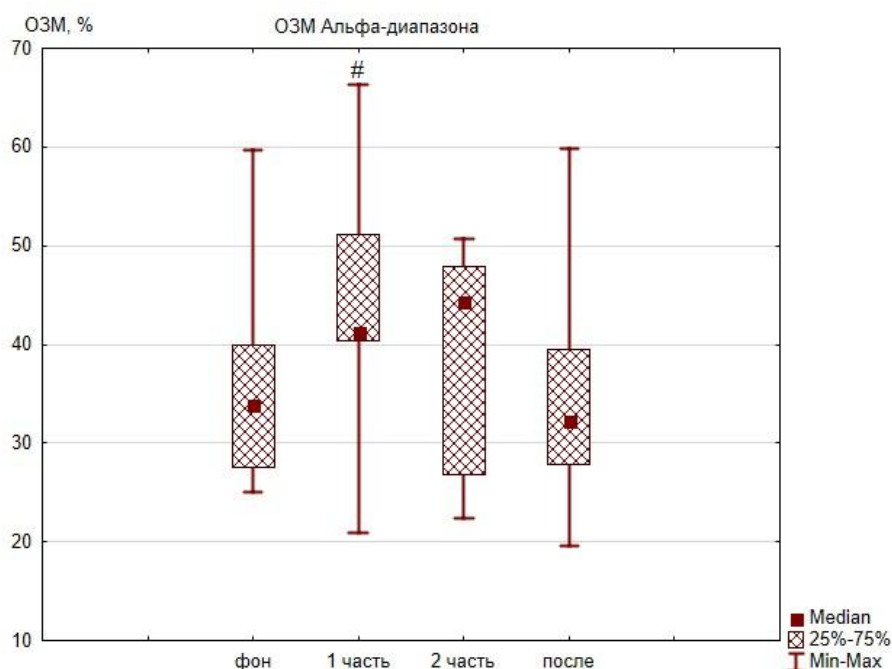


Рисунок 3.31 – ОЗМ Альфа-диапазона у добровольцев во 2-й серии эксперимента с искусственной гипоксической кислородно-азотно-аргоной средой обитания; # – $p \leq 0,1$ относительно фона

3.3.3 Исследование влияния искусственной гипоксической газовой среды при имитационном погружении на глубину до 20 метров

Количественный анализ ЭЭГ тех же добровольцев, находившихся на протяжении 7 суток в ГВК-250 в искусственной гипоксической кислородно-азотно-аргоной среде при давлении 0,2 МПа (что соответствует имитационному погружению на глубину до 20 метров) продемонстрировал увеличение относительно фона ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.32) на 40,5 % непосредственно перед декомпрессией и на 55,6 % при выходе из ГВК-250; а также уменьшение ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.33) на 8 % и 29,7 % соответственно.

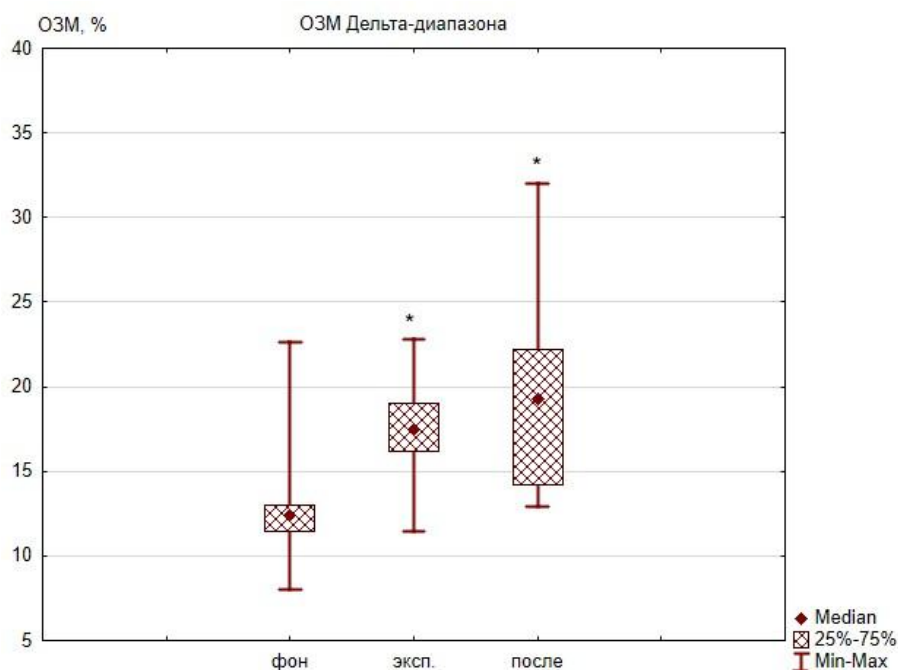


Рисунок 3.32 – ОЗМ Дельта-диапазона у добровольцев во 3-й серии эксперимента при искусственной гипоксической газовой среде при имитационном погружении на глубину до 20 метров; * – $p \leq 0,05$ относительно фона

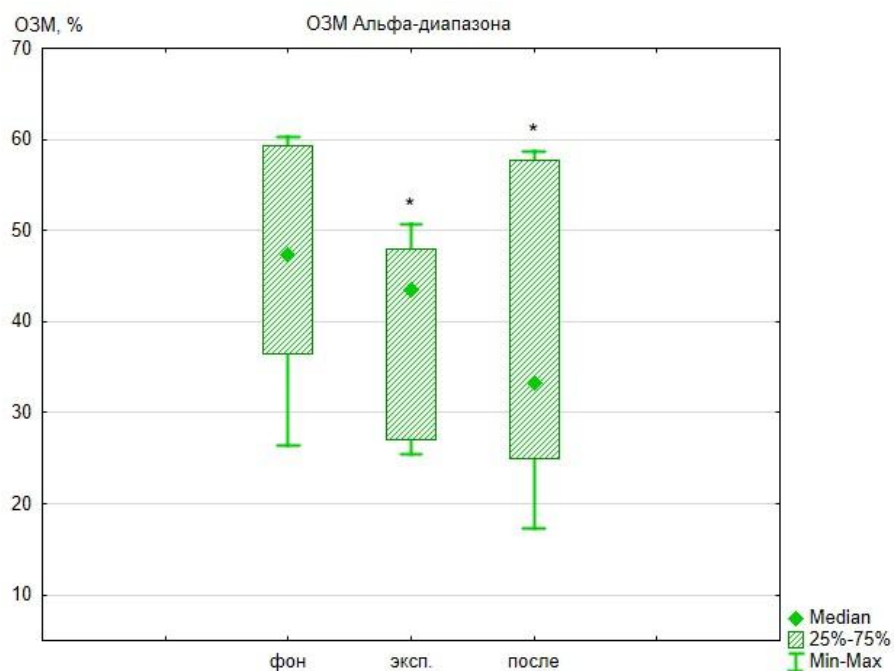


Рисунок 3.33 – ОЗМ Альфа-диапазона у добровольцев во 3-й серии эксперимента при искусственной гипоксической газовой среде при имитационном погружении на глубину до 20 метров; * – $p \leq 0,05$ относительно фона

Итак, в эксперименте с гипербарической искусственной гипоксической газовой средой для группы добровольцев с различными типами ЭЭГ-паттерна выявлены многообразные

эффекты влияния на биопотенциалы головного мозга: в искусственной гипоксической кислородно-азотной газовой среде – разнонаправленные изменения ОЗМ всех исследуемых ЭЭГ диапазонов; в гипоксической кислородно-азотно-аргоной среде – тенденция увеличения ОЗМ Альфа-диапазона; в гипоксической кислородно-азотно-аргоной среде при имитационном погружении на глубину до 20 метров – увеличение ОЗМ Дельта- и уменьшение ОЗМ Альфа-диапазонов.

3.3.4 Относительный показатель динамики ЭЭГ параметров группы добровольцев во всех 3-х сериях эксперимента влияния гипербарической искусственной гипоксической газовой среды

Для сравнения динамики параметров ЭЭГ в 3-х сериях данного эксперимента провели нивелирование различий начального функционального состояния ЦНС добровольцев с расчетом ОПД ОЗМ основных ЭЭГ диапазонов (рисунок 3.34-3.36).

После завершения серий эксперимента ОПД ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.34) больше в погружении относительно гипоксической кислородно-азотной среды (гипоксия) на 40,6 % для группы добровольцев.

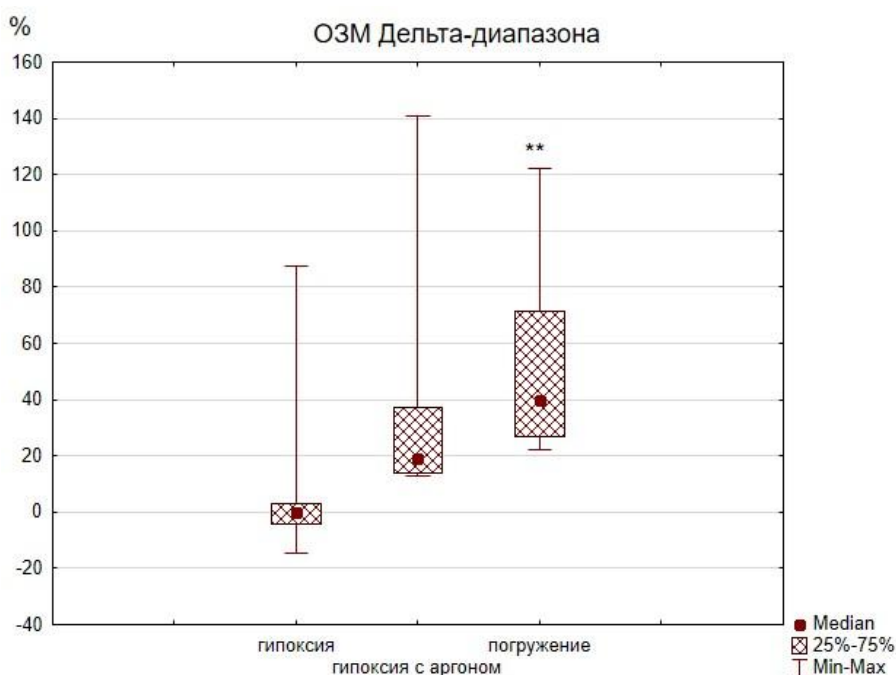


Рисунок 3.34 – Относительный показатель динамики ОЗМ Дельта-диапазона в после в 3-х сериях эксперимента (гипоксической кислородно-азотной среда (гипоксия), гипоксической кислородно-азотно-аргоной среда (гипоксия с аргонем) и при искусственной гипоксической газовой среде при имитационном погружении на глубину до 20 метров (погружение); ** –

$p \leq 0,01$ 3-я серия относительно 1-ой серии

После завершения серий эксперимента ОПД ОЗМ Тета-диапазона (рисунок 3.35) больше в погружении относительно гипоксической кислородно-азотной среды (гипоксия) на 24,1 % для группы добровольцев.

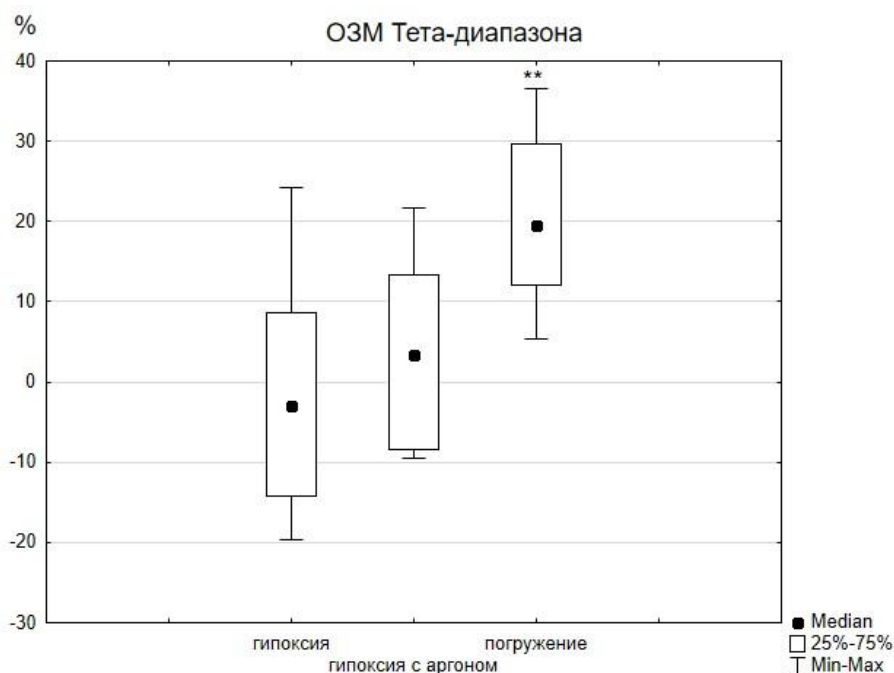


Рисунок 3.35 – Относительный показатель динамики ОЗМ Тета-диапазона в после в 3-х сериях эксперимента (гипоксической кислородно-азотной среде (гипоксия), гипоксической кислородно-азотно-аргоной среде (гипоксия с аргоном) и при искусственной газовой гипоксической среде при имитационном погружении на глубину до 20 метров (погружение); ** – $p \leq 0,01$ 3-я серия относительно 1-ой серии

После завершения эксперимента ОПД ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.36) меньше в серии с искусственной гипоксической газовой среде при имитационном погружении на глубину до 20 метров относительно гипоксической кислородно-азотной среды (гипоксия) на 18,1 %, гипоксической кислородно-азотно-аргоной среды (гипоксия с аргоном) на 7,3 % для группы добровольцев в целом.

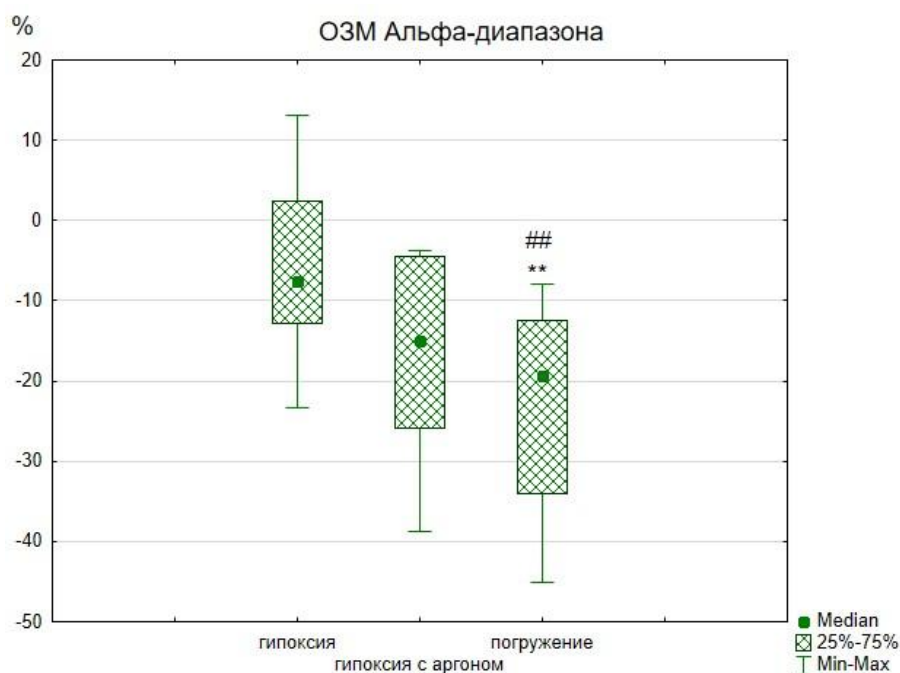


Рисунок 3.36 – Относительный показатель динамики ОЗМ Альфа-диапазона в после в 3-х сериях эксперимента (гипоксической кислородно-азотной среда (гипоксия), гипоксической кислородно-азотно-аргоной среда (гипоксия с аргоном) и при искусственной гипоксической газовой среде при имитационном погружении на глубину до 20 метров (погружение); ** – $p \leq 0,01$ 3-я серия относительно 1-ой серии, ## - 3-я серия относительно 2-ой серии

Итак, в малой выборке различия нейрофизиологических индивидуально-типологических особенностей, проявляющихся в типе ЭЭГ-паттерна, маскировало влияние гипоксической газовых сред, однако усиление воздействия за счет дополнения другими факторами, привело к выраженным однонаправленным сдвигам после завершения серий эксперимента с имитацией погружения на 20 метров в гипоксической кислородно-азотно-аргоной атмосфере погружении ОПД ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.34) больше относительно серии с гипоксической кислородно-азотной средой на 40,6 %, ОПД ОЗМ Тета-диапазона (рисунок 3.35) на 24,1 %; ОПД ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.36) меньше на 18,1 %, и на 7,3 % относительно гипоксической кислородно-азотно-аргоной среды для группы добровольцев в целом.

ГЛАВА 4

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выявленные общие и частные закономерности динамики показателей ЭЭГ добровольцев в экспериментах, моделирующих характерные для профессиональной среды специалистов авиакосмического и морского профиля воздействия, позволили решить поставленные задачи и достичь цели, заявленной в работе. Общие закономерности проявлялись в интегративных функциях головного мозга – во взаимоотношениях подкорковых структур и коры больших полушарий, что отражалось в вариантах индивидуально-типологических ЭЭГ-паттернов добровольцев при действии факторов различной природы и интенсивности. Установленная взаимосвязь согласуется с теорией функциональных систем, с позиций которой в организации психической деятельности объединение взаимодействующих нейронов головного мозга в организованную констелляцию принадлежит мотивациям. Лимбическая система, таламус, ретикулярная формация ствола мозга, а также лобные отделы больших полушарий, активируясь восходящими путями гипоталамических ядер, обеспечивают выстраивание биологической мотивации [Судаков К.В., 2010].

Частные закономерности заключались в зависимости динамики ЭЭГ-показателей добровольцев от параметров (интенсивности и времени) действующих факторов в каждом конкретном блоке исследований.

4.1 Зависимость церебральных реакций специалистов подводных систем от индивидуально-типологических особенностей их ЭЭГ-паттернов при нарушении распорядка труда и отдыха в изоляции

Результатом нарушения режима распорядка труда и отдыха в течение 21-суточной изоляции в гермообъекте явилось увеличение медленноволновой части спектра ЭЭГ при одновременном уменьшении ОЗМ Альфа-диапазона.

Изменения ОЗМ Дельта-диапазона не были тождественными для группы добровольцев относительно фона: в 1 экспериментальной серии выявили увеличение этого показателя на 12,4% (рисунок 3.1), а по окончании 2 серии в ОЗМ Дельта-диапазона изменений не наблюдали. Только в остром периоде (1 часть) этой экспериментальной серии обнаружили возрастание этого параметра на 21,6 % (рисунок 3.4).

Вероятно, это объясняется наличием неучтенного фактора, приведшего к различию сдвигов ОЗМ Дельта-диапазона в обеих экспериментальных сериях, например, гипоксии, которая приводит к увеличению дельта-активности [Gurvitch A.M., Ginsburg D.A., 1977;

Борукаева И.Х., Абазова З.Х., Кумыков В.К., 2014]. Несмотря на то, что искусственно создаваемая среда обитания в обеих экспериментальных сериях была одинаковой, следует учитывать, что индивидуальная переносимость гипоксии, особенно в сложных условиях, различна.

Кроме того, известно, что у здоровых лиц при закрытых глазах в состоянии дремоты усиливается активность лобной перемежающейся ритмической дельта-активности (frontal intermittent rhythmic delta activity – FIRDA), причем периодическое замедление (вспышки 1,5-2,5 Гц) может быть нормальным физиологическим вариантом ЭЭГ. Возможно, подобная ритмическая активность, присутствовала в 1 серии у отдельных добровольцев, работавших в ночных сменах, что внесло вклад в различие динамики ОЗМ Дельта-диапазона у добровольцев в двух экспериментальных сериях, что совпадает с данными других авторов. Было показано, что недосыпание увеличивает гиперсинхронную дельта-активность [Kim K.T., Roh Y.N., Cho N.H., Jeon J.C., 2021; Accolla E.A, Kaplan P.W., Maeder-Ingvar M. et al., 2011; Yasuda Y., Iinuma Y., Nobukawa S., Nishimura H., 2022]. Однако возможная связь индивидуальной переносимости и адаптации к гипоксии, а также индивидуальной FIRDA, с действующими в эксперименте факторами специально не изучалась.

Динамика ОЗМ Тета- и ОЗМ Альфа-диапазона сразу после выхода из изоляции в 1 и 2 экспериментальной серии была сходной. ОЗМ Тета-диапазона для группы добровольцев в целом по окончании 1 серии относительно фона возросло на 19% (рисунок 3.2), а 2 серии на 24 %, причем в острый период в этой серии показатель увеличивался на 40 % (рисунок 3.5). ОЗМ Альфа-диапазона снижался на 4,6% (рисунок 3.3) по окончании изоляции в 1 серии и на 7,4% во 2, а в острый период на 16,8 % (рисунок 3.6).

Поскольку в 2-ух экспериментальных сериях принимали участие добровольцы с организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном с хорошо выраженным альфа-ритмом и лица с десинхронным типом ЭЭГ-паттерна с резким уменьшением количества альфа-ритма и с отсутствием зональных различий, было выдвинуто предположение, что вклад в динамику амплитудно-частотных характеристик биопотенциалов головного мозга добровольцев этих двух ЭЭГ-паттернов различен. Напомним, что методически разница в постановке эксперимента заключалась в том, что во второй серии регистрация ЭЭГ проводилась не только до и после, но и в период изоляции. Все остальные условия проведения двух серий исследования совпадали по показателям среды обитания, режиму труда и отдыха, виду операторской деятельности, по уровню профессиональных навыков и по гендерному и возрастному составу участников. Для проверки этого предположения всех добровольцев разделили на 2 группы по типу паттерна: 19 специалистов подводных систем с организованным

ЭЭГ-паттерном (1 объединенная группа) и – 11 человек с десинхронным типом ЭЭГ-паттерна (2 объединенная группа).

Анализ данных ЭЭГ показал, что в 1 объединенной группе наблюдали статистически значимое увеличение ОЗМ Дельта- на 14,5 %; ОЗМ Тета-диапазона на 22,8 % и уменьшение ОЗМ Альфа-диапазона на 8,5% (рисунки 3.7-3.9) после изоляции относительно фона. Во 2 объединенной группе статистически значимые изменения ОЗМ основных ЭЭГ-диапазонов после выхода из изоляции относительно фона отсутствовали в связи с разнонаправленностью сдвигов показателей ЭЭГ у добровольцев этой группы.

Таким образом, совокупность изменений ЭЭГ-спектра добровольцев, обладающих организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном, наиболее отчетливо отражает результат воздействия внешних факторов на функциональное состояние головного мозга. Реципроктность изменений ОЗМ (увеличение) Дельта-, Тета- и (уменьшение) Альфа-диапазонов свидетельствует о тормозном влиянии ретикулярной формации ствола и таламических структур, создающих «ЭЭГ-образ формирующегося утомления» [Зенков Л.Р., 2013] у добровольцев.

Следует принять во внимание известные поведенческие корреляты тета-активности указывающие на отличающуюся от утомления причину увеличения ОЗМ Тета-диапазона. Так, тета-активность возрастает при ориентировочной реакции, эмоциональном возбуждении, при направленном внимании и сенсомоторной интеграции [Ekstrom A.D., Caplan J.B., Ho E. et al., 2005; Xu S., Akioma M., Yuan Z., 2021]. Запоминание и поиск хранящейся в памяти информации по одной из современных моделей памяти осуществляются на разных фазах тета-активности [Rizzuto D.S., Madsen J.R., Bromfield E.B. et al., 2006]. Кроме того, в информационных процессах памяти тета-ритм служит сигналом значимости информации: сведения, поступающие с тета-ритмом, сохраняются; а в его отсутствии либо вообще не кодируются, либо кодируются не в достаточной степени [Vertes R.P., Hoover W.B., Di Prisco G.V., 2004]. Итак, множественность физиологических коррелятов тета-ритма свидетельствует о его вовлеченности в формирование различных функциональных состояний ЦНС, начиная от тормозных церебральных процессов (монотония, утомление, сон) и заканчивая процессами значительного возбуждения (аффективные эмоции). Добровольцы были заняты в течение 3 недель профессиональным операторским трудом в условиях изоляции в гермообъекте. В связи с этим, изменения ОЗМ Тета-диапазона, с одной стороны, связаны со сложной когнитивной и эмоциональной нагрузкой, направленным вниманием и др.; с другой стороны, с состоянием сонливости, вызванным вахтовым режимом деятельности (4 часа – рабочая деятельность, 4 часа – бодрствование, 4 часа – сон, циклично на протяжении всего времени изоляции). Изменения

ОЗМ Тета-диапазона были наибольшими по сравнению с другими диапазонами ЭЭГ-спектра, что косвенным образом подтверждает полимодальность его динамики.

Увеличение ОЗМ Тета-диапазона было практически равнозначными в 1 и 2 экспериментальных сессиях и в 1 объединенной группе и составляло от 19% до 24%, во 2 объединенной группе, параметры этого показателя были разнонаправленными (у 7-ми специалистов подводных систем увеличились, у 4-х – уменьшались). Таким образом, у большинства добровольцев тета-активность возрастала, что свидетельствует о большей степени зависимости этого показателя от операторской нагрузки и условий пребывания, чем от индивидуально-типологических особенностей ЭЭГ-паттернов.

В данном исследовании у добровольцев 1 и 2 экспериментальных серий, а также в 1 объединенной группе наименьшие изменения (уменьшение) от 4,6% до 8,5% и были в ОЗМ Альфа-диапазона, что является подтверждением стабильности функций мозга, отражающихся в этом ЭЭГ-показателе. Установлено, что лица с организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном (с выраженным, доминирующим альфа-ритмом) обладают значительной устойчивостью к экстремальным воздействиям [Сороко С.И., Бекшаев С.С., Сидоров Ю.А., 1990; Сороко С.И., 1984; Сороко С.И., Сидоренко Г.В., 1993; Джунусова Г.С., Сатаева Н.У., Садыкова Г.С., 2018; Hirschfeld R.M., 1996; Бойко И.М., Мосягин И.Г., 2012; Горнов С.В., 2020]. Выраженный, доминирующий альфа-ритм отражает оптимальные корково-подкорковые взаимоотношения, при этом обеспечивающие устойчивость волновых компонентов ЭЭГ подкорковые структуры (ретикулярная формация ствола, передний и задний гипоталамус, ядра таламуса, хвостатое ядро), находятся в индифферентном (спокойном) состоянии [Святогор И.А., Моховикова И.А., 2010; Неробкова Л.Н., Авакян Г.Г., Воронина Т.А., Авакян Г.Н., 2020; Джунусова Г.С., Сатаева Н.У., Садыкова Г.С., 2018]. Как было показано в исследованиях Курясева, индивиды с альфа-ритмом, организованным во времени и пространстве, характеризуются большим запасом регуляторной стабильности и незначительными вегетативными сдвигами при функциональных нагрузках; а здоровые люди с нестабильным альфа-ритмом, при равной степени выраженности всех остальных ритмов (деорганизованная ЭЭГ), а также со сглаженной (десинхронной) ЭЭГ имеют сниженные регуляторные возможности и значительные вегетативные сдвиги при функциональных нагрузках. Механизмами формирования таких ЭЭГ-паттернов является либо раздражение, либо угнетение коры головного мозга со стороны ствола и других подкорковых структур [Куряев И.А., 2012].

Фактором, усиливающим устойчивость добровольцев к изменению чередования труда и отдыха в эксперименте, было следование ими подобному распорядку на протяжении 10–25 лет во время осуществления профессиональной деятельности. Можно утверждать, что у них формировалась, так называемая, долговременная адаптация (ДА). В процессе формирования

ДА происходит систематическая мобилизация функциональных ресурсов организма на основе длительного, постоянного или многократно повторяющегося действия на организм факторов среды; формируется новый уровень функционирования системы при тесной взаимосвязи регуляторных и исполнительных механизмов с возникновением новых связей между церебральными структурами [Панкова Н.Б., 2020; Карпов А.А., 2021; Джунусова Г.С., Сатаева Н.У., Садыкова Г.С., 2018].

Итак, основные изменения у большинства (26 из 30) добровольцев наблюдались для тета-активности, что указывало на зависимость этого показателя от операторской нагрузки и утомления, формировавшегося в результате постоянного недосыпания при нарушении условий сна-бодрствования.

Минимальные изменения альфа-активности отражали оптимальные корково-подкорковые взаимоотношения, когда обеспечивающие устойчивость этого волнового компонента ЭЭГ подкорковые структуры, находились в индифферентном состоянии, при этом у добровольцев с организованным во времени и пространстве альфа-ритмом, был характерен большой запас регуляторной устойчивости при функциональных нагрузках.

Однако это не объясняет наличие статистически значимых изменений всех изучаемых показателей ЭЭГ в 1-ой объединенной группе и полное их отсутствие во 2-ой, т.е. почему у лиц с наибольшей адаптивностью наблюдались реакции на экстремальные воздействия. Для объяснения этого факта стоит привлечь понятие реактивности – свойства организма давать тонкий дифференцированный ответ на действие раздражителей, который определяет количественные и качественные особенности ответной реакции. Реактивность может проявляться на уровне отдельных систем организма, в том числе и нервной системы, в: нормальной; повышенной с преобладанием процессов возбуждения; пониженной с преобладанием процессов торможения и извращенной форме [под ред. В.В. Новицкого, Е.Д. Гольдберга, О.И. Уразовой, 2013]. Процессы возбуждения и торможения тесно связаны между собой, протекают одновременно и являются различными проявлениями единого процесса в головном мозге в ответ на физиологическое или физическое воздействие. В электроэнцефалографии соотношение процессов возбуждения и торможения отображается в виде биоэлектрических потенциалов головного мозга и определяется термином «реактивность» [Поворинский А.Г., Заболотных В.А., 1987; Галимова П.М., Рабаданова А.И., Гасанова Х.Н., 2016]. Обобщая вышесказанное, типы ЭЭГ-паттерна можно в определенной степени соотнести с формами реактивности. Нормальная форма реактивности нервной системы характеризуется оптимальным соотношением процессов торможения и возбуждения, а для ЭЭГ I типа характерны сбалансированные корково-подкорковые взаимоотношения, в связи с чем, ЭЭГ-

реакции добровольцев, обладающих таким ЭЭГ паттерном, можно считать адекватными и наиболее отчетливо отражающими результат воздействия факторов на ЦНС.

4.2 Динамика биопотенциалов добровольцев с ЭЭГ-паттерном, организованным во времени и пространстве, при действии увеличивающегося по силе фактора – искусственной гравитации на центрифуге короткого радиуса

Все участвовавшие в данном экспериментальном блоке добровольцы обладали организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном. Как было указано выше, лица с таким типом паттерна отличаются хорошей адаптивной способностью и оптимальной реактивностью на воздействие экстремальных факторов. Особенности организованного во времени и пространстве ЭЭГ-паттерна в малой выборке позволили проследить динамику биопотенциалов головного мозга при действии по силе фактора - искусственной гравитации.

Поскольку большинство (5 из 6) добровольцев впервые подвергалось действию искусственной гравитации на центрифуге, то их ЭЭГ-показатели на 1 вращении могут отражать ориентировочную реакцию. Известно, что при появлении нового стимула(-ов), а так же при изменении интенсивности и соотношении силы/длительности воздействия возникает, так называемая «ориентировочная реакция», при этом новизну стимула организм оценивает в виде биологической значимости. Высоко значимый стимул, имея небольшую физическую интенсивность, может вызывать мощную ориентировочную реакцию. В данном экспериментальном блоке для добровольцев стимул был и значимым, и интенсивным (сильным). Угнетения альфа-ритма и появление высокочастотной активности на ЭЭГ расценивается исследователя, как начало ориентировочной реакции, что соответствует генерализованную активацию коры больших полушарий мозга. Кроме того, при ориентировочной реакции происходит нарастание и тета-ритма [под ред. Е.Н. Соколова, 1964; Соколов Е.Н., 2003; Аракелов Г.Г., 2010]. Следовательно, ориентировочная реакция изменяет весь ЭЭГ-спектр, и, таким образом, маскирует эффект действующего фактора. Подобные сдвиги в ритмических компонентах ЭЭГ отмечались в настоящем исследовании, а отсутствие на 1 вращении ЦКР явных закономерностей в изменении изучаемых диапазонов ОЗМ ЭЭГ может служить доказательством наличия ориентировочной реакции в группе добровольцев.

В отношении 2 и 3 режима вращений ЦКР были выявлены определенные сходные последовательности. Динамика ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.22) носила колебательный характер с небольшим сдвигом фазы и увеличенной амплитудой на 2-ом вращении; динамика ОЗМ Тета-диапазона (рисунок 3.23) описывалась схожей параболической кривой, при этом максимальное снижение ОЗМ наблюдается на 3-ем вращении; ОЗМ Альфа-диапазона имела

четкую противофазную динамику (рисунок 3.24); динамика ОЗМ Бета-диапазона (рисунок 3.25) имела вид апериодической синусоидальной кривой. Несмотря на графическое сходство динамики ОЗМ Бета-диапазона 2-го и 3-го вращений их различие по данному показателю (таблица 3.5) наибольшее, по сравнению с другими диапазонами ЭЭГ-спектра (таблицы 3.2 - 3.4).

Было выдвинуто предположение, что отсутствие однозначных различий между ЭЭГ-реакциями на нарастание и уменьшение перегрузок при вращении ЦКР 2 и 3 обусловлено различным начальным функциональным состоянием добровольцев в группе перед этими вращениями (рисунки 3.22-3.25, таблицы 3.2-3.5). Известно, что в реакции организма на действие какого-либо фактора важным считается его исходный фоновый уровень (т.е. состояние вне деятельности, предшествующее деятельности), а эффект воздействия зависит не только от характеристик фактора, но и от исходного функционального состояния (фона) организма человека. Отказ от упрощенного подхода к прямой связи между стимулом и реакцией и появление дополнительного звена в цепи сигнал - ответ функциональных систем организма [Ильин Е.П., 2005; Фролов М.В., 1987; edited by G. R. J. Hockey, A. W. K. Gaillard, O. Вигор, 2003] является теоретической основой проблемы «функционального фона».

Анализ ОПД ОЗМ всех исследуемых диапазонов выявил, что только в ОЗМ Бета-диапазоне (рисунок 3.29, таблица 3.9) различия третьего вращения от второго выявлялись практически сразу после начала подъёма (в 11 из 13 экспериментальных срезов: $\& - p \leq 0,05$, $\&\& - p \leq 0,01$).

В настоящее время функциональная роль бета-активности еще недостаточно изучена. Описано множество поведенческих коррелятов бета-колебаний, но не установлено, как лежащая в их основе нейронная активность, определяет поведение [Engeland A.K., Fries P., 2010; Khanna P., Carmena J.M., 2017; Shin H., Law R., Tsutsui Sh. et al., 2017].

Возможной причиной нарастания ОЗМ Бета-диапазона наблюдаемого на 3-ем вращении ЦКР относительно 2 могла быть эмоциональная реакция, но при этом, по литературным данным [Uusberg A., Thiruchselvam R., Gross J.J., 2014; Angelopoulou A., Garcia-Rodriguez J. et al., 2019; Hou Y., Chen S., 2019; Tendler A., Wagner S., 2015; Maeda S., Yoshimura H., 2019], наблюдалось бы увеличение и мощность Тета-диапазона, чего не наблюдалось в нашем исследовании (рисунок 3.27, рисунок 3.29).

Известно, что классические наблюдения связывают бета-ритм с двигательными функциями, а недавние открытия показали, что колебания бета-диапазона возникают во время изометрического сокращения мышц [Baker S.N., Pinches E.M., Lemon R.N., 2003], а также коррелируют с сенсомоторной интеграцией, когда двигательная система перестраивается после предшествующего движения к последующему [Baker S.N., 2007]. Кроме того, выявлено, что

мышечное напряжение может более точно отражать повышенное возбуждение центральной нервной системы, чем другие периферические физиологические показатели [Hoehn-Saric R., Hazlett R.L., Pourmotabbed T., McLeod D.R., 1997]. Сравнение активности прямой мышцы и наружных косых мышц живота во время упражнений, выполняемых при вращении на ЦКР с нагрузкой в 1 g на индивидуальный центр масс, с аналогичными упражнениями в вертикальном положении тела показало, что активность прямых мышц живота была выше на ЦКР [Frett T., Lecheler L., Speer M. et al., 2022]. Ряд авторов показал, что активность икроножной мышцы, связана с бета-диапазоном мощности ЭЭГ и, следовательно, отражает возбуждение ЦНС [Hoehn-Saric R., Hazlett R.L., Pourmotabbed T., McLeod D.R., 1997].

Таким образом, полученные в настоящей работе результаты совпадают с данными исследований [Baker S.N., Pinches E.M., Lemon R.N., 2003; Baker S.N., 2007; Hoehn-Saric R., Hazlett R.L., Pourmotabbed T., McLeod D.R., 1997; Frett T., Lecheler L., Speer M. et al., 2022] функциональной роли бета-активности. Вследствие этого можно полагать, что значительное нарастание ОЗМ Бета-диапазона при максимальной нагрузке на 3 вращении ЦКР относительно 2 обусловлено наибольшим напряжением мышц живота и икроножных мышц. Поскольку добровольцы в данном экспериментальном блоке обладали только организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном, это позволило установить величину силы фактора (искусственной гравитации), при котором происходят значимые изменения в работе головного мозга.

Результаты, полученные в данной работе, дают основание на разработку метода по дозированию нагрузки искусственной гравитации по показателям ЭЭГ, аналогично существующему в настоящее время методу контроля/мониторинга для точной дозировки тренировки с искусственной гравитацией по вариабельности сердечного ритма, которая дает представление о нейровегетативной и сердечно-сосудистой регуляции [Zander V., Anken R., Pesquet T. et al., 2013].

4.3 Индивидуально-типологические различия ЭЭГ-паттернов обуславливают разнонаправленность ЭЭГ-реакций добровольцев на гипербарическую гипоксическую газовую среду

Состав малой группы этого экспериментального блока был разнородным по типу ЭЭГ-паттерна добровольцев (по два человека с - I, III и IV типом) [Жирмунская Е.А., 1996], и, следовательно, с нормальной, повышенной с преобладанием процессов возбуждения и извращенной формой реактивности [под ред. В.В. Новицкого, Е.Д. Гольдберга, О.И. Уразовой.,

2013]. Данный состав добровольцев не позволяет однозначно определить тип ЭЭГ-реакции на изменения в газовой среде.

В ЭЭГ-показателях добровольцев при нахождении их в гипоксической кислородно-азотно-аргоной атмосфере при имитации погружения на 2 м относительно уровня моря ни в одном из срезов эксперимента статистически значимых сдвигов не выявлено, также у них не обнаружено смены ЭЭГ-паттерна по сравнению с фоном. Количественный анализ ЭЭГ тех же добровольцев, находившихся в гипоксической кислородно-азотно-аргоной среде при имитации погружения на глубину также до 2 метров показал наличие тенденции ($p \leq 0,1$) возрастания ОЗМ Альфа-диапазона в 1-ой части эксперимента относительно фоновых значений на 22 %, что свидетельствовало о некоторой оптимизации функционального состояния центральной нервной системы [Жирмунская Е.А., 1996; Жирмунская Е.А., 1969; Поворинский А.Г., Заболотных В.А., 1987; Зенков Л.Р., 2013; Егорова И.С., 1973], что согласуется с полученными данными об отсутствии отчетливого влияния аргона на психофизиологические показатели и работоспособность человека в эксперименте с длительным пребыванием человека в гипоксической кислородно-азотно-аргоной среде [Павлов Н.Б., 2006]. Установлено, что потребление кислорода при выполнении физической нагрузки в гипоксических аргоносодержащих смесях больше на 6–8% по сравнению с гипоксическими кислородно-азотными смесями при нормальном барометрическом давлении. Поскольку физико-химические механизмы биологического действия аргона остаются не до конца выявленными, то говорить можно скорее о гипотезах [Селиванский Д.А., Дьяченко А.И., Воейков В. Л. и др., 2006], одна из которых состоит в том, что аргон усиливает скорость окислительных реакций и, воздействуя на водную основу биологических систем, усиливает диссоциацию воды, а при увеличении в биожидкостях растворенного аргона в несколько раз увеличивается и доля подобного кислорода. Эта гипотеза объясняет 2 эффекта аргона: увеличение потребления кислорода при дыхании человека в умеренно гипоксических смесях и увеличение выживаемости при острой гипоксии [Дьяченко А.И., Шулагин Ю.А., Павлов Б.Н., 2000; Селиванский Д.А., Дьяченко А.И., Воейков В. Л. и др., 2006].

Отсутствие статистически значимых однонаправленных изменений исследуемых ЭЭГ-показателей в описанных выше экспериментальных сериях объясняется значительными индивидуально-типологическими различиями добровольцев в составе малой выборки - по два человека с организованным во времени и пространстве, с десинхронным, с дезорганизованным ЭЭГ-паттерном.

Усиление комплекса действующих факторов (гипоксической кислородно-азотно-аргоной среды в геромообъекте) имитацией пребывания на 20-метровой глубине привело к увеличению однонаправленных количественных сдвигов в спектре ЭЭГ добровольцев (возрастанию ОЗМ

Дельта- и снижению Альфа-диапазона), что свидетельствовало о тормозном влиянии ствола на кору головного мозга и сдвигу функционального состояния ЦНС добровольцев в сторону торможения [Солдатов П.Э., Дадашева О.А., Гурьева Т.С. и др., 2015].

Для сравнения динамики параметров ЭЭГ в 3-х сериях данного эксперимента провели нивелирование различий начального функционального состояния ЦНС добровольцев с расчетом ОПД ОЗМ основных ЭЭГ диапазонов. Из рисунков 3.34-3.36 видно, что воздействие искусственной гипоксической кислородно-азотной и гипоксической кислородно-азотно-аргоной сред на ЦНС (по ОЗМ всех ЭЭГ диапазонов) не различается для малой выборки с различными индивидуально-типологическими особенностями, что совпадает с результатами, изложенными в 3.3.1 и 3.3.2.

После завершения серий эксперимента с имитацией погружения на 20 метров в гипоксической кислородно-азотно-аргоной атмосфере показал, что ОПД ОЗМ Дельта-диапазона (рисунок 3.34) больше относительно серии с гипоксической кислородно-азотной средой (гипоксия) на 40,6 %, ОПД ОЗМ Тета-диапазона (рисунок 3.35) на 24,1 %; ОПД ОЗМ Альфа-диапазона (рисунок 3.36) меньше на 18,1 %, и на 7,3 % относительно гипоксической кислородно-азотно-аргоной среды (гипоксия с аргоном) на для группы добровольцев.

Как было описано выше гипоксия, которая приводит к увеличению дельта-активности [Gurvitch A.M., Ginsburg D.A., 1977; Борукаева И.Х., Абазова З.Х., Кумыков В.К., 2014], а увеличение ОЗМ Дельта- и Тета-диапазонов при уменьшении Альфа-диапазона практически свидетельствует о тормозном влиянии ретикулярной формации ствола и таламических структур на кору головного мозга [Зенков Л.Р., 2013]. Значительные различия в ОЗМ Альфа-диапазона 3 серии с от 1 и от 2 демонстрирует, что у здоровых людей с неустойчивым альфа-ритмом, при равной степени выраженности всех остальных ритмов (дезорганизованная ЭЭГ- 2 добровольца), а также при уплощенной ЭЭГ (десинхронной - 2 добровольца), адаптивные возможности снижены; и ОЗМ Альфа-диапазона 2 добровольцев с организованной ЭЭГ не компенсирует этих различий [Курысев И.А., 2012].

Поскольку состав малой группы этого экспериментального блока был разнородным по типу ЭЭГ-паттерна и по типу формы реактивности (нормальная, повышенная с преобладанием процессов возбуждения и извращенная) ЦНС добровольцев, что привело к разнонаправленным ЭЭГ-реакциям в измененной газовой среде. Однако дополнение фактором имитации погружения на глубину до 20 м, усилило действие гипоксической кислородно-азотно-аргоной среды и привело к выраженным однонаправленным сдвигам ЭЭГ-параметров испытуемых.

4.4 Закономерности ЭЭГ-реакций на негативные воздействия профессиональной среды специалистов авиакосмического и морского профиля

В каждом блоке исследований в ответ на влияние факторов различной природы, интенсивности и длительности наблюдалась специфичная динамика исследуемых ЭЭГ-диапазонов у добровольцев малой группы:

✓ в первом экспериментальном блоке полученные данные показали наличие статистически значимых изменений в комплексе ЭЭГ-параметров у специалистов подводных систем с организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном и отсутствие таковых у добровольцев с десинхронным типом при действии негативного фактора профессиональной среды (нарушении распорядка труда и отдыха в 21-суточной изоляции в гермообъекте);

✓ во втором экспериментальном блоке с участием добровольцев с организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном полученные статистически значимых изменений в комплексе ЭЭГ-параметров позволили установить величину силы фактора (искусственной гравитации), при котором происходят значимые изменения в работе головного мозга;

✓ в третьем экспериментальном блоке, в котором участвовали добровольцы с разнородными типами ЭЭГ-паттернов, выраженные статистически значимые однонаправленные изменения ЭЭГ-параметров были получены при усилении эффекта гипоксической кислородно-азотно-аргоной среды фактором имитации погружения на 20-метровую глубину в гермообъекте.

На основании частных закономерностей, выявленных в трех экспериментальных блоках, были определены общие принципы взаимодействия иерархически системно организованных корково-подкорковых структур головного мозга, которое отражалось в типах ЭЭГ-паттернов и формах реактивности ЦНС добровольцев. При сбалансированных корково-подкорковых взаимоотношениях ЭЭГ соответствует организованному во времени и пространстве паттерну, а уравновешенные при этом процессы торможения и возбуждения тождественны нормальной форме реактивности нервной системы, что выражается в оптимальной реакции ЦНС добровольцев с таким типом ЭЭГ-паттерна на действия экстремальных факторов в моделируемых условиях среды.

Системно организованные корково-подкорковые структуры головного мозга, отражающиеся в типах ЭЭГ-паттернов, вполне согласуются с теорией функциональных систем П.К. Анохина в развитии К.В. Судакова. В ЦНС ожидаемый итог действий представлен акцептором результата действия, который представляет широко разветвленную по различным структурам коры и подкорковых образований головного мозга мозаичную архитектуру. На структурах акцептора результата действия на основе генетических и приобретенных

механизмов памяти происходит постоянное построение информационных моделей действительности, включающих образы потребности, подкрепляющих воздействий и соответствующие программы поведения [Судаков К.В., 2009].

На основании полученных результатов была предложена структура формирования функциональной системы церебрального ответа на действие моделируемых экстремальных факторов профессиональной среды с учетом индивидуально-типологических нейрофизиологических особенностей (рисунок 4.1). Задачей функциональной системы, согласно П.К. Анохину в развитии К.В. Судакова [Судаков К.В., 2009], считается достижение полезного для организма результата, который не может быть отделен от нервных процессов. Первым ключевым механизмом функциональной системы является *афферентный синтез*, в котором выделяют четыре компонента: *ситуационную* и *пусковую* афферентацию, доминирующую мотивацию, а также память. *Обстановочная афферентация* включала не только стационарную обстановку (НИС ДО-11, ЦКР, ГВК-250), но и ряд афферентных воздействий (обстановочная монотония изоляции, операторский труд, гиподинамия и пр.), что создавало в каждом отдельном случае своеобразную предпусковую интеграцию возбуждения. *Пусковая афферентация* (возбуждение) возникала при воздействии конкретных раздражителей (вахтовый режим труда и отдыха, перегрузка, искусственная гипербарическая гипоксическая газовая среда).

Перед принятием решения (Р) осуществляется конвергенция всех четырех компонентов афферентного синтеза и оценка возможных результатов деятельности определенной функциональной системы. Афферентный синтез и принятие решения (Р) предопределяют построение программы действий (ПД), то есть формируют специфический набор эфферентных импульсов (синяя стрелка), обеспечивающих периферийное действие (Д). Система иерархического объединения структур головного мозга, возникающая при реализации этих блоков поведенческого акта, в значительной мере определяется сформированным влиянием подкорковых структур на кору головного мозга, определяющим тип ЭЭГ-паттерна (фиолетовый цвет).

Одновременно с ПД возникает еще один важный механизм функциональной системы - акцептор результата действия (АРД). Информация о результате действия (РД) поступает к мозгу от исполнительных органов посредством обратной афферентации (зеленая стрелка). Совпадение/несовпадение РД с образцом АРД (завершение действие и запуск цикла до получения ожидаемых по программе результатов) в данном исследовании определяли динамикой показателей биопотенциалов головного мозга регистрируемых методом ЭЭГ.

Обстановочная афферентация

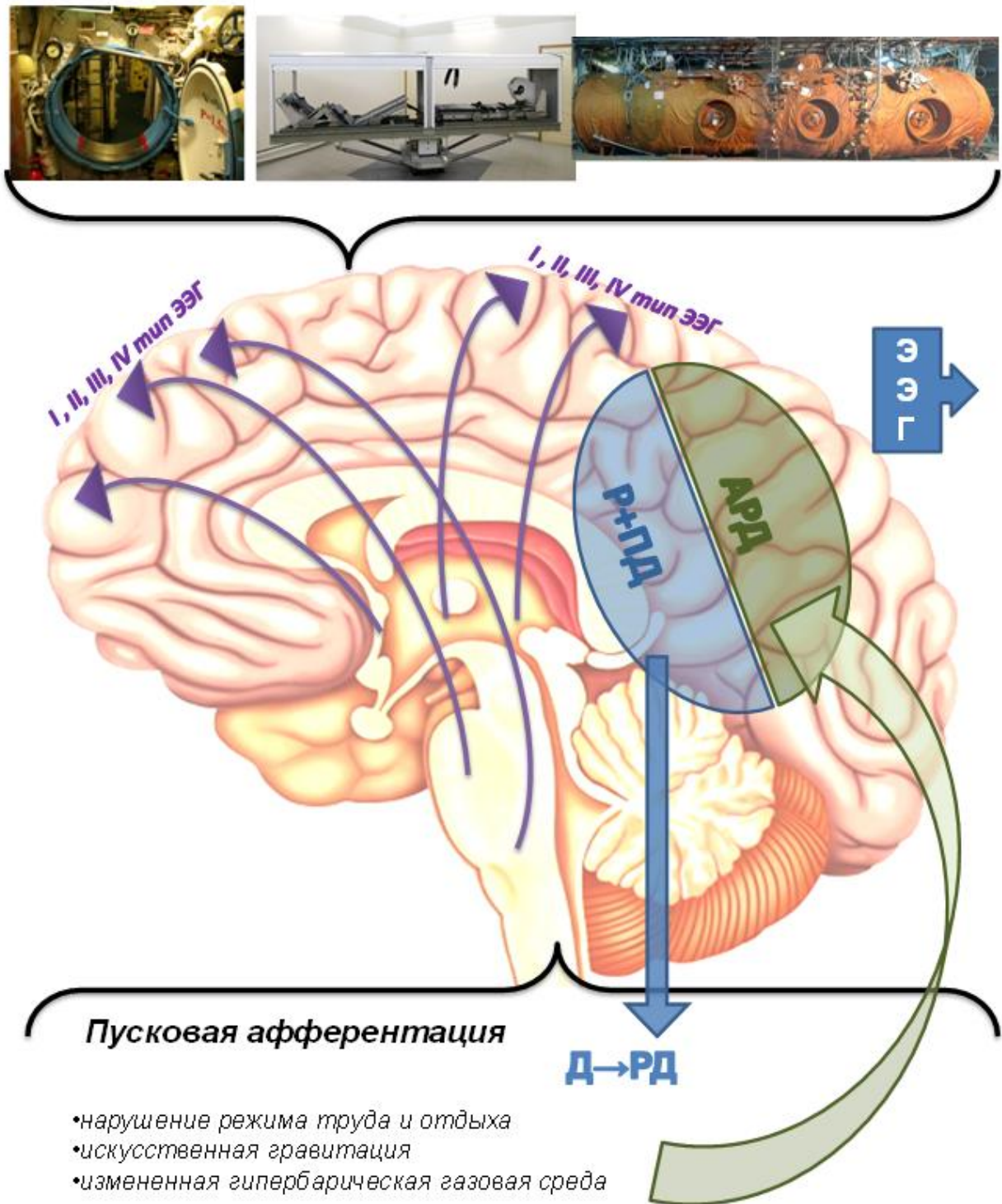


Рисунок 4.1 – Формирование функциональной системы церебрального ответа (согласно теории П.К. Анохина в развитии К.В. Судакова) на действие моделируемых экстремальных факторов профессиональной среды с учетом индивидуально-типологических нейрофизиологических особенностей (фиолетовый цвет). Звенья афферентного синтеза отмечены черным цветом; решение (Р), программа действия (ПД), эфферентное возбуждение (синие стрелки), действие (Д) – синим, результат действия (РД) – синим, акцептор результата действия (АРД) – зеленым, обратная афферентация – зеленым

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование направлено на изучение роли индивидуально-типологических ЭЭГ-паттернов в вариативности динамики показателей биопотенциалов головного мозга человека в экспериментах с моделированием действия экстремальных факторов профессиональной среды специалистов авиационного, космического и морского профиля.

Актуальность работы обусловлена зависимостью успешности профессиональной деятельности от присущих ей особенностей: специфической обстановки, условий труда, наличия необходимых профессиональных знаний и практического опыта специалиста, а также от его психофизиологического состояния [Маркова Т.Л., 2016]. Профессиональная деятельность специалистов осуществляется при постоянном действии негативных факторов среды, при этом ее успешность существенно зависит от личностных качеств специалистов, а также свойств их нервной системы [Душков Б.А., Королев А.В., Смирнов Б.А., 2005; Одинцова М.А., Самаль Е.В., 2017]. Необходимые для поддержания жизнедеятельности организма в этих условиях функции нервной системы, такие как, обработка сенсорной информации, принятие решений, двигательная активность, поведение и др., осуществляются головным мозгом – главным органом ЦНС человека. Оценка функций головного мозга непосредственно во время деятельности осуществляется методом электроэнцефалографии, основанным на регистрации электрических потенциалов мозга.

Для выявления степени влияния индивидуально-типологических ЭЭГ-паттернов на динамику показателей биопотенциалов головного мозга человека были проведены 3 экспериментальных блока, направленных на изучение динамики амлитудно-частотных ЭЭГ-показателей: при нарушении циркадианных ритмов труда и отдыха в 21-суточной изоляции; при искусственной микрогравитации (действие перегрузок центрифуги короткого радиуса в направлении «голова-таз» (+Gz)); в краткосрочной изоляции с измененной газовой средой обитания. В процессе исследований было зарегистрировано 237 ЭЭГ записей (общей продолжительностью 25 часов 57 минут) у 56 добровольцев-мужчин.

Зависимость динамики ЭЭГ-показателей добровольцев от параметров (интенсивности и времени) действующих факторов позволила обнаружить частные закономерности в каждом конкретном блоке исследований: в первом экспериментальном блоке (при нарушении распорядка труда и отдыха в 21-суточной изоляции в гермообъекте), показали, что статистически значимые изменения комплекса ЭЭГ-параметров определяются индивидуально-типологическими свойствами организованного во времени и пространстве ЭЭГ-паттерна с хорошо выраженным альфа-ритмом. Участие добровольцев с организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном во втором экспериментальном блоке позволило установить

величину силы фактора (искусственной гравитации), при котором происходят значимые изменения в работе головного мозга. В третьем экспериментальном блоке, в котором участвовали добровольцы с разнородными типами ЭЭГ-паттернов, выраженные статистически значимые однонаправленные изменения ЭЭГ-параметров были получены при усилении эффекта гипоксической кислородно-азотно-аргоной среды фактором имитации погружения на 20-метровую глубину в гермообъекте.

Частные закономерности, выявленные в трех экспериментальных блоках, позволили определить общие принципы взаимодействия иерархически системно организованных корково-подкорковых структур головного мозга, которое отражалось в типах ЭЭГ-паттернов и формах реактивности ЦНС добровольцев. При сбалансированных корково-подкорковых взаимоотношениях ЭЭГ соответствует организованному во времени и пространстве паттерну, а уравновешенные при этом процессы торможения и возбуждения тождественны нормальной форме реактивности нервной системы, что выражается в оптимальной реакции ЦНС добровольцев с таким типом ЭЭГ-паттерна на действия экстремальных факторов в моделируемых условиях среды.

На основании полученных результатов была предложена концепция формирования функциональной системы церебрального ответа (согласно теории П.К. Анохина в развитии К.В. Судакова) на действие моделируемых экстремальных факторов профессиональной среды с учетом индивидуально-типологических нейрофизиологических особенностей. В модельных экспериментах рассматривались такие компоненты афферентного синтеза, как обстановочная и пусковая афферентация, где обстановочная включала не только стационарную обстановку (НИС ДО-11, ЦКР, ГВК-250), но и ряд афферентных воздействий (обстановочная монотония изоляции, операторский труд, гиподинамия и пр.), а пусковая афферентация возникала при воздействии конкретных раздражителей (вахтовый режим труда и отдыха, перегрузка, искусственная гипербарическая гипоксическая газовая среда). Система иерархического объединения структур головного мозга, возникавшая при реализации принятия решений, построения программы действий и формирования эфферентных импульсов, обеспечивавших периферийное действие, в значительной мере определялось сформированным влиянием подкорковых структур на кору головного мозга. Совпадение/несовпадение результата действия с образцом акцептора результата действия (завершение действие и запуск цикла до получения ожидаемых по программе результатов) в данном исследовании определяли динамикой регистрируемых методом ЭЭГ показателей биопотенциалов головного мозга.

Практическая значимость работы заключается в определении индивидуально-типологических различий ЭЭГ-паттернов для адекватного обнаружения тех свойств воздействующего фактора и/или комплекса факторов на работу головного мозга, которая

оценивалась с помощью количественных параметров ЭЭГ. Полученные в данном исследовании результаты позволят проводить отбор участников малых экспериментальных групп, поскольку для понимания эффектов и механизмов действия факторов различной природы, интенсивности и продолжительности, наиболее предпочтительной является выборка добровольцев с организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном с хорошо выраженным альфа-ритмом. На основании литературных и собственных данных по исследованию роли индивидуально-типологических ЭЭГ-паттернов в динамике показателей биопотенциалов головного мозга человека при действии экстремальных факторов предложен алгоритм оценки перехода из оптимального функционального состояния, как в сторону активации и гиперактивации коры головного мозга с гипермобилизацией и постепенным расходом функциональных резервов, так и в сторону торможения со снижением уровня функциональных резервов специалистов, с учетом типа их ЭЭГ-паттерна (акт внедрения прилагается). Данный алгоритм применяется в испытаниях и экспериментах в наземных условиях.

ВЫВОДЫ

1. В модельных условиях нарушения распорядка режима труда и отдыха во время краткосрочной изоляции в гермообъекте динамика ЭЭГ-показателей добровольцев зависит от индивидуально-типологических свойств их ЭЭГ-паттерна, при этом наибольший вклад в эти изменения вносят ЭЭГ-паттерны с хорошо выраженным альфа-ритмом согласно увеличению ОЗМ Дельта-диапазона на 14,5 %, ОЗМ Тета- на 22,8 %; и уменьшению ОЗМ Альфа-диапазона на 8,5 % относительно фона.

2. В группе добровольцев с организованным во времени и пространстве ЭЭГ-паттерном воздействие максимальной перегрузки 2,92 G на ЦКР в направлении «голова-таз» (+Gz) вызывает наибольшие изменения параметров биопотенциалов головного мозга по показателю ОПД ОЗМ Бета-диапазона до 320% (на 3 площадке 3 вращения).

3. В группе добровольцев с различными индивидуально-типологическими особенностями ЭЭГ-паттерна однонаправленная динамика количественных показателей биопотенциалов головного мозга выявлена при введении фактора имитации погружения на глубину 20 метров в гипоксической кислородно-азотно-аргоной атмосфере на основании увеличения ОПД ОЗМ Дельта- на 40,6 %; ОПД ОЗМ Тета- на 24,1 % и уменьшения ОПД ОЗМ Альфа-диапазона на 18,1 % по сравнению с аналогичными показателями в гипоксической кислородно-азотной среде, а также при снижении ОПД ОЗМ Альфа-диапазона на 7,3 % по сравнению с подобными параметром в гипоксической кислородно-азотно-аргоной среде.

4. Степень влияния индивидуально-типологических ЭЭГ-паттернов на динамику показателей биопотенциалов головного мозга человека, особенно в малых выборках, проявляется в зависимости от природы действующего фактора и его количественных характеристик, например, интенсивности и длительности.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АРД – акцептор результата действия

АРПЭ – антропоморфный робот-помощник экипажа

ГВК-250 – глубоководный водолазный комплекс, позволяющий проводить эксперименты до глубины 250 метров водяного столба

ГНЦ РФ – ИМБП РАН - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки государственный научный центр российской федерации институт медико-биологических проблем российской академии наук

Д – действие

ДА – долговременная адаптация

ДКП – длительный космический полет

ИИ – искусственный интеллект

КА – космический аппарат

КГР – кожно-гальваническая реакция

КК – космический корабль

КП – космический полет

МКС – международная космическая станция

НИС – научно-исследовательский стенд

ОЗМ – относительное значение мощности

ОПД – относительный показатель динамики

ПД – программа действия

ПО – программное обеспечение

Р – решение

РД – результат действия

РС МКС – российский сегмент международной космической станции

РТС – робототехническая система

СХЯ – супрахиазматическое ядро гипоталамуса

ФГУП НИИ ПММ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-Исследовательский Институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства

ФС – функциональное состояние

ЦКР – центрифуга короткого радиуса

ЦНС – центральная нервная система

ЦУП – центр управления полетами

ЭКГ – электрокардиография

ЭМГ – электромиография

ЭОГ – электроокулография

ЭЭГ – электроэнцефалограмма

AR – augmented reality – дополненная реальность

FIRDA – frontal intermitten trhythmic delta activity – лобная перемежающаяся ритмическая дельта активность

G – гравитационная постоянная

VR – virtual reality – виртуальная реальность

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Экстремальный фактор – (лимитирующий) природный или техногенный фактор, сила воздействия которого на человека превышает его физиологические возможности или адаптационные резервы организма

ЭЭГ-паттерн (тип, характер) – это целостная картина биоэлектрической активности по всем исследуемым областям мозга, отражающая особенности распределения различных компонентов ЭЭГ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Александров, В. В.** Эргономика в системе проектирования и испытаний вертолетов и тренажеров «Ми». Том 3 : технологии интеллектуальной поддержки экипажей вертолетов / В. В. Александров, В. С. Кулабухов, С. В. Кулешов [и др.]. – Москва : Когито-Центр, 2015. – 168 с. – ISBN 978-5-89353-449-8. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/51981.html> (дата обращения: 27.08.2023).
2. **Апчел, В. Я.** Стресс и стрессустойчивость человека / Апчел В. Я., Цыган В. Н. – Санкт-Петербург: ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» МО РФ, 1999. – 85 с. – УДК 612.821: 612.766.1: 612.017.2 – Текст : непосредственный.
3. **Аракелов, Г. Г.** Роль изучения простых систем в создании Е.Н. Соколовым модели концептуальной рефлекторной дуги / Г. Г. Аракелов. – Текст : непосредственный // ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 14. ПСИХОЛОГИЯ. – 2010. – № 4. – С. 57-62.
4. **Архипенко, И.В.** Патологические электроэнцефалографические симптомы и синдромы / И. В. Архипенко, С. А. Гуляев, С. Е. Гуляева. – Текст : непосредственный // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2013. – № 4. – С.16-21.
5. **Баевский, Р. М.** Оценка функционального состояния и типа регуляции системы кровообращения в условиях космического полёта по данным анализа вариабельности сердечного ритма / Р. М. Баевский, И. И. Фунтова, А. Г. Черникова. – Текст : непосредственный // Научно-практическая конференция «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечнососудистой системы». – Москва: ГКГ МВД РФ, 2005. – С. 310-318. – ISBN – нет.
6. **Балухто, А. Н.** Искусственный интеллект в космической технике: состояние, перспективы развития / А. Н. Балухто, А. А. Романов. – Текст : непосредственный // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2019. – Т. 6. – В. 1. – С. 65–75.
7. **Боготова, Р. И.** Физические факторы среды обитания Международной космической станции. Международная космическая станция, Российский сегмент. Том 1. Медицинское обеспечение экипажей МКС / Боготова Р. И., Кутина И. В., Тятых И. В. – Воронеж: ООО «Научная книга», 2011. – С. 268-298. – ISBN – 978-5-902119-14-2, 978-5-902119-16-6. – Текст : непосредственный.
8. **Бойко, И. М.** Психофизиологическая безопасность полетов на Европейском Севере России: монография / И. М. Бойко, И. Г. Мосягин. – Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета, 2012. – 202 с. – ISBN 978-5-91702-092-1. – Текст : непосредственный.
9. **Бондаренко, В. А.** Характеристики радиационных условий среды обитания на МКС в период 24-го цикла солнечной активности/ В. А. Бондаренко, В. Г. Митрикас, В. В. Цетлин. –

Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2019. – Т. 53. – № 5. – С. 17-21.

10. **Борукаева, И. Х.** Влияние кратковременной гипоксии на биоэлектрическую активность головного мозга детей, подростков и юношей / И. Х. Борукаева, З. Х. Абазова, В. К. Кумыков. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 4 (часть 3). – С. 466-471.

11. **Бочаров, И. В.** Влияние стресса на психологические характеристики деятельности летчика/ И. В. Бочаров, В. В. Стрелец, Н. А. Тукайнов. – Текст : непосредственный // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – Т. 3-1 (42). – С.168-172.

12. **Бочкаревым, В. К.** Раздел I. Теоретические основы пограничной психиатрии. Электроэнцефалографические исследования при пограничных состояниях / В. К.Бочкаревым, С. В. Панюшкиной / Ю. А. Александровский Пограничные психические расстройства. – 3-е издание, 2000 г. – С. 69-76; – ISBN нет. – Текст : электронный // Сайт : MedBookAide – путеводитель в мире медицинской литературы. – URL: <https://medbookaide.ru/books/fold1002/book2008/p15.php#head12> (дата обращения: 01.08.2023).

13. **Бубеев, Ю. А.** Итоги космического эксперимента «Пилот-Т» для моделирования взаимодействия в системе «человек – робот» на лунной поверхности / Ю. А. Бубеев, В. М. Усов, С. Ф. Сергеев [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2019. – Т. 53. – № 7. – С.65-75.

14. **Бубеев, Ю. А.** Космический эксперимент «Пилот-Т» для оценки надежности работы космонавта / Ю. А. Бубеев, Т. И. Котровская, Д. В. Счастливцева. – Текст : электронный // ГНЦ РФ-ИМБП РАН, 2016. – URL: <http://www.imbp.ru/WebPages/win1251/Science/articlies/2016/Pilot-T.pdf>.

15. **Бубеев, Ю.А.** Коррекция функционального состояния летчиков палубной авиации с помощью курса ингаляций терапевтических доз ксенона в условиях дальнего морского похода / Ю. А. Бубеев, А. С. Кальманов, Т. И. Котровская. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2011. – Т. 45. – № 4. – С. 10-15.

16. **Виль-Вильямс, И. Ф.** Влияние на организм человека искусственной гравитации, создаваемой с помощью центрифуги. Положительные и отрицательные эффекты /// И. Ф. Виль-Вильямс, А. Р. Котовская. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2003. – Т. 37. – № 2. – С. 11–16.

17. **Власов, П. Н.** Российская система подготовки космонавтов: прошлое, современность и перспективы развития / П. Н. Власов, М. М. Харламов, А. А. Курицын [и др.]. – Текст : непосредственный // Идеи и новации. – 2018. – Т. 6. – № 3. – С. 82-86.

18. **Галимова, П. М.** Изучение биоэлектрической активности головного мозга человека при компьютерной аддикции / П. М. Галимова, А. И. Рабаданова, Х. Н. Гасанова. – Текст : электронный // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 3. – URL: <https://s.science-education.ru/pdf/2016/3/24554.pdf> (дата обращения: 03.05.2023).

19. **Гандер, Д. В.** Методологические и теоретические предпосылки психологических исследований летного труда на современном этапе развития авиации / Д. В. Гандер, А. А. Ворона, В. А. Пономаренко, М. С. Алексеенко. – Текст : непосредственный // Психология и Психотехника. – 2016. – № 11. – С. 906-912.

20. **Костенко, Е. В.** Десинхроноз как один из важнейших факторов возникновения и развития цереброваскулярных заболеваний / Е. В. Костенко, Т. М. Маневич, Н. А. Разумов. – Текст : непосредственный // Лечебное дело. – 2013. – №2. – С.104-116.

21. **Дворников, М. В.** Новые технологии повышения безопасности полетов / М. В. Дворников. – Текст : непосредственный // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. – 2006. – № 4 (37). – С. 24-31.

22. Глава 6. Реактивность и резистентность организма, их роль в патологии. Патофизиология: учебник: в 2т. / под ред. В.В. Новицкого, Е.Д. Гольдберга, О.И. Уразовой. – 4-е изд., перераб. и доп. – м.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – Т. 1. – С. 308-324. – ISBN нет. – URL: <https://studylib.ru/doc/2192058/patofiziologiya.-tom-1> (дата обращения: 10.05.2023). – Текст : электронный.

23. **Рабинович, Б. А.** Безопасность человека при ускорениях. (Биомеханический анализ) / Б. А. Рабинович. – Москва : Книга и Бизнес, 2007. – С. 53-106. – ISBN 978-5-212-01018-4. – URL: <https://gaara.ru/upload/iblock/0fa/0fa124b58c504baf2a98f7548b8cdba7.pdf> (дата обращения 10.10.2023). – Текст : электронный.

24. **Глебова, Т. М.** Сравнительный анализ переносимости перегрузок российскими космонавтами на этапе возвращения с орбиты на землю после полетов различной продолжительности / Т. М. Глебова, М. И. Колотева. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2018. – Т. 52. – № 6. – С. 26-32.

25. **Гнездицкий, В. В.** Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга) / В. В. Гнездицкий. – Москва : МЕДпресс-информ, 2004. – 624 с. – ISBN 5-8327-0058-9. – Текст : непосредственный.

26. **Годилов-Годлевский, В. А.** Проблемные вопросы медицинского сопровождения и врачебно-летной экспертизы при актуальных заболеваниях сердечно-сосудистой системы у лиц летного состава / В. А. Годилов-Годлевский, Ю. И. Воронков, Д. А. Аникеев. – Текст :

непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2020. – Т. 54. – № 1. – С. 16-22.

27. **Гора, Е. П.** Экология человека : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 020803 Биоэкология и направлению 020200 Биология / Е. П. Гора. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Дрофа, 2007. – 540 с. – ISBN 978-5-358-00773-4. – Текст : непосредственный.

28. **Гордиенко, К. В.** Детальный анализ данных центральной остеоденситометрии космонавтов участников программ "МИР" и МКС / К. В. Гордиенко, В. Е. Новиков, Е. А. Сервули. [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2018. – Т. 52. – № 6. – С. 33-36.

29. **Горнов, С. В.** Медико-психологическая реабилитация лётчиков после воздействия боевого стресса: 14.03.08 – авиационная, космическая и морская медицина; 14.03.11 – восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Горнов Сергей Валерьевич; Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации. – Санкт-Петербург, 2020. – 45 с. – Место защиты: Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации. – Текст : непосредственный.

30. **ГОСТР ИСО 5479-2002.** Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. Дата введения 2002-07-01. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 30 с. – Текст : непосредственный.

31. **Гудвин, Д.** Исследование в психологии : Методы и планирование : [Перевод] / Джеймс Гудвин. – 3-е изд. – Санкт-Петербург. и др. : Питер : Питер принт, 2004. – 557 с. – ISBN 5947232901. – Текст : непосредственный.

32. **Гущин, В. И.** Методологические подходы к контент-анализу общения космического экипажа / В. И. Гущин, А. К. Юсупова, Д. М. Швед [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2016. – Т. 50. – № 3. – С. 55-64.

33. **Гущин, В. И.** Применение контент-анализа для исследования общения космонавтов со специалистами ЦУП при различном уровне полетной нагрузки / В. И. Гущин, Н. С. Суполкина, Д. М. Швед [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2022. – Т. 56. – № 3. – С. 12-18.

34. **Гущин, В. И.** Российские психофизиологические эксперименты на борту МКС / В. И. Гущин, А. Г. Виноходова, Д. М. Швед [и др.]. – Текст : непосредственный // В сборнике: Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. Серия. "Труды Института психологии РАН" Москва. – 2021. – С. 189-210.

35. **Данилов, А. М.** Интерполяция, аппроксимация, оптимизация: анализ и синтез сложных систем: монография / А.М. Данилов, И.А. Гарькина. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 168 с. – ISBN 978-5-9282-1036-6. – Текст : непосредственный.

36. **Данилова, Н. Н.** Психофизиологическая диагностика функциональных состояний / Н. Н. Данилова. – Москва : Изд-во МГУ, 1992. – 191 с. – ISBN 5-211-02150-9. – Текст : непосредственный.

37. **Данилова, Н. Н.** Психофизиология : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению и специальностям психологии / Н. Н. Данилова. – Москва : Аспект Пресс, 2012. – 366с. – ISBN 978-5-7567-0220-0. – Текст : непосредственный.

38. **Данилова, Н. Н.** Физиология высшей нервной деятельности : Учеб. студентов вузов / Н. Н. Данилова, А. Л. Крылова. – 4. изд. - Ростов на Дону : Феникс, 2002. – 478 с. – ISBN 5-222-00726-X. – Текст : непосредственный.

39. **Дешевая, Е. А.** Микробиологический, климатический и акустический факторы внутренней среды российского сегмента международной космической станции: связь с деструктивными процессами материала гермокорпуса / Е. А. Дешевая, В. С. Беляев, В. Б. Бычков [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2019. – Т. 53. – № 6. – С. 77-85.

40. **Джунусова, Г. С.** Прогнозная оценка адаптивных возможностей человека с учетом индивидуально-типологических особенностей центральной нервной системы / Г. С. Джунусова, Н. У. Сатаева, Г. С. Садыкова. – Текст : непосредственный // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 12-2. – С. 235-239.

41. **Дик, О. Е.** Механизмы изменения динамической сложности паттернов физиологических сигналов / О. Е. Дик, А. Д. Ноздрачев. – Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербургского университета, сор., 2019. – 197 с. – ISBN 978-5-288-05932-2. – Текст : непосредственный.

42. **Додонов, А. Г.** Влияние гравитационной терапии на функциональную антигравитационную систему человека / А. Г. Додонов, А. Г. Сонис, А. В. Яшков. – Текст : электронный // По материалам XIX Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и технологий». – Белгород, 2016. – С. 21-25. – URL: https://apni.ru/media/Sb_k-10-5.pdf (дата обращения: 03.10.2023).

43. **Дудоров, Е. А.** Эргономическое сопровождение разработки антропоморфных робототехнических систем космического назначения / Е. А. Дудоров, И. Г. Сохин, А. А. Богданов, Б. Г. Колбасин. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2021. – № 1. – С. 16-26.

44. **Душков, Б. А.** Психология труда, профессиональной, информационной и организационной деятельности: словарь : учебное пособие для студентов гуманитарных специальностей высших учебных заведений / [авт.-сост.:] Б. А. Душков, А. В. Королев, Б. А. Смирнов. – 3-е изд., доп. и перераб. – Москва : Академический Проект : Фонд "Мир", 2005. – 846 с. – ISBN 5-8291-0506-3. – Текст : непосредственный.

45. **Дьяченко, А. И.** Влияние физнагрузки на газообмен у человека при дыхании гипоксическими смесями, содержащими аргон / А. И. Дьяченко, Ю. А. Шулагин, Б. Н. Павлов. – Текст : непосредственный // Физиология мышечной деятельности : Тезисы докладов Международной конференции. – Москва : Физкультура, образование и наука, 2000. – С. 57–58.

46. **Егорова, И. С.** Электроэнцефалография / И. С. Егорова. – Москва : Медицина, 1973. – 296 с. – ISBN нет. – Текст : непосредственный.

47. **Жирмунская, Е. А.** Атлас классификации ЭЭГ / Е. А. Жирмунская. – Москва, 1996. – 259 с. – ISBN нет. – Текст : непосредственный.

48. **Жирмунская, Е. А.** Клиническая электроэнцефалография. Обзор литературы и перспективы использования метода / Е. А. Жирмунская. – Москва : МЭЙБИ, 1991. – 118 с. – ISBN нет. – Текст : непосредственный.

49. **Жирмунская, Е. А.** Некоторые количественные характеристики различных типов ЭЭГ у человека / Е. А. Жирмунская. – Текст : непосредственный // Журнал невропатологии и психиатрии. – 1969. – № 7. – С. 984.

50. **Жирмунская, Е. А.** Системы описания и классификация электроэнцефалограмм человека / Е. А. Жирмунская, В. С. Лосев. – Москва : Наука, 1984. – 84с. – ISBN 978-5-458-38957-0. – Текст : непосредственный.

51. **Жирмунская, Е.А.** Понятие типа в классификации электроэнцефалограмм / Е. А. Жирмунская, В. С. Лосев. – Текст : непосредственный // Физиология человека. – 1980. – № 6. – С. 1039-1047.

52. **Зароченцев, К. Д.** Экспериментальная психология : учебник / К. Д. Зароченцев, А. И. Худяков. – Москва : Проспект, 2004 (ОАО Ярослав. полигр. комб.). – 208 с. – ISBN 5-98032-770-3. – Текст : непосредственный.

53. **Зенков, Л. Р.** Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей / Л. Р. Зенков. – 6-е изд. – Москва : МЕДпресс-информ, 2013. – 355 с. – ISBN 978-5-98322-989-1. – Текст : непосредственный.

54. **Зенков, Л. Р.** Клиническая эпилептология (с элементами нейрофизиологии) : руководство для врачей / Л. Р. Зенков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Медицинское информационное агентство (МИА), 2010. – 405 с. – ISBN 978-5-8948-1820-7. – Текст : непосредственный.

55. **Иванов, А. О.** Возможности длительного пребывания человека в аргонсодержащих газовых средах, снижающих пожароопасность гермообъектов / А. О. Иванов, В. А. Петров, М. С. Бочарников, Э. Н. Безкишский. – Текст : непосредственный // Экология человека. – 2017. – № 1. – С. 3–8.

56. **Иванов, А. О.** Особенности изменений метаболизма человека при длительной герметизации в аргонсодержащей гипоксической газовой среде / А. О. Иванов, В. А. Петров, Э. Н. Безкишский и др. – Текст : непосредственный // Морская медицина. – 2018. – Т. 4. – № 2. – С. 7-14.

57. **Иванов, А. О.** Оценка отдаленных последствий длительного непрерывного пребывания человека в аргонсодержащей гипоксической газовой среде / А. О. Иванов, В. А. Петров, Э. Н. Безкишский и др. – Текст : непосредственный // Экология человека. – 2017. – № 6. – С. 9–13.

58. **Ильин, Е. П.** Функциональные (базовые активационные) состояния / Е. П. Ильин // Ильин, Е. П. Психофизиология состояний человека. – М. [и др.] : ПИТЕР, 2005 (АООТ Тип. Правда 1906). – С 54-97. – ISBN 5-469-00446-5 (в пер.). – Текст : непосредственный.

59. **Илюхина, В. А.** Психофизиология функциональных состояний и познавательной деятельности здорового и больного человека / В. А. Илюхина; Российская акад. наук, Ин-т мозга человека им. акад. Н. П. Бехтеревой. – Санкт-Петербург : Изд-во Н-Л, 2010. – 367 с. – ISBN 978-5-94869-089-6. – Текст : непосредственный.

60. **Истомина, О. А.** Социально-психологические особенности морских экипажей в условиях длительных рейсов / О. А. Истомина. – Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2007. – № 12. – С. 41-43.

61. **Калери, А. Ю.** Методология лётно-испытательной деятельности космонавтов при создании пилотируемого транспортного корабля / А. Ю. Калери, О. Н. Кукин, М. В. Серов. – Текст : непосредственный // Космическая техника и технологии. – 2017. – № 2(17). – С. 90-98.

62. **Кальманов, А. С.** Комплексная реабилитация операторов подводных технических систем после моделирования операторской деятельности / А. С. Кальманов, В. В. Булавин, Ю. Р. Ханкевич [и др.]. – Текст : непосредственный // Военно-медицинский журнал. – 2016. – № 3. – Т. 337. – С. 55-63.

63. **Карпов, А. А.** Адаптация организма человека к физическим нагрузкам / А. А. Карпов. – Текст : непосредственный // Наука-2020. – 2021. – № 3 (48). – С. 102-104.

64. **Карташов, Д. А.** Дозы космической радиации в антропоморфном фантоме космического эксперимента "МАТРЕШКА-Р" и в скафандре "ОРЛАН-М" при внекорабельной деятельности / Д. А. Карташов, В. М. Петров, А. В. Коломенский [и др.]. – Текст :

непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2010. – Т. 44. – № 2. – С. 3-8.

65. **Коптев, Д. С.** Основные направления разработки и создания интегрированных бортовых систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов, включая системы контроля физиологических параметров здоровья пилота / Д. С. Коптев, И. Г. Бабанин, И. Е. Мухин. – Текст : непосредственный // Успехи современной радиоэлектроники. – 2019. – № 2. – С. 44-53.

66. **Корнилова, Л. Н.** Ориентация в пространстве, вестибулярная функция и зрительное слежение в условиях измененной гравитационной среды / Л. Н. Корнилова. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2020. – Т. 54. – № 6. – С. 50-57.

67. **Король, А.** Корабельный устав ВМФ. Глава 9. Обеспечение живучести корабля / А. Король. – Опубликовано: 28.06.2006. – URL: <https://podlodka.info/documents/55-ship-charter-of-navy/502-ensuring-the-survivability-of-the-ship.html> (дата обращения: 17.07.2023). – Текст : электронный.

68. **Коряк, Ю. А.** Влияние продолжительного космического полета на изокINETический концентрический и эксцентрический суставной момент разных мышц и концентрическую работоспособность мышц-разгибателей бедра / Ю. А. Коряк. – Текст : непосредственный // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 10 (часть 4) – С. 674-687.

69. **Котляр, Д. Л.** Физиологическая оценка и оптимизация функционального состояния организма и военно-профессиональной адаптации летчиков вертолетов морской авиации : 03.00.13 – физиология : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Котляр Дмитрий Леонидович; Саратовский государственный медицинский университет. – Саратов, 2009. – 25 с. – Место защиты: Саратовский государственный медицинский университет. – Текст : непосредственный.

70. **Котовская, А. Р.** Особенности адаптации и дезадаптации сердечно-сосудистой системы человека в условиях космического полёта / А.Р. Котовская, Г.А. Фомина. – Текст : непосредственный // Физиология человека. – 2010. – Т. 36. – № 2. – С. 78-86.

71. **Котовская, А. Р.** Переносимость перегрузок российским космонавтом и американским астронавтом на участке спуска космического корабля "Союз" с орбиты на землю в 340-суточном космическом полете на международной космической станции / А. Р. Котовская, М. И. Колотева, Т. М. Глебова. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2018. – Т. 52. – № 5. – С. 13-18.

72. **Котовская, А. Р.** Переносимость человеком перегрузок в космических полётах и искусственная гравитация / А. Р. Котовская. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2017. – Т. 51. – № 5. – С. 5 – 21.

73. **Кропотов, Ю. Д.** Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия / Ю. Д. Кропотов ; Перевод с англ. под ред. В.А. Пономарева. – Донецк : Издатель Заславский А. Ю., 2010. – С. 137-173. – ISBN 978-617-7001-39-2. – Текст : непосредственный.

74. **Кулаичев, А. П.** Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 020200 "Биология" и специальности 020205 "Физиология" / А. П. Кулаичев. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Форум : Инфра-М, 2007. – 639 с. – ISBN 978-5-91134-148-0. – Текст : непосредственный.

75. **Курицын, А. А.** Методы оценки тренированности космонавтов при проведении подготовки экипажей Международной космической станции / А. А. Курицын, В. И. Ярополов, А. А. Ковинский [и др.]. – Текст : непосредственный // Пилотируемые полеты в космос. – 2019. – № 2(31). – С. 44-62.

76. **Куряев, И. А.** Возможности использования ЭЭГ в изучении адаптационных процессов человека / И. А. Куряев. – Текст : непосредственный // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 5. – С. 40–43.

77. **Кутина, И. В.** Энергетические параметры шумового воздействия в обитаемых отсеках Международной космической станции / И. В. Кутина, А. Н. Агуреев– Текст : непосредственный // В книге: Пилотируемые полеты в космос. Материалы XIII Международной научно-практической конференции. – Звездный городок : ФГБУ НИИ Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, 2019. – С. 158-159.

78. **Леонова, А. Б.** Функциональные состояния человека в трудовой деятельности : Учеб. пособие / А. Б. Леонова, В. И. Медведев. – Москва : Изд-во МГУ, 1981. – 111 с. – ISBN нет. – Текст : непосредственный.

79. **Луговский, В. А.** Психология профессиональной деятельности: учебное пособие / В. А. Луговский, М. Н. Кох, С. В. Гумашанц. – Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет имс. И. Т. Трубилина". – 2-е изд. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – 116 с. – ISBN 978-5-00097-681-4. – Текст : непосредственный.

80. **Лукьянов, А. Н.** Сигналы состояния человека-оператора / А. Н. Лукьянов, М. В. Фролов ; АН СССР. Ин-т высш. нервн. деятельности и нейрофизиологии. – Москва : Наука, 1969. – 247 с. – ISBN нет. – Текст : непосредственный.

81. **Маркова, Т. Л.** Феномен «профессиональная деятельность»: концептуальный анализ / Т. Л. Маркова. – Текст : электронный // Мир науки. Социология, филология, культурология. – 2016. – №3. – URL: <https://sfk-mn.ru/PDF/04SFK316.pdf> (дата обращения: 03.10.2023).

82. **Маряшин, Ю. Е.** Функциональная подготовка летчиков высокоманевренных самолетов как неотъемлемая часть их боевой подготовки / Ю. Е. Маряшин, Л. С. Малащук, А. А. Писарев, И. В. Запечникова. – Текст : непосредственный // Военная мысль. – 2018. – №6. – С. 80-90;

83. **Меденков, А. А.** Технологии искусственного интеллекта в системе учета человеческого фактора / А. А. Меденков, Н. М. Козлова, Н. Л. Захарова [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая медицина, психология и эргономика. Периодическое научное издание. – 2020. – № 2. – С. 23-28.

84. Международная космическая станция. Российский сегмент. Космическая биология и медицина: Том 2. Медико-биологические исследования на российском сегменте МКС. / Под ред. А. И. Григорьев, И. Б. Ушаков, В. В. Богомолов [и др.]. – Воронеж : ОО «Научная книга», 2011. – 492 с. . – ISBN 978-5-902119-16-6. – Текст : непосредственный.

85. **Миклашевич, О. С.** Возможности электроэнцефалографии для оценки функционального состояния организма / О. С. Миклашевич, А. А. Ковальчук. – Текст : непосредственный // Сборник материалов республиканской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 85-летию со дня рождения профессора Борисюка Михаила Владимировича. – Гродно, Издательство: Гродненский государственный медицинский университет, 2022 – С. 174-176.

86. **Мисюк, Н. Н.** Диагностическая эффективность и основные принципы классификации электроэнцефалограмм / Н. Н. Мисюк – Текст : электронный // Медицинские новости. – 2006. – №1. – URL: <https://www.mednovosti.by/journal.aspx?article=421> (дата обращения: 15.07.2023).

87. **Митрикас, В. Г.** Оценка эффективных доз ионизирующей радиации экипажей международной космической станции методом расчетного моделирования / В. Г. Митрикас. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2015. – Т. 49. – № 3. – С. 5-11.

88. **Мишин, Ю. А.** Медицинское обеспечение кораблей Военно-морского флота Российской Федерации, осуществляющих патрулирование в Аденском заливе / Ю. А. Мишин, В. В. Плескач, Е. Н. Киселевич, М. В. Педченко. – Текст : непосредственный // Вестник Российской Военно-медицинской академии. – 2013. – 4(44). – С. 216-221

89. **Мясников, В. И.** Проблема психической астенизации в длительном космическом полёте / В. И. Мясников, С. И. Степанова, В. П. Сальницкий [и др.] ; под ред. В. И. Мясникова,

С. И. Степанова. – Москва : Слово, 2000. – 224 с. – ISBN 5-700228-16-9. – Текст : непосредственный.

90. **Найченко, М. В.** Эргономическое обеспечение создания человеко-машинных систем / М. В. Найченко. – Текст : непосредственный // Биотехносфера. – 2015. – № 1(37). – С.10-13.

91. **Наквасин, А. Ю.** Способ определения функционального состояния пилота и система для его осуществления / А. Ю. Наквасин, П. П. Сидоров, А. Д. Миронов [и др.]. – Текст : непосредственный / Патент RU 2 654 765 С1, 2017.

92. **Напалков, Д. А.** Аппаратные методы диагностики и коррекции функционального состояния стрелка : методические рекомендации / Д. А. Напалков, П. О. Ратманова, М. Б. Коликов ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Российский гос. ун-т физ. культуры, спорта и туризма. – Москва : МАКС Пресс, 2009. – 210 с. – ISBN 978-5-317-02974-6. – Текст : непосредственный.

93. Научно-исследовательском стенд НИС «ДО-11» на базе ФГБУ НИИ ПММ. URL: <http://niipmmfmbbaros.ru/institut/istoria> (дата обращения: 13.06.2018). – Текст : электронный.

94. **Неробкова, Л. Н.** Клиническая электроэнцефалография / Л. Н. Неробкова, С. Б. Ткаченко ; ГБОУ ДПО «Российская медицинская академия последипломного образования». – М.:ГБОУ ДПО РМАПО, 2016. – 213 с. – ISBN 978-5-7249-2574-7. – Текст : непосредственный.

95. **Неробкова, Л. Н.** Клиническая электроэнцефалография. Фармакоэлектроэнцефалография / Л. Н. Неробкова, Г. Г. Авакян, Т. А. Воронина, Г. Н. Авакян ; ФГБНУ "Научно-исследовательский институт фармакологии имени В. В. Закусова", ФГБОУ ВО "Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова" Минздрава России, ФГБОУ ДПО "Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования" Минздрава России. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2018. – 280 с. – ISBN 978-5-9704-4519-8. – Текст : непосредственный.

96. **Нечаев, А. П.** Исследование взаимосвязи напряженности режима труда и отдыха космонавтов и частоты ошибочных действий экипажа Международной космической станции / А. П. Нечаев, С. И. Степанова, С. В. Бронников [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2019. – Т. 53. – № 1. – С. 39-43.

97. **Ничипорук, И. А.** Взаимосвязь уровня тревожности с динамикой иммунного статуса у российских космонавтов - участников космического эксперимента "ИММУНО" / И. А. Ничипорук, М. П. Рыкова, Е. Н. Антропова [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2017. – Т. 51. – № 6. – С. 24-31.

98. **Новиков, В. Е.** Минеральная плотность костной ткани и молекулярно-генетические маркеры ее ремоделирования в крови у космонавтов после длительных полетов на

международной космической станции / В. Е. Новиков, М. П. Рыкова, Е. Н. Антропова [и др.]. – Текст : непосредственный // Физиология человека. – 2017. – Т. 43. – № 6. – С. 88-94.

99. **Новиков, В. С.** Физиологические основы жизнедеятельности человека в экстремальных условиях / В. С. Новиков, С. И. Сороко ; Федеральное агентство научных организаций, Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова Российской академии наук, Российская академия естественных наук, Секция междисциплинарных проблем науки и образования. – Санкт-Петербург : Политехника-Принт, 2017. – С. 13-17. – ISBN 978-5-906931-26-9. – Текст : непосредственный.

100. **Носков, В. Б.** Адаптация водно-электролитного метаболизма к условиям космического полета и при его имитации / В. Б. Носков. – Текст : непосредственный // Физиология человека. – 2013. – Т. 39. – № 5. – С. 119.

101. **Носков, В. Б.** Состав тела человека при длительном пребывании в невесомости / В. Б. Носков, И. А. Ничипорук, Г. Ю. Васильева, Ю. И. Смирнов. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2015. – Т. 49. – № 1. – С. 19-25.

102. **Одинцова, М. А.** Психология экстремальных ситуаций: учебник и практикум для среднего профессионального образования / М. А. Одинцова, Е. В. Самаль. – Москва: Издательство Юрайт, 2017. – С. 111-118. – ISBN 978-5-534-01915-5. – Текст : непосредственный.

103. **Онищенко, А. В.** Особенности психофизиологического состояния военных моряков в различных условиях учебно-боевой деятельности : 19.00.02 – психофизиология : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Онищенко Алексей Владимирович, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова. – Санкт-Петербург, 2008. – 18 с. – Место защиты: Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова. – Текст : непосредственный.

104. Ориентировочный рефлекс и проблемы рецепции в норме и патологии. Сборник статей / Акад. пед. наук РСФСР. Ин-т дефектологии ; под ред. Е. Н. Соколова. – Москва : Просвещение, 1964. – 264 с. – ISBN нет. – Текст : непосредственный.

105. **Орлов, О. И.** Центрифуга короткого радиуса как новое средство профилактики неблагоприятных эффектов невесомости и перспективные планы по разработке проблемы искусственной силы тяжести применительно к межпланетным полетам / О. И. Орлов, М. И. Колотева. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2017. – Т. 51. – № 7 (спецвыпуск). – С. 11–18.

106. **Павлов, Н. Б.** Физиологическое действие высоких парциальных давлений аргона на организм человека и животных : 14.00.32 – авиационная космическая и морская медицина, 03.00.13 – физиология : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата

медицинских наук / Павлов Николай Борисович, Институт медико-биологических проблем. – Москва, 2006. – 22 с. – Место защиты: Институт медико-биологических проблем. – Текст : непосредственный.

107. **Падалка, Г. И.** Основные итоги подготовки и деятельности экипажа МКС-31/32 при выполнении программы космического полета / Г. И. Падалка, С. Н. Ревин. – Текст : непосредственный // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 1(6). – С. 5-22.

108. **Панкова, Н. Б.** Механизмы срочной и долговременной адаптации / Н. Б. Панкова. – Текст : непосредственный // Патогенез. – 2020. – Т 18. – № 3. – С 77-86.

109. **Плахов, Н. Н.** Функциональное состояние организма моряков-операторов в плавании / Н. Н. Плахов, Л. Г. Буйнов, Л. П. Макарова. – Текст : непосредственный // Гигиена и санитария. – 2017. – Т 96. – № 3. – С. 261-264.

110. **Плотникова, М. В.** Психофизиология : учебное пособие / М. В. Плотникова ; Российская Федерация, Министерство образования и науки, ФГБОУ ВПО Тюменский государственный университет, Институт дистанционного образования, Институт психологии и педагогики. – Тюмень : Издательство Тюменского государственного университета, 2013. – 154 с. – ISBN 978-5-400-00897-9. – Текст : непосредственный.

111. **Поворинский, А. Г.** Пособие по клинической электроэнцефалографии / А. Г. Поворинский, В. А. Заболотных; АН СССР, Ин-т физиологии им. И. П. Павлова, Ленингр. ин-т усоверш. врачей-экспертов Минсбеса РСФСР. – Ленинград : Наука : Ленинградское отделение, 1987. – 62 с. – ISBN нет. – Текст : непосредственный.

112. **Пономарёв, С. А.** Состояние системы сигнальных образ-распознающих рецепторов моноцитов и гранулоцитов периферической крови космонавтов до и после длительных полётов на международную космическую станцию / С. А. Пономарёв, Т. А. Берендеева, С. А. Калинин, А. В. Муранова. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2016. – Т. 50. – № 5. – С. 18-23.

113. **Пономаренко, В. А.** Категория здоровья как теоретическая проблема в авиакосмической медицине / В. А. Пономаренко. – Текст : непосредственный // Космическая биология и авиакосмическая медицина. – 1990. – Т. 24. – № 3. – С. 17-23.

114. **Пономаренко, В. А.** Теоретические и экспериментальные данные о профилактике безопасности полета : методическое пособие / В. А. Пономаренко. – Москва : Cogito centre, 2014. – 103 с. – ISBN 978-5-89353-427-6. – Текст : непосредственный.

115. **Посохин, В. В.** К вопросу о влиянии неблагоприятных экологических и вредных производственных факторов на нервную систему / В. В. Посохин. – Текст : непосредственный // Экология человека. – 2005. – № 5. – С.32-37.

116. **Преображенский, В. Н.** Активационная терапия в системе медицинских реабилитаций лиц опасных профессий / В. Н. Преображенский, И. Б. Ушаков, К. В. Лядов. – Москва : Паритет Граф, 2000. – 320 с.; – ISBN 5-7852-0032-5. – Текст : непосредственный.

117. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». – 2017. – URL: https://cdto.wiki/%D0%A1%D1%81%D1%8B%D0%BB%D0%BA%D0%B8:%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0_%22%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%22_2017_%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0 (дата обращения: 24.06.2022). – Текст : электронный.

118. **Пухов, В. А.** Оценка функционального состояния организма военных специалистов: научно-практическое руководство / В. А. Пухов, И. В. Иванов, С. В. Чепур ; под ред. И. Б. Ушакова. – Санкт-Петербург : СпецЛит, 2016. – 311 с. – ISBN 978-5-299-00788-6. – Текст : непосредственный.

119. **Савельев, А. И.** Специфика военно-профессиональной деятельности курсантов - военных летчиков / А. И. Савельев. – Текст : непосредственный // Вестник Самарского университета. История, педагогика, филология. – 2019. – Т. 25. – № 4. – С. 73-78.

120. **Саленко, Ю. А.** Коррекция энтеросорбентами неблагоприятных изменений функционального состояния моряков в условиях длительного плавания / Ю. А. Саленко, В. Г. Барчуков. – Текст : непосредственный // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2015. – № 1. – С. 29-35.

121. **Салихова, Д. Ч.** К вопросу о понятии профессиональной деятельности как основном признаке оценочной деятельности / Д. Ч. Салихова. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы экономики и права. – 2015. – № 3. – С. 150-156.

122. **Салихова, Р. Н.** Психофизиологический анализ функционального состояния стрелка в период прицеливания : 03.03.01 – физиология; 03.03.06 – нейробиология: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Салихова Роксана Назыфовна, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. – Москва, 2013. – 24 с. – Место защиты: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. – Текст : непосредственный.

123. **Святогор, И. А.** Характер перестроек статистической структуры взаимодействия волновых компонентов электроэнцефалограммы в процессе биоуправления / И. А. Святогор, И. А. Моховикова. – Текст : непосредственный // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – Т. 9. – № 2. – С. 53–59.

124. **Селиванский, Д. А.** Физико-химический механизм биологического действия аргона / Д. А. Селиванский, А. И. Дьяченко, В. Л. Воейков [и др.]. – Текст : непосредственный // Альманах клинической медицины. – 2006. – № 12. – С. 158.

125. **Симонов, П. В.** Дистанционное наблюдение и экспертная оценка : Общение и коммуникация в задачах мед. контроля / Отв. ред. П. В. Симонов, В. И. Мясников. – Москва : Наука, 1982. – 109 с. – ISBN нет. – Текст : непосредственный.

126. **Синельников, С. Н.** Особенности распределения внимания у операторов авиационного профиля / С. Н. Синельников, О. С. Агаджанян, И. О. Натуральников. – Текст : непосредственный // Известия Российской Военно-медицинской Академии. – 2020. – Т. 2. – № S1-2. – С. 166-170.

127. **Соколов, Е. Н.** Восприятие и условный рефлекс : новый взгляд / Е. Н. Соколов ; науч. ред. Э. А. Голубева. – Москва : Психология : Московский психолого-социальный институт, 2003. – 287 с. – ISBN 5-93692-048-8. – Текст : непосредственный.

128. **Соколова, И. С.** Практическое применение искусственного интеллекта в условиях цифровой экономики / И. С. Соколова, А. А. Гальдин. – Текст : непосредственный // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2018. – Т. 26. – № 2. – С. 71–79.

129. **Солдатов, П. Э.** Оценка протекторных свойств аргона в условиях гипоксической гипоксии при подостром воздействии / П. Э. Солдатов, О. А. Дадашева, Т. С. Гурьева [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2015. – Т. 49. – № 2. – С. 23–31.

130. **Солдатов, П. Э.** Физиолого-гигиеническое обоснование новых методов обеспечения организма кислородом в экстремальных условиях : 14.00.32 – авиационная, космическая и морская медицина : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Солдатов Павел Эдуардович, Государственном научном центре Российской Федерации - Институте медико-биологических проблем Российской Академии Наук. – Москва, 2006. – 41 с. – Место защиты: Институт медико-биологических проблем. – Текст : непосредственный.

131. **Сороко, С. И.** Нейрофизиологические механизмы индивидуальной адаптации человека в Антарктиде / С. И. Сороко. – Ленинград : Наука, 1984. – 152 с. – ISBN нет. – Текст : непосредственный.

132. **Сороко, С. И.** Основные типы механизмов саморегуляции мозга / С. И. Сороко, С. С. Бекшаев, Ю. А. Сидоров. – Ленинград : Наука : Ленингр. отд-ние, 1990. – 204 с. – ISBN 5-02-025663-3. – Текст : непосредственный.

133. **Сороко, С. И.** ЭЭГ-маркеры нервно-психических нарушений и компьютерная диагностика / С. И. Сороко, Г. В. Сидоренко. – Бишкек : Илим, 1993. – 170 с. – ISBN 5-8355-0445-4. – Текст : непосредственный.

134. **Степанова, С. И.** Оценки режима труда и отдыха российских членов экипажей международной космической станции 40/41–53/54 по данным полетного мониторинга / Степанова С.И., Королёва М.В., Нестеров В.Ф. [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2019. – Т. 53. – № 2. – С.29-35.

135. **Столбов, А.** Оптимизация стратегии развития морской деятельности в Арктике / А. Столбов, Н. Порунов. – Текст : непосредственный // Морской сборник. – 2009. – № 1. – С.56-63.

136. **Стрелков, Ю. К.** Инженерная и профессиональная психология: Учебное пособие для вузов / Ю. К. Стрелков. – Москва : Высшая школа : Academia, 2001. – 358 с. – ISBN 5-7695-0651-2. – Текст : непосредственный.

137. **Суворов, Н. Б.** Адаптация центральной нервной системы человека к экологическим факторам работы / Н. Б. Суворов, В. Н. Цыган, Н. Г. Зуева. – Текст : непосредственный // Физиологический журнал имени И.М. Сеченова. – 1994. – Т. 80. – № 6. – С. 80-87.

138. **Судаков, К. В.** Информация в деятельности функциональных систем организма / К. В. Судаков. – Текст : непосредственный // Вестник Челябинского государственного университета. Серия Философия. Социология. Культурология. – 2009. – № 11 (149). – С. 35–46.

139. **Судаков, К. В.** Системные механизмы психической деятельности / К. В. Судаков. – Текст : непосредственный // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2010. – Т. 110. – № 2. – С. 4-14.

140. **Тавровская, Т. В.** Велоэргометрия. Практическое пособие для врачей / Т. В. Тавровская. – Санкт-Петербург : ИНКАРТ, 2007. – С. 66-70. – ISBN 5-93396-020-9. – Текст : непосредственный.

141. **Ткаченко, О. Н.** Физиологические показатели дремотного состояния при выполнении монотонной операторской деятельности : 03.03.01 – физиология : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Ткаченко Ольга Николаевна, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. – Москва, 2012. – 41 с. – Место защиты: Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. – Текст : непосредственный.

142. **Тягнерев, А. Т.** Проблема контроля функционального состояния и работоспособности плавсостава военно-морского флота в процессе профессиональной деятельности / А. Т. Тягнерев, Э. Н. Безкишский, О. В. Лобозова [и др.]. – Текст : непосредственный // Морская медицина. – 2019. – Т. 5. – № 4. – С. 74-83.

143. **Уйба, В. В.** Медико-биологические риски, связанные с выполнением дальних космических полетов / В. В. Уйба, И. Б. Ушаков, А. О. Сапецкий. – Текст : непосредственный // Медицина экстремальных ситуаций. – 2017. – Т. 59. – № 1. – С. 43-64.

144. **Унгурияну, Т. Н.** Краткие рекомендации по описанию, статистическому анализу и представлению данных в научных публикациях / Т. Н. Унгурияну, А. М. Грижобовский. – Текст : непосредственный // Экология человека. – 2011. – № 5. – С. 55-60.

145. **Ушаков, И. Б.** Неосознаваемые компоненты психофизиологических реакций участников эксперимента с 520-суточной изоляцией / И. Б. Ушаков, Ю. А. Бубеев, Т. И. Котровская [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2014. – Т. 48. – № 1. – С. 39-47.

146. **Ушаков, И. Б.** Основные результаты психофизиологических исследований в эксперименте «Марс-500» / И. Б. Ушаков, Б. В. Моруков, Ю. А. Бубеев. [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Российской академии наук. – 2014. – Т. 84. – № 3. – С. 18-27.

147. **Ушаков, И. Б.** Функциональная надежность и функциональные резервы летчика / И. Б. Ушаков, П. М. Шалимов. – Текст : непосредственный // Вестник РАМН. – 1996. – №7. – С. 26-31.

148. Физиологические механизмы развития экстремальных состояний: Материалы конференции 17-18 октября 1995 г., Санкт-Петербург // Ред.: Демченко И. Т. (отв. ред.) [и др.]. – Санкт-Петербург. : Наука : Санкт-Петербургское отделение, 1995. – 104 с. – ISBN 5-02-026045-2. – Текст : непосредственный.

149. **Фомина, Г. А.** Динамика сердечно-сосудистых изменений в различные периоды длительного пребывания человека в невесомости / Г. А. Фомина, А. Р. Котовская, Е. В. Темнова. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2009. – Т. 43. – № 3. – С. 11-16.

150. **Фролов, М. В.** Контроль функционального состояния человека-оператора / М. В. Фролов. – Москва : Наука, 1987. – 195 с. – ISBN нет. – Текст : непосредственный.

151. **Ханкевич, Ю. Р.** Оценка эффективности БОС-тренинга для коррекции функционального состояния подводников в период длительного плавания / Ю. Р. Ханкевич, И. А. Блощинский, А. С. Васильев, А. С. Кальманов. – Текст : непосредственный // Экология человека. – 2015. – № 10. – С. 3-8.

152. **Ханкевич, Ю. Р.** Оценка эффективности гипоксических тренировок в качестве психофизиологической подготовки подводников / Ю. Р. Ханкевич, К. В. Сапожников, С. А. Парфенов, А. В. Седов. – Текст : непосредственный // Морская медицина. – 2016. – Т. 2. – № 1. – С. 57-63.

153. **Хвощ, В. А.** Тактика подводных лодок / В. А. Хвощ. – Москва : Воениздат, 1989. – 262 с. – ISBN 5-203-00198-7. – Текст : непосредственный.
154. **Цыган, В. Н.** Функциональное состояние центральной нервной системы в условиях эколого-профессионального перенапряжения / В. Н. Цыган. – Текст : непосредственный // Труды Военно-медицинской академии имени С.М.Кирова. – 1994. – С. 101-107.
155. **Черный, С. В.** Психофизиологические предикторы успешности спортивной деятельности спортсменов-стрелков / С. В. Черный, В. С. Щепоткин, П. М. Волков. – Текст : непосредственный // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2019. – Т. 5 (71). – № 2. – С. 176–183.
156. **Чумаков, А. В.** Влияние военно-профессиональных факторов на здоровье специалистов военно-морского флота с учетом современного состояния и перспектив развития военно-морской терапии / А. В.Чумаков, Д. В. Черкашин. – Текст : непосредственный // Вестник Российской Военно-медицинской академии. – 2017. – Т. 36. – № 3. – С. 15-23.
157. **Шуванов, А. Д.** Кузница командных кадров военно-морского флота / А. Д. Шуванов. – Текст : непосредственный // Морской сборник. – 2014. – № 10 (2011). – С. 25-30.
158. Электроэнцефалография : руководство / М. В. Александров, Л. Б. Иванов, С. А. Лытаев [и др.] / под ред. М. В. Александрова. –3-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : СпецЛит, 2020. – 224 с. – ISBN 978-5-299-01038-1. – Текст : непосредственный.
159. **Юсупова, А. К.** Предварительные результаты космического эксперимента "КОНТЕНТ" / А. К. Юсупова, Д. М. Швед, В. И. Гущин [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2018. – Т. 52. – № 3. – С. 28-37.
160. **Ярков, А. М.** Физиологическое обоснование рациональной физической нагрузки как метода коррекции функционального состояния организма и работоспособности личного состава надводного корабля в условиях похода 14.03.08 авиационная, космическая и морская медицина – : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Ярков Андрей Михайлович; Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова. – Санкт-Петербург, 2013. – 21 с. – Место защиты: Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова. – Текст : непосредственный.
161. **Accolla, E. A.** Clinical correlates of frontal intermittent rhythmic delta activity (FIRDA) / E. A. Accolla, P. W. Kaplan, M. Maeder-Ingvar [et al.]. – Текст : непосредственный // Clin Neurophysiol. – 2011. – № 122 (1). – P. 27-31.
162. **Angelopoulou, A.** Brain-Inspired Intelligent Systems for Daily Assistance / A. Angelopoulou, J. Garcia-Rodriguez, E. Kapetanios [et al.]. – Текст : электронный // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2019. – V. 2019. – URL: <https://www.hindawi.com/journals/cin/2019/7597839/> (дата обращения: 12.03.2024).

163. Atlas and Classification of Electroencephalography / edited by O. Hans, M. D. Luders, N. Soheyl. – Philadelphia : W.B. Saunders, 2000. – 204 p. – ISBN 0-7216-6554-3. – Текст : непосредственный.

164. **Baker, S. N.** Oscillatory interactions between sensorimotor cortex and the periphery / S. N. Baker. – Текст : непосредственный // Current Opinion in Neurobiology. – 2007. – V. 17. – № 6. – P. 649–655.

165. **Baker, S. N.** Synchronization in monkey motor cortex during a precision grip task. II. effect of oscillatory activity on corticospinal output / S. N. Baker, E. M. Pinches, R. N. Lemon. – Текст : непосредственный // Journal of Neurophysiology. – 2003. – V. 89. – P. 1941–1953.

166. **Benjamini, Y.** The control of the false discovery rate in multiple testing under dependency / Y. Benjamini, D. Yekutieli – Текст : непосредственный // The Annals of Statistics. – 2001. V. 29. – No. 4. – P. 1165–1188

167. **Bock, O.** Cognitive demand of human sensorimotor performance during an extended space mission: a dual-task study / O. Bock, C. Weigelt, J. J. Bloomberg. – Текст : непосредственный // Aviation, Space, and Environmental Medicine. – 2010. – V. 81. – № 9. – P. 819–824.

168. **Brümmer, V.** Brain cortical activity is influenced by exercise mode and intensity / V. Brümmer, S. Schneider, T. Abel [et al.]. – Текст : непосредственный // Medicine, Science in Sports, Exercise. – 2011. – V. 43. – № 10. – P.1863-1872.

169. **Bychkov, A.** The current state and future trends of space nutrition from a perspective of astronauts' physiology / A. Bychkov, P. Reshetnikova, E. Bychkova [et al.]. – Текст : электронный // International Journal of Gastronomy and Food Science. – 2021. – V. 24. – № 100324. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100324> (дата обращения: 19.12.2022).

170. **Cebolla, A. M.** Cerebellar contribution to visuoattentional alpha rhythm: insights from weightlessness / A. M. Cebolla, M. Petieau, B. Dan [et al.]. – Текст : электронный // Scientific Reports. – 2016. – V. 6. – № 37824. – 10 p. – URL: <https://www.nature.com/articles/srep37824> (дата обращения: 17.07.2023).

171. **Cheron, G.** Effect of gravity on human spontaneous 10-Hz electroencephalographic oscillations during the arrestre action / G. Cheron, A. Leroy, C. De Saedeleer [et al.]. – Текст : непосредственный // Brain Research. – 2006. – V. 1121(1). – P. 104-116.

172. **Chu, H.** Optimized electroencephalogram and functional near-infrared spectroscopy-based mental workload detection method for practical applications / H. Chu, Y. Cao, J. Jiang [et al.]. – Текст : электронный // BioMedical Engineering OnLine. – 2022. – V. 21(1). – № 9. – URL: <https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12938-022-00980-1> (дата обращения: 04.02.2023).

173. **Deng, P. Y.** Detecting Fatigue Status of Pilots Based on Deep Learning Network Using EEG Signals / P. Y. Deng, X. Y. Qiu, Z. Tang [et al.]. – Текст : непосредственный // IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems. – 2021. – V.13. – I. 3. – P. 575 – 585.

174. **Dinatolo, M. F.** Monitoring the Impact of Spaceflight on the Human Brain. / M. F. Dinatolo, L. Y. Cohen. – Текст : электронный // Life. – 2022. – V. 12. – № 1060. – URL: <https://www.mdpi.com/2075-1729/12/7/1060> (дата обращения: 12.03.2024).

175. **Ekstrom, A. D.** Human hippocampal theta activity during virtual navigation / Ekstrom A.D., Caplan J.B., Ho E. [et al.]. – Текст : непосредственный // Hippocampus. – 2005. – V. 15. – P. 881–889.

176. **Engeland, A. K.** Beta-band oscillations—signaling the statusquo? / A. K. Engeland, P. Fries. – Текст : непосредственный // Current Opinion in Neurobiology. – 2010. – V. 20. – № 2. – P. 156–165.

177. **Fisher, R.** Immunological Changes During Space Travel: A Ground-Based Evaluation of the Impact of Neutron Dose Rate on Plasma Cytokine Levels in Human Whole Blood Cultures / R. Fisher, B. Baselet, R. Vermeesen [et al.]. – Текст : электронный // Frontiers in Physics. – 2020. – V. 8. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphy.2020.568124/full> (дата обращения: 19.12.2022).

178. **Fonte, C.** B-Cell Immunology in Space / C. Fonte, J.-P. Fripiat. // Stress Challenges and Immunity in Space. edited by A. Choukér. – Switzerland : Springer Nature Switzerland AG, 2020. – P. 277–286. – ISBN 978-3-030-16995-4. – Текст : непосредственный.

179. **Frett, T.** Comparison of trunk muscle exercises in supine position during short arm centrifugation with 1 g at centre of mass and upright in 1 g / T. Frett, L. Lecheler, M. Speer [et al.]. – Текст : электронный // Frontiers in Physiology. Sec. Environmental, Aviation and Space Physiology. – 2022. – V. 13. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2022.955312/full> (дата обращения: 19.12.2022).

180. **Gong, A.** Correlation Between Resting-state Electroencephalographic Characteristics and Shooting Performance / A. Gong, J. Liu, F. Li [et al.]. – Текст : непосредственный // Neuroscience. – 2017. – V. 366. – P. 172–183.;

181. **Gong, A.** Rifle Shooting Performance Correlates with Electroencephalogram Beta Rhythm Network Activity during Aiming. / A. Gong, J. Liu, C. Jiang, Y. Fu. – Текст : непосредственный // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2018. – V. 11. – P. 1–11.

182. **Gurvitch, A. M.** Types of Hypoxic and Posthypoxic Delta Activity in Animals and Man / A. M. Gurvitch, D. A. Ginsburg. – Текст : непосредственный // Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. – 1977. – V. 42. – № 3. – P. 297-308.

183. **Hendriksen, I. J.** The use of EEG in aircrew selection / I. J. Hendriksen, A. Elderson. – Текст : непосредственный // Aviation, Space, and Environmental Medicine. – 2001. – V. 72. – № 11. – P. 1025-1033

184. **Hirayama, J.** Physiological consequences of space flight, including abnormal bone metabolism, space radiation injury, and circadian clock dysregulation: Implications of melatonin use and regulation as a countermeasure / J. Hirayama, A. Hattori, A. Takahashi [et al.]. – Текст : электронный // Journal of pineal research. – 2022. – URL: <https://doi.org/10.1111/jpi.12834> (Дата обращения: 01.02.2023).

185. **Hirschfeld, R. M.** Panic disorders: diagnosis, epidemiology and clinical course / R. M. Hirschfeld. – Текст : непосредственный // Journal of Clinical Psychiatry. – 1996. – V. 57. – № 10. – P. 3-8.

186. **Hoehn-Saric, R.** Does muscle tension reflect arousal? Relationship between electromyographic and electroencephalographic recordings / R. Hoehn-Saric, R. L. Hazlett, T. Pourmotabbed, D. R. McLeod. – Текст : непосредственный // Psychiatry Research. – 1997. – V. 71. – № 1. – P. 49-55.

187. **Hosang, L.** Effects of exercise on electroencephalography-recorded neural oscillations: a systematic review / L. Hosang, E. Mouchlianitis, S. M. R. Guérin, C. I. Karageorghis. – Текст : электронный // International Review of Sport and Exercise Psychology. – 2022. – 55 p. – URL: <https://bura.brunel.ac.uk/bitstream/2438/25051/1/FullText.pdf> (дата обращения: 11.05. 2023).

188. **Hou, Y.** Distinguishing Different Emotions Evoked by Music via Electroencephalographic Signals / Y. Hou, S. Chen. – Текст : электронный // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2019. – V. 2019. – URL: <https://www.hindawi.com/journals/cin/2019/3191903/> (дата обращения: 12.03.2024).

189. Human Health and Performance Risks of Space Exploration Missions, Introduction iii-iv / edited by McPhee J.C., Charles J.B. – Houston, Texas : Lyndon B. Johnson Space Center, 2016. – 398 p. – URL: http://ston.jsc.nasa.gov/collections/trs/_techrep/- SP -2009-3405.pdf (дата обращения: 11.09.2021).

190. **Jasper, H. H.** The ten-twenty electrode system of the International Federation/ H. H. Jasper. – Текст : непосредственный // Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. – 1958. – V. 10. – P. 371-375.

191. **Johannes, B.** A tool to facilitate learning in a complex manual control task / B. Johannes, S. Bronnikov, Yu. Bubeev [et al.]. – Текст : непосредственный // International Journal of Applied Psychology. – 2017. – V. 7. – № 4. – P. 79-85.

192. **Johannes, B.** Assessing Cognitive Capacity by P3 during a Complex Manual Control Task / B. Johannes, Ju. A. Bubeev, T. I. Kotrovskaya [et al.]. – Текст : непосредственный // Journal of Psychophysiology. – 2021. – V. 35. – № 1. – P.43-50.
193. **Johannes, B.** Individual learning curves in manual control of six degrees of freedom / B. Johannes, S. Bronnikov, Y. Bubeev [et al.]. – Текст : непосредственный // International Journal of Applied Psychology. – 2019. – V. 9. – № 2. – P. 47-51.
194. **Johannes, B.** Operation and experimental tasks, performance and voice in space / B. Johannes, S. V. Bronnikov, Yu. A. Bubeev [et al.]. – Текст : непосредственный // Aerospace medicine and human performance. – 2019. – V. 90. – № 7. – P. 624-631.
195. **Johannes, B.** Operator's reliability during spacecraft docking training on board Mir and ISS / B. Johannes, S. V. Bronnikov, Yu. A. Bubeev [et al.]. – Текст : непосредственный // Aerospace medicine and human performance. – 2021. – V. 92. – № 7. – P. 541-549.
196. **Kashirina, D. N.** The molecular mechanisms driving physiological changes after long duration space flights revealed by quantitative analysis of human blood proteins / D. N. Kashirina, A. J. Percy, L. Kh. Pastushkova [et al.]. – Текст : непосредственный // BMC Medical Genomics. – 2019. – V. 12 (Supplement 2). – P. 97-105.
197. **Khanna, P.** Beta band oscillations in motor cortex reflect neural population signals that delay movement onset / P. Khanna, J. M. Carmena. – Текст : электронный // e Life. Research Article. Neuroscience. – 2017. – URL: <https://elifesciences.org/articles/24573> (дата обращения: 15.03.2023).
198. **Kim, K.T.** Clinical Correlates of Frontal Intermittent Rhythmic Delta Activity Without Structural Brain Lesion / K. T. Kim, Y. N. Roh, N. H. Cho, J. C. Jeon. – Текст : непосредственный // Clinical EEG and Neuroscience. – 2021. – V. 52. – № 1. – P. 69-73.
199. **Lackner, J. R.** Audiogravic and oculogravic illusions represent a unified spatial remapping / J. R. Lackner, P. DiZio. – Текст : непосредственный // Experimental Brain Research. – 2010. – V. 202. – № 2. – P. 513–518.
200. **Leroy, A.** Mu and alpha EEG rhythms during the arrest reaction in microgravity / A. Leroy, C. De Saedeleer, A. Bengoetxea [et al.]. – Текст : непосредственный // Microgravity Science and Technology. – 2007. – V. 19 (5). – P. 102-107.
201. **Maeda, S.** Yoshimura H. Enhancement of electroencephalogram activity in the theta-band range during unmatched olfactory-taste stimulation // S. Maeda, H. Yoshimura – Текст : непосредственный // The Journal of Physiological Sciences. – 2019. – V. 69. – P. 613–621.
202. **Mahutte, C. K.** Influence of rate of induction of hypoxia on the ventilatory response / C. K. Mahutte, A. C. Rebuck. – Текст : непосредственный // The Journal of physiology (Great Britain). – 1978. – V. 284. – P. 219-227.

203. **Mohanavelu, K.** Dynamic cognitive workload assessment for fighter pilots in simulated fighter aircraft environment using EEG / K. Mohanavelu, S. Poonguzhali, K. Adalarasu [et al.]. – Текст : электронный // Biomedical Signal Processing and Control. – 2020. – V. 61. – № 102018. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809420301749> (дата обращения: 12.03.2024).

204. Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields / edited by D. L. Schomer, F.H. Lopes da Silva. – 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 2011. – 1291 p. – ISBN 1451120265, 9781451120264. – Текст: непосредственный.

205. **Norbury, J. W.** Advances in space radiation physics and transport at NASA / J. W. Norbury, T. C. Slaba, S. Aghara [et al.]. – Текст : непосредственный // Life Sciences in Space Research. – 2019. – V. 22. – P. 98-124.

206. Operator functional state and impaired performance in complex work environments / edited by G. R. J. Hockey, A. W. K. Gaillard, O. Burov. – Amsterdam : IOSPress, 2003. – 379 p. – ISBN 4274906086. – Текст : непосредственный.

207. **Orlov, O. I.** Radiation factor in lunar missions / O. I. Orlov, M. I. Panasiuk, V. A. Shurshakov. – Текст : непосредственный // Human Physiology. – 2020. – V. 46. – № 7. – P. 709-721.

208. **Petit, G.** Local sleep-like events during wakefulness and their relationship to decreased alertness in astronauts on ISS / G. Petit, A. M. Cebolla, S. Fattinger [et al.]. – Текст : электронный // NPJ Microgravity. – 2019. – V. 5. – № 10. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41526-019-0069-0> (дата обращения: 17.07.2023).

209. **Piechowski, S.** Visual attention relates to operator performance in spacecraft docking training / S. Piechowski, B. Johannes, W. Pustowalow [et al.]. – Текст : непосредственный // Aerospace Medicine and Human Performance. – 2022. – V. 93. – № 6. – P. 480-486.

210. Psychology and human performance in Space programs : In 2 V. V. 2. Part 4: Russian Space Experiment "PILOT-T" / D. Schastlivtceva, T. Kotrovskaya, Y. Bubeev, A. Dudukin, A. Chekalina, B. Johannes / Edited by L. B. Landon, K. J. Slack, E. Salas. – New York : Taylor and Francis Group, LLC Boca Raton; CRC Press, 2020. – P. 293-298. – ISBN 9781138339880. – Текст : непосредственный.

211. **Pusil, S.** Effects of spaceflight on the EEG alpha power and functional connectivity / S. Pusil, J. Zegarra-Valdivia, P. Cuesta [et al.]. – Текст : электронный // Scientific Reports. – 2023. – V. 13. – № 9489. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-34744-1> (дата обращения: 12.03.2024).

212. **Rizzuto, D. S.** Human neocortical oscillations exhibit theta phase differences between encoding and retrieval / D. S. Rizzuto, J. R. Madsen, E. B. Bromfield [et al.]. – Текст : непосредственный // *NeuroImage*. – 2006. – V. 31. – P. 1352–1358.

213. **Ronca, V.** Neurophysiological Assessment of An Innovative Maritime Safety System in Terms of Ship Operators' Mental Workload, Stress, and Attention in the Full Mission Bridge Simulator / V. Ronca, E. Uflaz, O. Turan [et al.]. – Текст : электронный // *Brain Sciences*. – 2023. – V. 13. – № 1319. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3425/13/9/1319> (дата обращения: 12.03.2024).

214. **Schneider, S.** Changes in brain cortical activity measured by EEG are related to individual exercise preferences / S. Schneider, V. Brümmer, T. Abel [et al.]. – Текст : непосредственный // *Physiology & Behavior*. – 2009. – V. 98. – P. 447–452.

215. **Shapiro, S. S.** An analysis of variance test for normality (complete samples) / S. S. Shapiro, M. B. Wilk. – Текст : непосредственный // *Biometrika*. – 1965. – V. 52 – P. 591-611.

216. **Shapiro, S. S.** An approximate analysis of variance test for normality / S. S. Shapiro, R. S. Francia. – Текст : непосредственный // *Journal of the American Statistical Association*. – 1972. – V. 337. – P. 215-216.

217. **Shenkman, B. S.** Molecular mechanisms of muscle tone impairment under conditions of real and simulated space flight / B. S. Shenkman, A. K. Tsaturyan, I. M. Vihlyantsev [et al.]. – Текст : непосредственный // *Acta Naturae*. – 2021. – V. 13. – № 2. – P. 85-97.

218. **Shi, Y.** The Study of Sailors' Brain Activity Difference Before and After Sailing Using Activated Functional Connectivity Pattern / Y. Shi, W. Zeng J. Deng [et al.]. – Текст : непосредственный // *Neural Processing Letters*. – 2021. – V. 53. – P. 3253–3265.

219. **Shin, H.** The rate of transient beta frequency events predicts behavior across tasks and species / H. Shin, R. Law, Sh. Tsutsui [et al.]. – Текст : электронный // *eLife. Research Article. Neuroscience*. – 2017. – URL: <https://elifesciences.org/articles/29086> (дата обращения: 15.06.2023).

220. **Space Weather Effects and Applications. Effects of Space Radiation on Humans in Space Flight** / edited by A. J. Coster, P. J. Erickson, L. J. Lanzerotti [et al.]. – New Jersey : American Geophysical Union, Wiley, John Oertel, Green Pepper Media LLC, provided courtesy of Dr. Lanzerotti, 2021. – P. 63-78. – ISBN 9781119815594. – Текст : непосредственный.

221. **Stuster, J.** Acceptable risk: The human mission to mars / Stuster J. – Текст : непосредственный // *Journal of Cosmology*. – 2010a. – V. 12. – P. 3566- 3577.

222. **Stuster, J.** Behavioral Issues Associated with Isolation and Confinement: Review and Analysis of Astronaut Journals / Stuster J. – Текст : электронный. – 2010b. – URL: https://lsda.jsc.nasa.gov/lsda_data/dataset_inv_data/ILSRA_2001_104__1740256372_.pdf_Expedition_8_ILSRA-2001-104_2011_31_010100.pdf (дата обращения: 12.09.2021).

223. **Tendler, A.** Different types of theta rhythmicity are induced by social and fearful stimuli in a network associated with social memory / A. Tendler, S. Wagner. – Текст : электронный // eLife. – 2015. – № 4:e03614. – URL: <https://elifesciences.org/articles/03614> (дата обращения: 12.03.2024).

224. **Uusberg, A.** Using distraction to regulate emotion: Insights from EEG theta dynamics / A. Uusberg, R. Thiruchselvam, J. J. Gross. – Текст : непосредственный // International Journal of Psychophysiology. – 2014. – V. 91 – P. 254–260.

225. **Vertes, R. P.** Theta rhythm of the hippocampus: subcortical control and functional significance / R. P. Vertes, W. B. Hoover, G. V. Di Prisco. – Текст : непосредственный // Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews. – 2004. – V. 3. – № 3. – P. 173–200.

226. **Vogt, T.** Artificial gravity exposure impairs exercise-related neurophysiological benefits / T. Vogt, V. Abeln, H. K. Struder, S. Schneider – Текст : непосредственный // Physiology and Behavior. – 2014. – V. 123. – P. 156–61.

227. **Xu, S.** Relationship between circadian rhythm and brain cognitive functions / S. Xu, M. Akioma, Z. Yuan. – Текст : электронный // Frontiers of Optoelectronics. – 2021. – V. 14 (3). – P. 278–287. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12200-021-1090-y> (дата обращения: 12.03.2024).

228. **Xue, H.** Assessment of stress levels based on biosignal during the simulator-based maritime navigation training and its impact on sailing route reliability / H. Xue, O. Haugseggen, J.F. Rods [et al.]. – Текст : электронный // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. – 2024. – V. 24. – № 101047. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198224000332> (дата обращения: 12.03.2024).

229. **Yasuda, Y.** Analysis of Functional Connectivity of EEG Reflecting Circadian Rhythm Using Phase Lag Index / Yasuda Y., Iinuma Y., Nobukawa S., Nishimura H. – Текст : непосредственный // 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications. – Virtual, 2022. – NOLTA2022 – P. 95–98. – ISSN – 2188-5079.

230. **Zander, V.** Short Radius Centrifuges – A New Approach for Life Science Experiments Under Hyper-g Conditions for Applications in Space and Beyond / V. Zander, R. Anken, T. Pesquet [et al.]. – Текст : непосредственный // Recent Patents on Space Technology. – 2013. – V. 3. – № 1. – P. 74–81.