

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ХОЛОДОВОЙ НАГРУЗКИ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕТА- И АЛЬФА-РИТМОВ ЭЭГ КУРСАНТОВ ВОЕННОГО ВУЗА

С. Н. Толстогузов¹✉, Т. А. Фишер², Ю. В. Найда¹, О. Н. Лепунова¹

¹ Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

² Тюменское высшее военно-инженерное командное училище имени маршала инженерных войск А. И. Прошлякова, Министерство обороны, Тюмень, Российская Федерация

В настоящем исследовании рассмотрены особенности спектральных характеристик ЭЭГ в альфа- и тета-диапазонах у курсантов военного вуза, проходящих специальную подготовку по повышению холодовой устойчивости (закаливание). Целью работы было изучить влияние поэтапного воздействия дозированных низкотемпературных нагрузок (закаливания) курсантов военного вуза на спектральные характеристики ЭЭГ в альфа- и тета-диапазонах. Исследованы студенты гражданского вуза и курсанты военного вуза (всего 58 человек). Курсанты проходили специальную программу повышения холодовой устойчивости (закаливания). Регистрировали фоновую запись ЭЭГ в альфа- и тета-диапазонах. Статистическую обработку проводили методами непараметрического сравнения по критерию Манна-Уитни. Получены результаты, свидетельствующие о достоверных отличиях группы курсантов-иностранцев от контроля по спектральным показателям альфа- и тета-ритмов. Программа закаливания была эффективна в группе курсантов-россиян, что отразилось на стабильности церебрального гомеостаза при некоторой степени неустойчивости нейродинамических процессов в ЦНС. У курсантов-иностранцев систематические холодовые тренировки привели к выраженной дезинтеграции корково-подкорковых и внутрикортикальных взаимоотношений, а также формированию двухъядерной альфа-тета-структуры фоновой ЭЭГ.

Ключевые слова: ЭЭГ, альфа-ритм, тета-ритм, адаптация, холодовая устойчивость организма, курсанты

Вклад авторов: С. Н. Толстогузов — проведение исследований, анализ данных, написание статьи; Т. А. Фишер — анализ данных, написание статьи; Ю. В. Найда — проведение исследований; О. Н. Лепунова — анализ данных.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено этическим комитетом ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет (протокол № 11 от 19 февраля 2024 г.)

✉ **Для корреспонденции:** Сергей Николаевич Толстогузов
ул. Володарского, д. 6, г. Тюмень, 625003, Россия; s.n.tolstoguzov@utmn.ru

Статья получена: 20.02.2024 **Статья принята к печати:** 21.03.2024 **Опубликована онлайн:** 31.03.2024

DOI: 10.47183/mes.2024.016

IMPACT OF PERSISTENT COLD STRESS ON SPECTRAL CHARACTERISTICS OF EEG ALPHA AND THETA RHYTHMS IN MILITARY ACADEMY CADETS

Tolstoguzov SN¹✉, Fisher TA², Naida YuV¹, Lepunova ON¹

¹ University of Tyumen, Tyumen, Russia

² Proshlyakov Tyumen Higher Military Engineer Command School, Ministry of Defence of the Russian Federation, Tyumen, Russia

The study was focused on the features of spectral characteristics of the EEG alpha and theta ranges in the military academy cadets undergoing specific training to improve cold resistance (cold exposure training). The study was aimed to assess the impact of the military academy cadets' incremental exposure to the graduated cold stress (cold exposure training) on spectral characteristics of the EEG alpha and theta rhythms. Students of the civil higher educational institution and military academy cadets were assessed (58 individuals in total). Cadets underwent a specific program focused on improving cold resistance (cold exposure training). Background EEG in the alpha and theta frequency ranges was recorded. Statistical data processing involved nonparametric comparison using the Mann-Whitney U test. The results were obtained suggesting that there were significant differences in spectral characteristics of alpha and theta rhythms between the group of foreign cadets and the controls. The cold exposure training program was effective in the group of Russian cadets, which had an effect on the cerebral homeostasis stability with some degree of instability of neurodynamic processes in the CNS. In foreign cadets, regular cold exposure training resulted in the pronounced disintegration of cortical-subcortical and intracortical interactions, as well as in the formation of binary alpha-theta structure of background EEG.

Keywords: EEG, alpha rhythm, theta rhythm, adaptation, cold resistance of the body, military cadets

Author contribution: Tolstoguzov SN — research procedure, data analysis, manuscript writing; Fisher TA — data analysis, manuscript writing; Naida YuV — research procedure; Lepunova ON — data analysis.

Compliance with the ethical standards: the study was approved by the Ethics Committee of the University of Tyumen (protocol № 11 dated 19 February 2024). All patients submitted the informed consent to study participation.

✉ **Correspondence should be addressed:** Sergey N. Tolstoguzov
Volodarskogo, 6, Tyumen, 625003, Russia; s.n.tolstoguzov@utmn.ru

Received: 20.02.2024 **Accepted:** 21.03.2024 **Published online:** 31.03.2024

DOI: 10.47183/mes.2024.016

Оценка влияния холодовых факторов среды на функциональное состояние человека, а также изучение реактивности регуляторных систем организма на холод — важные компоненты получения комплексной картины стресс-воздействий климата высоких широт на состояние здоровья человека, его благополучие и эффективность выполняемой им деятельности.

Значимыми элементами изучения холодового стресса выступают также феномен закаливания и понимание

физиологических механизмов перехода организма человека из состояния, не адаптированного к холоду, к уровню стабильной холодовой устойчивости. В этом аспекте важно рассмотрение цены адаптации или аллостатической нагрузки, которую человек «платит», приспосабливаясь к острым или длительным воздействиям низких температур. Вызывают большой интерес исследования температурного гомеостаза не только российских студентов (молодых людей, родившихся и постоянно проживающих в

климатических условиях Западной Сибири), но и студентов-иностранцев, приехавших из регионов с тропическим и субтропическим климатом [1, 2]. На сегодняшний день географическая миграция молодежи для получения базового образования на территории РФ имеет тенденцию нарастать из стран Африки, Азии, Ближнего Востока [3]. При этом практически не описаны типы адаптации (акклиматизация, акклимация) к резким перепадам температур при смене географического региона. Вместе с тем недостаточно научных исследований описания функциональных состояний организма и уровня динамики заболеваемости у иностранцев, особенно у тех, которые обучаются в военных вузах, в сравнении со студентами, проживающими на территории РФ.

Чувствительным и, что более важно, информативным показателем адаптационных перестроек организма и компенсаторных процессов в центральной нервной системе служит биоэлектрическая активность головного мозга, регистрируемая при помощи ЭЭГ [4–8]. Влияние низких температур на формирование биоэлектрической активности мозга, особые паттерны ЭЭГ у лиц, постоянно или периодически подверженных холодовому воздействию, отмечены в целом ряде отечественных [9–11] и зарубежных исследований [10–12]. Так, у одной из групп испытуемых отмечали усиление суммарной мощности спектра альфа- и тета-волн в паттернах энцефалограммы под влиянием холода [7]. В другой работе, напротив, было зарегистрировано холодовое снижение мощности альфа-ритма [10]. В литературе представлены противоречивые данные о влиянии гипотермии и систематических закалывающих мероприятий на биоэлектрическую активность мозга, которые во многом зависят от того, какой аспект проблемы рассматривали (острая гипотермия или длительное воздействие, целенаправленное закалывание или неизбежное влияние холодовых условий высоких широт, аборигенное или пришлое население изучается и пр.). При этом остается актуальным вопрос поиска ЭЭГ-маркеров успешности адаптации человека к воздействию низких температур.

Цель настоящей работы заключалась в изучении влияния поэтапного воздействия дозированных низкотемпературных нагрузок (закалывания) курсантов военного вуза на спектральные характеристики ЭЭГ в альфа- и тета-диапазоне.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В однократном (поперечном) исследовании приняли участие 58 испытуемых, разделенных на три группы. Первую группу из 18 человек (далее по тексту — контрольная группа, гражданские студенты, КГ) составили юноши, обучающиеся в Тюменском государственном университете, постоянно проживающие на территории Тюменской области, средний возраст — $21,36 \pm 1,83$ лет. Во вторую группу из 29 человек (далее по тексту — экспериментальная группа закалывания 1, курсанты из разных регионов РФ, Г31) вошли курсанты Тюменского высшего военно-инженерного командного училища имени маршала инженерных войск А. И. Прошлякова, постоянно проживающие на территории Тюменской области, а также регионах Уральского или Сибирского федеральных округов РФ, средний возраст — $20,58 \pm 1,29$ лет. Третью группу из 11 человек (далее по тексту — экспериментальная группа закалывания 2, курсанты-иностранцы, Г32) составили курсанты-иностранцы Тюменского высшего

военно-инженерного командного училища имени маршала инженерных войск А. И. Прошлякова, постоянно проживающие в странах с тропическим и субтропическим климатом (Никарагуа, Конго, Мозамбик, Гвинея, Гвинея-Бисау, Габон), темнокожие, средний возраст $23,39 \pm 1,95$ лет.

Критерии включения: отношение к 1–2 группе диспансерного наблюдения; хорошая успеваемость в вузе (успешность обучения как критерий эффективности основного вида деятельности). Критерии исключения: наличие в анамнезе неврологических заболеваний и/или обострение любых нозологий в последние две недели перед исследованием.

Исследование проводили в середине ноября. Ему в течение 2,5 месяцев предшествовала тренировка повышения холодовой устойчивости у курсантов обеих экспериментальных групп по программе поэтапного воздействия дозированных температурных нагрузок, направленных на совершенствование адаптационных возможностей военнослужащего. Программа включала в себя начальный уровень подготовки в развитии холодовой устойчивости (регулярное обливание холодной (+5...+8 °C) водой на улице, занятия проводили 2–3 раза неделю в течение 3 недель) [13] и тренировочный (специальный) уровень (погружение в холодную воду (+2...+2,5 °C) в полной боевой экипировке, занятия проводили 1–2 раза в неделю в течение 2 месяцев) [14].

Регистрацию ЭЭГ осуществляли стационарно на аппаратно-программном комплексе «Нейрон-Спектр-4/ВГМ» («Нейрософт»; Россия). Electroды фиксировали по «10–20» в 16 активных отведениях двух полушарий, монополярно с ушными референтами. Фоновую запись вели в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами — в свето- и звукоизолированном помещении. Спектр регистрации — от 0,5 до 35 Гц. Сопротивление Electroдов < 20 кОм. Использовали частоту квантования 500 точек. Анализ фоновой записи ЭЭГ проводили по 20 эпохам анализа длительностью 10–15 с каждая, выделяя безартефактные участки. Математический анализ ЭЭГ проводили с использованием программы «Нейрон-Спектр» с преобразованием Фурье для частотных диапазонов θ (4,0–8,0 Гц) и α (8,0–14,0 Гц). Для описания функционального состояния головного мозга испытуемых использовали показатели полной мощности спектра (мкВ²), индексов ритма (Гц), интегральных индексов ЭЭГ альфа/тета.

Статистическую обработку проводили с использованием пакета программ SPSS Statistics 23. Данные представлены в виде медианы (Me), первого и третьего квартилей (Q1–Q3). Проверку нормальности распределения осуществляли по критерию Шапиро–Уилка. В силу того что распределение показателей не соответствовало нормальному, сравнение с контролем проводили непараметрическими методами по критерию Манна–Уитни для двух независимых групп.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Визуальный анализ ЭЭГ испытуемых позволил выделить основные варианты организации биоэлектрической активности мозга по классификации Е. А. Жирмунской [15] (рис. 1).

В контрольной группе доминировал I тип биоэлектрической активности (66% случаев) с организованной структурой альфа-активности и выраженным зональным градиентом основного ритма в передне-заднем направлении. II и III типы ЭЭГ были

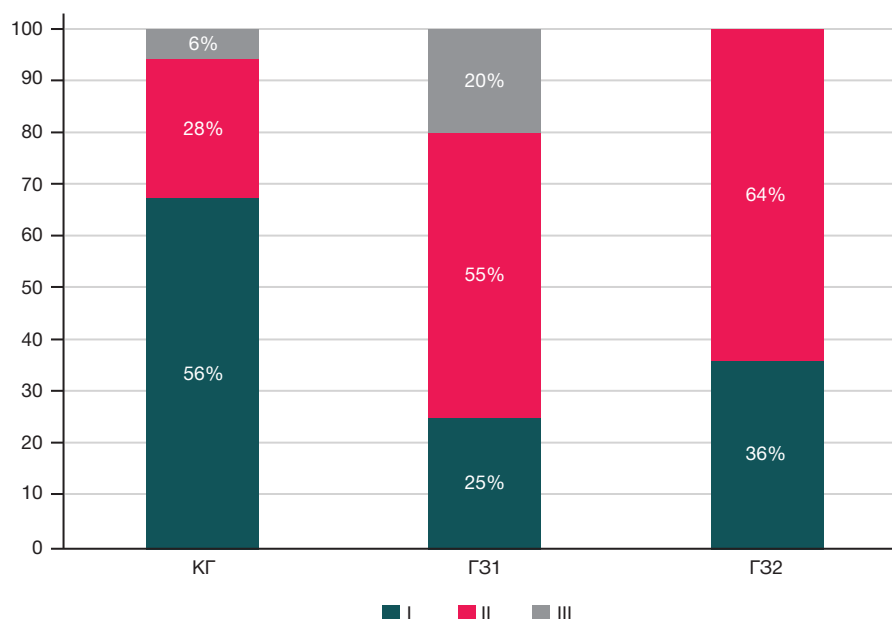


Рис. 1. Доля различных типов ЭЭГ в выборках испытуемых [1]. КГ — контрольная группа, Г31 — группа закаливания первая экспериментальная, Г32 — группа закаливания вторая экспериментальная

представлены реже — в 28 и 6% случаев соответственно. В первой и второй экспериментальных группах закаливания чаще всего (55 и 64% соответственно) был отмечен гиперсинхронный тип ЭЭГ с выраженной альфа-ритмикой, не структурированной в веретена. У молодых людей из первой экспериментальной группы закаливания также в 20% случаев встречался III десинхронный тип ЭЭГ с резким уменьшением количества альфа-волн и заменой их на колебания в тета- или бета-диапазонах.

Спектральный анализ полной мощности ЭЭГ в тета-диапазоне выявил значительно более высокие показатели второй экспериментальной группы закаливания по сравнению с контролем в отведениях правого полушария (рис. 2).

Так, испытуемые Г32 достоверно превосходили КГ по тета-активности в отведениях: правом переднелобном Fp_2 ($U = 26$; $Z = -3,28$; $p < 0,001$), правом лобном F_4 ($U = 29$; $Z = -3,14$; $p = 0,002$), правом центральном C_4 ($U = 31$; $Z = -3,05$; $p = 0,002$), правом передневисочном F_8 ($U = 49$; $Z = -2,24$; $p = 0,024$), правом височном T_4 ($U = 10$; $Z = -4,00$; $p < 0,001$), правом теменном P_4 ($U = 24$; $Z = -3,37$; $p < 0,001$) и правом затылочном O_2 ($U = 45$; $Z = -2,42$; $p = 0,015$). Молодые люди из Г31, напротив, имели достоверно более низкие значения полной мощности спектра в тета-диапазоне по сравнению с контролем в отведениях: левом и правом переднелобных Fp_1 ($U = 119,5$; $Z = -3,09$; $p = 0,002$), Fp_2 ($U = 120$; $Z = -3,07$; $p = 0,002$), левом центральном C_3 ($U = 165$; $Z = -2,10$; $p = 0,035$), правом передневисочном F_8 ($U = 161$; $Z = -2,17$; $p = 0,029$), левом и правом височных T_3 ($U = 142$; $Z = -2,60$; $p = 0,009$), T_4 ($U = 151$; $Z = -2,39$; $p = 0,016$), левом и правом задневисочных T_5 ($U = 112$; $Z = -3,26$; $p = 0,001$), T_6 ($U = 173$; $Z = -1,92$; $p = 0,050$).

В альфа-полосе полная мощность спектра также была наиболее значительной в Г32 и достоверно превосходила КГ в отведениях: правом переднелобном Fp_2 ($U = 23$; $Z = -3,41$; $p < 0,001$), правом лобном F_4 ($U = 24$; $Z = -3,37$; $p < 0,001$), правом центральном C_4 ($U = 46$; $Z = -2,38$; $p = 0,017$), правом передневисочном F_8 ($U = 33$; $Z = -2,96$; $p = 0,003$), левом и правом височных T_3 ($U = 54$; $Z = -1,95$; $p = 0,050$), T_4 ($U = 13$; $Z = -3,86$; $p < 0,001$) (рис. 3).

Полная мощность спектра в альфа-диапазоне у испытуемых из Г31 была достоверно ниже контроля по левому височному T_3 ($U = 170$; $Z = -1,98$; $p = 0,042$) и левому задневисочному T_5 ($U = 171$; $Z = -1,92$; $p = 0,050$) отведениям.

Практически по всей конвексительной поверхности, за исключением C_3 , F_8 и T_5 , во второй экспериментальной группе закаливания тета-индекс достоверно превосходил значения контрольной группы в отведениях: левом и правом переднелобных Fp_1 ($U = 28$; $Z = -3,19$; $p = 0,001$), Fp_2 ($U = 7$; $Z = -4,13$; $p < 0,001$), левом и правом лобных F_3 ($U = 53$; $Z = -2,06$; $p = 0,038$), F_4 ($U = 44$; $Z = -2,47$; $p = 0,013$), правом центральном C_4 ($U = 20$; $Z = -3,55$; $p < 0,001$), правом передневисочном F_8 ($U = 39,5$; $Z = -2,67$; $p = 0,007$), левом и правом височных T_3 ($U = 42$; $Z = -2,56$; $p = 0,010$), T_4 ($U = 8$; $Z = -4,09$; $p > 0,001$), правом задневисочном T_6 ($U = 26,5$; $Z = -3,25$; $p = 0,001$), левом и правом теменных P_3 ($U = 3$; $Z = -4,31$; $p < 0,001$), P_4 ($U = 0$; $Z = -4,44$; $p < 0,001$), левом и правом затылочных O_1 ($U = 45$; $Z = -2,42$; $p = 0,015$), O_2 ($U = 0$; $Z = -4,44$; $p < 0,001$) (табл. 1).

Выраженность тета-осцилляций в первой экспериментальной группе закаливания не отличалась от контрольной группы.

Альфа-индекс ЭЭГ у испытуемых Г32 превышал значения контроля во фронтальных отделах мозга в отведениях: левом и правом переднелобных Fp_1 ($U = 50$; $Z = -2,17$; $p = 0,029$), Fp_2 ($U = 35$; $Z = -2,87$; $p = 0,004$), а также правом передневисочном F_8 ($U = 41$; $Z = -2,58$; $p = 0,009$). При этом индекс альфа-ритма в Г32 был достоверно ниже контроля в центральных и каудальных областях по отведениям: левому центральному C_3 ($U = 51,5$; $Z = 2,13$; $p = 0,033$), левому и правому теменным P_3 ($U = 47$; $Z = 2,33$; $p = 0,019$), P_4 ($U = 13$; $Z = 3,86$; $p < 0,001$) и правому затылочному O_2 ($U = 45$; $Z = 2,43$; $p = 0,015$). В целом альфа-индекс во второй контрольной группе закаливания не имел лобно-затылочного градиента.

В первой экспериментальной группе закаливания, как и в контрольной группе, альфа-индекс имел зональную специфику и нарастал от фронтальных к каудальным отделам. У испытуемых Г31 показатели индекса альфа-ритма превосходили контроль лишь по

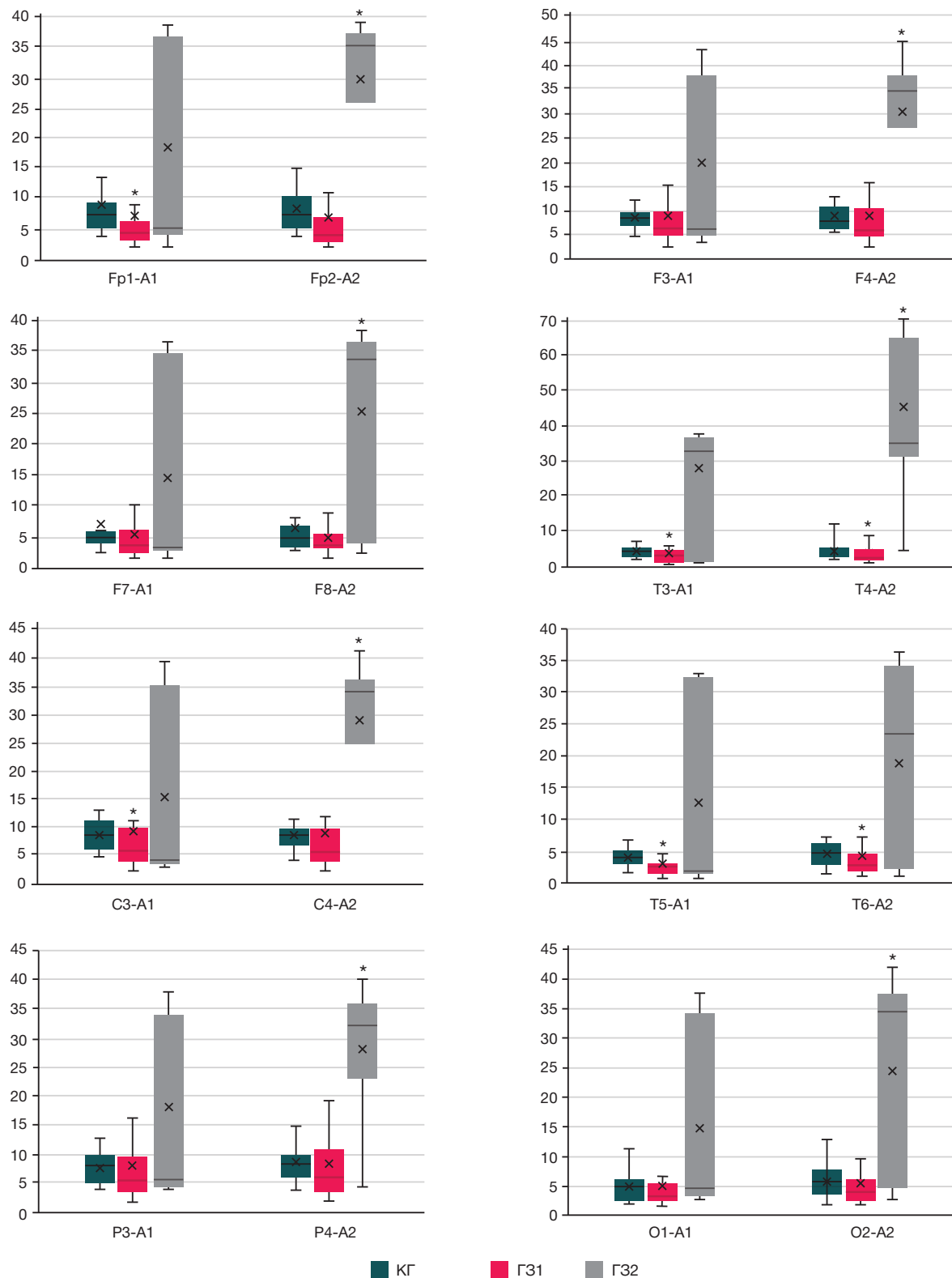


Рис. 2. Показатели полной мощности спектра (мкВ2) в тета-диапазоне (4–8 Гц) по 16 основным отведениям. Границы боксов соответствуют квартилям Q25% и Q75%. Линии внутри бокса — медианы, крестики в боксе — средние значения, верхнее и нижнее отклонения — максимальные и минимальные значения. * — достоверность отличий с контрольной группой ($p < 0,05$) по методу Манна-Уитни; КГ — контрольная группа; Г31 — группа закаливания первая экспериментальная; Г32 — группа закаливания вторая экспериментальная

левому переднелобному Fp_1 ($U = 166$; $Z = 2,07$; $p = 0,037$) и правому фронтальному F_8 ($U = 162$; $Z = 2,02$; $p = 0,042$) отведениям.

Далее был рассчитан индекс стабильности корково-подкорковых нейродинамических процессов как интегральное соотношение альфа/тета ритмов по

показателям полной мощности спектра и индекса ритма (табл. 2).

Самые высокие значения устойчивости функционального состояния ЦНС были зафиксированы в первой экспериментальной группе закаливания, тогда как самые низкие и достоверно отличающиеся от

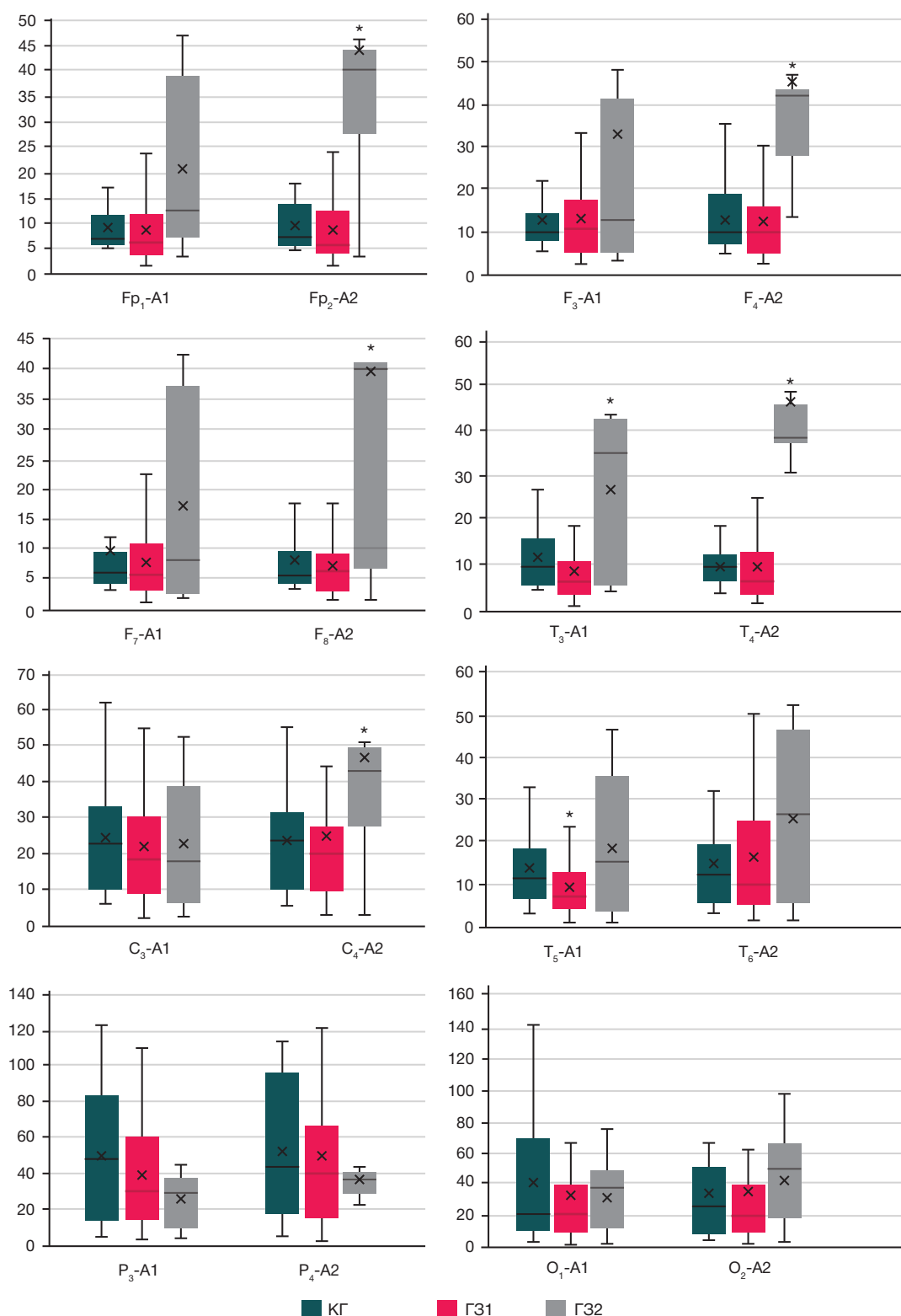


Рис. 3. Показатели полной мощности спектра (мкВ²) в альфа-диапазоне (8-14 Гц) по 16 основным отведениям. Границы боксов соответствуют квартилям Q25% и Q75%. Линии внутри бокса — медианы, крестики в боксе — средние значения, верхнее и нижнее отклонения — максимальные и минимальные значения. * — достоверность отличий с контрольной группой ($p < 0,05$) по методу Манна-Уитни. КГ — контрольная группа, Г31 — группа закаливания первая экспериментальная, Г32 — группа закаливания вторая экспериментальная

контрольной группы отмечены нами у молодых людей второй экспериментальной группы закаливания.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Визуальный анализ ЭЭГ, несмотря на определенную условность классификации, отмеченную в ряде

исследований, тем не менее позволяет получить комплексную картину формирования биоэлектрической активности мозга испытуемых и функционального состояния головного мозга [16, 17].

По нашим данным, в контрольной группе, состоящей из гражданских молодых людей, превалировал I тип ЭЭГ с выраженным основным ритмом мозга, четкой

Таблица 1. Индексы ритмов (%) ЭЭГ по основным отведениям в тета- и альфа-диапазонах; Медиана (квартили Q25%; Q75%)

Отведение	Индекс ритма, %	КГ, n = 18	ГЗ1, n = 29	ГЗ2, n = 11
Fp ₁	θ (4,0–8,0 Гц)	11,35 (7,95; 12,50)	12,70 (10,40; 17,80)	18,60 (14,95; 23,65)*
	α (8,0–14,0 Гц)	10,10 (7,17; 18,52)	17,73 (11,20; 24,00)*	25,80 (14,95; 33,33)*
Fp ₂	θ (4,0–8,0 Гц)	9,80 (7,20; 13,57)	11,30 (9,10; 16,90)	23,10 (21,80; 23,80)*
	α (8,0–14,0 Гц)	8,90 (7,62; 18,65)	17,60 (9,90; 26,00)	27,20 (25,15; 27,50)*
F ₃	θ (4,0–8,0 Гц)	16,05 (15,12; 20,67)	19,10 (14,80; 23,50)	21,10 (16,40; 25,05)*
	α (8,0–14,0 Гц)	23,50 (17,72; 28,70)	26,40 (16,00; 35,10)	26,50 (21,05; 35,05)
F ₄	θ (4,0–8,0 Гц)	15,10 (13,10; 21,17)	17,60 (15,40; 22,80)	23,20 (22,60; 23,50)*
	α (8,0–14,0 Гц)	22,95 (18,37; 26,70)	28,00 (16,80; 35,50)	26,70 (24,75; 29,05)
F ₇	θ (4,0–8,0 Гц)	15,05 (12,30; 17,97)	15,40 (12,20; 20,20)	17,90 (14,55; 23,45)
	α (8,0–14,0 Гц)	19,85 (14,65; 27,65)	22,90 (14,50; 28,30)	26,60 (15,90; 31,95)
F ₈	θ (4,0–8,0 Гц)	12,20 (9,27; 17,77)	15,00 (9,90; 20,60)	23,70 (18,95; 24,20)*
	α (8,0–14,0 Гц)	16,45 (10,57; 22,72)	21,60 (17,40; 31,80)	27,90 (26,05; 28,90)*
T ₃	θ (4,0–8,0 Гц)	13,90 (12,12; 15,92)	14,60 (11,11; 17,90)	24,20 (13,95; 25,00)*
	α (8,0–14,0 Гц)	30,75 (22,97; 43,37)	30,20 (20,00; 38,70)	28,20 (27,50; 30,80)
T ₄	θ (4,0–8,0 Гц)	12,85 (10,27; 16,72)	13,40 (10,10; 16,80)	23,70 (23,45; 29,50)*
	α (8,0–14,0 Гц)	26,35 (20,97; 37,45)	28,90 (18,90; 43,00)	26,80 (18,85; 27,55)
C ₃	θ (4,0–8,0 Гц)	14,80 (13,15; 17,45)	15,30 (11,60; 18,10)	18,30 (13,55; 21,35)
	α (8,0–14,0 Гц)	37,40 (26,22; 48,75)	45,00 (31,10; 47,80)	27,20 (14,50; 33,45)*
C ₄	θ (4,0–8,0 Гц)	14,45 (12,12; 16,67)	13,60 (10,80; 17,70)	23,00 (22,25; 24,20)*
	α (8,0–14,0 Гц)	37,95 (23,92; 50,72)	40,90 (31,30; 50,20)	29,00 (26,90; 31,60)
T ₅	θ (4,0–8,0 Гц)	11,95 (10,32; 14,90)	11,80 (9,60; 15,60)	13,00 (11,00; 20,25)
	α (8,0–14,0 Гц)	39,70 (29,45; 48,55)	37,60 (25,60; 45,20)	29,20 (22,25; 37,00)
T ₆	θ (4,0–8,0 Гц)	10,90 (8,95; 12,90)	11,10 (8,30; 17,10)	21,00 (14,45; 23,85)*
	α (8,0–14,0 Гц)	35,25 (22,92; 50,65)	41,30 (27,50; 54,30)	30,20 (22,55; 31,45)
P ₃	θ (4,0–8,0 Гц)	8,65 (7,57; 12,00)	10,10 (7,90; 13,20)	23,40 (21,50; 27,00)*
	α (8,0–14,0 Гц)	55,90 (30,62; 67,15)	54,30 (41,40; 64,80)	29,00 (18,40; 35,95)*
P ₄	θ (4,0–8,0 Гц)	9,60 (8,12; 11,47)	10,80 (7,50; 13,70)	33,50 (23,85; 34,75)*
	α (8,0–14,0 Гц)	54,95 (42,15; 63,05)	49,30 (40,50; 68,10)	21,30 (18,35; 27,35)*
O ₁	θ (4,0–8,0 Гц)	7,45 (6,45; 10,72)	9,30 (7,00; 12,90)	16,10 (10,95; 18,80)*
	α (8,0–14,0 Гц)	57,30 (41,47; 66,77)	53,90 (40,50; 66,80)	30,10 (24,45; 45,85)
O ₂	θ (4,0–8,0 Гц)	9,15 (7,37; 11,22)	9,90 (6,70; 13,50)	19,30 (16,60; 22,75)*
	α (8,0–14,0 Гц)	48,45 (32,57; 63,42)	45,10 (38,70; 64,60)	31,80 (24,20; 38,55)*

Примечание: * — достоверность отличий с контрольной группой ($p < 0,05$) по методу Манна-Уитни. КГ — контрольная группа, ГЗ1 — группа закаливания первая экспериментальная, ГЗ2 — группа закаливания вторая экспериментальная.

его зональной градацией по индексу и мощности, модулированный в веретена. Можно предположить, что у большинства представителей контрольной группы наблюдали оптимальное функциональное состояние ЦНС при сбалансированном взаимодействии активирующих мозговых структур. В двух экспериментальных группах курсантов чаще встречали II гиперсинхронный (моноритмичный) тип ЭЭГ, что свидетельствовало

о наличии некоторого напряжения адаптационных механизмов, дезорганизации ритмик и перераспределении лимбико-диэнцефальных, таламокортикальных и внутрикорковых взаимодействий в головном мозге испытуемых. Увеличение в наших экспериментальных выборках доли людей с моноритмичным типом ЭЭГ, а также присутствие III десинхронного (плоского) типа в ГЗ1 могло быть следствием незавершенного адаптационного процесса организма курсантов (как российских, так и

Таблица 2. Интегральные индексы ЭЭГ (альфа/тета), усредненные по всем отведениям. Медиана (квартили Q25%; Q75%)

Группы испытуемых	Полная мощность спектра (мкВ ²)	Индекс ритма (%)
КГ	1,85 (1,41; 2,63)	2,71 (1,88; 3,23)
ГЗ1	2,41 (1,19; 3,14)	2,56 (1,38; 3,87)
ГЗ2	1,14 (1,05; 1,73) $p < 0,047$	1,13 (1,07; 1,55) $p < 0,001$

Примечание: p — степень достоверности отличий с контрольной группой по методу Манна-Уитни. КГ — контрольная группа, ГЗ1 — группа закаливания первая экспериментальная, ГЗ2 — группа закаливания вторая экспериментальная.

иностранцев) к регулярным холодовым тренировкам в рамках специальной программы подготовки.

Исследователями было отмечено, что в процессе холодовой адаптации и при закаливании ведущую роль играет ЦНС, что отражается на картине биоритмов мозга [1]. В другой работе также указывают, что при длительном холодовом воздействии (впрочем, как и при остром) у человека могут формироваться специфические паттерны ЭЭГ, рассматриваемые как адаптивные [7].

Ряд исследований демонстрируют высокую чувствительность показателей мощности спектра ЭЭГ в тета- и альфа-диапазоне к стресс-воздействиям на организм, которые по сути служат маркерами успешности приспособительных реакций к различным неблагоприятным факторам среды [18–20].

В нашей работе курсанты-иностранцы показали в правой гемисфере существенно более высокие значения полной мощности спектра в тета- и альфа-полосе по сравнению с контролем, что могло свидетельствовать о повышенной активации симпатического отдела вегетативной нервной системы. Известно, что правое полушарие модулирует симпатический тонус [7], а автономная нервная система интегрирует функции внутренних органов посредством активации вегетативных центров головного мозга [21]. В то же время повышение полной мощности тета-ритма отражает снижение тормозного контроля корковых центров на стволовые и подкорковые структуры [22], а взаимоотношение между вегетативной нервной системой и вышележащими нервными центрами играет ключевую роль в формировании адаптационного ответа на холодовое воздействие в процессе закаливания [23].

Важным показателем стресс-воздействия служат представленность (индекс) и фронтальная асимметрия альфа-ритма [24]. В нашем исследовании альфа-ритм имел выраженную асимметрию показателей полной мощности спектра и индекса ритма по правому полушарию во фронтальных и передневисочных отведениях в группе курсантов иностранцев (Г32). Считается, что проявления паттернов фронтальной асимметрии альфа-осцилляций при усилении биоэлектрической активности правого полушария связаны с реакциями системы избегания (avoidance system) и поведенческими стереотипами агрессивно-оборонительного характера, тогда как альфа-активация левой гемисферы отражает работу системы приближения (approach system) и ориентировочно-исследовательское поведение [25].

Встречаются исследовательские и теоретические работы, в которых в качестве биомаркеров стресса рассматривают не сами характеристики спектра ЭЭГ, а их взаимосвязь, определяемую как индексы ритмов [26, 27]. Взаимодействие основных спектральных составляющих биоэлектрической активности мозга может служить маркером эффективности механизмов гомеостатической и адаптационной регуляции [28, 29]. Один из таких индексов, характеризующих

адаптационные процессы и дезадаптационные расстройства, представляет собой соотношение спектральных показателей альфа/тета-осцилляций.

В наших группах испытуемых по индексу альфа/тета функциональное «α-ядро» было сформировано в выборках гражданских студентов и курсантов-россиян, тогда как курсанты-иностранцы имели признаки разрушения альфа-ядра другими составляющими спектра ЭЭГ, в частности, тета-диапазона. Такая картина могла свидетельствовать о дестабилизации нейродинамических процессов в ЦНС с нарушением «церебрального гомеостаза» и незавершенностью адаптационных настроек организма курсантов-иностранцев под влиянием программы подготовки к экстремальным холодовым факторам. При субдоминировании альфа- и тета-составляющих в Г32 сформировалась двухъядерная альфа-тета-структура биоритмов мозга, характерная для дезадаптационных процессов с возможными дальнейшими сценариями: переходу к адаптированному и устойчивому к холоду (закаленному) состоянию и формированию на ЭЭГ «α-ядра», либо переходу от начальных стадий нарушения адаптивных процессов к формированию устойчивого патологического состояния [30].

ВЫВОДЫ

По совокупности спектральных характеристик ЭЭГ в альфа- и тета-диапазонах, а также их взаимодействию при формировании «α-ядра» фоновой биоэлектрической активности мозга можно предположить, что специальная программа поэтапного воздействия дозированных температурных нагрузок для курсантов военного вуза у молодых людей-россиян дала необходимый эффект закаливания, что отразилось на стабильности церебрального гомеостаза при некоторой степени неустойчивости нейродинамических процессов в ЦНС. У курсантов-иностранцев систематические холодовые тренировки привели к выраженной дезинтеграции корково-подкорковых и внутрикортикальных взаимоотношений, а также формированию двухъядерной альфа-тета-структуры фоновой ЭЭГ, что указывало на незавершенность адаптационных процессов и высокую стрессорную нагрузку на организм. Опираясь на полученные результаты, мы подготовили ряд рекомендаций. Во-первых, группе иностранных курсантов начальный уровень развития холодовой устойчивости целесообразно продлевать с 3 недель до 3–6 месяцев с целью более мягкой адаптации к дозированным (увеличить период акклимации) кратковременным холодовым нагрузкам. Во-вторых, полученные результаты в дальнейших исследованиях важно соотнести с данными ЭЭГ иностранных курсантов, которые не занимаются закаливанием и находятся в той же ситуации приспособления организма (акклиматизации) к климатогеографическим условиям Западной Сибири.

Литература

1. Горбунов М. М., Коршунова Н. В., Юречко О. В. Основные физиологические механизмы и адаптивные реакции при закаливании организма в условиях холодного климата. Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2020; 77: 107–16. DOI: 10.36604/1998-5029-2020-77-107-116.
2. Геда С. М., Торшин В. И., Северин А. Е., Мансур Н. Эффекты

локального охлаждения кисти руки у уроженцев жарких климатических регионов на терморегуляцию и параметры ритмограммы. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2014; 2: 5–11.

3. Соколова Ю. А. Формирование социокультурной адаптации иностранных студентов в рамках практико-ориентированного

- проекта «Мы в России». Вестник Томского государственного педагогического университета. 2019; 204 (7): 130–9.
4. Гуляев С. А. Исследование зрительного гнозиса с помощью анализа ЭЭГ-микросостояний. Медицина экстремальных ситуаций. 2022; 24 (3): 19–26. DOI: 10.47183/mes.2022.024.
 5. Гуляев С. А., Ханухова Л. М., Гармаш А. А. Нейрофизиологический метод исследования изменения активности сети пассивной работы головного мозга. Медицина экстремальных ситуаций. 2023; 25 (2): 69–76. DOI: 10.47183/mes.2023.009.
 6. Гуляев С. А., Ханухова Л. М., Гармаш А. А. Особенности биоэлектрической активности ретроспленальной коры головного мозга. Медицина экстремальных ситуаций. 2023; 3: 129–36. DOI: 10.47183/mes.2023.028.
 7. Кривоногова Е. В., Демин Д. Б., Кривоногова О. В., Поскотинова Л. В. Варианты изменения показателей сердечно-сосудистой системы и биоэлектрической активности головного мозга в ответ на холод у молодых людей. Экология человека. 2020; 11: 20–6. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-11-20-26.
 8. Сороко С. И., Бекшаев С. С., Рожков В. П. ЭЭГ корреляты генотипических особенностей возрастного развития мозга у детей аборигенного и пришлого населения северо-востока России. Российский физиологический журнал И. М. Сеченова. 2012; 98 (1): 3–26.
 9. Грибанов А. В., Джос Ю. С., Рысина Н. Н. Изменения параметров биоэлектрической активности головного мозга у школьников-северян 16–17 лет в различных условиях естественной освещенности. Экология человека. 2013; 6: 42–8.
 10. Rho G, Callara AL, Bernardi G, Scilingo EP, Greco A. EEG cortical activity and connectivity correlates of early sympathetic response during cold pressor test. Scientific Reports. 2023; 13 (1): 1338. DOI: 10.1038/s41598-023-27480-z.
 11. Tiago-Costa E, Quelhas-Costa E, Santos-Baptista J. Changes in EEG amplitude (Alpha and Beta waves) with Thermal environment. Dyna (Medellin, Colombia). 2016; 83 (197): 87–93. DOI: 10.15446/dyna.v83n197.57590.
 12. Tayeb Z, Dragomir A, Lee JH, Abbasi NI, Dean E, Bandla A, et al. Distinct spatio-temporal and spectral brain patterns for different thermal stimuli perception. Scientific Reports. 2022; 12 (1): 919.
 13. Дейков И. А., Володин В. Н. Значение развития холодовой устойчивости для курсантов инженерного вуза. В сборнике: Стратегия формирования здорового образа жизни населения: экосистемный подход. Материалы XXI Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д. п. н., профессора В. Н. Зуева; 9–10 ноября 2023 г.; Тюмень, 2023: 543–6.
 14. Фишер Т. А., Бобрешова С. С., Яковлев Д. С., Володин В. Н., Сабиров А. Н., авторы. Способ повышения индивидуальных адаптационных возможностей организма в развитии холодовой устойчивости. Патент РФ №2801957. 21.08.2023.
 15. Жирмунская Е. А., Лосев В. С. Системы описания и классификация электроэнцефалограмм человека. М.: Наука, 1984; 79 с.
 16. Демин Д. Б. Мозговая активность у подростков с различным уровнем риска интернет-зависимости. Экология человека. 2021; 6: 21–7. DOI: 10.33396/1728-0869-2021-6-21-27.
 17. Толстогузов С. Н., Фишер Т. А. Особенности биоэлектрической активности головного мозга студентов-мужчин 18–22 лет с интернет-зависимостью. Экология человека. 2023; 30 (8): 601–10. DOI: 10.17816/humeco568123.
 18. Муртазина Е. П., Гинзбург-Шик Ю. А. Спектральные характеристики тета- и альфа-ритмов ЭЭГ в покое у групп испытуемых с различной результативностью совместной деятельности в диадах. Журнал высшей нервной деятельности имени И. П. Павлова. 2023; 73 (1): 24–37. DOI: 10.31857/S0044467723010112.
 19. Al-Ezzi A, Kamel N, Faye I, Gunaseli E. Review of EEG, ERP, and Brain Connectivity Estimators as Predictive Biomarkers of Social Anxiety Disorder. Frontiers in Psychology. 2020; 11: 730. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.00730.
 20. Palacios-García I, Silva J, Villena-González M, Campos-Arteaga G, Artigas-Vergara C, Luarte N, et al. Increase in Beta Power Reflects Attentional Top-Down Modulation After Psychosocial Stress Induction. Frontiers in Human Neuroscience. 2021; 15: 630813. DOI: 10.3389/fnhum.2021.630813.
 21. Демин Д. Б. Значимость уровня гипотермии в нейрофизиологических реакциях организма человека на экспериментальное общее охлаждение. Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020; 54 (5): 57–64. DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-5-57-64.
 22. Guo CC, Sturm VE, Zhou J, Gennatas ED, Trujillo AJ, Hua AY, et al. Dominant hemisphere lateralization of cortical parasympathetic control as revealed by frontotemporal dementia. Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 2016; 113 (17): E2430–9. DOI: 10.1073/pnas.1509184113.
 23. Кривоногова Е. В., Кривоногова О. В., Поскотинова Л. В. Изменение ЭЭГ-ритмов и вариабельности ритма сердца в ответ на холод в зависимости от параметров произвольного внимания у молодых людей. Экспериментальная психология. 2022; 15 (1): 56–71. DOI: 10.17759/exppsy.2022150104.
 24. Palmiero M, Piccardi L. Frontal EEG Asymmetry of Mood: A Mini-Review. Frontiers in Behavioral Neuroscience. 2017; 11: 1–8. DOI: 10.3389/fnbeh.2017.00224.
 25. Smith EE, Reznik SJ, Stewart JL, Allen JJB. Assessing and conceptualizing frontal EEG asymmetry: An updated primer on recording, processing, analyzing, and interpreting frontal alpha asymmetry. International Journal of Psychophysiology. 2017; 111: 98–114. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2016.11.005.
 26. Пашков А. А., Дахтин И. С., Харисова Н. С. Электроэнцефалографические биомаркеры экспериментально индуцированного стресса. Вестник ЮУрГУ. Серия «Психология». 2017; 10 (4): 68–82. DOI: 10.14529/psy170407.
 27. Putman P, Verkuil B, Arias-Garcia E, Pantazi I, van Schie C. EEG theta/beta ratio as a potential biomarker for attentional control and resilience against deleterious effects of stress on attention. Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience. 2014; 14: 782–91. DOI: 10.3758/s13415-013-0238-7.
 28. Святогор И. А., Моховикова И. А., Бекшаев С. С., Ноздрачев А. Д. Оценка нейрофизиологических механизмов дезадаптационных расстройств по паттернам ЭЭГ. Журнал высшей нервной деятельности имени И. П. Павлова. 2005; 55 (2): 178–88.
 29. Сороко С. И., Бекшаев С. С., Сидоров Ю. А. Основные типы механизмов саморегуляции мозга. Л.: Наука, 1990; 152 с.
 30. Бехтерева Н. П. Здоровый и больной мозг человека. Л.: Наука, 1980; 262 с.

References

1. Gorbunov MM, Korshunova NV, Yurechko OV. Basic physiological mechanisms and adaptation reactions in the cold training of the organism in cold climate areas. Bulletin Physiology and Pathology of Respiration. 2020; 77: 107–16. DOI: 10.36604/1998-5029-2020-77-107-116. Russian.
2. Geda SM, Torshin VI, Severin AE, Mansur N. Effect of local hand cooling on thermoregulation and rhythm of cardiogram of students from hot climate. RUDN Journal of Medicine. 2014; 2: 5–11. Russian.
3. Sokolova YuA. Formation of socio-cultural adaptation of foreign students within the framework of the practice-oriented project "We are in Russia". Tomsk State Pedagogical University Bulletin. 2019; 204 (7): 130–9. Russian.
4. Gulyaev SA. Studying visual gnosis through eeg microstate analysis. Extreme Medicine. 2022; 24 (3): 19–26. DOI: 10.47183/mes.2022.024. Russian.
5. Gulyaev SA, Khanukhova LM, Garmash AA. Neurophysiological method for studying changes in the brain's default mode network activity. Extreme Medicine. 2023; 25 (2): 69–76. DOI: 10.47183/mes.2023.009. Russian.
6. Gulyaev SA, Khanukhova LM, Garmash AA. Features of bioelectric activity of the retrosplenial cortex. Extreme Medicine.

- 2023; 3: 129–36. DOI: 10.47183/mes.2023.028. Russian.
7. Krivonogova EV, Demin DB, Krivonogova OV, Poskotinova LV. Changes in cardiovascular indices and bioelectric activity of the brain in response to cold exposure in young men. *Human Ecology*. 2020; 11: 20–6. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-11-20-26. Russian.
8. Soroko SI, Bekshaev SS, Rozhkov VP. EEG correlates of genophenotypical features of the brain development in children of the native and newcomers' population of the Russian North-East. *Russ Fiziol Zhurnal Im IM Sechenova*. 2012; 98 (1): 3–26. Russian.
9. Gribanov AV, Dzhos YuS, Rysina NN. Changes of settings of brain bioelectrical activity in northern schoolchildren aged 16–17 in different ambient light conditions. *Human Ecology*. 2013; 6: 42–8. Russian.
10. Rho G, Callara AL, Bernardi G, Scilingo EP, Greco A. EEG cortical activity and connectivity correlates of early sympathetic response during cold pressor test. *Scientific Reports*. 2023; 13 (1): 1338. DOI: 10.1038/s41598-023-27480-z.
11. Tiago-Costa E, Quelhas-Costa E, Santos-Baptista J. Changes in EEG amplitude (Alpha and Beta waves) with Thermal environment. *Dyna (Medellin, Colombia)*. 2016; 83 (197): 87–93. DOI: 10.15446/dyna.v83n197.57590.
12. Tayeb Z, Dragomir A, Lee JH, Abbasi NI, Dean E, Bandla A, et al. Distinct spatio-temporal and spectral brain patterns for different thermal stimuli perception. *Scientific Reports*. 2022; 12 (1): 919.
13. Deikov IA, Volodin VN. The importance of developing cold resistance for cadets Engineering University. In: *Strategiya formirovaniya zdorovogo obraza zhizni naseleniya: ekosistemnyy podkhod. Materialy XXI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati d. p. n., professora VN Zueva*; 2023 Nov 9–10; Tyumen, 2023: 543–6. Russian.
14. Fisher TA, Bobreshova SS, Yakovlev DS, Volodin VN, Sabirov AN, inventors. Method to increase the individual adaptive capabilities of the body in the development of cold resistance. Patent RF №2801957. 21.08.2023. Russian.
15. Zhirmunskaya EA, Losev VS. *Sistemy opisaniya i klassifikatsiya elektroentsefalogramm cheloveka*. M.: Nauka, 1984; p. 79. Russian.
16. Demin DB. Brain activity in adolescents with different internet addiction risks. *Human Ecology*. 2021; 6: 21–7. DOI: 10.33396/1728-0869-2021-6-21-27. Russian.
17. Tolstoguzov SS, Fisher TA. Features of bioelectric brain activity of 18–22 years old male students with internet addiction. *Human Ecology*. 2023; 30 (8): 601–10. DOI: 10.17816/humeco568123. Russian.
18. Murtazina EP, Ginzburg-Shic YuA. Theta and alpha bands spectral power of resting-state EEG in groups with different efficiency of joint activity in diads. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti imeni IP Pavlova*. 2023; 73 (1): 24–37. DOI: 10.31857/S0044467723010112. Russian.
19. Al-Ezzi A, Kamel N, Faye I, Gunaseli E. Review of EEG, ERP, and Brain Connectivity Estimators as Predictive Biomarkers of Social Anxiety Disorder. *Frontiers in Psychology*. 2020; 11: 730. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.00730.
20. Palacios-García I, Silva J, Villena-González M, Campos-Arteaga G, Artigas-Vergara C, Luarte N, et al. Increase in Beta Power Reflects Attentional Top-Down Modulation After Psychosocial Stress Induction. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2021; 15: 630813. DOI: 10.3389/fnhum.2021.630813.
21. Demin DB. Znachimost' urovnya gipotermii v neyrofiziologicheskikh reaktsiyakh organizma cheloveka na eksperimental'noe obshchee okhlazhdenie. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2020; 54 (5): 57–64. DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-5-57-64. Russian.
22. Guo CC, Sturm VE, Zhou J, Gennatas ED, Trujillo AJ, Hua AY, et al. Dominant hemisphere lateralization of cortical parasympathetic control as revealed by frontotemporal dementia. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2016; 113 (17): E2430–9. DOI: 10.1073/pnas.1509184113.
23. Krivonogova EV, Krivonogova OV, Poskotinova LV. Changes in EEG Rhythms and Heart Rate Variability in Response to Cold, Depending on the Parameters of Voluntary Attention in Young People. *Experimental Psychology*. 2022; 15 (1): 56–71. DOI: 10.17759/exppsy.2022150104. Russian.
24. Palmiero M, Piccardi L. Frontal EEG Asymmetry of Mood: A Mini-Review. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 2017; 11: 1–8. DOI: 10.3389/fnbeh.2017.00224.
25. Smith EE, Reznik SJ, Stewart JL, Allen JJB. Assessing and conceptualizing frontal EEG asymmetry: An updated primer on recording, processing, analyzing, and interpreting frontal alpha asymmetry. *International Journal of Psychophysiology*. 2017; 111: 98–114. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2016.11.005.
26. Pashkov AA, Dakhtin IS, Kharisova NS. Electroen-cephalographic Biomarkers of Experimentally Induced Stress. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Psychology*. 2017; 10 (4): 68–82. DOI: 10.14529/psy170407. Russian.
27. Putman P, Verkuil B, Arias-Garcia E, Pantazi I, van Schie C. EEG theta/beta ratio as a potential biomarker for attentional control and resilience against deleterious effects of stress on attention. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*. 2014; 14: 782–91. DOI: 10.3758/s13415-013-0238-7.
28. Svyatogor IA, Mokhovikova IA, Bekshayev SS, Nozdrachev AD. EEG pattern as an instrument for evaluation of neurophysiological mechanisms underlying adaptation disorders. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti imeni IP Pavlova*. 2005; 55 (2): 178–88. Russian.
29. Soroko SI, Bekshaev SS, Sidorov YuA. *Osnovnye tipy mekhanizmov samoregulyatsii mozga*. L.: Nauka, 1990; p. 152. Russian.
30. Bekhtereva NP. *Zdorovyy i bol'noy mozg cheloveka*. L.: Nauka, 1980; p. 262. Russian.