

На правах рукописи



ПОТЁМИНА АНАСТАСИЯ МИХАЙЛОВНА

**ДВИГАТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА К
СЕЗОННОМУ ДЕЙСТВИЮ ХОЛОДА**

03.03.01 – физиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Архангельск - 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет» на кафедре физиологии человека и животных, патофизиологии, гистологии.

Научный руководитель

доктор медицинских наук, профессор
Мейгал Александр Юрьевич

Официальные оппоненты:

Козловская Инеса Бенедиктовна
член-корреспондент РАН, лауреат
Государственной премии РФ и Премии
Правительства РФ, заслуженный деятель
науки РФ, доктор медицинских наук,
профессор, ФГБУН ГНЦ РФ Институт
медико-биологических проблем РАН,
ведущий научный сотрудник

Грибанов Анатолий Владимирович
заслуженный деятель науки РФ,
заслуженный работник высшей школы РФ,
доктор медицинских наук, профессор,
ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический)
федеральный университет им.
М.В.Ломоносова», директор института
медико-биологических исследований

Ведущая организация:

ФГБУН «Институт физиологии Коми
научного центра УрО РАН»

Защита состоится «23» декабря 2014 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 208.004.01 при ГБОУ ВПО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации по адресу: 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д.51

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ГБОУ ВПО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России по адресу: 163000, г. Архангельск, Троицкий пр., д. 51; www.nsmu.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2014 г.

**Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
на соискание ученой степени кандидата
наук, доктора наук
доктор медицинских наук, профессор**



Вилова Татьяна Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Низкая температура – один из неустраняемых, циклически действующих факторов окружающей среды, который влияет на человека на протяжении всей жизни и важен для его развития и эволюции (Солонин Ю.Г. 2002; Бойко Е.Р., 2005). Помимо кратковременного влияния в виде срочных механизмов адаптации, температура, при многократных холодовых воздействиях, оказывает и долгосрочное действие, позволяющее человеку акклиматизироваться к экстремальным условиям высоких широт. Глобальный интерес к зоне Арктики существовал в 60-90-е годы, когда были проведены многочисленные классические работы по влиянию охлаждения на сердечно-сосудистую, дыхательную систему, систему крови, иммунитет, метаболизм (Лулундин Ю.В. и соавт., 1995; Захаров В.С., 2002, Пастухов Ю.Ф. и соавт., 2003; Young A.J., 1996). В настоящее время интерес к Арктике опять стал актуальным (Типисова Е.В., 2009, Поскотинова Л.В., 2010).

Двигательная система не только активно участвует в терморегуляции при помощи холодовой дрожи и терморегуляционного поведения (Малинецкий Г.Г., 2000; Nishizono H., 1989), но также и сама подвержена процессам акклиматизации и акклимации. Так, на животных показано, что при адаптации к холоду повышается теплопродукция мышечного сокращения (Yakimenko M.A., 1991) за счет снижения частоты импульсации двигательных единиц (ДЕ) (Сорокина Л.В., Медведев Н.В., 1986). Аналогичные работы по влиянию длительного охлаждения на двигательную систему человека не проводились. Известно, что острое охлаждение оказывает прямое действие на скоростно-силовые характеристики скелетных мышц и нарушает координацию их работы (Oksa J. 2002; Oksa J. et al., 2012). Существуют работы по влиянию холодовой дрожи на точные движения (Meigal A.Yu. et al., 1997; Meigal A.Yu. et al., 2003). Человек на Севере проводит в условиях холодовой экспозиции всего 4% времени. Это связано с работой, отдыхом и спортивной активностью. Однако, эффект длительного, в течение года, действия холода и острой холодовой иммерсии на двигательную систему именно человека практически не исследован. Чрезвычайно сильное влияние на организм человека оказывает иммерсия в холодной воде у любителей зимнего плавания (айсменов) (Лукк А.А., 1996; Vybiral S., 2000) или при случайном падении в холодную воду (Castellani J.W., 2002).

Современная электромиография (ЭМГ) представляет собой информативный метод оценки состояния скелетных мышц и организации движения (Felici F. et al., 2001, Farina D. et al., 2002; Farina D. et al., 2004). В последние годы появился ряд работ, в которых показана ценность

нелинейных параметров ЭМГ для диагностики нейромышечного статуса (Tipton M.J. et al., 1997, Rissanen S.M. et al., 2008, Meigal A.Yu. et al., 2009, Meigal A.Yu. et al., 2012). В этой связи, нам представлялось принципиально важным исследовать нейромышечный статус человека при однократной и многократной холодовой иммерсии, а также при естественной сезонной адаптации к температуре среды при помощи поверхностной ЭМГ.

Цель исследования – изучить естественную сезонную адаптацию двигательной системы человека в течение годового изменения температуры среды и при холодовой иммерсии методом поверхностной электромиографии.

Задачи исследования.

1. Провести анализ амплитудно-спектральных и нелинейных параметров интерференционной электромиограммы и активности двигательных единиц скелетных мышц человека в годовой динамике температуры среды.

2. Охарактеризовать нейромышечный статус человека на основе амплитудно-спектральных и нелинейных параметров интерференционной электромиограммы и активности двигательных единиц скелетных мышц у айсменов (лиц практикующих зимнее плавание) в течение года.

3. Дать сравнительную количественную оценку нейромышечного статуса скелетных мышц человека до и после острой иммерсии в холодной воде.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Температура окружающей среды оказывает влияние на состояние двигательной системы человека преимущественно в зимне-весенний сезон. Зимой адаптация двигательной системы выражается в виде статистически значимой перестройки активности отдельных двигательных единиц, а весной – в виде изменения нелинейных параметров иЭМГ.

2. У лиц, занимающихся зимним плаванием в течение года, не наблюдается сезонных изменений нейромышечного статуса.

3. Острая иммерсия в холодной воде вызывает срочную адаптацию мотонейронного пула в виде снижения частоты импульсации и усиления синхронизации двигательных единиц.

Научная новизна исследования. В настоящей работе впервые проведен комплексный анализ образцов интерференционной ЭМГ (иЭМГ) и двигательных единиц человека при однократной и многократной иммерсии в холодной воде и при естественной экспозиции при низкой температуре среды в течение годового температурного цикла. Впервые были рассчитаны нелинейные параметры сигнала иЭМГ человека для изучения механизмов адаптации двигательной системы к холоду. Получены новые данные о

тенденциях изменения нейромышечного статуса человека в течение годового температурного цикла у жителей Европейского Севера России, а также у любителей зимнего плавания. В частности, показано, что наибольшее влияние на нейромышечный статус человека оказывает зимне-весенний сезон года, а следы адаптации к температурному циклу у любителей зимнего плавания практически отсутствуют. Впервые проанализирована активность двигательных единиц сразу после иммерсии человека в холодной воде.

Теоретическая значимость. Получены данные, которые существенно расширяют представления о сезонном изменении функций двигательной системы человека, живущего в условиях Европейского Севера России. Установлено, что в зимний сезон снижается частота импульсации ДЕ, а в весенний сезон уменьшаются значения нелинейных параметров (энтропии, фрактальной и корреляционной размерности) иЭМГ. Таким образом, показано, что активность двигательной системы человека подвержена акклиматизации к сезонному изменению температуры окружающей среды. Экстремальное температурное воздействие (иммерсия в холодной воде) вызывает снижение частоты импульсации ДЕ, что свидетельствует о наличии акклимации. Полученные данные вносят вклад в представление о структурно-функциональном следе адаптации человека и дополняют современную теорию интерполяции частоты импульсации ДЕ и скорости сокращения мышечного волокна. Расширены возможности анализа ЭМГ с позиции обнаружения скрытых ритмов, характерных для двигательной системы при адаптации к холоду.

Практическая значимость. Комплексное применение амплитудно-спектральных и нелинейных параметров иЭМГ, а также параметров импульсации ДЕ могут быть полезны в диагностике адаптированности двигательной системы человека к холоду. Данные настоящей диссертации могут получить практическое применение как база данных по нейромышечному статусу человека для разработки мер по предупреждению травматизма, связанного с условиями жизни на Европейском Севере России (повышенная физическая и умственная утомляемость, скользкие поверхности, низкая освещенность, вероятность акцидентальной холодовой иммерсии и гипотермии). Данные настоящей диссертации внедрены в учебный процесс кафедры физиологии человека и животных, патофизиологии и гистологии и кафедры анатомии, топографической анатомии и оперативной хирургии, патологической анатомии, судебной медицины медицинского института ФГБОУ ВПО «Петрозаводского государственного университета» (ПетрГУ). Результаты работы внедрены в

деятельность кабинета нейрофункциональной диагностики ГБУЗ «Детская республиканская больница» (г. Петрозаводск).

Методология и методы исследования. Методология заключалась в проведении электромиографического обследования нескольких групп испытуемых (контрольная группа, любители зимнего плавания) в течение года, а также при острой иммерсии в холодной воде и последующего внутригруппового и межгруппового сравнения данных для оценки сезонного и острого влияния температурного фактора на нейрофизиологические механизмы активности мотонейронного пула человека. Использовали методы накожной электромиографии импульсной активности отдельных двигательных единиц и поверхностной интерференционной электромиографии с последующим расчетом линейных и нелинейных параметров (спектральный анализ, расчет энтропии и двух видов размерности), при помощи аппарата Нейро-МБП-8 (ООО Нейрософт, Иваново, Россия), программы FRACTAN 4.4 © (Институт математических проблем биологии РАН, Пущино, Россия), статистических пакетов SPSS 17.0 (IBM, США) и Statgraphics 15.0 Centurion (Statpoint Technologies, США).

Легитимность исследования подтверждена решением Этического комитета при Министерстве здравоохранения и социального развития Республики Карелия (протокол № 11 от 19 мая 2010 г.). Диссертационная работа выполнена в рамках тематического плана научных исследований ПетрГУ (№ государственной регистрации темы 01.02.00101823) и Программы стратегического развития ПетрГУ (№ государственной регистрации темы 01201372071, 2012-2016).

Апробация работы. Материалы представлены на III Всероссийской, с международным участием, конференции по управлению движением (Великие Луки, ВЛГАФК, 2010), на XVI межгородской конференции молодых ученых «Актуальные проблемы патофизиологии» (Санкт-Петербург, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2010), VI Всероссийской, с международным участием, конференции-школе по физиологии мышц и мышечной деятельности (Факультет фундаментальной медицины МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия, 2012), на IV Всероссийской с международным участием конференции по управлению движением (РГУФКСМиТ, Москва, Россия, 2012), на юбилейной XX Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы патофизиологии – 2014» (Санкт-Петербург, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2014), V Российской с международным участием конференции по управлению движением (Петрозаводск, ПетрГУ, 2014).

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 03.03.01 «Физиология» по областям исследований:

п. 1. Изучение закономерностей и механизмов поддержания постоянства внутренней среды организма;

п. 3. Исследование закономерностей функционирования основных систем организма (нервной, иммунной, сенсорной, двигательной, крови, кровообращения, лимфообращения, дыхания, выделения, пищеварения, размножения, внутренней секреции и др.),

п. 8. Изучение физиологических механизмов адаптации человека к различным географическим, экологическим, трудовым и социальным условиям,

п. 9. Анализ характеристик и изучение механизмов биоритмов физиологических процессов.

Личный вклад автора составляет не менее 90% и заключается в сборе первичных электромиографических данных, обработке и интерпретации данных, написании рукописей статей и тезисов.

Публикации по теме исследования: материалы исследования опубликованы в 12 печатных работах, в том числе 3 из них в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, методологической главы, двух глав собственных экспериментальных исследований, обсуждения, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка цитируемой литературы, включающего 37 отечественных и 84 зарубежных источников. Диссертация изложена на 108 страницах машинописного текста, иллюстрирована 26 рисунками, 10 таблицами

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выполнено 2 серии исследований, каждая из которых имела собственную выборку испытуемых и совокупность средовых факторов. В первой серии исследований регистрировали потенциалы двигательных единиц (ДЕ) и интерференционную ЭМГ (иЭМГ) ежемесячно, у нескольких испытуемых в течение 15 февраля 2008 г. – 15 января 2010 г. и 15 января 2010 г. – 15 января 2011 г. (12 испытуемых обоего пола). Вторая серия исследований сложена из 3 этапов и проведена с участием двух групп испытуемых: 1) любителей зимнего плавания (далее - «моржей») и 2) «неморжей». На первом этапе проведено сравнение параметров иЭМГ и параметров активности ДЕ в группах «моржей» летом (состояние M1A) и

осенью (состояние М1Б), и «не-моржей» осенью (состояние М0) в условиях лаборатории, до открытия сезона зимнего плавания в октябре-декабре 2010 г. На втором этапе выполнено сравнение группы «моржей» до начала сезона зимнего плавания осенью (состояние М1Б), летом (М1А) и при его окончании в марте-апреле 2011 г. (состояние М2). Третий этап включал в себя сравнение параметров иЭМГ по окончании сезона зимнего плавания до погружения в холодную воду (состояние М2) и сразу же после выхода из проруби (состояние М3).

Группу «моржей» составили 13 здоровых любителей спортивного зимнего плавания - *айсменов* (Карельское региональное отделение общероссийской общественной организации «Федерация закалывания и спортивного зимнего плавания» - клуб «Виктория», г. Петрозаводск, наб. Варкауса, 7 мужчин и 6 женщин). Средний стаж занятий зимним плаванием 4,4 года (1-12 лет), среднее время экспозиции в воде от 2 до 15 минут в неделю. Контрольную группу составили 14 человек («не-моржи», 5 мужчин и 9 женщин). Обе группы были сопоставимы по возрасту, полу и антропометрическим данным. Испытуемые обеих групп не курили, не страдали неврологическими и сердечно-легочными заболеваниями. Таким образом, всего в исследовании приняло участие 39 испытуемых обоего пола.

Исследование групп «моржей» и «не-моржей» проводилось в условиях лаборатории ($T_{\text{возд}}=25-26^{\circ}\text{C}$, влажность 60-70%) на базе кафедры физиологии человека и животных ПетрГУ (лабораторные условия). Группа «моржей» также была обследована на берегу Онежского озера, в обогреваемом здании клуба «Виктория» (состояние М2, берег Онежского озера, г. Петрозаводск, $T_{\text{возд}} 24-25^{\circ}\text{C}$) до и после иммерсии. Температура воды Онежского озера составила в марте-апреле 2011 г. $1-4^{\circ}\text{C}$. Температура воздуха в марте 2011 г. составила от -2° до 6°C , в апреле от -1 до 10°C . Время иммерсии (погружения в холодную воду) - 60-80 секунд. Испытуемые также получали дополнительную холодовую воздушную экспозицию в течение 2-3 минут при подходе к проруби и выходе из нее. Средневзвешенную температуру кожи (СВТК) определяли по методу N.Ramanatan (1964).

Потенциалы действия ДЕ регистрировали с трехглавой мышцы плеча (*m. triceps brachii*) накожно, билатерально по методу, примененному нами ранее (Мейгал А.Ю. и соавт., 2009). Испытуемые произвольно напрягали мышцу до появления спонтанно импульсирующих ДЕ. Измеряли 70-100 межимпульсных интервалов (МИИ), рассчитывали средний МИИ (мс), среднюю частоту импульсации f (имп/с). Всего зарегистрирована активность более 400 ДЕ. Поверхностную иЭМГ регистрировали в двуглавой мышце плеча (*m. biceps brachii*) справа (в позе стоя, плечо опущено вниз,

предплечье удерживалось в положении локтевого сгибания), а также С медиальной головки икроножной мышцы (*m. gastroc. med.*). Запись иЭМГ делали без нагрузки и при нагрузках 1, 2 и 3 кг при помощи электромиографа Нейро-МВП-8 (ООО «Нейрософт», г. Иваново, Россия). Отводящие электроды укрепляли лейкопластырем после предварительной обработки кожи 70%-м этанолом, на электрод наносили электродный гель. Полоса пропускания ЭМГ составила 20-500 Гц, частота оцифровки – 20 КГц. Анализировали отрезки ЭМГ длительностью 1 с. При импедансе более 10 МОм электроды переустанавливали. Средняя амплитуда рассчитана при значении турна ЭМГ 50-100 мкВ. Для спектрального анализа использовали среднюю частоту (MNF, Гц), которая рассчитывалась программой Нейро-МВП-8.

Из нелинейных параметров ЭМГ рассчитывали корреляционную размерность (D_c), корреляционную энтропию (K_2) и фрактальную размерность (D) (FRACTAN[®], Институт математических проблем биологии РАН, Пущино, Россия). Величина D_c отражает меру сложности поведения динамической системы, то есть количество параметров, управляющих данной системой. K_2 является мерой потери информации о системе во времени, то есть характеристикой степени хаотичности. Фрактальная размерность D определяет степень самоподобия иЭМГ.

Статистический анализ проведен с использованием статистических программ SPSS 12.0[™] (IBM, США) и Statgraphics 15.0 Centurion (Statpoint Technologies Inc, США). Корреляционный анализ между параметрами производили с помощью непараметрического критерия Спирмена. Проверку распределения данных на нормальность определяли по методу Шапиро-Уилка. Для межгруппового сравнения использовали критерий Манна-Уитни (U-test). При сравнении нескольких групп испытуемых использовали критерий Крускал-Уоллиса (W-критерий).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Параметры активности двигательных единиц и параметров интерференционной ЭМГ человека в течение года. Установлено, что наибольшие значения межимпульсного интервала ДЕ ($n=190$) наблюдались в ноябре-январе (в среднем 120-130 мс), затем отмечалось уменьшение МИИ до 105 мс в апреле, июле и октябре, и до 115 мс в мае-июне, августе-сентябре и феврале (рис. 1). Применение критерия Крускал-Уоллиса показало, что средние значения МИИ в разные месяцы различаются достоверно ($p=0,0083$) (рис. 1).

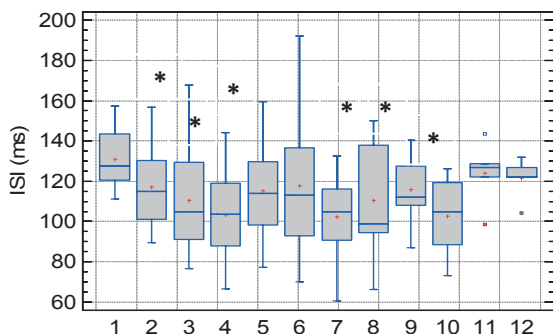


Рис. 1. Годовые колебания среднего межимпульсного интервала двигательных единиц человека в течение двух лет наблюдения (2008-2009 2008 – 2010 гг.). *Примечание:* 1 – 12: январь – декабрь. * - $p < 0.05$ по отношению к январю. По горизонтальной оси нумерация с января (1) по декабря (12). * – $p < 0.05$ по отношению к январю.

Группирование данных по сезонам (рис. 2) показало, что частота импульсации ДЕ в ноябре-январе составила в среднем 8,2 имп/с, а для всех «незимних» месяцев – 9,2 имп/с. Различие было приближено к границе значимости ($p=0.083$). Таким, образом, магнитуда колебаний среднего межимпульсного интервала ДЕ в течение года не превышала 1 имп/с, что составляет всего 10%.

Средняя амплитуда и средняя частота спектра иЭМГ не изменялись в течение года. Нелинейные параметры иЭМГ также не претерпевали статистически значимых изменений по месяцам в течение года, однако при группировании данных по сезонам (зима – весна – лето – осень) выявлено, что корреляционная размерность ($p=0.027$) и корреляционная энтропия ($p=0.025$) уменьшаются статистически значимо (рис. 2).

Таким образом, двигательная система человека адаптируется в основном к зимне-весеннему периоду года, что проявляется снижением частоты импульсации ДЕ в зимний и снижением нелинейных параметров иЭМГ в весенний сезон. Согласно исходной гипотезе, частота импульсации ДЕ должна быть наименьшей в зимний (холодный) период, затем увеличиваться весной и осенью (прохладный период), и стать наибольшей летом (теплый период). Действительно, в зимний сезон частота импульсации ДЕ снижена по сравнению с весной, однако летом увеличения частоты импульсации ДЕ не происходило.

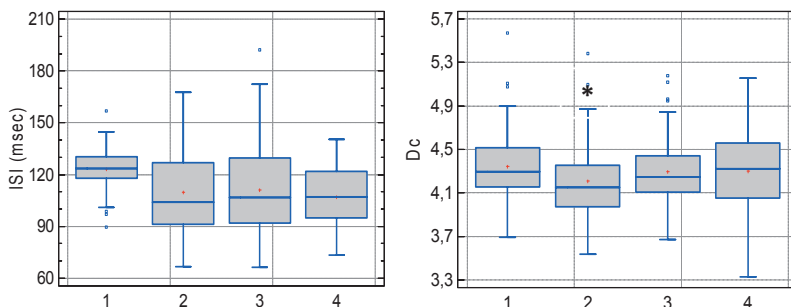


Рис. 2. Сезонные изменения среднего межимпульсного интервала (ISI) двигательных единиц (левая панель) и корреляционной размерности (D_c) человека в течение четырех сезонов года. *Примечание:* 1 – зима, 2 – весна, 3 – лето, 4 – осень.

При искусственной акклимации к холоду частота импульсации ДЕ у животных снижается на 4-5 имп/с, т.е. на 25-30% (Сорокина Л.В. и соавт., 1984), а у птиц (голубей) зимой частота импульсации ДЕ на 1-2 имп/с меньше, чем летом, т.е. на 10% (Сорокина Л.В., Медведев Н.В., 1986). В нашем исследовании разность частоты импульсации ДЕ между зимним сезоном и другими сезонами составила 10%. Видимо, 10-процентное изменение является характерным для природной адаптации.

Размер тела также мог повлиять на диапазон реакции ДЕ на температуру среды. Так, зимнеспящие животные с массой менее 5 кг в гораздо большей степени реагируют на холод, чем животные, сопоставимые по массе с человеком (весом 60-100 кг) (Toien Ø et al., 2011). Даже столь малое снижение частоты ДЕ у человека имеет физиологический смысл, так как при низких частотах мышечные волокна переходят в режим более калоригенного зубчатого тетануса (Гурфинкель В.С. и соавт., 1981).

Вторым значимым результатом явилось снижение величины нелинейных параметров иЭМГ в весенний период. Уменьшение корреляционной и фрактальной размерности свидетельствуют об «упрощении» временной структуры иЭМГ, что указывает на появление повторяющихся фрагментов на иЭМГ, которые связаны с повышением синхронизации активности ДЕ (Filligoi G. et al., 2003). Для получения адаптации к теплу требуется температура 30-35°C (Пчеленко Л.Д. и соавт., 1978), что редко наблюдается в Республике Карелия даже летом. Возможно, именно это не позволяет двигательной системе человека адаптироваться к теплу на Севере.

Нейромышечный статус у любителей зимнего плавания в течение года. Установлено, что межимпульсный интервал ДЕ «моржей» летом, осенью (в начале сезона зимнего плавания) и зимой (в конце сезона) после 4-месячных занятий зимним плаванием не изменялся (табл. 1).

Таблица 1.

Параметры импульсации двигательных единиц в группах «моржей» и «не-моржей».

Параметр ЭМГ	Группа М0 («не-моржи осенью»)	Группа М1А («моржи летом»)	Группа М1Б («моржи осенью»)	Группа М2 («моржи зимой»)
Средний межимпульсный интервал ДЕ (мсек)				
вся группа	106,88±21,75	106,12±24,73	111,37±18,13	113,06±30,37
< 60 лет	103,38±20,61	111,78 ±17,67	106,86±16,00	113,46±27,29
> 60 лет	131,68±23,34	97,85 ±10,41	121,52±19,20	112,17±37,69
мужчины	101,25±24,78	111,01 ±19,39	108,02±17,54	117,44±26,62
женщины	110,56±19,33	100,77 ±9,36	114,89±18,54	107,21±34,84
Средняя частота (имп/сек)				
вся группа	9,75±1,99	9,76±1,95	9,25±1,59	9,46±2,52
< 60 лет	10,04±1,99	9,47±1,40	9,58±1,56	9,31±2,30
> 60 лет	7,89±1,46	10,31±1,12	8,53±1,45	9,80±3,04
мужчины	10,43±2,47	9,58±1,52	9,52±1,72	8,90±1,85
женщины	9,31±1,50	10,03±0,94	8,98±1,44	10,21±3,12

Примечание: значимых различий между группами нет.

Значения параметров иЭМГ группы «моржей» осенью (М1Б), зимой (М2) также не различались (табл. 2). Достоверные различия были характерны только для средней частоты иЭМГ и фрактальной размерности между «моржами» и «не-моржами». Для икроножной мышцы достоверных различий параметров иЭМГ обнаружено не было. Таким образом, сезон года практически не повлиял на организацию работы мотонейронного пула «моржей», поскольку у них не обнаружено изменения частоты импульсации ДЕ и параметров иЭМГ в течение года. Это свидетельствует о слабом адаптационном влиянии воздушного охлаждения на двигательную систему людей, подвергающихся экстремально сильному воздействию холода (иммерсии). Вероятно, у «моржей» существует постоянная внесезонная адаптация к холоду (по показателям

поверхностной электромиографии), что не позволяет увидеть действие сезонов года, в отличие от изменений нейромышечного статуса у «не-моржей».

Таблица 2.

Параметры суммарной ЭМГ двуглавой мышцы плеча в группах «моржей» и «не-моржей».

Параметр иЭМГ	Группа М1Б («моржи осенью»)	Группа М0 («не-моржи»)	Группа М2 («моржи зимой»)
Средняя частота иЭМГ (MNF, Гц)	135,90±14,33	127,81±18,25*	134,96±25,13
Фрактальная размерность (D)	1,7512±0,041	1,7629±0,046*	1,7511±0,038
Корреляционная размерность (D _c)	4,380±0,366	4,253±0,336	4,464±0,570
Корреляционная энтропия (K ₂)	5,921±2,906	5,397±2,72	4,752±1,63

Примечание: * - $p < 0,05$ между группами М1Б и М0.

Влияние острой холодовой иммерсии на параметры ЭМГ. Сразу после 60-80 секундного погружения «моржей» в ледяную воду (состояние М3) СВТК снижалась с 30,9±2,1 до 14,6±1,5 °С. Зарегистрирована активность 28 ДЕ. После погружения частота импульсации ДЕ снижалась с 9,5 до 8 имп/с, то есть на 15%. У женщин снижение частоты импульсации было более заметным – на 2,5 имп/с, однако, возможно, это было связано с тем, что исходная частота импульсации ДЕ до погружения в холодную воду у них была больше (табл. 3).

Средняя амплитуда и средняя частота иЭМГ после холодовой иммерсии не изменились, а нелинейные параметры (фрактальная и корреляционная размерность, корреляционная энтропия) значительно снизились (табл. 5). Параметры иЭМГ икроножной мышцы также снизились после иммерсии, однако эти изменения не были статистически значимыми.

Таким образом, острое сильное охлаждение (иммерсия в холодной воде), вызывает у «моржей» снижение частоты импульсации ДЕ на 10% и статистически значимое снижение всех нелинейных параметров иЭМГ (увеличение синхронизации активности ДЕ). Это означает, что ДЕ переходят в более калоригенный (низкочастотный) (Гурфинкель В.С. и соавт., 1981) и более синхронный режим импульсации.

Таблица 3.

Параметры импульсации двигательных единиц в группе «моржей» до (М2) и после (М3) погружения в холодную воду в конце сезона зимнего плавания.

Параметр ЭМГ	Группа М2	Группа М3
Средний межимпульсный интервал ДЕ (мс±SD)		
вся группа	113,06±30,37 (n=35)	128,69±22,26 * (n=28)
< 60 лет	113,46±27,29 (n=24)	127,05±23,37 (n=19)
> 60 лет	112,17±37,69 (n=11)	132,18±20,59 (n=9)
мужчины	117,44±26,62 (n=20)	129,66±25,72 (n=13)
женщины	107,21±34,84 (n=15)	127,85±19,67 (n=15)
Средняя частота (имп/сек)		
вся группа	9,46±2,52 (n=35)	7,99±1,35 ** (n=28)
< 60 лет	9,31±2,30 (n=24)	8,11±1,40 (n=19)
> 60 лет	9,80±3,04 (n=11)	7,74±1,29 (n=9)
мужчины	8,90±1,85 (n=20)	7,98±1,51 (n=13)
женщины	10,21±3,12 (n=15)	7,99±1,29 (n=15)

Примечание: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$ между группами М2 и М3 (критерий Манна-Уитни).

Таблица 4.

Электромиографические параметры в группе «моржей» до (М2) и после погружения (М3) в холодную воду.

Параметр ЭМГ	Группа М2 («моржи зимой»)	Группа М3 («моржи после иммерсии»)
MNF (Гц)	134,96±25,13	132,46±24,09
D	1,7511±0,038	1,7412±0,059 *
D_c	4,464±0,570	4,355±0,436 *
K₂	4,752±1,63	4,610±1,746 *

Примечание: * - $p < 0,05$; между группами М2 и М3 (критерий Манна-Уитни).

В настоящем исследовании представлены данные о влиянии сезонного изменения температуры и иммерсии в холодной воде на функционирование двигательной системы на уровне мотонейронного пула, полученные при помощи поверхностной электромиографии. Установлено, что при действии холодного сезона года на человека активность мотонейронного пула модулируется в виде снижения частоты и увеличения

синхронизации импульсации ДЕ. Физиологический смысл этого заключается в увеличении теплопродукции мышечного сокращения и согласовании с уменьшенной скоростью сокращения мышечных волокон. В целом, это свидетельствует о наличии сезонных адаптационных процессов в двигательной системе человека в течение года на уровне мотонейронного пула. Таким образом, зимне-весенний сезон года оказывает наибольшее влияние на механизмы активности двигательной системы. Острая иммерсия в холодной воде вызывает аналогичную перестройку активности мотонейронного пула. Это указывает на универсальное действие холодового фактора на нейрофизиологические механизмы двигательной активности. Напротив, сезонные колебания нейрофизиологической организации мотонейронного пула практически отсутствуют у любителей зимнего плавания, что может быть связано с длительной практикой экстремальных холодовых воздействий и сформировавшейся стойкой адаптацией к холоду.

ВЫВОДЫ

1. В течение годового температурного цикла на Европейском Севере России (г. Петрозаводск) частота импульсации двигательных единиц человека изменяется только в зимний сезон, а именно уменьшается на 10%. В другие сезоны года не обнаружено динамических изменений реакции двигательных единиц человека на температуру среды.

2. Параметры иЭМГ скелетных мышц в течение года изменяются минимально, с тенденцией к снижению в весенний сезон. Корреляционная размерность иЭМГ снижается весной статистически значимо. В целом, это свидетельствует о незначительном упрощении организации генератора иЭМГ в весенний сезон и усилении синхронизации активности двигательных единиц.

3. Сезон года не оказывает влияния на параметры электромиограммы у любителей зимнего плавания, поскольку все параметры иЭМГ и частота импульсации двигательных единиц не изменяются в течение года, в том числе после сезона зимнего плавания продолжительностью 4 месяца. Это указывает на то, что адаптация к холоду у любителей зимнего плавания поддерживается в течение всего года.

4. Острая холодовая иммерсия вызывает статистически значимое снижение частоты импульсации двигательных единиц трехглавой мышцы плеча (на 15%) и снижение нелинейных параметров иЭМГ двуглавой мышцы плеча, что идентично реакции двигательной системы на холодовую экспозицию в зимний сезон года. Это подтверждает наличие единой

стратегии реакции двигательной системы человека на разные виды охлаждения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Комплексное применение традиционных методов электромиографии в виде параметров активности двигательных единиц и нелинейных параметров интерференционной электромиограммы использовано для создания базы данных о нейромышечном статусе здорового человека для последующей оценки степени его адаптации к условиям среды.
2. Нелинейные параметры интерференционной электромиограммы, с учетом их неинвазивности, простоты исполнения и чувствительности к функциональным и морфологическим изменениям в скелетной мышце, рекомендуем использовать в качестве нового метода обследования двигательной системы человека для диагностики нормальных (утомление, гипертрофия, старение, развитие) и патологических (миопатии, нейропатии, атрофия) состояний двигательной системы.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Мейгал А.Ю. Нейромышечный статус человека в течение годового температурного цикла / А.Ю. Мейгал, А.М. Потемина // **Ученые записки Петрозаводского государственного университета**. 2014. №2. С. 48-51.
2. Потемина А.М. Активность двигательных единиц в течение года у любителей зимнего плавания / А.М. Потемина, А.Ю. Мейгал // Материалы V Всероссийской с международным участием конференции по управлению движением, Петрозаводск. 2014. С. 51.
3. Потемина А.М. Нейромышечный статус человека при естественной сезонной адаптации двигательной системы к низкой температуре среды / А.М. Потемина // Материалы юбилейной XX Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы патофизиологии – 2014», Санкт – Петербург, 2014. С. 87.
4. Мейгал А.Ю. Влияние годового температурного цикла и острой холодовой иммерсии на нейромышечный статус человека / А.Ю.Мейгал, А.М. Потемина, И.М. Шегельман // **Фундаментальные исследования**. 2012. № 12. С. 341-345.
5. Потемина А.М. Параметры электромиограммы у любителей зимнего плавания при иммерсии в холодной воде / А.М. Потемина, А.Ю. Мейгал, И.М.Шегельман // Принципы экологии. 2012. №1. С. 58-64.

6. Потемина А.М. Влияние острой и хронической иммерсии в холодной воде на нейромышечный статус человека / А.М. Потемина, А.Ю. Мейгал // Материалы IV Всероссийской с международным участием конференции по управлению движением, Москва. 2012. С. 121.

7. Мейгал А.Ю. Нейромышечный статус человека при острой и хронической иммерсии в холодной воде / А.Ю. Мейгал, А.М. Потемина, И.М. Шегельман // **Ученые записки Петрозаводского государственного университета**. 2011. №8. С. 37-41.

8. Потемина А.М. Годовая динамика нейромышечного статуса человека / А.М. Потемина, А.Ю. Мейгал // Материалы VI Всероссийской с международным участием Школы-конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности, Москва. 2011. С. 64.

9. Потемина А.М. Сезонные изменения активности двигательных единиц человека в условиях Европейского севера./А.М. Потемина, А.Ю. Мейгал // Материалы III Всероссийской с международным участием конференции по управлению движением, Великие Луки. 2010. С. 99.

10. Потемина А.М. Адаптация активности двигательных единиц человека к условиям Европейского севера // Материалы XVI межгородской конференции молодых ученых, Санкт-Петербург. 2010. С. 145-146.

11. Потемина А.М. Влияние годового температурного цикла на нейромышечный статус человека в условиях Европейского Севера России / А.М. Потемина, А.Ю. Мейгал // Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Гармония Севера: взгляд молодых», 25-26.11.2010. Петрозаводск. 2010. (электронный ресурс) http://northcentre.ru/ru/projects/Harmony/harmony_of_north/3893/3894/

12. Потемина А.М. Годовой ритм активности двигательных единиц человека / А.М. Потемина, А.Ю. Мейгал // Медицинский академический журнал. 2010. Т.10. №5. С.28.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Гц	Герц
ДЕ	двигательная единица
иЭМГ	интерференционная электромиограмма
МИИ	Межимпульсный интервал
мкВ	микровольт
мс	миллисекунда
ПДЕ	потенциал двигательной единицы
СВТК	Средневзвешенная температура кожи
ЦНС	центральная нервная система
ЭМГ	электромиограмма
D_c	корреляционная размерность
D	фрактальная размерность
K_2	корреляционная энтропия

Подписано в печать 10.10.2014. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. 1,0 уч.-изд. л. Тираж 100 экз. Изд. № 308

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Отпечатано в типографии Издательства ПетрГУ
185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

