

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НЕРЕЦИПРОКНОГО ТОРМОЖЕНИЯ МЫШЦ ГОЛЕНИ В РЕГУЛЯЦИИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

А. А. Челноков

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

Проведено исследование нерцепрокного торможения в процессе выполнения изометрического сокращения мышц голени у детей 9–12 лет, подростков 14–15 лет, юношей 17–18 лет и мужчин 22–27 лет. Показано, что в ходе удержания статического напряжения мышц голени у детей 9–12 лет наблюдалась наибольшая выраженность нерцепрокного торможения α -мотонейронов камбаловидной мышцы, а у подростков 14–15 лет — самая наименьшая. В отличие от предшествующих возрастных групп мальчиков 9–12 лет и подростков 14–15 лет, у юношей 17–18 лет выраженность нерцепрокного торможения при выполнении произвольного движения характеризуется ослаблением и приближается к уровню мужчин 22–27 лет. Полагаем, что различная выраженность нерцепрокного торможения находится не только под действием Ib-афферентного обеспечения, но и кортикоспинального и коркового контроля, и зависит от степени созревания спинальных и корковых структур на разных этапах онтогенеза человека.

Ключевые слова: возраст, нерцепрокное торможение, афференты Ib, α -мотонейроны, максимальное произвольное сокращение (МПС).

Челноков Андрей Алексеевич — кандидат биологических наук, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта», рабочий телефон: (81153) 3-93-88, e-mail: and-chelnokov@yandex.ru

Введение. Одним из ведущих факторов индивидуального развития человека является двигательная функциональная система. Нерцепрокное торможение на спинальном уровне является составной частью сложно организованной системы управления движения. В предыдущих сообщениях нами были рассмотрены возрастные особенности нерцепрокного торможения α -мотонейронов мышц бедра и голени в состоянии относительного мышечного покоя [2, 3]. В данной статье представлены результаты исследования выраженности нерцепрокного торможения α -мотонейронов спинного

мозга в процессе выполнения изометрического сокращения мышц голени у лиц разного возраста.

Организация и методика исследования. В эксперименте участвовали здоровые испытуемые мужского пола четырех возрастных групп: мальчики 9–12 лет ($n = 15$), мальчики 14–15 лет ($n = 15$), юноши 17–18 лет ($n = 15$), мужчины 22–27 лет ($n = 15$). Исследование было одобрено комитетом по биоэтике ВЛГАФК и соответствовало «Декларации по этическому кодексу медико-биологических исследований на людях» (Хельсинки, 1964).

Для оценки нерцепрочного торможения гомонимных α -мотонейронов *m. soleus* использовали метод, предложенный E. Pierrot-Deseilligny с сотрудниками [4]. При такой методике нерцепрочное торможение гомонимных α -мотонейронов *m. soleus* определяется при нанесении кондиционирующего стимула на *n. common peroneal* и тестирующего раздражения на *n. tibialis*. В этом случае кондиционирующая стимуляция *n. common peroneal* вызывает «чистый» эффект Ib-торможения α -мотонейронов *mm. gastrocnemius medialis* и *soleus* (рис. 1) [4, 5]. Оценка нерцепрочного торможения производится по степени подавления амплитуды тестирующего Н-рефлекса *m. soleus* в условиях кондиционирующей стимуляции *n. common peroneal*. Принимается, что чем больше подавление амплитуды тестирующего Н-рефлекса *m. soleus* по отношению к амплитуде контрольного Н-рефлекса, тем более выражено нерцепрочное торможение. Тестирование проводили при оптимальных задержках у мальчиков 9–12 лет — 2 мс, у подростков 14–15 лет — 1 мс, у юношей 17–18 лет и мужчин 22–27 лет — 6 мс [2] в покое и во время изометрического сокращения на 1, 15 и 30-й секундах.

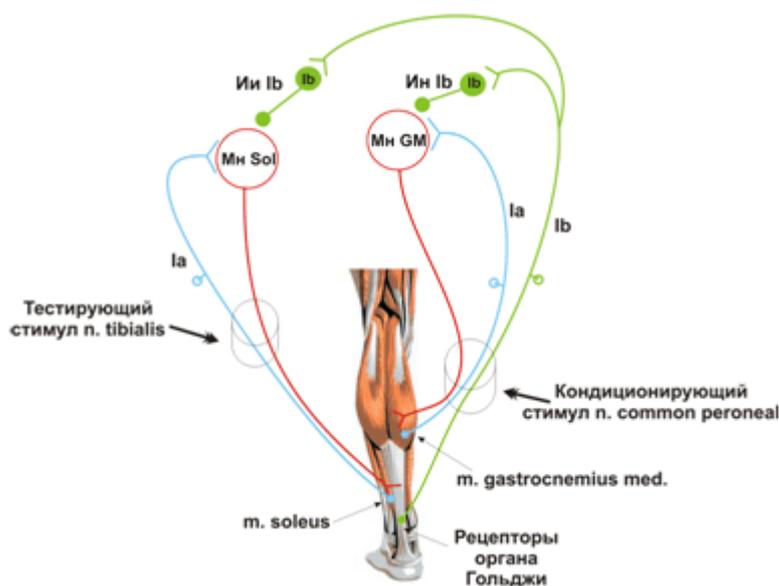


Рис. 1. Схематическое описание методики оценки нерцепрочного торможения α -мотонейронов *m. soleus*: — Ia потоки, идущие от *nn. tibialis* и *common peroneal*; — Ib потоки, идущие от рецепторов органа Гольджи; Мн GM — мотонейроны *m. gastrocnemius medialis*; Мн Sol — мотонейроны *m. soleus*; Ин Ib — тормозные интернейроны Ib (зеленым цветом)

Тестирующая стимуляция. Тестирующий и контрольный Н-рефлекс *m. soleus* вызывался путем стимуляции *n. tibialis* через униполярный электрод, при этом активный электрод располагался в подколенной ямке [1]. При регистрации контрольного Н-ответа *m. soleus*

использовалась интенсивность стимула с амплитудой ~15 % от максимального. Амплитуду тестирующего Н-ответа *m. soleus* выражали в процентах от амплитуды контрольного Н-ответа.

Кондиционирующая стимуляция. 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* подбиралась такой, чтобы вызвать ~95 % 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 25 % от МПС. Общее удержания во время тестирующей стимуляции составляло 30 с.

Контрольный Н-рефлекс *m. soleus* регистрировали в покое. Тестирующий Н-рефлекс *m. soleus* в условиях кондиционирующей стимуляции *n. common peroneal* регистрировали в покое и во время выполнения изометрического сокращения на 1, 15 и 30 секундах.

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).

Статистическую обработку данных проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в программе Statistica 6.0. Определяли межгрупповые возрастные различия выраженности нерцепторного торможения α -мотонейронов *m. soleus* на 1, 15 и 30 секундах статического удержания. Результаты статистического анализа считались достоверными, если вероятность ошибки была менее 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты исследований показали, что вне зависимости от возраста у всех групп в условиях статического усилия выраженность нерцепторного торможения снижалась по сравнению с фоновыми данными, полученными в покое. Это проявлялось в повышении амплитуды тестирующего Н-рефлекса *m. soleus* в условиях кондиционирующей стимуляции *n. common peroneal* от фоновых значений на протяжении всего времени статического удержания (рис. 2). Так, у детей 9–12 лет амплитуда тестирующего Н-рефлекса от фона повысилась к 30-й секунде на 33,36 % ($F_{3, 36} = 6,97$, $P = 0,000$), у подростков 14–15 лет к 15-й секунде — на 49,06 % ($F_{2, 42} = 117,99$, $P = 0,000$), у юношей 17–18 лет к 15-й секунде — на 14,38 % ($F_{2, 42} = 0,59$, $P = 0,557$) и у мужчин 22–27 лет к 15-й секунде — на 20,20 % ($F_{2, 42} = 8,85$, $P = 0,000$).

У мальчиков 9–12 лет при выполнении изометрического усилия на протяжении 30 с зарегистрирована наибольшая выраженность нерцепторного торможения, что вызвано наименьшим приростом амплитуды Н-рефлекса от фона по сравнению с другими возрастными группами ($P < 0,05$, рис. 2). На 1-й секунде статического удержания амплитуда Н-ответа у мальчиков 9–12 лет была меньше на 28,83–50,99 % по сравнению с другими возрастными группами. На 15-й секунде удержания амплитуда Н-рефлекса у мальчиков 9–12 лет понизилась до 56,09 %. К 30-й секунде удержания амплитуда Н-

рефлекса у мальчиков 9–12 лет уменьшилась на 43,98 % по сравнению с подростками 14–15 лет, на 19,05 % по сравнению с юношами 17–18 лет и на 18,83 % в сравнении с мужчинами 22–27 лет.

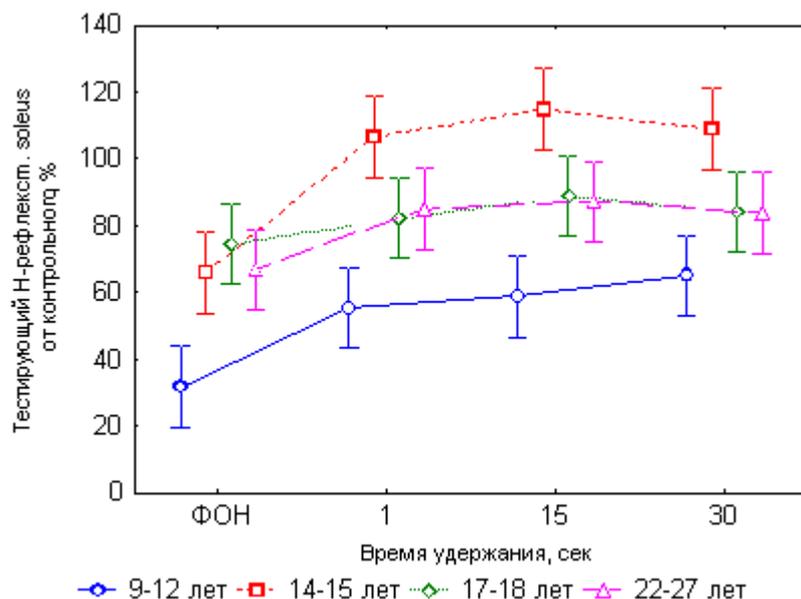


Рис. 2. Динамика амплитуды Н-рефлекса *m. soleus* в условиях кондиционирующей стимуляции *p. common peroneal* в покое (фон) и во время удержания статического усилия с силой 25 % от МПС у разных возрастных групп, %

Самая наименьшая выраженность нерцепторного торможения α -мотонейронов *m. soleus* при выполнении изометрического сокращения мышц голени отмечалась у подростков 14–15 лет, что проявлялось в облегчение Н-рефлекса в ответ на кондиционирующий стимул (рис. 2), так называемое нерцепторное возбуждение. Так, в начале удержания (1-я секунда) от индивидуального максимума у подростков 14–15 лет амплитуда Н-рефлекса была достоверно больше на 50,99 % ($P < 0,05$) по сравнению с детьми 9–12 лет, на 24,16 % ($P < 0,05$) — с юношами 17–18 лет и на 21,59 % ($P < 0,05$) — с мужчинами 22–27 лет. На 15-й секунде статического удержания данный показатель у подростков 14–15 лет увеличился на 56,09 % ($P < 0,05$) по сравнению с мальчиками 9–12 лет, на 26,14 % ($P < 0,05$) — с юношами 17–18 лет и на 27,82 % ($P < 0,05$) — с мужчинами 22–27 лет. К концу 30-й секунды произвольного изометрического напряжения анализируемый показатель у мальчиков 14–15 лет повысился на 24,93–43,98 % ($P < 0,05$) по сравнению с другими возрастными группами.

В отличие от предшествующих возрастных групп мальчиков 9–12 лет и подростков 14–15 лет, у юношей 17–18 лет выраженность нерцепторного торможения при выполнении произвольного движения характеризуется ослаблением и приближается к уровню мужчин 22–27 лет (рис. 2). У юношей 17–18 лет на 1-й секунде статического удержания амплитуда Н-ответа была меньше только на 2,57 % ($P > 0,05$) по сравнению с мужчинами 22–27 лет, к 15-й секунде она увеличилась на 1,68 % ($P > 0,05$), а к концу 30-й секунды повысилась только на 0,22 % ($P > 0,05$).

Заключение. Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о возрастных различиях в выраженности нерцепторного торможения в условиях произвольной двигательной активности мышц голени у человека. Показано, что у мальчиков 9–12 лет нерцепторное торможение в процессе выполнения изометрического сокращения мышц голени наиболее выражено, чем в других возрастных группах. Самая наименьшая

выраженность нереципрокного торможения в условиях произвольной двигательной активности мышц голени выявлена у подростков 14–15 лет. Не обнаружено межгрупповых различий в выраженности нереципрокного торможения между юношами 17–18 лет и мужчинами 22–27 лет, что свидетельствует о совершенстве тормозных нереципрокных взаимодействий скелетных мышц голени в условиях произвольной двигательной активности уже в юношеском возрасте. Полагаем, что различная выраженность нереципрокного торможения находится не только под действием Ib-афферентного обеспечения, но и кортикоспинального и коркового контроля, и зависит от степени созревания спинальных и корковых структур на разных этапах онтогенеза человека.

Список литературы

1. Команцев В. Н. Методические основы клинической электронейро-миографии / В. Н. Команцев, В. А. Заболотных. — СПб., 2001. — 350 с.
2. Челноков А. А. Изучение нереципрокного торможения мотонейронов спинного мозга у лиц разного возраст / А. А. Челноков, Р. М. Городничев // Валеология. — 2011. — № 3. — С. 79–84.
3. Челноков А. А. Функциональные особенности нереципрокного торможения мышц бедра у лиц разного возраста [Электронный ресурс] / А.А. Челноков // Медицина и образование в Сибири : электронный научный журнал. — 2012. — № 3. — Режим доступа : http://ngmu.ru/cozo/mos/article/annotacy_full.php?id=708.
4. 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.
5. 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.

FUNCTIONAL FEATURES OF UNRECIPROCAL INHIBITION OF LOWER LEG MUSCLES IN REGULATION OF HUMAN AUTOKINETIC MOVEMENTS OF PERSON

A. A. Chelnokov

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

Research of non-reciprocal inhibition during the isometric traction of lower leg at children of 9-12 years, teenagers of 14-15 years, young men of 17-18 years and men of 22-27 years is performed. It is shown that the greatest expressiveness of non-reciprocal inhibition α -motoneurons of musculus salens was observed during deduction of static lower leg muscle tension at 9-12 year-old children, and at 14–15 year-old teenagers — the smallest. Unlike previous age groups of 9-12 year-old boys and 14-15 year-old teenagers, the expressiveness

of non-reciprocal inhibition at performing any movement is characterized by easement and comes to the level of 22-27 year-old men at 17-18 year-old ones. We suggest that various expressiveness of non-reciprocal inhibition is kept not only under the influence of Ib-afferent providing, but also under the corticospinal and cortical control, and depends on extent of maturing of spinal and cortical structures at different stages of human ontogenesis.

Keywords: age, non-reciprocal inhibition, Ib afferents, α -motoneurons, maximum voluntary muscle contraction (MVC).

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, office phone: (81153) 3-93-88, e-mail: and-chelnokov@yandex.ru

List of the Literature:

1. Komantsev V. N. Methodical bases of clinical electroneuromyography / V. N. Komantsev, V. A. Zabolotnykh. — SPb. 2001 . — 350 P.
2. Chelnokov A. A. Investigation shuttles of non-reciprocal inhibition of spinal cord motorneurons at persons at miscellaneous age / A. A. Chelnokov, R. M. Gorodnichev // Valueology. — 2011 . — № 3. — P. 79-84.
3. Chelnokov A. A. Functional features of unreciprocal inhibition of huckle muscles at persons of different age [electronic resource] / A. A. Chelnokov // Medicine and education in Siberia: electronic scientific magazine. — 2012 . — № 3. — Access mode: http://ngmu.ru/cozo/mos/article/annotacy_full.php?id=708.
4. 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.
5. 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.