

## ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОТОРНЫХ ВЫЗВАННЫХ ОТВЕТОВ МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ПОСТУРАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

### VARIATION IN MOTOR EVOKED RESPONSES OF LOWER LIMB MUSCLES DURING DIFFERENT POSTURAL TASKS

**A. Militskova  
E. Mukhametova  
T. Baltina**

*Summary.* A comparative electromyography study of the lower extremity muscles was undertaken in order to compare responses under three experimental conditions: standing with eyes-open on hard and foam surface and with eyes-closed on hard surface.

It was shown that transcutaneous electrical spinal cord stimulation at the level Th11-Th12 with pulse-duration 1ms and 0.1Hz frequency induce monosynaptic refractory responses in the hip and crural muscles while postural tasks performance in healthy subjects. Evoked responses amplitude analysis showed that both elimination of visual control and alteration of supporting surface (standing on foam surface) significantly decrease the amplitude of transcutaneous electrical spinal cord stimulation evoked responses in crural muscles.

*Keywords:* transcutaneous electrical stimulation of the spinal cord, postsynaptic inhibition, evoked responses, spinal cord, postural control.

**Милицкова Алёна Дмитриевна**

*М.н.с., Казанский (Приволжский) федеральный университет  
tamashotmilktea@gmail.com*

**Мухаметова Эльвира Ришатовна**

*М.н.с., Казанский (Приволжский) федеральный университет  
lviraqpg@gmail.com*

**Балтина Татьяна Валерьевна**

*К.б.н., доцент, с.н.с., Казанский (Приволжский) федеральный университет  
tvbaltina@gmail.com*

*Аннотация.* Проведен сравнительный анализ характеристик рефлекторных ответов мышц нижних конечностей, вызванных чрескожной электрической стимуляцией спинного мозга в трех экспериментальных условиях: с открытыми глазами на твердой поверхности, с закрытыми глазами на твердой поверхности и с открытыми глазами на мягкой поверхности. Показано, что чрескожная электрическая стимуляция на уровне Th11-Th12 грудных позвонков с частотой 0.1Гц и длительностью стимула 1 мс индуцирует у здоровых испытуемых-добровольцев моносинаптические рефлекторные реакции в мышцах бедра и голени в покое и в условиях выполнения постральных задач. Анализ амплитудных характеристик вызванных ответов показал, что изменение зрительного контроля, равно как и изменение характеристик поверхности опоры при переходе на мягкую поверхность достоверно снижает амплитуду рефлекторных ответов мышц голени, вызванных чрескожной электрической стимуляцией спинного мозга.

*Ключевые слова:* чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга, постсинаптическое торможение, вызванные ответы, спинной мозг, постральный контроль.

### Введение

**М**еханизмы, участвующие в регуляции и поддержании вертикальной позы, являются сложными, однако все они связаны с афферентными и эфферентными взаимодействиями на супраспинальном и спинальном уровнях центральной нервной системы [1]. Ранее для изучения механизмов нейронального контроля постральной устойчивости, применялся ряд методов, таких как электроэнцефалография [2], транскраниальная магнитная стимуляция [3] и исследование Н-рефлекса [4–6]. В недавних работах было показано, что изменение амплитудных характеристик Н-рефлекса *m. soleus* может отражать адаптивные процессы на спинальном уровне и изменяться параллельно с улучшением пострального контроля во время тренировки

баланса [7, 8]. Тем не менее, во время стояния или двигательной активности не доступно единовременное исследование Н-рефлекса в нескольких мышечных группах нижних конечностей [9], что ограничивает получение информации в пределах одного пула мотонейронов спинного мозга. Относительно недавно был представлен способ неинвазивной стимуляции спинного мозга, как у субъектов с различными неврологическими нарушениями, так и у здоровых испытуемых — метод чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ) [10]. ЧЭССМ применяется для изучения рефлекторных ответов в проксимальных и дистальных мышцах ног сходных по своим свойствам с Н-рефлексом [11]. Исследование ответов вызванных ЧЭССМ в условиях, когда к системе регуляции вертикальной позы предъявляются повышенные требования, например при ограничении

зрительного контроля и/или при изменении проприоцептивного афферентного входа может позволить более детально исследовать систему постурального контроля. Очевидно, что этот факт предопределяет актуальность исследования с целью более обширного изучения рефлекторных ответов мышц нижних конечностей в процессе поддержания вертикальной позы в различных условиях.

Целью данной работы являлась оценка влияния различных постуральных задач на параметры рефлекторных ответов мышц нижних конечностей, вызванных чрескожной стимуляцией на спинальном уровне у здоровых испытуемых.

### Материалы и методы

Экспериментальная работа проводилась на базе научно-исследовательской лаборатории «Двигательная нейрореабилитация» Казанского (Приволжского) федерального университета. В исследовании принимали участие 7 здоровых испытуемых-добровольцев (4 женщины и 3 мужчин) в возрасте от 18 до 23 лет. Участники исследования были информированы о ходе эксперимента и предоставили письменное согласие на процедуры, в соответствии с руководящим принципам Хельсинкской декларации, разработанной Всемирной Медицинской Ассоциацией. Чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга осуществлялась с помощью электронейромиографа Нейро-МВП-8 (Нейрософт, Иваново, Россия) с интенсивностью от 20 до 100мА, длительностью 1мс и частотой 0,2 Гц. Накожный круглый гелевый стимулирующий электрод (катод) диаметром 20 мм устанавливали на уровне Th11–12 позвонков между остистыми отростками. Индифферентные электроды (анод), представляющие собой парные стимулирующие хлорсеребряные электроды прямоугольной формы (45x70 мм), накладывались симметрично на гребни подвздошных костей. Вызванные ответы регистрировались с помощью отводящих электродов с фиксированным (2 см) межэлектродным расстоянием в проекции двигательных точек мышц бедра и голени. Анализировались значения порогов, латентного периода и амплитуды вызванных ответов m.tibialis anterior (TA), m.soleus (SOL), m.rectus femoris (RF), m.biceps femoris (BF).

Испытуемые располагались в вертикальном положении в европейской стойке. Стимуляция проводилась в трех различных экспериментальных условиях: с открытыми глазами на твердой поверхности; с закрытыми глазами на твердой поверхности; с открытыми глазами на мягкой поверхности. Мягкая поверхность обеспечивалась подушкой из плотного поролона высотой 18 см.

Обработка результатов производилась с помощью пакета прикладных программ «Origin Pro 2015»

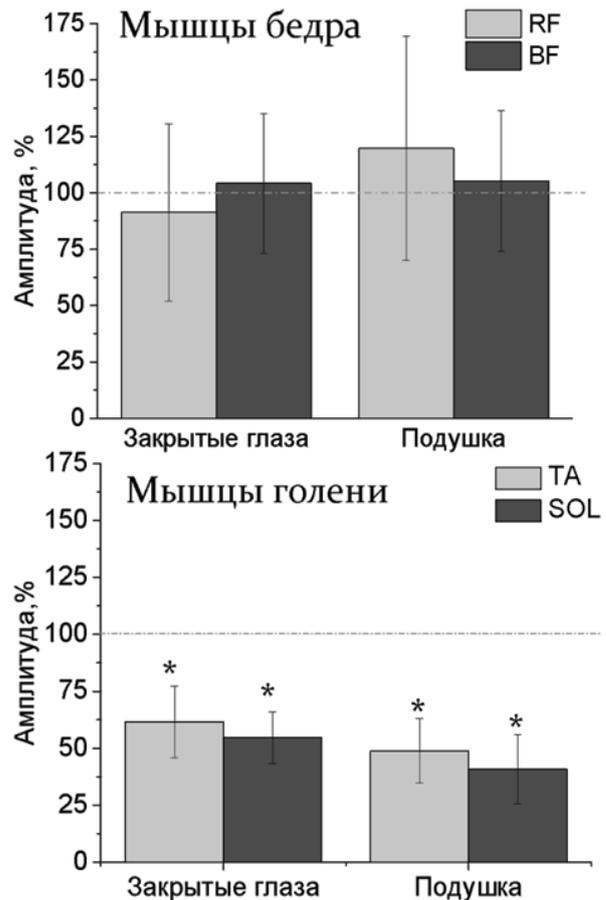


Рис. 1. Изменение максимальной амплитуды вызванных ответов мышц бедра (m. rectus femoris (RF) и m. biceps femoris (BF)) и голени (m. tibialis anterior (TA), m. soleus (SOL)) у испытуемых при стимуляции в различных экспериментальных условиях: закрытые глаза- стоя на твердой поверхности с закрытыми глазами, мягкая поверхность- стоя на мягкой поверхности с открытыми глазами, за 100% принята максимальная амплитуда вызванных ответов с открытыми глазами на твердой поверхности

и «SigmaPlot 11». Результаты представлены в виде  $M \pm m$  (среднее значение  $\pm$  стандартная ошибка среднего). Статистическую обработку данных проводили с помощью непараметрического критерия Краскелла- Уоллеса. Различия считали значимыми при  $p < 0.05$ .

### Результаты

У всех испытуемых были зарегистрированы вызванные ответы (ВО) мышц нижних конечностей на чрескожную электрическую стимуляцию на уровне Th11-Th12

позвонок во всех экспериментальных условиях. При сравнении усредненных значений порогов и латентного периода ВО мышц нижних конечностей при ЧЭССМ не было выявлено достоверных различий. Так, пороги возникновения ответов ВО анализируемых мышц составляли в среднем: для ТА —  $62,33 \pm 3,86$  мА; для SOL —  $65,23 \pm 4,43$  мА; для RF —  $60,44 \pm 6,96$  мА; для BF —  $65,71 \pm 4,82$  мА. Латентный период ВО в *m. tibialis anterior* составил в среднем  $14,85 \pm 1,11$  мс; латентность ВО в *m. soleus* составила в среднем  $16,24 \pm 0,84$  мс; латентность ВО в *m. rectus femoris* составила в среднем  $7,76 \pm 0,42$  мс; латентность ВО в *m. biceps femoris* составила в среднем  $10,99 \pm 0,28$  мс. В целом, усредненные показатели латентного периода для мышц голени были меньше для мышц бедра (RF и BF), чем для мышц голени (ТА и SOL) (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, величина амплитуды ответов мышц нижних конечностей вызванных ЧЭССМ в условиях усложнения поструральной задачи (при переходе на мягкую поверхность и закрытии глаз) достоверно снижалась в мышцах голени, при этом статистически достоверных различий в мышцах бедра не было обнаружено. Амплитуда в *m. tibialis anterior* в положении стоя на твердой поверхности с закрытыми глазами уменьшилась и составила  $81 \pm 14\%$  от уровня контроля ( $p < 0,05$ ), в положении стоя на мягкой поверхности —  $58 \pm 11\%$  от уровня контроля ( $p < 0,05$ ). Амплитуда в *m. soleus* в положении стоя на твердой поверхности с закрытыми глазами уменьшилась и составила  $68 \pm 12\%$  от уровня контроля ( $p < 0,05$ ), в положении стоя на мягкой поверхности —  $54 \pm 14\%$  от уровня контроля ( $p < 0,05$ ). Амплитуда в *m. rectus femoris* в положении стоя на твердой поверхности с закрытыми глазами уменьшилась и составила  $91 \pm 28\%$  от уровня контроля, в положении стоя на мягкой поверхности увеличилась и составила  $104 \pm 35\%$  от уровня контроля. Амплитуда в *m. biceps femoris* в положении стоя на твердой поверхности с закрытыми глазами в среднем составила  $96 \pm 22\%$  от уровня контроля, в положении стоя на мягкой поверхности —  $95 \pm 22\%$  от уровня контроля.

Предыдущие исследования показали, что амплитуда моносинаптического рефлекса мышц голени может значительно подавляться во время фазы переноса конечности при движении и увеличиваться во время фазы стояния [12]. Также сообщалось, что амплитуда Н рефлекса *m. soleus* может быть значительно модулирована под влиянием изменения зрительной обратной связи и устойчивости поверхности во время стояния [13, 1]. Снижение амплитуды в моносинаптическом рефлекторном компоненте ВО полученное в ходе данного исследования может также объясняться тем, что в процессе поддержания вертикального положения в условиях усложненной поструральной задачи в большей степени вовлекается голеностопный сустав, что приводит к усилению пресинаптического торможения мотонейронов двигательных центров *m. tibialis anterior* и *m. soleus*. Во многом корректировка вертикальной позы обеспечивается движениями в суставах нижних конечностей, однако предполагается, что преимущественно мышцы, осуществляющие движение в голеностопном суставе, служат основным модулятором пострурального контроля [14].

## Заключение

Таким образом, при переходе на мягкую поверхность и закрытии глаз снижается амплитуда вызванных ответов мышц голени, а амплитуда вызванных ответов мышц бедра не изменяется. Такие параметры, как порог возникновения вызванных ответов и их латентный период, не зависят от изменения поструральной задачи. Понимание влияния поструральной задачи на параметры вызванных мышечных ответов могут послужить для оптимизации использования ЧЭССМ при восстановлении поструральной устойчивости пациентов со спинальной патологией.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18–315–00263.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Chen, Y. S. Soleus H-reflex and its relation to static postural control/ Y. S. Chen, S. Zhou // *Gait & posture*. — 2011. — Т. 33, № 2. — P. 169–178.
2. Slobounov, S. Modulation of cortical activity as a result of voluntary postural sway direction: an EEG study/ S. Slobounov, M. Hallett, C. Cao, K. Newell // *Neuroscience letters*. — 2008. — Т. 442, № 3. — P. 309–313.
3. Taube, W. Direct corticospinal pathways contribute to neuromuscular control of perturbed stance/ W. Taube, M. Schubert, M. Gruber, S. Beck, M. Faist, A. Gollhofer // *Journal of applied physiology*. — 2006. — Т. 101, № 2. — P. 420–429.
4. Koceja, D. M. Inhibition of the soleus H-reflex in standing man/ D. M. Koceja, M. H. Trimble, D. R. Earles // *Brain research*. — 1993. — Т. 629, № 1. — P. 155–158.
5. Tokuno, C. D. Control of the triceps surae during the postural sway of quiet standing/ C. D. Tokuno, A. Carpenter, S. J. Thorstensson, A. G. Garland // *Acta Physiologica*. — 2007. — Т. 191, № 3. — P. 229–236.
6. Tokuno, C. D. Sway-dependent modulation of the triceps surae H-reflex during standing/ C. D. Tokuno, M. G. Garland, A. Carpenter, A. Thorstensson, A. G. Cresswell // *Journal of applied physiology*. — 2008. — Т. 104, № 5. — P. 1359–1365.
7. Mynark, R. G. Down training of the elderly soleus H reflex with the use of a spinally induced balance perturbation/ R. G. Mynark, D. M. Koceja // *Journal of Applied Physiology*. — 2002. — Т. 93, № 1. — P. 127–133.

8. Taube, W. Influence of enhanced visual feedback on postural control and spinal reflex modulation during stance/W. Taube, C. Leukel, A. Gollhofer // *Experimental brain research*. — 2008. — Т. 188, № 3. — С. 353–361.
9. Mrachacz-Kersting, N. Characterization of the quadriceps stretch reflex during the transition from swing to stance phase of human walking/ N. Mrachacz-Kersting, B. A. Lavoie, J. B. Andersen, T. Sinkjær // *Experimental brain research*. — 2004. — Т. 159, № 1. — С. 108–122.
10. Городничев, Р. М. Чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга: неинвазивный способ активации генераторов шагательных движений у человека/ Р. М. Городничев, Е. А. Пивоварова, А. Пухов, С. А. Моисеев, А. А. Савохин, Т. Р. Мошонкина, Н. А. Щербакова, В. А. Селионов, И. Б. Козловская, Р. Эджертон, Ю. П. Герасименко // *Физиология человека*. — 2012. — Т. 38, № 2. — С. 46–46.
11. Емельяников, Д. В. Оценка возбудимости мотонейронов поясничного утолщения: сравнение Н-рефлекса и метода чрескожной стимуляции спинного мозга/ Д. В. Емельяников, Е. Ю. Шапкова, Т. Р. Мошонкина, Ю. П. Герасименко // *Физиология человека*. — 2016. — Т. 42, № 3. — С. 32–36.
12. Ferris, D. P. Soleus H-reflex gain in humans walking and running under simulated reduced gravity/ D. P. Ferris, P. Aagaard, E. B. Simonsen, C. T. Farley, P. Dyhre-Poulsen // *The Journal of physiology*. — 2001. — Т. 530, № 1. — С. 167–180.
13. Taube, W. Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance/ W. Taube, M. Gruber, A. Gollhofer // *Acta Physiologica*. — 2008. — Т. 193, № 2. — С. 101–116.
14. Winter, D. A. Ankle muscle stiffness in the control of balance during quiet standing/ D. A. Winter, A. E. Ishaq, S. Patla, M. G. Rietdyk // *Journal of neurophysiology*. — 2001. — Т. 85, № 6. — С. 2630–2633.

© Милицкова Алёна Дмитриевна (mamashotmilktea@gmail.com),

Мухаметова Эльвира Ришатовна (lviraqpg@gmail.com), Балтина Татьяна Валерьевна (tvbaltina@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Казанский (Приволжский) федеральный университет