

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

EDN: <https://elibrary.ru/nhtgxw>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-9-564-573>

УДК 612.821+159.9.07

© Коллектив авторов, 2023

Поляниченко А.А.¹, Счастливцева Д.В.¹, Котровская Т.И.¹, Голубев В.Г.², Смоляков Д.Г.³**Динамика когнитивных и нейрофизиологических функций человека при моделировании невесомости в наземных условиях**¹ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН, ул. Хорошевское ш., 76А, Москва, 123007;²ООО «Институт Психонетических исследований и разработок», ул. Бакунинская, 43–55, Москва, 105082;³АО «ПозитивТехнолоджис», ул. Щёлковское ш., 23А, Москва, 107241

Введение. Изучение влияния условий 21-суточной антиортостатической гипокинезии (АНОГ) на динамику нейрофизиологических реакций и когнитивных функций человека проведено на базе ГНЦ РФ — ИМБП РАН с участием 6 здоровых добровольцев-мужчин в возрасте от 24 до 40 лет ($30,7 \pm 5,4$), которые находились в условиях постельной гипокинезии в антиортостатическом положении с углом наклона -6° относительно горизонта.

Цель исследования — определить динамику нейрофизиологических реакций и когнитивных функций человека во время 21-суточной АНОГ (-6°).

Материалы и методы. Анализ динамики когнитивных функций осуществлялся по результатам выполнения сложных динамических задач с элементами неопределенности из тестового блока ПО «CleverBalls». Динамику нейрофизиологических реакций устанавливали по относительному показателю динамики (ОПД) относительного значения мощности (ОЗМ) всех исследуемых диапазонов ЭЭГ-спектра. Измерения всех показателей проводили перед началом исследования (Фон), на 3 (1 сессия), 10 (2 сессия), 17 (3 сессия) и 21 (4 сессия) сутки, а также через 3 суток по завершении эксперимента — последствие (После).

Результаты. Было обнаружено нарастание тормозных процессов в головном мозге в результате решения сложных динамических задач с элементами неопределенности в остром периоде (3 сутки) и в последствии. После острого периода и до окончания эксперимента наблюдали восстановление работы мозга до уровня фона. Повышение результативности выполнения сложных динамических задач с элементами неопределенности (по показателям «Процент корректного выбора» и «Среднее гармоническое время кликов») наблюдали с 10 суток до последствия включительно, что свидетельствовало, как минимум, о не снижении когнитивных функций во время 21-суточной АНОГ.

Заключение. По окончании эксперимента отмечали менее выраженное, чем в острый период, увеличение Дельта- и Тета-с-одновременным уменьшением Альфа- и Бета-активности, но, при этом, не происходило снижения успешности выполнения когнитивных тестов.

Этика. Программа эксперимента была утверждена на секции ученого совета и одобрена Комиссией по биомедицинской этике при ГНЦ РФ — ИМБП РАН (протокол № 599 от 06.10.2021 г.).

Ключевые слова: антиортостатическая гипокинезия; сложные динамические задачи; неопределенность; электроэнцефалография

Для цитирования: Поляниченко А.А., Счастливцева Д.В., Котровская Т.И., Голубев В.Г., Смоляков Д.Г. Динамика когнитивных и нейрофизиологических функций человека при моделировании невесомости в наземных условиях. *Мед. труда и пром. экол.* 2023; 63(9): 564–573. <https://elibrary.ru/nhtgxw> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-9-564-573>

Для корреспонденции: Поляниченко Алексей Александрович, младший научный сотрудник лаборатории психофизиологического обеспечения полетов и экстремальной деятельности ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН. E-mail: alekseipolyanichenko@mail.ru

Участие авторов:

Поляниченко А.А. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, написание статьи;

Счастливцева Д.В. — сбор, анализ и интерпретация данных;

Котровская Т.И. — анализ и интерпретация данных, написание статьи, редактирование статьи;

Голубев В.Г. — разработка тестового блока ПО «CleverBalls»;

Смоляков Д.Г. — разработчик ПО «CleverBalls».

Финансирование. Работа поддержана темой РАН № 63.2 «Исследование интегративных процессов в центральной нервной системе, закономерностей поведения и деятельности человека в условиях автономности и под влиянием других экстремальных факторов среды».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 29.06.2023 / Дата принятия к печати: 13.07.2023 / Дата публикации: 05.10.2023

Введение. Моделирование факторов космических полетов является важным условием совершенствования медико-биологического обеспечения и поддержки профессиональной деятельности космонавтов [1, 2].

Способом моделирования в наземных условиях пребывания человека в невесомости, а также на планетах с пониженной гравитацией является антиортостатическая гипокинезия (АНОГ), заключающаяся в том, что добровольцы находятся в условиях постельной гипокинезии в антиортостатическом положении с углом наклона от 4° до 12°

относительно горизонта [3–6]. Положение тела, исследуемого при АНОГ, приводит к перераспределению жидких сред организма в краниальном направлении, что активизирует адаптационные механизмы, в частности, центральной и периферической нервной системы [4, 7, 8]. В условиях перераспределения жидких сред организма в краниальном направлении усиливается транссудация жидкости из капилляров в ткани головы [9]. Церебральные нарушения приводят к ухудшению когнитивных функций [10, 11], а, вследствие этого, к дезадаптации.

Изучение совокупного действия АНОГ (-6°) и повышенного содержания CO_2 на мозг в течение 30 суток показало значительные изменения церебральной коннективности между вестибулярной, зрительной, соматосенсорной и моторной областями мозга, которые были в значительной степени связаны с изменениями в сенсомоторной деятельности [12].

Цель исследования — определить динамику нейрофизиологических реакций и когнитивных функций человека во время 21-суточной АНОГ (-6°), при выполнении сложных динамических задач с элементами неопределённости.

Материалы и методы. Экспериментальное изучение влияния на нейрофизиологические реакции человека и на успешность выполнения им сложных динамических задач условий 21-суточной АНОГ проведено на базе ГНЦ РФ — ИМБП РАН. Шесть здоровых добровольцев-мужчин в возрасте от 24 до 40 лет ($30,7 \pm 5,4$) в течение 21 суток находились в условиях постельной гипокинезии в антиорто статическом положении с углом наклона -6° относительно горизонта.

Определение динамики когнитивных функций осуществлялось при анализе результатов выполнения сложных динамических задач с элементами неопределённости из тестового блока ПО «CleverBalls», разработанного Голубевым В.Г. С помощью данного блока тестов возможно определить объём кратковременной памяти, латентный период простой двигательной реакции, латентный период зрительно-моторной реакции, продуктивность (быстроту) операторской деятельности, точность и надёжность операторской деятельности, ошибку при распознавании зрительных образов.

Три задачи с элементами неопределённости из батареи когнитивных тестов ПО «CleverBalls» предъявлялись перед началом исследования (Фон), на 3 (1 сессия), 10 (2 сессия), 17 (3 сессия) и 21 (4 сессия) сутки, а также через 3 суток по завершении эксперимента — последствие (После):

1. В задаче «НЕО» — на мониторе компьютера были представлены белые цифры от 1 до 9 на чёрном фоне, которые двигались хаотично со скоростью 125 мс. Если отсутствовала цифра от 1 до 5, испытуемый должен был нажать клавишу «←4», если не встречались цифры от 6 до 9 — клавишу «6→». В случае ошибки нажатия блок цифр выделялся зелёным цветом, после этого следовало нажать корректную клавишу. В случае присутствия всех цифр следовало нажать клавишу «A(Ф)», при ошибке нажатия на экране появлялся «0» на зелёном фоне. Время для ответа было не ограничено. Для продолжения тренировки, испытуемому следовало нажать клавишу, соответствующую правильному ответу. Если ответ правильный, на экране появлялся восклицательный знак зелёного цвета; после его исчезновения тренировка продолжалась.

2. В тесте «Скаут» — на мониторе компьютера на синем фоне появлялись серые шарики с нанесёнными буквами «E» и «F» чёрного и красного цвета. Шарики были распределены по группам согласно цвету букв. Испытуемому нужно было указать цвет группы (чёрный, нажав клавишу «Z» или красный — «1End»), в которой присутствовала буква, не совпадающая с остальными этой цветовой группы; в случае несовпадения букв по цвету в обеих группах, нажать «2↓». После каждого правильного ответа количество шариков («помех») постепенно увеличивалось, а при допущении ошибки — уменьшалось до предыдущего уровня. Максимальное количество шариков со-

ставляло 35 штук. Время для ответа было не ограничено. Скорость движения шариков с буквами составляло 250 мс.

3. При задаче «Ноль» — на мониторе компьютера на чёрном фоне предъявлялся массив (60) жёлтых шариков, среди которых могли быть чёрные (от 0 до 5). Испытуемому предлагалось определить наличие скрытых чёрных шариков, нажав клавишу «1 End», или их отсутствие, нажав «ZЯ». При правильном ответе скрытые шарики (или весь массив) меняли цвет на белый, при ошибке скрытые шарики (или весь массив) выделялись красными рамками. Для перехода на следующий этап следовало нажать клавишу на цифровом блоке, которая соответствовала количеству скрытых шариков. Время для ответа было не ограничено. Скорость движения шариков во время одного этапа была разной — от 170 до 430 мс.

Параметрами, выдававшимися ПО «CleverBalls» по каждой задаче являлись: Количество полных пройденных этапов; Среднее арифметическое время кликов (мс); Среднее гармоническое время кликов (мс); Наименьшее время этапа (мс); Среднее время этапа (мс); Наибольшее время этапа (мс); Процент корректного выбора; Процент ошибочного выбора; Наименьшее время клика (мс); Среднее время клика (мс); Наибольшее время клика (мс).

Для вторичного анализа из всех различных параметров времени был выбран показатель среднего гармонического времени кликов, поскольку при этом нивелировались выбросы длительного времени реакции, и вычислялось время, которое требовалось испытуемому, чтобы принять решение и отреагировать мышкой или нажатием клавиши клавиатуры после обновления изображения стимулов.

Оценка динамики функционального состояния головного мозга проводилась методом регистрации ЭЭГ до и после выполнения трёх задач с элементами неопределённости из батареи когнитивных тестов ПО «CleverBalls» перед началом исследования (Фон), на 3 (1 сессия), 10 (2 сессия), 17 (3 сессия) и 21 (4 сессия) сутки, а также через 3 суток по завершении эксперимента (После).

Запись ЭЭГ осуществлялась от 19 стандартных отведений по международной схеме 10–20% [13], далее рассчитывали относительный показатель динамики (ОПД) относительного значения мощности (ОЗМ) всех исследуемых диапазонов ЭЭГ-спектра. ОПД рассчитывали как отношение ЭЭГ-параметров после выполнения до когнитивных тестов к показателям ЭЭГ, полученным до решения задач.

Обобщение и анализ полученных данных проводились методами непараметрической статистики с использованием компьютерной программы STATISTICA 10. Для проверки статистической значимости различий применялся парный *T*-критерий Вилкоксона.

Результаты. Совокупный анализ данных, полученных по каждому тесту ПО «CleverBalls», показал, что в условиях эксперимента наиболее информативными показателями были «Среднее гармоническое время кликов» (рис. 1) и «Процент корректного выбора» (рис. 2).

Увеличение показателя «Среднее гармоническое время кликов» было выявлено только при выполнении задачи — «НЕО» в срезах 2,3,4 на 43%, 51,6%, 42,6% соответственно (рис. 1) относительно фона.

Показатель «Процент корректного выбора» возрастал относительно фона при решении задачи:

- «НЕО» (рис. 2А) в сессиях 2, 3, 4 и в После на 36,7%, 39%, 37% и 27% соответственно;
- «Скаут» (рис. 2Б) в сессиях 1, 2, 3, 4 и в После на 13%, 18,7%, 22,6%, 31%, 47% соответственно;

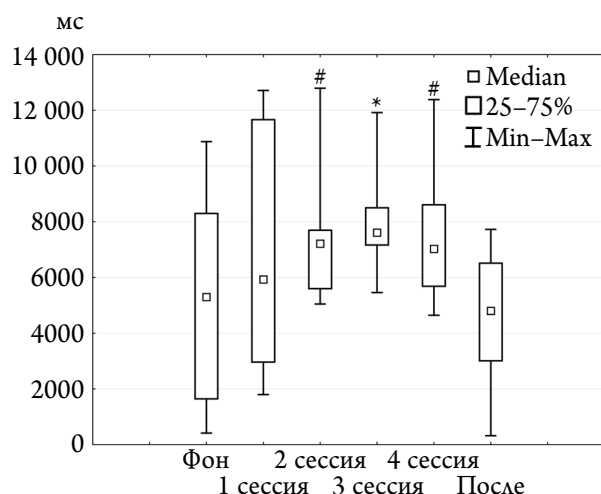


Рис. 1. Среднее гармоническое время кликов по тесту «НЕО»

Примечание: * — $p \leq 0,05$; # — тенденция ($p \leq 0,1$).

- «Ноль» (рис. 2В) в сессиях 2, 4 и в После на 31%, 41,5% и 40,2% соответственно.

Таким образом, наблюдалось повышение результативности выполнения сложных динамических задач с элементами неопределённости (по показателям «Процент корректного выбора» и «Среднее гармоническое время

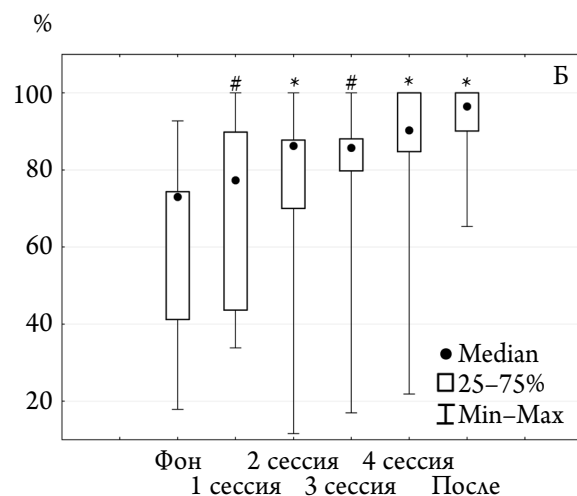
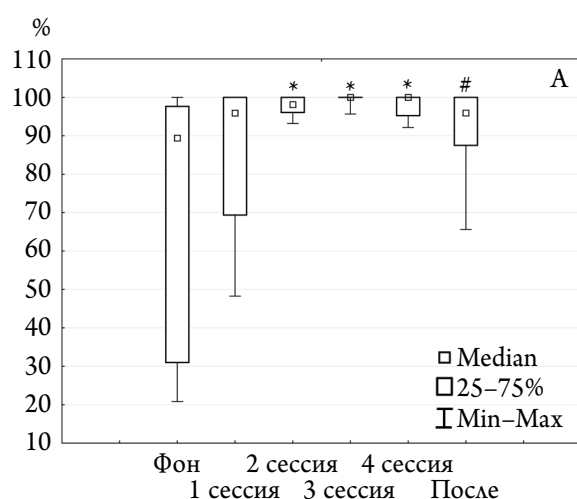


Рис. 2. Процент корректного выбора по проводимым когнитивным тестам

Примечание: А — тест «НЕО»; Б — тест «Скаут»; В — тест «Ноль»; * — $p \leq 0,05$; # — тенденция ($p \leq 0,1$).

кликов»), что свидетельствовало об успешном обучении выполнения такого рода задач и, по крайней мере, о не снижении когнитивных функций в группе добровольцев вдоль всего времени эксперимента.

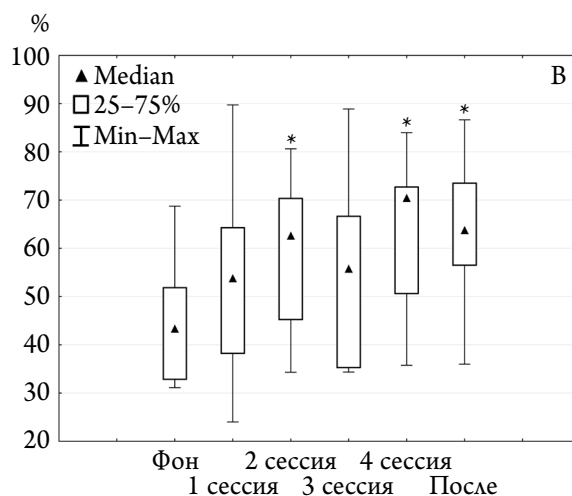
Анализ динамики ОПД ОЗМ при предъявлении когнитивных тестов «CleverBalls» показал, что относительно фона для группы добровольцев наблюдали:

- в Дельта-диапазоне (рис. 3А) увеличение в 1, 2 сессиях и в После на 30,8%, 14,2% и 17,7% соответственно;
- в Тета-диапазоне (рис. 3Б) возрастание в 1 сессии и в После на 12,7% и 10% соответственно;
- в Альфа-диапазоне (рис. 3В) уменьшение в 1 сессии и в После на 7,5% и 4% соответственно;
- в Бета-диапазоне (рис. 3Г) увеличение в 1 и 2 сессии на 3,8% и 0,7% соответственно, а в 4 сессии — уменьшение на 7,5%.

Таким образом, комплекс изменений ОПД ОЗМ ЭЭГ-диапазонов отмечали в острой фазе (1 сессия) эксперимента АНОГ, значительно меньшие сдвиги выявлены в последствии и практическое их отсутствие в остальной части исследования. В 1 сессии возросла медленноволновая (Дельта-, Тета-) активность, снизилась Альфа- и незначительно, на уровне статистической погрешности, увеличилась Бета-активность. Такой комплекс ЭЭГ-характеристик, зарегистрированных в состоянии спокойного бодрствования при закрытых глазах, свидетельствует о нарастании тормозных процессов в головном мозге в результате выполнения батареи когнитивных тестов.

Обсуждение. Полученные результаты свидетельствуют о том, что условия 21-суточной АНОГ не ухудшают когнитивные функции в малой выборке испытуемых, как в течение самого исследования, так и после него. В острой фазе в результате выполнения добровольцами блока сложных динамических задач у них развивались процессы торможения в головном мозге, далее на продолжении всего исследования подобные изменения не обнаруживались; по окончании наблюдали менее выраженные, чем в острой фазе тормозные процессы.

Результаты исследований влияния АНОГ на когнитивные функции имеют множество разночтений в связи с разнообразием используемых батарей когнитивных тестов, условий и длительности экспериментов, времени тестирования в течение суток, а также размера выборки [14].



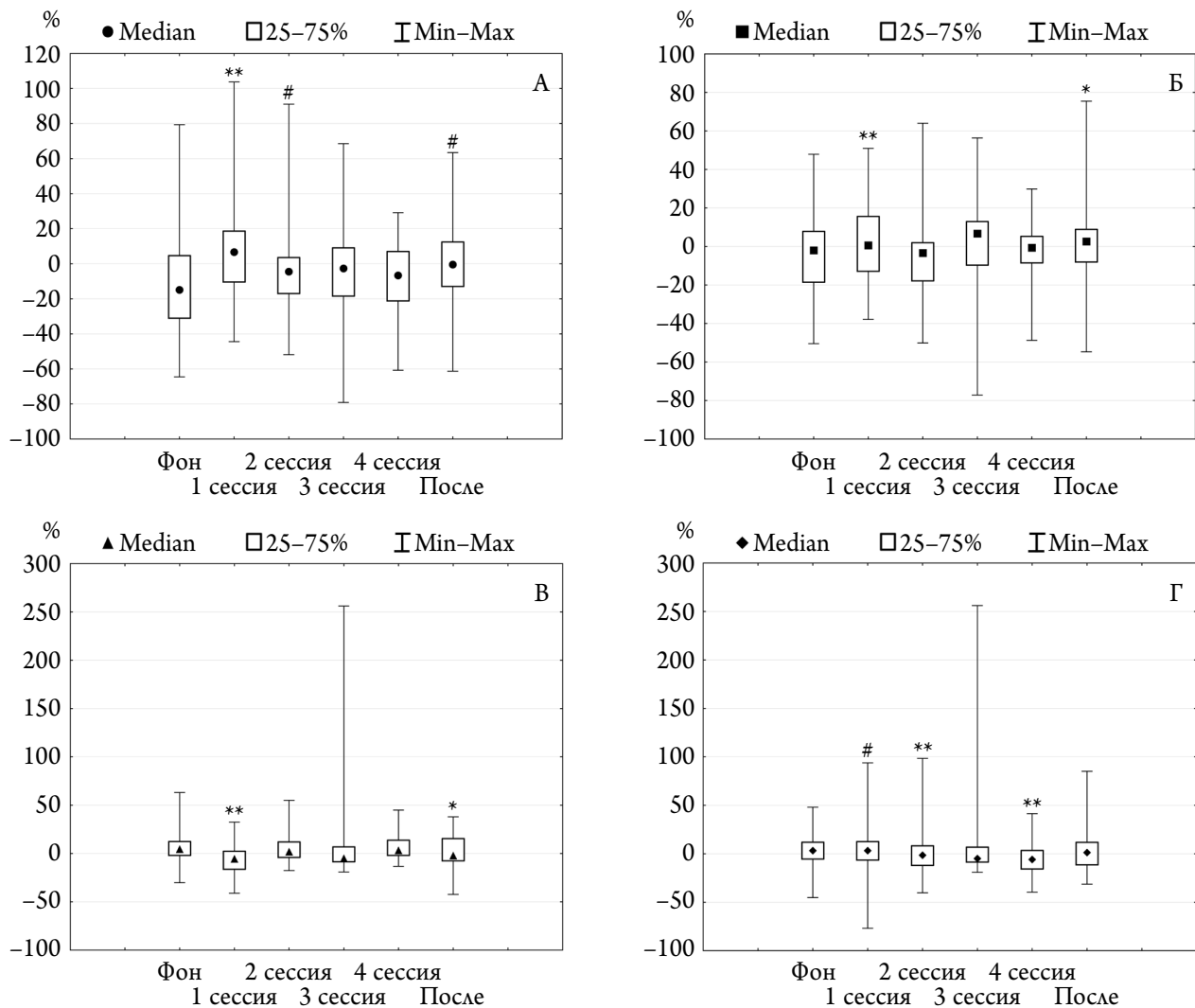


Рис. 3. Относительный показатель динамики всех исследуемых диапазонов

Примечание: А — ОЗМ Дельта-диапазона, Б — ОЗМ Тета-диапазона, В — ОЗМ Альфа-диапазона; Г — ОЗМ Бета-диапазона; * — $p \leq 0,05$; ** — $p \leq 0,01$; # — тенденция ($p \leq 0,1$).

Сходные с полученными в данной работе результаты описаны рядом авторов, которые отмечали отсутствие снижения когнитивных функций в группах испытуемых даже при большей длительности АНОГ и сложности пространственных задач по сравнению с настоящим исследованием [15–18], хотя при выполнении двойной задачи в условиях длительной АНОГ выявлено снижение точности, но повышение скорости её решения [19], а также, напротив, отмечалось умеренное замедление выполнения сенсомоторных задач при неизменной точности [4].

При изучении особенностей ЭЭГ испытуемых в условиях 30-суточной АНОГ (-8°) были выявлены увеличение: нестабильности ЭЭГ, удельного веса полиморфной медленной активности, синхронизации по альфа-ритму, что являлось коррелятами снижения уровня бодрствования мозга [20]. В исследовании воздействия АНОГ без когнитивной нагрузки отмечено, что спектральная мощность ЭЭГ была значительно снижена в дельта-, тета-, альфа- и бета-диапазонах частот. Эти изменения наблюдались вскоре после начала АНОГ (после 24 ч), не изменялись на протяжении всего эксперимента и возвращались к исходному уровню после его завершения [3].

В отличие от отдельного изучения когнитивных функций и функционального состояния головного мозга в ус-

ловиях антиортостатической гипокинезии в проведённом исследовании регистрация ЭЭГ проводилась на фоне решения сложных динамических задач с элементами неопределённости из батареи когнитивных тестов. Максимально было изменение отношения уровня ОЗМ ЭЭГ-диапазонов в острой фазе эксперимента АНОГ к комплексу этих параметров в фоне.

Ограничения исследования. Исследование ограничено малой выборкой испытуемых.

Заключение. Изучение динамики нейрофизиологических реакций и когнитивных функций человека во время 21-суточной АНОГ (-6°) выявило нарастание тормозных процессов в головном мозге в результате решения сложных динамических задач с элементами неопределённости в остром периоде, при этом улучшение когнитивных функций наблюдали по показателю «Процент корректного выбора» только для теста «Скаут». Далее наблюдали восстановление работы мозга до уровня фона и улучшение когнитивной деятельности по характеристикам правильных ответов и времени их выбора. По окончании эксперимента отмечали менее выраженное, чем в острый период, увеличение Дельта- и Тета- с одновременным уменьшением Альфа- и Бета-активности, но, при этом, не происходило снижения успешности выполнения когнитивных тестов.

Список литературы

1. Уйба В.В., Ушаков И.Б., Сапеецкий А.О. Медико-биологические риски, связанные с выполнением дальних космических полетов. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2017; 59(1): 43–64.
2. Баранов М.В., Катунцев В.П., Шпаков А.В., Баранов В.М. Метод наземного моделирования физиологических эффектов пребывания человека в условиях гипогравитации. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2015; 160(9): 392–396.
3. Brauns K., Friedl-Werner A., Maggioni M.A., Gunga H.-C., Stahn A.C. Head-Down Tilt Position, but Not the Duration of Bed Rest Affects Resting State Electrocortical Activity. *Front Physiol*. 2021; 12: 638669. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.638669>
4. Basner M., Dinges D.F., Howard K., Moore T.M., Gur R.C., Mühl C., Stahn A.C. Continuous and Intermittent Artificial Gravity as a Countermeasure to the Cognitive Effects of 60 Days of Head-Down Tilt Bed Rest. *Front Physiol*. 2021; 12: 643854. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.643854>
5. Brauns K., Friedl-Werner A., Gunga H.-C., Stahn A.C. Effects of two months of bed rest and antioxidant supplementation on attentional processing. *Cortex*. 2021; 141: 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2021.03.026>
6. Pavy-Le Traon A., Heer M., Narici M.V., Rittweger J., Vernikos J. From space to Earth: advances in human physiology from 20 years of bed rest studies (1986–2006). *Eur. J. Appl. Physiol*. 2007; 101: 143–194. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0474-z>
7. Каширина Д.Н., Пастушкова Л.Х., Бржозовский А.Г., Гончарова А.Г., Носовский А.М., Кусто М.-А. и др. Исследование белкового профиля плазмы в сопоставлении с биохимическими параметрами крови добровольцев в 21-суточной антиортостатической гипокинезии. *Физиология человека*. 2020; 46(4): 88–97. <https://doi.org/10.31857/S0131164622600483>
8. Koppelmans V., Bloomberg J.J., De Dios Y.E., Wood S.J., Reuter-Lorenz P.A., Kofman I.S. et al. Brain plasticity and sensorimotor deterioration as a function of 70 days head down tilt bed rest. *PLoS One*. 2017; 12(8): e0182236. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182236>
9. Мясников В.И., Степанова С.И. Факторы риска развития психической астенизации у космонавтов в длительном полете. *Вестник ТГПУ*. 2002; 3(31): 9–18.
10. Федин А.И., Соколова А.П. Сосудистые когнитивные нарушения. *Новости неврологии. Спецвыпуск*. 2019; 5(55): 20. [Дата обращения: 29.05.2023] https://sevnevro.ru/upl/Files/Neuronews_05.19_skn.pdf
11. Боголепова А.Н. Сосудистые когнитивные нарушения. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2022; 122(10): 17–23. <https://doi.org/10.17116/jnevro202212210117>
12. McGregor H.R., Lee J.K., Mulder E.R., De Dios Y.E., Beltran N.E., Kofman I.S. et al. Brain connectivity and behavioral changes in a spaceflight analog environment with elevated CO₂. *Neuroimage*. 2021; 225: 117450. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117450>
13. Счастливец Д.В., Котровская Т.И., Бубеев Ю.А. Особенности ЭЭГ-реакции человека в условиях гипербарической искусственной газовой среды. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2018; 52(1): 48–55. <https://doi.org/10.21687/0233-528X-2018-52-1-48-55>
14. Barkaszi I., Ehmann B., Tölgyesi B., Balázs L., Altbäcker A. Are head-down tilt bed rest studies capturing the true nature of spaceflight-induced cognitive changes? A review. *Frontiers in physiology*. 2022; 13: 1008508. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1008508>
15. Lee J.K., De Dios Y., Kofman I., Mulavara A.P., Bloomberg J.J., Seidler R.D. Head down tilt bed rest plus elevated CO₂ as a spaceflight analog: Effects on cognitive and sensorimotor performance. *Front. Hum. Neurosci*. 2019; 13: 355. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00355>
16. Mahadevan A.D., Hupfeld K.E., Lee J.K., De Dios Y.E., Kofman I.S., Beltran N.E. et al. Head-down-tilt bed rest with elevated CO₂: Effects of a pilot spaceflight analog on neural function and performance during a cognitive-motor dual task. *Front. Physiol*. 2021; 12: 654906. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.654906>
17. Tays G.D., Hupfeld K.E., McGregor H.R., Salazar A.P., De Dios Y.E., Beltran N.E. et al. The effects of long duration spaceflight on sensorimotor control and cognition. *Front. Neural Circuits*. 2021; 15: 723504. <https://doi.org/10.3389/fncir.2021.723504>
18. Friedl-Werner A., Brauns K., Gunga H.-C., Kühn S., Stahn A.C. Exercise-induced changes in brain activity during memory encoding and retrieval after long-term bed rest. *Neuroimage*. 2020; 223: 117359. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117359>
19. Yuan P., Koppelmans V., Reuter-Lorenz P.A., De Dios Y.E., Gadd N.E., Wood S.J. et al. Increased brain activation for dual tasking with 70-days head-down bed rest. *Front. Syst. Neurosci*. 2016; 10: 71. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2016.00071>
20. Ильина Е.А., Ярулин Х.Х., Алексеев Д.А., Фотина Л.А., Соколов В.И. Особенности функционального состояния нервной системы лиц старшего возраста в условиях антиортостатической гипокинезии. *Космическая биология и авиакосмическая медицина*. 1990; 6: 23–26.

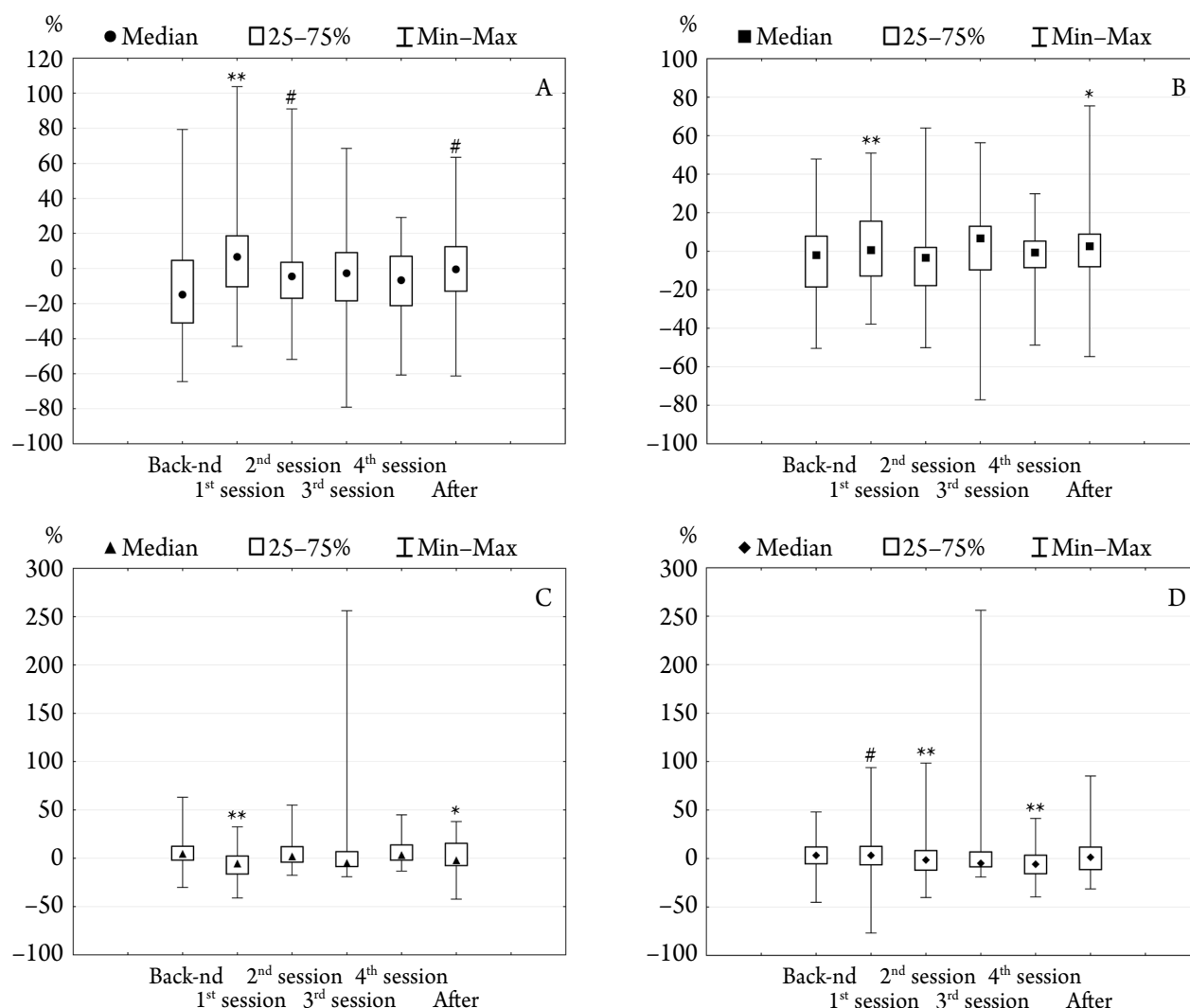


Figure 3. Relative dynamics index of all the studied ranges

Note: A — RPV of the Delta-range, B — RPV of the Theta-range, C — RPV of the Alpha-range; D — RPV of the Beta-range; * — $p \leq 0.05$; ** — $p \leq 0.01$; # — trend ($p \leq 0.1$).

Conclusion. The study of the dynamics of neurophysiological reactions and cognitive functions of a person during a 21-day AOSN (-6°) revealed the presence of inhibitory processes in the brain as a result of solving complex dynamic tasks with elements of uncertainty in the acute period, while the improvement of cognitive functions was observed by the authors according to the indicator "Percentage of correct choice" only for the Scout test. Next, we observed the restoration of brain functions to

the background level and an improvement in cognitive activity in accordance with the characteristics of the correct answers and the time of their choice. At the end of the experiment, the researchers observed a less pronounced increase in Delta and Theta activity than in the acute period, with a simultaneous decrease in Alpha and Beta activity, but at the same time, they did not observe a decrease in the success of cognitive tests.

References

1. Uyba V.V., Ushakov I.B., Sapetsky A.O. Medico-biological risks associated with the implementation of long-range space flights. *Meditssina ehkstremaal'nykh situatsij*. 2017; 59(1): 43–64 (in Russian).
2. Baranov M.V., Katuntsev V.P., Shpakov A.V., Baranov V.M. A method for ground-based modeling of the physiological effects of a person's stay in hypogravity. *Byulleten' ehksperimental'noj biologii i meditsiny*. 2015; 160(9): 392–396 (in Russian).
3. Brauns K., Friedl-Werner A., Maggioni M.A., Gunga H.-C., Stahn A.C. Head-Down Tilt Position, but Not the Duration of Bed Rest Affects Resting State Electroencephalographic Activity. *Front Physiol*. 2021; 12:638669. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.638669>
4. Basner M., Dinges D.F., Howard K., Moore T.M., Gur R.C., Mühl C., Stahn A.C. Continuous and Intermittent Artificial Gravity as a Countermeasure to the Cognitive Effects of 60 Days of Head-Down Tilt Bed Rest. *Front Physiol*. 2021; 12: 643854. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.643854>
5. Brauns K., Friedl-Werner A., Gunga H.-C., Stahn A.C. Effects of two months of bed rest and antioxidant supplementation on attentional processing. *Cortex*. 2021; 141: 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2021.03.026>
6. Pavy-Le Traon A., Heer M., Narici M.V., Rittweger J., Vernikos J. From space to Earth: advances in human physiology from 20 years of bed rest studies (1986–2006). *Eur. J. Appl. Physiol*. 2007; 101: 143–194. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0474-z>