

АЛЕКСАНДР ЮРЬЕВИЧ МЕЙГАЛ

доктор медицинских наук, главный научный сотрудник
Института высоких биомедицинских технологий, профес-
сор кафедры физиологии человека и животных медицин-
ского факультета, Петрозаводский государственный уни-
верситет (Петрозаводск, Российская Федерация)
meigal@petrsu.ru

АНАСТАСИЯ МИХАЙЛОВНА ПОТЕМИНА

старший преподаватель кафедры физиологии человека
и животных медицинского факультета, Петрозаводский
государственный университет (Петрозаводск, Российская
Федерация)
medic13@inbox.ru

НЕЙРОМЫШЕЧНЫЙ СТАТУС ЧЕЛОВЕКА В ТЕЧЕНИЕ ГОДОВОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ЦИКЛА

Исследован нейромышечный статус группы здоровых испытуемых в течение года. Установлено, что в зимний сезон снижалась частота импульсации двигательных единиц. Для весеннего сезона было характерно «упрощение» временной структуры интерференционной электромиограммы. Вместе с тем не обнаружено строгого следования параметров нейромышечного статуса за годовым температурным циклом.

Ключевые слова: температура, холод, адаптация, сезон года, электромиограмма, двигательные единицы, нелинейные параметры

ВВЕДЕНИЕ

Температура – один из неустраняемых, циклических факторов окружающей среды, который действует на человека в течение всей жизни. Помимо краткосрочных эффектов, температура оказывает и долгосрочное действие, позволяющее человеку акклиматизироваться к экстремальным условиям высоких широт, что может быть полезно в силу своей синергичности с действием гравитации при адаптации к невесомости [8]. Обычно человек получает холодовую нагрузку зимой, однако в современном мире можно испытать действие холода и летом – на горнолыжных курортах, при работе в морозильных камерах, а также при занятиях зимним плаванием (холодовая иммерсия). В последнее время получает популярность такой вид лечебно-косметических процедур, как криосауна.

Как длительное, так и острое охлаждение вызывает снижение частоты импульсации двигательных единиц (ДЕ) животных [6], [7] и человека при холодовой экспозиции или иммерсии [3], [4]. Биоритмы (сезон года, менструальный цикл) также влияют на нейромышечный статус женщины, причем наибольшее влияние оказывает сочетание весеннего сезона и фазы овуляции [2]. Согласно нашей рабочей гипотезе, параметры нейромышечного статуса человека следуют за среднемесячной температурой воздуха с небольшим отставанием. Поэтому нам представлялось интересным исследовать нейромышечный статус в группе здоровых испытуемых в течение сезонов года при помощи электромиографии (ЭМГ).

МАТЕРИАЛЫ

В течение 2008–2010 годов регистрировали ДЕ и интерференционную ЭМГ (иЭМГ) у здоровых испытуемых ($n = 5$) ежемесячно с 15 февраля 2008 года по 15 января 2010 года. Поверхностную иЭМГ регистрировали с двуглавой мышцей плеча (*m. biceps br.*) справа, в позе стоя, плечо было опущено вниз, предплечье удерживалось в положении локтевого сгибания. Запись иЭМГ делали при нагрузках 0 (без нагрузки), 1, 2 и 3 кг. Использовали электромиограф Нейро-МВП-8 (ООО «Нейрософт», г. Иваново, Россия). Отводящие электроды укрепляли лейкопластырем над основной массой мышцы на предварительно обработанной коже [2]. Полоса пропускания ЭМГ – 20–500 Гц, длительность записи – 1 с при значении импеданса не более 10 МОм.

Анализировали среднюю амплитуду (мкВ), среднюю частоту (MNF, Гц), фрактальную (D) и корреляционную (D_c) размерность и корреляционную энтропию (K_2) (программа FRACTAN 4.4 ©). Также рассчитывали средний межимпульсный интервал (МИИ, мс) и на его базе – среднюю частоту импульсации (f , имп/с) ДЕ трехглавой мышцы плеча (*m. triceps br.*) при слабом ее сокращении.

Статистический анализ

Статистический анализ проводился при помощи программы SPSS 14.0™. Корреляционный анализ – с помощью непараметрического критерия Пирсона, распределение выборок на нормальность проверяли по методу Шапиро – Уилка. Межгрупповое сравнение сред-

них значений производили с помощью непараметрических критериев Крускал – Уоллиса и Манна – Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что наибольшие значения МИИ наблюдались в ноябре – январе (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). Таким образом, наблюдалось три месяца с минимальными (апрель, июль, октябрь) и три месяца с максимальными (ноябрь, декабрь, январь) значениями МИИ. Средние значения МИИ в течение года различались статистически значимо ($p = 0,0083$). Группирование данных по сезонам показало, что в зимний сезон (климатическая зима, которая в г. Петрозаводске включает 4,5 месяца – ноябрь, три календарных зимних месяца и половину марта) частота импульсации ДЕ составила $\sim 8,2$ имп/с, а для всех не зимних месяцев $\sim 9,2$ имп/с. Различия не было статистически значимым, хотя и было приближено к границе значимых различий ($p = 0,083$). Таким образом, амплитуда колебаний средней частоты импульсации ДЕ в течение года не превышала 1 имп/с (~ 15 мс для МИИ), что составляет всего ~ 10 –

12 % от среднего значения (рис. 2). Параметры иЭМГ не изменялись в течение года (см. табл.). Однако при группировании данных по сезонам выявлено статистически значимое уменьшение D_c ($p = 0,027$) и K_2 ($p = 0,025$) в весенний сезон (рис. 3).

В соответствии с нашей рабочей гипотезой, частота импульсации ДЕ должна быть наименьшей в зимний (холодный) период, а затем должна увеличиваться весной и осенью (прохладный период), достигая наибольших значений летом (теплый период). Установлено, что в зимний (холодный) сезон действительно происходит небольшое (на ~ 10 %) снижение частоты импульсации ДЕ, однако для летнего сезона увеличение частоты импульсации ДЕ оказалось нехарактерно. Возможно, охлаждение зимой является более сильным стресс-фактором. Также двигательная система эволюционно задействована именно для защиты от холода, а не от перегрева. С точки зрения терморегуляции снижение частоты импульсации ДЕ выгодно [1].

Известно, что у мелких животных структурные следы холодовой адаптации не исчезают при 20°C , однако при 30°C и особенно при 35°C следы адаптации к холоду быстро стираются [5]. Лето 2008 и 2009 годов в Республике

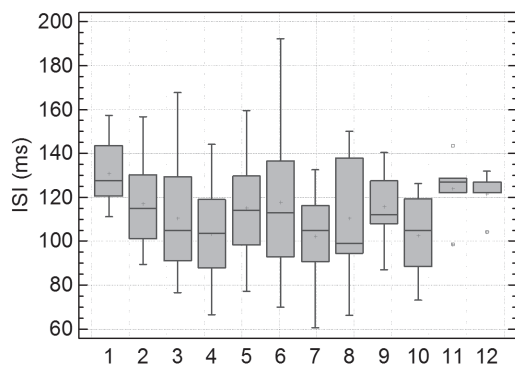


Рис. 1. Годовые колебания среднего межимпульсного интервала двигательных единиц человека во время двух лет наблюдения (2008–2010 годы). 1 – январь, 12 – декабрь.
* – $p < 0,05$ по отношению к январю

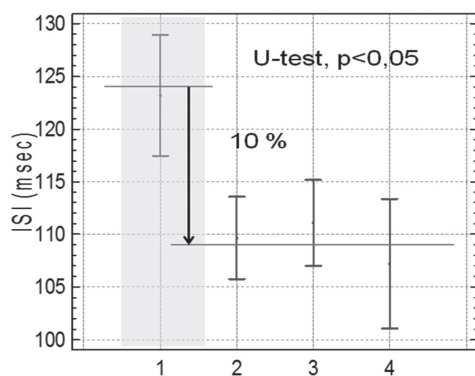


Рис. 2. Общий вид изменения среднего межимпульсного интервала (ISI) «не моржей» в течение года (2008–2010 годы). 1 – зима, 2 – весна, 3 – лето, 4 – осень

Электромиографические показатели в течение года по месяцам (2008–2010 годы) в контрольной группе

Месяц	MNF (Гц)	D	D_c	K_2
Январь	нет данных	$1,749 \pm 0,031$	$4,162 \pm 0,292$	$5,569 \pm 3,142$
Февраль	$131,42 \pm 16,35$	$1,771 \pm 0,033$	$4,438 \pm 0,408$	$4,295 \pm 0,850$
Март	$121,67 \pm 13,54$	$1,748 \pm 0,045$	$4,419 \pm 0,291$	$4,394 \pm 1,530$
Апрель	$118,15 \pm 8,37$	$1,749 \pm 0,035$	$4,157 \pm 0,241^*$	$3,991 \pm 0,272$
Май	$133,5 \pm 20,13$	$1,743 \pm 0,028$	$4,247 \pm 0,387$	$4,791 \pm 2,304$
Июнь	$121,0 \pm 5,77$	$1,765 \pm 0,040$	$4,253 \pm 0,224$	$3,976 \pm 0,268$
Июль	$119,13 \pm 7,18$	$1,759 \pm 0,057$	$4,323 \pm 0,363$	$5,902 \pm 3,018$
Август	$122,44 \pm 12,83$	$1,745 \pm 0,050$	$4,285 \pm 0,421$	$5,089 \pm 2,383$
Сентябрь	$129,54 \pm 22,57$	$1,779 \pm 0,032^*$	$4,343 \pm 0,469$	$5,714 \pm 2,854$
Октябрь	$117,52 \pm 14,98$	$1,755 \pm 0,058$	$4,260 \pm 0,354$	$5,626 \pm 2,556$
Ноябрь	$126,0 \pm 8,21$	$1,761 \pm 0,031$	$4,318 \pm 0,345$	$4,297 \pm 1,922$
Декабрь	$121,67 \pm 14,53$	$1,739 \pm 0,057$	$4,335 \pm 0,300$	$5,018 \pm 2,674$
Все месяцы	$123,33 \pm 15,26$	$1,756 \pm 0,046$	$4,335 \pm 0,078$	$4,882 \pm 2,238$
P	0,150	0,157	0,07	0,07

Примечание. В строке «январь – MNF» среднее отсутствует, так как было недостаточно данных (1 испытуемый).

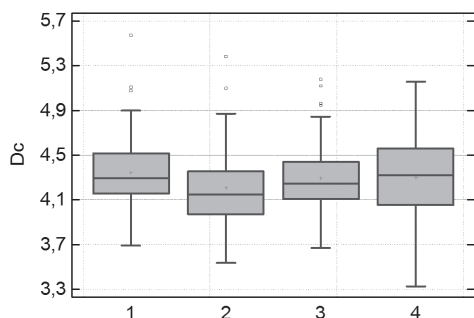


Рис. 3. Корреляционная размерность иЭМГ человека в течение четырех сезонов года. $P = 0,025$, критерий Крускал – Уоллиса, 1 – зима, 2 – весна, 3 – лето, 4 – осень

Карелия было прохладным (в среднем 17°C в самый жаркий месяц), и, вероятно, следы адаптации к теплу просто не сформировались. Было бы интересно исследовать нейромышечный статус человека при более сильном и длительном согревании (температура воздуха $> 30^{\circ}\text{C}$).

Частота импульсации ДЕ у мелких лабораторных животных при адаптации к холоду снижается на 4–5 имп/с [6]. У «зимних» же голубей частота импульсации ДЕ на 1–2 имп/с меньше, чем у «летних» [7]. Таким образом, искусственная акклимация к холоду вызывала у животных изменение частоты импульсации ДЕ на 30 %, а природная адаптация к зимним условиям –

всего на 10 %. В нашем исследовании разность частот импульсации ДЕ между зимним сезоном и другими сезонами составила 10 %, что, видимо, отражает именно природный характер адаптации. На широте г. Петрозаводска человек проводит всего 4 % времени на холоде, поэтому мы не смогли бы обнаружить большие изменения. На диапазон реакции ДЕ на температуру среды мог повлиять и размер тела. У животных-гибернаторов с массой < 5 кг во время зимней спячки температура тела снижается почти до 0°C , тогда как у животных, сопоставимых по массе с человеком (медведь весом 60–100 кг), – всего на $6\text{--}7^{\circ}\text{C}$ [10].

Вторым интересным результатом можно считать снижение величины нелинейных параметров иЭМГ в весенний сезон. Это свидетельствует об упрощении временной структуры иЭМГ, что указывает на повышенную синхронизацию активности ДЕ [9], возможно, под действием гормонов, активирующихся весной (мелатонин, глюкокортикоиды), что было отмечено и ранее [2].

Таким образом, нейромышечный статус человека претерпевает весьма небольшие, но важные изменения в течение годового температурного цикла. В частности, зимой на 10 % снижается частота импульсации ДЕ, а весной наблюдается повышенная упорядоченность интерференционной ЭМГ, что свидетельствует об увеличенной синхронизации активности двигательных единиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурфинкель В. С., Левик Ю. С., Полещук Н. К., Коровин Ю. В. Зависимость теплопродукции скелетной мышцы от режима ее сокращения // Физиология человека. 1981. Т. 7. № 1. С. 46–54.
2. Мейгал А. Ю., Воронова Н. В., Елаева Л. Е., Кузьмина Г. И. Характеристика электромиограммы женщины в разные фазы менструального цикла в зависимости от сезона и типа вегетативной регуляции // Физиология человека. 2014. Т. 40. № 1. С. 113–121.
3. Мейгал А. Ю., Герасимова Л. И., Золотова Е. В., Лупандин Ю. В. Произвольное рекрутирование двигательных единиц в условиях холодовой дрожи // Физиология человека. 1997. Т. 23. № 5. С. 64–68.
4. Мейгал А. Ю., Потемина А. М., Шегельман И. М. Влияние годового цикла и острой холодовой иммерсии на нейромышечный статус человека // Фундаментальные исследования. 2012. № 12. С. 341–345.
5. Соболев В. И., Чирва Г. И. Влияние мышечной работы на следовые эффекты холодовой акклимации // Физиологический журнал СССР. 1981. Т. 67. № 11. С. 1710–1716.
6. Сорокина Л. В., Лупандин Ю. В., Власова Л. П. Терморегуляционная активность мотонейронного пула у крыс, адаптированных к холоду и гипоксии // Физиологический журнал СССР. 1984. Т. 70. С. 75–80.
7. Сорокина Л. В., Медведев Н. В. Терморегуляционная активность двигательных единиц скелетных мышц голубя // Физиологический журнал СССР. 1986. Т. 72. № 11. С. 1571–1574.
8. Meigal A. Synergistic action of gravity and temperature on the motor system within the lifespan: a “Baby Astronaut” hypothesis // Med. Hypotheses. 2013. Vol. 80. № 3. P. 275–283.
9. Filligoi G., Felici F. Detection of hidden rhythms in surface EMG signals with a non-linear time-series tool // Med. Eng. Phys. 1999. Vol. 21. P. 439–448.
10. Toen Ø., Blake J., Edgar D. M., Grahn D. A., Heller H. C., Barnes B. M. Hibernation in black bears: independence of metabolic suppression from body temperature // Science. 2011. Vol. 331. № 6019. P. 807–974.

Meygal A. Yu., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Potemina A. M., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

CYRCANNAL RHYTHM OF NEUROMUSCULAR STATUS IN HUMANS

Here we report on the neuromuscular status of healthy controls within the year. It was found out that during winter months motor units were decreasing their firing rate. Additionally, the interference electromyogram time-domain structure became more “simple” during spring season.

Key words: temperature, cold, adaptation, season, electromyogram, motor unit, nonlinear parameters

REFERENCES

1. Gurfinkel' V. S., Levik Yu. S., Poleshchuk N. A., Korovin Yu. V. Dependence of heat production by the skeletal muscle on the regime of contraction [Zavisimost' teploproduksii skeletnoy myshtsy ot rezhima ee sokrashcheniya]. *Fiziologiya cheloveka*. 1981. Vol. 7. № 1. P. 46–54.
2. Meigal A. Yu., Voronova N. V., Yelaeva L. E., Kuz'mina G. I. Characteristics of electromyogram in women under various phases of the menstrual cycle, season, and type of vegetative regulation [Kharakteristika elektromiogrammy zhenshchiny v raznye fazy menstrual'nogo tsykla v zavisimosti ot sezona i tipa vegetativnoy regul'yatsii]. *Fiziologiya cheloveka*. 2014. Vol. 40. № 1. P. 113–121.
3. Meigal A. Yu., Gerasimova L. I., Zolotova E. V., Lupandin Yu. V. Voluntary recruitment of motor units under cold shivering [Proizvol'noe rekrutirovanie dvigatel'nykh edinit v usloviyakh kholodovoy drozhi]. *Fiziologiya cheloveka*. 1997. Vol. 23. № 5. P. 64–68.
4. Meigal A. Yu., Potyemina A. M., Shegel'man I. M. Influence of the annual temperature cycle and acute cold immersion on the neuromuscular status in the man [Vliyaniye godovogo tsykla i ostroy kholodovoy immersii na neiromyshechnyy status cheloveka]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2012. № 12. P. 341–345.
5. Sobolev V. I., Chirva G. I. Influence of the skeletal work on trace effects of cold acclimation [Vliyanie myshechnoy raboty na sledovye efekty kholodovoy akklimatsii]. *Fiziologicheskiy zhurnal SSSR*. 1981. Vol. 67. № 11. P. 1710–1716.
6. Sorokina L. V., Lupandin Yu. V., Vlasova L. P. Thermoregulatory activity of motoneuronal pool in rat adapted to cold and hypoxia [Termoregulyatsionnaya aktivnost' motoneironnogo pula u krysa adaptirovannykh k kholodu i gipoksii]. *Fiziologicheskiy zhurnal SSSR*. 1984. Vol. 70. P. 75–80.
7. Sorokina L. V., Medvedev N. V. Thermoregulatory activity of motor units of skeletal muscles in pigeon [Termoregulyatsionnaya aktivnost' dvigatel'nykh edinit skeletnykh myshts golubya]. *Fiziologicheskiy zhurnal SSSR*. 1986. Vol. 72. № 11. P. 1571–1574.
8. Meigal A. Synergistic action of gravity and temperature on the motor system within the lifespan: a “Baby Astronaut” hypothesis // *Med. Hypotheses*. 2013. Vol. 80. № 3. P. 275–283.
9. Filligoi G., Felici F. Detection of hidden rhythms in surface EMG signals with a non-linear time-series tool // *Med. Eng. Phys.* 1999. Vol. 21. P. 439–448.
10. Toen Ø., Blake J., Edgar D. M., Grahn D. A., Heller H. C., Barnes B. M. Hibernation in black bears: independence of metabolic suppression from body temperature // *Science*. 2011. Vol. 331. № 6019. P. 807–974.

Поступила в редакцию 06.03.2014