

Ukr Neurosurg J. 2024;30(2):3-13  
doi: 10.25305/unj.299251

## Вибір методики електронейроміографічної діагностики віддалених наслідків вогнепальних і мінно-вибухових ушкоджень нервів кінцівок

О.С. Солонович<sup>1</sup>, А.І. Третьякова<sup>1</sup>, І.Б. Третьяк<sup>2</sup>, Л.Л. Чеботарьова<sup>1</sup>, О.О. Гацький<sup>2</sup>, О.І. Мицак<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Відділення функціональної діагностики, Інститут нейрохірургії імені акад. А.П. Ромоданова НАМН України, Київ, Україна

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

Надійшла до редакції 29.02.2024  
Прийнята до публікації 03.04.2024

Адреса для листування:  
Чеботарьова Лідія Львівна,  
відділення функціональної  
діагностики, Інститут нейрохірургії  
імені акад. А.П. Ромоданова, вул.  
Платона Майбороди, 32, Київ,  
04050, Україна, e-mail: llche@ukr.  
net

**Мета:** уточнити характер ушкодження та ступінь функціональних розладів у віддалений період вогнепальних і мінно-вибухових уражень нервів кінцівок за допомогою нейрофізіологічних (НФ) методик функціональної діагностики (стимуляційна та голчаста електронейроміографія), вивчити кореляцію цих даних з особливостями ушкодження нервів, виявленими під час хірургічних втручань (операційними знахідками).

**Матеріали і методи.** Обстежено 480 військовослужбовців та цивільних осіб віком від 18 до 64 років (середній вік – 33,5 року) із вогнепальними та мінно-вибуховими ушкодженнями нервів кінцівок у терміни від 1 до 11 міс після поранення. Усі пацієнти були чоловічої статі. Загалом проведено 1400 електронейроміографічних та електронейрографічних досліджень. Рівень, ступінь та характер травми нерва кінцівки визначали за допомогою клініко-неврологічного методу з використанням шкал для оцінки рухів і чутливості та НФ-методів діагностики.

**Результати.** У 299 пацієнтів виявлено тяжке ушкодження нервів, у 181 – часткове. Причинами ушкодження нервів були уламкові, кульові, мінно-вибухові травми, розрив нерва в результаті переломів кісток, ушкодження гострими предметами, ятрогенні ушкодження. У 62,3% випадків повного травматичного ушкодження нервів проведено хірургічні втручання з використанням методики невротизації за допомогою гілок нервів-донорів. За умови збереження анатомічної цілості структур нерва й наявності провідності під час електронейроміографічного тестування виконували зовнішній або внутрішній невротиз. Терміни проведення хірургічних втручань: до 6 міс після травми – 68,1% випадків, до 3 міс – 31,9%. За результатами комплексного клініко-нейрофізіологічного дослідження створено адаптовані схеми оцінки даних НФ-дослідження відповідно до патогістологічного типу травми нерва кінцівки, запропоновано НФ-критерії для класифікації ступеня тяжкості функціонального дефіциту (легкий, середній і тяжкий).

**Висновки.** Визначено критерії вибору методики оптимальної НФ-діагностики віддалених наслідків вогнепальних і мінно-вибухових ушкоджень нервів кінцівок. Комплексна клініко-інструментальна діагностика дає змогу об'єктивізувати рівень та ступінь ушкодження нервів кінцівок, ознаки відновлення нервово-м'язового апарату, надає інформацію для планування тактики хірургічного лікування та подальшої відновної терапії.

**Ключові слова:** травма; вогнепальні ушкодження нервів; мінно-вибухові ушкодження; больовий синдром; діагностика; електронейроміографія; хірургічне лікування

### Вступ

За сучасними даними, у разі мінно-вибухової травми в 9–25% випадків наявні ушкодження периферичних нервів (ПН). На ушкодження структур плечового сплетення припадає від 12 до 25% від усіх бойових травм [1, 2]. Ступінь тяжкості поранення хворого визначається калібром і видом снаряду, що ранило, наявністю поєднаних ушкоджень судин, нервів, кісток кінцівок та м'яких тканин, які виявляють у близько 80% випадків.

Результати хірургічного лікування бойової травми ПН, навіть за наявності сучасного діагностичного обладнання та високого рівня хірургічної техніки,

дуже часто бувають незадовільними, що пов'язано як із поширеністю ушкодження нервового стовбура, комбінованою дією різних видів енергії, її напрямком, комплексною дією мінно-вибухової хвилі на організм, так і з особливостями наслідків бойової травми ПН у вигляді внутрішньостовбурових рубців, гнійно-запальних ускладнень, які часто супроводжують бойову травму, порушенням мікроциркуляції внаслідок частого поранення магістральних судин і значного ураження навколишніх м'яких тканин.

Дані С.С. Страфуна (2018) [3] свідчать, що навіть без порушення анатомічної цілісності нервів при вогнепальних і мінно-вибухових їх ушкодженнях

Copyright © 2024 О.С. Солонович, А.І. Третьякова, І.Б. Третьяк, Л.Л. Чеботарьова, О.О. Гацький, О.І. Мицак



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

мають місце патологічні зміни в зоні травми, при цьому можливе безпосереднє травмування або ішемія м'язів, які іннервуються ушкодженим нервом. У зв'язку з цим є потреба у визначенні характеру та ступеня тяжкості ураження нервів, а головне — в прогнозуванні відновлення в подальшому [3, 4]. Для оптимального відновлення втрачених функцій нервів кінцівок важливе значення має сучасна нейрофізіологічна (НФ) діагностика, яка дає змогу об'єктивізувати рівень, вид ушкодження та характер патологічного процесу, обрати варіант хірургічного лікування, визначити особливості відновної терапії, а також контролювати динаміку відновлення.

Таким чином, дослідження клініко-НФ особливостей перебігу віддалених наслідків бойових ушкоджень ПН і використання комплексу сучасних електронейроміографічних (ЕНМГ) та електроміографічних (ЕМГ) методів діагностики як патогномонічних для об'єктивізації стану нервів і м'язів після травми є актуальним.

**Мета:** уточнити характер ушкодження та ступінь функціональних розладів у віддалений період вогнепальних і мінно-вибухових уражень нервів кінцівок за допомогою НФ методик діагностики (стимуляційна та голчаста ЕМГ), вивчити кореляцію цих даних з особливостями ушкоджень нервів, виявленими під час хірургічних втручань (операційними знахідками).

#### Матеріали і методи

##### Учасники дослідження

За період із березня 2022 р. до листопада 2023 р. у відділенні функціональної діагностики ДУ «Інститут нейрохірургії імені акад. А. П. Ромоданова НАМН України» проведено ЕНМГ-діагностику функції нервів і м'язів кінцівок у 480 військовослужбовців та цивільних осіб від 18 до 64 років (середній вік – 33,5 року) із вогнепальними та мінно-вибуховими ушкодженнями ПН. Усі пацієнти були чоловічої статі. Загалом проведено 1400 ЕНМГ та ЕМГ-досліджень. Хворі потрапляли на спеціалізоване лікування в терміни від 1 до 11 міс після поранення. Ушкодження нервів верхніх кінцівок зафіксували в 53,9% випадків, ушкодження нервів нижніх кінцівок – у 46,1%.

Від усіх хворих отримано усвідомлену й добровільну письмову згоду на участь у дослідженні та публікацію даних. Проведення дослідження схвалене комісією з питань етики ДУ «Інститут нейрохірургії імені акад. А.П. Ромоданова НАМН України» (протокол №2 від 14.04.2021 р.).

Використовували такі методи дослідження: 1) загальноклінічний – для встановлення діагнозу «бойові ушкодження ПН» (вогнепальні, мінно-вибухові); 2) клініко-неврологічний – для оцінки ступеня травматичного ушкодження ПН із використанням сучасних загальноприйнятих шкал (оцінка вихідного неврологічного статусу хворих, визначення топічного рівня ушкодження нерва, детальне оцінювання наявного неврологічного дефіциту рухової (MRC Scale від M0 до M5) та чутливої сфери (Seddon від S0 до S5), визначення втрачених і збережених функцій м'язів, чутливості тощо. Ступінь виразності больового синдрому встановлювали за візуальною аналоговою шкалою оцінки болю (ВАШ), нейропатичного болю –

за опитувальником DN4 (Bouhassira et al., 2005) [5]). Оцінювали ступінь відновлення рухів і чутливості з використанням зазначених шкал та опитувальників; 3) нейровізуалізаційні, рентгенологічні – за показаннями; 4) НФ-комплекс методів діагностики (доопераційна, інтраопераційна та післяопераційна електродіагностика). Використовували: дослідження М-відповідей на пряму стимуляцію нерва, який переважно іннервує цей м'яз; сегментарне та покровоке (короткосегментне, за показаннями) визначення швидкості проведення збудження (ШПЗ) руховими та чутливими волокнами нерва для пошуку місця блокування провідності; внутрішньом'язову голчасту ЕМГ м'язів, залучених у патологічний процес, та інтактних з оцінкою денерваційної спонтанної активності м'язових волокон і параметрів рухових одиниць, визначенням ступеня тяжкості ушкодження структур та ознак відновлення. Методики описані в працях [6–10] і наведені в національних та галузевих стандартах.

Дослідження проводили з використанням апарата «Нейро-МВП» («НейроСофт», РФ). Стимуляцію здійснювали з катода імпульсами тривалістю 0,1, 0,2, 0,5 та 1,0 мс, частотою 1–4/с, інтенсивність стимуляції обирали індивідуально, найчастіше – 20–35 мВ (10–30 мА), з урахуванням рівня, за якого досягнуто максимальної амплітуди потенціалів дії (ПД) нерва та М-відповіді м'яза. У частині випадків їх реєстрували одночасно на двох каналах відведення. Імпеданс шкіри під електродами 5–10 кОм. Швидкість розгортання – 10 мс/поділку, чутливість підсилювача – 50–100 мкВ для ПД нерва, 100–10000 мкВ – для ПД м'яза. Смуга пропуску частот – 10–10000 Гц. Для розрахунку ПД визначали середнє значення із 4 відповідей.

При голчастій ЕМГ із зануренням стандартного електрода в рухову точку м'яза досліджували спонтанну активність м'язових волокон, а також потенціали рухових одиниць (ПРО) при довільному скороченні м'яза, інтерференційний і патерн рекрутування ПРО (**Табл. 1**). Додатково використовували модифіковану методику дослідження М-відповіді при відведенні голчастим електродом з денервованого м'яза.

##### Статистичний аналіз

Аналіз результатів дослідження проводили з використанням пакета EZR v. 1.35 (R Statistical software version 3.4.3, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). Для представлення якісних даних розраховували частоту вияву ознаки (%), ризик недосягнення високої ефективності лікування (%) та його 95% довірчий інтервал (ДІ). Для рангової ознаки – показника функції ПН указували частоту (%) для кожної бальної оцінки. При порівнянні рангових ознак до та після лікування використовували Wilcoxon T-test для пов'язаних вибірок, при порівнянні результатів у групах – Kruskal–Wallis test, для попарних постеріорних порівнянь – критерій множинних порівнянь Dunn index. При проведенні аналізу застосовували критерії з двосторонньою критичною областю, за критичний рівень значення прийнято 0,05.

##### Критерії залучення в дослідження

Військовослужбовці та цивільні, вік понад 18 років, наявність ураження нервів унаслідок вогнепальних і мінно-вибухових ушкоджень, що підтверджено супровідною медичною документацією,

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

скеровані на ЕНМГ/ЕМГ-діагностику та спеціалізоване лікування в терміни від 1 до 11 місяців після поранення. Усі учасники надали поінформовану згоду на проведення дослідження.

**Характеристика груп**

Учасників розподілили на дві групи за ступенем тяжкості ураження ПН та м'язів і зниження/відсутності рухової функції. Основна група – 299 (62,3%) випадків повного порушення рухової функції та тяжкого ураження нервів; група порівняння – 181 (37,7%) випадок часткового ушкодження нервів.

Причинами ушкодження нервів (види за механізмом травми) були: мінно-вибухові уламкові поранення – 53,65%, кульові – 29,87%, ушкодження

нерва в результаті переломів і вивихів кісток кінцівок – 10,36%, ушкодження нервів під час надання допомоги на етапах медичної евакуації (ушкодження кінцівок турнікетом, джгутами, ятрогенні ушкодження під час первинної хірургічної обробки) – 6,09%.

Серед обстежених 42,5% (204) отримали поранення верхніх кінцівок, 57,5% (276) – нижніх кінцівок, 28,0% (134) – верхніх і нижніх кінцівок. Найчастіше було ушкоджено променевий, сідничний і малогомілковий нерв (**Рис. 1**).

**Дизайн дослідження**

Дослідження є ретроспективним когортним (**Рис. 2**).

**Таблиця 1.** Досліджені нерви та показники «ключових» м'язів

Нерви	М'язи
Нормативні показники для нервів верхньої кінцівки: ШПЗ >50 м/с, термінальна (дистальна) латентність для серединного нерва <4 мс (за міжклатодної дистанції 60–70 мм), резидуальна латентність – не більше ніж 2,5 мс, амплітуда М-відповіді – не менше ніж 50% порівняно з інтактним боком*	
Серединний	Тенару, променевий згинач зап'ястка
Ліктьовий	Гіпотенару, ліктьовий згинач зап'ястка
Плечове сплетення	Плечового поясу: підостьовий, надостьовий дельтоподібний, двоголовий плеча, триголовий плеча, розгиначі кисті та пальців, згиначі зап'ястка, м'язи тенару та гіпотенару
М'язово-шкірний	Двоголовий плеча
Променевий	Розгиначі кисті та пальців, триголовий плеча
Пахвовий	Дельтоподібний
Нормативні показники для нервів нижньої кінцівки: ШПЗ >40 м/с, резидуальна латентність <3 мс, амплітуда М-відповіді не менше ніж 50% порівняно з інтактним боком	
Сідничний	Передній великогомілковий, литковий, короткий розгинач пальців стопи, відвідний великого пальця стопи
Великогомілковий	Литковий, відвідний м'яз великого пальця стопи
Малогомілковий	Передній великогомілковий, короткий розгинач пальців стопи
Стегновий	Чотириголовий стегна

*Примітка.* \* У випадках значного зниження ШПЗ і значного збільшення дистальної латентності (>70% щодо нижньої межі норми) слід виключити можливість тунельного синдрому чи поліневропатії.



**Рис. 1.** Частота бойових ушкоджень нервів кінцівок

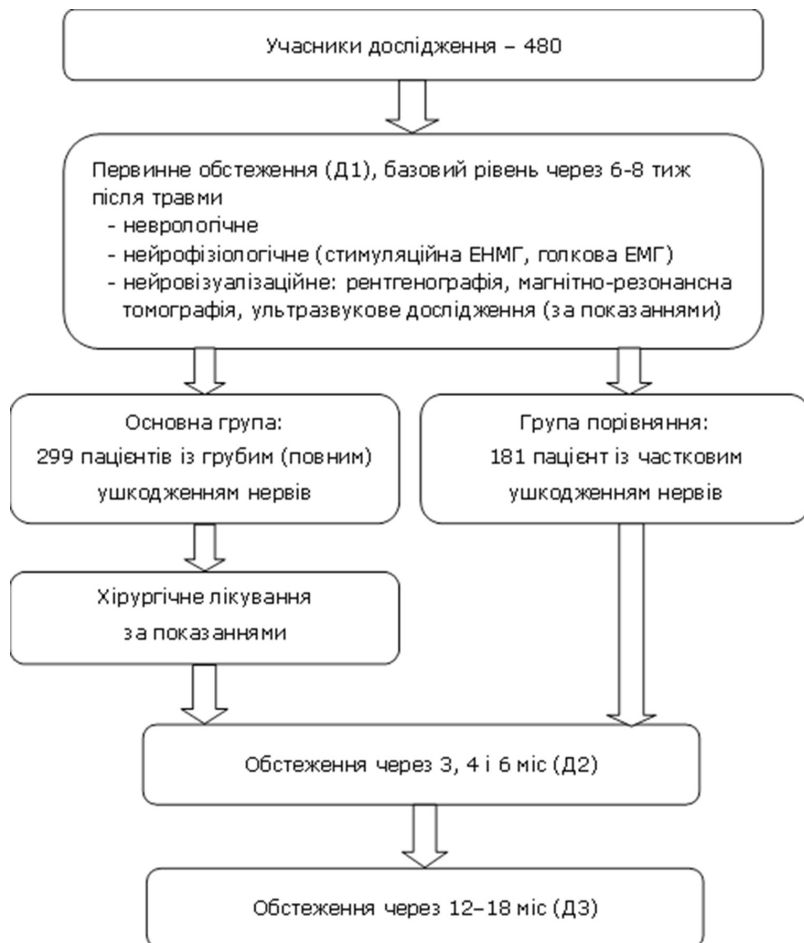


Рис. 2. Дизайн дослідження

Метою ЕНМГ-діагностики було визначити: 1) об'єктивні ознаки ураження нерва кінцівки, 2) ступінь збереженості функції нерва, 3) ступінь втрати функції нерва та м'язів (порівняно з інтактною кінцівкою), 4) виявити ознаки регенерації нерва та реіннервації м'язів, 5) об'єктивно оцінити зміни показників функції нервів і м'язів порівняно з доопераційними даними ЕНМГ. Отримані дані дали змогу визначити критерії для вибору методики ЕМГ-діагностики у певні строки, тобто розробити алгоритм НФ-діагностики.

Дотримувалися часової схеми, оскільки важливе значення має виконання базового рівня електрофізіологічних досліджень на 6-й тиждень після травми. Подальші дослідження можна проводити через 3-4 міс для моніторингу відновлення функції нерва або його відсутності. Слід пам'ятати, що в разі відсутності реіннервації м'язів в терміни від 12 до 18 міс зміни м'язів незворотні, тому необхідно уникати надмірної затримки з проведенням операції.

Термін першого оцінювання результатів реконструктивних втручань щонайменше на 2 міс випереджав прогнозовані строки регенерації. Термін наступного (другого) контрольного обстеження – у прогнозовані строки регенерації. Подальше оцінювання виконували при повторних зверненнях хворого (на вимогу) та до відсутності суттєвого прогресу у відновленні втрачених неврологічних функцій.

Для інтерпретації даних першої НФ-діагностики важливими були такі чинники: 1) причина отримання травми й термін після неї (та первинної хірургічної обробки), 2) клініко-неврологічний висновок щодо патогістологічних змін і переважного типу ураження нерва (аксональний/дем'єлінізуючий) та динаміки перебігу відновлення функцій нерва.

При виборі виду оперативного втручання при вогнепальних ушкодженнях ПН урахували рівень ушкодження нервів, кількість ушкоджених структур, характер ушкодження, величину діастазу, тип внутрішньоневральної будови нерва. Із методів хірургічних втручань при наслідках вогнепальних ушкоджень ПН і плечового сплетення застосовували невроліз, автонеуропластику, селективну невротизацію, хронічну електростимуляцію, транспозицію сухожилків і м'язів.

#### *Зовнішній та внутрішній невроліз*

Невролізом структур периферичної нервової системи вважали звільнення анатомічно збережених нервових структур від навколишніх рубцевих тканин як циркумферентно, так і в дистальному/проксимальному напрямку щодо рівня ушкодження (зовнішній невроліз). Внутрішній невроліз передбачав виконання поздовжньої епіневротомії над максимально зміненою ділянкою нервової структури до появи типової волокнинної структури.

### Зшивання нерва

При зшиванні нерва у випадках вогнепальних ушкоджень найчастіше використовували методики накладання епі-периневрального та епіневрального шва. В окремих випадках проводили фасцикулярне зшивання нервів. За можливості намагались провести пряме зшивання кінців ушкодженого нерва. Для цього використовували такі методи подолання діастазу між кінцями нерва, як мобілізація кінців нерва в допустимих межах, переведення нерва в нове ложе для забезпечення коротшого шляху, надання кінцівці оптимального положення тощо. У випадках прямого зшивання нервів застосовували диференційоване мікрохірургічне зшивання нерва залежно від його типу будови [11].

### Автологічна пластика

Методика автологічної пластики, яка полягає в розташуванні між проксимальним та дистальним відрізками травмованого нерва відповідної довжини сегментів, переважно чутливих нервів, описана в численних літературних джерелах [12] та суттєво не відрізнялася при виконанні у пацієнтів, залучених у дослідження. Як нерв-донор зазвичай використовували шкірні нерви (найчастіше литковий, поверхневу гілку променевого, медіальні шкірні нерви плеча та передпліччя). При значних дефектах нервів у 14 випадках застосовували малоогомілковий, серединний чи ліктьовий нерви.

*Селективна реіннервація – невротизація, анатомічні, фізіологічні та технічні вимоги-принципи*

Переміщення нервів (або невротизація) – це методика реконструктивного хірургічного втручання, що передбачає повернення функціональної спроможності лише дистальній частині ушкодженого ПН шляхом залучення проксимальної частини іншого ПН зі збереженою функціональною спроможністю, тобто донорами є тіла нейронів та їхні відростки-аксони задля реіннервації дистального органа-ефектора, наприклад, м'яза чи м'язових груп [13]. Концепція цієї методики реконструктивного хірургічного втручання передбачає жертвування функцією менш важливих нервів-донора та м'яза-донора для забезпечення відновлення функціонально більш значущих нерва-реципієнта і м'яза-реципієнта [14].

Анатомічні та фізіологічні принципи, що лежать в основі невротизації, досить прості: а) для відновлення чутливої функції використовують чутливий нерв-донор, для відновлення ефективної рухової функції – нерв-донор із належною кількістю рухових волокон, б) втрата функції нервом-донором чи м'язом-донором унаслідок денервації (забору донора) не має спричинити втрату важливої чи критичної функції.

Технічні принципи, спрямовані на досягнення максимального функціонального результату (ефективної функції): а) забір нерва-донора якомога ближче до кінцевого органа-ефектора, б) виконання прямого анастомозування між нервом-донором і нервом-реципієнтом без використання автологічного трансплантата між ними, в) використання нервів-донорів, первинна функція яких максимально подібна до бажаної функції нерва-реципієнта (агоністичні функції), задля полегшення процесу кіркової реадаптації, г) проведення невротизації в якомога ранніші терміни для ефективного максимального відновлення.

ЕНМГ-діагностику використовували для об'єктивної оцінки ефективності відновлення функцій

нерва, відповідних м'язів і рухів ушкодженої кінцівки, отримання можливих критеріїв для обґрунтування вибору подальшої тактики ведення пацієнта.

### Результати та обговорення

Аналізуючи особливості клінічних виявів та дані ЕНМГ-діагностики наслідків вогнепальних і мінно-вибухових ушкоджень нервів верхніх та нижніх кінцівок на різних рівнях, ми виходили з існуючих уявлень про два можливі механізми відновлення функції нервово-м'язового апарату: реіннервація м'язових волокон за рахунок колатерального спраутингу аксонів рухових волокон або регенерація аксонів. Якщо «чужі» аксони «підбирають» денервовані м'язові волокна (колатеральний спраутинг), це виявляється високоамплітудними поліфазними ПРО. Виявом регенерації аксона є низькоамплітудні та поліфазні потенціали.

При оцінюванні даних ЕНМГ-діагностики функції травмованих ПН орієнтувалися на критерії AAEM EFNS/PNS (Criterion of American Association of Electrodiagnostic Medicine and European Federation of Neurological Societies/Peripheral Nervous System). Шваннівські клітини, що вижили, здатні відновити мієлінову оболонку за 6–12 тиж. При аксональному ушкодженні регенерація аксона в оболонці зі шваннівської клітини відбувається зі швидкістю близько 1 мм/добу. Проте його проростання може відбуватися в неправильному напрямку, що призводить до порушення іннервації, наприклад, волокон іншого м'яза, тактильного рецептору не в тому місці або температурного рецептора замість тактильного. Регенерація стає неможливою, якщо тіло клітини відмирає, і є маловірогідною, якщо аксон повністю гине.

**ЕНМГ-критерії для визначення патогістологічного типу ушкодження нервів кінцівок**

**Нейротмезис** (повне анатомічне перетинання нерва та його оболонок) на 4–6-й тиждень після травми електронейроміографічно характеризувався відсутністю М-відповіді при дистальній та проксимальній стимуляції нерва (**Рис. 3, А**), з урахуванням особливостей іннервації м'яза амплітуду М-відповіді <100 мкВ на суперсильну стимуляцію також можна вважати відсутністю М-відповіді. При голчастій ЕМГ відповідного ключового м'яза (м'язів) ПРО на довільне скорочення відсутні, виявляється бурхлива спонтанна активність у вигляді денерваційних потенціалів фібриляцій (ПФ) і позитивних гострих хвиль (ПГХ) (**Рис. 3, Б, Табл. 2**). За даними Л.Ф. Касаткіної (1980), при нейротмезисі довгих нервів подібна ЕНМГ-картина характерна для 11–16-ї доби після травми [8].

У **Табл. 2** наведено дані, що характеризують чутливість, специфічність та інформативність (прогностичну цінність) показників ЕНМГ та ЕМГ щодо визначення тяжкості травматичного ушкодження нерва кінцівки за типом нейротмезису. Чутливість розраховано як величину, зворотну кількості хибних спрацювань, специфічність – як величину, зворотну кількості хибно позитивних результатів, інформативність розраховано за спрощеним варіантом формули Баєса (<https://betterexplained.com/articles/an-intuitive-and-short-explanation-of-bayes-theore>).

Таблиці 2 × 2 використано для оцінки інформативності «сукупності ЕНМГ+ЕМГ показників»

щодо визначення тяжкості травматичного ушкодження нерва від I до V ст. (від нейротмезису до нейропраксії) як кореляції з клінічним та інтраопераційним висновком про тяжкість ушкодження нерва.

Таким чином, метод ЕНМГ+ЕМГ-діагностики виявився досить чутливим щодо виявлення нейротмезису (87%) і специфічним (89%). Метод є інформативним щодо наявності ЕНМГ+ЕМГ ознак нейротмезису та їх відсутності (81–92%) в підгострий період травматичного ушкодження нерва, що має важливе значення в доопераційний період.

Дослідження з використанням методів ЕНМГ+ЕМГ у пацієнтів із травматичним ушкодженням нервів кінцівок дає змогу встановити наявність і тяжкість ушкодження. Переваги методу полягають у високій чутливості, специфічності та інформативності (прогностичній цінності), відтворюваності при повторних дослідженнях, кількісній оцінці змін, що важливо під час динамічного спостереження.

**Аксонотмезис** – повне аксональне внутрішньостовбурове переривання нерва – через повне порушення аксонального транспорту спричиняє загибель аксонів і розвиток валлерівської дегенерації, тому ЕНМГ-картина подібна до описаної для нейротмезису. Потенціали фібриляцій (ПФ) з'являються на 4–16-ту добу, ПГХ – приблизно через 7 днів після ПФ.

Якщо аксонотмезис частковий, то мають місце валлерівська дегенерація лише частини аксонів у складі нерва і часткова денервація м'яза. На відміну

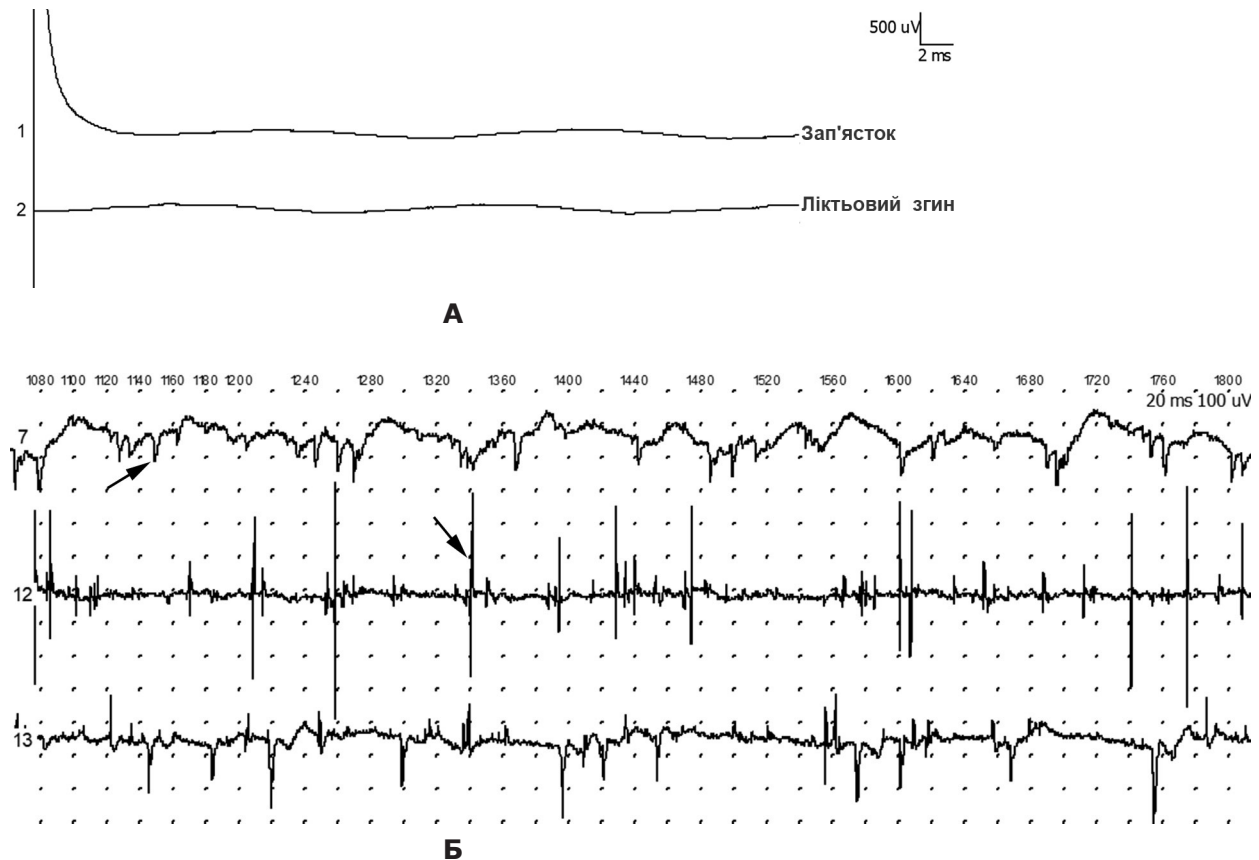
від випадків нейротмезису через 2 тиж поряд з денервацією активуються процеси реіннервації, характерні ЕНМГ-ознаки:

- значне зниження амплітуди М-відповіді (на  $\geq 50\%$ );
- значне зниження ШПЗ (від  $-50\%$  до 0 м/с);
- блок провідності (БП) на ураженому сегменті (внаслідок пошкодження мієлінової оболонки) може бути таким виразним, що відсутня М-відповідь на стимуляцію нерва в точці, проксимальнішій за зону ураження;
- випадіння сенсорної відповіді нерва.

При голчастій ЕМГ:

- протягом першого тижня можливе електричне «мовчання»;
- на 7–16-й день може реєструватись бурхлива спонтанна активність у вигляді ПФ;
- на 14–30-й день бурхливі ПГХ;
- на 3–4-й тиждень на тлі виразної денерваційної активності ПФ і ПГХ при довільному скороченні (напруженні) м'яза реєструють ПРО (**Рис. 4**).

У перші півроку після травми ознаки скорочення відзначали лише у великих проксимально розташованих м'язах кінцівки, у пізніші терміни (через 6 міс–1 рік) рухова функція відновлювалася у м'язів, розташованих дистальніше. Вже через 90 днів після травми в частини постраждалих фіксували появу замісних рухів, що давало змогу компенсувати моторні порушення за рахунок «грубих» недиференційованих локомоцій.

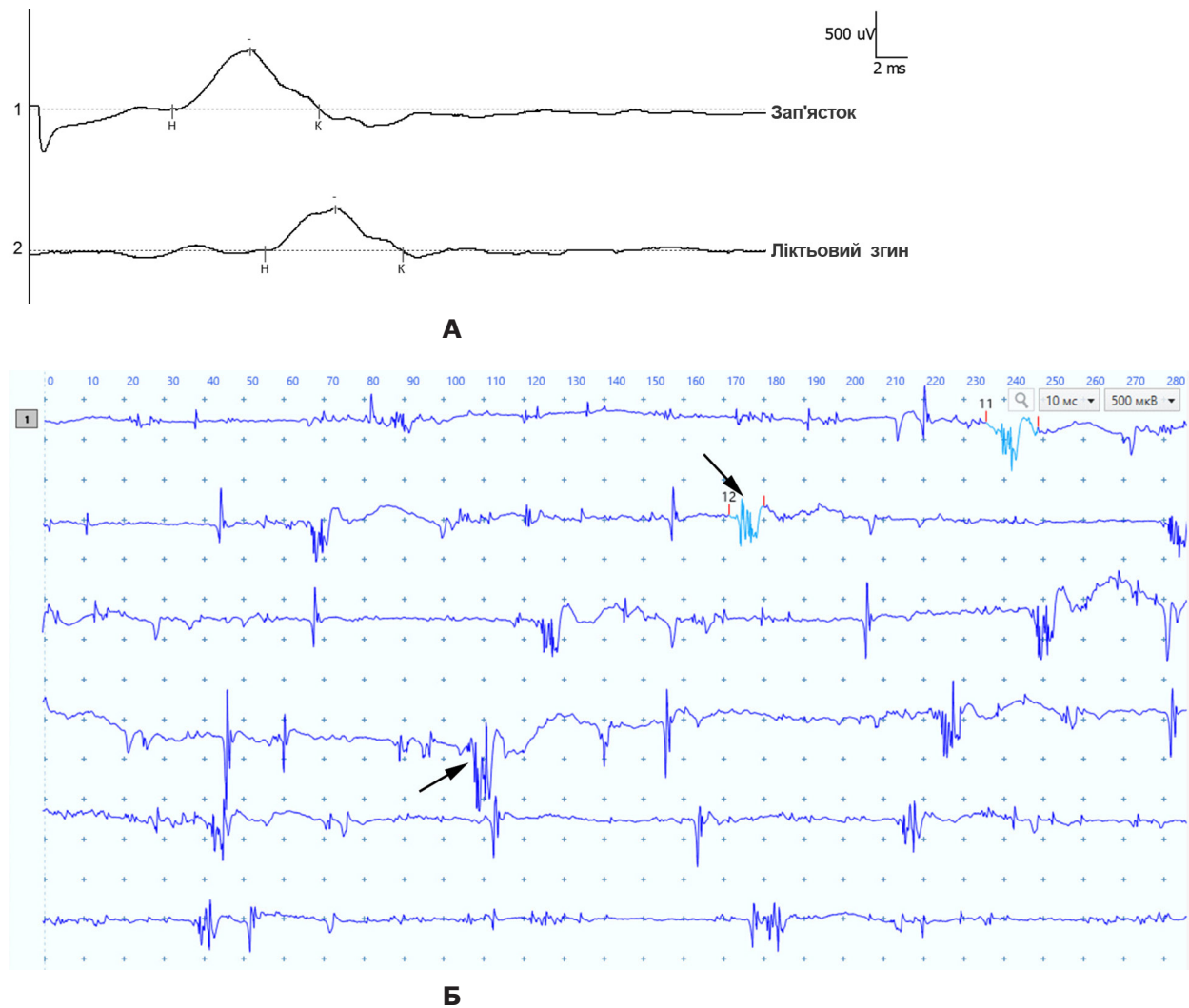


**Рис. 3.** Повне аксональне перетинання серединного нерва, відсутність М-відповіді (А), бурхлива спонтанна активність у вигляді потенціалів фібриляцій та позитивних гострих хвиль (Б)

**Таблиця 2.** Чутливість, специфічність та інформативність показників ЕНМГ+ЕМГ щодо інтраопераційного діагнозу нейротомезису

Показник	За змінами М-відповіді та моторної ШПЗ	За змінами М-відповіді, моторної ШПЗ та внутрішньом'язовою реєстрацією потенціалів денервації
Чутливість=ДП : (ДП+ХН) · 100%	72	87
Специфічність=ДН : (ДН+ХП) · 100%	80	89

Примітки: ДП – дійсна позитивність (правильне спрацювання); ХН – хибна позитивність (хибне спрацювання); ХП – хибна негативність (хибне неспрацювання); ДН – дійсна негативність (правильне неспрацювання)



**Рис. 4.** ЕНМГ при частковому аксональному ушкодженні серединного нерва – значне зниження амплітуди М-відповіді (А) через 4 тижні після травми, реєструються потенціали рухових одиниць (Б)

Демієлінізуюче ураження розглядають як забій нерва внаслідок супутньої компресії нерва кістковими, фіброзними чи іншими об'ємними утвореннями (гематомою, стороннім тілом). При стимуляційній ЕНМГ моторного проведення по сегментах нерва та інчингу (покроковому дослідженні) на ділянці

демієлінізації значно знижується ШПЗ, виявляється ЕНМГ-феномен БП. Шваннівські клітини, що вижили після травми, здатні відновити уражену мієлінову оболонку за 6–12 тиж.

Сучасні погляди на феномен БП як доказ демієлінізуючого процесу зазнали змін. Блок

проведення – електрофізіологічний феномен зменшення амплітуди та площі моторної відповіді при стимуляції в проксимальній точці щодо дистальної відповіді. Триває активне обговорення значення БП у диференційній діагностиці демієлінізуючих і аксональних нейропатій, а також критеріїв діагностики станів, за яких реєструється цей феномен. Установлено, що виявлення БП при електрофізіологічному дослідженні, як і значення його параметрів, строго не асоційовані з морфологічними змінами. Незалежно від наявності доведеної мієлінопатії чи аксонопатії БП з НФ позицій не відрізняється. Загальні та окремі патофізіологічні механізми формування БП при компресійних нейропатіях важливо розглядати в межах кожної нозологічної форми [15].

На нашу думку, доцільно виділити три ступені виразності БП: 1-й – зниження амплітуди М-відповіді <50% щодо показника контралатерального нерва інтактною кінцівкою, 2-й – зниження амплітуди на 50–75%, 3-й – зниження амплітуди на >75% [9].

У період до 8 міс після вогнепальних травм нервів як при невротмезисі, так і при аксонотмезисі серед сенсорних порушень домінували симптоми випадіння (гіпестезії, анестезії) з явищами парестезії в зоні денервації. Моторні розлади виявлялися слабкістю, а при невротмезисі часто (у >35% випадків) також відсутністю руху у відповідних м'язових групах, майже в усіх випадках мала місце м'язова атрофія, у деяких постраждалих (близько 9%) – контрактури.

Ефективним було виконання дистальної невротизації, що скорочує відстань до цілі (м'яза, м'язів), при цьому важливо знати внутрішню анатомію нервів, особливо гілочок. Ця операція є кориснішою, особливо у разі 3-го ступеня, коли не зрозуміло, чи щось змінюватиметься на краще, операція дає змогу отримати задовільніший результат [14]. У разі 1-го ступеня може бути проведена декомпресія. Третій ступінь дуже варіабельний: ПФ і ПГХ немає, принципового важливого значення набуває реєстрація ПРО. Слід пам'ятати, що оптимальними термінами для втручання є 3–6 міс після травми. Якщо операцію виконати пізніше, то відновлення буде значно гіршим.

ЕНМГ-ознаки регенерації аксонів та реіннервації м'язів у пацієнтів з віддаленими наслідками бойової травми нервів кінцівок

Інтерпретувати результати ЕНМГ-дослідження допомагала класифікація уражень ПН [16], яка є зручною і детальною (**Табл. 3**). Під час електродіагностичного обстеження провідності по ПН (ЕНМГ) та за допомогою голкового електрода (ЕМГ) при гострому ураженні за наявності ПФ і ПГХ визначають аксональний тип ураження, за відсутності ПФ та наявності парезу – нейропраксію зі сприятливим прогнозом щодо відновлення, тобто демієлінізуюче ураження.

Якщо в уражених м'язах, розташованих проксимальніше від місця ураження, приблизно через 3 міс реєструють ПРО, то прогноз щодо відновлення сприятливий. Така НФ-картина може бути характерною для II ступеня аксонотмезису. За відсутності ПРО через  $\geq 4$  міс або появи перших ПРО прогноз важко визначити (відновлення часткове або неповне). Якщо в цей період немає ПРО, то

прогноз несприятливий, обов'язково слід розглянути питання щодо хірургічного втручання. Розроблена класифікація наслідків пошкоджень ПН допомагає визначити ступінь тяжкості функціонального дефіциту (легкий, середній і тяжкий).

Аналіз чинників впливу на клініко-нейрофізіологічні особливості перебігу віддалених наслідків вогнепальних ушкоджень нервів кінцівок.

Аналіз даних ЕНМГ-досліджень і результатів нейрохірургічного лікування хворих дав змогу створити схеми, які допомагають за ЕНМГ-ознаками спрогнозувати темп і можливість відновлення при певному типі ушкодження нерва кінцівки (**Рис. 5**).

Запропоновані схеми містять також певне обґрунтування для прийняття рішень щодо лікування пацієнта з віддаленими наслідками бойової травми нервів кінцівок. Проведені ЕНМГ-дослідження дають змогу зіставити виявлені особливості перебігу віддаленого періоду бойової травми нервів кінцівок і прийняти як аксіоматичні рекомендації сучасної нейрофізіології. Найбільш інформативне ЕНМГ-дослідження, проведене через 2–3 тиж після травми нерва, з урахуванням залежності від відстані ушкодження до м'яза. Виявлення денерваційних змін у м'язі залежить від розвитку валлерівської дегенерації ушкоджених аксонів. Зменшення кількості рухових одиниць, які залучені при скороченні м'яза (аналіз патерну рекрутування), – адекватний критерій, який дає змогу встановити топічний рівень ураження нерва в ранні терміни після травми. Голчаста ЕМГ дає змогу ідентифікувати два види процесів відновлення при травмі нерва – реіннервацію м'язових волокон за рахунок колатерального спраутингу та утворення нових ПРО завдяки регенерації аксона.

Таким чином, дослідження рухової та сенсорної нервової провідності та голчаста ЕМГ надають об'єктивні дані, корисні для визначення локалізації ушкоджень ПН, виявлення та кількісного визначення ступеня втрати аксонів, прогнозу щодо відновлення, а також для прийняття рішень щодо подальшого лікування. Метою хірургічного втручання часто є поліпшення функції, а не її нормалізація. Для досягнення оптимальних результатів лікування необхідна комплексна діагностика з мультидисциплінарним підходом до проблеми та диференційоване використання новітніх методів хірургічного лікування хворих із бойовою травмою нервів кінцівок.

ЕНМГ і голчаста ЕМГ з виявленням ПРО та денерваційних феноменів дають змогу об'єктивно визначити локалізацію ушкодження ПН, ступінь втрати і відновлення аксонів, реіннервації м'язів і прогноз щодо відновлення, сприяють прийняттю рішення щодо подальшого лікування та особливостей проведення відновної терапії. НФ-діагностика не лише допомагає встановити рівень і тип ураження нервів, а є важливим чинником для визначення прогнозу щодо відновлення, потреби в оперативному втручанні та оптимального терміну для його проведення.



**Таблиця 3.** Нейрохірургічний аспект класифікації уражень периферичних нервів з ЕНМГ-показниками в різні терміни після травми залежно від ступеня тяжкості ушкодження нерва, реєстрація в дистальному відділі кінцівки

Ступінь ураження	Прогноз щодо відновлення	Терміни відновлення	Відновлення	Електродіагностичне обстеження						
				Гостре ураження ПН			Хронічне ураження ПН			
				ПФ/ПГХ	ПРО	Хірургічне втручання	ПФ/ПГХ	ПРО	Хірургічне втручання	
I	Нейропраксія	Швидке (<12 тиж)	Повне	-	Нормальні	+/-	-	Нормальні	-	-
II	Аксонотмезис	Повільне (1 м/добу)	Повне	Наявні	<sup>+</sup> (<3 міс)	+/-	-		++	-
		Повільне (1 м/добу)	Часткове	Наявні	<sup>+</sup> (≥4 міс)	+/-	-		++	-
IV	Нейротмезис без переривання	Немає	Немає	Наявні	-	+	-		-	-
V	Нейротмезис	Немає	Немає	Наявні	-	+	-		-	-
VI	Змішані ураження (1-У)	Змішаний	Відновлення та тип хірургічного втручання залежать від ураження й комбінації ступенів ураження нерва							

Примітки: (-) – відсутні; (+) – колатеральний спраунтінг чи потенціали, що зароджуються; (++) – стабільні ПРО чи низькоамплітудні поліфазні потенціали, що зароджуються).

(Адаптовано з Interpreting Electrodagnostic Studies for the Management of Nerve Injury // Stahs Pripotnev, Robert C Bucelli, J Megan M Patterso, Andrew Yee, Mitchell A Pet, Susan Mackinnon // Hand Surg Am. 2022 Sep;47(9):881-889. doi: 10.1016/j.jhssa.2022.04.008 [16])



Рис. 5. Прогнозування відновлення функції нервово-м'язового апарату на підставі сукупності даних ЕНМГ-дослідження

### Висновки

1. За результатами комплексного клініко-електронейроміографічного дослідження стану нервово-м'язового апарату кінцівок та його функціональних можливостей у постраждалих із бойовою травмою нервів встановлено, що особливості перебігу відновного періоду в терміні 4–6 (8) міс після вогнепальних і мінно-вибухових травм нервів кінцівок залежать від рівня та ступеня тяжкості пошкодження аксонів. Найбільший вплив на результати відновлення має патогістологічний варіант травми нерва (69,2%), тоді як локалізація ушкодження впливає меншою мірою (29,8%).

2. Відновлення втрачених функцій кінцівки в зазначені терміни за рахунок регенераційного спраунтингу відрізнялося повільним перебігом і було найефективнішим у проксимальних відділах кінцівки. ЕНМГ-корелятами цього патерну в більшості пацієнтів (69,5%) було двохетапне відновлення електробудливості та електропровідності пошкодженого нервового стовбура і функціонально пов'язаних із ним м'язових груп.

3. Без використання голчастої ЕМГ неможлива поточна об'єктивна оцінка аксональних та демієлінізуючих процесів у травмованому нерві та ефективності відновлення рухових одиниць.

4. За результатами комплексного клініко-нейрофізіологічного дослідження постраждалих із наслідками бойових травм ПН розроблено класифікацію наслідків пошкоджень ПН та виділено три ступені тяжкості функціонального дефіциту – легкий, середній і тяжкий.

5. Створено схеми прогнозування відновлення функції нервово-м'язового апарату на підставі сукупності даних ЕНМГ-дослідження.

### Розкриття інформації

#### Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

#### Етичні норми

Усі процедури, виконані пацієнтам під час дослідження, відповідають етичним стандартам інституційного та національного комітетів з етики і Гельсінської декларації 1964 року та її пізнішим поправкам або аналогічним етичним стандартам.

### Інформована згода

Від кожного із пацієнтів отримано інформовану згоду.

### Фінансування

Дослідження не мало спонсорської підтримки.

### Список літератури

1. Цимбалюк ВІ, Лузан БМ, Цимбалюк ЯВ. Діагностика й лікування хворих із травматичними ушкодженнями периферичних нервів в умовах бойових дій. Травма, 2015;16(3):13-18. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Travma\\_2015\\_16\\_3\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Travma_2015_16_3_4)
2. Iordache SD, Gorski A, Nahas M, Feintuch L, Rahamimov N, Frenkel Rutenberg T. Treatment of Peripheral Nerve Injuries in Syria's War Victims: Experience from a Northern Israeli Hospital. Isr Med Assoc J. 2021 May;23(5):279-285.
3. Страфун СС, Борзих НО, Гайко ОГ, Борзих ОВ, Гайович ВВ, Цимбалюк ЯВ. Пріоритетні напрями хірургічного лікування поранених з ушкодженнями периферичних нервів верхньої кінцівки при поліструктурних травмах. Травма. 2018;19(3):75-80. doi: 10.22141/1608-1706.3.19.2018.136410
4. Страфун СС, Гайович ВВ, Гайович ІВ. Лікування пошкоджень нервів кінцівок у результаті вогнепальних поранень. Вісник травматології та протезування. 2015;(2):16-21.
5. Цимбалюк ВІ, Петрів ТІ. Шкали в нейрохірургії. Київ: Задруга; 2015.
6. Гехт БМ, Касаткіна ЛФ, Самойлов МІ, Санадзе АГ. Электромиография в диагностике нервно-мышечных заболеваний. Таганрог: Издательство Таганрогского государственного университета; 1997.
7. Зенков ЛР, Ронкин МА. Функциональная диагностика нервных болезней: руководство для врачей. Москва; 2013.
8. Касаткіна ЛФ, Гильванова ОВ. Электромиографические методы исследования в диагностике нервно-мышечных заболеваний. Игольчатая электромиография. Москва: Медика; 2010.
9. Николаев СГ. Практикум по клинической электромиографии. Иваново: Ивановская государственная медицинская академия; 2003.
10. Чеботарьова ЛЛ, Третьякова АІ. Электрофизиологичні методи діагностики в нейрохірургії. Київ: Факт; 2005.
11. Лисайчук ЮС. Совершенствование микрохирургической техники операций и методик лечения больных с последствиями травм нервов верхних конечностей [диссертация]. Киев, 1988.
12. Siqueira MG, Martins RS. Surgical treatment of adult traumatic brachial plexus injuries: an overview. Arq Neuropsiquiatr. 2011 Jun;69(3):528-35. doi: 10.1590/s0004-282x2011000400023

13. Midha R. Nerve transfers for severe brachial plexus injuries: a review. *Neurosurg Focus*. 2004 May 15;16(5):E5. doi: 10.3171/foc.2004.16.5.6
14. Tretyak IB, Gatskiy AA, Kovalenko IV, Bazik AN. To graft or not to graft? Median to radial nerve transfer in the forearm: an alternative approach to treat proximal radial nerve injuries. *Ukrainian Neurosurgical Journal*. 2018 Sep 28;0(3):34–40. doi: 10.25305/unj.133273
15. Никитин СС, Муртазина АФ, Дружинин ДС. Блок проведения возбуждения по периферическому нерву как электрофизиологический феномен: обзор литературы. *Нервно-мышечные болезни*. 2019;9(1):12–23. doi: 10.17650/2222-8721-2019-9-1-12-23.
16. Pripotnev S, Bucelli RC, Patterson JMM, Yee A, Pet MA, Mackinnon S. Interpreting Electrodiagnostic Studies for the Management of Nerve Injury. *J Hand Surg Am*. 2022 Sep;47(9):881-889. doi: 10.1016/j.jhssa.2022.04.008