

Предваряющие изменения тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы при произвольных движениях контралатерального голеностопного сустава

У здоровых людей изучали изменения тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы в премоторном периоде произвольных движений контралатеральной нижней конечности в голеностопном суставе. Показано, что при вертикальном положении испытуемых характер изменений ЭМГ определялся видом движения: при разгибании голеностопного сустава мы наблюдали снижение её интенсивности, а при сгибании – увеличение. Указанные явления проявлялись уже за 90 мс до начала обоих видов движений и длились в течение всего их премоторного периода. При положении испытуемых лёжа тоническая ЭМГ-активность камбаловидной мышцы в условиях разгибания и сгибания контралатерального голеностопного сустава не менялась. Результаты исследования свидетельствуют, что изменения тонической ЭМГ камбаловидной мышцы, которые возникают перед началом произвольных движений контралатеральной конечности только при вертикальном положении людей, являются проявлением предваряющих постуральных перестроек, которые способствуют адекватному выполнению антигравитационной функции двигательного аппарата человека.

Ключевые слова: тоническая ЭМГ-активность, камбаловидная мышца, произвольные движения, контралатеральная конечность, голеностопный сустав, премоторный период, предваряющие постуральные перестройки.

Постановка научной проблемы и её значение. Любой произвольный двигательный акт сопровождается определёнными дополнительными движениями, а также изменениями тонуса ряда мышц, которые непосредственно не участвуют в основном движении. Некоторые из таких изменений происходят одновременно с ним, другие – возникают в его премоторном периоде, то есть имеют предваряющий характер. Последние были названы предваряющими постуральными перестройками, которые служат для сохранения равновесия тела и его положения в пространстве. Их физиологические механизмы являются в настоящее время предметом изучения. Полученные в данной работе экспериментальные данные позволяют оценить роль различных факторов в формировании предваряющих изменений тонуса скелетных мышц. Они могут способствовать углублению представлений о физиологических механизмах произвольных движений, а также найти применение в физиологии труда и спорта.

Анализ исследований по данной проблеме. Наличие предваряющих постуральных перестроек, которые предшествуют возникновению произвольных движений человека, было впервые обнаружено в исследованиях [1]. Показано, что роль таких перестроек состоит в минимизировании нарушений позы и равновесия, которые могли бы наступить в результате данного движения [2]. Считают, что они являются адаптивными по отношению к условиям, в которых совершается произвольный двигательный акт.

Физиологические механизмы и функциональная роль предваряющих постуральных перестроек рассмотрены в ряде обзоров [3–6]. Установлено, что при движениях нижних конечностей человека они направлены, главным образом, на поддержание равновесия тела. Их характер и особенности изучены, в частности, в условиях, когда человек, стоявший до этого неподвижно, готовится совершить первый шаг [7–9]. Во время премоторного периода за несколько десятков миллисекунд до начала движения у него происходят определённые изменения тонуса скелетной мускулатуры и смещение центра масс тела. Известны и данные о характере предваряющих постуральных перестроек при движениях нижних конечностей неподвижно стоящего человека [10, 11].

Предваряющие постуральные перестройки возникают не по причине каких-либо рефлекторных воздействий с периферии. Они формируются ещё до начала произвольного движения под влиянием врождённых центральных моторных команд. Тем не менее, существуют и отдельные данные о зависимости их характера от условий, в которых будет совершаться движение, например, от наличия опоры, асимметричного положения тела [11, 12]. Ввиду этого представлялся важным вопрос, до какой степени зависят сами центральные моторные команды от вида предстоящих движений и от обсто-

ятельств, в которых они возникают. Выяснению этого вопроса могло способствовать сопоставление предваряющих изменений тонуса мышц нижних конечностей при одинаковых произвольных движениях, совершаемых в различных условиях при разных положениях тела испытуемого.

Цель работы – определить характер предваряющих изменений тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы при произвольных движениях контралатерального голеностопного сустава в условиях, когда испытуемые находятся в положении стоя или лёжа.

Материалы и методы. Исследования проведены на 22 испытуемых – добровольцах обоих полов в возрасте 18–20 лет, праворуких (для исключения возможного влияния на результаты работы врожденной асимметрии моторики конечностей). Участники исследования дали информированное согласие на участие в опытах. Изучали тоническую ЭМГ камбаловидной мышцы. При этом испытуемые находились либо в положении стоя с опорой на обе ноги, либо в положении лежа на кушетке со свободно свисающими стопами. По световому сигналу (вспышке светодиода) они производили с максимальной быстротой кондиционирующее движение контралатеральной стопы по типу простой сенсомоторной реакции с немедленным возвратом в исходное положение. Был исследован эффект двух видов движения: разгибания и сгибания контралатерального голеностопного сустава. Показателем начала кондиционирующего движения контралатеральной конечности были первые осцилляции ЭМГ участвующих в нём мышц: камбаловидной при разгибании и передней большеберцовой при сгибании голеностопного сустава контралатеральной конечности.

ЭМГ камбаловидной мышцы отводили поверхностными электродами в форме дисков диаметром 6 мм с расстоянием между центрами 30 мм. Их размещали на предварительно обезжиренную кожу в области брюшка соответствующей мышцы. После усиления биопотенциалы регистрировали посредством электронного осциллографа Handiscope HS3 («Tie-Pieengineering»). Определение показателей интенсивности ЭМГ производили с помощью программы «Origin 8.6». После двухполупериодного выпрямления и низкочастотной фильтрации определяли площадь под интегральной кривой, огибающей осцилляции ЭМГ. Такая площадь рассматривается как её интенсивность, являющаяся показателем тонуса мышцы [13]. Характеристики ЭМГ-активности определяли на протяжении отдельных отрезков премооторного периода произвольного движения контралатеральной конечности (за 90–120 мс, 60–90 мс, 30–60 мс, 0–30 мс до его начала). В каждом опыте обрабатывали результаты 10 проб. Вычисляли нормированную величину ЭМГ, принимая за 100 % её интенсивность до подачи светового сигнала. Вычисляли средние величины интенсивности ЭМГ в каждой серии опытов и их стандартные ошибки. Достоверность различий с контролем оценивали с помощью непараметрического критерия Вилкоксона.

Изложение основного материала и обоснование полученных результатов исследования. В первой серии опытов изучали ЭМГ-активность камбаловидной мышцы в премооторном периоде разгибания контралатерального голеностопного сустава при положении испытуемых стоя с опорой на обе стопы. В эксперименте приняли участие пять человек.

На рис. 1А показаны записи ЭМГ-активности камбаловидной мышцы двух из десяти проб, которые проведены в одном из опытов серии. В пробе 1 видно значительное торможение ЭМГ-активности исследуемой мышцы не только в премооторном периоде, но и во время самого кондиционирующего движения. В пробе 2 период торможения тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы закончился до начала движения.

Динамика усредненных показателей результатов всех опытов серии, представлена на рис. 1Б. Полученные данные свидетельствуют о возникновении предваряющего торможения тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы в премооторном периоде разгибания контралатерального голеностопного сустава, которое испытуемые выполняли стоя.

Снижение интенсивности ЭМГ камбаловидной мышцы возникало в интервале 90–60 мс до начала движения, когда значение исследуемого показателя составляло 73 ± 8 %. За 60–30 мс до начала движения торможение ЭМГ достигало максимальной глубины: её интенсивность уменьшилась до 63 ± 6 % контрольной величины. В интервале 30–0 мс до начала разгибания контралатерального голеностопного сустава торможение исследуемой тонической ЭМГ ослабевало. В указанный период её интенсивность составила 80 ± 13 % контрольного значения.

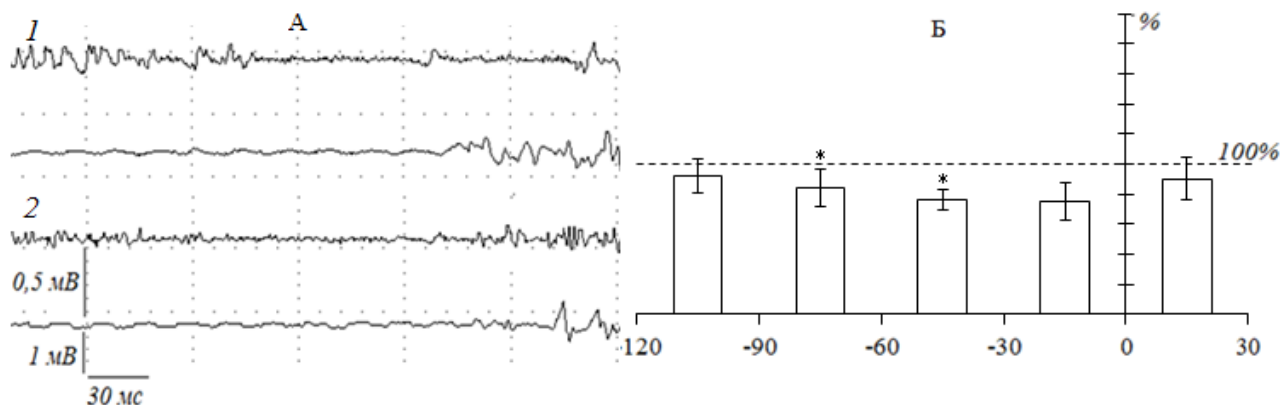


Рис. 1. Изменение тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы при разгибании контралатеральной конечности в голеностопном суставе (вертикальное положение тела испытуемых)

А – записи ЭМГ-активности камбаловидных мышц обеих конечностей в двух пробах опыта (1, 2): верхние кривые – тонические ЭМГ исследуемой мышцы, нижние кривые – фазные ЭМГ гомонимной мышцы контралатеральной конечности; Б – усредненные результаты серии опытов ($n=5$). Ось абсцисс – интервал между моментом нанесения тестирующего стимула и возникновением произвольного движения конечности (ноль на оси), мс. Ось ординат – усредненные данные величины ЭМГ-активности, нормированные к контролю, %.

Разница между показателями тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы в контроле и в премоторном периоде кондиционирующего движения была статистически значима в интервалах 90–30 мс до начала разгибания в голеностопном суставе ($P<0,05$). На фоне движения контралатеральной конечности среднее значение интенсивности исследуемой ЭМГ восстанавливалось в пределы контрольных значений и составило $99\pm 19\%$.

Во второй серии, которая состояла из пяти опытов, исследовали предваряющие изменения ЭМГ-активности камбаловидной мышцы при сгибании в контралатеральном голеностопном суставе, которые испытуемые осуществляли также в положении стоя по световому сигналу. Индикатором начала кондиционирующего движения была фазная ЭМГ-активность контралатеральной передней большеберцовой мышцы (нижние осциллограммы в каждой пробе, рис. 2А).

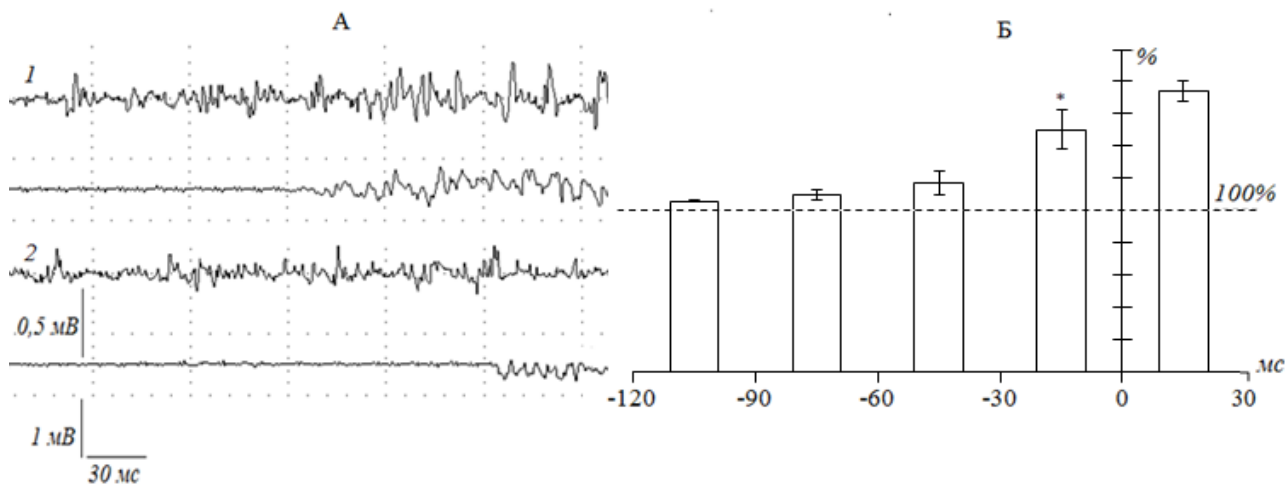


Рис. 2. Изменение тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы при сгибании контралатеральной конечности в голеностопном суставе (вертикальное положение тела испытуемых)

А – записи тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы (верхние кривые проб 1 и 2) и фазной ЭМГ-активности передней большеберцовой мышцы контралатеральной конечности (нижние кривые проб 1 и 2); Б – усредненные результаты серии опытов ($n=5$). Ось абсцисс – интервал между моментом нанесения тестирующего стимула и возникновением произвольного движения конечности (ноль на оси), мс. Ось ординат – усредненные данные величины ЭМГ-активности, нормированные относительно контроля, %.

Записи тонической ЭМГ камбаловидной мышцы представлены верхними осциллограммами в каждой пробе на рис. 2А. Видно, что в премоторном периоде сгибания контралатерального голеностопного сустава, выполненного испытуемыми стоя, исследуемая ЭМГ-активность облегчалась. Усредненные нормированные показатели её интенсивности, полученные во всех опытах данной серии (рис. 2Б), были таковы: за 120–90 мс до начала движения – 106 ± 1 %; за 90–60 мс – 110 ± 3 %; за 60–30 мс – 117 ± 7 %; в интервале 30–0 мс – 150 ± 12 %; на фоне сгибания – 174 ± 6 %. Отсюда видно, что в заключительной стадии премоторного периода кондиционирующего движения наблюдалось значительное увеличение интенсивности тонической ЭМГ-активности тестируемой камбаловидной мышцы. В интервале 30–0 мс до начала сгибания контралатерального голеностопного сустава изменение указанного показателя оказалось статистически значимым, по сравнению с контрольной величиной ($P < 0,05$).

Известно, что предваряющие изменения тонуса скелетных мышц являются адаптацией к условиям предстоящего движения. При горизонтальном положении тела и расслабленных конечностях роль таких изменений может существенно отличаться от той, которую они выполняют при выполнении свойственной нижним конечностям опорной функции. Учитывая это, в следующих сериях мы исследовали динамику интенсивности тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы в премоторном периоде произвольных движений контралатеральной конечности сустава при горизонтальном положении испытуемых, которые для получения тонической ЭМГ в таких условиях по световому сигналу приводили тестируемую конечность в состояние умеренного тонического разгибания в голеностопном суставе.

На рис. 3 приведены усредненные результаты семи опытов, в которых испытуемые по световому сигналу выполняли разгибание (А) и сгибание (Б) контралатерального голеностопного сустава.

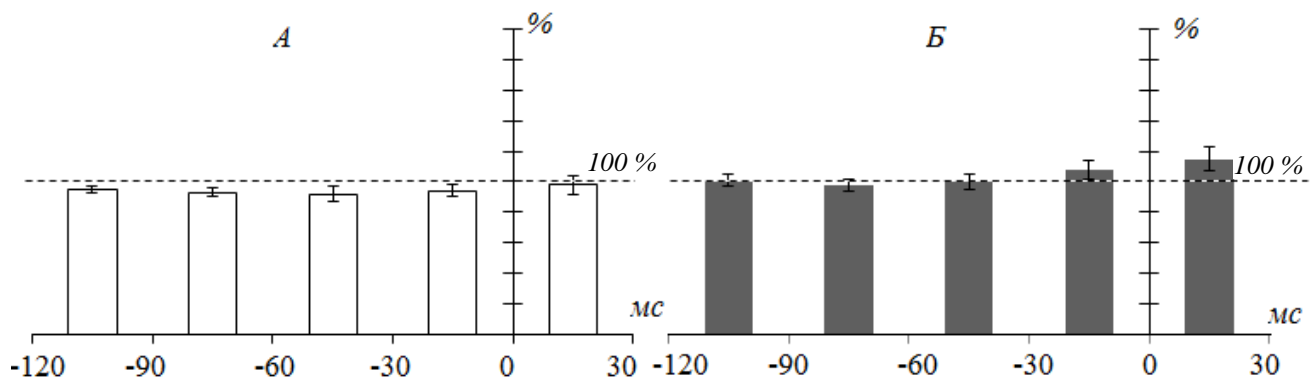


Рис. 3. Динамика усредненных величин интенсивностей тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы при разгибании (А) и сгибании (Б) голеностопного сустава контралатеральной конечности (горизонтальное положение тела испытуемых)

Ось абсцисс – интервал между моментом нанесения тестирующего стимула и возникновением произвольного движения контралатеральной конечности (ноль на оси), мс. Ось ординат – усредненные величины интенсивности ЭМГ-активности камбаловидной мышцы, нормированные относительно контроля, %.

Видно, что ни в одном из исследованных премоторных интервалов средняя величина интенсивности тонической ЭМГ тестируемой мышцы не изменялась относительно контрольной величины.

Усредненные результаты серии опытов, в которых испытуемые совершали разгибание контралатерального голеностопного сустава, были следующие: 120–90 мс – 95 ± 2 %; 90–60 мс – 93 ± 3 %; 60–30 мс – 92 ± 3 %; 30–0 мс – 94 ± 4 %; 0–30 мс – 98 ± 6 % контроля. Статистическая обработка данных показала, что отличия тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы во всех изученных интервалах премоторного периода кондиционирующего движения не были статистически значимыми ($P > 0,05$). В следующей серии, состоящей из пяти опытов, изучали показатели ЭМГ-активности камбаловидной мышцы в премоторном периоде сгибания голеностопного контралатерального сустава. Представленные результаты на рис. 3Б указывают на отсутствие предваряющих такое кондиционирующее движение изменений тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы.

Усредненные данные всей серии опытов были такие: 120–90 мс – 101±4 %; 90–60 мс – 98±4%; 60–30 мс – 100±5 %; 30–0 мс – 108±6 %; 0–30 мс – 115±8 %. Видно, что на протяжении всего премоторного периода сгибания контралатерального голеностопного сустава усредненные показатели интенсивности тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы практически полностью совпадали с полученными в контроле. Отклонения от контрольной величины непосредственно перед началом кондиционирующего произвольного движения не были статистически значимыми ($P>0,05$).

Выводы и перспективы дальнейших исследований. В ходе настоящей работы мы изучали предварающие изменения фоновой ЭМГ-активности камбаловидной мышцы при произвольных движениях контралатеральной нижней конечности. Как известно, тоническая ЭМГ-активность может служить показателем тонуса скелетной мускулатуры. Результаты опытов показали, что в премоторном периоде разгибания контралатерального голеностопного сустава в условиях вертикального положения испытуемых с опорой на обе ноги возникало торможение тонической ЭМГ-активности камбаловидной мышцы. Сгибание этого сустава при положении людей стоя приводило к облегчению тестируемой ЭМГ. Такой противоположный характер её изменений в течение премоторного периода функционально различных кондиционирующих движений соответствовал реципрокным взаимоотношениям между сгибателями и разгибателями голеностопного сустава. Эти изменения могли быть проявлениями предварающих постуральных перестроек и могли способствовать адекватному выполнению антигравитационной функции опорно-двигательного аппарата человека, которая проявляется при вертикальном положении его тела.

Полученные данные при положении испытуемых стоя существенно отличались от результатов опытов, в ходе которых исследовали эффект аналогичных движений контралатерального голеностопного сустава в позиции испытуемых лёжа. Показано, что в таких условиях в премоторном периоде различных кондиционирующих движений не наблюдалось изменений интенсивности тонической ЭМГ тестируемой мышцы и, соответственно, её тонуса. Мы полагаем, что при положении испытуемых лёжа такие изменения были бы лишними, поскольку предстоящее движение контралатеральной нижней конечности не могло бы привести к существенным изменениям равновесия и положения тела в пространстве.

Результаты опытов указывают на то, что характер центральных моторных команд, которые формируются в премоторном периоде произвольных движений контралатеральной конечности, определяется не только их видом, но и, в значительной степени, положением тела, наличием или отсутствием опорной функции нижних конечностей. В процессе такого формирования центральная нервная система, очевидно, использует информацию, поступающую с периферии от рецепторов мышц нижних конечностей, кожи стоп и других рецепторных систем. Выяснение вопроса о механизмах различий моторных команд в положении людей стоя и лёжа может быть предметом дальнейших исследований.

Источники и литература

1. Беленький Ю. Ю. Элементы контроля произвольных движений / Ю. Ю. Беленький, В. С. Гурфинкель, Ю. И. Пальцев // *Биофизика*. – 1967. – Т. 12, № 1. – С. 135–141.
2. Massion J. Postural changes accompanying voluntary movements. Normal and pathological aspects / J. Massion // *Hum. Neurobiol.* – 1984. – Vol. 2, № 4. – P. 261–287.
3. McIlroy W. E. Changes in early 'automatic' postural response associated with the prior-planning and execution of a compensatory step / W. E. McIlroy, B. E. Maki // *Brain Res.* – 1993. – Vol. 631, № 2. – P. 203–211.
4. Ito T. Anticipatory control in the initiation of a single step under biomechanical constraints in humans / T. Ito, T. Azuma, N. Yamashita // *NeurosciLett.* – 2003. – Vol. 352, № 3. – P. 207–210.
5. Rocchi L. Dependence of anticipatory postural adjustments for step initiation on task movement features: a study based on dynamometric and accelerometric data / L. Rocchi, M. Mancini, L. Chiari [et al. 4] // *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* – 2006. – P. 1489–1492.
6. Dalton E. Simple change in initial standing position enhances the initiation of gait / E. Dalton, M. Bishop, M. D. Tillman [et al.] // *Med. Sci Sports Exerc.* – 2011. – Vol. 43, № 12. – P. 2352–2358.
7. Nouillot P. Are there anticipatory segmental adjustments associated with lower limb flexions when balance is poor in humans? / P. Nouillot, M. C. Do, S. Bouisset // *Neurosci Lett.* – 2000. – Vol. 279, № 2. – P. 77–80.
8. Hall L. M. Adaptive changes in anticipatory postural adjustments with novel and familiar postural supports / L. M. Hall, S. Brauer, F. Horak // *J. Neurophysiol.* – 2010. – Vol. 103, № 2. – P. 968–976.
9. Yiou E. Influence of fear of falling on anticipatory postural control of medio-lateral stability during rapid leg flexion / E. Yiou, T. Deroche, M. C. Do [et al.] // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2011. – Vol. 111, № 4. – P. 611–612.
10. Paquette M. R. Age-related modifications in steering behaviour: effects of base-of-support constraints at the turn point / M. R. Paquette, J. R. Adkin, A. L. Fuller [et al.] // *Exp. Brain Res.* – 2008. – Vol. 190, № 1. – P. 1–9.

11. Strang A. J. Fatigue-induced early onset of anticipatory postural adjustments in non-fatigued muscles: support for a centrally mediated adaptation / A. J. Strang, W. P. Berg, M. Hieronymus // *Exp. Brain Res.* – 2009. – Vol. 197, № 3. – P. 245–254.
12. Chang W. H. Role of the premotor cortex in leg selection and anticipatory postural adjustments associated with a rapid stepping task in patients with stroke / W. H. Chang, P. F. Tang, Y. H. Wang [et al.] // *Gait Posture.* – 2010. – Vol. 32, № 4. – P. 487–493.
13. Silva A. Activation timing of soleus and tibialis anterior muscles during sit-to-stand and stand-to-sit in post-stroke vs. healthy subjects / A. Silva, A. S. Sousa, R. Pinheiro [et al.] // *Somatosens Mot. Res.* – 2013. – Vol. 30, № 1. – P.48–55.
14. Rogers M. W. Postural preparation prior to stepping in patients with Parkinson's disease / M. W. Rogers, R. Kennedy, S. Palmer [et al.] // *J. Neurophysiol.* – 2011. – Vol. 106, № 2. – P. 915–924.

Іванченко Олена. Випереджальні зміни тонічної ЕМГ-активності камбалоподібного м'яза при довільних рухах контралатерального гомілковостопного суглоба. У здорових людей вивчали зміни тонічної ЕМГ-активності камбалоподібного м'яза в премоторному періоді довільних рухів контралатеральної нижньої кінцівки в гомілковостопному суглобі. Показано, що при вертикальному положенні обстежених характер змін тонічної ЕМГ-активності визначався видом руху: при розгинанні гомілковостопного суглоба спостерігали зменшення її інтенсивності, а при згинанні – збільшення. Указані явища проявлялись уже за 90 мс до початку обох видів рухів і тривали протягом усього їх премоторного періоду. При положенні обстежених лежачи тонічна ЕМГ-активність камбалоподібного м'яза в умовах згинання й розгинання контралатерального гомілковостопного суглоба не змінювалась. Результати дослідження свідчать, що зміни тонічної ЕМГ камбалоподібного м'яза, які виникають перед початком довільних рухів контралатеральної кінцівки тільки при вертикальному положенні обстежених, слугують проявом випереджальних поструральних перебудов, що сприяють адекватному виконанню антигравітаційної функції рухового апарату людини.

Ключові слова: тонічна ЕМГ-активність, камбалоподібний м'яз, довільні рухи, контралатеральна кінцівка, гомілковостопний суглоб, премоторний період, випереджальні поструральні перебудови.

Ivanchenko Elena. Anticipatory Changes of the Tonic EMG-activity Soleus Muscle During Voluntary Movements of Contralateral Ankle Joint. In healthy humans we studied changes of the tonic EMG-activity m. soleus before beginning of voluntary movements of the contralateral lower limb in ankle joint. It is shown that during standing position of people the nature of these changes depended on type of movement: extension and flexion of ankle joint caused decrease and increase of EMG intensity respectively. These phenomena manifested behind 90 ms to both kinds of movements and continued throughout all premotor period. In lying position of people the tonic EMG activity m. soleus did not change before flexion and extension contralateral ankle. Results of the study suggest that changes m. soleus tonic EMG arising before voluntary movements contralateral limb only at human vertical pose, are the manifestation of anticipatory postural alterations that contribute to the implementation of adequate antigravity function of the motor system of man.

Key words: tonic EMG-activity, m. soleus, voluntary movements, contralateral limb, ankle joint, premotor period, anticipatory postural adjustments.

Статья поступила в редколлегию
08.03.2016 г.

УДК: 577.3

**Яків Фіщенко,
Данило Заводовський,
Олександр Мотузюк,
Тетяна Матвієнко,
Дмитро Ноздренко,
Вікторія Мельничук,
Ольга Дубнік**

Вплив лонгідази на індукований епідуральний фіброз спинного мозку

Досліджено вплив лонгідази в дозі 1мл/кг на індукований епідуральний фіброз спинного мозку щура. Показано зниження кількості фіброзних структур при застосуванні препарату. При цьому співвідношення

© Фіщенко Я., Заводовський Д., Мотузюк О., Матвієнко Т., Ноздренко Д., Мельничук В., Дубнік О., 2016