

УДК 57.032-033; 57.089

**МАКСИМОВА Юлия Анатольевна**, кандидат наук по физическому воспитанию и спорту, старший преподаватель кафедры спортивных видов гимнастики и танцев Национального университета физического воспитания и спорта Украины (г. Киев). Автор и соавтор 17 научных публикации

**ИЛЬИН Владимир Николаевич**, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биологии спорта Национального университета физического воспитания и спорта Украины (г. Киев). Автор и соавтор 271 научной публикации, в т. ч. 5 монографий, 4 патентов на изобретения

**ФИЛИППОВ Михаил Михайлович**, доктор биологических наук, профессор кафедры биологии спорта Национального университета физического воспитания и спорта Украины (г. Киев). Автор и соавтор 353 научных публикаций, в т. ч. 5 монографий, двух патентов на изобретения

## **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА Н-РЕФЛЕКСА И М-ОТВЕТА У АКРОБАТОВ, ИСПЫТЫВАЮЩИХ БОЛИ В ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛЕ**

В статье приводятся результаты электронейромиографических исследований, характеризующих изменения у акробатов 12–17 лет, испытывающих боли в поясничном отделе, возбудимости мотонейронов спинного мозга, иннервирующих икроножную и камбаловидную мышцы голени. Показано, что под влиянием частой компрессии межпозвоночных дисков в периферических нервных волокнах происходят деформации, сопровождающиеся такими изменениями, которые свидетельствуют о тяжести поражения чувствительных и двигательных нервных волокон: повышается порог их возбудимости, увеличивается латентный период Н-рефлексов и снижаются продолжительность и амплитуда М-ответов. Также выявлено, что изменение притока афферентной информации сопровождается снижением спинальной рефлекторной возбудимости  $\alpha$ -мотонейронов. Повышение порога возбудимости чувствительных нервных волокон, увеличение латентного периода Н-рефлекса и снижение его продолжительности может указывать на уменьшение количества чувствительных волокон I $\alpha$  и (или) их истончение.

На основании проведенных исследований установлены комплексы поражений периферических нервов, соответствующих локализации измененного позвоночно-двигательного сегмента.

**Ключевые слова:** акробаты, позвоночник, электронейромиографические исследования, чувствительные нервные волокна, двигательные нервные волокна.

**Введение.** Известно, что многие акробаты постоянно испытывают боли в спине [10], но преодолевая их, продолжают тренироваться.

При этом ни тренеры, ни сами спортсмены не афишируют проблемы со здоровьем. Выявлено, что боли у них чаще всего локализу-

---

---

ются в области пояснично-крестцового отдела позвоночника [2, 4]. Согласно клиническим наблюдениям, наиболее часто поражаемым у акробатов является спинномозговой нерв  $S_1$ , который, соединяясь с другими нервами пояснично-крестцового сплетения, входит в состав седалищного нерва и его ветвей – большеберцового и малоберцового, которые иннервируют мышцы голени [12]. При этом сегментарная возбудимость мотонейронов спинного мозга для разных мышц голени – икроножной и камбаловидной – разная и зависит от разных регуляторных механизмов, преимущественно церебральных или спинальных. В определенной степени это связано с функциональным различием мышц: первая преимущественно содержит быстрые двигательные единицы, а вторая – медленные [6].

Особое значение в оценке функционального состояния сегментарного аппарата спинного мозга и влияния на него центральных и периферических звеньев регуляции заслуживают электронейромиографические (ЭНМГ) исследования [8]. Обычно анализируют такие характеристики Н-рефлекса возбудимости мотонейронного пула и суммарного М-ответа двигательной единицы: максимальную амплитуду, продолжительность, латентный период, порог возбуждения [1].

Целью работы явилось изучение функционального состояния периферических нервов, соответствующих локализации измененного позвоночно-двигательного сегмента у акробатов, испытывающих боль в пояснично-крестцовом отделе позвоночника.

**Материалы и методы.** Осуществляли монополярную чрезкожную электрическую стимуляцию большеберцового нерва в подколенной ямке (одиночный прямоугольный импульс тока длительностью 1,0 мс). Для регистрации Н-рефлекса и М-ответа от камбаловидной мышцы использовали стандартные поверхностные электроды площадью 0,8 см<sup>2</sup>, заполненные токопроводящей пастой [3, 11]. ЭМГ-сигналы усиливали (ширина полосы пропускания усилителя 10–2 кГц) и интегрировали с 16-бит-

ным разрешением при частоте дискретности 5 кГц. Статистический анализ результатов осуществляли с помощью программы «Origin 7.0» («OriginLab», США). Исследования проводили в условиях относительного мышечного покоя.

Обследовались акробаты 12–17 лет, испытывающие боли в спине, которые по результатам анамнеза были разделены на две группы. В 1-ю группу (n = 12) вошли спортсмены с жалобами на выраженные ноющие боли в пояснице, усиливающиеся при движении, осевых нагрузках, изменении положения тела. Во 2-ю группу (n = 10) вошли спортсмены, у которых боли чаще распространялись на одну ногу. Контрольную группу (n = 10) составили здоровые спортсмены. Для статистической обработки полученных результатов использовали методы математической статистики [5].

**Результаты и обсуждение.** Выявлено что наименьшей максимальной амплитуда Н-рефлекса камбаловидной мышцы была у акробатов 2-ой группы, у некоторых она регистрировалась эпизодически, не более 3-5 раз в течение процедуры, а также имела мелкозубренную полифазную неправильную форму. Кроме этого, амплитуда Н-рефлекса снижалась и на контралатеральной стороне по сравнению с показателями здоровых лиц и спортсменов первой группы, оставаясь выше амплитуды на пораженной конечности ( $p < 0,05$ ). Порог возбуждения чувствительных нервных волокон у спортсменов 1-ой и 2-ой групп был достоверно выше, чем у контрольной. У акробатов 1-ой и 2-ой групп был достоверно значимым по сравнению со спортсменами контрольной группы латентный период Н-рефлекса. При этом у спортсменов 2-ой группы была наибольшей его скорость, о чем свидетельствовала достоверно короткая длительность (табл. 1).

Таким образом, результаты анализа основных параметров Н-реакции камбаловидной мышцы свидетельствовали о некоторой степени денервации сенсорных волокон соответствующих периферических нервов акробатов как 1-ой, так и 2-ой групп. Повышение порога возбудимости, увеличение латентного периода

Таблица 1

**ХАРАКТЕРИСТИКА Н-РЕФЛЕКСА КАМБАЛОВИДНОЙ МЫШЦЫ У АКРОБАТОВ**

Показатели ЭНМГ	Значения показателей Н-рефлекса					
	Первая группа		Вторая группа		Контрольная группа	
	$\bar{\delta}$	<i>S</i>	$\bar{\delta}$	<i>S</i>	$\bar{\delta}$	<i>S</i>
Макс. амплитуда, мВ	5,3***	1,51	3,1***	1,44	7,8	1,10
Порог возбуждения, мА	14,6***	1,33	26,4***	1,56	8,8	0,71
Латентный период, мс	32,4***	1,25	34,5***	1,25	28,7	0,67
Длительность, мс	23,0*	2,05	18,4**	3,76	25,7	1,63

Примечание: различия соответствующего параметра от контрольной группы статистически достоверны: \* – при  $p < 0,05$ ; \*\* – при  $p < 0,01$ ; \*\*\* – при  $p < 0,001$ .

до появления Н-рефлекса, снижение его длительности могут указывать на наличие процессов демиелинизации чувствительных волокон Ia, что приводит к ограничению скорости движения электрического импульса по сегментарной рефлекторной дуге [4, 11].

В отличие от Н-рефлекса, параметры М-ответа у акробатов 1-ой группы были меньше выражены, чем у спортсменов контрольной группы (табл. 2).

Латентный период М-ответа у спортсменов 1-ой и 2-ой групп был несколько большим, а его длительность – достоверно меньшей, чем в контрольной группе. У спортсменов 2-ой группы наблюдали достоверное повышение порога возбуждения, необходимого для вызова М-ответа,

чем у акробатов контрольной группы. Также у них было выявлено, что двигательные нервные волокна смешанных периферических нервов значительно поражены, о чем свидетельствовало наличие значимых отличий в значениях амплитуд М-ответа и силы тока, необходимой для этого, по сравнению с контрольной группой, а также снижение продолжительности прямого мышечного ответа [13].

Также было выявлено, что отношения амплитуд  $H_{\max}/M_{\max}$  камбаловидной мышцы у акробатов 1-ой и 2-ой групп варьировало в широких пределах: от 19 до 54 % (коэффициент вариации 37 %). Значительное снижение максимальной амплитуды Н-рефлекса, увеличение продолжительности латентного периода

Таблица 2

**ХАРАКТЕРИСТИКА М-ОТВЕТА КАМБАЛОВИДНОЙ МЫШЦЫ У АКРОБАТОВ**

Показатели ЭНМГ	Значения показателей М-ответа					
	Первая группа		Вторая группа		Контрольная группа	
	$\bar{\delta}$	<i>S</i>	$\bar{\delta}$	<i>S</i>	$\bar{\delta}$	<i>S</i>
Макс. амплитуда, мВ	14,40***	1,16	13,9**	1,29	16,3	0,53
Порог возбуждения, мА	15,20***	1,68	27,7***	3,47	10,1	0,88
Латентный период, мс	5,48	0,65	5,8*	0,49	5,3	0,65
Длительность, мс	19,70*	1,23	15,2***	0,96	21,2	1,13

Примечание: различия соответствующего параметра от контрольной группы статистически достоверны: \* – при  $p < 0,05$ ; \*\* – при  $p < 0,01$ ; \*\*\* – при  $p < 0,001$ .

на фоне снижения максимальной амплитуды М-ответа может косвенно свидетельствовать и о поражении нервно-мышечного соединения [10]. У акробатов контрольной группы его значение в среднем составило  $46,7 \pm 6,86$  % при небольшом разбросе (коэффициент вариации 14 %) (табл. 3).

У 50 % акробатов 1-ой группы, а также у 70 % спортсменов 2-ой группы в процессе

водящие волокна группы Ia, обеспечивающие возникновение Н-рефлекса. При дальнейшем росте силы тока происходит возбуждение более высокопороговых моторных волокон, что вызывает появление М-ответа. При наличии патологических процессов, нарушающих миелиновую оболочку нервных волокон или разрушающих отдельные из них, скорость проведения возбуждения по волокнам Ia снижается, а порог их

Таблица 3

### ОТНОШЕНИЯ Н-РЕФЛЕКСА И М-ОТВЕТА (Н/М) КАМБАЛОВИДНОЙ МЫШЦЫ У АКРОБАТОВ

Статистические показатели	Отношение амплитуд Н <sub>макс</sub> /М <sub>макс</sub> , %			Отношение порогов возникновения Н-рефлекса/М-ответа, ед		
	Первая группа	Вторая группа	Контрольная группа	Первая группа	Вторая группа	Контрольная группа
$\bar{d}$	37,10*	22,60**	46,70	0,97*	1,00*	0,87
S	1,16	1,05	6,86	0,06	0,02	0,03
v, %	31,30	46,50	14,70	6,80	1,60	4,75

*Примечание.* Различия соответствующего параметра от контрольной группы статистически достоверны: \* – при  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,001$ .

исследования первым появлялся М-ответ. По мере увеличения силы тока обнаруживался и Н-рефлекс. Это не характерно для здоровых спортсменов, т. к. при стимуляции импульсами тока нарастающей силы первыми реагируют наиболее толстые, низкопороговые и быстропроводящие волокна группы Ia, обеспечивающие возникновение Н-рефлекса [7]. При дальнейшем росте силы тока происходит возбуждение более высокопороговых моторных волокон, что вызывает появление М-ответа [14]. При наличии патологических процессов, нарушающих миелиновую оболочку нервных волокон, скорость проведения возбуждения по ним снижается, а порог их возбуждения повышается. В этом случае первым появляется М-ответ и отношение порогов возникновения Н-реакции/М-ответа будет превышать единицу.

Физиологическое значение этого показателя, согласно данным литературы [1], в норме составляет около 1, т. к. при стимуляции импульсами тока с нарастающей силой первыми реагируют наиболее толстые и быстропро-

возбуждения повышается, при этом первым появляется М-ответ, отношение становится выше 1, что не характерно для здоровых лиц.

Таким образом, были установлены комплексы поражений периферических нервов, соответствующих локализации измененного позвоночно-двигательного сегмента. Выявленная у спортсменов 2-ой группы большая степень и первичность поражения чувствительных нервных волокон, требующих более интенсивного обмена, объясняется меньшей их устойчивостью к компрессии, к нарушениям микроциркуляторного обеспечения, ишемией и гипоксией [14]. Снижение скорости проведения электрических импульсов по периферическим нервам свидетельствует об их демиелинизации, а также, возможно, их поражении [4]. В свою очередь, изменение притока афферентной информации сопровождается снижением спинальной рефлекторной возбудимости  $\alpha$ -мотонейронов, о чем свидетельствует характеристика Н-рефлексов. Вероятно, такие изменения как денервация и демиелинизация могут

быть диффузными и затрагивать многие отделы периферической нервной системы, а не ограничиваться отдельными нервными путями, или даже относительно узким участком нерва [1].

Начальная стадия поражения спинномозговых корешков, характерная для спортсменов 1-ой группы, сопровождалась отдельными количественными отличиями параметров Н-рефлекса, свидетельствующими о частичной денервации сенсорных волокон периферических нервов [9]. При этом наблюдалось повышение порога возбудимости чувствительных нервных волокон, увеличение латентного периода Н-рефлекса и снижение его продолжительности. Это может указывать на уменьшение количества чувствительных волокон I $\alpha$  и (или) их истончение [1].

**Заключение.** Таким образом показано, что ЭНМГ исследования дают возможность коли-

чественно оценить тяжесть поражения чувствительных и двигательных нервных волокон. Установлено, что у акробатов в процессе тренировочных занятий интенсивные нагрузки на позвоночный столб приводят к частому сдавливанию межпозвоночных дисков, в результате чего в периферических нервных волокнах, расположенных по ходу корешков спинного мозга, происходят такие деформации, которые сопровождаются вполне четкими ЭНМГ-изменениями, по которым можно оценить тяжесть поражения чувствительных и двигательных нервных волокон. В частности, выявлено повышение порога возбудимости чувствительных и двигательных нервных волокон, увеличение латентного периода Н-рефлекса, снижение не только его продолжительности и амплитуды, но и М-ответа.

## Список литературы

1. Андриянова Е.Ю., Городничев Р.М. Электронейромиографические показатели и механизмы развития пояснично-крестцового остеохондроза. Великие Луки, 2006. 191 с.
2. Бурмакова Г.М. Пояснично-крестцовые боли у спортсменов и артистов балета: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2004. 49 с.
3. Гимранов Р.Ф. Диагностика заболеваний нервной системы. М., 2003. 302 с.
4. Городничев Р.М. Спортивная электронейромиография. Великие Луки, 2005. 230 с.
5. Денисова Л.В., Хмельницкая И.В., Харченко Л.А. Измерения и методы математической статистики в физическом воспитании и спорте. Киев, 2008. 127 с.
6. Коц Я.М. Организация произвольного движения. М., 1975. 240 с.
7. Ланская О.В., Андриянова Е.Ю. Пластичность нейрональных цепей двигательных пулов мышц нижних конечностей у лиц с компрессией пояснично-крестцовых спинномозговых корешков // Новые подходы к изучению классических проблем: материалы VII Всерос. с междунар. участием шк.-конф. по физиологии мышц и мышечной деятельности, Москва, 29 января – 1 февраля 2013 года. М., 2013. С. 51.
8. Максимова Ю.А., Ильин В.Н., Колосова Е.В., Вилачев С.О. Электронейромиографический контроль воздействия электротерапевтического аппарата «Серагем Мастер СGM» на позвоночник спортсменов // Спорт. медицина. 2008. № 2. С. 125–129.
9. Максимова Ю.А. Функціональний стан поперекового відділу хребта верхніх акробатів // Теорія і практика фізичної культури і спорту. 2011. № 1. С. 47–50.
10. Николаев С.Г., Банникова И.Б. Электромиографическое исследование в клинической практике (методики, анализ, применение). Иваново, 1998. 255 с.
11. Персон Р.С. Электромиография в исследованиях человека. М., 1969. 211 с.
12. Фёдорова Т.В. Повреждения и заболевания опорно-двигательного аппарата гимнасток // Теория и практика физ. культуры. 1991. № 5. С. 23–26.
13. Шелякин А.М., Преображенская И.Г., Богданов О.В. Кросс-корреляционный анализ биоэлектрической активности мышц антагонистов в исследовании произвольной двигательной активности человека при некоторых формах двигательных нарушений // Рос. физиолог. журн. им. И.М. Сеченова. 1997. Т. 83, № 9. С. 88–94.

---

---

14. Шилов А.С., Боcharов М.И. Влияние гипоксической гипоксии и антиортостатической гипокинезии на активность мотонейронных пулов икроножной и камбаловидной мышц человека // Вестн. Твер. гос. ун-та. Сер.: Биология и экология. 2008. Т. 67, № 7. С. 37–42.

## References

1. Andriyanova E.Yu., Gorodnichev R.M. *Elektroneyromiograficheskie pokazateli i mekhanizmy razvitiya poyasnichno-kresttsovogo osteokhondroza* [Electroneuromyographic Indicators and Mechanisms of Lumbosacral Osteochondrosis]. Velikie Luki, 2006. 191 p.
2. Burmakova G.M. *Poyasnichno-kresttsovye boli u sportsmenov i artistov baleta: avtoref. dis. ... d-ra med. nauk* [Pain in the Lumbosacral Area in Sportsmen and Ballet Dancers: Dr. Med. Sci. Diss. Abs.]. Moscow, 2004. 49 p.
3. Gimranov R.F. *Diagnostika zabolevaniy nervnoy sistemy* [Diagnosing Nervous System Disorders]. Moscow, 2003. 302 p.
4. Gorodnichev R.M. *Sportivnaya elektroneyromiografiya* [Sports Electroneuromyography]. Velikie Luki, 2005. 230 p.
5. Denisova L.V., Khmel'nitskaya I.V., Kharchenko L.A. *Izmereniya i metody matematicheskoy statistiki v fizicheskom vospitanii i sporte* [Measurements and Methods of Mathematical Statistics in Physical Education and Sport]. Kiev, 2008. 127 p.
6. Kots Ya.M. *Organizatsiya proizvol'nogo dvizheniya* [Organization of Voluntary Movement]. Moscow, 1975. 240 p.
7. Lanskaya O.V., Andriyanova E.Yu. *Plastichnost' neyronal'nykh tsepey dvigatel'nykh pulov myshts nizhnikh konechnostey u lits s kompressiey poyasnichno-kresttsovykh spinnomozgovykh koreshkov* [Plasticity of Neuronal Chains of Motor Pools of Lower Limb Muscles in Patients with Lumbosacral Roots Compression]. *Novye podkhody k izucheniyu klassicheskikh problem: materialy VII Vseros. s mezhdunar. uchastiem shk.-konf. po fiziologii myshts i myshechnoy deyatel'nosti* [New Approaches to the Study of Classical Issues: Proc. 7th All-Russian Seminar with Int. Participation on Physiology of Muscles and Muscle Activity]. Moscow, 29 January – 1 February 2013. Moscow, 2013, p. 51.
8. Maksimova Yu.A., Il'in V.N., Kolosova E.V., Vilachev S.O. *Elektroneyromiograficheskiy kontrol' vozdeystviya elektroterapevticheskogo apparata "Ceragem Master CGM" na pozvonochnik sportsmenov* [Electroneuromyographic Control of the Effect of Electrotherapeutic Apparatus "Ceragem Master CGM" on the Spine of Athletes]. *Sportivna meditsina*, 2008, no. 2, pp. 125–129.
9. Maksimova Yu.A. *Funktional'nyj stan poperekovogo viddilu hrebtva verhnih akrobativ. Teoriya i praktika fizichnoi kul'tury i sportu*, 2011, no. 1, pp. 47–50.
10. Nikolaev S.G., Bannikova I.B. *Elektromiograficheskoe issledovanie v klinicheskoy praktike (metodiki, analiz, primeneniye)* [Electromyography in Clinical Practice (Methodologies, Analysis, Application)]. Ivanovo, 1998. 255 p.
11. Person R.S. *Elektromiografiya v issledovaniyakh cheloveka* [Electromyography in Human Studies]. Moscow, 1969. 211 p.
12. Fedorova T.V. *Povrezhdeniya i zabolevaniya oporno-dvigatel'nogo apparata gimnastok* [Orthopedic Injuries and Diseases in Female Gymnasts]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 1991, no. 5, pp. 23–26.
13. Shelyakin A.M., Preobrazhenskaya I.G., Bogdanov O.V. *Krosskorrelyatsionnyy analiz bioelektricheskoy aktivnosti myshts antagonistov v issledovanii proizvol'noy dvigatel'noy aktivnosti cheloveka pri nekotorykh formakh dvigatel'nykh narusheniy* [Cross-Correlation Analysis of Bioelectric Activity of Antagonistic Muscles in the Study of Voluntary Motor Activity in Humans with Certain Forms of Movement Disorders]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*, 1997, vol. 83, no. 9, pp. 88–94.
14. Shilov A.S., Bocharov M.I. *Vliyanie gipoksicheskoy gipoksii i antiortostaticeskoy gipokinezii na aktivnost' motoneyronnykh pulov ikronozhnoy i kambalovidnoy myshts cheloveka* [The Influence of Hypoxic Hypoxia and Antiorthostatic Hypokinesia on the Activity of Motoneural Pools of Gastrocnemius and Soleus Muscles in Humans]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Biologiya i ekologiya*, 2008, vol. 67, no. 7, pp. 37–42.

***Maksimova Yuliya Anatolyevna***

National University of Physical Education and Sports of Ukraine (Kiev, Ukraine)

***Filippov Mikhail Mikhailovich***

National University of Physical Education and Sports of Ukraine (Kiev, Ukraine)

***Ilyin Vladimir Nikolaevich***

National University of Physical Education and Sports of Ukraine (Kiev, Ukraine)

### **FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF H-REFLEX AND M-RESPONSE IN ACROBATS EXPERIENCING PAINS IN THE LUMBAR AREA**

The paper presents the results of electroneuromyographic studies on excitability of spinal motoneurons innervating the gastrocnemius and soleus muscles of the lower leg in 12–17-year-old acrobats experiencing pains in the lumbar area. We show that at frequent compression of intervertebral discs, peripheral nerve fibers undergo deformations accompanied by the following changes (that indicate the severity of damage to the sensory and motor nerve fibers): higher excitability threshold of these fibers, longer latency period of H-reflexes, and shorter duration and amplitude of M-responses. We also found that changes in the inflow of afferent information are accompanied by a decrease in the spinal reflex excitability of alpha motoneurons. Raised threshold of sensory nerve fibers excitability, longer latent period of H-reflex and its shorter duration may indicate a decrease in the number of 1 $\alpha$  sensory fibers and (or) their thinning.

Based on the studies, we detected sets of lesions in the peripheral nerves corresponding to the localization of the altered vertebral motor segment.

**Keywords:** *acrobats, spine, electroneuromyographic study, sensory nerve fibers, motor nerve fibers.*

*Контактная информация:*

Максимова Юлия Анатольевна

*адрес:* Украина, 03680, г. Киев, ул. Физкультуры, д. 1

*e-mail:* yulimax@i.ua

Филиппов Михаил Михайлович

*адрес:* Украина, 03680, г. Киев, ул. Физкультуры, д. 1

*e-mail:* filmish@ukr.net

Ильин Владимир Николаевич

*адрес:* Украина, 03680, г. Киев, ул. Физкультуры, д. 1

*e-mail:* vilyin@voliacable.com

Рецензент – *Бочаров М.И.*, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии и спортивной медицины Ухтинского государственного технического университета