

# ВОЗРАСТНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

## ВОЗРАСТНЫЕ РАЗЛИЧИЯ В ОРГАНИЗАЦИИ СПИНАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

О.В. Ланская<sup>1</sup>, А.А. Челноков, Е.Ю. Андриянова  
Федеральное государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Великолукская государственная академия  
физической культуры и спорта»

*В результате изучения в возрастном аспекте карт порогов и амплитуд мультисегментарных моносинаптических ответов мышц нижних конечностей у мужчин зрелого возраста выявлено смещение спинальных проекционных областей исследованных мышц и снижение возбудимости иннервируемых их мотонейронов относительно группы лиц юношеского возраста.*

**Ключевые слова:** юноши, мужчины зрелого возраста, спинальные механизмы организации движений, мультисегментарные моносинаптические рефлексy, мышцы нижних конечностей.

**Age differences in spinal projections of muscles in lower extremities.** *The study of thresholds and the amplitudes of multisegmental monosynaptic responses from muscles of lower extremities in men of mature age showed the displacement of the studied projected fields and lower excitation level of motor neurons innervating the studied muscles in comparison with the group of young people.*

**Key words:** young men, men of mature age, spinal mechanism of movements, multisegmental monosynaptic reflexes, muscles of lower extremities

Возрастные изменения в нервно-мышечной системе связаны с характерными сдвигами на всех уровнях – от мышечного волокна до нервных клеток высших отделов центральной нервной системы. Установлено, что совершенствование в онтогенезе временных характеристик рефлекторных функций нейромоторного аппарата определяется уровнем морфофункционального созревания его звеньев и их анатомическими изменениями в процессе роста и развития [1, 2, 8, 10, 11]. В неврологической и нейрофизиологической практике широкое применение нашел метод магнитной стимуляции моторной коры и корешков спинного мозга, позволяющий регистрировать корковые и сегментарные вызванные моторные ответы с мышц-мишеней и изучать их возрастную динамику. При этом основное внимание уделено изучению вопроса о расхождениях нормативных показателей у детей и взрослых. Основные причин этого – незрелость кортико-спинального тракта ребенка, различия в степени миелинизации сенсорных и двигательных путей в зависимости от его возраста, а также сопоставление и соотнесение сроков формирования проводящей способности центральных и периферических эфферентных путей. В свою очередь, без должного внимания остаются вопросы, касающиеся дифференцированного изучения параметров как корковых, так и корешковых моторных ответов у лиц юношеского и зрелого возраста.

---

Контакты: <sup>1</sup>Ланская О.В., E-mail: lanskaya2012@yandex.ru

В настоящее время имеются достаточно обширные сведения, касающиеся исследований коркового моторного представительства скелетных мышц у взрослого здорового контингента, полученные с помощью транскраниальной магнитной стимуляции [5, 6, 12]. В свою очередь, сведения о представительстве скелетных мышц нижних конечностей человека, но на спинальном уровне ограничены. Таким образом, целью настоящего исследования явилось изучение у взрослых практически здоровых лиц разных возрастных групп особенностей организации спинально-мотонейронных проекций мышц нижних конечностей. Для этого было произведено картирование представительства в спинном мозге 8-ми билатеральных мышц бедра, голени и стопы у юношей и мужчин зрелого возраста.

## **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследования мультисегментарных моносинаптических ответов (MMRs) проводились в лаборатории нейрофизиологии НИИ проблем спорта и оздоровительной физической культуры на базе ФГОУ ВПО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта». В исследовании приняли участие здоровые юноши 17-19 лет (n=14) и зрелые мужчины 25-35 лет (n=14). Дифференцирование испытуемых по возрастным группам осуществлялось согласно возрастной периодизации, предложенной Д.А. Фарбер, М.М. Безруких [3].

В исследовании использовалась техника вызова одновременных билатеральных моносинаптических рефлексов целого ряда скелетных мышц нижних конечностей в ответ на кожную электрическую стимуляцию умеренной интенсивности, приложенную на нижнегрудном и поясничном спинальных уровнях [7]. Авторы, предложившие данный метод, показали, что при кожной стимуляции спинного мозга на вышеуказанных уровнях в симметрично расположенных мышцах нижних конечностей регистрируются двигательные ответы, характеристики которых указывают на их эквивалентность Н-рефлексу скелетных мышц.

Регистрацию биоэлектрических ответов выполняли с использованием биполярных кожных электродов с межэлектродным расстоянием 2 см, устанавливавшихся на 8-ми билатерально расположенных мышцах ног – двуглавых бедра, подколенных, камбаловидных и коротких сгибателей пальцев. Каждая пара электродов была установлена по центру над брюшком мышцы с ориентацией вдоль волокон. Для стимуляции катод располагали поверх кожи над межпозвоночной щелью последовательно между T11-T12, T12-L1, L1-L2, L2-L3, L3-L4 позвонками, а два больших анода билатерально по передней поверхности подвздошных гребней. Для каждого вышеуказанного уровня спинного мозга у лиц юношеского и зрелого возраста выявлялась оптимальная позиция с самым низким порогом и наибольшим значением амплитуды мультисегментарных моносинаптических ответов (MMRs) билатеральных проксимальных и дистальных мышц нижних конечностей, предположительно свидетельствующая о большей плотности мотонейронного представительства исследуемых мышц. В результате осуществлялось построение карт пороговых значений и амплитуды MMRs мышц бедра, голени и стопы. В процессе исследования испытуемые находились в положении лёжа на спине.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного исследования установлено, что стимуляция каждого вышеуказанного уровня сопровождалась регистрацией рефлекторных двигательных ответов со всех проксимальных и дистальных мышц нижних конечностей. В таблице 1 указаны среднегрупповые пороговые величины MMRs билатеральных мышц нижних конечностей у юношей и лиц зрелого возраста. Сравнительный анализ представленных в таблице 1 показателей выявил, что у юношей, также как у зрелых мужчин, среднегрупповые значения порогов MMRs билатеральных двуглавых мышц бедра, подколенных, камбаловидных мышц и коротких мышц сгибателей пальцев, полученные при стимуляции на уровнях T11-T12, T12-L1, L1-L2, L2-L3 оказались значительно ниже соответствующих величин, зарегистрированных при стимуляции на уровнях между спинномозговыми позвонками L3-L4. При этом в ряде случаев наблюдались статистически значимые отличия в показателях ( $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,001$ ).

Установлено, что у юношей наименьшие пороговые значения MMRs билатеральных двуглавых мышц бедра, подколенных и коротких сгибателей пальцев регистрировались на уровне T11-T12, а камбаловидных – между спинномозговыми позвонками T12-L1 по сравнению с другими изучаемыми точками электрической накожной стимуляции спинного мозга. В свою очередь, в группе мужчин зрелого возраста минимальные величины порогов появления MMRs билатеральных двуглавых мышц и подколенных были зафиксированы при стимуляции спинного мозга на уровне между T12-L1, а для камбаловидных и коротких сгибателей пальцев – на уровне между L1-L2 позвонками (табл. 1). Это подтверждалось и наивысшими значениями максимальной амплитуды MMRs тестируемых мышц, определяемыми на этих уровнях. Так, в группе лиц 17-19 лет уровень спинного мозга между T11-T12 позвонками соответствовал точке, при стимуляции которой были зарегистрированы наибольшие величины амплитуды ответов большинства исследованных мышц, за исключением билатеральных камбаловидных, для которых оптимальная позиция определена как уровень T12-L1. В группе мужчин 25-35 лет карта амплитудных характеристик MMRs была аналогична карте пороговых значений MMRs и сосредоточена на уровнях T12-L1 – для билатеральных двуглавых мышц и подколенных и L1-L2 – для камбаловидных и коротких сгибателей пальцев. Таким образом, у лиц юношеского и зрелого возраста выявлены различия в локализации карт спинального представительства мышц проксимальных и дистальных отделов нижних конечностей.

Выявлено также, что практически на всех уровнях стимуляции спинного мозга в группе юношей, в большинстве случаев, зарегистрированы более низкие относительно второй группы испытуемых среднегрупповые пороговые значения MMRs исследованных мышц нижних конечностей (табл. 1) наряду с наиболее высокими показателями максимальной амплитуды двигательных ответов данных мышц. В ряде случаев выявлены достоверные различия в показателях ( $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,001$ ). Полученные данные указывают на значительное снижение рефлекторной возбудимости спинальных  $\alpha$ -мотонейронов большинства исследованных мышц нижних конечностей у лиц старшей возрастной группы.

Таблица 1

Пороговые величины MMRs билатеральных мышц нижних конечностей у лиц юношеского и зрелого возраста (M<sub>A</sub>), M<sub>±t</sub>

|  | Изучаемые уровни стимуляции спинного мозга |                   |                    |  |                 |                                       |                 |                 |                |                 |        |  |
|--|--|-------------------|--------------------|--|-----------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|--------|--|
|  | T11-T12                                    |                   | T12-L1             |  | L1-L2           |                                       | L2-L3           |                 | L3-L4          |                 |        |  |
|  | юноши,<br>n=14                             | зрелые,<br>n=14   | юноши,<br>n=14     | зрелые,<br>n=14                        | юноши,<br>n=14  | зрелые,<br>n=14                       | юноши,<br>n=14  | зрелые,<br>n=14 | юноши,<br>n=14 | зрелые,<br>n=14 |        |  |
| Двуглавая м-ца бедра, левая                  | 38,21±1,97<br>***                          | 46,25±2,67        | 42,14±3,62         | $\frac{39,40 \pm 3,26}{**(\text{vv})}$ | 42,84±3,26      | 41,65±2,71<br>*(v)                    | 41,90±3,46      | 51,81±2,80      | 51,21±3,34     | 51,09±2,87      | p>0,05 |  |
|  | p<0,05                                     |                   |                    |  |                 |                                       |                 |                 |                |                 |        |  |
| Двуглавая м-ца бедра, правая                 | 36,87±2,07<br>***                          | 45,03±2,44<br>(v) | 43,03±3,91         | $\frac{40,97 \pm 2,70}{**(\text{vv})}$ | 44,65±4,01      | 42,75±3,87<br>*(v)                    | 42,26±2,91<br>* | 55,29±3,07      | 54,13±4,19     | 53,34±3,05      | p<0,05 |  |
|  | p<0,05                                     |                   |                    |  |                 |                                       |                 |                 |                |                 |        |  |
| Подколенная м-ца, левая                      | 35,08±2,43<br>***(vv)                      | 44,66±2,86        | 39,43±3,28<br>*    | $\frac{40,54 \pm 2,83}{**}$            | 42,55±2,96      | 41,36±2,89                            | 49,25±3,25      | 44,69±3,46      | 51,64±4,19     | 51,59±3,80      | p<0,05 |  |
|  | p<0,05                                     |                   |                    |  |                 |                                       |                 |                 |                |                 |        |  |
| Подколенная м-ца, правая                     | 35,82±2,17<br>***(vv)                      | 45,17±3,20        | 39,92±2,99<br>*(v) | $\frac{40,13 \pm 3,01}{**}$            | 44,30±3,44      | 45,29±3,95                            | 50,16±3,16      | 48,67±4,25      | 55,24±4,22     | 51,01±3,20      | p>0,05 |  |
|  | p<0,05                                     |                   |                    |  |                 |                                       |                 |                 |                |                 |        |  |
| Камбаловидная м-ца, левая                    | 36,34±2,24<br>*                            | 44,66±3,21        | 31,74±1,75<br>**   | 42,41±2,10                             | 37,03±2,97<br>* | $\frac{39,81 \pm 2,09}{**}$           | 37,96±2,62<br>* | 47,12±3,37      | 49,68±3,92     | 49,96±3,98      | p>0,05 |  |
|  | p<0,05                                     |                   |                    |  |                 |                                       |                 |                 |                |                 |        |  |
| Камбаловидная м-ца, правая                   | 37,40±3,06<br>*                            | 45,69±2,16        | 34,57±2,41<br>**   | 45,37±2,54                             | 41,66±3,10      | $\frac{41,59 \pm 3,30}{**(\text{v})}$ | 39,06±5,93      | 54,86±3,97      | 51,53±4,84     | 53,00±3,82      | p>0,05 |  |
|  | p<0,05                                     |                   |                    |  |                 |                                       |                 |                 |                |                 |        |  |
| М-ца короткий сгибатель пальцев, левая нога  | 46,79±1,91<br>*(v)                         | 50,60±3,94        | 47,39±2,85         | 55,09±3,11                             | 50,61±2,42      | $\frac{49,99 \pm 3,50}{**}$           | 53,52±2,46      | 54,39±3,11      | 55,59±3,72     | 54,33±2,41      | p>0,05 |  |
|  | p>0,05                                     |                   |                    |  |                 |                                       |                 |                 |                |                 |        |  |
| М-ца короткий сгибатель пальцев, правая нога | 46,61±3,50                                 | 53,48±3,82        | 51,49±2,88         | 52,64±3,73                             | 49,11±2,73      | $\frac{51,06 \pm 3,49}{**}$           | 56,36±3,14      | 54,19±3,15      | 52,58±3,52     | 55,24±3,63      | p>0,05 |  |
|  | p>0,05                                     |                   |                    |  |                 |                                       |                 |                 |                |                 |        |  |

Примечание: Достоверность отличия от соответствующего параметра, полученного при стимуляции на уровнях L2-L3 ((v)-p<0,05; (vv) – p<0,01) и L3-L4 (\*-p<0,05; \*\* – p<0,01; \*\*\* – p<0,001).

Данный факт, в свою очередь, согласуется с научными изысканиями других авторов, которые установили, что с возрастом снижается возбудимость спинальных структур [9]. Вместе с тем, в результате исследований А.А. Челнокова [4] было выявлено, что рефлекторная доля возбудимых  $\alpha$ -мотонейронов камбаловидной мышцы у подростков 14-15 лет выше, чем у мальчиков 9-12 лет, юношей 17-18 лет и мужчин 22-27 лет. При этом не было установлено существенных возрастных различий в состоянии моносинаптической рефлекторной возбудимости  $\alpha$ -мотонейронов камбаловидной мышцы у юношей 17-18 лет и мужчин 22-27 лет [4].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при изучении возрастного профиля карт порогов и амплитуды MMRs мышц бедра, голени и стопы, полученных при стимуляции нижнегрудного и поясничного спинальных уровней, была выявлена более высокая рефлекторная возбудимость мотонейронов этих мышц у юношей по сравнению с мужчинами зрелого возраста. Полученные результаты исследования также могут свидетельствовать, что у мужчин 25-35 лет спинально-моторные проекции проксимальных мышц нижних конечностей сосредоточены на уровне спинного мозга между T12-L1 позвонками, а дистальных мышц ног – на межпозвоночном уровне L1-L2. При этом проекционная область большинства исследованных мышц у лиц 17-19 лет была локализована на спинномозговом уровне предположительно между позвонками T11-T12.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов, В.И., Фарбер, Д.А. Физиология развития ребенка. – М.: Педагогика, 1983. – С. 5-14.
2. Сонькин, В.Д. Теоретические основы физиологии развития // Альманах новые исследования по возрастной физиологии. – М.: Вердана, 2004. – № 1-2 (6-7). – С. 360.
3. Фарбер, Д.А., Безруких, М.М. Методологические аспекты изучения физиологического развития ребенка // Физиология человека. – 2001. – Т. 27, № 5. – С. 8-16.
4. Челноков, А.А. Возрастные особенности пресинаптического торможения  $\alpha$ -мотонейронов спинного мозга человека: дис. ... канд. биол. наук / А.А. Челноков. – Великие Луки, 2005. – 148 с.
5. Berardelli, A., Priori, A., Inghilleri, M. et al. Corticobulbar and corticospinal projections to neck muscle motoneurons in man. *Exp. Brain Res.* – 1991. – V. 87. – P. 402-406.
6. Brasil-Neto, J.P., Pascual-Leone, A., Valls-Solq, J. et al. Focal transcranial magnetic stimulation and response bias in a forced-choice task // *Neurol Neurosurg Psychiatry.* – 1992. – V. 55. – P. 964-966.
7. Courtine, G. Modulation of multisegmental monosynaptic responses in a variety of leg muscles during walking and running in humans / G. Courtine, S.J. Harkema, C. Dy // *The Journal of Physiology.* – 2007. – V. 582 (3). – P. 1125-1139.

8. Fietzek, U.M., Heinen, F., Berweck, S. et al. Development of the corticospinal system and hand motor function: central conduction times and motor performance tests // *Dev. Med. Child Neurol.* – 2000. – V. 42(4). – P. 220-227.

9. 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.

10. Muller, K., Homberg, V., Lenard, H.G. Magnetic stimulation of motor cortex and nerve roots in children. Maturation of cortico-motoneuronal projections // *EEG Clin. Neurophysiol.* – 1991. – V. 81. – P. 63-70.

11. Nezu, A., Kimura, S., Uehara, S. et al. Magnetic stimulation of motor cortex in children: maturity of corticospinal pathway and problem of clinical application // *Brain Dev.* – 1997. – V. 19(3). 176-180.

12. Watson, C., Walshaw, D., McMillan, A.S. Effect of motor tasks on the cortical topography of the human masseter muscles // *Arch. Oral Biol.* – 2000. – V. 45(9). – P. 767-773.