

Ukr Neurosurg J. 2022;28(1):
doi: 10.25305/unj.248108

Зміна концепції хірургічного лікування травматичних ушкоджень плечового сплетення

Цимбалюк В.І.¹, Гацький О.О.¹, Третяк І.Б.¹, Цимбалюк Я.В.¹, Третьякова А.І.², Цзян Хао¹

¹ Відділення відновлювальної нейрохірургії з рентгеноопераційною, Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України, Київ, Україна

² Відділення функціональної діагностики, Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України, Київ, Україна

Надійшла до редакції 20.12.2021
Прийнята до публікації 07.02.2022

Адреса для листування:

Цимбалюк Ярослав Віталійович, Відділення відновлювальної нейрохірургії з рентгеноопераційною, Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова, вул. Платона Майбороди, 32, Київ, Україна, 04050, e-mail: yaroslav.neuro@gmail.com

Мета: провести ретроспективний аналіз зміни хірургічної стратегії ушкоджень плечового сплетення, результатів різних хірургічних стратегій і чинників, що вплинули на процес створення нової хірургічної стратегії в одному хірургічному центрі м. Києва.

Матеріали і методи. У середньому через 7,4 міс після ушкодження плечового сплетення 148 пацієнтам (середній вік – 29,5 року) проведено 76 невролізів, 14 автопластик та 58 невротизацій, зокрема 29 особам – невротизацію діафрагмальним нервом, 7 – волокнами ліктьового нерва, 9 – латеральним грудним нервом, 7 – медіальним грудним нервом до м'язово-шкірного нерва для відновлення активного згинання ліктя, 6 – іпсилатеральними екстраплексусними руховими нервами. Усім пацієнтам виконано неврологічне обстеження з використанням шкали MRC, електроміографічне дослідження та кутове відхилення в ліктьовому суглобі під час відновленого активного згинання ліктя. Пацієнтів ретроспективно розподілили на дві групи: А (102 особи, прооперовані хірургічною бригадою №1) та Б (46 пацієнтів, прооперованих хірургічною бригадою №2). Аналізували хірургічну стратегію, застосовану в кожній групі протягом 6 років, та її зміну з часом.

Результати. У 41 (70,7%) пацієнта спостерігали відновлення ефективної потужності (М4-5) двоголового м'яза плеча після невротизації, у 14 (18,4%) – після невролізу, у 4 (28,6%) – після автопластик. Загалом у пацієнтів групи А проведено 55 невротизацій, в пацієнтів групи Б – 3. Частота невротизацій у групі А зросла у 2013–2019 рр. із 31,0 до 100,0%, загальна ефективність невротизацій – з 50,0 до 83,0%.

Висновки. Хірургічні стратегії для ушкоджень плечового сплетення змінилися лише для пацієнтів групи А – невроліз був повністю замінений на невротизацію у 2019 р., тоді як для пацієнтів групи Б невроліз залишився хірургічною стратегією вибору. На створення нової хірургічної стратегії вплинули чотири основні чинники (анатомія ушкодження, термін після травми, вибір нервів-донорів, радіологічні критерії діагностики). Проаналізовані чинники дали змогу визначити оптимальні терміни, ефективні донори та ненадійність радіологічних знахідок при ушкодженнях плечового сплетення. Лише власний досвід, що ґрунтується на ретельному аналізі методики, дає позитивні результати після прийняття нових хірургічних стратегій.

Ключові слова: плечове сплетення; травма; хірургічне лікування; невротизація; автопластика

Вступ

Основна мета лікування ушкоджень структур периферичної нервової системи (ПНС) – відновлення втраченої функції, яка досягається використанням різних хірургічних методів (із визначеною системою принципів для кожного із них), залишається незмінною протягом тривалого часу, тоді як методологія хірургічних методів, одним із завдань якої є визначення ефективності та меж продуктивного застосування кожного із них, зазнала суттєвих змін протягом останніх десятиліть [1,2].

Загальновідомо, що експериментальному та зокрема клінічному застосуванню будь-якого з хірургічних методів передувало припущення щодо

їх потенційної можливості максимально відповідати основній меті. Кожна із гіпотез проходила стадії формулювання, обґрунтування, накопичення даних і перевірки отриманих результатів на практиці в експерименті та клініці. Здатність прогнозувати та забезпечити з певною ефективністю досягнення основної мети давало змогу використовувати кожен із хірургічних методів у межах розуміння концепцією явищ і процесів. Кожній із домінуючих (якій віддають перевагу поміж інших) у певний період часу концепцій відповідає застосування визначеного та домінуючого (якому віддають перевагу) хірургічного методу.

Історичні огляди літературних джерел [1,2] засвідчують виникнення та справдження двох гіпотез,



двох глобальних змін панівних концепцій і, відповідно, двох методів хірургічного лікування ушкоджень структур ПНС, що супроводжувалися збереженням спадкового зв'язку між гіпотезами, концепціями та методами в межах попереднього знання.

Протягом 1960-х років та наприкінці першого десятиліття ХХІ ст. використання аутологічної пластики та невротизації як домінуючих хірургічних методів сприяло підтвердженню гіпотез, які стали підґрунтям для виникнення нових концепцій, доведених клінічними результатами, що узгоджувались з основною метою при хірургічному лікуванні ушкоджень структур ПНС [1,2]. Кожній із домінуючих у певний період часу концепцій була притаманна, крім здатності забезпечити досягнення основної мети, спільна ознака – універсальність, яка полягала в здатності забезпечити відновлення будь-якої функції при ушкодженні будь-якого нерва будь-якого сегмента будь-якої кінцівки.

Отримані клінічні та експериментальні результати в лавузі хірургії ПНС протягом останніх двох десятиріч свідчать про утвердження як домінуючої концепції та, відповідно, домінуючого методу – селективної реіннервації (невротизації) [1,2]. Завдяки появі великої кількості нових хірургічних технік селективної реіннервації з використанням різноманітних нерв-донорів [3] метод невротизації відповідав основній меті та став універсальним методом [1,2].

Популяризація нової концепції за допомогою «цифрового всесвіту» дала змогу відтворювати запропоновані хірургічні техніки в будь-якому кутку світу [4].

З іншого боку, прийняття нової концепції та впровадження нових хірургічних технік (у межах цієї концепції) в щоденну клінічну практику не відбувається одразу та одночасно в усьому світі. Найчастіше процес прийняття нової концепції є тривалим навіть для спеціалістів одного хірургічного центру – від ознайомлення з основними постулатами, обмеженого використання вибіркового технік аж до повного прийняття і впровадження всіх існуючих технік з доведеною ефективністю в рутинну хірургічну практику. Повну життєздатність нової концепції можуть довести лише клінічні результати.

Мета: провести ретроспективний аналіз зміни хірургічної стратегії ушкоджень плечового сплетення, результатів різних хірургічних стратегій і чинників, що вплинули на процес створення нової хірургічної стратегії в одному хірургічному центрі м. Києва.

Завдання дослідження: визначити чинники, які впливають на прийняття рішення щодо зміни концепції лікування ушкоджень плечового сплетення.

Матеріали і методи

Учасники дослідження

У дослідженні взяли участь 149 пацієнтів (127 чоловічої та 22 жіночої статі) з надключичними травматичними ушкодженнями (НТУ) плечового сплетення (ПС) – рівень 1–3 за класифікацією D.C. Chuang [5], яким було проведено хірургічне лікування у 2013–2019 рр. Від усіх хворих отримана усвідомлена та добровільна письмова згода на участь у дослідженні.

Проведення дослідження схвалене комісією з етики Інституту нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України (протокол №3 від 22 листопада 2021 р.).

Критерії залучення

Пацієнти без вікових обмежень; наявність верифікованого ушкодження ПС (НТУ); період післяопераційного спостереження – не менше 15 міс; пацієнти, яким було застосовано метод невротізу, невротизації або аутопластики ПС.

Характеристики групи

Середній вік пацієнтів становив 29,5 року (від 0,5 до 59,0 років). Переважали пацієнти віком 19–44 роки – 115 (77,0%) (**Рис. 1**). Найчастіше виявляли тотальне ушкодження, а також ушкодження рівнів C5–C6–C7 і C5–C6. У 135 (91,0%) пацієнтів НТУ ПС було спричинене високоенергетичним закритим тракційним ушкодженням ПС без порушення цілісності поверхневих та глибоких м'якотканинних структур латерального трикутника шиї (без/з переломом/остеоосинтезом ключиці), у решти – відкритим ушкодженням структур ПС у латеральному трикутнику шиї.

Для виділення груп пацієнтів згідно із класифікацією D.C. Chuang [5] використано спрощений підхід: усі ушкодження за закритим типом (без ушкодження м'якотканинних поверхневих і глибоких структур латерального трикутника шиї) НТУ ПС відповідали рівню 1, а ушкодження за відкритим типом – рівню 2–3. Спрощення підходу зумовлено неможливістю виконати візуалізацію структур ПС/шийного відділу хребта в дохірургічний період за допомогою комп'ютерної (КТ) або магнітно-резонансної томографії (МРТ) на початкових етапах дослідження (2013–2014). Підтвердження рівня 1 НТУ ПС за класифікацією Chuang значною мірою впливало на вибір хірургічного методу відновлення у 2014–2018 рр., але жодним чином у 2019 р. (завершальний етап).

Середній термін від моменту одержання травми до виконання будь-якого первинного хірургічного втручання становив 7,4 міс (від 2 тиж до 6 років). Більшості пацієнтам (105, або 70,0%) первинне хірургічне втручання виконано в терміни до 6 міс (**див. Рис. 1**).

Дизайн дослідження

Аналітичне контрольоване ретроспективне когортне одноцентрове, проведене у 2013–2019 рр.

Характеристика хірургічних втручань

Усі хірургічні втручання, проведені у пацієнтів, розподілено на дві категорії: у межах нової концепції – селективна реіннервація/невротизація (NT, від англ. «nerve transfer») та старої концепції – невротізу і аутологічна пластика (від англ. «grafting»). Детальні методики хірургічних втручань (зокрема технічні особливості в межах нової концепції) наведено в численних публікаціях [3,6].

Для полегшення розуміння процесу зміни концепції хірургічного лікування травматичних ушкоджень ПС проведено аналіз впливу кожного із використаних хірургічних концепцій/методів на відновлення лише функції згинання в ліктьовому суглобі (найбільш пріоритетна функція верхньої кінцівки [7]). Тому результати хірургічного лікування лише 148 пацієнтів (1 випадок НТУ ПС рівня C5 вилучено) використано

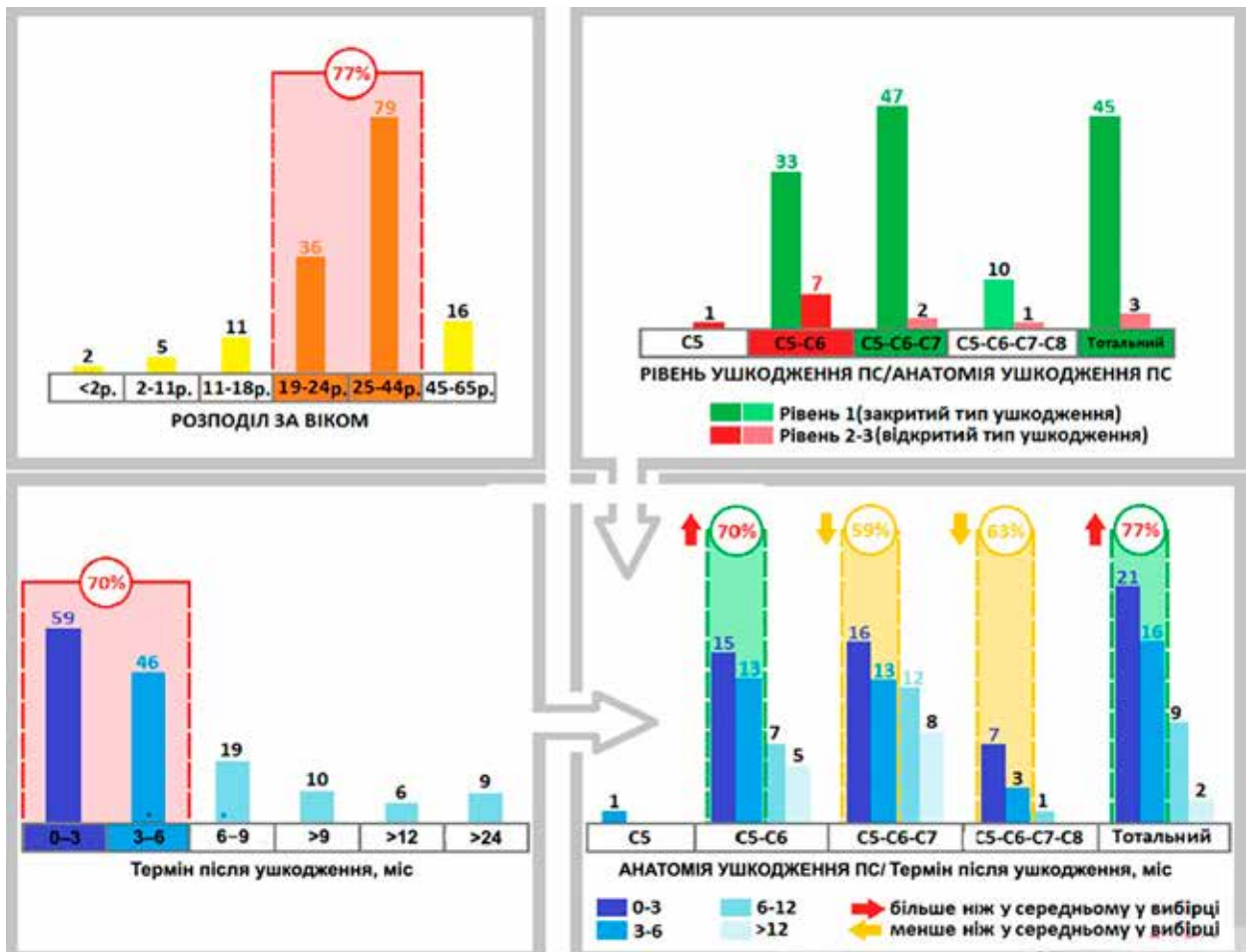


Рис. 1. Розподіл пацієнтів за віком, анатомією ушкодження, терміном після ушкодження: ПС – плечево сплетення

для кінцевого аналізу. Для відновлення функції згинання в ліктьовому суглобі 58 (39,0%) пацієнтам проведено НТ, 76 (52,0%) – невроліз структур ПС, 14 (9,0%) – автологічну пластику як первинне хірургічне втручання (**Табл.1**). Сліпого відбору пацієнтів для виконання будь-якого первинного хірургічного втручання не проводили. Вибір агресивнішого хірургічного підходу ґрунтувався на готовності виконавців його використовувати в конкретному випадку НТУ ПС у різні періоди дослідження.

Серед 58 пацієнтів, яким як первинне хірургічне втручання було проведено НТ, селективна реіннервація гілок до *m.biceps brachii* (ВВ) чи неселективна реіннервація (із вилученням гілок до *m.coracobrachialis*

із зони коаптації нерва-донора та *n.musculocutaneus*), екстраплексусні нерви-донори (е-НД) використані у 35 (неселективна НТ) (**Рис. 2**), інтраплексусні нерви-донори (і-НД) – у 23 (як селективна, так і неселективна НТ). Найбільше на вибір нервів-донорів (НД) впливала анатомія ушкодження ПС. Критеріями вибору НД на дохірургічному етапі були клінічні (неврологічний огляд), радіологічні (релаксація діафрагми) та електрофізіологічні (доопераційна електронейроміографія (ЕНМГ), інтраопераційна діагностична пряма стимуляція за стандартною методикою) дані щодо збереженості функції нервів, які потенційно могли стати НД. Із 26 пацієнтів із НТУ ПС тотального типу, яким

Таблиця 1. Розподіл за первинними хірургічними втручаннями, використаними в дослідженні, залежно від рівня ушкодження

Рівень ушкодження	N	G	NT
C5-6	19 (25,0%)	6 (42,9%)	15 (25,9%)
C5-6-7	30 (39,5%)	2 (14,2%)	17 (29,3%)
C5-6-7-8	10 (13,2%)	0	1 (1,7%)
Тотальний	17 (22,3%)	6 (42,9%)	25 (43,1%)

Примітка: N – невроліз; G – автологічна пластика; NT – невротизація

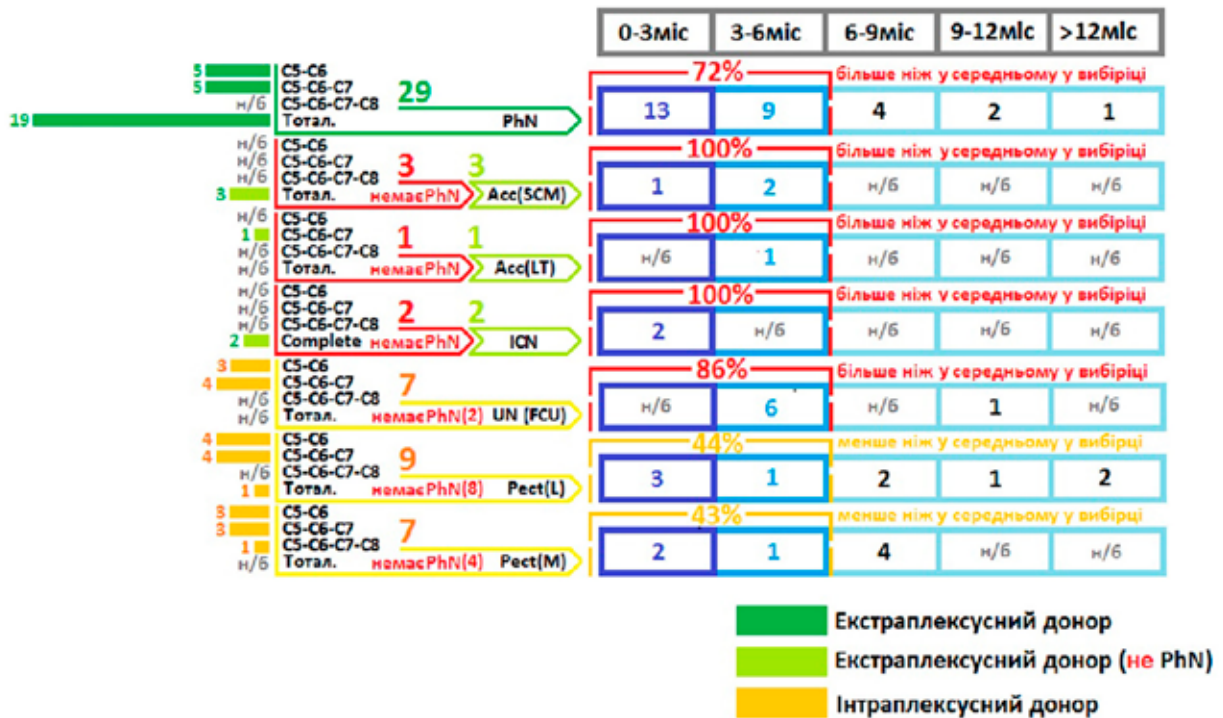


Рис. 2. Використані рухові нерви-донори залежно від анатомічних характеристик надключичних травматичних ушкоджень плечового сплетення: Acc(SCM) – pars sternocleidomastoideus nervi accessorii; Acc(LT) – pars trapezoideus (до pars ascendens m.trapezius) nervi accessorii; ICN – рухові порції міжреберних нервів 3–5; немає PhN – краніальне поширення НТУ ПС, PhN не функціонує; н/б – не було; * – будь-яка цифра означає кількість випадків використання будь-якого рухового нерва-донора

проведено NT, е-НД використано у 25 за відсутності функції будь-яких інших і-НД (див. Рис. 2). У 6 випадках за відсутності функції *n.phrenicus* (PhN) використано інші е-НД (див. Рис. 2): у 2 – рухові порції міжреберних нервів 3-4-5 (ICN), у 4 – різні гілки *n.accessorius* (Acc). У 8 із 9 випадків використання *n.pectoralis lateralis* (Pect(L)), у 2 із 7 випадків використання волокон *n.ulnaris* до *m.flexor carpi ulnaris* (UN(FCU)), у 4 із 7 випадків використання *n.pectoralis medialis* (Pect(M)) як і-НД верифіковано краніальне поширення НТУ ПС, що супроводжувалося відсутністю функції PhN (недоступний як е-НД) (див. Рис. 2). Дані щодо терміну проведення первинного хірургічного втручання наведено на Рис. 2. Лише два і-НД (*n.pectoralis lateralis* та *n.pectoralis medialis*) використано при проведенні NT у терміни менше 6 міс від моменту НТУ ПС у 44,0 та 43,0% випадків (менше ніж у середньому у вибірці), інші як і-НД, так і е-НД, – у терміни менше 6 міс (від 72,0 до 100,0% випадків), тобто більше ніж у середньому у вибірці.

Оцінка результатів

Усі пацієнти отримали інструкції відновити рухову функцію та дотримуватися стандартизованих реабілітаційних програм через 3 міс після проведення будь-якого первинного хірургічного втручання. Реабілітаційні програми після застосування невротолізу і автологічної пластики були спрямовані на підтримання мобільності суглобів верхньої кінцівки в межах максимального природного обсягу руху. Усім пацієнтам після невротолізу і автологічної пластики проводили неврологічний огляд, доповнений

електрофізіологічним обстеженням (ЕНМГ) за стандартною методикою через 6, 9 та 12 міс після первинного хірургічного втручання. Якщо реіннервації ВВ не відбулось (M0 за шкалою MRC) або реіннервація була неефективною (M2-3), то використовували можливості ортопедичних коригувальних втручання (транспозиції сухожилкові-м'язового комплексу/комплексів), але не раніше ніж через 15 міс після первинного хірургічного втручання.

Реабілітаційні програми після проведення NT формували та проводили залежно від специфічних функцій, які первинно забезпечував НД. Пацієнти були проінструктовані щодо необхідності виконання специфічних рухових вправ як під наглядом лікаря-реабілітолога, так і самостійно в домашніх умовах.

Терміни очікування первинних ознак реіннервації, що супроводжувалась активною скоротливою функцією ВВ незалежно від його сили за шкалою MRC, відрізнялися і-НД та е-НД.

Термін (під час усього періоду спостереження за пацієнтами), який відводили для реіннервації ВВ, становив 9 міс при виконанні NT із залученням і-НД та 12 міс – із залученням е-НД. Усім пацієнтам через 9, 12 та 15 міс після NT проводили неврологічний огляд, доповнений електрофізіологічним обстеженням (ЕНМГ) за стандартною методикою. Якщо реіннервації ВВ не відбулось (M0) або реіннервація була неефективною (M2-3), то використовували можливості ортопедичних коригувальних втручання (транспозиції сухожилкові-м'язового комплексу/комплексів), але не раніше ніж через 17 міс після первинного хірургічного втручання.

Первинною метою неврологічного обстеження була оцінка силових характеристик відновлення ВВ за шкалою MRC [8]. Відновлення функції ВВ до М4-5 вважали ефективним відновленням силових характеристик (Ер). Функціональну ефективність силових характеристик ВВ (Ef) оцінювали за допомогою вимірювання зміни кута при згинанні в ліктьовому суглобі до максимального значення 121° (максимально необхідний). Куткові характеристики ґрунтуються на вимогах до згинання в ліктьовому суглобі під час більшості видів активної щоденної діяльності (81–121°) [9].

Голкову і поверхневу ЕНМГ переважно використовували в ранні (через 9 та 12 міс після невролізу і автологічної пластики) та пізні (через 15 і 17 міс після НТ) терміни для підтвердження неефективної реіннервації або відсутності реіннервації ВВ. У таких випадках рекомендували проведення ортопедичних коригувальних втручань (транспозиції сухожилково-м'язового комплексу/комплексів) для відновлення згинання в ліктьовому суглобі, якщо це було можливо.

Жодному пацієнту, якому виконано невроліз чи автологічну пластику як первинне хірургічне втручання, на пізніших етапах дослідження не проведено НТ у терміни спостереження, специфічні для зазначених первинних хірургічних втручань (6–15 міс).

Статистичний аналіз

Були наявні обмеження дослідження при проведенні статистичної обробки даних: значна гетерогенність характеристик (вік, стать, терміни травми тощо) пацієнтів не дало змоги сформуувати групи за подібними ознаками для проведення значущого статистичного аналізу.

Результати та їх обговорення

За даними E. Martin та співавторів [10], більшість невротизацій при ушкодженні ПС є ефективними у разі виконання не пізніше 6 міс після травми, із чіткою тенденцією до зменшення їх ефективності в

міру збільшення терміну після травми [10], тому всі результати відновлення функції ВВ проаналізовано з урахуванням цього.

Невроліз як первинне хірургічне втручання виконано в терміни до 6 міс. 51 пацієнту із 76. У близько 23,5% осіб зареєстровано ефективне відновлення силових характеристик ВВ (М4-5), у 10,0% – неефективну реіннервацію (М2-3), у 66,5% – реіннервації ВВ не відбулось (М0-1) (**Рис. 3**). Із 25 пацієнтів, яким як первинне хірургічне втручання виконано невроліз пізніше 6 міс після НТУ ПС, лише у 8,0% спостерігали ефективне відновлення силових характеристик ВВ (М4-5), тоді як у 4,0% – неефективну реіннервацію (М2-3), у 88,0% – відсутність реіннервації ВВ (М0-1). Відношення шансів щодо ефективного спонтанного відновлення силових характеристик ВВ після виконання первинного хірургічного втручання (невролізу) в терміни до 6 міс становить 1:3, а загалом – 1:4 незалежно від термінів виконання первинного хірургічного втручання (невролізу).

Автологічну пластику як первинне хірургічне втручання виконано в терміни до 6 міс після НТУ ПС 12 пацієнтам із 14. У близько 33,0% осіб спостерігали ефективне відновлення силових характеристик ВВ (М4-5), у 8,0% – неефективну реіннервацію (М2-3), у 59,0% – відсутність реіннервації ВВ (М0-1) (**див. Рис. 3**). У жодного із 2 пацієнтів, яким як первинне хірургічне втручання проведено автологічну пластику пізніше 6 міс, реіннервації ВВ не відбулось (М0-1). Відношення шансів щодо ефективного відновлення силових характеристик ВВ після виконання як первинного хірургічного втручання автологічної пластики становить 1:4 незалежно від терміну її проведення.

Невротизацію як первинне хірургічне втручання виконано в терміни до 6 міс після НТУ ПС 41 пацієнту із 58. У близько 71,0% осіб спостерігали ефективне відновлення силових характеристик ВВ (М4-5), у 5,0% – неефективну реіннервацію (М2-3), у 24,0% – відсутність реіннервації ВВ (М0-1) (**див. Рис. 3**). Із

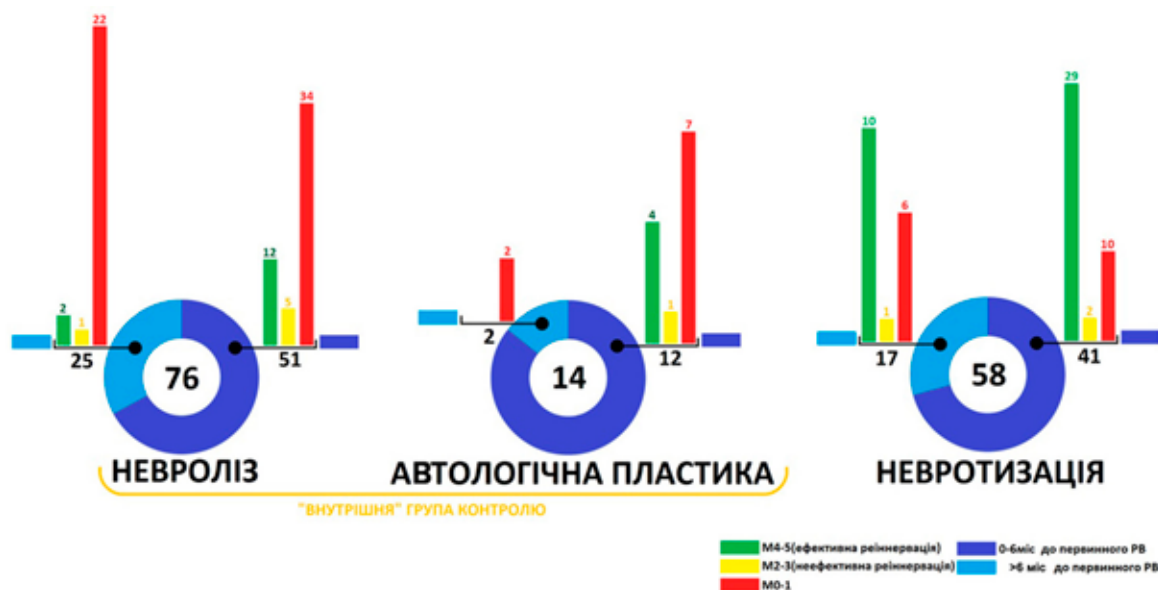


Рис. 3. Ефективність відновлення силових характеристик *m.biceps brachii* після виконання різних типів первинних хірургічних втручань в терміни до 6 міс та пізніше 6 міс після надключичних травматичних ушкоджень плечового сплетення: РВ – реконструктивні втручання

17 пацієнтів, яким як первинне хірургічне втручання виконано NT пізніше 6 міс після НТУ ПС, у 59,0% зареєстрували ефективне відновлення силових характеристик ВВ (M4-5), у 6,0% – неефективну реіннервацію (M2-3), у 35,0% відсутність реіннервації ВВ (M0-1). Відношення шансів щодо ефективного відновлення силових характеристик ВВ після виконання як первинного хірургічного втручання NT у терміни до 6 міс становить 2,4:1,0, а загалом – 2:1 незалежно від терміну проведення як первинного хірургічного втручання NT.

Висновок: результати хірургічних втручань у межах нової (селективна реіннервація/невротизація) та старої (невроліз і автологічна пластика) концепції щодо відновлення силових характеристик ВВ незалежно від терміну їх виконання свідчать про перевагу NT над методами «внутрішньої» групи контролю (невроліз і автологічна пластика): відповідно 67,0 та 20,0% відновлення силових характеристик до M4-5.

У 28 (68,0%) випадках застосування як первинного хірургічного втручання NT у терміни до 6 міс після НТУ ПС лише е-НД використано із загальною ефективністю 75,0% щодо відновлення силових характеристик ВВ до M4-5. Більшість позитивних результатів асоціювалися з використанням PhN із загальною ефективністю 91,0% (Рис. 4). Інші е-НД продемонстрували загалом низьку ефективність (17,0%).

У 13 (32,0%) спостереженнях виконання як первинного хірургічного втручання NT у терміни до 6 міс після НТУ ПС лише і-НД були використані із загальною ефективністю 61,5% щодо відновлення силових характеристик ВВ до M4-5. Більшість позитивних результатів були пов'язані з використанням UN(FCU) із загальною ефективністю 83,0% (див. Рис. 4). Інші е-НД продемонстрували ефективність близько 43,0%.

У 7 (41,0%) випадках застосування як первинного хірургічного втручання NT у терміни понад 6 міс після НТУ ПС лише е-НД, а саме PhN, використано із загальною ефективністю 71,0% щодо відновлення силових характеристик ВВ до M4-5 (див. Рис. 4).

У 10 (59,0%) спостереженнях виконання як первинного хірургічного втручання NT у терміни до 6 міс після НТУ ПС лише і-НД застосовано із загальною ефективністю 50,0% щодо відновлення силових характеристик ВВ до M4-5. Більшість позитивних результатів асоціювалися з використанням Pect(M) із загальною ефективністю 86,0% (див. Рис. 4). Інші е-НД продемонстрували ефективність близько 17,0%.

Висновок: зареєстровано зміни профілю використання е-НД та і-НД залежно від терміну виконання як первинного хірургічного втручання NT: із переважним застосуванням е-НД у терміни до 6 міс (68,0% порівняно із 32,0% випадків і-НД) та і-НД пізніше 6 міс (59,0 та 41,0% випадків).

Із 14 пацієнтів (18,0% із 76), у яких мало місце відновлення ефективних силових характеристик ВВ до M4-5 після виконання як первинного хірургічного втручання невролізу незалежно від терміну після НТУ ПС ефективного відновлення функції досягнуто лише у 9 (64,0%) (Рис. 5).

Із 4 випадків (29,0% із 14 пацієнтів) відновлення ефективних силових характеристик ВВ до M4-5 після виконання як первинного хірургічного втручання автологічної пластики незалежно від терміну після НТУ ПС ефективного відновлення функції не досягнуто у жодному випадку (див. Рис. 5).

Із 39 пацієнтів (67,0% із 58) з відновленням ефективних силових характеристик ВВ до M4-5 після виконання як первинного хірургічного втручання NT незалежно від терміну після НТУ ПС ефективного відновлення функції досягнуто лише у 15 (38,5%) (див. Рис. 5).

Незалежно від терміну після НТУ ПС відновлення ефективних силових характеристик ВВ до M4-5 після виконання як первинного хірургічного втручання NT з використанням PhN досягнуто у 86,0% випадків, а ефективного відновлення функції – лише у 36,0%. Застосування PhN у терміни до 6 міс дало змогу відновити ефективну функцію ВВ у 40% випадків, а використання пізніше 6 міс – лише у 25,0% (див. Рис. 4).



Рис. 4. Ефективність відновлення силових характеристик *m.biceps brachii* в результаті виконання невротизації із застосуванням нервів-донорів екстра- та інтраплексусного походження в терміни до 6 міс і пізніше 6 міс після надключичних травматичних ушкоджень плечового сплетення: РВ – реконструктивні втручання; Ep – ефективні силові характеристики м’яза; Ef – ефективна функція м’яза

Відновлення ефективних силових характеристик ВВ до М4-5 після виконання як первинного хірургічного втручання NT із використанням Pect(L) незалежно від терміну після НТУ ПС досягнуто у 22,0% випадків, а ефективного відновлення функції – у 50,0% випадків. Застосування Pect(L) у терміни до 6 міс дало змогу відновити ефективну функцію ВВ у 0% випадків, пізніше 6 міс – у 100,0% випадків (див. Рис. 4).

Незалежно від терміну після НТУ ПС відновлення ефективних силових характеристик ВВ до М4-5 після виконання як первинного хірургічного втручання NT із використанням Pect(M) досягнуто у 86,0% випадків, а ефективного відновлення функції – у 33,0%. Застосування Pect(M) у терміни до 6 міс дало змогу відновити ефективну функцію ВВ у 100,0% випадків, пізніше 6 міс – у 0% (див. Рис. 4).

Відновлення ефективних силових характеристик ВВ до М4-5 після виконання як первинного хірургічного втручання із використанням UN(FCU) досягнуто у 71,0% випадків, а ефективного відновлення функції – у 60,0% у терміни до 6 міс (див. Рис. 4).

Висновки: найбільший потенціал відновлення ефективної функції ВВ притаманний е-НД Pect(M) та UN(FCU) у терміни до 6 міс – 100,0 та 77,0% відповідно. Зниження потенціалу відновлення ефективної функції і-НД PhN у міру збільшення терміну після НТУ ПС пов'язане з особливістю технічної складової його використання, а саме відстанню між НД та ВВ (долається використанням автологічного нервового трансплантата) і відповідно термінами очікуваної регенерації/дегенерації м'яза. Високий потенціал відновлення ефективної функції е-НД Pect(L) пізніше 6 міс пов'язаний із формуванням чіткої клінічної та електрофізіологічної картини, що свідчить про збережену чи відновлену функцію власне Pect(L), яка може маскуватися збереженою функцією Pect(M) у раніші терміни після НТУ ПС.

Якщо ретроспективно розподілити 148 пацієнтів на дві групи за основною ознакою – кількістю виконаних хірургічних втручань у межах нової концепції (NT), то можна стверджувати, що для лікування пацієнтів групи А (n=102) хірурги-спеціалісти однієї сталої команди протягом 2013–2019 рр. поступово почали

застосовувати лише NT. Лікування пацієнтів групи Б (n=46) проведене хірургами-спеціалістами іншої сталої команди протягом 2013–2019 рр. та не супроводжувалось лише застосуванням NT у межах нової концепції хірургічного лікування ушкоджень ПС. Обидві команди хірургів-спеціалістів працювали в одному відділенні.

Використання нової концепції хірургічного лікування ушкоджень ПС у пацієнтів групи А характеризувалось синусоїдальним типом приросту кількості випадків її застосування протягом усього періоду дослідження. Так, у 2013–2016 рр. кількість випадків використання NT збільшилася із 31,0 до 73,0% (Рис. 6). У 2014–2015 рр. відбулась зміна кількості випадків застосування хірургічного методу в межах старої концепції (невроліз) і NT – 9:7 та 4:12. Відповідно частота використання хірургічного методу в межах старої концепції зменшилася з 58,0 до 20,0% (див. Рис. 6).

Частота застосування NT продовжувала зростати до кінця 2017 р., а протягом 2017–2018 рр. – зменшилася з 62 до 54,0%, у 2019 р. частота використання NT становила 100,0% (див. Рис. 6).

Лікування пацієнтів групи Б переважно ґрунтувалось на використанні хірургічних методів у межах старої концепції (невроліз чи автологічна пластика). Частота їх застосування протягом періоду дослідження становила відповідно 71,0–88,0% та 12,0–29,0% (див. Рис. 6.). Відмова від використання NT у межах нової концепції хірургічного лікування у пацієнтів групи Б у 2017 р. була зумовлена низькою ефективністю методу (33,0%) у 2015–2016 рр.

Висновки: для однієї із команд хірургів-спеціалістів (група А) відбулась зміна в концепції хірургічного лікування ушкоджень ПС. Відмова від продовження використання хірургічного методу невротизації у пацієнтів групи Б була зумовлена його низькою ефективністю на початкових етапах впровадження нової концепції.

Синусоїдальний тип приросту випадків використання NT у межах нової концепції хірургічного лікування ушкоджень ПС у пацієнтів групи А має логічне пояснення. Процес прийняття нової концепції

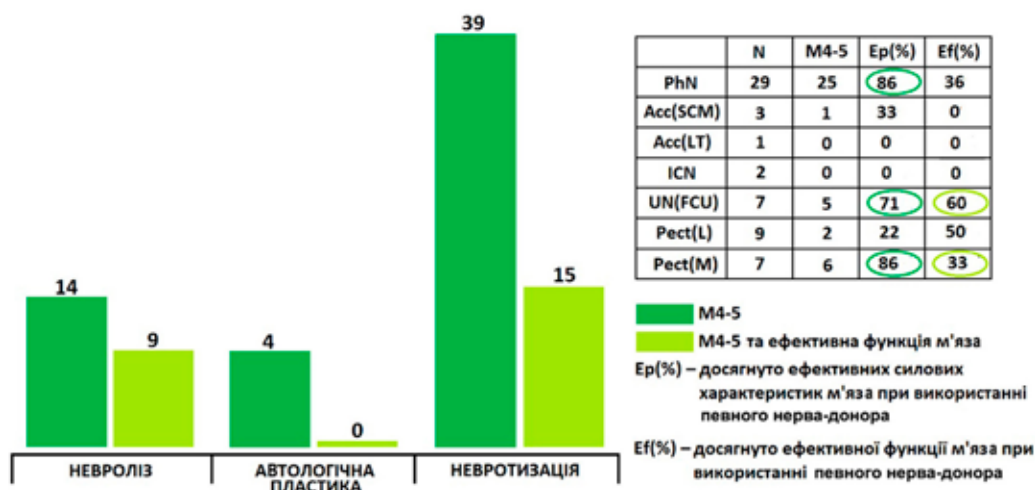


Рис. 5. Порівняння відновлення ефективних силових характеристик та ефективної функції m.biceps brachii в результаті виконання різних типів первинних хірургічних втручань незалежно від терміну після надключичних травматичних ушкоджень плечового сплетення

передбачав ознайомлення з основними постулатами (2013–2014) та обмежене використання окремих технік (кінець 2015 р.). Сам процес потребував лише простої заміни методу невролізу чи аутологічної пластики (в межах старої концепції) на метод NT (у межах нової концепції). Отримані на початкових етапах дослідження (2013–2014) позитивні результати при використанні NT (Рис. 7) змінилися переважанням негативних результатів у 2015 р. на тлі збільшення кількості випадків використання NT загалом. Заміна одного методу іншим більше не давала бажаний результат, виникла потреба чітко визначити межі продуктивного використання методу, давши відповідь на запитання як, коли і що робити з використанням нової концепції хірургічного лікування в індивідуальному випадку ушкодження ПС, тобто почався етап становлення методу, який тривав до 2019 р.

Становлення методу NT у межах нової концепції відбулося за рахунок визначення впливу чотирьох основних чинників (Табл.2): анатомія ушкодження ПС (чинник 1), яка, як стало відомо під час дослідження, впливала на ефективність методу загалом та можливість використання НД зі збереженою функцією (чинник 2), термін від ушкодження ПС до виконання первинного хірургічного втручання методом NT (чинник 3), дані радіологічних (КТ/МРТ ПС/шийного

відділу хребта) методів обстеження (чинник 4), що визначали необхідність використання агресивнішої хірургічної тактики (застосування NT) на етапі планування хірургічного втручання або невролізу/ аутологічної пластики.

Чинник 1 (анатомія ушкодження). На початкових етапах дослідження (2013) NT переважно використовували для часткових варіантів НТУ ПС у 83% випадків. Протягом 2014–2015 рр. у міру ширшого впровадження методу NT у щоденну хірургічну практику частота тотальних варіантів НТУ ПС, пролікованих методом NT, збільшилася до 57,0% (див. Рис. 6). Як наслідок зміни профілю ушкодження ПС кількість різних видів застосованих НД протягом 2013–2015 рр. збільшилась із 2 до 5 (див. Рис. 7). Наслідком збільшення кількості НД, використаних у 2015 р., було різке зниження ефективності методу NT із 100,0% у 2014 р. до 42,0% у 2015 р. (див. Рис. 7).

Висновок: незважаючи на збільшення абсолютної кількості хірургічних втручань, виконаних у межах нової концепції протягом 2013–2015 рр. (11:6, 9:7 та 4:12 для невролізу/невротизації), зниження ефективності методу до 42,0% пов'язане з незвершеним процесом визначення надійних НД (чинник 2).

Чинник 2 (вибір НД). Наприкінці 2017 р. завершився процес формування пулу надійних НД (Рис. 8).

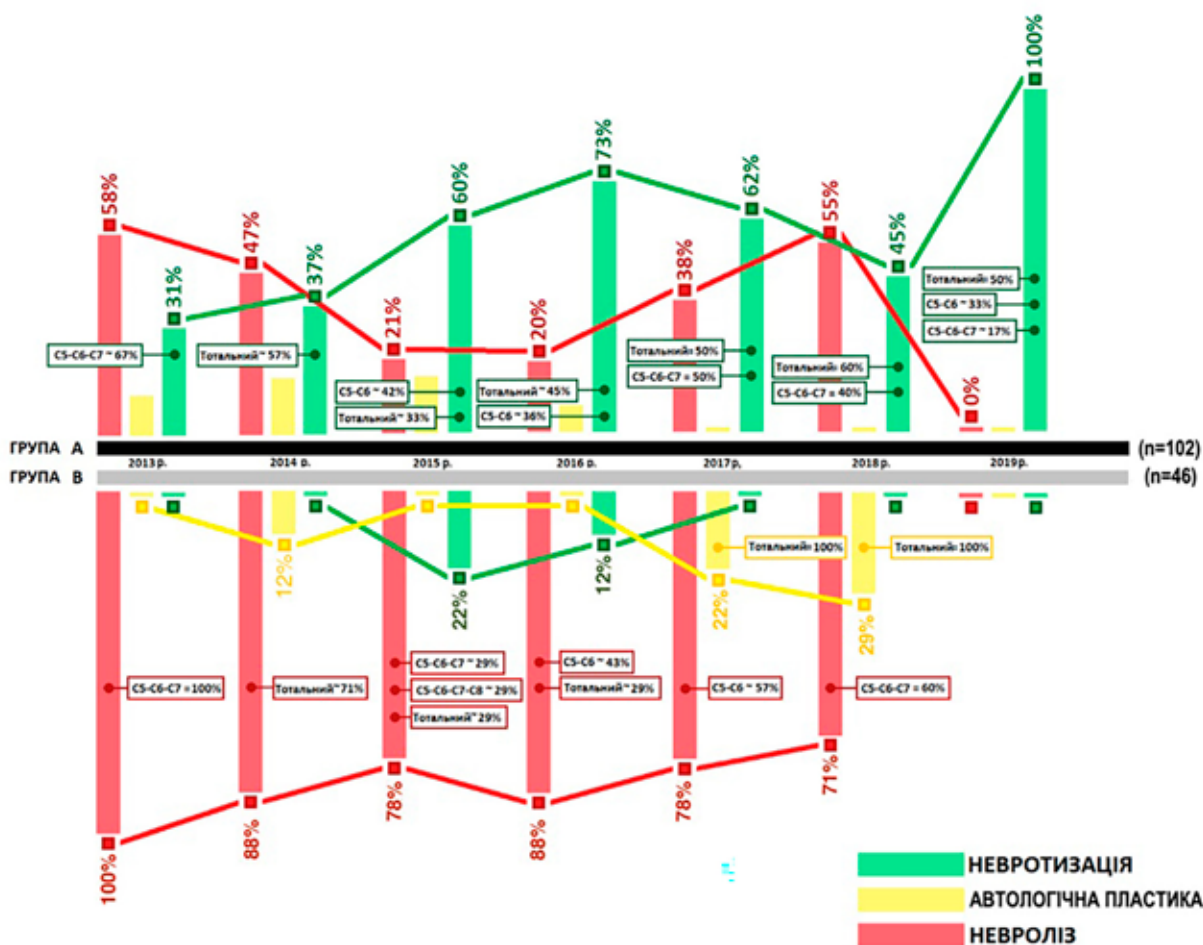


Рис. 6. Динаміка використання різних хірургічних методів у пацієнтів груп А і Б протягом періоду дослідження

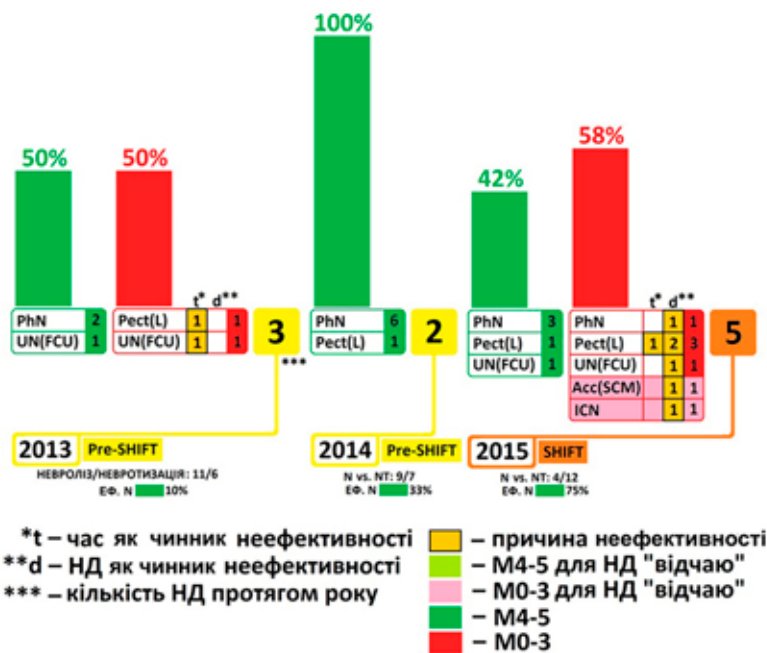


Рис. 7. Кореляція між ефективністю реіннервації m.biceps brachii, нервами-донорами і термінами їх використання, ефективність невротолізу плечового сплетення у 2013–2015 рр.: pre-SHIFT – роки, протягом яких не відзначено збільшення абсолютної кількості невротизацій у структурі хірургічного лікування НТУ ПС (до зміни концепції); SHIFT – рік, протягом якого відбулося збільшення абсолютної кількості невротизацій у структурі хірургічного лікування НТУ ПС (зміни стратегії); N – невротоліз; NT – невротизація; еф. N – щорічна ефективність невротолізу; N vs. NT – щорічне співвідношення N та NT

Таблиця 2. Зміна ефективності невротизації та еволюція основних чинників, що впливають на її ефективність

Чинник	Еволюція чинників	Зміна ефективності відновлення
1	Зміна профілю	Зниження ефективності
2	Збільшення кількості НД	Зниження ефективності
	Установлення надійних НД	Збільшення ефективності
3	Обмеження терміну	Зменшення НД ⇒ зниження ефективності
	Збільшення терміну	Збільшення НД ⇒ збільшення ефективності
4	Розширення показань до невротолізу	Зниження ефективності
	Відмова від радіологічних критеріїв	Збільшення кількості NT ⇒ збільшення ефективності

Не беручи до уваги результати використання НД «відчаю» – усереднена ефективність 33,0% (їх залучення пов'язане із неможливістю використати інші іпсилатеральні НД при хірургічному лікуванні всіх тотальних варіантів НТУ ПС) (див. Рис. 8), пул надійних іпсилатеральних е-НД та і-НД виглядав так: PhN, Pect(M) та UN(FCU). Вилучення Pect(L) із пулу надійних НД зумовлене загалом низькою ефективністю (22,0%) у 2013–2017 рр. (див. Рис. 7 та 8).

Висновок: незважаючи на формування пулу надійних НД протягом 2013–2017 рр., їх використання не завжди супроводжувалося відновленням зокрема ефективних силових характеристик ВВ, що пов'язано із впливом чинника 3.

Чинник 3 (терміни до NT). Оскільки терміни ефективного використання NT було встановлено досить швидко (звернення близько 70% пацієнтів у терміни до 6 міс. (див. Рис. 1.)) – протягом 2013–2014 рр., ефективність хірургічного методу в межах нової концепції зросла до 100,0% (див. Рис. 7). З іншого боку, встановлені на початкових етапах дослідження часові межі призводили до обмеженого використання певної кількості надійних НД, особливо у разі краніального поширення НТУ ПС та відсутності функції PhN (див. Рис. 2). Так, використання Pect(M) дало змогу розширити часові межі використання і-НД до 9 міс з ефективністю 100,0%. Це твердження частково стосується також використання е-НД, а саме

PhN, з ефективністю до 71,0% через 6–9 міс після НТУ ПС (див. Рис. 4).

Висновок: розширення часових меж для проведення НТ сприяло збільшенню пулу ефективних НД з огляду на пізніші терміни звернення (до 9 міс) пацієнтів із визначеною анатомією НТУ ПС (C5-C6 і C5-C6-C7) (див. Рис. 2), що, на нашу думку, пов'язане з особливістю травми ПС.

Чинник 4 (радіологічні критерії). Розширення показань до застосування менш агресивної тактики в межах старої концепції хірургічного лікування НТУ ПС, а саме невролізу ПС, що було пов'язано із впровадженням рентгенологічних критеріїв відбору (дані КТ/МРТ без чітких ознак або із сумнівними ознаками авульсії) пацієнтів на дохірургічному етапі, сприяло значному поліпшенню результатів невролізу в 2013–2015 рр. (див. Рис. 7) – з 10,0 до 75,0% ефективності. Відповідно, застосування первинно ефективних радіологічних критеріїв спричинило тимчасову зміну в хірургічній тактиці в бік ширшого використання невролізу в межах старої хірургічної концепції у 2016–2018 рр. (див. Рис. 8). Саме впровадження критеріїв на підставі даних радіологічних методів обстеження призвело до формування синусоїдального типу кривої використання методу невротизації (див. Рис. 6). Збільшення кількості пацієнтів, у яких використовували радіологічні критерії відбору до проведення невролізу, призвело до прогресивного зменшення ефективності невролізу із 75,0% у 2015 р. до 0% у 2018 р. (див. Рис. 8).

Висновки: застосування радіологічних критеріїв відбору пацієнтів для проведення невролізу при НТУ ПС не є надійним методом забезпечення ефективного відновлення функції. Урахування чинників 1–3 під час використання методу невротизації в межах нової концепції хірургічного лікування ушкоджень ПС дало змогу підвищити ефективність відновлення силових характеристик ВВ до 100,0% у 2019 р.

Висновки

Прийняття невротизації в рамках нової концепції хірургічного лікування ушкоджень плечового сплетення відбулось лише в одній групі хірургів-спеціалістів одного відділення. Процес прийняття тривав протягом 2013–2019 рр. і був представлений 3 фазами: ознайомлення з основними постулатами та обмежене використання вибіркової технік протягом 2013–2014 рр., визначення меж продуктивного використання невротизації та вивчення впливу чотирьох основних чинників (анатомія ушкодження, термін після травми, вибір нервів-донорів, надійність допоміжних радіологічних методів діагностики) протягом 2015–2018 рр., прийняття невротизації як основного методу хірургічного лікування ушкоджень плечового сплетення.

Забезпечення клінічної ефективності невротизації в межах нової концепції хірургічного лікування ушкоджень плечового сплетення на рівні 100,0% досягається урахуванням впливу чотирьох основних чинників (анатомія ушкодження, термін після травми, вибір нервів-донорів, радіологічні критерії діагностики).

Найефективнішими нервами-донорами з урахуванням анатомічних характеристик надключичних травматичних ушкоджень плечового сплетення є *n.phrenicus*, *n.pectoralis medialis* та волокнини до *m.flexor carpi ulnaris* в структурі *n.ulnaris*.

Оптимальними термінами проведення невротизації є 3–9 міс після травми з урахуванням анатомічних характеристик надключичних травматичних ушкоджень плечового сплетення.

Радіологічні критерії обстеження пацієнта на дохірургічному етапі не можуть бути вирішальним чинником при виборі хірургічного методу лікування надключичних травматичних ушкоджень плечового сплетення.

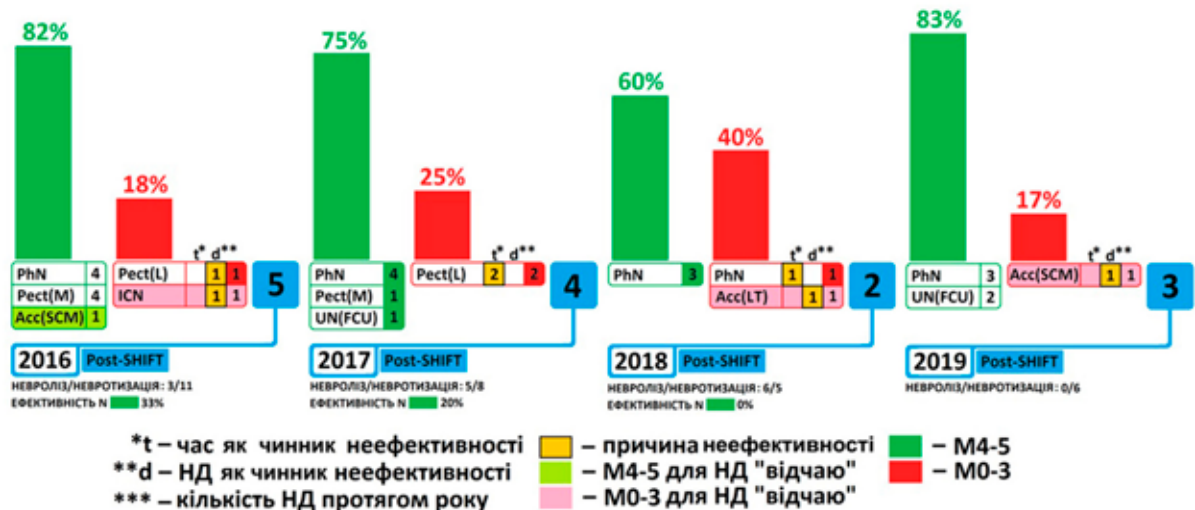


Рис. 8. Кореляція між ефективністю реіннервації *m.biceps brachii*, нервами-донорами і термінами їх використання, ефективність невролізу плечового сплетення у 2016–2019 рр.: post-SHIFT – роки, протягом яких відзначено становлення та зміну концепції хірургічного лікування НТУ ПС; ефективність N – щорічна ефективність невролізу; Acc(SCM) – pars sternocleidomastoideus nervi accessorii; Acc(LT) – pars trapezoideus (до pars ascendens *m.trapezius*) nervi accessorii; ICN – nervi intercostales 3-5.

Розкриття інформації*Конфлікт інтересів*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Етичні норми

Усі процедури, виконані хворим під час дослідження, відповідають етичним стандартам інституційного і національного комітетів з етики, Гельсінкській декларації 1964 року та поправкам до неї або аналогічним етичним стандартам.

Інформована згода

Усвідомлену та добровільну письмову згоду на участь у дослідженні отримано у кожного хворого.

Фінансування

Дослідження виконано без спонсорської підтримки.

Література

1. Domeshek LF, Novak CB, Patterson JMM, Hasak JM, Yee A, Kahn LC, Mackinnon SE. Nerve Transfers-A Paradigm Shift in the Reconstructive Ladder. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2019 Jun 25;7(6):e2290. doi: 10.1097/GOX.0000000000002290. PMID: 31624686; PMCID: PMC6635215.
2. Moore AM. Nerve Transfers to Restore upper Extremity Function: A Paradigm Shift. *Front Neurol*. 2014 Mar 31;5:40. doi: 10.3389/fneur.2014.00040. PMID: 24744749; PMCID: PMC3978351.
3. Hems T. Nerve transfers for traumatic brachial plexus injury: advantages and problems. *J Hand Microsurg*. 2011 Jun;3(1):6-10. doi: 10.1007/s12593-011-0031-1. Epub 2011 Feb 16. PMID: 22654410; PMCID: PMC3094523.
4. Washington University School of Medicine in St. Louis. Surgical Education. Learn Surgery. Category: Surgical Procedures. <https://surgicaleducation.wustl.edu/category/surgical-procedures>
5. Chuang DC. Brachial plexus reconstruction based on the new definition of level of injury. *Injury*. 2008 Sep;39 Suppl 3:S23-9. doi: 10.1016/j.injury.2008.05.012. Epub 2008 Aug 3. PMID: 18675978.
6. Hsueh YH, Tu YK. Surgical reconstructions for adult brachial plexus injuries. Part I: Treatments for combined C5 and C6 injuries, with or without C7 injuries. *Injury*. 2020 Apr;51(4):787-803. doi: 10.1016/j.injury.2020.02.076. Epub 2020 Feb 17. PMID: 32156416.
7. Pirela-Cruz M, Mujadzić M, Kanlić E. Brachial plexus treatment. *Bosn J Basic Med Sci*. 2005 Aug;5(3):7-15. doi: 10.17305/bjbm.2005.3264. PMID: 16351575; PMCID: PMC7202152.
8. Matthews WB. Aids to the examination of the peripheral nervous system. *J Neurol Sci*. 1977;33(1-2):299.
9. Gates DH, Walters LS, Cowley J, Wilken JM, Resnik L. Range of Motion Requirements for Upper-Limb Activities of Daily Living. *Am J Occup Ther*. 2016 Jan-Feb;70(1):7001350010p1-7001350010p10. doi: 10.5014/ajot.2016.015487. PMID: 26709433; PMCID: PMC4690598.
10. Martin E, Senders JT, DiRisio AC, Smith TR, Broekman MLD. Timing of surgery in traumatic brachial plexus injury: a systematic review. *J Neurosurg*. 2018 May 1:1-13. doi: 10.3171/2018.1.JNS172068. Epub ahead of print. PMID: 29999446.