

Ю.В.Цимбалюк<sup>1</sup>  
Т.А.Малишева<sup>1</sup>  
С.О.Руденко<sup>2</sup>  
В.В.Васлович<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ДУ «Інститут нейрохірургії імені акад. А.П.Ромоданова НАМН України», Київ  
<sup>2</sup> НМАПО імені П.Л.Шупика МОЗ України, Київ

**Ключові слова:** периферичні нерви, морфологічні зміни, електростимуляція, нейрорафія.

Надійшла: 28.11.2013  
Прийнята: 17.12.2013

УДК: 616.833-089.84-089:615.84:616-091

## МОРФОЛОГІЧНІ ЗМІНИ ПЕРИФЕРИЧНИХ НЕРВІВ ПІСЛЯ НЕЙРОРАФІЇ ТА ЕЛЕКТРОСТИМУЛЯЦІЇ

*Дослідження виконано в рамках науково-дослідної роботи «Вивчити вплив довготривалої електростимуляції на відновлення функції нервів» (номер державної реєстрації 0113U000291).*

**Реферат.** Метою стало вивчення морфологічних змін периферичних нервів після нейрорафії та під дією електростимуляції у різні терміни. При формуванні неврови без електростимуляції в ній виявлені малосудинні зони і надмірний розвиток сполучної тканини. Вивчення впливу довготривалої електростимуляції на регенерацію сідничного нерва після нейрорафії (у кролів) в експерименті виявило структурні зміни, що вказують на прискорення та відновлення умов фізіологічної будови нервових стовбурів. Встановлено позитивний векторний вплив електростимуляції (за якісними і кількісними критеріями) ознак регенерацій в нервових стовбурах дослідних груп, відносно групи порівняння. Регенераційні зміни при дії електростимуляції проявляються активним новоутворенням строми нервового стовбура (передусім клітин периневрію)|посудин| в ділянці неврови.

**Morphologia.** – 2013. – Т. 7, № 4. – С. 78-85.

© Ю.В.Цимбалюк, Т.А.Малишева, С.О.Руденко, В.В.Васлович, 2013

✉ yulia.tsim@ukr.net

**Tsybaliuk Y.V., Malisheva T.A., Rudenko S.O., Vaslovich V.V. Morphological changes in peripheral nerves after neurosuture and electrical stimulation.**

**ABSTRACT. Background.** Traumatic injuries of peripheral nerves leads to profound disability and 40%, while plexus injury or damage to multiple nerves-stage reaches 76%. Finding ways to increase the effectiveness of rehabilitation treatment of patients with peripheral nerve injury consequences, given the substantial progress microsurgical reconstructive surgery, imperative. **Objective.** The aim was to study the morphological changes of peripheral nerves after neurosuture under influence of electrical stimulation at different time periods. **Methods.** Morphological plain and special and histochemical methods were used. The features of blood supply of peripheral nerve reconstruction were quantified by neurovasal quotient. Qualitative and quantitative regeneration of the sciatic nerve of rabbits that were exposed to electrical stimulation and comparison groups were analyzed. **Results and Conclusion.** Excessive development of connective tissue and little amount of vascular zones were found within the formation of neuroma without electrical stimulation. Study of long-term electrical stimulation on sciatic nerve regeneration after neurosuture (in rabbits) showed structural changes, indicating a speed-up and restoration of physiological conditions of the structure of nerve trunks during the experiment. The positive impact of electrical vector (in both qualitative and quantitative criteria) on signs of regeneration in nerve trunks in research groups towards comparison group was stated. Regenerative changes in electrical stimulation occur as dynamic newgrowth of stroma of nerve trunk (especially peryneurium cells) in the area of neuroma. These studies prove compensatory-adaptive (reparative) effect of prolonged electrical stimulation with the recovery of functionally capable structures of nerve fibers (remyelo- and stromal-angioregeneration).

**Key words:** peripheral nerves, morphological changes, electrical stimulation, neurosuture.

### Citation:

Tsybaliuk YV, Malisheva TA, Rudenko SO, Vaslovich VV. [Morphological changes in peripheral nerves after neurosuture and electrical stimulation]. *Morphologia*. 2013;7(4):78-85. Ukrainian.

### Вступ

Травматичне ушкодження периферичних нервів призводить до глибокої інвалідності до 40%, а при ушкодженні сплетень чи одномоментному ушкодженні декількох нервів досягає 76%. Пошук напрямків підвищення ефективності відновного лікування хворих із наслідками ушкодження периферичних нервів, зважаючи на суттєві успіхи мікрохірургічних реконструктивних

втручань, не втрачає актуальності [1; 2]. Одним із відомих методів стимуляції регенерації нервів вважають електростимуляцію. Її ефективність підтверджена багатьма клінічними та численними експериментальними дослідженнями [3; 4; 5; 6]. Відомо, що в постнатальному періоді в нервовій системі діапазон співвідношень структурних елементів для забезпечення функціональної активності досягається «резервним»

фондом поліпотентних клітин. Питання окремих ланок патогенезу регенераторно-компенсаторних змін при впливі електростимуляції, а саме, строків, характеру і спрямованості цих змін в різні терміни після нейрорафії, вивчені недостатньо, що й обґрунтовує дане дослідження.

**Метою** стало вивчення морфологічних змін периферичних нервів після нейрорафії та під дією електростимуляції у різні терміни.

#### **Матеріал та методи**

Експеримент проведено на статевозрілих кролях-самцях породи «шиншила» масою тіла у середньому 3 кг., відповідно до існуючих стандартів й етичних норм. Виділені групи: основна – пересічення сідничного нерва та нейрорафія на рівні середньої третини лівого стегна з імплантацією електродів для довготривалої електростимуляції (10 кролів); група порівняння – аналогічне пересічення сідничного нерва та його зшивання без довготривалої електростимуляції (10 кролів). Мікрохірургічні маніпуляції виконували з застосуванням операційного мікроскопа (Zeiss, Jena). Після пересічення сідничного нерва та припинення кровотечі виконували епіневральний шов з атравматичною голкою (у другій групі) та імплантації двох пар електродів для довготривалої електростимуляції (ЕЛС) в основній групі. В післяопераційному періоді тваринам основної групи проводили довготривалу електростимуляцію сідничного нерва за допомогою імплантованих електродів та нейростимулятора НейСі-3М (впроваджувальної експериментальної лабораторії (ВЕЛ), Київ). Через один та два місяці тварин виводили з експерименту із використанням суміші розчинів ксилазину й кетаміну (у відповідних дозах).

Використані морфологічні оглядові і спеціальні та гістохімічні методи (імпрегнація за Кульчицьким, анти АТ з Ki-67, ГФКБ). Враховуючи гістофізіологію нервової тканини, оцінювали структурні зміни, враховуючи цілісність нервового стовбура як функціональної одиниці із оцінкою співвідношень структур нервово-гліусудинних компонентів рефлекторної дуги. Вивчені особливості перебудови кровопостачання периферичних нервів за даними кількісної оцінки нейровазальних співвідношень. Проаналізовані якісні і кількісні показники регенерації сідничних нервів кролів, що піддавалися дії ЕЛС і групи порівняння. В обох групах вивчалися: якісні показники регенерації (виразність дегенеративно-деструктивних і репаративно-відновних процесів) і кількісні показники. Ідентифікація процесів проводилась морфометрично на комп'ютерному аналізаторі зображень САІ-01АВН фірми „SELMI” (Україна) з використанням програмного забезпечення «Карра орто-electronics GmbH» (Німеччина) в 10 довільно взятих полях зору для кожного випадку при од-

наковому збільшенні ( $\times 800$ ). Підраховували щільність капілярів і мієлінізованих аксонів на  $100 \mu\text{m}^2$  нерва. Для статистичної обробки отриманих даних застосовували непараметричний критерій Манна-Уїтні для порівняння 2 незалежних груп з використанням пакету програми MS Excel 2003 [7] та STATISTICA 6.1. Нормальність розподілення даних визначали критерієм Шапіро-Уїлка. Відмінності вважали статистично значущими при  $p < 0,05$ .

#### **Результати та їх обговорення**

Для з'ясування закономірностей функціональних співвідношень, прояву патології нервових стовбурів при невролізі та їх компенсаторно-приспосовально-репараційних властивостей під експериментальним впливом ЕЛС проведено вивчення структурних змін нервових стовбурів у різні терміни електростимуляції у порівнянні без такого впливу. Регенерація периферичного нерва спрямована на забезпечення фізіологічної спроможності та відновлення напрямку регенерації нервових волокон, відновлення співвідношень проліферуючих клітин Шванна та стромальних сполучнотканинних елементів. Залежно від терміну поновлення цілості стовбура, величина невроми і особливості перебігу відновного процесу варіюють. Співвідношення різних клітин, що формують нервові стовбури ми враховували для коректної діагностики репаративно-компенсаторних процесів з визначенням кількісних показників мезенхімальних та нейрогенних складових. Сегментарна демієлінізація (мієлінопатія) проявляється фокальним пошкодженням мієлінових оболонок при збереженні аксонів. Безпосередньо в зону дефекту, який заповнений рихлою сполучною тканиною, проникають молоді фібробласти, розташовані ланцюжками, вздовж ходу колагенових пучків ендоневрію. Аксони проксимального відрізка нерва мають невеликі потовщення (колби росту), що є свідченням активної регенерації нервових волокон. Збільшується кількість тонкостінних судин, безсудинні зони не виявляються, проте у ці терміни (30 діб) зберігається підвищена проникність судинної стінки і утримуються явища набряку. Нервові волокна вступають в пухку ніжно волокнисту новоутворену сполучну тканину і формують неврому регенерації. Певна частка нервових волокон проникає в зону формування невроми, у напрямку новоутворення судин. Формується своєрідна гістоархітектоніка тканини: ангіо- та мієло-малюнок посттравматичної невроми. Істотна роль, у забезпеченні енергопотреб трансформованої зони нервового стовбура належить спроможності проникності гематоенцефалічного бар'єру. Посттравматична неврома складається зі скупчень колб росту, спіралей і осьових циліндрів, що виростають з перерізаного нервового стовбура, мають різну спрямованість і хаотичне розміщення. Починається каріокінетичний поділ і

гіперплазія клітин Шванна, що на даному етапі грають роль фагоцитів, поглинаючих продукти розпаду мієлінової оболонки і осьового циліндра. Загиблій структурі нервового волокна фагоцитуються і спрямовані до судин периневрію. На місці волокна залишаються порожні шванівські футляри - «гільзи», в які згодом проростають регенеруючі осьові циліндри. Аксонопатія обумовлена дисметаболічними порушеннями в відростках нейронів, що призводять до дистального розпаду аксонів. Після нейрорафії і механічної травми сідничого нерва **без додаткового** стимулюючого впливу виявлено пери- і ендо- і епіневральний набряк і дистрофічні зміни різного ступеня виразності, явища активації гістіоцитів і фібробластів з подальшим формуванням ендоневрального рубця і/або ендоневрального фіброзу. В частині нервових волокон в ділянці травми на кінцях наявні значні потовщення — так звані «колби ретракції». Визначається виражена дисхромія (гіпо- і рідше – гіперімпрегнація осьових циліндрів), локальне і загальне набухання та розволокнення в цих ділянках пучків нейрофібрил. Певна частина осьових циліндрів, мієлінізованих нервових волокон знаходиться в стані деструкції – так звана висхідна дегенерація. Аксони формують невеликі колбоподібні здуття, які з'єднуються тонкими перетинками. У дегенеруючих нервових волокнах – істотно збільшення число клітин Шванна, останні набрякли в них видно численні аргірофільні гранули. Новоутворені нервові волокна хаотично спрямовані.

Через **один місяць** утримується дистрофія тканини, із зменшенням різноспрямованості розташування новоутворених волокон, що локально формують подовжений веретеноподібний клубок, із значною кількістю колб росту і спіралей. Відмічено збільшення кількості клітин Шванна і їх гіперплазія: вони збільшені в розмірах, в ядрах підвищена кількість ядерців (до 3-5). Формуються бюнгнерівські стрічки, осьові циліндри формують численні набухання різних розмірів. Відмічено порушення внутрішньостовбурової ангіо- і мієлоархітектоніки (рис.1), ангіодистонія й перивазальна лейкоцитарна інфільтрація (рис. 2).

Навколо нервових елементів відзначається велика кількість сполучної тканини ендо- та периневрію. Виявлено поліморфноклітинні запальні інфільтрати, проте у терміні одного місяця електростимуляції у запальному інфільтраті переважають еозинофіли, що імовірно свідчить про аутосенсебілізацію та резорбцію продуктів мієліну (рис. 2). У перифокальній зоні, поряд із описаними вище змінами виявлено ознаки набряку сполучної тканини, в епі- і периневрії – периваскулярні інфільтрати (лімфоцити, макрофаги, нейтрофіли із переважанням еозинофілів), доккола судин значна кількість лаброцитів з явищами дегрануляції та метакромазії – ознаками їх функціональної активації.

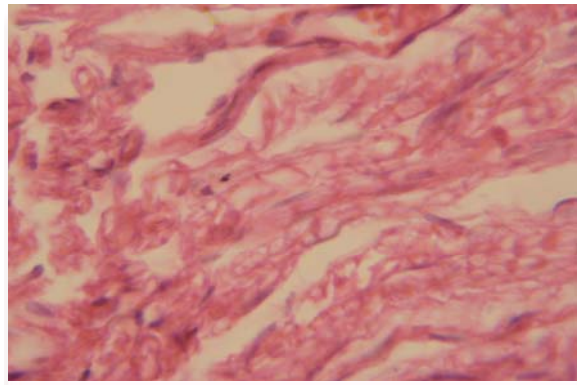


Рис. 1. Основна група, ЕЛС один місяць. Набряк та дрібні локуси демієлінізації при поновленні спрямованості і напрямку нервових стовбурів. Гематоксилін-еозин.  $\times 200$ .

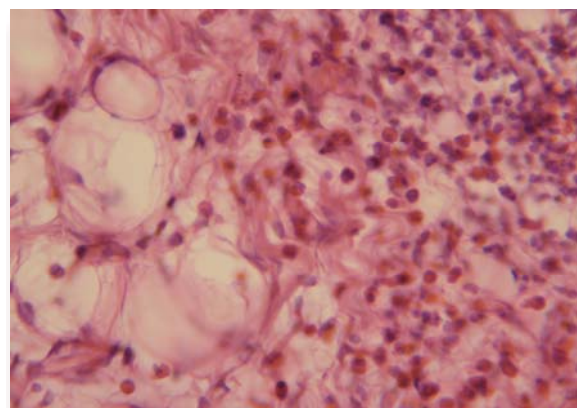


Рис. 2. Основна група, ЕЛС один місяць. Місце нейрорафії. Міксоматоз та масивна лейкоцитарна інфільтрація зони із значною кількістю еозинофілів Гематоксилін-еозин.  $\times 200$ .

Периневрій в препаратах групи порівняння (без електростимуляції) складався з кількох шарів плоских клітин – нейротелію, між якими визначалися поодинокі фібробласти і колагенові волокна. Клітини нейротелію мали суцільну базальну мембрану. Співвідношення кровоносних судин і мієлінізованих волокон в групі порівняння – на всіх рівнях зрізів нерва складає 1:2,2. На поперечному зрізі в групі порівняння середня кількість капілярів в терміні дослідження 1 і 2 місяці відповідно складає 38 і 41 на  $100 \mu\text{m}^2$ , а в нервових волокнах після тривалої електростимуляції протягом одного та двох місяців в середньому досягає 52 і 58 на  $100 \mu\text{m}^2$ . Морфометрія нейровазальних співвідношень в групі порівняння в ці ж терміни склала відповідно 38: 82 і 41: 89 на відміну від в досліджуваних (основних) груп, де ці показники становили - 52: 121 і 58: 125, тобто в 1,4 рази більше, ніж у відповідних групах порівняння. При цьому капіляри були розподілені рівномірно.

Вивчення стану власне нервових волокон у цій групі засвідчило, що в багатьох з них знач-

ними є явища розрихлення і ознаки валерівської дистрофії (набухання). У більшості осьових циліндрів виявляються ознаки висхідної дегенерації. В зоні накладення шва і безпосередньої травми сполучна тканина проксимального відрізка просичена фібрином, інфільтрована поліморфноклітинними інфільтратами, зосередженими навколо матеріалу швів. Дефект заповнений фібрином, гістіоцити і макрофаги утворюють локальні скупчення. Формування колб ретракції відмічено лише в окремих нервових фасцикулах (рис. 3). У більшості нервових волокон визначаються явища різко вираженого набряку, дегенерації і розпаду осьових циліндрів, внаслідок чого в окремих з них наявні порожні шванівські гільзи (рис. 4).

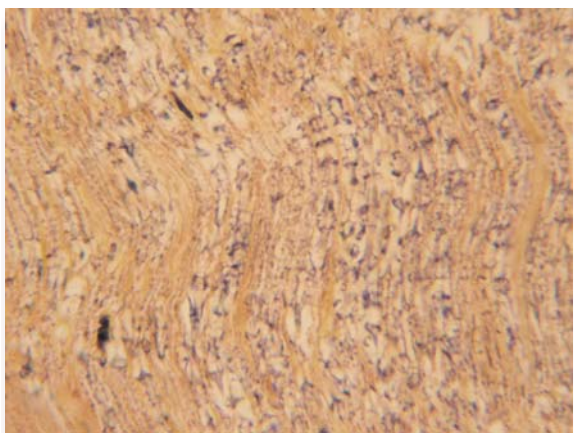


Рис. 3. Основна група, один місяць ЕЛС. Формування колб ретракції в окремих нервових фасцикулах. Гематоксилін Кульчицького.  $\times 100$ .

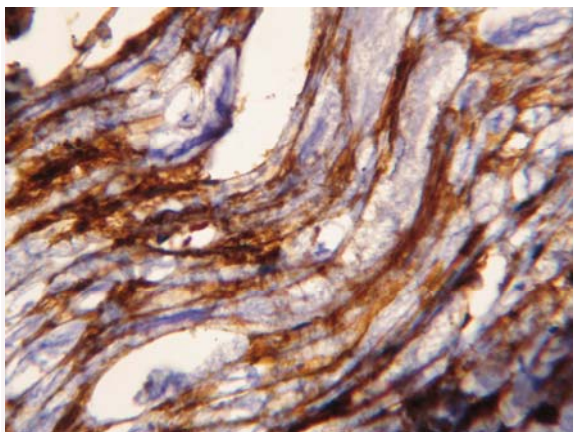


Рис. 4. Основна група, один місяць ЕЛС. Колби ретракції лише в окремих нервових фасцикулах. Експресія ГФКБ.  $\times 800$ .

У пери- і ендоневрії після нейрорафії визначається збільшення числа фіброblastів в периваскулярній сполучній тканині із концентрацією довкола мікроелектроду (рис. 6). Клітини Шванна з ознаками фокальної дистрофії різного ступеня вираженості. Набухання, гідропічна дистрофія із вакуолізацією цитоплазми осьових ци-

ліндрів із помірним збільшенням діаметру волокон (рис 5). Набряклі й гідропічно змінені структури епі-, ендо- і епіневрію. Ступінь їх корелює із відстанню від місця дії (визначаються у всіх ділянках нерва прилеглих до місця зшивання і дистальних зон). Визначаються ознаки порушення проникності судин і будови нервових волокон в периферичному відрізьку нерва.

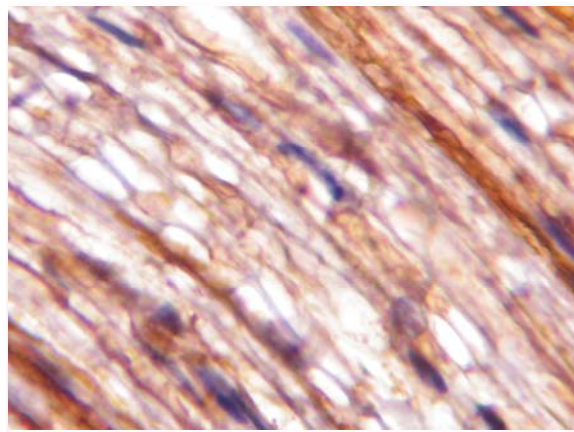


Рис. 5. Один місяць. Основна група. Виразений набряк, дегенерація і розпад осьових циліндрів. Окремі нервові волокна представлені порожніми шванівськими гільзами. Експресія ГФКБ.  $\times 800$ .

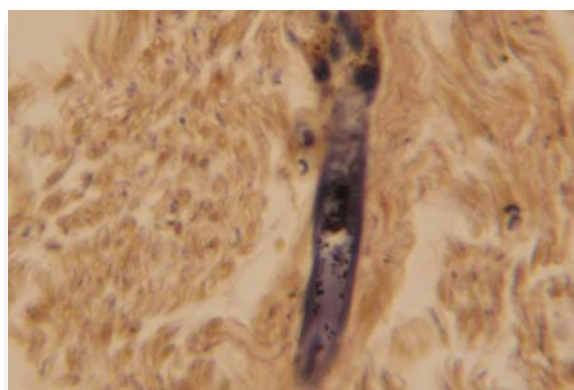


Рис. 6. 2 місяці. Основна група. Фрагменти електроду. Утримуються ознаки помірного набряку. Відсутнє активне формування сполучно-тканинного рубця. Гематоксилін-пікрофуксин.  $\times 200$ .

Через два місяці впливу прямої електростимуляції визначається зменшення порушення тканинної гісто- і мієло- і ангіоархітектоніки. У більшості нервових волокон визначаються явища зменшення набряку, більша кількість колб росту і спіралей серед ніжно волокнистої міксоматозної сполучної тканини. Сполучна тканина визначається у значній кількості, але ступінь її диференціювання низький, має місце міксоматоз, в ній визначається невелике число колагенових пучків, значна кількість фіброblastів, макрофагів, лейкоцитів. В окремих ділянках невроми спостерігається наближення до типової гістоархітектоніки: впорядковане розташування фібро-

ластичного диферону вздовж аксонів нерва. У клітинні тяжі проникають осьові циліндри, які, в переважній більшості, мають спрямований паралельний хід (рис. 7).

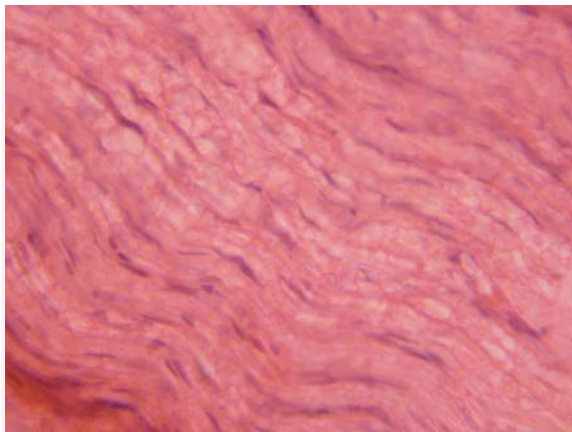


Рис. 7. Основна група, два місяці. Поновлення спрямованості і напрямку нервових стовбурів. Поодинокі ліпидовмісні вакуолі. Гематоксилін-еозин.  $\times 200$ .

У препаратах зрізів нерва після дії електростимуляції протягом двох місяців на ділянках нижче за місце зшивання виявлено достовірні процеси активної регенерації нервових волокон. У нервах формуються компактні тяжі, що складаються з проліферуючих клітин Шванна (рис. 8). Ядра цих клітин витягнуті і гіперхромні.

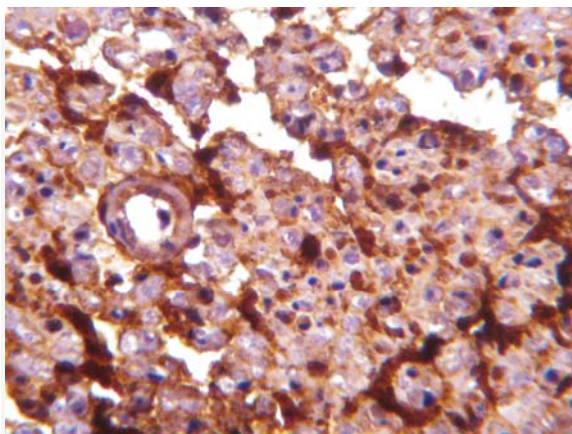


Рис. 8. Основна група, два місяці. Активна проліферація клітин ендоневру і периневру. Імуногістохімічне виявлення ядер проліферуючих клітин (анти AT Ki-67).  $\times 200$ .

Визначаються як ознаки підвищеної проліферативної активності при оглядових забарвленнях (фігури каріокінезу, мітози і амітози), так і активна імуноекспресія при специфічних імуногістохімічних реакціях (Ki-67 (MIB1)). У макрофагах ендоневру виявляються ознаки резорбції продуктів розпаду мієліну. Своєрідним є загальне потовщення переважної більшості осьових

циліндрів.

В усіх оболонках нерва наявна невелика кількість нейтрофілів, макрофагів, лімфоцитів і молодих форм інших клітин мезенхімального диферону. В більшості спостережень молоді фібробласти і мастоцити розташовані попарно, формуючи кластерні структури (рис. 9).

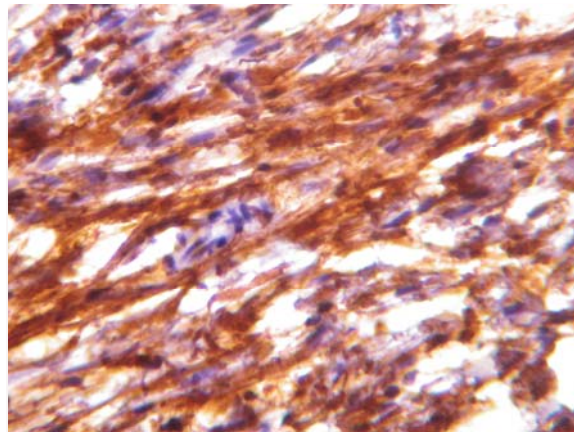


Рис. 9. Основна група, два місяці. Активний фібриногенез. Фокальне збільшення числа фібробластів в периваскулярній сполучній тканині. Імуногістохімічне виявлення ГФКБ.  $\times 400$ .

Кровопостачання сполучної тканини характеризується нерівномірністю. Поряд із рясно васкуляризованими ділянками, визначаються малосудинні зони. Регенеруючі осьові циліндри в більшій, ніж раніше кількості, проникають з ділянок рубця в периферичний відрізок нерва.

При тривалій дії електростимуляції (2 місяці) відбувається інтенсифікація процесів регенерації нервових волокон. Фібробласти базофільні, з 4-6 ядерцями, з мітозами. Капіляри розширені із явищами краєвого стояння лейкоцитів, капіляри з набряклим ендотелієм. Вздовж них — молоді форми фібробластів. Виявлені ознаки формування молодої грануляційної тканини, що проникає у фібрин. Збільшується кількість молодих аксонів, які оснащені колбами наростання різної форми і розмірів (рис. 9). Нервові волокна односпрямовані і формують зону регенерації. Частина нервових волокон проникає в зону формування невроми разом з новоутвореними судинами. Число макрофагів та новоутворених волокон в ендоневру більше, ніж в групі порівняння (рис. 10).

Ангіоархітектоніка нервового стовбура в умовах експерименту набуває тихого малюнку судинного русла інтактного нерва. Аргірофільний каркас венул і капілярів чітко візуалізується. Розміри ендотеліоцитів і діаметр капілярів майже відповідають таким в нормі. У периваскулярних зонах запальних змін не виявлено. Спостерігається інтенсивне утворення тонких преколагенових і колагенових волокон, що створюють пучки

та активне новоутворення кровоносних судин з «соковитим» ендотелієм. Артеріоли і дрібні артерії епіневрія – звиті, венули і вени – розширені. Судини утворюють анастомози. У ендотелії капілярів, і міоцитах середньої оболонки артерій і артеріол іноді спостерігаються скупчення гранул глікогену. В складі нервових волокон збільшується кількість клітин Шванна.

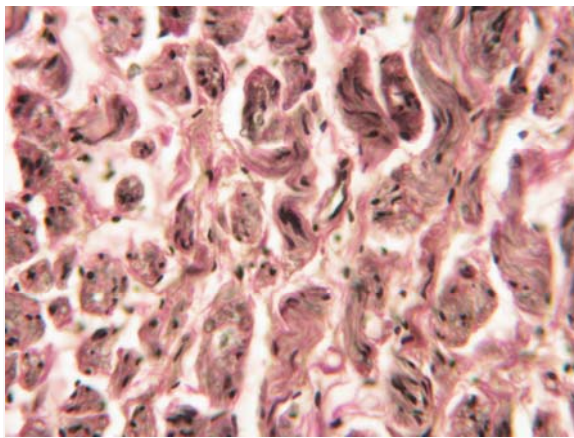


Рис. 10. Основна група, два місяці. В пери- і ендоневрії після (потім) нейрорафії визначається збільшення числа фіброblastів в периваскулярній сполучній тканині. Гематоксилін – пікрофуксин.  $\times 200$ .

При вивченні щільності регенерації на поперечних зрізах нервових стовбурів (зона 2) нижче за місце їх зшивання виявлено, що число нервових волокон в зрізах основної групи (дія ЕЛС) відносно групи порівняння збільшується. На поперечних зрізах дистальніше місця зшивання в групі порівняння число нервових волокон зменшено, а в препаратах тих нервів, що піддалися дії двомісячній електростимуляції, кількість нервових волокон в 1,4 рази більша (89 та 125 відповідно).

Новоутворені капіляри і нервові волокна проявляють тенденцію до спрямованого росту,

разом з фіброblastичними елементами орієнтованими вздовж осі нерва. З утворенням стромальної основи неврони впорядковане розташування нервових і судинних елементів змінюється. Сполучна тканина пронизана численними судинами, які мають ознаки диференціювання мікроциркуляторної ланки. У окремих ділянках регенеруючого епіневрія сформовані усі ланки мікроциркуляторного русла.

Отже загальна будова посттравматичної неврони в зоні нейрорафії після застосування електростимуляції характеризується упорядкованим розташуванням нервових і судинних елементів та їх фізіологічнішим відносно групи порівняння співвідношенням (відновлення диференціювання рухової одиниці). Структурні зміни в зоні нейрорафії при дії електростимуляції (розроблена нами методика застосування), свідчать про те, що цей вплив сприяє впорядкованості орієнтації всіх компонентів нервового стовбура, що можна вважати кардинальною ознакою їх повноцінної фізіологічної регенерації. Мезенхімальне оточення неврони пов'язано анастомозами із судинами параневральної зони. Судини епіневрія забезпечують реваскуляризацію неврони.

У невромах тварин під дією ЕЛС диференціювання сполучної тканини рівномірніше, в ній не визначаються щільні ділянки і малосудинні зони. Новоутворені аксони проникають в периферійний відрізок. Вони не утворюють затриманих колб росту і колатералей, а розміщуються направлено і впорядковано (векторно). Рівномірне диференціювання сполучної тканини невром відбувається в більш ранні терміни, що свідчить про доцільність застосування електростимуляції. Електростимуляція сприяє повноціннішій і фізіологічнішій регенерації нервових волокон, оскільки знижується ступінь фіброзного рубцювання в гліо-мезо-нейральному рубці. Дані кількісних параметрів регенерації сідничого нерва у тварин дослідної групи наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри нейрорафії нерва обох груп дії електростимуляції

Група тварин	Щільність аксонів в зоні 3 (на 100 мкм <sup>2</sup> )	Щільність капілярів в зоні 3 (на 100 мкм <sup>2</sup> )
Неврома після нейрорафії (група порівняння) терміном один місяць	82 (79;86)	38 (33;45)
Неврома після нейрорафії (група порівняння) терміном два місяці	89 (83;93)	41 (37;46)
Неврома регенерації терміном один місяць з подальшою дією ЕЛС терміном один місяць	121 (117;126) *	52 (48;54) *
Неврома регенерації терміном два місяці з подальшою дією ЕЛС	125 (22;129)*	58 (54;61) *

\*статистично значуще відносно відповідної групи порівняння ( $p < 0,05$ )

#### Висновки

При формуванні неврони без електростиму-

ляції в ній виявлені малосудинні зони і надмірний розвиток сполучної тканини. Вивчення

впливу довготривалої електростимуляції на регенерацію сідничного нерва після нейрорафії (у кролів) в експерименті виявило структурні зміни, що вказують на прискорення та відновлення умов фізіологічної будови нервових стовбурів. Встановлено позитивний векторний вплив електростимуляції (за якісними і кількісними критеріями) ознак регенерацій в нервових стовбурах дослідних груп, відносно групи порівняння.

Регенераційні зміни при дії електростимуляції проявляються активним новоутворенням строми нервового стовбура (передусім клітин периневрїю) в ділянці неврони. Відновлення невральних та мезенхімальних структур та їх клітинні співвідношення в ділянці неврони, корелюють з термінами дії електростимуляції. Під дією електростимуляції встановлено активний міксоматоз строми із рівномірною васкуляризацією і реневротизацією нерву за рахунок високої активності структур ендо- і периневрїя.

Проведені дослідження доводять компенса-

торно-приспосувальний (репаративний) вплив тривалої електростимуляції із відновленням функціонально-спроможної структури нервових волокон (рем'єло- та стромально – ангіорегенерацію).

Лікування травм периферійних нервів в клініці потребує застосування різноманітних методів стимуляції. Проведені дослідження показали доцільність застосування в післяопераційному періоді прямої тривалої електростимуляції. Остання впливає на міжканинні взаємодії в ділянці регенераційної неврони, призводить до адекватної реалізації відновних властивостей нервових волокон і зниження гальмівних впливів сполучної тканини.

**Перспективи подальших досліджень** пов'язані з визначенням структурно-функціональних зв'язків між компенсаторно-приспосувальним впливом тривалої електростимуляції та відновленням функціонально-спроможної структури нервових волокон.

#### Літературні джерела References

1. Anatomical basis of the risk of radial nerve injury related to the technique of external fixation applied to the distal humerus / H. Clement, W. Pichler, N. P. Tesch [et al.] // *Surg. Radiol. Anat.* – 2010. – Vol. 32, № 3. – P. 221-224.

Clement H, Pichler W, Tesch NP. Anatomical basis of the risk of radial nerve injury related to the technique of external fixation applied to the distal humerus. *Surg Radiol Anat.* 2010;32(3):221-224.

2. Avoiding iatrogenic radial nerve injury during humeral fracture surgery: a modified approach to the distal humerus / A. O. Yildirim, O. F. Oken, V. S. Unal [et al.] // *Acta Orthop. Traumatol. Turc.* – 2012. – Vol. 46, № 1. – P. 8-12.

Yildirim AO, Oken OF, Unal VS. Avoiding iatrogenic radial nerve injury during humeral fracture surgery: a modified approach to the distal humerus. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2012;46(1):8-12.

3. Шуляка Г. К. Основы электростимуляции (вводный курс): монография / Г. К. Шуляка. – К.: Варта, 2006. – 212 с.

Shulyaka GK. [Fundamentals of electrical stimulation (introductory course)]. Kiev: Varta; 2006. 212 p. Russian.

4. Alrashdan M. S. Thirty minutes of low intensity electrical stimulation promotes nerve regeneration after sciatic nerve crush injury in a rat model / M. S. Alrashdan, J. C. Park, M. A. Sung // *Acta Neurol. Belg.* – 2010. – Vol. 110, № 2. – P.

168-179.

Alrashdan MS, Park JC, Sung MA. Thirty minutes of low intensity electrical stimulation promotes nerve regeneration after sciatic nerve crush injury in a rat model. *Acta Neurol Belg.* 2010;110(2):168-179.

5. Wan L. D. Electrical stimulation enhanced remyelination of injured sciatic nerves by increasing neurotrophins / L. D. Wan, R. Xia, W. L. Ding // *Neuroscience.* – 2010. – Vol. 169, № 3. – P. 1029-1038.

Wan LD, Xia R, Ding WL. Electrical stimulation enhanced remyelination of injured sciatic nerves by increasing neurotrophins. *Neuroscience.* 2010;169(3):1029-1038.

6. Электротерапия и электропунктура в медицинской реабилитации, физиотерапии и курортологии / И. З. Самосюк, Н. В. Чухраев, Н. И. Самосюк, Е. Н. Чухраева. – К., 2012. – 291 с.

Samosyuk IZ, Chukhray NV, Samosyuk NI, Chuhraeva EN. [Electrotherapy and electropuncture in Medical Rehabilitation, Physiotherapy and Health Resort]. Kiev: NII Medinteth; 2012. 291 p. Russian.

7. Лапач С. Н. Статистические методы в медуко-биологических исследованиях с использованием Exsel / С. Н. Лапач, А. В. Чубенко, Н. Н. Бабич. – К.: МОРИОН, 2000. – 320 с.

Lapach SN, Chubenko AV, Babich NN. [Statistical methods in biomedical research using Exsel]. Kiev: MORION; 2000. 320 p. Russian.

**Цымбалюк Ю.В., Малышева Т.А., Руденко С.О., Васлович В.В. Морфологические изменения периферических нервов после нейрорафии и электростимуляции.**

**Реферат.** Целью стало изучение морфологических изменений периферических нервов после нейрорафии под воздействием электростимуляции в разные сроки. При формировании неврони без электростимуляции в ней выявляли малососудистые зоны и избыточное развитие соединительной ткани. При

изучении воздействия длительной электростимуляции на регенерацию седалищного нерва после нейрографии (у кроликов) в эксперименте выявили структурные изменения, указывающие на ускорение физиологического восстановления нервных стволов. Установлено позитивное векторное воздействие электростимуляции (по количественным и качественным критериям) признаков регенерации в нервных стволах исследуемых групп, относительно групп сравнения. Регенерационные изменения при воздействии электростимуляции проявляются активным новообразованием стромы нервного ствола (в первую очередь клеток периневрия) в области невротомы.

**Ключевые слова:** периферические нервы, морфологические изменения, электростимуляция, нейрография.