

УДК 612.766.1:577.353

ПРЕДВАРЯЮЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ Н-РЕФЛЕКСОВ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ КОНТРАЛАТЕРАЛЬНЫХ ПРОИЗВОЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЯМ

Иванченко Е.З.

*Запорожский государственный медицинский университет, Запорожье, Украина
E-mail: elena_zenonovna@mail.ru*

В исследованиях на здоровых людях, которые находились в положении лежа, регистрировали Н-рефлексы камбаловидной и длинной малоберцовой мышц. Примерно за 90 мс до начала произвольных движений в голеностопном суставе контралатеральной конечности возникало облегчение Н-рефлексов. При движении контралатеральной конечности оно наблюдалось позже, чем при движении ипсилатеральной. Предваряющее облегчение Н-рефлекса камбаловидной мышцы не обнаруживало существенных различий при тыльном и подошвенном сгибании контралатеральной конечности. Аналогичные изменения претерпевал при контралатеральных движениях Н-рефлекс длинной малоберцовой мышцы. Полученные данные говорят о том, что облегчение Н-рефлексов, предваряющее произвольные движения контралатеральной нижней конечности, представляет собой генерализованную реакцию, охватывающую различные по своей функции мышцы.

Ключевые слова: Н-рефлекс, произвольные движения, контралатеральная конечность.

ВВЕДЕНИЕ

Н-рефлекс (рефлекс Гоффмана) представляет собой рефлекторный ответ скелетной мышцы на стимуляцию ее собственных нервных афферентных волокон гр. Ia. Регистрация Н-рефлексов различных мышц широко применяется в настоящее время при исследовании спинальных рефлекторных механизмов человека в ходе разнообразных видов движений. Известно, что величина Н-рефлексов способна изменяться не только в условиях произвольных движений, но и за определенный промежуток времени перед их возникновением. Установлено, что за несколько десятков миллисекунд до начала подошвенного сгибания ипсилатеральной стопы наблюдается повышение амплитуды Н-рефлекса камбаловидной мышцы [1–3]. Такие изменения Н-рефлексов отражают определенные сдвиги состояния рефлекторных механизмов регуляции мышечного тонуса, которые возникают перед началом произвольного движения.

Менее ясным представляется вопрос, в какой степени иррадируют подобные изменения Н-рефлексов и как они сказываются на состоянии контралатеральной нижней конечности. Было отмечено, что при произвольных движениях контралатеральной стопы (тыльном и подошвенном сгибании стопы) также наблюдается предваряющее облегчение Н-рефлекса камбаловидной мышцы [4]. Однако по данным [5] значительное облегчение Н-рефлекса наблюдается лишь со

стороны мышцы, непосредственно вовлеченной в движение, а изменения Н-рефлекса контралатеральной конечности менее выражены и не столь постоянны [6].

Целью данной работы явилось сопоставление изменений величины Н-рефлексов человека, которые предшествуют произвольным движениям контралатеральной и ипсилатеральной нижней конечностей, а также сравнение эффектов движений различного характера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на 22 здоровых испытуемых, получив от них информированное согласие и разрешение Комиссии по биоэтике Запорожского государственного университета. В ходе эксперимента испытуемые находились в положении лежа на кушетке со свободно свисающими стопами.

Исследовали динамику Н-рефлекса в условиях простой двигательной реакции. По световому сигналу (вспышка светодиода) испытуемые производили с максимальной быстротой тыльное или подошвенное сгибание стопы с немедленным возвратом в исходное положение. Для определения момента начала движения регистрировали электромиограмму (ЭМГ) камбаловидной мышцы при подошвенном сгибании стопы и передней большеберцовой мышцы - при тыльном сгибании. Биопотенциалы указанных мышц отводили с помощью биполярных накожных электродов, усиливали и подавали на вход одного из каналов цифрового электронного осциллографа Handiscope HS 3. Показателем начала движения служили первые осцилляции ЭМГ. Они возникали после латентного периода, длительность которого в большинстве опытов составляла 140-190 мс.

Регистрировали Н-рефлексы камбаловидной и длинной малоберцовой мышц контралатеральной конечности. Для раздражения нервных афферентных волокон применяли прямоугольные электрические импульсы длительностью 1 мс с выхода стимулятора ЭНС-01. Н-рефлекс камбаловидной мышцы вызывали чрезкожной стимуляцией большеберцового нерва в области подколенной ямки. Индифферентный электрод помещали на надколенник. Н-рефлекс длинной малоберцовой мышцы вызывали путем аналогичной стимуляции общего малоберцового нерва на уровне головки малоберцовой кости. ЭМГ указанных мышц регистрировали на втором канале электронного осциллографа. Применяли силу тока, способную вызвать Н-рефлекс максимальной величины без предшествующего М-ответа.

Тестируемый Н-рефлекс вызывали на протяжении латентного периода двигательной реакции, то есть через различные промежутки времени после подачи светового сигнала вплоть до возникновения осцилляций ЭМГ сокращающихся мышц, а также непосредственно на фоне ЭМГ. Интервалы между отдельными пробами составляли 30 мс. В каждом из опытов длительность латентного периода двигательной реакции колебалась в пределах десятков миллисекунд. Поэтому данные о динамике тестируемого Н-рефлекса можно было получить лишь при достаточно большом количестве проб, задавая различную длительность интервалов между световым сигналом и тестирующим стимулом.

Периодически регистрировали также величину тестируемого Н-рефлекса в контроле (при покоящихся контралатеральной или ипсилатеральной конечностях). Измеряли амплитуду Н-рефлекса, а также латентный период двигательной реакции и интервал между ее началом и электрическим стимулом, вызывавшим Н-рефлекс. Величину Н-рефлекса выражали в процентах контроля. Вычисляли средние величины исследуемых показателей и их стандартные ошибки. Для определения статистической значимости наблюдавшихся различий использовали непараметрические критерии Ван-дер-Вардена и Уилкоксона [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первая серия опытов была посвящена изучению изменений Н-рефлекса камбаловидной мышцы при произвольном подошвенном сгибании контралатеральной стопы. Исследования проведены на 12 испытуемых. Результаты одного из опытов приведены на рисунке 1.

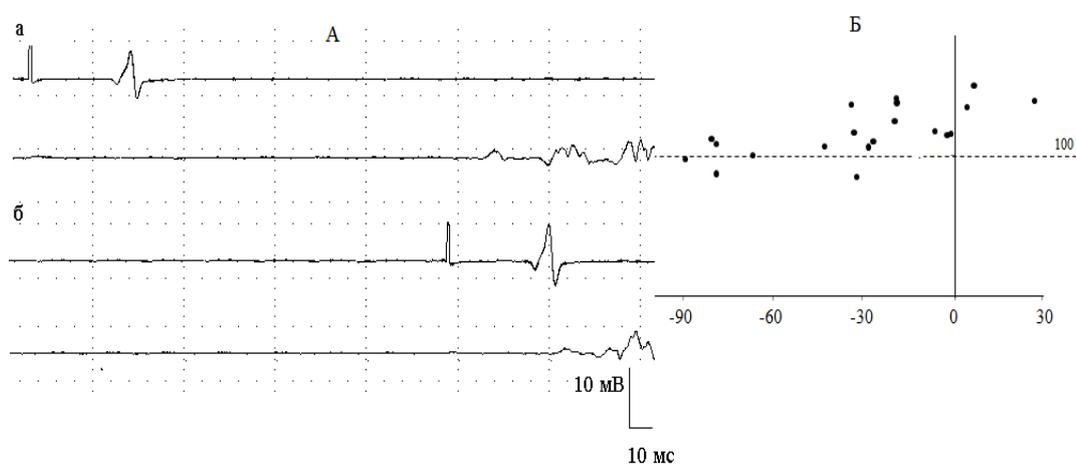


Рис.1. Изменения величины Н-рефлекса камбаловидной мышцы при произвольном подошвенном сгибании контралатеральной стопы в типичном опыте
Примечание: А - результаты двух проб опыта. Н- рефлекс зарегистрирован за 160 мс (а) и 50 мс (б) до начала движения. На верхних кривых (а, б) – тестируемый Н-рефлекс камбаловидной мышцы, на нижних (а, б) – ЭМГ контралатеральной камбаловидной мышцы. Б - результаты всех проб опыта. По оси абсцисс - интервал времени до начала произвольного движения, мс. По оси ординат - амплитуда Н-рефлекса, выраженная относительно контроля, %.

Отдельные пробы проводили при различной длительности интервала между тестирующим стимулом и возникновением осцилляций ЭМГ контралатеральной камбаловидной мышцы. На Рис.1 видно, что облегчение Н-рефлекса возникало примерно за 60 мс до начала двигательной реакции. В дальнейшем тестируемый Н-рефлекс продолжал увеличиваться и оставался повышенным на фоне возникшего произвольного движения.

Усредненные данные этой серии опытов ($n = 12$) представлены на Рис. 2. Латентный период двигательной реакции был разделен на ряд интервалов, в каждом из которых определяли среднюю величину Н-рефлекса, выраженную в % относительно контроля.

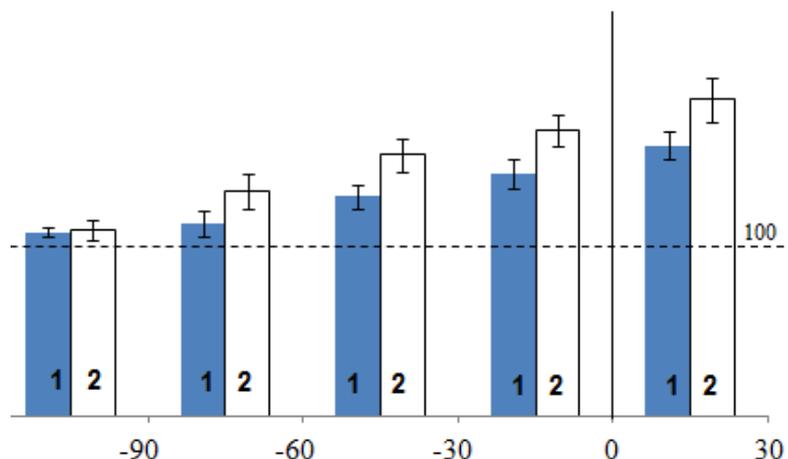


Рис.2. Динамика Н-рефлекса камбаловидной мышцы в латентном периоде произвольного подошвенного (1) и тыльного (2) сгибания контралатеральной стопы. *Примечание:* По оси абсцисс – интервал времени до начала движения контралатеральной конечности, мс. По оси ординат средняя величина Н-рефлекса, выраженная относительно контроля, %.

Динамика величины тестируемого Н-рефлекса камбаловидной мышцы на протяжении латентного периода произвольного подошвенного сгибания контралатеральной стопы, а также на фоне указанного движения, отражена столбиками 1. Амплитуда Н-рефлекса в интервале 90 – 60 мс до начала данного движения составила $114 \pm 8\%$ контроля, за 60 – 30 мс была равна $130 \pm 7\%$. За 30 мс до начала осцилляций ЭМГ и на их фоне относительная величина Н-рефлекса составила соответственно $143 \pm 9\%$ и $160 \pm 8\%$.

На Рис. 2 также приведены результаты второй серии опытов ($n=5$), в которой исследовали эффект другого движения контралатеральной конечности – тыльного сгибания стопы. Динамика тестируемого Н-рефлекса камбаловидной мышцы относительно контроля показана столбиками 2. Видно, что за 90 – 60 мс до начала движения величина рефлекторного ответа была равна $133 \pm 10\%$ контрольной, за 60 – 30 мс – $154 \pm 10\%$, далее $169 \pm 9\%$. На фоне ЭМГ контралатеральной мышцы амплитуда Н-рефлекса составила $187 \pm 13\%$. Сравнение результатов обеих серий опытов показывает, что динамика Н-рефлекса имела в них сходный характер. На представленных диаграммах видны несколько более высокие значения величины Н-рефлекса при тыльном сгибании контралатеральной стопы по сравнению с подошвенным сгибанием. Однако, эти различия не достигали уровня статистической значимости ($P > 0,05$).

Одной из задач работы было исследование возможных отличий динамики Н-рефлексов при аналогичных движениях ипсилатеральной и контралатеральной нижних конечностей. Для этого в шести опытах первой серии наряду с подошвенным сгибанием контралатеральной стопы был исследован эффект такого же движения ипсилатеральной стопы (рис. 3). Таким образом, в первом случае регистрировали Н-рефлекс покоящейся мышцы, а во втором – той, которая осуществляла произвольное движение. Регистрация Н-рефлексов у одних и тех же испытуемых позволила минимизировать индивидуальные особенности изучаемых влияний.

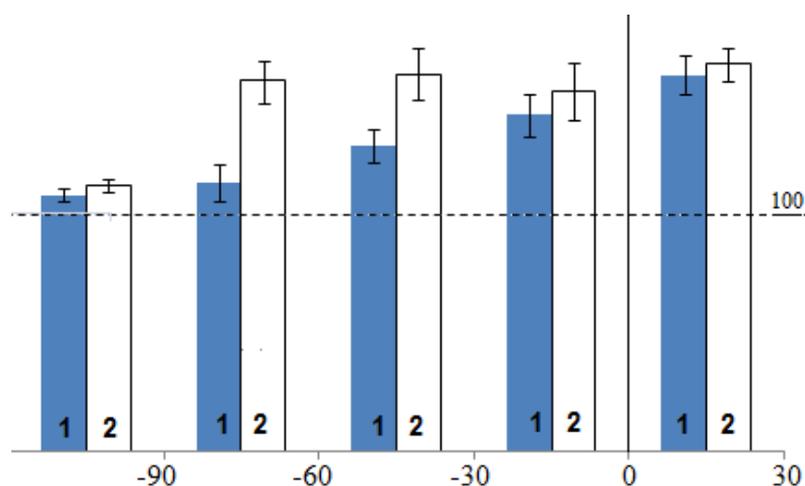


Рис.3. Динамика Н-рефлекса камбаловидной мышцы в латентном периоде произвольного подошвенного сгибания контралатеральной (1) и ипсилатеральной (2) стопы.

Примечание: Обозначения те же, что и на рис.2.

Результаты исследования показали, что амплитуда Н-рефлексов как контралатеральной, так и ипсилатеральной нижних конечностей начинала увеличиваться в среднем за 90 мс до начала подошвенного сгибания. На Рис. 3 также видно, что величина Н-рефлекса мышцы, которая осуществляла кондиционирующее движение, нарастала быстрее, чем Н-рефлекса контралатеральной мышцы. Однако, различия между эффектами ипсилатерального и контралатерального движений были статистически значимыми лишь в интервале 90-60 мс до возникновения осцилляций ЭМГ ($P < 0,05$). Непосредственно перед началом движения и на его фоне эти различия оказались недостоверными.

Во всех описанных выше опытах производили тестирование Н-рефлекса камбаловидной мышцы, относящейся к разгибателям голеностопного сустава. Представляло интерес выяснить, распространяется ли влияние аналогичных движений контралатеральной конечности на Н-рефлекс антагонистической группы мышц. В связи с этим была проведена серия опытов ($n=5$) по изучению влияния подошвенного сгибания контралатеральной стопы на Н-рефлекс длинной малоберцовой мышцы, относящейся к группе сгибателей (рис. 4).

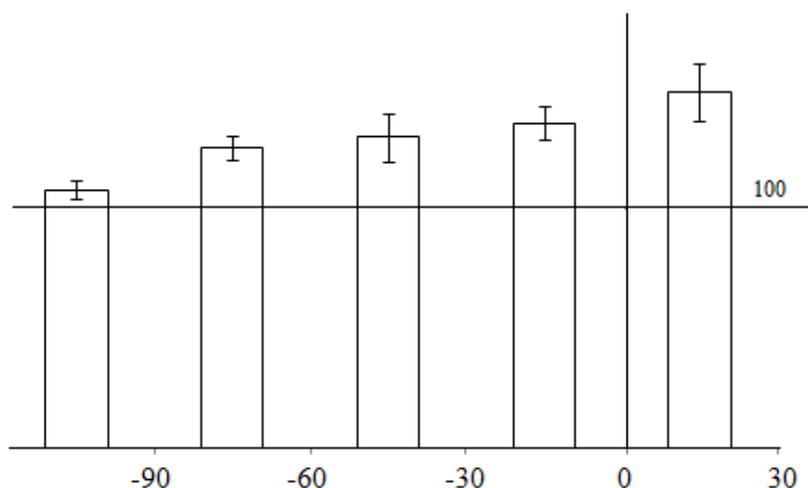


Рис.4. Динамика Н-рефлекса длинной малоберцовой мышцы в латентном периоде произвольного подошвенного сгибания контралатеральной стопы

Примечание: Обозначения те же, что на рис.2

Полученные данные показали, что изменения величины тестируемого Н-рефлекса носили, в основном, тот же характер, что и при регистрации Н-рефлекса камбаловидной мышцы. Перед началом двигательной реакции наблюдалось увеличение амплитуды рефлекторных ответов длинной малоберцовой мышцы. В интервале 90-60 мс до начала осцилляций ЭМГ величина её Н-рефлекса составила $126 \pm 5\%$ контроля. В интервале 60-30 мс амплитуда тестируемого рефлекса возрастала до $130 \pm 10\%$, а в промежутке времени, меньшем, чем 30 мс до начала движения – до $136 \pm 7\%$. Величина Н-рефлекса длинной малоберцовой мышцы оставалась увеличенной и на фоне сокращения камбаловидной мышцы и составляла $149 \pm 12\%$ контроля. Таким образом, в данной серии опытов мы не обнаружили статистически значимых различий динамики Н-рефлекса длинной малоберцовой мышцы по сравнению с изменениями Н-рефлекса камбаловидной мышцы при аналогичном движении контралатеральной стопы ($P > 0,05$).

Результаты проведенных опытов показали, что облегчение Н-рефлекса, возникающее до начала двигательной реакции, не ограничивалось мышцами, которые участвуют в её реализации. Оно наблюдалось и при произвольных движениях контралатеральной конечности, в результате чего изменялись Н-рефлексы мышц, не задействованных в движениях. Предваряющее облегчение Н-рефлексов при контралатеральных сгибаниях наблюдалось во всех опытах, хотя было несколько менее выраженным и возникало позже, чем при движениях ипсилатеральной конечности. Таким образом, оно представляло собой генерализованную реакцию.

Временное течение облегчения Н-рефлекса камбаловидной мышцы при тыльном и подошвенном сгибаниях контралатеральной конечности не обнаруживало достоверных различий. Этим оно существенно отличалось от

дифференцированных эффектов движений ипсилатеральной конечности. В частности, показано, что облегчение Н-рефлекса камбаловидной мышцы наблюдается только при подошвенном сгибании ипсилатеральной стопы, тогда как при тыльном сгибании возникает противоположный эффект – предваряющее торможение Н-рефлекса камбаловидной мышцы [8].

Кроме того, движения контралатеральной стопы облегчали не только Н-рефлекс камбаловидной мышцы, но и моносинаптические рефлексы её функционального антагониста - длинной малоберцовой мышцы. Частично это могло быть обусловлено тем, что в наших исследованиях мы получали предваряющие изменения Н-рефлексов мышц голени при произвольных контралатеральных движениях в условиях, когда конечности не выполняли опорной функции. Однако в целом, полученные в исследованиях результаты позволили нам сделать заключение, что предваряющие изменения Н-рефлекса при движениях контралатеральной конечности являются менее координированными и более стереотипными, чем при движениях ипсилатеральной.

Очевидно, предваряющее облегчение Н-рефлекса, наблюдавшееся в наших опытах, могло быть результатом ослабления фоновой деполяризации афферентов Ia, которая лежит в основе пресинаптического торможения. Известно, что перед началом произвольного сокращения мышцы пресинаптическое торможение афферентов Ia её двухнейронной рефлекторной дуги резко снижается [9]. По данным [10] ослабление пресинаптического торможения лежит в основе предваряющего облегчения Н-рефлекса самой сокращающейся мышцы. Можно полагать, что это явление обуславливает и предваряющее облегчение Н-рефлексов при сокращениях мышц контралатеральной нижней конечности. Ослабление пресинаптического торможения афферентов Ia может способствовать поступлению сенсорной информации от мышечных рецепторов к мотонейронам.

ВЫВОДЫ

1. Н-рефлексы камбаловидной и длинной малоберцовой мышц обнаруживают облегчение перед началом произвольных движений в контралатеральном голеностопном суставе.
2. Предваряющие изменения Н-рефлекса камбаловидной мышцы при произвольных контралатеральных движениях возникают позднее, чем при ипсилатеральных.
3. Временной ход предваряющего облегчения Н-рефлекса камбаловидной мышцы не обнаруживает существенных различий при тыльном и подошвенном сгибании контралатеральной стопы.
4. Предваряющее облегчение Н-рефлекса длинной малоберцовой мышцы при движении контралатеральной стопы протекает так же, как облегчение её функционального антагониста – камбаловидной мышцы.
5. Предваряющие изменения Н-рефлексов при произвольных движениях контралатеральной конечности носят генерализованный характер и охватывают различные в функциональном отношении мышцы.

Список литературы

1. Коц Я.М. Спинальная "настройка" перед произвольными физическими движениями, выполняемыми после статического усилия / Я.М. Коц // Журн. высш. нерв. деят. – 1969. – Т.19, № 2. – С. 363–365.
2. Pierrot-Deseilligny E. The monosynaptic reflex: a tool to investigate motor control in humans. Interest and limits / E. Pierrot-Deseilligny, D. Mazevet // Neurophysiol. Clin. – 2000. – Vol. 30, No 2. – P. 67–80.
3. Coquery J.M. Variations d'amplitude des reflexes monosynaptiques avant un mouvement volontaire / J.M. Coquery, M. Coulmance // Physiology and Behavior. – 1971. – № 6. – P. 65–69.
4. Сметанин Б.Н. Контралатеральные спинальные эффекты, сопровождающие произвольные движения в голеностопном суставе / Б.Н. Сметанин // Физиол. журн. СССР. – 1974. – Т.60, № 3. – С. 334–340.
5. Michie P.T. Reaction time and spinal excitability in a simple reaction time task / P.T. Michie, A.M. Clarke // Physiol Behav. – 1976. – Vol. 16(3). – P. 311–315.
6. Eichenberger A. Relation between the specific H reflex facilitation preceding a voluntary movement and movement parameters in man / A. Eichenberger, D.G. Ruegg // J. Physiol. – 1984. – Vol. 347. – P. 545–559.
7. Лакин Г.Ф. Биометрия / Лакин Г.Ф. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
8. Ruegg D.G. Ia afferents of the antagonist are inhibited presynaptically before the onset of a ballistic muscle contraction in man / D.G. Ruegg // Exp Brain Res. – 1989. – Vol. 74(3). – P. 663–666.
9. Hultborn H. Changes in presynaptic inhibition of Ia fibres at the onset of voluntary contraction in man / H. Hultborn, S. Meunier, E. Pierrot-Deseilligny // J Physiol. – 1987. – Vol. 389. – P. 757–772.
10. Riedo R. Origin of the specific H reflex facilitation preceding a voluntary movement in man / R. Riedo, D.G. Ruegg // J. Physiol. – 1988. – Vol. 397. – P. 371–380.

Иванченко О.З. Випереджуючі зміни Н-рефлексів нижньої кінцівки людини при довільних контралатеральних рухах / О.З. Іванченко // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2012. – Т. 25 (64), № 1. – С. 84-91.

В дослідженнях на здорових людях, які знаходились у положенні лежачи, реєстрували Н-рефлекси камбалоподібного та довгого малогомілкового м'язів. Приблизно за 90 мс до початку довільних рухів у гомілковостопному суглобі контралатеральної кінцівки спостерігалось полегшення Н – рефлексів. При рухах контралатеральної кінцівки воно виникло пізніше, ніж при рухах іпсилатеральної стопи. Випереджуюче полегшення Н-рефлексу камбалоподібного м'яза не виявляло суттєвих відмінностей при тильному і підшовному згинанні контралатеральної кінцівки. Аналогічні зміни при контралатеральних рухах зазнавав Н-рефлекс довгого малогомілкового м'яза. Отримані дані говорять про те, що полегшення Н-рефлексів, що випереджало довільні рухи контралатеральної нижньої кінцівки, представляє собою генералізовану реакцію, яка охоплює різні за своєю функцією м'язи.

Ключові слова: Н-рефлекс, довільні рухи, контралатеральна кінцівка.

Ivanchenko O.Z. Anticipatory changes of the human low extremity H-reflexes by the voluntary contralateral movements in man / O.Z. Ivanchenko // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2012. – Vol. 25 (64), No 1. – P. 84-91.

H-reflexes of the soleus and peroneus longus muscles were studied in healthy humans lying at the prone position. Facilitation of the H-reflexes takes place at about 90 ms before the onset of the voluntary contralateral ankle joint movements. The changes of H-reflexes appears later before the contralateral movements than before ipsilateral ones. Anticipatory facilitation of the soleus H-reflex does not differ significantly at the plantariflexion and dorsiflexion of the contralateral extremity. The peroneus longus H-reflex is also facilitated in the same way before the contralateral ankle joint movement. The present results suggest that anticipatory H-reflex facilitation which rise up before the contralateral extremity movements is generalised reaction which spreads on the muscles with the different functions.

Keywords: H-reflex, voluntary movements, contralateral limb.

Поступила в редакцію 26.01.2012 г.