

ОСОБЕННОСТИ АФФЕРЕНТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЫШЦ-СИНЕРГИСТОВ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ УСИЛИЯХ У ПОДРОСТКОВ И ЮНОШЕЙ

А.А. Челноков, О.В. Ланская

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта, Великие Луки,
Россия, and-chelnokov@yandex.ru

Введение. Тормозные нейронные связи, такие, как дисинаптическое реципрокное торможение и нереципрокное торможение, возвратное и пресинаптическое торможение, на спинальном уровне являются составной частью сложно организованной системы управления движения [1]. Тормозные взаимодействия, регистрируемые в системе мышц-синергистов известны как «нереципрокное торможение» [9]. В настоящее время процессы торможения на спинальном уровне в основном изучены у лиц зрелого возраста и пожилых людей [5, 11, 8, 4, 10]. Имеются представления о пре-

синаптическом и возвратном торможении у групп разного возраста в состоянии относительного мышечного покоя [2, 3, 6].

В данной работе представлены сведения изучения афферентного Ib обеспечения m. soleus в регуляции произвольного мышечного сокращения у подростков и юношей.

Методы. Эксперимент проводился на 20 здоровых испытуемых мужского пола. Обследуемые были разделены на 2 возрастные группы: I группа - мальчики 14-15 лет (n=10) и II группа - юноши 17-18 лет (n=10). Исследование было одобрено комитетом по биоэтике ВЛГАФК и соответствовало Хельсинской декларации.

Нереципрокное торможение гомонимных мотонейронов m. soleus оценивают с помощью кондиционирующей стимуляции n. common peroneal и тестирующего раздражения n. tibialis. При данной методике кондиционирующая стимуляция n. common peroneal вызывает «чистый» эффект Ib торможения мотонейронов mm. gastrocnemius medialis и soleus [13, 14, 15]. Оценка нереципрокного торможения производится по степени торможения тестирующего Н-рефлекса m. soleus в условиях кондиционирующей стимуляции n. common peroneal. Чем больше торможение Н-рефлекса m. soleus, тем большая величина нереципрокного торможения.

Н-рефлекс и М-ответ регистрировали в промаксимальных мышцах голени (mm. soleus, gastrocnemius medialis) правой конечности при стимуляции nn. tibialis, common peroneal, соответственно [13].

В одиночном раздражении использовался контрольный Н-ответ m. soleus с амплитудой ~15% от максимальных значений М-ответа. Амплитуду тестирующего Н-ответа m. soleus выражали в процентах от амплитуды одиночного контрольного Н-ответа m. soleus.

Кондиционирующая стимуляция n. common peroneal осуществлялась через биполярные электроды, расположенные в более низкой части fossa poplitea, на 6-8 см латеральнее или дистальнее электродов для раздражения n. tibialis. Интенсивность кондиционирующего стимула n. common peroneal была с амплитудой 95% от величины максимального М-ответа m. gastrocnemius medialis.

Максимальное произвольное сокращение (МПС). Измерения были выполнены на правой, ведущей у всех испытуемых, конечности. Испытуемые удобно располагались в положении сидя на динамометре системы Biodex (Biodex Medical System, USA). Стопа правой конечности относительно жестко фиксировалась к измерительной платформе динамометра. Изометрическое сокращение мышц (подошвенное сгибание) испытуемые выполняли с усилием 5% и 25% от МПС. Общее удержания во время тестирующей и контрольной стимуляции составляло 2 минуты.

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

Результаты исследования и их обсуждение. В начале исследования были проведены предварительные эксперименты с целью определения оптимальных временных задержек между кондиционирующим (n. common peroneal) и тестирующим (n. tibialis) стимулами для оценки выраженности нереципрокного торможения α -мотонейронов m. soleus у исследуемых возрастных групп. Временные задержки определяли при коротколатентных эффектах кондиционирования афферентов группы I m. gastrocnemius medialis от 1 до 9 мс с шагом 1 мс. При коротких эффектах кондиционирования n. common peroneal наиболее эффективные временные задержки у мальчиков 14-15 лет – 1, 2, 7 мс, у юношей 17-18 лет – 2, 6 мс. При этих интервалах торможение Н-рефлекса m. soleus было достоверно больше по сравнению с другими применяемыми задержками.

Сопоставление показателей тестирующего и контрольного Н-рефлексов m. soleus свидетельствуют о различии в выраженности нереципрокного торможения спинальных α -мотонейронов m. soleus в состоянии относительного мышечного покоя у мальчиков 14-15 лет и юношей 17-18 лет. Показано, что при задержках 1 мс и 7 мс отмечаются достоверные различия в торможении Н-рефлекса m. soleus у мальчиков 14-15 лет ($p < 0,05$) по сравнению с юношами 17-18 лет. У юношей 17-18 лет зарегистрировано не торможение спинального моносинаптического рефлекса m. soleus, а его облегчение и составляло от 0,29% до 5,63%. Отметим, что облегчение Н-рефлекса m. soleus в условиях кондиционирующей стимуляции афферентов m. gastrocnemius medialis у взрослых испытуемых зарегистрировано и другими авторами [13, 14, 15, 16].

При задержках 2, 3, 5 мс достоверных различий не выявлено между возрастными группами, но нереципрокное торможение спинальных мотонейронов было усилено у мальчиков 14-15 лет, чем у юношей 17-18 лет. В группе юношей 17-18 лет среднегрупповые значения показали, что наибольшая выраженность нереципрокное торможение α -мотонейронов спинного мозга прослеживается

при интервале 6 мс по сравнению с мальчиками 14-15 лет (табл. 1). Полученные данные позволили нам предположить, что возрастные различия в моносинаптических рефлекторных ответах (тормозных и облегчающих) в условиях кондиционирующей стимуляции связаны с разной скоростью проведения по афферентам группы I, а также разным расстоянием от места кондиционирующей и тестирующей стимуляции до двигательных центров исследуемых мышц у подростков 14-15 лет и юношей 17-18 лет.

Установлено, что в середине удержания 5% от МПС нерцепрокное торможение было достоверно ($p < 0,05$) больше у юношей 17-18 лет (74,28%) по сравнению с мальчиками 14-15 лет (81,55%) (рис. 1). В начале и конце удержания 5% от МПС не выявлено достоверного ($p > 0,05$) различия в выраженности нерцепрокного торможения у мальчиков 14-15 лет (67,17%; 70,17%, соответственно) по сравнению с юношами 17-18 лет (74,17%; 79,16%, соответственно). После статического удержания 5% от МПС максимальных величин нерцепрокное торможение достигало у мальчиков 14-15 лет при 1-й и 3-й стимуляциях, а у юношей только при 1-й стимуляции.

В начале статического усилия в 25% от МПС у мальчиков 14-15 лет нерцепрокное торможение достоверно больше ($p < 0,05$) и составляло 47,05%, а у юношей 17-18 лет – 103,19%, которое инвертировалось на облегчение Н-рефлекса *m. soleus* в условиях кондиционирующей стимуляции *p. common peroneal* и составляло 3,19%. В середине и конце удержания в 25% от МПС у мальчиков 14-15 лет так же было зарегистрировано нерцепрокное торможение, но меньше чем в начале удержания. При тех же условиях в группе юношей 17-18 лет наблюдалось облегчение Н-рефлекса *m. soleus*. После статического удержания 25% от МПС при всех трех стимуляциях нерцепрокное торможение достоверно ($p < 0,01$) больше у мальчиков 14-15 лет с составляло от 5,81% до 38,78%, соответственно, чем у юношей 17-18 лет - 55,81% и 96,92%, соответственно. Следует так же отметить, что у юношей 17-18 лет происходит быстрее восстановление нерцепрокного торможения по отношению к покою после статического удержания в 5% и 25% от МПС.

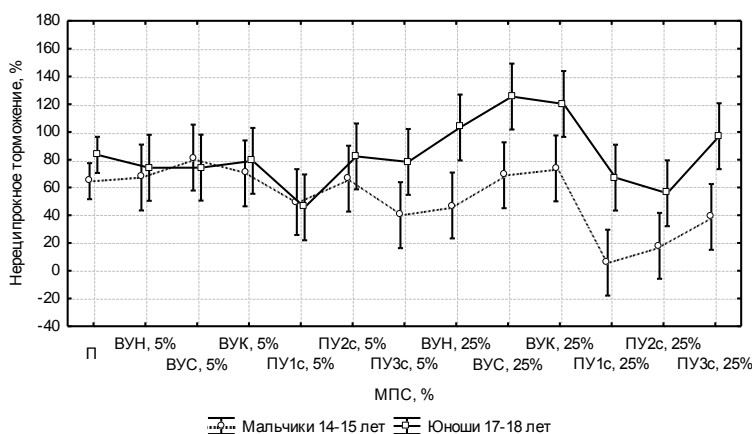


Рисунок – Выраженность нерцепрокного торможения спинальных мотонейронов у мальчиков 14-15 лет и юношей 17-18 лет в состоянии относительного мышечного покоя, во время и после статического удержания, %.

Примечание – П – покой, ВУН – во время удержания (начало удержания), ВУС – во время удержания (середина удержания), ВУК – во время удержания (конец удержания), ПУ1с – после удержания (1 стимуляция), ПУ2с – после удержания (2 стимуляция), ПУ3с – после удержания (3 стимуляция), МПС – максимальное произвольное сокращение, %.

По мнению Stephens и Yang [16] на ослабление нерцепрокного торможения у взрослых испытуемых может оказывать активация трехглавой мышцы голени, что также имело место при выполнении подошвенного сгибания стопы у лиц разного возраста в нашем исследовании. По данным Pierrot-Deseilligny et al. [14] и Gossard et al. [7], на снижение нерцепрокного торможения во время сильных произвольных сокращений, вероятно, влияет пресинаптический компонент, так как в настоящее время имеются данные о пресинаптическом торможении афферентов группы Ib [12].

На наш взгляд, различия в выраженности нерцепрокного торможения у подростков и юношей могут быть связаны с морфофункциональным созреванием спинальных и супраспинальных интернейронных путей, гетерохронным развитием внутрикорковых структур головного мозга и раз-

ной активностью центрального звена эндокринной системы.

Заключение. Таким образом, раскрыты новые аспекты влияния Ib афферентов на спинальные двигательные центры в состоянии относительного мышечного покоя и произвольного мышечного сокращения скелетных мышц у подростков и юношей. Совокупность представленных изменений нерцепторного торможения α -мотонейронов на спинальном уровне так же указывают на перестройки функционального состояния нейромышечной системы в переломные этапы онтогенеза человека. Подростковый возраст характеризуется усилением нерцепторного торможения в покое, во время (25% от МПС) и после произвольного мышечного сокращения, а юношеский возраст – ослаблением нерцепторного торможения при тех же условиях. Полученные данные так же могут быть полезны в формировании представлений о механизмах двигательных нарушений и их коррекций у больных подростками и юношами при повреждении центральной и периферической нервной системы.

Литература:

1. Бикмуллина, Р.Х. Тормозные системы спинного мозга в контроле взаимодействий функционально сопряженных мышц / Р.Х. Бикмуллина, А.Н. Розенталь, И.Н. Плещинский // Физиология человека. – 2007. - Том 33, №1. – С. 119-130.
2. Челноков, А. А. Особенности пресинаптического торможения афферентов группы Ia у подростков 14-15 лет и юношей 17-18 лет / А. А. Челноков, Р. М. Гордничев // Вестник ТвГУ. Серия: Биология и экология – 2009. - № 14. – с. 44-50.
3. Челноков, А.А. Особенности пре- и постсинаптического торможения спинальных альфа-мотонейронов у юношей 17-18 лет // Теория и практика физической культуры. – 2010, № 6. – С. 57-60.
4. Baudry, S. Presynaptic Modulation of Ia Afferents in Young and Old Adults When Performing Force and Position Control / S. Baudry, A. H. Maerz, R. M. Enoka // J Neurophysiol. 2010. V. 103. P. 623-631.
5. Chalmers, G.R. Recurrent inhibition in the soleus motor pool of elderly and young adults / G.R. Chalmers, K.M. Knutzen // Electromyogr. Clin. Neurophysiol. 2004. V.44 (7).P. 413-421.
6. Gorodnichev R. Peculiarities of presynaptic inhibition of Ia group afferent fibers in persons of different ages / R. Gorodnichev, R. Fomin, A. Chelnokov // Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis. Children and exercise XXIV. 2007. V.12. P. 67-77.
7. Gossard, J.P. Transmission in a locomotor related group Ib pathway from hindlimb extensor muscles in the cat / J.P. Gossard, R.M. Brownstone, I. Barajon, H. Hultborn // Exp Brain Res. 1994. V. 98. P. 213-228.
8. Hortobagyi, T. Age reduces cortical reciprocal inhibition in humans / T. Hortobagyi, M. Fernandez del Olmo, J. C. Rothwell // Exp Brain Res. 2006. V. 171. P. 322–329.
9. Jankowska, E. Pattern of «non-reciprocal» inhibition of motoneurons by impulses in group Ia muscle spindle afferents in the cat / E. Jankowska, D. McCrea, R. Mackel // J Physiol. 1981. V. 316. P. 393-409.
10. Kallio, J. Effects of ageing on motor unit activation patterns and reflex sensitivity in dynamic movements / J. Kallio, J. Avela, T. Moritani, M. Kanervo, H. Selänne, P. Komi, V. Linnamo // J Electromyogr Kinesiol. 2010. V. 20 (4). P. 590-598.
11. Kido, A. Spinal excitation and inhibition decrease as humans age / A. Kido, N. Tanaka, R.B. Stein // Canadian Journal of Physiology and Pharmacology. 2004. V. 82 (4). P. 238-248.
12. Lafleur, J.F. Depolarization of Ib afferent axons in the cat spinal cord during homonymous muscle contraction / J.F. Lafleur, D. Zytynicki, G. Horcholle-Bossavit, L. Jami // J. Physiol (Lond). 1992. V. 445. P. 345-354.
13. Pierrot-Deseilligny, E. Evidence for IB inhibition in human subjects / E. Pierrot-Deseilligny, R. Katz, C. Morin // Brain Res. 1979. V. 166. P. 176-179.
14. Pierrot-Deseilligny, E. Pattern of group I fibre projections from ankle flexor and extensor muscle in man / E. Pierrot-Deseilligny, C. Morin, C. Bergego, N. Tankov // Exp Brain Res. 1981. V. 42. P. 337-350.
15. Pierrot-Deseilligny, E., Burke, D. The circuitry of the human spinal cord: Its role in motor control and movement disorders. Cambridge University Press. 2005. 664 p.
16. 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. V. 743 (1-2). P. 24-31.