

ОСОБЛИВОСТІ ДОВІЛЬНОЇ РЕГУЛЯЦІЇ ТОНУСУ М'ЯЗІВ У ОСІБ ІЗ ТРИВАЛОЮ АДАПТАЦІЄЮ ДО ШВИДКІСНО-СИЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

***М. Федьків^{1,2}, Л. Вовканич², Д. Бергтраум², Б. Кіндзер²**

¹Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна

²Львівський державний університет фізичної культури
імені Івана Боберського
вул. Костюшка, 11, Львів 79007, Україна
e-mail: maria.fedkiv@lnu.edu.ua

Відомо, що підтримання тону м'язів і координація активних рухів відбуваються за участю тих самих нервових центрів, показники тону впливають на рухи, зокрема, на їхню плавність і амплітуду. Адаптивні зміни тону м'язів можуть слугувати критеріями функціонального стану моторних центрів спинного та головного мозку. Тому метою роботи було дослідити вплив регулярних фізичних навантажень швидко-силового характеру на показники м'язового тону. Досліджували тону поверхневих м'язів-згиначів передпліччя верхньої правої кінцівки осіб чоловічої статі, поділених на три групи за видами спорту – єдиноборства (Є), спортивні ігри (СІ) та нетреновані (НТ). Для вимірювання тону м'язів (міотони, мТ) використовували механічний міотонometr «Metrimprex». Тону м'язів визначали у трьох станах – тону спокою (ТС), тону напруження (ТН) і тону розслаблення (ТР). На основі цих даних розраховували показники амплітуди тону. Встановлено, що показники ТС, ТН і ТР у групі Є перевищують аналогічні показники групи нетренованих на 8, 12 та 8 % відповідно ($P < 0,05$). Показник ТН у групі СІ був на 9 % вищим, ніж у групі НТ ($P < 0,05$). У групі Є та СІ показники амплітуди тону перевищують аналогічні дані групи НТ на 22 та 24 % ($P < 0,05$). У всіх групах виявлено сильний позитивний кореляційний зв'язок між тоном напруження й амплітудою тону ($r = 0,65-0,77$), у групі Є виявлено сильну негативну кореляцію ($r = -0,634$) між тоном розслаблення і амплітудою тону. Можна припустити, що здатність м'язів до розслаблення має важливий вплив на показник амплітуди тону у групі єдиноборців. Такі зміни можуть бути наслідком адаптації до виконання швидких рухів, які потребують вчасного розслаблення м'язів-антагоністів.

Ключові слова: адаптація, скелетні м'язи, нервові центри, амплітуда тону, амплітуда напруження

М'язовий тону – це постійне напруження скелетних м'язів, зумовлене пасивним компонентом і активним тонічним скороченням м'язів [1]. Пасивний компонент залежить від стану актоміозинових містків, в'язкості, еластичності, здатності до розтягу скоротливих і нескоротливих (десмін, тітин) білків, а також від осмотичного тиску в клітинах [5]. Активний компонент тону є результатом активації м'язових волокон унаслідок ієрархічної взаємодії нервових центрів [13], зокрема, кори головного мозку, базальних гангліїв, мозочка, ретикулярної формації стовбура мозку та спинного мозку [5]. На рівні спинного мозку важливу роль відіграють рефлекс розтягу, що активуються внаслідок подразнення нервово-м'язових веретен [3, 12]. Супраспинальний контроль включає інгібіторні (кірково-спинномозковий, кірково-сітчасто-спинномозковий, задній сітчасто-спинномозковий) і активуючі (присінково-спинномозковий та медіальний

сітчасто-спинномозковий) шляхи [12]. Важливу роль у регуляції тонусу відіграє також мозочок, опосередковано пригнічуючи γ -мотонейрони [5].

Підтримання тонусу м'язів і координація активних рухів відбувається за участю тих самих нервових шляхів [1]. Наприклад, недавні дослідження свідчать, що нейрони стовбура мозку беруть участь у регуляції обох процесів [6], низхідні моноамінергічні шляхи впливають на тонус і активацію м'язів під час довільних рухів [14]. Присінково-спинномозкові шляхи мають важливе значення як для регуляції м'язового тонусу, так і для координації ходи [7]. У зв'язку з цим логічно припустити, що зміни тонічного напруження м'язів можуть впливати на прояви рухової активності. Встановлено, що у здорових людей м'язовий тонус впливає на рухи [4], зокрема, на їхню плавність [2]. Вплив можна пояснити механічними та нервовими факторами [1]. Механічні ефекти зумовлені опором тканин, зокрема, показано, що рівень тонусу значною мірою впливає на діапазон рухів [15]. Нервовий вплив пов'язаний зі змінами збудливості нейронів, що визначають активацію м'язів [10]. Зокрема, є дані про аномальне скорочення м'язів під час довільних рухів у осіб із гіпертонусом [8]. Вплив м'язового тонусу на координацію рухів підтверджує концепцію Бернштейна про ієрархію та взаємодію моторних центрів ЦНС [1, 13]. Адаптивні зміни нервово-м'язових структур під впливом регулярних фізичних навантажень можуть відображатися на показниках тонусу м'язів і слугувати критеріями функціонального стану моторних центрів спинного та головного мозку. Особливо важливі такі зміни тоді, коли необхідно виконувати максимальні швидкісно-силові ударні або стрибкові рухи, що характерно для ударних єдиноборств та ігрових видів спорту. Водночас сучасних літературних даних стосовно вивчення тонусу м'язів (міотонометрії) практично немає. Тому **метою роботи** було дослідити вплив регулярних фізичних навантажень швидкісно-силового характеру на показники м'язового тонусу студентів.

Матеріали та методи

Досліджували тонус скелетних м'язів осіб чоловічої статі, поділених на три групи. До групи єдиноборців (Є) належали 20 спортсменів-єдиноборців високої спортивної кваліфікації (стаж занять понад 5 років), віком $18,33 \pm 0,21$ роки, зростом $175,45 \pm 1,69$ см та масою тіла $71,82 \pm 2,47$ кг. Групу спортивних ігор (СІ) сформували з 24 студентів-футболістів і волейболістів (стаж занять понад 3 роки). Середній вік у цій групі становив $18,46 \pm 0,23$ роки, зріст – $180,00 \pm 1,51$ см, маса тіла – $73,98 \pm 2,05$ кг. Для тренувального процесу обох груп характерні швидкі рухи, які потребують поєднання значної сили та швидкості скорочення м'язів. В ударних єдиноборствах скорочення м'язів швидші, вибухові, спрямовані на досягнення максимальної потужності за мінімальний час. У спортивних іграх наявні більш різноманітні варіанти скорочень, адже їхня рухова діяльність триваліша, динамічніша та складніша за структурою. До групи нетренованих (НТ) належали 48 осіб, які регулярно не виконували фізичних навантажень, віком $17,80 \pm 0,14$ роки, зростом $180,11 \pm 1,39$ см, масою тіла $72,79 \pm 2,22$ кг. Усі учасники надали інформовану згоду на участь у дослідженнях. Дослідження відповідали встановленим стандартам Гельсінської декларації про етичні принципи проведення наукових досліджень за участю людини, а також основним біоетичним принципам, закріпленим у Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 04.04.1997).

Для вимірювання тонусу м'язів використовували механічний міотонометр «Met-rimrex». Зонд (стержень) приладу скеровували вертикально у ділянку найбільшої випуклості досліджуваного м'яза, опорна поверхня прилягала до шкіри під власною вагою приладу. Вимірювали тонус поверхневих м'язів-згиначів передпліччя верхньої

правой кінцівки. Тонус м'язів визначали за шкалою умовних одиниць (міотонів, мт) у трьох станах – спокою (тонус спокою, ТС), максимального довільного напруження (тонус напруження, ТН) і тонус швидкого довільного розслаблення (тонус розслаблення, ТР). На основі цих даних розраховували показники амплітуди тонусу. Амплітуду напруження (АН) розраховували як різницю ТН і ТС. Амплітуду розслаблення (АР) визначали як різницю ТН і ТР. Амплітуду тонусу обчислювали як суму АН і АР.

Статистичний аналіз результатів полягав у визначенні форми розподілу даних і застосуванні відповідних показників описової статистики. Нормальність розподілу оцінювали за критерієм Шапіро–Вілکا. Оскільки розподіл був нормальним для усіх показників, то для опису застосовували показники середнього арифметичного ($\bar{x}$) та середньоквадратичного відхилення (standard deviation, SD). Рівень достовірності різниці між групами характеризували за допомогою t-критерію Стьюдента. Силу зв'язків між показниками тонусу описували на основі коефіцієнта кореляції Пірсона. Оцінювання впливу окремих показників тонусу на амплітуду тонусу виконували з використанням множинного регресійного аналізу. Статистичний аналіз даних виконували за допомогою стандартних функцій «MS Excel 2021» та «Origin 2018».

Результати і їхнє обговорення

Аналіз показників тонусу поверхневих м'язів-згиначів передпліччя правої руки (рис. 1) вказує на наявність певних відмінностей між групами. Зокрема, показники ТС, ТН і ТР спортсменів-єдиноборців перевищують аналогічні показники групи нетренованих на 8, 12 і 8 % відповідно ($P < 0,05$). Показник ТН у групі СІ був на 9 % вищим, ніж у групі НТ ($P < 0,05$).

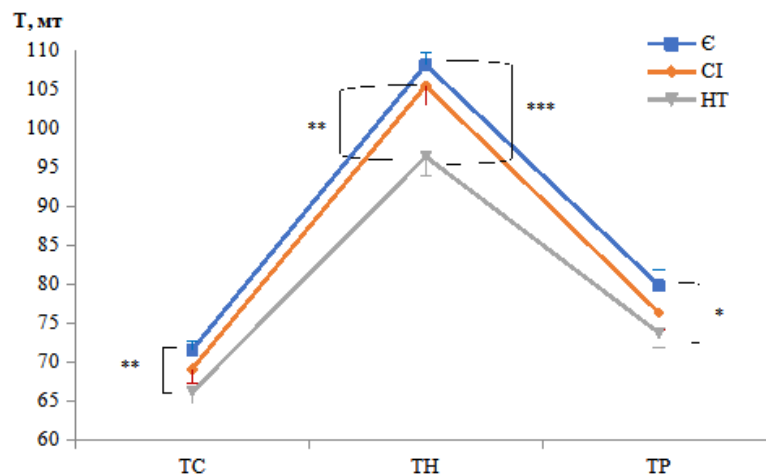


Рис. 1. Тонус (Т, мт) поверхневих м'язів-згиначів передпліччя правої руки осіб із різним рівнем рухової активності ($M \pm SD$). ТС – тонус спокою, ТН – тонус напруження, ТР – тонус розслаблення, Є – єдиноборці, СІ – спортивні ігри, НТ – нетреновані, мт – міотон. Статистична значущість міжгрупової різниці: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$

Показники амплітуди тонусу (рис. 2) також мали певні відмінності у різних групах. Зокрема, особи з підвищеним рівнем фізичної активності, до яких належать єдиноборці та спортсмени ігрових видів спорту, мають вищі показники амплітуди тонусу, порівняно з нетренованими особами. Ця різниця становить 18–22 % для АН ($P < 0,05$) та 29–31 % для АР ($P < 0,05$). Із цих результатів випливає припущення про більшу роль швидкого

довільного розслаблення м'язів у формуванні високої амплітуди тонуусу тренуваних осіб. У середньому показники АТ у групах Є та СІ перевищують аналогічний показник групи НТ на 22 і 24 % ($P < 0,05$).

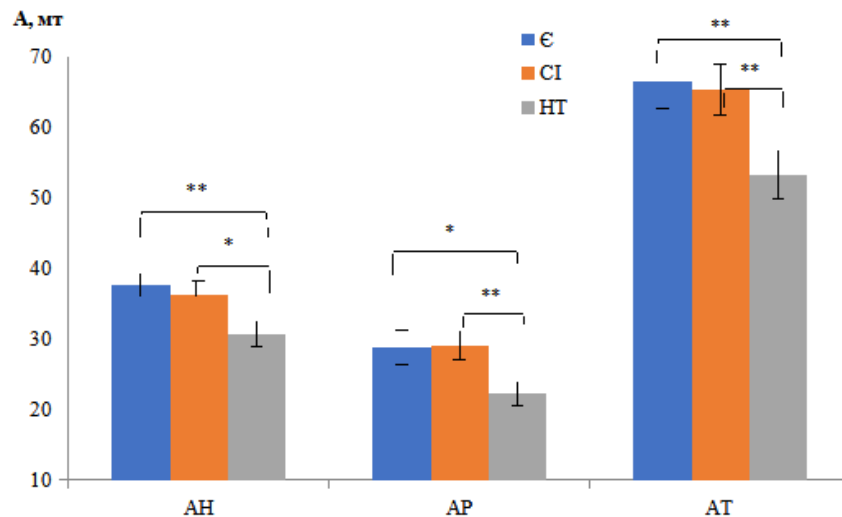


Рис. 2. Показники амплітуди (А, мТ) тонуусу поверхневих м'язів-згиначів передпліччя правої руки осіб із різним рівнем рухової активності ($M \pm SD$). АН – амплітуда напруження, АР – амплітуда розслаблення, АТ – амплітуда тонуусу. Інші позначення див. рис. 1

Перевірку припущення про різний вплив здатності скелетних м'язів до довільного напруження та розслаблення на інтегральний показник амплітуди тонуусу виконували за допомогою кореляційного аналізу (див. таблицю). Аналіз взаємозв'язку між тонуусом спокою і амплітудою тонуусу показав, що у всіх групах цей зв'язок є слабким. У представників спортивних ігор і нетрениваних осіб коефіцієнт кореляції не досягав 0,2, тобто зв'язку практично не було. У групі єдиноборців спостерігали слабку негативну кореляцію ($r = -0,226$), тобто підвищення тонуусу спокою супроводжувалося зниженням амплітуди тонуусу. Це може свідчити про більш ефективну регуляцію м'язового тонуусу у представників єдиноборств, ймовірно, завдяки специфіці тренувального процесу.

Зв'язок амплітуди тонуусу м'язів правого передпліччя
з тонуусом спокою, тонуусом напруження і тонуусом розслаблення

Показник	Показник тонуусу	Єдиноборці	Групи Спорт. ігри	Нетренивані
Коефіцієнт кореляції Пірсона	ТС	-0,226	-0,078	0,144
	ТН	0,662	0,654	0,774
	ТР	-0,634	-0,116	0,118
t- статистика, $\times 10^{15}$	ТС	-3,20	-2,69	-5,98
	ТН	11,29	8,31	18,01
	ТР	-6,26	-3,11	-7,18

Примітки: ТС – тонуус спокою, ТН – тонуус напруження, ТР – тонуус розслаблення

У всіх групах виявлено середню або сильну позитивну залежність між тонуусом напруження й амплітудою тонуусу, що вказує на значну роль фактора напруження м'язів у визначенні загальної здатності м'язової тканини до довільної зміни напруження (див. таблицю). Найвищий коефіцієнт кореляції виявили у групі нетрениваних ($r = 0,77$), менші коефіцієнти кореляції – у групах СІ та Є ($r = 0,65-0,66$). Коефіцієнти детермінації для

лінійних моделей залежності амплітуди тонузу від тонузу напруження лежать у межах помірних значень ($R^2=0,42-0,60$) для усіх груп. Це може означати, що тонуз напруження впливає на амплітуду тонузу, проте є інші значущі чинники впливу.

У спортсменів-єдиноборців виявлено середню негативну кореляцію (див. таблицю) між тонузом розслаблення і амплітудою тонузу ($r=-0,634$), в інших групах кореляція дуже слабка ($r<0,2$). Це свідчить про суттєвий внесок швидкого розслаблення м'язів єдиноборців у формуванні загальної амплітуди тонузу і може бути інтерпретовано як прояв ефективніших механізмів нейром'язової регуляції. Регресійний аналіз даних продемонстрував наявність помірного коефіцієнта детермінації ($R^2=0,402$) для лінійної моделі залежності амплітуди тонузу від тонузу напруження у групі єдиноборців. Це може свідчити про наявність інших значущих чинників впливу або про необхідність проаналізувати нелінійні моделі залежності.

Показники t-статистики, отримані у множинному регресійному аналізі, дають змогу оцінити силу впливу різних показників тонузу на його загальну амплітуду (див. таблицю). У всіх групах найсильніший вплив на амплітуду тонузу виявляв показник тонузу напруження, а найменший – показник тонузу спокою. Водночас у групі єдиноборців коефіцієнт t для тонузу розслаблення майже удвічі перевищував аналогічний коефіцієнт для тонузу спокою, в інших групах ця різниця становила 15–20 %. Тому можна припустити, що здатність м'язів до розслаблення має важливий вплив на показник амплітуди тонузу, а у групі єдиноборців ця здатність набуває найбільшого розвитку.

Отримані результати повністю узгоджуються зі сучасними уявленнями про те, що підтримання тонузу м'язів і координація активних рухів відбуваються за участю тих самих нервових шляхів [1, 6, 14]. Отримані нами дані вказують на те, що регулярні швидкісно-силові навантаження зумовили зміни функціонального стану нервово-м'язових структур, які проявились у показниках тонузу м'язів. Виявлена у групі єдиноборців значуща залежність між здатністю м'язів до розслаблення і амплітудою тонузу узгоджується з уявленнями про важливість швидкого й точного перемикання між скороченням і розслабленням у виконанні складних моторних дій. Це співзвучно концепції про те, що плавність рухів залежить від рівня м'язового тонузу та збудливості нейронів [2, 10]. Крім того, така здатність може мати важливе значення для ефективної координації швидких рухів, що також відповідає уявленням про ієрархічну взаємодію моторних центрів [13].

Таким чином, експериментальні дані підтверджують, що регулярні фізичні навантаження, особливо у видах спорту із високими вимогами до швидкості й координації, зумовлюють формування сприятливих адаптивних змін у нервово-м'язовій системі.

Виконаний нами аналіз показників міотонометрії виявив вищий рівень абсолютних показників тонузу й амплітуди поверхневих м'язів-згиначів передпліччя правої верхньої кінцівки у єдиноборців і представників спортивних ігор. Це вказує на кращий функціональний стан нервових центрів і оптимальну скорочувальну функцію досліджуваних м'язів. У групі єдиноборців виявлено значний вплив здатності м'язів до швидкого розслаблення на загальну амплітуду тонузу. Такі зміни можуть бути наслідком адаптації до виконання швидких рухів, які потребують вчасного розслаблення м'язів-антагоністів.

Дослідження виконані у рамках науково-дослідної теми кафедри анатомії та фізіології "Морфологічні та функціональні прояви адаптації організму людини до фізичних навантажень різної інтенсивності".

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Cacciatore T. W., Anderson D. I., Cohen R. G.* Central mechanisms of muscle tone regulation: implications for pain and performance // *Front. Neurosci.* 2024. Vol. 18. Article 1511783. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1511783>
2. *Cacciatore T. W., Mian O. S., Peters A., Day B. L.* Neuromechanical interference of posture on movement: evidence from Alexander technique teachers rising from a chair // *J. Neurophysiol.* 2014. Vol. 112. N 3. P. 719–729. <https://doi.org/10.1152/jn.00617.2013>
3. *Carpenter R., Reddi B.* Neurophysiology: A Conceptual Approach. Boca Raton, FL: CRC Press, 2012.
4. *Chen P. T., Wang P. K., Chen T. T.* et al. Scapulohumeral kinematics and neuromuscular control during scaption are associated with passive stiffness and strength of periscapular muscles in competitive adolescent swimmers // *Sci. Rep.* 2023. Vol. 13. N 1. P. 725. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-27920-w>
5. *Ganguly J., Kulshreshtha D., Almotiri M., Jog M.* Muscle Tone Physiology and Abnormalities // *Toxins.* 2021. Vol. 13. N 4. P. 282. <https://doi.org/10.3390/toxins13040282>
6. *Gibson A. R., Horn K. M., Pong M.* Nucleus reticularis tegmenti pontis: a bridge between the basal ganglia and cerebellum for movement control // *Exp. Brain Res.* 2023. Vol. 241. P. 1271–1287. <https://doi.org/10.1007/s00221-023-06574-0>
7. *Gottschall J. S., Nichols T. R.* Neuromuscular strategies for the transitions between level and hill surfaces during walking // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 2011. Vol. 366. P. 1565–1579. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0355>
8. *Ha S. Y., Sung Y. H.* Developmentally delayed children with different muscle tone have different muscle activity and acceleration during sit-to-stand // *J. Exerc. Rehabil.* 2023. Vol. 19. N 6. P. 327–331. <https://doi.org/10.12965/jer.2346508.254>
9. *Ivanenko Y. P., Gurfinkel V. S., Selionov V. A.* et al. Tonic and Rhythmic Spinal Activity Underlying Locomotion // *Curr. Pharm. Des.* 2017. Vol. 23. N 12. P. 1753–1763. <https://doi.org/10.2174/1381612823666170125152246>
10. *Kavanagh J. J., Taylor J. L.* Voluntary activation of muscle in humans: does serotonergic neuromodulation matter? // *J. Physiol.* 2022. Vol. 600. N 16. P. 3657–3670. <https://doi.org/10.1113/JP282565>
11. *Latash M. L., Zatsiorsky V. M.* Muscle tone // *Biomechanics and Motor Control.* 2016. P. 85–98. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800384-8.00005-3>
12. *Mukherjee A., Chakravarty A.* Spasticity mechanisms–For the clinician // *Front. Neurol.* 2010. Vol. 1. P. 149.
13. *Profeta V. L. S., Turvey M. T.* Bernstein's levels of movement construction: A contemporary perspective // *Hum. Mov. Sci.* 2018. Vol. 57. P. 111–133. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.11.013>
14. *Wei K., Glaser J. I., Deng L.* et al. Serotonin affects movement gain control in the spinal cord // *J. Neurosci.* 2014. Vol. 34. P. 12690–12700. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1855-14.2014>
15. *Wendt M., Waszak M.* Assessment of the stiffness of the upper trapezius muscle in a group of asymptomatic people with cervical spine rotation asymmetry // *PLoS One.* 2024. Vol. 19. N 2. Article e0298544. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298544>

Стаття надійшла до редакції 14.05.25

доопрацьована 28.05.25

прийнята до друку 04.06.25

**FEATURES OF VOLUNTARY MUSCLE TONE REGULATION IN INDIVIDUALS
WITH LONG-TERM ADAPTATION TO SPEED-STRENGTH LOADS****M. Fedkiv^{1,2}, L. Vovkanych², D. Berhtraum², B. Kindzer²**¹*Ivan Franko National University of Lviv
4, Hrushevskiy St., Lviv 79005, Ukraine*²*Ivan Boberskyi Lviv State University of Physical Culture
11, Kostyushko St., Lviv 79007, Ukraine
e-mail: maria.fedkiv@lnu.edu.ua*

The maintenance of muscle tone and the coordination of active movements involve the same neural centers, with muscle tone influencing key movement characteristics such as smoothness and amplitude. Adaptive changes in muscle tone may reflect the functional state of motor centers in both the spinal cord and the brain. This study aimed to examine the effects of regular speed-strength physical activity on muscle tone parameters. The tone of the superficial flexor muscles of the right forearm in male individuals was examined, with participants divided into three groups based on their sport specialization: martial arts (MA), team sports (TS), and untrained individuals (UT). Muscle tone (myotonus, mt) was measured using the mechanical myotonometer «Metrimpex» in three states: resting tone (RT), contraction tone (CT), and relaxation tone (RLT). These measurements were used to calculate muscle tone amplitude indicators. The MA group exhibited significantly higher values of RT, CT, and RLT compared to the UT group by 8, 12, and 8 %, respectively ($P < 0.05$). The CT in the TS group was 9 % higher than in the UT group ($P < 0.05$). Additionally, the tone amplitude in both the MA and TS groups exceeded that of the UT group by 22–24 % ($P < 0.05$). Across all groups, a strong positive correlation was observed between contraction tone and tone amplitude ($r = 0.65–0.77$), while a strong negative correlation ($r = -0.634$) was found between relaxation tone and tone amplitude in the MA group. These findings suggest that the ability to relax muscles plays a crucial role in determining tone amplitude among martial artists. Such adaptations may be associated with the demands of rapid movements that require timely relaxation of antagonist muscles.

Keywords: adaptation, skeletal muscles, neural centers, tone amplitude, contraction amplitude