

Аналіз структури вогнепальних ушкоджень нервів верхньої кінцівки в умовах сучасних бойових дій

Страфун С.С.¹, Курінний І.М.¹, Богдан С.В.¹✉, Лисак А.С.¹

Резюме. Вступ. Частота вогнепальних ушкоджень кінцівок в умовах сучасних бойових дій наближається до 60% від загальної кількості поранень. При цьому кожне третє ушкодження супроводжується переломами кісток, а у 40% хворих діагностуються травми периферичних нервів різного ступеня вираженості. **Мета дослідження** – визначити структуру вогнепальних ушкоджень нервів в умовах сучасних військових дій з урахуванням особливостей надання медичної допомоги на етапах медичної евакуації. **Матеріали і методи.** Проаналізовано особливості поранень 163 пацієнтів з різноманітними вогнепальними ушкодженнями периферичних нервів верхньої кінцівки. Всі хворі були чоловіками, середній вік становив $34 \pm 8,6$ років. Обстеження включало виконання рентгенографії, електронейроміографії та ультрасонографічне обстеження як самого нерва, так і м'язів плеча та передпліччя. **Результати.** Майже 95% пацієнтів мали поранення периферичних нервів верхньої кінцівки уламками снарядів внаслідок застосування ракетно-артилерійської та іншої зброї дистанційного керування. Переважна кількість вогнепальних ушкоджень локалізувалась в середній і дистальній третині плеча (42,3%), в області передпліччя (25,4%) та ділянці ліктьового суглоба (14,9%). Серед уражень периферичних нервів верхньої кінцівки найбільш часто (36,2%) спостерігали ушкодження променевого нерва. У 45,1% поранених мали місце наслідки відкритих переломів плечової кістки, відповідно ушкодження ліктьової та променевої кісток спостерігали в 19,8% та 17%. **Висновки:** Ушкодження нервів 3-4 ступеня (за Sunderland) мали місце в 55,1%, повне анатомічне ушкодження нерва спостерігали в 42,2% випадків. У 53 випадках (56,7%) дефекти нервів складали 3-6 см, які є прогностично сприятливими для хірургічного відновлення. В 9,6% випадків дефекти нерва перевищували 12 см. При наданні медичної допомоги на попередніх етапах евакуації травмовані нерви практично не були відновлені, а діагностика таких ушкоджень була недостатньою.

Ключові слова: периферичний нерв, вогнепальне ушкодження, електронейроміографія, сонографія, верхня кінцівка, ушкодження нервів.

Вступ

Згідно даних Національного Військового Медичного Клінічного Центру «Головний Військовий Клінічний Госпіталь» за період з лютого по липень 2022 року переважала бойова травма кінцівок, що складала 76% в загальній структурі поранень. Вогнепальні поранення верхньої кінцівки складали 45%. Серед бойової травми кінцівок у 36% випадків діагностували вогнепальні переломи кісток, з яких у 76% визначали наявність первинного кісткового дефекту. 85% поранень кінцівок були поліструк-

турними з ушкодженням 4-х та більше анатомо-функціональних утворень [1]. Ураження периферичних нервів кінцівок за даними різних авторів варіює в межах 12-30% випадків. Подібні травми часто призводить до втрати функції, тривалого періоду реабілітації, хронічного болю та інвалідності поранених [2-4]. Ступінь ушкодження периферичного нерва залежить від багатьох факторів, зокрема балістичних властивостей снаряду, що викликав поранення, локалізації ушкодження, тощо.

Вогнепальні поранення зазвичай характеризуються масивними дефектами м'яких тканин обумовлених трансляцією великої кількості кінетичної енергії через органи та тканини, що додатково ускладнено тепловими опіками [5]. Вогнепальні переломи кісток часто асоційовані з різними

✉ Богдан С.В., www.sergey-mena@ukr.net

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

типами м'якотканинних уражень. За даними різних авторів ураження периферичних нервів хоч і є частими при бойовій травмі, проте в деяких випадках можливе повне спонтанне відновлення [6].

Найбільш сприятливий сценарій лікування ушкодження периферичного нерва полягає у вчасній декомпресії або відновленні його цілісності, що є запорукою повного або часткового відновлення чутливої, вегетативної або моторної функції. Не менш важливими аспектами, що обумовлюють результат лікування травм нервів, є якісне відновлення (шов або пластика) нерва, збереження життєздатні тканини в зоні травми та навколо нерва та врахування здатності м'язів до реінервації [7-10]. На жаль, на етапах надання медичної допомоги при вогнепальних пораненнях нервів дотриматись цих умов вдається не завжди, оскільки на початкових етапах лікування основна увага зосереджується на стабілізації скелету та закритті ранових дефектів, при цьому питання відновлення периферичних нервів піднімаються запізно, коли процеси реінервації є неефективними та малоперспективними [11-13].

Розуміючи специфіку подібних уражень, за умови наявності анатомічного ушкодження нерва рекомендоване раннє хірургічне втручання [14]. При наявності вогнепальних дефектів нервів аутонейропластика має бути виконана в перші шість місяців після поранення [15]. Ушкодження магистральних судин та переломи кісток є факторами ризику щодо вогнепальних уражень нервів [16].

Аналізуючи 40-річний досвід (2106 пацієнтів) у лікуванні вогнепальних уражень нервів H.I. Secer та співавтори визначили, що характер і рівень ушкодження та реконструкції, супутні пошкодження тканин кінцівки, час до моменту операції, інтраопераційна картина, особливості відновлення нерву та післяопераційна реабілітації – є головними прогностичними факторами щодо відновлення функції кінцівки [17]. До 26% пацієнтів з ураженнями периферичних нервів стають особами з інвалідністю через персистуючий біль та втрату функції [18].

На практиці з пораненими військовослужбовцями часто спостерігається ситуація, коли діагноз ушкодження периферичного нерву не встановлюється до надання спеціалізованої допомоги. Знання структури вогнепальних ушкоджень периферичних нервів дасть можливість лікарям початкових ланок медичної допомоги враховувати даний вид ушкоджень та надавати адекватну допомогу.

Мета дослідження – визначити структуру вогнепальних ушкоджень нервів в умовах сучасних військових дій з урахуванням особливостей надання медичної допомоги на етапах медичної евакуації.

Матеріали і методи

Проаналізовано особливості поранень 163 пацієнта з вогнепальними ушкодженнями периферичних нервів верхньої кінцівки, які спостерігались та проходили лікування в Державній установи «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України» за період з 2014 по 2024 роки. Всі хворі були чоловіками, середній вік $34 \pm 8,6$ років.

Всім пацієнтам проведено клінічне та рентгенологічне обстеження. Рентгенографію ушкодженого сегменту виконували в двох проекціях. Всім хворим виконували УЗД, яке є «золотим стандартом» діагностики вогнепальних ушкоджень нервів і дає можливість виявити ступінь зміни структури нерва в ділянці ушкодження або визначити розмір дефекту травмованого нерву. В 70% випадків виконували електроміографічне обстеження для уточнення рівня ушкодження і ступеня порушення провідності периферичного нерву та ступеня денерваційних змін у м'язах. Відправним критерієм, що дозволяє визначити ступінь ураження нерва є класифікації за Седдон та Сандерленд [19, 20] (табл.1).

Критерії включення: вогнепальна травма верхньої кінцівки з ушкодженням периферичних нервів, вік пацієнтів 25–62 роки. Критерії виключення: невогнепальні ушкодження периферичних нервів верхньої кінцівки, політравма, психічні розлади, ушкодження плечового сплетіння або центральної нервової системи.

Статистична обробка даних проводилася за допомогою пакета STATISTICA 12,0 by StatSoft, Inc. of USA (ліцензія № ALXR712D833252FAN3). Застосовували методи описової статистики, дані наводили у вигляді середнього вибіркового і його стандартного відхилення ($M \pm SD$) у випадку нормального розподілу й у вигляді медіани і квантилів (Me [25Q-75Q]) у випадку розподілу відмінного від нормального.

Результати

Переважаюча кількість хворих, – більше 95% мали поранення спричиненою дією осколками і частками снарядів внаслідок застосування ракетно-артилерійської та іншої зброї дистанційного застосування, що пов'язано з характером бойових дій.

В табл. 2 представлено розподіл пацієнтів за рівнем травми, що безпосередньо впливає на характер супутніх уражень та надання допомоги.

Таблиця №1

Класифікація ушкоджень нервів за Sunderland (1951)

Ступінь	Назва ушкодження	Патофізіологічна характеристика	Імовірність спонтанного відновлення
1	Нейропраксія	Сегментарне пошкодження мієліну; залишаються інтактними епіневрій, периневрій, ендоневрій і цілісність аксонів; є часткові сенсомоторні порушення	Повне спонтанне одужання протягом тижнів чи місяців
2	Аксонотмезис	Пошкодження аксона, мієліну, епіневрію. Периневрій, ендоневрій збережені. Є порушення вегетативних і сенсомоторних функцій	Повне або погане спонтанне відновлення (1 мм/день) залежно від цілісності сполучної тканини та відстані до м'яза
3	Аксонотмезис	Втрата аксонів, демієлінізація, ушкоджений ендоневрій але епіневрій і периневрій не пошкоджені	Погане ендогенне відновлення, неправильний напрям аксонів, іноді потрібна операція
4	Аксонотмезис	Пошкодження аксонів і мієліну, пошкоджені периневрій та ендоневрій але епіневрій збережений	Погане ендогенне відновлення або його відсутність, необхідне хірургічне втручання
5	Нейротмезис	Пошкодження аксонів і мієліну, епіневрію, периневрію та ендоневрію	Погане ендогенне відновлення або його відсутність, необхідне хірургічне втручання
6	Змішана травма	Різні комбінації ушкоджень нервів (I–V ступеня)	Різне спонтанне відновлення залежно від тяжкості ушкодження нерва

Таблиця №2

Рівень вогнепального ушкодження периферичного нерву

Рівень травми	Кількість, абс.	(%)
Проксимальна третина плеча	8	4,9%
Середня третина плеча	36	22,1%
Дистальна третина плеча	33	20,2%
Ділянка ліктьового суглоба	24	14,9%
Проксимальна третина передпліччя	17	10,4%
Середня третина передпліччя	15	9,2%
Дистальна третина передпліччя	11	6,7%
Ділянка променево-зап'ясного суглоба	8	4,9%
П'ясна ділянка та пальці	11	6,7%
Всього	163	100%

Переважає кількість вогнепальних ушкоджень локалізувалась в середній і дистальній третині плеча (42,3%) та ділянці ліктьового суглоба (14,9%). Найменша кількість вогнепальних уражень периферичних нервів була на рівні проксимальній третини плеча та кисті.

В табл. 3 наведено розподіл уражень нервів верхньої кінцівки. У зв'язку з тим, що у значній частині випадків спостерігали ушкодження кількох нервів, загальна кількість пошкоджень нервів становила 221.

Таблиця №3

Розподіл уражень нервів верхньої кінцівки

Назва нерву	Кількість, абс.	(%)
Серединний	45	20,4%
Ліктьовий	60	27,1%
Промієвий	80	36,2%
Пальцеві	36	16,3%
Всього	221	100%

У більшості випадків вогнепальних уражень (36,2%) був пошкоджений промієвий нерв, що пов'язано з його анатомією, оскільки на рівні дистальної третини плеча та на рівні ліктьового суглоба нерв розташований на зовні від плечової кістки і часто травмується, як елементами вогнепальної зброї, так і кістковими уламками плечової кістки. Наступними за частотою ураження були ліктьовий та серединний нерви. У 45 хворих (20,4%) мали місце ушкодження кількох нервів, що суттєво ускладнювало як діагностику, так і лікування даної групи хворих.

Нами проаналізовано розподіл уражень нервів за видом ушкодження (табл.4). Повне анатомічне ураження нервів (5-й тип пошкодження за Sunderland) спостерігали в 42,2% випадків, порушення функції нервів при збереженості неперервності нервового стовбура (2-4-й тип пошкодження за Sunderland) було відмічено у 55,1% випадків. При п'ятому типі ушкодження нерва (Sunderland) показано хірургічне відновлення, але ушкодження 3 та 4 типу є найбільш складними з точки зору тактики подальшого лікування.

Таблиця №4

Розподіл травмованих нервів за видом ушкодження

Вид ушкодження	Кількість	%
Повне анатомічне ушкодження (дефект нерва)	93	42,2%
Часткове ушкодження	6	2,7%
Компресійна нейропатія	82	37,2%
Внутрішньо-стовбурне ушкодження	40	17,9%
Всього	221	100%

Визначення характеру ураження є важливою задачею на етапі обстеження пацієнта, так як від

виду ушкодження нерва залежить тактика його подальшого лікування. Крім клінічних ознак, що дозволяють визначити травмовані нерви і попередньо оцінити рівень та тяжкість ураження, важливими допоміжними методами діагностики є голкова електронейроміографія (ЕНМГ) та сонографічне (ультразвукове) дослідження (УЗД). Голкова ЕНМГ дозволяє визначити швидкість проведення імпульсу по нерву або констатувати відсутність проведення. Визначення відповіді м'язу при голковій ЕНМГ допомагає зрозуміти ступінь денерваційних змін у м'язі. Сонографічне дослідження дозволяє візуалізувати нерв, виявити порушення його структури, а при повному анатомічному ушкодженні – визначити розмір дефекту. На рис. 1. представлено сонографічне дослідження променевого нерва. На рис. 2 продемонстровано сонографічну картину при повному анатомічному ураженні ліктьового нерва.



Рис. 1. Сонографічне дослідження: компресійна нейропатія променевого нерва в нижній третині плеча; стрілками помічені ділянки компресії нерва.

При визначенні можливостей та способів відновлення ушкодженого нерву, суттєве значення мав розмір дефекту. Нижче (табл.5) наведено розподіл хворих в залежності від розміру дефекту нервів. Загалом середній розмір дефекту нервів складав 5,1 см. Найчастіше спостерігали повне анатомічне ураження та дефект променевого нерва – 31 випадок (33,2%). У 53 (56,7%) випадках дефекти нервів склали 3-6 см, які є прогностично сприятливими для хірургічного відновлення. В 9,6% випадків дефекти нервів перевищували 12 см. Ці хворі, як правило, потребують ортопедичного лікування (транспозиції сухожильків, артродезування певних суглобів, тощо), оскільки прогноз для відновлення таких нервів несприятливий.

У 123 випадках (75,7%) спостерігати скелетні травми. У зв'язку з тим, що частина поранених мали кілька переломів, загальна кількість травмованих кісток становила 182. В табл. 6 представлено розподіл наслідків вогнепальних переломів кісток верхньої кінцівки. В 45,1% випадків мали місця наслідки переломів плечової кістки, а наслідки травм кісток передпліччя спостерігали у 36,8% поранених. Даний факт ускладнював лікування, а враховуючи їх дефекти та дефекти м'яких тканин суттєво збільшував кількість етапів лікування та його тривалість.

Серед представлених поранених 23,7% пацієнтів мали дефекти шкіри та м'яких тканин різної

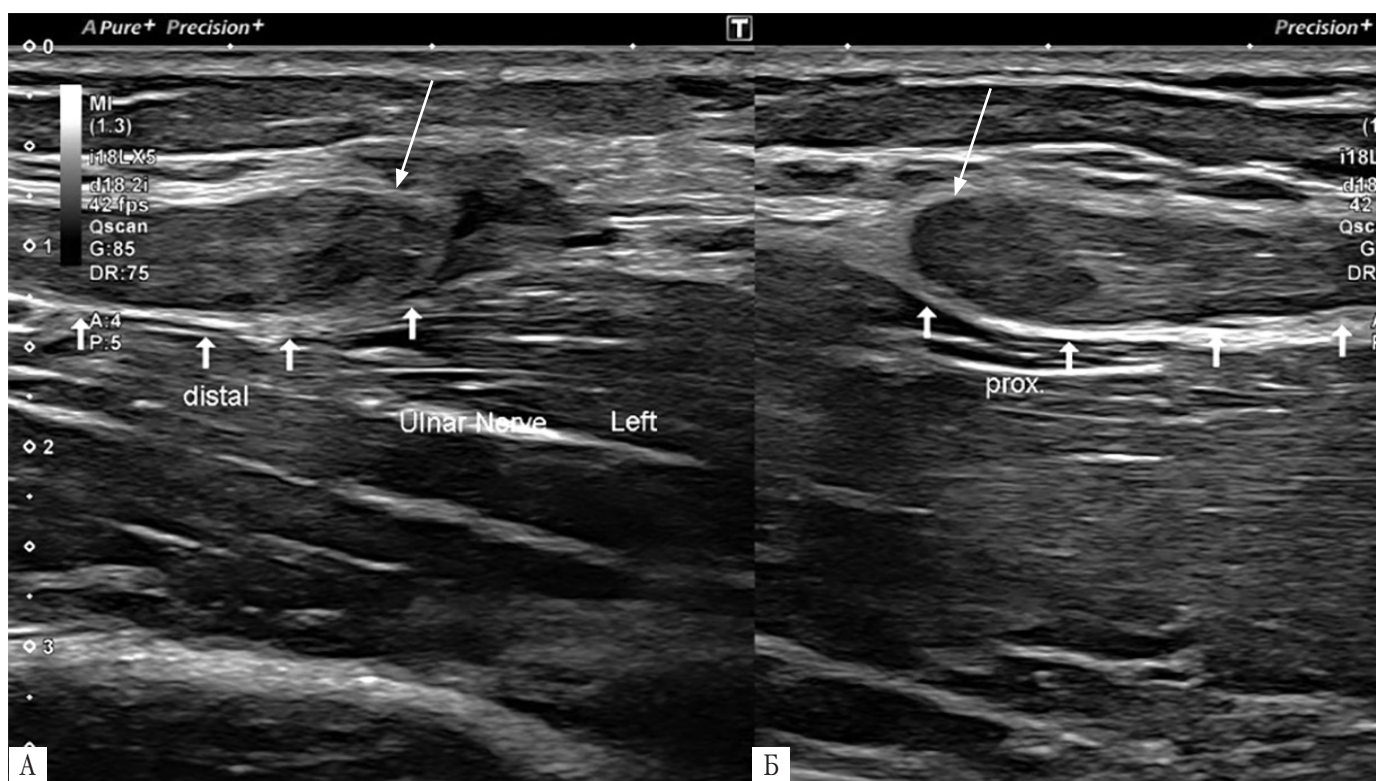


Рис. 2. Сонографічне дослідження: дефект ліктьового нерва – А-дистальний кінець; Б-проксимальний кінець

Таблиця №5

Розподіл ушкоджень нервів в залежності від розміру дефекту

Розмір дефекту нерву (см) серединний		Назва нерву				Всього	
		ліктьовий	променевий	пальцеві	Кількість	%	
1-3		1	3	-	3	7	8,0%
3-6		9	11	18	15	53	56,7%
6-12		7	7	10	-	24	25,7%
більше 12		2	4	3	-	9	9,6%
Всього	Кількість	19	25	31	18	93	
	%	20,8%	26,7%	33,2%	19,3%		100%

локалізації, які потребували хірургічного лікування. Як правило це були поширені втягнуті рубці, що заважали виконанню реконструктивних втручань або рубцева трансформація шкіри внаслідок виконання дермопластики на попередніх етапах хірургічного лікування, яка виконувалась з метою закриття дефектів тканин та грануюючих ран.

Таблиця №6

Розподіл пацієнтів за ушкодженням кісток при вогнепальних ураженнях нервів

Назва травмованої кістки	Кількість, абс	%
Плечова	82	45,1%
Ліктьова	36	19,8%
Променева	31	17,0%
Кістки зап'ястку	8	4,4%
П'ясні кістки	14	7,7%
Фаланги пальців	11	6,0%
Всього	182	100,0%

Рубцеві зміни м'язів спостерігали в 11 – 15 % випадків внаслідок первинного ушкодження м'язів. Такі стани часто поєднувались з вторинними ішемічним фіброзом м'язів і відповідно, денерваційними порушеннями м'язів. Такі міксовані ураження м'язів складні для діагностики, що зі свого боку ускладнює визначення їх відсоткових еквівалентів.

Ушкодження магістральних судин (плечової, променевої або ліктьової артерії) при ретроспективній оцінці було встановлено у 9,6% поранених. Плечову артерію як правило відновлювали на етапі надання первинної допомоги, а наявність облітерації променевої або ліктьової артерії не впливало на стан травмованої кінцівки за рахунок компенсаторного посилення та утворення колатеральних судин. Але факт облітерації артерії передпліччя враховували при плануванні певних етапів хірургічних реконструкцій.

Попередній аналіз особливостей надання допомоги пораненим на етапах надання первинної та кваліфікованої допомоги (1-3 етапи) показав, що в переважній більшості випадків первинна допомога була надана у протягом першої доби після

поранення. Допомога на полі бою включала зупинку кровотечі, накладання асептичної пов'язки, іммобілізацію наявними засобами. При наданні первинної допомоги виконувалась ПХО рани, накладання АЗФ. У випадку ушкодження плечової артерії на первинному етапі виконувалась пластика ушкодженої артерії, ушкоджені артерії передпліччя перев'язували. При подальшому лікуванні на 2 та 3 етапах медичної евакуації основні зусилля були направлені на санацію та закриття: VAC терапія, некректомії, вторинні шви або дермопластика. Що стосується ушкоджень нервів, спеціалізоване лікування не проводилось. Часто ушкодження нервів кваліфікувалось як ушкодження, рідше – як компресія або нейропатія. У зв'язку зі специфікою вогнепальних поранень, яка пов'язана з можливістю контузії кількох нервів і першими клінічними проявами ураженням «всіх» нервів, спостерігалась гіпердіагностика ушкоджень нервів. На наступних етапах лікування уточнення ступеня ушкодження нервів не спостерігали, в поодиноких випадках (5-7%) було виконано електроміографічне обстеження.

Обговорення

Особливість ведення сучасної війни з великою кількістю некульових боєприпасів веде до частого ураження верхніх кінцівок [1–3]. Майже у 80% випадків бойової травми лікарі мають справу з поліструктурними ураженнями верхньої кінцівки, коли з ушкодженням периферичних нервів уражається кістковий скелет, м'язи, судини, тощо. Даний факт зумовлює негативні результати лікування навіть за наявності адекватного медичного забезпечення на різних етапах лікування поранених [13,19-21]. Окрім того, велика кількість гнійно-некротичних та рубцевих ускладнень ведуть до незадовільних результатів лікування даної групи хворих.

За даними англомовної літератури можна зробити висновки, що навіть без порушення анатомічної цілісності нервів при мінно-вибухових пораненнях у ділянці ураження відбуваються

патологічні зміни, що потенційно можуть спричинити пряму м'язову травму або ішемію в м'язах, іннервованих ушкодженим нервом [6–9]. Саме тому класифікації за Седдон та Сандерленд і сьогодні широко використовуються. Класифікація за Сандерленд дає можливість визначення характеру та тяжкості ушкодження нервів і, що найважливіше, прогнозування майбутнього одужання [20]. Для прогнозування відновлення втрачених нервів кінцівок вирішальне значення має голкова електронейроміографія, яка дозволяє об'єктивізувати рівень, визначити тип травми та характер патологічного процесу, вибрати варіант хірургічного лікування, визначити особливості реабілітаційної терапії, а також контролювати динаміку відновлення.

В роботі Alvites R. та співавт. вказуються основні умови реінервації м'язів. По-перше, нейрони повинні «вижити» після травми та запустити ефективну метаболічну відповідь, щоб активізувати регенерацію. Таким чином, будь-які прояви ішемії як нерва, так і м'яза можуть суттєво погіршити прогноз лікування, і відповідно вчасно не виконана фасціотомія призводить до втрати м'язів та унеможливує в подальшому функціональне відновлення кінцівки. По-друге, мають бути оптимальні умови мікрооточення для регенерації в дистальній культі нерва, що забезпечують достатню підтримку для аксонів, що регенерують. Ступінь відновлення нерву залежить від тяжкості ушкодження (наявність супутніх ушкоджень), локалізації травми, величини дефекту нерва, своєчасного початку хірургічного лікування та наявності супутніх захворювань [8]. Автори зазначають, що коли відбувається денервація м'яза, його реінервація може розвиватися за двома механізмами: колатеральним розгалуженням інтактних аксонів або регенерацією пошкоджених [8,13]. При пошкодженні 20–30 % аксонів колатеральне розгалуження є найпоширенішим механізмом відновлення. Аксонів, які відростають, завжди більше, ніж тих, що зрештою встановлюють зв'язки та реіннервують органи-мішені. Аксони, що не отримують нейротрофічні фактори від органа-мішені, неминуче дегенерують. При пошкодженнях понад 90 % аксонів усередині нерва, їх регенерація – основний механізм відновлення [8,13,21].

Цікавою на наш погляд є робота Yousefi F. та співавт., в якій доведено, що денервація дистальної кукси є головною детермінантою успішної чи недостатньої регенерації, денервований м'яз також може негативно впливати на функціональний результат [22]. Внаслідок денервації виникає атрофія м'язів з наступним фіброзом, а їх ступінь залежить від терміну відновлення нервово-м'язових зв'язків

[12]. Таким чином, активна хірургічна тактика є пріоритетною при вогнепальних ураженнях верхньої кінцівки.

В роботі Солоновича О.С. та співавт. вказується на необхідність дотримання термінів проведення ЕНМГ дослідження при вогнепальних ушкодженнях кінцівок. Автори зазначають, що перше ЕНМГ дослідження має бути виконане не пізніше 6 тижнів після отримання поранення. Подальші дослідження можна проводитись через 3-4 міс для моніторингу відновлення функції нерва або її 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 [23].

Висновки:

В структурі уражень периферичних нервів в залежності від характеру снаряду, що спричинив поранення, переважали осколкові поранення внаслідок мінно-вибухової травми, що складало 95% поранених.

Найбільшу частку вогнепальних поранень периферичних нервів верхньої кінцівки (36,2%) складала ураження променевого нерва, що пов'язано з особливостями його анатомічного розташування на рівні дистальної третини плеча.

Переважає кількість вогнепальних ушкоджень локалізувалась на рівні середньої та дистальної третини плеча (42,3%) та на передпліччі (26,4%), наслідки травм в ділянці ліктьового суглоба спостерігали в 14,9%.

Збереження неперервності нервового стовбура після вогнепальної травми відмічені у 55,1% випадків, наслідки повного анатомічного ушкодження зафіксовані в 42,2% випадків і в 2,7% нерв був пошкоджений частково.

Сонографічне та електроміографічне дослідження дозволяють об'єктивно оцінити ступінь та характер ушкодження периферичних нервів, що зі свого боку, сприяє обґрунтуванню тактики подальшого лікування.

У 45,1% хворих зафіксовані наслідки переломів плечової кістки, а у 19,8 та 17% поранених спостерігали наслідки переломів ліктьової та променевої кісток, відповідно. Даний факт суттєво ускладнював лікування, а враховуючи дефекти кісток та м'яких тканин, суттєво збільшував кількість етапів лікування та його тривалість.

При наданні медичної допомоги на попередніх етапах евакуації травмовані нерви практично не були відновлені, а діагностика таких ушкоджень була недостатньою, що в певній мірі впливало на

терміни поступлення пацієнтів у спеціалізований заклад.

Конфлікт інтересів: автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

References

1. Бур'янов ОА, Ярмолюк ЮО, Деркач СО, Клапчук ЮВ, Лось ДВ. Оптимізація системи лікування постраждалих із вогнепальними переломами довгих кісток. *Травма*. 2023;24(3):38–44. doi:10.22141/1608-1706.3.24.2023.953.
2. Burianov O, Yarmoliuk Y, Derkach S, Klapchuk Y, Los D. Optimization of the treatment system for victims with long-bone gunshot fractures. *Trauma*. 2023;24(3):38–44. doi:10.22141/1608-1706.3.24.2023.953.
3. Pannell WC, et al. Predictors of nerve injury after gunshot wounds to the upper extremity. *J Hand Surg Am*. 2017;42(1):501–506. doi:10.1177/1558944716675294.
4. Wolf GJ, Chen K, Strelzow JA, Stepan JG. Upper extremity ballistic nerve injury: a scoping review and algorithm for management. *JBJS Rev*. 2024;12(8):e24.00069. doi:10.2106/JBJS.RVW.24.00069.
5. Sari A, Ozcelik IB, Bayirli D, Ayiket O, Mert M, Ercin BS, et al. Management of upper extremity war injuries in the sub-acute period: a review of 62 cases. *Injury*. 2020;51(11):2601–11. doi:10.1016/j.injury.2020.08.028.
6. 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):1622–6. doi:10.3889/oamjms.2018.346.
7. Omid R, Stone MA, Zalavras CG, Marecek GS. Gunshot wounds to the upper extremity. *J Am Acad Orthop Surg*. 2019;27(7):e301–10. doi:10.5435/JAAOS-D-17-00676.
8. Лобойко ОІ. Особливості травматичних ушкоджень периферичних нервів у військовослужбовців, які отримали вогнепальні поранення кінцівок. Збірник наукових праць науково-практичної конференції «Неврологічні аспекти наслідків ушкодження опорно-рухової системи при бойовій травмі»; 2024 вер 19; Харків, Україна. Харків; 2024. с.14–17.
9. Loboiko OI. Features of traumatic peripheral nerve injuries in servicemen with gunshot limb wounds. Proceedings of the scientific-practical conference «Neurological aspects of musculoskeletal system injury consequences in combat trauma»; 2024 Sep 19; Kharkiv, Ukraine. Kharkiv; 2024. p.14–17. [in Ukrainian]
10. Alvites R, Caseiro AR, Pedrosa SS, Branquinho MV, Ronchi G, Geuna S, Varejão A, Maurício AC. Peripheral nerve injury and axonotmesis: state of the art and recent advances. *Cogent Med*. 2018;5(1):1466404. doi:10.1080/2331205X.2018.1466404.
11. Shields LBE, Iyer VG, Zhang YP, Shields CB. Gunshot-related nerve injuries of the upper extremities: clinical, electromyographic, and ultrasound features in 22 patients. *Front Neurol*. 2024;11(14):1333763. doi:10.3389/fneur.2023.1333763.
12. Baker HP, Straszewski AJ, Dahm JS, et al. Gunshot-related lower extremity nerve injuries. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2023;33:851–6. doi:10.1007/s00590-022-03220-3.
13. Страфун СС, Курінний ІМ, Борзих НО, Цимбалюк ЯВ, Шипунов ВГ. Тактика хірургічного лікування поранених із вогнепальними травмами верхньої кінцівки в сучасних умовах. Вісник

ортопедії, травматології та протезування. 2021;(2):10–17. doi:10.37647/0132-2486-2021-109-2-10-17.

Strafun SS, Kurinnyi IM, Borzykh NO, Tsymbaliuk YaV, Shypunov VG.

Tactics of surgical treatment of patients with gunshot injuries of the upper limb in modern conditions. *Visnyk Ortop Travmatol Protezuv*. 2021;(2):10–17. doi:10.37647/0132-2486-2021-109-2-10-17. [in Ukrainian]

12. Цимбалюк ВІ, Страфун СС, Курінний ІМ, Цимбалюк ЯВ, Шипунов ВГ. Лікування вогнепальних уражень периферичних нервів кінцівок. *Складні питання хірургічного лікування вогнепальних ушкоджень кінцівок*. Київ, Івано-Франківськ; 2025. с.267–286.

Tsymbaliuk VI, Strafun SS, Kurinnyi IM, Tsymbaliuk YaV, Shypunov VG. Management of gunshot injuries to peripheral nerves of the limbs. *Complex issues of surgical management of gunshot injuries of the limbs*. Kyiv, Ivano-Frankivsk; 2025. p.267–286. [in Ukrainian]

13. Stepan JG. Ballistic nerve injuries: state of the evidence and approach to the patient based on experience. *J Hand Surg Glob Online*. 2024;6(5):743–8. doi:10.1016/j.jhsg.2024.01.021.

14. 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):279–85. PMID:34024043.

15. 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):235–40. doi:10.5505/tjtes.2013.02073.

16. 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. e1–6. doi:10.1016/j.jhssa.2021.03.020.

17. 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):143–52. doi:10.1016/j.surneu.2007.01.032.

18. Rivera JC, Glebus GP, Cho MS. Disability following combat-sustained nerve injury of the upper limb. *Bone Joint J*. 2014;96-B(2):254–8. doi:10.1302/0301-620X.96B2.31798.

19. Seddon HJ. Three types of nerve injury. *Brain*. 1943;66(4):237–88. doi:10.1093/brain/66.4.237.

20. Sunderland SA. Classification of peripheral nerve injuries producing loss of function. *Brain*. 1951;74(4):491–516. doi:10.1093/brain/74.4.491.

21. Страфун СС, Шипунов ВГ, Лисак АС. Компартмент-синдром при вогнепальних пораненнях кінцівок. *Складні питання хірургічного лікування вогнепальних ушкоджень кінцівок*. Київ, Івано-Франківськ; 2025. с.176–246.

Strafun SS, Shypunov VG, Lysak AS. Compartment syndrome in gunshot injuries of the limbs. *Complex issues of surgical management of gunshot injuries of the limbs*. Kyiv, Ivano-Frankivsk; 2025. p.176–246. [in Ukrainian]

22. Yousefi F, LaviArab F, Nikkhah K, Amiri H, Mahmoudi M. Novel approaches using mesenchymal stem cells for curing peripheral nerve injuries. *Life Sci*. 2019;221:99–108. doi:10.1016/j.lfs.2019.01.052.

23. Солонович ОС, Третякова АІ, Третяк ІБ, Чеботарьова ЛЛ, Гацький ОО, Мицак ОІ.

Вибір методики електронейроміографічної діагностики віддалених наслідків вогнепальних і мінно-вибухових ушкоджень нервів кінцівок. *Український нейрохірургіч-*

ний журнал. 2024;30(2):3–13. doi:10.25305/unj.299251.
Solonovych OS, Tretyakova AI, Tretyak IB, Chebotaryova LL,
Gatskyi OO, Mytsak OI.
The choice of method of electroneuromyography in remote

consequences of gunshot and mine-blast injuries of limb
nerves. *Ukr Neurosurg J.* 2024;30(2):3–13. doi:10.25305/
unj.299251.
[in Ukrainian]

Analysis of the Structure of Combat-Related Injuries to the Nerves of the Upper Limb in Modern Combat Operations

Strafun S.S.¹, Kurinnyi I.M.¹, Bobdan S.V.^{1✉}, Lysak A.S.¹

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

Summary. Introduction. Firearm-related extremity injuries account for up to 60% of all combat-related trauma in modern warfare. Approximately one-third of these injuries are accompanied by fractures, while peripheral nerve damage of varying severity is diagnosed in about 40% of cases. **Objective.** This study aims to characterize the patterns of combat-related peripheral nerve injuries sustained during modern military operations, with particular attention to the challenges of diagnosis and management across different stages of medical evacuation. **Materials and Methods.** We analyzed the injuries of 163 male patients with firearm-related peripheral nerve damage of the upper limb. The mean age of the patients was 34 ± 8.6 years. The diagnostic protocol included radiography, electroneuromyography, and ultrasonography of both the affected nerve and the muscles of the arm and forearm. **Results.** Nearly 95% of patients sustained peripheral nerve injuries from fragmentation shells resulting from rocket-artillery and other remotely operated weapons. The majority of gunshot wounds were localized in the middle and distal third of the shoulder (42.3%), in the forearm (25.4%), and in the elbow joint area (14.9%). Among peripheral nerve injuries of the upper limb, radial nerve damage was most common (36.2%). Consequences of open fractures of the humerus were present in 45.1% of cases; fractures of the ulna and radius were associated with nerve injury in 19.8% and 17%, respectively. **Conclusions.** Grade III–IV nerve injuries (according to Sunderland) occurred in 55.1% of patients, and complete anatomical nerve disruption was observed in 42.2% of cases. Nerve defects measuring 3–6 cm were recorded in 53 patients (56.7%) – this range is generally considered favorable for surgical reconstruction. In 9.6% of cases, nerve defects exceeded 12 cm. At earlier stages of medical evacuation, injured nerves were rarely repaired, and the diagnosis of such injuries was insufficient.

Key words: peripheral nerve; gunshot injury; electroneuromyography; sonography; upper limb; nerve injury.