

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НЕРЕЦИПРОКНОГО ТОРМОЖЕНИЯ МЫШЦ БЕДРА У ЛИЦ РАЗНОГО ВОЗРАСТА

А.А. Челноков

*ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта»
(г. Великие Луки)*

Изучены возрастные особенности нерецепторного торможения спинальных α -мотонейронов *m. vastus lat.* у мальчиков 9–12 лет, мальчиков 14–15 лет, юношей 17–18 лет и мужчин 22–27 лет. Показано, что при кондиционирующей стимуляции *n. tibialis* наибольшая выраженность нерецепторного торможения спинальных α -мотонейронов *m. vastus lat.* характерна для подростков 14–15 лет и мужчин 22–27 лет по сравнению с детьми 9–12 лет и юношами 17–18 лет. В возрасте 14–15 лет выраженность нерецепторного торможения спинальных α -мотонейронов *m. vastus lat.* достигает уровня взрослого человека.

Ключевые слова: нерецепторное торможение, α -мотонейроны, спинной мозг, возраст.

Челноков Андрей Алексеевич — кандидат биологических наук, заведующий кафедрой естественно научных дисциплин ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта», e-mail: and-chelnokov@yandex.ru

Введение. В настоящее время накоплен большой экспериментальный материал, посвященный изучению влияния Ib-афферентов от сухожильных рецепторов Гольджи на спинальные центры у здоровых испытуемых во время произвольных движений [11], ходьбы [7, 13], в условиях утомления [2], а также у больных детским церебральным параличом [1], спастичностью и цервикальной миелопатией [6, 10]. Имеются представления о возрастных особенностях нерецепторного торможения α -мотонейронов скелетных мышц голени у человека [5]. Отсутствие данных, раскрывающих вопросы изучения нерецепторного торможения спинальных α -мотонейронов скелетных мышц бедра у лиц разного возраста, определяет актуальность данного исследования.

В работе представлены результаты исследования выраженности нерецепторного торможения α -мотонейронов *m. vastus lat.* в состоянии относительного мышечного покоя на разных этапах возрастного развития человека.

Организация и методика исследования. В эксперименте участвовали здоровые испытуемые мужского пола четырех возрастных групп: I группа — мальчики 9–12 лет, II группа — мальчики 14–15 лет; III группа — юноши 17–18 лет, IV группа — мужчины

22–27 лет. Исследование было одобрено комитетом по биоэтике ВЛГАФК и соответствовало «Декларации по этическому кодексу медико-биологических исследований на людях» (Хельсинки, 1964).

Для оценки нерцепторного торможения гетеронимных α -мотонейронов *m. vastus lat.* использовали метод, предложенный J. F. Pes с соавторами [8]. При такой методике нерцепторное торможение гетеронимных α -мотонейронов *m. vastus lat.* определяется при нанесении кондиционирующего стимула *n. tibialis* и тестирующего раздражения *n. femoralis* при коротких временных интервалах от 1 до 13 мс с шагом 1 мс. В этом случае кондиционирующая стимуляция *n. tibialis* позволяет активировать афференты Ib на соответствующие тормозные интернейроны к α -мотонейронам *m. soleus* и *m. vastus lat.*

Н-рефлекс и М-ответ регистрировали в мышцах бедра и голени (*mm. vastus lat., soleus*) правой конечности при стимуляции *nn. femoralis, tibialis* соответственно. Для получения Н- и М-ответа наносили прямоугольные электрические стимулы длительностью 1 мс с интервалами не менее 10 с через накожные пластинчатые электроды. При регистрации Н-рефлекса и М-ответа использовались неполяризуемые чашечные дисковые электроды диаметром 0,9 см. Активный регистрирующий электрод располагался в области двигательной точки, референтный электрод фиксировался по ходу ее волокон. Межэлектродное расстояние составляло 2 см.

При регистрации контрольного Н-рефлекса *m. vastus lat.* использовалась интенсивность стимула с амплитудой ~10 % от максимального значения. Амплитуду тестирующего Н-ответа *m. vastus lat.* в условиях кондиционирующей стимуляции выражали в процентах от значений амплитуды контрольного ответа. Принимается, что чем больше подавление амплитуды тестирующего Н-рефлекса *m. vastus lat.* по отношению к амплитуде контрольного Н-рефлекса, тем более выражено нерцепторное торможение.

Кондиционирующая стимуляция *n. tibialis* осуществлялась при помощи униполярного электрода, где активный электрод располагался в *fossa poplitea*, а референтный на надколенной чашечкой. Интенсивность кондиционирующего стимула *n. tibialis* подбиралась таким образом, чтобы она вызывала М-ответ *m. soleus* с амплитудой ~95 % от максимального.

Стимуляция афферентов, регистрация Н-рефлексов, М-ответов и биопотенциалов скелетных мышц нижней правой конечности осуществлялась с помощью восьмиканального миниэлектромиографа, предусматривающего обработку параметров Н-рефлекса и М-ответа в специальной компьютерной программе Муо (АНО «Возращение», СПб., 2003).

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Statistica 6.0. Определяли эффективность задержек с помощью парного критерия Уилкоксона при сравнении тестирующего Н-рефлекса в условиях кондиционирующей стимуляции от контрольного Н-рефлекса (Wilcoxon test). Межгрупповые возрастные различия определяли с помощью дисперсионного анализа (One-way Anova). Результаты статистического анализа считались достоверными, если вероятность ошибки была менее 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение. Проведённое исследование показало, что у обследуемых разных возрастных групп нерцепторное торможение спинальных α -мотонейронов скелетных мышц бедра в состоянии относительного мышечного покоя имеет различные временные характеристики. Так, при коротких эффектах кондиционирования *n. tibialis* от 1 до 13 мс максимальное снижение амплитуды

тестирующего Н-рефлекса *m. vastus lat.* по отношению к контрольным значениям, а следовательно наиболее выраженное нерцепрокное торможение, наблюдалось у мальчиков 9–12 лет (74,27 %; W-тест, $p < 0,01$) при задержке 1 мс, у подростков 14–15 лет (55,97 %; W-тест, $p < 0,01$), юношей 17–18 лет (77,68 %; W-тест, $p < 0,01$) и мужчин 22–27 лет (59,39 %; W-тест, $p < 0,01$) — 10 мс (рис. 1). Полученные нами данные у юношей 17–18 лет и мужчин 22–27 лет согласуются с результатами J. F. Iles с соавторами [8] и J. F. Iles, J. Pardoe [9]. Авторами показано, что у взрослых испытуемых в возрасте 20–50 лет в ответ на кондиционирующий стимул *n. tibialis* до 5 мс следовало облегчение Н-рефлекса *m. vastus lat.* Присутствие облегчения моносинаптического рефлекса *m. vastus lat.* авторы объясняют существованием совместного вклада Ia- и Ib-афферентов *m. soleus* и в большей степени преобладанием возбуждающего вклада Ia-афферентов к α -мотонейронам *m. vastus lat.* В наших исследованиях облегчение Н-рефлекса *m. vastus lat.* зарегистрировано у подростков 14–15 лет при задержках 2; 3; 5; 8; 9; 13 мс, у юношей 17–18 лет — 1; 2; 6; 12 мс и у мужчин 22–27 лет — 1; 2; 4; 6; 7; 8 мс (рис. 1).

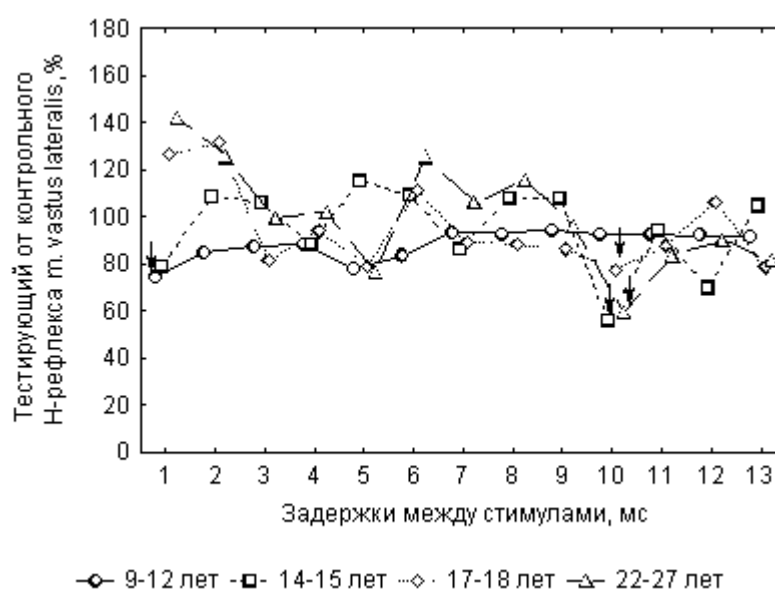


Рис. 1. Динамика амплитуды Н-рефлекса *m. vastus lat.* в условиях коротколатентной кондиционирующей стимуляции *n. tibialis* при различных межстимульных задержках у возрастных групп, % от контроля

Наши наблюдения относительно возрастных различий выраженности нерцепрокного торможения α -мотонейронов скелетных мышц бедра при оптимальных задержках в состоянии относительного мышечного покоя показали, что у детей 9–12 лет нерцепрокное торможение α -мотонейронов мышц бедра слабо выражено и отличалось от значений подростков 14–15 лет ($F_{1, 30} = 10,695$, $P = 0,002$) и мужчин 22–27 лет ($F_{1, 30} = 4,608$, $P = 0,040$) (рис. 2). Противоположные результаты в наших исследованиях получены при исследовании нерцепрокного торможения α -мотонейронов скелетных мышц голени у разных возрастных групп [5]. Показано, что у мальчиков 9–12 лет выраженность нерцепрокного торможения α -мотонейронов *m. soleus* больше, чем у всех других возрастных групп. Не было обнаружено межгрупповых различий в выраженности нерцепрокного торможения спинальных α -мотонейронов *m. soleus* у мальчиков 14–15 лет, юношей 17–18 лет и мужчин 22–27 лет. Эти факты свидетельствуют о том, что в подростковом возрасте выраженность нерцепрокного торможения α -мотонейронов скелетных мышц голени в состоянии покоя имеет характерные черты взрослого человека [5].

В группе юношей 17–18 лет также обнаружена наименьшая выраженность нерецепторного торможения α -мотонейронов *m. vastus lat.* (рис. 2). В данном случае амплитуда тестирующего Н-рефлекса *m. vastus lat.* по отношению к контролю составляла у юношей 17–18 лет — $76,83 \pm 8,74 \%$ и была больше на 2,89 % по сравнению с мальчиками 9–12 лет ($F_{1,30} = 0,096$, $P = 0,758$).

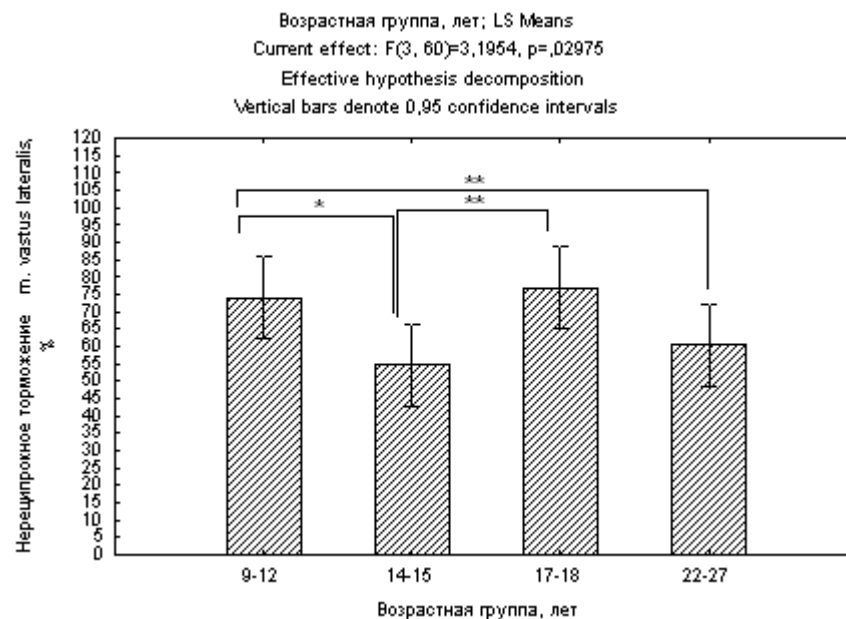


Рис. 2. Амплитуда тестирующего Н-рефлекса *m. vastus lat.* от контрольного рефлекса при оптимальных задержках у возрастных групп, %: достоверно при уровне значимости $P < 0,01^*$, $P < 0,05^{**}$ между возрастными группами (One-way Anova)

На основании полученных данных, представленных на рис. 2, показано, что в исследуемых возрастных группах наибольшая выраженность нерецепторного торможения α -мотонейронов *m. vastus lat.* преобладает у мальчиков 14–15 лет и мужчин 22–27 лет. Полученные данные подтверждаются недостоверными различиями ($F_{1,30} = 0,611$, $P = 0,440$) между этими возрастными группами, где амплитуда тестирующего Н-рефлекса *m. vastus lat.* по отношению к контрольным значениям у мужчин 22–27 лет превышала только на 5,74 % по сравнению с мальчиками 14–15 лет. У подростков 14–15 лет прослеживалось достоверно значимое понижение амплитуды тестирующего Н-рефлекса *m. vastus lat.* от контроля по сравнению с мальчиками 9–12 лет ($F_{1,30} = 10,695$, $P = 0,002$) и юношами 17–18 лет ($F_{1,30} = 4,824$, $P = 0,035$).

Нерецепторное торможение является результатом активации афферентов Ib волокон, которые передают информацию о напряжении (силе) мышцы [12]. В процессе онтогенеза сила мышц развивается гетерохронно [3] и зависит от площади поперечного сечения мышечных волокон и степени активации двигательных единиц скелетных мышц [4]. Значительный прирост силы мышц происходит в период полового созревания, что обусловлено их сложной внутренней перестройкой, дифференцировкой новых и быстрым развитием имевшихся мышечных волокон и иннервирующего их аппарата [3]. Можно считать, что к концу подросткового возраста тормозные нерецепторные взаимодействия скелетных мышц бедра в основном сформированы, и с 14–15 лет используются все механизмы, присущие взрослому человеку. Дальнейшее совершенствование, которое продолжается в период юношеского возраста, вероятно, связано с усложнением функциональных связей между структурами головного и спинного мозга, а также налаживанием взаимодействия координационных уровней в сложной системе управления.

Заключение. Результаты исследований расширяют сведения о нерцепрокном торможении спинальных α -мотонейронов и раскрывают новые аспекты афферентного взаимодействия скелетных мышц бедра на разных этапах возрастного развития человека. Выявлено, что у подростков 14–15 лет и мужчин 22–27 лет нерцепрокное торможение α -мотонейронов мышц бедра выражено более значительно, чем у детей 9–12 лет и юношей 17–18 лет. Не обнаружено межгрупповых различий в выраженности нерцепрокного торможения между подростками 14–15 лет, юношами 17–18 лет и мужчинами 22–27 лет, что свидетельствует о совершенстве нерцепроковых взаимодействий скелетных мышц бедра уже в подростковом возрасте.

Список литературы

1. Плещинский И. Н. Тормозные взаимодействия функционально-сопряженных мышц голени при детском церебральном параличе / И. Н. Плещинский, Г. Г. Гусельникова, Р. Х. Бикмуллина, Е. В. Новикова // Неврол. вестн. — 1998. — Т. 30, № 3–4. — С. 39.
2. Смирнова Л. В. Выраженность аутогенного торможения спинальных α -мотонейронов при различных статических усилиях / Л. В. Смирнова // III Всероссийская, с международным участием конференции по управлению движением, 17–19 марта 2010 г., Великие Луки. — Великие Луки, 2010. — С. 107–108.
3. Сонькин В. Д. Физическая работоспособность и энергообеспечение мышечной функции в постнатальном онтогенезе человека / В. Д. Сонькин // Физиология человека. — 2007. — Т. 33, № 3. — С. 1–19.
4. Тамбовцева Р. В. Физиологические основы развития двигательных качеств / Р. В. Тамбовцева // Новые исследования. — 2011. — № 1 (26). — С. 5–14.
5. Челноков А. А. Изучение нерцепрокного торможения мотонейронов спинного мозга у лиц разного возраста / А. А. Челноков, Р. М. Городничев // Валеология. — 2011. — № 3. — С. 79–84.
6. Delwaide P. J. Short-latency autogenic inhibition (Ib inhibition) in human spasticity / P. J. Delwaide, E. Oliver // Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry. — 1988. — Vol. 51. — P. 1546–1550.
7. Faist M. In humans Ib facilitation depends on locomotion while suppression of Ib inhibition requires loading / M. Faist, C. Hoefer, M. Hodapp [et al.] // Brain Res. — 2006. — Vol. 1076. — P. 87–92.
8. Iles J. F. Reflex actions of knee joint afferents during contraction of the human quadriceps / J. F. Iles, M. Stokes, A. Young // Clin. Physiol. — 1990. — Vol. 10. — P. 489–500.
9. Iles J. F. Changes in transmission in the pathway of heteronymous spinal recurrent inhibition from soleus to quadriceps motor neurons during movement in man / J. F. Iles, J. Pardoe // Brain. — 1999. — Vol. 122. — P. 1757–1764.
10. Morita H. Lack of modulation of Ib inhibition during antagonist contraction in spasticity / H. Morita, M. Shindo, H. Momoi [et al.] // Neurology. — 2006. — Vol. 67. — P. 52–56.
11. Pierrot-Deseilligny E. Evidence for IB inhibition in human subjects / E. Pierrot-Deseilligny, R. Katz, C. Morin // Brain Res. 1979. — Vol. 166. — P. 176–179.
12. Pierrot-Deseilligny E. The circuitry of the human spinal cord : Its role in motor control and movement disorders / E. Pierrot-Deseilligny, D. Burke. — Cambridge University Press, 2005. — 664 p.
13. Stephens M. J. Short-latency, non-reciprocal group I inhibition is reduced during the stance phase on walking humans / M. J. Stephens, J. F. Yang // Brain Res. — 1996. — Vol. 743, N 1–2. — P. 24–31.

FUNCTIONAL FEATURES OF UNRECIPROCAL INHIBITION OF HUCKLE MUSCLES AT PERSONS OF DIFFERENT AGE

A.A. Chelnokov

FSEI HPE Velikie Luki State Academy of Physical Education and Sports (Velikie Luki c.)

Age features of non-reciprocal inhibition of spinal α -motoneurons m. vastus lat. at 9–12 year-old teenagers, 14–15 year-old teenagers, 17–18 year-old teenagers and 22–27 year-old males were studied. It is proved, that at conditioning stimulation of n. tibialis the strongest non-reciprocal inhibition of spinal α -motoneurons m. vastus lat. is characteristic for 14–15 year-old teenagers and 22–27 year-old males as compared with the 9–12 year-old teenagers and 17–18 year-old teenagers. At the age of 14–15 the level of non-reciprocal inhibition of spinal α -motoneurons m. vastus lat. reaches that of an adult.

Keywords: non-reciprocal inhibition, α -motoneurons, spinal cord, age.

About authors:

Chelnokov Andrey Alekseevich — candidate of biology, head of natural scientific disciplines chair at FSEI HPE Velikie Luki State Academy of Physical Education and Sports, e-mail: andchelnokov@yandex.ru

List of the Literature:

1. Pleshchinsky I. N. Brake interactions functional the interfaced muscles of anticonvulsion at children cerebral paralysis / I. N. Pleshchinsky, G. G. Guselnikova, R. H. Bikmullina, E. V. Novikova // *Neurol. bul.* — 1998. — V. 30, № 3-4. — P. 39.
2. Smirnova L. V. Expression of autogenic inhibition of spinal α - motoneurons at various static efforts / L. V. Smirnova // the III All-Russia, with international participation of conference on traffic control, on March 17-19, 2010, Velikie Luki. — Velikie Luki, 2010. — P. 107-108.
3. Sonkin V. D. Physical working capacity and power supply of muscular function in post-natal ontogenesis of person / V. D. Sonkin // *Human physiology.* — 2007. — V. 33, № 3. — P. 1-19.
4. Tambovtseva R. V. Physiological bases of development of impellent qualities / R. V. Tambovtsev // *New researches.* — 2011. — № 1 (26). — P. 5-14.
5. A. A. Chelnokov Studying of unreciprocal inhibition of motoneurons of spinal cord at persons of different age / A. A. Chelnokov, R. M. Gorodnichev // *Valueology.* — 2011. — № 3. — P. 79-84.
6. Delwaide P. J. Short-latency autogenic inhibition (Ib inhibition) in human spasticity / P. J. Delwaide, E. Oliver // *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry.* — 1988. — Vol. 51. — P. 1546–1550.

7. Faist M. In humans Ib facilitation depends on locomotion while suppression of Ib inhibition requires loading / M. Faist, C. Hoefer, M. Hodapp [et al.] // *Brain Res.* — 2006. — Vol. 1076. — P. 87–92.
8. Iles J. F. Reflex actions of knee joint afferents during contraction of the human quadriceps / J. F. Iles, M. Stokes, A. Young // *Clin. Physiol.* — 1990. — Vol. 10. — P. 489–500.
9. Iles J. F. Changes in transmission in the pathway of heteronymous spinal recurrent inhibition from soleus to quadriceps motor neurons during movement in man / J.F. Iles, J. Pardoe // *Brain.* — 1999. — Vol. 122. — P. 1757–1764.
10. Morita H. Lack of modulation of Ib inhibition during antagonist contraction in spasticity / H. Morita, M. Shindo, H. Momoi [et al.] // *Neurology.* — 2006. — Vol. 67. — P. 52–56.
11. Pierrot-Deseilligny E. Evidence for IB inhibition in human subjects / E. Pierrot-Deseilligny, R. Katz, C. Morin // *Brain Res.* 1979. — Vol. 166. — P. 176–179.
12. Pierrot-Deseilligny E. The circuitry of the human spinal cord : Its role in motor control and movement disorders / E. Pierrot-Deseilligny, D. Burke. — Cambridge University Press, 2005. — 664 p.
13. Stephens M. J. Short-latency, non-reciprocal group I inhibition is reduced during the stance phase on walking humans / M. J. Stephens, J. F. Yang // *Brain Res.* — 1996. — Vol. 743, N 1–2. — P. 24–31.