

Ukrainian Neurosurgical Journal. 2025;31(1):41-54  
doi: 10.25305/unj.319903

## Функціональні та морфологічні показники стану сідничого нерва щура у віддалений період після його травми: кореляційний аналіз

З.К. Меліков<sup>1,2</sup>, О.А. Рибачук<sup>3,4</sup>, С.І. Савосько<sup>5</sup>, В.В. Ліходієвський<sup>6</sup>, Ю.Г. Серьожкін<sup>7</sup>, А.І. Клімовська<sup>8</sup>, В.В. Медведєв<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Кафедра нейрохірургії, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця; Київ, Україна

<sup>2</sup> Відділення відновлювальної нейрохірургії, Інститут нейрохірургії імені акад. А.П. Ромоданова НАМН України, Київ, Україна

<sup>3</sup> Відділ фізико-хімічної біології клітинних мембран, Інститут фізіології імені О.О. Богомольця НАН України, Київ, Україна

<sup>4</sup> Лабораторія клітинних та тканинних культур, Інститут генетичної та регенеративної медицини, ННЦ «Інститут кардіології, клінічної та регенеративної медицини імені М.Д. Стражеска НАМН України», Київ, Україна

<sup>5</sup> Кафедра гістології та ембріології, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ, Україна

<sup>6</sup> Кафедра патофізіології, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ, Україна

<sup>7</sup> Відділ сенсорних систем, Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

<sup>8</sup> Відділ іонно-променевої інженерії і структурного аналізу, Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

Надійшла до редакції 31.12.2024  
Прийнята до публікації 27.01.2025

### Адреса для листування:

Меліков Зія Каміл огли, Кафедра нейрохірургії, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, вул. Платона Майбороди, 32, Київ, 04050, Україна, e-mail: melikov\_ziya@ukr.net

Травма периферичного нерва (ТПН) — типова патологія воєнного часу, яка значно ускладнює перебіг і лікування ушкоджень кінцівок. Відновне лікування ТПН потребує суттєвого вдосконалення, що неможливе поза методологією експериментальної нейрохірургії. Найчастіше використовуваною моделлю ТПН є перетин сідничого нерва щура з подальшим спостереженням протягом 9–12 тиж і верифікацією результатів функціонально-анатомічним, електронейрографічним і морфометричним методами. Ключове патофізіологічне питання — існування кореляції між результатами цих трьох класів дослідницьких засобів залишається предметом тривалої дискусії.

**Мета:** визначити кореляцію між індивідуальними значеннями функціонального індексу сідничого нерва (sciatic functional index (SFI)), амплітуди й латентності М-відповіді, а також щільності нервових волокон травмованого сідничого нерва через 12 тиж після його перетину та нейрорафії.

**Матеріали і методи.** Роботу виконано на дорослих білих безпородних щурах-самцях, відібраних із проаналізованих у попередній публікації груп, яким проведено електронейрографічне і морфологічне дослідження. У несправжньооперованих тварин виконували хірургічний доступ до сідничого нерва (Sham; n=6), у тварин вибірки Sect (n=7) перетинали сідничий нерв у середній третині, у тварин вибірки Raph (n=6) кукси перетнутого сідничого нерва відразу з'єднували за типом торець-у-торець кількома вузловими швами. Через 12 тиж після хірургічного втручання визначали SFI за формулою Bain–Maskinnon–Hunter, амплітуду та латентний період М-відповіді, а також спеціально розраховували щільність нервових волокон у трьох основних частинах стовбура сідничого нерва на імпрегнованих азотнокислим сріблом поздовжніх зрізах (Sham — n=4, Sect — n=7, Raph — n=6). Опрацювання кількісних даних і визначення статистичних зв'язків проводили засобами математичної статистики.

**Результати.** На тлі значущих відмінностей між середніми величинами SFI усіх вибірок статистично значущу різницю виявили також для показників амплітуди М-відповіді при трьох парах порівняння вибірок між собою, латентного періоду М-відповіді (при порівнянні значень вибірок Sham і Sect, Sham та Raph) та щільності нервових волокон (для проксимальної частини, центральної частини чи неврони й дистальної частини нерва при трьох парах порівняння). У кожній вибірці статистично значущу кореляцію (сильну негативну) виявлено лише між індивідуальними значеннями латентного періоду М-відповіді та щільності нервових волокон у дистальній частині нерва у вибірці Raph. При об'єднанні результатів трьох вибірок в одну когорту статистично значущу кореляцію виявлено для індивідуальних значень амплітуди та латентного періоду М-відповіді, SFI і амплітуди М-відповіді, SFI та латентного періоду М-відповіді, SFI і щільності нервових волокон у трьох досліджуваних частинах нерва, амплітуди М-відповіді та щільності нервових волокон у трьох досліджуваних частинах нерва, а також для латентного періоду М-відповіді й щільності нервових волокон у центральній частині нерва чи невромі.

**Висновки.** Між функціональним індексом, амплітудою та латентним періодом М-відповіді й щільністю нервових волокон сідничого нерва існує кореляція, статистичну значущість якої можна виявити лише при достатній кількості спостережень із широким діапазоном індивідуальних значень згаданих параметрів.

**Ключові слова:** травма периферичного нерва; нейрорафія; функціональний індекс сідничого нерва; амплітуда М-відповіді; латентний період М-відповіді; щільність нервових волокон; кореляція

Copyright © 2025 З.К. Меліков, О.А. Рибачук, С.І. Савосько, В.В. Ліходієвський, Ю.Г. Серьожкін, А.І. Клімовська, В.В. Медведєв



Робота опублікована під ліцензією Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

### Вступ

Травма периферичного нерва (ТПН) з очевидних причин вважається найпростішою та прогностично сприятливою порівняно з іншими видами травми нервової системи. Однак вона також характеризується тривалими, нерідко пожиттєвими розладами рухової функції, чутливості та хронічним болем [1–5]. У мирний час захворюваність на цей вид патології невелика [6–9], але на тлі збройних конфліктів, імовірно, збільшується, що зумовлено високою частотою бойових травм кінцівок [10, 11], за яких ТПН зазвичай поєднана з травмами магістральних судин і трубчастих кісток [12–16]. У таких випадках низка чинників істотно погіршують результати лікування ТПН [10, 17, 18].

Низка чинників визначають суттєвий соціально-економічний вплив ТПН: 1) більшість осіб, які отримують ТПН, – чоловіки основного працездатного віку [6–9, 19, 13], 2) найчастішими є ураження нервів верхніх кінцівок, зокрема зап'ястка та кисті [6–8, 13, 19, 20], 3) базове лікування ТПН у більшості випадків хірургічне [3–5, 7–9, 21], 4) у подальшому такі пацієнти потребують тривалого реабілітаційного лікування [5]. Усе це спричинює значні фінансові витрати [6, 20, 22–24].

Незважаючи на здатність нервової системи до істотного самовідновлення на тлі ТПН і прогрес у лікуванні цієї патології [4, 21, 25–30], його ефективність залишається обмеженою [4, 31]. Це пояснюється декількома причинами: відсутністю задовільних умов для росту нервових волокон крізь зону травми [28], загибеллю нейронів, волокна яких були пошкоджені під час ТПН, зокрема нейронів мозку [32–34], обмеженістю компенсаторної пластичності нейронних мереж мозку [35–37], швидкою атрофією м'язів, позбавлених іннервації внаслідок ТПН [31, 38–40]. Отже, результати лікування ТПН можна було б поліпшити шляхом оптимізації умов для росту нервових волокон у зоні ТПН [28, 41], підтримання життєздатності травмованих нейронів [32–34] і стимулювання пластичності їхніх мереж [35–37], а також шляхом обмеження атрофії денервованих м'язів [31, 40].

Розробка будь-якого із зазначених напрямів неможлива поза методологією експериментальної нейрохірургії. Оптимальний дизайн дослідження ТПН зазвичай передбачає моделювання перетину сідничого нерва щура із його негайним шовним з'єднанням, подальше спостереження протягом 9–12 тиж та верифікацію результату за допомогою клініко-функціональних тестів, електронейроміографічно та морфометрично [42]. Імовірно, найпоширенішим комплексним інструментом оцінки рухової спроможності та макроскопічної морфології паретичної кінцівки є функціональний індекс сідничого нерва (sciatic functional index (SFI)) [43]. Нині інформація щодо кореляції результатів цих трьох класів дослідницьких інструментів при травмі сідничого нерва в умовах експерименту залишається суперечливою [44–48].

**Мета:** визначити кореляцію між індивідуальними значеннями SFI, амплітуди й латентності М-відповіді, а також щільності нервових волокон травмованого

сідничого нерва через 12 тиж після його перетину та нейрографії.

### Матеріали і методи

#### Експериментальні тварини та експериментальні групи

Дослідження виконано на 19 білих безпородних щурах-самцях віком 4–6 міс масою 280–380 г виводка віварію Інституту нейрохірургії імені акад. А.П. Ромоданова НАМН України, утримуваних у звичних умовах. Дизайн дослідження схвалений комісією з питань біоетичної експертизи та етики наукових досліджень при Національному медичному університеті імені О.О. Богомольця (протокол № 155 від 31.01.2022 р.) і комітетом із біоетики Інституту нейрохірургії імені акад. А.П. Ромоданова НАМН України (протокол № 39 від 18.05.2022 р.). Тварин вибрано із загальної сукупності (n=42), результати дослідження SFI якої наведено в попередній публікації [49].

Сформовано три вибірки: 1) несправжньооперованих (sham-operated) тварин, яким виконували хірургічний доступ до сідничого нерва (Sham; n=6), 2) тварин, яким виконували повний перетин (sectio) сідничого нерва в середній третині (Sect; n=7), 3) тварин, яким відразу після повного перетину сідничого нерва виконували шовне з'єднання (neurorrhaphia, або neurographia) його куку (Raph; n=6).

#### Моделювання ТПН

Детально техніку хірургічних втручань в експериментальних групах описано в попередній публікації [49]. Втручання здійснювали на тлі загальної анестезії та глибокої міорелаксації тварини, забезпечуваної внутрішньоочеревинним введенням суміші розчинів ксилазину гідрохлориду (15 мг/кг, «Biwet», Польща) і кетаміну гідрохлориду (75 мг/кг, «Фармак», Україна), у помірних аспептичних умовах. У зафіксованій черевцем донизу тварини формували доступ до стовбура сідничого нерва через лінійний розріз шкіри вздовж зовнішньої поверхні стегнової кістки та через розтин сухожилка короткої головки двоголового м'яза стегна. Після виділення цільного стовбура сідничого нерва у тварин вибірки Sham втручання завершували. У тварин інших двох вибірок виділений стовбур перетинали. У щурів вибірки Raph куку з'єднували за типом торець-у-торець 3–6 епіневральними вузловими швами монофіламентними нитками 8,0–10,0 («Eticon», США) під 14-разовим збільшенням. У всіх групах хірургічну рану закривали двома шарами вузлових швів, рану шкіри обробляли розчином повідон-йоду (Бетадин, «EGIS», Угорщина). Як системну протибольову та протизапальну терапію в задню шийну ділянку підшкірно вводили розчин біциліну-5 («Артеріум», Україна) у дозі 1 млн Од/кг живої маси, а внутрішньоочеревинно — розчин дексаметазону («KRKA», Словенія) у дозі 6 мг/кг живої маси. До відновлення задовільної поведінкової активності тварин утримували при підвищеній температурі повітря, у подальшому — у клітках по 3–6 особини.

#### Критерії виключення

Тварин з ознаками гнійно-запальних ускладнень і трофічних виразок паретичної кінцівки чи прилеглих

Стаття містить рисунки, які відображаються в друкованій версії у відтинках сірого, в електронній — у кольорі.

ділянок і/або з ознаками автофагії у досліджуваній сукупності не виявлено. З інших, спеціально не з'ясовуваних причин за весь період спостереження у межах цього дослідження загинули 2 тварини з вибірки Sect; загибель констатовано на першому тижні, однак у період після двох діб після втручання. Ці тварини не включали до заявленої вище сукупності (n=19); дані отримані в цих тварин, до аналізу не долучали.

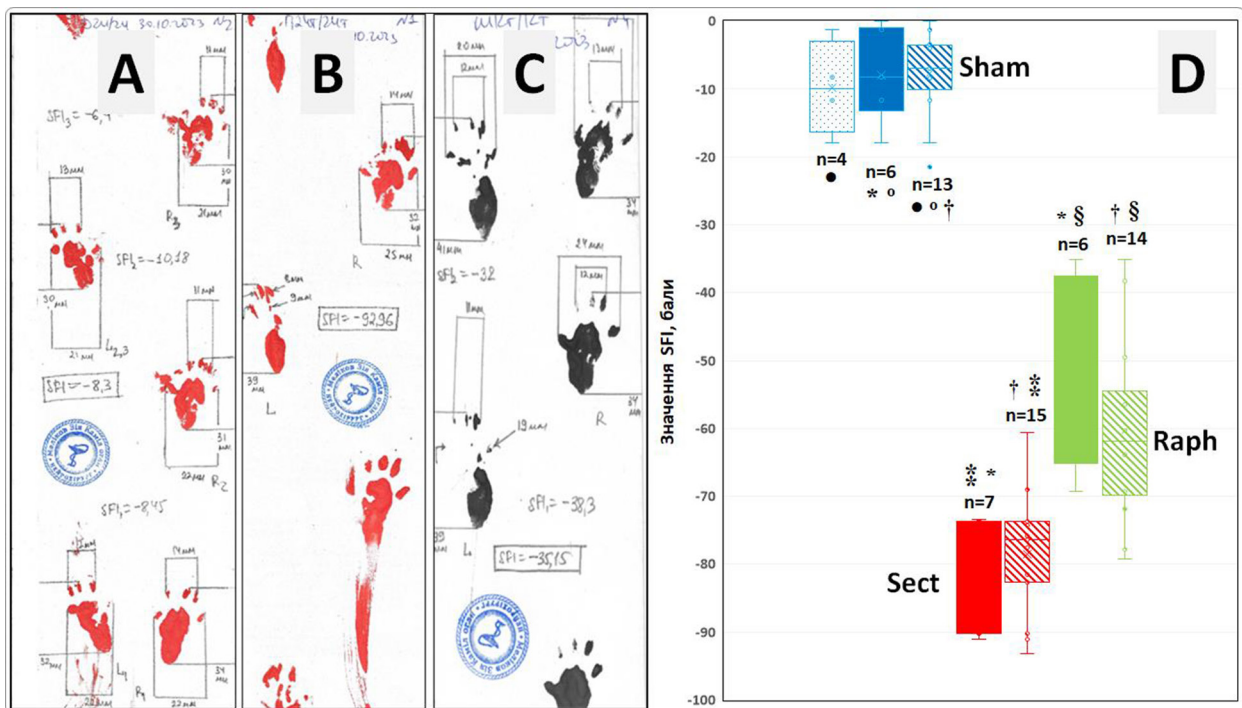
**Визначення функціонального індексу сідничого нерва**

SFI визначали звичайною методикою [45, 50, 51] із власними технічними модифікаціями [49] у тварин усіх експериментальних груп і вибірок через 12 тижнів після моделювання ТПН (Рис. 1). Відмінності в реальних термінах тестування експериментальних тварин не перевищували 5% від відповідних термінів

спостереження та стосувалися 5 тварин вибірки Raph. Відбитки стоп отримували на паперовій стрічці, що вкривала дно тунельованої горизонтальної доріжки, SFI розраховували за вимірами з відбитків за формулою Bain-Mackinnon-Hunter [45]:

$$SFI = -38,3 \times \frac{EPL-NPL}{NPL} + 109,5 \times \frac{ETS-NTS}{NTS} + 13,3 \times \frac{EIT-NIT}{NIT} - 8,8, \quad (1)$$

- де SFI – функціональний індекс сідничого нерва;
- E – травмована кінцівка;
- N – інтактна кінцівка;
- PL – відстань між відбитками п'ятки та найдовшого пальця стопи;
- TS – відстань між відбитками 1-го і 5-го пальців стопи;
- IT – відстань між відбитками 2-го та 4-го пальців стопи.



**Рис. 1.** Приклади відбитків стоп і вимірювання їх геометричних показників для розрахунку SFI тварини із груп і вибірок Sham (A), Sect (B) та Raph (C); D – фактичні значення SFI (точки), їх медіани (горизонтальні риски в межах прямокутників), межі I та III кватилей (частини прямокутників, розташовані, відповідно, нижче та вище за медіани), середні значення (x), стандартні відхилення (відстань між позначкою середнього значення та нижнім або верхнім краєм кожного прямокутника) і ступені розкиду (дисперсії) за межами верхнього та нижнього кватилів (горизонтальні планки вертикальних вусиків) у вибірках, досліджуваних у цій роботі (Sham – n=6 і n=4, Sect – n=7, Raph – n=6), а також у відповідних загальних групах (Sham – n=13, Sect – n=15, Raph – n=14), досліджених у попередній роботі [49]

**Примітки:**

\* відмінності значень SFI при попарному порівнянні вибірок статистично значущі (p<0,001, ANOVA-тест і критерій Тьюкі для апостеріорних порівнянь);

† відмінності значень SFI при порівнянні загальних груп статистично значущі (p<0,001, критерій Крускала-Уолліса та Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);

°, •, ‡, § – відмінності значень SFI при порівнянні пар «загальна група – вибірка із загальної групи» статистично незначущі (p>0,05, t-критерій Стьюдента для непов'язаних груп).

**Електронейроміографічне дослідження****Електронейроміографічне дослідження**

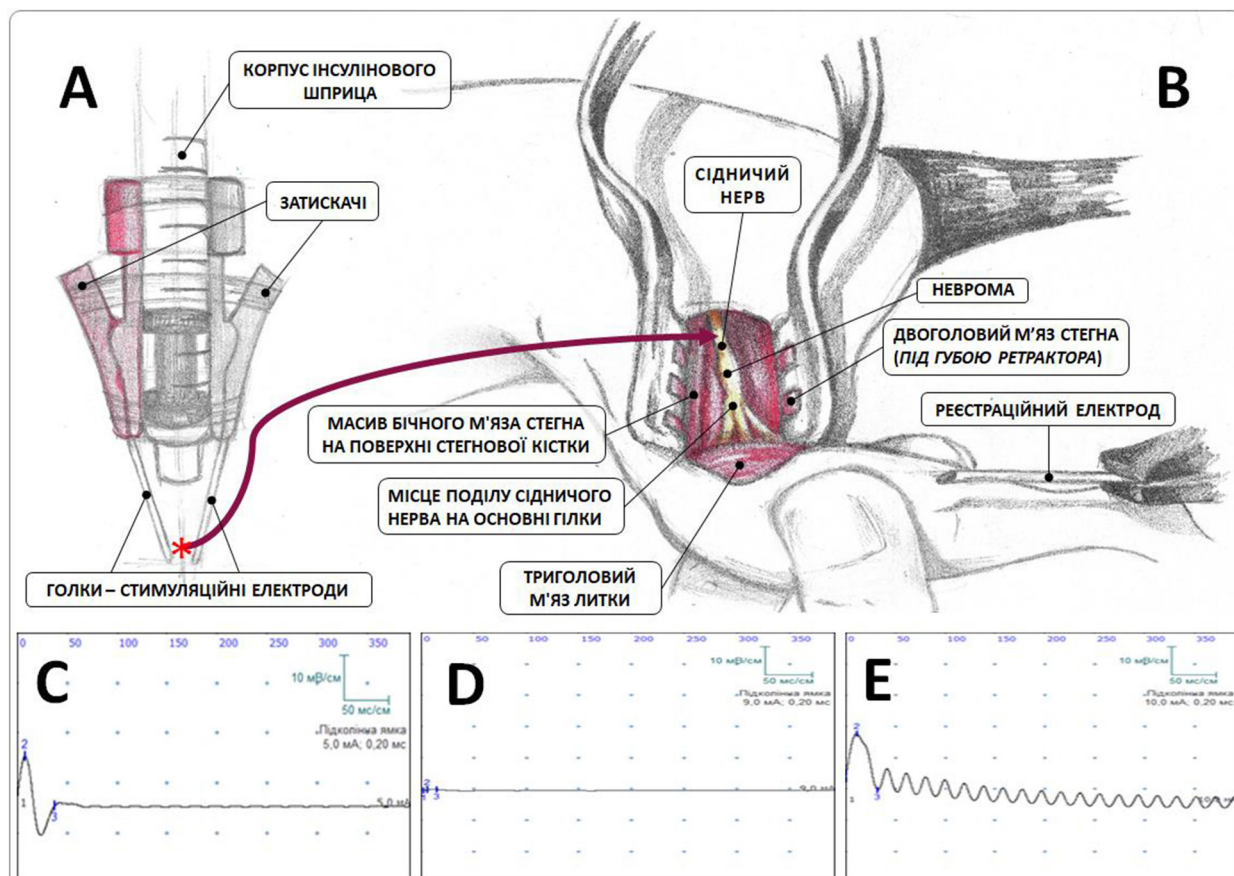
виконували усім тваринам усіх вибірок через 12 тиж після моделювання травми та невдовзі після отримання матеріалу для визначення SFI. Тварину наркотизували внутрішньоперитонеальною ін'єкцією 1% розчину (10 мг/мл) тіопенталу натрію («Київмедпрепарат», Україна), у деяких випадках за передчасного зменшення глибини наркозу використовували внутрішньоперитонеальне введення розчину кетаміну та ксилазину (див. вище). З аналогічного доступу звільняли сідничий нерв із рубцевих тканин. Електрод заземлення, змочений 0,9% розчином натрію хлориду, розміщували під черевцем. Проксимальніше від ділянки травми нерв охоплювали двома контактами стимуляційного електрода власної конструкції (Рис. 2, А, В), уникаючи дотику до навколишніх тканин. Кожен контакт виготовляли із голки шприца ємністю 5 мл, зовнішній діаметр голки становив 0,7 мм, довжина — 38 мм, електричний опір — до 0,1 Ом (див. Рис. 2, А). Стимуляційний струм генерували чотирьохканальним електронейроміографом «М-Тест» (ТзОВ НВП «ДХ-СИСТЕМИ», Харків) пакетами по 10 імпульсів, з тривалістю кожного імпульса 0,2 мс і його величиною 6 мА, з частотою імпульсів у пакеті 1 Гц. Реєстраційний електрод виготовлений із голки шприца з аналогічними геометричними та електротехнічними характеристиками, вводили в товщу триголового м'яза литки (*m. triceps surae*), стиснутого між великим

і вказівним пальцями дослідника, паралельно основній осі гомілки в місце найоб'ємнішої частини м'яза (див. Рис. 2, В). Відстань між стимуляційним та реєстраційним електродами становила близько 25 мм. Імпульси реєстрували й обробляли за допомогою електронейроміографа з використанням програмного пакета «М-тест» (ТзОВ НВП «ДХ-СИСТЕМИ», Харків).

Оцінювали два показники: 1) амплітуду М-відповіді (мВ) — модуль різниці між піковим негативним і піковим позитивним значеннями реєстрованого електричного потенціалу (М-відповіді) на тлі збудження литкового м'яза, викликаного електричною стимуляцією сідничого нерва; 2) латентний період М-відповіді (мс) — час від моменту електричної стимуляції сідничого нерва до початкового негативного відхилення реєстрованого електричного потенціалу литкового м'яза.

**Прижиттєва фіксація біологічного матеріалу, виведення тварин з експерименту й подальша фіксація матеріалу**

Відразу після завершення електронейроміографії тварину в стані глибокого знеболення фіксували на операційному столику черевцем догори, широко розкривали грудну клітку, оголювали верхівку серця, яку перфорували голкою, під'єднуючою до ємності з охолодженим фізіологічним розчином, встановленої на висоті, достатній для створення необхідного для інфузії тиску. Витискувану таким чином із системи кровообігу кров випускали крізь сформовану перфорацію стінки



**Рис. 2.** Електронейроміографічне дослідження (схема): А — конструкція стимуляційного електрода; В — ділянка виконання електронейроміографії; С–Е — приклади електронейроміограм у вибірках Sham (С), Sect (D) та Raph (E); \* — місце охоплення голками стимуляційного електрода стовбура сідничого нерва

правого передсердя. На працюючому серці систему кровообігу тварини заповнювали та промивали охолодженим фізіологічним розчином (~50 мл), далі — 4% розчином параформальдегіду (~50 мл) до появи фібриляції м'язів кінцівок, тулуба та хвоста. Розчин параформальдегіду готували *ex tempore* з 37% розчину формаліну («Інтер-синтез», Україна) та дистильованої води в необхідній кількості.

У тварини, тканини якої було префіксовано в такий спосіб, вилучали сідничий нерв із ділянкою травми (у щурів із вибірок Sham і Raph) або частинами обох кукс, довжиною 0,5–1,0 см кожна (вибірка Sect; дистальна частина — драматично атрофована, напівпрозора, часто містила кілька стовбурів, прилеглих один до одного) і поміщали в 4% розчин параформальдегіду на 5–7 днів, потім відмивали в розчині фосфатного буфера впродовж 1–2 днів, очищали від залишків прилеглих тканин і поміщали в 10% нейтральний розчин параформальдегіду для патогістологічного дослідження. Розчин фосфатного буфера отримували шляхом розчинення 1 таблетки концентрованої висушеної речовини аналогічного хімічного складу (Phosphate buffered saline; Sigma-Aldrich, США) у 200 мл дистильованої води. Увесь час після вилучення та первинної фіксації зразки зберігали за температури від 0 до +5°C.

**Патоморфологічне дослідження** сідничого нерва виконували в 4 тварин із вибірки Sham, 7 із вибірки Sect і 6 із вибірки Raph. Отримані у тварин із вибірок Sect і Raph нерви гостро сегментували на три фрагменти — центральний (вибірка Sect), або регенераційної невроми (вибірка Raph), проксимальний та дистальний (вибірки Sect і Raph). У вибірці Sham з очевидних причин фіксований стовбур нерва на три фрагменти не розділяли. Зазвичай проксимальний фрагмент у тварин із вибірок Sect і Raph являв собою цільний стовбур, дистальний містив початкові ділянки малоомілкового та великогомілкового нервів, прилегли один до одного. Центральний фрагмент у тварин із вибірки Sect був розвинений слабо, отже між проксимальним і дистальним фрагментами виявляли діастаз.

Для подальшого дослідження було відібрано зразки не усіх тварин (див. далі). Під час гістологічної обробки матеріал розміщували на поверхні металевого робочого блока мікротома-криостата (МК-25, СРСР), заморожували до близько -20°C і формували поздовжні зрізи товщиною 20 мкм, які поміщали у водопровідну воду кімнатної температури. Зрізи відбирали і скляним гачком переносили для зберігання в 1% розчин кислого формаліну. Приблизно через добу зрізи поміщали в органічний розчинник піридин, ще через добу — тричі по ~10 хв витримували у водопровідній воді, тричі по ~5 хв — у дистильованій воді та поміщали в 30% розчин азотнокислого срібла. Через добу зрізи поміщали у дистильовану воду менш ніж на 1 хв, далі — тричі по ~4 хв витримували в 1% розчині кислого формаліну, згодом протягом ~2 хв — у свіжоприготовленому розчині аміачного срібла. Потім зрізи поміщали в 1% розчин кислого формаліну до набуття ними коричневого забарвлення, далі протягом 15–20 с — витримували в 0,5% розчині кислого формаліну з вмістом глюкози ~1–2%, протягом ~30 с — у слабкому розчині аміаку, протягом ~10–15 хв — у дистильованій воді. Далі зрізи на кілька хвилин поміщали в 99,8% розчин ізопропілового спирту, з якого підхоплювали предметним скельцем.

Після висушування на зріз наносили 1–2 краплини канадського бальзаму та накривали тонким скельцем. Фотофіксацію здійснювали не раніше ніж через добу за допомогою мікроскопа Olympus BX51 із використанням цифрової камери Olympus C3040ZOOM та програмного забезпечення Olympus DP-Soft 3.2 (Olympus, Токіо, Японія). Мікрофотографії при збільшенні в 200 разів мали розраховану висоту 440 мкм при цифровому розмірі 2272×1704 пікселів. Для кожної з трьох частин нерва отримували щонайменше 6 мікрофотографій, зазвичай з різних поздовжніх зрізів цієї частини нерва. За допомогою програмного забезпечення ImageJ (Wayne Rasband, США) вимірювали висоту цифрового зображення. Накреслювали лінію, перпендикулярну основній осі нерва і підраховували кількість нервових волокон, які перетинали цю лінію. Процедуру повторювали кілька разів, переміщуючи лінію в мікрофотограмі вздовж основної осі нерва. У ділянці невроми для більшої об'єктивності кількість вимірювань збільшували до 5–6. Із отриманих під час кожного вимірювання значень кількості волокон формували варіативні ряди для статистичного дослідження. Результати виражали як щільність нервових волокон — кількість волокон, підраховану на 440 мкм фактичної довжини зазначеної вище лінії, перпендикулярної основній осі нерва.

#### **Статистична обробка даних**

Статистичну обробку кількісних даних проводили з використанням пакета EZR (*R-STATISTICS*). У випадку, коли розподіл значень досліджуваного показника у вибірках не відрізнявся від нормального, усереднений його рівень представляли у вигляді  $M \pm SD$ , де  $M$  — середнє арифметичне значення,  $SD$  — стандартна похибка середнього арифметичного значення. Якщо розподіл значень показника відрізнявся від нормального, усереднений його рівень представляли у вигляді  $Me (Q_I-Q_{III})$ , де  $Me$  — медіана,  $Q_I-Q_{III}$  — перший та третій квантілі. Характер розподілу значень досліджуваного показника визначали за критерієм Шапіро-Уїлка. У разі, якщо хоча б в одній із порівнюваних вибірок розподіл індивідуальних значень відрізнявся від нормального, значущість відмінності між вибірками визначали з використанням критерію Крускала-Уолліса, для апостеріорних порівнянь — з використанням критерію Стіла-Двасса. У разі нормального розподілу значень досліджуваних показників порівнювали гомогенність (рівність) дисперсій вибірок за допомогою тесту Бартлетта і якщо розподіл значень дисперсії відрізнявся від нормального, то для порівняння використовували критерій Крускала-Уолліса в поєднанні з критерієм Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь. При нормальному ж розподілі значень дисперсії застосовували ANOVA (ANOVA — analysis of variance) із критерієм Тьюкі для апостеріорних порівнянь.

Для з'ясування значущості відмінностей за значеннями SFI між аналізованими вибірками та загальними групами у відповідний термін спостереження [49] використовували t-критерій Стьюдента для непов'язаних груп.

Значущість кореляції між індивідуальними значеннями SFI, амплітуди і латентного періоду М-відповіді та щільності нервових волокон у всіх вибірках з'ясовували тестом рангової кореляції Спірмена (у разі, якщо розподіл значень для обох досліджуваних величин відрізнявся від нормального)

або за критерієм Пірсона (за нормального розподілу хоча б одного із досліджуваних показників).

У всіх випадках припущення щодо статистичної значущості отриманого результату вважали вірним, якщо ймовірність протилежного припущення була меншою ніж 0,05 ( $p < 0,05$ ).

### Результати

#### Функціональний індекс сідничого нерва (SFI)

За попередніми даними [49], у загальній групі Sham ( $n=13$ ) середнє значення SFI через 12 тиж після моделювання травми становило  $- (7,6 \pm 6,3)$  бала, у загальній групі Sect ( $n=15$ )  $- (78,5 \pm 8,6)$  бала, у загальній групі Raph ( $n=14$ )  $- (60,4 \pm 13,0)$  бала. Статистично значущу різницю виявлено для всіх трьох пар порівнянь загальних груп – Sham і Sect, Sham та Raph, Sect і Raph [49] (**Табл. 1, Рис. 1**).

У досліджених у цій роботі вибірках із згаданих груп значення SFI становили  $- (7,9 \pm 6,7)$  бала (вибірка Sham),  $- (80,6 \pm 7,5)$  бала (вибірка Sect) і  $- (52,1 \pm 13,7)$  бала (вибірка Raph) (**див. Табл. 1, Рис. 1**). Значення

SFI кожної із вибірок відрізнялось від значень відповідної загальної групи статистично незначущо. Як і у випадку загальних груп значення SFI у досліджуваних вибірках істотно відрізнялися при усіх варіантах попарного їх порівняння (**див. Табл. 1**). Обидва результати свідчать про репрезентативність аналізованих вибірок принаймні за функціонально-анатомічним показником SFI.

#### Амплітуда та латентний період М-відповіді

У вибірці Sham середнє значення амплітуди М-відповіді становило 9,5 (8,2; 9,5) мВ, середнє значення латентного періоду  $- (0,9 \pm 0,1)$  мс (**Табл. 2, Рис. 3**), у вибірці Sect – відповідно 0,3 (0,3; 0,4) мВ і (3,9 $\pm$ 3,1) мс, у вибірці Raph – 4,4 (3,7; 4,9) мВ і (3,3 $\pm$ 1,7) мс. Статистично значущу відмінність амплітуди М-відповіді виявили для всіх пар порівнянь між вибірками (Sham і Sect, Sham та Raph, Sect і Raph). Латентний період М-відповіді статистично значущо відрізнявся лише при порівнянні значень вибірок Sham і Sect та Sham і Raph.

**Таблиця 1.** Середні значення SFI у загальних експериментальних групах [49] та досліджуваних вибірках (M  $\pm$  SD)

Сукупність тварин	Сукупності експериментальних тварин		
	Sham	Sect	Raph
Досліджувані вибірки	n=6; -7,9 $\pm$ 6,7 * <sup>o</sup>	n=7; -80,6 $\pm$ 7,5 * <sup>1</sup>	n=6; -52,1 $\pm$ 13,7 * <sup>2</sup>
Загальні групи [49]	n=13; -7,6 $\pm$ 6,3 * <sup>o</sup>	n=15; -78,5 $\pm$ 8,6 * <sup>1</sup>	n=14; -60,4 $\pm$ 13,0 * <sup>2</sup>

Примітки.

\* відмінність значень SFI статистично значуща ( $p < 0,001$ , ANOVA-тест і критерій Тьюкі для апостеріорних порівнянь);

<sup>1</sup> відмінність значень SFI статистично значуща ( $p < 0,001$ , критерій Крускала-Уолліса і Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);

<sup>o</sup>, <sup>1</sup>, <sup>2</sup> відмінності значень SFI статистично незначущі ( $p > 0,05$ , t-критерій Стьюдента для непов'язаних груп).

**Таблиця 2.** Середні значення амплітуди (мВ) та латентного періоду М-відповіді (мс) в експериментальних вибірках

Експериментальні вибірки					
Sham (n=6)		Sect (n=7)		Raph (n=6)	
Амплітуда М-відповіді, Me (Q <sub>I</sub> -Q <sub>III</sub> )	Латентний період М-відповіді, M $\pm$ SD	Амплітуда М-відповіді, Me (Q <sub>I</sub> -Q <sub>III</sub> )	Латентний період М-відповіді, M $\pm$ SD	Амплітуда М-відповіді, Me (Q <sub>I</sub> -Q <sub>III</sub> )	Латентний період М-відповіді, M $\pm$ SD
9,5 (8,2; 9,5) * <sup>†</sup>	0,9 $\pm$ 0,1 * <sup>x,y</sup>	0,3 (0,3; 0,4) * <sup>o</sup>	3,9 $\pm$ 3,1 * <sup>x</sup>	4,4 (3,7; 4,9) * <sup>o</sup>	3,3 $\pm$ 1,7 * <sup>y</sup>

Примітки.

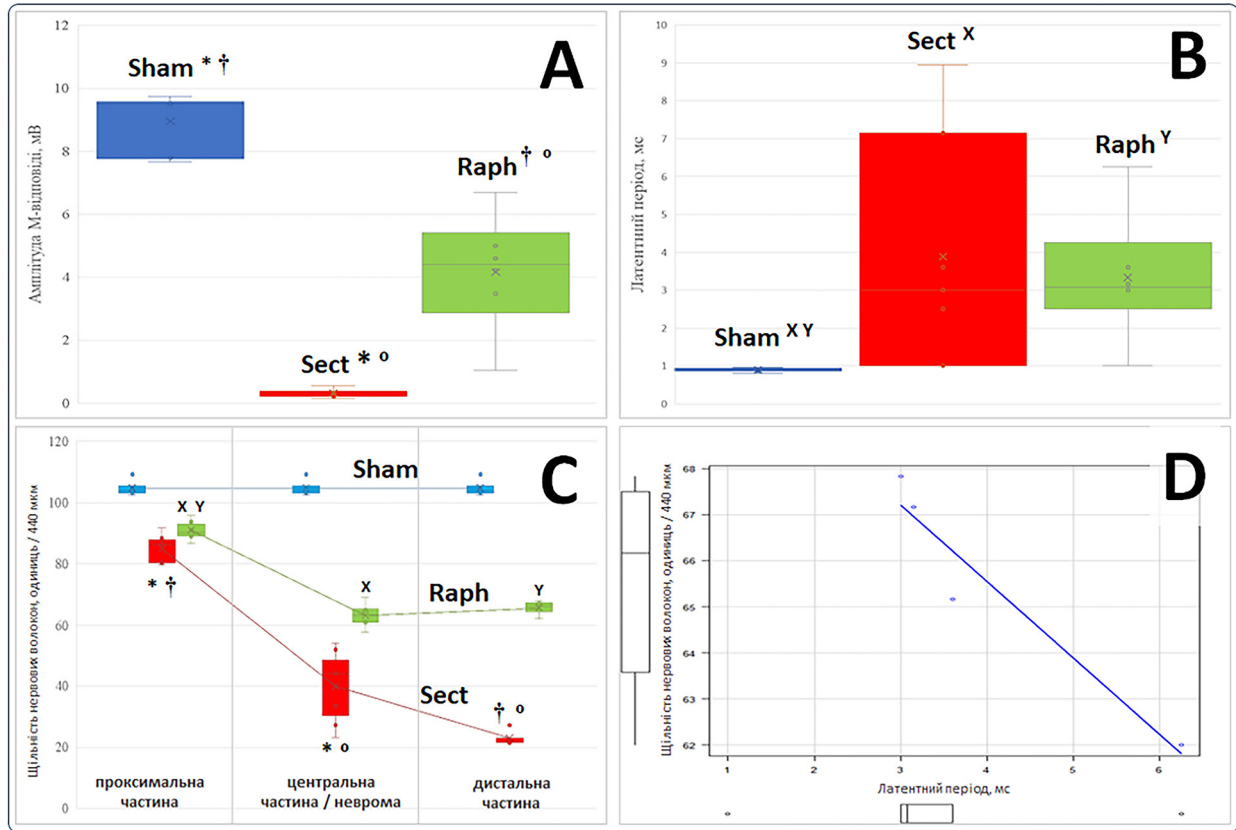
\* відмінність значень амплітуди М-відповіді у вибірках Sham та Sect статистично значуща ( $p < 0,01$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);

<sup>†</sup> відмінність значень амплітуди М-відповіді у вибірках Sham та Raph статистично значуща ( $p < 0,05$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);

<sup>o</sup> відмінність значень амплітуди М-відповіді у вибірках Sect та Raph статистично значуща ( $p < 0,01$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);

<sup>x</sup> відмінність значень латентного періоду у вибірках Sham та Sect статистично значуща ( $p < 0,01$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);

<sup>y</sup> відмінність значень латентного періоду у вибірках Sham та Raph статистично значуща ( $p < 0,05$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь).



**Рис. 3.** Фактичні значення (точки) амплітуди М-відповіді (мВ, А), латентного періоду (мс, В), щільності нервових волокон (од/440 мкм, С), їх медіани (горизонтальні риси в межах вертикальних прямокутників), межі I та III кватилей (частини прямокутників, розташовані, відповідно, нижче та вище за медіану в кожний термін), середні значення (х), стандартні відхилення (відстань між позначкою середнього значення та нижнім або верхнім краєм кожного прямокутника) і ступені розкиду (дисперсії) за межами верхнього та нижнього кватилей (горизонтальні планки вертикальних вусиків) для трьох вибірок; D – значуща сильна негативна кореляція між індивідуальними значеннями латентного періоду М-відповіді та щільністю нервових волокон у дистальній частині вилученого стовбура сідничого нерва у вибірці Raph ( $r = -0,96$ , 95% довірчий інтервал  $-1,00 \dots -0,01$ ,  $p < 0,05$ ).

**Примітки.**

**До блоку А (амплітуда М-відповіді):**

- \* відмінність значень при порівнянні вибірок Sham та Sect статистично значуща ( $p < 0,01$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);
- † відмінність значень при порівнянні вибірок Sham та Raph статистично значуща ( $p < 0,05$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);
- ° відмінність значень при порівнянні вибірок Sect та Raph статистично значуща ( $p < 0,01$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь).

**До блоку В (латентний період М-відповіді):**

- <sup>x</sup> відмінність значень при порівнянні вибірок Sham та Sect статистично значуща ( $p < 0,01$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);
- <sup>y</sup> відмінність значень при порівнянні вибірок Sham та Raph статистично значуща ( $p < 0,05$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь).

**До блоку С (щільність нервових волокон; результати для трьох частин нерва в кожній із вибірок з'єднані умовною лінією; у вибірці Sham з очевидних причин у трьох місцях наведено результати, отримані для однієї і тієї самої частини нерва):**

- \* відмінність значень щільності в проксимальній та центральній частині нерва у вибірці Sect статистично значуща ( $p < 0,01$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);
- † відмінність значень щільності в проксимальній і дистальній частинах нерва у вибірці Sect статистично значуща ( $p < 0,05$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);
- ° відмінність значень щільності в центральній і дистальній частині нерва у вибірці Sect статистично значуща ( $p < 0,05$ , критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);
- <sup>x</sup> відмінність значень щільності в проксимальній частині нерва та невромі у вибірці Raph статистично значуща ( $p < 0,001$ , критерій Тьюкі для апостеріорних порівнянь);
- <sup>y</sup> відмінність значень щільності в проксимальній і дистальній частинах нерва у вибірці Raph статистично значуща ( $p < 0,001$ , критерій Тьюкі для апостеріорних порівнянь).

### Щільність нервових волокон

Оглядове патогістологічне дослідження виявило якісні візуальні відмінності за щільністю, ходом і взаємним розташуванням мієлінізованих нервових волокон у досліджуваних частинах сідничного нерва тварин різних вибірок (**Рис. 4**).

Значення SFI вибірки Sham ( $n=4$ ), використаної для визначення щільності нервових волокон, відрізнялися від значень SFI загальної групи Sham ( $n=13$ ) [49] статистично незначущо ( $p=0,56$ ,  $t$ -критерій Стьюдента для непов'язаних груп) (**Рис. 1,D**) і в середньому становили  $-(9,8 \pm 6,9)$  бала. Щільність нервових волокон у цій вибірці становила  $(104,9 \pm 3,1)$  одиниць/440 мкм (**Табл. 3**).

У вибірці Sect ( $n=7$ ) щільність нервових волокон для проксимальної частини нерва ( $n=7$ ) становила  $86,5 (80,4; 87,9)$  одиниць/440 мкм, для центральної частини ( $n=7$ ) –  $44,2 (30,4; 48,7)$  одиниць/440 мкм, для дистальної частини нерва ( $n=4$ ) –  $21,6 (21,5; 23,1)$  одиниць/440 мкм. Ці значення суттєво відрізнялись (**Табл. 3**).

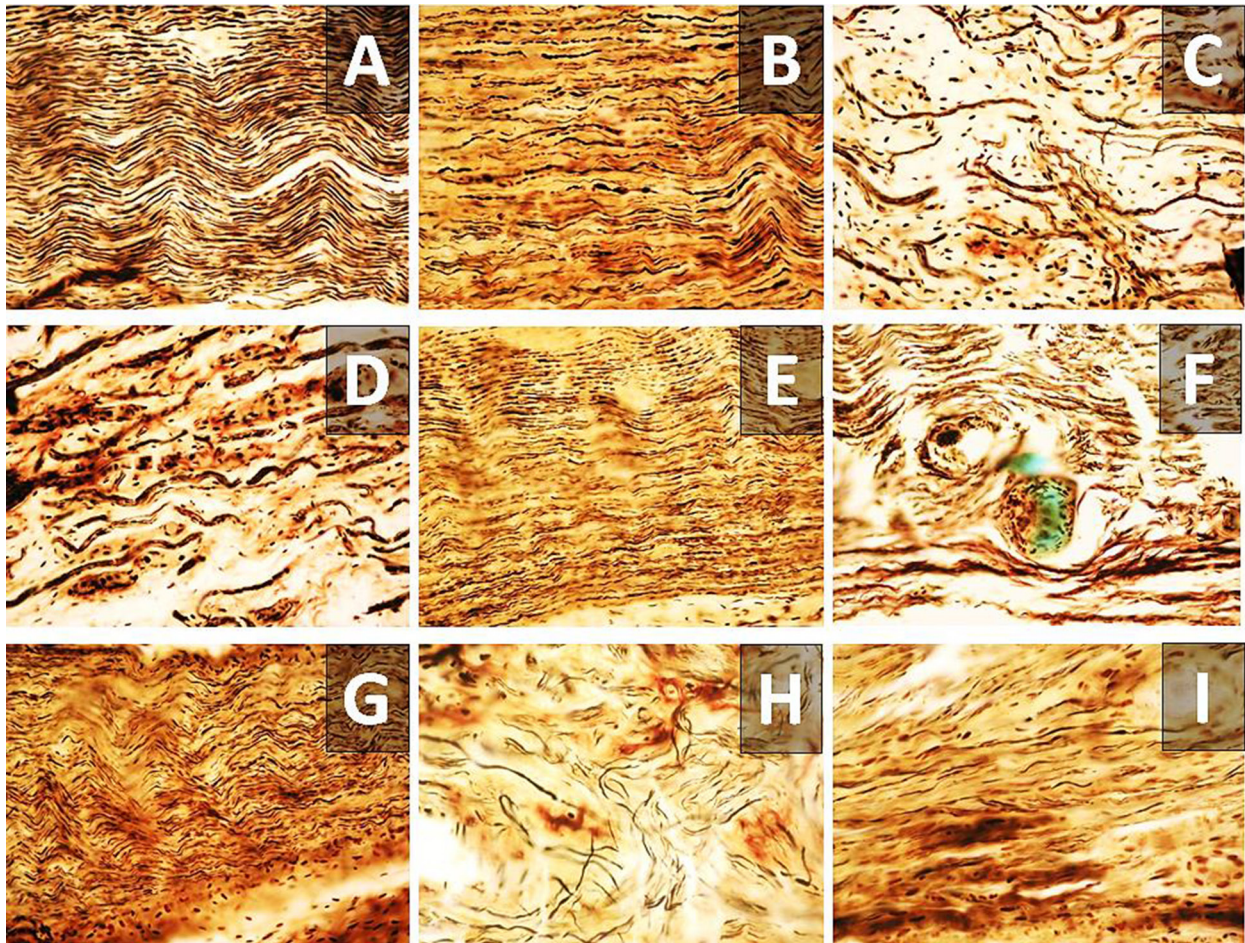
У вибірці Raph ( $n=6$ ) усереднене значення щільності для проксимальної частини нерва ( $n=6$ ) становило  $91,1 \pm 3,3$  одиниць/440 мкм, для ділянки неврони ( $n=6$ ) –  $(63,2 \pm 4,1)$  одиниць/440 мкм, для дистальної частини нерва ( $n=4$ ) –  $(65,5 \pm 2,6)$  одиниць/440 мкм. Статистично значущі відмінності в межах вибірки виявлено лише при порівнянні

значень проксимальної частини й неврони, а також при порівнянні значень проксимальної та дистальної частини ( $p < 0,001$ , критерій Тьюкі для апостеріорних порівнянь; **Табл. 3**).

При порівнянні значень щільності нервових волокон різних вибірок між собою статистично значущі відмінності виявлено для всіх частин нерва (**Табл. 4**). Через невелику кількість зразків для кожної вибірки ( $n=4$ ) статистично значущу різницю щодо показника для дистальної частини нерва при порівнянні трьох пар вибірок вдалося виявити лише за критерієм Вілкоксона-Манна-Уїтні (**Табл. 4**).

### Кореляція між значеннями досліджуваних величин

У межах кожної з трьох вибірок не виявлено статистично значущої кореляції між індивідуальними значеннями амплітуди М-відповіді й латентного періоду М-відповіді, SFI й обох електро-нейроміографічних показників, SFI та щільності нервових волокон (для трьох досліджуваних частин нерва), щільності нервових волокон для трьох досліджуваних частин нерва та латентним періодом чи амплітудою М-відповіді, за винятком індивідуальних значень щільності нервових волокон дистальної частини нерва і значень латентного періоду у вибірці Raph, для яких виявлено сильну негативну кореляцію (**Рис. 3,D**).



**Рис. 4.** Тканина досліджуваної ділянки сідничного нерва в групах Sham (A), Sect (B – проксимальна частина; C, H – центральна частина; D – дистальна частина) і Raph (E – проксимальна частина; F, I – неврони; G – дистальна частина). A–G –  $\times 200$ ; H, I –  $\times 400$



**Таблиця 3.** Щільність нервових волокон (од/440 мкм) у проксимальній, центральній і дистальній частинах нерва

Експериментальна вибірка	Досліджуваний фрагмент нерва		
	Проксимальна частина	Центральна частина / неврома	Дистальна частина
Sham	Mean±SD, n=4		
	104,9±3,1		
Sect	Me (Q <sub>I</sub> -Q <sub>III</sub> ), n=7	Me (Q <sub>I</sub> -Q <sub>III</sub> ), n=7	Me (Q <sub>I</sub> -Q <sub>III</sub> ), n=4
	86,5 (80,4; 87,9) * <sup>†</sup>	44,2 (30,4; 48,7) * <sup>°</sup>	21,6 (21,5; 23,1) <sup>†°</sup>
Raph	Mean±SD, n=6	Mean±SD, n=6	Mean±SD, n=4
	91,1±3,3 <sup>x,y</sup>	63,2±4,1 <sup>x</sup>	65,5±2,6 <sup>y</sup>

Примітки.

\* відмінність значень щільності нервових волокон для проксимальної та центральної частини нерва у вибірці Sect статистично значуща (p<0,01, критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);

<sup>†</sup> відмінність значень щільності нервових волокон для проксимальної та дистальної частини нерва у вибірці Sect статистично значуща (p<0,05, критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);

<sup>°</sup> відмінність значень щільності нервових волокон для центральної та дистальної частини нерва у вибірці Sect статистично значуща (p<0,05, критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);

<sup>x</sup> відмінність значень щільності нервових волокон для проксимальної частини нерва та невроми у вибірці Raph статистично значуща (p<0,001, критерій Тьюкі для апостеріорних порівнянь);

<sup>y</sup> відмінність значень щільності нервових волокон для проксимальної та дистальної частини нерва у вибірці Raph статистично значуща (p<0,001, критерій Тьюкі для апостеріорних порівнянь).

**Таблиця 4.** Міжгрупові відмінності за величиною щільності нервових волокон (од/440 мкм) у досліджуваних фрагментах нерва

Експериментальна вибірка	Досліджуваний фрагмент нерва		
	Проксимальна частина, Mean±SD	Центральна частина / неврома, Me (Q <sub>I</sub> -Q <sub>III</sub> )	Дистальна частина, Me (Q <sub>I</sub> -Q <sub>III</sub> )
Sham	n=4		
	103,8 (103,1; 105,6) <sup>x,y,1,2</sup> АБО 104,9±3,1 * <sup>†</sup>		
Sect	n=7	n=7	n=4
	84,9±4,7 * <sup>°</sup>	44,2 (30,4; 48,7) <sup>x,z</sup>	21,6 (21,5; 23,1) <sup>1,3</sup>
Raph	n=6	n=6	n=4
	91,1±3,3 <sup>†°</sup>	63,1 (60,9; 65,2) <sup>y,z</sup>	66,2 (64,4; 67,3) <sup>2,3</sup>

Примітки.

Для показників проксимальної частини нерва:

\* відмінність значень щільності нервових волокон у вибірках Sham і Sect статистично значуща (p<0,001, критерій Тьюкі для апостеріорних порівнянь);

<sup>†</sup> відмінність значень щільності нервових волокон у вибірках Sham і Raph статистично значуща (p<0,001, критерій Тьюкі для апостеріорних порівнянь);

<sup>°</sup> відмінність значень щільності нервових волокон у вибірках Sect і Raph статистично значуща (p<0,05, критерій Тьюкі для апостеріорних порівнянь).

Для показників центральної частини нерва:

<sup>x</sup> відмінність значень щільності нервових волокон у вибірках Sham і Sect статистично значуща (p<0,05, критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);

<sup>y</sup> відмінність значень щільності нервових волокон у вибірках Sham і Raph статистично значуща (p<0,05, критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь);

<sup>z</sup> відмінність значень щільності нервових волокон у вибірках Sect і Raph статистично значуща (p<0,01, критерій Стіла-Двасса для апостеріорних порівнянь).

Для показників дистальної частини нерва:

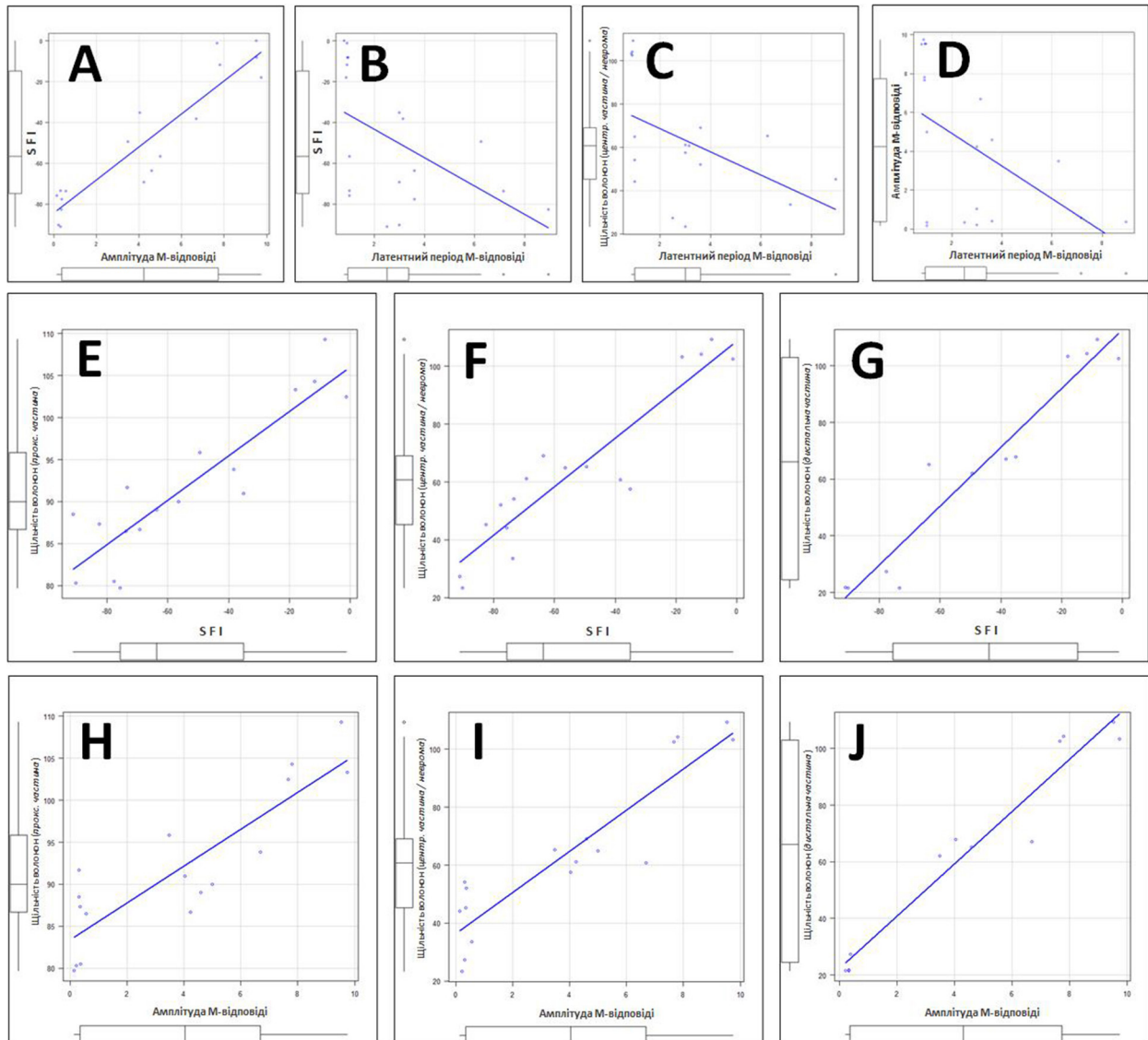
<sup>1</sup> відмінність значень щільності нервових волокон у вибірках Sham і Sect статистично значуща (p<0,05, критерій Вілкоксона-Манна-Уїтні);

<sup>2</sup> відмінність значень щільності нервових волокон у вибірках Sham і Raph статистично значуща (p<0,05, критерій Вілкоксона-Манна-Уїтні);

<sup>3</sup> відмінність значень щільності нервових волокон у вибірках Sect і Raph статистично значуща (p<0,05, критерій Вілкоксона-Манна-Уїтні).

При об'єднанні результатів трьох вибірок в одну когорту, статистично значущу кореляцію виявлено (**Рис. 5**) між індивідуальними значеннями амплітуди та латентного періоду М-відповіді, SFI й амплітуди М-відповіді, SFI та латентного періоду М-відповіді, SFI й щільності нервових волокон у проксимальній частині, центральній частині

(чи невромі) та дистальній частині нерва, між індивідуальними значеннями амплітуди М-відповіді й щільності нервових волокон у проксимальній частині, центральній частині (чи невромі) та дистальній частині нерва, а також між індивідуальними значеннями латентного періоду М-відповіді та щільності нервових волокон у центральній частині нерва (чи невромі).



**Рис. 5.** Приклади статистично значущої кореляції між індивідуальними значеннями аналізованих величин (наведених у одиницях, використовуваних у цій статті) у межах когорти, сформованої з тварин усіх вибірок:

- A – між індивідуальними значеннями амплітуди М-відповіді та SFI ( $r_s = +0,88$ ,  $p < 0,001$ );
- B – між індивідуальними значеннями латентного періоду М-відповіді й SFI ( $r_s = -0,66$ ,  $p < 0,01$ );
- C – між індивідуальними значеннями латентного періоду М-відповіді та щільності нервових волокон у центральній частині нерва чи невромі ( $r_s = -0,50$ ,  $p < 0,05$ );
- D – між індивідуальними значеннями латентного періоду і амплітуди М-відповіді ( $r_s = -0,57$ ,  $p < 0,05$ );
- E, F і G – між індивідуальними значеннями SFI та щільності нервових волокон у проксимальній частині (E,  $r = 0,90$ , 95% ДІ 0,73–0,96,  $p < 0,001$ ), центральній частині чи невромі (F,  $r = 0,92$ , 95% ДІ 0,80–0,97,  $p < 0,001$ ) та дистальній частині нерва (G,  $r = 0,97$ , 95% ДІ 0,88–0,99,  $p < 0,001$ );
- H, I і J – між індивідуальними значеннями амплітуди М-відповіді та щільності нервових волокон у проксимальній частині (H,  $r = 0,87$ , 95% ДІ 0,67–0,95,  $p < 0,001$ ), центральній частині чи невромі (I,  $r = 0,92$ , 95% ДІ 0,78–0,97,  $p < 0,001$ ) та дистальній частині нерва (J,  $r = 0,97$ , 95% ДІ 0,90–0,99,  $p < 0,001$ ).

### Обговорення

Травма периферичного нерва – частий вид травми воєнного часу [10, 11], для якої характерний комплекс розладів рухової сфери, чутливості та хронічного болю [1–5]. Ефективність лікування ТПН залишається обмеженою [4, 31]. Як перспективні напрями її поліпшення розглядають розробку багатокомпонентних біоінженерних з'єднувачів кінців травмованого нерва [26, 28, 52–54] і засобів стимулювання пластичності нейронних мереж мозку [36, 37], зокрема за участю стовбурових клітин [26, 55, 56]. Пошук і апробацію нових методів лікування ТПН зазвичай здійснюють в умовах експерименту. Визнаючу, хоч і не позбавлену недоліків, моделлю ТПН є перетин сідничного нерва щура [42, 57] із наступним спостереженням протягом 9–12 тиж [42] та оцінкою результатів відновного процесу за допомогою функціонально-анатомічного (визначення SFI) [43], електронейроміографічного і гістологічного дослідження [42, 58].

Питання щодо зв'язку між трьома класами показників стану сідничного нерва – так званих функціональних (SFI, локомоторна активність і екстероцепція), електрофізіологічних та морфометричних – залишається невирішеним. У частині досліджень не виявлено кореляцію між значеннями SFI та морфометричними чи електронейроміографічними показниками сідничного нерва на деяких моделях його травми ([44], див. також [45, 59]), тоді як інші нібито демонструють такий зв'язок для деяких із трьох класів показників [46, 47, 60] чи окремих величин у певні терміни спостереження [48, 61]. Крім того, у низці робіт із використанням схожих моделей травми сідничного нерва (і різних експериментальних тварин), окремо не досліджували наявність статистично значущих кореляцій між електронейроміографічними та функціонально-анатомічними чи морфометричними показниками (див., наприклад, [62]). Наприклад, F. Capaya та співавт. (1996) [61] на моделі перетину чи висічення фрагмента сідничного нерва щура й негайної автопластики або нейрорафії через 12 тиж спостереження виявили, що при попарному порівнянні індивідуальних значень 14 показників із трьох класів (функціонально-анатомічні, електронейроміографічні та гістоморфометричні) статистично значуща кореляція наявна лише між SFI, розрахованого за первинною формулою L. de Medinaceli та співавт. (1982) [63], та величиною співвідношення діаметрів волокна й аксона, а також між цим видом SFI та величиною співвідношення товщини мієлінової оболонки й діаметра аксона. C.A. Munro та співавт. (1998) [44], не виявивши на великій вибірці тварин жодної кореляції між функціонально-анатомічними, електрофізіологічними та морфометричними показниками, отриманими в різні терміни після висічення двосантиметрового фрагмента великогомілкового нерва щура і негайної алонейропластики дефекта [64], стверджують, що гіпотезу про такий математичний зв'язок слід відкинути.

У цій роботі нами досліджено значення SFI, латентного періоду й амплітуди М-відповіді, а також щільності нервових волокон через 12 тиж після моделювання ТПН. Такий набір показників стану сідничного нерва і термін їх визначення фігурує і в інших працях, присвячених експериментальній ТПН [65–67]. Основним результатом нашого дослідження є

виявлення кореляції між зазначеними показниками в умовах, коли в межах однієї когорти наявний широкий спектр значень кожного з них. Такий спектр можна отримати і в межах однієї експериментальної групи, але у випадку залучення в аналіз індивідуальних показників експериментальних тварин у різні терміни спостереження, тобто в різних точках відновного процесу, що ми плануємо здійснити в майбутньому.

### Технічні обмеження роботи

Крім описаних у попередній праці обмежень методу визначення функції паретичної кінцівки шляхом розрахунку SFI [49], є недоліки і в електронейроміографічному методу. По-перше, виявлення найкращої точки реєстрації М-відповіді (рухової точки) у межах невеликого тригольного м'яза литки щура й тим більше на тлі його паретичної атрофії неможливе. По-друге, в умовах експерименту на невеликих ссавцях міжіндивідуальні варіації показника латентності М-відповіді можуть бути пов'язані не лише з мінливістю волоконного складу травмованого нерва, а й з відмінностями довжини траєкторії проходження викликаного електричного збудження від стимуляційного до реєстраційного електрода, зумовленими як різними розмірами тварин, так і нетотожністю розташування точки введення реєстраційного електрода. Більш того, точне визначення довжини цієї траєкторії неможливе через її складну геометрію. За таких умов, навіть неймовірно для дослідів на щурах похибка у визначенні довжини траєкторії поширення імпульсу 5 мм при найбільшій швидкості його проведення  $\sim 110$  м/с (див. [68]) призводитиме до відмінності за величиною латентного періоду на  $\sim 0,05$  мс, а при найбільшій швидкості  $\sim 50$  м/с – на 0,1 мс, що співставно з SD у вибірці Sham ( $\sim 0,1$  мс), та значно менше, ніж SD у вибірках Sect і Raph ( $\sim 3,1$  і  $\sim 1,7$  мс, відповідно) (Табл. 2). З огляду на це, інтерпретувати величину латентного періоду М-відповіді необхідно з обережністю, а вимірювання швидкості проведення викликаного електричного збудження в таких експериментальних умовах слід вважати недоцільним. У цьому контексті цікаво відмітити, що, наприклад, Т.І. Петрів та співавт. (2023) [69], пояснюють недостовірність швидкості проведення збудження в дрібних експериментальних тварин невеликою відстанню між стимуляційним і реєстраційним електродами. Ці автори, імовірно, для зменшення варіативності міжіндивідуальних значень, аналізували не абсолютні величини амплітуди та латентного періоду М-відповіді паретичної кінцівки, а їхні відповідники, нормовані щодо аналогічних величин контралатеральної кінцівки [69]. А втім, у деяких працях можна знайти розрахунок швидкості проведення збудження сідничним нервом із використанням середнього значення довжини його траєкторії [48, 70].

Таким чином, очевидно, що майбутнє – за технікою прижиттєвого моніторингу спонтанної електричної активності паретичного м'яза [71–73] і прижиттєвої стимуляційної нейроміографії [72–74], розробка яких ускладнена через велику кількість технічних проблем [75].

### Висновки

На 12-й тиждень спостереження значення SFI в усіх досліджуваних вибірках статистично значущо відрізнялися: найбільше значення було характерне для вибірки несправжньооперованих

тварин, найменше – для вибірки тварин, яким моделювали перетин сідничого нерва, проміжне – для вибірки тварин, яким відразу після перетину нерва відновлювали його анатомічну цілісність шовним з'єднанням.

Значення латентного періоду М-відповіді відрізнялися при порівнянні вибірок несправжньооперованих тварин і тварин, яким виконували перетин нерва, а також несправжньооперованих тварин та тварин, яким виконували шовне з'єднання кукс нерва.

Значення щільності нервових волокон проксимальної частини, центральної частини чи неврони і дистальної частини нерва істотно відрізнялися при порівнянні трьох вибірок між собою.

У межах кожної з вибірок суттєву кореляцію (сильну негативну) виявлено лише між індивідуальними значеннями латентного періоду М-відповіді та щільності волокон у дистальній частині нерва тварин, яким виконували шовне з'єднання його кукс. При об'єднанні результатів трьох вибірок в одну когорту статистично значущу кореляцію виявлено для індивідуальних значень більшості з досліджуваних показників.

Отже, між індивідуальними значеннями SFI, амплітуди й латентного періоду М-відповіді та щільності нервових волокон існує статистично значущий зв'язок, який виявляється при достатній кількості спостережень із широким діапазоном індивідуальних значень згаданих параметрів.

### Розкриття інформації

#### Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

#### Етичні норми

Усі процедури, виконані піддослідним тваринам під час експерименту, відповідають етичним нормам і схвалені комісією з етики наукової установи, в якій проводили дослідження.

#### Фінансування

Дослідження не мало спонсорської підтримки.

### Список літератури

- Campbell WW. Evaluation and management of peripheral nerve injury. *Clin Neurophysiol*. 2008 Sep;119(9):1951-65. doi: 10.1016/j.clinph.2008.03.018
- Houdek MT, Shin AY. Management and complications of traumatic peripheral nerve injuries. *Hand Clin*. 2015 May;31(2):151-63. doi: 10.1016/j.hcl.2015.01.007
- Bhandari PS. Management of peripheral nerve injury. *J Clin Orthop Trauma*. 2019 Sep-Oct;10(5):862-866. doi: 10.1016/j.jcot.2019.08.003
- Barnes SL, Miller TA, Simon NG. Traumatic peripheral nerve injuries: diagnosis and management. *Curr Opin Neurol*. 2022 Dec 1;35(6):718-727. doi: 10.1097/WCO.0000000000001116
- Bateman EA, Pripotnev S, Larocerie-Salgado J, Ross DC, Miller TA. Assessment, management, and rehabilitation of traumatic peripheral nerve injuries for non-surgeons. *Muscle Nerve*. 2024 Jun 21. doi: 10.1002/mus.28185
- Tapp M, Wenzinger E, Tarabishy S, Ricci J, Herrera FA. The Epidemiology of Upper Extremity Nerve Injuries and Associated Cost in the US Emergency Departments. *Ann Plast Surg*. 2019 Dec;83(6):676-680. doi: 10.1097/SAP.0000000000002083
- Kim SJ, Kwon YM, Ahn SM, Lee JH, Lee CH. Epidemiology of upper extremity peripheral nerve injury in South Korea, 2008 to 2018. *Medicine (Baltimore)*. 2022 Dec 2;101(48):e31655. doi: 10.1097/MD.00000000000031655
- Murphy RNA, de Schoulepnikoff C, Chen JHC, Columb MO, Bedford J, Wong JK, Reid AJ. The incidence and management of peripheral nerve injury in England (2005-2020). *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2023 May;80:75-85. doi: 10.1016/j.bjps.2023.02.017
- Zaidman M, Novak CB, Midha R, Dengler J. Epidemiology of peripheral nerve and brachial plexus injuries in a trauma population. *Can J Surg*. 2024 Jun 26;67(3):E261-E268. doi: 10.1503/cjs.002424
- Tsymbaliuk V, Luzan B, Tsymbaliuk I. Diagnostics and Treatment of Traumatic Injuries of Peripheral Nerves in Combat Conditions. *TRAUMA*. 2015 Jul 7;16(3):13-8. doi: 10.22141/1608-1706.3.16.2015.80206
- Цимбалюк В, Лузан Б, Цимбалюк Я. Діагностика й лікування хворих із травматичними ушкодженнями периферичних нервів в умовах бойових дій. *TRAUMA*. 07, Липень 2015;16(3):13-8. doi: 10.22141/1608-1706.3.16.2015.80206
- Strafun S, Kurinnyi I, Borzykh N, Tsymbaliuk Y, Shypunov V. Tactics of Surgical Treatment of Wounded with Gunshot Injuries of the Upper Limb in Modern Conditions. *TERRA ORTHOPAEDICA*. 2021 Oct. 12;(2(109):10-7. doi: 10.37647/0132-2486-2021-109-2-10-17
- Страфун С, Куринний І, Борзих Н, Цимбалюк Я, Шипунів В. Тактика хірургічного лікування поранених із вогнепальними травмами верхньої кінцівки в сучасних умовах. *TERRA ORTHOPAEDICA*. 12, Жовтень 2021;(2(109):10-7. doi: 10.37647/0132-2486-2021-109-2-10-17
- Omid R, Stone MA, Zalavras CG, Marecek GS. Gunshot Wounds to the Upper Extremity. *J Am Acad Orthop Surg*. 2019 Apr 1;27(7):e301-e310. doi: 10.5435/JAAOS-D-17-00676
- Aman M, Zimmermann KS, Thielen M, Thomas B, Daeschler S, Boecker AH, Stolle A, Bigdeli AK, Kneser U, Harhaus L. An Epidemiological and Etiological Analysis of 5026 Peripheral Nerve Lesions from a European Level I Trauma Center. *J Pers Med*. 2022 Oct 8;12(10):1673. doi: 10.3390/jpm12101673
- Baker HP, Straszewski AJ, Dahm JS, Dickherber JL, Krishnan P, Dillman DB, Strelzow JA. Gunshot-related lower extremity nerve injuries. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2023 May;33(4):851-856. doi: 10.1007/s00590-022-03220-3
- Dugom PM, Jester MP, Archie WH, Huynh DM, Scarcella JF, Guo Y. Outcomes in Ballistic Injuries to the Hand: Fractures and Nerve/Tendon Damage as Predictors of Poor Outcomes. *Hand (N Y)*. 2024 May;19(3):382-386. doi: 10.1177/15589447221092111
- Muss TE, Hu S, Bauder AR, Lin IC. The Epidemiology, Management, and Outcomes of Civilian Gunshot Wounds to the Upper Extremity at an Urban Trauma Center. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2024 Apr 17;12(4):e5753. doi: 10.1097/GOX.00000000000005753
- Strafun S, Borzykh N, Haiko O, Borzykh O, Gayovich V, Tsymbaliuk Y. Priority directions of surgical treatment of patients with damage to the peripheral nerves of the upper limb in polystructural injuries. *TRAUMA*. 2018;19(3):75-80. doi: 10.22141/1608-1706.3.19.2018.136410
- Страфун С, Борзих Н, Гайко О, Борзих О, Гайович В, Цимбалюк Я. Пріоритетні напрями хірургічного лікування поранених з ушкодженнями периферичних нервів верхньої кінцівки при поліструктурних травмах. *TRAUMA*. 2018;19(3):75-80. doi: 10.22141/1608-1706.3.19.2018.136410
- Tsymbaliuk VI, Strafun SS, Tretyak IB, Tsymbaliuk IV, Gatskiy AA, Tsymbaliuk YV, Tatarchuk MM. Surgical treatment of peripheral nerves combat wounds of the extremities. *Wiad Lek*. 2021;74(3 cz 2):619-624
- Karsy M, Watkins R, Jensen MR, Guan J, Brock AA, Mahan MA. Trends and Cost Analysis of Upper Extremity Nerve Injury Using the National (Nationwide) Inpatient Sample. *World Neurosurg*. 2019 Mar;123:e488-e500. doi: 10.1016/j.wneu.2018.11.192
- Bergmeister KD, Große-Hartlage L, Daeschler SC, Rhodius P, Böcker A, Beyersdorff M, Kern AO, Kneser U, Harhaus L. Acute and long-term costs of 268 peripheral nerve injuries in the upper extremity. *PLoS One*. 2020 Apr 6;15(4):e0229530. doi: 10.1371/journal.pone.0229530

21. Tan RES, Jeyaratnam S, Lim AYT. Updates in peripheral nerve surgery of the upper extremity: diagnosis and treatment options. *Ann Transl Med.* 2023 Oct 25;11(11):391. doi: 10.21037/atm-23-1500
22. Foster CH, Karsy M, Jensen MR, Guan J, Eli I, Mahan MA. Trends and Cost-Analysis of Lower Extremity Nerve Injury Using the National Inpatient Sample. *Neurosurgery.* 2019 Aug 1;85(2):250-256. doi: 10.1093/neuros/nyy265
23. Khalifeh JM, Dibble CF, Dy CJ, Ray WZ. Cost-Effectiveness Analysis of Combined Dual Motor Nerve Transfers versus Alternative Surgical and Nonsurgical Management Strategies to Restore Shoulder Function Following Upper Brachial Plexus Injury. *Neurosurgery.* 2019 Feb 1;84(2):362-377. doi: 10.1093/neuros/nyy015
24. Raizman NM, Endress RD, Styron JF, Emont SL, Cao Z, Park LI, Greenberg JA. Procedure Costs of Peripheral Nerve Graft Reconstruction. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2023 Apr 10;11(4):e4908. doi: 10.1097/GOX.0000000000004908
25. Narayan SK, Arumugam M, Chittoria R. Outcome of human peripheral nerve repair interventions using conduits: a systematic review. *J Neurol Sci.* 2019 Jan 15;396:18-24. doi: 10.1016/j.jns.2018.10.012
26. Lopes B, Sousa P, Alvites R, Branquinho M, Sousa AC, Mendonça C, Atayde LM, Luís AL, Varejão ASP, Maurício AC. Peripheral Nerve Injury Treatments and Advances: One Health Perspective. *Int J Mol Sci.* 2022 Jan 14;23(2):918. doi: 10.3390/ijms23020918
27. Frostadottir D, Chemnitz A, Johansson Ot LJ, Holst J, Dahlin LB. Evaluation of Processed Nerve Allograft in Peripheral Nerve Surgery: A Systematic Review and Critical Appraisal. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2023 Jun 27;11(6):e5088. doi: 10.1097/GOX.0000000000005088
28. Harley-Troxell ME, Steiner R, Advincula RC, Anderson DE, Dhar M. Interactions of Cells and Biomaterials for Nerve Tissue Engineering: Polymers and Fabrication. *Polymers (Basel).* 2023 Sep 7;15(18):3685. doi: 10.3390/polym15183685
29. Pereira CT, Hill EE, Stasyuk A, Parikh N, Dhillon J, Wang A, Li A. Molecular Basis of Surgical Coaptation Techniques in Peripheral Nerve Injuries. *J Clin Med.* 2023 Feb 16;12(4):1555. doi: 10.3390/jcm12041555
30. Thamm OC, Eschborn J, Schäfer RC, Schmidt J. Advances in Modern Microsurgery. *J Clin Med.* 2024 Sep 6;13(17):5284. doi: 10.3390/jcm13175284
31. Gordon T. Peripheral Nerve Regeneration and Muscle Reinnervation. *Int J Mol Sci.* 2020 Nov 17;21(22):8652. doi: 10.3390/ijms21228652
32. Terenghi G, Hart A, Wiberg M. The nerve injury and the dying neurons: diagnosis and prevention. *J Hand Surg Eur Vol.* 2011 Nov;36(9):730-4. doi: 10.1177/1753193411422202
33. Liu Y, Wang H. Peripheral nerve injury induced changes in the spinal cord and strategies to counteract/enhance the changes to promote nerve regeneration. *Neural Regen Res.* 2020 Feb;15(2):189-198. doi: 10.4103/1673-5374.265540
34. Pottorf TS, Rotterman TM, McCallum WM, Haley-Johnson ZA, Alvarez FJ. The Role of Microglia in Neuroinflammation of the Spinal Cord after Peripheral Nerve Injury. *Cells.* 2022 Jun 30;11(13):2083. doi: 10.3390/cells11132083
35. Li C, Liu SY, Pi W, Zhang PX. Cortical plasticity and nerve regeneration after peripheral nerve injury. *Neural Regen Res.* 2021 Aug;16(8):1518-1523. doi: 10.4103/1673-5374.303008
36. Shen J. Plasticity of the Central Nervous System Involving Peripheral Nerve Transfer. *Neural Plast.* 2022 Mar 18;2022:5345269. doi: 10.1155/2022/5345269
37. Xiang YT, Wu JJ, Ma J, Xing XX, Zhang JP, Hua XY, Zheng MX, Xu JG. Peripheral nerve transfers for dysfunctions in central nervous system injuries: a systematic review. *Int J Surg.* 2024 Jun 1;110(6):3814-3826. doi: 10.1097/JS9.0000000000001267
38. Goncharuk O, Savosko S, Petriv T, Medvediev V, Tsymbaliuk V. Quantitative histological assessment of skeletal muscle hypotrophy after neurotomy and sciatic nerve repair in rats. *Georgian Med News.* 2021 Apr;(313):169-172. <https://www.geomednews.com/v313i4.html>
39. Goncharuk O, Savosko S, Tykhomyrov A, Guzyk M, Medvediev V, Tsymbaliuk V, Chaikovskiy Y. Matrix Metalloproteinase-9 is Involved in the Fibrotic Process in Denervated Muscles after Sciatic Nerve Trauma and Recovery. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg.* 2023 Mar;84(2):116-122. doi: 10.1055/s-0041-1731750
40. Lysak A, Farnebo S, Geuna S, Dahlin LB. Muscle preservation in proximal nerve injuries: a current update. *J Hand Surg Eur Vol.* 2024 Jun;49(6):773-782. doi: 10.1177/17531934231216646
41. Supra R, Agrawal DK. Peripheral Nerve Regeneration: Opportunities and Challenges. *J Spine Res Surg.* 2023;5(1):10-18. doi: 10.26502/fjsrs0052
42. Vela FJ, Martínez-Chacón G, Ballestín A, Campos JL, Sánchez-Margallo FM, Abellán E. Animal models used to study direct peripheral nerve repair: a systematic review. *Neural Regen Res.* 2020 Mar;15(3):491-502. doi: 10.4103/1673-5374.266068
43. DeLeonibus A, Rezaei M, Fahradyan V, Silver J, Rampazzo A, Bassiri Gharb B. A meta-analysis of functional outcomes in rat sciatic nerve injury models. *Microsurgery.* 2021 Mar;41(3):286-295. doi: 10.1002/micr.30713
44. Munro CA, Szalai JP, Mackinnon SE, Midha R. Lack of association between outcome measures of nerve regeneration. *Muscle Nerve.* 1998 Aug;21(8):1095-7. doi: 10.1002/(sici)1097-4598(199808)21:8<1095::aid-mus20>3.0.co;2-s
45. Varejão AS, Meek MF, Ferreira AJ, Patrício JA, Cabrita AM. Functional evaluation of peripheral nerve regeneration in the rat: walking track analysis. *J Neurosci Methods.* 2001 Jul 15;108(1):1-9. doi: 10.1016/s0165-0270(01)00378-8
46. Monte-Raso VV, Barbieri CH, Mazzer N, Yamasita AC, Barbieri G. Is the Sciatic Functional Index always reliable and reproducible? *J Neurosci Methods.* 2008 May 30;170(2):255-61. doi: 10.1016/j.jneumeth.2008.01.022
47. Wang T, Ito A, Aoyama T, Nakahara R, Nakahata A, Ji X, Zhang J, Kawai H, Kuroki H. Functional evaluation outcomes correlate with histomorphometric changes in the rat sciatic nerve crush injury model: A comparison between sciatic functional index and kinematic analysis. *PLoS One.* 2018 Dec 12;13(12):e0208985. doi: 10.1371/journal.pone.0208985
48. Goncharuk OO, Savosko SI, Petriv TI, Tatarchuk MM, Medvediev VV, Tsymbaliuk VI. Correlation analysis of electroneuromyographic, functional-anatomical and morphometric indicators of regeneration of the injured sciatic nerve. *Ukr Neurosurg J.* 2021 Jun. 27; 27(2): 34-40. doi: 10.25305/unj.227615  
Гончарук ОО, Савосько СІ, Петрів ТІ, Татарчук ММ, Медведєв ВВ, Цимбалюк ВІ. Кореляційний аналіз електронейроміографічних, функціонально-анатомічних і морфометричних показників регенерації травмованого сідничого нерва. *Ukr Neurosurg J.* 27, Червень 2021; 27(2): 34-40. doi: 10.25305/unj.227615
49. Melikov ZK, Medvediev VV. The rat's sciatic nerve functional index dynamics after its transection and recovery by means of epineural neuroorrhaphy. *Ukr Neurosurg J.* 2024; 30(4):30-42. doi: 10.25305/unj.310430  
Меліков ЗК, Медведєв ВВ. Динаміка функціонального індексу сідничого нерва щура після його перетину і після відновлення шляхом епінєвральної нейрорафії: власні результати та аналіз літературних даних. *Ukr Neurosurg J.* 2024;30(4):30-42. doi: 10.25305/unj.310430
50. Dellon ES, Dellon AL. Functional assessment of neurologic impairment: track analysis in diabetic and compression neuropathies. *Plast Reconstr Surg.* 1991 Oct;88(4):686-94. doi: 10.1097/00006534-199110000-00020
51. Цимбалюк ВІ, Молотковець ВЮ, Петрів ТІ, Медведєв ВВ, Лузан БМ, винахідники; Національний медичний університет імені О.О.Богомольця, власник. Спосіб визначення функціонального індексу сідничого нерва у щура. Патент України 118156. 2017 Липень 25. Tsymbalyuk VI, Molotkovets VY, Petriv TI, Medvedev VV, Luzan BM, inventors; O.O. Bogomolets National Medical University, assignee. Method for determining the functional index of the sciatic nerve in a rat. Patent of Ukraine 118156. 2017 July 25.
52. Петрів ТІ, Цимбалюк ЮВ, Потапов ОО, Квасницький МВ, Гончарук ОО, Татарчук ММ. Клітинні технології у відновленні периферичних нервів. *East. Ukr. Med. J.* 2020; 8(2): 210-29. doi: 10.21272/eumj.2020;8(2):210-2

- Petriv TI, Tsybalyuk YV, Potapov OO, Kvasnits'kyi MV, Honcharuk OO, Tatarчук MM. Stem cell technology in peripheral nerve restoration. *East. Ukr. Med. J.* 2020; 8(2): 210-29. doi: 10.21272/eumj.2020;8(2):210-229.
53. Lischer M, di Summa PG, Petrou IG, Schaefer DJ, Guzman R, Kalbermatten DF, Madduri S. Mesenchymal Stem Cells in Nerve Tissue Engineering: Bridging Nerve Gap Injuries in Large Animals. *Int J Mol Sci.* 2023 Apr 25;24(9):7800. doi: 10.3390/ijms24097800
  54. Stocco E, Barbon S, Emmi A, Tiengo C, Macchi V, De Caro R, Porzionato A. Bridging Gaps in Peripheral Nerves: From Current Strategies to Future Perspectives in Conduit Design. *Int J Mol Sci.* 2023 May 24;24(11):9170. doi: 10.3390/ijms24119170
  55. Khaled MM, Ibrahim AM, Abdelgalil AI, El-Saied MA, El-Bably SH. Regenerative Strategies in Treatment of Peripheral Nerve Injuries in Different Animal Models. *Tissue Eng Regen Med.* 2023 Oct;20(6):839-877. doi: 10.1007/s13770-023-00559-4
  56. Aisaiti A, Aierxidong S, Shoukeer K, Muheremu A. Mesenchymal stem cells for peripheral nerve injury and regeneration: a bibliometric and visualization study. *Front Neurol.* 2024 Aug 5;15:1420402. doi: 10.3389/fneur.2024.1420402
  57. Li A, Pereira C, Hill EE, Vukcevic O, Wang A. In Vitro, In Vivo and Ex Vivo Models for Peripheral Nerve Injury and Regeneration. *Curr Neuropharmacol.* 2022;20(2):344-361. doi: 10.2174/1570159X19666210407155543
  58. Cui S, Li K, Xu M, Yu W. Effect of Renuorrhaphy of Distal Coaptation on Nerve Regeneration After Nerve Grafting: Animal Experimental Study. *World Neurosurg.* 2019 Feb;122:e1365-e1373. doi: 10.1016/j.wneu.2018.11.049
  59. Shenaq JM, Shenaq SM, Spira M. Reliability of sciatic function index in assessing nerve regeneration across a 1 cm gap. *Microsurgery.* 1989;10(3):214-9. doi: 10.1002/micr.1920100315
  60. Oliveira EF, Mazzer N, Barbieri CH, Selli M. Correlation between functional index and morphometry to evaluate recovery of the rat sciatic nerve following crush injury: experimental study. *J Reconstr Microsurg.* 2001 Jan;17(1):69-75. doi: 10.1055/s-2001-12691
  61. Kanaya F, Firrell JC, Breidenbach WC. Sciatic function index, nerve conduction tests, muscle contraction, and axon morphometry as indicators of regeneration. *Plast Reconstr Surg.* 1996 Dec;98(7):1264-71, discussion 1272-4. doi: 10.1097/00006534-199612000-00023
  62. Likhodiievskiy V, Korsak A, Skopets D, Olefir S, Chukhrai S, Shamalo S, Chaikovskiy Y. Long-term outcomes of rat sciatic nerve injury and its grafting with silicon wires-based conduit: Distal nerve stump histology and electromyography results. *Medical Science of Ukraine.* 2019Dec.26;15(3-4):3-9. doi: 10.32345/2664-4738.3-4.2019.01 Лиходієвський В, Корсак А, Скопєць Д, Олєфір С, Чухрай С, Шамало С, Чайковський Ю. Віддалені результати травми сідничого нерва та його протезування кондуїтом на основі нитковидних кристалів кремнію: гістологічне дослідження дистального відрізка нервового стовбура та електронейроміографічне дослідження. *Medical Science of Ukraine.* 26, Грудень 2019; 15(3-4): 3-9. doi: 10.32345/2664-4738.3-4.2019.01
  63. de Medinaceli L, Freed WJ, Wyatt RJ. An index of the functional condition of rat sciatic nerve based on measurements made from walking tracks. *Exp Neurol.* 1982 Sep;77(3):634-43. doi: 10.1016/0014-4886(82)90234-5
  64. Midha R, Mackinnon SE, Evans PJ, Best TJ, Hare GM, Hunter DA, Falk-Wade JA. Comparison of regeneration across nerve allografts with temporary or continuous cyclosporin A immunosuppression. *J Neurosurg.* 1993 Jan;78(1):90-100. doi: 10.3171/jns.1993.78.1.0090
  65. Li Y, Yao D, Zhang J, Liu B, Zhang L, Feng H, Li B. The Effects of Epidermal Neural Crest Stem Cells on Local Inflammation Microenvironment in the Defected Sciatic Nerve of Rats. *Front Mol Neurosci.* 2017 May 22;10:133. doi: 10.3389/fnmol.2017.00133
  66. Moattari M, Moattari F, Kaka G, Mohseni Kouchesfehiani H, Sadraie SH, Naghdi M, Mansouri K. Evaluation of dexamethasone treated mesenchymal stem cells for recovery in neurotmesis model of peripheral nerve injury. *Neurol Res.* 2018 Dec;40(12):1060-1070. doi: 10.1080/01616412.2018.1517859
  67. Shen X, Qu F, Pei Y, Lei S, Xia S, Liang J, Li S, Sun X, Liu L. Repairing sciatic nerve injury with self-assembling peptide nanofiber scaffold-containing chitosan conduit. *Front Neurol.* 2022 Oct 13;13:867711. doi: 10.3389/fneur.2022.867711
  68. Hursh JB. Conduction velocity and diameter of nerve fibers. *Am J Physiol.* 1939;127:131-9. doi: 10.1152/ajplegacy.1939.127.1.131
  69. Petriv T, Daoud Almhairat RM, Tatarчук M, Luzan B, Tsybaliuk J, Tsybaliuk V. Long-term invasive electrical stimulation of peripheral nerve in the functional recovery of neuromuscular complex in experiment. *INTERNATIONAL NEUROLOGICAL JOURNAL.* 2023 Sep. 8; 19(4): 109-15. doi: 10.22141/2224-0713.19.4.2023.1008 Петрів ТІ, Рафт Мохаммад Дауд Альмхайрат, Татарчук ММ, Лузан БМ, Цимбалюк ЮВ, Цимбалюк ВІ. Довготривала інвазивна електростимуляція периферичного нерва у функціональному відновленні нервово-м'язового апарату в експерименті. *INTERNATIONAL NEUROLOGICAL JOURNAL.* 08, Вересень 2023; 19(4): 109-15. doi: 10.22141/2224-0713.19.4.2023.1008
  70. Tsybaliuk VI, Molotkovets VY, Medvediev VV, Luzan BM, Turuk LS, Tatarчук MM, Draguntsova NG. Electroneuromyographic correlates of sciatic nerve function restoration after its resection and welded epineural coaptation in the experiment. *Ukr Neurosurg J.* 2017 Jun. 17; (2): 44-9. doi: 10.25305/unj.104503 Цимбалюк ВІ, Молотковець ВЮ, Медведєв ВВ, Лузан БМ, Турук ЛС, Татарчук ММ, Драгунцова НГ. Електронейроміографічні кореляти відновлення функції сідничого нерва після його пересічення та зварного епіневрального з'єднання в експерименті. *Ukr Neurosurg J.* 17, Червень 2017; (2): 44-9. doi: 10.25305/unj.104503
  71. Gramsbergen A, IJkema-Paassen J, Meek MF. Sciatic nerve transection in the adult rat: abnormal EMG patterns during locomotion by aberrant innervation of hindleg muscles. *Exp Neurol.* 2000 Jan;161(1):183-93. doi: 10.1006/exnr.1999.7233
  72. English AW, Chen Y, Carp JS, Wolpaw JR, Chen XY. Recovery of electromyographic activity after transection and surgical repair of the rat sciatic nerve. *J Neurophysiol.* 2007 Feb;97(2):1127-34. doi: 10.1152/jn.01035.2006
  73. Chen Y, Wang Y, Chen L, Sun C, English AW, Wolpaw JR, Chen XY. H-reflex up-conditioning encourages recovery of EMG activity and H-reflexes after sciatic nerve transection and repair in rats. *J Neurosci.* 2010 Dec 1;30(48):16128-36. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4578-10.2010
  74. Lee B, Koripalli MK, Jia Y, Acosta J, Sendi MSE, Choi Y, Ghovanloo M. An Implantable Peripheral Nerve Recording and Stimulation System for Experiments on Freely Moving Animal Subjects. *Sci Rep.* 2018 Apr 17;8(1):6115. doi: 10.1038/s41598-018-24465-1
  75. Restaino SM, Abliz E, Wachrathit K, Krauthamer V, Shah SB. Biomechanical and functional variation in rat sciatic nerve following cuff electrode implantation. *J Neuroeng Rehabil.* 2014 Apr 23;11:73. doi: 10.1186/1743-0003-11-73