

Вогнепальні ураження периферичних нервів кінцівок. Особливості діагностики та лікування (методичні рекомендації)

Страфун С.С.¹, Лисак А.С.¹ ✉, Курінний І.М.¹, Гайович В.В.¹, Кулик Ю.А.¹

Резюме. Вогнепальні ураження периферичних нервів кінцівок є складовою тяжкої поліструктурної бойової травми та характеризуються особливостями механізму ушкодження, діагностики й відновного лікування. Викладено основні типи та особливості вогнепальних уражень периферичних нервів, методи клінічної та інструментальної діагностики, оптимальні терміни й принципи хірургічного відновлення, а також підходи до реконструктивного лікування наслідків травми.

Ключові слова: вогнепальна травма, периферичні нерви, бойова травма кінцівок, діагностика, хірургічне лікування, реконструктивна хірургія.

Сучасна російсько-українська війна доволі сильно відрізняється від більш ранніх збройних конфліктів та воєн завдяки застосуванню новітньої військової техніки, переважанню артилерії та масовому використанню FPV-дронів, що зумовлює тяжкість і поліструктурність поранень. Стрімке зростання кількості високоенергетичних осколкових та мінно-вибухових травм, у свою чергу, обтяжує та ускладнює надання медичної допомоги в плані відновлення анатомічних структур і функціональних можливостей кінцівки. А щільність вогню та інтенсивність бойових дій значно ускладнюють медичну евакуацію, а отже, сприяють задавненню травм.

Згідно з даними відділу статистики Національного військово-медичного клінічного центру «Головний військовий клінічний госпіталь» за період з лютого 2022 року по червень 2023 року та відділення реконструктивної мікрохірургії та ортопедії ДУ «Головний медичний клінічний центр МВС України» за 2023–2025 роки, в структурі поранень переважають поранення кінцівок та складають близько 69–71%. Незважаючи на те, що осколкові поранення все ще є основним типом поранень (81% у 2022 році та 65% у 2025 році), зі збільшенням використання FPV-дронів прогресивно зростає і кількість мінно-вибухових поранень (з 11% у 2022 році до 28% у 2025 році).

Вогнепальні поранення кінцівок, що супроводжуються ушкодженнями периферичних нервів, часто спричиняють втрату працездатності, тривалий період реабілітації, хронічний больовий

синдром, зниження толерантності до холоду, та інвалідність [1]. Механізм ушкодження є багатофакторним і може бути викликаний прямою (безпосередньою) та непрямою (наприклад, тепловою та/або ударною хвилею) травмою, що ускладнює лікування таких пацієнтів [2]. Можливе ушкодження нервів кістковими уламками, оскільки при вогнепальному пораненні кісткові фрагменти під кінетичною дією раничого агента можуть при значному зміщенні травмувати розташований поруч нерв. Травма, з якою ми стикаємося у сучасній війні, може бути зумовлена прямим проникненням кулі в тіло, уламками куль або осколками від мін, гранат, снарядів чи бомб. Такі травми з високою ймовірністю можуть призводити до ушкодження нервів, особливо у разі поранення кінцівок. Осколкові та кульові поранення характеризуються масивним пошкодженням м'яких тканин внаслідок прямої трансляції високої енергії через органи та тканини і супутнього термічного ураження [3]. Так, вогнепальні ушкодження м'яких тканин, котрі потребують хірургічних реконструктивних втручань, спостерігаються в 64,9–68,2%, із них 36,4–37,5% супроводжуються малими і середніми, а 28,5–30,7% – великими та надвеликими дефектами. Вогнепальні переломи кісток зазвичай є багатоуламковими (у 76% – вогнепальні переломи з дефектами кісткової тканини, чверть з яких – дефекти, що перевищують 6 см) та супроводжуються різними видами пошкоджень м'яких тканин. За даними різних авторів, ушкодження периферичних нервів є характерним для вогнепальних травм, проте приблизно в половині випадків можливе спонтанне відновлення [4]. При вогнепальних

✉ Лисак А.С., dr.andrew.lysak@gmail.com

¹ ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», Україна, Київ

ушкодженнях периферичних нервів – необхідний особливий підхід щодо показань, термінів та видів оперативного втручання [5]. Специфіка такої травми передбачає раннє хірургічне лікування у певної категорії пацієнтів [6]. При анатомічних ушкодженнях периферичних нервів їх хірургічне відновлення (шляхом зшивання, аутонейропластики, або невротизації) необхідно проводити в перші 6 місяців після травми [7]. Ушкодження магістральних судин та вогнепальні переломи кісток є факторами ризику ушкодження периферичних нервів [8]. Аналізуючи 40-річний досвід (2106 пацієнтів) лікування вогнепальних ушкоджень нервів – Н.І. Secer та співавтори визначили, що тип і ступінь пошкодження (та реконструкції) нерва, супутні ураження, терміни до операції, інтраопераційні дані, характеристики відновлення нерва та післяопераційної реабілітації є основними прогностичними факторами відновлення функції кінцівки [9]. До 26% пацієнтів із пошкодженням периферичних нервів стають інвалідами через постійний невропатичний біль і втрату функції кінцівки [10].

Аналізуючи власний досвід, нами було визначено, що серед 2306 пацієнтів з вогнепальними пораненнями кінцівок у період з квітня 2014 року по жовтень 2025 року у 732 пацієнтів (близько 31,74%) було діагностовано вогнепальні ушкодження периферичних нервів кінцівок. Переважали ураження нервів верхньої кінцівки (77%); осколкові поранення (90%) переважали кульові (10%). Ураження периферичних нервів у поєднанні з пошкодженнями інших структур визначали в 86% випадків. Одночасне пошкодження двох і більше нервів – у 15%.

Близько 53,1% вогнепальних уражень периферичних нервів мали первинний дефект і потребували хірургічного лікування (шов або аутонейропластика). На момент оперативного втручання

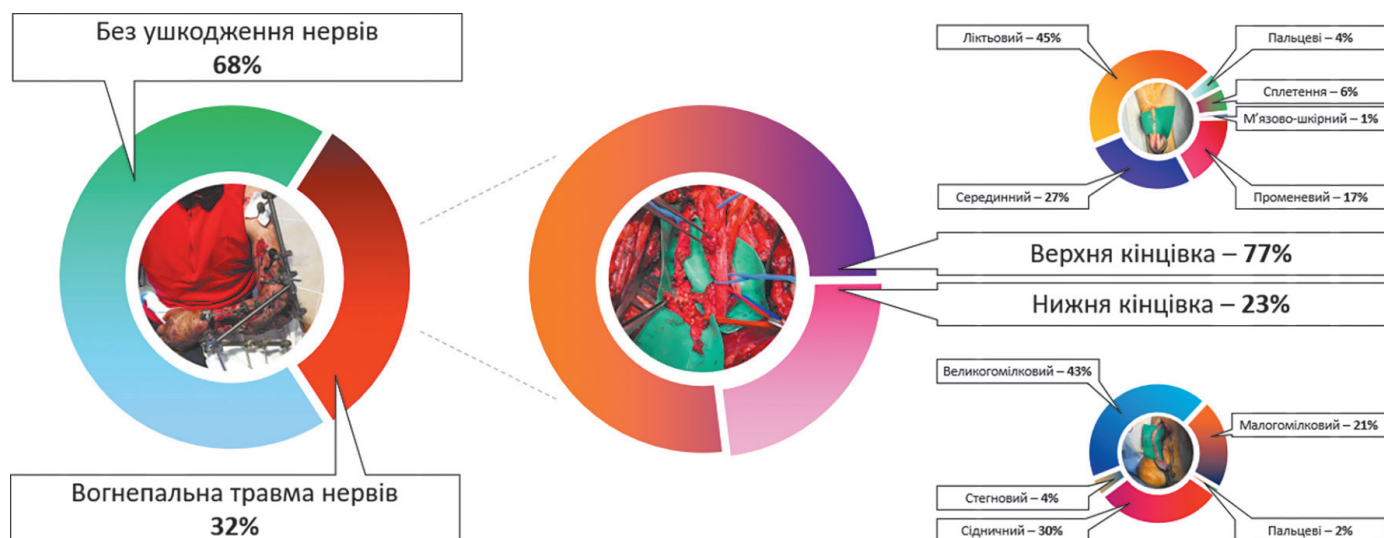
ня **середній розмір дефекту нерва становив $4,88 \pm 3,22$ см**. Причому дефекти периферичних нервів нижніх кінцівок ($5,26 \pm 3,14$ см) були достовірно більшими ($p < 0,01$), ніж дефекти нервів верхніх кінцівок ($4,77 \pm 3,26$ см).

Важливо пам'ятати, що з плином часу стан травмованої кінцівки погіршується; наявність дефектів шкірних покривів буде призводити до збільшення ризиків інфекційних ускладнень та рубцевих дефектів шкіри; вогнепальні переломи – до утворення несправжніх суглобів або неправильної консолідації фрагментів. Проте найбільш важливим для відновлення функції кінцівки є стан м'язів, і саме тут час відіграє найкритичнішу роль. Ішемічне ушкодження м'яза за рахунок пошкодження магістральних судин або розвитку компартмент синдрому потребує негайних дій (до 4–5 годин), тоді як денерваційні зміни більш розтягнуті в часі, проте не менш загрозливі для відновлення функції кінцівки. Варто також зазначити, що при бойовій травмі кінцівок не рідкісною є комбінація ішемічно-денерваційних уражень, котрі не лише взаємобтяжують одне одного та потребують інших підходів, а й мають виражений негативний прогноз щодо відновлення функції.

Загальний алгоритм лікування бойової травми

Загалом лікування бойових травм кінцівок складається з 4 основних етапів:

- **1-й етап** – етап гострої травми або так званих «стабілізуючих операцій». Це етап підготовчих до реконструктивних втручань операцій, проте, незважаючи на свій характер, він є одним із найбільш важливих та критичних, оскільки саме він визначає подальші перспективи та потенціал до відновлення функції кінцівки. Протягом цього етапу необхідно прийняти рішення щодо збереження чи ампутації кінцівки,



провести дебрідмент ран, за необхідності первинну стабілізацію кісткових сегментів та виконати фасціотомії (стабілізацію кісткових сегментів та фасціотомії необхідно виконати під час первинного дебрідменту), а також за потреби налагодити VAC-систему та досягти ерадикації інфекції. Реабілітаційні дії мають бути спрямовані на зменшення набряку та профілактику утворення контрактур. Загальна тривалість першого етапу не має перевищувати 2 тижні з моменту поранення.

- **2-й етап** — етап «**формоутворюючих операцій**». Протягом цього етапу необхідно провести закриття дефектів м'яких тканин повношаровими клаптями (локальними, острівцевими, невідними або мікрохірургічними) та досягти остаточної стабілізації кісткових сегментів за допомогою погрузних конструкцій. Реабілітаційні дії на цьому етапі також мають бути спрямовані на зменшення запальних процесів, набряку та профілактику контрактур. Загальна тривалість цього періоду не має перевищувати 1 місяця.
- **3-й етап** — етап «**функцієутворюючих операцій**». Саме під час цього етапу необхідно проводити відновлення периферичних нервів кінцівок, мобілізацію або стабілізацію суглобів, ендопротезування суглобових дефектів, відновлення сухожилків та проведення сухожильно-м'язових транспозицій чи мікрохірургічних пересадок активних м'язових клаптів, суглобів або пальців. Цей етап є найдовшим і потребує спеціалізованої реабілітації залежно від типу хірургічного втручання.

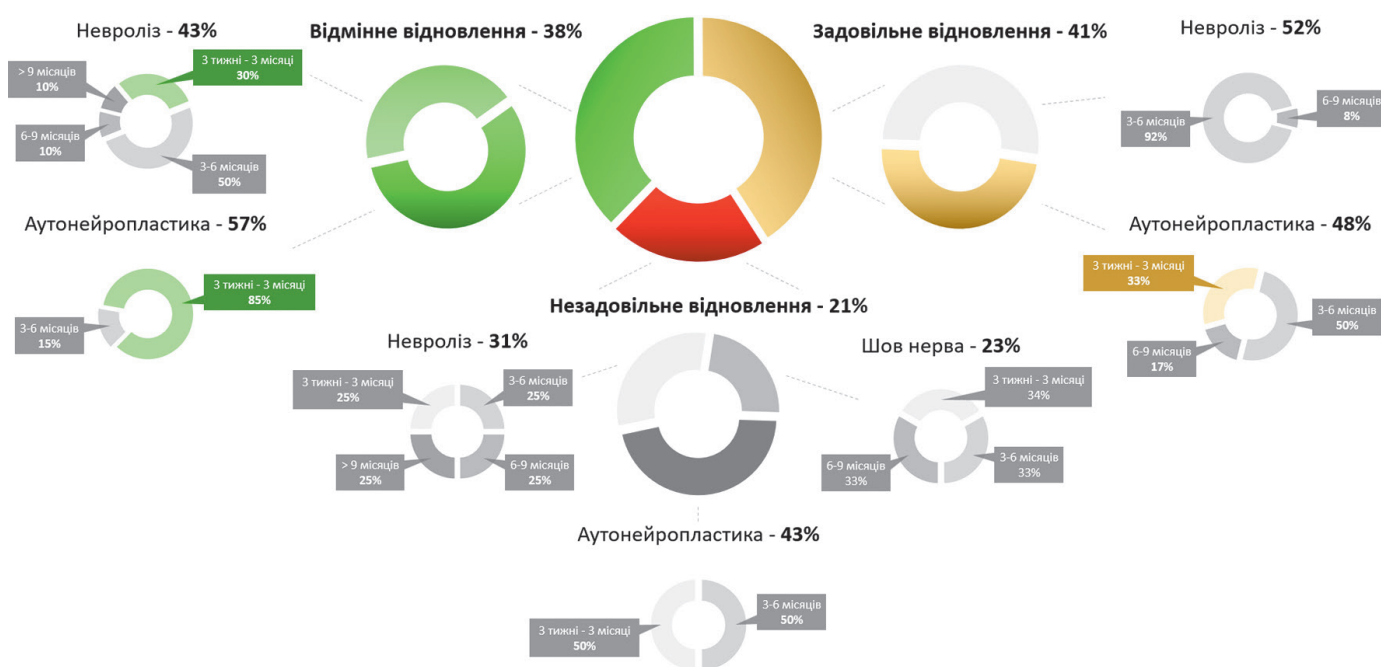
- **4-й етап** — завершальний або етап «**коригуючих операцій**». Під час цього етапу виконують корекцію довжин сухожилків і шкірних рубців, а також знежирення клаптів.

Провівши аналіз хірургічного лікування 296 пацієнтів з бойовою травмою кінцівок, що включала ушкодження периферичних нервів, — найбільшу кількість задовільного функціонального відновлення вдалося досягти у випадках, коли операція з відновлення периферичних нервів виконувалася в період від 3 тижнів до 3 місяців після поранення.

Особливості вогнепальної травми нервів

Куля або осколок, потрапляючи в тіло людини, може спричинити не лише безпосереднє (повне або часткове) ушкодження периферичного нерва, але й ураження параневральної жирової клітковини, пошкодження мікроциркуляторного русла нерва, а також дисрупцію нейром'язових синапсів та безпосереднє (дефект м'язової тканини) чи опосередковане (за рахунок ішемічного ураження) ушкодження цільових м'язів. Зважаючи на це, можна виділити цілий ряд особливостей вогнепальної травми периферичних нервів у порівнянні з іншими травмами чи ураженнями периферичної нервової системи:

1. **Значні первинні дефекти нервів.** Безпосереднє ушкодження нерва кулею або осколком призводить не лише до його первинного дефекту (рис. 1), але й до значного ураження його мікроциркуляторного русла та мікроциркуляції навколишніх тканин. Згідно з дослідженнями R.Birch [14] — відновлення мікроциркуляції та остаточне



формування «дефекту» нерва відбуваються лише через 3 тижні після поранення. З іншого боку, це означає неможливість адекватної аутонейропластики ушкодженого периферичного нерва на ранніх етапах, що призводить до збільшення термінів денервації скелетних м'язів. Саме така дистантність змін мікроциркуляторного русла в нерві і обумовлює значні істинні дефекти нерва що можуть бути більшими за видимий анатомічний дефект.

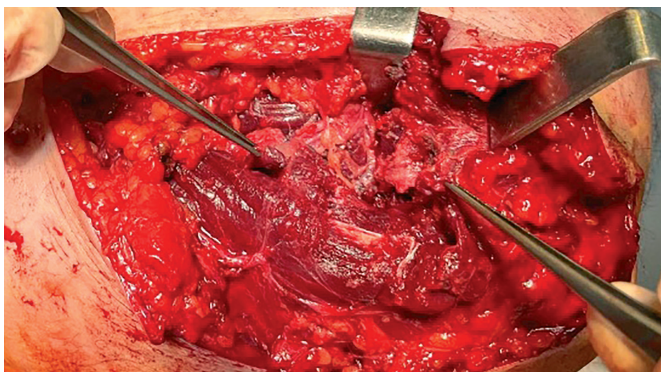


Рис. 1. Первинний дефект ліктьового нерва при кульовому пораненні.

2. **Фіброз параневральних тканин.** Ударна хвиля від кулі чи осколка нерівномірно поширюється через різні тканини організму. Як правило, найбільшою травмою зазнає мікроциркуляторне русло [11, 12, 13]. Саме ураження мікроциркуляторного русла призводить до ушкодження найбільш чутливих до порушення кровопостачання тканин (бідної на кровоносні судини жирової клітковини та чутливої до ішемії нервової тканини), які не перебували у безпосередньому контакті з травмуючим агентом. **Порушення кровопостачання жирової клітковини мезоневрію призводить до її дегенерації та фіброзування**, що, своєю чергою, веде до утворення щільного рубця навколо нерва та його вторинної компресії (рис. 2).

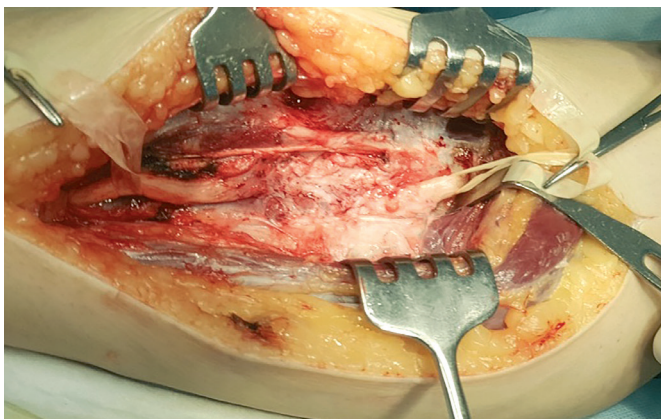


Рис.2. Фіброз параневральних тканин.

3. **Ішемічне ураження нерва (дем'єлінізація та блок проведення).** Залежно від кінетичної енергії раничого снаряда, дія первинної та вторинної ударної хвилі, утворення тимчасової пульсуючої порожнини та, в подальшому, ураження вихровим слідом також впливають на периферичні нерви всього сегмента (у випадку високоенергетичної травми), зокрема й ті, що не розташовані безпосередньо в зоні ураження раничого снаряда. Так, **ураження мікроциркуляторного русла периферичного нерва та дії тракційних сил на нерв призводять до його ішемії** і, як наслідок, дем'єлінізації та подальшої дегенерації (рис. 3).



Рис. 3. Збереження цілісності нерва, проте порушення його функції за рахунок ішемії та дем'єлінізації.

4. **Змішаний тип ушкодження нерва. Вогнепальні ушкодження периферичних нервів доволі часто можуть бути змішаними**, тобто одночасно частина фасцикул можуть бути ушкоджені по типу нейропраксису (дем'єлінізація нерва при збереженні його анатомічної цілісності), частина фасцикул (волокон) постраждати за типом аксонотмезису (дегенерація аксонів при збереженні цілісності оболонки нерва), та частина фасцикул можуть повністю втрачати цілісність (нейротмезис) (Табл. 1). Такі «змішані» ушкодження периферичних нервів кінцівок потребують ранньої ревізії та відновлення цілісності ушкоджених фасцикул шляхом первинної аутонейропластики (Рис. 4).
5. **Багаторівневе ураження нерва.** Можливе ураження одного і того самого нерва на різних сегментах кінцівки, або на різних рівнях одного сегменту. Наприклад ушкодження серединного нерва на рівні плеча та зап'ястка.
6. **Ушкодження нервів «вторинними раничими снарядами».** Ушкодження периферичних нервів кінцівок при вогнепальній травмі також можуть бути спричинені не лише безпосередньою дією кулі чи осколка, а й,

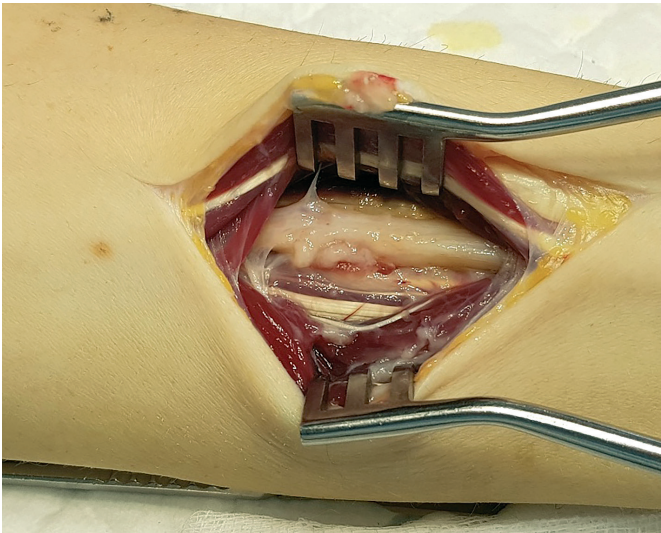


Рис. 4. Часткове ушкодження серединного нерва на рівні середньої третини передпліччя. На фотографії видно наявність як збережених, так і повністю ушкоджених фасцикул в одному нерві.



Рис. 5. Ушкодження серединного нерва на рівні ліктьового суглоба та дистальної третини передпліччя.

Таблиця 1.

Класифікація Седдона-Сандерленда

Схематичне зображення	Seddon	Sunderland	Пояснення	Можливість відновлення
	Нейропраксис	I a – ішемія	Сегментарна демієлінізація, «блок проведення» без дегенерації аксонів.	Повне, швидке самостійне відновлення.
		I b – набряк		
		Ic – демієлінізація		
	Аксонотмезис	II	Пошкодження і дегенерація аксонів, ендоневрій інтактний.	Повне, проте повільне самостійне відновлення.
		III	Пошкодження і дегенерація аксонів, ендоневрій ушкоджений, периневрій інтактний.	Можливе відновлення з незначним функціональним дефіцитом.
		IV	Пошкодження і дегенерація аксонів, ендоневрій і периневрій ушкоджені, епіневрій інтактний.	Самостійне відновлення – сумнівне.
	Нейротмезис	V	Пошкодження і дегенерація аксонів, повне ушкодження всіх сполучно-тканинних оболонок нерва.	Самостійне відновлення – не можливе.
		VI	Змішаний тип ушкодження. Наявність всіх типів ушкодження в одному нервовому волокні.	Можливе мозаїчне відновлення, проте з прогнозовано не задовільним функціональним результатом.

наприклад, фрагментами кістки при її вогнепальному переломі. Такі ушкодження нервів можуть бути поза основним рановим каналом і характеризуватися значно меншими дефектами, а також змінами мікроциркуляторного русла як у самого нерва, так і в параневральних тканинах.

7. Дисрупція нейро-м'язових синапсів. Виникнення первинної та вторинної ударної хвилі, а також дія тимчасової пульсуючої порожнини поблизу нейро-м'язових синапсів можуть призвести до **дисрупції синапсу**. Тобто відокремлення нервового закінчення від скелетного м'яза на мікроскопічному рівні. У такому разі як нерв, так і м'яз макроскопічно будуть зберігати свою цілісність, проте реіннервація м'яза та відновлення його функції зазвичай можуть бути неефективними або неможливими.

8. Комбіновані ураження та дефекти скелетних м'язів. Комбіновані денерваційно-ішемічні ураження цільових скелетних м'язів значно виснажують пул сателітних клітин міоцитів, а отже, і регенераторний потенціал м'яза. Пригнічення регенераторних можливостей скелетних м'язів, особливо за умов тривалого періоду денервації, негативно впливає на функціональний результат після відновлення нерва. Первинні дефекти цільових м'язів в свою чергу ускладнюють відновлення функції, та потребують вторинних ортопедичних реконструктивних втручань, таких як сухожильно-м'язові транспозиції.



Рис. 6. Ушкодження серединного нерва та дефект м'язів згиначів.

Типи вогнепальних ушкоджень нервів

Інтраопераційно можна виділити три основних типи ушкоджень периферичних нервів кінцівок при бойовій травмі:

- **Компресія нерву фіброзно переродженими оточуючими тканинами** (рис. 7 а) – характеризується втратою функції цільових м'язів, наявністю гіперпатій в зоні іннервації нерву (підвищена чутливість, навіть легкий дотик описується пацієнтами як такий що «пече вогнем», або як біль), постійний чи при подразненні біль «пекучого» характеру.
- **Фіброзна фіксація нерву до оточуючих тканин** (рис. 7 б) – як правило це часткові пошкодження периферичних нервів що можуть варіюватись від ушкодження епіневрію до пошкодження частини фасцикул. Характеризується втратою або ослабленням функції цільових м'язів, втратою або зниженням чутливості в зоні іннервації, та болем при подразненні чи рухах в суміжних суглобах.
- **Повне анатомічне ушкодження нерву** (рис. 7 в) для якого притаманна втрата функції цільових м'язів, повна втрата чутливості в зоні іннервації, та біль при подразненні неврони – по типу болючих парастезій, або «прострілу електричним струмом».

Особливості діагностики вогнепальних ушкоджень нервів

Клінічна діагностика вогнепальних ушкоджень периферичних нервів кінцівок має цілий ряд особливостей, оскільки вони, як правило, протікають на фоні важкої поліструктурної травми (нерідко у комбінації з вогнепальними переломами кісток, ураженнями магістральних судин чи пошкодженнями м'язів і сухожильків), компартмент синдрому чи ішемічної контрактури. Важливою ознакою ураження периферичного нерва є порушення функції цільових м'язів; при цьому важливо перевіряти функцію одразу декількох м'язів

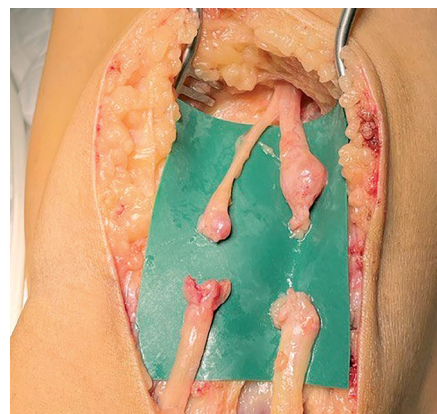
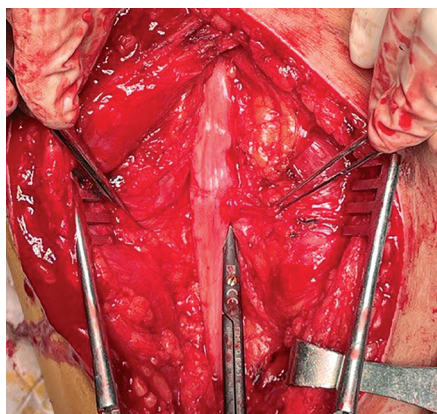
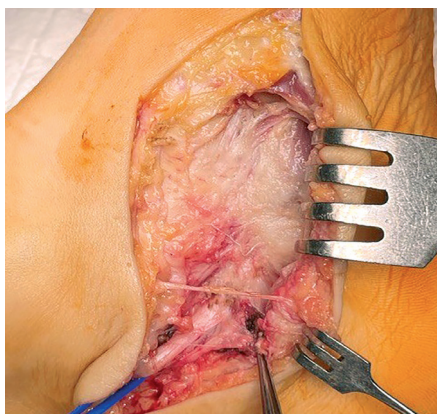


Рис. 7. Типи ушкоджень периферичних нервів при бойовій травмі

(дистальніше від місця поранення), що іннервуються ураженим нервом, з метою виключення можливості хибнопозитивних результатів унаслідок ушкодження самих м'язів чи їхніх сухожилків. Порухення чутливості в зоні іннервації відповідного нерва за типом анестезії може свідчити про його ушкодження, в той час як гіперестезії чи болючі парастезії – про компресію нерва рубцевими тканинами чи постійне подразнення нервового стовбура осколками або кістковими фрагментами. Також варто зазначити, що порушення функції периферичного нерва може бути пов'язане з відсутністю кісткової стабільності сегмента. Підвищений ризик анатомічного ушкодження периферичних нервів виникає у разі комбінації клінічної картини з вогнепальним переломом кісток або ушкодженням магістральних судин.

Враховуючи важкість поліструктурних поранень та особливості вогнепальної травми, що супроводжується значною ішемією оточуючих тканин, клінічний діагноз ушкодження периферичного нерва має бути підтверджений додатковими методами.

Ультразвукова діагностика (рис. 8) на даний момент є найбільш ефективним методом діагностики вогнепальних уражень периферичних нервів кінцівок. Оскільки УЗД дає можливість візуалізувати не лише безпосередньо сам нерв та визначити цілісність (а за наявності дефекту – його величину), структуру, співвідношення з осколками, але й оцінити стан параневрального простору (формування щільного фіброзу навколо нерва) та структур (визначити характер кровотоку по магістральних судинах, ушкодження м'язів і сухожилків, переломи кісток).

Рентгенографія та КТ дають змогу оцінити кісткові структури та наявність уламків у проєкціях судинно-нервових пучків.

MPT має доволі обмежені покази, оскільки більшість таких поранень характеризується наявністю сторонніх тіл (осколків), що зазвичай мають магнітну природу. Проте за відсутності магнітних сторонніх тіл MPT дає змогу візуалізувати

ураження периферичних нервів у важкодоступних для УЗД зонах.

Електронейроміографія (стимуляційна та, особливо, голкова) відіграє важливу роль в контролі відновлення функції цільових м'язів. В той же час, покази до використання електронейроміографії з метою саме діагностики характеру ушкодження периферичного нерва в ранній період – є відносними. Електронейроміографія є методом дослідження функції периферичного нерва. А проводити її доцільно не раніше ніж через 3 тижні після поранення.

Стимуляційна ЕНМГ дозволяє визначити можливість і швидкість проведення імпульсу по нерві. Використання стимуляційної електронейроміографії доцільне у разі поступово прогресуючої компресії нерва.

Голкова ЕМГ дозволяє визначити функціональний стан м'язів. Використання голкової електронейроміографії доцільне у разі травми та для контролю реіннервації.

Оптимальні терміни відновлення

Час грає критичну роль в хірургії периферичних нервів, оскільки завадження травми (збільшення терміну денервації м'язів) призводить до незворотних змін не лише в цільових скелетних м'язах (руйнація синапсів за рахунок міграції чи апоптозу термінальних Шванівських клітин, атрофії міоцитів, та фіброзно-жирового заміщення м'яза), але і у дистальному сегменті периферичного нерва (звуження діаметру стрічок Бюнгера, редукція мікроциркуляторного русла дистального сегмента та його фіброзування). При вогнепальних пораненнях периферичних нервів час від моменту поранення відіграє ще більшу роль, оскільки з'являється ще одне обмеження – неефективність відновлення нерва в гострому періоді. Rolfe Birch та співавтори порівняли результати відновлення периферичних нервів кінцівок у гострому та віддаленому періодах після вогнепальної травми й визначили, що кращі функціональні результати були в групі постраждалих, яким відновлення нерва

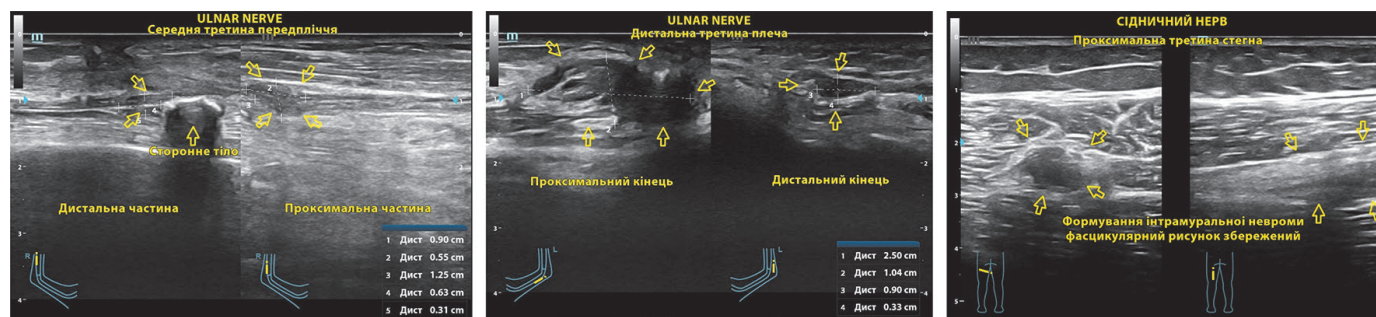


Рис. 8. УЗД периферичних нервів при бойовій травмі.

виконували у віддаленому періоді [14, 15]. Це пояснюється порушеннями в мікроциркуляторному руслі периферичного нерва (рис. 9), спричиненими первинними та вторинними ударними хвилями, а також дією тимчасової пульсуючої порожнини. На жаль макроскопічно виявити ці порушення в гострий період – неможливо. Тож шов або пластика нерва до стабілізації мікроциркуляторного русла може призвести до відновлення нерва в зоні потенційної ішемії, а це, в свою чергу, призведе до фіброзування зони шва, неможливості проростання аксонів та неефективного відновлення. Ці дослідження були підтверджені й іншими авторами [16, 17, 18, 19].

Нами було проведено гістологічне дослідження невром та гліом периферичних нервів після їх вогнепального uszkodження у 51 пацієнта. Середній час від моменту травми склав $5,4 \pm 0,4$ місяці. Ми спробували визначити дистантність рубцевих змін в досліджуваних зразках нерву. Дослідження виявило, що середня прогресія рубця по нервовому волокну може складати до 4-5 см (сумарні дані проксимальної та дистальної кукси), та складала $3,75 \pm 0,55$ см для кульових, та $4,35 \pm 0,8$ см для осколкових поранень.

Найкращим оптимальним терміном відновлення периферичних нервів при їх вогнепальних пораненнях є період від 3 тижнів до 3 місяців після поранення.

Відновлення нервів у більш пізні терміни можливе, проте його ефективність з часом буде прогресивно зменшуватися, що пов'язане з настанням незворотних змін у цільових скелетних м'язах. А зважаючи на змішаний — денерваційно-ішемічний характер ураження скелетних м'язів, притаманний вогнепальній травмі, — терміни можливої ефективної реіннервації м'яза можуть ще більше скорочуватися (табл. 2).

В той же час варто зазначити, що uszkodження периферичних нервів «вторинними раними снарядами» (кістковими уламками) поза основним рановим каналом, або пошкодження осколками чи кулею з низькою кінетичною енергією, або компресія нерва між кістковими фрагментами — не

буде викликати настільки значних змін мікроциркуляторного русла. А отже підходи до їх лікування будуть відповідати класичним методам лікування травматичних уражень периферичних нервів.

Ще одним винятком можна вважати проксимальні, так звані «високі», uszkodження периферичних нервів (на рівні плечового сплетення, плечового суглоба, кульшового суглоба) за умови одночасного uszkodження магістральних кровоносних судин. У такому випадку, на нашу думку, доцільним буде одночасне відновлення цілісності магістральних кровоносних судин і нервових структур. Повторні хірургічні втручання на фіброзно-перероджених тканинах у зоні після відновлення магістральних судин супроводжуються високим ризиком інтраопераційних ускладнень.

Крім того, відновлення периферичних нервів потребує наявності наступних **обов'язкових умов:**

1. Остаточна кісткова стабільність. За наявності супутніх вогнепальних переломів кісток — остаточний погружний остеосинтез накладними пластинами має бути виконаний до відновлення цілісності периферичного нерва.

NB! В деяких випадках етап остаточного металоостеосинтезу вогнепальних переломів можна поєднувати з відновленням нервів. Проте остеосинтез завжди має виконуватись спочатку.

2. Відповідні оточуючі тканини. Закриття дефектів м'яких тканин в ділянках де передбачається відновлення периферичних нервів має виконуватись повношаровими клаптями з підшкірною жировою клітковиною (ротаційні, невільні, острівцеві чи мікрохірургічні). Закриття дефекту шкіри в ділянці uszkodженого нерва вільними розщепленими шкірними трансплантами є неприпустимим, тому що це призводить до ще більшого фіброзу, вторинного рубцевого здавлення нерва, та неможливості елевації цього виду клаптів для виконання подальших реконструкцій.

NB! В деяких випадках етап пластики дефекту м'яких тканин клаптями можна поєднувати з відновленням нервів. В такому випадку відновлення нерва варто виконувати в першу чергу.

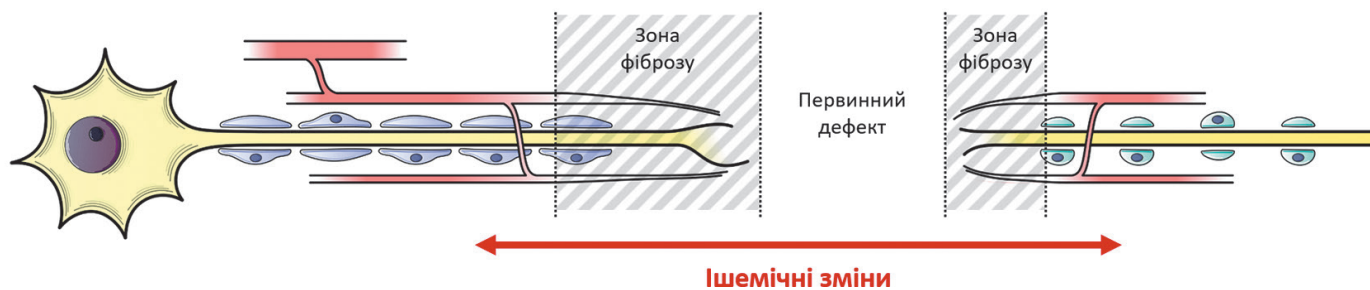


Рис. 9. Розповсюдження ішемічних змін, та фіброзування країв нервів при вогнепальній травмі.

3. **Ерадикація інфекційного процесу.** Відновлення нерва доцільне лише за умов відсутності інфекції в рані.

ОСОБЛИВОСТІ ЛІКУВАННЯ ВОГНЕПАЛЬНИХ УРАЖЕНЬ ПЕРИФЕРИЧНИХ НЕРВІВ КІНЦІВОК

Підходи до лікування вогнепальних ушкоджень периферичних нервів кінцівок також дещо відрізняються від класичних підходів у разі гострої травми, або компресійно-ішемічної нейропатії.

1. **При ПХО рани розширювати доступ або виконувати додаткові доступи для візуалізації нерва – не доцільно.** За наявності клінічної картини ураження периферичних нервів, якщо нерв при виконанні ПХО не візуалізується безпосередньо в рані, розширювати доступ чи робити додаткові доступи з метою ревізії нерва – не доцільно. Оскільки клінічна картина може бути викликана порушенням мікроциркуляторного русла, а додаткове хірургічне втручання може лише поглибити ці зміни. Окрім того, варто пам'ятати, що терміни відновлення при вогнепальних ураженнях нервів збільшуються у зв'язку зі змінами у мікроциркуляторному руслі нерва.
2. **При ПХО рани, якщо нерв цілий, – вкрити його здоровими тканинами.** Якщо нерв розташований у рані, але анатомічна цілісність його збережена, його варто вкрити оточуючими м'якими тканинами (м'язами чи жировою кліт-

ковиною, але в жодному разі не накривати нерв фрагментами сухожилків, фасцій чи вільною шкірою, оскільки ці тканини погано кровопостачаються та схильні до значного фіброзування) для запобігання ішемії та з метою зменшення його травматизації під час подальших перев'язок.

3. **При ПХО рани за наявності дефекту нерва – промаркувати нерв.** Якщо нерв ушкоджено – необхідно накласти адаптуючий шов (краще два) на кінці нерва (виключно за його зовнішню оболонку – епіневрій) яскравою не біодергадуючою ниткою (проте без значного натягу країв нерва) з метою профілактики збільшення дефекту та маркування кінців для подальших реконструкцій (рис. 10).
4. **При проксимальних ураженнях – доцільні первинні дистальні невротизації.** У разі проксимальних уражень нервів доцільним буде розглянути первинні дистальні невротизації або методики SETS (Supercharge End-To-Side – невротизація по типу «кінець-в-бік») з метою раннього відновлення дистальних, більш чутливих до денервації м'язів (рис. 11). Особливо у разі вогнепальних уражень (від середньої третини передпліччя та проксимальніше) ліктьового нерву (доменом іннервації якого є власні м'язи кисті) – рекомендовано виконувати SETS невротизацію рухової фасцикули ліктьового нерву гілочкою переднього міжкісткового нерву до м'яза квадратного пронатора.

Таблиця №2

Терміни відновлення периферичних нервів після вогнепальних поранень

ЧАС ВІД МОМЕНТУ ПОРАНЕННЯ	РЕКОМЕНДОВАНЕ ХІРУРГІЧНЕ ВТРУЧАННЯ
До 3 тижнів:	
Відновлення нерву не рекомендоване через неможливість визначення глибини змін мікроциркуляторного русла	Маркування країв нерву. У разі проксимальних поранень – первинні дистальні невротизації.
Від 3 тижнів до 3 місяців:	
Оптимальні терміни для відновлення периферичних нервів після вогнепальної травми	Аутонейропластика периферичного нерву
Від 3 до 6 місяців:	
Ефективність відновлення функції м'язів задовільна	Аутонейропластика периферичного нерву
Від 6 до 9 місяців:	
Ефективність відновлення функції м'язів низька або сумнівна	Аутонейропластика + дистальні невротизації
Від 9 до 12 місяців:	
Відновлення нерву варто проводити з метою відновлення захисної чутливості	Дистальні невротизації для відновлення функції. Аутонейропластика нерву для відновлення чутливості.
Більше ніж 12 місяців:	
Відновлення нерву – недоцільне , варто проводити з метою відновлення захисної чутливості	Сухожильно-м'язові транспозиції для відновлення функції. Аутонейропластика для відновлення чутливості.

5. **Відновлення нерва доцільно проводити лише за умов відсутності інфекційного процесу, відновлення скелетної стабільності, адекватних покривних тканин** та не раніше ніж через 28 діб від моменту травми (що пов'язано зі стабілізацією мікроциркуляторного русла нерва та оточуючих тканин) і за можливості не пізніше 3 місяців з моменту поранення.
6. **Потреба у відновленні параневральної жирової клітковини.** За можливості відновлення периферичного нерва має супроводжуватись також відновленням мезоневрію. Використання не-вільних жирових клаптів на судинній ніжці (гіпотенарний жировий клапоть, адипо-фасціальний

променеви́й клапоть) може значно покращити результати відновлення периферичних нервів шляхом профілактики вторинного рубцювання нерва, а також покращення мікроциркуляції. Окремо слід зазначити про значний потенціал технології ліпофілінгу (рис. 12) для відновлення параневральної жирової муфти.

7. **У разі надвеликих дефектів нервів (дефект нерва перевищує 10 см) пріоритет у виборі тактики лікування варто надавати первинним невротизаціям (рис. 13) або ортопедичним реконструкціям.** Відновлення нерва в такому випадку можливо проводити лише з метою відновлення захисної чутливості.

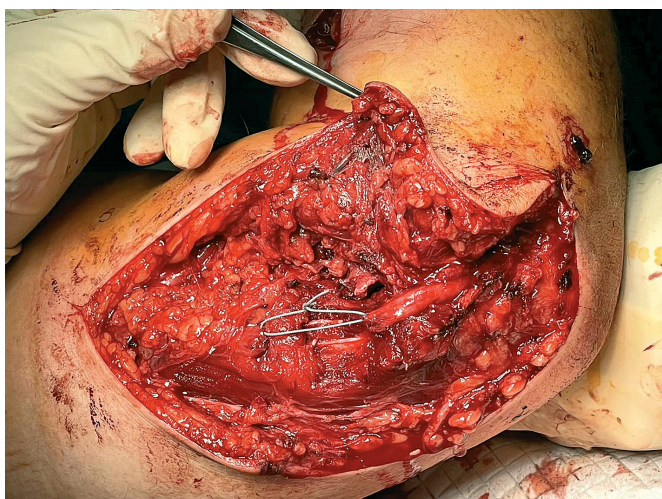


Рис. 10. Накладання епіневрального шва на кінці нерва для його маркування та профілактики збільшення дефекту.



Рис. 11. Невротизація рухової фаскули ліктьового нерва гілочкою переднього міжкісткового нерва до м'яза квадратного пронатора за методикою SETS виконана при проксимальному ушкодженні ліктьового нерва.

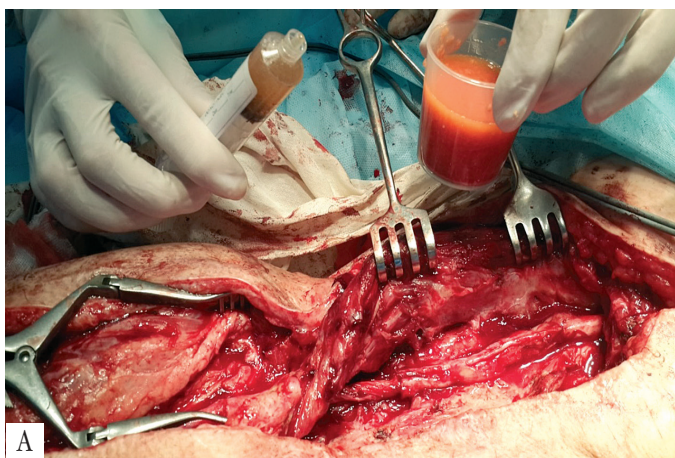


Рис. 12. а) Ліпофілінг після відновлення сідничного нерва з метою реконструкції параневральної жирової клітковини; б) збереження відновленої параневральної жирової клітковини через 8 місяців після ліпофілінгу.

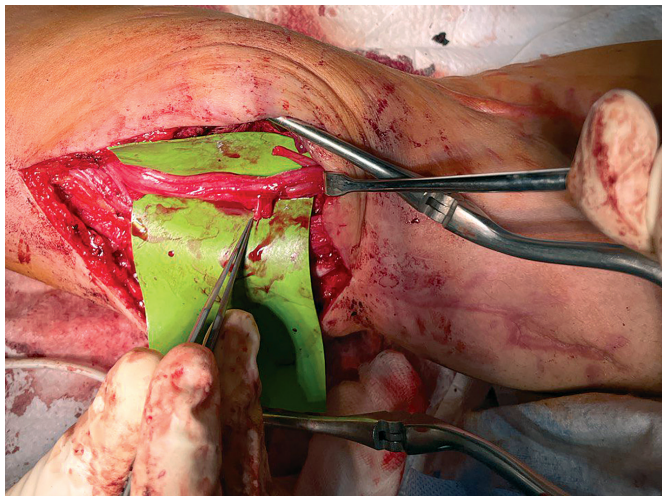


Рис. 13. Етап оперативного втручання – невротизації рухливих фасцикул серединного нерва гілочкою м'язово-шкірного нерва до плечевого м'яза (BrAIN невротизація) при проксимальному ушкодженні серединного нерва з дефектом 16 см.

АЛГОРИТМ ЛІКУВАННЯ ВОГНЕПАЛЬНИХ УРАЖЕНЬ ПЕРИФЕРИЧНИХ НЕРВІВ КІНЦІВОК

Аналізуючи всі наведені вище особливості та підходи до лікування вогнепальних травм периферичних нервів кінцівок, нами був розроблений та впроваджений наступний алгоритм лікування (рис. 14). Алгоритм базується на давності травми (гостра травма, або застаріле ушкодження зважаючи на терміни від моменту травми розглянуті вище), динаміці відновлення функції нерва, величині дефекту нерва (можливість виконання первинного шва нерва без натягу на його кінці, дефект нерва до 5 см, дефект від 5 до 10 см, та надвеликі дефекти нервів що перевищують 10 см), та ураженні мезоневрію (жирова клітковина що оточує нерв).

Виконуючи відновлення периферичних нервів, особливо при їх вогнепальних ураженнях, важливо пам'ятати наступне:

1. **Шов нерва має виконуватися без натягу на його краях** (краї нерва мають утримуватися один біля одного одним швом розміром 9/0). **СУВОРО ЗАБОРОНЕНО НАДАВАТИ ВИМУШЕНЕ ПОЛОЖЕННЯ (ЗГИНАННЯ ЧИ РОЗГИНАННЯ) В СУМІЖНИХ СУГЛОБАХ!**
2. Довжина ауто трансплантатів має перевищувати величину дефекту нерва на 20–30% (зазвичай близько 1 см).
3. Заміщення дефекту варто проводити максимально можливою кількістю ауто трансплантатів (товщина зони пластики має на 30% перевищувати товщину нерва).

4. **Нерв після відновлення має розташовуватися в добре васкуляризованих тканинах.** Розміщення нерва в рубцево-переродженому ложі призведе до його вторинного рубцювання та неефективного відновлення.

5. Не варто нехтувати реконструкцією мезоневрію шляхом використання невідільних жирових клаптів або ліпофілінгу.

Виключеннями з лікувального алгоритму є:

Вогнепальні ушкодження плечевого сплетення з пошкодженням магістральних судин (підключична артерія, плечева артерія) – відновлення структур плечевого сплетення рекомендовано виконувати одночасно з відновленням артеріального кровотоку.

Вогнепальні ушкодження маломілкового нерва – раціональніше виконувати первинну ортопедичну реконструкцію (сухожильну транспозицію), оскільки ауто нейропластика при таких пораненнях дає несприятливі прогностичні результати.

Аналіз результатів

Нами було проведено аналіз результатів лікування пацієнтів яким виконувались оперативні втручання на нервах (невроліз, шов або пластика нерва) з приводу їх вогнепальних уражень у період з 24 лютого 2022 року по 1 червня 2025 року. На опитування відгукнулись 296 (62.7%) респондентів. Оцінка результатів лікування проводилась шляхом телефонного опитування та збору відеодемонстрацій функції кінцівки. В залежності від отриманих результатів пацієнтів було розподілено на три групи (табл. 3): відмінне відновлення (відновлення сили м'язів та чутливості), задовільне відновлення (ефективне відновлення м'язів, проте зі зниженою силою, та зниження чутливості), не задовільне відновлення (не ефективне відновлення сили м'язів, відсутність чутливості).

Як видно з наведеної таблиці найбільшу кількість незадовільних відновлень було отримано після шва нерву.

Проблема шва нерву при вогнепальній травмі

Близько 53,1% вогнепальних уражень периферичних нервів – з наявністю первинного дефекту. На момент оперативного втручання, середній розмір дефекту нерву складав $4,88 \pm 3,22$ см. Причиною негативних результатів при спробі виконання шва нерву є:

1. Недостатня резекція країв нерву
 2. Шов нерву зі згинанням в суміжних суглобах
- Недостатня резекція країв нерву (рис. 15)**

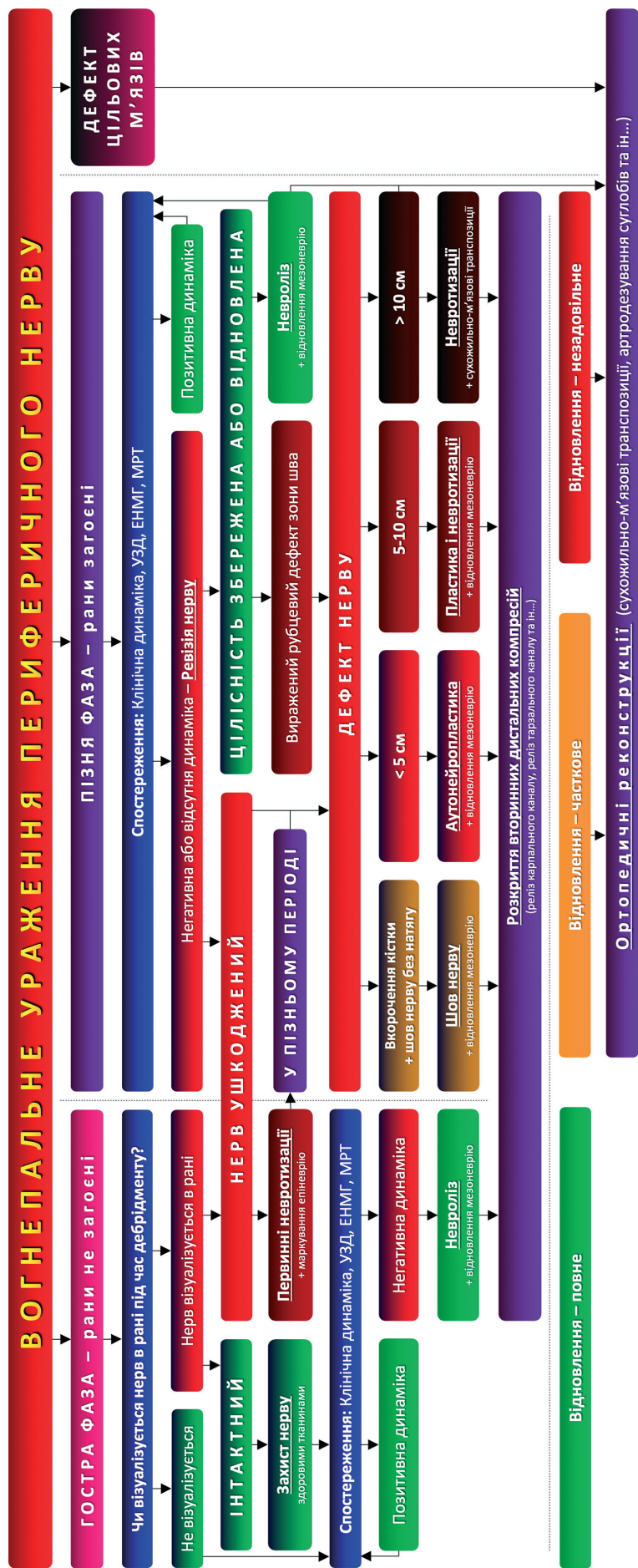
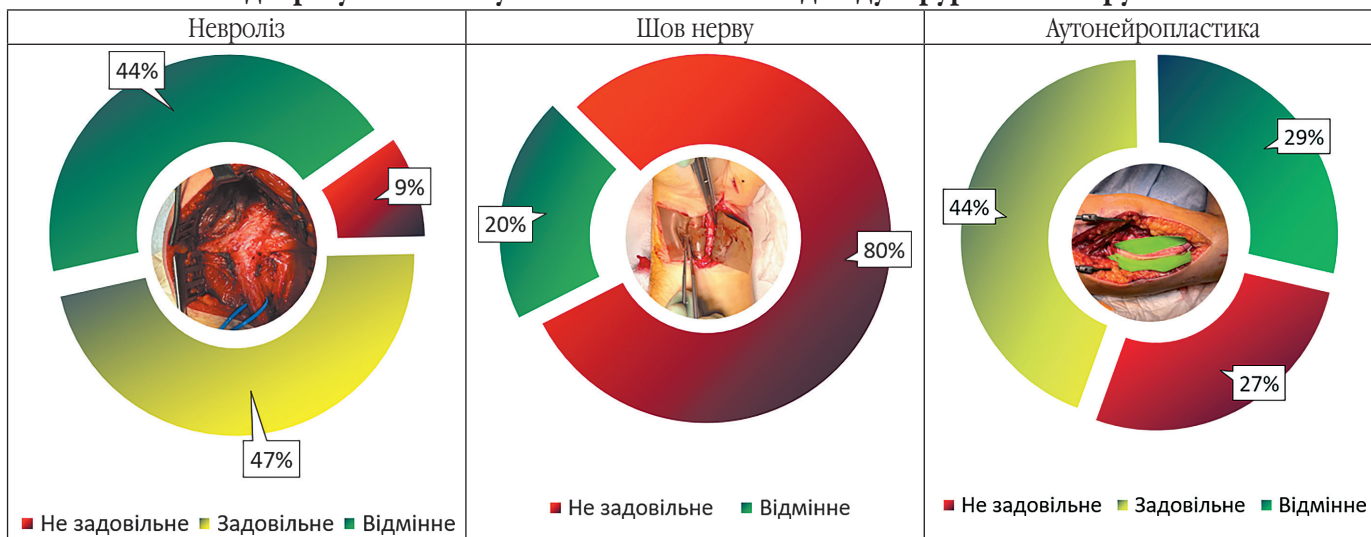


Рис. 14. Лікувальний алгоритм при вогнепальних ураженнях периферичних нервів кінцівок.

Таблиця №3

Розподіл результатів лікування в залежності від виду хірургічного втручання.



з метою мінімізувати дефект та накласти шов – є грубою помилкою. Недостатня резекція призводить до збереження фіброзної тканини що не дає можливості прорости аксонам в дистальний кінець нерву.

При шві або пластиці нерва необхідно уникати натягу нерва. Експериментально доведено що 6% натяг на кінці нерва на 70% погіршує його кровопостачання, а вже 12% натяг – викликає повне перекриття мікроциркуляторного русла нервового волокна (рис. 16).

Вимушене положення суглобів при шві нерва – не вирішує питання дії на нерв тракційних сил (рис. 17).

Втрата цільових м'язів

У разі первинного дефекту цільових м'язів або їхнього значного ішемічного ураження (важкий ступінь ішемічної контрактури – фіброзно-жирове заміщення м'яза) у поєднанні з ушкодженням нерва відновлення нерва з метою відновлення рухової функції є недоцільним, оскільки відсутній цільовий орган-ефектор. Але допустимо відновлення чутливих гілок нерва для відновлення захисної чутливості та трофіки кисті і пальців.

В такому випадку доцільними будуть первинні ортопедичні реконструкції: сухожильно-м'язові транспозиції, артродезування суглобів, пересадки активних мікрохірургічних клаптів.

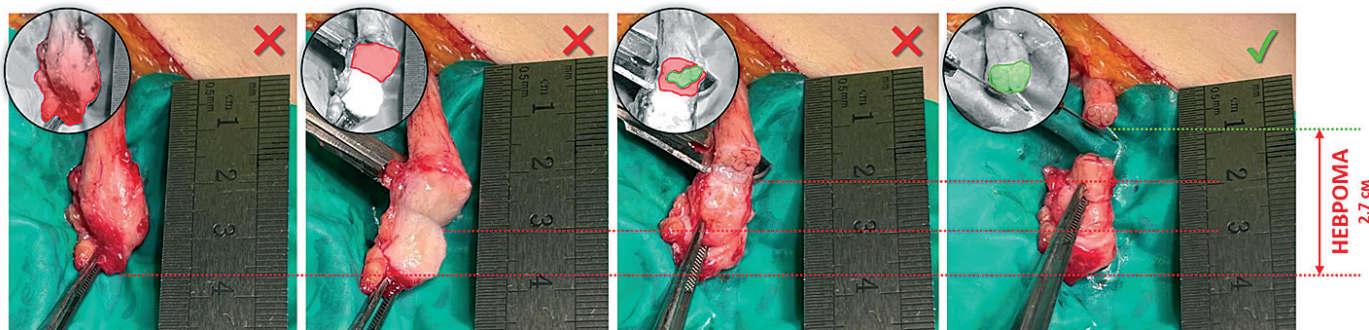


Рис. 15. При резекції країв нерва необхідно побачити «зернисту» фасцикулярну будову нерва, без ознак рубцевої тканини.

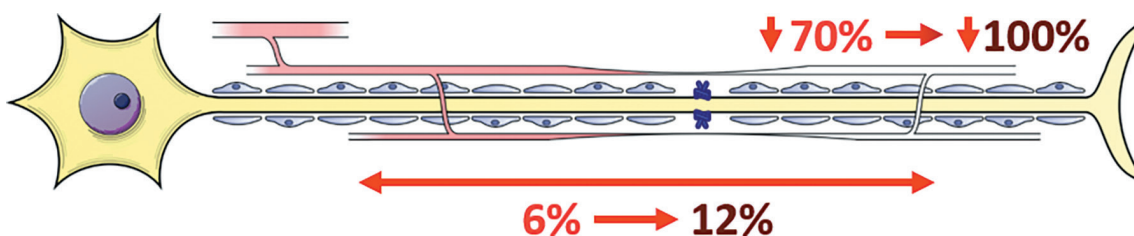


Рис. 16. Схематичне зображення як натяг мобілізованих країв нерва впливає на порушення мікроциркуляції.

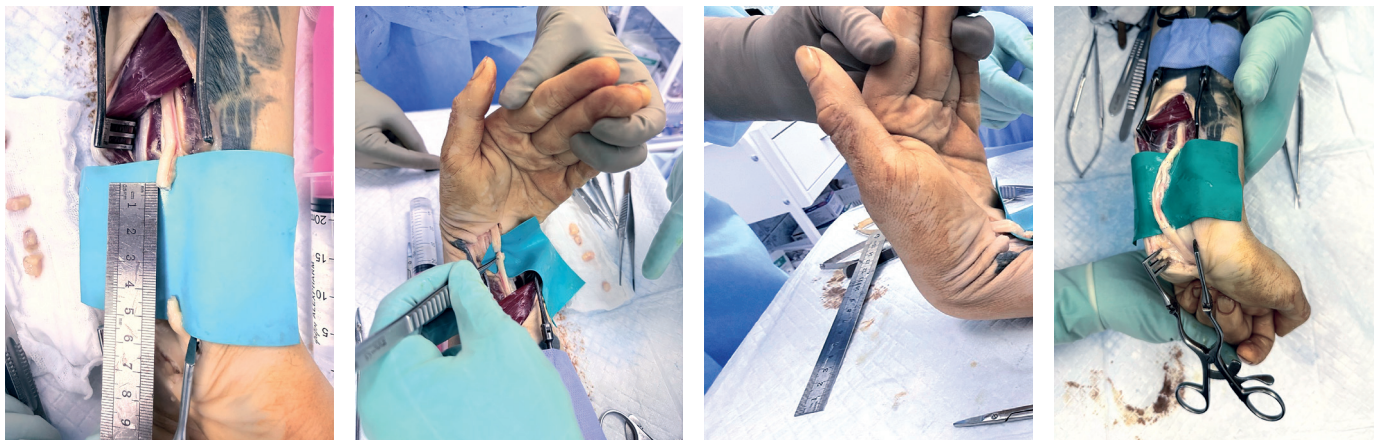


Рис. 17. а) Дефект серединного нерву на рівні зап'ястка складає близько 4 см; б) задля того щоб нівелювати цей дефект і накласти шов нерву – зап'ясток необхідно тривалий час утримувати в положенні максимального згинання; в) в той час як правильна аутонейропластика цього дефекту дозволяє одразу використовувати повний об'єм руху

Серед найбільш поширених сухожильно-м'язових транспозицій виділяють:

- **Транспозиція Merdle de Aubigne або за Jones** – транспозиція сухожилка м'яза круглого пронатора на сухожилок короткого променевого розгинача кисті, сухожилка довгого долонного м'яза на сухожилок довгого відвідного м'яза 1-го пальця та сухожилка ліктьового згинача зап'ястка на сухожилки розгиначів пальців кисті – при ушкодженнях м'язів розгиначів, або застарілому ушкодженні променевого нерва.
- **Транспозиція сухожилка довгого малогомілкового м'яза через міжкісткову мембрану на сухожилки розгиначів пальців стопи** – при ушкодженнях м'язів розгиначів стопи та пальців або застарілому ушкодженні малогомілкового нерва.

Заключення

1. Особливостями вогнепальної травми периферичних нервів кінцівок є: **значні первинні дефекти нервів спричинені не лише безпосередньою травмою але й дистантними ішемічними змінами мікроциркуляторного русла, фіброзування параневральних тканин** що може призводити до компресії нерва або формування «точок фіксації», ішемічне ураження нерва за рахунок дії значних тракційних сил та порушення мікроциркуляції, **змішані** варіанти ушкодження нервів, **багаторівневі ушкодження** одного й того самого нерву, **дисрупція нейро-м'язових синапсів**, та **комбіновані ішемічно-денерваційні ураження цільових м'язів або ж їх дефекти**.
2. При вогнепальних ураженнях периферичних нервів кінцівок розвивається порушення кро-

вопостачання не лише нерва (що веде до його ішемії), а й параневральних тканин – що призводить до фіброзного переродження мезоневрію та його вторинної компресії.

3. При лікуванні пацієнтів з вогнепальними пораненнями кінцівок варто звернути увагу на можливість багаторівневих і змішаних варіантів ураження периферичних нервів, що призводить до невідповідності клінічної картини відновлення м'язів рівню ураження.
4. **Перед відновленням периферичних нервів обов'язково має бути досягнуто: ерадикація інфекції, остаточна кісткова стабільність, закриття дефектів тканин повношаровими клаптями з підшкірною жировою клітковиною.** Використання вільних розщеплених шкірних клаптів – суворо заборонено.
5. При вогнепальних ушкодженнях периферичних нервів кінцівок **оптимальним часом для відновлення нерва вважають період від 3 тижнів до 3 місяців з моменту поранення.** Оскільки до 3 тижнів неможливо визначити остаточні зміни мікроциркуляторного русла та прогресію рубцевої тканини дистантно від місця безпосереднього ушкодження, а після 3 місяців – прогресивно знижується регенераторний потенціал цільових м'язів.
6. **Хірургічне відновлення периферичних нервів має виконуватися без натягу кінців нерва.** Суворо заборонено надавати вимушене положення суміжних суглобів кінцівки з метою зменшення дефекту нерва. Натяг на мобілізовані кінці нерва вже на 6% мобілізованих тканин на 70% погіршує його кровопостачання, а вже 12% натяг – викликає повне перекриття мікроциркуляторного русла нервового волокна.
7. При надвеликих (більше 10 см) проксимальних

дефектах нервів доцільним є використання первинних дистальних невротизацій або ортопедичних реконструкцій.

8. У разі первинного дефекту цільових м'язів або їх важкого ішемічного ураження – відновлення периферичних нервів є недоцільним або провадиться для відновлення захисної чутливості.

References

- Mathieu L, Goncalves M, Murison JC, Pfister G, Oberlin C, Belkheyar Z. Ballistic peripheral nerve injuries: basic concepts, controversies, and proposal for a management strategy. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022; 48(5): 3529-3539. DOI: 10.1007/s00068-022-01929-8.
- Pannell WC, Heckmann N, Alluri RK, Sivasundaram L, Stevanovic M, Ghiassi A. Predictors of Nerve Injury After Gunshot Wounds to the Upper Extremity. *Hand.* 2017; 12(5): 501–506. DOI: 10.1177/1558944716675294.
- Akhavan-Sigari R, Mielke D, Farhadi A, Rohde V. Study of Radial Nerve Injury Caused By Gunshot Wounds and Explosive Injuries among Iraqi Soldiers. *Open Access Maced J Med Sci.* 2018; 6(9): 1622–1626. DOI: 10.3889/oamjms.2018.346.
- Omid R, Stone MA, Zalavras CG, Marecek GS. Gunshot Wounds to the Upper Extremity. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019; 27(7): e301-e310. DOI: 10.5435/JAAOS-D-17-00676.
- Rochkind S, Strauss I, Shlitner Z, Alon M, Reider E, Graif M. Clinical aspects of ballistic peripheral nerve injury: shrapnel versus gunshot. *Acta Neurochir (Wien).* 2014; 156(8): 1567-1575. DOI: 10.1007/s00701-014-2139-0.
- Iordache SD, Gorski A, Nahas M, Feintuch L, Rahamimov N, Rutenberg TF. Treatment of Peripheral Nerve Injuries in Syria's War Victims: Experience from a Northern Israeli Hospital. *Isr Med Assoc J.* 2021; 23(5): 279-285. DOI: PMID: 34024043.
- Topuz AK, Eroğlu A, Atabey C, Cetinkal A. Surgical treatment outcomes in peripheral nerve lesions due to gunshot injuries: assessment of 28 cases. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2013; 19(3): 235-240. DOI: 10.5505/tjtes.2013.02073.
- Straszewski AJ, Schultz K, Dickherber JL, Dahm JS, Wolf JM, Strelzow JA. Gunshot-Related Upper Extremity Nerve Injuries at a Level 1 Trauma Center. *J Hand Surg Am.* 2022; 47(1): 88.e1-88.e6. DOI: 10.1016/j.jhssa.2021.03.020.
- Secer HI, Daneyemez M, Tehli O, Gonul E, Izci Y. The clinical, electrophysiologic, and surgical characteristics of peripheral nerve injuries caused by gunshot wounds in adults: a 40-year experience. *Surg Neurol.* 2008; 69(2): 143-152. DOI: 10.1016/j.surneu.2007.01.032.
- Rivera JC, Glebus GP, Cho MS. Disability following combat-sustained nerve injury of the upper limb. *The Bone & Joint Journal.* 2014; 96-B(2): 254-258. DOI: 10.1302/0301-620X.96B2.31798.
- Popov VA, Vorob'ev VV, Pitenin II. Microcirculatory changes in the tissues surrounding a gunshot wound. *Biull Eksp Biol Med.* 1990; 109(4): 336-339.
- Moriscot , Miyabara EH, Langeani B, Belli A, Egginton S, Bowen ST. Firearms-related skeletal muscle trauma: pathophysiology and novel approaches for regeneration. *NPJ Regen Med.* 2021; 6(1): 17. DOI: 10.1038/s41536-021-00127-1.
- Briusov PG, Kuznetsov NM, Dolishniĭ VN. Dynamic microvascular changes in gunshot wounds. *Voen Med Zh.* 1991;(7): 4-6.
- Birch R, Misra P, Stewart MPM, Eardley WGP, Ramasamy A, Brown K, et al. Nerve injuries sustained during warfare: part II: Outcomes. *J Bone Joint Surg Br.* 2012; 94(4): 529-535. DOI: 10.1302/0301-620X.94B4.28488.
- Birch R, Misra P, Stewart MPM, Eardley WGP, Ramasamy A, Brown K, et al. Nerve injuries sustained during warfare: part I--Epidemiology. *J Bone Joint Surg Br.* 2012; 94(4): 523-528. DOI: 10.1302/0301-620X.94B4.28483.
- WHITE JC. Timing of nerve suture after a gunshot wound. *Surgery.* 1960;(48): 946-951.
- Oberlin C, Rantissi M. Gunshot injuries to the nerves. *Chir Main.* 2011; 30(3): 176-182. DOI: 10.1016/j.main.2011.04.010.
- Secer HI, Daneyemez M, Gonul E, Izci Y. Surgical repair of ulnar nerve lesions caused by gunshot and shrapnel: results in 407 lesions. *J Neurosurg.* 2007; 107(4): 776-783. DOI: 10.3171/JNS-07/10/0776.
- Jones PE, Meyer MR, Faillace WJ, Landau ME, Smith JK, McKay PL, et al. Combat Injury of the Sciatic Nerve - An Institutional Experience. *Mil Med.* 2018; 183(9-10): e434-e441. DOI: 10.1093/milmed/usy030.

Gunshot Injuries of the Peripheral Nerves of the Extremities: Features of Diagnosis and Treatment (Methodological Recommendations)

Strafun S.S.¹, Lysak A.S.¹ ✉, Kurinnyi I.M.¹, Haiovych V.V.¹, Kulyk Yu.A.¹

¹ SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

Summary. Gunshot injuries of the peripheral nerves of the extremities are a part of severe polystructural combat trauma and are characterized by specific features of the injury mechanism, diagnosis, and reconstructive treatment. The main types and characteristics of gunshot injuries to peripheral nerves, methods of clinical and instrumental diagnosis, optimal timing and principles of surgical repair, as well as approaches to reconstructive treatment of the consequences of trauma are presented.

Key words: gunshot injury; peripheral nerves; combat-related extremity trauma; diagnosis; surgical treatment; reconstructive surgery.