

**ИЗМЕНЕНИЯ В АКТИВАЦИИ МОТОНЕЙРОННЫХ ПУЛОВ ПОСТУРАЛЬНО-  
ТЕТАНИЧЕСКОЙ МУСКУЛАТУРЫ ПРИ ГИПОКСИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

А.С. Шилов, Е.А. Уляшева, А.В. Лахтионов

Научный руководитель: чл.-корр. РАН, профессор, д.б.н. И.М. Рощевская  
Коми научный центр Уральского отделения РАН,  
Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина  
Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24, 167982

E-mail: [s.shilov@icloud.com](mailto:s.shilov@icloud.com)

**ACTIVATION CHANGES OF POSTURAL-TETANIC MUSCLE MOTONEURON PULLS AT  
HYPOXIC HYPOXIA**

A.S. Shilov, E.A. Ulyasheva, A.V. Lahtionov

Scientific Supervisor: Corr.-Mem. RAS, Prof., Dr. I.M. Roschevskaya  
Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin

E-mail: [s.shilov@icloud.com](mailto:s.shilov@icloud.com)

***Abstract.** the study results of the possible hypoxia modulating influence on motoneuron pool activity are presented in the paper. Soleus and gastrocnemius muscles with voluntary and passive movement. The unidirectional conditioning of the monosynaptic spinal H-reflex was revealed under non-specific hypoxia effects. Also, after stressful effects, there was a pronounced decrease in the H-reflex depression, which is apparently due to the weakening effect of suprasegmental control systems in the cumulative effect of hypoxic hypoxia.*

**Введение.** Несмотря на большой опыт научного познания в области высокогорной и экспериментальной гипоксии, многие стороны проблемы адаптивных перестроек функций организма человека под влиянием гипоксических воздействий до сих пор не утрачивают своей научной значимости в экологической, прикладной физиологии и медицине. В этой связи, представляет особый интерес изучение физиологических эффектов интервальных гипоксических воздействий (тренировок), способствующих расширению функциональных возможностей организма и коррекции состояния его физиологических систем.

Многочисленными исследованиями [1, 2, 8] установлено, что интервальные гипоксические воздействия приводят к расширению функциональных резервов кардиореспираторной системы, активизации дыхательного компонента компенсаторных реакций на клеточном и тканевом уровнях. В литературе широко представлены сведения о результирующих эффектах гипоксических воздействий – повышение экономичности функций и физической работоспособности [1, 4], уменьшение латентных периодов простых и сложных сенсомоторных реакций [6], прирост стрессоустойчивости гипоталамо-гипофизарно-адренкортикальной системы [7, 9], облегчение течения или нормализация некоторых патологических состояний [3].

Вместе с этим, крайне мало работ посвящено изучению влияния гипоксических воздействий на двигательную систему человека. Имеются указания [5] на то, что прекондиционирование гипоксией

приводит к уменьшению порогов Н- и М-ответов *m. soleus*, их амплитуд и нормированного показателя –  $H_{max}/M_{max}\%$ . При острой гипоксии обнаружена четкая зависимость изменений активности мотонейронного пула и прямого моторного ответа *m. gastrocnemius* от исходных порогов рекрутирования Н-рефлекса [1, ]. В условиях гипоксической гипоксии (6 суток – 2850 м и 7 суток – 5050 м над ур. моря) не выявлены изменения латентности, порогов вызова Н- и М-ответов, амплитуды моторных ответов *m. vastus lateralis* и *m. soleus*, но обнаружено повышение возбудимости мотонейронных пулов этих мышц [8]. Близкие результаты получены в других исследованиях, где увеличение амплитуды Н-рефлекса связывается с прямым действием недостатка кислорода на супраспинальные структуры ЦНС. Косвенным аргументом такого предположения являются данные, свидетельствующие о начальной активации (судя по ЭЭГ), переходящей в постепенное понижение возбудимости структур головного мозга, особенно быстро на уровне ретикулярной формации при острой гипоксии у животных. Как известно, ретикулярная формация оказывает специфические тормозные и диффузные облегчающие влияния на спинальную рефлекторную деятельность, в том числе на моносинаптические двигательные рефлексы. Следовательно, априори можно предполагать, что одним из механизмов, определяющих состояние рефлекторной возбудимости мотонейронного пула при гипоксии, является изменение активности центральных регуляторных структур. При этом возможно прямое действие гипоксии на  $\beta$ -адренергическую регуляцию мышечной деятельности, приводящей к понижению теплотворной функции и повышению КПД мышечного сокращения у крыс. Однако в исследованиях на человеке при длительной адаптации к гипобарической гипоксии был показан обратный эффект, т. е. увеличение теплотворной функции мышечной деятельности.

Целью настоящей работы послужило изучение отставленного влияния интервальных нормобарических гипоксических воздействий на функциональное состояние отдельных звеньев моносинаптической рефлекторной дуги и прямой ответ фазической (*m. gastrocnemius*) и тонической (*m. soleus*) мышц голени человека.

**Материалы и методы исследования.** Исследование проводилось на неврологически здоровых мужчинах (19-26 лет), которые были условно разделены на две группы: – I (n=15) подвергались дозированному воздействию (ДВ) интервальными нормобарическими гипоксическими тренировками (ИНГТ) (дыхание воздухом с содержанием  $O_2$  9.9%,  $CO_2$  – 0.03% от 30 до 50 минут в течение 19 дней). Экспозиция ИНГТ состояла из 8-10 повторных циклов 5-минутного дыхания гипоксической газовой смесью, перемежающихся 2-минутными интервалами дыхания воздухом. Другая группа – II (n=16) в течение этого же периода подвергалась ежедневной антиортостатической гипокинезии (АНОГ) – испытуемые лежали вниз головой на кушетке, стоящей под углом  $-20^\circ$  в течение 60 минут. В фоновом исследовании и после 19 дней ДВ ИНГТ и АНОГ оценивались временные и амплитудные характеристики рефлекса Хоффманна и М-ответа. Регистрацию Н-рефлекса и М-ответа проводили с помощью нейромышечного анализатора НМА-4-01 «Нейромиан» («Медиком ЛТД»).

**Результаты.** При анализе влияния ДВ ИНГТ и АНОГ на амплитудные характеристики прямого мышечного ответа выявлены сходные тенденции нарастания амплитуды к 19 дню. Однако в группе II М-ответ *m. soleus* в диапазоне стимуляции от 24 до 34 мА был достоверно ниже ( $p<0.01$ ), что, вероятно, обусловлено влиянием гравитационной разгрузки при АНОГ на фазическую мускулатуру [2]. Следует отметить значимо большие значения амплитуд М-ответов *m. gastrocnemius* в I группе (32-40 мА) и *m.*

soleus (38-46 мА); первый пик  $M_{max}$  обеих мышц у представителей I группы определялся при 20 мА, тогда как в группе II М-ответ достигал максимума при супрамаксимальной стимуляции (48-50 мА). При анализе влияния ДВ ИНГТ и АНОГ на активацию мотонейронных пулов «быстрой» икроножной и «медленной» камбаловидной мышц выявлено смещение амплитудных пиков в сторону большей силы стимуляции. I группа:  $H_{max}$  m. gastrocnemius – 20 мА,  $H_{max}$  m. soleus – 18 мА в фоновом исследовании, после 19 дней ДВ ИНГТ  $H_{max}$  m. gastrocnemius – 24 мА,  $H_{max}$  m. soleus – 24 мА; II группа:  $H_{max}$  m. gastrocnemius – 16 мА,  $H_{max}$  m. soleus – 16 мА в фоновом исследовании, после 19 дней ДВ АНОГ  $H_{max}$  m. gastrocnemius – 32 мА,  $H_{max}$  m. soleus – 26 мА, что косвенно может характеризовать оказываемые неспецифические влияния на активность мотонейронных пулов исследуемых мышц голени как моделирующее.

**Выводы.** Предварительные результаты исследования показали, что в определенной степени ИНГТ и АНОГ однонаправленно влияют на активацию мотонейронного пула m. soleus и m. gastrocnemius при произвольном движении и движении в экзоскелете. Максимальная активация Н-рефлекса икроножной мышцы происходила в условиях стимуляции большеберцового нерва током средней интенсивности, что может свидетельствовать о повышении порога возбудимости Ia сенсорных волокон после воздействия ИНГТ и АНОГ. Амплитуды максимальных Н-ответов в обеих группах увеличивались при индуцировании электрическим током в диапазоне от 22 до 32-40 мА ( $p < 0.05$ ).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коц Я. М. Организация произвольного движения: Нейрофизиологические механизмы. – М.: Наука, 1975. – С. 30-38.
2. Aagaard, P., Simonsen, E., Andersen, J., Magnusson, P., Dyhre-Poulsen, P. (2002). Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses [Electronic version]. *Journal of Applied Physiology*, no. 92, pp. 2309-2318.
3. Caquelard, F., Burnet, H., Tagliarini, F., Cauchy, E., Richalet, J.P., Jammes, Y. (2000). Effects of prolonged hypobaric hypoxia on human skeletal muscle function and electromyographic events [Electronic version]. *Clinical Science*, pp. 329-337.
4. Lang, A.H., Puusa, A., Hynninen, P., Kuusela, V., Jontti, V., Sillanpd, M. (1985). Evaluation of nerve conduction velocity in later childhood and adolescence [Electronic version]. *Muscle & Nerve*, no. 8, pp. 38-43.
5. Lee, J.K., Emch, G.S., Johnson, C.S., Wrathall, J.R. (2005). Effect of spinal cord injury severity on alterations of the H-reflex [Electronic version]. *Experimental Neurology*, no. 196, pp. 430-440.
6. McComas, A. J. (2001). *Skeletal muscle: form and function*. McMaster University, p. 407.
7. Petersen, N., Morita, H., Nielsen, J. (1998). Evaluation of reciprocal inhibition of the soleus H-reflex during tonic plantar flexion in man [Electronic version]. *Journal of Neuroscience Methods*, no. 84, pp. 12-17.
8. Petersen, N.L. Christensen, O.D., Nielsen, J. (1998). The effect of transcranial magnetic stimulation on the soleus H-reflex during human walking [Electronic version]. *Journal of Physiology*, no. 513, pp. 599-610.