

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 612.017.1+616.833-002+615.37
DOI 10.11603/2311-9624.2017.3.8033

©А. О. Град

ДВНЗ «Івано-Франківський національний медичний університет»

Морфофункціональна будова нейром'язових з'єднань жувального м'яза щура в нормі

Резюме. Цілий ряд досліджень свідчить про те, що синаптоархітектоніка в зрілих скелетних м'язах відрізняється значною варіабельністю і значною мірою залежить від функції м'яза і фенотипу м'язових волокон. Проте кількісні та якісні морфологічні дослідження нейром'язових синапсів жувального м'яза щура залишились поза увагою дослідників.

Мета дослідження – встановити особливості морфофункціональної будови нейром'язового з'єднання жувального м'яза щура в нормі.

Матеріали і методи. Матеріалом для дослідження послуговували жувальні м'язи 10 статевозрілих щурів-самців лінії Вістар масою тіла 180–200 г. Для виявлення нейром'язових з'єднань жувальні м'язи фіксували впродовж 25–30 діб у 12 % нейтральному формаліні. Матеріал промивали і в криостаті виготовляли зрізи товщиною 30–40 мкм, які обробляли за методом Більшовського–Грос. Для електронно-мікроскопічного дослідження забір матеріалу проводили за загальноприйнятими правилами. Шматочки м'язових волокон фіксували у 2 % розчині чотириокису осмію, проводили та контрастували за загальноприйнятим методом. Стимуляційну та інтерференційну електронейроміографію проводили на комп'ютерному електронейроміографічному комплексі «Нейро-ЕМГ-Микро» виробництва фірми «Нейрософт» (Росія), який має низький рівень шумів, високу чутливість (10–500 мкВ/см) і стійкість до спотворень. Комп'ютерне опрацювання даних виконували за допомогою статистичного пакета Stat. Soft.Inc; Tulsa, OK, USA; Statistica 6.

Результати досліджень та їх обговорення. У жувальному м'язі нейром'язові з'єднання мають свою синаптоархітектоніку, яка характеризується спраутингом рухового аксона, довжиною і шириною активних зон, кількістю і величиною синаптичних складок, числом нейролемоцитів, особливістю будови субсинаптичної перетинки. Площа нейром'язового з'єднання становить $(385,74 \pm 16,63)$ мкм². До складу нейром'язового з'єднання входить декілька нейром'язових синапсів, які мають наступні кількісні ознаки: площу – $(6,23 \pm 1,03)$ мкм², довжину синаптичного контакту – $(2,56 \pm 0,52)$ мкм, кількість складок засинаптичної перетинки – $8,6 \pm 0,69$, відстань між складками – $(0,35 \pm 0,002)$ мкм, довжину окремої складки – $3,31 \pm 0,03$, кількість синаптичних пухирців – $172,69 \pm 16,03$.

Висновки. Електронейроміографічні дослідження жувальних м'язів вказують на правильний напрямок передачі нервового імпульсу, високу амплітудну характеристику передачі збудження та М-відповіді при одиночному стимуляційному подразненні.

Ключові слова: жувальний м'яз; нейром'язове з'єднання; нейром'язовий синапс.

©А. А. Град

ГБУЗ «Ивано-Франковский национальный медицинский университет»

Морфофункциональное строение нейромышечных соединений жевательной мышцы крысы в норме

Резюме. Целый ряд исследований свидетельствует о том, что синаптоархитектоника в зрелых скелетных мышцах отличается значительной вариабельностью и в значительной степени зависит от функции мышцы и фенотипа мышечных волокон. Однако количественные и качественные морфологические исследования нейромышечных синапсов жевательной мышцы крысы остались вне поля зрения исследователей.

Цель исследования – установить особенности морфофункционального строения нейромышечного соединения жевательной мышцы крысы в норме.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужили жевательные мышцы 10 половозрелых крыс-самцов линии Вистар массой тела 180–200 г. Для выявления нейромышечных окончаний жевательные мышцы фиксировали в течение 25–30 суток в 12 % нейтральном формалине. Материал промывали и в криостате изготавливали срезы толщиной 30–40 мкм, которые обрабатывали методом

Бильшовского–Грос. Для электронной микроскопии забор материала проводили по общепринятым правилам. Кусочки мышечных волокон фиксировали в 2 % растворе четырехоксида осмия, проводили и контрастировали по общепринятому методу. Стимуляционную и интерференционную электронейромиографию проводили на компьютерном электронейромиографическом комплексе «Нейро-ЭМГ-Микро» производства фирмы «Нейрософт» (Россия), который имеет низкий уровень шумов, высокую чувствительность (10–500 мкВ/см) и устойчивость к искажениям. Компьютерные обработки данных проводились с помощью статистического пакета Stat.Soft.Inc; Tulsa, OK, USA; Statistica 6.

Результаты исследований и их обсуждение. В жевательной мышце нейромышечные соединения имеют свою синаптоархитектонику, которая характеризуется спраутингом двигательного аксона, длиной и шириной активных зон, количеством и величиной синаптических складок, числом нейролемматозитов, особенностью строения субсинаптической мембраны. Площадь нейромышечного соединения составляет $(385,74 \pm 16,63)$ мкм². В состав нейромышечного соединения входит несколько нейромышечных синапсов, которые имеют следующие количественные признаки: площадь – $(6,23 \pm 1,03)$ мкм², длина синаптического контакта – $(2,56 \pm 0,52)$ мкм, количество складок постсинаптической мембраны – $8,6 \pm 0,69$, расстояние между складками – $(0,35 \pm 0,002)$ мкм, длина отдельной складки – $3,31 \pm 0,03$, количество синаптических пузырьков – $172,69 \pm 16,03$.

Выводы. Электронейромиографические исследования жевательных мышц указывают на правильное направление передачи нервного импульса, высокую амплитудную характеристику передачи возбуждения и М-ответа при одиночном стимуляционном раздражении.

Ключевые слова: жевательная мышца; нейромышечные соединения; нейромышечный синапс.

©А. О. Hrad

Ivano-Frankivsk National Medical University

Morphofunctional structure of masseter neuromuscular connections in rats in norm

Summary. A number of studies indicate that synaptoarchitectonics in mature skeletal muscles is characterized by considerable variability and largely depends on the function of the muscle and the phenotype of muscle fibers. However, quantitative and qualitative morphological studies of neuromuscular synapses of the rat chewing muscle remained outside the field of view of the researchers.

The aim of the study – to establish the features of the morphofunctional structure of the neuromuscular junction of the rat's masseter in norm.

Materials and Methods. The material for the study was the masticatory muscles of 10 mature male rats of the Wistar line (body weight 180–200 g). To detect neuromuscular junctions, the chewing muscles were fixed for 25–30 days in 12 % neutral formalin. The material was washed and made a cut of 30–40 μm thick in a cryostat, which were processed by the Bilshowski-Gros method. For electronic research, the sampling was carried out according to generally accepted rules. Pieces of muscle fibers were fixed in a 2 % solution of osmium tetroxides, and contrasting according to the conventional method. Stimulation and interference electroneuromyography was performed on Neuro-EMG-Micro computer Neur EMG micro microcomputer manufactured by Neurosoft Company (Russia), which has low noise level, high sensitivity (10–500 μV / cm) and resistance to distortion. Computer processing of data was carried out using statistical package Stat.Soft.Inc; Tulsa, OK, USA; Statistica 6.

Results and Discussion. In the masticatory muscle, neuromuscular junctions have their synaptoarchitectonics, which are characterized by: scouting of the motor axon, length and width of the active zones, the number and size of synaptic folds, the number of neurolemmatocytes, the peculiarity of the structure of the spinal-protective membrane. The area of the neuromuscular junction is (385.74 ± 16.63) μm². The neuromuscular junction includes several neuromuscular synapses, which have the following quantitative characteristics: area – (6.23 ± 1.03) μm², the length of the synaptic junction is (2.56 ± 0.52) μm, the number of folds of the synaptic membrane is 8.6 ± 0.69 , the distance between the folds is (0.35 ± 0.002) μm, the length of the individual fold is (3.31 ± 0.03) , the number of synaptic vesicles is (172.69 ± 16.03) .

Conclusions. Electro neuromyographic studies of masticatory muscles indicate the correct direction of nerve impulse transmission, high amplitude characteristics of excitation transfer and M-response in case of single stimulation.

Key words: masseter; neuromuscular junction; neuromuscular synapse.

Вступ. Цілий ряд досліджень [1, 2] свідчить про те, що синаптоархітектоніка в зрілих

скелетних м'язах відрізняється значною варіабельністю і значною мірою залежить від

функції м'яза і фенотипу м'язових волокон. Швидкі окисно-гліколітичні м'язові волокна іннервуються найбільшими за площею і складністю просторової організації нервово-м'язовими закінченнями [4]. Нейром'язові синапси, утворені даними закінченнями, характеризуються великою кількістю синаптичних складок, значною концентрацією синаптичних пухирців біля активної зони [3, 5]. Патерн розгалужень аксонних терміналей у нейром'язовому з'єднанні повільних окисних м'язових волокон значно простіший [4]. При дослідженні ультраструктури встановлено велику кількість мітохондрій у термінальній аксоплазмі. Засинаптичні складки коротші й рідші, а субсинаптична зона ширша, ніж в швидких окисно-гліколітичних м'язових волокон. Швидкі гліколітичні м'язові волокна за індексом складності будови нервових закінчень займають проміжне положення між білими і червоними м'язовими волокнами [7]. Вищеперераховані дослідження стосувались м'язів язика та литкового м'яза. Ю. Огнетов і співавт. [6] встановили відмінності в організації активної зони нейром'язового з'єднання м'язів похідних вісцеральних дуг і вентральних міотомів. Ogata R. et al. [9] визначили, що якісна характеристика активної зони нейром'язових з'єднань прямих і косих м'язів очного яблука значно відрізняється від інших скелетних м'язів. Інші автори [5, 8], досліджуючи різні м'язи, прийшли до висновку про існування різниці в структурі нейром'язового з'єднання залежно від типу м'язових волокон, композиції м'яза та його морфогенетичного походження. Однак це питання залишається не до кінця виясненим і неоднозначним щодо реакції різних типів нейром'язових з'єднань на вплив різних чинників, що лишній раз доводить актуальність такого роду досліджень.

Метою дослідження було встановити особливості морфофункціональної будови нейром'язового з'єднання жувального м'яза щура в нормі.

Матеріали і методи. Матеріалом для дослідження послуговували жувальні м'язи 10 статево-зрілих щурів-самців лінії Вістар масою тіла 180–200 г. Експерименти на тваринах проведено відповідно до положення Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 1986), Директиви Ради Європи 86/609/ЄЕС (1986), Закону України Про захист тварин від жорстокого пово-

дження від 15 грудня 2009 року та наказів МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р., № 616 від 03.08.2012 р.

Для виявлення нейром'язових з'єднань жувальні м'язи фіксували впродовж 25–30 діб у 12 % нейтральному формаліні. Матеріал промивали і в кріостаті виготовляли зрізи товщиною 30–40 мкм, які обробляли за методом Більшовського–Грос. Для кращого контрастування нервових терміналей зрізи, занурені у 20 % розчин азотнокислого срібла, поміщали у термостат ($t=37\text{ }^{\circ}\text{C}$) на 1,5–2,0 год.

Забір матеріалу для трансмісійного електронно-мікроскопічного дослідження проводили за загальноприйнятими правилами, дотримуючись швидкості висікання й атравматизації його при різанні на шматочки. Шматочки м'язових волокон фіксували у 2 % розчині чотириокису осмію, проводили та контрастували за загальноприйнятим методом. Вивчення матеріалу проводили на електронному мікроскопі ПЭМ-125 К при прискорювальній напрузі 75 кВ, з наступним фотографуванням при збільшеннях від 1200 до 12 000 разів. Напівтонкі зрізи, товщиною 1 мкм, фарбували 1 % розчином метиленової синьки.

Гістологічні препарати і напівтонкі зрізи вивчали під світловим мікроскопом МС 300 (ТХР) та фотографували за допомогою цифрової CCD-камери (Industrial digital camera UNCCD05100KPA-U-NA-N-C-SQ-NA). Морфометрію здійснювали на вказаних препаратах за допомогою програмного ImageJ v. 1.47 (NIH, USA, <http://imagej.nih.gov/ij>) NIH USA «Image J» в ручному режимі з урахуванням збільшень.

Стимуляційну та інтерференційну електро-нейроміографію (ЕНМГ) проводили на комп'ютерному електронейроміографічному комплексі «Нейро-ЕМГ-Микро» виробництва фірми «Нейрософт» (Росія), який має низький рівень шумів, високу чутливість (10–500 мкВ/см) і стійкість до спотворень. Досліджували максимальне довільне скорочення м'яза з використанням кількісного аналізу часових, амплітудних і частотних параметрів.

Визначали швидкість проведення імпульсу (ШПІ), амплітуду і тривалість F-хвилі, амплітуду, латентний період і поліфазність M-хвилі, проводили моносинаптичне тестування (H-рефлекс). За електронейроміографічними (ЕНМГ) результатами розраховували відсоток співвідношення H_{\max}/M_{\max} .

Для ЕНМГ використовували два типи відвідних електродів: голкові (площа зрізу $0,07\text{ мм}^2$)

і поверхневі. Через невеликий розмір скелетних м'язів у щурів площа відвідних поверхневих електродів не перевищує 5 мм² при міжелектродній відстані 15–20 мм.

Максимальну ШПІ за НВ визначали за формулою: ШПІ = $S / (T_2 - T_1)$ м/с; де T_1 – латентний період при подразненні м'яза в дистальній точці (с); T_2 – латентний період при подразненні м'яза в проксимальній точці (с); S – відстань між проксимальною і дистальною точками стимуляції (м).

Комп'ютерне опрацювання даних проводили за допомогою статистичного пакета Stat. Soft. Inc; Tulsa, OK, USA; Statistica 6.

Результати досліджень та їх обговорення.

У нормі в жувальному м'язі нервові провідники збираються в пучки з середнім діаметром (110,4±4,12) мкм, яких добре видно на гістологічних препаратах, імпрегнованих за методом Більшовського–Грос. Кількість мієлінових нервових волокон (МНВ) різного діаметра в таких пучках не перевищує 8–12 волокон. У 78,5 % переважають нервові провідники діаметром 7,0 мкм. В ділянках вузлів Ранв'є аксони МНВ віддають бічні відростки, які під різним кутом перекидаються через окремі м'язові волокна і віддають кінцеві гілочки. МНВ в різних напрямках перетинають м'язові волокна, кущоподібно розгалужуються і утворюють від 2 до 10 термінальних гілок. Внутрішньом'язові

нервові провідники жувальних м'язів, які ми дослідили, мають подібну структурну організацію як і скелетні м'язи щурів, що підтверджують дані інших дослідників [3–5]. Довжина НМЗ варіює в широких межах і складає від до 20 до 32 мкм, а їхній діаметр становить 1,0–4,0 мкм, тоді як площа нейром'язових закінчень складає в середньому (385,74±16,63) мкм².

Синаптоархітектоніка периферійного нервового апарату жувального м'яза визначається претермінальним і термінальним спраутингом. Як правило, кожна терміналь втрачає мієлінову оболонку та утворює не більше 2–3 субтермінальних гілочок (рис. 1). На деякій відстані від кінця останньої мієлінізованої ділянки діаметр терміналей зменшується. В середньому кожен аксон утворює (3,2±0,04) терміналі, довжина яких складає (24,3±1,95) мкм, а діаметр становить (2,3±0,01) мкм. На окремих препаратах вони мають плоскі розширення, як правило, округлої або видовженої форми. Поряд із кінцевими гілочками рухових аксонів розташовані окремі нейролемоцити (рис. 1).

Цитоплазматичні відростки кінцевих нейролемоцитів розташовані поверх нервових терміналей і надійно ізолюють аксони від сусідніх м'язових волокон (МВ). Їхня кількість складає в середньому 8,4±1,26. Поблизу термінальних розширень розташовуються ядра м'язових волокон.

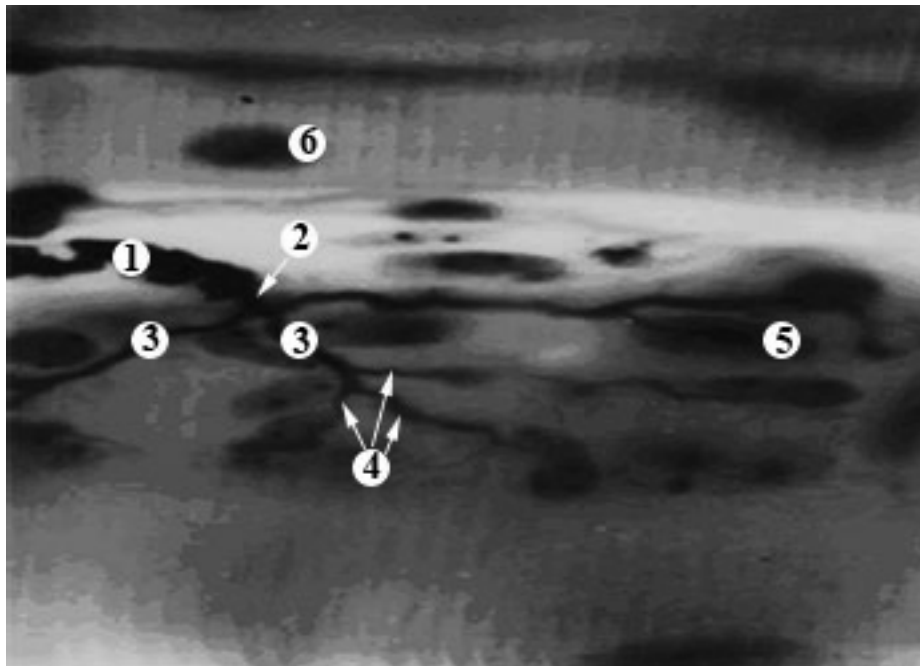


Рис. 1. Характер спраутингу мієлінового нервового волокна у жувальному м'язі щура в нормі. Метод: імпрегнація за Більшовським–Грос. Зб.: ок. 7, об. 90. Позначення: 1) мієлінове волокно, 2) ділянка претермінального спраутингу аксона, 3) субтермінальні гілочки, 4) нервові терміналі, 5) ядро нейролемоцита, 6) ядро м'язового волокна.

Експериментальні дослідження

При електронно-мікроскопічному дослідженні кінцеві гілочки рухових аксонів лежать у кратероподібних заглибинах сарколеми в центрі невеликих плоских підвищень МВ (рис. 2).

У цій ділянці аксолема утворює пресинаптичну мембрану з її субмікроскопічними потовщеннями або активними зонами (АЗ).

Аксональний полюс покритий цитоплазматичними відростками нейролемоцитів. Аксоплазма термінальних закінчень містить велику кількість мітохондрій, синаптичних пухирців, мікрофіламентів і мікротрубочок. Синаптична щілина заповнена аморфною речовиною, її ширина в середньому становить $(62,4 \pm 2,08)$ нм.

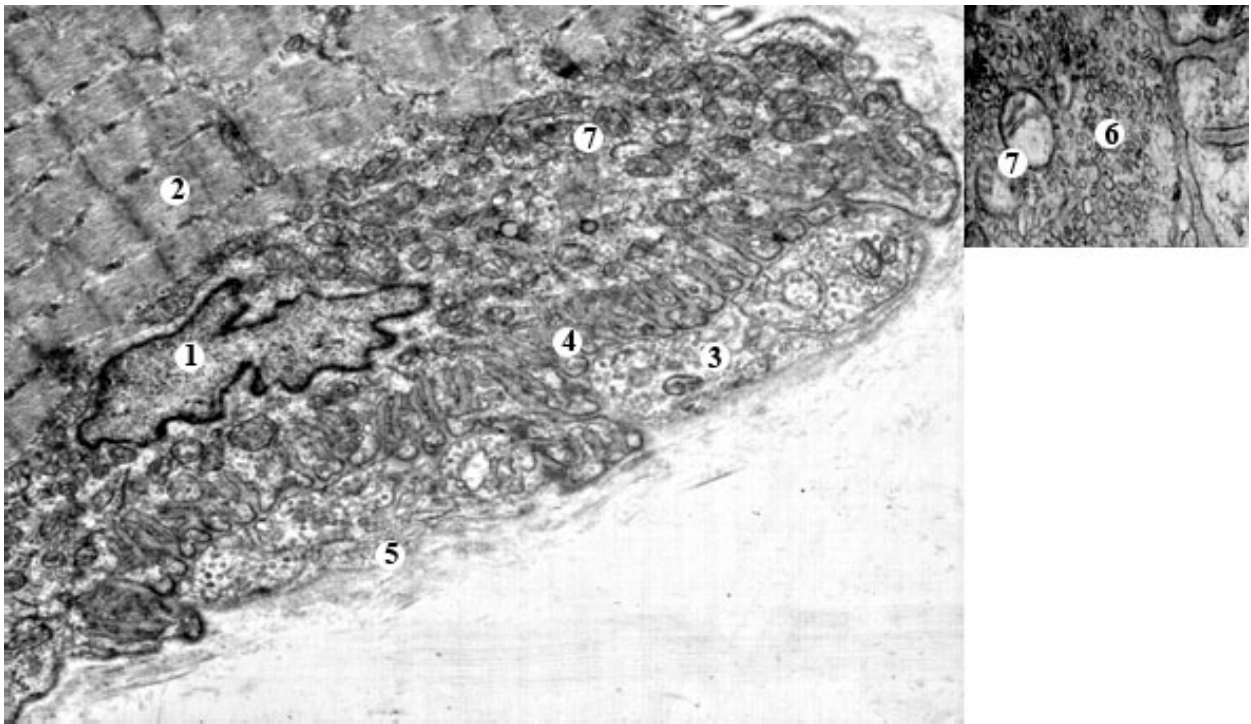


Рис. 2. Ультраструктурна будова нейром'язового синапсу жувального м'яза щура в нормі. Електронограма. $36. 64\ 000$.

Позначення: 1) ядро м'язового волокна, 2) міофібрили, 3) аксон, 4) субсинаптичні складки сарколеми, 5) складки цитоплазми нейролемоцита, 6) синаптичні пухирці, 7) мітохондрії.

Засинаптична перетинка представлена сарколемою, яка утворює густо розташовані глибокі, нерідко розгалужені, субсинаптичні складки, які інколи утворюють між собою анастомози.

Просвіт складок заповнений аморфним матеріалом синаптичної щілини. Саркоплазма м'язового полюсу заповнюється різною кількістю ядер МВ та мітохондрій. Субсинаптична зона – це вузький шар саркоплазми з поодинокими мітохондріями, мішечками комплексу Гольджі, піноцитозними пухирцями і багата гранулами глікогену.

Дані морфометричного аналізу нейром'язових синапсів у жувальному м'язі в нормі вказують, що їхня площа становить $(6,23 \pm 1,03)$ мкм², довжина синаптичного контакту – $(2,56 \pm 0,52)$ мкм, кількість складок засинаптичної перетинки – $8,6 \pm 0,69$, відстань між складками – $(0,35 \pm 0,002)$ мкм, довжина окремої складки –

$3,31 \pm 0,03$, кількість синаптичних пухирців – $172,69 \pm 16,03$.

При аналізі показників електроміографічного дослідження жувального м'яза ми відмітили, що за нормальних умов амплітуда біопотенціалів дії становить $(57,2 \pm 5,93)$ мкВ, а їхня частота – $(345,4 \pm 15,3)$ Гц. Час біоелектричної активності й час біоелектричного спокою правого і лівого жувальних м'язів становлять відповідно $(0,33 \pm 0,02)$ с та $(0,26 \pm 0,02)$ с. Коефіцієнт біоелектричної активності жувальних м'язів вираховували за відношенням часу біоелектричної активності до часу біоелектричного спокою, що складає $(12,9 \pm 0,33)$ %.

Кількісні дані, які представлені в таблиці, характеризують фізіологічне направлення розповсюдження М-хвилі. Загальний вигляд кривої М-відповіді в дистальному сегменті низькоамплітудний, тоді як середні значен-

ня показників F-хвилі вказують на високоамплітудні електроміографічні коливання, при цьому показник латентного періоду F-хвилі відповідає середнім значенням.

Подразнення МВ окремими поодинокими імпульсами приводить до утворення хвилі по-

тенціалу дії (ПД), амплітуда і тривалість якого представлені в таблиці.

Характеристика кривих амплітуди і тривалості постдеполяризаційної стадії вказують, що вони складають в середньому ($2,3 \pm 0,01$) мВ і ($198,2 \pm 12,84$) мс відповідно.

Таблиця. Показники ЕМГ-параметрів нервово-м'язового комплексу «трійчастий нерв–жувальний м'яз» у щура в нормі ($M \pm m$; $n=5$)

ШПНІ прокс. (м/с)	ШПНІ дист. (м/с)	AF (мкВ)	TF (мс)	А дист. М-відповіді (мВ)	Амплітуда ПД (мВ)	Тривалість ПД (мс)
$50,9 \pm 1,23$	$53,8 \pm 1,62$	$600,2 \pm 12,44$	$32,8 \pm 1,06$	$5,8 \pm 0,12$	$77,9 \pm 6,43$	$1,5 \pm 0,22$

Примітка. ШПНІ прокс. – швидкість проведення імпульсу в проксимальному сегменті аксона; ШПНІ дист. – швидкість проведення імпульсу в дистальному сегменті аксона; AF – амплітуда F-хвилі; TF – латентність F-хвилі; А дист. М-відповіді – амплітуда М-відповіді в дистальному сегменті; ПД – потенціал дії.

Висновки. У жувальних м'язах НМЗ мають свою синаптоархітектуру, яка характеризується спраутингом рухового аксона, довжиною і шириною АЗ, кількістю і величиною синаптичних складок, числом нейролемоцитів, особливістю будови субсинаптичної перетинки. Площа НМЗ становить ($385,74 \pm 16,63$) $\mu\text{м}^2$. Доскладу НМЗ входить декілька нейром'язових синапсів, які мають наступні кількісні ознаки: площа – ($6,23 \pm 1,03$) $\mu\text{м}^2$, довжина синаптичного контакту – ($2,56 \pm 0,52$) $\mu\text{м}$, кількість складок засинаптичної перетинки – $8,6 \pm 0,69$, відстань між складками – ($0,35 \pm 0,002$) $\mu\text{м}$, до-

вжина окремої складки – $3,31 \pm 0,03$, кількість синаптичних пухирців – $172,69 \pm 16,03$.

Електронейромиографічні дослідження жувальних м'язів вказують на правильний напрямок передачі нервового імпульсу, високу амплітудну характеристику передачі збудження та М-відповіді при одиночному стимуляційному подразненні.

Перспективи подальших досліджень. Перспективним є дослідження морфофункціональних змін НМЗ жувального м'яза при експериментальному цукровому діабеті, що дозволить розкрити патогенетичні механізми розвитку діабетичних міопатій.

Список літератури

- Ковригина Т. Р. Дифференцировка скелетных мышц голени в постнатальном периоде онтогенеза / Т. Р. Ковригина, В. И. Филимонов // Морфология. – 2010. – Т. 137, № 3. – С. 36–40.
- Коцюба Е. П. Ультраструктура межнейронных синапсов при термическом стрессе / Е. П. Коцюба // Морфология. – 2008. – Т. 133, № 2. – С. 66–68.
- Левицкий В. А. Состояние мышц языка и его периферического нервно-мышечного аппарата при экспериментальном стрептококковом сахарном диабете / В. А. Левицкий, О. В. Атаманчук // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2014. – Вып. 46. – С. 70–74.
- Мосендз Т. Гісто-ультраструктурна характеристика нервово-м'язових закінчень при терморобочій дегідратації організму / Т. Мосендз // Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна. – 2012. – Вип. 59. – С. 248–256.
- Мосендз Т. М. Морфофункціональна характеристика нервово-м'язових закінчень при корот-

котривалій загальної дегідратації організму / Т. М. Мосендз // Світ медицини та біології. – 2013. – № 3. – С. 66–68.

6. Огнетов С. Ю. Нейромышечный синапс: органная характеристика, возрастные преобразования (гистоэнзимохимическое исследование) / С. Ю. Огнетов, Н. Е. Сабельников, В. М. Чучков; под ред. проф. В. В. Шилкина. – Ижевск, 2002. – 163 с.

7. Соколова А. В. Структура нейромышечных соединений и дифференцировка поперечнополосатых мышечных волокон у мышей / А. В. Соколова, В. В. Зенин, В. М. Михайлов // Цитология. – 2010. – Т. 52, № 5. – С. 399–405.

8. Glutamate receptors localize postsynaptically at neuromuscular junctions in mice / T. A. Mays, J. L. Sanford, J. A. Rafael-Fortney [et al.] // Muscle and Nerve. – 2009. – Vol. 39, № 3. – P. 343–349.

9. Ogata K. Structural and quantitative analysis of Schwan-cells in the mouse nerve / K. Ogata, T. Kosaka // Neuroscience. – 2002. – Vol. 113, № 1. – P. 221–233.

References

1. Kovrigina, T.R. & Filimonov, V.I. (2010). Differentsirovka skeletnykh myshts goleni v postnatalnom periode ontogeneza [Differentiation of the skeletal muscles of the tibia in the postnatal period of ontogenesis]. *Morfologiya – Morphology*, (137), 3, 36-40 [in Russian].
2. Kotsyuba, Ye.P. (2008). Ultrastruktura mezhneyronnykh sinapsov pri termicheskom stresse [Ultrastructure of interneuronal synapses under thermal stress]. *Morfologiya – Morphology* (133), 2, 66-68 [in Russian].
3. Levitskiy, V. A. & Atamanchuk, O. V. (2014). Sostoyaniye myshts yazyka i yego perifericheskogo nervno-myshechnogo apparata pri eksperimentalnom streptozototsinovom sakharnom diabete [Condition of the muscles of the tongue and its peripheral neuromuscular apparatus under experimental streptozotocin diabetes mellitus]. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta – Journal of the Grodno State Medical University*. Epub. 46, 70-74 [in Russian].
4. Mosendz, T. (2012). Histo-ultrastrukturna kharakterystyka nervovo-miazovykh zakinchen pry termorobochiy dehidratatsii orhanizmu [Histo-ultrastructural characteristics of neuromuscular endings under the thermo-dehydration of the organism]. *Visnyk Lvivskoho un-tu. Seriya biolohichna – Visnyk of Lviv Univ. Biological series*. Epub. 59, 248-256 [in Ukrainian].
5. Mosendz, T.M. (2013). Morfo-funktsionalna kharakterystyka nervovo-miazovykh zakinchen pry korotkotryvaliy zahalni dehidratatsii orhanizmu [Morpho-functional characteristic of neuromuscular endings with short-term general dehydration of the body of the]. *Svit medytsyny ta biolohii – World of Medicine and Biology*, 3, 66-68 [in Ukrainian].
6. Ogetov, S.YU., Sabel'nikov, N.Ye. & Chuchkov, V.M. (Eds). Shilkina, V.V. (2002). Neyromyshechnyy sinaps: organnaya kharakteristika, vozrastnyye preobrazovaniya (gistoenzimokhimicheskoye issledovaniye) [Neuromuscular synapse: organ characteristic, age transformations (histoenzymochemical study)]. Izhevsk, 163 [in Russian].
7. Sokolova, A.V., Zenin, V.V. & Mikhaylov, V.M. (2010). Struktura neyromyshechnykh soyedineniy i differentsirovka poperechnopolosatykh myshechnykh volokon u myshey [Structure of neuromuscular junctions and differentiation of striated muscle fibers in mice]. *Tsitologiya – Cytology*, (52), 5, 399-405 [in Russian].
8. Mays, T.A., Sanford, J.L. & Rafael-Fortney J.A. (2009). Glutamate receptors localize postsynaptically at neuromuscular junctions in mice. *Muscle and Nerve*. (39), 3, 343–349.
9. Ogata, K. & Kosaka, T. (2002). Structural and quantitative analysis of Schwann-cells in the mouse nerve. *Neuroscience*. (113), 1, 221–233.

Отримано 16.06.17