

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «ІНСТИТУТ НЕЙРОХІРУРГІЇ  
ІМЕНІ АКАДЕМІКА А.П. РОМОДАНОВА НАМН УКРАЇНИ»**

*Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису*

**ГАЦЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 616.74-089:617.57:616.833-001:612.015.86

**ДИСЕРТАЦІЯ  
СЕЛЕКТИВНА РЕІННЕРВАЦІЯ КЛЮЧОВИХ М'ЯЗІВ ДЛЯ  
ВІДНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ФУНКЦІЇ ПРИ УШКОДЖЕННІ НЕРВІВ  
ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ**

14.01.05 — Нейрохірургія

222 — Медицина

22 — Охорона здоров'я

Подається на здобуття наукового ступеня доктора медичних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ О.О. Гацький

Науковий консультант: Цимбалюк Віталій Іванович, академік НАН та НАМН України, доктор медичних наук, професор

Київ – 2024

## АНОТАЦІЯ

**Гацький О.О.** Селективна реіннервація ключових м'язів для відновлення ефективної функції при ушкодженні нервів верхньої кінцівки. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора медичних наук у галузі знань 22 «Охорона здоров'я» за спеціальністю 222 «Медицина» (спеціалізація 14.01.05 «Нейрохірургія»). – Національна академія медичних наук України, ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України», Київ, 2024.

Представлена робота являє собою аналітичне контрольоване ретроспективне когортне одноцентрове дослідження результатів лікування 203 пацієнтів із ушкодженням структур периферичної нервової системи верхньої кінцівки у відділенні відновлювальної нейрохірургії із рентгеноопераційною ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України» за період з 2013 до 2019 рр.

У дослідження було залучено 172 чоловіки та 31 жінку із травматичним ушкодженням (ТУ) структур плечового сплетення (ПС). Середній вік пацієнтів – 37,3 року.

Для визначення рівня, ступеня та характеру ушкодження структур ПС на етапі залучення в дослідження та до проведення будь-якого первинного хірургічного реконструктивного втручання (РВ) використовували клінічні неврологічні, нейрофізіологічні (стимуляційна електронеуроміографія, голкова електронеуроміографія, соматосенсорні викликані потенціали) і рентгенологічні методи (рентгенографія, мультиспіральна комп'ютерна томографія, магнітно-резонансна томографія).

Пацієнтів розподілили в залежності від рівня ТУ ПС за класифікацією D.C.C. Chuang (2010): 149 пацієнтів (рівень 1-3) із надключичним (Н-ТУ ПС) та 54 пацієнта (рівень 4) із підключичним (П-ТУ ПС) ушкодженням. Середній термін від одержання травми до моменту виконання будь-якого *первинного*

планового хірургічного реконструктивного втручання (РВ) у пацієнтів із Н-ТУ ПС становили 7,45 міс, у пацієнтів із П-ТУ ПС – 7,2 міс. Розподіл за анатомічними характеристиками Н-ТУ ПС: 1 пацієнт із Н-ТУ ПС С5 корінця, 40 – із Н-ТУ ПС С5-С6 корінців, 49 – із Н-ТУ ПС С5-С6-С7 корінців, 11 – із Н-ТУ ПС С5-С6-С7-С8, 48 – із Н-ТУ ПС тотального типу (Тотал.). Розподіл за анатомічними характеристиками П-ТУ ПС: 25 пацієнтів із П-ТУ ПС одного вторинного пучка, 16 – із П-ТУ ПС двох вторинних пучків, 13 – із П-ТУ ПС трьох вторинних пучків (Тотал.).

Додатково залучених у дослідження пацієнтів розподілили за переважанням абсолютної кількості випадків, в яких необхідно було провести відновлення функцій верхньої кінцівки за допомогою однієї із методик РВ за порядком їх пріоритетності: 1-й порядок – згинання в ліктьовому суглобі, що забезпечується функцією ключового м'яза (КЛМ) *m. biceps brachii* (джерело іннервації – *n. musculocutaneus*); 2-й порядок – багатоплощинні рухи в плечовому суглобі (згинання та вертикальна зовнішня ротація), що забезпечуються функцією *m. deltoideus* (джерело іннервації – *n. axillaris*) *mm. supraspinatus et infraspinatus* (джерело іннервації – *n. suprascapularis*) відповідно; 3-й порядок – розгинання в ліктьовому суглобі, що забезпечується функцією КЛМ *m. triceps brachii* (джерело іннервації – *n. radialis*); 5-й порядок – розгинання в променево-зап'ястковому суглобі, що забезпечується функцією КЛМ *m. extensor carpi radialis brevis* (джерело іннервації – *n. radialis*). Усі пацієнти із Н-ТУ ПС були залучені в дослідну підгрупу «МОДЕЛЬ А» – 149 (100 %) пацієнтів із Н-ТУ ПС потребували відновлення пріоритетних функцій 1-го та 2-го порядків, з них 1 (0,7 %) пацієнт потребував відновлення лише пріоритетної функції 2-го порядку; 54 пацієнти із П-ТУ ПС були залучені в дослідну підгрупу «МОДЕЛЬ Б» – 39 (72 %) пацієнтів із П-ТУ ПС потребували відновлення пріоритетних функцій 3-го та 5-го порядків.

У підгрупі «МОДЕЛЬ А» (148 пацієнтів) для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку (згинання в ліктьовому суглобі, КЛМ *m. biceps brachii*, *n. musculocutaneus*) виконано: 76 пацієнтам – РВ «невроліз», 14 – РВ

«аутологічна пластика», 58 – РВ «невротизація»; для відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (згинання в плечовому суглобі, КЛМ *m. deltoideus, n. axillaris*) 93 пацієнтам виконано РВ «невроліз», 14 – РВ «аутологічна пластика», 42 – РВ «невротизація»; для відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (вертикальна зовнішня ротація в плечовому суглобі, КЛМ *m. supraspinatus et infraspinatus, n. suprascapularis*) 106 пацієнтам виконано РВ «невроліз», 14 – РВ «аутологічна пластика», 29 – РВ «невротизація». Для відновлення функції КЛМ, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку використано 7 різних іпсилатеральних нервів-донорів екстраплексусного та інтраплексусного походження: у 29 випадках – *n. phrenicus*, у 3 – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, у 2 – *nn. intercostales 2-5*, в 1 – *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*, у 7 – волокнину *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris*, у 9 – *n. pectoralis lateralis*, у 7 – *n. pectoralis medialis*. Для відновлення функції КЛМ, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку (згинання в плечовому суглобі, КЛМ *m. deltoideus, n. axillaris*) використано 5 різних іпсилатеральних нервів-донорів екстраплексусного та інтраплексусного походження: у 22 випадках – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, у 3 – *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*, у 14 – волокнини *n. radialis* до *caput mediale m. triceps brachii*, у 2 – проксимальну куксу передньої гілки спінального нерва C5, у 1 – *n. thoracodorsalis*. Для відновлення функції КЛМ, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку (вертикальна зовнішня ротація в плечовому суглобі, КЛМ *m. supraspinatus et infraspinatus, n. suprascapularis*) використано 2 різних іпсилатеральні нерви-донори лише екстраплексусного походження: у 9 випадках – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, у 20 – *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*.

У підгрупі «МОДЕЛЬ Б» (39 пацієнтів) для відновлення пріоритетної функції 3-го порядку (розгинання в ліктьовому суглобі, *m. triceps brachii, n. radialis*) виконано: 27 пацієнтам – РВ «невроліз», 12 – РВ «аутологічна

пластика»; для відновлення пріоритетної функції 5-го порядку (розгинання в променево-зап'ястковому суглобі, КЛМ *m. extensor carpi radialis brevis, n. radialis*) виконано: 27 пацієнтам – РВ «невроліз», 12 – РВ «автологічна пластика».

Для оцінки результатів проведених РВ, що були спрямовані на відновлення функцій верхньої кінцівки у визначеному порядку їх пріоритетності, в терміни 6, 9 і 12 міс (для РВ «невроліз» та РВ «автологічна пластика») та 9, 12 і 15 міс (для РВ «невротизація») проводили оцінку силових характеристик відповідних КЛМ за MRC Scale, згідно з якою М4-5 вважали ефективним відновленням силових характеристик. Здатність КЛМ, відновлення силових характеристик яких вважали ефективним, виконувати функцію у відповідних сегментах верхньої кінцівки визначали за кутами відхилення у відповідних суглобах, зумовленими роботою КЛМ. У разі зміни кута у відповідному суглобі до кутових характеристик, що відповідають вимогам до основних видів активної щоденної діяльності, рух вважали ефективним: для пріоритетної функції 1-го порядку (*m. biceps brachii, n. musculocutaneus*) – згинання в ліктьовому суглобі до щонайменше 121°, для складових пріоритетної функції 2-го порядку – згинання в плечовому суглобі до 108° (для *m. deltoideus, n. axillaris*), вертикальної зовнішньої ротації в плечовому суглобі до 55° (*m. supraspinatus et infraspinatus, n. suprascapularis*); для пріоритетної функції 3-го порядку (*m. triceps brachii, n. radialis*) – розгинання в ліктьовому суглобі до 70°; для пріоритетної функції 5-го порядку (*m. extensor carpi radialis brevis, n. radialis*) – розгинання в променево-зап'ястковому суглобі до 40°.

Порівняння результатів неселективних РВ («невроліз» та «автологічна пластика») та селективних РВ («невротизація») у межах проведеного дослідження було можливим лише у підгрупі «МОДЕЛЬ А» – Н-ТУ ПС.

Відновлення ефективних силових характеристик (М4-5) КЛМ *m. biceps brachii*, що забезпечує виконання пріоритетної функції 1-го порядку, після проведення неселективного хірургічного РВ досягнуто у 18,4 % випадків (невроліз) та 28,6 % випадків (автологічна пластика), після селективної

хірургічної реіннервації (невротизація *n. musculocutaneus*) – у 67,2 % випадків, що у 3,6 разу ( $X^2 = 40$ ,  $dF = 2$ ,  $p < 0,0001$ ) та 2,4 разу ефективніше ( $p = 0,005$ ) за неселективні методи. Відновлення ефективної функції *m. biceps brachii* (згинання в ліктьовому суглобі до щонайменше 121 °) при проведенні неселективного (невроліз) хірургічного РВ у терміни до 6 міс після травми досягнуто у 15,2 % випадків, після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. musculocutaneus*) – у 31,7 % випадків, що у 2,1 разу ефективніше за неселективний метод. Найкращого відновлення ефективної функції (згинання в ліктьовому суглобі до щонайменше 121 °) *m. biceps brachii* досягнуто при виконанні невротизації *n. musculocutaneus* у терміни до 6 міс після травми за рахунок *n. pectoralis medialis* та *n. ulnaris* – у 100 % та 71 % випадків відповідно.

Відновлення ефективних силових характеристик (М4-5) КЛМ *m. deltoideus*, що забезпечує виконання складової пріоритетної функції 2-го порядку, після проведення неселективного хірургічного РВ досягнуто у 7,1 % випадків (невроліз) та 14 % випадків (автологічна пластика), після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. axillaris*) – у 31 % випадків, що у 4,3 разу ( $X^2 = 8,1$ ,  $dF = 2$ ,  $p = 0,02$ ) та 2,2 разу ефективніше ( $X^2 = 4,8$ ,  $dF = 2$ ,  $p = 0,09$ ) за неселективні методи. Відновлення ефективної функції *m. deltoideus* (згинання в плечовому суглобі щонайменше до 108 °) при проведенні неселективного (невроліз) хірургічного РВ у терміни до 6 міс після травми досягнуто в 11 % випадків, після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. axillaris*) – у 31 % випадків, що у 2,8 разу ефективніше за неселективний метод. Найкращого відновлення ефективної функції (згинання в плечовому суглобі щонайменше до 108 °) *m. deltoideus* досягнуто при виконанні невротизації *n. axillaris* у терміни до 6 міс після травми за рахунок *rami musculares capitis lateralis muscoli tricipitis brachii*, *n. thoracodorsalis*, *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* – у 100 % випадків.

Відновлення ефективних силових характеристик (М4-5) КЛМ *mm. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують виконання складової пріоритетної функції 2-го порядку, після проведення неселективного хірургічного РВ досягнуто у 10,4 % випадків (невроліз) та 0 % випадків (автологічна пластика), після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. suprascapularis*) – у 37,9 % випадків, що у 3,6 разу ефективніше ( $p < 0,0001$ ) за неселективний метод. Відновлення ефективної функції *mm. supraspinatus et infraspinatus* (вертикальна зовнішня ротація в плечовому суглобі щонайменше до 55 °) при проведенні неселективного хірургічного РВ (невроліз) у терміни до 6 міс після травми досягнуто в 1,4 % випадків, після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. suprascapularis*) – у 26,3 % випадків, що у 2,8 разу ефективніше за неселективний метод. Найкращого відновлення ефективної функції (вертикальна зовнішня ротація в плечовому суглобі щонайменше до 55 °) *mm. supraspinatus et infraspinatus* досягнуто при виконанні невротизації *n. suprascapularis* у терміни до 6 міс після травми за рахунок *ramus trapezoideus nervi accessorii (pars ascendens m. trapezius)* – у 43 % випадків.

Протягом 2017–2023 рр., крім основної групи пацієнтів, для відновлення пріоритетних функцій 3, 5, 6 та 7-го порядку виконано 103 успішних суперселективних невротизації *n. radialis*, *n. medianus* та *n. ulnaris* дериватів пучків ПС для реіннервацій відповідних КЛМ та їхніх груп при ізольованих ушкодженнях довгих нервів верхньої кінцівки – підгрупа «МОДЕЛЬ В». Цю когорту із 103 пацієнтів не залучено в основну вибірку, оскільки виконані РВ можна схарактеризувати як «похідні» в методологічному плані, але саме вони допомогли розвинути та підтвердити універсальність методики селективної реіннервації, яку можна використовувати при будь-якому ушкодженні нервів, будь-якого сегмента, будь-якої кінцівки. Ефективність, надійність та прогнозованість методики доведено в підгрупі пацієнтів із Н-ТУ ПС («МОДЕЛЬ А», пріоритетні функції 1-го та 2-го порядку).

Отже, гіпотеза про те, що селективна реіннервація є більш надійною, ефективною, прогнозованою та універсальною методикою порівняно з традиційними хірургічними методиками відновлення ефективної функції КЛМ при ушкодженні нервів кінцівок, підтверджена.

**Ключові слова:** ушкодження, нерв, плечове сплетення, невраліз, автологічна пластика, невротизація, селективна реіннервація

## ANNOTATION

*Hatskyi O.O.* Selective reinnervation of the key muscles aimed at restoring their effective function at injuries of the nerves of the upper extremity. – Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for conferring the Doctor of Medical Sciences Degree in the Field of study 22 Health care, Program Subject Area 222 Medicine (Speciality 14.01.05 «Neurosurgery»). – National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Romodanov Neurosurgery Institute of NAMS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, 2024.

An analytic retrospective cohort single-center study of 203 consecutive cases of surgical treatment of the injuries of the peripheral nerves of the upper extremity has been conducted in Reconstructive Neurosurgery Department of Romodanov Neurosurgery Institute of NAMNS of Ukraine through 2013–2019.

172 male and 31 female patients (mean age 37.3 years) with traumatic injury to the brachial plexus (TBPI) were enrolled into the study.

Neurologic examination, electrodiagnostics (niddle EMG, somasensory evoked potentials) and radiologic (X-ray, CT, MRI) methods have been utilized at the time of inclusion in order to define level and severity of TBPI.

All enrolled patients were divided into groups in accordance with the level of TBPI on D.C.C. Chuang Classification: 149 patients (Level 1–3) with supraclavian TBPI (sTBPI) and 54 (Level 4) with infraclavian TBPI (iTBPI). Mean terms from injury to any type of primary reconstructive surgical (RS) procedure among sTBPI



patients were 7.45 mos., among iTBPI patients – 7.2 mos. Anatomy of sTBPI was: C5 injury – 1, C5-6 injury – 40, C5-6-7 injury – 49, C5-6-7-8 injury – 11, complete sTBPI – 48 cases. Anatomy of iTBPI was: 1 trunk injury – 25, 2 trunks injury – 16, complete iTBPI – 13 cases.

Additionally, all enrolled patients were divided into two subgroups in accordance with the number of cases that required restoration of the most prioritized functions of the upper extremity among either sTBPI or iTBPI. Priority 1 (P1) – elbow flexion mediated by the key muscle (KM) *m. biceps brachii* (innervation – *n. musculocutaneus*); P2 – multiaxial movements in glenohumeral joint shoulder forward flexion and vertical external rotation of the shoulder mediated by KMs *m. deltoideus* (innervation – *n. axillaris*) and *m. supraspinatus et infraspinatus* (innervation – *n. suprascapularis*), respectively; P3 – elbow extension mediated by the KM *m. triceps brachii* (innervation – *n. radialis*); P5 – wrist extension mediated by the KM *m. extensor carpi radialis brevis* (innervation – *n. radialis*). All 149 patients with sTBPI shared the same characteristics (MODEL A) – they all (except one patient) required restoration of P1 and P2 (100 %); the majority (72 %) of patients with iTBPI shared the same characteristics (MODEL B) – 39 patients required restoration of P3 and P5 .

148 sTBPI patients received neurolysis (N) of the brachial plexus structures in 76 cases, autologous grafting (G) – in 14 cases and nerve transfer (NT) in 58 cases aimed to restore P1; 93 N, 14 G and 42 NT were conducted with the aim at restoring P2 (shoulder forward flexion, *m. deltoideus*, *n. axillaris*); 106 N, 14 G and 29 NT were conducted with the aim at restoring P2 (vertical external rotation of the shoulder, *m. supraspinatus et infraspinatus*, *n. suprascapularis*). In order to restore P1 7 different ipsilateral extraplexual and intraplexual donor nerves have been utilized: *n. phrenicus* in 29 cases, *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* in 3 cases, *nn. intercostales 2–5* in 2 cases, *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii* in 1 case, *m. flexor carpi ulnaris fascicles of n. ulnaris* in 7 cases, *n. pectoralis lateralis* in 9 cases, *n. pectoralis medialis* in 7 cases. In order to restore P2 (shoulder forward flexion, *m. deltoideus*, *n. axillaris*) 5 different ipsilateral

extraplexual and intraplexual donor nerves have been utilized: *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* in 22 cases, *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii* in cases, *caput mediale m. triceps brachii fascicles* of *n. radialis* in 14 cases, proximal stump of anterior C5 in 2 cases, *n. thoracodorsalis* in 1 case. In order to restore P2 (vertical external rotation of the shoulder, *mm. supraspinatus et infraspinatus, n. suprascapularis*) 2 different ipsilateral extraplexual donor nerves have been utilized: *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* in 9 cases, *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii* in 20 cases.

39 iTBPI patients (MODEL B) received neurolysis (N) of the brachial plexus structures in 27 cases, autologous grafting (G) – in 12 cases aimed to restore both P3 (elbow extension, *m. triceps brachii n. radialis*) and P5 (wrist extension, *m. extensor carpi radialis brevis, n. radialis*).

To evaluate the RS efficacy the power (effective power, Ep) of KM in accordance with the priority of the function (s) they provide has been measured on MRC Scale (M4-5 has been considered as effective power) in 6, 9 and 12 mos. after N and G; in 9, 12 and 15 mos. after NT. The effective function (Ef) of the KM (with recovered Ep only) has considered when they were able to move the corresponding joint within the minimal angular deviation requirements during majority of activities of daily living: P1 – 121° of elbow flexion mediated by *m. biceps brachii (n. musculocutaneus)*; P2 – 108° of shoulder forward flexion mediated by *m. deltoideus (n. axillaris)*; P2 – 55° of vertical external rotation of the shoulder mediated by *m. supraspinatus et infraspinatus (n. suprascapularis)*; P3 – 70° of elbow extension mediated by *m. triceps brachii (n. radialis)*; P5 – 40° of wrist extension mediated by *m. extensor carpi radialis brevis (n. radialis)*.

The comparence of the outcomes of non-selective and selective RS has been possible for the MODEL A patients only – sTBPI.

Recovery of Ep (M4-5) for P1 mediated by *m. biceps brachii* has been achieved in 18.4 % of N cases and 28.6 % of G cases; recovery of Ep (M4-5) for P1 mediated by *m. biceps brachii* has been achieved in 67,2 % NT cases which showed that NT

was 3.6 ( $X^2 = 40$ ,  $dF = 2$ ,  $p < 0.0001$ ) and 2.4 ( $p = 0.005$ ) times better than N and G in recovering Ep, respectively. Recovery of Ef (elbow flexion  $121^\circ$  or greater) for P1 mediated by *m. biceps brachii* has been achieved in 15.2 % of cases of N (conducted earlier than 6 mos. after the injury) and 31.7 % after NT which showed that NT was 2.1 times better in recovering Ef than N; transfer of the *n. pectoralis medialis* and fascicles of *n. ulnaris* (conducted earlier than 6 mos. after the injury) allowed restoring of Ef of *m. biceps brachii* in 100 % and 71 % cases of their respectful utilization.

Recovery of Ep (M4-5) for P2 mediated by *m. deltoideus* has been achieved in 7.1 % of N cases and 14 % of G cases; recovery of Ep (M4-5) for P2 mediated by *m. deltoideus* has been achieved in 31 % NT cases which showed that NT was 4.3 ( $X^2 = 8.1$ ,  $dF = 2$ ,  $p = 0.02$ ) and 2.2 ( $X^2 = 4.8$ ,  $dF = 2$ ,  $p = 0.09$ ) times better than N and G in recovering Ep, respectively; recovery of Ef (shoulder forward flexion  $108^\circ$  or greater) for P2 mediated by *m. deltoideus* has been achieved in 11 % of cases of N (conducted earlier than 6 mos. after the injury) and 31 % after NT which showed that NT was 2.8 times better in recovering Ef than N; transfer of the *rami musculares capitis lateralis muscui tricipitis brachii*, *n. thoracodorsalis*, *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* (conducted earlier than 6 mos. after the injury) allowed restoring of Ef of *m. deltoideus* in 100 % of cases of their respectful utilization.

Recovery of Ep (M4-5) for P2 mediated by *m. supraspinatus et infraspinatus* has been achieved in 10.4 % of N cases and 0 % of G cases; recovery of Ep (M4-5) for P2 mediated by *mm. supraspinatus et infraspinatus* has been achieved in 37.9 % NT cases which showed that NT was 3.6 ( $p < 0.0001$ ) times better than non-selective RS in recovering Ep, respectively; recovery of Ef (vertical external rotation of the shoulder  $55^\circ$  or greater) for P2 mediated by *m. supraspinatus et infraspinatus* has been achieved in 1.4 % of cases of N (conducted earlier than 6 mos. after the injury) and 26.3 % after NT which showed that NT was 2.8 times better in recovering Ef than non-selective RS; transfer (conducted earlier than 6 mos. after the injury) of the

*ramus trapezoideus nervi accessorii (pars ascendens m. trapezius)* allowed restoring of Ef of *mm. supraspinatus et infraspinatus* in 43 % of cases of its respectful utilization.

During 2017–2023 103 successful cases (not included in this study) of superselective NT of *n. radialis*, *n. medianus* та *n. ulnaris* at their proximal injury have been conducted – all of them have been aimed at restoring function of the KM that provide P3, P5, P6 and P7 functions – MODEL C. This appeared to be able due to the process of transferring the knowledge that had been received during the early ears of the study. All conducted NT among MODEL C group of 103 patients (not included in this study) were methodological «derivatives» of the RS that showed its efficacy, reliability and predictability among patients with sTBPI (MODEL A) in the study. The outcomes of these 103 NT helped us develop and prove the idea of universality of the methodology – selective reinnervation could be utilized to restore function after the injury of any nerve of any segment of any extremity.

The hypothesis of this study – selective nerve transfer is far more effective, reliable, predictive and universal in restoring effective functioning to the key muscles compared to traditional non-selective methods of surgical reconstruction – has been proven.

**Key words:** injury, nerve, brachial plexus, neurolysis, autologous grafting, nerve transfer, selective reinnervation

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Tsymbaliuk, V. I., Tretyak, I. B., Freidman, M. Y., & Gatskiy, A. A. (2016). Denervation and myotomy of muscles of the omotrapezoid triangle of the neck improve the outcomes of surgical treatment of laterocollis and torticollis subtypes of spasmodic torticollis: 58 case analysis. *Acta Neurochirurgica*, 158(6), 1159–1164. <https://doi.org/10.1007/s00701-016-2790-8>; (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальненні результатів, підготував статтю до друку).*

2. Tretyak, I. B., Gatskiy, A. A., Kovalenko, I. V., & Bazik, A. N. (2018). To graft or not to graft? Median to radial nerve transfer in the forearm: an alternative approach to treat proximal radial nerve injuries. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, (3), 34–40. <https://doi.org/10.25305/unj.133273>

*(Особистий внесок дисертанта: збір, аналіз та узагальнення результатів дослідження).*

3. Третяк, І., Коваленко, І., Гацький, О., Третякова, А. (2018). Лікування множинних поєднаних ушкоджень нервів, що супроводжуються значними дефектами, в проксимальних відділах верхньої кінцівки. *Вісник Вінницького національного медичного університету*, 22(1), 178-184. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22\(1\)-34](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22(1)-34).

*(Особистий внесок дисертанта Здобувачем розроблено критерії включення пацієнтів в дослідження, проведено клінічне спостереження, статистичну обробку отриманих даних та їх аналіз, підготовлено статтю до друку).*

4. Третяк, І. Б., Гацький, О. О., Коваленко, І. В., Третякова, А. І. (2018). Поєднані ушкодження нервових та сухожилково-м'язових структур на передпліччі, що супроводжуються їх значними дефектами: роль вимушеної транспозиції м'язів у відновленні основних функцій кисті. *Шпитальна хірургія. Журнал імені Л. Я. Ковальчука*, (3), 18–27. <https://doi.org/10.11603/2414-4533.2018.3.9436>

*(Особистий внесок дисертанта Здобувачем розроблено критерії включення пацієнтів в дослідження, проведено клінічне спостереження, статистичну обробку отриманих даних та їх аналіз, підготовлено статтю до друку)*

5. Третяк, І., Білінський, П., Гацький, О., Коваленко, І. (2018). Особливості реконструкції ушкоджень променевого нерва при повторних

остеосинтезах плечової кістки. *ТРАВМА*, 19(4), 51–57.  
<https://doi.org/10.22141/1608-1706.4.19.2018.142106>.

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальнені результатів, підготував статтю до друку).*

6. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tretiakova, A. I., & Tsymbaliuk, Y. V. (2019). Choosing the target wisely: partial tibial nerve transfer to extensor digitorum motor branches with simultaneous posterior tibial tendon transfer. Could this be a way to improve functional outcome and gait biomechanics? *Journal of Neurosurgery*, 1–9. Advance online publication. <https://doi.org/10.3171/2019.3.JNS182866> (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальненні результатів, підготував статтю до друку).*

7. Tretiakova, A. I., Kovalenko, I. V., Tretyakov, R. A., Tsymbalyuk, YU. V., Chebotar'ova, L. L., Gatskiy, O. O., Tsymbalyuk, YA. V., Tretyak, I. B. (2020). Diagnostika i lecheniye proksimal'nykh tunnel'nykh nevropatiy verkhney konechnosti. *Novosti khirurgii*, 28(1), 62–73. [In russian] <https://dx.doi.org/10.18484/2305-0047.2020.1.62>; (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: збирання, аналіз та узагальнення результатів дослідження).*

8. Tsymbaliuk, V. I., Strafun, S. S., Tretyak, I. B., Tsymbaliuk, I. V., Gatskiy, A. A., Tsymbaliuk, Y. V., & Tatarchuk, M. M. (2021). Surgical treatment of peripheral nerves combat wounds of the extremities. *Wiad Lek.*, 74(3 cz 2), 619–624. DOI:10.36740/WLek202103210; (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувачем проведено відбір хворих, клінічне їх обстеження, статистична обробка результатів, їх узагальнення, сформульовані висновки).*

9. Гацький, О., Третьак, І., Цимбалюк, В., Базік, О., Цимбалюк, Я. (2021). Патологічні рухові феномени в променево-зап'ястковому суглобі після транспозиції круглого пронатора при дисфункції м'язів задньої поверхні

передпліччя, зумовленої денерваційним процесом травматичного генезу. *Вісник ортопедії, травматології та протезування*, 3(110), 35–47. <https://doi.org/10.37647/0132-2486-2021-110-3-35-47>

(Особистий внесок дисертанта: Здобувачем проведено аналіз літературних даних, сформульовано мету та дизайн дослідження, виконано клінічне спостереження та узагальнення результатів, підготовлено статтю до друку).

10. Цимбалюк, В. І., Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, Я. В., Третьякова, А. І., Цзян, Х. (2022). Зміна концепції хірургічного лікування травматичних ушкоджень плечового сплетення. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 28(1), 28–38. <https://doi.org/10.25305/unj.248108>

(Особистий внесок дисертанта Здобувачем проведено відбір хворих, клінічне їх обстеження, статистична обробка результатів, їх узагальнення, сформульовані висновки, концепція).

11. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tsymbaliuk, V. I., Jiang, H., Tsymbaliuk, I. V., & Tretiakova, A. I. (2022). Spinal accessory to suprascapular nerve transfer in brachial plexus injury: outcomes of anterior vs. posterior approach to the suprascapular nerve at associated ipsilateral spinal accessory nerve injury. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 28(2), 37–45. <https://doi.org/10.25305/unj.255792>

(Особистий внесок дисертанта Здобувачем розроблено методологію дослідження, проведено статистичну обробку, аналіз та узагальнення отриманих даних, оформлення статті).

12. Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, В. І., Цимбалюк, Я. В., Цзян, Х. (2022). Селективна хірургічна реіннервація пахвового нерва у пацієнтів із наслідками травматичного ушкодження первинних стовбурів (надключичні) плечового сплетення: результати використання, аналіз причин неефективності. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 28(4), 41–48. <https://doi.org/10.25305/unj.265680>

(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальнені результатів, підготував статтю до друку).

13. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tsymbaliuk, V. I., & Tsymbaliuk, Y. V. (2022). Nerve transfers in a patient with asymmetrical neurological deficit following traumatic cervical spinal cord injury: simultaneous bilateral restoration of pinch grip and elbow extension. Illustrative case. *Journal of neurosurgery. Case lessons*, 4(14), CASE22301. <https://doi.org/10.3171/CASE22301> (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувачем розроблено методологію дослідження, проведено статистичну обробку, аналіз та узагальнення отриманих даних, оформлення статті).*

14. Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, В. І., Цимбалюк, Я. В., Третякова, А. І., Дзян, Хао. (2022). Хірургічна реіннервація переднього зубчастого м'яза при тривалій ідіопатичній нейропатії довгого грудного нерва: випадок із клінічної практики. *Український неврологічний журнал*, (3-4), 61-66. <http://doi.org/10.30978/UNJ2022-3-61>

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні дослідження, узагальненні результатів, підготував статтю до друку).*

15. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., & Tsymbaliuk, Y. V. (2022). Transfer of the anterior C3 levator scapulae motor nerve branch for spinal accessory nerve injury: illustrative case. *Journal of neurosurgery. Case lessons*, 3(5), CASE21609. <https://doi.org/10.3171/CASE21609>; (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні дослідження, узагальненні результатів, підготував статтю до друку).*

16. Гацький, О., Третяк, І., Цимбалюк, В., Чирка, Ю., Цзян, Х., Цимбалюк, Я., & Третякова, А. (2022). Визначення передумов успішної етапної реконструкції сегментів верхньої кінцівки для відновлення її глобальної функції при тотальному варіанті ушкодження плечового сплетення (на основі випадку з клінічної практики). *Вісник ортопедії, травматології та протезування*, 4(115), 24–35. <https://doi.org/10.37647/0132-2486-2022-115-4-24-35>

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальненні результатів, підготував статтю до друку).*



17. Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, В. І., Цимбалюк, Я. В., Лемешов, О. С. (2023). Хірургічне лікування синдрому «круглого пронатора» у ранній та пізній період захворювання. Роль селективної невротизації переднього міжкісткового нерва у відновленні функції щипкового (кінцевого) захвату у пацієнтів із за давненою компресією серединного нерва. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 29 (1), 8–19. <https://doi.org/10.25305/unj.268016>

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальнені результати, підготував статтю до друку).*

18. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Bahm, J., Tsymbaliuk V. I., Tsymbaliuk Y. V. (2023). Redefining the Inclusion Criteria for Successful Steindler Flexorplasty Based on the Outcomes of a Case Series in Eight Patients. *Journal of brachial plexus and peripheral nerve injury*, 18(1), e32–e41. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1767672> (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальнені результати, підготував статтю до друку).*

19. Гацький, О., Третяк, І., Цимбалюк, В., Цимбалюк, Я., & Хао, Ц. (2023). Межі продуктивного використання класичної та модифікованої транспозиції за Elhassan у комплексному відновленні ефективного відведення та зовнішньої ротації плеча в ранній та пізній періоди травми плечового сплетення. *TERRA ORTHOPAEDICA*, (1(116)), 26-37. <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2023-116-1-26-37>

*(Особистий внесок дисертанта Здобувачем розроблено критерії включення пацієнтів в дослідження, проведено клінічне спостереження, статистичну обробку отриманих даних та їх аналіз, підготовлено статтю до друку)*

20. Gatskiy, A.A., & Tretyak, I.B. (2022). A Funhouse Mirror: Muscular Co-Constrictions as a Reflection of a Spontaneous Aberrant Regeneration of the Brachial Plexus Injury in the Adults – Anatomical Background, an Attempt to Classify and Their Clinical Relevance within the Reconstruction Strategie. In: Jörg Bahm (Ed.),

Brachial Plexus Injury – New Techniques and Ideas. IntechOpen, London (UK), pp.129-144. (глава у монографії). <https://dx.doi.org/10.5772/intechopen.94695>

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувачем проведено аналіз літературних даних, сформульовано мету та дизайн дослідження, виконано клінічне дослідження та узагальнено результати, підготовлено главу монографії до друку).*

Отримано патент на корисну модель:

Цимбалюк, В.І., Третяк, І.Б., Гацький, О.О., Кремець, К.Г., Коваленко, І.В., Цимбалюк, Я.В., винахідники. (2019). Державна установа «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України», патентовласник. Спосіб відновлення функції маломілкового нерва після тяжких травматичних ушкоджень нижньої кінцівки. Патент України на корисну модель № 134795. 2019 черв. 10.

#### **Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

1. Tretyak, I., Hatsky, O., Pichkur O. (2014, October 12–17). *Four donor concept — a way to restore general functions of upper limb at “global” brachial plexus palsy*. EANS 2014, E–Poster (P. 313, 2122), Prague, Czech Republic. *(Особистий внесок дисертанта: збір, аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовка доповіді).*

2. Третяк, І. Б., Гацький, О. О., Третякова, А. І., Коваленко, І. В. (2016, 15-16 вересня). *Хірургічне лікування ушкоджень плечового сплетіння*. Наук.-практ. конф. нейрохірургів України з між нар. участю «Травматичні ушкодження центральної та периферичної нервової системи», м. Кам’янець – Подільський, Україна. С. 76.

*(Особистий внесок дисертанта: збір, аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовка доповіді).*

3. Hatsky, O. (2018, 22–24 März). *To graft or not to graft? Median to radial nerve transfer in the forearm: an alternative approach to treat proximal radial nerve injuries*. Internationales Interdisziplinäres Plexussymposium, Wien, Österreich.

*(Особистий внесок дисертанта: збір, аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовка доповіді).*

4. Третяк, І. Б., Коваленко, І. В., Третяков, Р. А., Гацький, О. О., Третякова, А.І., Дзян, Хао, Базік, О. М. (2019, March 13–15). *Відновлення функції верхньої кінцівки при відриві корінців шийного потовщення*. Annual Conference of the Ukrainian Association of Neurosurgeons «The Ways to Improve the Functional Results of Treatment in Neurosurgery», Polyanytsya village, Bukovel, Ukraine. С. 59.

*(Особистий внесок дисертанта: збирання, аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовка доповіді).*

5. Hatsky, O. (2023, 11–12 Februar). *A paradigm shift in PNS surgery a single centre centre in Kyiv, Ukraine*. Internationales Interdisziplinäres Plexussymposium, Uniklinik RWTH Aachen, Aachen, Deutschland.

*(Особистий внесок дисертанта: збирання, аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовка доповіді).*

6. Hatsky, O. (2023, April 1–2). *A paradigm shift in PNS surgery a single centre centre in Kyiv, Ukraine*. Military Surgery Forum in Riga, Riga, Latvia.

*(Особистий внесок дисертанта: збір, аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовка доповіді).*

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	29
ВСТУП.....	30
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	40
1.1. Аналіз сучасних даних щодо епідеміології, регенерації та дегенерації, методик та основних проблем хірургічного відновлення наслідків травм структур периферичної нервової системи, зокрема плечового сплетення.....	40
1.1.1. Характеристика основних чинників, що впливають на ефективність реіннервації, індукованої хірургічним шляхом.....	57
1.1.1.1 Чинник часу.....	57
1.1.1.2. Чинник анатомічних характеристик ушкодження.....	58
1.1.1.3. Чинник методу первинної хірургічної реконструкції.....	58
1.1.2. Зміна «парадигм» у хірургії периферичної нервової системи на різних етапах її розвитку.....	59
1.2. Аналіз кінезіологічних характеристик функції м'язів та їхніх комплексів для забезпечення ефективних рухів верхньої кінцівки.....	66
1.2.1. Кінезіологічна характеристика функції ключових м'язів «SHOULDER UNIT» (SU).....	68
1.2.1.1. Аксиоскапулярна та аксіоклавікулярна підгрупа м'язів.....	68
1.2.1.2. Скапулогумеральна підгрупа м'язів.....	69
1.2.1.3. Аксиогумеральні м'язи.....	70
1.2.1.4. Функція ключових м'язів «SHOULDER UNIT» при забезпеченні ефективних рухів у плечовому поясі.....	71
1.2.1.4.1. Максимальний обсяг руху в плечовому суглобі в фронтальній площині.....	72
1.2.1.4.2. Максимальний обсяг руху в плечовому суглобі в сагітальній площині.....	75

1.2.1.4.3. Максимальний обсяг руху в плечовому суглобі в горизонтальній площині.....	77
1.2.1.5. Порівняння кількісних показників ефективного та «істинного» максимального обсягу рухів.....	78
1.2.2. Кінезіологічна характеристика функції ключових м'язів «ELBOW UNIT» .....	80
1.2.2.1. М'язи, що забезпечують згинання в ліктьовому суглобі та ротацію верхнього радіо-ульнарного суглоба.....	81
1.2.2.2. М'язи, що забезпечують розгинання в ліктьовому суглобі.....	84
1.2.2.3. Функція ключових м'язів «ELBOW UNIT» при забезпеченні ефективних рухів у плечовому поясі.....	86
1.2.2.3.1. Динамічне співвідношення між обсягом руху в ліктьовому та плечовому суглобах при виконанні максимального обсягу рухів останнім у фронтальній площині .....	86
1.2.2.3.2. Динамічне співвідношення між обсягом руху в ліктьовому та плечовому суглобах при виконанні максимального обсягу рухів останнім у сагітальній площині.....	89
1.2.2.4. Порівняння кількісних показників ефективного та «істинного» максимального обсягу рухів .....	90
1.2.3. Кінезіологічна характеристика функції ключових м'язів «HAND AND WRIST UNIT» .....	92
1.2.3.1. Функція ключових м'язів «HAND AND WRIST UNIT» при забезпеченні ефективних рухів променево-зап'ясткового суглоба кисті, динамічний баланс.....	92
1.2.3.2. Функція ключових м'язів «HAND AND WRIST UNIT» при забезпеченні ефективних рухів у дистальних суглобах кисті, динамічний баланс.....	94
1.2.3.3. Порівняння кількісних показників ефективного та «істинного»	

максимального обсягу рухів .....	98
1.2.4. Підсумок.....	100
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	102
2.1. Об'єкт дослідження.....	102
2.2. Методи дослідження.....	103
2.2.1. Загальна характеристика клінічних неврологічних, електрофізіологічних та рентгенологічних методів обстеження в доопераційний період.....	103
2.2.1.1. Клініко-неврологічне обстеження.....	103
2.2.1.2. Нейрофізіологічне обстеження.....	103
2.2.1.3. Рентгенологічне обстеження.....	104
2.2.2. Загальна характеристика первинних хірургічних реконструктивних втручань .....	105
2.2.2.1. Зовнішній та внутрішній невроліз (реконструктивне втручання «Невроліз»).....	105
2.2.2.2. Автологічна пластика (реконструктивне втручання «Автологічна пластика»).....	106
2.2.2.3. Селективна реіннервація – невротизація (реконструктивне втручання «Невротизація»). Анатомічні, фізіологічні та технічні вимоги -принципи.....	106
2.2.3. Оцінка результатів хірургічних втручань.....	107
2.2.3.1. Реабілітація в післяопераційний період.....	107
2.2.3.2 Клініко-неврологічне та нейрофізіологічне обстеження.....	108
2.2.4. Статистична обробка отриманих результатів.....	109
РОЗДІЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	110
3.1. Епідеміологічна характеристика вибірки пацієнтів, залучених в дослідження.....	110
3.1.1. Епідеміологічна характеристика пацієнтів із надключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення.....	111

3.1.2. Епідеміологічна характеристика пацієнтів із підключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення.....	115
3.2. Розподіл пацієнтів за пріоритетністю відновлення функцій.....	120
3.2.1. Розподіл пацієнтів із надключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення за пріоритетністю відновлення функцій.....	122
3.2.2. Розподіл пацієнтів із підключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення за пріоритетністю відновлення функцій.....	123
3.3. Епідеміологічні характеристики хірургічних втручань, використаних для відновлення пріоритетних функцій.....	125
3.3.1. Методологічні та епідеміологічні характеристики хірургічних втручань, використаних для відновлення пріоритетних функцій у пацієнтів із надключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення.....	127
3.3.2. Методологічні та епідеміологічні характеристики хірургічних втручань, використаних для відновлення пріоритетних функцій у пацієнтів із підключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення.....	131
3.4. Характеристика нових впроваджених хірургічних методів і нервів-донорів, використаних для реіннервації ключових м'язів «SHOULDER UNIT» ТА «ELBOW UNIT».....	136
3.4.1. Характеристика нових впроваджених методів хірургічної реіннервації ключових м'язів комплексу «ELBOW UNIT» (1-й порядок пріоритетності відновлення), необхідних для виконання основних видів активної щоденної діяльності.....	136
3.4.2. Характеристика нових впроваджених методів хірургічної реіннервації ключових м'язів скапулогумеральної групи задньої та передньої поверхонь тулуба комплексу «SHOULDER UNIT» (2-й порядок пріоритетності відновлення), необхідних для виконання	

основних видів активної щоденної діяльності.....	138
3.4.2.1. Скапулогумеральна група м'язів передньої поверхні тулуба (передня та задня порції дельтоподібного м'яза) – <i>n. axillaris</i> .....	139
3.4.2.2. Скапулогумеральна група м'язів задньої поверхні тулуба (надостьбовий та підостьбовий м'язи) – <i>n. suprascapularis</i> .....	141
<b>РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ. ВІДНОВЛЕННЯ СИЛОВИХ</b>	
<b>ХАРАКТЕРИСТИК КЛЮЧОВИХ М'ЯЗІВ.....</b>	
4.1. Результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку.....	146
4.1.1. Результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку залежно від виду проведеного реконструктивного втручання.....	146
4.1.2. Результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку залежно від терміну до моменту проведення первинного реконструктивного втручання.....	148
4.1.3. Результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку залежно від виду та термінів до моменту проведення первинного реконструктивного втручання.....	149
4.1.4. Результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку залежно від виду реконструктивного втручання та кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний процес.....	151
4.1.5. Результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку залежно від виду реконструктивного втручання, терміну його виконання та кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний процес.....	152
4.1.6. Залежність відновлення пріоритетної функції 1-го порядку від вибору нерва-донора та терміну виконання реконструктивного втручання у пацієнтів із надключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення при виконанні реконструктивного втручання «Невротизація»	156
4.1.6.1. <i>Nervus phrenicus</i> .....	156
4.1.6.2. <i>Nervus ulnaris</i> .....	157
4.1.6.3. <i>Nervus pectoralis lateralis</i> .....	158



4.1.6.4. <i>Nervus pectoralis medialis</i> .....	159
4.1.6.5. «Донори відчаю» – <i>ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii, ICN – nn. intercostales 2-5</i> .....	160
4.2. Результати відновлення пріоритетної функції 2-го порядку.....	161
4.2.1. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку – ключового м'яза із пулу <i>n. axillaris</i> .....	162
4.2.1.1. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу <i>n. axillaris</i> ) залежно від виду проведеного реконструктивного втручання.....	162
4.2.1.2. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу <i>n. axillaris</i> ) залежно від терміну до моменту проведення первинного реконструктивного втручання.....	165
4.2.1.3. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу <i>n. axillaris</i> ) залежно від виду та терміну до проведення первинного реконструктивного втручання.....	166
4.2.1.4. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу <i>n. axillaris</i> ) залежно від виду реконструктивного втручання та кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний процес.....	168
4.2.1.5. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу <i>n. axillaris</i> ) залежно від виду реконструктивного втручання, терміну його виконання та кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний процес.....	169
4.2.1.6. Залежність відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу <i>n. axillaris</i> ) від вибору нерва-донора та терміну виконання реконструктивного втручання у пацієнтів із надключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення при виконанні реконструктивного втручання «Невротизація» .....	173
4.2.1.6.1. <i>Ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii</i> .....	173

4.2.1.6.2. <i>Rami musculares capitis lateralis muscoli tricipitis brachii</i> .....	174
4.2.1.6.3. <i>Ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii, ramus anterior nervi spinalis C5, nervus thoracodorsalis</i> .....	175
4.2.2. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку – ключових м’язів із пулу <i>n. suprascapularis</i> .....	177
4.2.2.1. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключових м’язів із пулу <i>n. suprascapularis</i> ) в залежності від виду проведеного реконструктивного втручання.....	177
4.2.2.2. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключових м’язів із пулу <i>n. suprascapularis</i> ) залежно від терміну до проведення первинного реконструктивного втручання.....	179
4.2.2.3. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключових м’язів із пулу <i>n. suprascapularis</i> ) залежно від виду та терміну до проведення первинного реконструктивного втручання.....	181
4.2.2.4. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключових м’язів із пулу <i>n. suprascapularis</i> ) залежно від виду реконструктивного втручання та кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний процес.....	182
4.2.2.5. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключових м’язів із пулу <i>n. suprascapularis</i> ) залежно від виду реконструктивного втручання, терміну його виконання та кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний процес.....	184
4.2.2.6. Залежність відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м’яза із пулу <i>n. axillaris</i> ) від вибору нерва-донора та терміну виконання реконструктивного втручання у пацієнтів із надключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення при виконанні реконструктивного втручання «Невротизація» .....	187
4.2.2.6.1. <i>Ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii</i> .....	187
4.2.2.6.2. <i>Ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii</i> .....	188

4.3. Результати відновлення пріоритетної функції 3-го порядку.....	190
4.3.1. Результати відновлення пріоритетної функції 3-го порядку залежно від виду проведеного реконструктивного втручання.....	190
4.3.2. Результати відновлення пріоритетної функції 3-го порядку залежно від терміну до проведення первинного реконструктивного втручання.....	192
4.3.3. Результати відновлення пріоритетної функції 3-го порядку залежно від виду та терміну до проведення первинного реконструктивного втручання.....	193
4.3.4. Результати відновлення пріоритетної функції 3-го порядку залежно від виду реконструктивного втручання та кількості пучків плечового сплетення, залучених у патологічний процес.....	194
4.3.5. Результати відновлення пріоритетної функції 3-го порядку залежно від виду реконструктивного втручання, терміну його виконання та кількості пучків плечового сплетення, залучених у патологічний процес.....	195
4.4. Результати відновлення пріоритетної функції 5-го порядку.....	197
4.4.1. Результати відновлення складової пріоритетної функції 5-го порядку залежно від виду проведеного реконструктивного втручання.....	198
4.4.2. Результати відновлення складової пріоритетної функції 5-го порядку залежно від терміну до проведення первинного реконструктивного втручання.....	199
4.4.3. Результати відновлення складової пріоритетної функції 5-го порядку залежно від виду та терміну до проведення первинного реконструктивного втручання.....	200
4.4.4. Результати відновлення складової пріоритетної функції 5-го порядку залежно від виду реконструктивного втручання та кількості пучків плечового сплетення, залучених у патологічний процес.....	202
4.4.5. Результати відновлення складової пріоритетної функції 5-го порядку залежно від виду реконструктивного втручання, терміну його виконання та кількості пучків плечового сплетення, залучених у патологічний процес.....	

процес.....	203
4.5. Результати відновлення пріоритетної функції 6-го та 7-го порядку.....	205
4.6. Висновки до розділу 4.....	206
РОЗДІЛ 5. РЕЗУЛЬТАТИ. ВІДНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ РУХІВ.....	208
5.1. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 1-го порядку.....	208
5.2. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 2-го порядку.....	215
5.2.1. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 2-го порядку (іннерваційний пул <i>n. axillaris</i> , ключовий м'яз <i>m. deltoideus</i> ).....	215
5.2.2. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 2-го порядку (іннерваційний пул <i>n. suprascapularis</i> , ключові м'язи <i>mm. supraspinatus et infraspinatus</i> ).....	223
5.3. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 3-го порядку.....	231
5.4. Результати відновлення ефективного руху для ключових м'язів комплексу «HAND AND WRIST UNIT».....	232
5.4.1. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 5-го порядку.....	232
5.4.2. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 6-го та 7-го порядку.....	233
5.5. Висновки до розділу 5.....	233
РОЗДІЛ 6. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	236
ВИСНОВКИ.....	261
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	264
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	265
ДОДАТКИ.....	297

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

EU	—	Elbow unit, структури області ліктьового суглобу
HWU	—	Hand and wrist unit, структури області променево-зап'ясткового суглобу
MRC	—	Medical Research Council Scale
SU	—	Shoulder unit, комплекс структур плечового поясу
АЩД	—	активна щоденна діяльність
ЕНМГ	—	електронейроміографічне дослідження
ефМОР	—	ефективний максимальний обсяг руху
ЕфРх	—	ефективний рух
іМОР	—	істинний максимальний обсяг руху
КЛМ	—	ключовий м'яз/м'язи
МОР	—	максимальний обсяг руху
Н-ТУ ПС	—	надключичне травматичне ушкодження плечового сплетення
ПН	—	периферичний нерв
ПНС	—	периферична нервова система
ПС	—	плечове сплетення
П-ТУ ПС	—	підключичне травматичне ушкодження плечового сплетення
РВ	—	реконструктивне втручання
ССВП	—	соматосенсорні викликані потенціали
ТУ	—	травматичне ушкодження
ФПП	—	фізіологічний поперечний переріз
ЦНС	—	центральна нервова система
ШПЗ	—	швидкість поширення збудження

## ВСТУП

*Актуальність.* Головна мета хірургічного лікування травматичних ушкоджень структур периферичної нервової системи (ПНС) – відновлення функції рухового та чутливого апаратів органів-ефекторів. Основним показом до проведення хірургічного втручання є відсутність ознак (клінічних, електрофізіологічних тощо) відновлення [1-4] чи суттєва затримка відновлення [1-4] протягом визначеного «конвенційного часу» [5-7] з моменту ушкодження, що відведений на процес спонтанної регенерації [5-8]. Саме тому велика кількість робіт у галузі реконструктивної хірургії ПНС була [3-8] і залишається [9] присвяченою визначенню потенціалу структур ПНС до «самостійного» відновлення після травми – спонтанної регенерації. Ефективність комплексу заходів [5, 8, 9] для визначення потенціалу до спонтанної регенерації залишається дискусійним, оскільки спрогнозувати якісний компонент відновлення функції органу-ефектора (зокрема, рухового компонента) майже неможливо. Незважаючи на те, що спонтанна регенерація може відбутись і в значно пізніші [8-13], порівняно з конвенційними, терміни, більшість дослідників вважають необхідним залучати можливості реконструктивної хірургії в терміни не пізніше 3-4 міс після травми [14].

Спектр методик реконструктивної хірургії, які використовують для полегшення [5, 8, 14], посилення [5, 8, 9, 14] чи ініціації регенераційного процесу *ad novo* [5, 8, 9, 14] при травмі структур ПНС, значно різняться. Головною відмінністю різних методик є ступінь їхньої агресивності, **селективності**, тобто вибірковості щодо поодинокі бажаної функції (здебільшого рухової [14]), яку необхідно відновити, та, відповідно, **прогнозованості** [14] бажаного функціонального результату, а відтак, і **надійності** (ефективності) методики [14]. Так, найменш агресивною, найменш селективною та найменш прогнозованою (в контексті прогнозу відновлення вибраних функцій) є методика зовнішнього та внутрішнього невролізу [15], більш агресивною, селективною та прогнозованою – автологічна пластика

[15, 16]. Найвищий ступінь селективності й прогнозованості функціонального результату серед усіх реконструктивних методик хірургічного відновлення має селективна реіннервація, невротизація [14]. Хоча такі чинники, як вік, термін після травми, анатомічна характеристика ушкоджень тощо [14], відіграють значущу роль у досягненні якісного результату відновлення бажаної функції, у більшості випадків модулювати (змінити) їх неможливо [14]. Єдиним чинником, що піддається модуляції, є вибір методики (та її похідних – методів) хірургічної реконструкції у бік більш ефективної та прогнозованої.

Розвиток реконструктивної хірургії ПНС в Україні супроводжувався визначенням підходів до вирішення проблеми ефективності та прогнозованості відновлення [9, 17], що, на думку автора (хоча і суб'єктивну певною мірою), суттєво відрізняються від світової тенденції [18, 19]. Дисертаційні дослідження І.Б. Третяка та Ю.В. Цимбалюк [9, 17] присвячені переважно розв'язанню проблеми хірургічного відновлення ушкоджених структур ПНС шляхом прогнозування ймовірності спонтанної регенерації (на основі аналізу комплексної оцінки неврологічних та електрофізіологічних характеристик травми тощо) і застосування менш агресивних хірургічних методик. Основною ідеєю зазначених робіт була ініціація та підсилення власного регенераційного потенціалу організму за допомогою хірургічних методик шляхом залучення багаторівневих ланцюгів в єдиній системі центральної нервової системи (ЦНС) та ПНС [9, 17]. Проведені дослідження довели універсальність (при ушкодженні будь-яких структур ПНС будь-якого сегмента будь-якої кінцівки) та ефективність цих методик [9, 17]. Незважаючи на це, питання селективності відновлення бажаної функції не вирішено.

З іншого боку, світова тенденція в реконструктивній хірургії, врахувавши досвід попередніх років [18, 19], протягом щонайменше останнього десятиліття змістилась у бік більш агресивної хірургічної методики – переміщення нервів (від англ. *nerve transfer*), невротизації, селективної реіннервації [18, 19]. Важливо, що процес сприйняття селективної невротизації у світі як надійнішої (щодо ефективності) селективної та прогнозованої методики характеризується

мозаїчністю – процес не відбувається одночасно на одному континенті, в країні, місті та навіть у межах однієї установи. З погляду філософії науки, такий динамічний мозаїчний процес зміни хірургічного підходу до лікування травматичних ушкоджень структур ПНС називається зміною концепції або «зміною парадигми» [20].

Фундамент для розвитку селективної реіннервації в Україні був закладений у роботі І.Б. Третяка [9]. У його праці вперше була висвітлена загальна концепція методики, представлені позитивні функціональні результати використання селективних методів [9]. Саме тому метою нашої роботи було проведення об'єктивної порівняльної оцінки *надійності, селективності та прогнозованості* різних методик реіннервації м'язів для відновлення ефективних рухів у верхній кінцівці на тлі «конфлікту парадигм»/«зміни парадигми» в реконструктивній хірургії ПНС.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Завершальний етап наукової роботи здобувача виконано за ініціативним планом (термін виконання 2021–2023 рр.), напрацювання, використанні в цьому дослідженні, частково вивчались у межах НДР ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України» «Вивчити особливості діагностики та хірургічного лікування вогнепальних та мінно-вибухових ушкоджень периферичних нервів у потерпілих в зоні проведення АТО» (номер державної реєстрації 0116U001036 (2016–2018 рр.). та «Удосконалити методи диференційованого лікування хворих з больовими синдромами, обумовленими бойовими ушкодженнями периферичної нервової системи» (№ державної реєстрації: 0119U000112 (2019–2021 рр.).

**Мета дослідження.** Метою дослідження є покращення одночасного відновлення ефективних силових та ефективних функціональних характеристик ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу), ізольована функція яких здатна забезпечити найнеобхідніші сегментарні функції верхньої



кінцівки у повсякденному житті при виконанні основних видів активної щоденної діяльності. Реалізація мети дослідження побудована на обґрунтуванні переваг нової концепції (парадигми), а саме селективної реіннервації в хірургічному лікуванні ушкоджень структур периферичної нервової системи над традиційними методами (неселективними – невроліз та аутологічна пластика) їх хірургічного відновлення; впровадження нової методики та її методів (нових реконструктивних хірургічних втручань – селективної реіннервації), спрямованих на одночасне відновлення ефективних силових характеристик, ефективних функціональних характеристик ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) та врешті ефективного відновлення сегментарних функцій верхньої кінцівки.

#### **Завдання дослідження:**

1. На підставі сучасних анатомічних та кінезіологічних знань визначити ключові м'язи (групи м'язів із одного іннерваційного пулу), обґрунтувати, що робота лише ключових м'язів та їхніх груп (у межах фізіологічної норми) здатна ефективно забезпечити функції сегментарного апарату верхньої кінцівки при виконанні основних видів активної щоденної діяльності.
2. Визначити мінімальні необхідні показники ефективного функціонування (ефективної функції) ключових м'язів та їхніх груп (в межах фізіологічної норми) сегментів верхньої кінцівки при виконанні основних видів активної щоденної діяльності.
3. З урахуванням сучасних анатомічних знань визначити джерела іннервації ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) верхньої кінцівки задля формування хірургічної програми їх селективної реіннервації.

4. Узгодити хірургічну програму селективної реіннервації ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) із вимогами до пріоритетності відновлення сегментарних та глобальних функцій верхньої кінцівки.
5. Вивчити та порівняти результати відновлення ефективних силових характеристик ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) після застосування селективної та неселективних методик хірургічної реіннервації у когорті пацієнтів, залучених у дослідження.
6. Вивчити та порівняти результати відновлення ефективної функції ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) після використання селективної та неселективних методик їх хірургічної реіннервації у когорті пацієнтів, залучених у дослідження.
7. Вивчити здатність окремих нервів-донорів рухових волокон забезпечити відновлення ефективних силових характеристик ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) згідно із порядком пріоритетності функцій для сегментів верхньої кінцівки.
8. Вивчити здатність окремих нервів-донорів рухових волокон забезпечити відновлення ефективної функції ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) згідно із порядком пріоритетності функцій для сегментів верхньої кінцівки.
9. Порівняти здатність окремих нервів-донорів рухових волокон забезпечувати відновлення ефективних силових характеристик та ефективної функції ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) згідно із порядком пріоритетності функцій для сегментів верхньої кінцівки.
10. Проаналізувати частоту застосування селективної методики та неселективних методик реіннервації ключових м'язів протягом усього часу проведенного дослідження.
11. Обґрунтувати переваги нової концепції (парадигми), а саме селективної реіннервації, у хірургічному лікуванні ушкоджень структур периферичної

нервової системи над традиційними методами (неселективними – невроліз та автологічна пластика) їх хірургічного відновлення, засвідчити факт зміни концепції (парадигми) у хірургічному лікуванні ушкоджень структур периферичної нервової системи.

12. Удосконалити хірургічну лікувальну тактику шляхом впровадження нової методики та її методів (нових реконструктивних хірургічних втручань – селективної реіннервації), спрямованих на одночасне відновлення ефективних силових характеристик, ефективних функціональних характеристик усіх ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) та ефективне відновлення сегментарних функцій верхньої кінцівки.

*Об'єкт дослідження* – ушкодження структур периферичної нервової системи.

*Предмет дослідження* – відновлення ефективної рухової функції шляхом селективної та неселективної хірургічної реіннервації ключових м'язів при ушкодженні структур периферичної нервової системи верхньої кінцівки.

#### **Методи дослідження:**

1. Загальноклінічний та клініко-неврологічний методи для оцінки силових характеристик і функцій ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) на момент залучення в дослідження та протягом визначеного періоду після виконання будь-якого хірургічного реконструктивного втручання.
2. Електрофізіологічний – комплекс електрофізіологічних методів (стимуляційна ЕНМГ, голкова ЕНМГ та соматосенсорні викликані потенціали (ССВП)) для визначення рівня, ступеня та характеру ушкодження структур ПНС.
3. Рентгенологічні методи – МСКТ, МРТ, мультипроекційна рентгенографія (за показами) для уточнення рівня та характеру ушкодження структур ПНС.

4. Статистичні методи – математичне опрацювання результатів дослідження для оцінки достовірності отриманих даних.

У роботі використано останню (шосту) Лондонську анатомічну номенклатуру, затверджену номенклатурним комітетом на XII Міжнародному конгресі анатомів (Лондон, 1985), список латинських термінів якої доповнено у виданні 1989 р. (Нью-Йорк) та перекладено українською мовою [9].

### **Наукова новизна отриманих результатів**

На основі аналізу сучасних анатомічних та кінезіологічних знань вперше в Україні визначено поняття «ключовий м'яз» (група м'язів із одного іннерваційного пулу), ізольована функція якого (яких) здатна забезпечити ефективне виконання функції в межах сегментарного апарату верхньої кінцівки.

На основі аналізу сучасних анатомічних та кінезіологічних знань вперше в Україні визначено поняття «ефективна функція» ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) для забезпечення мультиаксiальних та моноаксiальних рухів у сегментах верхньої кінцівки й глобальної функції верхньої кінцівки в умовах фізіологічної норми та за патології – при ушкодженні структур ПНС різної анатомічної локалізації.

Систематизовано знання про джерела іннервації, анатомічні особливості кінцевих гілок джерел іннервації та вперше в Україні уточнено знання анатомічної мікроархітектури (внутрішньостовбурової фасцикулярної анатомії периферичних нервів верхньої кінцівки) задля досягнення максимальної селективності хірургічної реіннервації саме ключових м'язів із групи м'язів одного іннерваційного пулу.

Систематизовано знання про пріоритетність функцій верхньої кінцівки в межах фізіологічної норми та за патології – при ушкодженні структур ПНС різної анатомічної локалізації.

Вперше в Україні вивчено, удосконалено та використано 18 нових методів селективної та суперселективної (з урахуванням анатомічних особливостей кінцевих гілок джерел іннервації та анатомічної мікроархітектури (внутрішньостовбурової фасцикулярної анатомії периферичних нервів верхньої кінцівки) для реіннервації ключових м'язів усіх сегментів верхньої кінцівки.

Вивчено, вдосконалено, використано та проаналізовано результати застосування методів селективної невротизації ключових м'язів залежно від порядку їх пріоритетності для відновлення ефективних мультиаксіальних та моноаксіальних рухів у сегментах верхньої кінцівки.

На підставі аналізу результатів, отриманих під час дослідження, і концепції селективної невротизації при ушкодженнях структур ПНС верхньої кінцівки та інших анатомічних ділянок вперше у світі розроблено та використано два нових методи селективної реіннервації: реіннервацію трапецієподібного м'яза за рахунок рухових гілок шийного сплетення [21] та суперселективну реіннервацію глибокої порції малогомілкового нерва за рахунок великогомілкового нерва [22]. На останній отримано патент України на корисну модель № 134795 (Індекс МПК А61В17/00, від 10.06.2019 р.).

### **Практичне значення отриманих результатів**

У клінічну практику ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України» впроваджено 18 нових методів селективної та суперселективної (із урахуванням анатомічних особливостей кінцевих гілок джерел іннервації та анатомічної мікроархітектури – внутрішньостовбурової фасцикулярної анатомії периферичних нервів верхньої кінцівки) реіннервації ключових м'язів усіх сегментів верхньої кінцівки.

Розроблено та впроваджено в клінічну практику комплекс реабілітаційних заходів для перенавчання ключових м'язів верхньої кінцівки після проведення їх селективної та суперселективної реіннервації.

Основні положення дисертації використовуються в навчальному процесі на кафедрі нейрохірургії Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця.

### **Особистий внесок здобувача**

Тема роботи була запропонована здобувачем особисто. Здобувач провів патентно-інформаційний пошук, проаналізував літературу за обраною тематикою, написав огляд літератури, провів вивчення медичної документації згідно з планом дослідження, сформував групи, здійснив статистичну обробку та науковий аналіз отриманих результатів. Здобувачем самостійно написані всі розділи дисертації, сформульовані висновки та практичні рекомендації, підготовлено матеріали до публікації. У наукових результатах і розробках, висвітлених у публікаціях, участь здобувача є провідною. Конфлікту інтересів немає. Дисертація є самостійним науковим дослідженням здобувача.

### **Апробація результатів дисертації**

Матеріали дисертації доповідались на EANS 2014 (October 12–17, 2014, Prague, Czech Republic, 2014), науково-практичній конференції нейрохірургів України з міжнародною участю «Травматичні ушкодження центральної та периферичної нервової системи» (м. Кам'янець-Подільський, Україна, 2016), Internationales Interdisziplinäres Plexussymposium (Wien, Österreich, 2018), Annual Conference of the Ukrainian Association of Neurosurgeons «The Ways to Improve the Functional Results of Treatment in Neurosurgery» (Polyanytsya village, Ukraine, 2019); Internationales Interdisziplinäres Plexussymposium (Aachen, Deutschland, 2023), Military Surgery Forum in Riga (Riga, Latvia, 2023).

### **Публікації.**

За темою дисертації опубліковано 27 наукових робіт, з них: 19 статей у фахових періодичних виданнях, рекомендованих МОН України, іноземних виданнях, (7 з них цитуються у міжнародній наукометричній базі даних Scopus), 1 розділ у монографії, зареєстровано Патент на корисну модель, 6 тез доповідей на наукових конференціях.

### **Структура та обсяг дисертації.**

Дисертація викладена українською мовою на 333 сторінках машинописного тексту. Робота складається із вступу, аналітичного огляду літературних джерел, кінезіологічної характеристики функції ключових м'язів та їхніх комплексів для забезпечення ефективних рухів верхньої кінцівки, 3 розділів власних досліджень, висновків, практичних рекомендацій, списку використаних літературних джерел, додатків. Дисертація ілюстрована 15 таблицями, 121 рисунком. Список використаних літературних джерел становить 258 посилань.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### **1.1. Аналіз сучасних даних щодо епідеміології, регенерації та дегенерації, методик та основних проблем хірургічного відновлення наслідків травм структур периферичної нервової системи, зокрема, плечового сплетення**

Травматичні ушкодження структур периферичної нервової системи (ПНС) призводять до глибокої інвалідизації постраждалих [23]. Етіологічні та епідеміологічні чинники ушкоджень структур ПНС відрізняються у воєнний та мирний час. Історично підтверджено зростання кількості травм периферичних нервів під час збройних конфліктів.

Поширеність травм структур ПНС у мирний час, за даним літератури, становить від 2,0 до 2,8 %, та досягає 5 % при залученні в аналіз пацієнтів з ушкодженнями корінців і нервових сплетень [24]. У мирний час основними етіологічними чинниками травматичних ушкоджень є відкриті ушкодження нервового стовбура, закрита тупа травма, що супроводжується короткочасним чи тривалим стисненням нервового стовбура та прилеглих тканин, ішемічні ураження, як ідіопатичні, так і зумовлені дією травмувального агента, тракційні ушкодження (при прикладанні надвеликих зовнішніх сил, що призводять до короткочасного (протягом секунд) розтягнення нервового стовбура [25]. Значно рідше травмувальними агентами виступають термічні, електричні, радіаційні та вібраційні впливи [24, 26]. Загалом тракційні ушкодження є найчастішою причиною травм у мирний час та, переважно, є наслідками дорожньо-транспортних пригод. На відкриті ушкодження – розриви, пов'язані з повною чи частковою втратою анатомічної цілісності нервового стовбура (при ушкодженні склом, ножем, пилкою, відкритими чи закритими переломами



трубчастих кісток тощо) припадає близько 30 % від усіх ушкоджень структур ПНС [27]. J.A. Kouyoumdjian [28] у своєму ретроспективному дослідженні 456 пацієнтів із 557 ушкодженнями структур ПНС виявив, що близько 73 % випадків представлені ізольованими ушкодженнями периферичних нервів (ПН) верхніх кінцівок, а травмування ПН найчастіше відбувалося внаслідок дорожньо-транспортних пригод. У ретроспективному дослідженні 1167 випадків ушкодження ПН [29] лише 5,7 % припадало на спортивну травму.

Систематичне вивчення ушкоджень структур ПНС у воєнний час було розпочато вперше під час Громадянської війни в США [25]. В умовах воєнних конфліктів етіологічним чинником ушкоджень ПН найчастіше є ушкодження уламками бойових снарядів [30]. Вибухові ушкодження призводять до поширених руйнувань м'яких тканин і кістково-суглобового апарату, які часто поєднуються з ушкодженням магістральних судин і потребують невідкладного хірургічного відновлення артеріального кровообігу [25]. В свою чергу, ушкодження магістральних артеріальних судин спричиняє серйозну ішемію кінцівки, що в подальшому потребує виконання фасціотомій, призводить до додаткових, опосередковано пов'язаних із травмою, «вторинних» ушкоджень ПН унаслідок розвитку компартмент-синдрому. При ретроспективному дослідженні 151 випадку ушкоджень ПН під час бойових дій у Хорватії встановлено, що третина з них супроводжувалась ушкодженням магістральних артеріальних судин. Лише у 44,8 % пацієнтів відновна хірургія принесла позитивний функціональний ефект, що, на думку авторів, найвірогідніше пов'язано із вторинною ішемією нервових стовбурів [27, 31]. Застосування захисної амуніції під час конфлікту на Близькому Сході призвело до значного зростання кількості випадків ушкодження ПН, оскільки учасники бойових дій найчастіше залишались живими після отримання поранень, що раніше «формально» вважались несумісними із життям: співвідношення поранених і загиблих зросло із 3:1 (під час воєнного конфлікту у В'єтнамі) до 8:1. Це спричинило значне збільшення кількості поранених із надтяжкими травмами кінцівок та, відповідно, ушкодженнями ПН. Кількість випадків

ушкодження ПН серед учасників бойових дій, навіть поза активною фазою протистояння, залишається досить великою [32].

Найтяжчим [33-35], інвалідизуючим та малоперспективним (щодо спонтанного відновлення та можливостей «традиційних» хірургічних втручань забезпечити належний функціональний рівень відновлення) серед ушкоджень структур ПНС є ушкодження плечового сплетення (ПС). Найчастішою причиною травми ПС є дорожньо-транспортна пригода, зокрема, мотоциклетна травма [36]. Значно рідше причинами ушкодження ПС є спортивна травма, різані рани, вогнепальні ушкодження, довготривалий вплив тиску, ятрогенні ушкодження тощо [37, 38].

Нетравматичними причинами ушкоджень можуть бути пухлинні процеси, опромінення, аномалії розвитку відповідних анатомічних ділянок [39]. За даними сучасної літератури, частота ушкоджень ПС становить близько 1,2 % від усіх випадків поліструктурної травми, а щорічна кількість травм ПС складає близько 1,64 випадку на 100 тис. населення [40]. Найкраще закономірності етіології, анатомічних особливостей, тяжкості травми ПС описує правило «сім сорока» [41]: 1) близько 70 % травматичних ушкоджень ПС виникає внаслідок дорожньо-транспортних пригод, 2) з цих дорожньо-транспортних пригод близько 70% пов'язані із використанням мотоциклу чи велосипеда у якості засобу пересування, 3) близько 70 % постраждалих мають поліструктурну травму, 4) серед постраждалих із травмою ПС близько 70 % мають надключичні ушкодження, 5) ушкодження ПС у близько 70 % випадків супроводжується відривом щонайменше одного корінця, 6) патолого-анатомічною особливістю травми у близько 70 % пацієнтів із відривом корінців є відрив нижніх корінців ПС (C7, C8 та Th1), 7) клінічна картина перебігу травматичної хвороби ПС у близько 70 % пацієнтів із відривом корінців супроводжується постійним больовим синдромом різного ступеня тяжкості.

Грунтовні знання анатомії, розуміння патофізіологічних особливостей перебігу процесів дегенерації та регенерації є вирішальними чинниками, що

впливають на результати, зокрема, хірургічного лікування пацієнтів з ушкодженнями структур ПНС [42, 43].

Базове уявлення про анатомо-гістологічну структуру ПН виглядає наступним чином: ендоневрій оточує мієлінізовані та безмієлінові волокна. Фасцикули представляють собою групу аксонів, оточених периневрієм. Епіфасцикулярний (внутрішній) шар епіневрію розташований у міжфасцикулярному просторі. Таким чином, ПН являє собою поєднання згрупованих фасцикул, оточених власним (зовнішнім) шаром епіневрію нервового стовбура. Ендоневрій поширюється вздовж нервового стовбура, а периневрій та епіневрій розташовані циркулярно [44]. Сплетення мікросудин розташовані в повздовжньому напрямку в товщі епіневрію. Від них відходять поперечні гілочки крізь периневрій, які формують переважно капілярну судинну сітку в ендоневрії. Травма ПН значно підвищує проникність епіневральних судин. Епіневральні судини значно легше реагують на дію травмувального агенту, ніж ендоневральні судини. Груба компресія або довготривале стиснення призводять до травмування ендоневральних судин, що спричиняє міжфасцикулярний набряк та вторинну травматизацію [45].

Найчастіше для описання ушкодження ПН використовують дві класифікації – Sunderland [44] та Seddon [46]. Класифікація Sunderland [44] є більш складною, хоча й більш об'єктивною оцінкою характеру та ступеня ушкодження ПН. Н. Seddon [46] розділив ушкодження ПН на нейропраксію, аксонотмезис та нейротмезис. Нейропраксія спричинена сегментарною демієлінізацією, що відповідає 1-му ступеню ушкодження нерва за класифікацією Sunderland та є найлегшою формою. Анатомічна цілісність аксонів не зазнає змін, проте функціональний бік страждає – аксони не можуть передавати імпульси, відповідно м'яз-ефектор залишається паралізованим. Блок провідності, спричинений нейропраксією, найчастіше поширюється на моторні волокна, а не на сенсорні. Клінічно м'язова атрофія не розвивається, електрофізіологічно спостерігається нормальна провідність нерва дистальніше за зону ушкодження та втрата провідності в зоні ушкодження нерва через

процеси фокальної демієлінізації. Втрата функції зберігається, доки процеси ремієлінізації не завершилися. Регенерація може тривати від декількох годин до декількох місяців, повне відновлення функції відбувається не пізніше 12 тиж і навіть раніше за умови відсутності компресії. Рухові порушення можуть зберігатися в тій чи іншій мірі до 6 міс, але більшість із них регресує протягом 3 міс [47]. Оскільки процеси ремієлінізації всіх аксонів не відбуваються одночасно, досягають різного рівня впродовж різного часу, відновлення функції відбувається також мозаїчно. Найвдалішим прикладом є транзиторний постуральний парез загального малогомілкового нерва [25]. Нерідко термін «нейропраксія» використовують задля опису швидкоминучого функціонального фізіологічного блоку проведення імпульсу, який триває занадто мало, щоб говорити про демієлінізацію, та найчастіше спричинений фокальною ішемією без жодних структурних змін [48]. Чи може власне фокальна ішемія спричинити довготривалий блок проведення імпульсу, що триває дні та тижні, питання скоріше дискусійне [48].

У випадках аксонотмезису, коли цілісність аксона порушена, розвиваються процеси Валлерівської дегенерації [49, 50]. Окрім порушення анатомічної цілісності аксона, навколишня строма залишається частково інтактною. Аксонотмезис за Seddon відповідає 2–4-му ступеню ушкодження нерва за класифікацією Sunderland і характеризується явищами аксональної дегенерації, різним ступенем ушкодження сполучної тканини тощо. Ушкодження нерва за Sunderland 2–4-го ступеня є тяжчими. Вони виникають унаслідок розриву, забою, тракції, стиснення, супроводжуються порушенням анатомічної цілісності аксонів та/або власне стовбура нерва. Дистальна частина аксонів дегенерує та фрагментується. Мієлін поглинається фагоцитами в «травних камерах» та заміщується жировою тканиною [51]. Проксимальніше за місце ушкодження процеси дегенерації зупиняються на рівні першого перехвату Ранв'є при незначних ушкодженнях нерва та можуть поширюватися проксимальніше за тяжчих ступенях ушкодження. Уже протягом перших годин відбуваються процеси набряку ушкоджених аксонів унаслідок припинення

процесів антеградного та ретроградного аксонального транспорту. Набряк проксимальних і дистальних кукс ушкоджених аксонів триває декілька днів [52]. Сучасні дослідження підтверджують той факт, що процес аксональної дегенерації не є пасивним, а являє собою запрограмовану відповідь на «роз'єднання» зв'язку між тілом нейрона та органом-мішенню [53]. Втрата аксоноплазматичного цитоскелета починається в людини приблизно на 7-й день та забезпечується програмою автодеструкції [54]. У дистальній куксі, незважаючи на процеси дегенерації та зникнення аксонів, сполучнотканинний скелет може залишатися та створювати ендоневральні трубки. Шванівські клітини оточують ендоневральні трубки та формують трубки (тяжі Бюнгнера). Ці скупчення шванівських клітин і процеси в сполучнотканинному скелеті створюють необхідні передумови для подальшої аксональної регенерації. Валлерівська дегенерація починається у перші години після травми та завершується через 6–8 тижнів. Дистальна кукса представлена лише у вигляді ендоневральних трубок, оточених шванівськими клітинами [55, 56]. Останні не залишаються навколо дистальних ендоневральних трубок постійно, вони інволюціонують і зникають за відсутності регенераційних процесів [57]. Аксональна регенерація може ефективно перетворювати атрофічні шванівські клітини на активні клітини, що продукують мієлін [58]. Ендоневральні трубки, що «не отримують» регенеративні аксони, поступово колабують, а їхній просвіт заміщується рубцевою сполучною тканиною. *У випадках аксонотмезису процеси реіннервації напряму залежать від ступеня дезорганізації всіх внутрішніх структур ПН та відстані до органу-ефектора.*

При нейротмезисі (5-й ступінь за Sunderland) спостерігається повний анатомічний перерив стовбура ПН або незворотні внутрішньостовбурові пошкодження, що унеможлиблює процеси адекватної спонтанної регенерації, достатньої для поновлення функції. Без хірургічного відновлення цілісності прогноз є надзвичайно несприятливий [59].

Процеси регенерації ПН відбуваються на багатьох рівнях: починаючи від тіла нейрона, сегмента між тілом нейрона та ділянкою ушкодження

(проксимальна кукса), між ділянкою ушкодження та органом-ефектором (дистальна кукса), органом-мішенню [42, 60]. Процес регенерації може затримуватися чи навіть припинятися на будь-якій із зазначених ділянок. При незначних ушкодженнях ПН процеси регенерації розпочинаються майже миттєво – ремієлінізація при нейропраксії відбувається досить швидко. При тяжких ушкодженнях первинно настає так звана «шокова» фаза, після закінчення якої фази регенерації та відновлення тривають протягом багатьох місяців. У центральній нервовій системі (ЦНС) процеси регенерації забезпечені феноменом пластичності нервової системи – інтактні ділянки виконують функцію ушкоджених ділянок. Саме в цьому полягає принципова різниця між функціонуванням ЦНС і ПНС: ЦНС не має потенціалу до спонтанної регенерації, а лише здатна перерозподіляти функції між ділянками, що функціонують, і тими, що втратили функцію [42, 61]. Відновлення функції ПН забезпечується трьома механізмами: ремієлінізацією, колатеральним спраутингом, що відбувається дистальніше за зону ушкодження за рахунок збережених аксонів, і регенерацією ушкоджених аксонів [62]. Колатеральний спраутинг може забезпечити достатній функціональний рівень регенерації у випадках часткових ушкоджень ПН: при ушкодженні від 20 до 30 % аксонів регенерація забезпечується переважно за рахунок цього механізму через 2–6 міс після травми. У випадку ушкодження понад 90 % аксонів процеси регенерації відбуваються за рахунок проксимальної кукси. Процес регенерації розпочинається вже протягом перших годин після травми [63, 64]. Каскад подій, зокрема вивільнення сигнальних молекул і нейротрофічних факторів, запускається одразу після травми ПН [62, 65, 66]. Гемато-невральний бар'єр відіграє важливу роль у цьому процесі [30]. Шванівські клітини підсилюють регенераційні процеси шляхом значної активації процесів синтезу молекул-адгезивів, створюють основну мембрану, всередині якої накопичуються білки позаклітинного матриксу – ламінін та фібронектин [67]. Шванівські клітини продукують нейрофічні фактори, які зв'язуючись із тирозин-кіназними рецепторами, запускають сигнальну систему активації генного апарату [68].

Протягом лише 30 хв після травми відбувається активація всіх внутрішньоклітинних процесів відновлення та регенерації [69]. Упродовж перших днів після травми шванівські клітини починають активно ділитися та створюють пул диференційованих дочірніх клітин. За відсутності збереження цілісності аксона, шванівські клітини пригнічують процеси синтезу власних білків (наприклад, PMP22, P0 та коннексину-32) і перетворюють свій фенотип на премієлінізувальні клітини [53]. Процеси активації синтезу факторів росту та цитокінів недиференційованими шванівськими клітинами спричиняють їхню проліферацію та диференціацію в «очікуванні» аксона, що регенерує. Значно зростає кількість рецепторів до факторів росту в недиференційованих шванівських клітинах усередині ендоневральних трубок дистальної кукси – майже в 50 разів протягом 7 днів після травми [65, 70]. Макрофаги, що мігрують у дистальну куксу ушкодженого нерва, також залучені в процеси проліферації шванівських клітин [71]. Синтез поверхнево активних молекул нервових клітин і молекул позаклітинного матриксу (ламінін, тенасцин) значно підсилюється денервованими шванівськими клітинами, що значно пришвидшує процеси регенерації аксона [72]. Цитокіни також відіграють важливу роль у процесі активізації регенерації аксона. Спостерігаються процеси підвищеної експресії інтерлейкіну-6 і трансформувального фактора росту  $\beta 1$  до моменту настання контакту між дистальною та проксимальною куксами аксона, що регенерує [73]. Клітини-індикатори запального процесу (макрофаги) акумулюють фактори росту та постачають їх до нейрона, аксон якого регенерує [74]. Процеси збереження життєздатності нервової клітини підтримуються активованими трофічними факторами різного походження: нейротрофінами, нейролептичними цитокінами, інсуліноподібними факторами росту (IGF), нейротрофічними факторами гліального походження (GDNF) тощо. Нейрони після аксонотомії мають перейти з режиму «передачі імпульсу» в режим «росту» шляхом синтезу білків, асоційованих із клітинним ростом – GAP-43, тубулін, актин, нейропептидів та цитокінів, які підсилюють процеси регенерації аксона [67]. Уже протягом перших 12 год після травми (аксонотомії)

спостерігається підвищення експресії генів у нейрона, що спричиняє індукцію факторів транскрипції [69, 75]. Здатність нейрона в дорослих пацієнтів підтримувати регенераторний потенціал та здійснювати спроби регенерації аксону зберігаються ще протягом щонайменше 12 міс після травми [76–79]. Експериментально доведено, що електрична стимуляція пришвидшує та підсилює експресію генів, асоційованих із процесами регенерації [80]. Активація цих генів помітна вже через годину після проведення сеансу електричної стимуляції, що проявляється посиленням транспортування тубуліну до аксона в проксимальній куксі ушкодженого нерва [81, 82]. Апоптоз найбільш виражений у сенсорних нейронах та може досягати 50 % після травми ПН, хоча в експериментальних дослідженнях чітко доведено, що загибель клітини нагадує більше процес некрозу, аніж апоптозу [69, 83–85]. Перші ознаки регенерації в проксимальній куксі спостерігаються вже протягом перших 24 год, а у випадках тяжкої травми ПН – через декілька тижнів. Процеси регенерації залежать напряду від активності ростового конуса на вістрі кожного аксона, що регенерує [86, 87]. У шванівських клітинах, які починають контактувати з аксоном, що регенерує, спостерігаються процеси активації мРНК, що відповідає за синтез нормального мієліну, – розпочинається процес огортання аксона, його ремієлінізація. Конуси росту продукують протеази, які «розчиняють» усі матеріали на шляху аксона, що регенерує [69]. При тяжких ушкодженнях ПН, за яких спостерігається розрив ендоневральних трубок, аксони, що регенерують, стикаються на своєму шляху зі значними перепонами. Критичним чинником є відстань між проксимальною та дистальною куксами ушкодженого аксона. Аксони, що не можуть досягти дистальної кукси, вростають в рубцеву тканину між куксами та ростуть у хибних напрямках. Переважають процеси аберантної регенерації – ріст аксонів направлений в ендоневральні трубки, які не мають жодного функціонального значення [66, 88, 89]. З іншого боку, процес регенерації (формування конусів росту) розпочинається вже протягом перших годин після травми, процес спраутингу активується майже в кожному аксоні. Конуси росту формують



пальцеподібні паростки (філоподії), що «вивчають» оточуюче середовище, діючи як вимірювачі відстані [69, 90]. Вони володіють унікальними властивостями розпізнавати навігаційні «підказки» на шляху регенерації аксона. Зчитування та опрацювання інформації стосовно цих «підказок» є ключовим для забезпечення з'єднання кукс ушкодженого нерва. Навігаційні «сигнали» із оточуючого середовища здатні впливати на процеси видовження, повороту та розгалуження аксона. Вплив на конуси росту забезпечується щонайменше чотирма різними механізмами: контактними атрактивами, хемоатрактивами, контактною репульсією та хеморепульсією. Велика кількість напрямних молекул забезпечує ці механізми [91]. Зазначені механізми реалізуються майже одночасно, скоординовано, що безпосередньо впливає на процес «пошуку» шляху для аксона, що регенерує [91, 92]. Навігаційні «підказки» активують процеси накопичення актинових тяжів, що забезпечують видовження філоподій [93–95]. Ріст аксона – це динамічний процес, який може швидко змінювати напрямок під впливом біологічно активних молекул: так, колапсин-1 (інгібіторна молекула) може спричинити загибель конуса росту; з іншого боку, нейротрофіни, наприклад BDNF, можуть зменшити чутливість конуса росту до зазначеної вище інгібіторної молекули – нівелювати інгібіторні ефекти колапсину-1 [96]. Урахування даних щодо перебігу процесів регенерації аксона, отриманих експериментально, дало змогу використовувати різні лікувальні методи, що покращують регенерацію (FK506, гіпербарична оксигенація, гормони, ультразвук, лазеротерапія) [97–104].

Аксони, що досягли ендоневральних трубок у дистальній куксі ушкодженого нерва, мають великі шанси досягти органу-мішені [25]. Конуси росту містять велику кількість філоподій, які контактуючи з основною пластинкою шванівських клітин, використовують її як напрямну. За даними різних авторів швидкість регенерації аксонів становить від 0,5 до 0,9 мм/добу. Клінічно прийнято вважати, що швидкість росту аксона – 1 мм/добу. Процеси регенерації перебігають значно краще в проксимальних відділах нерва та в молодих осіб [42].

*Регенерація після виконання хірургічного відновлення нерва перебігає значно повільніше, ніж спонтанна регенерація. Навіть після досягнення аксоном органу-мішені, тривалий час відбуваються процеси «дорослішання» аксонів (ремієлінізація, збільшення діаметру аксона тощо) до моменту настання функціонального відновлення. Досі не використовують жодної клінічної терапії для стимуляції молекулярних механізмів регенерації нерва. Не існує жодного методу, який би міг суттєво вплинути на критичні проблеми регенерації: затримку регенерації, прогресивну втрату організмом здатності підтримувати регенераційні процеси в дистальній куксі ушкодженого нерва на достатньому рівні (найімовірніше, це пов'язано із процесами атрофії шванівських клітин) [61, 99].*

Недостатній рівень відновлення рухової функції після травм ПН середнього чи тяжкого ступеня може бути пов'язаний із багатьма чинниками. Одним із вирішальних чинників є швидкий процес атрофії м'язових волокон [42], інколи фіброзні зміни можна помітити вже на 3-й тиждень після травми [105]. У випадках, коли процеси реіннервації м'яза не завершилися, спостерігаються процеси заміщення м'язової тканини фіброзною. Протягом 2 років уся маса м'яза може бути заміщена рубцевою тканиною [106]. Реіннервація має відбутись через 12–18 міс після травми для забезпечення прийняттого функціонального результату. Проте навіть у випадках успішної реіннервації м'яз рідко відновлює нормальну силу [59]. Внутрішньом'язовий фіброз може обмежувати скоротливу здатність м'яза, а аберантна регенерація може порушувати синергізм скорочення м'язових волокон [107]. *Ріст аксонів у хибному напрямку, що значною мірою унеможлиблює регенерацію, найчастіше трапляється при проксимальних ушкодженнях великих змішаних нервових стовбурів.*

Проте, на думку більшості дослідників [108], найбільше значення має саме процес селективності росту аксонів, рухових та чутливих, проксимальної кукси (аксони, що регенерують) у бік відповідних рухових та чутливих гілок (шляхів,

трубок) дистальної кукси ушкодженого ПН після відновлення його цілості шляхом хірургічної реконструкції. Протягом перших 2-3 тиж після травми та, відповідно, реконструкції напрямок росту рухових аксонів має випадковий і неселективний характер [109]. Селективність регенерації, вибірковість та напрям росту рухових аксонів досягають максимальних показників лише через 8–10 тиж після травми/реконструкції [108]. Процес селективності реіннервації напряму залежить від виразності та послідовності синтезу й експресії нейротрофічних факторів росту шванівськими клітинами [110, 111]. Незважаючи на достатньо високий рівень селективності росту рухових і чутливих аксонів, що регенерують усередині нервового стовбура, величезною проблемою залишається відновлення іннерваційного патерну між, наприклад, руховими волокнами та саме тими м'язовими волокнами, іннервацію яких вони забезпечували до травми [112, 113]. Оскільки регенерація рухових аксонів не супроводжується процесом їх розгалуження всередині нервового стовбура, розподіл на численні гілки та формування нових зв'язків («рухових одиниць» від англ. «motor unit») відбуваються лише всередині тканин м'яза [114–116]. Регенерація ПН супроводжується зменшенням площі покриття «руховими одиницями» м'язових волокон [115–119]. Процес «хибного» відновлення іннерваційного патерну в м'язах та їхніх групах, іннервація яких забезпечується одним нервом, клінічно виявляється у тривалім руховим дефіцитом [113, 120, 121] і недостатньою скоротливою здатністю черевця [122, 123]. *Незважаючи на той факт, що феномен нерво-м'язової пластичності після травми ПН здатний забезпечити достатній рівень реіннервації м'яза (силового компонента), феномен «хибної реіннервації», насамперед її неселективність, особливо після виконання традиційної реконструкції після повного анатомічного переривання нерва, у більшості випадків унеможливує виконання ефективного та плавного руху відповідним м'язом [108].*

Більшість випадків ушкоджень структур ПС не супроводжуються спонтанною регенерацією, а перебіг регенераційних процесів має особливості,

які відрізняють їх від «типової» регенерації ушкодженого периферичного нерва [124]. Навіть у пацієнтів, у яких процеси спонтанної регенерації забезпечили реіннервацію м'язів-мішеней, ефективність відновлення є незадовільною [124]. Основною причиною неефективної реіннервації при ушкодженнях ПС є незначна порівнянно з нормальною кількість аксонів, що досягли м'яза-мішені внаслідок направленої росту [124].

Зрозуміло, що аксони нервового стовбура під час регенераційного процесу мають направлений ріст і намагаються в кінцевому результаті досягти первинної (природної) зони іннервації. Насправді, не існує загального спрямовуючого принципу, завдяки якому аксони мають можливість досягти первинної зони іннервації, саме тому ріст аксонів під час реіннервації здебільшого має хаотичний характер [125]. Аксони, що регенерують, мають можливість досягти м'язів-агоністів, м'язів-антагоністів чи навіть м'язів, які первинно не належали до цього іннерваційного патерну [125]. Як наслідок, мотонейрони, продовжуючи генерувати електричні потенціали, здатні активувати не лише м'язи, що відповідають за природні рухові стереотипи, а й нетипові м'язи чи їхні групи: згиначі активуються разом із розгиначами, що спричиняє суттєві рухові порушення-невідповідності [125]. «Складний підвид» хибного (аберантного) спрямування аксонів призводить до того, що аксони, розгалужуючись (спраутинг) на численні гілки (спраути), здатні не лише реіннервувати різні м'язи, а й завершити свій регенераційний шлях у шкірних нервах [126-131]. G. Roth та співавт. [128, 129] підтвердили це припущення шляхом проведення електрофізіологічних досліджень (запис «гетерогенних аксональних рефлексів») у пацієнтів із наслідками травми ПС віком від 1 до 47 років [132, 133]. Такі сенсомоторні зв'язки можна виявити майже в усіх пацієнтів із попередньо зшитими ПН [134]. «Простий підвид» хибного спрямування аксонів, за якого аксон, що регенерує, не поділяється на численні гілки, характеризується лише реіннервацією неприродного (хибного) м'яза [135]. Обидва підтипи хибного спрямування аксонів, що регенерують, призводять до виникнення співдружніх скорочень (*ко-контракцій*) різних груп

м'язів. Найімовірніше, саме тому при проведенні голкової електронейроміографії (гЕНМГ) неможливо знайти «motor unit action potential» (MUAP) у досліджуваних м'язах – аксони досягли інших м'язів під час регенерації.

Дослідження результатів спонтанної регенерації ушкоджень ПС у дорослих свідчать про високу частоту феномену співдружних скорочень [125]. Вважають, що наявність ко-контракцій у дорослих не становить суттєвої загрози для відновлення рухових стереотипів [125]. Та навпаки у дітей наявність ко-контракцій представляє серйозну проблему [125]. Одним із можливих пояснень є те, що аксони в дітей більше схильні до галуження (спраутингу) порівнянно із дорослими [125]. Це підтверджують експериментальні роботи, проведені на лабораторних тваринах: вищий ступінь галуження аксонів, що регенерують, у новонароджених щурів [136], вищий рівень регенераційної спроможності у молодих овець [137, 138] тощо.

Ще однією анатомічною особливістю, що впливає на процес спонтанної регенерації та в більшості випадків гіпотетично може спричинити виникнення ко-контракцій, є «феномен суперіннервації» («Luxury innervation») [125]. J.W. Vredeveld та співавт. [139, 140] виявили, що інтраопераційна стимуляція корінця C7 у дітей із паралічем Ерба спричиняє відведення плеча та згинання в ліктьовому суглобі, тоді як стимуляція корінців C5 та C6 не спричинила жодної рухової відповіді. Припускають, що іннервація двоголового м'язу плеча та дельтоподібного м'яза забезпечена також корінцем C7 ПС, чого теоретично не має бути в більшості варіантів норми. Поясненням цього феномену може слугувати той факт, що м'язові волокна з'єднані з більшою кількістю синапсів на ранніх етапах розвитку плоду [141]. Вважають, що полісинаптична іннервація змінюється на моносинаптичну в період між 16-м та 25-м тижнем внутрішньоутробного розвитку [141]. На думку інших дослідників, полісинаптична іннервація зберігається в пізніші терміни [142].

Логічнішим поясненням розвитку ко-контракцій унаслідок процесів спонтанної регенерації вважають особливості фасцикулярного представництва

кожного із корінців ПС. Вивчення внутрішньостовбурової та внутрішньоневральної анатомії частково підтверджує цей факт, з огляду на можливість виникнення ко-контракцій у дорослих індивідів.

*Хірургічне відновлення цілісності нервового стовбура зазвичай проводять у різні терміни після травми, що залежить від низки чинників [143, 144]. «Первинними» (традиційними) методами реконструкції є зовнішній невроліз, шов за типом кінець-у-кінець та автологічна пластика [144].*

Ушкодження гострим предметом спричинює доволі незначні пошкодження кукс нерва, тому найчастіше виконують первинне відновлення його цілісності протягом перших 72 год. Іншими показами до проведення невідкладної хірургії ПН є його стиснення гематомою чи псевдоаневризмою. У випадках повного анатомічного переривання нервового стовбура перевагу віддають первинному зшиванню кінець-у-кінець (за можливості виконання). Ця методика дає змогу прогнозувати найкращий ступінь відновлення функції [145]. Натяг уздовж лінії шва при зшиванні нерва створює умови для інтенсивного розвитку сполучної тканини, існує загроза блокування аксонів, що регенерують. Використання фібринових клеїв для адаптації кукс нерва дає змогу частково зменшити дію сил, направлених на розрив (на відстані від великих суглобів).

За несприятливих умов, коли немає змоги виконати первинне відновлення цілісності нерва, проводять відстрочену реконструкцію. З низки показників, котрі впливають на вибір моменту проведення хірургічного втручання, найголовнішим є часовий фактор: демієлінізація триває та припиняється протягом 8-12 тижнів, а дефіцит, котрий зберігається поза вказаними вище часовими рамками, свідчить про пошкодження аксонів [146, 147]. Шванівські клітини залишаються життєздатними впродовж 18-24 міс після травми, тому регенерація аксона має відбутися не лише до незворотних змін у м'язі-мішені, а і до моменту, коли ендоневральні трубки ще здатні

підтримувати рост аксона (якщо ендоневральні трубки не починають контактувати із аксоном, що регенерує, вони колабують) [25].

Ранні відстрочені реконструктивні втручання (протягом перших тижнів) виконують при розривах нервового стовбура внаслідок тупої травми у тих випадках, коли з різних причин не виконано первинну реконструкцію, або за наявності абсолютних показів (відомо про розрив стовбура нерва при первинному проведенні реконструкції магістральних судин) тощо [25, 147]. Відстрочена реконструкція нервового стовбура є найпоширенішим підходом у лікувальній стратегії, оскільки дає змогу визначитися із ступенем ушкодження стовбура (немає впевненості в повному анатомічному перериванні) чи переконатися, що регенерація природним шляхом дасть змогу отримати кращий функціональний результат, ніж хірургічна реконструкція [25, 147].

Поширеною є так звана вичікувальна тактика [25, 147], особливо за відсутності впевненості в анатомічному перериванні стовбура та/або масивній травмі оточуючих тканин, що дає змогу відстрочити хірургічне втручання (до 6 міс) в очікуванні клінічних та/або електрофізіологічних ознак реіннервації.

За неможливості проведення первинної реконструкції нерва відбуваються процеси ретракції проксимальної та дистальної кукс, що призводить до збільшення діастазу між кінцями ушкодженого стовбура та ймовірності використання автотрансплантації задля відновлення цілісності стовбура [25]. Результати аутологічної пластики є дискутабельними та значно [148, 149] гіршими, ніж результати зшивання нерва кінець-у-кінець. Основним недоліком цієї методики є залежність від розмірів дефекту та загроза втрати частини аксонів, що регенерують, на етапі проходження кожної із ліній швів [18, 19, 25, 146, 147]. Середня довжина автотрансплантата та короткий доопераційний період суттєво впливають на якість відновлення функції: найгірші результати спостерігаються при довжині аутологічного трансплантата більше 5 см і терміну від одержання травми до хірургічного втручання понад 4 міс [150].

Якщо немає можливості використати автологічний трансплантат для пластики дефекту ПН, використовують біологічні чи синтетичні провідники-трубки [104, 151]. Проте ця методика має велику кількість обмежень для використання в клінічній практиці (зокрема, розміри кондуїту).

Ще однією методикою відновлення функції ушкодженого нерва, наприклад, при його величезному дефекті, що асоціюється з поганим прогнозом щодо відновлення, є невротизація, що передбачає використання функціонально менш важливих волокон інтактного нерва задля відновлення функції функціонально важливих волокон ушкодженого нерва (дистальна кукса) [152].

Зшивання за типом кінець-у-бік набуває поширення у світі, хоча ефективність цього методу є дискутабельною [153–155].

Нині використовують велику кількість методів для підсилення процесів регенерації [99]. Так, експериментально підтверджено, що електрична стимуляція денервованих м'язів дає змогу підтримувати їх на належному функціональному рівні досить тривалий час [99, 108].

За даними Z. Roganovic та співавт. [150], позитивні результати відновлення рухової функції спостерігались у близько 30 % пацієнтів із «високим» рівнем ушкодження, у 50 % – із «середнім» рівнем ушкодження та у 85,7 % із дистальними типами ушкодження ПН [150]. За даними цих авторів, потенціал відновлення чутливої функції ПН не залежить від нерва, але потенціал відновлення рухової функції суттєво відрізняється: при високих ушкодженнях найкращим регенераційним потенціалом володіють променевий і великогомілковий нерви, при середньому рівні ушкоджень м'язово-шкірний нерв має майже 100 % потенціал до відновлення [156]. При дистальних (низькорівневих) ушкодженнях майже всі нерви демонструють однаковий потенціал відновлення рухової функції (від 88,9 до 100 %) за винятком загального малогомілкового нерва (56,3 %) [156]. Хоча в м'язах і відбуваються незворотні зміни впродовж 18 міс після травми, чутливі волокна та чутливі рецептори зберігають функціональну спроможність протягом значно тривалішого періоду (навіть протягом років), тому реконструкція ушкодженого нерва має



переслідувати ще одну мету – відновлення захисної чутливості в кінцівці та трофіки. На пізніших етапах задля відновлення моторної функції за умови відновлення хоча б елементів захисної чутливості можна використовувати методику транспозиції сухожилків і вільних м'язових комплексів на «ніжці» [157].

Ретельний аналіз типу, локалізації, тяжкості та часу з моменту травми асоціюється із добрими функціональними результатами відновлення [158], а вибір хірургічного методу лікування ушкоджень ПН різного генезу залежить від декількох загально визнаних чинників, не пов'язаних із часом проведення реконструктивного втручання [159]. *Двома головними чинниками, що свідчать про високу ймовірність доброго відновлення функції, є вік та дистальніше ушкодження нерва. Обидва чинники пов'язані із меншою відстанню до органу-мішені та чіткішою диференціацією рухових і чутливих фасцикул – селективністю.*

### **1.1.1. Характеристика основних чинників, що впливають на ефективність реіннервації, індукованої хірургічним шляхом**

З огляду на те, що досі не було проведено жодного рандомізованого контрольованого чи проспективного когортного дослідження результатів хірургічного лікування тупих тракційних травматичних ушкоджень ПС [160], оцінку будь-яких результатів лікування ушкоджень структур ПНС здійснюють з урахуванням трьох основних чинників, які можуть впливати на результат відновлення функції (час від моменту травми до виконання будь-якого первинного реконструктивного втручання (РВ), анатомічні характеристики ушкодження та вибір первинної методики хірургічної реконструкції).

#### **1.1.1.1. Чинник часу**

Більшість досліджень, які вивчали вплив чинника часу, являють собою ретроспективні, здебільшого моноцентрові, дослідження. Серед таких досліджень, яким варто приділити значну увагу, є дослідження D.C.C. Chuang

[161], D.H. Kim та співавт. [158], які рекомендують, щоб термін до проведення будь-якого первинного РВ при надключичних травматичних ушкодженнях ПС (Н-ТУ ПС) не перевищував 5-6 міс. З іншого боку, відомо, що основною часовою характеристикою більшості підключичних травматичних ушкоджень ПС (П-ТУ ПС) є великий термін від отримання травми до виконання будь-якого первинного РВ [160]. Хоча в серіях досліджень із залученням достатньо великої кількості пацієнтів не вказують на суттєвий вплив відстрочення будь-якого первинного РВ на якісний компонент відновлення рухової функції, результати відновлення рухової функції за більшості П-ТУ ПС порівнянні з такими при тракційних Н-ТУ ПС [6, 158].

#### **1.1.1.2. Чинник анатомічних характеристик ушкодження**

Кількість передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес, безпосередньо впливає на якісний характер відновлення рухової функції. Так, при залученні в патологічний травматичний процес лише С5-С6-С7 будь-які РВ сприяють кращому відновленню рухової функції порівняно з тотальними варіантами ушкодження ПС [6, 162]. Кількість пучків ПС, залучених у патологічний травматичний процес, також значною мірою впливає на результати відновлення рухової функції [6, 158]. Тяжкість травми та, відповідно, кількість залучених пучків ПС, зумовлені частим поєднанням із ушкодженням *a. axillaris*, вивихом у плечовому суглобі й проксимальними переломами плечової кістки [6, 158].

#### **1.1.1.3. Чинник методу первинної хірургічної реконструкції**

Хоча невроліз належить до «активних» хірургічних тактик, не слід забувати, що цей тип РВ більшою мірою є експлоративною процедурою, яка здебільшого суттєво не впливає на процес спонтанної регенерації [13, 24, 163–166].

D.G. Kline та співавт. [164] виявили, що спонтанна регенерація (або, фактично, виконання невролізу) спричиняє відновлення у близько 40 % випадках при ушкодженні С5-С6, у 15–16 % – при залученні в патологічний травматичний

процес C7 та у 4–5 % – при тотальних типах ушкодження ПС. Т.Е.Н. Nems та співавт. [163] зазначають, що спонтанна регенерація виникає вкрай рідко через 3–4 міс після ушкодження ПС за тотальним типом. Лише в невеликій кількості випадків спостерігали незначне відновлення функції *m. biceps brachii* та *m. deltoideus*, ще рідше – відновлення функції *m. supraspinatus* і *m. infraspinatus* протягом тривалого часу спостереження в період після травми [165].

При виконанні автологічної пластики саме довжина нервового трансплантата суттєво впливає на відновлення рухової функції зі значним погіршенням результатів у міру збільшення довжини трансплантата [167–172]. D.C.C. Chuang та співавт. [168], A.O. Narakas та співавт. [169] установили, що довжина автологічного трансплантата більше 10 см є предиктором значно гіршого відновлення рухової функції, а J.K. Terzis та співавт. [172] в своєму дослідженні визначили критичний розмір автологічного трансплантата – 7см.

Якісний та кількісний компоненти відновлення рухової функції залежать напряму від походження нервів-донорів (екстраплексусного чи інтраплексусного), які використовують при селективній реіннервації (невротизації) [6, 162, 169, 173–175]. Так, нерви-донори інтраплексусного походження забезпечують краще відновлення рухової функції, що, імовірно, пов'язано із кількістю рухових аксонів у середині стовбура [162]. Z.S. Ali та співавт. [176] у системному огляді літератури вказали на значну перевагу щодо відновлення рухової функції при використанні невротизації порівняно з автологічною пластикою.

### **1.1.2. Зміна «парадигм» у хірургії периферичної нервової системи на різних етапах її розвитку**

Будь-яка наукова дисципліна ґрунтується на визнаних усією науковою спільнотою досягненнях, які протягом певного часу визначають модель побудови наукової проблеми та шляхи її вирішення [20]. Загальновизнаний зразок або шаблон для вирішення наукової проблеми є *парадигмою* [20].

Безперечним є факт, що наукова думка здатна еволюціонувати, а її життєпис супроводжується одночасним існуванням в двох основних формах: *нормальної науки*, коли кожне нове відкриття можна пояснити з позиції панівної (на той момент) теорії, та *екстраординарної науки*, що супроводжується появою аномалій чи фактів, які неможливо пояснити з позиції панівної теорії [20]. У міру збільшення кількості аномалій відбувається формування нових чи поява альтернативних теорій, що спричиняє наукову революцію – формування *нової парадигми* [20].

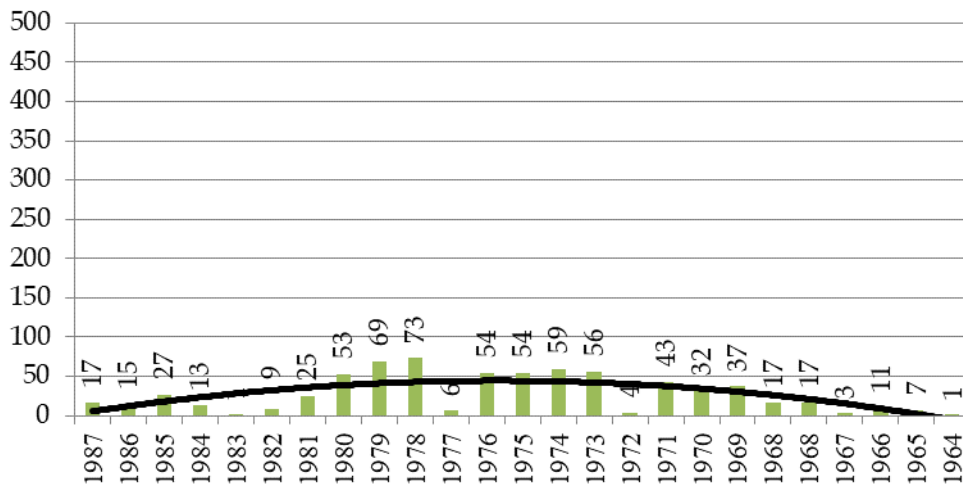
Одночасне існування декількох парадигм, які виникли при розвитку нормальної та екстраординарної наук, у певний момент спричиняє *конфлікт парадигм* [20]. Останній виникає в період наукової революції та насамперед характеризується конфліктом різних систем цінностей, різних способів вирішення завдань, різних практик тощо [20]. Незалежно від часу виникнення, підтвердження життєздатності будь-якої нової наукової теорії потребує зіставлення обох теорій із природою та порівняння теорій [20]. Науково обґрунтовані переваги нової теорії змушують науковців відмовлятися від старої. Цей процес завжди пов'язаний із необхідністю прийняти іншу теорію – *парадигму*. Коли в науковій дисципліні відбувається зміна однієї парадигми на іншу, настає «*наукова революція*» чи «*зсув парадигми*» [20].

Аналіз історичного розвитку хірургії ПНС дає підставу стверджувати про наявність щонайменше трьох етапів, кожен із яких неминуче супроводжувався «зсувом парадигм». Випадки ушкодження ПН відомі з давніх часів. Лікування ушкоджень, зокрема шов нервів, описані в численних книгах та публікаціях епохи середньовіччя, Відродження, доіндустріальної ери та раннього етапу ХХ сторіччя [177]. Наприклад, Павло Егінський (VII ст.) описував концепції хірургічного відновлення ушкоджених нервових структур і перебіг їх регенерації.

У міру накопичення наукових даних щодо функціонування нервової системи, починаючи з ХІХ ст., учені прийшли до розуміння функції тіла нервової клітини, її впливу на периферичні процеси, регенерацію й ретроградну

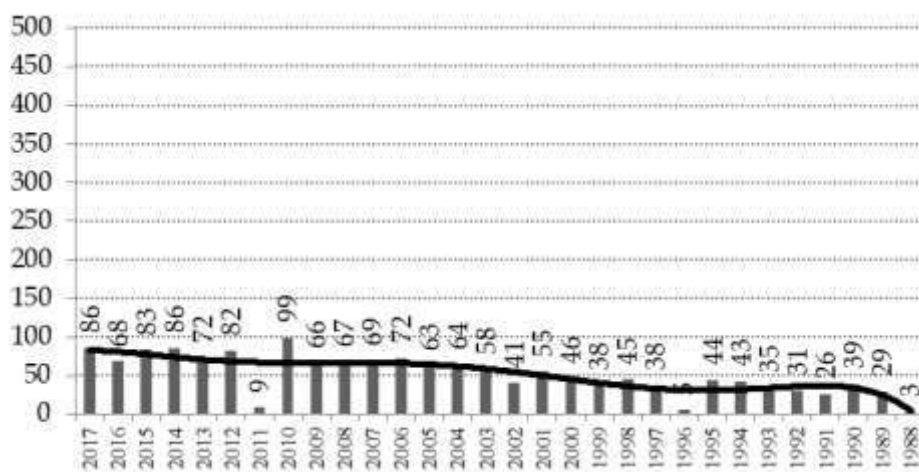
дегенерацію (Валлер, 1850), відмінності у відповіді центральної та периферичної нервової системи на травму, відмінності регенераційних процесів у них (Кахал, 1905), що дало змогу сформуванню фундаментальні біологічні погляди й поліпшити розуміння процесів дегенерації та регенерації ПН після травми [178]. Перший успішний досвід відновлення функції нерва після його зшивання датується 1795 р. (Cruikshank). Вперше техніку накладання епіневрального шва описали Neuter у 1871 р. та Mikulicz у 1882 р., а техніку виконання автологічної пластики – Albert у 1876 р. Подальший активний розвиток хірургії ПНС пов'язаний із Першою та Другою світовими війнами [179].

Широке впровадження в повсякденну хірургічну практику методики автологічної пластики нерва започаткувало еру реконструктивної хірургії. Фундаментальна праця Н. Millesi на початку 1960-х років дала змогу проводити реконструкцію нерва без суттєвого натягу, а розвиток мікрохірургічних технік вважають поворотним моментом у хірургії ушкоджень ПНС [180]. Використання інтраопераційного електрофізіологічного моніторингу в класичних працях D. Kline дало змогу значно агресивніше використовувати резекцію ушкодженої ділянки нерва з подальшою його реконструкцією та успішно відновлювати функцію при більшості ушкоджень нервових структур ПНС [181]. Досягнення мікрохірургії та розуміння можливостей електрофізіології у 1960-1970 рр. значною мірою вплинуло на результати раніше безуспішних реконструктивних стратегій [178] (**перший «зсув парадигм»**) [20]. Опосередкованим підтвердженням розвитку цього етапу може бути збільшення кількості публікацій, присвячених цій тематиці (Рис. 1.1).



**Рис. 1.1.** Кількість публікацій за тегом «autografting» у базі PubMed за 1964–1987 рр.

Кінцевим етапом формування мікрохірургічної ери ушкоджень ПН вважають 1980–1990 рр., які характеризувались формуванням панівної теорії в межах «нормальної» науки [20]. Результати лікування більшості випадків суттєво не відрізнялись у спеціалістів цієї галузі, що давало змогу у 50–75 % пацієнтів досягти задовільного відновлення після автологічної пластики нерва [105, 182]. Опосередкованим підтвердженням становлення та широкого поширення мікрохірургічних методів, зокрема методу автологічної пластики, може слугувати значне збільшення публікацій з цієї тематики, а відсутність суттєвого прогресу в результатах лікування підтверджується стабілізацією кількості публікацій (плато протягом 2004–2017 рр.) (Рис. 1.2).



**Рис. 1.2.** Кількість публікацій за тегом «autografting» у базі PubMed за 1988–2017 рр.

Наступний етап розвитку хірургії ПНС пов'язують з удосконаленням методики невротизації, що передбачає відновлення дистального денервованого відрізка нерва шляхом вшивання в нього нерва-донора. Найчастіше невротизацію виконують значно дистальніше від зони первинного ушкодження нервового стовбура та значно ближче до органу-ефектора [178]. Ця методика дає змогу значно зменшити дистанцію регенерації, яку має подолати аксон, та є більш спрямованою в контексті відновлення саме найбільш значущих ефекторів, функція яких була втрачена внаслідок проксимального ушкодження нерва [178].

Прийнято вважати, що сучасна ера невротизації розпочалася на початку 1990-х років з оприлюднення низки робіт («аномалії» в «нормальній» науці), присвячених відновленню тяжких проксимальних ушкоджень ПС за рахунок нервів-донорів із пулу поза ПС – міжреберних нервів, спінальної порції додаткового нерва, діафрагмального та медіального грудного нервів [183–187]. У 1994 р. С. Oberlin опублікував класичну працю щодо невротизації м'язово-шкірного нерва гілками ліктьового нерва для відновлення згинання в ліктьовому суглобі [188]. Значна ефективність цього відносно простого хірургічного методу змусила переглянути відношення більшості спеціалістів до методики невротизації, її перестали сприймати лише як методику «відчаю» [178]. З іншого боку, у переважній більшості спеціалістів були перестороги щодо більш широкого використання методики. Насамперед це було пов'язано із сумнівами щодо адекватності вибору нерва-донора, втрата функції якого мала суттєво не знижувати загальний функціональний статус [178]. Вивчення внутрішньоневральної анатомії давало змогу уникати ускладнень, пов'язаних із забором нерва-донора: використовували не цілий нерв, а лише окремі фасцикули чи їхні групи [178]. Одночасно із ростом популярності невротизації за рахунок окремих фасцикул нерва, що функціонує, відбувся ренесанс техніки внутрішньоневрального невролізу [178].

На тлі ширшого використання методики невротизації деякі спеціалісти не полишали спроби максимально використати методи реконструкції при

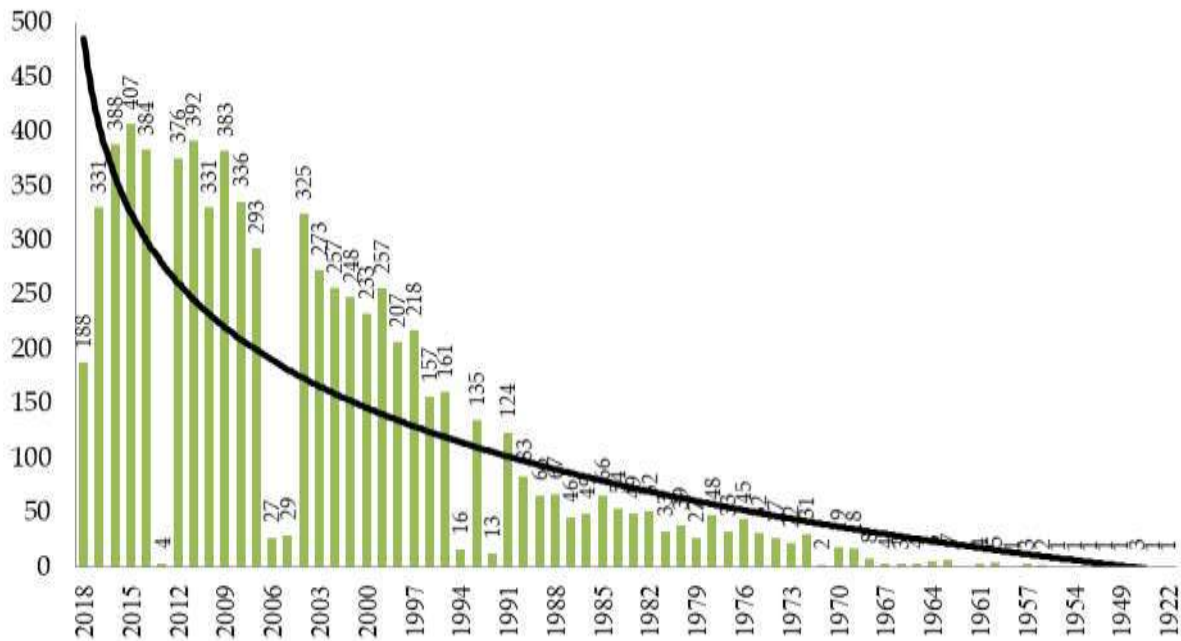
ушкодженнях ПС, ефективність яких була доведена у попередні десятиліття. Аналіз результатів таких «героїчних» спроб дав підставу стверджувати, що результати реімплантації корінців чи автологічної пластики структур ПС суттєво поступалися таким після виконання невротизації [189, 190].

Спочатку невротизацію використовували переважно для реіннервації при так званих «незворотних» варіантах ушкодження ПС, які супроводжувалися відривом корінців від спинного мозку [178]. Однак протягом останнього десятиліття думка кардинально змінюється, дедалі більше випадків ушкоджень ПС відновлювали за рахунок методики дистальної невротизації [178].

Подальший розвиток технік дистальної невротизації демонструє все більш широке їх використання (**«конфлікт парадигм»** [20]) не лише при наслідках травм ПС, а і при проксимальних ушкодженнях ПН (ліктьового, променевого та серединного) [191–193]. Опосередкованим підтвердженням зміни хірургічних підходів до відновлення структур ПНС може бути експоненціальне збільшення кількості публікацій, присвячених цій тематиці у 1994–2017 рр. (Рис. 1.3).

На жаль, збільшення кількості випадків використання методики невротизації має певний негативний вплив на формування реконструктивної стратегії в хірургії ПНС. Багато можливостей точно встановити та оцінити характер ушкодження структур ПНС безпосередньо в зоні травми втрачаються. Систематизовані аналізи результатів лікування ушкоджень ПС [194] недооцінюють той факт, що реконструкція структур ПНС на рівні травми, наприклад, методом автологічної пластики, може сприяти аналогічному чи навіть кращому функціональному результату [178]. Ось чому деякі дослідники вважають, що говорити про **другий «зсув парадигм»** [20] у хірургії ПНС ще зарано. Ревізія, оцінювання стану та реконструкція з використанням численних ефективних хірургічних методів залишаються основою ефективного відновлення.





**Рис. 1.3.** Кількість публікацій за тегом «nerve transfer» у базі PubMed у 1922–2018 рр.

Вважають, що тенденція використовувати методику невротизації з урахуванням пластичності ЦНС продовжуватиме розвиватись [178]. З іншого боку, швидкий розвиток біоелектричних і роботичних технологій, поглиблення знань анатомії та фізіології ЦНС і ПНС дасть змогу вже в найближчому майбутньому досягати таких результатів функціонального відновлення, які здавалися научно-фантастичними на початку розвитку реконструктивної хірургії та хірургії периферичної нервової системи зокрема.

Вибірковість методики невротизації (селективної реіннервації) ґрунтується на виокремленні ключових м'язів (КлМ), відновлення ефективної функції яких (лише КлМ) може забезпечити ефективний рух у сегментах верхньої кінцівці та одночасно вирішує головну проблему методики селективної невротизації – *пошук нервових структур, у широкому розумінні «донорів», збережену функціональну здатність яких можна ефективно використати для компенсації втраченої функції КлМ, без втрати*

*ефективних рухів як у межах одного сегмента, так і в суміжних сегментах верхньої кінцівки.*

## **1.2. Аналіз кінезіологічних характеристик функції м'язів та їхніх комплексів для забезпечення ефективних рухів верхньої кінцівки**

**Кінезіологія** – це наукове вивчення рухів людського тіла та його складових з аналізом фізіологічних і біомеханічних принципів-механізмів [195] забезпечення ефективного руху (ЕфРх) [196].

Захворювання в широкому розумінні (травма – в окремих випадках), або *патологія* (за номенклатурою ВООЗ), призводить до зміни в певних тканинах анатомічної структури, що спричиняє зміни її функції та зрештою призводить до порушення функції сегмента тіла. Порушення функції сегменту тіла призводить до обмеженої здатності виконувати певну діяльність (*дисфункції*), крайнім виявом якої є часткова або повна втрата здатності брати активну участь у повсякденному житті – *інвалідність*.

Головна мета реконструктивної хірургії – відновити ЕфРх для зменшення виявів інвалідності або щоб запобігти їй.

Аналіз обсягу рухів верхньої кінцівки в тривимірному просторі є надважливим інструментом для прийняття клінічного рішення, які саме ЕфРх має відновити реконструктивна хірургія [196]. Різноманітний обсяг траєкторій руху верхньої кінцівки та асоційовані з ними рухові патерни, необхідні для забезпечення комплексу ЕфРх при виконанні активної щоденної діяльності (АЩД), значно ускладнюють аналіз та виокремлення найбільш значущих рухових одиниць чи їхніх комплексів [196]. Головними чинниками, що ускладнюють (порівняно із функціональним аналізом рухів нижньої кінцівки) проведення такого аналізу, є відсутність однотипності та циклічності участі найбільш значущих сегментів у забезпеченні ЕфРх [197].

Протягом останніх 20 років проведено велику кількість робіт, присвячених спробам кількісно схарактеризувати обсяг ЕфРх у верхній кінцівці

[197–205]. Основними недоліками цих досліджень були: вибір неоднотипних завдань, різноманіття методів кількісного оцінювання обсягу рухів у суглобах, неоднорідність вибору значущих сегментів тощо [196]. Відповідно, порівняти результати таких досліджень у більшості випадків неможливо. Крім того, типовим недоліком більшості досліджень було фокусування на оцінюванні обсягу рухів в окремому суглобі чи декількох суглобах без урахування одночасного (загального) максимального обсягу рухів (MOR) верхньої кінцівки у тривимірному просторі [196].

Більшість видів АЩД вимагають застосування не однієї (домінантної) кінцівки, а бімануальності. Максимальний обсяг рухів обох верхніх кінцівок при виконанні як мономануальних, так і бімануальних видів АЩД найчастіше суттєво відрізняється від «природного» чи «істинного» максимального обсягу рухів (iMOR) у відповідних сегментах кінцівки. Таким чином, обсяг руху у визначених сегментах кінцівки, який використовується для виконання типових видів АЩД, насправді є «ефективним» MOR (ефMOR).

Два головних чинники регулюють ЕфРх сегмента тіла в межах ефMOR – власне анатомічні складові та сили, що генеруються м'язами та впливають на переміщення сегмента у тривимірному просторі. Ось чому здатність виділити значущі КлМ певної анатомічної ділянки/сегмента та розуміння їх взаємодії з прилеглими сегментами є запорукою успіху у відновленні ЕфРх [195, 196].

За фізіологічної норми інтегральна функціональна спроможність верхньої кінцівки визначається сумою функцій окремих моторних сегментів: структур плечового поясу, плеча, передпліччя, кисті тощо [195]. Загальноприйнятим є умовний розподіл анатомічних ділянок верхньої кінцівки на три основні функціональні (рухові) субодиноці [195]: shoulder unit (SU) – комплекс структур плечового поясу, elbow unit (EU) – структури ділянки ліктьового суглоба, hand and wrist unit (HWU) – структури ділянки променево-зап'ясткового суглоба.

D.H. Gates та співавт. [196], проаналізували межі ефMOR для кожного із моторних сегментів при виконанні типових видів АЩД.

### 1.2.1. Кінезіологічна характеристика функції ключових м'язів «SHOULDER UNIT»

М'язи SU, які забезпечують (за фізіологічної норми) функцію плечового поясу та проксимальних відділів плеча, можна розподілити на три основні групи залежно від точок їх кріплення та впливу на прилеглі суглоби: 1) *аксіоскапулярні* та *аксіоклавікулярні* (під *аксіо* розуміють загалом тулуб, кістяк, вісь та відповідні анатомічні ділянки або точки кріплення до структур цього кістяка: хребет, тулуб тощо), 2) *скапулогумеральні* (від лат. humerus – плечова кістка, scapula – лопатка), 3) *аксіогумеральні*.

#### 1.2.1.1. Аксіоскапулярна та аксіоклавікулярна підгрупа м'язів

Усі м'язи аксіоскапулярної та аксіоклавікулярної підгруп об'єднує одна анатомічна особливість – однією із точок кріплення є тулуб. Відповідно, другою точкою кріплення є або лопатка, або ключиця. Головною функцією, яку виконують м'язи цієї групи, є надання належного положення лопатки та ключиці в тривимірному просторі, первинно забезпечуючи рух у грудинно-ключичному, лопатко-грудному суглобах і вторинно – в акроміо-ключичному суглобі.

М'язи аксіоскапулярної та аксіоклавікулярної підгрупи забезпечують переважно належне розміщення (позиціонування) лопатки та стабільність плечового поясу. Належний обсяг рухів у лопатко-грудному та грудинно-ключичному суглобах є необхідним для повноцінного функціонування плечового поясу. Наприклад, лопатково-грудні м'язи здатні генерувати до 45 % енергії, необхідної для швидкого згинання в плечовому суглобі при незначному обсязі руху [206]. Функціонування м'язів аксіоскапулярної та аксіоклавікулярної підгрупи, що формують пари сил, забезпечує стабільність лопатки, водночас виконуючи функцію її ротаторів (уверх чи вниз). Стабільність лопатки дає змогу м'язам скапулогумеральної підгрупи ефективно

виконувати свою функцію. Нестабільність лопатки призводить до того, що скорочення м'язів скапулогумеральної підгрупи приводить у рух не плече, а лопатку.

Більшість авторів погоджуються, що **трапецієподібний** (іннервація – *n. accessorius*) та **передній зубчастий** (іннервація – *n. thoracicus longus*) м'язи є ключовими для ефективного відведення та згинання в плечовому суглобі [207].

### 1.2.1.2. Скапулогумеральна підгрупа м'язів

М'язи скапулогумеральної підгрупи забезпечують рухи та динамічну стабільність у плечовому суглобі, належне функціонування комплексу цих м'язів відповідає за майже половину загального обсягу руху при елевації верхньої кінцівки.

Роль дельтоподібного м'яза та м'язів ротаторної манжети в забезпеченні належного згинання та відведення плеча достатньо ґрунтовно вивчена. Теорія інтегральної взаємодії всіх м'язів скапулогумеральної групи підтверджена в численних клінічних та експериментальних дослідженнях. Так, при розташуванні плечового суглоба в положенні, наближеному до нейтрального, дельтоподібний м'яз не здатний продукувати достатньо сили (абдукційний момент сили замалий) порівняно із надостьовим м'язом (1,42 см проти 2,6 см) для забезпечення початкової фази відведення плеча [208]. Середня порція дельтоподібного м'яза, забезпечуючи більшу площу контактної поверхні між голівкою плечової кістки (шляхом забезпечення ковзання останньої догори) та суглобовою западиною лопатки, формує силову пару із надостьовим м'язом – відводить плече. Необмежене зміщення голівки плечової кістки догори під час скорочення дельтоподібного м'яза призводить до надлишкової компресії структур субакроміального простору.

У початковій фазі скорочення дельтоподібного м'яза – елевації верхньої кінцівки всі м'язи ротаторної манжети починають скорочуватися, забезпечуючи щільний контакт голівки плечової кістки та суглобової западини лопатки

[209, 210]. Одночасне скорочення малого круглого, підостьового, підлопаткового м'язів (сумарна дія сил спрямована донизу) і дельтоподібного м'яза (сила спрямована догори), які формують анатомічну силову пару із різним напрямком дії сил, що забезпечують динамічний баланс та, відповідно, ефективно відведення плеча.

У середній фазі відведення момент сили, що продукується дельтоподібним м'язом, перевищує такий надостьового м'яза [208], відповідно, дельтоподібний м'яз стає ключовим м'язом відведення. Усі м'язи ротаторної манжети продовжують скорочуватися протягом усього циклу відведення, первинно забезпечуючи стабільність плечового суглоба [209, 211]. Таким чином, відведення та згинання плеча залежить від трьох чинників: дельтоподібного й надостьового м'язів і депресорів голівки плечової кістки – підостьового, малого круглого та підлопаткового м'язів. Дельтоподібний м'яз забезпечує силу, надостьовий є ініціатором початкової фази відведення, решта м'язів ротаторної манжети відіграють роль динамічних стабілізаторів плечового суглоба.

Втрата функції будь-якого з м'язів скапулогумеральної групи призводить до значних порушень елевації верхньої кінцівки, суттєво обмежує спектр рухів у плечовому суглобі.

**Ключові м'язи:** більшість авторів погоджуються, що **дельтоподібний** (іннервація – *n. axillaris*), **надостьовий і підостьовий** (іннервація – *n. suprascapularis*) м'язи є ключовими для ефективного відведення та згинання в плечовому суглобі [209].

### 1.2.1.3. Аксіогумеральні м'язи

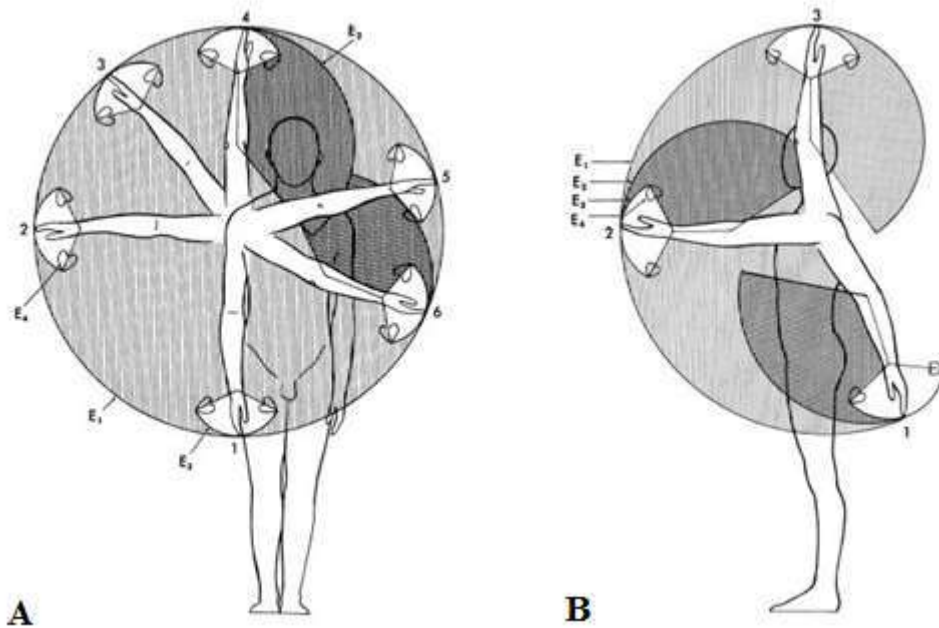
До м'язів аксіогумеральної підгрупи належать великий грудний м'яз та найширший м'яз спини. Точками фіксації м'язів цієї підгрупи є тулуб і плечова кістка. Функція м'язів аксіогумеральної підгрупи здатна впливати на всі чотири суглоби плечового поясу. Оскільки м'язи двох попередніх підгруп здатні

забезпечувати у повному обсязі виконання МОР у плечовому суглобі, вважають, що м'язи аксіогумеральної групи є «надлишковими», головним призначенням яких, найімовірніше, є забезпечення всіх рухів у плечовому суглобі, за винятком зовнішньої ротації, додатковою силою. Великий грудний і найширший м'яз спини здатні надавати силову підтримку усім іншим м'язам плечового поясу, в той самий час не володіючи жодною унікальною функціональною характеристикою. Головною їхньою функцією є депримувальний вплив на плечовий суглоб переважно під час виконання силових вправ, що потребують прийняття всієї ваги тіла [212].

**Ключові м'язи:** відсутні.

#### **1.2.1.4. Функція ключових м'язів «SHOULDER UNIT» при забезпеченні ефективних рухів у плечовому поясі**

*Максимальний обсяг руху (МОР)* в плечовому поясі в окремих площинах тривимірного простору визначається переміщенням найдистальнішої точки верхньої кінцівки (усі інші суглоби зафіксовані в положенні розгинання). Колоподібна траєкторія в межах МОР, що виконує верхня кінцівка в заданій площині тривимірного простору, називається *траєкторією руху*. Ліктьовий, променево-зап'ястковий суглоби та суглоби пальців кисті формують власні траєкторії руху в тривимірному просторі при виконанні МОР у плечовому поясі, що значно розширює функціональні можливості верхньої кінцівки (Рис. 1.4).



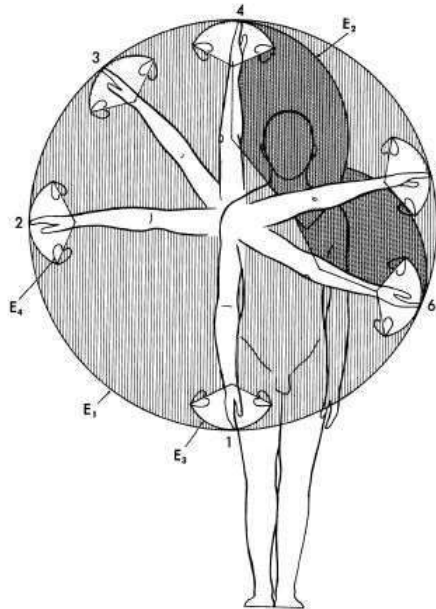
**Рис. 1.4. Траєкторії руху в суглобах верхньої кінцівки при виконанні максимального обсягу руху в плечовому суглобі у фронтальній площині:** А – траєкторії руху сегментів верхньої кінцівки у фронтальній площині; В – траєкторія руху сегментів верхньої кінцівки у сагітальній площині) [213]; E<sub>1</sub> – траєкторія руху в плечовому суглобі; E<sub>2</sub> – траєкторія руху в ліктьовому суглобі; E<sub>3</sub> – траєкторія руху в променево-зап'ястковому суглобі; E<sub>4</sub> – траєкторія руху в суглобах пальців кисті.

#### **1.2.1.4.1. Максимальний обсяг руху у плечовому суглобі у фронтальній площині**

Траєкторія руху в плечовому поясі в нормі, яку формує верхня кінцівка, нагадує коло (Рис. 1.5). Вихідне положення кінцівки відповідає фізіологічному: плече знаходиться в положенні нейтральної внутрішньої ротації, передня поверхня ліктьового суглоба розвернута вперед (позиція 1). Нейтральна внутрішня ротація плеча зберігається до позиції 3. Після проходження верхньою кінцівкою положення 3 відбувається зовнішня ротація плеча. Повна елевація верхньої кінцівки завершується в позиції 4. Проходження верхньою



кінцівкою траєкторії руху між позиціями 4 та 5 потребує внутрішньої ротації плеча та зовнішньої ротації між позиціями 5 та 6 (Рис. 1.5).



**Рис. 1.5. МОР у плечовому суглобі у фронтальній площині (інтервали між позиціями 3 і 4, 4 і 5 та 5 і 6 потребують ротації плеча) [213]**

Під час елевації верхньої кінцівки у фронтальній площині МОР визначається переважно мобільністю плечового суглоба та ротаційним рухом лопатки догори щодо грудної клітки. Елевація верхньої кінцівки від позиції 1 ° до близько 30 ° зумовлена плечовим суглобом. Подальша елевація верхньої кінцівки в межах від 30 ° до 180 ° зумовлена рухом як в плечовому суглобі, так і ротацією лопатки у співвідношенні 2:1 чи від 100 ° до 50 °. Загалом плечовий суглоб забезпечує близько 130 ° під час елевації верхньої кінцівки у фронтальній площині. Зовнішня ротація плеча супроводжує рух верхньої кінцівки до позиції 4, забезпечуючи плавність руху. Зовнішня ротація плеча ініціюється при досягненні близько 45 ° елевації верхньої кінцівки у фронтальній площині та є необхідним компонентом під час елевації верхньої кінцівки більше 90 °, оскільки саме вона дає змогу вивільнити великий горбик

плечової кістки з-під акроміального виростку лопатки, забезпечуючи збільшення площі контактної поверхні між суглобовою поверхнею плечової кістки та суглобовою западиною лопатки.

**Ключові м'язи** плечового поясу, що забезпечують МОР верхньої кінцівки у фронтальній площині, можна умовно розподілити на 3 підгрупи: 1) елеватори – дельтоподібний та надостьовий м'язи, 2) внутрішні ротатори – підлопатковий м'яз, 3) зовнішні ротатори – підостьовий м'яз.

Класична праця V.T. Inman та співавт. [214], присвячена вивченню активності м'язів плечового поясу при виконанні елевації верхньої кінцівки (arm-trunk elevation) методом ЕНМГ, визначила початок та кінець дії, а також момент максимального напруження кожного з м'язів. Момент сили, що генерується дельтоподібним м'язом, поступово збільшується під час елевації верхньої кінцівки та досягає максимуму при  $110^\circ$ , підтримуючи постійний рівень активності до  $180^\circ$ . Потенціал дії надостьового м'яза лопатки досягає максимуму при  $110^\circ$  під час елевації верхньої кінцівки, у подальшому зменшуючись до мінімальних показників. Підлопатковий м'яз досягає піку своєї активності при  $100^\circ$ , зберігаючи постійним показник активності до  $130^\circ$ , після чого його дія швидко припиняється. Малий круглий м'яз досягає максимуму активності при  $120^\circ$  і зберігає її на постійному рівні до максимальної елевації верхньої кінцівки. Підостьовий м'яз поступово збільшує активність від вихідного положення до максимальної елевації верхньої кінцівки. Належне функціонування двох останніх м'язів є необхідним для забезпечення та підтримання плечової кістки в положенні зовнішньої ротації до повної елевації [214].

Дані щодо впливу втрати функції КЛМ зовнішніх і внутрішніх ротаторів на максимальний МОР у плечовому суглобі у фронтальній площині наведено у табл.1.1.

Таблиця 1.1

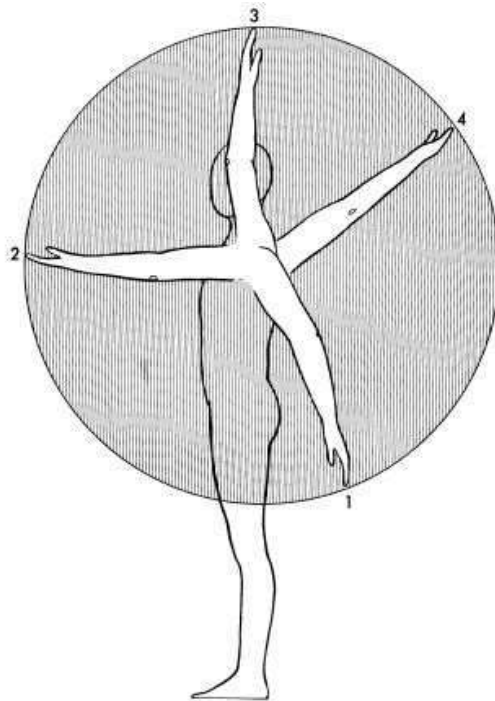
**Максимальний обсяг руху в плечовому суглобі у фронтальній площині за відсутності функції ключових м'язів зовнішніх та внутрішніх ротаторів**

Підгрупи м'язів SU	Ключові м'язи – зовнішні ротатори	Ключові м'язи – внутрішні ротатори	Обсяг руху, позиції (Рис.1.5)	
Скапулогумеральна	1. Задня порція дельтоподібного 2. Надостьовий 3. Підостьовий	1. Передня порція дельтоподібного	1-3	1-4
Аксіогумеральна		1. Найширший спини 2. Великий круглий		1-2

**1.2.1.4.2. Максимальний обсяг руху в плечовому суглобі в сагітальній площині**

У нормі траєкторія руху в плечовому поясі у сагітальній площині, яку формує верхня кінцівка, нагадує коло (Рис. 1.6). Вихідне положення кінцівки відповідає фізіологічному: плече розташоване в положенні нейтральної внутрішньої ротації, передня поверхня ліктьового суглоба розвернута вперед (позиція 1). Елевація верхньої кінцівки чи згинання в плечовому суглобі з позиції 1 до позиції 3 (Рис. 1.6) забезпечується передньою порцією дельтоподібного м'яза, двоголовим м'язом плеча, дзьобо-плечовим м'язом і ключичною порцією великого грудного м'яза. М'язи ротаторної манжети відіграють роль стабілізаторів голівки плечової кістки. Під час елевації верхньої кінцівки у фронтальній площині МОР визначається переважно мобільністю плечового суглоба та ротаційним рухом лопатки догори щодо грудної клітки. Подальша елевація верхньої кінцівки від 30 ° до 180 ° зумовлена

як рухом у плечовому суглобі, так і ротацією лопатки у співвідношенні 2:1, чи від  $100^\circ$  до  $50^\circ$ . Із позиції 3 (максимальної елевації) низхідний рух верхньої кінцівки забезпечується задньою порцією дельтоподібного м'яза, довгою голівкою триголового м'яза, найширшим м'язом спини та великим грудним м'язом. Рух верхньої кінцівки у задньому півколі МОР у сагітальній площині можливий завдяки почерговій зміні внутрішньої та зовнішньої ротації для надання кінцівці нейтрального кінцевого положення. При досягненні кінцівкою нейтрального положення рух у задньому півколі забезпечується переважно розгинанням у плечовому суглобі, участь в якому беруть усі зазначені м'язи за винятком великого грудного. Загальний обсяг розгинання не перевищує  $60^\circ$  і забезпечується переважно дією гравітаційної сили та ротацією лопатки донизу.



**Рис. 1.6. МОР у плечовому суглобі в сагітальній площині** (інтервали між позиціями 3 і 4 та 4 і 1 потребують ротації плеча) [213]

Дані щодо впливу втрати функції ключових м'язів зовнішніх та внутрішніх ротаторів на максимальний МОР в плечовому суглобі у сагітальній площині наведено в табл. 1.2.

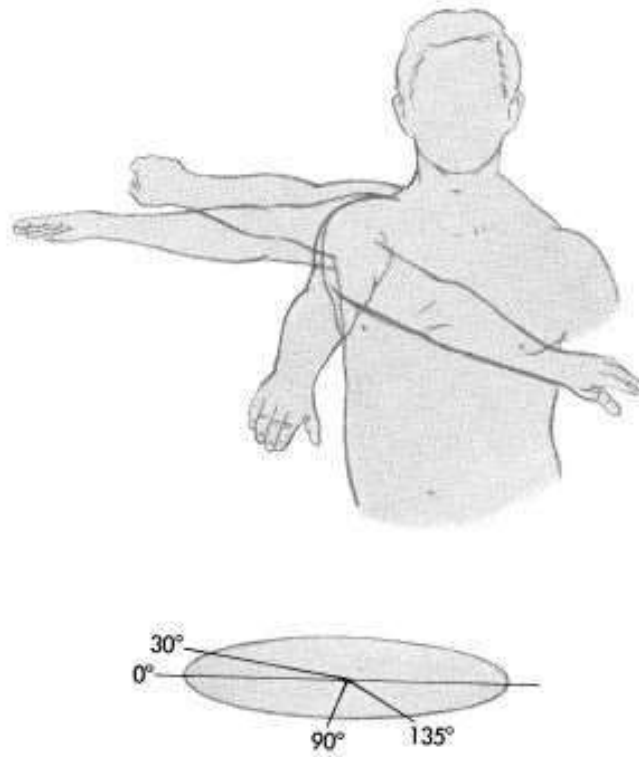
Таблиця 1.2

**Максимальний обсяг руху в плечовому суглобі в сагітальній площині за відсутності функції ключових м'язів зовнішніх і внутрішніх ротаторів**

Підгрупи м'язів SU	Ключові м'язи – зовнішні ротатори	Ключові м'язи – внутрішні ротатори	Обсяг руху, позиції (Рис.1.6)	
Скапулогумеральна	1. Задня порція дельтоподібного 2. Надостьовий 3. Підостьовий	1. Передня порція дельтоподібного	1-3	1-3
Аксіогумеральна		1. Найширший спини 2. Великий круглий		1-4

**1.2.1.4.3. Максимальний обсяг руху у плечовому суглобі в горизонтальній площині**

Максимальний обсяг руху верхньої кінцівки у горизонтальній площині забезпечується чотирма основними рухами в плечовому суглобі: зовнішньою та внутрішньою ротацією, згинанням і розгинанням у плечовому суглобі [213]. Здатність до ротаторного переміщення плеча в горизонтальній площині потребує певного вихідного положення – елевації (відведення) верхньої кінцівки до  $90^\circ$  у фронтальній площині та нейтральної ротації. За фізіологічної норми МОР становить  $165^\circ$ . Максимальний обсяг руху найбільш дистальної точки верхньої кінцівки нагадує неповне коло (Рис. 1.7). Переміщення верхньої кінцівки в зовнішню (щодо фронтальної площини) частина траєкторії руху відбувається в межах лише  $30^\circ$  та супроводжується  $90^\circ$  зовнішньою ротацією (Рис. 1.7). Переміщення верхньої кінцівки у внутрішню частину траєкторії руху відбувається в межах  $135^\circ$  та супроводжується  $70^\circ$  внутрішньою ротацією.



**Рис. 1.7. МОР плеча в горизонтальній площині [213]**

#### **1.2.1.5. Порівняння кількісних показників ефективного та «істинного» максимального обсягу рухів**

Виконання більшості основних видів АЩД [196] уперед від фронтальної площини тулуба не потребує використання максимального елеваційного потенціалу (істинний максимальний обсяг руху – іМОР) плечового суглоба (Табл. 1.3). Різниця між іМОР та ефМОР – близько 80 °.

Таблиця 1.3

**Кількісні показники ефективного (ефМОР) та істинного максимального  
обсягу рухів (іМОР) у плечовому суглобі при виконанні різних видів  
активної щоденної діяльності [196]**

Вид АЩД	Кут елевації в плечовому суглобі (пікові показники)		іМОР*	Ротація в плечовому суглобі (пікові показники)		іМОР**
	уперед щодо тулуба	назад щодо тулуба		зовнішня	внутрішня	
Зняття коробки з полиці (на рівні голови)	+108 °	—	+ 180 °	55 °	—	60 °
Використання дезодоранту	+ 107 °	—	+ 180 °	53 °	—	60 °
Пиття з кухля	+ 71 °	—	+ 180 °	53 °	—	60 °
Підняття коробки з землі	+ 69 °	—	+ 180 °	45 °	3 °	60 °/80 °
Заведення руки в задню кишеню	—	- 65°	- 60 ... - 70 °	53 °	79 °	60 °/80 °
Натягування штанів	—	- 57°	- 60 ... - 70 °	—	79 °	80 °
Гігієна промежини	—	- 46°	- 60 ... - 70 °	—	65 °	80 °

*Примітка.* \* – елевація у плечовому суглобі відповідає руху в плечовому суглобі в сагітальній площині, показники із знаком «+» – обсягу рухів у передньому півколі іМОР, із знаком «-» – обсягу рухів у нижньому квадранті заднього півкола іМОР;

\*\* – обсяг ротаційного руху в плечовому суглобі при вихідному нейтральному положенні кінцівки чи елевації в нейтральному положенні.

Можна стверджувати, що забезпечення ключовими м'язами (КлМ) згинання (елевації в сагітальній площині) у плечовому суглобі до кута близько  $100^\circ$  є характеристикою *ефективного руху* (ЕфРх).

Виконання АЩД назад від фронтальної площини тулуба потребує залучення максимального потенціалу м'язів-розгиначів у плечовому суглобі. Різниця між іМОР та ефМОР не перевищує  $5 - 10^\circ$ . Можна стверджувати, що забезпечення КлМ розгинання (негативної елевації в сагітальній площині) у плечовому суглобі в межах іМОР є характеристикою ЕфРх. Виконання АЩД із залученням ротаційних рухів у плечовому суглобі також потребує залучення максимального потенціалу м'язів-ротаторів (зовнішніх і внутрішніх). Різниця між іМОР та ефМОР для зовнішньої та внутрішньої ротації не перевищує  $5^\circ - 10^\circ$ . Можна стверджувати, що забезпечення КлМ м'язами ротаційних рухів у плечовому суглобі в межах іМОР є характеристикою ЕфРх.

### **1.2.2. Кінезіологічна характеристика функції ключових м'язів «ELBOW UNIT»**

Структура та функція м'язів EU, які забезпечують (за фізіологічної норми) функцію ліктьового суглоба, значно простіші порівняно з м'язами SU, хоча вони мають унікальну спеціалізацію [195]. Скелетний кістяк EU складається з двох суглобів, кожен з яких має певну функціональну здатність: ліктьовий суглоб, структура якого забезпечує згинальний і розгинальний рух, та верхній радіо-ульнарний суглоб, що регулює пронацію та супінацію передпліччя й кисті. Розташування та кріплення м'язів, що формують EU й забезпечують його функцію, дають змогу максимально ефективно використовувати багатоплощинність ліктьового суглоба незалежно від вихідного положення передпліччя та кисті. Усі м'язи, які належать до комплексу EU, можна характеризувати як такі, що перетинають ліктьовий суглоб і кріпляться або ні до кісток передпліччя. Основною характеристикою



м'язів EU є здатність згинати та розгинати верхню кінцівку в ліктьовому суглобі [195].

До м'язів EU належать: двоголовий м'яз плеча, плечопроменевий м'яз, круглий пронатор, триголовий м'яз плеча і ліктьовий м'яз. Супінатор передпліччя також належить до м'язів EU, хоча він не забезпечує згинання та розгинання в ліктьовому суглобі. Його головною функцією є забезпечення руху у верхньому радіо-ульнарному суглобі [195].

### **1.2.2.1. М'язи, що забезпечують згинання в ліктьовому суглобі та ротацію верхнього радіо-ульнарного суглоба**

Чинниками, що впливають на ефективність м'яза-згинача, є: розміри м'язу, кут, за якого він здатний згенерувати максимальну силу, ступінь залучення в згинання тощо. Незважаючи на те, що згинання в ліктьовому суглобі забезпечують чотири м'язи (двоголовий м'яз плеча, плечопроменевий м'яз, плечовий м'яз, круглий пронатор передпліччя), кожен із них певною мірою може (зокрема при втраті функції) вплинути на ефективність згинання.

Розмір фізіологічного поперечного перерізу (ФПП) – це співвідношення кількості та розмірів м'язових волокон, тому цей показник є основним індикатором потенціалу м'яза генерувати силу при скороченні. Що більше ФПП, то більший потенціал до генерації сили. У плечового м'яза ФПП становить від 5,5 до 8,0 см<sup>2</sup>, у двоголового м'яза плеча – 4,5 см<sup>2</sup>, у круглого пронатора передпліччя – 4,0 см<sup>2</sup>, у плечово-променевого м'яза – 1,3 см<sup>2</sup> [215-219]. Крім того, механічна потужність м'яза залежить від моменту сили та довжини м'яза. Момент сили розраховують за формулою:  $M = F \cdot r$ , де  $F$  – сила скорочення м'яза,  $r$  – радіус-вектор.

Плечово-променевий м'яз має найбільший момент сили, друге і третє місця посідають двоголовий м'яз плеча та плечовий м'яз [220, 221]. Круглий пронатор передпліччя володіє найменшим моментом сили [219, 221].

Незважаючи на те, що плечовий м'яз є найбільшим із згиначів, його плече сили є значним біомеханічним недоліком.

Біомеханічні моделі припускають, що плечовий та двоголовий м'язи плеча роблять найбільший внесок у генерування згинального моменту сили при згинанні в ліктьовому суглобі із нейтрального положення [219, 222]. Комп'ютерні моделі припускають, що максимальний момент сили може змінюватися залежно від екскурсії в ліктьовому суглобі: кута згинання/розгинання в ліктьовому суглобі, пронації/супінації передпліччя тощо [216, 220–223]. Момент сили всіх згиначів досягає максимуму в другій половині МОР. Так, максимальний момент сили двоголового м'яза плеча генерується при згинанні в ліктьовому суглобі від  $90^\circ$  до  $100^\circ$  [220, 223]. Для плечового м'яза пік моменту сили досягається при  $90^\circ$  згинання у ліктьовому суглобі [220, 223]. Максимальний момент сили круглого пронатора передпліччя генерується м'язом вже при  $75^\circ$  згинання в ліктьовому суглобі, плечово-променевого м'яза – при згинанні від  $100^\circ$  до  $120^\circ$  [220, 223].

Довжина м'язових волокон також суттєво впливає на обсяг екскурсії в ліктьовому суглобі, спричиненої скороченням м'яза. Так, за однакової довжини вкорочення м'язових волокон м'яз із коротким плечем сили може забезпечити більший обсяг екскурсії, ніж м'яз із довгим плечем сили. Двоголовий м'яз плеча та плечово-променевий м'яз завдяки наявності в їхній структурі волокон різної довжини здатні забезпечити активний згинальний рух в ліктьовому суглобі в межах усього МОР [219].

Електрофізіологічна активність чотирьох первинних м'язів-згиначів у ліктьовому суглобі представлена на рис. 1.8.

	1	2	3	4
BRACHIALIS	++	++	++	+++
BICEPS	+	+	- to ±	+++
BRACHIORADIALIS	+	++	+	++
PRONATOR TERES	-	-	-	++

**Рис. 1.8.** Електрофізіологічна активність чотирьох первинних м'язів-згиначів у ліктьовому суглобі залежно від вихідного положення передпліччя та навантаження на вісь кінцівки [213]:

1 – згинання в положенні супінації передпліччя без опору; 2 – згинання із вихідного нейтрального положення «передпліччя» без опору; 3 – згинання в положенні пронації передпліччя без опору; 4 – згинання в положенні супінації з вісьовим навантаженням; «+++» – максимальна активність; «++» – середній рівень активності; «+» – мінімальний рівень активності; «-» – активність відсутня

Залежність від вихідного положення передпліччя та навантаження на вісь кінцівки суттєво впливає на максимальну активність м'язів-згиначів [224–229]. Плечовий м'яз є основним згиначем у ліктьовому суглобі, двоголовий м'яз плеча – «резервний» м'яз-згинач, який відіграє роль основного м'яза-згинача супінованого передпліччя, особливо коли необхідно протидіяти опору – підняти вантаж. Активність двоголового м'яза плеча зменшується до мінімуму при вихідній позиції передпліччя в положенні максимальної пронації [213].

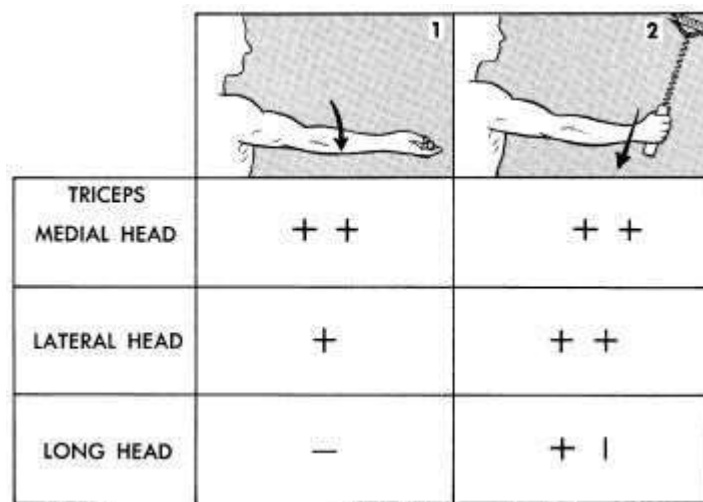
Анатомо-фізіологічна структура та електрофізіологічні характеристики м'язів-згиначів дають змогу припустити, що функція плечового м'яза та двоголового м'яза плеча найбільше відповідають вимогам до генерації максимального моменту сили для забезпечення ефективного згинання в ліктьовому суглобі [213].

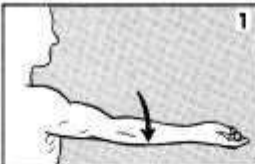
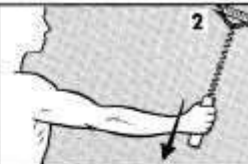
**Ключові м'язи:** плечовий м'яз, двоголовий м'яз плеча (іннервація – *n. musculocutaneus*).

### 1.2.2.2. М'язи, що забезпечують розгинання в ліктьовому суглобі

*Триголовий м'яз плеча* є первинним розгиначем у ліктьовому суглобі, виповнюючи всю задню поверхню плеча. Роль триголового м'яза плеча в розгинанні в ліктьовому суглобі є беззаперечною. На відміну від його антагоніста він здатний забезпечувати лише розгинання, не впливаючи на пронацію чи супінацію передпліччя. М'яз складається із трьох голівок: зовнішньої, внутрішньої та довгої, з яких лише остання теоретично може впливати на проксимально розташований плечовий суглоб (проксимальна точка кріплення – інфрагленоїдальний горбок). Черговість залучення кожної із голівок триголового м'яза плеча в процес розгинання в ліктьовому суглобі дуже варіабельна [226, 230]. Деякі дослідники вважають, що у міру збільшення опору розгинанню в ліктьовому суглобі по черзі активуються внутрішня, зовнішня та довга голівки [226, 230], інші автори заперечують це на підставі одночасної активації всіх голівок при вивченні їхніх електрофізіологічних показників [231]. Вважають, що саме внутрішня голівка триголового м'яза відповідає за генерацію розгинального моменту сили [232]. Як і у випадку згинання в ліктьовому суглобі, максимальний момент сили досягається в середній фазі МОР. За одними даними, пік моменту сили настає при 90 ° згинанні [225, 233], за іншими – при наближенні до 70 ° згинання в ліктьовому суглобі [234]. Незважаючи на те, що більшість дослідників вважають саме довгу голівку головним розгиначем у ліктьовому суглобі, є невелика кількість робіт, в яких з

різним ступенем доказовості підтверджено цей факт [235–238]. Однак, у низці досліджень електрофізіологічної активності голівок триголового м'яза плеча [213] встановлено, що розгинання передпліччя без опору забезпечується переважно внутрішньою голівкою (Рис. 1.9). Розгинання передпліччя із опором потребує застосування моментів сили всіх трьох голівок із різним ступенем залучення (Рис. 1.9).



		
TRICEPS MEDIAL HEAD	++	++
LATERAL HEAD	+	++
LONG HEAD	—	+

**Рис. 1.9.** Електрофізіологічна активність голівок триголового м'яза плеча при розгинанні передпліччя із/без навантаження на вісь кінцівки [213]: 1 – розгинання передпліччя без опору, внутрішня голівка відіграє роль основного розгинача; 2 – розгинання передпліччя з опором; «+++» – максимальна активність; «++» – середній рівень активності; «+» – мінімальний рівень активності; «—» – активність відсутня

З огляду на відсутність «допоміжних» м'язів, які можуть забезпечити розгинання в ліктьовому суглобі, функціонування триголового м'яза плеча або принаймні зовнішньої голівки, активність якої виявляється при дії та поза дією опору, є мінімально необхідною умовою розгинання передпліччя.

**Ключові м'язи:** довга та зовнішня голівки триголового м'яза плеча (іннервація – *n. radialis*).

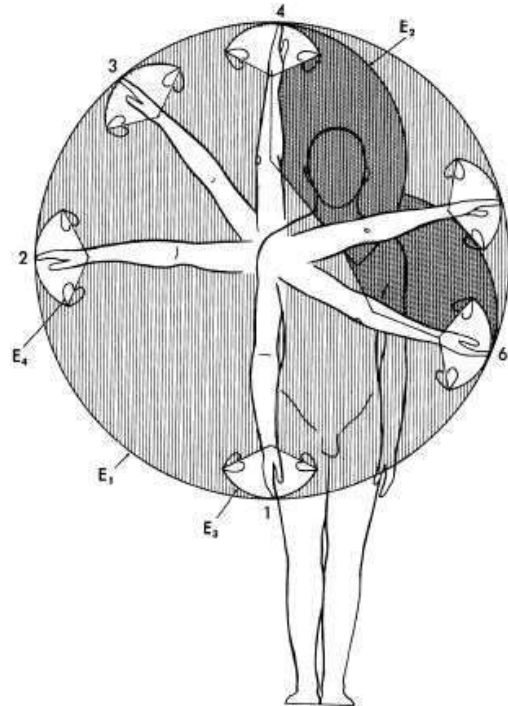
### **1.2.2.3. Функція ключових м'язів «ELBOW UNIT» при забезпеченні ефективних рухів у плечовому поясі**

Максимальний обсяг руху в ліктьовому суглобі формує власну траєкторію руху в тривимірному просторі при виконанні МОР у плечовому поясі. Обсяг руху в ліктьовому суглобі змінюється залежно від вихідної чи проміжних позицій плечового суглоба, інтегральна взаємодія яких суттєво розширює функціональні можливості верхньої кінцівки.

#### **1.2.2.3.1. Динамічне співвідношення між обсягом руху в ліктьовому та плечовому суглобах при виконанні максимального обсягу руху останнім у фронтальній площині**

При вихідному положенні всіх суглобів, наближеному до фізіологічного, елевація верхньої кінцівки від позиції 1 через позицію 2, 3 до позиції 4 унеможлиблює виконання рухів у ліктьовому суглобі у фронтальній площині [213] (Рис. 1.10). Крім того, навіть зміна зовнішньої на внутрішню ротацію плеча між позиціями 3 і 4 для досягнення верхньою кінцівкою положення максимальної елевації не дає змоги виконувати рух у фронтальній площині (Рис.1.10), тому ефективне використання МОР ліктьового суглоба в зовнішній частині півкола неможливе [213]. У положенні максимальної елевації плеча (наближеному до нейтрального) МОР ліктьового суглоба не обмежений (Рис.1.10). Незважаючи на можливість проходження верхньою кінцівкою траєкторії між позиціями 4 та 5 завдяки внутрішній ротації плеча, саме вона не дає змоги ефективно використати функціональні можливості ліктьового суглоба – будь-який рух у фронтальній площині в позиції 5 відсутній [213]. Зовнішня ротація плеча між позиціями 5 та 6 повертає функціональну ефективність ліктьовому суглоба – МОР набуває максимальних значень (Рис.1.10). Оскільки для проходження останнього відрізка траєкторії руху у внутрішній частині півкола необхідне продовження

зовнішньої ротації плеча, її надлишковість унеможливорює рух ліктьового суглоба у фронтальній площині (Рис.1.10).



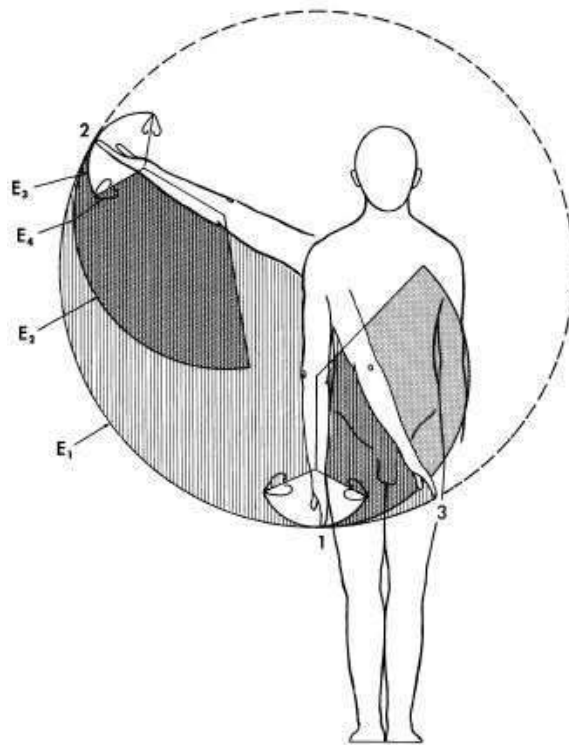
**Рис. 1.10.** Динамічне співвідношення між обсягом руху в ліктьовому та плечовому суглобах, при виконанні МОР останнім у фронтальній площині [213]:  $E_1$  – траєкторія руху в плечовому суглобі;  $E_2$  – траєкторія руху в ліктьовому суглобі;  $E_3$  – траєкторія руху в променево-зап'ястковому суглобі;  $E_4$  – траєкторія руху в суглобах пальців кисті.

Надлишкова внутрішня ротаторна установка плеча (симуляція відсутності функції КлМ, що забезпечують зовнішню ротацію плеча), не спричиняє обмежень щодо виконання МОР у ліктьовому суглобі в межах нижнього квадранта внутрішнього півкола МОР плечового суглоба між позиціями 6 та 1 [213] (Рис.1.10).

Значним негативним наслідком дисфункції зовнішніх ротаторів плеча є неможливість виконання будь-яких ефективних рухів у ліктьовому суглобі (у

фронтальній площині) у межах зовнішнього півкола МОР плечового суглоба та обмеження МОР власне плеча: дисфункція структур плечового поясу призводить до порушення функціональної спроможності структур ділянки ліктьового суглоба.

Повноцінне використання функціональних спроможностей верхньої кінцівки при виконанні МОР у плечовому та ліктьовому суглобах назад щодо тулуба (на задній поверхні голови, ший, протилежній лопатці та в сідничній ділянці) також значною мірою залежить від ефективної функції зовнішніх і внутрішніх ротаторів плеча (Рис. 1.11).

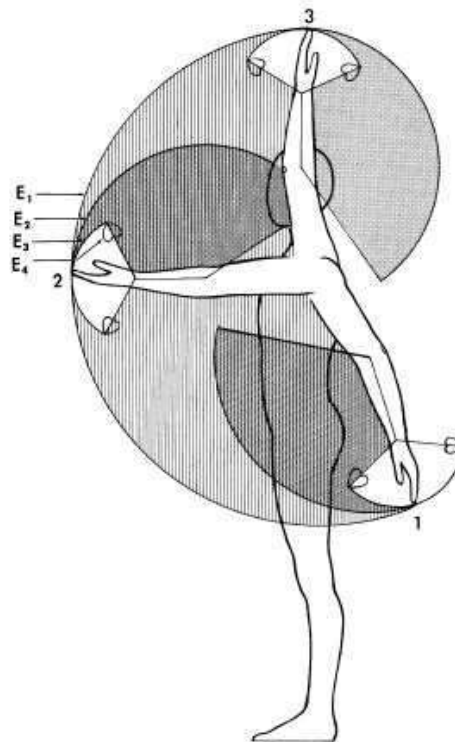


**Рис. 1.11. Рухи верхньої кінцівки у фронтальній площині дозад від тулуба [213]:** E<sub>1</sub> – траєкторія руху в плечовому суглобі; E<sub>2</sub> – траєкторія руху в ліктьовому суглобі; E<sub>3</sub> – траєкторія руху в променево-зап'ястковому суглобі; E<sub>4</sub> – траєкторія руху в суглобах пальців кисті  
Виконання МОР у ліктьовому суглобі потребує внутрішньої (позиція 1 та 3) і зовнішньої ротації плеча (позиція 2).



### 1.2.2.3.2. Динамічне співвідношення між обсягом руху в ліктьовому та плечовому суглобах при виконанні максимального обсягу руху останнім у сагітальній площині

Розкриття МОР у ліктьовому суглобі при елевації верхньої кінцівки у сагітальній площині потребує постійної зовнішньої ротації плеча [213]. В інших випадках при нейтральному вихідному чи внутрішньо ротованому плечі виконання жодних рухів у ліктьовому суглобі неможливе. (Рис. 1.12). Будь-які рухи в ліктьовому суглобі в межах верхнього та нижнього квадрантів заднього півкола МОР у плечовому суглобі неефективні [213]. Використання верхньої кінцівки назад щодо тулуба потребує зміни траєкторії руху із фронтальної площини на сагітальну.



**Рис. 1.12.** Динамічне співвідношення між обсягом руху в ліктьовому та плечовому суглобах при виконанні МОР останнім у сагітальній площині [213]:  
 E<sub>1</sub> – траєкторія руху в плечовому суглобі; E<sub>2</sub> – траєкторія руху в ліктьовому суглобі; E<sub>3</sub> – траєкторія руху в променево-зап'ястковому суглобі; E<sub>4</sub> – траєкторія руху в суглобах пальців кисті

#### 1.2.2.4. Порівняння кількісних показників ефективного та «істинного» максимального обсягу рухів

Виконання більшості основних видів АЩД [196] не потребує використання максимального згинального потенціалу (іМОР) ліктьового суглоба (Табл. 1.4). Різниця між іМОР та ефМОР за деяких видів активності становить близько  $50^\circ$  (див. Табл. 1.4). Можна стверджувати, що здатність забезпечити КлМ згинання у ліктьовому суглобі до кута близько  $100^\circ$  є характеристикою *ефективного руху* (ЕфРх).

Для виконання більшості основних видів АЩД [196] не потрібно використовувати максимальний пронаційний потенціал (іМОР) верхнього радіо-ульнарного суглоба (Табл. 1.4). Різниця між іМОР та ефМОР за деяких видів активності становить близько  $50^\circ$  (Табл.1.4), тому роль м'язів-пронаторів у забезпеченні ротаційного руху є мінімальною. Для забезпечення ЕфРх пронації передпліччя роль ключових можуть відігравати будь-які м'язи, дія моменту сили яких паралельна пронаторному руху, та м'язи, точкою проксимальної фіксації яких є внутрішній надвиросток плечової кістки.

Виконання більшості основних видів АЩД [196] не потребує використання максимального супінаційного потенціалу (іМОР) верхнього радіо-ульнарного суглоба (Табл. 1.4). Різниця між іМОР та ефМОР за деяких видів активності перевищує  $65^\circ$  (Табл. 1.4). Для забезпечення ЕфРх супінації передпліччя роль ключових можуть відігравати м'язи, що забезпечують згинання в ліктьовому суглобі. Активність згиначів у ліктьовому суглобі при виконанні основних видів АЩД через анатомічні особливості їх дистальних точок кріплення спричиняє супінацію передпліччя – супінацію у верхньому радіо-ульнарному суглобі.

Таблиця 1.4

**Кількісні показники ефективного та істинного максимального обсягу руху в ліктьовому та верхньому радіо-ульнарному суглобах при виконанні різних видів активної щоденної діяльності [196]**

Вид АЩД	Згинання в ліктьовому суглобі (пікові показники)	іМОР	Ротація передпліччя (пікові показники)		іМОР*
			Пронація	Супінація	
Зняття коробки з полиці (на рівні голови)	120 °	+145 °	4 °	38 °	62 ° / 104 °
Використання дезодоранту	104 °	+145 °	8 °	28 °	62 ° / 104 °
Пиття з кувала	121 °	+145 °	6 °	22 °	62 ° / 104 °
Підняття коробки із землі	81 °	+145 °	—	36 °	62 ° / 104 °
Заведення руки в задню кишеню	101 °	+145 °	3 °	32 °	62 ° / 104 °
Натягування штанів	98 °	+145 °	13 °	24 °	62 ° / 104 °
Гігієна промежини	107 °	+145 °	—	53 °	62 ° / 104 °

*Примітка.* \* – іМОР у верхньому радіо-ульнарному суглобі (пронація/супінація передпліччя).

### 1.2.3. Кінезіологічна характеристика функції ключових м'язів «HAND AND WRIST UNIT»

#### 1.2.3.1. Функція ключових м'язів «HAND AND WRIST UNIT» при забезпеченні ефективних рухів променево-зап'ясткового суглоба кисті, динамічний баланс

Променево-зап'ястковий суглоб виконує роль універсального суглоба [213]. Траєкторія МОР у променево-зап'ястковому суглобі нагадує сферу (Рис. 1.13), що дає змогу виконувати рухи в ньому без допомоги пальців. Променево-зап'ястковий суглоб забезпечує згинання, розгинання, латеральні девіації та бере мінімальну участь у супінації та пронації. В середньому обсяг згинання/розгинання в променево-зап'ястковому суглобі становить  $121^\circ$  (мінімальний обсяг –  $84^\circ$ , максимальний –  $169^\circ$ ). В середньому обсяг розгинання становить  $55^\circ$  (від  $31^\circ$  до  $79^\circ$ ), згинання –  $66^\circ$  (від  $38^\circ$  до  $120^\circ$ ) [213].

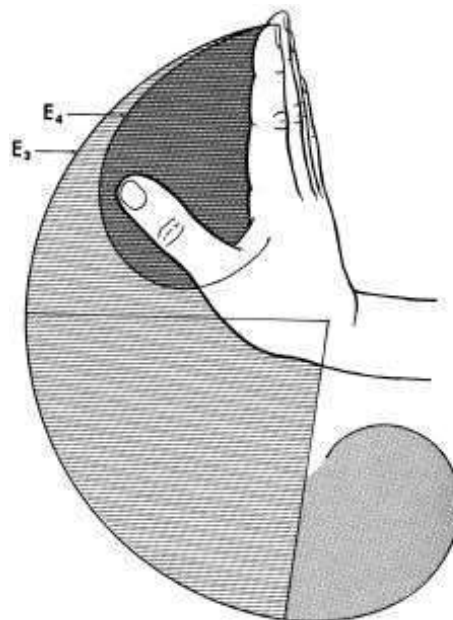


Рис. 1.13. МОР і траєкторія руху кисті (E<sub>3</sub>) та пальців (E<sub>4</sub>) при згинанні/розгинанні в променево-зап'ястковому суглобі [213]

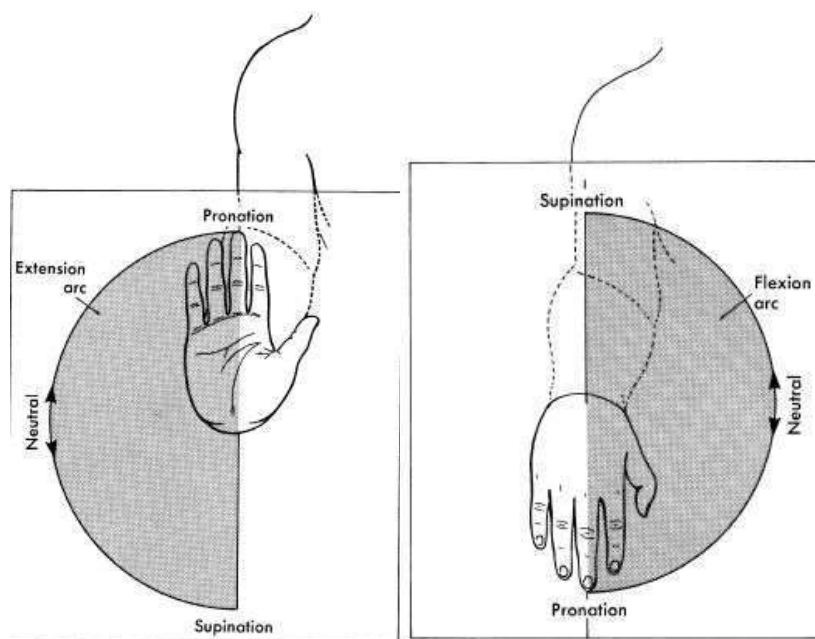
Середньозап'ястковий суглоб відповідає приблизно за 33,5 % МОР розгинання у променево-зап'ястковому суглобі, променево-зап'ястковий – за решту [239].

**Ключові м'язи-розгиначі** в променево-зап'ястковому суглобі: **довгий і короткий променеві розгиначі кисті, ліктьовий розгинач кисті** (іннервація – *n. radialis*) [213].

При згинанні в променево-зап'ястковому суглобі середньозап'ястковий суглоб відповідає приблизно за 60 % МОР, променево-зап'ястковий – за решту [239].

**Ключові м'язи-згиначі** в променево-зап'ястковому суглобі: **променевий згинач кисті** (іннервація – *n. medianus*), **ліктьовий згинач кисті** (іннервація – *n. ulnaris*) [213].

Комбінація розгинання та пронації/супінації в променево-зап'ястковому суглобі дає змогу кисті рухатися по траєкторії в межах зовнішнього півкола МОР, так само, як і комбінація згинання та ротації в променево-зап'ястковому суглобі дозволяє кисті рухатись по траєкторії у межах *зовнішнього* чи *внутрішнього* півкола МОР (Рис. 1.14).



**Рис. 1.14.** МОР у межах зовнішнього та внутрішнього півкіл траєкторій руху при згинанні та розгинанні в променево-зап'ястковому суглобі [213]

У середньому загальний обсяг латеральної девіації кисті становить 40 °, з них близько 30 ° припадає на рух кисті в напрямку ліктьової кістки, близько 15 ° – на рух у напрямку променевої кістки [213]. Обсяг ульнарної девіації значно більший при супінації передпліччя [213].

**Ключові м'язи, що забезпечують радіарну девіацію кисті: довгий та короткий розгиначі I пальця, довгий і короткий променеві розгиначі кисті [213].**

**Ключові м'язи, що забезпечують ульнарну девіацію кисті: ліктьовий розгинач кисті (іннервація – *n. radialis*), ліктьовий згинач кисті (іннервація – *n. ulnaris*) [213].**

З огляду на особливості використання дистальних відділів верхньої кінцівки при виконанні повсякденної діяльності, встановлено, що в більшості випадків розгинання в променево-зап'ястковому суглобі потребує радіарної девіації, а згинання – ульнарної девіації [213]. Вісь динамічної стабільності розташована ні в площині долоні чи в площині, перпендикулярній їй. М'язи, що впливають на променево-зап'ястковий суглоб, стабілізують і приводять його в рух по діагоналі.

### **1.2.3.2. Функція ключових м'язів «HAND AND WRIST UNIT» при забезпеченні ефективних рухів у дистальних суглобах кисті, динамічний баланс**

Усі м'язи, що перетинають суглоб, особливо декілька суміжних суглобів, перебувають у динамічній рівновазі. Лише синергічна робота м'язів для забезпечення різнонаправлених одноплощинних чи багатоплощинних рухів здатна забезпечити максимальну ефективність рухів у всіх суглобах. Наприклад, скорочення згиначів пальців спричиняє згинання у променево-зап'ястковому, п'ястково-фалангових, дистальних та проксимальних

міжфалангових суглобах, в той самий час м'язи задньої поверхні передпліччя (розгиначі) намагаються забезпечити динамічну стабільність шляхом розгинання в зазначених суглобах [195]. Спроба сформувати «кулак» (максимально закрита позиція згиначів пальців) на тлі максимального згинання в променево-зап'ястковому суглобі найчастіше буває неефективною, спричиняє значні дискомфортні відчуття як на тильній, так і на долонній поверхні кисті [195]. Та навпаки, досить важко забезпечити максимальне розгинання в п'ястково-фалангових суглобах на тлі максимального розгинання в променево-зап'ястковому суглобі [195]. Два чинники відповідають за розвиток цього феномену [195]. По-перше, необхідність скорочення м'язів-агоністів (щодо напрямку руху) при їх найменшій довжині призводить до їх *активної неефективності* [195], тобто нездатності м'яза скоротитися на достатню довжину, щоб забезпечити МОР у відповідному суглобі. Кожний із м'язів має певну максимальну здатність до скорочення, зумовлену довжиною м'язових волокон. Наприклад, якщо м'яз забезпечує згинання в кожному із суглобів, які перетинає, він досягає максимально можливого скорочення ще до виконання МОР у суглобах. По-друге, в момент активної неефективності м'язів-агоністів м'язи-антагоністи розтягуються, що призводить до їх *пасивної неефективності* [195], тобто нездатності забезпечити МОР у суглобі, зумовленої граничною еластичністю м'яких тканин. Наприклад, у міру згинання в променево-зап'ястковому та дистальних суглобах кисті м'які тканини м'язів-антагоністів розтягуються до певної межі (визначена еластичність м'язової та сухожилкової тканин), обмежуючи формування «кулака», і навпаки, розгиначі пальців є «активно неефективними» при розгинанні в променево-зап'ястковому суглобі, тоді як згиначі пальців є «пасивно неефективними» [195].

Саме тому біомеханічна функція м'язів, які первинно відповідають за рухи в променево-зап'ястковому суглобі, запобігання виникненню активної чи пасивної неефективності «зовнішніх» м'язів-згиначів/розгиначів пальців, що створює динамічний баланс і забезпечує максимально ефективні рухи в кисті та пальцях.

Формування «кулака» із застосуванням максимальної сили згиначів пальців спричиняє автоматичне розгинання в променево-зап'ястковому суглобі: розгиначі кисті протидіють згинальному моменту сили, що генерується згиначами пальців (Рис. 1.15) [213]. Динамічний баланс між м'язами, які беруть участь у розгинанні у променево-зап'ястковому суглобі, розгиначами та згиначами пальців реалізується так: при застосуванні помірної сили згиначів пальців (формування «м'якого кулака») розгиначі кисті одночасно підтримують достатню довжину як згиначів (запобігання активній неефективності), так і розгиначів пальців (запобігання пасивній неефективності), що дає змогу використати МОР при згинанні пальців (Рис. 1.15) [213].

	1	2
EXTENSOR CARPI RADIALIS BREVIS	+++	+++
EXTENSOR CARPI ULNARIS	++	+++
EXTENSOR CARPI RADIALIS LONGUS	+	+++

**Рис. 1.15.** Рівень активності ключових м'язів-розгиначів кисті в межах МОР у п'ястково-фалангових та міжфалангових суглобах [213]: 1 – формування «м'якого кулака»; 2 – формування «щільного кулака»; «+++» – максимальний рівень активності; «++» – середній рівень активності; «+» – мінімальний рівень активності

Згинання у променево-зап'ястковому суглобі (скорочення КЛМ-згиначів) спричиняє схожий ефект у м'язах-розгиначах у п'ястково-фалангових суглобах [195]. Динамічний баланс між м'язами, які беруть участь у розгинанні в променево-зап'ястковому суглобі, розгиначами та згиначами пальців виявляється таким чином: розгинальний момент сили, що генерується



розгиначами пальців, урівноважується згиначами кисті, підтримуючи достатню скоротливу довжину як розгиначів (запобігання активній неефективності), так і згиначів пальців (запобігання пасивній неефективності), що дає змогу використати МОР при розгинанні пальців (Рис. 1.16) [195].

	1	2
EXTENSOR CARPI ULNARIS	+++	+++
FLEXOR CARPI ULNARIS	+++	+++
EXTENSOR CARPI RADIALIS BREVIS PALMARIS LONGUS		++ ++
EXTENSOR CARPI RADIALIS LONGUS FLEXOR CARPI RADIALIS		+ +

**Рис. 1.16. Рівень активності ключових м'язів-згиначів кисті в межах МОР у п'ястково-фалангових та міжфалангових суглобах [213]**

1 – помірне розгинання в п'ястково-фалангових суглобах; 2 – максимальне розгинання в п'ястково-фалангових суглобах; «+++» – максимальний рівень активності; «++» – середній рівень активності; «+» – мінімальний рівень активності

Активне розгинання в променево-зап'ястковому суглобі спричиняє активну неефективність м'язів-розгиначів пальців, створюючи натяг у м'язах-згиначах пальців. Пасивне розташування кисті в положенні розгинання спричиняє розвиток подібного ефекту в м'язах-згиначах пальців [195]. Як активне, так і пасивне згинання в променево-зап'ястковому суглобі спричиняє активну неефективність у м'язах-згиначах пальців і створює натяг у м'язах-розгиначах пальців [195]. Пасивний вплив положення променево-зап'ясткового суглоба на довжину і натяг м'язів, що відповідають за рухи у п'ястково-фалангових суглобах (згиначі та розгиначі пальців) називається *тенодезом* [195]. Правильне використання явища *тенодезу* не лише корисне в

реабілітаційних заходах [195], а і допомагає при розробці хірургічних реконструктивних стратегій.

### 1.2.3.3. Порівняння кількісних показників ефективного та «істинного» максимального обсягу рухів

Виконання більшості основних видів АЩД [196] не потребує використання максимального згинального та розгинального потенціалу (іМОР) променево-зап'ясткового суглоба (Табл. 1.5). Різниця між іМОР та ефМОР за деяких видів активності наближається до  $50^\circ$  (Табл. 1.5). Для забезпечення *ефективного руху* (ЕфРх), згинання чи розгинання в променево-зап'ястковому суглобі роль ключових можуть виконувати будь-які м'язи, дія моменту сили яких направлена паралельно зазначеному руху.

Для виконання більшості основних видів АЩД [196] не має необхідності використовувати максимальний пронаційний потенціал (іМОР) верхнього радіо-ульнарного суглоба (Табл. 1.5). Різниця між іМОР та ефМОР за деяких видів активності становить близько  $50^\circ$  (Табл. 1.5), відповідно, роль м'язів-пронаторів у забезпеченні ротаційного руху є мінімальною. Для забезпечення ЕфРх і пронації передпліччя роль ключових можуть виконувати будь-які м'язи, дія моменту сили яких має паралельну направленість із пронаторним рухом, будь-які м'язи, точкою проксимальної фіксації яких є внутрішній надплечовий відросток.

Виконання більшості видів АЩД [196] потребує використовувати максимальний потенціал (іМОР) ульнарної девіації променево-зап'ясткового суглоба (Табл. 1.5). Загалом ефМОР ульнарної та радіарної девіації може суттєво збільшуватися при координації роботи із верхнім радіо-ульнарним суглобом. Так, супінація передпліччя може збільшити обсяг ульнарної девіації [213]. Слід зазначити, для забезпечення *ефективного руху* роль ключових можуть виконувати м'язи, що забезпечують згинання та розгинання в променево-зап'ястковому суглобі відповідного краю передпліччя.

Таблиця 1.5

**Кількісні показники ефективного та істинного максимального обсягу руху в променево-зап'ястковому суглобі при виконанні різних видів АЩД [196]**

Вид АЩД	Рухи у променево-зап'ястковому суглобі (пікові показники)		іМОР*	Девіація у променево-зап'ястковому суглобі (пікові показники)**		іМОР***
	Згинання	Розгинання		Радіарна	Ульнарна	
Зняття коробки з полиці (на рівні голови)	11 °	31 °	66 °/ 55 °	10 °	32 °	15 °/ 30 °
Використання дезодоранту	11 °	27 °	66 °/ 55 °	12 °	23 °	15 °/ 30 °
Пиття з кухля	8 °	33 °	66 °/ 55 °	11 °	23 °	15 °/ 30 °
Підняття коробки із землі	11 °	19 °	66 °/ 55 °	—	33 °	15 °/ 30 °
Заведення руки в задню кишеню	28 °	15 °	66 °/ 55 °	—	35 °	15 °/ 30 °
Натягування штанів	38 °	40 °	66 °/ 55 °	25 °	35 °	15 °/ 30 °
Гігієна промежини	34 °	38 °	66 °/ 55 °	28 °	38 °	15 °/ 30 °

*Примітка.* \* – іМОР у променево-зап'ястковому суглобі (згинання/розгинання);

\*\* – обсяг радіо-ульнарної девіації кисті може суттєво змінюватися при супінації та пронації передпліччя;

\*\*\* – іМОР у променево-зап'ястковому суглобі (радіарна/ульнарна девіація).

#### **1.2.4. Підсумок**

Ретельний аналіз кінезіологічних особливостей м'язів, що входять до складу основних комплексів верхньої кінцівки, дав змогу виділити ключові

структури (Табл.1.6), інтегральна функція яких здатна забезпечити ЕфРх верхньої кінцівки у тривимірному просторі при виконанні основних видів АЩД.

Незважаючи на істотну «примітивність» основних видів АЩД, ретельний аналіз біомеханічних вимог допоміг верифікувати КЛМ (необхідні для ефективного виконання завдань) і показав, що саме вони здатні найбільш переконливо підкреслити беззаперечну необхідність координованої функції всіх структур Shoulder Unit (SU), Elbow Unit (EU) та Hand and Wrist Unit (HWU).

Не існує жодних сумнівів, що відсутність функції м'язів, які не ввійшли до групи «ключових», може суттєво впливати на якість життя, особливо в тих випадках, коли АЩД передбачає виконання більш складних координаційних рухів. З іншого боку, виконання складніших рухів має супроводжуватися так званою підготовчою фазою («setting fase»), що приводить усі структури SU, EU, HWU у необхідне статичне положення чи дає їм змогу рухатися за правильною траєкторією в тривимірному просторі. За адекватність та ефективність «setting fase» відповідають саме ключові м'язи зазначених комплексів, забезпечуючи «базові рухи» чи «базові статичні положення» верхньої кінцівки. Створення фундаменту більш складних рухів і є ще однією задачею КЛМ ключових м'язів.

Таблиця 1.6

## Участь ключових м'язів у виконанні основних видів активної щоденної діяльності [196]

Вид АЩД	Кут елевації у плечовому суглобі (пікові показники)*		Ротація в плечовому суглобі (пікові показники)		Згинання в ліктьовому суглобі (пікові показники)	Ротація передпліччя (пікові показники)		Рухи в променево-зап'ястковому суглобі (пікові показники)		Девіація в променево-зап'ястковому суглобі (пікові показники)	
	Уперед щодо тулуба	Назад щодо тулуба	Зовнішня	Внутрішня		Пронація	Супінація	Згинання	Розгинання	Радіарна	Ульнарна
Зняття коробки з полиці (на рівні голови)	+ 108 °	—	55 °	—	120 °	4 °	38 °	11 °	31 °	10 °	32 °
Використання дезодоранту	+ 107 °	—	53 °	—	104 °	8 °	28 °	11 °	27 °	12 °	23 °
Пиття з кухля	+ 71 °	—	53 °	—	121 °	6 °	22 °	8 °	33 °	11 °	23 °
Підняття коробки із землі	+ 69 °	—	45 °	3 °	81 °	—	36 °	11 °	19 °	—	33 °
Заведення руки в задню кишеню	—	- 65 °	53 °	79 °	101 °	3 °	32 °	28 °	15 °	—	35 °
Натягування штанів	—	- 57 °	—	79 °	98 °	13 °	24 °	38 °	40 °	25 °	35 °
Гігієна промежини	—	- 46 °	—	65 °	107 °	—	53 °	34 °	38 °	28 °	38 °

*Примітка:* 1.1. – передня порція дельтоподібного м'яза; 1.2. – задня порція дельтоподібного м'яза; 2 – надостьовий м'яз; 3 – підостьовий м'яз; 4 – найширший м'яз; 5 – великий круглий м'яз; 6 – двоголовий м'яз плеча; 7 – плечовий м'яз; 8 – супінатор передпліччя; 9 – променевий згинач кисті; 10 – ліктьовий згинач кисті; 11 – довгий променевий розгинач кисті; 12 – короткий променевий розгинач кисті; 13 – ліктьовий розгинач кисті.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

*Дизайн дослідження:* представлена робота являє собою аналітичне контрольоване ретроспективне когортне одноцентрове дослідження.

*Гіпотеза дослідження:* селективна реіннервація є більш надійною, прогнозованою та універсальною методикою порівняно із традиційними хірургічними методами для відновлення ефективної функції ключових м'язів при ушкодженні нервів верхньої кінцівки.

*Критерії залучення в дослідження:* пацієнти без вікових обмежень; наявність верифікованого (клінічно, електрофізіологічно, рентгенологічно) ушкодження структур ПНС верхньої кінцівки; період післяопераційного спостереження – не менше 15 міс; пацієнти, яким як первинне реконструктивне хірургічне втручання застосовували метод невролізу, селективної невротизації або автологічної пластики ПС.

#### **2.1. Об'єкт дослідження**

Робота ґрунтується на ретроспективному аналізі результатів хірургічного лікування 203 пацієнтів із травматичними ушкодженнями (ТУ) структур плечового сплетення (ПС) у відділенні відновлювальної нейрохірургії із рентгеноопераційною ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А. П. Ромоданова НАМН України» за період з вересня 2013 до червня 2019 рр.

## 2.2. Методи дослідження

### 2.2.1. Загальна характеристика клінічних неврологічних, електрофізіологічних та рентгенологічних методів обстеження в доопераційний період

#### 2.2.1.1 Клініко-неврологічне обстеження

На етапі залучення в дослідження всім пацієнтам проводилась оцінка силових характеристик КЛМ рухових одиниць верхньої кінцівки – SU, EU, HWU (див. Розділ 1, підрозділ 1.2) за допомогою шкали Medical Research Council (MRC) Scale [241] (Табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Схема оцінки сили м'язу за шкалою MRC [241]

Градація	Характеристика
M0	Відсутність скорочення м'язу (повний параліч)
M1	Слабкі і рідкі скорочення м'язу, без ознак руху в суглобі
M2	Рухи при виключенні ваги кінцівки, сегменту кінцівки
M3	Рухи з подоланням ваги кінцівки, сегменту кінцівки
M4	Рухи з подоланням опору
M5	Нормальна сила

Оцінку характеру та вираженості чутливих порушень за шкалою MRC також проводили на дохірургічному етапі, але ні вихідні дані, ні дані, отримані протягом періоду спостереження за пацієнтом, не використано в дослідженні.

#### 2.2.1.2. Нейрофізіологічне обстеження

Для визначення рівня, ступеня та характеру ушкодження структур ПНС використовували нейрофізіологічні методи діагностики: стимуляційну електронейроміографію (сЕНМГ), голкову електронейроміографію (гЕМГ), соматосенсорі викликані потенціали (ССВП).

Нейрофізіологічні дослідження проводили на багатфункціональному комп'ютерному комплексі «Нейро-МВП-4» («Нейрософт», РФ). У кожному випадку дотримувалися загальноприйнятого протоколу проведення ЕНМГ [242–244]. Використовували однаковий спосіб отримання викликаної відповіді м'яза та нерва – шляхом електричної стимуляції ПН з визначенням амплітуди М-відповіді м'язів і латентності кожної відповіді, а також швидкості поширення збудження (ШПЗ) по моторних і сенсорних волокнах. Функцію сенсорних волокон нервів верхньої кінцівки оцінювали за провідністю від пальцевих нервів до рівня нижньої третини передпліччя: для серединного нерва – від 2-го пальця, для ліктьового нерва – від 5-го пальця, для променевого нерва – від 1-го пальця; на середній третині передпліччя досліджували латеральний і медіальний шкірні нерви.

Голкову ЕМГ проводили із використанням концентричного голкового електрода. Оцінювали: 1) інсертиційну активність під час занурення електрода, 2) спонтанну активність у стані спокою, розслаблення, 3) інтерференційну активність при довільному скороченні різної сили. Проводили аналіз часових та амплітудних показників 20 рухових одиниць, їх типологічний аналіз, оцінку відхилення середніх показників тривалості й амплітуди від норми, гістограми розподілу 20 потенціалів рухових одиниць (ПРО) за тривалістю. Розраховували відсоток поліфазних і політурнових потенціалів, визначали стадію денерваційно-реіннерваційного процесу. М'язи для дослідження обирали з урахуванням нейроанатомії КлМ.

За допомогою методики ССВП проводили реєстрацію потенціалу дії сенсорного нерва на дистальному відрізку при анестезії в зоні його іннервації за даними стимуляційної ЕНМГ та / або визначали відсутність компонентів ССВП.

### **2.2.1.3. Рентгенологічне обстеження**

Проводили мультипроєкційне рентгенологічне обстеження шії, плечового поясу та проксимальних відділів вільної верхньої кінцівки для



виявлення асоційованих із закритим типом Н-ТУ ПС і П-ТУ ПС переломів кісткових структур зазначених анатомічних ділянок, що потенційно могли бути додатковим травмувальним агентом структур ПНС. Функціональна мультипроекційна рентгенографія органів грудної клітки (вдих–видих) давала змогу виявити наявність іпсилатерального паралічу діафрагми, що було опосередкованою ознакою ушкодження діафрагмального нерва. Магнітно-резонансну томографію у T2-зваженому режимі шийного відділу хребта і структур спинномозкового каналу застосовували для виявлення аномального скупчення спинномозкової рідини у сформованих псевдоменингеоцеле, набряку спинного мозку за підозри на прегангліонарний тип (Рівень 1 за D.C.C. Chuang [15]) Н-ТУ ПС, наявності післятравматичних фіброзних змін, невром, набряку та ознак запалення – при постгангліонарному типі (Рівень 2-3 за D.C.C. Chuang [15]) Н-ТУ ПС.

Оскільки жодний із зазначених рентгенологічних методів під час дослідження не застосовували всім пацієнтам, залученим у дослідження відповідно до критеріїв залучення, дані, отримані за допомогою цих методів, не залучали в аналіз, а «позитивна» чи «негативна» інтерпретація результатів не впливала на загальний тренд вибору первинного хірургічного методу реконструкції в дослідженні.

## **2.2.2. Загальна характеристика первинних хірургічних реконструктивних втручань**

### **2.2.2.1. Зовнішній та внутрішній невроліз (реконструктивне втручання «Невроліз»)**

Невролізом структур ПНС при Н-ТУ ПС і П-ТУ ПС вважали звільнення анатомічно збережених нервових структур від оточуючих рубцевих тканин [5] як циркуферентно, так і в дистальному/проксимальному напрямку щодо рівня ушкодження (зовнішній невроліз). Внутрішній невроліз передбачав виконання

поздовжньої епіневротомії над максимально зміненою ділянкою нервової структури до появи типової волокнистої структури [5, 9]. Після проведення зовнішнього та/або внутрішнього невротізу виконували інтраопераційну стимуляцію струмом > 10 мА до отримання переконливого скорочення чи відсутності скорочення з урахуванням нейроанатомії відповідних КЛМ (супрамаксимальна стимуляція) [9].

З огляду на відсутність можливості проведення системного інтраопераційного моніторингу (кожному пацієнту із залучених у дослідження) поодинокі дані, отримані за допомогою зазначеного методу, не впливали на загальну тенденцію вибору первинного хірургічного методу реконструкції в дослідженні.

#### **2.2.2.2. Автологічна пластика (реконструктивне втручання «Автологічна пластика»)**

Методика проведення автологічної пластики при Н-ТУ ПС і П-ТУ ПС описана в численних літературних джерелах [5] та суттєво не відрізнялася в пацієнтів, залучених у дослідження. Єдиним суттєвим технічним недоліком при виконанні автологічної пластики за абсолютними показаннями [5, 8] була відсутність можливості визначити життєздатність проксимальної кукси (після освіження та наявності макроскопічно типової зернистої структури [9]) за допомогою морфологічних [245] і гістохімічних [246] методів.

#### **2.2.2.3. Селективна реіннервація – невротизація(реконструктивне втручання «Невротизація»). Анатомічні, фізіологічні та технічні вимоги - принципи**

Переміщення нервів (або невротизація) – це методика реконструктивного хірургічного втручання, що передбачає повернення функціональної спроможності лише дистальній частині ушкодженого ПН шляхом залучення

проксимальної частини іншого ПН зі збереженою функціональною спроможністю як донора тіла нейрона та його відростків-аксонів задля реіннервації дистального органу-ефектора, наприклад, м'яза чи груп м'язів [247]. Згідно з концепцією цієї методики хірургічного РВ слід жертвувати функцією менш важливого нерва-донора та м'яза-донора для забезпечення відновлення більш функціонально значущого нерва-реципієнта та м'яза-реципієнта [247].

*Анатомічні та фізіологічні принципи*, що лежать в основі невротизації досить прості: а) для відновлення чутливої функції використовують чутливий нерв-донор, а для відновлення ефективної рухової функції – нерв-донор із належною кількістю рухових волокон [247]; б) втрата функції нервом-донором чи м'язом-донором унаслідок денервації (забору донора) не має спричинити втрату важливої чи критичної функції [247].

*Технічні принципи*, спрямовані на досягнення максимального функціонального результату (ефективної функції): а) проводити забір нерва-донора якомога ближче до кінцевого органу-ефектора [247]; б) виконання прямого анастомозування між нервом-донором і нервом-реципієнтом без використання аутологічного трансплантату між ними [247]; в) використання нервів-донорів, первинна функція яких максимально подібна до бажаної функції нерва-реципієнта (агоністичні функції) задля полегшення процесу коркової реадаптації [247]; г) проводити невротизацію в якомога більш ранні терміни задля максимізації чи підвищення ефективного відновлення [247].

### **2.2.3. Оцінка результатів хірургічних втручань**

#### **2.2.3.1. Реабілітація в післяопераційний період**

Усі пацієнти отримали інструкції щодо відновлення пасивних рухів та необхідності дотримання стандартизованих реабілітаційних програм упродовж 3 міс після проведення первинного РВ. Реабілітаційні програми після

застосування РВ «Невроліз» і РВ «Автологічна пластика» були спрямовані на підтримання мобільності суглобів верхньої кінцівки в межах природного МОР. Реабілітаційні програми після проведення невротизації складали та проводили залежно від специфічних функцій, які первинно забезпечував нерв-донор. Пацієнти були проінструктовані щодо необхідності виконання специфічних рухових вправ як під наглядом лікаря-реабілітолога, так і самостійно в домашніх умовах.

### **2.2.3.2 Клініко-неврологічне та нейрофізіологічне обстеження**

Терміни очікування первинних ознак реіннервації, що супроводжувалась активною скоротливою функцією м'яза-реципієнта незалежно від його сили за шкалою MRC, відрізнялися в інтраплексусних та екстраплексусних нервів-донорів. Термін (під час усього періоду спостереження за пацієнтами), який відводили для реіннервації, становив 9 міс при виконанні РВ «Невротизація» із залученням інтраплексусних нервів-донорів та 12 міс – із залученням екстраплексусних.

Усім пацієнтам після проведення РВ «Невроліз» і РВ «Автологічна пластика» проводили неврологічний огляд, доповнений електрофізіологічним обстеженням (ЕНМГ) за стандартною методикою (див. Розділ 2, підрозділ 2.2.1.) через 6, 9 та 12 міс після первинного хірургічного втручання. Якщо реіннервації м'яза-реципієнта не відбулось (M0 за шкалою MRC) або реіннервація була неефективною (M2-3), то використовували можливості ортопедичних коригувальних втручань (транспозиції сухожилково-м'язового комплексу/комплексів), але не раніше ніж через 15 міс після первинного хірургічного втручання.

Усім пацієнтам через 9, 12 та 15 міс після РВ «Невротизація» проводили неврологічний огляд, доповнений ЕНМГ за стандартною методикою (див. Розділ 2, підрозділ 2.2.1.). Вибір КЛМ для нейрофізіологічного дослідження

залежав від методу хірургічного втручання, а після виконання селективної реіннервації (невротизації) – від використаних нервів-донорів.

Якщо реіннервації м'яза-реципієнта не відбулось (M0) або реіннервація була неефективною (M2-3), то використовували можливості ортопедичних коригувальних втручань (транспозиції сухожилково-м'язового комплексу/комплексів), але не раніше ніж через 17 міс після первинного хірургічного втручання.

Первинною метою неврологічного обстеження була оцінка силових характеристик відновлення м'яза-реципієнта за шкалою MRC [241]. Відновлення функції м'яза-реципієнта до рівня M4-5 вважали ефективним відновленням силових характеристик. Функціональну ефективність силових характеристик м'яза-реципієнта оцінювали за допомогою вимірювання зміни кута в суглобі, рух в якому м'яз-реципієнт первинно забезпечує до максимально можливих значень, – у випадку зміни кута у відповідному суглобі до кутових характеристик, що ґрунтуються на вимогах до видів АЩД (див. Розділ 1, підрозділ 1.2.4., Таблиця 1.6.), рух вважали ефективним.

Жодному пацієнту, якому виконано РВ «Невроліз» чи РВ «Автологічна пластика» як первинне РВ, на пізніших етапах дослідження не проведено РВ «Невротизація» в терміни спостереження, специфічні для зазначених первинних хірургічних втручань (6–15 міс) або в більш пізньому періоді.

#### **2.2.4. Статистична обробка отриманих результатів**

Статистичну обробку даних проведено з використанням R (версія 4.2.3) у середовищі розробки RStudio (версія 2023.03.0+386). При аналізі ймовірності статистичної похибки першого роду приймали як  $\alpha=0,05$ , похибки другого роду – як  $\beta = 0,2$ . Для оцінки характеру частот розподілу ознаки використовували критерій Пірсона або точний тест Фішера в разі малої кількості спостережень.

## РОЗДІЛ 3

### ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1. Епідеміологічна характеристика вибірки пацієнтів, залучених у дослідження

Оскільки основним «випробувальним майданчиком» для підтвердження переваг гіпотези є модель травматичних ушкоджень (ТУ) структур плечового сплетення (ПС), в основну вибірку дослідження включено **203** пацієнта за період з вересня 2013 р. по червень 2019 р., з них – **172** чоловіки та **31** жінка відповідно. Середній вік пацієнтів, включених в дослідження, складав **37,3** роки, в діапазоні від 0,5 до 80 років. Представництво вікових груп серед усіх включених в дослідження пацієнтів (за класифікацією ВООЗ від 1963 року) було наступним: менше 2 років – 2 пацієнти, від 2 до 11 років – 5 пацієнтів, від 11 до 18 років – 12 пацієнтів, від 19 до 24 років – 41 пацієнт, від 25 до 44 років – 99 пацієнтів, від 45 до 65 – 40 пацієнтів, старше 65 років – 4 пацієнти (Рис. 3.1).

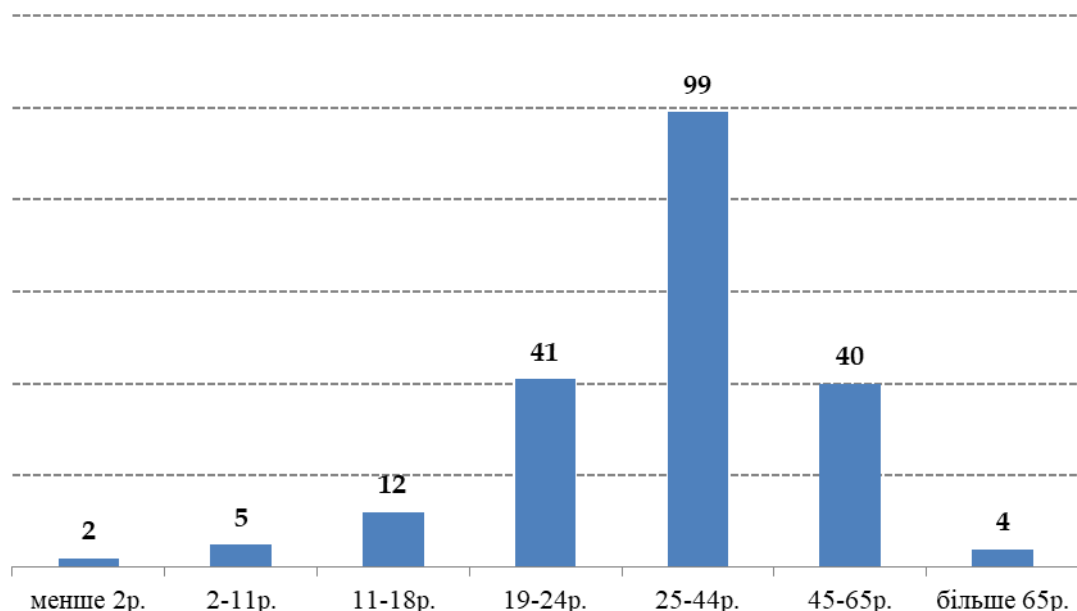
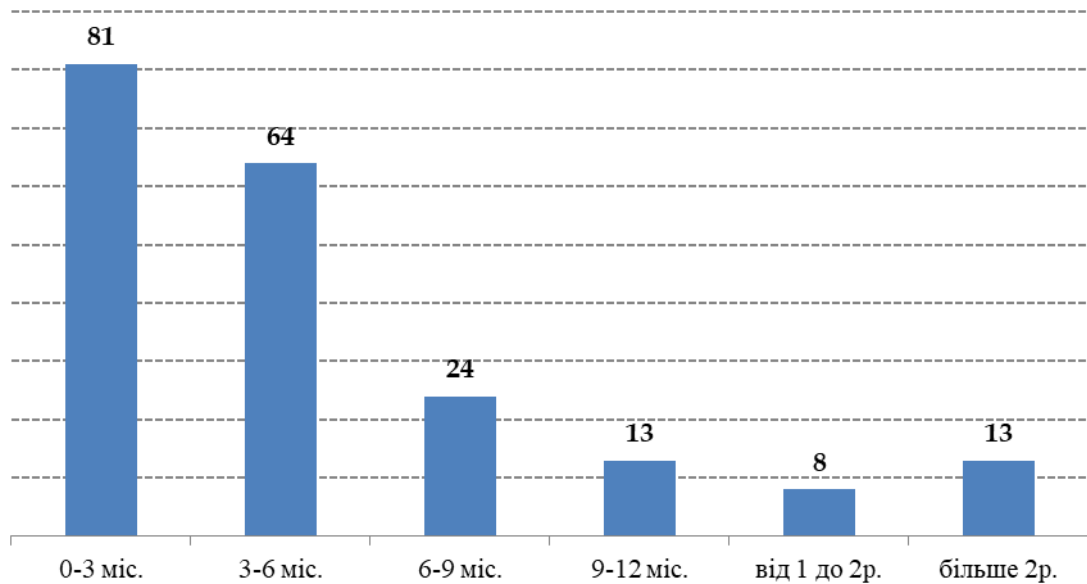


Рис. 3.1. Розподіл пацієнтів за віком

Середні терміни від одержання травми до моменту виконання будь-якого *первинного* планового хірургічного втручання становили **7,3** місяці, в діапазоні від 2 тижнів до 6 років. Серед усіх включених пацієнтів 81 виконано первинне планове хірургічне втручання в терміни 0-3 міс., 64 пацієнтам – в терміни 3-6 міс., 24 пацієнтам – в терміни 6-9 міс., 13 пацієнтам – в терміни 9-12 міс., 8 та 13 в терміни від 1 до 2 років та більше 2 років відповідно (Рис. 3.2).



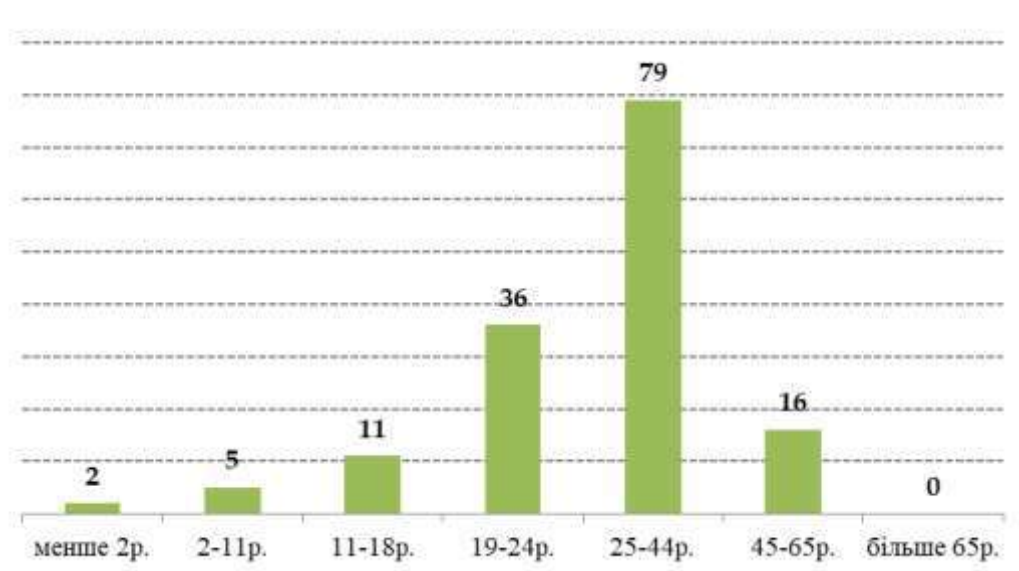
**Рис. 3.2. Розподіл пацієнтів із ТУ ПС залежно від терміну виконання первинного хірургічного втручання**

Усі включені пацієнти із ТУ ПС були розподілені в залежності від рівня ушкодження структур за класифікацією Chuang D.C.C. [15] наступним чином: **149** пацієнтів із ТУ ПС над ключицею (рівень 1-3) – надключичне ТУ ПС (Н-ТУ ПС) та **54** пацієнта із травмою ПС під ключицею (рівень 4) – підключичне ТУ ПС (П-ТУ ПС).

### **3.1.1. Епідеміологічна характеристика пацієнтів із надключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення**

Серед 149 пацієнтів із Н-ТУ ПС, розподіл за статтю виглядав наступним чином: в дослідження включено 127 чоловіків та 22 жінки. Середній вік

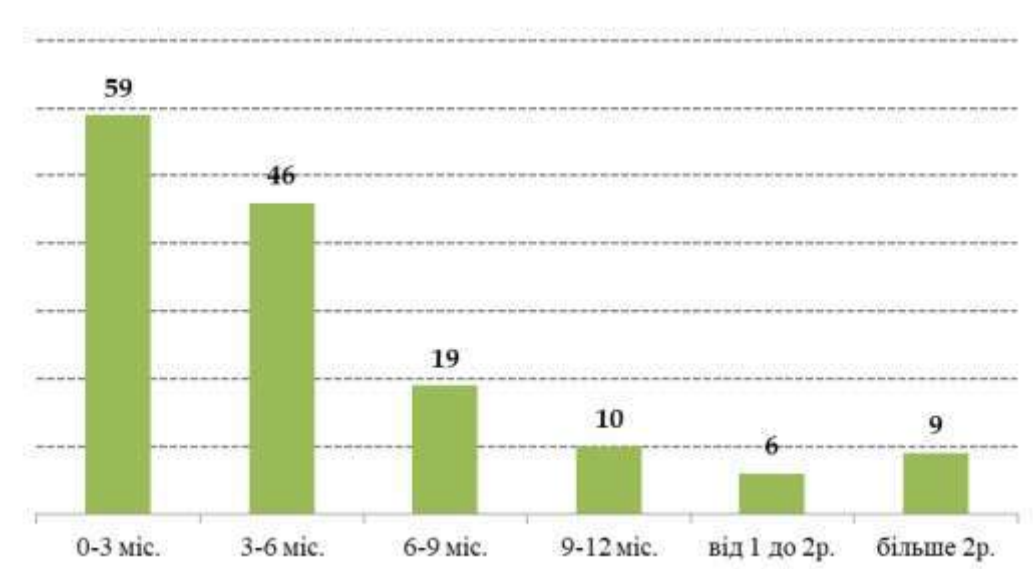
пацієнтів із Н-ТУ ПС складав **29,5** років, в діапазоні від 0,5 до 59 років. Представництво вікових груп серед пацієнтів з Н-ТУ ПС (за класифікацією ВООЗ від 1963 року) було наступним: менше 2 років – 2 пацієнти, від 2 до 11 років – 5 пацієнтів, від 11 до 18 років – 11 пацієнтів, від 19 до 24 років – 36 пацієнтів, від 25 до 44 років – 79 пацієнтів, від 45 до 65 – 16 пацієнтів (Рис. 3.3).



**Рис. 3.3. Розподіл пацієнтів із Н-ТУ ПС за віком**

Середні терміни від одержання травми до моменту виконання будь-якого *первинного* планового хірургічного втручання у пацієнтів із Н-ТУ ПС становили **7,45** місяців, в діапазоні від 2 тижнів до 6 років. Серед усіх включених пацієнтів із Н-ТУ ПС 59 виконано первинне планове хірургічне втручання в терміни 0-3 міс., 46 пацієнтам – в терміни 3-6 міс., 19 пацієнтам – в терміни 6-9 міс., 10 пацієнтам – в терміни 9-12 міс., 6 та 9 в терміни від 1 до 2 років й більше 2 років, відповідно (Рис. 3.4).





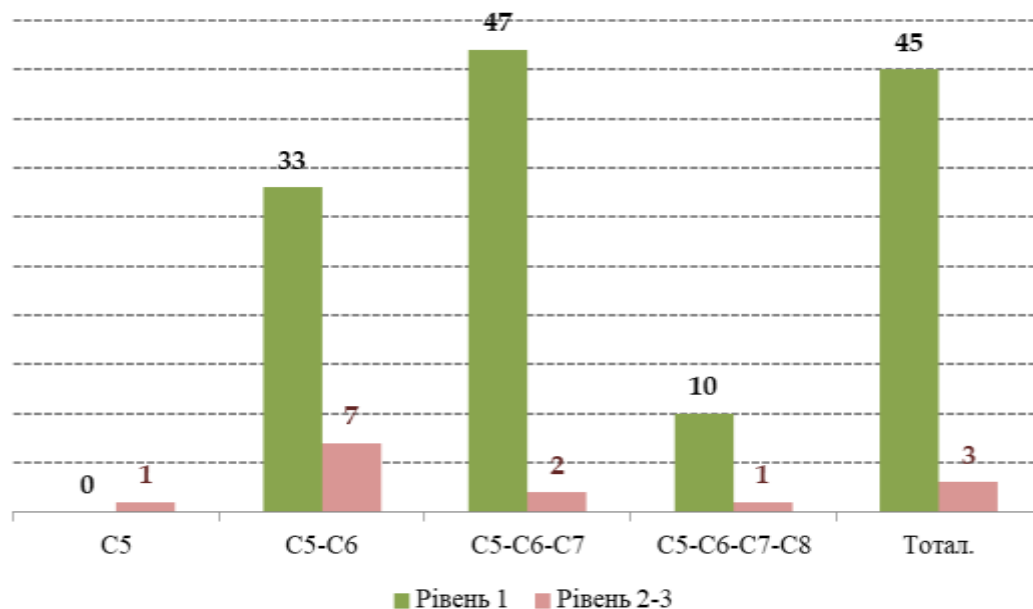
**Рис. 3.4. Розподіл пацієнтів із Н-ТУ ПС залежно від терміну виконання первинного хірургічного втручання**

Серед пацієнтів із Н-ТУ ПС, включених в дослідження у 1 діагностовано ушкодження одного переднього спінального нерва (далі С5), що формує ПС, у 40 пацієнтів – двох передніх спінальних нервів (далі С5-С6), у 49 – трьох передніх спінальних нервів (далі С5-С6-С7), у 11 – чотирьох передніх спінальних нервів (далі С5-С6-С7-С8), у 48 – п'ятьох передніх спінальних нервів або тотальний тип ушкодження ПС (далі – Тотал.) (Рис. 3.5).

Усім ТУ ПС притаманні два основних типи, характеристики, ушкодження нервових структур: 1) відрив (авульсія), проксимальний (від спинного мозку) чи дистальний (від м'язу-ефектора); 2) розрив (на макро- чи мікроскопічному рівні) [15]. Згідно із твердженням Chuang D.C.C. [15], Н-ТУ ПС можуть бути притаманні як характеристики проксимальної авульсії (Рівень 1), так і розриву (Рівень 2-3). На сьогоднішній день не існує клінічних, електрофізіологічних, рентгенологічних, інтраопераційних та комплексних діагностичних заходів чи методів, що можуть беззаперечно визначити проксимальну авульсію [15] – наявність чи відсутність неможливо ані спростувати, ані підтвердити. Відповідно, усі *закриті* Н-ТУ ПС автоматично класифікували як ТУ «Рівень

1», а усі *відкриті* Н-ТУ ПС – відносили до ТУ «Рівень 2-3» (із урахуванням усіх класифікаційних критеріїв за Chuang D.C.C. [15]).

Загалом, в дослідженні включено 135 пацієнтів із «Рівень 1» та 14 пацієнтів із «Рівень 2-3» Н-ТУ ПС (Рис.3.5).



**Рис. 3.5.** Розподіл пацієнтів із Н-ТУ ПС залежно від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес, та рівня ушкодження за D.C.C. Chuang [15] на момент включення в дослідження

28 пацієнтам (70 %) із Н-ТУ C5-C6, 19 пацієнтам (59 %) із Н-ТУ C5-C6-C7, 10 пацієнтам (91 %) із Н-ТУ C5-C6-C7-C8 та 39 пацієнтам із Н-ТУ Тотал (81,3 %) проведено *первинне* планове хірургічне втручання в часовому проміжку до 6 міс. Загалом, **105 пацієнтам (70,5 %)** із Н-ТУ ПС проведено *первинне* планове хірургічне втручання в часовому проміжку до 6 міс.

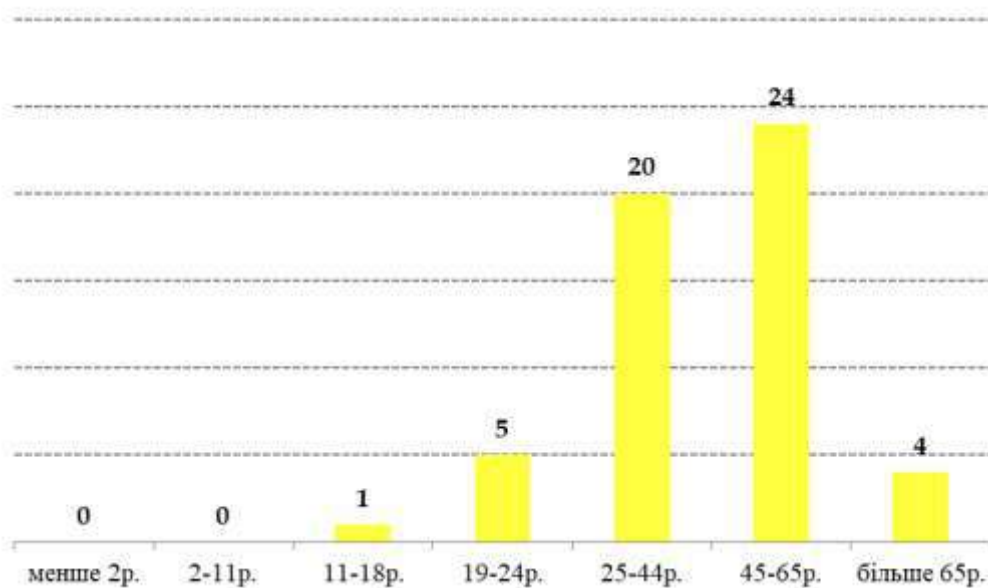
Із загалом 135 пацієнтів із «Рівень 1» Н-ТУ ПС в дослідження включено 51 пацієнт (37,8 %) в часовому проміжку 0-3 міс. від моменту Н-ТУ до моменту виконання будь-якого *первинного* планового хірургічного втручання, в часовому проміжку 3-6 міс. – 42 пацієнта (31,1 %), в часовому проміжку 6-12 міс. – 28

пацієнтів (20,7 %) та більше 12 міс. – 14 пацієнтів (10,4 %). Серед 135 пацієнтів із Н-ТУ ПС «Рівень 1» включених в дослідження у одного діагностовано ушкодження С5, у 33 пацієнтів – С5-С6, у 47 – С5-С6-С7, у 10 –С5-С6-С7-С8, у 45 – Тотал. Загалом, **93 пацієнтам (68,9 %)** із «Рівень 1» Н-ТУ ПС проведено *первинне* планове хірургічне втручання в часовому проміжку до 6 міс.

Із загалом 14 пацієнтів із «Рівень 2-3» Н-ТУ ПС в дослідження включено 8 пацієнтів (57,1 %) в часовому проміжку 0-3 міс. від моменту Н-ТУ до моменту виконання будь-якого *первинного* планового хірургічного втручання, в часовому проміжку 3-6 міс. – 4 пацієнта (28,6 %), в часовому проміжку 6-12 міс. та більше 12 міс. – по одному пацієнту (7,2 % та 7,2 %). Серед 14 пацієнтів із Н-ТУ ПС «Рівень 2-3» включених в дослідження у одного діагностовано ушкодження С5, у 7 пацієнтів – С5-С6, у 2 – С5-С6-С7, у 1 –С5-С6-С7-С8, у 3 – Тотал. Загалом, **12 пацієнтам (85,7 %)** із «Рівень 2-3» Н-ТУ ПС проведено *первинне* планове хірургічне втручання в часовому проміжку до 6 міс.

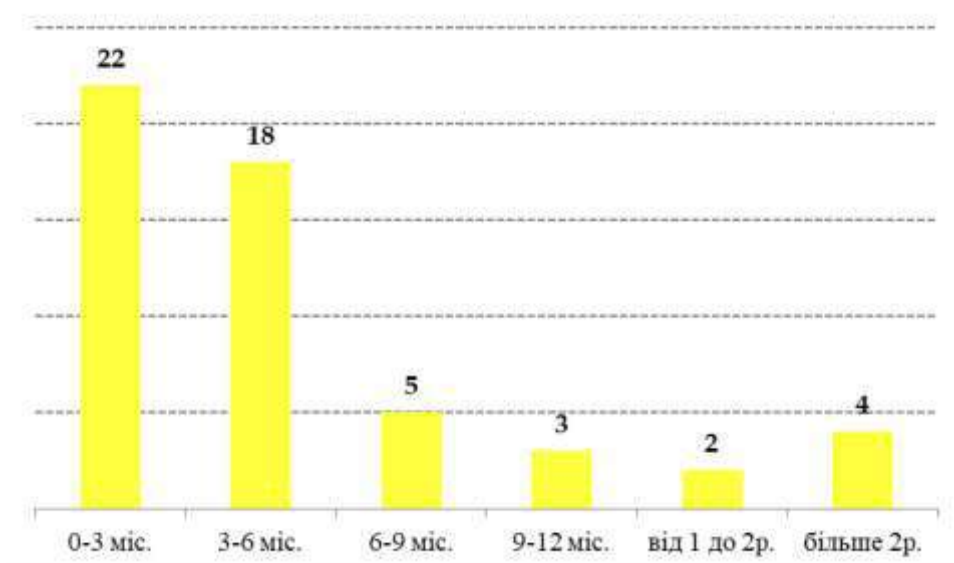
### **3.1.2. Епідеміологічна характеристика пацієнтів із підключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення**

Із 54 пацієнтів із П-ТУ ПС розподіл за статтю виглядав наступним чином: в дослідження включено 35 чоловіків та 18 жінок. Середній вік пацієнтів із Н-ТУ ПС складав **45** років, в діапазоні від 18 до 80 років. Представництво вікових груп серед пацієнтів з П-ТУ ПС (за класифікацією ВООЗ від 1963 року) було наступним: від 11 до 18 років – 1 пацієнт, від 19 до 24 років – 5 пацієнтів, від 25 до 44 років – 20 пацієнтів, від 45 до 65 – 24 пацієнти, старше 65 – 4 пацієнти (Рис.3.6).



**Рис. 3.6. Розподіл пацієнтів із П-ТУ ПС за віком**

Середні терміни від одержання травми до моменту виконання будь-якого *первинного* планового хірургічного втручання у пацієнтів із П-ТУ ПС становили **7,2** місяців, в діапазоні від 1 місяця до 4 років. Серед усіх включених пацієнтів із П-ТУ ПС 22 виконано первинне планове хірургічне втручання в терміни 0-3 міс., 18 пацієнтам – в терміни 3-6 міс., 5 пацієнтам – в терміни 6-9 міс., 3 пацієнтам – в терміни 9-12 міс., 2 та 4 в терміни від 1 до 2 років й більше 2 років відповідно (Рис.3.7).



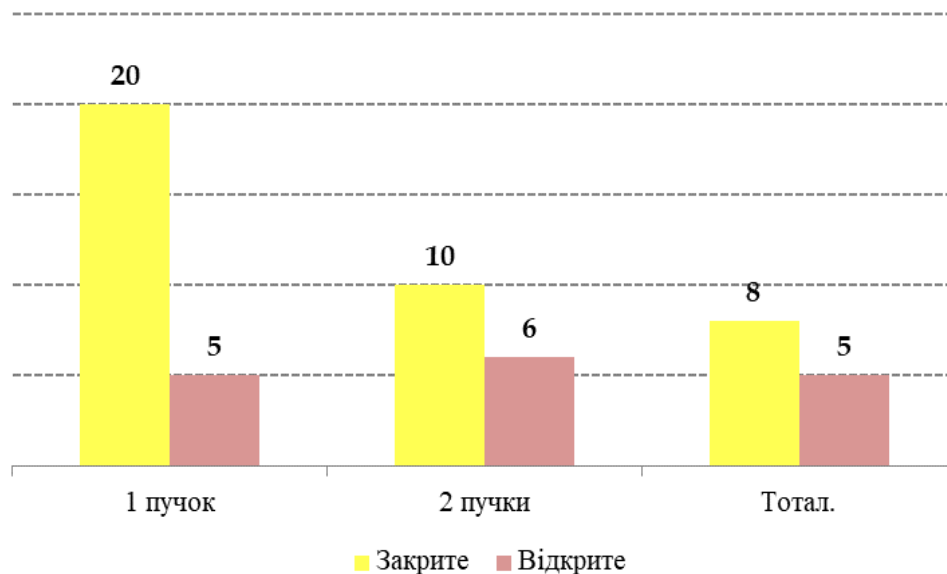
**Рис. 3.7. Розподіл пацієнтів із П-ТУ ПС залежно від терміну виконання первинного хірургічного втручання**

Серед пацієнтів із П-ТУ ПС, включених в дослідження, у 25 діагностовано ушкодження одного вторинного пучка ПС, у 16 пацієнтів – двох пучків, у 13 – трьох пучків або тотальний тип ушкодження ПС (далі Тотал) (Рис. 3.8).

Усі П-ТУ ПС згідно із класифікацією D.C.C. Chuang [15] належать до ТУ «Рівень 4». Їм притаманні два основних типи, характеристики, ушкодження нервових структур: 1) дистальний (від м'язу-ефектора) відрив (авульсія); 2) розрив (на макро- чи мікроскопічному рівні) [15]. Додатково, усі П-ТУ ПС були розподілені на *закриті* та *відкриті* у відповідності із характером впливу травмуючого агенту на м'які тканини, судинно-нервові та кістково-зв'язкові структури.

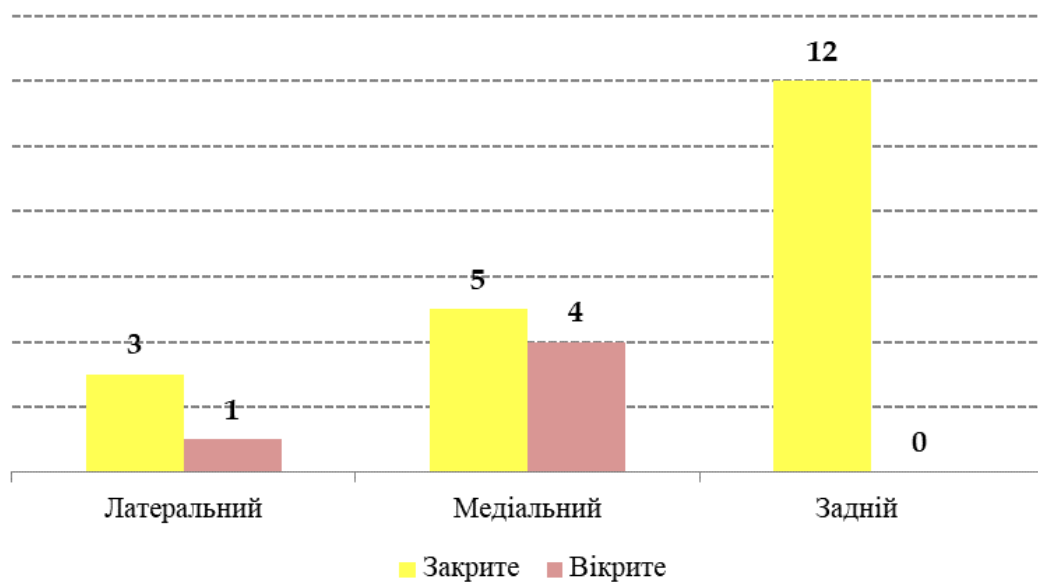
Загалом, в дослідженні включено 38 пацієнтів із закритими ТУ «Рівень 4» та 16 пацієнтів із відкритим ТУ «Рівень 4» П-ТУ ПС (Рис. 3.8).

Серед 13 пацієнтів із П-ТУ трьох вторинних пучків (тотальний тип ушкодження) ПС у 5 діагностовано відкритий характер ушкодження (Рис. 3.8).



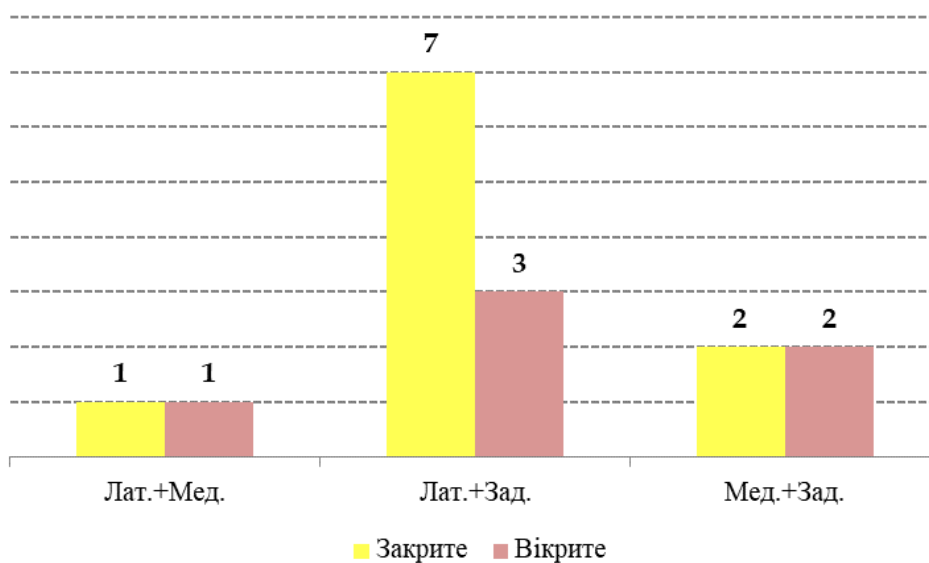
**Рис. 3.8.** Розподіл пацієнтів із П-ТУ в залежності від кількості пучків, залучених у патологічний травматичний процес та характеру впливу травмуючого агенту

Серед 25 пацієнтів із П-ТУ одного вторинного пучка ПС, у 4, 9 та 12 випадках діагностовано ушкодження латерального, медіального та заднього пучків (далі Лат., Мед., Зад.) відповідно. Серед включених пацієнтів із П-ТУ у 5 (20 %) діагностовано відкритий характер ушкодження, у 4 з них (80 %) діагностовано ушкодження медіального вторинного пучка (Рис. 3.9).



**Рис. 3.9. Структура П-ТУ при залученні одного пучка в патологічний травматичний процес та характер впливу травмувального агента**

Серед 16 пацієнтів із П-ТУ двох вторинних пучків ПС у 2 діагностували поєднання ушкодження Лат.+Мед., у 10 – Лат.+Зад., у 4 – Мед.+Зад. (Рис.3.10). Серед включених пацієнтів із П-ТУ у 6 (37,5 %) діагностовано відкритий характер ушкодження двох пучків (Рис.3.10).



**Рис. 3.10. Структура П-ТУ при залученні двох пучків у патологічний травматичний процес та характер впливу травмувального агента**

Із загальною кількістю **38 пацієнтів** із закритим П-ТУ ПС в дослідження включено 14 пацієнтів (36,8 %) в часовому проміжку 0-3 міс. від моменту Н-ТУ до моменту виконання будь-якого *первинного* планового хірургічного втручання, в часовому проміжку 3-6 міс. – 12 пацієнтів (31,6 %), в часовому проміжку 6-12 міс. – 7 пацієнтів (18,4 %) та більше 12 міс. – 5 пацієнтів (13,2 %). Загалом, **26 пацієнтам (68,4 %)** із закритим характером П-ТУ ПС проведено *первинне* планове хірургічне втручання в часовому проміжку до 6 міс.: 11 пацієнтам (55 %) із ушкодженням одного пучка, 8 пацієнтам (80 %) із ушкодженням двох пучків та 7 пацієнтам (87,5 %) проведено *первинне* планове хірургічне втручання в часовому проміжку до 6 міс.

Із загальною кількістю 16 пацієнтів із закритим П-ТУ ПС в дослідження включено 8 пацієнтів (50 %) в часовому проміжку 0-3 міс. від моменту Н-ТУ до моменту виконання будь-якого *первинного* планового хірургічного втручання, в часовому проміжку 3-6 міс. – 6 пацієнтів (37,5 %), в часовому проміжку 6-12 міс. та більше 12 міс. – по одному пацієнту (6,25 % та 6,25 % відповідно). Загалом, **14 пацієнтам (87,5 %)** із відкритим характером П-ТУ ПС проведено *первинне* планове хірургічне втручання в часовому проміжку до 6 міс.:

4 пацієнтам (80 %) із ушкодженням одного пучка, 5 пацієнтам (83,3 %) із ушкодженням двох пучків та 5 пацієнтам (100 %) проведено *первинне* планове хірургічне втручання в часовому проміжку до 6 міс.

### **3.2. Розподіл пацієнтів за пріоритетністю відновлення функцій**

Ретроспективний аналіз підтвердив, що, незважаючи на загалом безсистемний підхід у виборі індивідуалізованої лікувальної хірургічної тактики у переважній більшості випадків та наявності доволі вузького спектру методів селективної реіннервації м'язів на початкових етапах дослідження, категоризація пріоритетності відновлення окремих м'язів чи їх груп (у контексті важливості функції та прогнозу її відновлення) на етапі планування будь-якого проведеного хірургічного втручання відповідало поглядам більшості визнаних спеціалістів даної галузі хірургії [5]. Зокрема, у публікації M.G. Siqueira та R.S. Martins (2011) [5] зазначено, що більшість спеціалістів надають перевагу у пріоритетності відновлення над іншими наступним функціям: згинанню в ліктьовому суглобі [5], багатоплощинним рухам у плечовому суглобі та стабільності власне плечового суглобу [5] тощо (Табл. 3.1). Дане твердження цілком відповідало поглядам щодо першочерговості відновлення певних функцій, а хірургічна тактика по їх відновленню поступово еволюціонувала в визначених часових рамках проведеного дослідження. Усі первинні реконструктивні втручання були направлені на неселективне та селективне відновлення функції структур ПНС, що відповідали за функцію ключових м'язів (КЛМ), що забезпечують виконання функцій у порядку їх пріоритетності. Зв'язок між структурою ПНС, КЛМ та функцією, яку він / вони забезпечують, представлений у Табл. 3.1.

Усі включені в дослідження пацієнти потребували відновлення функцій, пріоритетність відновлення яких напряду залежала від рівня ушкодження ПС за D.C.C. Chuang [15] – кількості передніх спінальних нервів або вторинних пучків залучених у патологічний травматичний процес на момент включення в



дослідження. Такий підхід до об'єктивного групування пацієнтів дозволив систематизувати не лише вихідні дані пацієнтів, а й полегшив систематизацію результатів первинних реконструктивних хірургічних втручань.

Таблиця 3.1

**Пріоритетність відновлення функцій верхньої кінцівки  
за M.G. Siqueira та R.S. Martins [5]**

Порядок пріоритетності	Назва функції	М'яз(и), що забезпечують функцію	Нерв(и), що забезпечують функцію
<b>1-й</b>	EF	m. biceps brachii, m. coracobrachialis, m. brachialis	n. musculocutaneus
<b>2-й</b>	ShS, SFF, SABD, SER	m. serratus anterior, m. deltoideus, m. supraspinatus, m. infraspinatus	n. thoracicus longus, n. axillaris, n. suprascapularis
<b>3-й</b>	EE	m. triceps brachii	n. radialis
<b>4-й</b>	BTP	m. pectoralis major, m. pectoralis minor	nn. pectorales
<b>5-й</b>	WFE	m. extensor carpi radialis longus et brevis, m. extensor pollicis longus, m. extensor digitorum communis та ін.	n. radialis
<b>6-й</b>	WFF	m. flexor carpi radialis, m. flexor digitorum superficialis, m. flexor digitorum profundus, m. flexor pollicis longus та ін.	n. medianus
<b>7-й</b>	UIS	«внутрішні» м'язи кисті	n. ulnaris

*Примітка.* EF – згинання в ліктьовому суглобі; ShS – стабільність плечового поясу та плеча; SABD – відведення плеча; SFF – згинання в плечовому суглобі, SER – зовнішня ротація плеча; EE – розгинання в ліктьовому суглобі; BTP – «brachiothoracic pinch», приведення плеча; WFE – розгинання в променево-зап'ястковому суглобі та розгинання в п'ясно-фалангових суглобах; WFF – згинання в променево-зап'ястковому суглобі та згинання в п'ясно-фалангових та міжфалангових суглобах; UIS – м'язові структури, іннервація яких забезпечується ліктьовим нервом.

Так, усі пацієнти в дослідженні з Н-ТУ ПС (Рівень 1-3 за D.C.C. Chuang) формували доволі типову клінічну картину, відповідно, пріоритетність відновлення залишалась незмінною і не залежала від кількості ушкоджених передніх спінальних нервів (по мірі зростання їх кількості від більш краніально розміщеного C5 до більш каудально розміщеного Th1). Оскільки «мозаїчні» Н-ТУ ПС зустрічаються вкрай рідко, саме Н-ТУ ПС найкраще піддаються систематизації в контексті пріоритетності відновлення функції, а й відповідно створення системи їх хірургічного відновлення.

В нашому дослідженні також виконана спроба охарактеризувати пацієнтів із П-ТУ ПС за пріоритетністю відновлення функцій.

### **3.2.1. Розподіл пацієнтів із надключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення за пріоритетністю відновлення функцій**

149 пацієнтів із Н-ТУ ПС у 149 випадках (Табл. 3.2) потребували відновлення пріоритетної функції 2-го порядку, з них один пацієнт потребував відновлення лише пріоритетної функції 2-го порядку (0,7 %). 148 пацієнтів із Н-ТУ ПС потребували відновлення пріоритетних функцій 1-го та 2-го порядків (Табл. 3.2), з яких у 40 пацієнтів (26,8 %) – лише пріоритетних функцій 1-го та 2-го порядків (Табл. 3.2). Додатково 49 пацієнтів загалом потребували відновлення пріоритетних функцій 3-го та 5-го порядків (Табл. 3.2), 11 – пріоритетних функцій 6-го порядку (Табл. 3.2), а 48 пріоритетних функцій 4-го та 7-го порядків.

Виходячи із даних, представлених у Табл. 3.2, необхідно зазначити, що 101 пацієнт не потребував відновлення пріоритетної функції 4-го порядку, а саме функції *m. pectoralis major* (thoracobrachial pinch), у зв'язку із особливостями іннерваційного паттерну вказаного вище м'язу. В деяких випадках тотального варіанту Н-ТУ ПС також спостерігали збережену функцію *m. pectoralis major*, проте її функція була неефективною (див. далі по тексту),

тому такі випадки реєструвались як «відсутність пріоритетної функції 4-го порядку».

Таблиця 3.2

**Взаємозв'язок між пріоритетними функціями, які необхідно відновити, та кількістю ушкоджених передніх спінальних нервів у пацієнтів із Н-ТУ ПС**

Анатомія Н-ТУ ПС	Пріоритет функції (порядок)						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
<b>C5</b>	—	1	—	—	—	—	—
<b>C5-C6</b>	40	40	—	—	—	—	—
<b>C5-C6-C7</b>	49	49	49	—	49	—	—
<b>C5-C6-C7-C8</b>	11	11	11	—	11	11	—
<b>Тотальний</b>	48	48	48	48	48	48	48
<b>ЗАГАЛОМ</b>	<b>148</b>	<b>149</b>	<b>108</b>	<b>48</b>	<b>108</b>	<b>59</b>	<b>48</b>

**ВИСНОВОК:** головною характеристикою, що об'єднує пацієнтів із Н-ТУ ПС, є відсутність пріоритетних функцій 1-го та 2-го порядків.

**3.2.2. Розподіл пацієнтів із підключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення за пріоритетністю відновлення функцій**

29 пацієнтів із загалом 54 випадків П-ТУ ПС, включених в дослідження (Табл. 3.3), потребували відновлення пріоритетної функції 1-го порядку, з них чотири пацієнти (7,4 %) потребували відновлення лише пріоритетної функції 1-го порядку. 39 пацієнтів із П-ТУ ПС (Табл. 3.3) потребували відновлення пріоритетних функцій 2-го, 3-го та 5-го порядків, з них 12 пацієнтів (22,2 %) потребували відновлення лише пріоритетних функцій 2-го, 3-го та 5-го порядків. 28 пацієнтів із П-ТУ ПС потребували відновлення пріоритетних функцій 6-го та 7-го порядків (Табл. 3.3), з них дев'ять пацієнтів (16,7 %) потребували відновлення лише пріоритетних функцій 6-го та 7-го порядків. 13

пацієнтів із П-ТУ ПС додатково потребували відновлення пріоритетних функцій 4-го порядку (Табл. 3.3).

Виходячи із даних представлених у Табл. 3.3, необхідно зазначити, що 41 пацієнт не потребував відновлення пріоритетної функції 4-го порядку, а саме функції *m. pectoralis major (thoracobrachial pinch)*, у зв'язку із особливостями іннерваційного паттерну вказаного вище м'язу [240]. В деяких випадках тотального варіанту Н-ТУ ПС також спостерігали збережену функцію *m. pectoralis major*, проте її функція була неефективною (див. далі по тексту), тому такі випадки реєструвались як «відсутність пріоритетної функції 4-го порядку».

Таблиця 3.3

**Взаємозв'язок між пріоритетними функціями, які необхідно відновити, та кількістю ушкоджених вторинних пучків у пацієнтів із П-ТУ ПС**

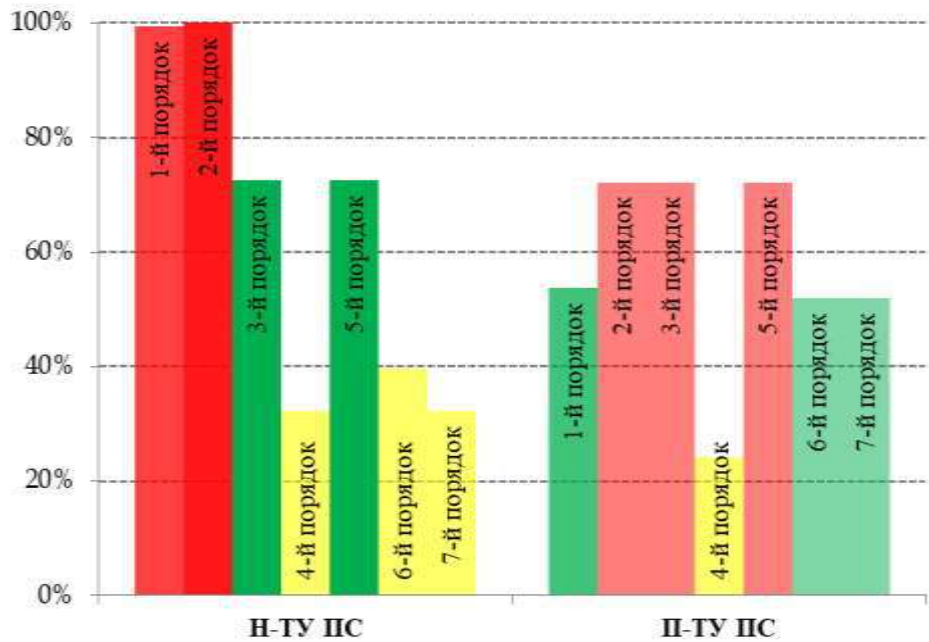
Анатомія П-ТУ ПС	Пріоритет функції (порядок)						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
Лат. ВП ПС	4	—	—	—	—	—	
Мед. ВП ПС	—	—	—	—	—	9	9
Зад. ВП ПС	—	12	12	—	12	—	—
Лат.+Мед. ВП ПС	2	—	—	—	—	2	2
Лат.+Зад. ВП ПС	10	10	10	—	10	—	—
Мед.+Зад. ВП ПС	—	4	4	—	4	4	4
<b>Тотальний</b>	13	13	13	13	13	13	13
<b>ЗАГАЛОМ</b>	<b>29</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>13</b>	<b>39</b>	<b>28</b>	<b>28</b>

*Примітка.* Лат. – латеральний, Мед. – медіальний, Зад. – задній, ВП – вторинний пучок, ПС – плечове сплетення).

**ВИСНОВОК:** головною характеристикою, що об'єднує пацієнтів із П-ТУ ПС, є відсутність пріоритетних функцій 2-го, 3-го та 5-го порядків.

Слід зазначити, що перерозподіл іннерваційного паттерну між структурами ПС в над- та підключичній області, що відбувається на рівні дивізій ПС, суттєво зміщує акцент (в контексті кількості) з необхідності

відновлення в більшості випадків (до 99 %) пріоритетних функцій 1-го та 2-го порядків (у пацієнтів із Н-ТУ ПС) в бік більш гармонійного розподілу (у пацієнтів із П-ТУ ПС) необхідності відновлення пріоритетних функцій (Рис. 3.11). Дане твердження жодним чином не впливає на структуру пріоритетності поданої в данному дослідженні – вона залишається сталою.



**Рис. 3.11. Особливості співвідношення пріоритетних функцій, які необхідно відновити, у пацієнтів із Н-ТУ ПС та П-ТУ ПС**

### **3.3. Епідеміологічні характеристики хірургічних втручань, використаних для відновлення пріоритетних функцій**

З огляду на те, що хірургічне відновлення нервово-м'язового зв'язку (за допомогою будь-якого зазначеного вище хірургічного методу) не обов'язково виконувалась одночасно (під час одного хірургічного втручання) для двох чи більше пріоритетних функцій, сам факт проведення того чи іншого виду хірургічного втручання, нехай і етапного (стосується насамперед невротизації), вважався в цьому дослідженні «ПОДІЄЮ». І хоча фактично певна кількість хірургічних втручань, направлених на відновлення декількох пріоритетних функцій

(наприклад, 1-го та 2-го порядків), виконувались із незначним зсувом у часі, використання одного й того ж самого хірургічного методу у одного і того ж самого пацієнта об'єднували в одну хірургічну «ПОДІЮ».

Таким чином, кількість таких «ПОДІЙ» в даному дослідженні відповідала кількості залучених пацієнтів. Надалі, будь-яка «ПОДІЯ» буде позначатись як реконструктивне втручання – РВ. Відповідно, «невроліз», «автологічна пластика» чи «невротизація» є самостійним методом хірургічного відновлення нервово-м'язового зв'язку (самостійним РВ).

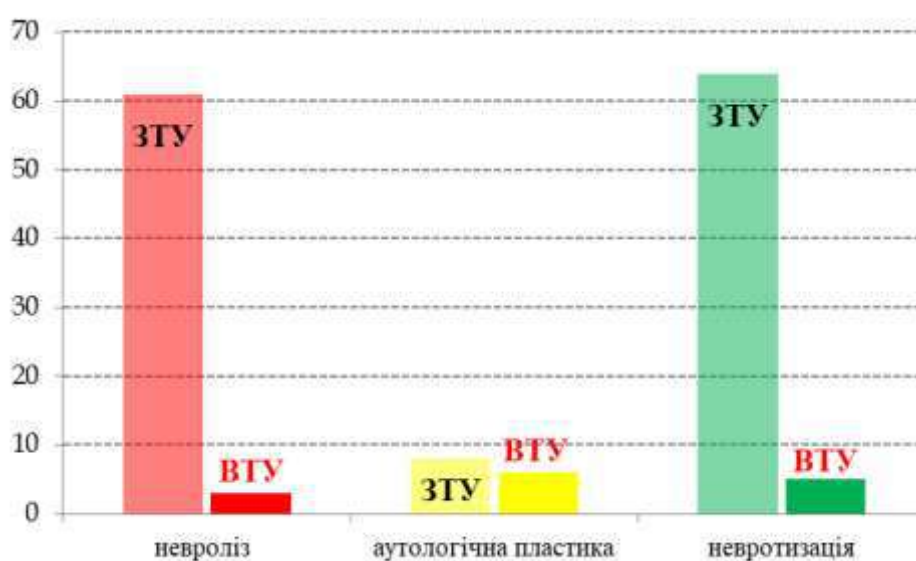
Загалом 203 пацієнтам із ТУ ПС було виконано 203 реконструктивних втручання (РВ). Серед них, 149 пацієнтам із Н-ТУ ПС виконано 149 РВ, а 54 пацієнтам із П-ТУ ПС 54 РВ відповідно. Усім 203 пацієнтам, включеним в дослідження, виконано 98 РВ типу «невроліз», 31 РВ типу «автологічна пластика», 74 РВ типу «невротизація» (Рис. 3.12), або 48,3 %, 15,3 % та 36,4 % відповідно.



**Рис. 3.12. Співвідношення специфічних видів виконаних реконструктивних втручань серед усіх пацієнтів із ТУ ПС**

### 3.3.1. Методологічні та епідеміологічні характеристики хірургічних втручань, використаних для відновлення пріоритетних функцій у пацієнтів із надключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення

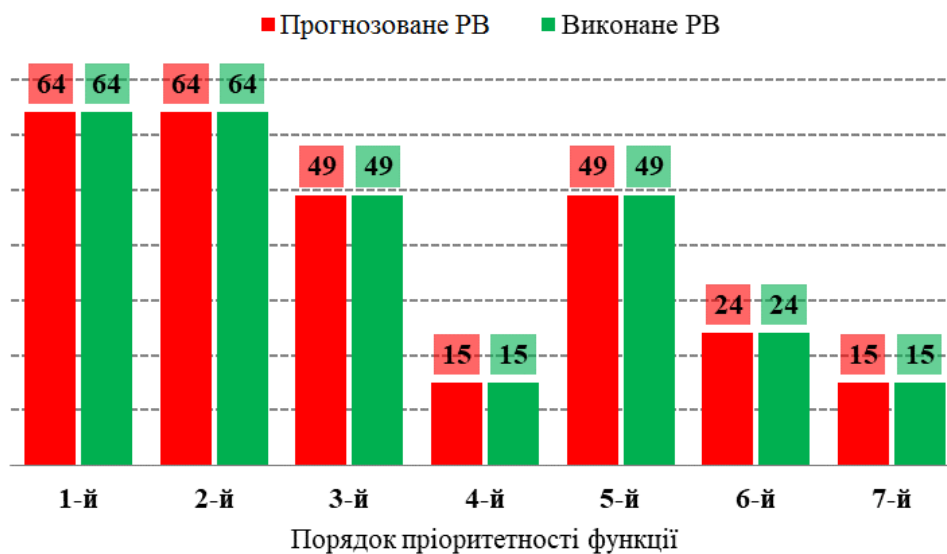
149 пацієнтам із Н-ТУ ПС виконано 64 РВ «невроліз», 14 РВ «автологічна пластика», 71 РВ «невротизація», або 42,9 %, 9,4 % та 47,7 % відповідно (Рис. 3.12). Серед 14 пацієнтів із Н-ТУ ПС «Рівень 2-3» (або «відкрите» ушкодження) 3, 6 та 5 з них в якості РВ виконано невроліз, автологічну пластику та невротизацію, що склало 6,7 %, 42,9 % та 7 % від кількості проведених специфічних видів РВ (Рис. 3.13). Звертає на себе увагу той факт, що автологічна пластика виконувалась майже в половині випадків усіх «відкритих» Н-ТУ ПС.



**Рис. 3.13.** Кількість «закритих» і «відкритих» Н-ТУ ПС у структурі специфічних видів РВ: ЗТУ – закрите травматичне ушкодження, ВТУ – відкрите травматичне ушкодження

Враховуючи анатомічні особливості Н-ТУ ПС, а саме кількість передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес, кожен із видів специфічних РВ був направлений на відновлення їх функцій з урахуванням їх пріоритетності.

Серед 64 пацієнтів із Н-ТУ ПС, яким був виконаний «невроліз», у 15 випадках РВ мало бути направлено на відновлення пріоритетних функцій лише 1-го та 2-го порядків, у 25 випадках – додатково 3-го та 5-го порядків, у 9 випадках – додатково 6-го порядку та у решти 15 випадках – на відновлення усіх функцій у порядку їх пріоритетності (Рис.3.14). Загалом, у всіх 64 випадках проведено РВ, направлено на відновлення пріоритетної функції 1-го та 2-го порядків (Рис. 3.14). Враховуючи технічні особливості даного РВ, його проведення було направлено на неселективне відновлення усіх пріоритетних функцій в залежності від анатомічних особливостей Н-ТУ ПС (Рис. 3.14).

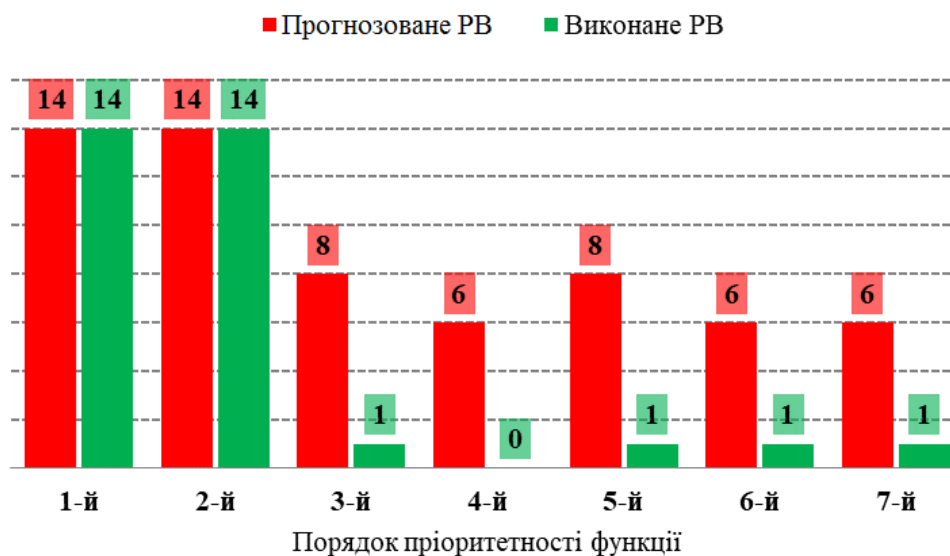


**Рис. 3.14. Кількісне співвідношення між прогнозованим та виконаним обсягом специфічного РВ – «невроліз» – серед пацієнтів із Н-ТУ ПС**

Серед 14 пацієнтів із Н-ТУ ПС, яким була виконана «аутологічна пластика», у 6 випадках РВ мало бути направлено на відновлення пріоритетних функцій лише 1-го та 2-го порядків, у 2 випадках – додатково 3-го та 5-го



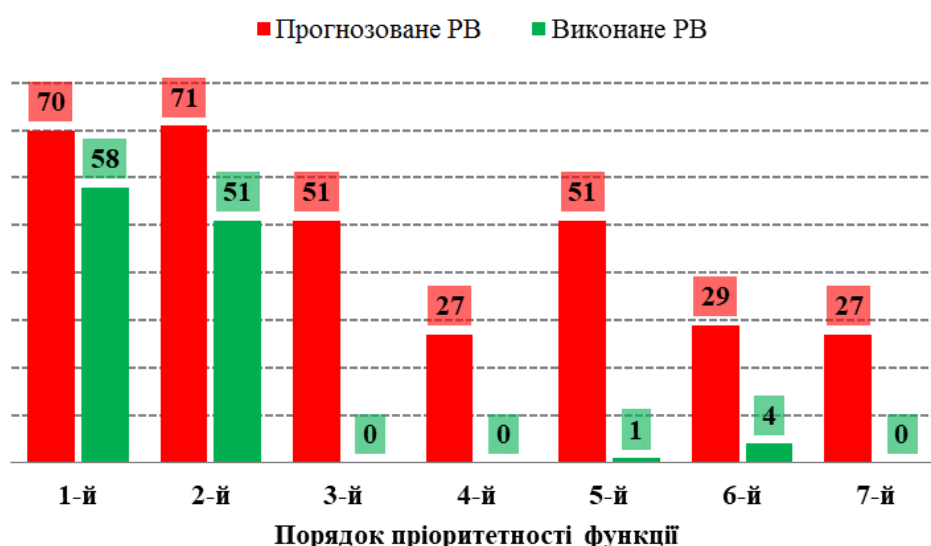
порядків та у решти 6 випадках – на відновлення усіх функцій у порядку їх пріоритетності (Рис.3.15) – передбачуваний обсяг РВ. В дослідженні, насправді, у всіх 14 випадках проведено РВ, направлене на відновлення пріоритетної функції 1-го та 2-го порядків та у 2 випадках пріоритетних функцій 3-го й 5-го та 6-го й 7-го попарно, із виключенням з РВ пріоритетної функції 2-го порядку (Рис. 3.15), що відображає істинний або виконаний обсяг РВ.



**Рис. 3.15. Кількісне співвідношення між прогнозованим та виконаним обсягом специфічного РВ – «автологічна пластика» – серед пацієнтів із Н-ТУ ПС**

Серед 71 пацієнта із Н-ТУ ПС, яким була виконана «невротизація», у 1 випадку РВ мало бути направлене на відновлення пріоритетної функції лише 2-го порядку, у 19 випадках – на відновлення пріоритетних функцій лише 1-го та 2-го порядків, у 22 випадках – додатково 3-го та 5-го порядків, ще у 2 випадках – додатково 6-го порядку та у решти 27 випадках – на відновлення усіх функцій у порядку їх пріоритетності (Рис. 3.16) – передбачуваний обсяг РВ. Хоча у 70 випадках прогнозований обсяг РВ вимагав проведення відновлення пріоритетних функцій 1-го порядку, насправді, виконана кількість РВ становила 58 випадків (82,9 %) (Рис. 3.16). Із 71 випадків із прогнозованим обсягом РВ, направлено на відновлення пріоритетної функції 2-го порядку,

виконана кількість РВ становила 51 (71,8 %) (Рис. 3.16). У 23 випадках додатково прогнозований обсяг РВ вимагав відновлення пріоритетних функцій 3-го та 5-го порядків, виконано було лише одне РВ, направлене на відновлення пріоритетної функції 5-го порядку (Рис. 3.16). У 23 випадках додатково прогнозований обсяг РВ вимагав відновлення пріоритетних функції 6-го порядку, виконано було лише одне РВ (Рис. 3.16). У решти 29 випадків прогнозований обсяг РВ вимагав відновлення усіх функцій у порядку їх пріоритетності (Рис. 3.16), серед яких виконано було 27, 19 та 3 РВ, направлених на відновлення пріоритетних функцій 1-го, 2-го та 6-го порядків відповідно (Рис. 3.16).



**Рис. 3.16. Кількісне співвідношення між прогнозованим та виконаним обсягом специфічного РВ – «невротизація» – серед пацієнтів із Н-ТУ ПС**

Терміни, в які були виконані кожний із видів специфічних РВ, представлений на Рис. 3.17. Так, РВ «невроліз» було виконано у 45 пацієнтів (70,3 %), РВ «автологічна пластика» було виконано у 12 пацієнтів (85,7 %), РВ «невротизація» було виконано у 48 пацієнтів (67,6 %) у терміни до 6 міс. Жодного РВ «аутологічна пластика» не виконано у терміни пізніше 9 міс, а у 13

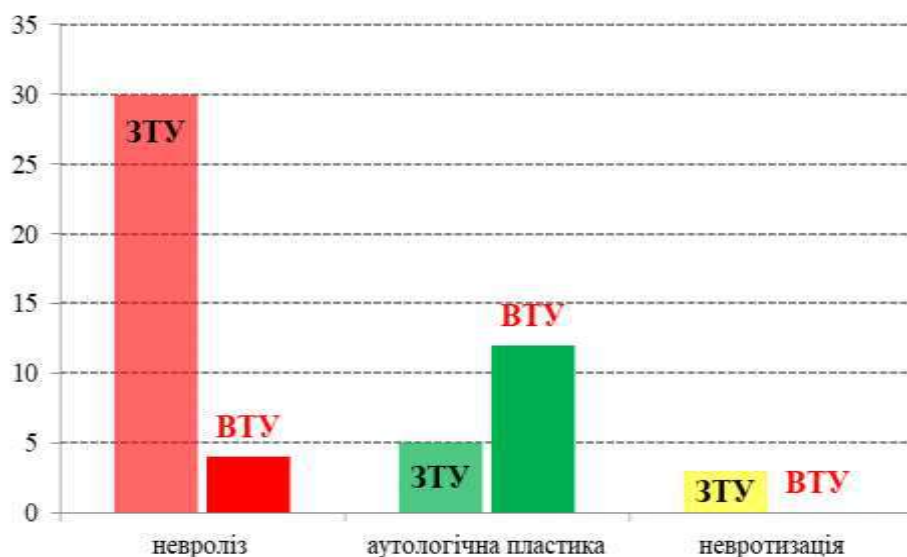
(20,3 %) та 12 (16,9 %) пацієнтів були виконані РВ «невроліз» та «невротизація» у терміни пізніше 9 міс. (Рис. 3.17).



**Рис. 3.17. Терміни виконання специфічних РВ у пацієнтів із Н-ТУ ПС**

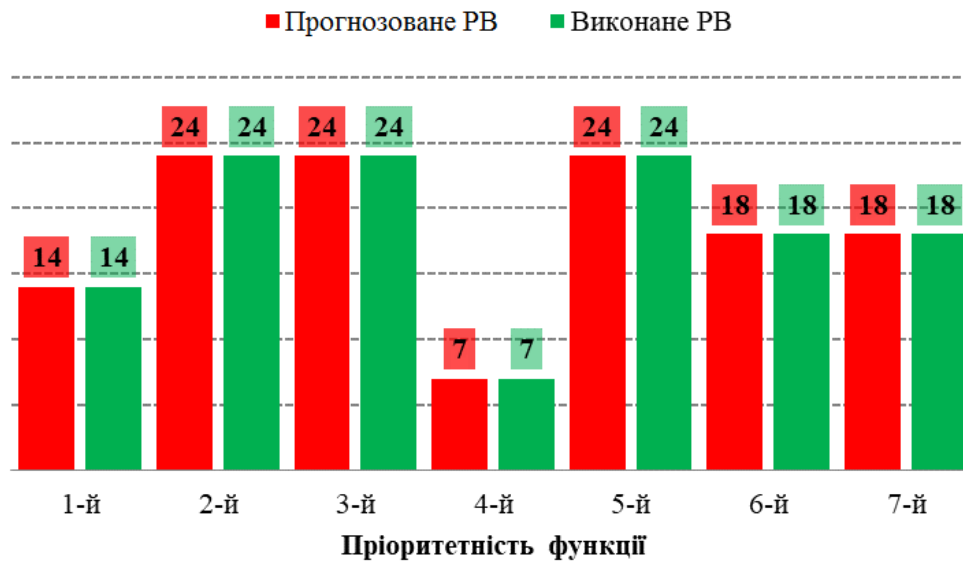
**3.3.2. Методологічні та епідеміологічні характеристики хірургічних втручань, використаних для відновлення пріоритетних функцій у пацієнтів із підключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення**

54 пацієнтам із П-ТУ ПС виконано 34 РВ «невроліз», 17 РВ «автологічна пластика», 3 РВ «невротизація», або 62,9 %, 31,5 % та 5,6 % відповідно (Рис.3.18). Серед 16 пацієнтів із «відритим» П-ТУ ПС 4 та 12 з них в якості РВ виконано невроліз та аутологічну пластику, що склало 7,4 % та 22,2 % від кількості проведених специфічних видів РВ (Рис.3.18). Звертає на себе увагу той факт, що аутологічна пластика виконувалась у 75 % випадків усіх «відкритих» П-ТУ ПС.



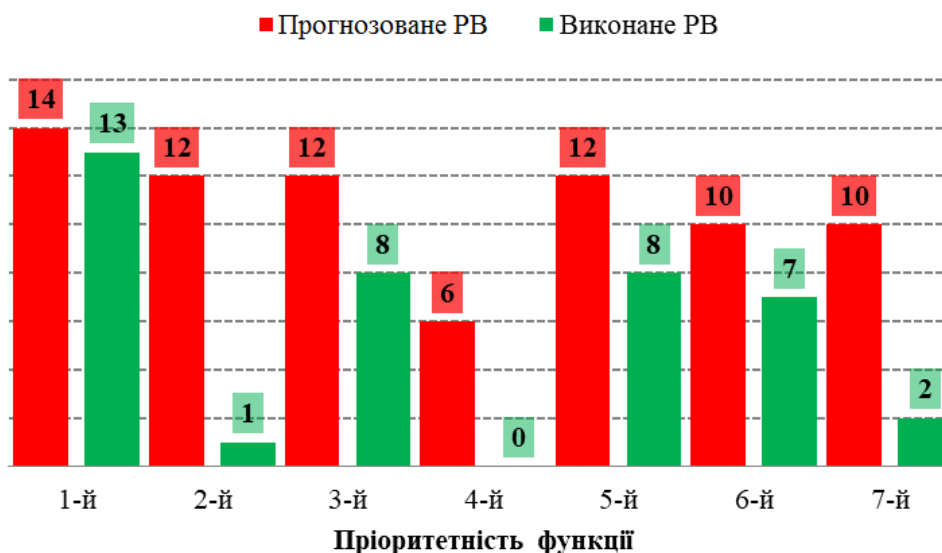
**Рис. 3.18.** Кількість «закритих» та «відкритих» П-ТУ ПС у структурі специфічних видів РВ: ЗТУ – закрите травматичне ушкодження, ВТУ – відкрите травматичне ушкодження

Враховуючи анатомічні особливості П-ТУ ПС, а саме кількість пучків ПС, залучених у патологічний травматичний процес, кожен із видів специфічних РВ був направлений на відновлення їх функцій з урахуванням їх пріоритетності (Рис. 3.19). Серед 34 пацієнтів із П-ТУ ПС, яким був виконаний «невроліз», у 14 випадках РВ мало бути направлено на відновлення пріоритетних функцій лише 1-го порядку, у 24 випадках – додатково 2-го, 3-го та 5-го порядків, у 18 випадках – додатково 6-го та 7-го порядків та у решти 7 випадках – на відновлення пріоритетних функцій 4-го порядку (Рис. 3.19). Враховуючи технічні особливості даного РВ, його проведення було направлено на неселективне відновлення усіх пріоритетних функцій в залежності від анатомічних особливостей П-ТУ ПС (Рис. 3.19).



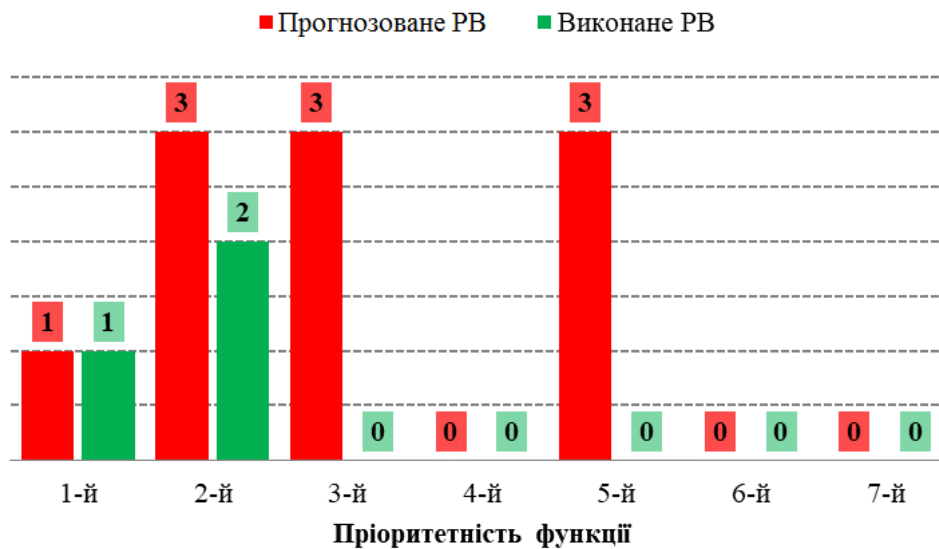
**Рис. 3.19.** Кількісне співвідношення між прогнозованим та виконаним обсягом специфічного РВ – «невроліз» – серед пацієнтів із П-ТУ ПС

Серед 17 пацієнтів із П-ТУ ПС, яким була виконана «автологічна пластика», у 14 випадках РВ мало бути спрямоване на відновлення пріоритетних функцій 1-го порядку, у 12 випадках – 2-го, 3-го та 5-го порядків, у 10 випадках – 6-го та 7-го порядків та у 6 випадках – на відновлення пріоритетної функції 4-го порядку (Рис. 3.20) – прогнозований обсяг РВ. В дослідженні, насправді, у 13 із 14 випадків (92,6 %) проведено РВ, направлене на відновлення пріоритетної функції 1-го порядку, у 1 із 12 випадків (8,3 %) – пріоритетної функції 2-го порядку, у 8 із 12 випадків (66,7 %) пріоритетних функцій 3-го й 5го порядків, у 7 із 10 випадків (70 %) та у 2 із 10 випадків (20 %) пріоритетних функцій 6-го й 7-го попарно відповідно. Жодного РВ не виконано для відновлення пріоритетної функції 4-го порядку, що відображає істинний або виконаний обсяг РВ (Рис. 3.20).



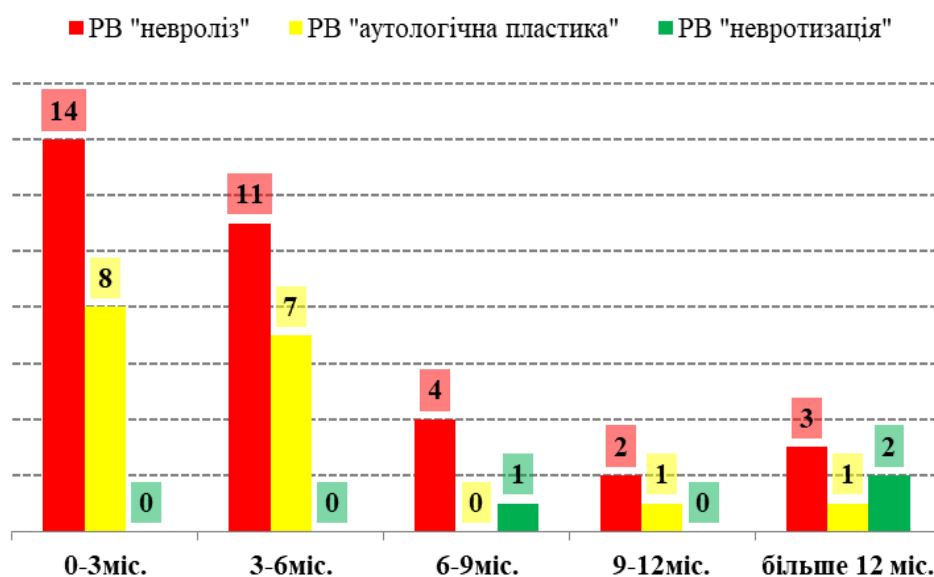
**Рис. 3.20.** Кількісне співвідношення між прогнозованим та виконаним обсягом специфічного РВ – «аутологічна пластика» – серед пацієнтів із Н-ТУ ПС

Серед 3 пацієнтів із П-ТУ ПС, яким була виконано «невротизація», лише у 1 випадку РВ мало бути направлене (передбачуваний обсяг) на відновлення пріоритетної функції 1-го порядку, у всіх 3 випадках РВ мало бути направлене на відновлення пріоритетних функцій 2-го, 3-го та 5-го порядків – прогнозований обсяг РВ (Рис. 3.21). Виконано 1 РВ, направлене на відновлення пріоритетної функції 1-го порядку, в 2 випадках – на відновлення пріоритетної функції 2-го порядку, що відображає істинний або виконаний обсяг РВ (Рис.3.21). В жодному випадку не виконувалось РВ, спрямоване на відновлення пріоритетних функцій 3-го та 5-го порядків (Рис. 3.21).



**Рис. 3.21. Кількісне співвідношення між прогнозованим та виконаним обсягом специфічного РВ – «невротизація» – серед пацієнтів із П-ТУ ПС**

Терміни, в які були виконані кожний із видів специфічних РВ, представлений на Рис. 3.22. Так, РВ «невроліз» було виконано 25 пацієнтів (73,5 %), РВ «автологічна пластика» було виконано у 15 пацієнтів (88,2 %), РВ «невротизація» у жодного пацієнта у терміни до 6 міс. У 100 % пацієнтів РВ «невротизація» виконана у терміни пізніше 6 міс, у 66,7 % з них – у терміни пізніше 12 міс. (Рис. 3.22).



**Рис. 3.22. Терміни виконання специфічних РВ серед пацієнтів із П-ТУ ПС**

### 3.4. Характеристика нових впроваджених хірургічних методів і нервів-донорів, використаних для реіннервації КЛЮЧОВИХ М'ЯЗІВ «SHOULDER UNIT» та «ELBOW UNIT»

#### 3.4.1. Характеристика нових впроваджених методів хірургічної реіннервації ключових м'язів із комплексу «ELBOW UNIT» (1-й порядок пріоритетності відновлення), необхідних для виконання основних видів активної щоденної діяльності

59 (58 пацієнтів із Н-ТУ-ПС та 1 пацієнт із П-ТУ ПС) пацієнтам було виконано РВ «невротизація», спрямоване на відновлення пріоритетної функції 1-го порядку. Загалом було використано 7 різних іпсилатеральних нервів-донорів екстраплексусного та інтраплексусного походження для невротизації *n. musculocutaneus* (відповідно, м'язів із його іннерваційного пулу). У 6 випадках під час РВ для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку використано нерви-донори екстраплексусного походження – донори «відчаю»: *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, *nn. intercostales 2-5* та *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*. Незважаючи на доволі сумнівний прогноз відновлення пріоритетної функції 1-го порядку, ми використали вказані вище нерви-донори, оскільки вони відповідали усім вимогам / критеріям для тих, що використовуються для відновлення рухової функції.

Серед 4 іпсилатеральних нервів-донорів екстраплексусного походження (Табл. 3.4) у 30 випадках було використано *n. phrenicus*, у 3 випадках – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, у 2 випадках – *nn. intercostales 2-5* та у 1 випадку – *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*. Серед 3 іпсилатеральних нервів-донорів інтраплексусного походження у 7 випадках було використано волокнину *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris*, у 9 випадках – *n. pectoralis lateralis*, у 7 випадках – *n. pectoralis medialis* (Табл. 3.4). В одного пацієнта для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку було одночасно



використано комбінацію двох нервів-донорів інтраплексусного та екстраплексусного походження – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* та *n. pectoralis lateralis*.

В 41 випадку (70,7 %) нерви-донори як екстраплексусного, так і інтраплексусного походження при виконанні РВ, направлено на відновлення пріоритетної функції 1-го порядку, використані в терміні до 6 міс (Табл. 3.4). Лише у 4 випадках (6,9 %) РВ виконано у терміні пізніше 12 міс із залученням в якості нерва-донора *n. phrenicus* та *n. pectoralis lateralis* (Табл.3.4).

Таблиця 3.4

**Кількісні показники частоти та терміни використання нервів-донорів для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку серед пацієнтів, включених в дослідження**

		ЕКСТРАПЛЕКСУСНІ					ІНТРАПЛЕКСУСНІ						
		Пріоритетна функція 1-го порядку											
		0-3м	3-6м	6-9м	9-12м	>12м	0-3м	3-6м	6-9м	9-12м	>12м	термін	
<b>PhN</b>	<b>30</b>	=====>					<=====					<b>7</b>	<b>UN(FCU)</b>
термін		0-3м	3-6м	6-9м	9-12м	>12м	0-3м	3-6м	6-9м	9-12м	>12м	термін	
		13	9	4	2	2	-	6	-	1	-		
<b>Acc(SCM)</b>	<b>3</b>	=====>					<=====					<b>9</b>	<b>Pect(L)</b>
термін		0-3м	3-6м	6-9м	9-12м	>12м	0-3м	3-6м	6-9м	9-12м	>12м	термін	
		1	2	-	-	-	3	1	2	1	2		
<b>Acc(LT)</b>	<b>1</b>	=====>					<=====					<b>7</b>	<b>Pect(M)</b>
термін		0-3м	3-6м	6-9м	9-12м	>12м	0-3м	3-6м	6-9м	9-12м	>12м	термін	
		-	1	-	-	-	2	1	4	-	-		
<b>ICN</b>	<b>2</b>	=====>					<=====						
термін		0-3м	3-6м	6-9м	9-12м	>12м							
		2	-	-	-	-							

Примітка: PhN – *n. phrenicus*, Acc(SCM) – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, Acc(LT) – *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*, ICN – *nn. intercostales 2-5*, UN(FCU) – волокнина *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris*, Pect(L) – *n. pectoralis lateralis*, Pect(M) – *n. pectoralis medialis*

З технічної точки зору, незалежно від походження нерва-донора, принциповою різницею між методами реіннервації *m. biceps brachii* та *m. brachialis* є можливість виконати неселективну (Додаток Б.1, Б.2, Б.3, Б.4) або селективну (Додаток Б.5, Б.6, Б.7) процедуру (передбачає вибірккову реіннервацію одного або обох м'язів із виключенням із зони кооптації *n. cutaneus antebrachii lateralis*), пряму коаптацію нерва-донора й нерва-акцептора (*n. musculocutaneus*) та шляхом інтерпозиції аутологічного нервового трансплантату у випадку, коли обидва нерви знаходяться на суттєвій відстані (розташовані в різних анатомічних ділянках). Обидва методи реіннервації передбачають використання або трансаксілярного доступу (Додатки Б.1, Б.2, Б.3, Б.4) до загального стовбуру *n. musculocutaneus*, або доступу на медіальній поверхні плеча (Додатки Б.5, Б.6, Б.7) з виокремленням волокнин безпосередньо до *m. biceps brachii* та/або *m. brachialis* із стовбуру *n. musculocutaneus*.

**3.4.2. Характеристика нових впроваджених методів хірургічної реіннервації ключових м'язів скапулогумеральної групи задньої та передньої поверхонь тулуба із комплексу «SHOULDER UNIT» (2-й порядок пріоритетності відновлення), необхідних для виконання основних видів активної щоденної діяльності**

Загалом 53 пацієнтам (51 пацієнту із Н-ТУ ПС та 2 пацієнтам із П-ТУ ПС) виконано РВ «невротизація», направлене на відновлення пріоритетної функції 2-го порядку. Враховуючи той факт, що пріоритетна функція 2-го порядку забезпечується м'язами із різних іннерваційних пулів (див. Розділ 1, підрозділ 1.2. – іннервація забезпечується різними нервами), характеристика нервів-донорів, що були використані при РВ, направлених на її відновлення, наведена в окремих підрозділах.

### 3.4.2.1. Скапулогумеральна група м'язів передньої поверхні тулуба (передня та задня порції дельтоподібного м'яза) – іннерваційний пул *n. axillaris*

44 пацієнтам виконано неселективну чи селективну невротизацію *n. axillaris* (лише дельтовидного м'яза із його іннерваційного пулу, оскільки волокнини *n. axillaris* до *m. teres minor* не включались в ділянку кооптації нерва-донора та нерва-акцептора) задля забезпечення відновлення пріоритетної функції 2-го порядку. Загалом було використано 5 різних іпсилатеральних нервів-донорів екстраплексусного та інтраплексусного походження. Серед 2 іпсилатеральних нервів-донорів екстраплексусного походження (Табл. 3.5) у 22 випадках було використано *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, у 3 випадках – *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*. Серед 3 іпсилатеральних нервів-донорів інтраплексусного походження у 15 випадках було використано волокнини *n. radialis* до *caput mediale m. triceps brachii*, у 2 випадках – проксимальну куксу передньої гілки спінального нерва C5, у 2 випадках – *n. thoracodorsalis* (Табл. 3.5).

В 30 випадках (68,2 %) нерви-донори як екстраплексусного, так і інтраплексусного походження при виконанні РВ, направлено на відновлення пріоритетної функції 2-го порядку (іннерваційний пул *n. axillaris*), використані в терміни до 6 міс (Табл. 3.5). У 6 випадках (13,6 %) РВ виконано у терміни пізніше 12 міс із залученням в якості нерва-донора волокнини *n. radialis* до *caput mediale m. triceps brachii* та *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* (Табл. 3.5).

Таблиця 3.5

**Кількісні показники частоти та терміни використання нервів-донорів для відновлення пріоритетної функції 2-го порядку (іннерваційний пул *n. axillaris* – AX) серед пацієнтів, включених в дослідження**

		ЕКСТРАІЛЕКСУСНІ					ІНТРАІЛЕКСУСНІ						
		0-3м	3-6м	6-9м	9-12м	>12м	0-3м	3-6м	6-9м	9-12м	>12м		
Acc(SCM)	22	→					←					15	RN (MTB)
термін												термін	
		13	3	4	1	1	5	2	4	-	4		
Acc(LT)	3	→					←					2	C5
термін												термін	
		2	1	-	-	-	1	1					
							←					2	ThorDors
												термін	
							-	1	-	-	1		

Примітка: Acc(SCM) – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, Acc(LT) – *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*, RN(MTB) – волокнини *n. radialis* до *caput mediale m. triceps brachii*, C5 – проксимальна кукса передньої гілки спінального нерва C5, ThorDors – *n. thoracodorsalis*

З технічної точки зору, незалежно від походження нерва-донора, принциповою різницею в методах реіннервації *m. deltoideus* є можливість виконати неселективну (Додатки В.1, В.2, В.3, В.4., В.5, В.6) або селективну процедуру (Додаток В.7) (передбачає вибіркву реіннервацію однієї із порцій дельтоподібного м'яза), пряму коаптацію нерва-донора й нерва-акцептора, та шляхом інтерпозиції аутологічного нервового трансплантата у випадку, коли обидва нерви знаходяться на суттєвій відстані (розташовані в різних анатомічних ділянках). Обидва метода реіннервації передбачають використання як переднього (щодо поверхні тулуба) або трансаксилярного доступу (Додатки В.1, В.2, В.3), так і заднього доступу до *n. axillaris* (Додатки В.4, В.5, В.6, В.7).

### 3.4.2.2. Скапулогумеральна група м'язів задньої поверхні тулуба (надостьовий та підостьовий м'язи) – *n. suprascapularis*

29 пацієнтам виконано невротизацію *n. suprascapularis* для забезпечення відновлення пріоритетної функції 2-го порядку. Загалом було використано 2 різних іпсилатеральних нервів-донорів лише екстраплексусного походження. Серед двох іпсилатеральних нервів-донорів екстраплексусного походження (Табл. 3.6) у 9 випадках було використано *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, у 20 випадках – *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii* (Табл. 3.6).

Таблиця 3.6

**Кількісні показники частоти та терміни використання нервів-донорів для відновлення пріоритетної функції 2-го порядку (іннерваційний пул *n. suprascapularis* – SS) серед пацієнтів, включених в дослідження**

		ЕКСТРАПЛЕКСУСИ				
Acc(SCM)	9	=====>				
		термін	0-3м	3-6м	6-9м	9-12м
		3	5	1	-	-
Acc(LT)	20	=====>				
		термін	0-3м	3-6м	6-9м	9-12м
		6	7	2	1	4

**Пріоритетна функція 2-го порядку, пул SS**

*Примітка: Acc(SCM) – ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, Acc(LT) – ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii.*

В 21 випадку (72,4 %) нерви-донори при виконанні РВ, направлено на відновлення пріоритетної функції 2-го порядку (іннерваційний пул

*n. suprascapularis*), використані в терміни до 6 міс (Табл. 3.6). У 4 випадках (13,8 %) РВ виконано у терміни пізніше 12 міс із залученням в якості нерва-донора *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii* (Табл. 3.6).

З технічної точки зору, незалежно від походження нерва-донора, принциповою різницею в методах селективної реіннервації *m. supraspinatus* та *m. infraspinatus* є можливість виконати пряму коаптацію нерва-донора й нерва-акцептора та шляхом інтерпозиції аутологічного нервового трансплантата у випадку, коли обидва нерви знаходяться на суттєвій відстані (розташовані в різних анатомічних ділянках). Обидва метода реіннервації передбачають використання як переднього (по відношенню до поверхонь тулуба) або надключичного доступу (Додатки Г.1, Г.2), так і заднього або надлопаткового доступу (Додатки Г.3, Г.4) до *n. suprascapularis*.

Лише одночасне функціонування (комбіноване відновлення функцій) м'язів «Shoulder Unit» скапулогумеральної групи із іннерваційного пулу *n. axillaris* та *n. suprascapularis* здатне забезпечити виконання ефективного максимального обсягу рухів [195]. 20 пацієнтам виконано одночасну невротизацію *n. suprascapularis* та *n. axillaris* задля забезпечення відновлення пріоритетної функції 2-го порядку та, відповідно, відновлення ефективного максимального обсягу рухів. Загалом було використано 4 різних комбінацій іпсилатеральних нервів-донорів як екстраплексусного, так і інтраплексусного походження. Серед двох іпсилатеральних нервів-донорів екстраплексусного походження, направлено на відновлення пріоритетної функції 2-го порядку із іннерваційного пулу *n. suprascapularis* у 14 випадках було використано *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*, а у 6 випадках – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*. Для відновлення пріоритетної функції 2-го порядку із іннерваційного пулу *n. axillaris* у 7 випадках використано іпсилатеральні нерви-донори екстраплексусного походження *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii* (2 випадки) та *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* (5 випадків), а у 9 випадках використано іпсилатеральні нерви-

донори інтраплексусного походження – волокнини *n. radialis* до *caput mediale m. triceps brachii*.

В 12 випадках (60 %) використання нервів-донорів при РВ, направлено на комбіноване відновлення пріоритетної функції 2-го порядку, виконано в терміни до 6 міс. У 4 випадках (20 %) РВ виконано у терміни до 9 міс та ще у 4 випадках (20 %) – у терміни пізніше 12 міс із залученням в якості нерва-донора волокнини *n. radialis* до *caput mediale m. triceps brachii* для відновлення пріоритетної функції 2-го порядку із іннерваційного пулу *n. axillaris* та нерва-донора *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii* для відновлення пріоритетної функції 2-го порядку із іннерваційного пулу *n. suprascapularis*.

## РОЗДІЛ 4

### РЕЗУЛЬТАТИ

#### ВІДНОВЛЕННЯ СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛЮЧОВИХ М'ЯЗІВ

Ще раз зауважимо, що оцінка результатів відновлення функцій верхньої кінцівки проводилась з урахуванням їх пріоритетності. Саме групування пацієнтів залежно від рівня ушкодження структур ПС забезпечило створення передумов для опрацювання універсальної «МОДЕЛІ», яка б дозволила вивчити не лише можливість відновлення функцій із використанням стандартних та нових запропонованих хірургічних методів, а й, враховуючи об'єктивні загальновідомі особливості процесів регенерації / дегенерації нервово-м'язового апарату, прагнути досягти максимального прогнозованого результату в когорті пацієнтів та в кожному індивідуальному випадку ТУ ПС.

Основною анатомічною характеристикою травми в усіх 149 пацієнтів із Н-ТУ ПС на момент залучення в дослідження була відсутність пріоритетних функцій **1-го** та **2-го порядку** (148 та 149 випадків в абсолютних числах, відповідно), саме ця когорта пацієнтів була «**МОДЕЛЮ А**» для вивчення ефективності стандартних та нових запропонованих хірургічних методів, направлених на відновлення вказаних вище функцій (Табл.4.1).

Основною анатомічною характеристикою травми усіх 54 пацієнтів із П-ТУ ПС на момент включення в дослідження була відсутність пріоритетних функцій **3-го** та **5-го** порядків (39 випадків в абсолютних числах), саме ця когорта пацієнтів була «**МОДЕЛЮ Б**» для вивчення ефективності стандартних та нових запропонованих хірургічних методів, направлених на відновлення вказаних вище функцій (Табл. 4.1).



Таблиця 4.1

**Кількість пацієнтів із підгрупи «МОДЕЛЬ А» (Н-ТУ ПС) та «МОДЕЛЬ Б» (П-ТУ ПС), які потребували відновлення функції м'язів верхньої кінцівки в порядку їх пріоритетності**

Порядок пріоритетності	Назва функції	Нерв(и), що забезпечують функцію	«МОДЕЛЬ А» Н-ТУ ПС, кількість	«МОДЕЛЬ Б» П-ТУ ПС, кількість
1-й	EF	n. musculocutaneus	148	29***
2-й	ShS, SFF, SABD, SER	n. thoracicus longus, n. axillaris, n. suprascapularis	149	39****
3-й	EE	n. radialis	108*	39
4-й	BTP	nn. pectorales	48**	13**
5-й	WFE	n. radialis	108*	39

*Примітка:* EF – згинання в ліктьовому суглобі; ShS – стабільність плечового поясу та плеча; SABD – відведення плеча; SFF – згинання в плечовому суглобі, SER – зовнішня ротація плеча; EE – розгинання в ліктьовому суглобі; BTP – «brachiothoracic pinch», приведення плеча; WFE – розгинання в променево-зап'ястковому суглобі та розгинання в п'ястково-фалангових суглобах.

\* – немає технічної можливості виконати із-за браку достатньої кількості нервів-донорів (позначено червоним);

\*\* – іннервація забезпечується усіма стовбурами ПС (позначено жовтим);

\*\*\* – значно менша кількість досліджуваних із П-ТУ ПС у порівнянні із досліджуваними із Н-ТУ ПС (позначено помаранчевим).

\*\*\*\* – не входять м'язи із пулу *n. suprascapularis*, що входять до складу комплексної пріоритетної функції 2-го порядку (позначено блакитним).

Таким чином, даний розділ присвячений оцінці результатів відновлення пріоритетних функцій з 1-го, 2-го, 3-го та 5-го порядків, без урахування особливостей відновлення пріоритетної функції 4-го порядку (див. Табл. 4.1).

#### 4.1. Результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку [248]

Оцінювання результатів проводили із урахуванням виду РВ, термінів до моменту проведення будь-якого РВ та кількості передніх спінальних нервів залучених у патологічний травматичний процес лише у пацієнтів із Н-ТУ ПС (див. Табл. 4.1).

##### 4.1.1. Результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку залежно від виду проведеного реконструктивного втручання

Серед 64 пацієнтів із Н-ТУ ПС, котрим було виконано РВ «невроліз», відновлення сили м'язів (зокрема *m. biceps brachii*), що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 досягнуто у 14 (21,9 %) (Рис. 4.1). Виконання РВ «автологічна пластика» у 14 пацієнтів дозволила досягнути відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 у 4 випадках (28,6 %) (Рис.4.1). Виконання РВ «невротизація» у 70 пацієнтів із Н-ТУ ПС дозволила досягнути відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 у 39 випадках (55,7 %) (Рис.4.1).

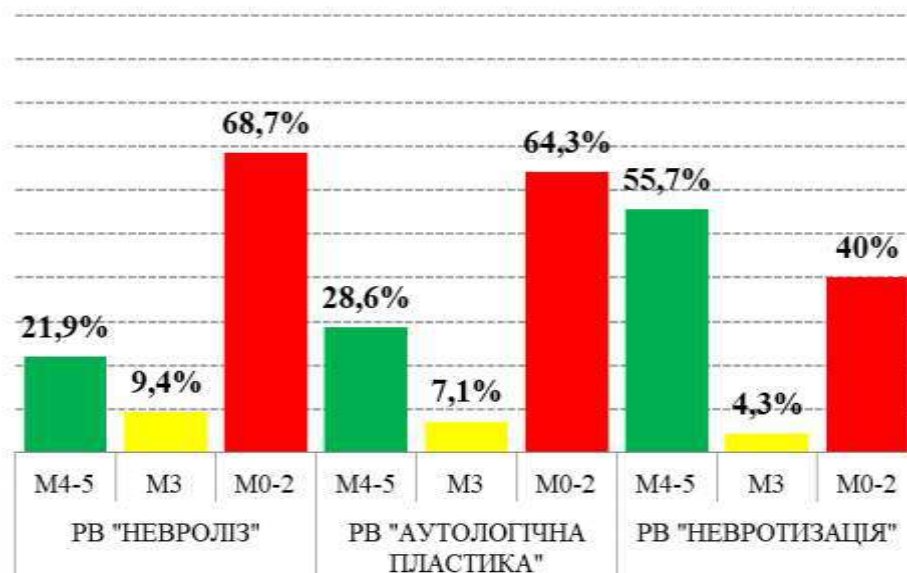
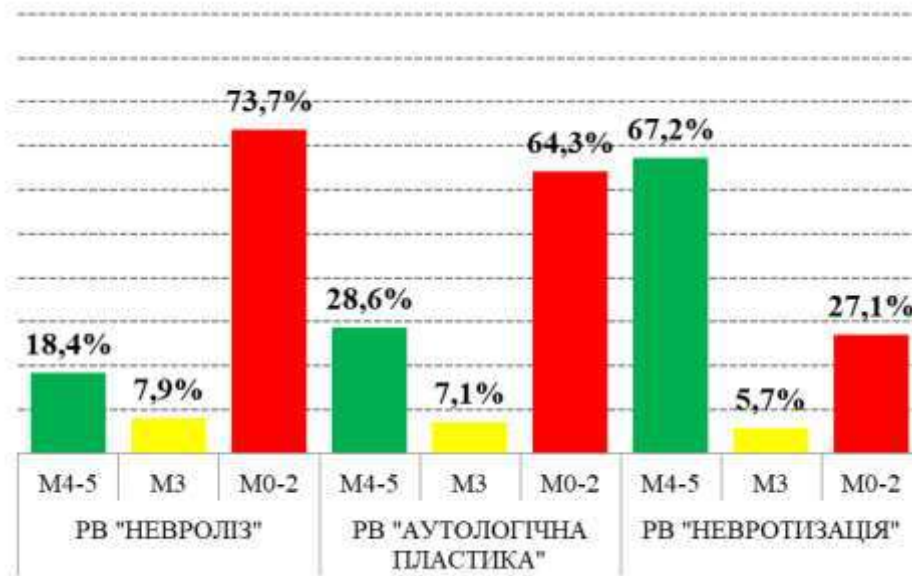


Рис. 4.1. Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, за шкалою MRC залежно від виду проведеного реконструктивного втручання

Враховуючи той факт, що передбачуваний та виконаний обсяг РВ «невротизація», направлене на відновлення пріоритетної функції 1-го порядку, серед пацієнтів із Н-ТУ ПС різниться, та відповідно склав 70 та 58 випадків, у 12 випадків відбулась «внутрішня міграція» пацієнтів із даної підгрупи, у яких в силу тих чи інших причин не виконано передбачуване РВ в підгрупу РВ «невроліз» (Розділ 3, підрозділ 3.5, Рис.3.15). Таким чином, при оцінюванні результатів кількість пацієнтів із Н-ТУ ПС в підгрупі, яким було виконано РВ «невроліз», направлене на відновлення пріоритетної функції 1-го порядку становила 76. У жодного пацієнта, який внаслідок «внутрішньої міграції» перемістився в зазначену вище підгрупу, не відбулось відновлення м'язів, що забезпечують пріоритетну функцію 1-го порядку, до рівня М2-5.

Внаслідок «внутрішньої міграції» пацієнтів, кінцеві результати відновлення виглядали наступним чином. Серед 76 пацієнтів із Н-ТУ ПС, котрим було виконано РВ «невроліз», відновлення сили м'язів (зокрема *m. biceps brachii*), що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 досягнуто у 18,4 % (Рис. 4.2). Виконання РВ «аутологічна пластика» у 14 пацієнтів дозволила досягнути відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 у 28,6 % (Рис. 4.2). Виконання РВ «невротизація» у 58 пацієнтів із Н-ТУ ПС дозволила досягнути відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 у 67,2 % (Рис. 4.2). Та навпаки, відсутність ефективного відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку – рівень М0-2 – становила 73,7 % після виконання РВ «Невроліз», 64,3 % – після виконання РВ «Аутологічна пластика» та 27,1 % після виконання РВ «Невротизація» (Рис. 4.2).

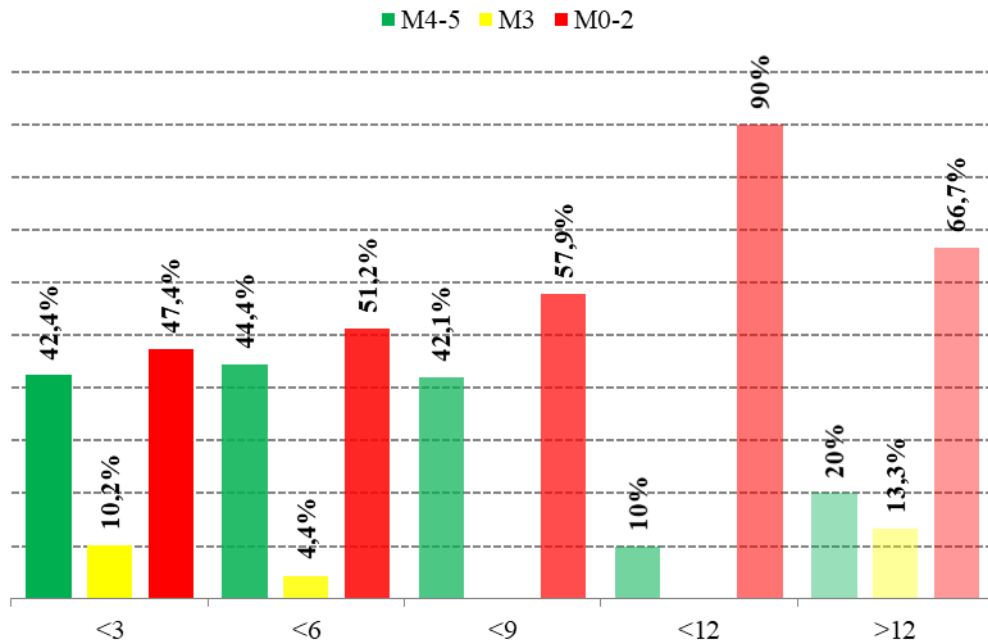


**Рис. 4.2.** Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, за шкалою MRC залежно від виду проведеного реконструктивного втручання після «внутрішньої міграції» пацієнтів

#### 4.1.2. Результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку залежно від термінів до моменту проведення первинного реконструктивного втручання

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» (охарактеризований в попередньому підрозділі) загальна кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс., від 3-6 міс, від 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс становила 25, 20, 8, 1 та 3 (відображено у процентному співвідношенні на Рис.4.3) відповідно. Загальна кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку до рівня М3 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс, від 3-6 міс та більше 12 міс становила 6, 2, та 2 (відображено у процентному співвідношенні на Рис.4.3) відповідно. Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку – рівень М0-2 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс,

від 3-6 міс, від 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс – становила 28, 23, 11, 9 та 10 (відображено у процентному співвідношенні на Рис.4.3) відповідно.



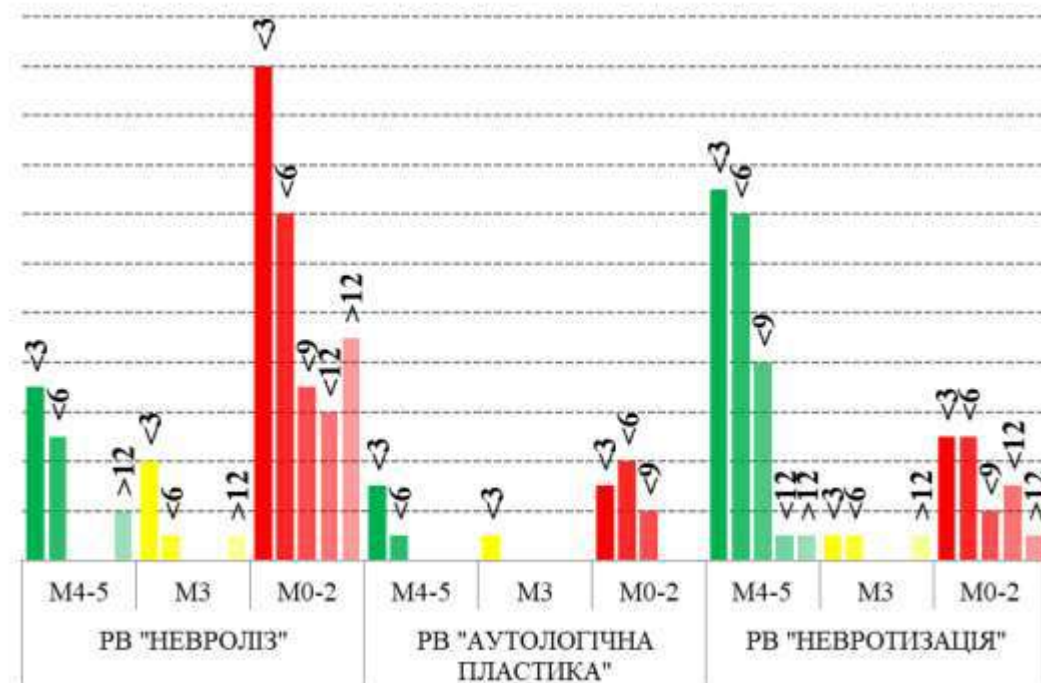
**Рис. 4.3. Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, за шкалою MRC в залежності від термінів проведення будь-якого реконструктивного втручання після «внутрішньої міграції» пацієнтів**

#### **4.1.3. Результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку залежно від виду та термінів до моменту проведення первинного реконструктивного втручання**

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс та більше 12 міс становила 7, 5 та 2 (Рис. 4.4), до рівня M3 після виконання РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс та більше 12 міс становила 4, 1 та 1 (Рис. 4.4). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку – рівень M0-2 – після проведення РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс становила 20, 14, 7, 6 та 9 відповідно (Рис. 4.4).

Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Автологічна пластика» в терміні 0-3 міс та від 3-6 міс становила 3 та 1 (Рис. 4.4), до рівня М3 після виконання РВ «Автологічна пластика» в терміні 0-3 міс становила 1 (Рис. 4.4). Загальна кількість пацієнтів, у яких не відбулося відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку (рівень М0-2) після проведення РВ «Автологічна пластика» в терміні 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс становила 3, 4 та 2 відповідно (Рис. 4.4).

Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» в терміні 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс становила 15, 14, 8, 1 та 1 (Рис. 4.4), до рівня М3 після виконання РВ «Невротизація» в терміні 0-3 міс, від 3-6 міс та більше 12 міс становила 1, 1 та 1 (Рис. 4.4). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Невротизація» в терміні 0-3 міс., від 3-6 міс., від 6-9 міс., від 9-12 міс. та більше 12 міс. становила 5, 5, 2, 3 та 1 відповідно (Рис. 4.4).



**Рис. 4.4.** Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, за шкалою MRC в залежності від термінів та виду проведеного реконструктивного втручання після «внутрішньої міграції» пацієнтів

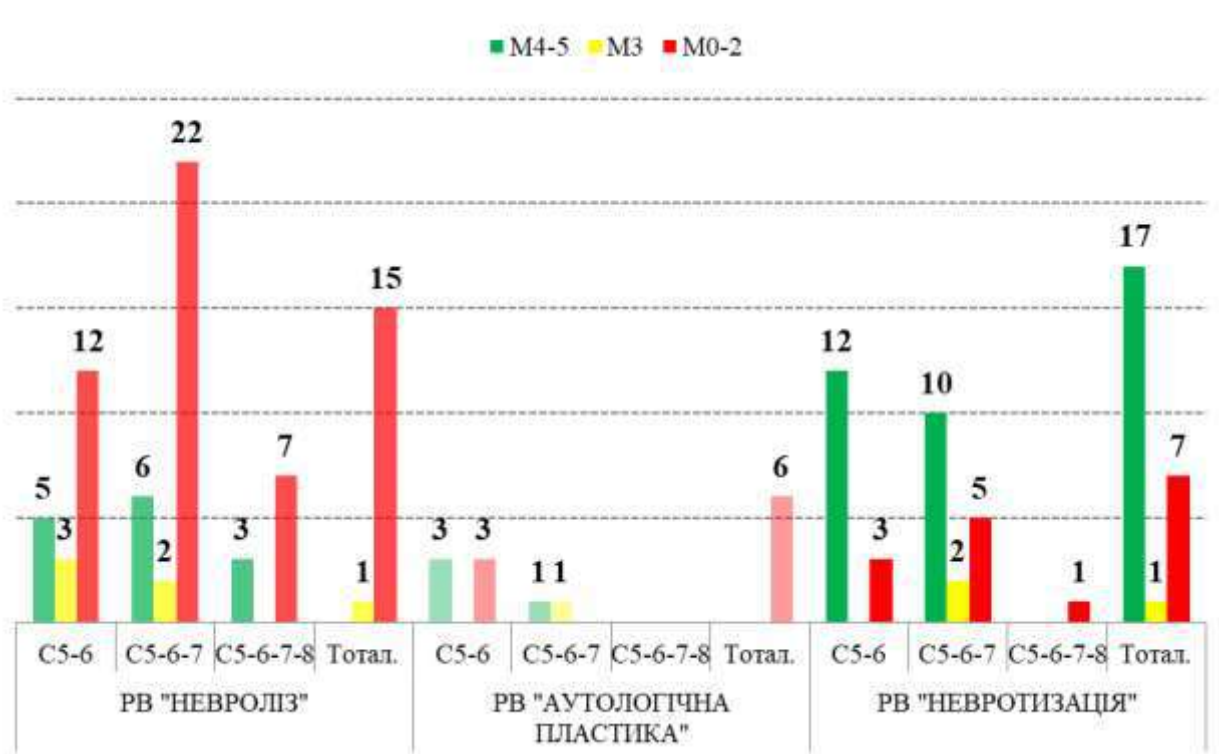
#### **4.1.4. Результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку залежно від виду реконструктивного втручання та кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний процес**

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невроліз» при ушкодженні С5-6, С5-6-7, С5-6-7-8 та Тотал. становила 5, 6, 3 та 0 (Рис. 4.5), до рівня М3 після виконання РВ «Невроліз» при ушкодженні С5-6, С5-6-7, С5-6-7-8 та Тотал. становила 3, 2, 0 та 1 (Рис. 4.5) відповідно. Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку (рівень М0-2) після проведення РВ «Невроліз» при ушкодженні С5-6, С5-6-7, С5-6-7-8 та Тотал. становила 12, 22, 7 та 15 (Рис. 4.5) відповідно.

Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні С5-6, С5-6-7 та Тотал. становила 4, 1 та 0 (Рис. 4.5), до рівня М3 після виконання РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні С5-6-7 становила 1 (Рис. 4.5). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку (рівень М0-2) після проведення РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні С5-6 та Тотал. становила 3 та 6 (Рис. 4.5) відповідно.

Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» при ушкодженні С5-6, С5-6-7 та Тотал. становила 12, 10 та 17 (Рис.4.5), до рівня М3 після виконання РВ «Невротизація» при ушкодженні С5-6-7 та Тотал. становила 2 та 1 (Рис. 4.5). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку (рівень М0-2) після проведення РВ

«Невротизація» при ушкодженні C5-6, C5-6-7, C5-6-7-8 та Тотал. становила 3, 5, 1 та 7 (Рис.4.5) відповідно.



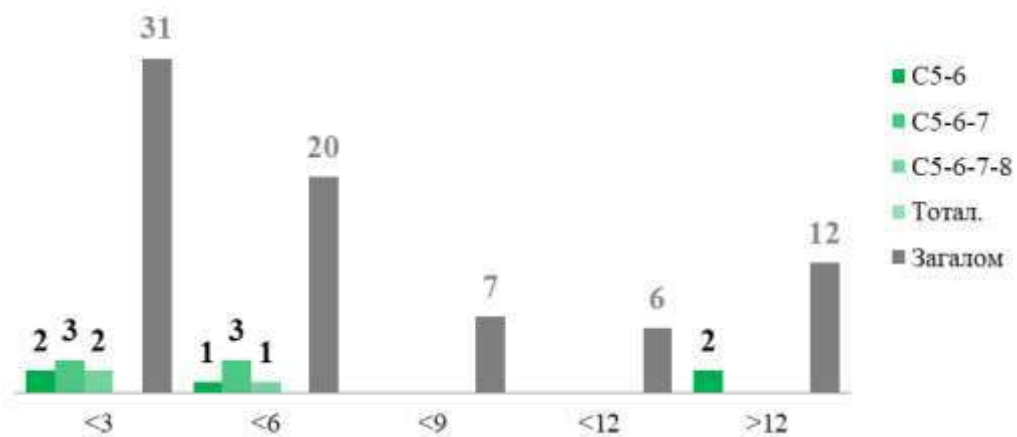
**Рис. 4.5. Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, за шкалою MRC в залежності від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес та виду проведеного реконструктивного втручання після «внутрішньої міграції» пацієнтів**

**4.1.5. Результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку залежно від виду реконструктивного втручання, терміну його виконання та кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний процес**

Загалом кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня M4-5 після виконання RB «Невроліз» в терміни від 0-3 міс становила 7, тобто 22,6 % від загальної кількості проведених RB «Невроліз» в дані терміни (Рис. 4.6). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні C5-6, C5-6-7 та C5-6-7-8 становила 2, 3 та 2 (Рис. 4.6). В терміни 3-6 міс кількість пацієнтів, у котрих



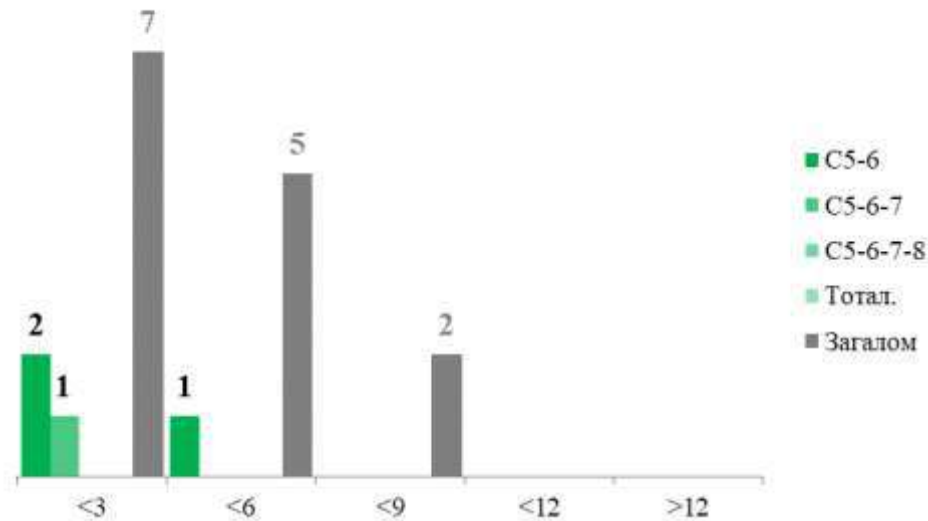
відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невроліз» становила 5, тобто 25 % від загальної кількості проведених РВ «Невроліз» в дані терміни (Рис. 4.6). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні С5-6, С5-6-7 та С5-6-7-8 становила 1, 3 та 1 (Рис. 4.6). Жодного пацієнта, у котрого відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невроліз» в терміни 6-9 міс та 9-12 міс не було (Рис. 4.6). В термінні більше 12 міс у 2 пацієнтів (16,7 %) при ушкодженні С5-6 відбулось відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невроліз» (Рис. 4.6).



**Рис. 4.6. Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес та термінів виконання РВ «Невроліз» після «внутрішньої міграції» пацієнтів**

Загалом кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Автологічна пластика» в терміни від 0-3 міс становила 3, тобто 42,9 % від загальної кількості проведених РВ «Автологічна пластика» в дані терміни (Рис.4.7). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні С5-6 та

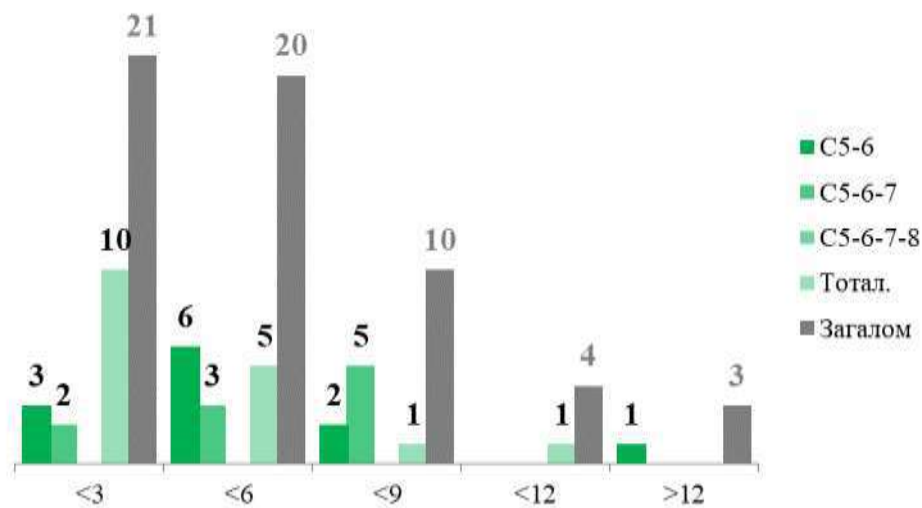
C5-6-7 становила 2 та 1 (Рис.4.7). В терміни 3-6 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Автологічна пластика» становила 1 при ушкодженні C5-6, тобто 20 % від загальної кількості проведених РВ «Автологічна пластика» в дані терміни (Рис.4.7).



**Рис. 4.7. Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, до рівня M4-5 за шкалою MRC в залежності від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес та термінів виконання РВ «Автологічна пластика» після «внутрішньої міграції» пацієнтів**

Загалом, кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невротизація» в терміни від 0-3 міс становила 15, тобто 71,4 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни (Рис. 4.8). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні C5-6, C5-6-7 та Тотал. становила 3, 2 та 10 (Рис. 4.8). В терміни 3-6 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невротизація» становила 14, тобто 70 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни

(Рис. 4.8). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні C5-6, C5-6-7 та Тотал. становила 6, 3 та 5 (Рис.4.8). В терміні 6-9 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невротизація» становила 8, тобто 80 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни (Рис. 4.8). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні C5-6, C5-6-7 та Тотал. становила 2, 5 та 1 (Рис.4.8). В терміні 9-12 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невротизація» становила 1 при ушкодженні Тотал., тобто 20 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни (Рис.4.8). В терміні більше 12 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невротизація» становила 1 при ушкодженні C5-6, тобто 25 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни (Рис. 4.8).



**Рис. 4.8. Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, до рівня M4-5 за шкалою MRC залежно від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес та термінів виконання РВ «Невротизація» після «внутрішньої міграції» пацієнтів**

#### 4.1.6. Залежність відновлення пріоритетної функції 1-го порядку від вибору нерва-донора та терміну виконання реконструктивного втручання у пацієнтів із надключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення при виконанні реконструктивного втручання «Невротизація»

##### 4.1.6.1. *Nervus phrenicus*

При Н-ТУ ПС виконано 29 РВ із використанням *n. phrenicus* у якості нерва-донора (50 % від загальної кількості даного типу РВ). Загалом, кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. phrenicus* у якості нерва-донора становила 25 або 86,2 % від загальної кількості проведених РВ із використанням вказаного вище нерва-донора (Рис. 4.9). Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. phrenicus* в терміні від 0-3 міс. становила 12 (92,3 %), в терміні 3-6 міс – 8 (88,9 %), в терміні 6-9 міс – 4 (100 %), в терміні 9-12 міс – 1 (50 %) та жодного випадку в терміні більше 12 міс (Рис. 4.9).

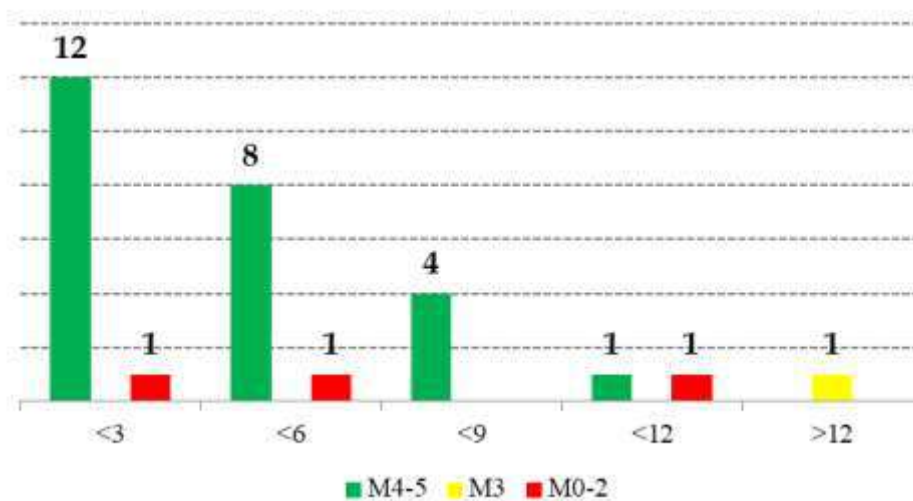
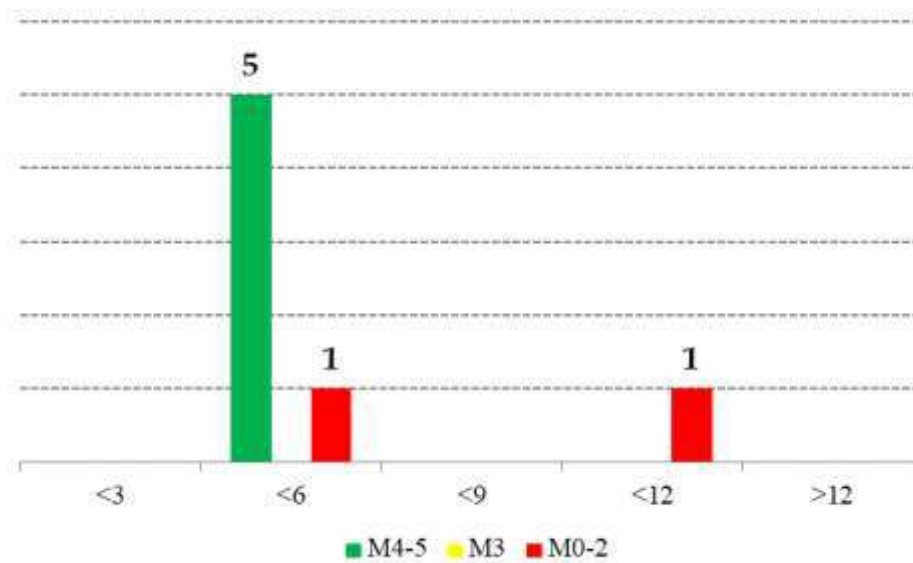


Рис. 4.9. Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання РВ «Невротизація» з використанням *n. phrenicus* у якості нерва-донора

#### 4.1.6.2. *Nervus ulnaris*

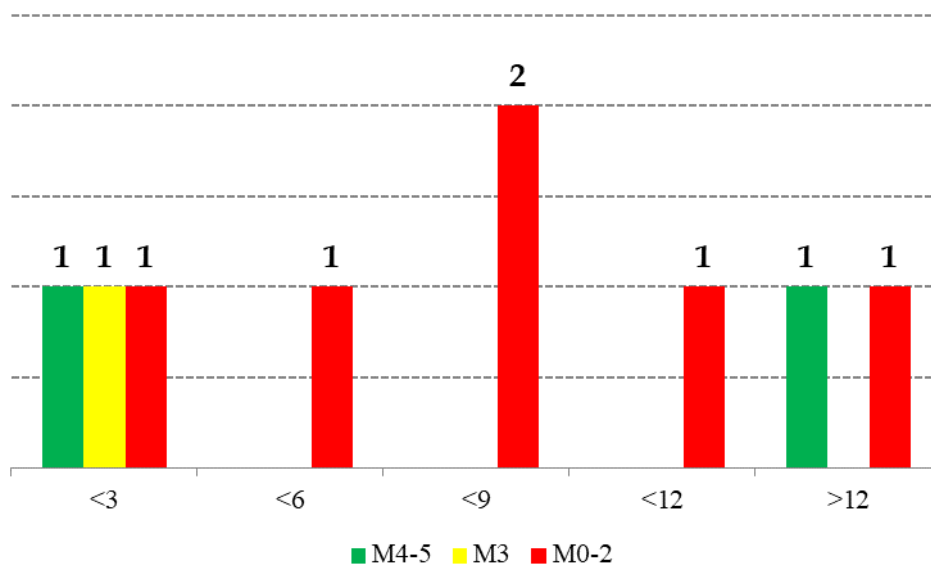
При Н-ТУ ПС виконано 7 РВ з використанням *n. ulnaris* у якості нерва-донора (12,1 % від загальної кількості даного типу РВ). Загалом, кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. ulnaris* у якості нерва-донора становила 5 або 71,4 % від загальної кількості проведених РВ із використанням вказаного вище нерва-донора (Рис. 4.10). Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. ulnaris* в терміні 3-6 міс – 5 (83,3 %) та жодного випадку в терміні більше 9-12 міс (Рис. 4.10).



**Рис. 4.10.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання РВ «Невротизація» з використанням волокнини *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris* у якості нерва-донора

#### 4.1.6.3. *Nervus pectoralis lateralis*

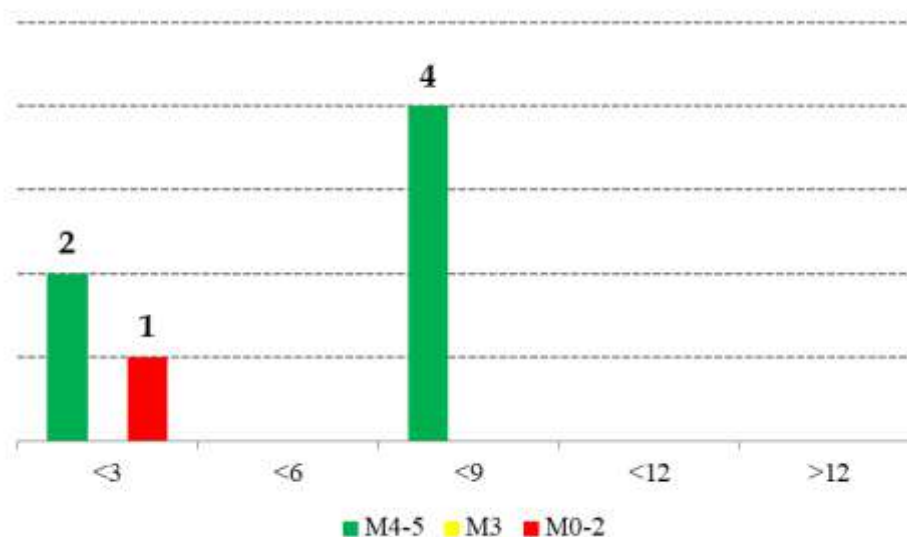
При Н-ТУ ПС виконано 9 РВ з використанням *n. pectoralis lateralis* у якості нерва-донора (15,5 % від загальної кількості даного типу РВ). Загалом, кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. pectoralis lateralis* у якості нерва-донора становила 2 або 22,2 % від загальної кількості проведених РВ із використанням вказаного вище нерва-донора (Рис. 4.11). Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. pectoralis lateralis* в терміні 0-3 міс – 1 (33,3 %) в терміні більше 12 міс – 1 (50 %) (Рис. 4.11).



**Рис. 4.11.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання РВ «Невротизація» з використанням *n. pectoralis lateralis* у якості нерва-донора

#### 4.1.6.4. *Nervus pectoralis medialis*

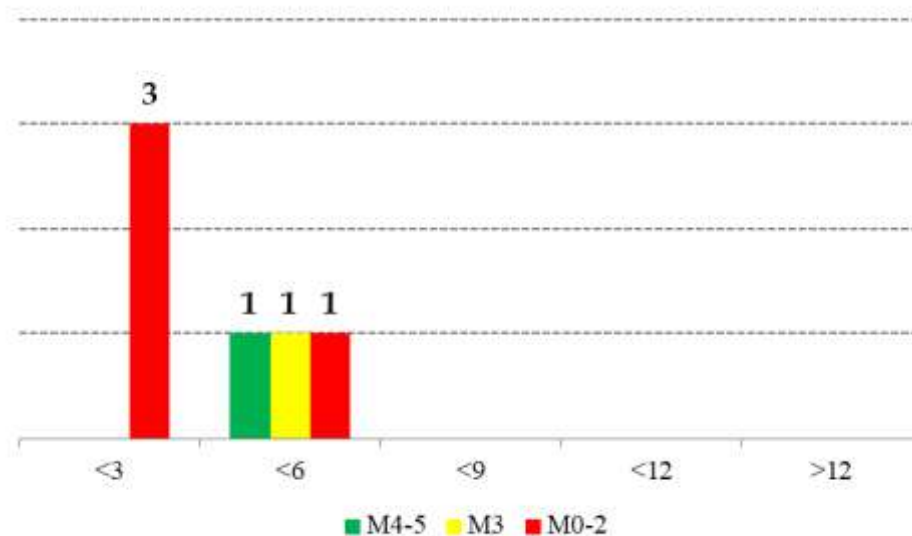
При Н-ТУ ПС виконано 7 РВ з використанням *n. pectoralis medialis* у якості нерва-донора (12,1 % від загальної кількості даного типу РВ). Загалом, кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. pectoralis medialis* у якості нерва-донора становила 6 або 85,7 % від загальної кількості проведених РВ із використанням вказаного вище нерва-донора (Рис. 4.12). Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. pectoralis medialis* в терміні 0-3 міс – 2 (66,7 %) та в терміні більше 6-9 міс – 4 (100 %) (Рис. 4.12).



**Рис. 4.12.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання РВ «Невротизація» з використанням *n. pectoralis medialis* у якості нерва-донора

#### 4.1.6.5. «Донори відчаю» – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*, ICN – *nn. intercostales 2-5*

При Н-ТУ ПС виконано 6 РВ з використанням «донорів відчаю» (за відсутності будь-яких інших іпсилатеральних нервів-донорів): у 3 випадках – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, у 2 випадках – *nn. intercostales 2-5* та у 1 випадку *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii* (10,3 % від загальної кількості даного типу РВ). Загалом, лише у одного пацієнта (16,7 % від загальної кількості проведених РВ із використанням «донорів відчаю») досягнуто відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* у якості нерва-донора в терміни 3-6 міс (Рис. 4.13).

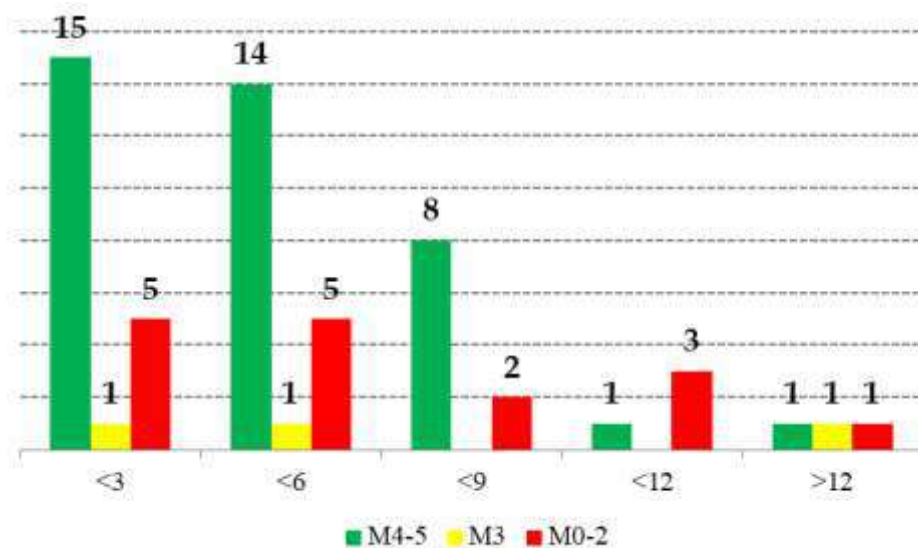


**Рис. 4.13.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання РВ «Невротизація» з використанням «донорів відчаю»

Загалом із 58 виконаних РВ «Невротизація» досягнуто відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 в терміни 0-3 міс – 15 (71,4 % від загальної кількості виконаних РВ



даного виду та дані терміни), в терміни 3-6 міс – 14 (70 % від загальної кількості виконаних РВ даного виду та дані терміни), в терміни 6-9 міс – 8 (80 % від загальної кількості виконаних РВ даного виду та дані терміни), в терміни 9-12 міс – 1 (25 % від загальної кількості виконаних РВ даного виду та дані терміни) та терміни більше 12 міс – в 1 випадку (33,3 % від загальної кількості виконаних РВ даного виду та дані терміни) (Рис. 4.14).



**Рис. 4.14.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, до рівня M4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання РВ «Невротизація»

#### 4.2. Результати відновлення пріоритетної функції 2-го порядку

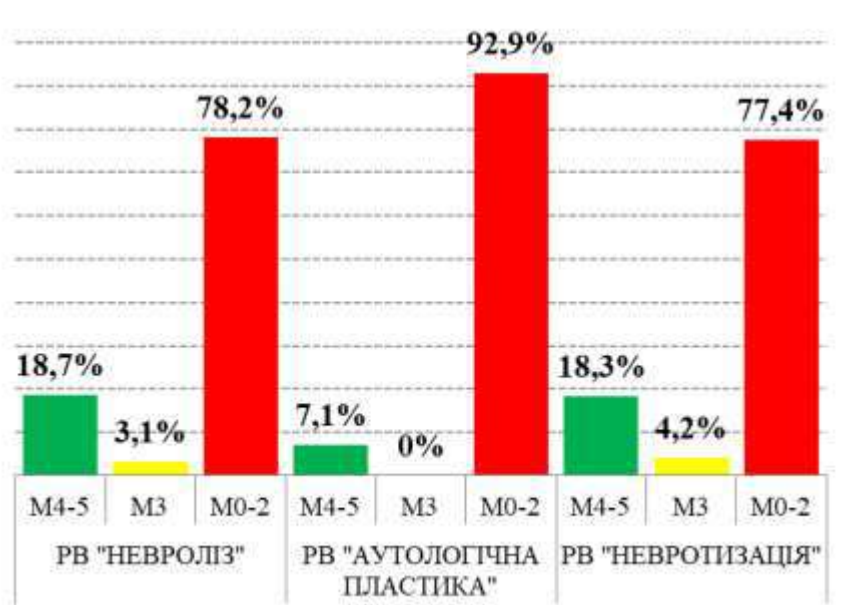
Враховуючи той факт, що ефективна пріоритетна функція 2-го порядку (багатоплощинні рухи в плечовому суглобі) забезпечується різними ключовими м'язами та їх групами із пулу різних нервів як плечового сплетення, так і м'язів, відповідно нервів екстраплексусного походження, в даному підрозділі логічним є розглянути відновлення пріоритетної функції 2-го порядку з урахуванням відновлення/відсутності ключових для неї м'язів, що отримують іннервацію від нервів інтраплексусного походження. Так, встановлені раніше ключові м'язи – *m. deltoideus*, *m. supraspinatus et infraspinatus* – іннервуються із пулу двох

основних нервів інтраплексусного походження: *n. axillaris* та *n. suprascapularis*. Із вказаних вище ключових м'язів *m. deltoideus* (іннерваційний пул *n. axillaris*) забезпечує в основному рух в плечовому суглобі у сагітальній площині – згинання (shoulder forward flexion або SFF), а *m. supraspinatus et infraspinatus* (іннерваційний пул *n. suprascapularis*) забезпечують зовнішню ротацію плеча (shoulder external rotation або SER). Оцінювання результатів проводилось із урахуванням пулу іннервації ключових м'язів, що забезпечують пріоритетну функцію 2-го порядку, виду РВ, термінів до моменту проведення будь-якого РВ та кількості передніх спінальних нервів залучених у патологічний травматичний процес лише серед пацієнтів із Н-ТУ ПС.

#### **4.2.1. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку – ключового м'яза із пулу *n. axillaris* [249]**

##### **4.2.1.1. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу *n. axillaris*) залежно від виду проведеного реконструктивного втручання**

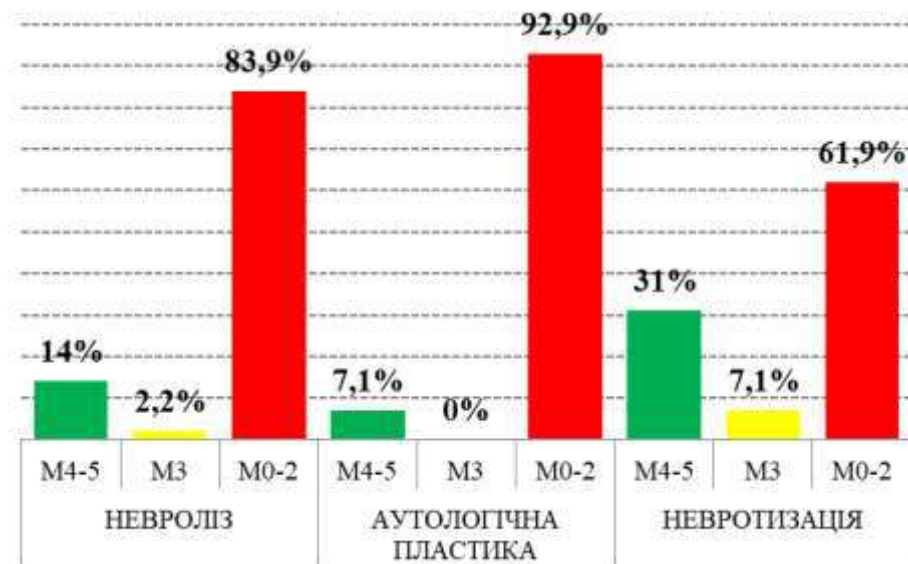
Серед 64 пацієнтів із Н-ТУ ПС, котрим було виконано РВ «невроліз», відновлення сили м'язу (*m. deltoideus*), що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 досягнуто у 12 (18,7 %) (Рис. 4.15). Виконання РВ «Автологічна пластика» у 14 пацієнтів дозволила досягнути відновлення м'язу, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 у 1 випадку (7,1 %) (Рис. 4.15). Виконання РВ «Невротизація» у 71 пацієнта із Н-ТУ ПС дозволила досягнути відновлення м'язу, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 у 13 випадках (18,3 %) (Рис. 4.15).



**Рис. 4.15.** Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. deltoideus*, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку, за шкалою MRC залежно від виду проведеного РВ

Враховуючи той факт, що передбачуваний та виконаний обсяг РВ «Невротизація», направлений на відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку, серед пацієнтів із Н-ТУ ПС різниться, відповідно склав 71 та 42 випадків, у 29 випадках відбулась «внутрішня міграція» пацієнтів із даної підгрупи, у яких в силу тих чи інших причин не виконано передбачуване РВ, в підгрупу РВ «Невроліз». Таким чином, при оцінюванні результатів кількість пацієнтів із Н-ТУ ПС в підгрупі, яким було виконано РВ «Невроліз», направлене на відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку становила 93. Лише у одного пацієнта, який внаслідок «внутрішньої міграції» перемістився в зазначену вище підгрупу, відбулось відновлення м'язу, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4, решта 28 пацієнтів, які внаслідок «внутрішньої міграції» перемістились в зазначену вище підгрупу, не відбулось відновлення м'язу, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2.

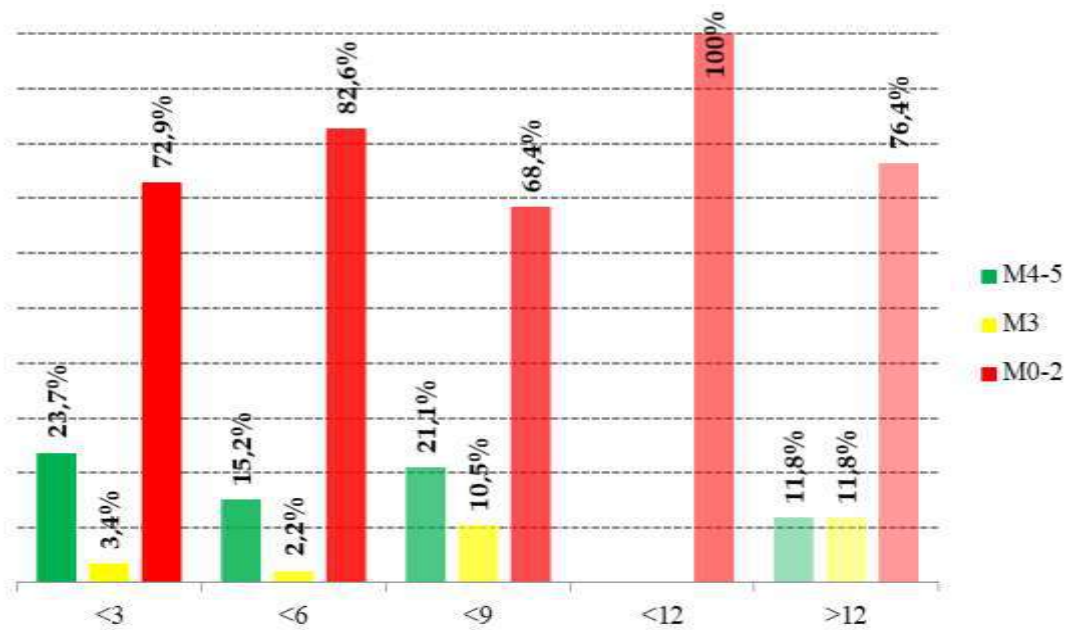
Внаслідок «внутрішньої міграції» пацієнтів, кінцеві результати відновлення виглядали наступним чином. Серед 93 пацієнтів із Н-ТУ ПС, котрим було виконано РВ «Невроліз», відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 досягнуто у 14 % (Рис. 4.16). Виконання РВ «Аутологічна пластика» серед 14 пацієнтів дозволила досягнути відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 у 7,1 % (Рис. 4.16). Виконання РВ «Невротизація» у 42 пацієнтів із Н-ТУ ПС дозволила досягнути відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 у 31 % (Рис. 4.16). Відсутність ефективного відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2 – становила 83,9 % після виконання РВ «Невроліз», 92,9 % – після виконання РВ «Аутологічна пластика» та 61,9 % після виконання РВ «Невротизація» (Рис. 4.16).



**Рис. 4.16.** Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. deltoideus*, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку, за шкалою MRC залежно від виду проведеного реконструктивного втручання після «внутрішньої міграції» пацієнтів

#### **4.2.1.2. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу *n. axillaris*) залежно від термінів до моменту проведення первинного реконструктивного втручання**

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» (охарактеризований в попередньому підрозділі) загальна кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс та більше 12 міс становила 14, 7, 4 та 2 (відображено у процентному співвідношенні на Рис. 4.17) відповідно. Загальна кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку до рівня М3 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс та більше 12 міс становила 2, 12, та 2 (відображено у процентному співвідношенні на Рис. 4.17) відповідно. Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс – становила 43, 38, 13, 10 та 13 (відображено у процентному співвідношенні на Рис. 4.17) відповідно.



**Рис. 4.17.** Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. deltoideus*, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку, за шкалою MRC залежно від термінів проведення будь-якого реконструктивного втручання після «внутрішньої міграції» пацієнтів

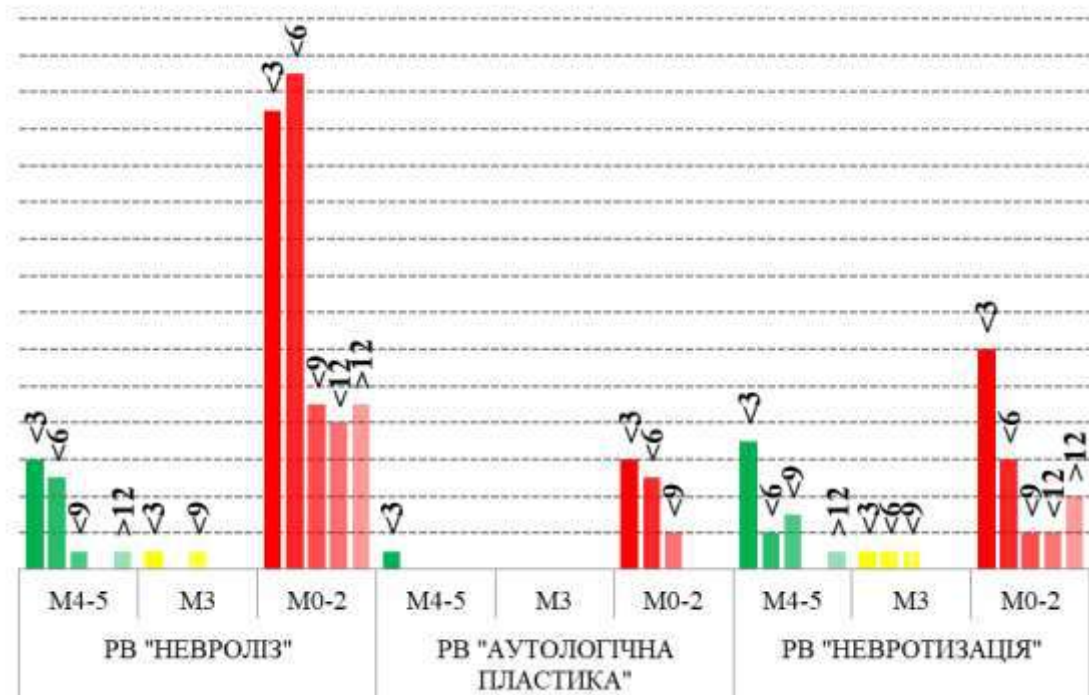
#### 4.2.1.3. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу *n. axillaris*) залежно від виду та терміну до проведення первинного реконструктивного втручання

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс та більше 12 міс становила 6, 5, 1 та 1 (Рис. 4.18), до рівня M3 після виконання РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс та від 6-9 міс становила 1 та 1 (Рис.4.18). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень M0-2 – після проведення РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс становила 25, 27, 9, 8 та 9 відповідно (Рис. 4.18).

Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 після

виконання РВ «Автологічна пластика» в терміні 0-3 міс становила 1 (Рис. 4.18). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень M0-2 – після проведення РВ «Автологічна пластика» в терміні 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс становила 6, 5 та 2 відповідно (Рис. 4.18).

Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невротизація» в терміні 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс та більше 12 міс становила 7, 2, 3 та 1 (Рис. 4.18), до рівня M3 після виконання РВ «Невротизація» в терміні 0-3 міс, від 3-6 міс та 6-9 міс становила 1, 1 та 1 відповідно (Рис. 4.18). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень M0-2 – після проведення РВ «Невротизація» в терміні 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс становила 12, 6, 2, 2 та 4 відповідно (Рис. 4.18).



**Рис. 4.18.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. deltoideus*, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку, за шкалою MRC залежно від термінів та виду проведеного реконструктивного втручання після «внутрішньої міграції» пацієнтів

#### **4.2.1.4. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу *n. axillaris*) залежно від виду реконструктивного втручання та кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний процес**

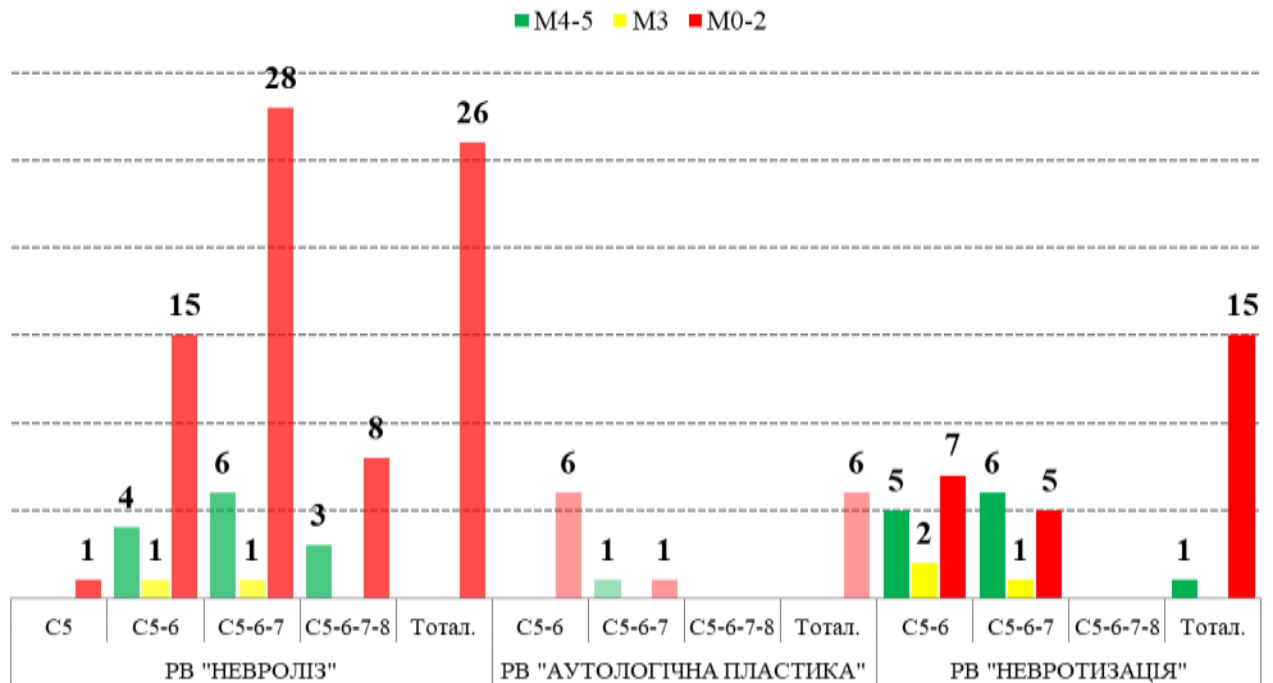
Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невроліз» при ушкодженні С5, С5-6, С5-6-7, С5-6-7-8 та Тотал. становила 0, 4, 6, 3 та 0 (Рис. 4.19), до рівня М3 після виконання РВ «Невроліз» при ушкодженні С5-6 та С5-6-7 становила 1 та 1 (Рис. 4.19). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Невроліз» при ушкодженні С5, С5-6, С5-6-7, С5-6-7-8 та Тотал. становила 1, 15, 28, 8 та 26 (Рис. 4.19) відповідно.

Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2 -го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні С5-6-7 становила 1 (Рис. 4.19), у жодного пацієнта не відбулось відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку до рівня М3 після виконання РВ «Автологічна пластика» (Рис. 4.19). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні С5-6, С5-6-7 та Тотал. становила 6, 1 та 6 (Рис. 4.19) відповідно.

Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» при ушкодженні С5-6, С5-6-7 та Тотал. становила 5, 6 та 1 (Рис. 4.19), до рівня М3 після виконання РВ «Невротизація» при ушкодженні С5-6 та С5-6-7 становила 2 та 1 (Рис. 4.19). Загальна кількість



пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень M0-2 – після проведення РВ «Невролізація» при ушкодженні C5-6, C5-6-7 та Тотал. становила 7, 5 та 15 відповідно (Рис. 4.19).

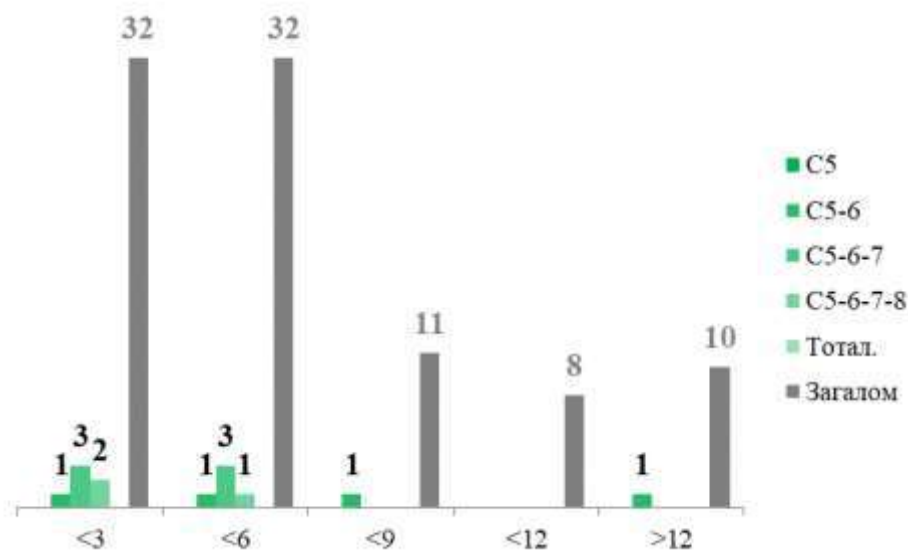


**Рис. 4.19 Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. deltoideus*, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку, за шкалою MRC залежно від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес, та виду проведеного реконструктивного втручання після «внутрішньої міграції» пацієнтів**

**4.2.1.5. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу *n. axillaris*) залежно від виду реконструктивного втручання, терміну його виконання та кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний процес**

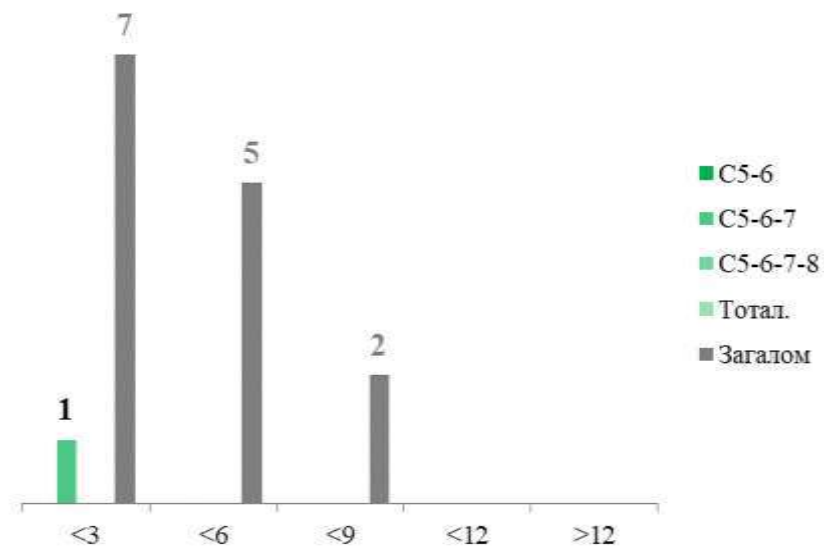
Загалом кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невроліз» в терміни від 0-3 міс становила 6,

тобто 18,7 % від загальної кількості проведених РВ «Невроліз» в дані терміни (Рис. 4.20). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні C5-6, C5-6-7 та C5-6-7-8 становила 1, 3 та 2 (Рис. 4.20). В терміни 3-6 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невроліз» становила 5, тобто 15,6 % від загальної кількості проведених РВ «Невроліз» в дані терміни (Рис. 4.20). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні C5-6, C5-6-7 та C5-6-7-8 становила 1, 3 та 1 (Рис. 4.20). Жодного пацієнта, у котрого відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невроліз» в терміни 9-12 міс не було (Рис. 4.20). В терміни 6-9 міс та більше 12 міс у 1 пацієнта в кожні з них (9 % та 10 %) при ушкодженні C5-6 відбулось відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невроліз» (Рис. 4.20).



**Рис. 4.20.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. deltoideus*, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 за шкалою MRC залежно від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес, та термінів виконання РВ «Невроліз» після «внутрішньої міграції» пацієнтів

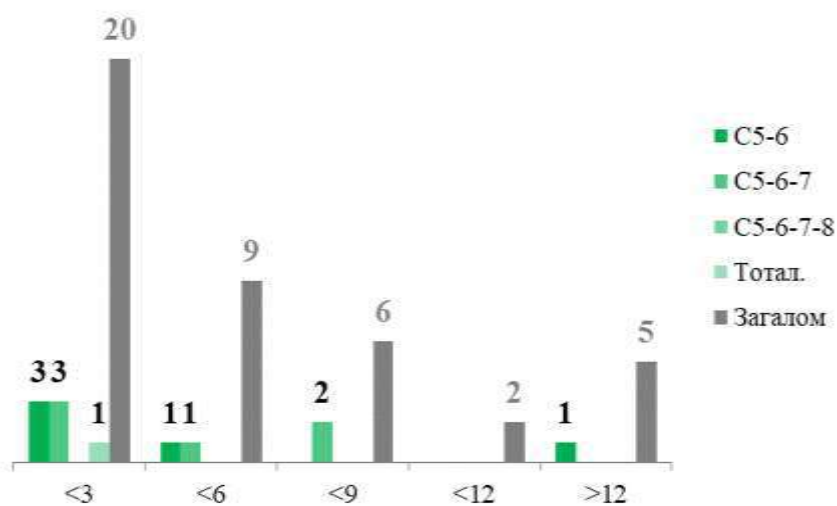
Загалом, кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Автологічна пластика» становила 1 в терміні від 0-3 міс при ушкодженні С5-6-7, тобто 14,3 % від загальної кількості проведених РВ «Автологічна пластика» в дані терміни (Рис. 4.21) та 7 % від загальної кількості РВ «Автологічна пластика», проведених в будь-які терміни в даному дослідженні (Рис. 4.21).



**Рис. 4.21. Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. deltoideus*, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес, та термінів виконання РВ «Автологічна пластика» після «внутрішньої міграції» пацієнтів**

Загалом кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» в терміні від 0-3 міс становила 7, тобто 35 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни (Рис. 4.22). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні С5-6, С5-6-7 та Тотал. становила 3, 3 та 1 (Рис. 4.22). В терміні 3-6 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення

складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» становила 2, тобто 22 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни (Рис. 4.22). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні С5-6 та С5-6-7 становила 1 та 1 (Рис. 4.22). В термін 6-9 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» становила 2, тобто 33 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни при ушкодженні С5-6-7 (Рис. 4.22). В терміни більше 12 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» становила 1 при ушкодженні С5-6, тобто 20 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни (Рис. 4.22). Жодного пацієнта, у котрого відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» в терміни 9-12 міс не було (Рис. 4.22).

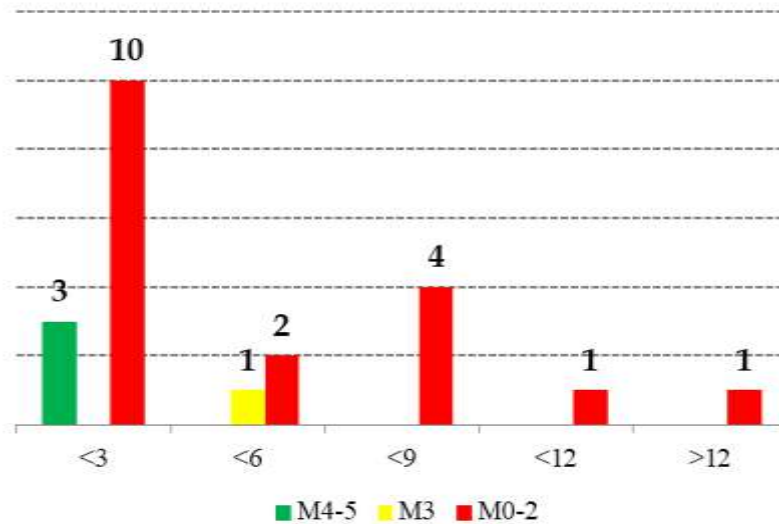


**Рис. 4.22.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. deltoideus*, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес, та термінів виконання реконструктивного втручання «Невротизація» після «внутрішньої міграції» пацієнтів

**4.2.1.6. Залежність відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу *n. axillaris*) від вибору нерва-донора та терміну виконання реконструктивного втручання у пацієнтів із надключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення при виконанні реконструктивного втручання «Невротизація»**

**4.2.1.6.1. *Ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii***

При Н-ТУ ПС виконано 22 РВ із використанням *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* у якості нерва-донора (52 % від загальної кількості даного типу РВ). Загалом кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* у якості нерва-донора становила 3 або 13,6 % від загальної кількості проведених РВ із використанням вказаного вище нерва-донора (Рис. 4.23). Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* в терміни від 0-3 міс становила 3 (23 %). Жодного випадку відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 в терміни більше 3 міс не було (Рис. 4.23).

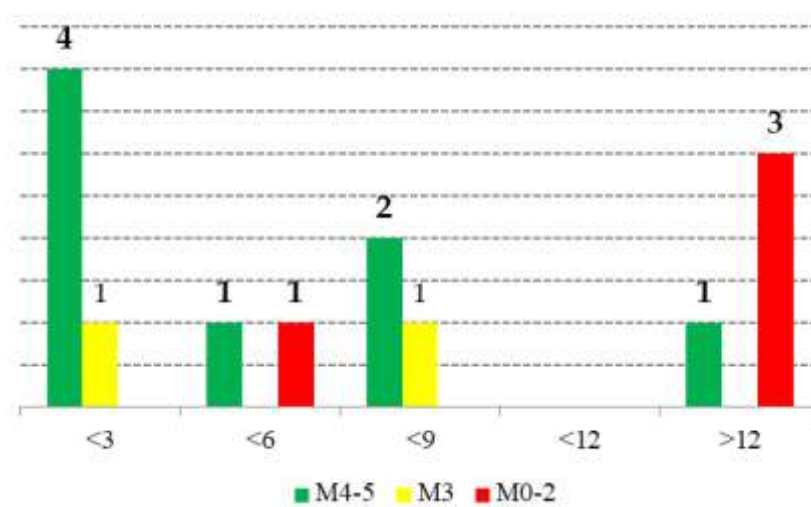


**Рис. 4.23.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. deltoideus*, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання РВ «Невротизація» з використанням *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* у якості нерва-донора

#### 4.2.1.6.2. *Rami musculares capitis lateralis musculi tricipitis brachii*

При Н-ТУ ПС виконано 14 РВ із використанням *rami musculares capitis lateralis musculi tricipitis brachii* у якості нерва-донора (33 % від загальної кількості даного типу РВ). Загалом кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *rami musculares capitis lateralis musculi tricipitis brachii* у якості нерва-донора становила 8 або 57 % від загальної кількості проведених РВ із використанням вказаного вище нерва-донора (Рис. 4.24). Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *rami musculares capitis lateralis musculi tricipitis brachii* в терміни від 0-3 міс становила 4 (80 %), в терміни 3-6 міс – 1 (50 %), в терміни 6-9 міс – 2 (67 %), в терміни більше 12 міс – 1 (25 %) (Рис. 4.24).

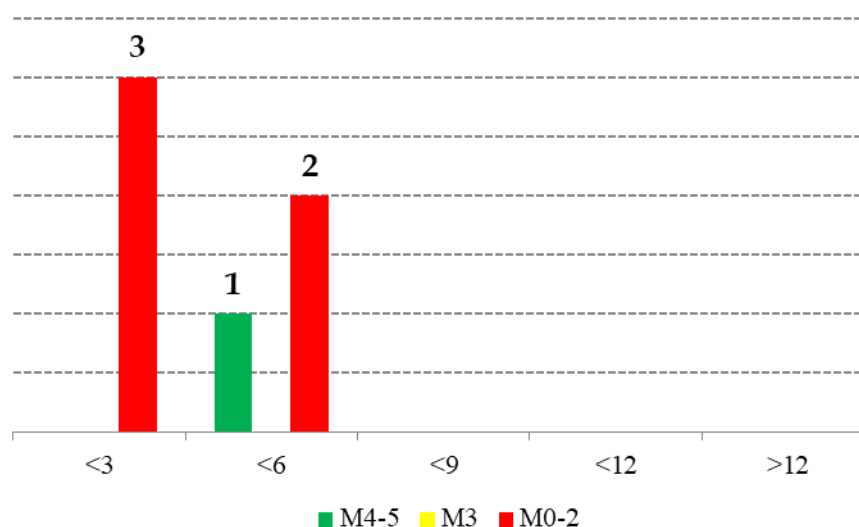
РВ «Невротизація» із використанням *rami musculares capitis lateralis muscoli tricipitis brachii* в терміни від 9-12 міс не виконувалася (Рис. 4.24).



**Рис. 4.24.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. deltoideus*, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання РВ «Невротизація» з використанням *rami musculares capitis lateralis muscoli tricipitis brachii* у якості нерва-донора

#### 4.2.1.6.3. *Ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii, ramus anterior nervi spinalis C5, nervus thoracodorsalis*

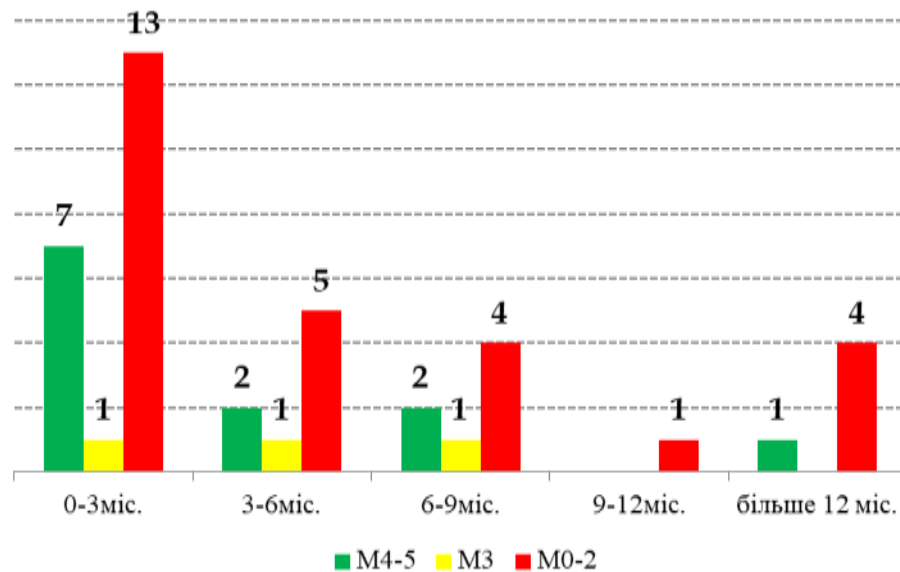
При Н-ТУ ПС виконано 6 РВ із використанням у 3 випадках (7,1 % від загальної кількості даного типу РВ) *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*, у 2 випадках – *ramus anterior nervi spinalis C5* (4,8 % від загальної кількості даного типу РВ) та у 1 випадку – *nervus thoracodorsalis* (2,4 % від загальної кількості даного типу РВ). Загалом лише у одного пацієнта (16,7 % від загальної кількості проведених РВ із використанням нервів-донорів вказаних в цьому підрозділі) досягнуто відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *nervus thoracodorsalis* у якості нерва-донора в терміни 3-6 міс (Рис. 4.25).



**Рис. 4.25. Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання РВ «Невротизація» з використанням інших нервів-донорів**

Загалом із 42 виконаних РВ «Невротизація» досягнуто відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 в терміни 0-3 міс – 7 (33 % від загальної кількості виконаних РВ даного виду та дані терміни), в терміни 3-6 міс – 2 (25 % від загальної кількості виконаних РВ даного виду та дані терміни), в терміни 6-9 міс – 2 (28,6 % від загальної кількості виконаних РВ даного виду та дані терміни), в терміни більше 12 міс – в 1 випадку (20 % від загальної кількості виконаних РВ даного виду та дані терміни) (Рис. 4.26).



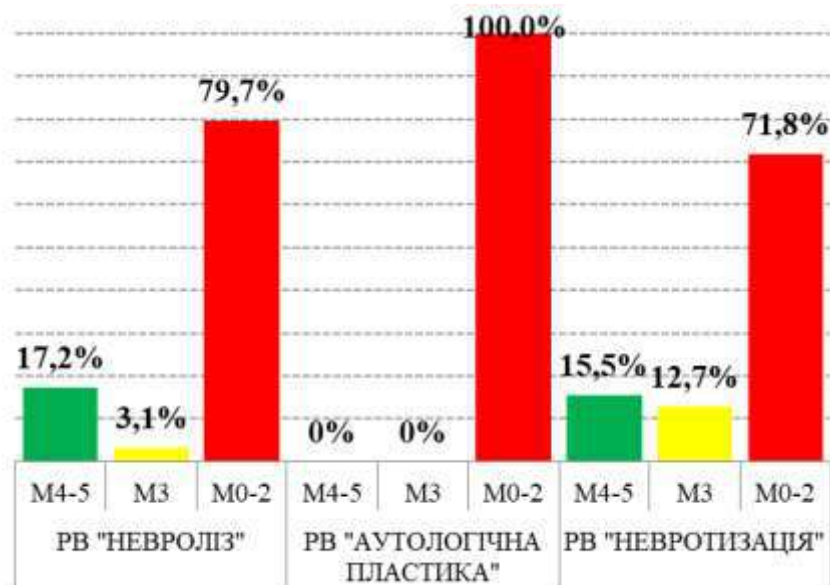


**Рис. 4.26.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. deltoideus*, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання РВ «Невротизація»

**4.2.2.** Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку – ключових м'язів із пулу *n. suprascapularis* [250]

**4.2.2.1.** Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключових м'язів із пулу *n. suprascapularis*) залежно від виду проведеного реконструктивного втручання

Серед 64 пацієнтів із Н-ТУ ПС, котрим було виконано РВ «невроліз», відновлення сили м'язів (*m. supraspinatus et infraspinatus*), що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 досягнуто у 11 (17,2 %) (Рис. 4.27). Виконання РВ «Автологічна пластика» у 14 пацієнтів не дозволила досягнути відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 у жодному випадку (Рис. 4.27). Виконання РВ «Невротизація» у 71 пацієнта із Н-ТУ ПС дозволила досягнути відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 у 11 випадках (15,5 %) (Рис. 4.27).

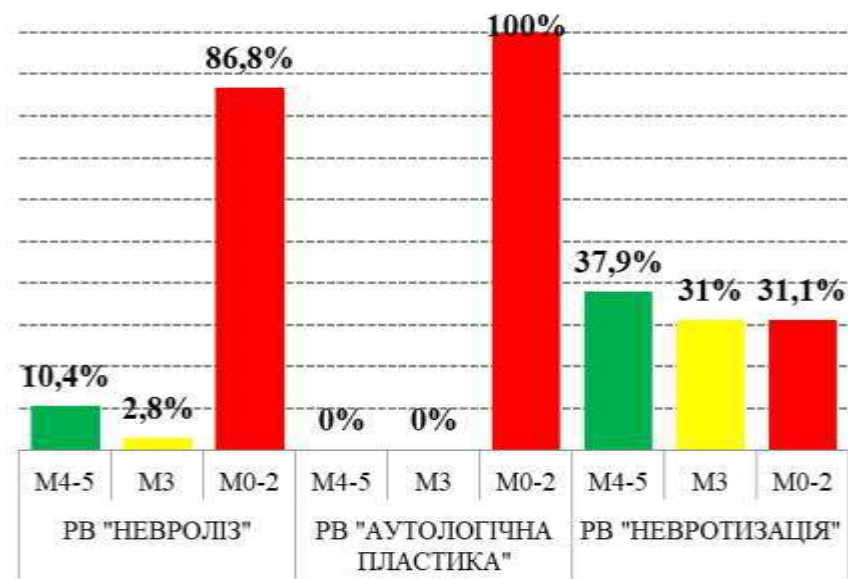


**Рис. 4.27.** Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку, за шкалою MRC залежно від виду проведеного РВ

Враховуючи той факт, що передбачуваний та виконаний обсяг РВ «Невротизація», направлене на відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку, серед пацієнтів із Н-ТУ ПС різниться та відповідно склав 71 та 29 випадків, у 42 випадках відбулась «внутрішня міграція» пацієнтів із даної підгрупи, у яких в силу тих чи інших причин не виконано передбачуване РВ, в підгрупу РВ «Невроліз». Таким чином, при оцінюванні результатів кількість пацієнтів із Н-ТУ ПС в підгрупі, яким було виконано РВ «Невроліз», направлене на відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку становила 106. Відповідно, у жодного пацієнта, котрий внаслідок «внутрішньої міграції» перемістився в іншу підгрупу, не відбулось відновлення м'язів, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2.

Унаслідок «внутрішньої міграції» пацієнтів, кінцеві результати відновлення виглядали наступним чином. Серед 106 пацієнтів із Н-ТУ ПС, котрим було виконано РВ «Невроліз», відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 досягнуто у 10,4 % (Рис. 4.28). Виконання РВ «Невротизація» у 29

пацієнтів із Н-ТУ ПС дозволила досягнути відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 у 37,9 % (Рис. 4.28). Відсутність ефективного відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2 – становила 86,8 % після виконання РВ «Невроліз», 100 % – після виконання РВ «Аутологічна пластика» та 31,1 % після виконання РВ «Невротизація» (Рис. 4.28).

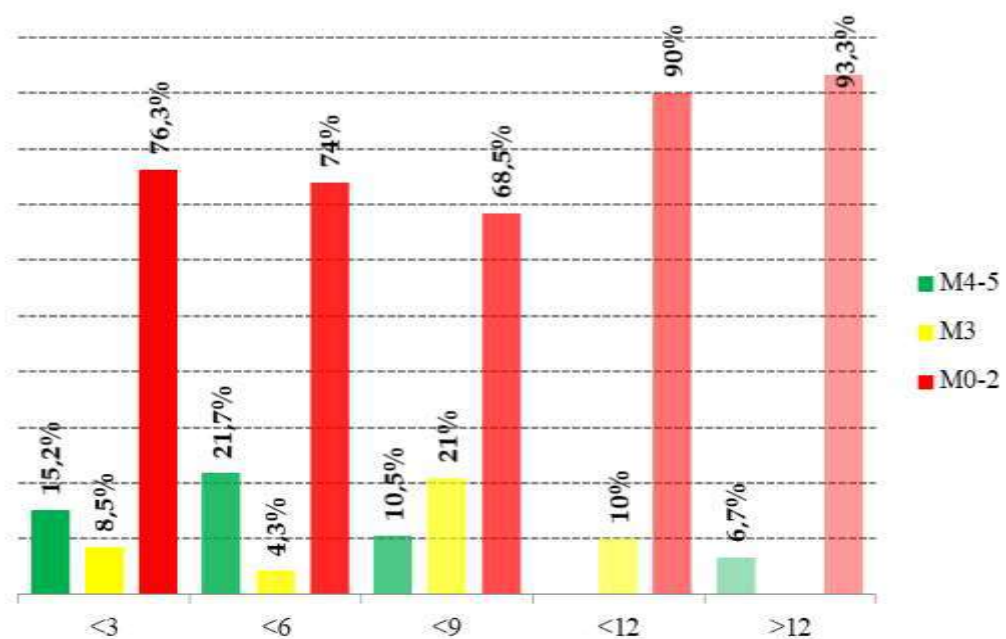


**Рис. 4.28.** Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку, за шкалою MRC залежно від виду проведеного РВ після «внутрішньої міграції» пацієнтів

**4.2.2.2.** Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключових м'язів із пулу *n. suprascapularis*) залежно від терміну до проведення первинного реконструктивного втручання

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» (охарактеризований в попередньому підрозділі), загальна кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-

го порядку, до рівня М4-5 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс та більше 12 міс становила 9, 10, 2 та 1 (відображено у процентному співвідношенні на Рис. 4.29) відповідно. Загальна кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку до рівня М3 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс та від 9-12 міс становила 5, 2, 4 та 1 (відображено у процентному співвідношенні на Рис. 4.29) відповідно. Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс – становила 45, 34, 13, 9 та 14 (відображено у процентному співвідношенні на Рис. 4.29) відповідно.



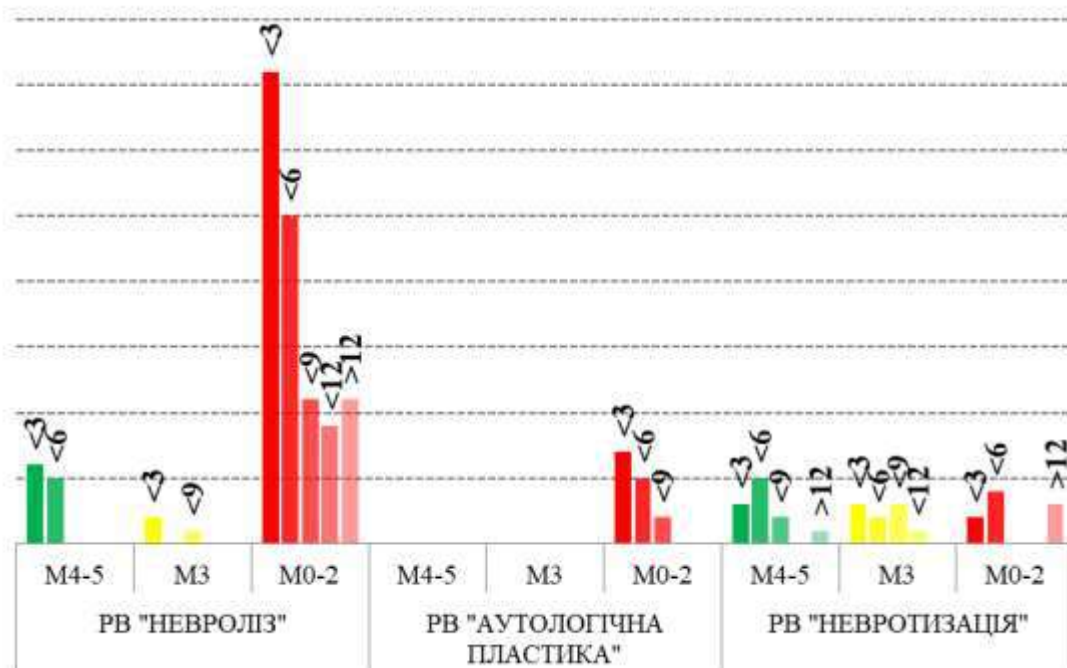
**Рис. 4.29.** Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку, за шкалою MRC залежно від термінів проведення будь-якого РВ після «внутрішньої міграції» пацієнтів

#### 4.2.2.3. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключових м'язів із пулу *n. suprascapularis*) залежно від виду реконструктивного втручання та терміну до проведення первинного реконструктивного втручання

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» (охарактеризований в підрозділі 6.2.2.1), кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс та 3-6 міс становила 6 та 5 (Рис. 4.30), до рівня М3 після виконання РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс та від 6-9 міс становила 2 та 1 (Рис. 4.30). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс становила 36, 25, 11, 9 та 11 відповідно (Рис. 4.30).

Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Автологічна пластика» в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс та від 6-9 міс становила 7, 5 та 2 відповідно (Рис. 4.30).

Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс та більше 12 міс становила 3, 5, 2 та 1 (Рис. 4.30), до рівня М3 після виконання РВ «Невротизація» в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс, 6-9 міс та 9-12 міс становила 3, 2, 3 та 1 відповідно (Рис. 4.30). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Невротизація» в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс та більше 12 міс становила 2, 4 та 3 відповідно (Рис. 4.30).



**Рис. 4.30.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку, за шкалою MRC залежно від термінів та виду проведеного РВ після «внутрішньої міграції» пацієнтів

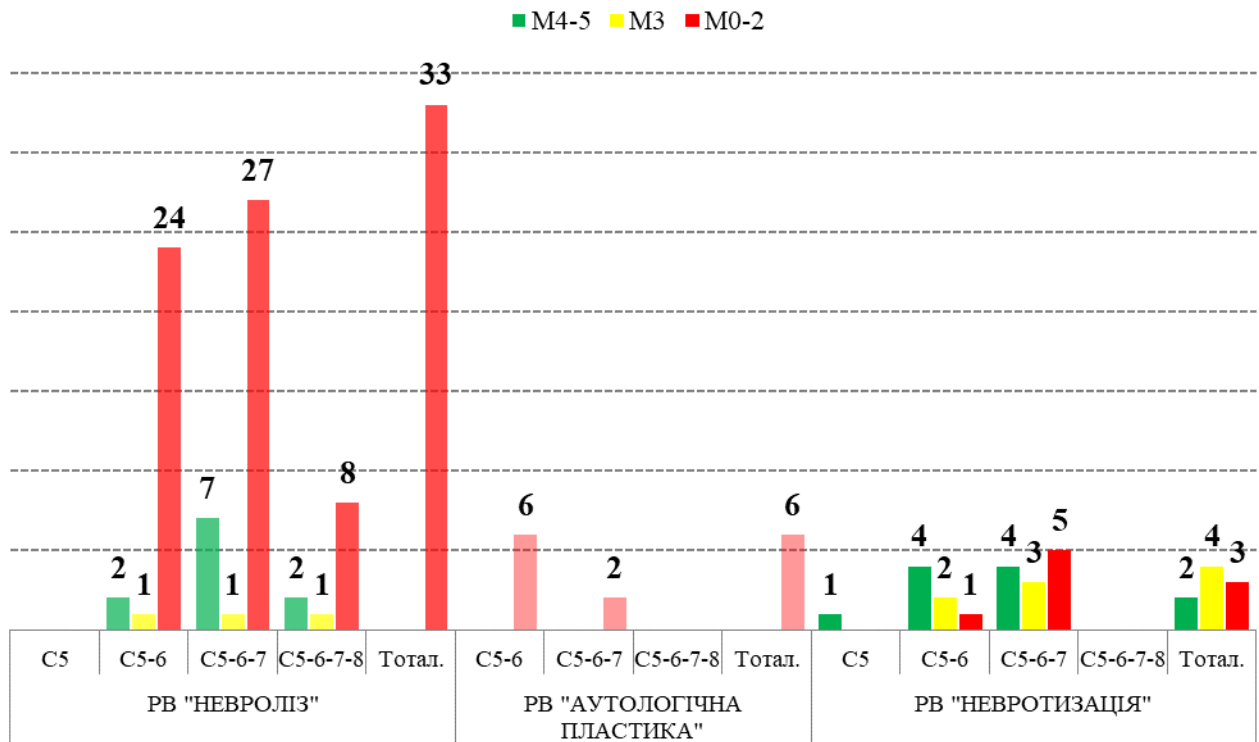
**4.2.2.4. Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключових м'язів із пулу *n. suprascapularis*) залежно від виду реконструктивного втручання та кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес**

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невроліз» при ушкодженні C5-6, C5-6-7, C5-6-7-8 та Тотал. становила 2, 7, 2 та 0 (Рис. 4.31), до рівня M3 після виконання РВ «Невроліз» при ушкодженні C5-6, C5-6-7 та C5-6-7-8 становила 1, 1 та 1 (Рис. 4.31). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень M0-2 – після

проведення РВ «Невроліз» при ушкодженні С5-6, С5-6-7, С5-6-7-8 та Тотал. становила 1, 15, 28, 8 та 26 відповідно (Рис. 4.31).

Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2 -го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні С5-6-7 становила 1 (Рис. 4.31), у жодного пацієнта не відбулось відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку до рівня М3 після виконання РВ «Автологічна пластика» (Рис. 4.31). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні С5-6, С5-6-7, С5-6-7-8 та Тотал. становила 24,27, 8 та 33 відповідно (Рис. 4.31).

Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» при ушкодженні С5, С5-6, С5-6-7 та Тотал. становила 1, 4, 4 та 2 (Рис. 4.31), до рівня М3 після виконання РВ «Невротизація» при ушкодженні С5-6, С5-6-7 та Тотал. становила 2, 3 та 4 (Рис. 4.31). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Невротизація» при ушкодженні С5-6, С5-6-7 та Тотал. становила 1, 5 та 3 відповідно (Рис. 4.31).



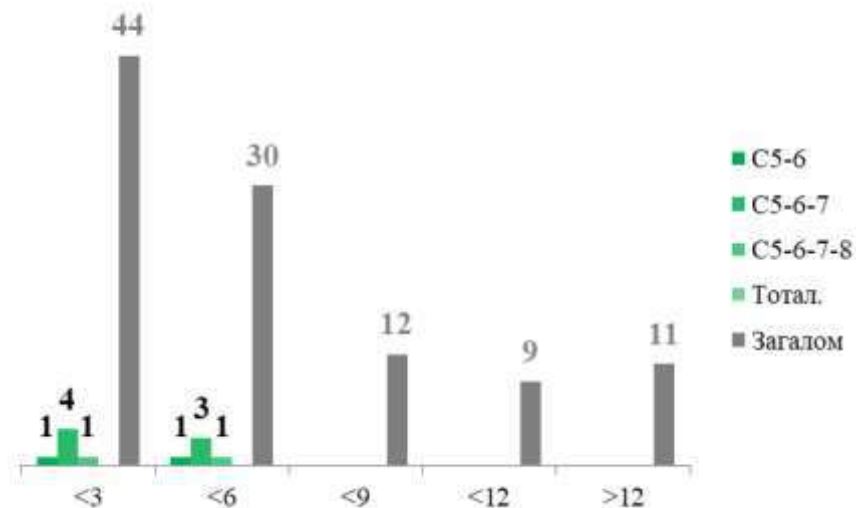
**Рис. 4.31.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку, за шкалою MRC залежно від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес, та виду проведеного РВ після «внутрішньої міграції» пацієнтів

**4.2.2.5.** Результати відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключових м'язів із пулу *n. suprascapularis*) залежно від виду реконструктивного втручання, терміну його виконання та кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес

Загалом, кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невроліз» в терміни від 0-3 міс становила 5, тобто 11,4 % від загальної кількості проведених РВ «Невроліз» в дані терміни (Рис. 4.32). Відповідно кількість пацієнтів при ушкодженні C5-6, C5-6-7 та C5-

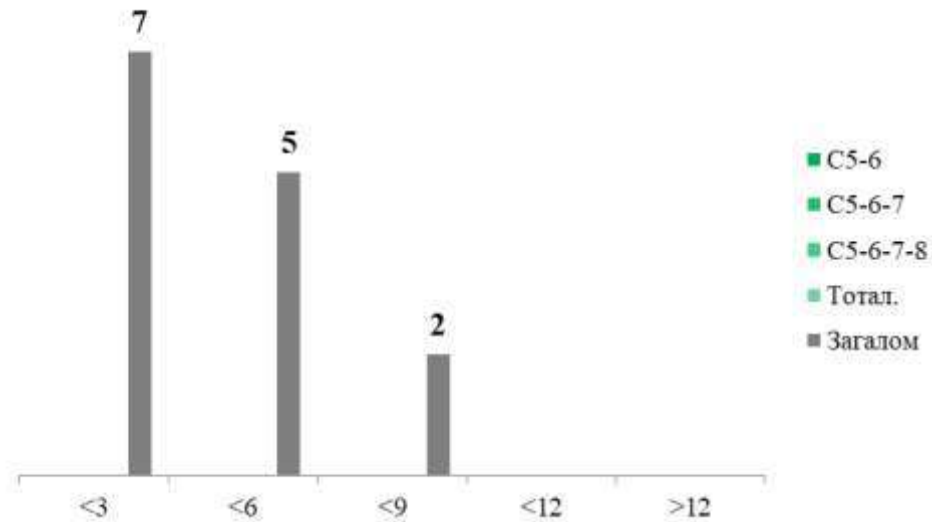


6-7-8 становила 1, 4 та 1 (Рис. 4.32). В терміни 3-6 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невроліз» становила 5, тобто 16,7 % від загальної кількості проведених РВ «Невроліз» в дані терміни (Рис. 4.32). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні С5-6, С5-6-7 та С5-6-7-8 становила 1, 3 та 1 (Рис. 4.32). Жодного пацієнта, у котрого відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невроліз» в терміни від 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс не було (Рис. 4.32).



**Рис. 4.32.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес, та термінів виконання РВ «Невроліз» після «внутрішньої міграції» пацієнтів

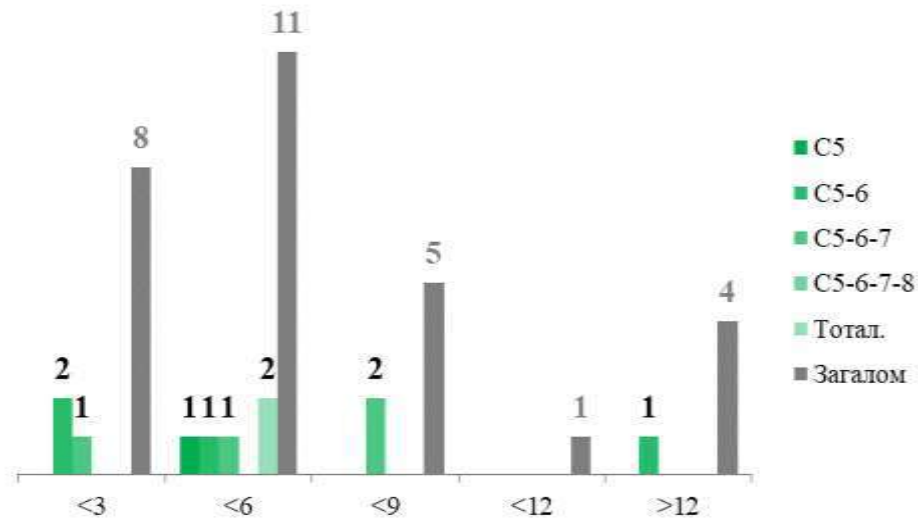
Жодного пацієнта, у котрого відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Автологічна пластика» в жоден із термінів не було (Рис. 4.33).



**Рис. 4.33.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес та термінів виконання РВ «Автологічна пластика» після «внутрішньої міграції» пацієнтів

Загалом кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» в терміни від 0-3 міс становила 3, тобто 37,5 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни (Рис. 4.34). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні С5-6, С5-6-7 становила 2 та 1 (Рис. 4.34). В терміни 3-6 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» становила 5, тобто 45,5 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни (Рис. 4.34). Відповідно, кількість пацієнтів при ушкодженні С5, С5-6, С5-6-7 та Тотал. становила 1, 1, 1 та 2 (Рис. 4.34). В терміни 6-9 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» становила 2, тобто 40 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни при ушкодженні С5-6-7 (Рис. 4.34). В терміни більше 12 міс кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової

пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» становила 1 при ушкодженні С5-6, тобто 25 % від загальної кількості проведених РВ «Невротизація» в дані терміни (Рис. 4.34). Жодного пацієнта, у котрого відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» в терміни 9-12 міс не було (Рис. 4.34).



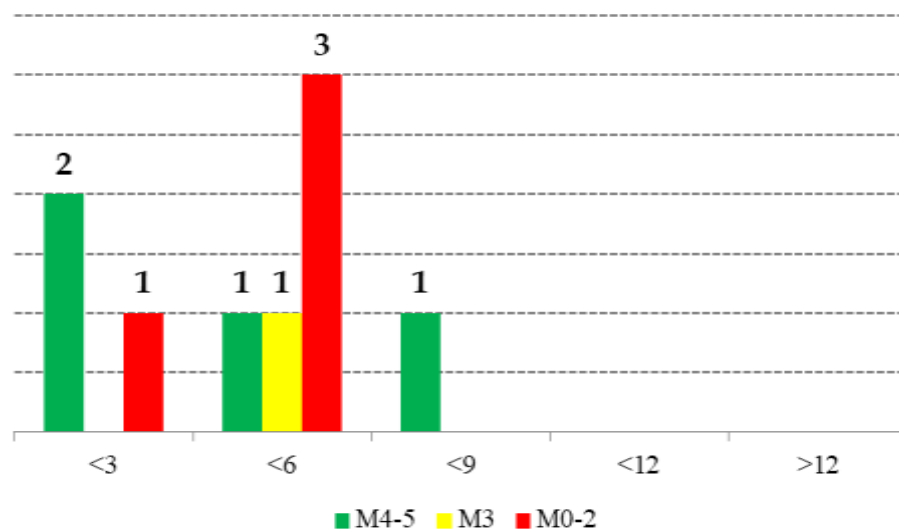
**Рис. 4.34.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від кількості передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес, та термінів виконання РВ «Невротизація» після «внутрішньої міграції» пацієнтів

**4.2.2.6.** Залежність відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (ключового м'яза із пулу *n. axillaris*) від вибору нерва-донора та термінів виконання реконструктивного втручання у пацієнтів із надключичним травматичним ушкодженням плечового сплетення при виконанні реконструктивного втручання «Невротизація»

#### **4.2.2.6.1. *Ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii***

При Н-ТУ ПС виконано 9 РВ із використанням *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* у якості нерва-донора (31 % від загальної

кількості даного типу РВ). Загалом, кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* у якості нерва-донора становила 4 або 44,4 % від загальної кількості проведених РВ із використанням вказаного вище нерва-донора (Рис. 4.35). Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* в терміни від 0-3 міс становила 2 (66,7 %), в терміни від 3-6 міс – 1 (20 %), в терміни від 6-9 міс – 1 (100 %) (Рис. 4.35).

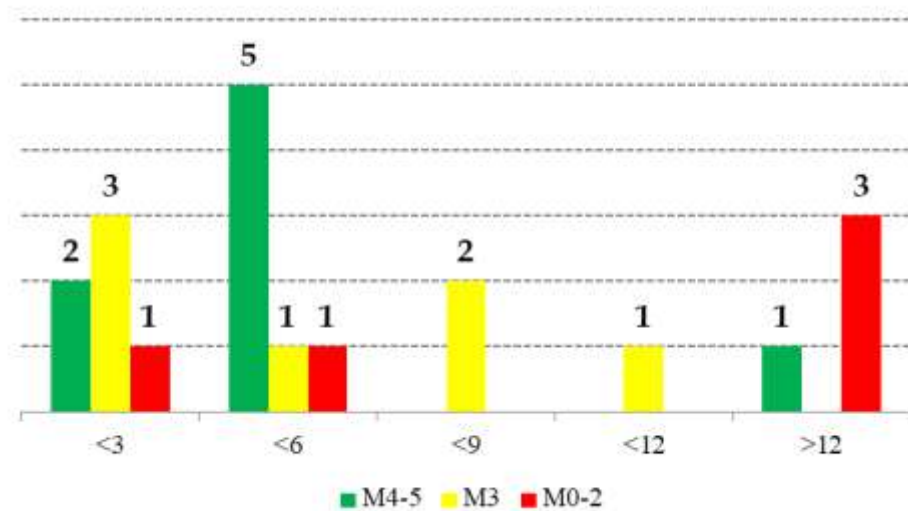


**Рис. 4.35.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання РВ «Невротизація» із використанням *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* у якості нерва-донора

#### 4.2.2.6.2. *Ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*

При Н-ТУ ПС виконано 20 РВ із використанням *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii* у якості нерва-донора (69 % від загальної кількості

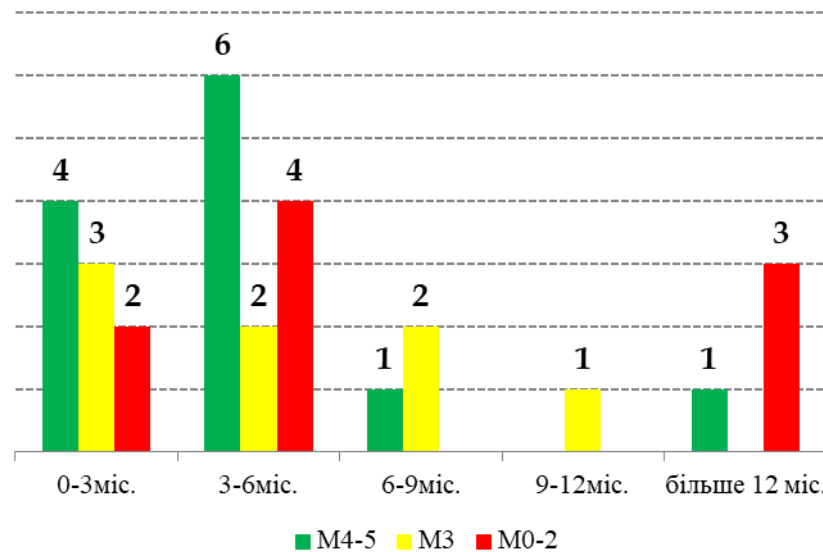
даного типу РВ). Загалом кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii* у якості нерва-донора становила 8 або 40 % від загальної кількості проведених РВ із використанням вказаного вище нерва-донора (Рис. 4.36). Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невротизація» із використанням *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* в терміни від 0-3 міс становила 2 (33,3 %), в терміни від 3-6 міс – 5 (71,4 %), в терміни більше 12 міс – 1 (20 %) (Рис. 4.36).



**Рис. 4.36.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання РВ «Невротизація» із використанням *trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii* у якості нерва-донора

Загалом із 29 виконаних РВ «Невротизація» досягнуто відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня М4-5 в терміни від 0-3 міс – 4 (44 % від загальної кількості виконаних РВ даного виду та дані терміни), в терміни від 3-6 міс – 6 (50 % від загальної кількості виконаних РВ даного виду та дані терміни), в терміни від

6-9 міс – 1 (33,3 % від загальної кількості виконаних РВ даного виду та дані терміни), в терміни більше 12 міс – в 1 випадку (25 % від загальної кількості виконаних РВ даного виду та в дані терміни) (Рис. 4.37).



**Рис. 4.37.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку, до рівня M4-5 за шкалою MRC залежно від термінів виконання реконструктивного втручання «Невротизація»

### 4.3. Результати відновлення пріоритетної функції 3-го порядку

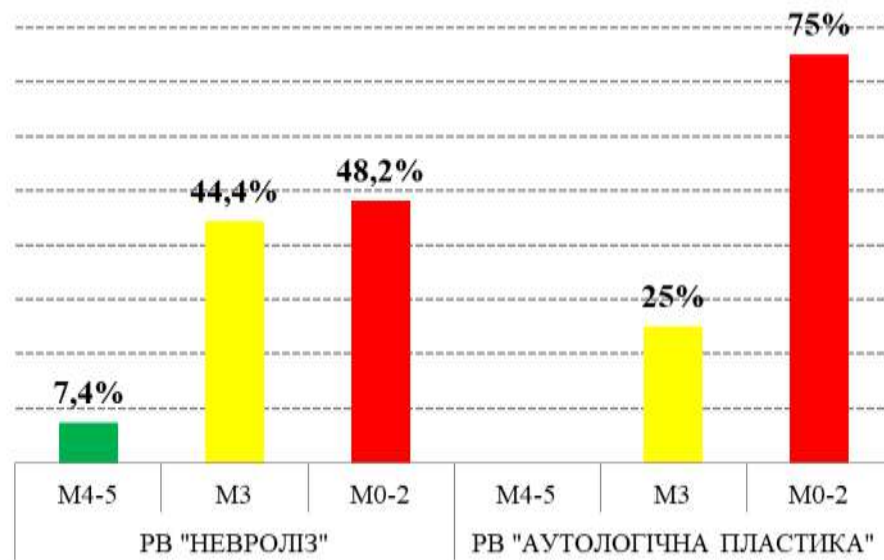
Оцінювання результатів проводилась із урахуванням виду РВ, термінів до моменту проведення будь-якого РВ та кількості пучків ПС, залучених у патологічний травматичний процес. Обов'язковою умовою включення пацієнтів в дану підгрупу аналізу було наявність П-ТУ із залученням заднього пучка ПС: ізольованого чи в поєднанні з іншими пучками ПС. Відповідно, проводили аналіз результатів відновлення пріоритетної функції 3-го порядку лише у 39 пацієнтів (72 %) із загалом 54 пацієнтів із П-ТУ ПС.

#### 4.3.1. Результати відновлення пріоритетної функції 3-го порядку в залежності від виду проведеного реконструктивного втручання

Враховуючи той факт, що серед 3 пацієнтів, котрим було виконано РВ «Невротизація» при П-ТУ ПС, жодне з яких не було направлене на відновлення

пріоритетної функції 3-го порядку, у вказаних вище 3 випадках відбулась «внутрішня міграція» пацієнтів із підгрупи РВ «Невротизація» в підгрупу РВ «Невроліз». Таким чином, при оцінюванні результатів кількість пацієнтів із П-ТУ ПС в підгрупі, яким було виконано РВ «Невроліз», направлене на відновлення пріоритетної функції 3-го порядку становила 27, відповідно, в дослідженні не було жодного пацієнта, яким було виконано РВ «Невротизація», направлене на відновлення пріоритетної функції 3-го порядку.

Серед 27 пацієнтів із П-ТУ ПС, котрим було виконано РВ «Невроліз», відновлення сили м'яза (*m. triceps brachii*) загалом чи бодай однієї із його голівок, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку, до рівня М4-5 досягнуто у 2 (7,4 %) – Рис. 4.38. Виконання РВ «Аутологічна пластика» не дозволила досягнути відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку у жодного із 12 пацієнтів (Рис.4.38). Відсутність ефективного відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку – рівень М0-2 – становила 48,2 % після виконання РВ «Невроліз», 75 % – після виконання РВ «Аутологічна пластика» (Рис. 4.38).



**Рис. 4.38.** Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. triceps brachii* (усіх або бодай однієї голівки), що забезпечує пріоритетну функцію 3-го порядку, за шкалою MRC залежно від виду проведеного РВ після «внутрішньої міграції» пацієнтів

#### 4.3.2. Результати відновлення пріоритетної функції 3-го порядку залежно від терміну до проведення первинного реконструктивного втручання

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» (охарактеризований в попередньому підрозділі) загальна кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку, до рівня M4-5 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс та 6-9 міс становила 1 та 1 (відображено у процентному співвідношенні на Рис. 4.39) відповідно. Загальна кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку до рівня M3 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс, 3-6 міс та 6-9 міс становила 6, 7, та 2 (відображено у процентному співвідношенні на Рис. 4.39) відповідно. Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку – рівень M0-2 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс, від 3-6 міс, від 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс – становила 9, 4, 1, 3 та 5 (відображено у процентному співвідношенні на Рис. 4.39) відповідно.

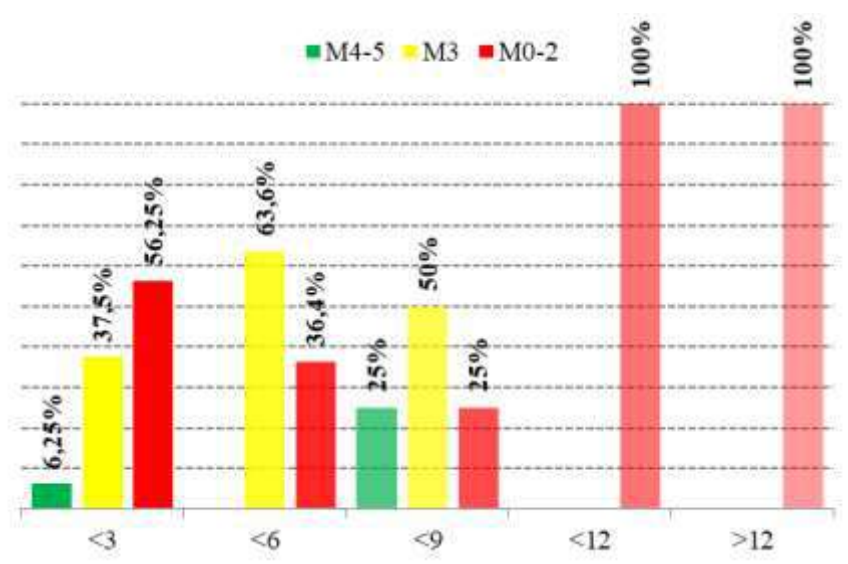


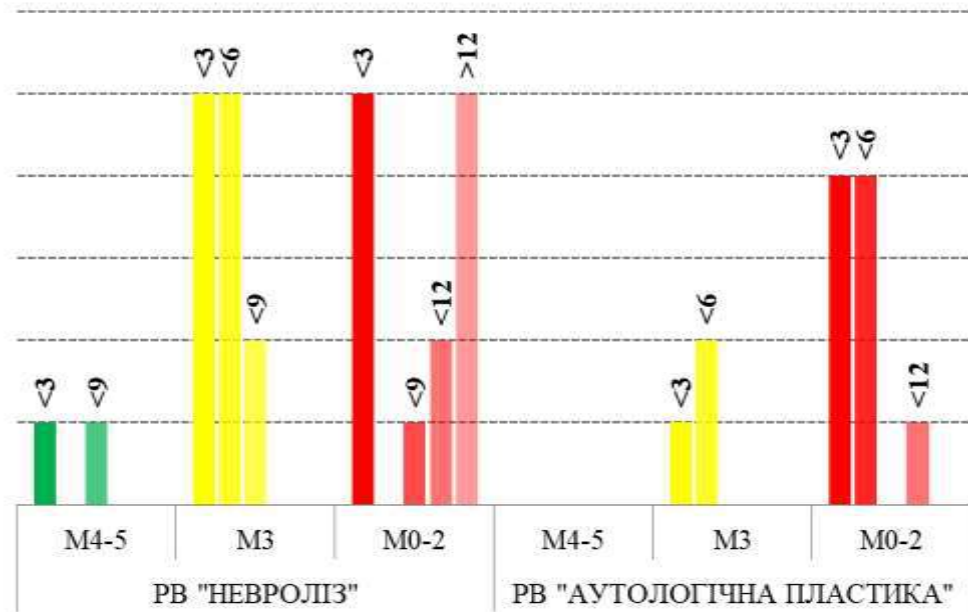
Рис. 4.39. Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. triceps brachii* (усіх або бодай однієї голівки), що забезпечує пріоритетну функцію 3-го порядку, за шкалою MRC залежно від термінів проведення будь-якого РВ після «внутрішньої міграції» пацієнтів



### 4.3.3. Результати відновлення пріоритетної функції 3-го порядку залежно від виду та терміну до проведення первинного реконструктивного втручання

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс та 6-9 міс становила 1 та 1 (Рис. 4.40), до рівня М3 після виконання РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс, 3-6 міс та 6-9 міс становила 5, 5 та 2 (Рис. 4.40). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс, від 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс становила 5, 1, 2 та 5 (Рис. 4.40) відповідно.

У жодного пацієнта після виконання РВ «Автологічна пластика» не спостерігали відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку, до рівня М4-5 (Рис. 4.40). Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку, до рівня М3 після виконання РВ «Автологічна пластика» в терміни 0-3 міс та 3-6 міс становила 1 та 2 (Рис. 4.40). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Автологічна пластика» в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс та 9-12 міс становила 4, 4 та 1 (Рис. 4.40) відповідно.



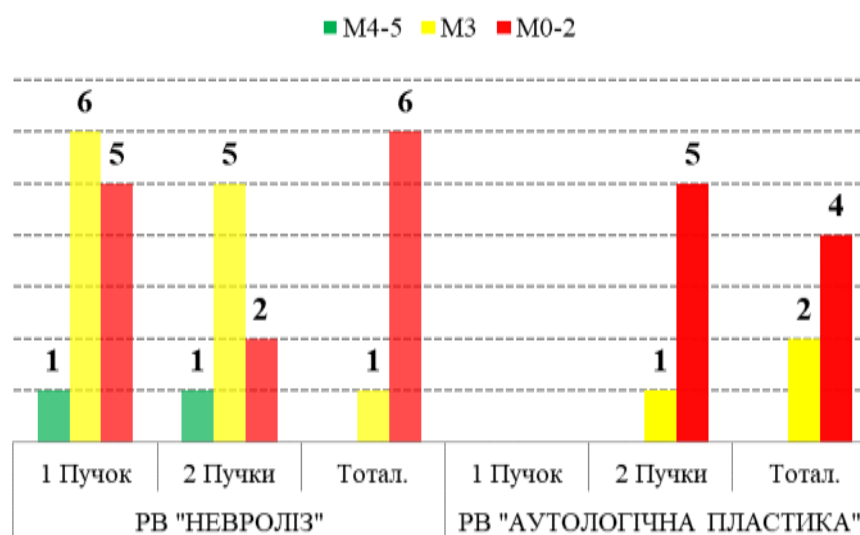
**Рис. 4.40.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. triceps brachii* (усіх або бодай однієї голівки), що забезпечує пріоритетну функцію 3-го порядку, за шкалою MRC залежно від термінів та виду проведеного РВ після «внутрішньої міграції» пацієнтів

#### 4.3.4. Результати відновлення пріоритетної функції 3-го порядку залежно від виду реконструктивного втручання та кількості пучків плечового сплетення, залучених у патологічний процес

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невроліз» при ушкодженні одного чи двох пучків ПС становила 1 та 1 (Рис. 4.41), до рівня M3 після виконання РВ «Невроліз» при ушкодженні одного, двох чи трьох пучків ПС становила 6, 5 та 1 (Рис. 4.41). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку – рівень M0-2 – після проведення РВ «Невроліз» при ушкодженні одного, двох чи трьох пучків ПС становила 5, 2 та 6 (Рис. 4.41) відповідно.

У жодного пацієнта після виконання РВ «Аутологічна пластика» при ушкодженні двох чи трьох пучків ПС не спостерігали відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку, до рівня M4-5 (Рис. 4.41). Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за

забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку, до рівня М3 після виконання РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні двох чи трьох пучків ПС становила 1 та 2 (Рис. 4.41). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні двох чи трьох пучків ПС становила 5 та 4 відповідно (Рис. 4.41).

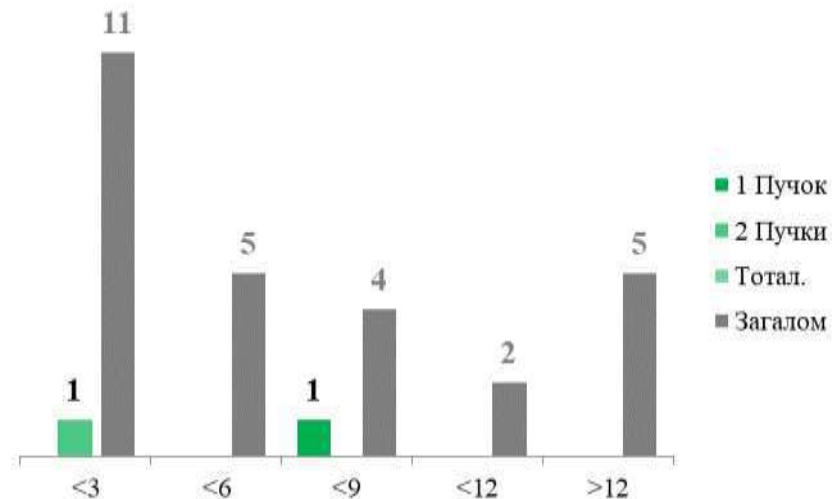


**Рис. 4.41. Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. triceps brachii* (усіх або бодай однієї голівки), що забезпечує пріоритетну функцію 3-го порядку, за шкалою MRC залежно від кількості пучків ПС, залучених у патологічний травматичний процес, та виду проведеного реконструктивного втручання після «внутрішньої міграції» пацієнтів**

**4.3.5. Результати відновлення пріоритетної функції 3-го порядку залежно від виду реконструктивного втручання, терміну його виконання та кількості пучків плечового сплетення, залучених у патологічний процес**

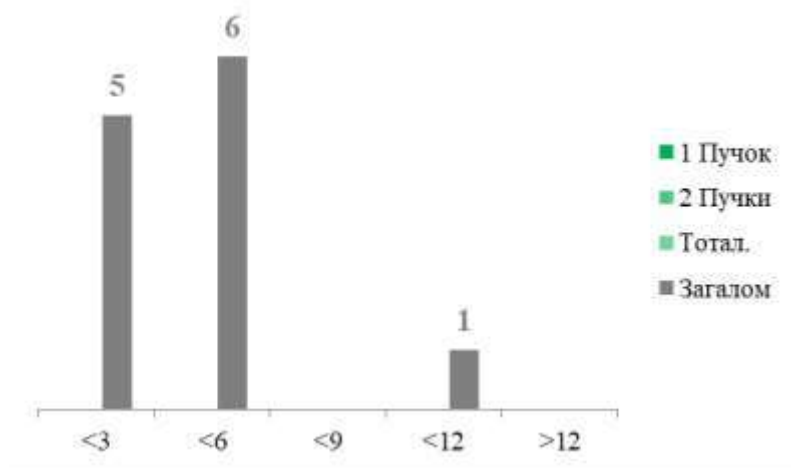
Загалом кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невроліз» в терміни від 0-3 міс становила 1 при ушкодженні двох пучків ПС, тобто 9,1 % від загальної кількості проведених РВ «Невроліз» в дані терміни (Рис. 4.42). В терміни 6-9 міс кількість пацієнтів, у

котрих відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невроліз» становила 1 при ушкодженні одного пучка ПС, тобто 20 % від загальної кількості проведених РВ «Невроліз» в дані терміни (Рис. 4.42).



**Рис. 4.42. Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. triceps brachii* (усіх або бодай однієї голівки), що забезпечує пріоритетну функцію 3-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від кількості пучків ПС, залучених у патологічний травматичний процес та термінів виконання РВ «Невроліз» після «внутрішньої міграції» пацієнтів**

У жодного пацієнта після виконання РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні двох чи трьох пучків ПС не спостерігали відновлення сили м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку, до рівня М4-5 в будь-які терміни виконання РВ (Рис. 4.43).



**Рис. 4.43.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. triceps brachii* (усіх або бодай однієї голівки), що забезпечує пріоритетну функцію 3-го порядку, до рівня M4-5 за шкалою MRC залежно від кількості пучків ПС, залучених у патологічний травматичний процес, та термінів виконання реконструктивного втручання «Автологічна пластика» після «внутрішньої міграції» пацієнтів

#### 4.4. Результати відновлення пріоритетної функції 5-го порядку

Оцінювання результатів проводилось із урахуванням виду РВ, термінів до моменту проведення будь-якого РВ та кількості пучків ПС, залучених у патологічний травматичний процес. Обов'язковою умовою включення пацієнтів в дану підгрупу аналізу було наявність П-ТУ із залученням заднього пучка ПС: ізольованого чи в поєднанні з іншими пучками ПС. Відповідно, проводили аналіз результатів відновлення пріоритетної функції 5-го порядку лише у 39 пацієнтів (72 %) із загалом 54 пацієнтів із П-ТУ ПС.

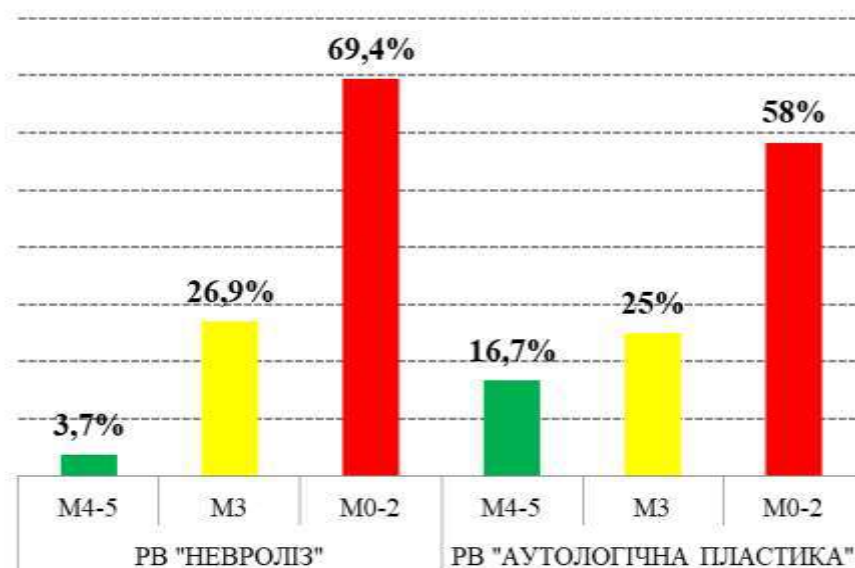
Дериват заднього пучка ПС *n. radialis* забезпечує функцію усіх голівок *m. triceps brachii* (відноситься до комплексу м'язів «Elbow Unit») – пріоритетної функції 3-го порядку, а також функцію усіх м'язів задньої поверхні передпліччя, що відносяться як до комплексу м'язів «Elbow Unit», так і до комплексу м'язів «Hand and Wrist Unit». Саме функція *m. extensor carpi radialis longus et brevis* із комплексу поверхневих та глибоких м'язів задньої поверхні

передпліччя (усі разом об'єднані під назвою пріоритетна функція 5-го порядку) відіграють основну роль стабілізаторів променево-зап'ясткового суглобу під час формування основних типів силових захватів при виконанні АЩД. Таким чином, відновлення пріоритетної функції 5-го порядку проводили на основі аналізу відновлення силових характеристик або *m. extensor carpi radialis longus* та/або *m. extensor carpi radialis brevis*.

#### **4.4.1. Результати відновлення складової пріоритетної функції 5-го порядку залежно від виду проведеного реконструктивного втручання**

Враховуючи той факт, серед 3 пацієнтів, котрим було виконано РВ «Невротизація» при П-ТУ ПС, жодне з яких не було направлене на відновлення складової пріоритетної функції 5-го порядку, у вказаних вище 3 випадках відбулась «внутрішня міграція» пацієнтів із підгрупи РВ «Невротизація» в підгрупу РВ «Невроліз». Таким чином, при оцінюванні результатів кількість пацієнтів із П-ТУ ПС в підгрупі, яким було виконано РВ «Невроліз», направлене на відновлення складової пріоритетної функції 5-го порядку становила 27, відповідно, в дослідженні не було жодного пацієнта, яким було виконано РВ «Невротизація» направлене на відновлення чи складової чи усіх складових пріоритетної функції 5-го порядку.

Серед 27 пацієнтів із П-ТУ ПС, котрим було виконано РВ «Невроліз», відновлення сили м'язів *m. extensor carpi radialis longus* та/або *m. extensor carpi radialis brevis*, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня М4-5 досягнуто у 1 (3,7 %) – Рис. 4.44. Виконання РВ «Аутологічна пластика» дозволила досягнути відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку у 2 пацієнтів (16,7 %) (Рис.4.44). Відсутність ефективного відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку – рівень М0-2 – становила 69,4 % після виконання РВ «Невроліз», 58 % – після виконання РВ «Аутологічна пластика» (Рис.4.44).

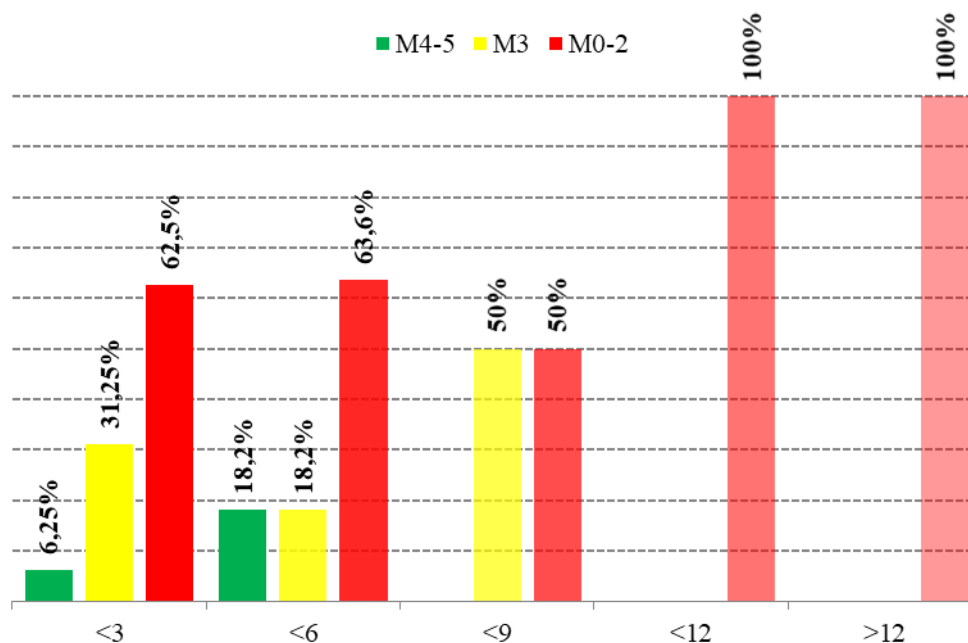


**Рис. 4.44.** Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. extensor carpi radialis longus* та/або *brevis*, що забезпечують складову пріоритетної функції 5-го порядку, за шкалою MRC залежно від виду проведеного РВ після «внутрішньої міграції» пацієнтів

#### 4.4.2. Результати відновлення складової пріоритетної функції 5-го порядку залежно від терміну до проведення первинного реконструктивного втручання

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» (охарактеризований в попередньому підрозділі) загальна кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня М4-5 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс та 3-6 міс становила 1 та 2 (відображено у процентному співвідношенні на Рис. 4.45) відповідно. Загальна кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку до рівня М3 після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс, 3-6 міс та 6-9 міс становила 5, 2 та 2 (відображено у процентному співвідношенні на Рис. 4.45) відповідно. Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку – рівень М0-2

після проведення будь-якого первинного РВ в терміни від 0-3 міс, 3-6 міс, 6-9 міс, 9-12 міс та більше 12 міс – становила 10, 7, 2, 3 та 5 (відображено у процентному співвідношенні на Рис. 4.45) відповідно.



**Рис. 4.45.** Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. extensor carpi radialis longus* та/або *brevis*, що забезпечують складову пріоритетної функції 5-го порядку, за шкалою MRC залежно від термінів проведення будь-якого РВ після «внутрішньої міграції» пацієнтів

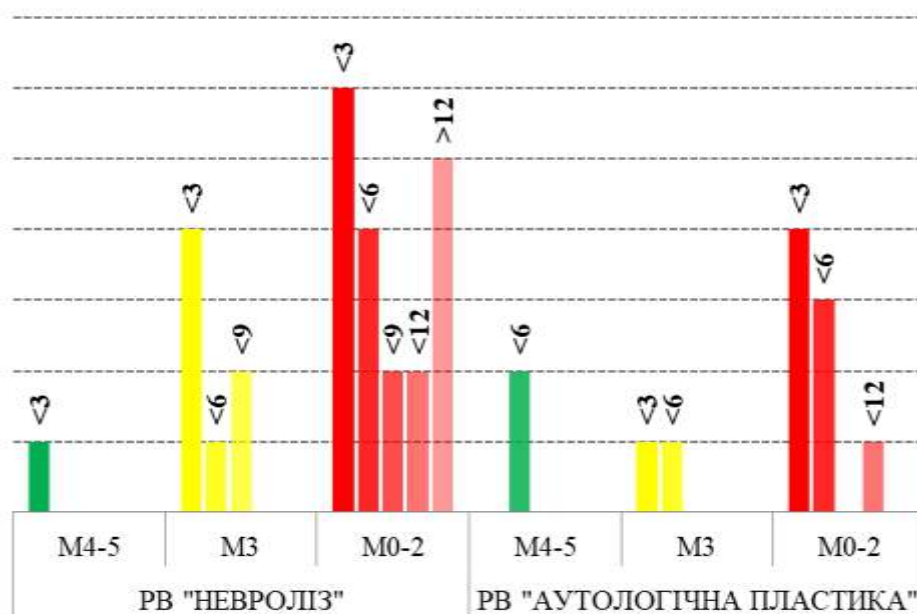
#### 4.4.3. Результати відновлення складової пріоритетної функції 5-го порядку залежно від виду та терміну до проведення первинного реконструктивного втручання

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» (охарактеризований в підрозділі 6.4.1.) кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня M4-5 після виконання РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс та 6-9 міс становила 1 та 1 (Рис. 4.46), до рівня M3 після виконання РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс становила 1 (Рис. 4.46). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної



функції 3-го порядку – рівень M0-2 – після проведення РВ «Невроліз» в терміни 0-3 міс, 3-6 міс, 6-9 міс, від 9-12 міс та більше 12 міс становила 6, 4, 2, 2 та 5 (Рис. 4.46) відповідно.

У 2 пацієнтів після виконання РВ «Аутологічна пластика» спостерігали відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня M4-5 в терміни 3-6 міс (Рис. 4.46). Кількість пацієнтів, у яких відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня M3 після виконання РВ «Аутологічна пластика» в терміни 0-3 міс та 3-6 міс становила 1 та 1 (Рис.4.46). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку – рівень M0-2 – після проведення РВ «Аутологічна пластика» в терміни 0-3 міс, від 3-6 міс та 9-12 міс становила 4, 3 та 1 (Рис.4.46) відповідно.

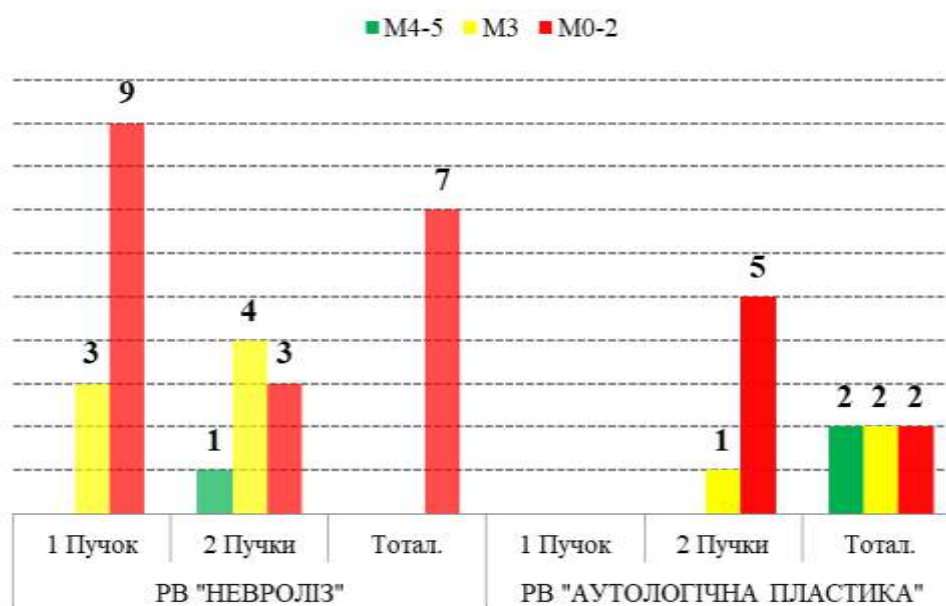


**Рис.4.46.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. extensor carpi radialis longus* та/або *brevis*, що забезпечують складову пріоритетної функції 5-го порядку, за шкалою MRC залежно від термінів та виду проведеного РВ після «внутрішньої міграції» пацієнтів

#### **4.4.4. Результати відновлення складової пріоритетної функції 5-го порядку залежно від виду реконструктивного втручання та кількості пучків плечового сплетення, залучених у патологічний процес**

Із урахуванням процесу «внутрішньої міграції» кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня М4-5 після виконання РВ «Невроліз» при ушкодженні двох пучків ПС становила 1 (Рис. 4.47), до рівня М3 після виконання РВ «Невроліз» при ушкодженні одного чи двох пучків ПС становила 3 та 4 (Рис. 4.47). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Невроліз» при ушкодженні одного, двох чи трьох пучків ПС становила 9, 3 та 7 (Рис. 4.47), відповідно.

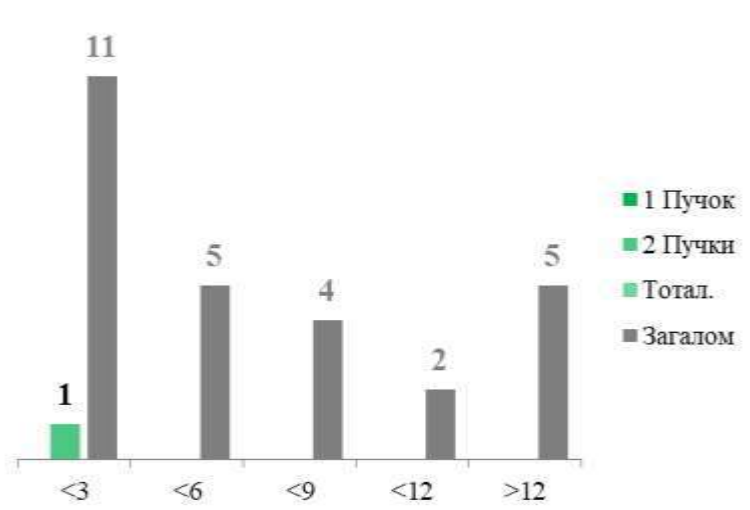
У 2 пацієнтів після виконання РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні трьох пучків ПС спостерігали відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня М4-5 (Рис. 4.47). Кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня М3 після виконання РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні двох чи трьох пучків ПС становила 1 та 2 (Рис. 4.47). Загальна кількість пацієнтів, у котрих не відбулось відновлення м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку – рівень М0-2 – після проведення РВ «Автологічна пластика» при ушкодженні двох чи трьох пучків ПС становила 5 та 2 (Рис. 4.47) відповідно.



**Рис. 4.47.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. extensor carpi radialis longus* та/або *brevis*, що забезпечують складову пріоритетної функції 5-го порядку, за шкалою MRC залежно від кількості пучків ПС, залучених у патологічний травматичний процес та виду проведеного РВ після «внутрішньої міграції» пацієнтів

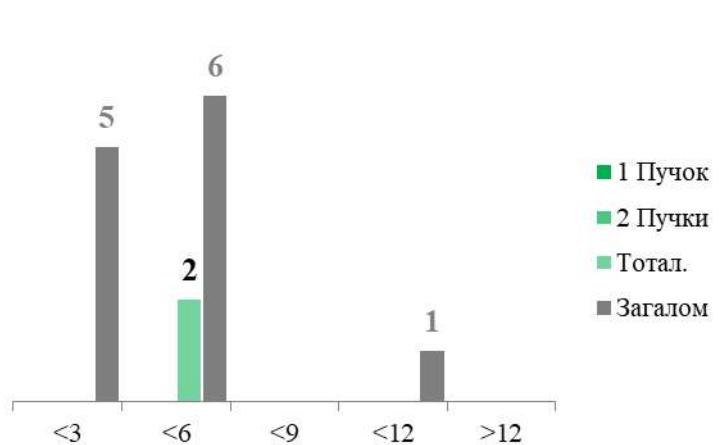
#### 4.4.5. Результати відновлення складової пріоритетної функції 5-го порядку залежно від виду реконструктивного втручання, терміну його виконання та кількості пучків плечового сплетення, залучених у патологічний процес

Загалом, кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня M4-5 в терміни від 0-3 міс становила 1 при ушкодженні двох пучків ПС, тобто 9,1 % від загальної кількості проведених РВ «Невроліз» в дані терміни (Рис. 4.48). У жодного пацієнта після виконання РВ «Невроліз» при ушкодженні одного, двох чи трьох пучків ПС не спостерігали відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня M4-5 в будь-які інші терміни виконання даного РВ (Рис. 4.48).



**Рис. 4.48.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. extensor carpi radialis longus* та/або *brevis*, що забезпечують складову пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від кількості пучків ПС, залучених у патологічний травматичний процес та термінів виконання РВ «Невроліз» після «внутрішньої міграції» пацієнтів

Загалом кількість пацієнтів, у котрих відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня М4-5 в терміні від 3-6 міс становила 2 при ушкодженні трьох пучків ПС, тобто 33,3 % від загальної кількості проведених РВ «Невроліз» в дані терміни (Рис. 4.49). У жодного пацієнта після виконання РВ «Невроліз» при ушкодженні двох чи трьох пучків ПС не спостерігали відновлення сили м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня М4-5 в будь-які інші терміни виконання даного РВ (Рис. 4.49).



**Рис. 4.49.** Кількість випадків (у абсолютних показниках) відновлення *m. extensor carpi radialis longus* та/або *brevis*, що забезпечують складову пріоритетної функції 5-го порядку, до рівня М4-5 за шкалою MRC залежно від кількості пучків ПС, залучених у патологічний травматичний процес, та термінів виконання РВ «Автологічна пластика» після «внутрішньої міграції» пацієнтів

#### 4.5. Результати відновлення пріоритетної функцій 6-го та 7-го порядку

Аналіз результатів відновлення силових характеристик ключових м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетних функцій 6-го та 7-го порядків, не проводився в даному дослідженні. Відмова від проведення аналізу пов'язана із відсутністю відповідної робочої МОДЕЛІ (на відміну від проаналізованих «МОДЕЛЬ А» та «МОДЕЛЬ В»), а також надійних методик хірургічної реконструкції вказаних функцій, окрім традиційних (невроліз та аутологічна пластика), ефективність яких за даними літератури [176,191] є вкрай низькою для відновлення силових характеристик м'язів та їх груп, що розташовані дистальніше місця ушкодження – чи то при Н-ТУ ПС, чи то при П-ТУ ПС. Кількісні показники відновлення пріоритетних функцій 6-го та 7-го порядків (хоча й не наводяться в даному дослідженні) відповідали таким, що представлені у сучасних літературних джерелах [161-176]. Вирішення загальної

проблеми ефективного відновлення пріоритетних функцій 3-го, 5-го, 6-го та 7-го порядків та перспективні напрямки поліпшення результатів за допомогою методики селективної реіннервації представлені у Розділ 6.

#### 4.6. Висновки до Розділу 4

1. Відновлення ефективних силових характеристик (M4-5) ключового м'язу *m. biceps brachii*, що забезпечує виконання пріоритетної функції 1-го порядку після проведення неселективного хірургічного реконструктивного втручання досягнуто у 18,4 % (невроліз) та 28,6 % (автологічна пластика), після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. musculocutaneus*) – 67,2 % випадків застосування, що у 3,6 ( $X^2 = 40$ ,  $dF = 2$ ,  $p < 0,0001$ ) та 2.4 ( $p = 0.005$ ) рази ефективніше за неселективні методи.
2. Відновлення ефективних силових характеристик (M4-5) ключового м'язу *m. deltoideus*, що забезпечує виконання складової пріоритетної функції 2-го порядку, після проведення неселективного хірургічного реконструктивного втручання досягнуто у 7,1 % (невроліз) та 14 % (автологічна пластика), після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. axillaris*) – 31 % випадків застосування, що у 4,3 ( $X^2 = 8,1$ ,  $dF = 2$ ,  $p = 0,02$ ) та 2.2 ( $X^2 = 4,8$ ,  $dF = 2$ ,  $p = 0,09$ ) рази ефективніше за неселективні методи.
3. Відновлення ефективних силових характеристик (M4-5) ключових м'язів *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують виконання складової пріоритетної функції 2-го порядку, після проведення неселективного хірургічного реконструктивного втручання досягнуто у 10,4 % (невроліз) та 0 % (автологічна пластика), після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. suprascapularis*) – у 37,9 % випадків застосування, що у 3,6 разів ефективніше ( $p < 0,0001$ ) за неселективний метод.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора:

1. Цимбалюк, В. І., Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, Я. В., Третьякова, А. І., Цзян, Х. (2022). Зміна концепції хірургічного лікування травматичних ушкоджень плечового сплетення. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 28(1), 28–38. <https://doi.org/10.25305/unj.248108>
2. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tsymbaliuk, V. I., Jiang, H., Tsymbaliuk, I. V., & Tretyakova, A. I. (2022). Spinal accessory to suprascapular nerve transfer in brachial plexus injury: outcomes of anterior vs. posterior approach to the suprascapular nerve at associated ipsilateral spinal accessory nerve injury. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 28(2), 37–45. <https://doi.org/10.25305/unj.255792>;
3. Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, В. І., Цимбалюк, Я. В., Цзян, Х. (2022). Селективна хірургічна реіннервація пахвового нерва у пацієнтів із наслідками травматичного ушкодження первинних стовбурів (надключичні) плечового сплетення: результати використання, аналіз причин неефективності. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 28(4), 41–48. <https://doi.org/10.25305/unj.265680>

## РОЗДІЛ 5

### РЕЗУЛЬТАТИ ВІДНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ РУХІВ

В даному розділі обговорення результатів проводиться з позиції відновлення ефективного руху. Відповідно, ефективним відновленням рухової функції, із урахуванням її пріоритетності, вважалась здатність ключового м'язу/м'язів із відповідних комплексів «Shoulder Unit», «Elbow Unit» та «Hand and Wrist Unit» виконувати роботу мінімального та максимального пікових показників при виконанні кожного із основних видів щоденної діяльності (АЩД) (див. Розділ 2, підрозділ 2.4., Табл. 2.6). За умов неспроможності ключового м'язу забезпечити максимальний піковий показник (з усіх видів АЩД для даного ключового м'язу) відновлення функції вважалось неефективним.

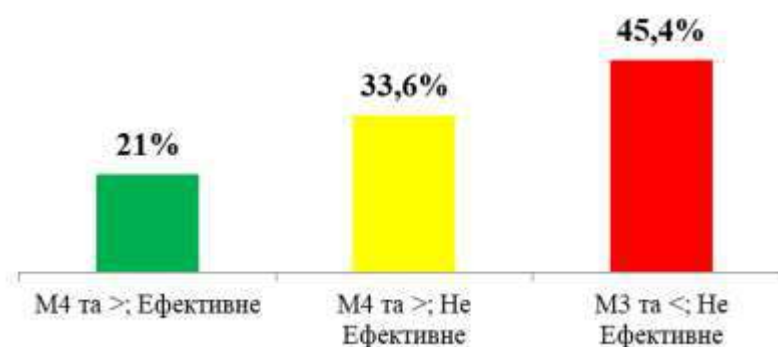
#### **5.1. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 1-го порядку**

*ЕфРх для ключового м'язу т. biceps brachii із комплексу Elbow Unit, що забезпечує пріоритетні функції 1-го порядку, є Elbow Flexion (згинання в ліктьовому суглобі) із основною активністю допереду від фронтальної площини (допереду від тулуба), максимальний піковий ефективний кут при виконанні АЩД дорівнює 120 °.*

Серед 148 пацієнтів із Н-ТУ ПС та відсутністю пріоритетної функції 1-го порядку, 104 пацієнтам (70 %) проведено будь-яке первинне реконструктивне втручання в терміни до 6 міс [160]. Із загалом 104 пацієнтів, яким будь-яке реконструктивне втручання було проведено в терміни до 6 міс, відновлення ключового м'язу, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку до М4-5, становила 57 (54,8 %). В той саме час, серед загалом 57

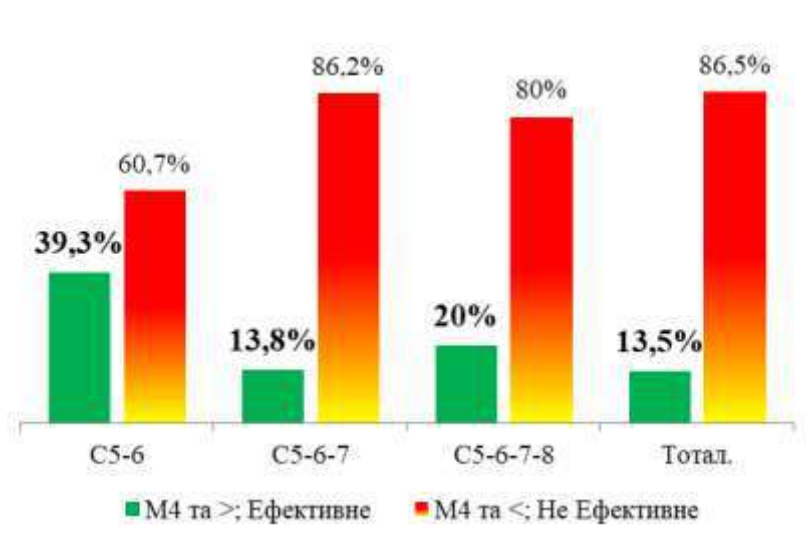


пацієнтів, у котрих силові характеристики ключового м'яза, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, відновились до рівня М4-5, лише в 22 пацієнтів (21 %) він здатний був забезпечити ефективний рух (ЕфРх) при АЩД (Рис. 5.1).



**Рис. 5.1. Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при виконанні АЩД залежно від силових показників (за шкалою MRC) ключового м'язу *m. biceps brachii*, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку: терміни з моменту травми до проведення будь-якого РВ не більше 6 міс**

Серед 104 пацієнтів, яким будь-яке реконструктивне втручання було проведено в терміни до 6 міс., відновлений ключовий м'яз до рівня М4-5, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, здатний був забезпечити ефективний ЕфРх у 11 пацієнтів (39,3 %) при ушкодженні С5-6 (Рис. 5.2), у 4 пацієнтів (13,8 %) при ушкодженні С5-6-7 (Рис. 5.2), у 2 пацієнтів (20 %) при ушкодженні С5-6-7-8 (Рис. 5.2) та у 5 пацієнтів (13,5 %) при тотальному типі (Рис. 5.2) ушкодження ПС.



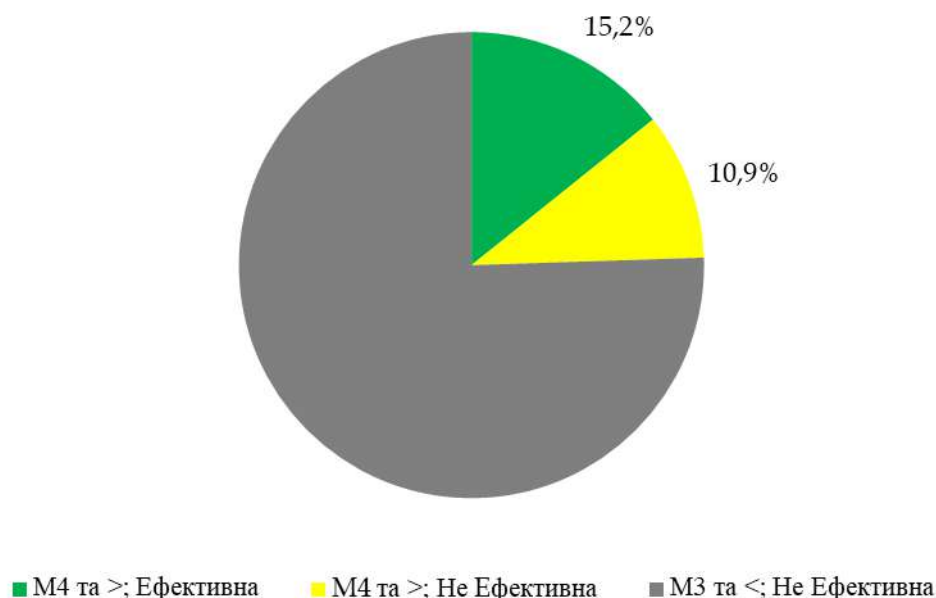
**Рис. 5.2. Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при виконанні АЩД залежно від силових показників (за шкалою MRC) ключового м'язу *m. biceps brachii*, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку та анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: терміни з моменту травми до проведення будь-якого РВ не більше 6 міс**

Загалом із 104 пацієнтів із Н-ТУ ПС в терміни до 6 міс було виконано 46 РВ «Невроліз» (44,2 %), 12 пацієнтам проведено РВ «Автологічна пластика» (11,5 %) та 41 пацієнту проведено РВ «Невротизація» (44,3 %), що були направлені на відновлення ефективної пріоритетної функції 1-го порядку. Інакше кажучи, кількість реконструктивних втручань «Невроліз» та «Невротизація» були співставимі за абсолютними та відносними числами із урахуванням загальної кількості представників у вибірці дослідження. Надалі саме ефективність цих реконструктивних втручань будуть порівнюватись між собою.

Відновлення ключового м'язу, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку до М4-5 після проведення РВ «Невроліз» та РВ «Невротизація» в терміни до 6 міс становила 12 та 29 випадків (26,1 % та 70,7 % від загальної кількості проведених специфічних РВ в терміни до 6 міс).

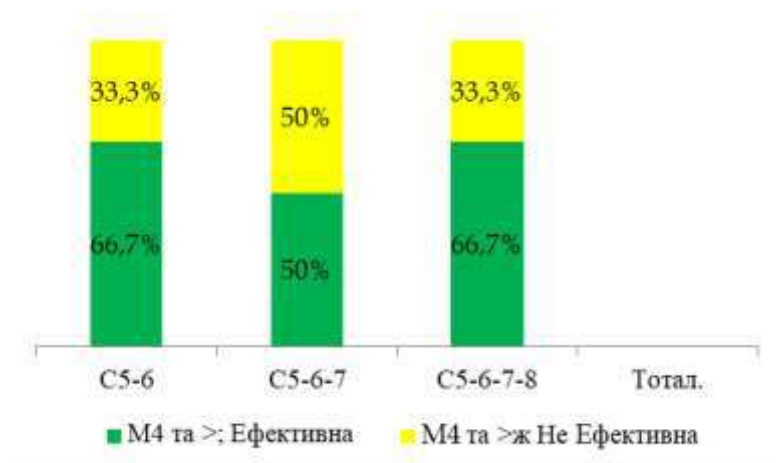
В той саме час, серед загалом 12 пацієнтів, у котрих силові характеристики ключового м'язу, що відповідає за забезпечення пріоритетної

функції 1-го порядку, відновились до рівня М4-5 після проведення РВ «Невроліз», лише в 7 пацієнтів (15,2 %) він здатний був забезпечити ЕфРх при АЩД (Рис. 5.3).



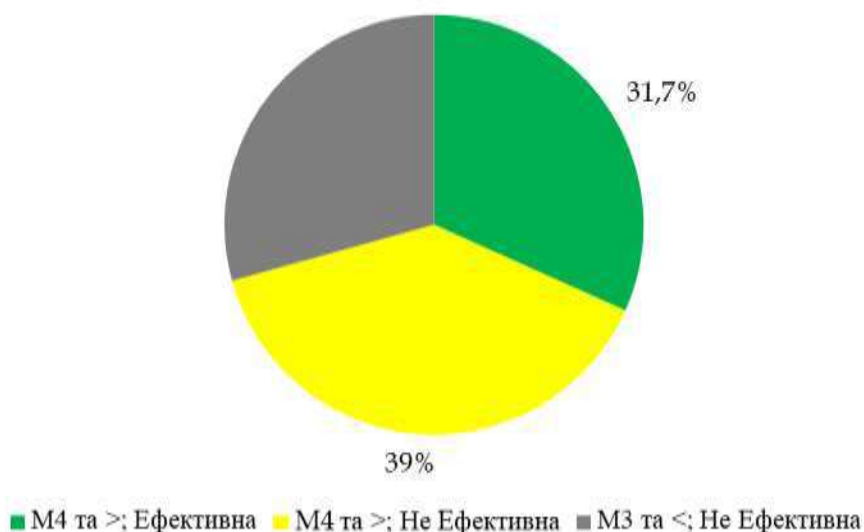
**Рис. 5.3. Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при виконанні АЩД в залежності від силових показників (за шкалою MRC) ключового м'язу *m. biceps brachii*, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невроліз» не більше 6 міс**

Серед загалом 7 пацієнтів, у котрих відновлення ЕфРх ключовим м'язом при АЩД, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, відбулось у 66,7 % пацієнтів при ушкодженні С5-6 (Рис. 5.4), у 50 % пацієнтів при ушкодженні С5-6-7 (Рис. 5.4) та у 66,7 % пацієнтів при ушкодженні С5-6-7-8 (Рис. 5.4). У жодного пацієнта після виконання РВ «Невроліз» при тотальному ушкодженні ПС (Рис. 5.4) не відбулось відновлення ефективного руху ключовим м'язом, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку.



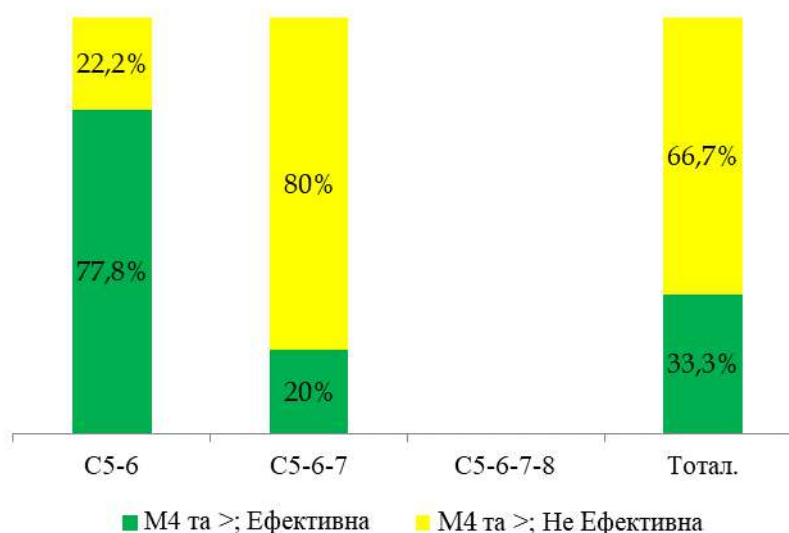
**Рис. 5.4.** Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при досягненні силових показників М4 та > ключовим м'язом *m. biceps brachii*, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, залежно від анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невроліз» не більше 6 міс

Серед загалом 29 пацієнтів, у котрих силові характеристики ключового м'язу, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, відновились до рівня М4-5 після проведення РВ «Невротизація», лише в 13 пацієнтів (31,7 %) ключовий м'яз здатний був забезпечити ЕфРх при АЩД (Рис. 5.5).



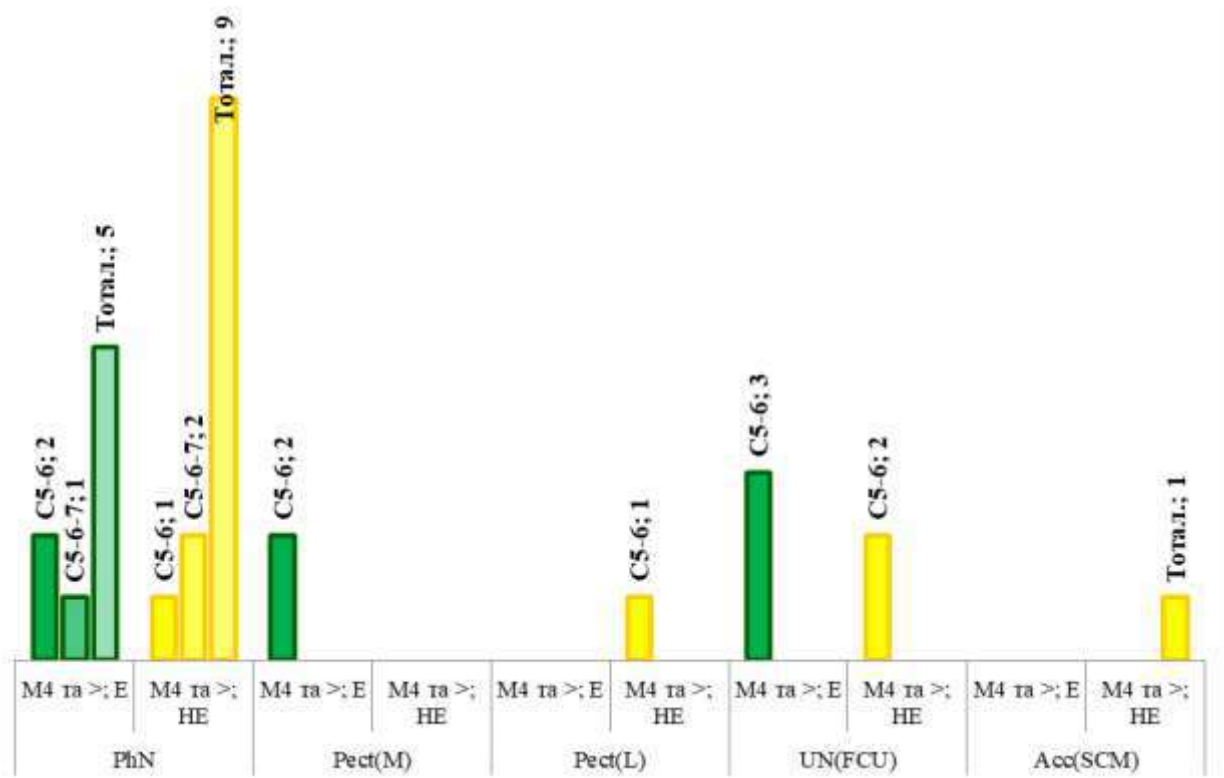
**Рис. 5.5.** Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при виконанні АЩД залежно від силових показників (за шкалою MRC) ключового м'язу *m. biceps brachii*, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невротизація» не більше 6 міс

Серед загалом 13 пацієнтів, у котрих відновлення ЕфРх ключовим м'язом при АЩД, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, відбулось у 77,8 % пацієнтів при ушкодженні С5-6 (Рис. 5.6), у 20 % пацієнтів при ушкодженні С5-6-7 (Рис. 5.6) та у 33,7 % пацієнтів при тотальному ушкодженні ПС (Рис. 5.6) після виконання РВ «Невротизація».



**Рис. 5.6. Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при досягненні силових показників М4 та > ключовим м'язом *m. biceps brachii*, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, залежно від анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невротизація» не більше 6 міс**

Використання нервів-донорів, що призвело до відновлення ЕфРх ключовим м'язом, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, представлені на Рис. 5.7.



**Рис. 5.7.** Кількість випадків відновлення ЕфРх при досягненні силових показників М4 та > ключовим м'язом *m. biceps brachii*, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, залежно від використаних нервів-донорів та анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невротизація» не більше 6 міс: Е – ефективний рух, HE – неефективний рух, Acc(SCM) – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, PhN – *n. phrenicus*, Pect(M) – *n. pectoralis medialis*, Pect(L) – *n. pectoralis lateralis*, UN(FCU) – волокнини *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris*

Використання *Nervus phrenicus* в якості нерва-донора призвела до відновлення ЕфРх ключовим м'язом, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку в терміни до 6 міс, у 8 з 20 випадків – 40 % – відновлення сили ключового м'яза до рівня М4-5 (Рис.5.7). Слід зазначити, що в 14 випадках тотального Н-ТУ ПС відновлення ЕфРх наступило у 36 %, альтернативи даному нерву-донору не існувало (Рис.5.7). Використання *Nervus phrenicus* при ушкодженні C5-6 та C5-6-7 в 3 та 3 випадках, призвела до

відновлення ЕфРх в 67 % та 33 % випадків відповідно (Рис.5.7). У випадках Н-ТУ ПС С5-6 та С5-6-7 в наявності є щонайменше два доступних альтернативних нерва-донори із доведеним потенціалом відновити ЕфРх. Такими альтернативними нервами-донорами є *Nervus pectoralis medialis* та волокнина *Nervus ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris*. Використання вказаних вище нервів-донорів призвела до відновлення ЕфРх ключовим м'язом, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку в терміни до 6 міс, у 2 з 2 випадків (*Nervus pectoralis medialis*) – 100 % – при ушкодженні С5-6, у 5 із 7 випадків (волокнина *Nervus ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris*) – 71 % – при ушкодженні С5-6.

Таким чином, відновлення ЕфРх ключовим м'язом, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, залежить від вибору типу реконструктивного втручання (в даному дослідженні РВ «Невротизація» є значно ефективнішою), анатомічних характеристик травматичного ушкодження та, відповідно, можливості використати декілька альтернативних нервів-донорів, кількість яких (інтраплексусних зокрема) суттєво зменшується по мірі збільшення передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес.

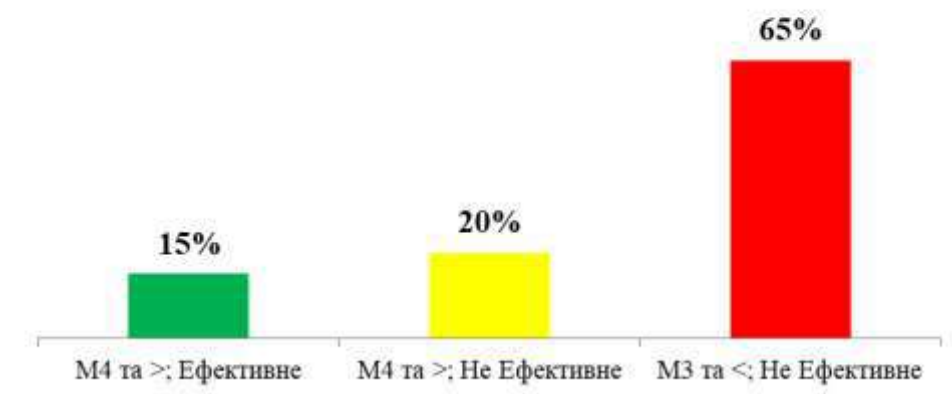
## **5.2. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 2-го порядку**

### **5.2.1. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 2-го порядку (іннерваційний пул *n. axillaris*, ключовий м'яз *m. deltoideus*)**

*Ефективним Рухом (ЕфРх) для ключового м'язу *m. deltoideus* із комплексу *Shoulder Unit*, що забезпечує складову пріоритетної функції 2-го порядку є *Forward Flexion* (згинання в плечовому суглобі) із основною активністю*

допереду від фронтальної площини (допереду від тулуба), максимальний піковий ефективний кут при виконанні АЩД дорівнює  $108^\circ$ .

Серед 149 пацієнтів із Н-ТУ ПС та відсутністю складової пріоритетної функції 2-го порядку (іннерваційний пул *n. axillaris*, ключовий м'яз *m. deltoideus*), 105 пацієнтам (70,5 %) проведене будь-яке первинне РВ в терміни до 6 міс. Із загалом 105 пацієнтів, яким будь-яке РВ було проведено в терміни до 6 міс, відновлення ключового м'язу, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку до М4-5 становила 21 (20 %). В той саме час, серед загалом 20 пацієнтів, у котрих силові характеристики ключового м'язу, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, відновились до рівня М4-5, лише в 16 пацієнтів (15 %) він здатний був забезпечити ефективний рух (ЕфРх) при АЩД (Рис. 5.8).

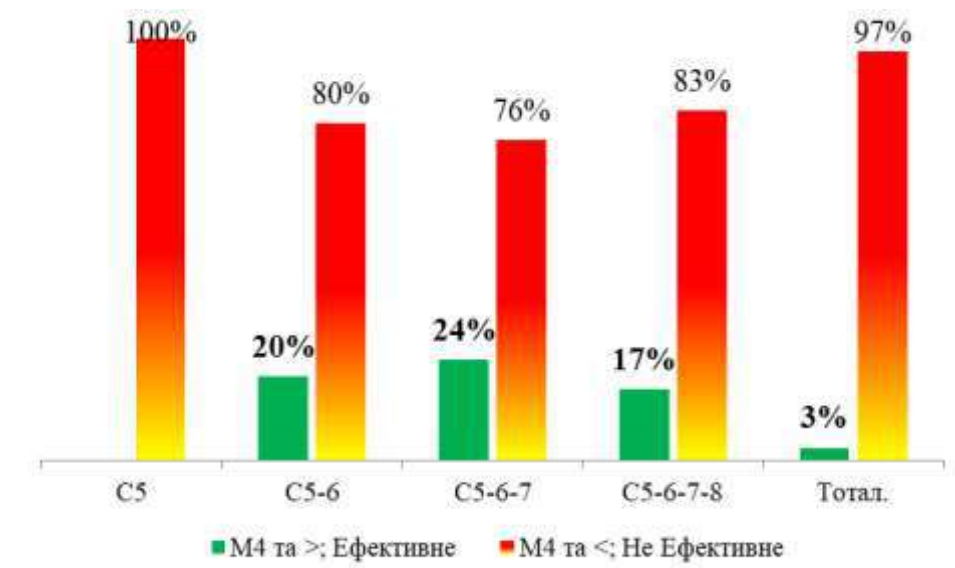


**Рис. 5.8. Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при виконанні АЩД залежно від силових показників (за шкалою MRC) ключового м'язу *m. deltoideus*, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку: терміни з моменту травми до проведення будь-якого РВ не більше 6 міс**

Серед 105 пацієнтів, яким будь-яке реконструктивне втручання було проведено в терміни до 6 міс, відновлений ключовий м'яз до рівня М4-5, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку,



здатний був забезпечити ЕфРх у 20 % при ушкодженні С5-6 (Рис. 5.9), у 24 % при ушкодженні С5-6-7 (Рис. 5.9), у 17 % при ушкодженні С5-6-7-8 (Рис. 5.9) та у 3 % при тотальному типі (Рис. 5.9) ушкодження ПС.

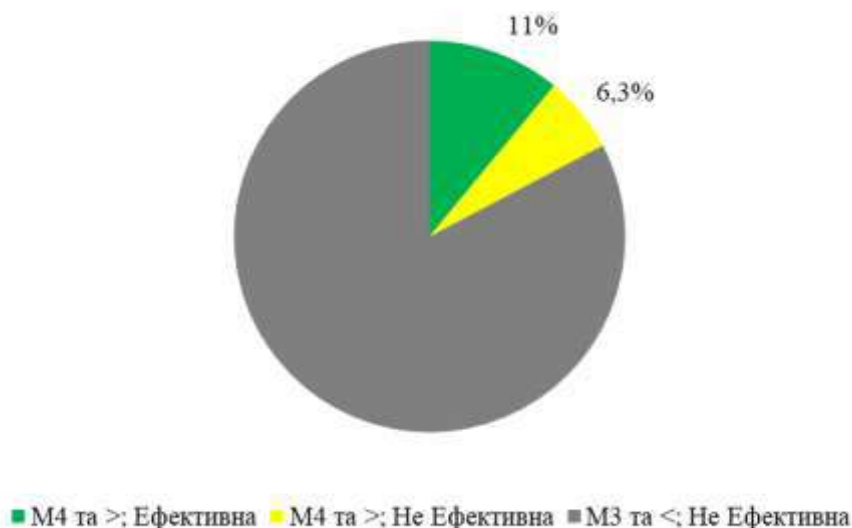


**Рис. 5.9. Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при виконанні АЩД залежно від силових показників (за шкалою MRC) ключового м'язу *m. deltoideus*, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, та анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: терміни з моменту травми до проведення будь-якого РВ не більше 6 міс**

Загалом із 105 пацієнтам із Н-ТУ ПС в терміни до 6 міс було виконано 64 РВ «Невроліз» (61 %), 12 пацієнтам проведено РВ «Автологічна пластика» (11,5 %) та 29 пацієнту проведено РВ «Невротизація» (27,5 %), що були направлені на відновлення ефективної складової пріоритетної функції 2-го порядку. Надалі, саме ефективність РВ «Невроліз» та РВ «Невротизація» будуть порівнюватись між собою.

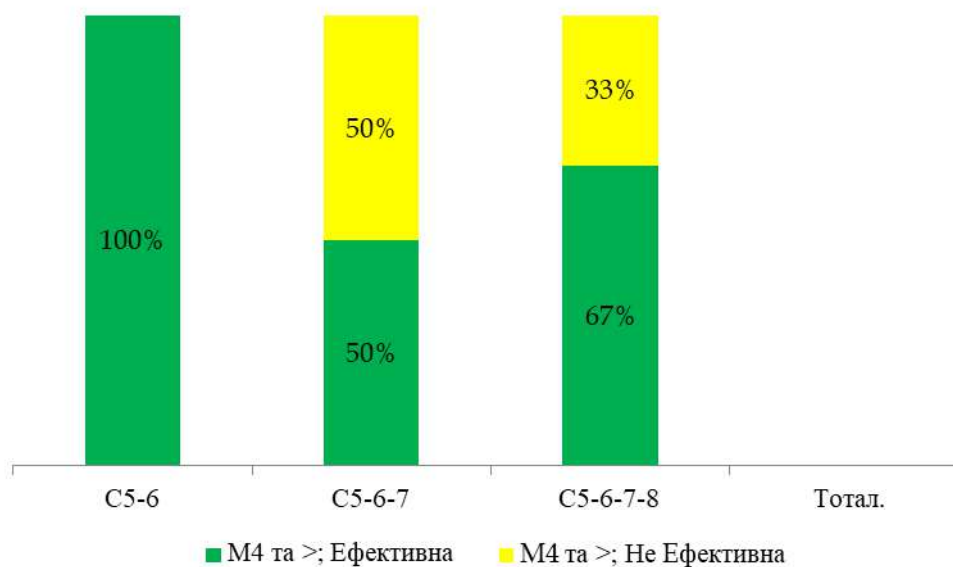
Відновлення ключового м'язу, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку до М4-5 після проведення РВ «Невроліз» та РВ «Невротизація» в терміни до 6 міс становила 11 та 9 випадків (17,2 % та 31 % від загальної кількості проведених специфічних РВ в терміни до 6 міс).

В той саме час серед загалом 11 пацієнтів, у котрих силові характеристики ключового м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, відновились до рівня М4-5 після проведення РВ «Невроліз», лише в 7 пацієнтів (63,6 %) він здатний був забезпечити ЕфРх при АЩД (Рис. 5.10).



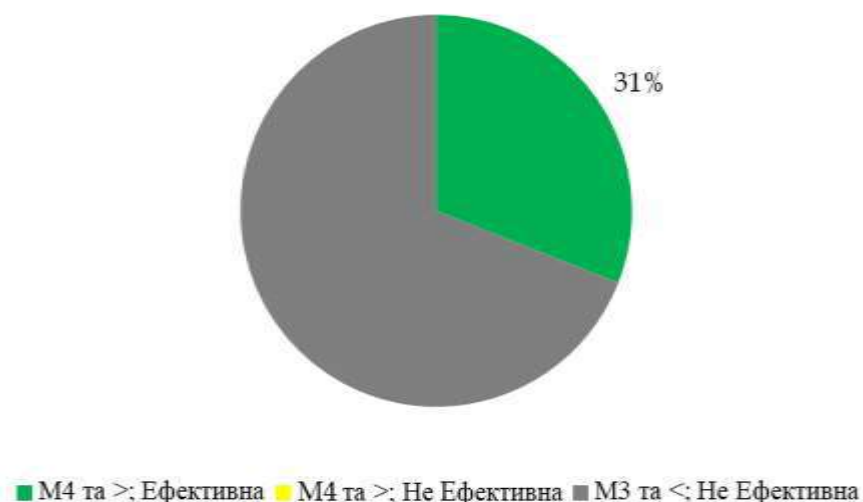
**Рис. 5.10. Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при виконанні АЩД залежновід силових показників (за шкалою MRC) ключового м'язу *m. deltoideus*, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невроліз» не більше 6 міс.**

Серед загалом 11 пацієнтів, у котрих відновлення ЕфРх ключовим м'язом при АЩД, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, відбулось у 100 % пацієнтів при ушкодженні С5-6 (Рис. 5.11), у 50 % пацієнтів при ушкодженні С5-6-7 (Рис.5.11) та у 66,7 % пацієнтів при ушкодженні С5-6-7-8 (Рис. 5.11). У жодного пацієнта після виконання РВ «Невроліз» при тотальному ушкодженні ПС (Рис. 5.11) не відбулось відновлення ЕфРх ключовим м'язом, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку.



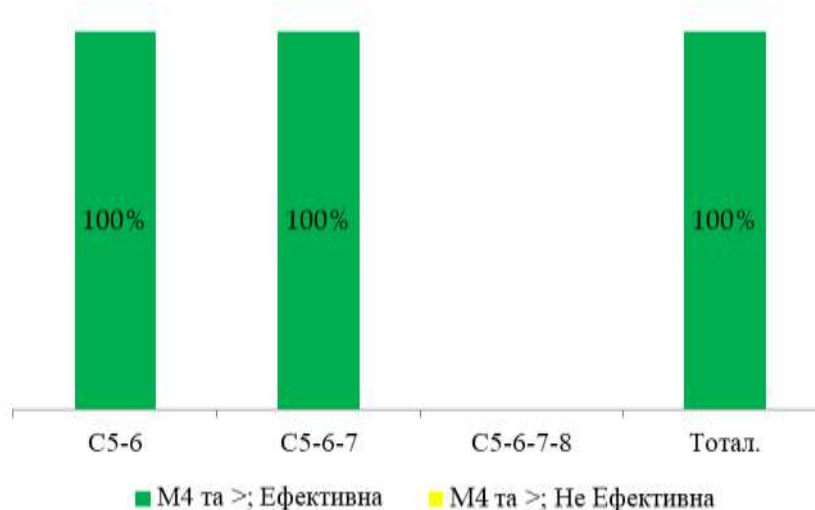
**Рис. 5.11. Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при досягненні силових показників М4 та > ключовим м'язом *m. deltoideus*, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, залежно від анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невроліз» не більше 6 міс**

Серед загалом 9 пацієнтів, у котрих силові характеристики ключового м'яза, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, відновились до рівня М4-5 після проведення РВ «Невротизація», у всіх 9 (100 %) ключовий м'яз здатний був забезпечити ЕфРх при АЩД (Рис. 5.12).



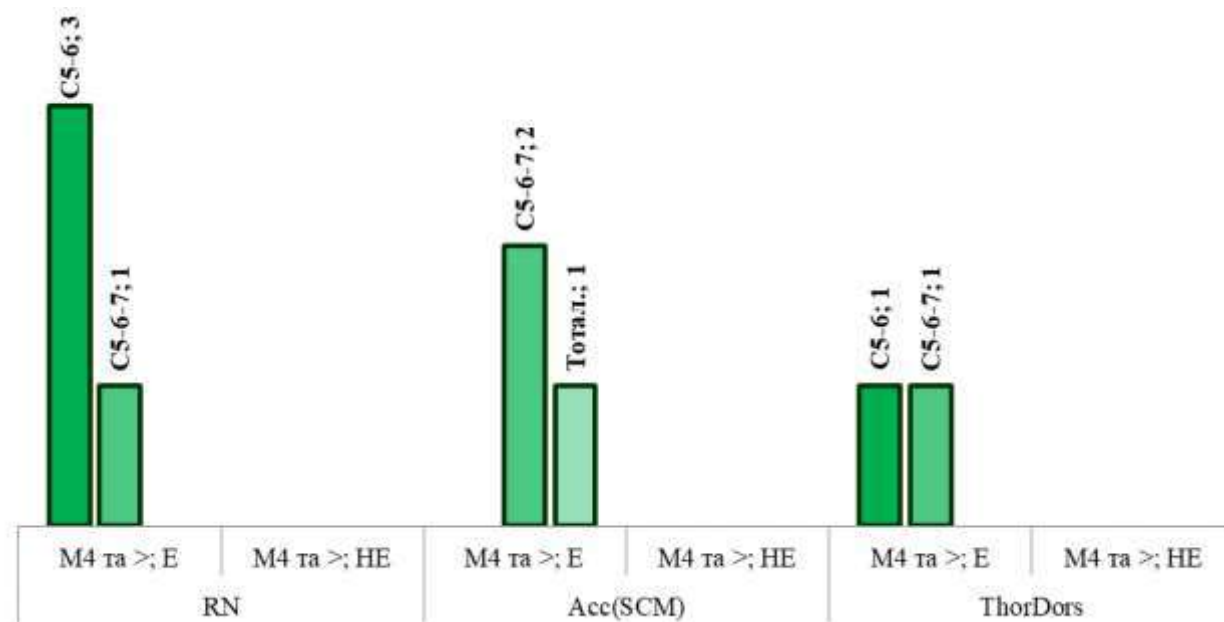
**Рис. 5.12.** Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при виконанні АЩД залежно від силових показників (за шкалою MRC) ключового м'яза *m. deltoideus*, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невротизація» не більше 6 міс

Серед загалом 9 пацієнтів, у котрих відновлення ЕфРх ключовим м'язом при АЩД, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, відбулось у 100 % пацієнтів при ушкодженні C5-6, C5-6-7 та при тотальному ушкодженні ПС (Рис. 5.13).



**Рис. 5.13.** Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при досягненні силових показників М4 та > ключовим м'язом *m. deltoideus*, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, залежно від анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невротизація» не більше 6 міс

Використання нервів-донорів, що призвела до відновлення ЕфРх ключовим м'язом, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, представлені на Рис. 5.14.



**Рис. 5.14.** Кількість випадків відновлення ЕфРх при досягненні силових показників  $M4_{та} >$  ключовим м'язом *m. deltoideus*, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, залежно від використаних нервів-донорів та анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невротизація» не більше 6 міс: Е – ефективний рух, HE – неефективний рух, RN – *rami musculares capitis lateralis muscui tricipitis brachii*, Acc(SCM) – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, ThorDors – *n. thoracodorsalis*.

Використання *Rami musculares capitis lateralis muscui tricipitis brachii* в якості інтраплексусного нерва-донора призвела до відновлення ЕфРх ключовим м'язом, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку в терміни до 6 міс у 100 % випадків на ґрунті відновлення сили ключового м'яза до рівня  $M4-5$  (Рис. 5.14). Слід зазначити, що в усіх 4 випадках використання вказаного вище нерва-донора було можливим лише тому, що кількість передніх спінальних нервів, котрі були залучені у патологічний

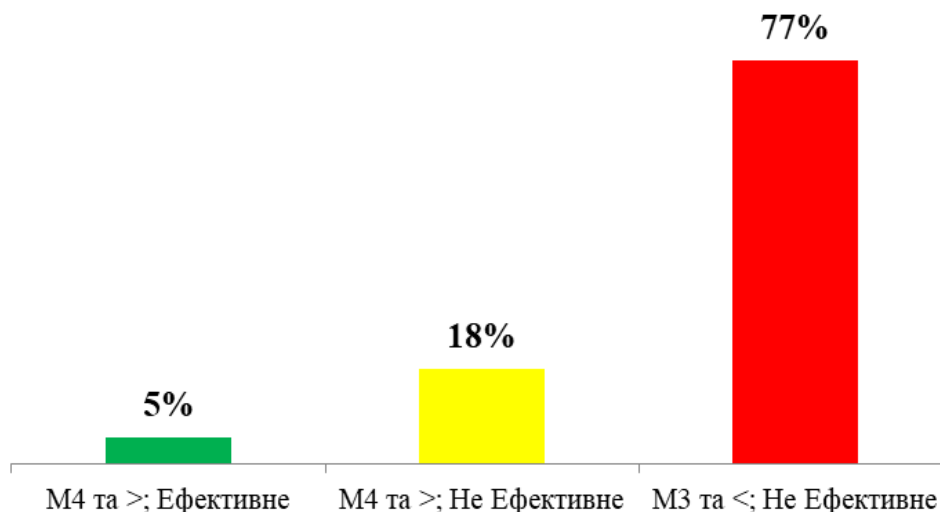
травматичний процес була два та три – С5-6 та С5-6-7 Н-ТУ ПС (Рис. 5.14). У випадках Н-ТУ ПС С5-6 та С5-6-7 в наявності є ще один доступний альтернативний інтраплексусний нерв-донор із доведеним потенціалом відновити ЕфРх. Такими альтернативним нервом-донором є *n. thoracodorsalis*. Використання вказаного вище нерва-донора призвело до відновлення ЕфРх ключовим м'язом, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку в терміни до 6 міс, у 2 з 2 випадків – 100 % – при ушкодженні С5-6 та С5-6-7 (Рис. 5.14). У 3 випадках, при ушкодженні С5-6-7 та тотальному типі ушкодження ПС, використання *Ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* в якості екстраплексусного нерва-донора призвело до відновлення ЕфРх ключовим м'язом, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку в терміни до 6 міс у 100 % випадків (загалом 3 випадки) на ґрунті відновлення сили ключового м'язу до рівня М4-5. Слід зазначити, що у 2 випадках ушкодження ПС С5-6-7 була можливість використати два доступних альтернативних нерва-донори із доведеним потенціалом відновити ЕфРх – *Rami musculares capitis lateralis musculi tricipitis brachii* та *Ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*. У випадку тотального ушкодження ПС *Ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* є безальтернативним екстраплексусним нервом-донором.

Таким чином, відновлення ЕфРх ключовим м'язом, що відповідає за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, залежить від вибору типу реконструктивного втручання (в даному дослідженні РВ «Невротизація» є значно ефективнішою), анатомічних характеристик травматичного ушкодження та, відповідно, можливості використати декілька альтернативних нервів-донорів, кількість яких (інтраплексусних зокрема) суттєво зменшується по мірі збільшення передніх спінальних нервів, залучених у патологічний травматичний процес.

### 5.2.2. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 2-го порядку (іннерваційний пул *n. suprascapularis*, ключові м'язи *m. supraspinatus et infraspinatus*)

Ефективним Рухом (ЕфРх) для ключових м'язів *m. supraspinatus et infraspinatus* із комплексу *Shoulder Unit*, що забезпечують складову пріоритетної функції 2-го порядку є *External Rotation* (зовнішня ротація плечовому суглобі) із основною активністю донереду від фронтальної площини (донереду від тулуба), максимальний піковий ефективний кут при виконанні АЩД дорівнює 55 °.

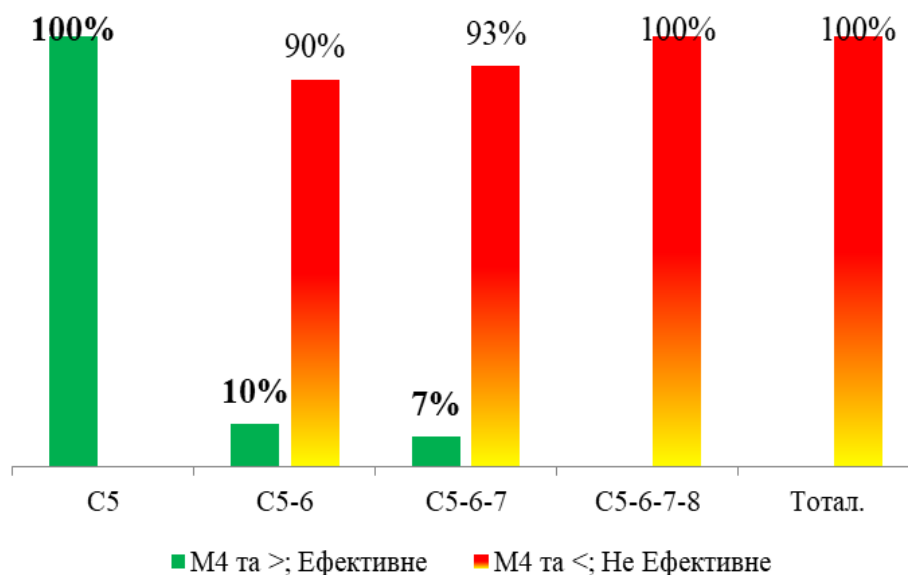
Серед 149 пацієнтів із Н-ТУ ПС та відсутністю складової пріоритетної функції 2-го порядку (іннерваційний пул *n. suprascapularis*, ключові м'язи *m. supraspinatus et infraspinatus*), 105 пацієнтам (70,5 %) проведене будь-яке первинне реконструктивне втручання в терміни до 6 міс. Із загалом 105 пацієнтів, яким будь-яке реконструктивне втручання було проведено в терміни до 6 міс, відновлення ключових м'язів *m. supraspinatus et infraspinatus*, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку до М4-5 становила 19 (18 %). В той саме час серед загалом 20 пацієнтів, у котрих силові характеристики ключових м'язів *m. supraspinatus et infraspinatus*, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, відновились до рівня М4-5, лише в 5 пацієнтів (5 %) він здатний був забезпечити ЕфРх при АЩД (Рис. 5.15).



**Рис. 5.15.** Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при виконанні АЩД залежно від силових показників (за шкалою MRC) ключових м'язів *m. supraspinatus et infraspinatus*, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку: терміни з моменту травми до проведення будь-якого РВ не більше 6 міс

Серед 105 пацієнтів, яким будь-яке РВ було проведено в терміни до 6 міс, відновлені ключові м'язи до рівня М4-5, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, здатні були забезпечити ЕфРх у 100 % пацієнтів при ушкодженні С5 (Рис. 5.16), у 10 % пацієнтів при ушкодженні С5-6 (Рис. 5.16), у 7 % пацієнтів при ушкодженні С5-6-7 (Рис. 5.16), у жодного із пацієнтів при ушкодженні С5-6-7-8 та при тотальному типі ушкодження ПС (Рис. 5.16).





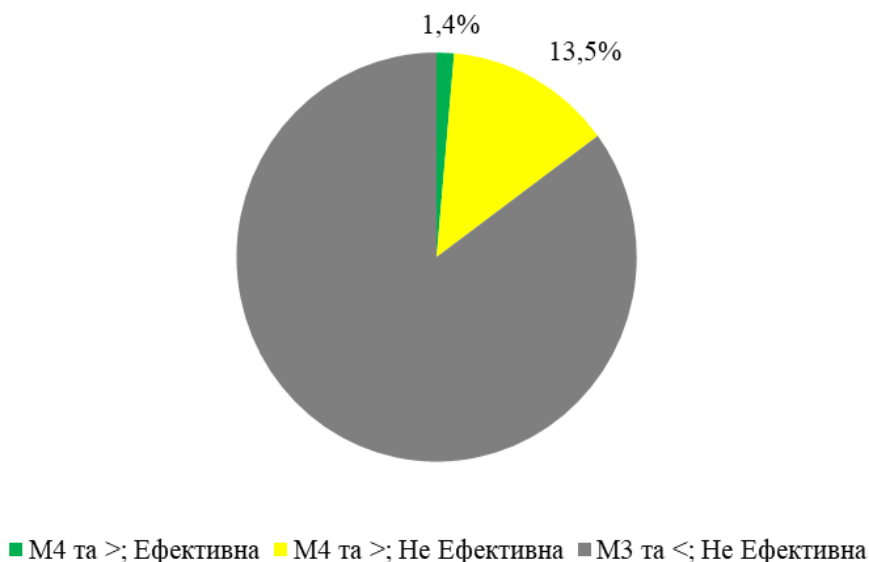
**Рис. 5.16.** Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕФРх при виконанні АЩД залежно від силових показників (за шкалою MRC) ключових м'язів *m. supraspinatus et infraspinatus*, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, та анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: терміни з моменту травми до проведення будь-якого РВ не більше 6 міс

Загалом із 105 пацієнтам із Н-ТУ ПС в терміни до 6 міс було виконано 74 РВ «Невроліз» (70,4 %), 12 пацієнтам проведено РВ «Автологічна пластика» (11,5 %) та 19 пацієнту проведено РВ «Невротизація» (18,1 %), що були направлені на відновлення ефективної складової пріоритетної функції 2-го порядку. Надалі, саме ефективність РВ «Невроліз» та РВ «Невротизація» будуть порівнюватись між собою.

Відновлення ключових м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку до М4-5 після проведення РВ «Невроліз» та РВ «Невротизація» в терміни до 6 міс становила 11 та 8 випадків (14,8 % та 42 % від загальної кількості проведених специфічних РВ в терміни до 6 міс).

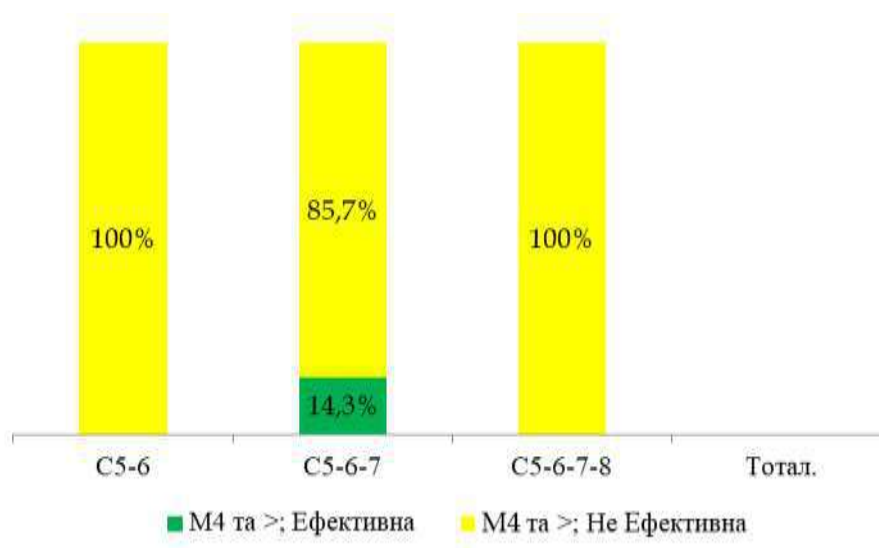
В той саме час, серед загалом 11 пацієнтів, у котрих силові характеристики ключових м'язів, що відповідають за забезпечення складової

пріоритетної функції 2-го порядку, відновились до рівня М4-5 після проведення РВ «Невроліз», лише у 1 пацієнтів (9 %) він здатний був забезпечити ЕфРх при АЩД (Рис. 5.17).



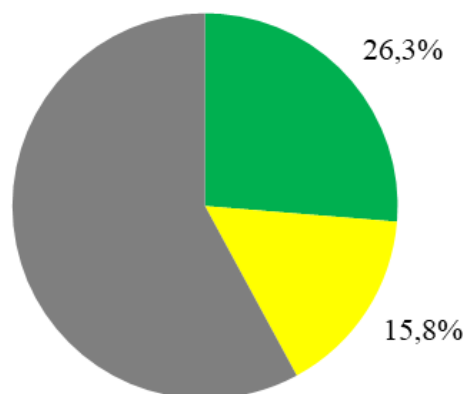
**Рис. 5.17. Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при виконанні АЩД залежно від силових показників (за шкалою MRC) ключових м'язів *m. supraspinatus et infraspinatus*, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невроліз» не більше 6 міс**

Серед загалом 11 пацієнтів відновлення ЕфРх ключовими м'язами при АЩД, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, не відбулось у 100 % пацієнтів при ушкодженні С5-6 та С5-6-7-8 (Рис. 5.18). У 14,3 % пацієнтів при ушкодженні С5-6-7 (Рис. 5.18) відбулось відновлення ЕфРх ключовими м'язами при АЩД, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку. У жодного пацієнта після виконання РВ «Невроліз» при тотальному ушкодженні ПС (Рис. 5.18) не відбулось відновлення ефективного руху ключовими м'язами, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку.



**Рис. 5.18.** Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕФРх при досягненні силових показників М4 та > ключовими м'язами *m. supraspinatus et infraspinatus*, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, залежно від анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невроліз» не більше 6 міс

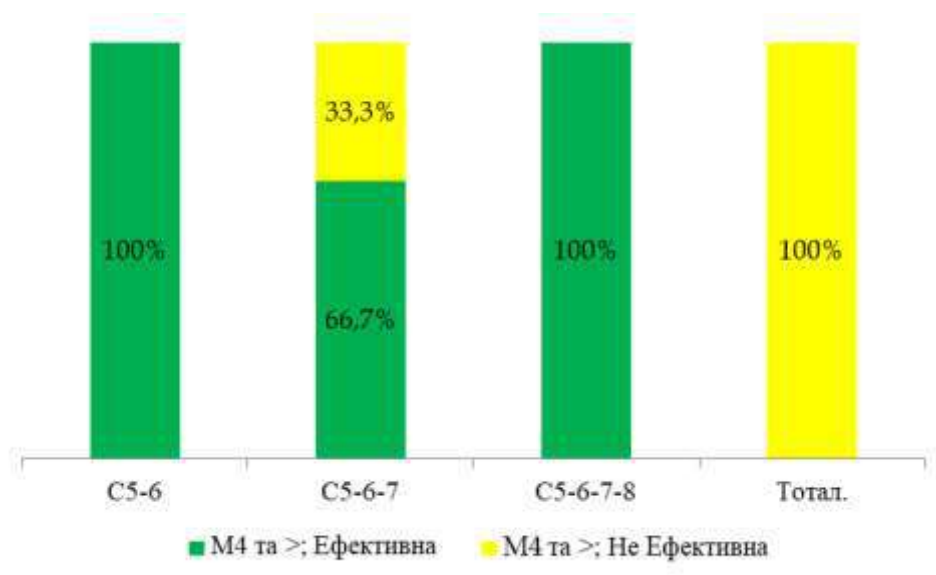
Серед загалом 8 пацієнтів, у котрих силові характеристики ключових м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, відновились до рівня М4-5 після проведення РВ «Невротизація», у 5 (62,5 %) ключовий м'яз здатний був забезпечити ЕФРх при АЩД (Рис. 5.19).



■ М4 та >; Ефективна ■ М4 та >; Не Ефективна ■ М3 та <; Не Ефективна

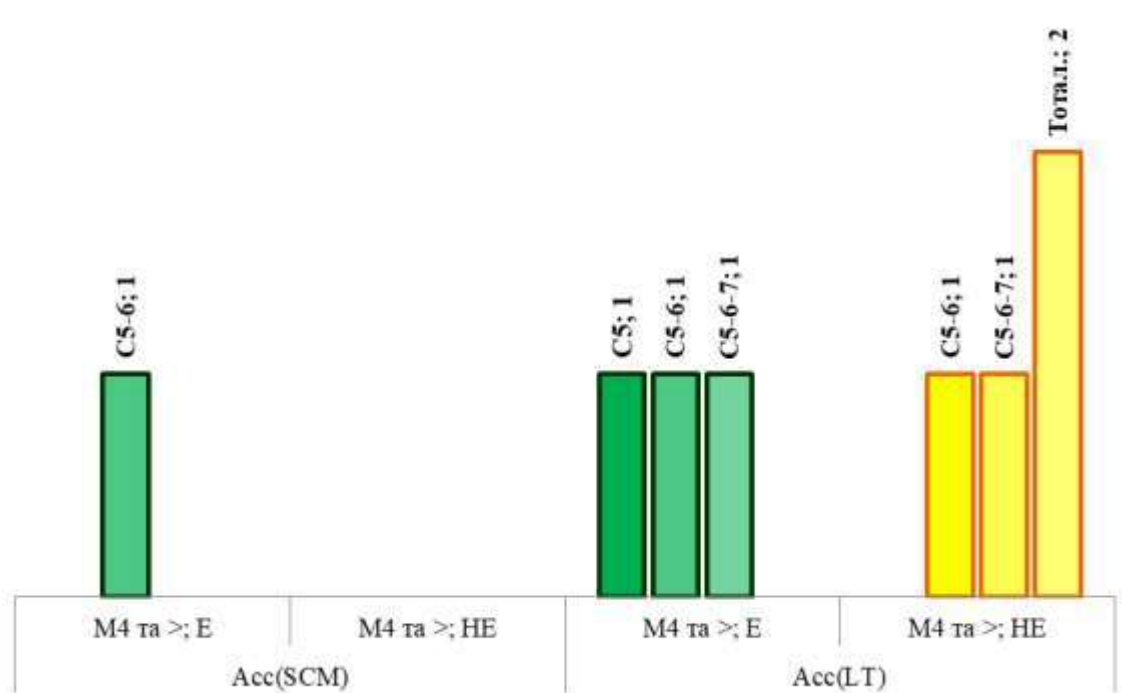
**Рис. 5.19.** Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при виконанні АЩД залежно від силових показників (за шкалою MRC) ключових м'язів *m. supraspinatus et infraspinatus*, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невротизація» не більше 6 міс

Серед загалом 8 пацієнтів відновлення ЕфРх ключовими м'язами при АЩД, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, відбулось у 100 % пацієнтів при ушкодженні С5-6 та С5-6-7-8 (Рис. 5.20). У 66,7 % пацієнтів при ушкодженні С5-6-7 (Рис. 5.20) відбулось відновлення ЕфРх ключовими м'язами при АЩД, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку. У жодного пацієнта після виконання РВ «Невротизація» при тотальному ушкодженні ПС (Рис. 5.20) не відбулось відновлення ЕфРх ключовими м'язами, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку.



**Рис. 5.20.** Кількість випадків (відносні значення) відновлення ЕфРх при досягненні силових показників М4 та > ключовими м'язами *m. supraspinatus et infraspinatus*, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, залежно від анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невротизація» не більше 6 міс

Використання нервів-донорів, що призвела до відновлення ЕфРх ключовими м'язами, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, представлені на Рис. 5.21.



**Рис. 5.21.** Кількість випадків відновлення ЕфРх при досягненні силових показників М4 та > ключовими м'язами *m. supraspinatus et infraspinatus*, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, залежно від використаних нервів-донорів та анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: терміни з моменту травми до проведення РВ «Невротизація» не більше 6 міс

Е – ефективний рух, НЕ – неефективний рух, Acc(SCM) – ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, Acc(LT) – ramus trapezoideus nervi accessorii (pars ascendens m. trapezius).

Використання *Ramus trapezoideus nervi accessorii (pars ascendens m. trapezius)* в якості екстраплексусного нерва-донора призвела до відновлення ЕфРх ключових м'язів, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку в терміни до 6 міс у 43 % випадків на ґрунті відновлення сили ключових м'язів до рівня М4-5 при ушкодженні С5, С5-6, С5-6-7 та тотальному типі ушкодження ПС (Рис.5.21). Слід зазначити, що у всіх випадках Н-ТУ ПС при будь-якій кількості спінальних нервів, залучених в патологічний анатомічний процес, в наявності є ще лише один доступний альтернативний екстраплексусний нерв-донор із доведеним потенціалом відновити ЕфРх –

Ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii. Використання вказаного вище нерва-донора призвела до відновлення ЕфРх ключовими м'язами, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку в терміни до 6 міс у 100 % випадків при ушкодженні С5-6 (Рис. 5.21).

Таким чином, відновлення ЕфРх ключовими м'язами, що відповідають за забезпечення складової пріоритетної функції 2-го порядку, залежить від вибору типу реконструктивного втручання (в даному дослідженні РВ «Невротизація» є значно ефективнішою), анатомічних характеристик травматичного ушкодження та, відповідно, можливості використати екстраплексусні нерви-донори, кількість яких не залежить від анатомії Н-ТУ ПС.

### **5.3. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 3-го порядку**

*Ефективним Рухом (ЕфРх) для ключового м'язу *m. triceps brachii* із комплексу *Elbow Unit*, що забезпечує пріоритетної функції 3-го порядку є *Elbow Extension* (розгинання в ліктьовому суглобі), наявність якої не є обов'язковою складовою ефективних рухів при виконанні АЦД.*

Серед 39 пацієнтів із П-ТУ ПС та відсутністю пріоритетної функції 3-го порядку 27 пацієнтам (69 %) проведене будь-яке первинне реконструктивне втручання в терміни до 6 міс. Із загальною 27 пацієнтів, яким будь-яке реконструктивне втручання було проведено в терміни до 6 міс, відновлення ключового м'язу, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 3-го порядку до М4-5 становила 2 (7,4 %) та була здатна забезпечити ефективний рух (ЕфРх) при ушкодженні 1 та 2 пучків ПС після виконання РВ «Невроліз». Загалом, відновлення м'язу, що забезпечує пріоритетну функцію 3-го порядку, в незалежності від рівня травми ПС вважаємо незадовільною. В першу чергу,

це пов'язано з вибором основного методу реконструктивного втручання, а саме РВ «Невроліз», в даному дослідженні для пріоритетної функції 3-го порядку.

#### **5.4. Результати відновлення ефективного руху для ключових м'язів комплексу Hand and Wrist Unit**

##### **5.4.1. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 5-го порядку**

*Ефективним Рухом (ЕфРх) для ключових м'язів т. extensor carpi radialis longus et brevis із комплексу Hand and Wrist Unit, що забезпечують пріоритетну функцію 5-го порядку є Wrist Extension (розгинання в променево-зап'ястковому суглобі), із максимальним піковим ефективним кутом при виконанні АЩД 40 °.*

Серед 39 пацієнтів із П-ТУ ПС та відсутністю пріоритетної функції 5-го порядку 27 пацієнтам (69 %) проведене будь-яке первинне реконструктивне втручання в терміни до 6 міс. Із загалом 27 пацієнтів, яким будь-яке реконструктивне втручання було проведено в терміни до 6 міс., відновлення ключових м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетної функції 5-го порядку до М4-5 становила 3 (11 %) та була здатна забезпечити ЕфРх при ушкодженні 2 та 3 пучків ПС після виконання РВ «Невроліз» та РВ «Автологічна пластика». Загалом, відновлення м'язів, що забезпечують пріоритетну функцію 5-го порядку, в незалежності від рівня травми ПС вважаємо незадовільною. В першу чергу, це пов'язано з вибором основного методу реконструктивного втручання, а саме РВ «Невроліз», в даному дослідженні для пріоритетної функції 5-го порядку (подібно до пріоритетної функції 3-го порядку – єдиний іннерваційний пул *n. radialis*).



#### 5.4.2. Результати відновлення ефективного руху для пріоритетної функції 6-го та 7-го порядку

Аналіз результатів відновлення ключових м'язів, що відповідають за забезпечення ЕфРх для пріоритетних функцій 6-го та 7-го порядків, не проводився в даному дослідженні. Відмова від проведення аналізу пов'язана із відсутністю відповідної робочої МОДЕЛІ (на відміну від проаналізованих «МОДЕЛЬ А» та «МОДЕЛЬ В»), а також надійних методик хірургічної реконструкції вказаних функцій, окрім традиційних (невроліз та аутологічна пластика), ефективність яких за даними літератури [161-176] є вкрай низькою для відновлення ЕфРх м'язами та їх груп, що роташовані дистальніше місця ушкодження – чи то при Н-ТУ ПС, чи то при П-ТУ ПС. Кількісні показники відновлення пріоритетних функцій 6-го та 7-го порядків (хоча й не наводяться в даному дослідженні) відповідали таким, що представлені у сучасних літературних джерелах [161-176]. Вирішення загальної проблеми ефективного відновлення пріоритетних функцій 3-го, 5-го, 6-го та 7-го порядків та перспективні напрямки поліпшення результатів за допомогою методики селективної реіннервації представлені у Розділ 6.

#### 5.5. Висновки до Розділу 5

1. Відновлення ефективної функції *m. biceps brachii* (згинання в ліктьовому суглобі до щонайменше 121 °) при проведенні неселективного (невроліз) хірургічного реконструктивного втручання у терміни до 6 міс після травми досягнуто у 15,2 %, після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. musculocutaneus*) – у 31,7 % випадків застосування, що у 2,1 рази ефективніше за неселективний метод.
2. Відновлення ефективної функції *m. deltoideus* (згинання в плечовому суглобі щонайменше до 108 °) при проведенні неселективного (невроліз) хірургічного реконструктивного втручання у терміни до 6 міс після травми досягнуто у 11 %, після селективної хірургічної реіннервації

- (невротизація *n. axillaris*) – 31 % випадків застосування, що у 2,8 рази ефективніше за неселективний метод.
3. Відновлення ефективної функції *m. supraspinatus et infraspinatus* (вертикальна зовнішня ротація в плечовому суглобі щонайменше до 55 °) при проведенні неселективного (невроліз) хірургічного реконструктивного втручання у терміни до 6 міс після травми досягнуто у 1,4 %, після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. suprascapularis*) – 26,3 % випадків застосування, що у 2,8 рази ефективніше за неселективний метод.
  4. Найкращого відновлення ефективної функції (згинання в ліктьовому суглобі до щонайменше 121 °) *m. biceps brachii* досягнуто при виконанні невротизації *n. musculocutaneus* у терміни до 6 міс після травми за рахунок *n. pectoralis medialis* та *n. ulnaris* – 100 % та 71 % відповідно.
  5. Найкращого відновлення ефективної функції (згинання в плечовому суглобі щонайменше до 108 °) *m. deltoideus* досягнуто при виконанні невротизації *n. axillaris* у терміни до 6 міс. після травми за рахунок *rami musculares capitis lateralis muscoli tricipitis brachii*, *n. thoracodorsalis*, *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* – 100 %.
  6. Найкращого відновлення ефективної функції (вертикальна зовнішня ротація в плечовому суглобі щонайменше до 55 °) *m. supraspinatus et infraspinatus* досягнуто при виконанні невротизації *n. suprascapularis* у терміни до 6 міс після травми за рахунок *ramus trapezoideus nervi accessorii (pars ascendens m. trapezius)* – 43 %.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора:

1. Цимбалюк, В. І., Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, Я. В., Третякова, А. І., Цзян, Х. (2022). Зміна концепції хірургічного лікування

- травматичних ушкоджень плечового сплетення. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 28(1), 28–38. <https://doi.org/10.25305/unj.248108>
2. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tsymbaliuk, V. I., Jiang, H., Tsymbaliuk, I. V., & Tretyakova, A. I. (2022). Spinal accessory to suprascapular nerve transfer in brachial plexus injury: outcomes of anterior vs. posterior approach to the suprascapular nerve at associated ipsilateral spinal accessory nerve injury. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 28(2), 37–45. <https://doi.org/10.25305/unj.255792>
  3. Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, В. І., Цимбалюк, Я. В., Цзян, Х. (2022). Селективна хірургічна реіннервація пахвового нерва у пацієнтів із наслідками травматичного ушкодження первинних стовбурів (надключичні) плечового сплетення: результати використання, аналіз причин неефективності. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 28(4), 41–48. <https://doi.org/10.25305/unj.265680>
  4. Gatskiy, A.A., & Tretyak, I.B. (2021). A Funhouse Mirror: Muscular Co-Constrictions as a Reflection of a Spontaneous Aberrant Regeneration of the Brachial Plexus Injury in the Adults - Anatomical Background, an Attempt to Classify and Their Clinical Relevance within the Reconstruction Strategie. In (Ed.), *Brachial Plexus Injury - New Techniques and Ideas*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.100609>

## РОЗДІЛ 6

### УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Залишаючи за «дужками» цифровий матеріал результатів даного дослідження, що відображений в попередніх розділах, відповідь на глобальне питання, яке поставлене в Розділі 1 щодо можливостей різних методів реіннервації м'язів з метою відновлення ефективних рухів на тлі «конфлікту парадигм», була відома до моменту планування роботи. Завдячуючи проведеному ретельному аналізу сучасних літературних джерел, що вказував на найбільшу ефективність методу селективної невротизації для відновлення функції м'язових структур [161-76], умовна фаза «конфлікту парадигм» [20] для більшості спеціалістів залишилась у минулому, а сучасний стан реконструктивної хірургії відповідає скоріше фазі «зміни парадигми» [18-20]. Інші два важливі фактори, фактор часу та фактор анатомічних характеристик ушкодження, хоча й впливають на результат реіннервації, не потребують зміни і, загалом, не можуть бути зміненими (приймаються як данність) концепції «парадигми», в рамках якої вони існують.

Отже, фактор вибору методу первинної хірургічної реконструкції найбільше впливає на кінцевий результат відновлення, напряму залежить від «існуючої парадигми», готовності прийняття «зміненої парадигми» та, врешті, впровадження «нової парадигми». Прийняття «нової парадигми» в кінцевому результаті має призвести до суттєвого покращення результатів відновлення.

Слід зазначити, що, власне, сам процес формування «нової парадигми», зазвичай розтягнутий у тривалому часовому проміжку, відповідно, «конфлікт парадигм», а за ним і «зміна парадигми» ніколи не відбуваються одночасно у свідомості носіїв у певній галузі знань, в даному випадку реконструктивної хірургії ушкоджень структур периферичної нервової системи (надалі – носії

знань). «Зміна парадигми» не відбувається одночасно по всьому світу, в межах однієї країни та, навіть, в межах однієї установи чи відділення.

Цей розділ присвячений аналізу власного досвіду еволюції реконструктивних хірургічних втручань, помилок при їх застосуванні та, врешті, «зміни парадигми» та їх вплив на відновлення функції ключових м'язів при ушкодженнях нервів верхньої кінцівки. Враховуючи той факт, що більшість селективних невротизацій (за абсолютними та відносними показниками) були направлені на відновлення пріоритетної функції 1-го порядку («МОДЕЛЬ А», підгрупа пацієнтів із надключичними травматичними ушкодженнями плечового сплетення (Н-ТУ ПС)), процес «зміни парадигми» та прийняття «нової парадигми» в рамках проведеного дослідження буде обговорюватись на даному прикладі. В «МОДЕЛІ А» максимально представлені усі види реконструктивних втручань, що одночасно існували в концепції як «існуючої парадигми», так і «нової парадигми».

Як було зазначено вище, процес «зміни парадигми» розтягнутий в тривалому часовому проміжку, в даному випадку він тривав протягом усього часу дослідження – протягом 2013-2109 рр. 149 пацієнтів із Н-ТУ ПС («МОДЕЛЬ А»), що були включені в дослідження, були ретроспективно розподілені на дві групи: Групу «А» та Групу «Б». Розподіл пацієнтів залежав від того, чи були готові носії знань (котрі власне і виконували різні види реконструктивних втручань серед включених в дослідження пацієнтів) до переоцінки «існуючої парадигми», «зміни парадигми» та, врешті, впровадження «нової парадигми» в повсякденне хірургічне життя в умовах одного хірургічного центру (відділення). Розподіл пацієнтів на вказані вище групи виключав можливість міграції між ними. Це означало, що будь-який вид реконструктивного втручання у сталій групі («А» та «Б») виконувався лише певним незмінним колом носіїв знань.

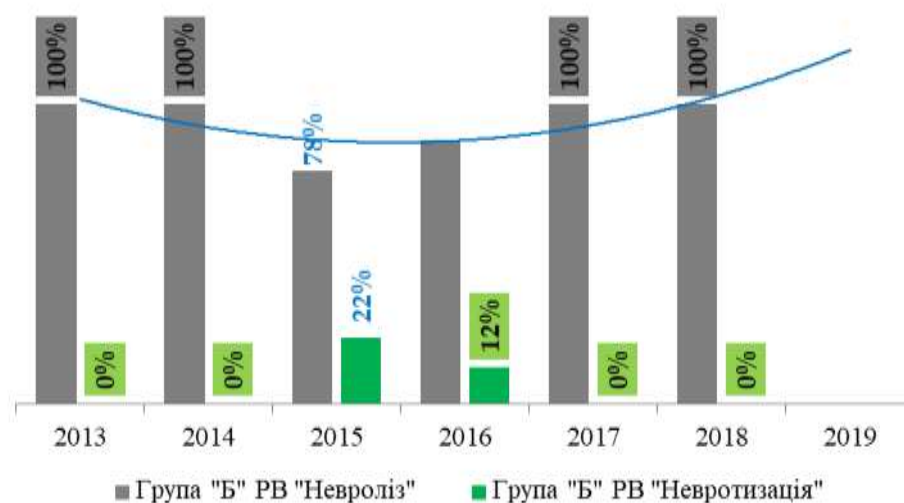
Так, до Групи «А» («нова парадигма») було віднесено 103 пацієнти із Н-ТУ ПС, в Групу «Б» («існуюча парадигма») – 46 пацієнтів із Н-ТУ ПС. Пацієнтам Групи «А» було виконано 26 РВ «Невроліз», 9 РВ «Автологічна пластика», 68 РВ «Невротизація». Пацієнтам Групи «Б» було виконано 38 РВ «Невроліз», 5 РВ «Автологічна пластика», 3 РВ «Невротизація». Відповідно, співвідношення кількості різних видів виконаних реконструктивних втручань серед пацієнтів Групи «А» та Групи «Б» підкреслює принцип, за яким проведений розподіл пацієнтів. Ті носії знань, що не готові були сприйняти «нову парадигму» виконували реконструктивні втручання серед пацієнтів Групи «Б» (Рис. 6.1.).



**Рис. 6.1. Кількість випадків (у відносних показниках) проведення різних видів реконструктивних втручань серед пацієнтів Групи «А» та Групи «Б»**

Виходячи із показників, представлених на Рис. 6.1., виконання РВ «Автологічна пластика» в рамках концепції «існуючої парадигми» виконувалось рідко (у 14 % випадків загалом) та у 43 % пацієнтів із «відкритим» характером Н-ТУ ПС (Рівень 2-3 за D.C.C. Chuang [15]). Відповідно, РВ «Невроліз» та РВ «Невротизація» розглядатимуться надалі як представники основних видів реконструктивних втручань в рамках концепції «існуючої парадигми» та «нової парадигми».

Серед пацієнтів Групи «Б» (Рис. 6.2) РВ «Невротизація» проведена у 22 % та у 12 % в 2015р. та 2016 р. Здавалось, що, починаючи з 2015 р., наступив переломний момент в ментальності носіїв знань. Проте, найвірогідніше, зважаючи на переважно негативні результати відновлення саме пріоритетної функції 1-го порядку серед пацієнтів Групи «Б» (лише у 1 з 3 відновлення m. biceps brachii до рівня M4 при ушкодженні C5-6), тенденція до «зміни парадигми» та формування «нової парадигми» зникла, а РВ «Невроліз» продовжив існувати вщент до 2019 р. в рамках концепції «існуючої парадигми». Враховуючи низьку репрезентативність вибірки (лише 3 випадки) пацієнтів Групи «Б», котрим було проведене РВ «Невротизація», аналізувати причини виникнення негативних результатів не коректно.

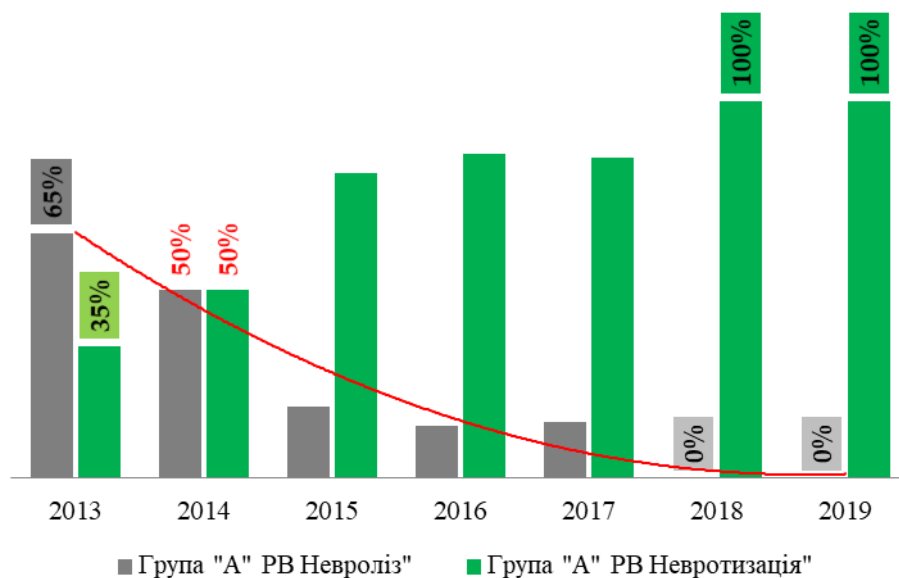


**Рис. 6.2.** Динаміка кількості випадків (у відносних показниках) проведення реконструктивних втручань в рамках концепції «існуючої парадигми» (РВ «Невроліз») та «нової парадигми» (РВ «Невротизація») серед пацієнтів Групи «Б», що опосередковано можуть свідчити про «зміну парадигми»

\* – синім кольором позначена лінія тренду для РВ «Невроліз»

Серед пацієнтів Групи «А» РВ «Невротизація» проведена у 35 % в 2013 р. – початкова фаза дослідження. Кількість випадків проведення РВ «Невротизація» становила 50 %, 81 %, 86 %, 85 %, 100 % та 100 % у 2014 р., 2015 р., 2016 р., 2017 р., 2018-2019 рр., збільшуючись із кожним роком

(Рис. 6.3). Саме в 2014 р. наступив переломний момент в ментальності носіїв знань, що підтверджується формуванням чіткої тенденції до витіснення РВ «Невроліз» за рахунок РВ «Невротизація» в рамках концепції «зміни парадигми» (2014 р.) та прийняття «нової парадигми» починаючи з 2018 р. вщент до завершення дослідження (Рис. 6.3).



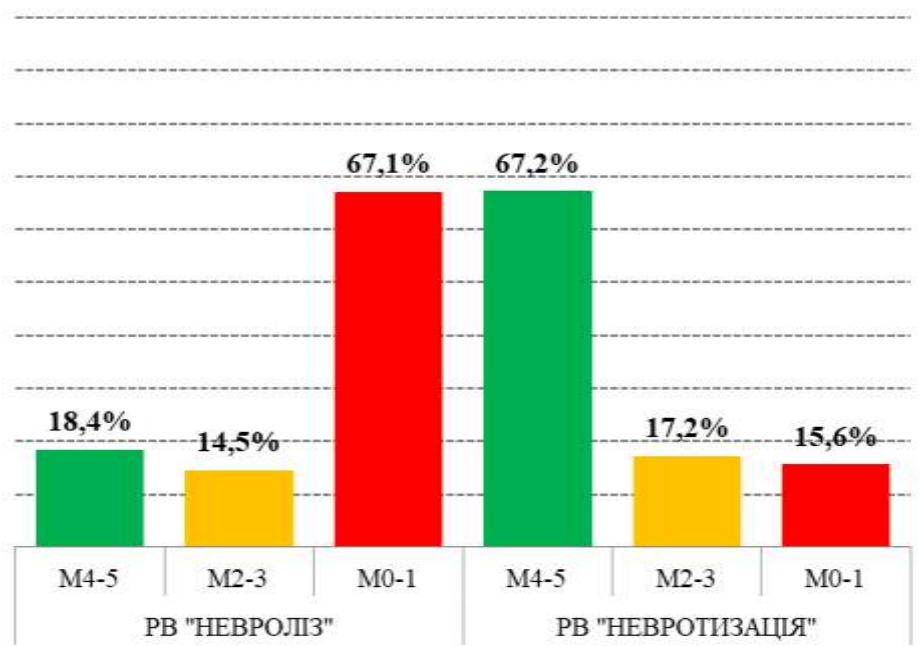
**Рис. 6.3.** Динаміка кількості випадків (у відносних показниках) проведення реконструктивних втручань в рамках концепції «існуючої парадигми» (РВ «Невроліз») та «нової парадигми» (РВ «Невротизація») серед пацієнтів Групи «А», що опосередковано свідчить про «зміну парадигми»

\* – червоним кольором позначена лінія тренду для РВ «Невроліз»

З метою надання наочності і переконливого підтвердження переваг методу селективної невротизації у порівнянні з іншими реконструктивними методами ще раз наведемо приклад результатів відновлення пріоритетної функції 1-го порядку, що були отримані на власному досвіді серед пацієнтів Групи «А» в проведеному дослідженні (Рис. 6.4.). Загальний показник неефективної реіннервації (M2-3 за MRC) не залежав від вибору методу реконструкції та коливався в межах 14,5 % – 17,2 % (Рис. 6.4). Звертає на себе увагу той факт, що умовно «традиційне» реконструктивне втручання (РВ) «Невроліз» (в рамках концепції «існуючої парадигми») виявилось не



ефективними у 67,1 % випадків при відновленні пріоритетної функції 1-го порядку (Рис.6.4). В той самий час, метод селективної невротизації (РВ «Невротизація») в рамках концепції «нової парадигми» дозволив відновити силові характеристики *m. biceps brachii*, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, до рівня М4-5 за МРС у 2/3 випадків – 67,2 % (Рис. 6.4).



**Рис. 6.4. Кількість випадків (у відносних показниках) відновлення *m. biceps brachii*, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, за шкалою МРС в залежності від виду проведеного РВ**

Засвідчивши вплив фактору вибору виду реконструктивного втручання (Рис. 6.4), перевагу в ефективності відновлення пріоритетної функції 1-го порядку при виконанні РВ «Невротизація» (в рамках концепції «нової парадигми») над РВ «Невроліз» (в рамках концепції «існуючої парадигми») (Рис.6.4), залишилось визначити, вплив якого чинника при виконанні РВ «Невротизація» серед 55 пацієнтів, із 102 пацієнтів Групи «А», яким необхідно було відновити пріоритетну функцію 1-го порядку (*m. biceps brachii*), призводить до відновлення *m. biceps brachii* лише у 67,2 %. Таким чинником (в структурі фактору вибору виду реконструктивного втручання) є вибір

адекватного нерва-донора. Еволюція вибору та використання різних нервів-донорів, їх кількість, у 55 пацієнтів Групи «А», котрим було проведено РВ «Невротизація», направлене на відновлення пріоритетної функції 1-го порядку, представлена на Рис. 6.5.

Загалом, для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку протягом 2013 р. було впроваджено 2 нових нерви-донори – *n. pectoralis lateralis* та волокнину *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris* (Рис. 6.5). Загальна кількість наявних нервів-донорів становила 3 (Рис. 6.5), з яких *n. phrenicus* використовувався раніше поза рамками дослідження, відповідно, не відносився до категорії нових нервів-донорів. Усі наявні нерви-донори були використані при РВ протягом 2013 р. (Рис. 6.5). Протягом 2014 р. жодного нового нерва-донора в РВ впроваджено не було (Рис. 6.5), а 2 наявні нерви-донори в 2013 р. були використані в РВ протягом 2014 р. – *n. phrenicus* та *n. pectoralis lateralis* (Рис. 6.5.). В 2015 р. було впроваджено використання 1 нового нерва-донора – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*. Кількість наявних донорів дорівнювала 5 (Рис. 6.5), з яких *nn. intercostales 2-5* використовувались раніше поза рамками дослідження, відповідно, не відносились до категорії нових нервів-донорів. *Ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* та *nn. intercostales 2-5* віднесені до категорії «донорів відчаю» (див. Розділ 3, підрозділ 3.6.1). Загальна кількість нервів-донорів в 2015 р. становила 5 (Рис. 6.5). В 2016 р. було впроваджено 1 новий нерв-донор – *n. pectoralis medialis*. Кількість наявних донорів становила 6 (Рис. 6.5), з яких використано 4 наявних у 2013-2015 рр., за винятком наявного раніше нерва-донора волокнини *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris*. Протягом 2017 р. використання жодного нового нерва-донора впроваджено не було (Рис. 6.5), а із тих, що були наявні протягом 2013-2016 рр., було використано лише 4 (Рис. 6.5) – *n. phrenicus*, *n. pectoralis lateralis*, *n. pectoralis medialis* та волокнину *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris*.

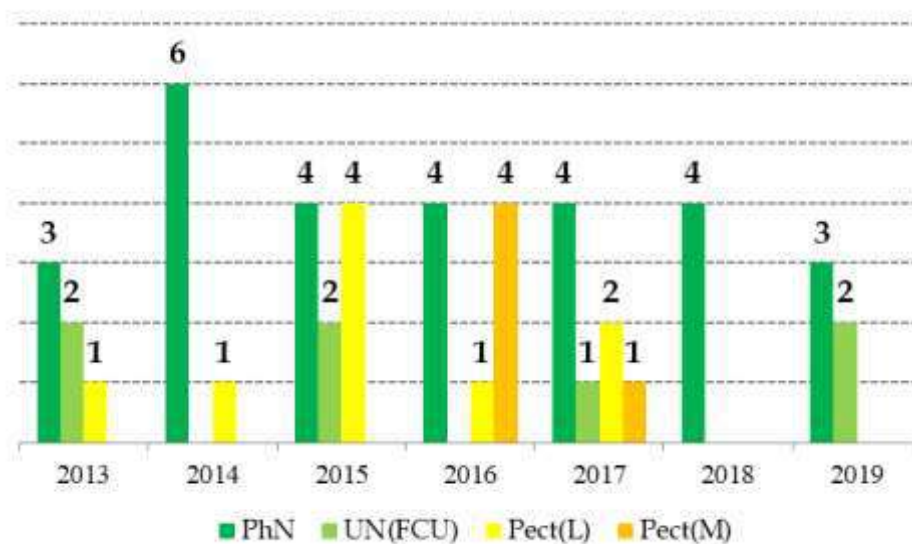


**Рис. 6.5.** Динаміка використання нових та впроваджених нервів-донорів, що використовувались для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку в рамках концепції «нової парадигми» (РВ «Невротизація») серед пацієнтів Групи «А»

\* – червоним кольором позначена лінія тренду для використаних нервів-донорів, синім кольором позначена лінія тренду для наявних нервів-донорів.

2018 р. було впроваджено 1 новий нерв-донор (Рис. 6.5) – *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*, котрий разом із *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* та *nn. intercostales 2-5* віднесені до категорії «донорів відчаю» (див. Розділ 3, підрозділ 3.6.1). Кількість наявних донорів в 2018 р. становила 7 (Рис. 6.5), серед яких, окрім впровадженого «донору відчаю», використовувався лише *n. phrenicus*, наявний протягом 2013-2017 рр. Протягом 2019 р. жодного нового нерва-донора впроваджено не було (Рис. 6.5), а із тих, що були наявні протягом 2013-2018 рр., було використано лише 3 – *n. phrenicus*, волокнину *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris* та *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*.

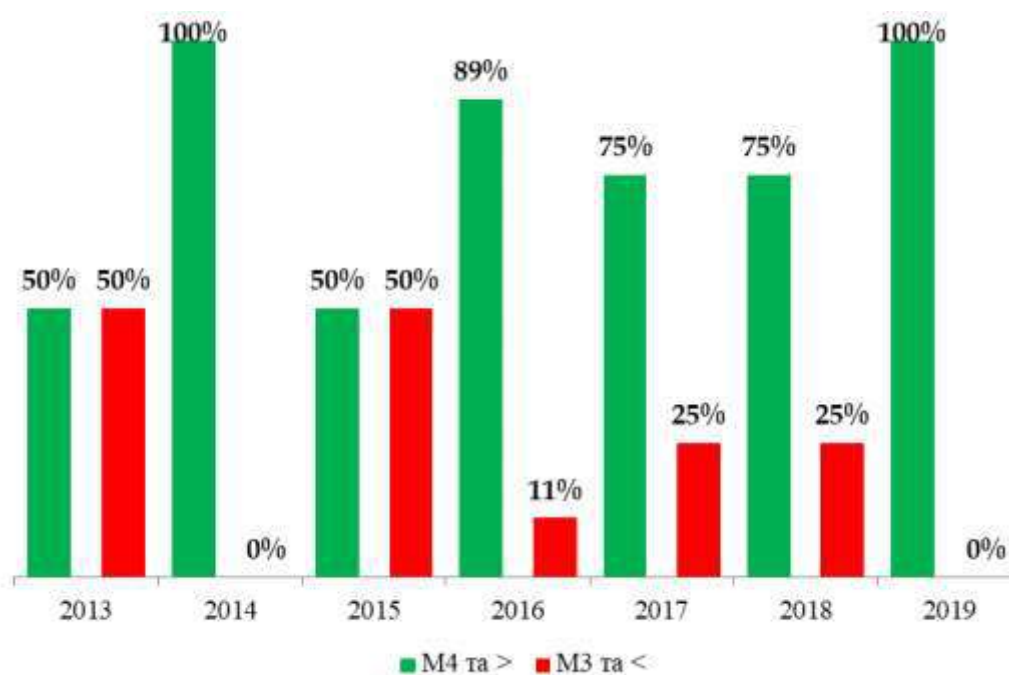
Без урахування випадків використання «донорів відчаю» (у 6 випадках) результати відновлення пріоритетної функції 1-го порядку, динаміка зміни кількості випадків використання 4 основних нових та впроваджених нервів-донорів (надалі основних) представлені на Рис. 6.6.



**Рис. 6.6.** Динаміка використання основних нервів-донорів, що використовувались для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку в рамках концепції « нової парадигми » (РВ «Невротизація») серед пацієнтів Групи «А»: PhN – *n. phrenicus*, UN(FCU) – волокнина *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris*, Pect(L) – *n. pectoralis lateralis*, Pect(M) – *n. pectoralis medialis*

Якщо співставити кількісні показники використання основних нервів-донорів із показниками відновлення силових характеристик *m. biceps brachii* (Рис. 6.7.), що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, в динаміці, можна відмітити наступну тенденцію: в початковій фазі дослідження в 2013 р. кількість випадків ефективного відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* становила 50 % при використанні 2 основних *n. phrenicus* та волокнини *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris* (надалі волокнини *n. ulnaris*) при наявності загалом 3-х основних нервів-донорів (Рис. 6.7). Неefективне відновлення пріоритетної функції 1-го порядку при використанні в якості основного нерва-донора *n. pectoralis lateralis* та волокнини *n. ulnaris* пов'язано із недотриманням вимог фактору часу (обидва використані в терміни

більше 9 міс). Найефективнішим основним нервом-донором виявився *n. phrenicus* (66,7 % ефективного використання). Оскільки, становлення методики РВ «Невротизація» в рамках концепції «зміни парадигми» вимагало вибору адекватного нерва-донора, на основі досвіду 2013 р. ним став *n. phrenicus*, використання якого продовжувалося в 2014 р.



**Рис. 6.7.** Динаміка ефективності використання основних нервів-донорів, що використовувались для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку в рамках концепції «нової парадигми» (РВ «Невротизація») серед пацієнтів Групи «А»

Чому саме в 2014 р. відбувся переломний момент в рамках концепції «зміни парадигми» та прийнятті «нової парадигми», існує наступне пояснення. Кількість виконаних РВ «Невроліз» та РВ «Невротизація» в 2014 р. була тотожною, а виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. phrenicus* (у 86 % випадків) та *n. pectoralis lateralis* (із урахуванням фактору часу – до 3 міс) дозволило досягнути ефективного відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* в 100 % випадків (Рис. 6.7). На основі досвіду 2013-2014 рр. ефективним нервами-донорами стали *n. phrenicus* та *n. pectoralis*

*lateralis* (із урахуванням впливу фактору часу) із загальним показником ефективного використання 89 % та 50 %. Використання двох вказаних вище нервів-донорів продовжуватиметься в 2015 р.

В 2015 р. спостерігається зменшення кількості випадків ефективного відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* до 50 % (Рис. 6.7) при використанні 3 основних нервів-донорів *n. phrenicus*, волокнини *n. ulnaris* та *n. pectoralis lateralis*. Виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. phrenicus* дозволило досягнути ефективного відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* в 75 %, волокнини *n. ulnaris* – в 50 % випадків, а *n. pectoralis lateralis* – у 25 % випадків. Неefективне відновлення пріоритетної функції 1-го порядку при використанні в якості основного нерва-донора *n. pectoralis lateralis* пов'язано із недотриманням вимог фактору анатомічних характеристик ушкодження – ступінь збереження ефективної функціональної здатності нерва-донора навіть при ушкодженні C5-6 є недостатнім для відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii*. Відмова використати *n. pectoralis medialis* у якості нерва-донора була зумовлена можливістю втратити пріоритетну функцію 4-го порядку. На основі досвіду 2013-2015 рр. ефективним нервом-донором залишився *n. phrenicus* із загальним показником ефективного використання 85 % – **надійність**. Використання вказаного вище нерва-донора продовжувалося в 2015 р. з метою подальшого вивчення ефективності методики.

В 2016 р. спостерігалось збільшення кількості випадків ефективного відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* до 89 % (Рис. 6.7) при використанні 3 основних нервів-донорів *n. phrenicus*, *n. pectoralis medialis* та *n. pectoralis lateralis*. Виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. phrenicus* дозволило досягнути ефективного відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* у 100 %, *n. pectoralis medialis* – у 100 % випадків та у 0 % випадків при використанні *n. pectoralis lateralis*. Використання в якості нерва-донора *n. pectoralis medialis* конверсія пріоритетної функції 4-го порядку в пріоритетну функцію 1-го порядку не

призводила до суттєвого порушення глобальної функції верхньої кінцівки за рахунок зникнення «thoracobrachial pinch». На основі досвіду 2013-2016 рр. ефективними нервом-донором залишився *n. phrenicus* та став *n. pectoralis medialis* із загальним показником ефективного використання 88 % та 100 % – **надійність**.

В 2017 р. спостерігалось зменшення кількості випадків ефективного відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* до 75 % (Рис. 6.7) при використанні 4 основних нервів-донорів *n. phrenicus*, *n. pectoralis medialis*, *n. pectoralis medialis* та волокнини *n. ulnaris*. Виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. phrenicus* дозволило досягнути ефективного відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* у 100 %, *n. pectoralis medialis* – 100 % випадків, волокнини *n. ulnaris* – 100 % випадків, *n. pectoralis lateralis* – 0 % випадків. Неєфективне відновлення пріоритетної функції 1-го порядку при використанні в якості основного нерва-донора *n. pectoralis lateralis* пов'язано із недотриманням вимог фактору часу (використаний в терміні більше 9 міс). На основі досвіду 2013-2017 рр. ефективними нервами-донорами залишились *n. phrenicus* та *n. pectoralis medialis* із загальним показником ефективного використання 91 % та 100 % – **надійність**. Загальний показник ефективного використання волокнини *n. ulnaris* протягом періоду 2013-2017 рр. склав 60 %, останній був виділений для подальшого вивчення ефективності використання в 2018 р. Загальний показник ефективного використання *n. pectoralis lateralis* протягом періоду 2013-2017 рр. склав 22 %, що змусило відмовитись від подальшого використання даного нерва-донора.

В 2018 р. кількість випадків ефективного відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* не змінилась у порівнянні із 2017 р. та становила 75 % (Рис. 6.7) при використанні одного основного нерва-донора *n. phrenicus*. Виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. phrenicus* дозволило досягнути ефективного відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* у 75 % випадків. Неєфективне відновлення

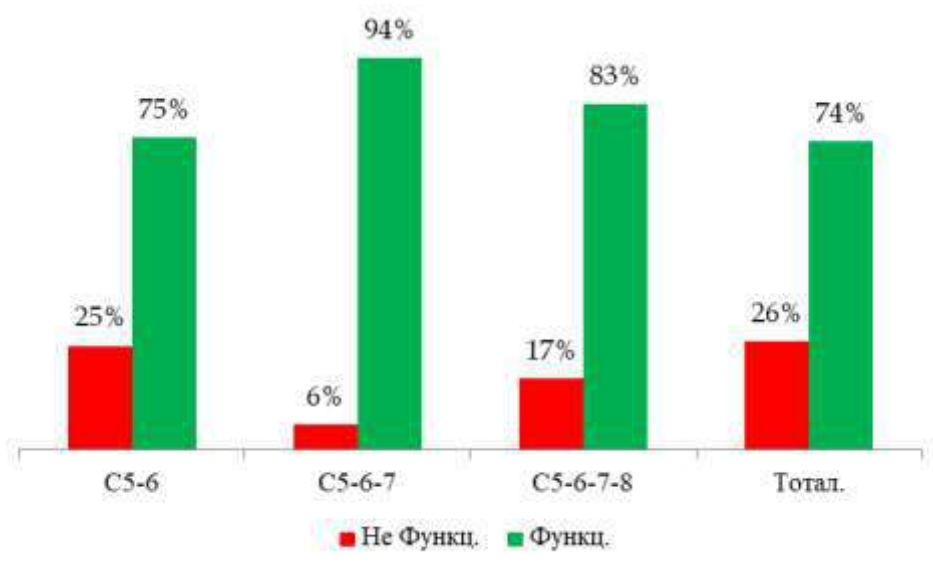
пріоритетної функції 1-го порядку при використанні в якості основного нерва-донора *n. phrenicus* пов'язано із недотриманням вимог фактору часу (використаний в терміни більше 12 міс). На основі досвіду 2013-2018 рр. ефективним нервами-донорами залишились *n. phrenicus* та *n. pectoralis medialis* із загальним показником ефективного використання 92 % та 100 % – **надійність**. Загальний показник ефективного використання волокнини *n. ulnaris* протягом періоду 2013-2018 рр. залишився на рівні 60 %, останній був виділений для подальшого вивчення ефективності методики в 2019 р.

В 2019 р. спостерігалось збільшення кількості випадків ефективного відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* до 100 % (Рис. 6.7) при використанні 2 основних нервів-донорів *n. phrenicus* та волокнини *n. ulnaris*. Виконання РВ «Невротизація» із використанням *n. phrenicus* дозволило досягнути ефективного відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* у 100 %, волокнини *n. ulnaris* – у 100 % випадків. Відповідно, методика РВ «Невротизація» в рамках концепції «нової парадигми» дозволила визначитись із вибором адекватних та ефективних нервів-донорів, якими на основі досвіду 2013-2019 рр. стали *n. phrenicus*, *n. pectoralis medialis* та волокнини *n. ulnaris* із загальним показником ефективного використання та відновлення силових характеристик (M4 та >) *m. biceps brachii* відповідно 89 %, 100 % та 71 % – **надійність**.

Приймаючи до уваги знання, що були отримані в процесі прийняття «нової парадигми» в кінці дослідження (2019 р.), розглянуто можливості ретроспективного впровадження «нової парадигми» від початку дослідження (2013 р.) із урахуванням впливу фактору часу (до 6 міс. з моменту травми до моменту виконання РВ «Невротизація») та фактору анатомічних характеристик травми (впливає на збереження функціональної здатності нервів-донорів, вибору нерва-донора).

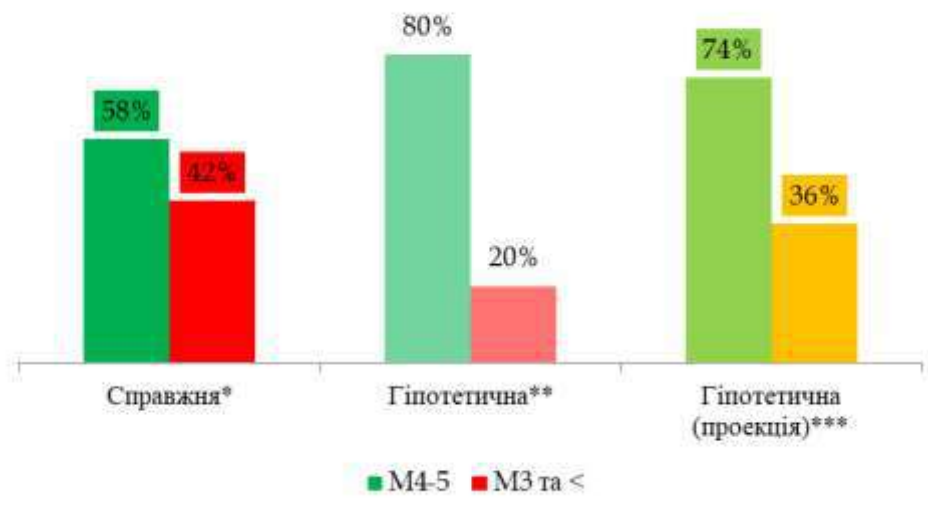


Так, серед 62 пацієнтів Групи «А», яким РВ «Невротизація» могло би бути виконано в терміни до 6 міс, використання нерва-донора *n. phrenicus* для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку було можливим у 80 % випадків (Рис. 6.8). Неможливість використати вказаний вище нерв-донор найбільш притаманне випадкам, коли в патологічний травматичний процес втягнуті С5-6 («краніалізація» ушкодження) та при тотальному варіанті Н-ТУ ПС – вплив фактору анатомічних характеристик травми (Рис. 6.8).



**Рис. 6.8.** Справжні показники збереження функції *n. phrenicus* залежно від анатомічних характеристик Н-ТУ ПС (фактор анатомічних характеристик ушкодження) в терміни до 6 міс (фактор часу), що впливали на можливість вибору даного нерва-донора для проведення РВ «Невротизація» (гіпотетично) в рамках концепції «нової парадигми» серед пацієнтів Групи «А»

За умови впровадження «нової парадигми» з 2013 р. – *прогнозування* – показники відновлення силових характеристик *m. biceps brachii*, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, при використанні *n. phrenicus* у якості нерва-донора виглядали би наступним чином (Рис. 6.9): гіпотетичні – 80 % випадків, гіпотетичні проєкційні – 74 % випадків.



**Рис. 6.9. Справжні\*, гіпотетичні\*\* та гіпотетичні проєкційні\*\*\* показники відновлення силових характеристик *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, серед пацієнтів Групи «А»**

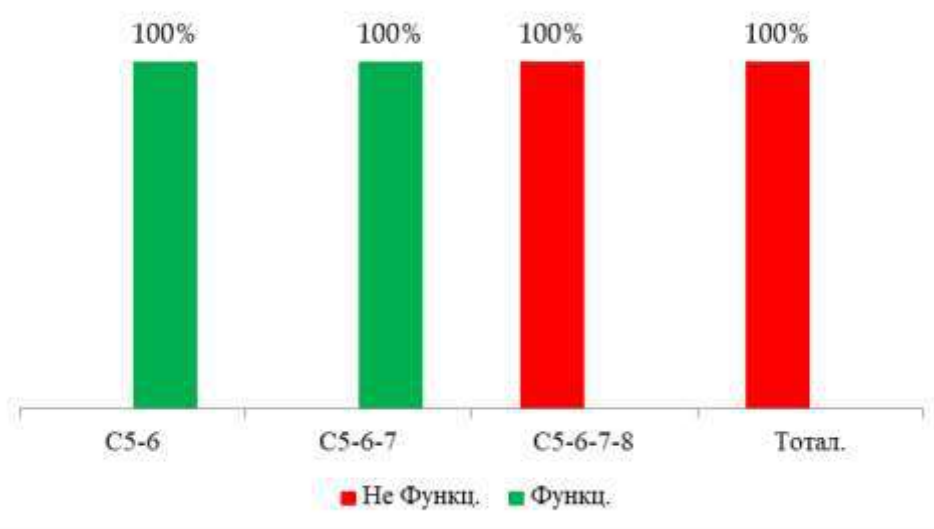
\* – справжні показники, отримані в дослідженні незалежно від виду проведеного реконструктивного втручання (без урахування результатів РВ «Автологічна пластика»)

\*\* – показники після гіпотетичного виконання усім пацієнтам Групи «А» РВ «Невротизація» при справжній кількості збереженої функції нерва-донора *n. phrenicus*

\*\*\* – показники після гіпотетичного виконання усім пацієнтам Групи «А» РВ «Невротизація» при справжній кількості (в дослідженні) збереженої функції та справжній ефективності (в дослідженні) нерва-донора *n. phrenicus*

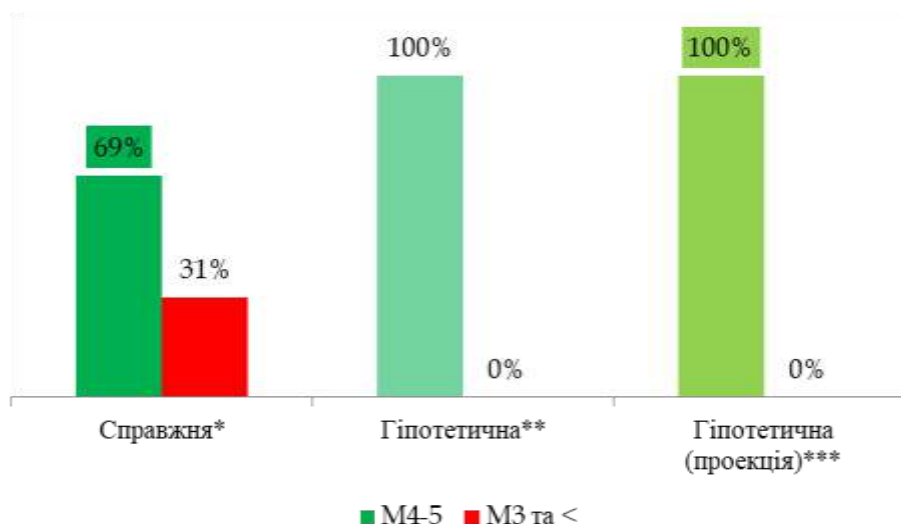
Серед 62 пацієнтів Групи «А», яким РВ «Невротизація» могло бути виконано в терміни до 6 міс., використання нерва-донора *n. pectoralis medialis* для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку було можливим у 53 % випадків (Рис. 6.10). Неможливість використати вказаний вище нерв-донор притаманне усім випадкам при ушкодженні C5-6-7-8 та тотальному варіанті («каудалізація» ушкодження) Н-ТУ ПС – вплив фактору анатомічних характеристик травми (Рис. 6.10). Відповідно, даний нерв-донор значно більше

«травмозалежний» у порівнянні з *n. phrenicus*, що пов'язано із його інтраплексусним походженням.



**Рис 6.10.** Справжні показники збереження функції *n. pectoralis medialis* залежно від анатомічних характеристик Н-ТУ ПС (фактор анатомічних характеристик ушкодження) в терміни до 6 міс (фактор часу), що впливали на можливість вибору даного нерва-донора для проведення РВ «Невротизація» (гіпотетично) в рамках концепції «нової парадигми» серед пацієнтів Групи «А»

За умови впровадження «нової парадигми» з 2013 р. – *прогнозування* – показники відновлення силових характеристик *m. biceps brachii*, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, при використанні «травмозалежного» *n. pectoralis medialis* у якості нерва-донора серед пацієнтів із C5-6 та C5-6-7 Н-ТУ ПС виглядали би наступним чином (Рис. 6.11): гіпотетичні – 100 % випадків, гіпотетичні проєкційні – 100 % випадків.



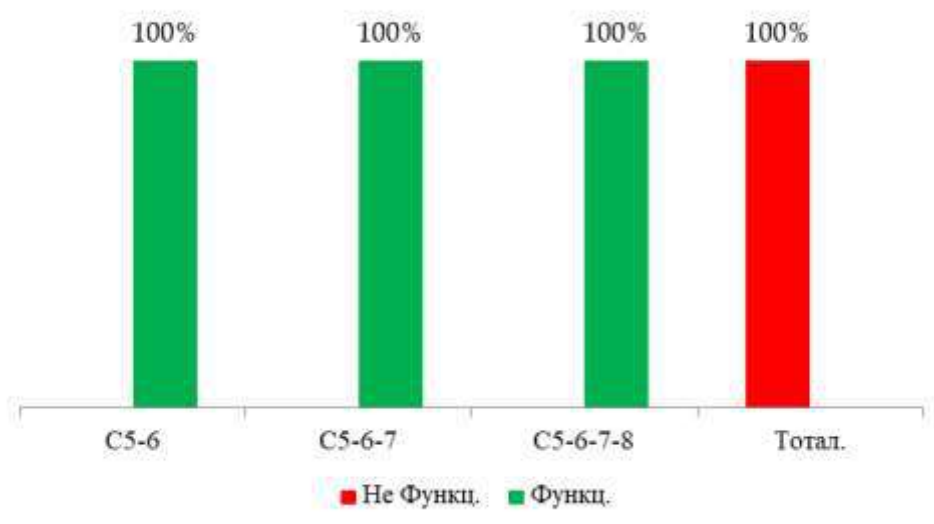
**Рис. 6.11.** Справжні\*, гіпотетичні\*\* та гіпотетичні проєкційні\*\*\* показники відновлення силових характеристик *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, серед пацієнтів Групи «А» із C5-6 та C5-6-7 Н-ТУ ПС

\* – справжні показники, отримані в дослідженні незалежно від виду проведеного реконструктивного втручання (без урахування результатів РВ «Автологічна пластика»)

\*\* – показники після гіпотетичного виконання РВ «Невротизація» при справжній кількості збереженої функції нерва-донора *n. pectoralis medialis*

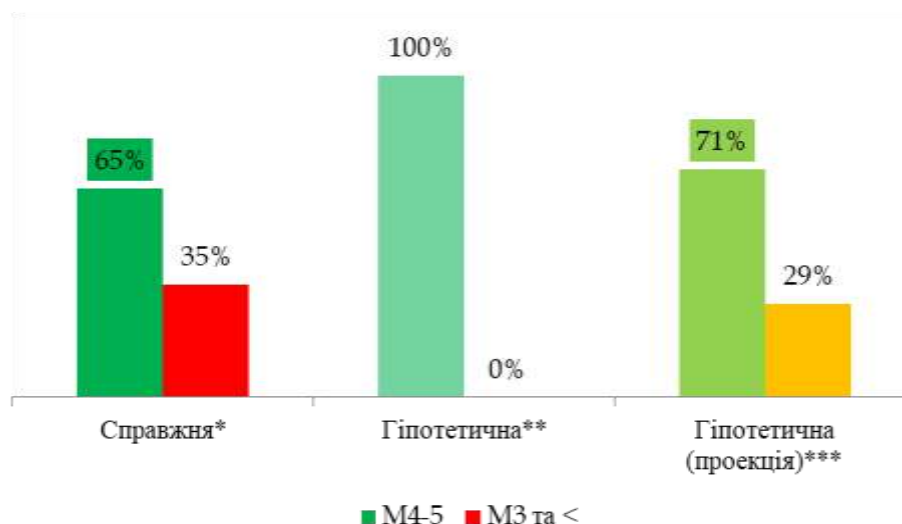
\*\*\* – показники після гіпотетичного виконання РВ «Невротизація» при справжній кількості (в дослідженні) збереженої функції та справжній ефективності (в дослідженні) нерва-донора *n. pectoralis medialis*

Серед 62 пацієнтів Групи «А», яким РВ «Невротизація» могло бути виконано в терміни до 6 міс використання нерва-донора волокнини *n. ulnaris* для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку було можливим у 63 % випадків (Рис. 6.12). Неможливість використати вказаний вище нерв-донор притаманна усім випадкам тотального варіанту Н-ТУ ПС – вплив фактору анатомічних характеристик травми (Рис. 6.12). Відповідно даний нерв-донор більше «травмозалежний» у порівнянні з *n. phrenicus* та менше «травмозалежний» у порівнянні із *n. pectoralis medialis*.



**Рис.6.12.** Справжні показники збереження функції волокнини *n. ulnaris* залежно від анатомічних характеристик Н-ТУ ПС (фактор анатомічних характеристик ушкодження) в терміни до 6 міс (фактор часу), що впливали на можливість вибору даного нерва-донора для проведення РВ «Невротизація» (гіпотетично) в рамках концепції «нової парадигми» серед пацієнтів Групи «А»

За умови впровадження «нової парадигми» з 2013 р. – *прогнозування* – показники відновлення силових характеристик *m. biceps brachii*, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку, при використанні «травмозалежного» нерва-донора волокнини *n. ulnaris* серед пацієнтів із C5-6, C5-6-7 та C5-6-7-8 Н-ТУ ПС виглядали би наступним чином (Рис. 6.13): гіпотетичні – 100 % випадків, гіпотетичні проєкційні – 71 % випадків.



**Рис. 6.13.** Справжні\*, гіпотетичні\*\* та гіпотетичні проєкційні\*\*\* показники відновлення силових характеристик *m. biceps brachii*, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку, серед пацієнтів Групи «А» із C5-6, C5-6-7 та C5-6-7-8 Н-ТУ ПС

\* – справжні показники, отримані в дослідженні незалежно від виду проведеного реконструктивного втручання (без урахування результатів РВ «Автологічна пластика»)

\*\* – показники після гіпотетичного виконання РВ «Невротизація» при справжній кількості збереженої функції нерва-донора волокнини *n. ulnaris*

\*\*\* – показники після гіпотетичного виконання РВ «Невротизація» при справжній кількості (в дослідженні) збереженої функції та справжній ефективності (в дослідженні) нерва-донора волокнини *n. ulnaris*

Таким чином, підсумовуючи результати проведеної роботи, *гіпотеза дослідження: «селективна реіннервація є більш надійною, прогнозованою методикою у порівнянні із традиційними хірургічними методиками відновлення ефективної функції ключових м'язів при ушкодженні нервів кінцівок»* підтверджена на прикладі відновлення ключового м'яза, що забезпечує пріоритетну функцію 1-го порядку.

На жаль, розкриття теми *універсальності* методики селективної реіннервації (невротизації), тобто можливість її використання для відновлення

будь-яких функцій будь-якого сегменту будь-якої кінцівки (зокрема пріоритетних функцій з 3-го по 7-й порядок для верхньої кінцівки) не розкрита в рамках проведеного дослідження. Проте, в рамках дослідження були визначені ключові м'язи (КЛМ), що відповідають за забезпечення вказаних вище функцій, що дозволило, врахувавши **надійність** та **прогнозованість** методики селективної реіннервації загалом, розвинути ідею **універсальності** методики, шляхом розробки, відпрацювання та впровадження її ідей (нових реконструктивних втручань) поза рамками представленого дослідження при ізольованих ушкодженнях ПН, що відповідають за реалізацію пріоритетних функцій з 3-го по 7-й порядки – **«МОДЕЛЬ В»**.

Так, протягом 2017–2023 рр. поза основною групою пацієнтів включених в дослідження, для відновлення пріоритетних функцій 3-го, 5-го, 6-го та 7-го порядків виконано 103 суперселективних реіннервації [251–253] ключових м'язів та їх груп (Додатки Д, Е, Ж.1, Ж.2, Ж.3, К). Дана підгрупа із 103 пацієнтів не включена в основну вибірку у зв'язку із тим, що реконструктивні втручання, котрі були виконані, можна охарактеризувати як «похідні» [254–256] в методологічному плані – ефективність направленої реіннервації ключових м'язів була доведена в групі пацієнтів із Н-ТУ ПС (**«МОДЕЛЬ А»**, пріоритетні функції 1-го та 2-го порядків). Відповідно, можливість ефективного використання даного методу хірургічної реконструкції перенесена на **«МОДЕЛЬ В»** – ізольовані ушкодження довгих нервів верхньої кінцівки дериватів пучків ПС: *n. radialis*, *n. medianus* та *n. ulnaris* (Табл.6.1). Використання РВ «Невротизація», відпрацьоване на **«МОДЕЛІ В»** [251-257], що забезпечила ефективне відновлення ключових м'язів, що відповідають за забезпечення пріоритетних функцій 3-го, 5-го, 6-го та 7-го порядків, може бути в подальшому використана, в «зворотньому порядку», серед пацієнтів із Н-ТУ ПС (**«МОДЕЛЬ А»**) та П-ТУ ПС (**«МОДЕЛЬ Б»**) за умов врахування впливу фактору часу (до 6 міс до моменту проведення РВ) та фактору анатомічного ушкодження (обумовлює наявність адекватних нервів-донорів).

Таблиця 6.1

**Загальна кількість суперселективних реіннервацій КлМ  
для відновлення пріоритетних функцій 3-го, 5-го, 6-го та 7-го  
порядків при ізольованих ушкодженнях ПН**

		Назва ушкодженої структури ПНС, КлМ з їх іннерваційного пулу, що реіннервувались			
		Променевий нерва (RN)		Серединний нерв (MN)	Ліктьовий нерв (UN)
		PIN/МЗПП*	CLongMTB/ТрГМП	AIN/FPL+FDP2	DUN/ВМК
Назва структури ПНС, волокнини, донора рухової функції	MN(FCR)	38			
	Acc(LT)		2		
	RN(ECRB)			25	
	MN(PT)			2	
	MSC(B)			5	
	AIN(PQ)				31

*Примітка.* RN – *n. radialis*; PIN – *n. interosseus posterior*; МЗПП – м'язи задньої поверхні передпліччя; ТрГМП – *m. triceps brachii*; CLongMTB – гілки *n. radialis do caput longum m. tricipitis brachii*; MN – *n. medianus*; AIN – *n. interosseus anterior*; F – *m. flexor pollicis longus*; FDP2 – *m. flexor profundus digiti 2*; UN – *n. ulnaris*; DUN – глибока порція *n. ulnaris*; ВМК – «внутрішні» м'язи кисті з іннерваційного пулу *n. ulnaris*; MN(FCR) – гілка *n. medianus* до *m. flexor carpi radialis*; Acc(LT) – гілка *n. accessorius* до *pars ascendens m. trapezius*; RN(ECRB) – гілка *n. radialis* до *m. extensor carpi radialis brevis*; MN(PT) – дистальна гілка *n. medianus* до *m. pronator teres*; MSC(B) – гілки *n. musculocutaneus* до *m. brachialis*; AIN(PQ) – термінальна рухова гілка *n. interosseus anterior* до *m. pronator quadratus*.

\* – термінальні гілки до *m. extensor carpi radialis longus et brevis* не виступали мішенню для реіннервації

Приймаючи до уваги те, що саме систематизований підхід до ефективного використання нової методики реконструкції ушкоджень структур ПНС з урахуванням переважної більшості (за виключенням дохірургічного етапу діагностики та прогнозування спонтанного відновлення) технічних аспектів представлена вперше на теренах України, провести порівняльний



аналіз з сучасними або вже існуючими даними, що представлені в українських наукових джерелах, неможливо. На думку автора та виконавця дослідження, проведення порівняльного аналізу результатів традиційних методик хірургічного лікування (невроліз та аутологічна пластика) ушкоджень структур ПНС [9, 17] не відповідає головній меті роботи. Незважаючи на досягнутий суттєвий прогрес в поліпшенні діагностики та лікування ушкоджень структур ПНС, що став можливий завдяки працям І.Б. Третяка [9] та Ю.В. Цимбалюк [17], результати хірургічного лікування ушкоджень структур ПНС за допомогою традиційних хірургічних методик (невроліз, аутологічна пластика), що представлені в даному дослідженні суттєво не відрізняються від таких, що були отримані в попередніх дослідженнях на теренах України [9, 17]. Результати використання методики селективної невротизації – «МОДЕЛЬ А» в представленому дослідженні – цілком та повністю узгоджуються з результатами застосування даної методики провідних спеціалістів в галузі реконструктивної хірургії [18, 19].

Незважаючи на те, що впровадження методу невротизації з метою відновлення пріоритетних функцій з 3-го по 7-й порядок не відбулось у пацієнтів основної вибірки, дане дослідження вважаємо завершеним. Саме еволюційний характер становлення методики селективної невротизації, що розпочалось із відновлення лише пріоритетних функцій 1-го та 2-го порядків, дозволила переконатись в надійності методу [248-250], переконатись в необхідності пошуку подібних рішень для інших важливих функцій в порядку їх пріоритетності. Не виникає сумніву, що результати роботи із значно більшою впевненістю будуть використані для відновлення усіх пріоритетних функцій при ушкодженні нервів верхньої кінцівки на різних рівнях [257, 258] із урахуванням основних факторів в рамках незмінно «існуючої парадигми» – фактору часу та фактору анатомічного ушкодження. Констатуємо, що «зміна парадигми» для фактору вибору методу хірургічної реконструкції відбулась [248].

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора:

1. Tsymbaliuk, V. I., Tretyak, I. B., Freidman, M. Y., & Gatskiy, A. A. (2016). Denervation and myotomy of muscles of the omotrpezoid triangle of the neck improve the outcomes of surgical treatment of laterocollis and torticollis subtypes of spasmodic torticollis: 58 case analysis. *Acta Neurochirurgica*, 158(6), 1159–1164. <https://doi.org/10.1007/s00701-016-2790-8>; (Scopus).
2. Tretyak, I. B., Gatskiy, A. A., Kovalenko, I. V., & Bazik, A. N. (2018). To graft or not to graft? Median to radial nerve transfer in the forearm: an alternative approach to treat proximal radial nerve injuries. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, (3), 34–40. <https://doi.org/10.25305/unj.133273>
3. Третяк, І., Коваленко, І., Гацький, О., Третякова, А. (2018). Лікування множинних поєднаних ушкоджень нервів, що супроводжуються значними дефектами, в проксимальних відділах верхньої кінцівки. Вісник Вінницького національного медичного університету, 22(1), 178-184. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22\(1\)-34](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22(1)-34).
4. Третяк, І. Б., Гацький, О. О., Коваленко, І. В., Третякова, А. І. (2018). Поєднані ушкодження нервових та сухожилково-м'язових структур на передпліччі, що супроводжуються їх значними дефектами: роль вимушеної транспозиції м'язів у відновленні основних функцій кисті. Шпитальна хірургія. Журнал імені Л. Я. Ковальчука, (3), 18–27. <https://doi.org/10.11603/2414-4533.2018.3.9436>
5. Третяк, І., Білінський, П., Гацький, О., Коваленко, І. (2018). Особливості реконструкції ушкоджень променевого нерва при повторних остеосинтезах плечової кістки. ТРАВМА, 19(4), 51–57. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.4.19.2018.142106>
6. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tretiakova, A. I., & Tsymbaliuk, Y. V. (2019). Choosing the target wisely: partial tibial nerve transfer to extensor digitorum motor branches with simultaneous posterior tibial tendon transfer. Could this be a way to improve functional outcome and gait biomechanics?. *Journal of*

*Neurosurgery*, 1–9. Advance online publication.  
<https://doi.org/10.3171/2019.3.JNS182866> (Scopus).

7. Tretyakova, A. I., Kovalenko, I. V., Tretyakov, R. A., Tsymbalyuk, YU. V., Chebotar'ova, L. L., Gatskiy, O. O., Tsymbalyuk, YA. V., Tretyak, I. B. (2020). Diagnostika i lecheniye proksimal'nykh tunnel'nykh nevropatiy verkhney konechnosti. *Novosti khirurgii*, 28(1), 62–73. [In russian]  
<https://dx.doi.org/10.18484/2305-0047.2020.1.62>; (Scopus).

8. Tsymbaliuk, V. I., Strafun, S. S., Tretyak, I. B., Tsymbaliuk, I. V., Gatskiy, A. A., Tsymbaliuk, Y. V., & Tatarchuk, M. M. (2021). Surgical treatment of peripheral nerves combat wounds of the extremities. *Wiad Lek.*, 74(3 cz 2), 619–624. DOI:10.36740/WLek202103210; (Scopus).

9. Гацький, О., Третяк, І., Цимбалюк, В., Базік, О., Цимбалюк, Я. (2021). Патологічні рухові феномени в променево-зап'ястковому суглобі після транспозиції круглого пронатора при дисфункції м'язів задньої поверхні передпліччя, зумовленої денерваційним процесом травматичного генезу. *Вісник ортопедії, травматології та протезування*, 3(110), 35–47. <https://doi.org/10.37647/0132-2486-2021-110-3-35-47>

10. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tsymbaliuk, V. I., & Tsymbaliuk, Y. V. (2022). Nerve transfers in a patient with asymmetrical neurological deficit following traumatic cervical spinal cord injury: simultaneous bilateral restoration of pinch grip and elbow extension. *Illustrative case. Journal of neurosurgery. Case lessons*, 4(14), CASE22301. <https://doi.org/10.3171/CASE22301>;

11. Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, В. І, Цимбалюк, Я. В, Третьякова, А. І., Дзян, Хао. (2022). Хірургічна реіннервація переднього зубчастого м'яза при тривалій ідіопатичній нейропатії довгого грудного нерва: випадок із клінічної практики. *Український неврологічний журнал*, (3-4), 61-66. <http://doi.org/10.30978/UNJ2022-3-61>

12. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., & Tsymbaliuk, Y. V. (2022). Transfer of the anterior C3 levator scapulae motor nerve branch for spinal accessory nerve injury:

illustrative case. *Journal of neurosurgery. Case lessons*, 3(5), CASE21609. <https://doi.org/10.3171/CASE21609>;

13. Гацький, О., Третяк, І., Цимбалюк, В., Чирка, Ю., Цзян, Х., Цимбалюк, Я., & Третьякова, А. (2022). Визначення передумов успішної етапної реконструкції сегментів верхньої кінцівки для відновлення її глобальної функції при тотальному варіанті ушкодження плечового сплетення (на основі випадку з клінічної практики). *Вісник ортопедії, травматології та протезування*, 4(115), 24–35. <https://doi.org/10.37647/0132-2486-2022-115-4-24-35>

14. Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, В. І., Цимбалюк, Я. В., Лемешов, О. С. (2023). Хірургічне лікування синдрому «круглого пронатора» у ранній та пізній період захворювання. Роль селективної невротизації переднього міжкісткового нерва у відновленні функції щипкового (кінцевого) захвату у пацієнтів із задоволеною компресією серединного нерва. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 29(1), 8–19. <https://doi.org/10.25305/unj.268016>

15. Gatskiy, A.A., Tretyak, I.B., J. Bahm, Tsymbaliuk, V.I., Tsymbaliuk, Y.V (2023). Redefining the inclusion criteria for Steindler flexorplasty based on the outcomes of a case series in 8 patients. *Journal of brachial plexus and peripheral nerve injury*, 18(1), e32–e41. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1767672>;

16. Гацький, О., Третяк, І., Цимбалюк, В., Цимбалюк, Я., & Хао, Ц. (2023). Межі продуктивного використання класичної та модифікованої транспозиції за Elhassan у комплексному відновленні ефективного відведення та зовнішньої ротації плеча в ранній та пізній періоди травми плечового сплетення. *TERRA ORTHOPAEDICA*, (1(116), 26-37. <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2023-116-1-26-37>

## ВИСНОВКИ

В дисертації представлено теоретичне узагальнення та нове рішення наукової проблеми відновлення ефективної рухової функції шляхом селективної реіннервації ключових м'язів при ушкодженні структур периферичної нервової системи верхньої кінцівки, застосуванні на її основі нової методики та нових методів реконструктивних хірургічних втручань.

1. Ключовими м'язами верхньої кінцівки, що здатні ефективно провадити функції при виконанні основних видів активної щоденної діяльності, визначено *m. deltoideus*, *m. supraspinatus et infraspinatus*, *m. biceps brachii*, *m. brachialis*, *m. triceps brachii*, *m. extensor carpi radialis brevis*, *m. extensor pollicis longus*, *m. extensor digitorum communis*, *m. flexor carpi radialis*, *m. flexor digiti secundi profundus*, *m. flexor pollicis longus*.

2. Найбільш пріоритетними функціями верхньої кінцівки визначено згинання в ліктьовому суглобі (забезпечує *m. biceps brachii*, джерело іннервації *n. musculocutaneus*) – 1-й порядок пріоритетності забезпечує згинання в плечовому суглобі (забезпечує *m. deltoideus*, джерело іннервації *n. axillaris*) та зовнішньої вертикальної ротації плеча (забезпечує *m. supraspinatus et infraspinatus*, джерело іннервації *n. axillaris*) – 2-й порядок пріоритетності.

3. Характеристикою ефективної функції 1-го та 2-го порядків пріоритетності є здатність ключового м'язу *m. biceps brachii* провадити згинання в ліктьовому суглобу до щонайменше 121 °, ключового м'язу *m. deltoideus* – згинання в плечовому суглобі до щонайменше 108 °, ключових м'язів *m. supraspinatus et infraspinatus* – вертикальну зовнішню ротацію плеча до щонайменше 55 ° відповідно.

4. Програма селективної реіннервації ключових м'язів 1-го та 2-го порядків пріоритетності включає селективну невротизацію *n. musculocutaneus*, *n. axillaris* та *n. suprascapularis*.

5. Відновлення ефективних силових характеристик (M4-5) ключового м'язу *m. biceps brachii*, що забезпечує виконання пріоритетної функції 1-го порядку після проведення неселективного хірургічного реконструктивного втручання досягнуто у 18,4 % (невроліз) та 28,6 % (автологічна пластика), після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. musculocutaneus*) – 67,2 % випадків застосування, що у 3,6 ( $X^2 = 40$ ,  $dF = 2$ ,  $p < 0,0001$ ) та 2.4 ( $p = 0.005$ ) рази ефективніше за неселективні методи.

6. Відновлення ефективних силових характеристик (M4-5) ключового м'язу *m. deltoideus*, що забезпечує виконання складової пріоритетної функції 2-го порядку, після проведення неселективного хірургічного реконструктивного втручання досягнуто у 7,1 % (невроліз) та 14 % (автологічна пластика), після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. axillaris*) – 31 % випадків застосування, що у 4,3 ( $X^2 = 8,1$ ,  $dF = 2$ ,  $p = 0,02$ ) та 2.2 ( $X^2 = 4,8$ ,  $dF = 2$ ,  $p = 0,09$ ) рази ефективніше за неселективні методи.

7. Відновлення ефективних силових характеристик (M4-5) ключових м'язів *m. supraspinatus et infraspinatus*, що забезпечують виконання складової пріоритетної функції 2-го порядку, після проведення неселективного хірургічного реконструктивного втручання досягнуто у 10,4 % (невроліз) та 0 % (автологічна пластика), після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. suprascapularis*) – у 37,9 % випадків застосування, що у 3,6 разів ефективніше ( $p < 0,0001$ ) за неселективний метод.

8. Відновлення ефективної функції *m. biceps brachii* (згинання в ліктьовому суглобі до щонайменше 121 °) при проведенні неселективного (невроліз) хірургічного реконструктивного втручання у терміни до 6 міс після травми досягнуто у 15,2 %, після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. musculocutaneus*) – у 31,7 % випадків застосування, що у 2,1 рази ефективніше за неселективний метод.

9. Відновлення ефективної функції *m. deltoideus* (згинання в плечовому суглобі щонайменше до 108 °) при проведенні неселективного

(невроліз) хірургічного реконструктивного втручання у терміни до 6 міс після травми досягнуто у 11 %, після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. axillaris*) – 31 % випадків застосування, що у 2,8 рази ефективніше за неселективний метод.

10. Відновлення ефективної функції *m. supraspinatus et infraspinatus* (вертикальна зовнішня ротація в плечовому суглобі щонайменше до 55 °) при проведенні неселективного (невроліз) хірургічного реконструктивного втручання у терміни до 6 міс після травми досягнуто у 1,4 %, після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. suprascapularis*) – 26,3 % випадків застосування, що у 2,8 рази ефективніше за неселективний метод.

11. Найкращого відновлення ефективної функції (згинання в ліктьовому суглобі до щонайменше 121 °) *m. biceps brachii* досягнуто при виконанні невротизації *n. musculocutaneus* у терміни до 6 міс після травми за рахунок *n. pectoralis medialis* та *n. ulnaris* – 100 % та 71 % відповідно.

12. Найкращого відновлення ефективної функції (згинання в плечовому суглобі щонайменше до 108 °) *m. deltoideus* досягнуто при виконанні невротизації *n. axillaris* у терміни до 6 міс після травми за рахунок *rami musculares capitis lateralis musculi tricipitis brachii*, *n. thoracodorsalis*, *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii* – 100 %.

13. Найкращого відновлення ефективної функції (вертикальна зовнішня ротація в плечовому суглобі щонайменше до 55 °) *m. supraspinatus et infraspinatus* досягнуто при виконанні невротизації *n. suprascapularis* у терміни до 6 міс після травми за рахунок *ramus trapezoideus nervi accessorii (pars ascendens m. trapezius)* – 43 %.

14. Шляхом впровадження нових методів селективної реіннервації, «похідних» в методологічному плані від методики, що довела свою селективність, надійність та прогнозованість серед когорти пацієнтів в дослідженні, дозволила відновлювати ефективну функцію ключових м'язів, що забезпечують пріоритені функції 3-го, 5-го, 6-го та 7-го порядків у 103 пацієнтів поза основною вибіркою – довело універсальність методики.

## ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Основною умовою успішного виконання будь-якої процедури селективної реіннервації задля відновлення ефективної функції будь-якого ключового м'язу (групи ключових м'язів з одного іннерваційного пулу) будь-якого сегменту верхньої кінцівки є наявність підготовленого вузького спеціаліста, який володіє не лише теоретичними знаннями, а й відпрацьованими роками прикладними навичками – широким спектром стандартних хірургічних методів селективних реіннерваційних процедур;

2. Найкращі результати відновлення ефективної функції ключового м'язу (групи ключових м'язів з одного іннерваційного пулу) досягаються при виконанні селективної реіннервації в терміни не пізніше 6 міс. від моменту травми структур периферичної нервової системи;

3. Послідовність відновлення ефективної функції ключових м'язів (групи ключових м'язів з одного іннерваційного пулу) має здійснюватись лише у порядку пріоритетності їх функцій для верхньої кінцівки – найвищий пріоритет має надаватись відновлення ефективного згинання в ліктьовому суглобі;

4. Вибір одиничного (визначеного, конкретного) методу селективної реіннервації задля відновлення ефективної функції одиничного (визначеного, конкретного) ключового м'язу (групи ключових м'язів з одного іннерваційного пулу) будь-якого сегменту верхньої кінцівки має залежати лише від анатомічних характеристик ушкодження структур периферичної нервової системи на момент прийняття рішення щодо проведення такого хірургічного втручання – наявних нервів-донорів із збереженою функцією;

5. При виборі нерва-донора для відновлення ефективної функції ключового м'язу (групи ключових м'язів з одного іннерваційного пулу) перевагу слід надати такому, коаптація якого із нервом-акцептором (реципієнтом) здійснюється без використання інтерпонату аутологічного походження – пряма коаптація кінців нерва-донора та нерва-акцептора (реципієнта).



**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Warren, J., Gutmann, L., Figueroa, A. F., Jr, & Bloor, B. M. (1969). Electromyographic changes of brachial plexus root avulsions. *Journal of neurosurgery*, 31(2), 137–140. <https://doi.org/10.3171/jns.1969.31.2.0137>
2. Landi, A., Copeland, S. A., Parry, C. B., & Jones, S. J. (1980). The role of somatosensory evoked potentials and nerve conduction studies in the surgical management of brachial plexus injuries. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 62-B(4), 492–496. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.62B4.7430231>
3. Carvalho, G. A., Nikkhah, G., Matthies, C., Penkert, G., & Samii, M. (1997). Diagnosis of root avulsions in traumatic brachial plexus injuries: value of computerized tomography myelography and magnetic resonance imaging. *Journal of neurosurgery*, 86(1), 69–76. <https://doi.org/10.3171/jns.1997.86.1.0069>
4. Walker, A. T., Chaloupka, J. C., de Lotbiniere, A. C., Wolfe, S. W., Goldman, R., & Kier, E. L. (1996). Detection of nerve rootlet avulsion on CT myelography in patients with birth palsy and brachial plexus injury after trauma. *AJR. American journal of roentgenology*, 167(5), 1283–1287. <https://doi.org/10.2214/ajr.167.5.8911196>
5. Siqueira, M. G., & Martins, R. S. (2011). Surgical treatment of adult traumatic brachial plexus injuries: an overview. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 69(3), 528–535. <https://doi.org/10.1590/s0004-282x2011000400023>
6. Terzis, J. K., Vekris, M. D., & Soucacos, P. N. (1999). Outcomes of brachial plexus reconstruction in 204 patients with devastating paralysis. *Plastic and reconstructive surgery*, 104(5), 1221–1240. <https://doi.org/10.1097/00006534-199910000-00001>
7. Nagano, A. (1998). Treatment of brachial plexus injury. *J Orthop Sci*, 3, 71-80.
8. Sakellariou, V. I., Badilas, N. K., Stavropoulos, N. A., Mazis, G., Kotoulas, H. K., Kyriakopoulos, S., Tagkalegkas, I., & Sofianos, I. P. (2014). Treatment

- options for brachial plexus injuries. *ISRN orthopedics*, 2014, 314137. <https://doi.org/10.1155/2014/314137>
9. Tretyak, I. B. (2009). *Diahnostyka ta khirurhichne likuvannya tyazhkykh ta zastarilykh ushkodzen' peryferychnykh nerviv. (Doktors'ka dysertatsiya).* 14.01.05 «Neurosurgery». National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Romodanov Neurosurgery Institute of NAMS of Ukraine [In Ukrainian].
  10. Nagano, A., Tsuyama, N., Ochiai, N., Hara, T., & Takahashi, M. (1989). Direct nerve crossing with the intercostal nerve to treat avulsion injuries of the brachial plexus. *The Journal of hand surgery*, 14(6), 980–985. [https://doi.org/10.1016/s0363-5023\(89\)80047-4](https://doi.org/10.1016/s0363-5023(89)80047-4)
  11. Samii, M., Carvalho, G. A., Nikkhah, G., & Penkert, G. (1997). Surgical reconstruction of the musculocutaneous nerve in traumatic brachial plexus injuries. *Journal of neurosurgery*, 87(6), 881–886. <https://doi.org/10.3171/jns.1997.87.6.0881>
  12. Songcharoen, P., Mahaisavariya, B., & Chotigavanich, C. (1996). Spinal accessory neurotization for restoration of elbow flexion in avulsion injuries of the brachial plexus. *The Journal of hand surgery*, 21(3), 387–390. [https://doi.org/10.1016/S0363-5023\(96\)80349-2](https://doi.org/10.1016/S0363-5023(96)80349-2)
  13. Dubuisson, A. S., & Kline, D. G. (2002). Brachial plexus injury: a survey of 100 consecutive cases from a single service. *Neurosurgery*, 51(3), 673–683.
  14. Duraku, L. S., Buijnsters, Z. A., Power, D. M., George, S., Walbeehm, E. T., & de Jong, T. (2023). Motor and sensory nerve transfers in the lower extremity: Systematic review of current reconstructive possibilities. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery: JPRAS*, 84, 323–333. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2023.06.011>.
  15. Chuang D. C. (2008). Brachial plexus reconstruction based on the new definition of level of injury. *Injury*, 39 Suppl 3, S23–S29. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2008.05.012>

16. Groen, J. L., Pondaag, W., & Malessy, M. J. A. (2023). Early grafting in severe adult traumatic brachial plexus injury. *Neurosurgical focus: Video*, 8(1), V13. <https://doi.org/10.3171/2022.10.FOCVID2288>
17. Tsymbaliuk, Iu.V. (2015). Vidnovne neyrokhirurhichne likuvannya ushkodzen' peryferychnykh nerviv iz zastosuvannyam dovhotryvaloyi elektrostymulyatsiyi. [Reconstructing neurosurgical treatment of injured peripheral nerves with use of long term electrical stimulation]. (Doktors'ka dysertatsiya) 14.01.05 «Neurosurgery». National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Romodanov Neurosurgery Institute of NAMS of Ukraine [In Ukrainian].
18. Domeshek, L. F., Novak, C. B., Patterson, J. M. M., Hasak, J. M., Yee, A., Kahn, L. C., & Mackinnon, S. E. (2019). Nerve Transfers-A Paradigm Shift in the Reconstructive Ladder. *Plastic and reconstructive surgery. Global open*, 7(6), e2290. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000002290>
19. Moore, AM (2014) Nerve transfers to restore upper extremity function: a paradigm shift. *Front. Neurol.*5:40. doi: 10.3389/fneur.2014.00040;
20. Kuhn, Thomas, S. (1996). *The Structure of Scientific Revolutions*. 3rd ed. Chicago, IL: University of Chicago Press.
21. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., & Tsymbaliuk, Y. V. (2022). Transfer of the anterior C3 levator scapulae motor nerve branch for spinal accessory nerve injury: illustrative case. *Journal of neurosurgery. Case lessons*, 3(5), CASE21609. <https://doi.org/10.3171/CASE21609>
22. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tretiakova, A. I., & Tsymbaliuk, Y. V. (2019). Choosing the target wisely: partial tibial nerve transfer to extensor digitorum motor branches with simultaneous posterior tibial tendon transfer. Could this be a way to improve functional outcome and gait biomechanics?. *Journal of neurosurgery*, 1–9. Advance online publication. <https://doi.org/10.3171/2019.3.JNS182866>

23. Eser, F., Aktekin, L. A., Bodur, H., & Atan, C. (2009). Etiological factors of traumatic peripheral nerve injuries. *Neurology India*, 57(4), 434–437. <https://doi.org/10.4103/0028-3886.55614>
24. Robinson L. R. (2000). Traumatic injury to peripheral nerves. *Muscle & nerve*, 23(6), 863–873. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4598\(200006\)23:6<863::aid-mus4>3.0.co;2-0](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4598(200006)23:6<863::aid-mus4>3.0.co;2-0)
25. Campbell W. W. (2008). Evaluation and management of peripheral nerve injury. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 119(9), 1951–1965. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.03.018>
26. Robinson, L.R. (2004). traumatic injury to peripheral nerves. *Supplements to Clinical neurophysiology*, 57, 173–186. [https://doi.org/10.1016/s1567-424x\(09\)70355-1](https://doi.org/10.1016/s1567-424x(09)70355-1)
27. Stanec, S., Tonković, I., Stanec, Z., Tonković, D., & Dzepina, I. (1997). Treatment of upper limb nerve war injuries associated with vascular trauma. *Injury*, 28(7), 463–468. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(97\)00086-7](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(97)00086-7)
28. Kouyoumdjian, J.A. (2006). Peripheral nerve injuries: a retrospective survey of 456 cases. *Muscle & nerve*, 34(6), 785–788. <https://doi.org/10.1002/mus.20624>
29. Hirasawa, Y., & Sakakida, K. (1983). Sports and peripheral nerve injury. *The American journal of sports medicine*, 11(6), 420–426. <https://doi.org/10.1177/036354658301100607>
30. Maricević, A., & Erceg, M. (1997). War injuries to the extremities. *Military medicine*, 162(12), 808–811.
31. Selecki, B. R., Ring, I. T., Simpson, D. A., Vanderfield, G. K., & Sewell, M. F. (1982). Trauma to the central and peripheral nervous systems: Part I: an overview of mortality, morbidity and costs; N.S.W. 1977. *The Australian and New Zealand journal of surgery*, 52(1), 93–102. <https://doi.org/10.1111/j.1445-2197.1982.tb05297.x>

32. Hartmann J. E. (2006). Neurology in Operation Iraqi Freedom: risk factors for referral, clinical presentations and incidence of disease. *Journal of the neurological sciences*, 241(1-2), 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2005.11.002>
33. Akita, S., Wada, E., & Kawai, H. (2006). Combined injuries of the brachial plexus and spinal cord. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 88(5), 637–641. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.88B5.17175>
34. Coene L. N. (1993). Mechanisms of brachial plexus lesions. *Clinical neurology and neurosurgery*, 95 Suppl, S24–S29. [https://doi.org/10.1016/0303-8467\(93\)90030-k](https://doi.org/10.1016/0303-8467(93)90030-k)
35. Goldie, B. S., & Coates, C. J. (1992). Brachial plexus injury: a survey of incidence and referral pattern. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*, 17(1), 86–88. [https://doi.org/10.1016/0266-7681\(92\)90018-w](https://doi.org/10.1016/0266-7681(92)90018-w)
36. Park, Hye Ran & Lee, Gwang & Kim, Ilsup & Chang, Jae-Chil. (2017). Brachial Plexus Injury in Adults. *The Nerve*. 3. 1-11. [10.21129/nerve.2017.3.1.1](https://doi.org/10.21129/nerve.2017.3.1.1).
37. Alnot J. Y. (1995). Traumatic brachial plexus lesions in the adult: indications and results. *Microsurgery*, 16(1), 22–29. <https://doi.org/10.1002/micr.1920160108>
38. Fisher T. R. (1990). Nerve injury. *Injury*, 21(5), 302–304. [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(90\)90046-w](https://doi.org/10.1016/0020-1383(90)90046-w)
39. Yoshikawa, T., Hayashi, N., Yamamoto, S., Tajiri, Y., Yoshioka, N., Masumoto, T., Mori, H., Abe, O., Aoki, S., & Ohtomo, K. (2006). Brachial plexus injury: clinical manifestations, conventional imaging findings, and the latest imaging techniques. *Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc*, 26 Suppl 1, S133–S143. <https://doi.org/10.1148/rg.26si065511>
40. Smania, N., Berto, G., La Marchina, E., Melotti, C., Midiri, A., Roncari, L., Zenorini, A., Ianes, P., Picelli, A., Waldner, A., Faccioli, S., & Gandolfi, M.

- (2012). Rehabilitation of brachial plexus injuries in adults and children. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 48(3), 483–506.
41. Narakas A.O. (1985). The treatment of brachial plexus injuries. *International orthopaedics*, 9(1), 29–36. <https://doi.org/10.1007/BF00267034>
42. Burnett, M. G., & Zager, E. L. (2004). Pathophysiology of peripheral nerve injury: a brief review. *Neurosurgical focus*, 16(5), E1. <https://doi.org/10.3171/foc.2004.16.5.2>
43. Maggi, S. P., Lowe, J. B., 3rd, & Mackinnon, S. E. (2003). Pathophysiology of nerve injury. *Clinics in plastic surgery*, 30(2), 109–126. [https://doi.org/10.1016/s0094-1298\(02\)00101-3](https://doi.org/10.1016/s0094-1298(02)00101-3)
44. Sunderland S. (1990). The anatomy and physiology of nerve injury. *Muscle & nerve*, 13(9), 771–784. <https://doi.org/10.1002/mus.880130903>
45. Rydevik, B., & Lundborg, G. (1977). Permeability of intraneural microvessels and perineurium following acute, graded experimental nerve compression. *Scandinavian journal of plastic and reconstructive surgery*, 11(3), 179–187. <https://doi.org/10.3109/02844317709025516>
46. Seddon, H. (1943). Three types of nerve injury. *Brain*, 66, 237–88.
47. Dumitru, D, Zwarts, MJ, Amato, AA. (2001). Peripheral nervous system's reaction to injury. In: Dumitru, D, Amato, AA, Zwarts, M, (editors). *Electrodiagnostic medicine*. 2nd ed. (pp.115–56). Philadelphia: Hanley and Belfus.
48. Wilbourn, AJ. (2002). Peripheral neuropathies associated with vascular diseases and the vasculitides. In: Brown, WF, Bolton, CF, Aminoff, MJ, (editors). *Neuromuscular function and disease*. Philadelphia: Saunders;. 1229–62.
49. Koeppen, A.H. (2004). Wallerian degeneration: history and clinical significance. *Journal of the neurological sciences*, 220(1-2), 115–117. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2004.03.008>
50. Stoll, G., & Müller, H. W. (1999). Nerve injury, axonal degeneration and neural regeneration: basic insights. *Brain pathology (Zurich, Switzerland)*, 9(2), 313–325. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3639.1999.tb00229.x>

51. Chaudhry, V., Glass, J. D., & Griffin, J. W. (1992). Wallerian degeneration in peripheral nerve disease. *Neurologic clinics*, *10*(3), 613–627.
52. Lunn, E. R., Brown, M. C., & Perry, V. H. (1990). The pattern of axonal degeneration in the peripheral nervous system varies with different types of lesion. *Neuroscience*, *35*(1), 157–165. [https://doi.org/10.1016/0306-4522\(90\)90130-v](https://doi.org/10.1016/0306-4522(90)90130-v)
53. Hall, S. (2005). Mechanisms of repair after traumatic injury. In: Dyck, PJ, Thomas, PK, (editors). *Peripheral neuropathy* (pp.1403–33). Philadelphia: Elsevier, Saunders
54. Raff, M. C., Whitmore, A. V., & Finn, J. T. (2002). Axonal self-destruction and neurodegeneration. *Science (New York, N.Y.)*, *296*(5569), 868–871. <https://doi.org/10.1126/science.1068613>
55. Hall S. M. (1989). Regeneration in the peripheral nervous system. *Neuropathology and applied neurobiology*, *15*(6), 513–529. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2990.1989.tb01251.x>
56. Kang, H., Tian, L., & Thompson, W. (2003). Terminal Schwann cells guide the reinnervation of muscle after nerve injury. *Journal of neurocytology*, *32*(5-8), 975–985. <https://doi.org/10.1023/B:NEUR.0000020636.27222.2d>
57. Hall SM. The biology of chronically denervated Schwann cells. *Ann N Y Acad Sci* 1999;883:215–33
58. Sulaiman, O. A., & Gordon, T. (2000). Effects of short- and long-term Schwann cell denervation on peripheral nerve regeneration, myelination, and size. *Glia*, *32*(3), 234–246. [https://doi.org/10.1002/1098-1136\(200012\)32:3<234::aid-glia40>3.0.co;2-3](https://doi.org/10.1002/1098-1136(200012)32:3<234::aid-glia40>3.0.co;2-3)
59. Sunderland, S. (1978). *Nerves and nerve injuries*. 2nd ed. Baltimore: Williams and Wilkins.
60. Seckel B. R. (1990). Enhancement of peripheral nerve regeneration. *Muscle & nerve*, *13*(9), 785–800. <https://doi.org/10.1002/mus.880130904>
61. Fenrich, K., & Gordon, T. (2004). Canadian Association of Neuroscience review: axonal regeneration in the peripheral and central nervous systems--

- current issues and advances. *The Canadian journal of neurological sciences. Le journal canadien des sciences neurologiques*, 31(2), 142–156. <https://doi.org/10.1017/s0317167100053798>
62. Zochodne, D. W., & Levy, D. (2005). Nitric oxide in damage, disease and repair of the peripheral nervous system. *Cellular and molecular biology (Noisy-le-Grand, France)*, 51(3), 255–267.
63. Pollock M. (1995). Nerve regeneration. *Current opinion in neurology*, 8(5), 354–358. <https://doi.org/10.1097/00019052-199510000-00005>
64. Thomas P. K. (1989). Invited review: focal nerve injury: guidance factors during axonal regeneration. *Muscle & nerve*, 12(10), 796–802. <https://doi.org/10.1002/mus.880121003>
65. Liuzzi, F. J., & Tedeschi, B. (1991). Peripheral nerve regeneration. *Neurosurgery clinics of North America*, 2(1), 31–42.
66. Zheng, M., & Kuffler, D. P. (2000). Guidance of regenerating motor axons in vivo by gradients of diffusible peripheral nerve-derived factors. *Journal of neurobiology*, 42(2), 212–219.
67. Fu, S. Y., & Gordon, T. (1997). The cellular and molecular basis of peripheral nerve regeneration. *Molecular neurobiology*, 14(1-2), 67–116. <https://doi.org/10.1007/BF02740621>
68. Funakoshi, H., Frisén, J., Barbany, G., Timmusk, T., Zachrisson, O., Verge, V. M., & Persson, H. (1993). Differential expression of mRNAs for neurotrophins and their receptors after axotomy of the sciatic nerve. *The Journal of cell biology*, 123(2), 455–465. <https://doi.org/10.1083/jcb.123.2.455>
69. Dahlin, LB. (2006). Nerve injury and repair: from molecule to man. In: Slutsky DJ, Hentz VR, (editors). *Peripheral nerve surgery: practical applications in the upper extremity* (pp. 1–22). Philadelphia: Churchill Livingstone, Elsevier.
70. Taniuchi, M., Clark, H. B., & Johnson, E. M., Jr (1986). Induction of nerve growth factor receptor in Schwann cells after axotomy. *Proceedings of the*



*National Academy of Sciences of the United States of America*, 83(11), 4094–4098. <https://doi.org/10.1073/pnas.83.11.4094>

71. Davis, J. B., & Stroobant, P. (1990). Platelet-derived growth factors and fibroblast growth factors are mitogens for rat Schwann cells. *The Journal of cell biology*, 110(4), 1353–1360. <https://doi.org/10.1083/jcb.110.4.1353>
72. Martini R. (1994). Expression and functional roles of neural cell surface molecules and extracellular matrix components during development and regeneration of peripheral nerves. *Journal of neurocytology*, 23(1), 1–28. <https://doi.org/10.1007/BF01189813>
73. Créange, A., Barlovatz-Meimon, G., & Gherardi, R. K. (1997). Cytokines and peripheral nerve disorders. *European cytokine network*, 8(2), 145–151.
74. Richardson, P. M., & Lu, X. (1994). Inflammation and axonal regeneration. *Journal of neurology*, 242(1 Suppl 1), S57–S60. <https://doi.org/10.1007/BF00939244>
75. Tanabe, K., Bonilla, I., Winkles, J. A., & Strittmatter, S. M. (2003). Fibroblast growth factor-inducible-14 is induced in axotomized neurons and promotes neurite outgrowth. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 23(29), 9675–9686. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-29-09675.2003>
76. Costigan, M., Mannion, R. J., Kendall, G., Lewis, S. E., Campagna, J. A., Coggeshall, R. E., Meridith-Middleton, J., Tate, S., & Woolf, C. J. (1998). Heat shock protein 27: developmental regulation and expression after peripheral nerve injury. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 18(15), 5891–5900. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.18-15-05891.1998>
77. Lewis, S. E., Mannion, R. J., White, F. A., Coggeshall, R. E., Beggs, S., Costigan, M., Martin, J. L., Dillmann, W. H., & Woolf, C. J. (1999). A role for HSP27 in sensory neuron survival. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 19(20), 8945–8953. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.19-20-08945.1999>

78. Murphy, P. G., Borthwick, L. S., Johnston, R. S., Kuchel, G., & Richardson, P. M. (1999). Nature of the retrograde signal from injured nerves that induces interleukin-6 mRNA in neurons. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, *19*(10), 3791–3800. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.19-10-03791.1999>
79. Ito, Y., Yamamoto, M., Li, M., Doyu, M., Tanaka, F., Mutch, T., Mitsuma, T., & Sobue, G. (1998). Differential temporal expression of mRNAs for ciliary neurotrophic factor (CNTF), leukemia inhibitory factor (LIF), interleukin-6 (IL-6), and their receptors (CNTFR alpha, LIFR beta, IL-6R alpha and gp130) in injured peripheral nerves. *Brain research*, *793*(1-2), 321–327. [https://doi.org/10.1016/s0006-8993\(98\)00242-x](https://doi.org/10.1016/s0006-8993(98)00242-x)
80. Al-Majed, A. A., Tam, S. L., & Gordon, T. (2004). Electrical stimulation accelerates and enhances expression of regeneration-associated genes in regenerating rat femoral motoneurons. *Cellular and molecular neurobiology*, *24*(3), 379–402. <https://doi.org/10.1023/b:cemn.0000022770.66463.f7>
81. Ahlborn, P., Schachner, M., & Irintchev, A. (2007). One hour electrical stimulation accelerates functional recovery after femoral nerve repair. *Experimental neurology*, *208*(1), 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2007.08.005>
82. Geremia, N. M., Gordon, T., Brushart, T. M., Al-Majed, A. A., & Verge, V. M. (2007). Electrical stimulation promotes sensory neuron regeneration and growth-associated gene expression. *Experimental neurology*, *205*(2), 347–359. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2007.01.040>
83. Ygge J. (1989). Neuronal loss in lumbar dorsal root ganglia after proximal compared to distal sciatic nerve resection: a quantitative study in the rat. *Brain research*, *478*(1), 193–195. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(89\)91497-2](https://doi.org/10.1016/0006-8993(89)91497-2)
84. Li, L., Houenou, L. J., Wu, W., Lei, M., Prevette, D. M., & Oppenheim, R. W. (1998). Characterization of spinal motoneuron degeneration following

- different types of peripheral nerve injury in neonatal and adult mice. *The Journal of comparative neurology*, 396(2), 158–168.
85. Koliatsos, V. E., Price, W. L., Pardo, C. A., & Price, D. L. (1994). Ventral root avulsion: an experimental model of death of adult motor neurons. *The Journal of comparative neurology*, 342(1), 35–44. <https://doi.org/10.1002/cne.903420105>
86. Chierzi, S., Ratto, G. M., Verma, P., & Fawcett, J. W. (2005). The ability of axons to regenerate their growth cones depends on axonal type and age, and is regulated by calcium, cAMP and ERK. *The European journal of neuroscience*, 21(8), 2051–2062. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.04066.x>
87. Krystosek, A., & Seeds, N. W. (1981). Plasminogen activator release at the neuronal growth cone. *Science (New York, N.Y.)*, 213(4515), 1532–1534. <https://doi.org/10.1126/science.7197054>
88. Gallo, G., & Letourneau, P. (2002). Axon guidance: proteins turnover in turning growth cones. *Current biology : CB*, 12(16), R560–R562. [https://doi.org/10.1016/s0960-9822\(02\)01054-0](https://doi.org/10.1016/s0960-9822(02)01054-0)
89. Kuffler D. P. (1994). Promoting and directing axon outgrowth. *Molecular neurobiology*, 9(1-3), 233–243. <https://doi.org/10.1007/BF02816122>
90. Kater, S. B., & Rehder, V. (1995). The sensory-motor role of growth cone filopodia. *Current opinion in neurobiology*, 5(1), 68–74. [https://doi.org/10.1016/0959-4388\(95\)80089-1](https://doi.org/10.1016/0959-4388(95)80089-1)
91. Goodman C. S. (1996). Mechanisms and molecules that control growth cone guidance. *Annual review of neuroscience*, 19, 341–377. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.19.030196.002013>
92. Tessier-Lavigne, M., & Goodman, C. S. (1996). The molecular biology of axon guidance. *Science (New York, N.Y.)*, 274(5290), 1123–1133. <https://doi.org/10.1126/science.274.5290.1123>

93. Mueller B. K. (1999). Growth cone guidance: first steps towards a deeper understanding. *Annual review of neuroscience*, 22, 351–388. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.22.1.351>
94. Gallo, G., & Letourneau, P. C. (2004). Regulation of growth cone actin filaments by guidance cues. *Journal of neurobiology*, 58(1), 92–102. <https://doi.org/10.1002/neu.10282>
95. Kolodkin A. L. (1996). Growth cones and the cues that repel them. *Trends in neurosciences*, 19(11), 507–513. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(96\)10057-6](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(96)10057-6)
96. Tuttle, R., & O'Leary, D. D. (1998). Neurotrophins rapidly modulate growth cone response to the axon guidance molecule, collapsin-1. *Molecular and cellular neurosciences*, 11(1-2), 1–8. <https://doi.org/10.1006/mcne.1998.0671>
97. Anders, J. J., Geuna, S., & Rochkind, S. (2004). Phototherapy promotes regeneration and functional recovery of injured peripheral nerve. *Neurological research*, 26(2), 233–239. <https://doi.org/10.1179/016164104225013914>
98. Gigo-Benato, D., Geuna, S., & Rochkind, S. (2005). Phototherapy for enhancing peripheral nerve repair: a review of the literature. *Muscle & nerve*, 31(6), 694–701. <https://doi.org/10.1002/mus.20305>
99. Gordon, T., Sulaiman, O., & Boyd, J. G. (2003). Experimental strategies to promote functional recovery after peripheral nerve injuries. *Journal of the peripheral nervous system : JPNS*, 8(4), 236–250. <https://doi.org/10.1111/j.1085-9489.2003.03029.x>
100. Gudemez, E., Ozer, K., Cunningham, B., Siemionow, K., Browne, E., & Siemionow, M. (2002). Dehydroepiandrosterone as an enhancer of functional recovery following crush injury to rat sciatic nerve. *Microsurgery*, 22(6), 234–241. <https://doi.org/10.1002/micr.10039>
101. Mourad, P. D., Lazar, D. A., Curra, F. P., Mohr, B. C., Andrus, K. C., Avellino, A. M., McNutt, L. D., Crum, L. A., & Kliot, M. (2001). Ultrasound

- accelerates functional recovery after peripheral nerve damage. *Neurosurgery*, 48(5), 1136–1141. <https://doi.org/10.1097/00006123-200105000-00035>
102. Sarikcioglu, L., & Oguz, N. (2001). Exercise training and axonal regeneration after sciatic nerve injury. *The International journal of neuroscience*, 109(3-4), 173–177. <https://doi.org/10.3109/00207450108986533>
103. Udina, E., Ceballos, D., Verdú, E., Gold, B. G., & Navarro, X. (2002). Bimodal dose-dependence of FK506 on the rate of axonal regeneration in mouse peripheral nerve. *Muscle & nerve*, 26(3), 348–355. <https://doi.org/10.1002/mus.10195>
104. Weber, R. V., & Mackinnon, S. E. (2005). Bridging the neural gap. *Clinics in plastic surgery*, 32(4), 605–viii. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2005.05.003>
105. Kline DG. (2008a). Selected basic considerations. In: Kim DH, Midha R, Murovic JA, Spinner RJ, (editors). *Kline & Hudson's nerve injuries*. 2nd ed. (pp. 1–21). Philadelphia: Elsevier Saunders.
106. Gutmann, E., & Young, J. Z. (1944). The re-innervation of muscle after various periods of atrophy. *Journal of anatomy*, 78(Pt 1-2), 15–43.
107. Sumner A. J. (1990). Aberrant reinnervation. *Muscle & nerve*, 13(9), 801–803. <https://doi.org/10.1002/mus.880130905>
108. Gordon T. (2020). Peripheral Nerve Regeneration and Muscle Reinnervation. *International journal of molecular sciences*, 21(22), 8652. <https://doi.org/10.3390/ijms21228652>
109. Al-Majed, A. A., Neumann, C. M., Brushart, T. M., & Gordon, T. (2000). Brief electrical stimulation promotes the speed and accuracy of motor axonal regeneration. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 20(7), 2602–2608. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.20-07-02602.2000>
110. Brushart, T. M., Jari, R., Verge, V., Rohde, C., & Gordon, T. (2005). Electrical stimulation restores the specificity of sensory axon regeneration. *Experimental neurology*, 194(1), 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2005.02.007>

111. Gordon T. (2014). Neurotrophic factor expression in denervated motor and sensory Schwann cells: relevance to specificity of peripheral nerve regeneration. *Experimental neurology*, 254, 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2014.01.012>
112. Gillespie, M. J., Gordon, T., & Murphy, P. R. (1987). Motor units and histochemistry in rat lateral gastrocnemius and soleus muscles: evidence for dissociation of physiological and histochemical properties after reinnervation. *Journal of neurophysiology*, 57(4), 921–937. <https://doi.org/10.1152/jn.1987.57.4.921>
113. Gillespie, M. J., Gordon, T., & Murphy, P. R. (1986). Reinnervation of the lateral gastrocnemius and soleus muscles in the rat by their common nerve. *The Journal of physiology*, 372, 485–500. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1986.sp016021>
114. Gordon, T., & de Zepetnek, J. E. T. (2016). Motor unit and muscle fiber type grouping after peripheral nerve injury in the rat. *Experimental neurology*, 285(Pt A), 24–40. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2016.08.019>
115. Eccles, J.C., & Sherrington, C.S. (1930). Numbers and Contraction-Values of Individual Motor-Units Examined in some Muscles of the Limb. *Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences*, 106, 326–357.
116. Lu, J., Tapia, J. C., White, O. L., & Lichtman, J. W. (2009). The interscutularis muscle connectome. *PLoS biology*, 7(2), e32. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000032>
117. Tötösy de Zepetnek, J. E., Zung, H. V., Erdebil, S., & Gordon, T. (1992). Innervation ratio is an important determinant of force in normal and reinnervated rat tibialis anterior muscles. *Journal of neurophysiology*, 67(5), 1385–1403. <https://doi.org/10.1152/jn.1992.67.5.1385>
118. Gordon, T., & Tyreman, N. (2010). Sprouting capacity of lumbar motoneurons in normal and hemisectioned spinal cords of the rat. *The Journal of physiology*, 588(Pt 15), 2745–2768. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.190389>

119. Rafuse, V. F., & Gordon, T. (1996). Self-reinnervated cat medial gastrocnemius muscles. II. analysis of the mechanisms and significance of fiber type grouping in reinnervated muscles. *Journal of neurophysiology*, 75(1), 282–297. <https://doi.org/10.1152/jn.1996.75.1.282>
120. Alant, J. D., Senjaya, F., Ivanovic, A., Forden, J., Shakhbazau, A., & Midha, R. (2013). The impact of motor axon misdirection and attrition on behavioral deficit following experimental nerve injuries. *PloS one*, 8(11), e82546. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082546>
121. de Ruyter, G. C., Spinner, R. J., Verhaagen, J., & Malessy, M. J. (2014). Misdirection and guidance of regenerating axons after experimental nerve injury and repair. *Journal of neurosurgery*, 120(2), 493–501. <https://doi.org/10.3171/2013.8.JNS122300>
122. Gordon, T., & Gordon, K. (2010). Nerve regeneration in the peripheral nervous system versus the central nervous system and the relevance to speech and hearing after nerve injuries. *Journal of communication disorders*, 43(4), 274–285. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2010.04.010>
123. Thomas, C. K., Stein, R. B., Gordon, T., Lee, R. G., & Elleker, M. G. (1987). Patterns of reinnervation and motor unit recruitment in human hand muscles after complete ulnar and median nerve section and resuture. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 50(3), 259–268. <https://doi.org/10.1136/jnnp.50.3.259>
124. Simon, N. G., Franz, C. K., Gupta, N., Alden, T., & Kliot, M. (2016). Central Adaptation following Brachial Plexus Injury. *World neurosurgery*, 85, 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.09.027>
125. Simon, N. G., Franz, C. K., Gupta, N., Alden, T., & Kliot, M. (2016). Central Adaptation following Brachial Plexus Injury. *World neurosurgery*, 85, 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.09.027>
126. Benaim, J. L., Jouve, J. L., Bardot, J., Casanova, D., Magalon, G., & Bollini, G. (1999). Pseudo-paralysie du biceps brachial dans les paralysies obstétricales du plexus brachial (POPB)--à propos de l'"optimisme" de l'EMG

- [Pseudo-paralysis of the brachial biceps in obstetrical brachial plexus lesions (OBPL):concerning the "overly optimistic" EMG in OBPL]. *Neurophysiologie clinique = Clinical neurophysiology*, 29(6), 490–494. [https://doi.org/10.1016/s0987-7053\(99\)00204-x](https://doi.org/10.1016/s0987-7053(99)00204-x)
127. De Grandis, D., Fiaschi, A., Michieli, G., & Mezzina, C. (1979). Anomalous reinnervation as a sequel to obstetric brachial plexus palsy. *Journal of the neurological sciences*, 43(1), 127–132. [https://doi.org/10.1016/0022-510x\(79\)90077-7](https://doi.org/10.1016/0022-510x(79)90077-7)
128. Roth G. (1983). Réinnervation dans la paralysie plexulaire brachiale obstétricale [Reinnervation in obstetrical brachial plexus paralysis]. *Journal of the neurological sciences*, 58(1), 103–115. [https://doi.org/10.1016/0022-510x\(83\)90113-2](https://doi.org/10.1016/0022-510x(83)90113-2)
129. Roth G. (1979). Intranervous regeneration. The study of motor axon reflexes. *Journal of the neurological sciences*, 41(2), 139–148. [https://doi.org/10.1016/0022-510x\(79\)90034-0](https://doi.org/10.1016/0022-510x(79)90034-0)
130. Roth G. (1978). Intranervous regeneration of lower motor neuron.--1. Study of 1153 motor axon reflexes. *Electromyography and clinical neurophysiology*, 18(3-4), 225–288.
131. Roth G. (1978). Intranervous regeneration of lower motor neuron.--1. Study of 1153 motor axon reflexes. *Electromyography and clinical neurophysiology*, 18(3-4), 225–288.
132. Brown, T., Cupido, C., Scarfone, H., Pape, K., Galea, V., & McComas, A. (2000). Developmental apraxia arising from neonatal brachial plexus palsy. *Neurology*, 55(1), 24–30. <https://doi.org/10.1212/wnl.55.1.24>
133. Rapalino, O. A., & Levine, D. N. (2000). Developmental apraxia arising from neonatal brachial plexus palsy. *Neurology*, 55(11), 1761. <https://doi.org/10.1212/wnl.55.11.1761>
134. Montserrat, L., & Benito, M. (1990). Motor reflex responses elicited by cutaneous stimulation in the regenerating nerve of man: axon reflex or



- ephaptic response?. *Muscle & nerve*, 13(6), 501–507. <https://doi.org/10.1002/mus.880130606>
135. Esslen E. (1960). Electromyographic findings on two types of misdirection of regenerating axons. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 12, 738–741. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(60\)90120-6](https://doi.org/10.1016/0013-4694(60)90120-6)
136. Heath, D. D., 2nd, Coggeshall, R. E., & Hulsebosch, C. E. (1986). Axon and neuron numbers after forelimb amputation in neonatal rats. *Experimental neurology*, 92(1), 220–233. [https://doi.org/10.1016/0014-4886\(86\)90136-6](https://doi.org/10.1016/0014-4886(86)90136-6)
137. Fullarton, A. C., Lenihan, D. V., Myles, L. M., & Glasby, M. A. (2000). Obstetric brachial plexus palsy: a large animal model for traction injury and its repair. Part 1: age of the recipient. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*, 25(1), 52–57. <https://doi.org/10.1054/jhsb.1999.0337>;
138. Fullarton, A. C., Myles, L. M., Lenihan, D. V., Hems, T. E., & Glasby, M. A. (2001). Obstetric brachial plexus palsy: a comparison of the degree of recovery after repair of a C6 ventral root avulsion in newborn and adult sheep. *British journal of plastic surgery*, 54(8), 697–704. <https://doi.org/10.1054/bjps.2001.3700>;
139. Vredeveld, J. W., Blaauw, G., Slooff, B. A., Richards, R., & Rozeman, S. C. (2000). The findings in paediatric obstetric brachial palsy differ from those in older patients: a suggested explanation. *Developmental medicine and child neurology*, 42(3), 158–161. <https://doi.org/10.1017/s0012162200000281>
140. Vredeveld, J. W., Richards, R., Rozeman, C. A., Blaauw, G., & Slooff, A. C. (1999). The electromyogram in obstetric brachial palsy is too optimistic: fiber size or another explanation?. *Muscle & nerve*, 22(3), 427–429. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4598\(199903\)22:3<427::aid-mus25>3.0.co;2-4](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4598(199903)22:3<427::aid-mus25>3.0.co;2-4)
141. Hesselmann, L. F., Jennekens, F. G., Van den Oord, C. J., Veldman, H., & Vincent, A. (1993). Development of innervation of skeletal muscle fibers in man: relation to acetylcholine receptors. *The Anatomical record*, 236(3), 553–562. <https://doi.org/10.1002/ar.1092360315>

142. Ijkema-Paassen, J., & Gramsbergen, A. (1998). Polyneural innervation in the psoas muscle of the developing rat. *Muscle & nerve*, 21(8), 1058–1063. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4598\(199808\)21:8<1058::aid-mus10>3.0.co;2-q](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4598(199808)21:8<1058::aid-mus10>3.0.co;2-q)
143. Siemionow, M., & Sari, A. (2004). A contemporary overview of peripheral nerve research from the Cleveland Clinic microsurgery laboratory. *Neurological research*, 26(2), 218–225. <https://doi.org/10.1179/016164104225013860>
144. Spinner, R. J., & Kline, D. G. (2000). Surgery for peripheral nerve and brachial plexus injuries or other nerve lesions. *Muscle & nerve*, 23(5), 680–695. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4598\(200005\)23:5<680::aid-mus4>3.0.co;2-h](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4598(200005)23:5<680::aid-mus4>3.0.co;2-h)
145. Diao, E., & Vannuyen, T. (2000). Techniques for primary nerve repair. *Hand clinics*, 16(1), 53–viii.
146. Mackinnon SE, Dellon AL. (1988). Surgery of the peripheral nerve. New York: Thieme.
147. Rudge, P., Ochoa, J., & Gilliatt, R. W. (1974). Acute peripheral nerve compression in the baboon. *Journal of the neurological sciences*, 23(3), 403–420. [https://doi.org/10.1016/0022-510x\(74\)90158-0](https://doi.org/10.1016/0022-510x(74)90158-0)
148. Flores L. P. (2015). Comparative Study of Nerve Grafting versus Distal Nerve Transfer for Treatment of Proximal Injuries of the Ulnar Nerve. *Journal of reconstructive microsurgery*, 31(9), 647–653. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1556871>
149. Yang, L. J., Chang, K. W., & Chung, K. C. (2012). A systematic review of nerve transfer and nerve repair for the treatment of adult upper brachial plexus injury. *Neurosurgery*, 71(2), 417–429. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e318257be98>
150. Roganović, Z., Pavličević, G., & Petković, S. (2005). Missile-induced complete lesions of the tibial nerve and tibial division of the sciatic nerve:

- results of 119 repairs. *Journal of neurosurgery*, 103(4), 622–629.  
<https://doi.org/10.3171/jns.2005.103.4.0622>
151. Mackinnon, S. E., Doolabh, V. B., Novak, C. B., & Trulock, E. P. (2001). Clinical outcome following nerve allograft transplantation. *Plastic and reconstructive surgery*, 107(6), 1419–1429.  
<https://doi.org/10.1097/00006534-200105000-00016>
152. Noaman, H. H., Shiha, A. E., & Bahm, J. (2004). Oberlin's ulnar nerve transfer to the biceps motor nerve in obstetric brachial plexus palsy: indications, and good and bad results. *Microsurgery*, 24(3), 182–187.  
<https://doi.org/10.1002/micr.20037>
153. Matsuyama, T., Mackay, M., & Midha, R. (2000). Peripheral nerve repair and grafting techniques: a review. *Neurologia medico-chirurgica*, 40(4), 187–199.  
<https://doi.org/10.2176/nmc.40.187>
154. Papalia, I., Cardaci, A., d'Alcontres, F. S., Lee, J. M., Tos, P., & Geuna, S. (2007). Selection of the donor nerve for end-to-side neuroorrhaphy. *Journal of neurosurgery*, 107(2), 378–382. <https://doi.org/10.3171/JNS-07/08/0378>
155. Papalia, I., Geuna, S., D'Alcontres, F. S., & Tos, P. (2007). Origin and history of end-to-side neuroorrhaphy. *Microsurgery*, 27(1), 56–61.  
<https://doi.org/10.1002/micr.20303>
156. Roganovic, Z., & Pavlicevic, G. (2006). Difference in recovery potential of peripheral nerves after graft repairs. *Neurosurgery*, 59(3), 621–633.  
<https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000228869.48866.BD>
157. Kline, D. G., Kim, D., Midha, R., Harsh, C., & Tiel, R. (1998). Management and results of sciatic nerve injuries: a 24-year experience. *Journal of neurosurgery*, 89(1), 13–23. <https://doi.org/10.3171/jns.1998.89.1.0013>
158. Kim, D. H., Cho, Y. J., Tiel, R. L., & Kline, D. G. (2003). Outcomes of surgery in 1019 brachial plexus lesions treated at Louisiana State University Health Sciences Center. *Journal of neurosurgery*, 98(5), 1005–1016.  
<https://doi.org/10.3171/jns.2003.98.5.1005>

159. Belzberg, A.J. (2005). Acute nerve injuries. In: Rengachary SS, Ellenbogen RG, (editors). Principles of neurosurgery. 2nd ed. (pp. 387–95). Edinburg: Elsevier Mosby.
160. Martin, E., Senders, J. T., DiRisio, A. C., Smith, T. R., & Broekman, M. L. D. (2018). Timing of surgery in traumatic brachial plexus injury: a systematic review. *Journal of neurosurgery*, 130(4), 1333–1345. <https://doi.org/10.3171/2018.1.JNS172068>
161. Chuang, D. C. (2016). Debates to personal conclusion in peripheral nerve injury and reconstruction: A 30-year experience at Chang Gung Memorial Hospital. *Indian journal of plastic surgery : official publication of the Association of Plastic Surgeons of India*, 49(2), 144–150. <https://doi.org/10.4103/0970-0358.191295>
162. El-Gammal, T. A., & Fathi, N. A. (2002). Outcomes of surgical treatment of brachial plexus injuries using nerve grafting and nerve transfers. *Journal of reconstructive microsurgery*, 18(1), 7–15. <https://doi.org/10.1055/s-2002-19703>
163. Hems T. E. (2015). Timing of surgical reconstruction for closed traumatic injury to the supraclavicular brachial plexus. *The Journal of hand surgery, European volume*, 40(6), 568–572. <https://doi.org/10.1177/1753193414540074>
164. Kline D. G. (2009). Timing for brachial plexus injury: a personal experience. *Neurosurgery clinics of North America*, 20(1), 24–v. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2008.07.030>
165. Simon, N. G., Spinner, R. J., Kline, D. G., & Kliot, M. (2016). Advances in the neurological and neurosurgical management of peripheral nerve trauma. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 87(2), 198–208. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2014-310175>
166. Wilbourn A. J. (2003). The electrodiagnostic examination with peripheral nerve injuries. *Clinics in plastic surgery*, 30(2), 139–154. [https://doi.org/10.1016/s0094-1298\(02\)00099-8](https://doi.org/10.1016/s0094-1298(02)00099-8)

167. Bentolila, V., Nizard, R., Bizot, P., & Sedel, L. (1999). Complete traumatic brachial plexus palsy. Treatment and outcome after repair. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 81(1), 20–28. <https://doi.org/10.2106/00004623-199901000-00004>
168. Chuang, D. C., Epstein, M. D., Yeh, M. C., & Wei, F. C. (1993). Functional restoration of elbow flexion in brachial plexus injuries: results in 167 patients (excluding obstetric brachial plexus injury). *The Journal of hand surgery*, 18(2), 285–291. [https://doi.org/10.1016/0363-5023\(93\)90363-8](https://doi.org/10.1016/0363-5023(93)90363-8)
169. Narakas, A. O., & Hentz, V. R. (1988). Neurotization in brachial plexus injuries. Indication and results. *Clinical orthopaedics and related research*, (237), 43–56.
170. Ricardo M. (2005). Surgical treatment of brachial plexus injuries in adults. *International orthopaedics*, 29(6), 351–354. <https://doi.org/10.1007/s00264-005-0017-3>
171. Samii, A., Carvalho, G. A., & Samii, M. (2003). Brachial plexus injury: factors affecting functional outcome in spinal accessory nerve transfer for the restoration of elbow flexion. *Journal of neurosurgery*, 98(2), 307–312. <https://doi.org/10.3171/jns.2003.98.2.0307>
172. Terzis, J. K., & Kostas, I. (2006). Suprascapular nerve reconstruction in 118 cases of adult posttraumatic brachial plexus. *Plastic and reconstructive surgery*, 117(2), 613–629. <https://doi.org/10.1097/01.prs.0000203410.35395.fa>
173. Garg, R., Merrell, G. A., Hillstrom, H. J., & Wolfe, S. W. (2011). Comparison of nerve transfers and nerve grafting for traumatic upper plexus palsy: a systematic review and analysis. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 93(9), 819–829. <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.01602>
174. Gu, Y. D., & Ma, M. K. (1996). Use of the phrenic nerve for brachial plexus reconstruction. *Clinical orthopaedics and related research*, (323), 119–121. <https://doi.org/10.1097/00003086-199602000-00016>

175. Terzis, J. K., & Barbitsiotti, A. (2012). Primary restoration of elbow flexion in adult post-traumatic plexopathy patients. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS*, 65(1), 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2011.08.029>
176. Ali, Z. S., Heuer, G. G., Faught, R. W., Kaneriya, S. H., Sheikh, U. A., Syed, I. S., Stein, S. C., & Zager, E. L. (2015). Upper brachial plexus injury in adults: comparative effectiveness of different repair techniques. *Journal of neurosurgery*, 122(1), 195–201. <https://doi.org/10.3171/2014.9.JNS132823>
177. Friedman A. H. (2009). An eclectic review of the history of peripheral nerve surgery. *Neurosurgery*, 65(4 Suppl), A3–A8. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000346252.53722.D3>
178. Midha, R., & Grochmal, J. (2019). Surgery for nerve injury: current and future perspectives. *Journal of neurosurgery*, 130(3), 675–685. <https://doi.org/10.3171/2018.11.JNS181520>
179. Nulsen FE, Slade HW. (1957). Recovery following injury to the brachial plexus, in Woodhall B, Beebe G (eds): *Peripheral Nerve Regeneration: A Follow-Up Study of 3656 World War II Injuries*. (pp. 389–408). Washington, DC: US Government Printing Office.
180. Millesi, H., Meissl, G., & Berger, A. (1972). The interfascicular nerve-grafting of the median and ulnar nerves. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 54(4), 727–750.
181. Kline, D. G., Hackett, E. R., & May, P. R. (1969). Evaluation of nerve injuries by evoked potentials and electromyography. *Journal of neurosurgery*, 31(2), 128–136. <https://doi.org/10.3171/jns.1969.31.2.0128>
182. Brushart, T. (2011). *Nerve Repair*. Oxford: Oxford University Press.
183. Brandt, K. E., & Mackinnon, S. E. (1993). A technique for maximizing biceps recovery in brachial plexus reconstruction. *The Journal of hand surgery*, 18(4), 726–733. [https://doi.org/10.1016/0363-5023\(93\)90328-Z](https://doi.org/10.1016/0363-5023(93)90328-Z)
184. Chuang, D. C., Yeh, M. C., & Wei, F. C. (1992). Intercostal nerve transfer of the musculocutaneous nerve in avulsed brachial plexus injuries: evaluation of

- 66 patients. *The Journal of hand surgery*, 17(5), 822–828. [https://doi.org/10.1016/0363-5023\(92\)90451-t](https://doi.org/10.1016/0363-5023(92)90451-t)
185. Gu, Y. D., Wu, M. M., Zhen, Y. L., Zhao, J. A., Zhang, G. M., Chen, D. S., Yan, J. Q., & Cheng, X. M. (1990). Phrenic nerve transfer for treatment of root avulsion of the brachial plexus. *Chinese medical journal*, 103(4), 267–270.
186. Nagano, A., Yamamoto, S., & Mikami, Y. (1995). Intercostal nerve transfer to restore upper extremity functions after brachial plexus injury. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, 24(4 Suppl), 42–45.
187. Samardzic, M., Grujicic, D., & Antunovic, V. (1992). Nerve transfer in brachial plexus traction injuries. *Journal of neurosurgery*, 76(2), 191–197. <https://doi.org/10.3171/jns.1992.76.2.0191>
188. Oberlin, C., Béal, D., Leechavengvongs, S., Salon, A., Dauge, M. C., & Sarcy, J. J. (1994). Nerve transfer to biceps muscle using a part of ulnar nerve for C5-C6 avulsion of the brachial plexus: anatomical study and report of four cases. *The Journal of hand surgery*, 19(2), 232–237. [https://doi.org/10.1016/0363-5023\(94\)90011-6](https://doi.org/10.1016/0363-5023(94)90011-6)
189. Bertelli, J. A., & Ghizoni, M. F. (2003). Brachial plexus avulsion injury repairs with nerve transfers and nerve grafts directly implanted into the spinal cord yield partial recovery of shoulder and elbow movements. *Neurosurgery*, 52(6), 1385–1390. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000065134.21334.d7>
190. Carlstedt, T., Anand, P., Hallin, R., Misra, P. V., Norén, G., & Seferlis, T. (2000). Spinal nerve root repair and reimplantation of avulsed ventral roots into the spinal cord after brachial plexus injury. *Journal of neurosurgery*, 93(2 Suppl), 237–247. <https://doi.org/10.3171/spi.2000.93.2.0237>
191. Bertelli, J. A., & Ghizoni, M. F. (2016). Results of nerve grafting in radial nerve injuries occurring proximal to the humerus, including those within the posterior cord. *Journal of neurosurgery*, 2016(1), 179–185. <https://doi.org/10.3171/2014.12.JNS141944.test>

192. Bertelli, J. A., & Ghizoni, M. F. (2013). Transfer of a flexor digitorum superficialis motor branch for wrist extension reconstruction in C5-C8 root injuries of the brachial plexus: a case series. *Microsurgery*, 33(1), 39–42. <https://doi.org/10.1002/micr.22027>
193. Novak, C. B., Mackinnon, S. E., & Tung, T. H. (2002). Patient outcome following a thoracodorsal to musculocutaneous nerve transfer for reconstruction of elbow flexion. *British journal of plastic surgery*, 55(5), 416–419. <https://doi.org/10.1054/bjps.2002.3859>
194. Yang, L. J., Chang, K. W., & Chung, K. C. (2012). A systematic review of nerve transfer and nerve repair for the treatment of adult upper brachial plexus injury. *Neurosurgery*, 71(2), 417–429. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e318257be98>
195. Carol, A. (2017). *Oatis Kinesiology: The Mechanics and Pathomechanics of Human Movement* Wolters Kluwer.
196. Gates, D. H., Walters, L. S., Cowley, J., Wilken, J. M., & Resnik, L. (2016). Range of Motion Requirements for Upper-Limb Activities of Daily Living. *The American journal of occupational therapy : official publication of the American Occupational Therapy Association*, 70(1), 7001350010p1–7001350010p10. <https://doi.org/10.5014/ajot.2016.015487>
197. van Andel, C. J., Wolterbeek, N., Doorenbosch, C. A., Veeger, D. H., & Harlaar, J. (2008). Complete 3D kinematics of upper extremity functional tasks. *Gait & posture*, 27(1), 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.03.002>
198. Aizawa, J., Masuda, T., Hyodo, K., Jinno, T., Yagishita, K., Nakamaru, K., Koyama, T., & Morita, S. (2013). Ranges of active joint motion for the shoulder, elbow, and wrist in healthy adults. *Disability and rehabilitation*, 35(16), 1342–1349. <https://doi.org/10.3109/09638288.2012.731133>
199. Fitoussi, F., Diop, A., Maurel, N., Laassel, eM., & Penneçot, G. F. (2006). Kinematic analysis of the upper limb: a useful tool in children with cerebral



- palsy. *Journal of pediatric orthopedics. Part B*, 15(4), 247–256.  
<https://doi.org/10.1097/01202412-200607000-00003>
200. Magermans, D. J., Chadwick, E. K., Veeger, H. E., & van der Helm, F. C. (2005). Requirements for upper extremity motions during activities of daily living. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 20(6), 591–599.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.02.006>
201. Petuskey, K., Bagley, A., Abdala, E., James, M. A., & Rab, G. (2007). Upper extremity kinematics during functional activities: three-dimensional studies in a normal pediatric population. *Gait & posture*, 25(4), 573–579.  
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.06.006>
202. Pieniazek, M., Chwała, W., Szczechowicz, J., & Pelczar-Pieniazek, M. (2007). Upper limb joint mobility ranges during activities of daily living determined by three-dimensional motion analysis--preliminary report. *Ortopedia, traumatologia, rehabilitacja*, 9(4), 413–422.
203. Raiss, P., Rettig, O., Wolf, S., Loew, M., & Kasten, P. (2007). Das Bewegungsausmass der Schulter und des Ellenbogens bei Alltagsbewegungen in der 3D-Bewegungsanalyse [Range of motion of shoulder and elbow in activities of daily life in 3D motion analysis]. *Zeitschrift fur Orthopadie und Unfallchirurgie*, 145, 493–498. [http:// dx.doi.org/10.1055/s-2007-965468](http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-965468)
204. Sheikhzadeh, A., Yoon, J., Pinto, V. J., & Kwon, Y. W. (2008). Three-dimensional motion of the scapula and shoulder during activities of daily living. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 17(6), 936–942.  
<https://doi.org/10.1016/j.jse.2008.04.008>
205. Veeger, H. E., Magermans, D. J., Nagels, J., Chadwick, E. K., & van der Helm, F. C. (2006). A kinematical analysis of the shoulder after arthroplasty during a hair combing task. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 21 Suppl 1, S39–S44. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.09.012>
206. Ebaugh, D. D., McClure, P. W., & Karduna, A. R. (2005). Three-dimensional scapulothoracic motion during active and passive arm elevation. *Clinical*

- biomechanics* (Bristol, Avon), 20(7), 700–709.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.03.008>
207. Fukuda, K., Craig, E. V., An, K. N., Cofield, R. H., & Chao, E. Y. (1986). Biomechanical study of the ligamentous system of the acromioclavicular joint. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 68(3), 434–440.
208. Lee, K. W., Debski, R. E., Chen, C. H., Woo, S. L., & Fu, F. H. (1997). Functional evaluation of the ligaments at the acromioclavicular joint during anteroposterior and superoinferior translation. *The American journal of sports medicine*, 25(6), 858–862. <https://doi.org/10.1177/036354659702500622>
209. Gerhardt, JJ, Rippstein J. (1990). *Measuring and Recording of Joint Motion Instrumentation and Techniques*. Lewiston, NJ: Hogrefe & Huber.
210. Lucas D. B. (1973). Biomechanics of the shoulder joint. *Archives of surgery (Chicago, Ill.: 1960)*, 107(3), 425–432.  
<https://doi.org/10.1001/archsurg.1973.01350210061018>
211. Iannotti, J. P., Gabriel, J. P., Schneck, S. L., Evans, B. G., & Misra, S. (1992). The normal glenohumeral relationships. An anatomical study of one hundred and forty shoulders. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 74(4), 491–500.
212. Ludewig, P. M., & Cook, T. M. (2000). Alterations in shoulder kinematics and associated muscle activity in people with symptoms of shoulder impingement. *Physical therapy*, 80(3), 276–291.
213. Bowker, John H. (1992). *Atlas of limb prosthetics: surgical, prosthetic, and rehabilitation principles*. St. Louis: Mosby Year Book.  
[http://www.oandplibrary.org/alp/.](http://www.oandplibrary.org/alp/)]
214. Inman, VT, Saunders, JB, Abbott, LC. (1944). Observations of the function of the shoulder Joint. *J Bone Joint Surg*; 42, 1–30.
215. An, K. N., Hui, F. C., Morrey, B. F., Linscheid, R. L., & Chao, E. Y. (1981). Muscles across the elbow joint: a biomechanical analysis. *Journal of biomechanics*, 14(10), 659–669. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(81\)90048-8](https://doi.org/10.1016/0021-9290(81)90048-8)

216. Bremer, A. K., Sennwald, G. R., Favre, P., & Jacob, H. A. (2006). Moment arms of forearm rotators. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, *21*(7), 683–691. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2006.03.002>
217. Langenderfer, J., Jerabek, S. A., Thangamani, V. B., Kuhn, J. E., & Hughes, R. E. (2004). Musculoskeletal parameters of muscles crossing the shoulder and elbow and the effect of sarcomere length sample size on estimation of optimal muscle length. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, *19*(7), 664–670. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2004.04.009>
218. Lemay, M. A., & Crago, P. E. (1996). A dynamic model for simulating movements of the elbow, forearm, and wrist. *Journal of biomechanics*, *29*(10), 1319–1330. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(96\)00026-7](https://doi.org/10.1016/0021-9290(96)00026-7)
219. Murray, W. M., Buchanan, T. S., & Delp, S. L. (2000). The isometric functional capacity of muscles that cross the elbow. *Journal of biomechanics*, *33*(8), 943–952. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(00\)00051-8](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(00)00051-8)
220. Murray, W. M., Delp, S. L., & Buchanan, T. S. (1995). Variation of muscle moment arms with elbow and forearm position. *Journal of biomechanics*, *28*(5), 513–525. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(94\)00114-j](https://doi.org/10.1016/0021-9290(94)00114-j)
221. van Zuylen, E. J., van Velzen, A., & Denier van der Gon, J. J. (1988). A biomechanical model for flexion torques of human arm muscles as a function of elbow angle. *Journal of biomechanics*, *21*(3), 183–190. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90168-6](https://doi.org/10.1016/0021-9290(88)90168-6)
222. An, K. N., Kaufman, K. R., & Chao, E. Y. (1989). Physiological considerations of muscle force through the elbow joint. *Journal of biomechanics*, *22*(11-12), 1249–1256. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(89\)90227-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(89)90227-3)
223. Pigeon, P., Yahia, L., & Feldman, A. G. (1996). Moment arms and lengths of human upper limb muscles as functions of joint angles. *Journal of biomechanics*, *29*(10), 1365–1370. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(96\)00031-0](https://doi.org/10.1016/0021-9290(96)00031-0)

224. Allen, G. M., McKenzie, D. K., & Gandevia, S. C. (1998). Twitch interpolation of the elbow flexor muscles at high forces. *Muscle & nerve*, 21(3), 318–328. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4598\(199803\)21:3<318::aid-mus5>3.0.co;2-d](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4598(199803)21:3<318::aid-mus5>3.0.co;2-d)
225. Askew, L. J., An, K. N., Morrey, B. F., & Chao, E. Y. (1987). Isometric elbow strength in normal individuals. *Clinical orthopaedics and related research*, (222), 261–266.
226. Basmajian, J.V., De Luca, C.J. (1985). *Muscles Alive. Their Function Revealed by Electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins.
227. Sergio, L. E., & Ostry, D. J. (1995). Coordination of multiple muscles in two degree of freedom elbow movements. *Experimental brain research*, 105(1), 123–137. <https://doi.org/10.1007/BF00242188>
228. Stewart, O. J., Peat, M., & Yaworski, G. R. (1981). Influence of resistance, speed of movement, and forearm position on recruitment of the elbow flexors. *American journal of physical medicine*, 60(4), 165–179.
229. Williams, M., & Stutzman, L. (1959). Strength variation through the range of joint motion. *The Physical therapy review*, 39(3), 145–152. <https://doi.org/10.1093/ptj/39.3.145>
230. Grabiner, M. D., & Jaque, V. (1987). Activation patterns of the triceps brachii muscle during sub-maximal elbow extension. *Medicine and science in sports and exercise*, 19(6), 616–620.
231. Le Bozec, S., Maton, B., & Cnockaert, J. C. (1980). The synergy of elbow extensor muscles during static work in man. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 43(1), 57–68. <https://doi.org/10.1007/BF00421356>
232. Zhang, L. Q., & Nuber, G. W. (2000). Moment distribution among human elbow extensor muscles during isometric and submaximal extension. *Journal of biomechanics*, 33(2), 145–154. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(99\)00157-8](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(99)00157-8)

233. Currier D. P. (1972). Maximal isometric tension of the elbow extensors at varied positions. I. Assessment by cable tensiometer. *Physical therapy*, 52(10), 1043–1049. <https://doi.org/10.1093/ptj/52.10.1043>
234. Knapik, J. J., Wright, J. E., Mawdsley, R. H., & Braun, J. (1983). Isometric, isotonic, and isokinetic torque variations in four muscle groups through a range of joint motion. *Physical therapy*, 63(6), 938–947. <https://doi.org/10.1093/ptj/63.6.938>
235. Hislop, HJ, Montgomery, J. (1995). Daniel's and Worthingham's Muscle Testing: Techniques of Manual Examination. Philadelphia: WB Saunders.
236. Kendall, FP, McCreary, EK, Provance, PG. (1993). Muscle Testing and Function. Baltimore: Williams & Wilkins.
237. Romanes, GJE. (1981). Cunningham's Textbook of Anatomy. Oxford: Oxford University Press.
238. Smith, LK, Weiss, EL, Lehmkuhl, LD. (1996). Brunnstrom's Clinical Kinesiology. Philadelphia: FA Davis.
239. Sarrafian, S. K., Melamed, J. L., & Goshgarian, G. M. (1977). Study of wrist motion in flexion and extension. *Clinical orthopaedics and related research*, (126), 153–159.
240. Haładaj, R., Wysiadecki, G., Clarke, E., Polguj, M., & Topol, M. (2019). Anatomical Variations of the Pectoralis Major Muscle: Notes on Their Impact on Pectoral Nerve Innervation Patterns and Discussion on Their Clinical Relevance. *BioMed research international*, 2019, 6212039. <https://doi.org/10.1155/2019/6212039>
241. Matthews, WB. (1977). Aids to the examination of the peripheral nervous system. *J Neurol Sci*, 33(1-2), 299.
242. Nikolayev, S. G. (2019). Praktikum po klinicheskoy elektromiografii. Ivanovo: Ivan. gos. med. Akademiya [In russian].
243. David, Preston, Barbara, Shapiro. (2012). Electromyography and Neuromuscular . Disorders 3rd Edition.

244. Kimura, Jun. (2013). *Electrodiagnosis in Diseases of Nerve and Muscle: Principles and Practice*, 4 edn (2013; online edn, Oxford Academic, 1 Sept. 2013).
245. Meyer, R., Claussen, G. C., & Oh, S. J. (1995). Modified trichrome staining technique of the nerve to determine proximal nerve viability. *Microsurgery*, *16*(3), 129–132. <https://doi.org/10.1002/micr.1920160302>
246. Vathana, T., Nijhuis, T. H., Friedrich, P. F., Bishop, A. T., & Shin, A. Y. (2014). An experimental study to determine and correlate choline acetyltransferase assay with functional muscle testing after nerve injury. *Journal of neurosurgery*, *120*(5), 1125–1130. <https://doi.org/10.3171/2014.1.JNS122241>
247. Midha R. (2004). Nerve transfers for severe brachial plexus injuries: a review. *Neurosurgical focus*, *16*(5), E5. <https://doi.org/10.3171/foc.2004.16.5.6>
248. Tsymbaliuk, V. I, Gatskiy, A.A, Tretyak, I. B, Tsymbaliuk, I. V, Tretiakova, A. I., & Hao, J. (2022). Changing the concept of surgical treatment of the brachial plexus traumatic injuries . *Ukrainian Neurosurgical Journal*, *28*(1), 28–38. <https://doi.org/10.25305/unj.248108>
249. Gatskiy, A. A., Tretyak , I. B., Tsymbaliuk , V. I., Tsymbaliuk , I. V. ., & Jiang, H. (2022). Selective surgical reinnervation of the axillary nerve due to supraclavicular brachial plexus injury: outcomes of 42 consecutive cases, causes of inefficacy. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, *28*(4), 41–48. <https://doi.org/10.25305/unj.265680>
250. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tsymbaliuk, V. I., Jiang, H., Tsymbaliuk, I. V., & Tretiakova, A. I. (2022). Spinal accessory to suprascapular nerve transfer in brachial plexus injury: outcomes of anterior vs. posterior approach to the suprascapular nerve at associated ipsilateral spinal accessory nerve injury. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, *28*(2), 37–45. <https://doi.org/10.25305/unj.255792>;
251. Tretyak, I. B., Gatskiy, A. A., Kovalenko, I. V., & Bazik, A. N. (2018). To graft or not to graft? Median to radial nerve transfer in the forearm: an

- alternative approach to treat proximal radial nerve injuries. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, (3), 34–40. <https://doi.org/10.25305/unj.133273>;
252. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tsymbaliuk, V. I., & Tsymbaliuk, Y. V. (2022). Nerve transfers in a patient with asymmetrical neurological deficit following traumatic cervical spinal cord injury: simultaneous bilateral restoration of pinch grip and elbow extension. Illustrative case. *Journal of neurosurgery. Case lessons*, 4(14), CASE22301. <https://doi.org/10.3171/CASE22301>;
253. Gatskiy O. O., Tretyak, I. B. ., Tsymbaliuk, V. I., Tsymbaliuk , I. V. ., & Lemeshov O. S. (2023). Early and delayed surgical management of the pronator teres syndrome. Selective reinnervation of the anterior interosseous nerve aimed to restore pinch grip among patients with late clinical presentation. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 29(1), 8–19. <https://doi.org/10.25305/unj.268016>
254. Hatskyi, O., Tretiak, I., Tsymbaliuk, V., Bazik, O., & Tsymbaliuk, Y. (2021). Pathological Locomotor Phenomena in the Wrist Joint Associated with Transposition of the Pronator Teres at Dysfunction of the Muscles of the Posterior Surface of the Forearm Caused by Denervation Process of Traumatic Genesis. *Herald of Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, (3(110)), 35-47. <https://doi.org/10.37647/0132-2486-2021-110-3-35-47>
255. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., & Tsymbaliuk, Y. V. (2022). Transfer of the anterior C3 levator scapulae motor nerve branch for spinal accessory nerve injury: illustrative case. *Journal of neurosurgery. Case lessons*, 3(5), CASE21609. <https://doi.org/10.3171/CASE21609>
256. Gatskiy, OO, Tretyak, IB, Tsymbaliuk, VI, Tsymbaliuk, YV, Tretiakova, AI, Jiang, Hao. (2022). Surgical reinnervation of the dentate anterior muscle in long-term idiopathic neuropathy of the long thoracic nerve: a case report [in Ukrainian]. *Ukrainian Neurological Journal*. 3(4), 61-66. <http://doi.org/10.30978/UNJ2022-3-61>

257. Hatskyi, O., Tretiak, I., Tsymbaliuk, V., Chyrka, Y., Jiang, H., Tsymbaliuk, Y., & Tretiakova, A. (2023). Preconditions for the Successful Segmental Step-Wise Reconstruction of the Global Function of the Upper Extremity in Case of the Complete Brachial Plexus Injury (Case Report). *Herald of Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, (4(115), 24-35. <https://doi.org/10.37647/0132-2486-2022-115-4-24-35>;
258. Hatskyi, O., Tretiak, I., Tsymbaliuk, V., Y., Tsymbaliuk Y., Jiang, H. (2023). Utilization of the classic and modified transfer of the lower trapezius muscle (Elhassan transfer) as a primary or secondary method for surgical reconstruction of the abduction and external rotation of the shoulder among adult patients with brachial plexus injury. *Herald of Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, (1(116), 26-37. <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2023-116-1-26-37>.



**Список публікацій здобувача за темою дисертації**

1. Tsymbaliuk, V. I., Tretyak, I. B., Freidman, M. Y., & Gatskiy, A. A. (2016). Denervation and myotomy of muscles of the omotrpezoid triangle of the neck improve the outcomes of surgical treatment of laterocollis and torticollis subtypes of spasmodic torticollis: 58 case analysis. *Acta Neurochirurgica*, 158(6), 1159–1164. <https://doi.org/10.1007/s00701-016-2790-8>; (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальненні результатів, підготував статтю до друку).*

2. Tretyak, I. B., Gatskiy, A. A., Kovalenko, I. V., & Bazik, A. N. (2018). To graft or not to graft? Median to radial nerve transfer in the forearm: an alternative approach to treat proximal radial nerve injuries. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, (3), 34–40. <https://doi.org/10.25305/unj.133273>

*(Особистий внесок дисертанта: збір, аналіз та узагальнення результатів дослідження).*

3. Третьяк, І., Коваленко, І., Гацький, О., Третьякова, А. (2018). Лікування множинних поєднаних ушкоджень нервів, що супроводжуються значними дефектами, в проксимальних відділах верхньої кінцівки. *Вісник Вінницького національного медичного університету*, 22(1), 178-184. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22\(1\)-34](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22(1)-34).

*(Особистий внесок дисертанта Здобувачем розроблено критерії включення пацієнтів в дослідження, проведено клінічне спостереження, статистичну обробку отриманих даних та їх аналіз, підготовлено статтю до друку).*

4. Третьяк, І. Б., Гацький, О. О., Коваленко, І. В., Третьякова, А. І. (2018). Поєднані ушкодження нервових та сухожилково-м'язових структур на передпліччі, що супроводжуються їх значними дефектами: роль вимушеної транспозиції м'язів у відновленні основних функцій кисті. *Шпитальна хірургія*.

Журнал імені Л. Я. Ковальчука, (3), 18–27. <https://doi.org/10.11603/2414-4533.2018.3.9436>

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувачем розроблено критерії включення пацієнтів в дослідження, проведено клінічне спостереження, статистичну обробку отриманих даних та їх аналіз, підготовлено статтю до друку)*

5. Третяк, І., Білінський, П., Гацький, О., Коваленко, І. (2018). Особливості реконструкції ушкоджень променевого нерва при повторних остеосинтезах плечової кістки. *ТРАВМА*, 19(4), 51–57. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.4.19.2018.142106>.

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальнені результати, підготував статтю до друку).*

6. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tretiakova, A. I., & Tsymbaliuk, Y. V. (2019). Choosing the target wisely: partial tibial nerve transfer to extensor digitorum motor branches with simultaneous posterior tibial tendon transfer. Could this be a way to improve functional outcome and gait biomechanics? *Journal of Neurosurgery*, 1–9. Advance online publication. <https://doi.org/10.3171/2019.3.JNS182866> (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальнені результати, підготував статтю до друку).*

7. Tretiakova, A. I., Kovalenko, I. V., Tretyakov, R. A., Tsymbalyuk, YU. V., Chebotar'ova, L. L., Gatskiy, O. O., Tsymbalyuk, YA. V., Tretyak, I. B. (2020). Diagnostika i lecheniye proksimal'nykh tunnel'nykh nevropatiy verkhney konechnosti. *Novosti khirurgii*, 28(1), 62–73. [In russian] <https://dx.doi.org/10.18484/2305-0047.2020.1.62>; (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: збирання, аналіз та узагальнення результатів дослідження).*

8. Tsymbaliuk, V. I., Strafun, S. S., Tretyak, I. B., Tsymbaliuk, I. V., Gatskiy, A. A., Tsymbaliuk, Y. V., & Tatarchuk, M. M. (2021). Surgical treatment of

peripheral nerves combat wounds of the extremities. *Wiad Lek.*, 74(3 cz 2), 619–624. DOI:10.36740/WLek202103210; (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувачем проведено відбір хворих, клінічне їх обстеження, статистична обробка результатів, їх узагальнення, сформульовані висновки).*

9. Гацький, О., Третяк, І., Цимбалюк, В., Базік, О., Цимбалюк, Я. (2021). Патологічні рухові феномени в променево-зап'ястковому суглобі після транспозиції круглого пронатора при дисфункції м'язів задньої поверхні передпліччя, зумовленої денерваційним процесом травматичного генезу. *Вісник ортопедії, травматології та протезування*, 3(110), 35–47. <https://doi.org/10.37647/0132-2486-2021-110-3-35-47>

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувачем проведено аналіз літературних даних, сформульовано мету та дизайн дослідження, виконано клінічне спостереження та узагальнення результатів, підготовлено статтю до друку).*

10. Цимбалюк, В. І., Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, Я. В., Третьякова, А. І., Цзян, Х. (2022). Зміна концепції хірургічного лікування травматичних ушкоджень плечового сплетення. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 28(1), 28–38. <https://doi.org/10.25305/unj.248108>

*(Особистий внесок дисертанта Здобувачем проведено відбір хворих, клінічне їх обстеження, статистична обробка результатів, їх узагальнення, сформульовані висновки, концепція).*

11. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tsymbaliuk, V. I., Jiang, H., Tsymbaliuk, I. V., & Tretiakova, A. I. (2022). Spinal accessory to suprascapular nerve transfer in brachial plexus injury: outcomes of anterior vs. posterior approach to the suprascapular nerve at associated ipsilateral spinal accessory nerve injury. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 28(2), 37–45. <https://doi.org/10.25305/unj.255792>

*(Особистий внесок дисертанта Здобувачем розроблено методологію дослідження, проведено статистичну обробку, аналіз та узагальнення отриманих даних, оформлення статті).*

12. Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, В. І., Цимбалюк, Я. В., Цзян, Х. (2022). Селективна хірургічна реіннервація пахвового нерва у пацієнтів із наслідками травматичного ушкодження первинних стовбурів (надключичні) плечового сплетення: результати використання, аналіз причин неефективності. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 28(4), 41–48. <https://doi.org/10.25305/unj.265680>

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальнені результатів, підготував статтю до друку).*

13. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Tsymbaliuk, V. I., & Tsymbaliuk, Y. V. (2022). Nerve transfers in a patient with asymmetrical neurological deficit following traumatic cervical spinal cord injury: simultaneous bilateral restoration of pinch grip and elbow extension. Illustrative case. *Journal of neurosurgery. Case lessons*, 4(14), CASE22301. <https://doi.org/10.3171/CASE22301> (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта Здобувачем розроблено методологію дослідження, проведено статистичну обробку, аналіз та узагальнення отриманих даних, оформлення статті).*

14. Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, В. І., Цимбалюк, Я. В., Третьякова, А. І., Дзян, Хао. (2022). Хірургічна реіннервація переднього зубчастого м'яза при тривалій ідіопатичній нейропатії довгого грудного нерва: випадок із клінічної практики. *Український неврологічний журнал*, (3-4), 61-66. <http://doi.org/10.30978/UNJ2022-3-61>

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні дослідження, узагальненні результатів, підготував статтю до друку).*

15. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., & Tsymbaliuk, Y. V. (2022). Transfer of the anterior C3 levator scapulae motor nerve branch for spinal accessory nerve injury: illustrative case. *Journal of neurosurgery. Case lessons*, 3(5), CASE21609. <https://doi.org/10.3171/CASE21609>; (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні дослідження, узагальнені результатів, підготував статтю до друку).*

16. Гацький, О., Третяк, І., Цимбалюк, В., Чирка, Ю., Цзян, Х., Цимбалюк, Я., & Третьякова, А. (2022). Визначення передумов успішної етапної реконструкції сегментів верхньої кінцівки для відновлення її глобальної функції при тотальному варіанті ушкодження плечового сплетення (на основі випадку з клінічної практики). *Вісник ортопедії, травматології та протезування*, 4(115), 24–35. <https://doi.org/10.37647/0132-2486-2022-115-4-24-35>

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальнені результатів, підготував статтю до друку).*

17. Гацький, О. О., Третяк, І. Б., Цимбалюк, В. І., Цимбалюк, Я. В., Лемешов, О. С. (2023). Хірургічне лікування синдрому «круглого пронатора» у ранній та пізній період захворювання. Роль селективної невротизації переднього міжкісткового нерва у відновленні функції щипкового (кінцевого) захвату у пацієнтів із за давненою компресією серединного нерва. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 29 (1), 8–19. <https://doi.org/10.25305/unj.268016>

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальнені результатів, підготував статтю до друку).*

18. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. B., Bahm, J., Tsymbaliuk V. I., Tsymbaliuk Y. V. (2023). Redefining the Inclusion Criteria for Successful Steindler Flexorplasty Based on the Outcomes of a Case Series in Eight Patients. *Journal of brachial plexus and peripheral nerve injury*, 18(1), e32–e41. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1767672> (Scopus).

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувач брав участь у плануванні, проведенні дослідження, узагальнені результатів, підготував статтю до друку).*

19. Гацький, О., Третяк, І., Цимбалюк, В., Цимбалюк, Я., & Хао, Ц. (2023). Межі продуктивного використання класичної та модифікованої транспозиції за Elhassan у комплексному відновленні ефективного відведення та зовнішньої ротації плеча в ранній та пізній періоди травми плечового

сплетення. *TERRA ORTHOPAEDICA*, (1(116), 26-37. <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2023-116-1-26-37>

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувачем розроблено критерії включення пацієнтів в дослідження, проведено клінічне спостереження, статистичну обробку отриманих даних та їх аналіз, підготовлено статтю до друку)*

20. Gatskiy, A.A., & Tretyak, I.B. (2022). A Funhouse Mirror: Muscular Co-Constrictions as a Reflection of a Spontaneous Aberrant Regeneration of the Brachial Plexus Injury in the Adults – Anatomical Background, an Attempt to Classify and Their Clinical Relevance within the Reconstruction Strategie. In: Jörg Bahm (Ed.), *Brachial Plexus Injury – New Techniques and Ideas*. IntechOpen, London (UK), pp.129-144. (глава у монографії). <https://dx.doi.org/10.5772/intechopen.94695>

*(Особистий внесок дисертанта: Здобувачем проведено аналіз літературних даних, сформульовано мету та дизайн дослідження, виконано клінічне дослідження та узагальнено результати, підготовлено главу монографії до друку).*

Отримано патент на корисну модель:

Цимбалюк, В.І., Третяк, І.Б., Гацький, О.О., Кремець, К.Г., Коваленко, І.В., Цимбалюк, Я.В., винахідники. (2019). Державна установа «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України», патентовласник. Спосіб відновлення функції маломілкового нерва після тяжких травматичних ушкоджень нижньої кінцівки. Патент України на корисну модель № 134795. 2019 черв. 10.

**Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

1. Tretyak, I., Hatsky, O., Pichkur O. (2014, October 12–17). *Four donor concept — a way to restore general functions of upper limb at “global” brachial plexus palsy*. EANS 2014, E-Poster (P. 313, 2122), Prague, Czech Republic. *(Особистий внесок дисертанта: збір, аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовка доповіді).*

2. Третяк, І. Б., Гацький, О. О., Третякова, А. І., Коваленко, І. В. (2016, 15-16 вересня). *Хірургічне лікування ушкоджень плечового сплетіння*. Наук.-практ. конф. нейрохірургів України з між нар. участю «Травматичні ушкодження центральної та периферичної нервової системи», м. Кам'янець – Подільський, Україна. С. 76.

*(Особистий внесок дисертанта: збір, аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовка доповіді).*

3. Hatsky, O. (2018, 22–24 März). *To graft or not to graft? Median to radial nerve transfer in the forearm: an alternative approach to treat proximal radial nerve injuries*. Internationales Interdisziplinäres Plexussymposium, Wien, Österreich.

*(Особистий внесок дисертанта: збір, аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовка доповіді).*

4. Третяк, І. Б., Коваленко, І. В., Третяков, Р. А., Гацький, О. О., Третякова, А.І., Дзян, Хао, Базік, О. М. (2019, March 13–15). *Відновлення функції верхньої кінцівки при відриві корінців шийного потовщення*. Annual Conference of the Ukrainian Association of Neurosurgeons «The Ways to Improve the Functional Results of Treatment in Neurosurgery», Polyanytsya village, Bukovel, Ukraine. С. 59.

*(Особистий внесок дисертанта: збирання, аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовка доповіді).*

5. Hatsky, O. (2023, 11–12 Februar). *A paradigm shift in PNS surgery a single centre centre in Kyiv, Ukraine*. Internationales Interdisziplinäres Plexussymposium, Uniklinik RWTH Aachen, Aachen, Deutschland.

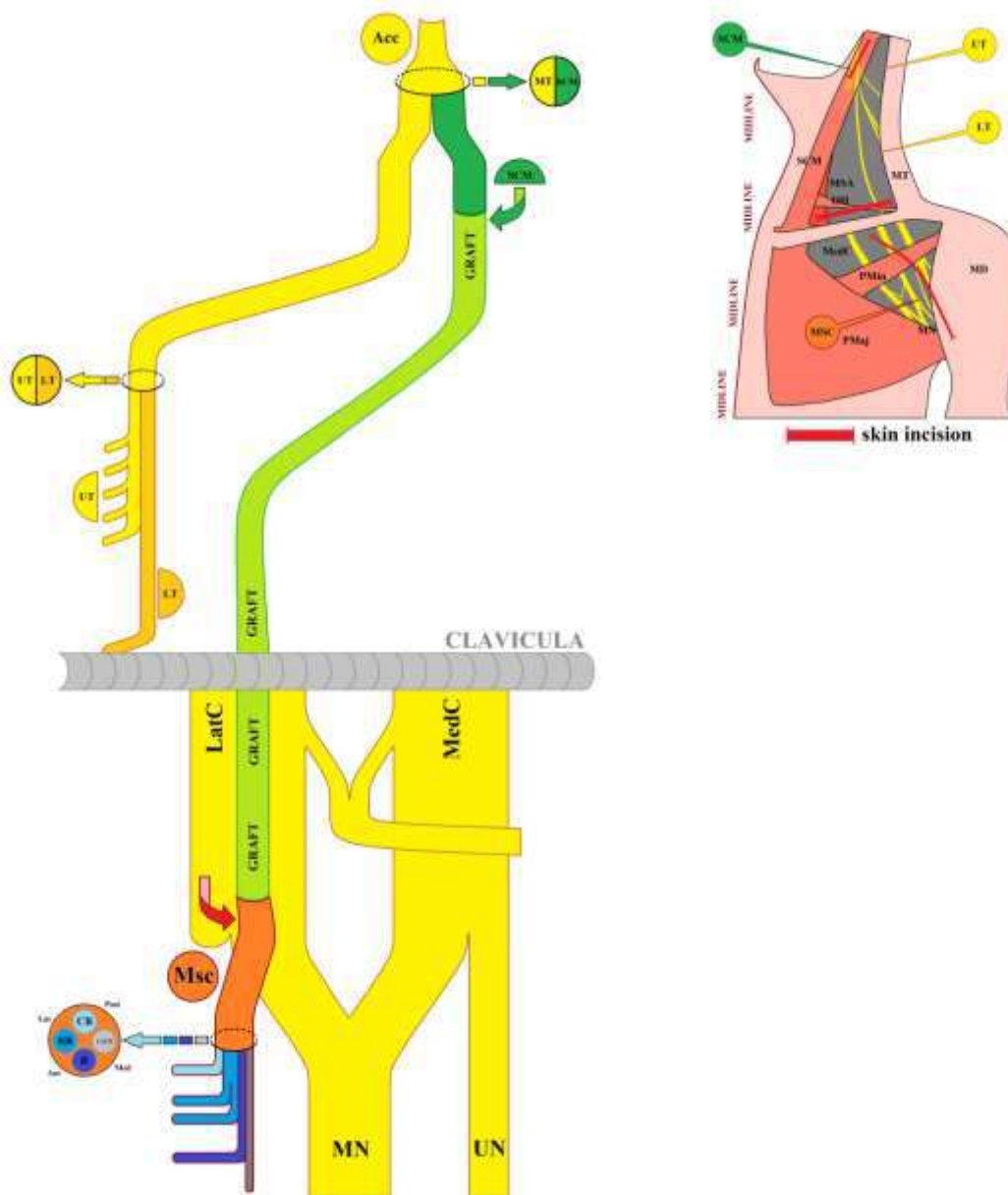
*(Особистий внесок дисертанта: збирання, аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовка доповіді).*

6. Hatsky, O. (2023, April 1–2). *A paradigm shift in PNS surgery a single centre centre in Kyiv, Ukraine*. Military Surgery Forum in Riga, Riga, Latvia.

*(Особистий внесок дисертанта: збір, аналіз та узагальнення результатів дослідження, підготовка доповіді).*

## ДОДАТОК Б.1

Схематичне зображення методу неселективної трансаксілярної реіннервації дзьобо-плечового м'язу, двоголового м'язу плеча та плечового м'язу за рахунок *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*



Acc – n. accessorius, SCM – ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, MT – ramus trapezoideus nervi accessorii, UT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars descendens m. trapezius (upper trapezius), LT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars ascendens m. trapezius (lower trapezius), LatC – fasciculus lateralis, MedC – fasciculus medialis, Pct – n. pectoralis, Msc – n. musculocutaneus,

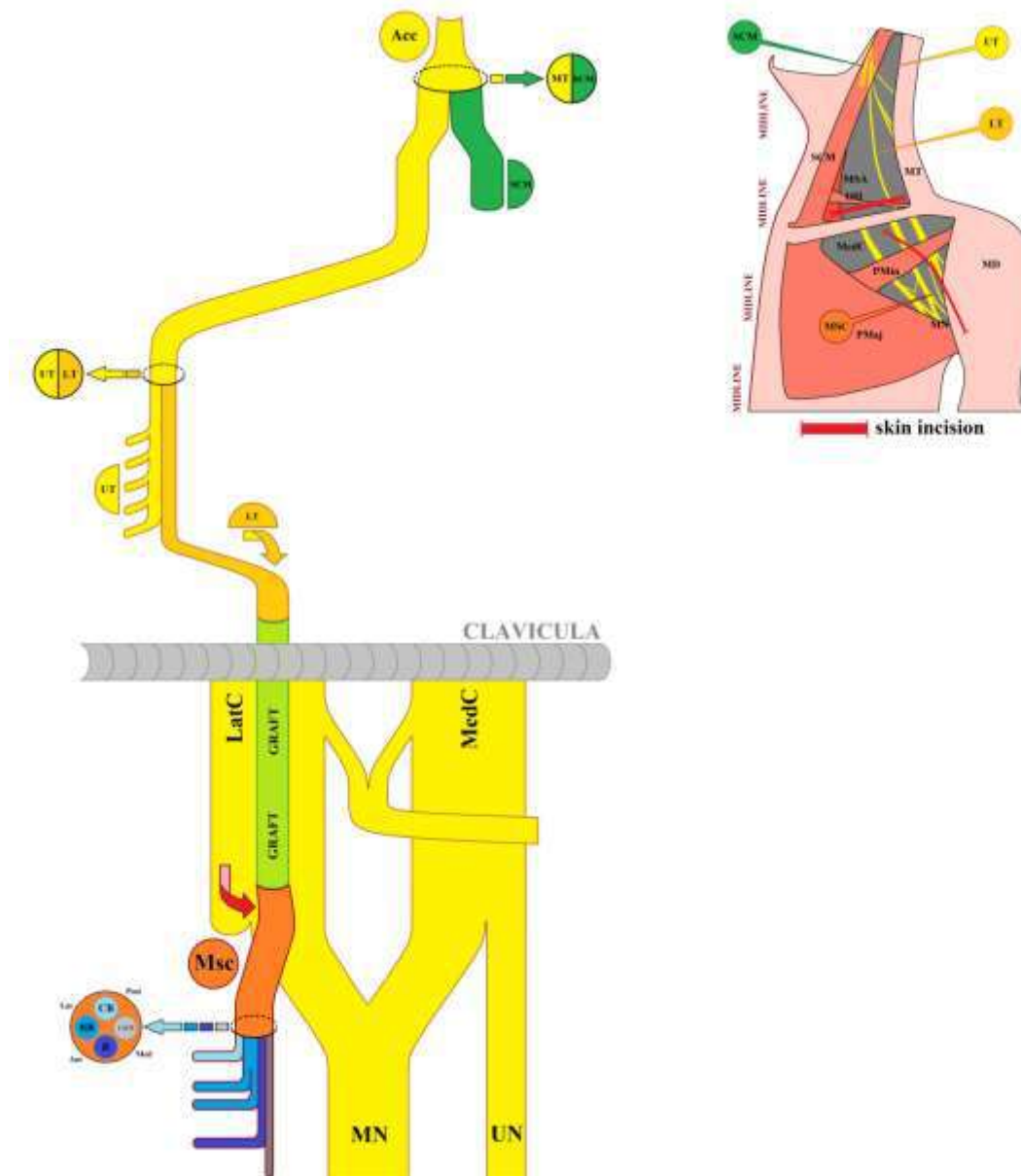


MN – n. medianus, UN – n. ulnaris, Ax – n. axillaris, CB – волокнини до m. coracobrachialis в стовбурі n. musculocutaneus, BB – волокнини до m. biceps brachii в стовбурі n. musculocutaneus, B – волокнини до m. brachialis в стовбурі n. musculocutaneus, LACB – волокнини n. cutaneus antebrachii lateralis в стовбурі n. musculocutaneus, graft – аутологічний нервовий трансплантат.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає інтерпозицію одного аутологічного нервового трансплантату з усередненою довжиною 13,5 см (згідно із даними, що були отримані в ході дослідження).**

## ДОДАТОК Б.2

Схематичне зображення методу неселективної трансаксілярної реіннервації дзьобо-плечового м'язу, двоголового м'язу плеча та плечового м'язу за рахунок *ramus trapezoideus nervi accessorii* до *pars ascendens m. trapezius*



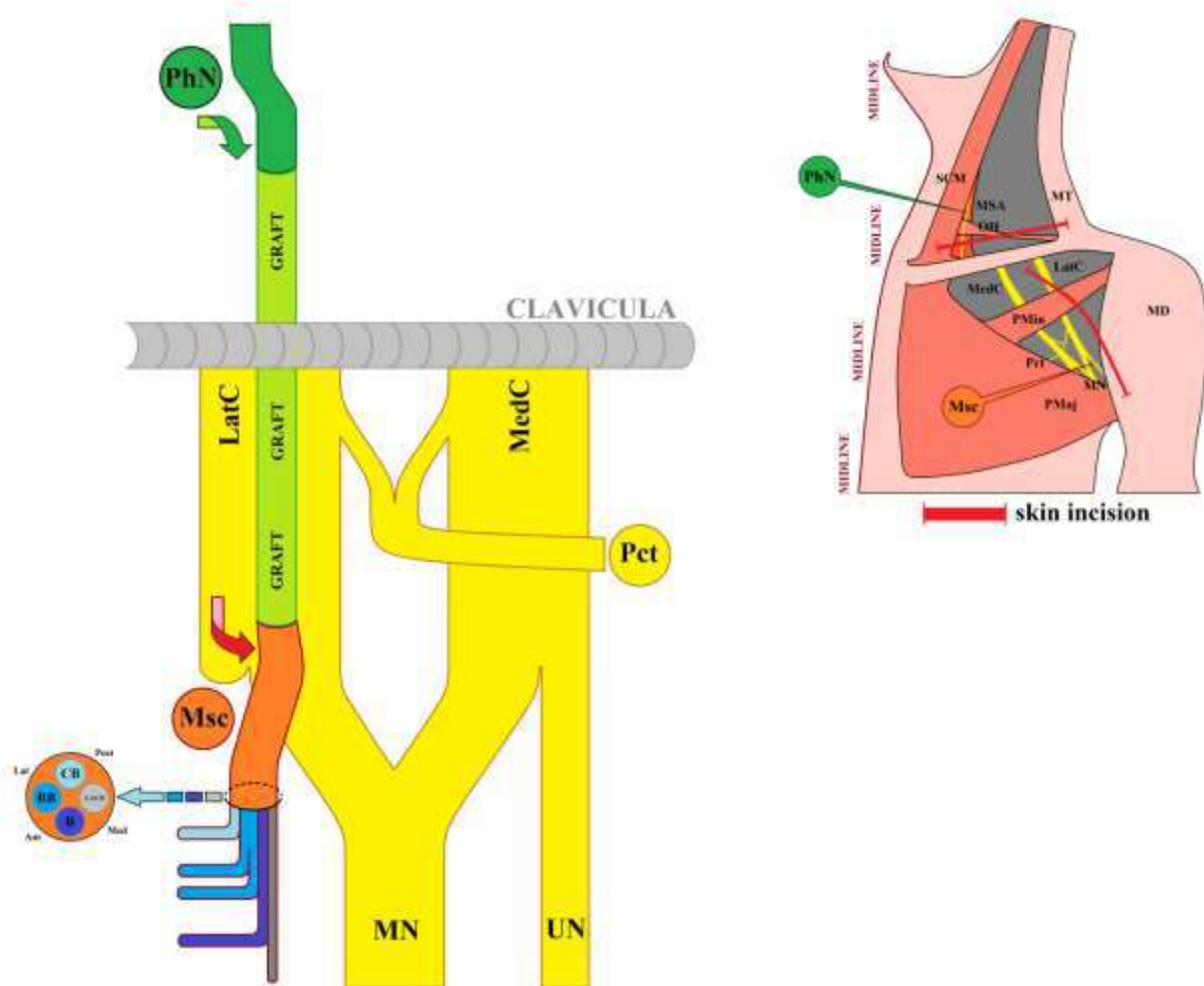
Acc – n. accessorius, SCM – ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, MT – ramus trapezoideus nervi accessorii, UT – ramus trapezoideus nervi accessorii до *pars descendens m. trapezius* (upper trapezius), LT – ramus trapezoideus nervi accessorii до *pars ascendens m. trapezius* (lower trapezius), LatC – fasciculus

lateralis, MedC – fasciculus medialis, Pct – n. pectoralis, Msc – n. musculocutaneus, MN – n. medianus, UN – n. ulnaris, Ax – n. axillaris, СВ – волокнини до m. coracobrachialis в стовбурі n. musculocutaneus, ВВ – волокнини до m. biceps brachii в стовбурі n. musculocutaneus, В – волокнини до m. brachialis в стовбурі n. musculocutaneus, ЛАСВ – волокнини n. cutaneus antebrachii lateralis в стовбурі n. musculocutaneus, graft – аутологічний нервовий трансплантат.

**ВВ!** Використання даного нерва-донора передбачає інтерпозицію одного аутологічного нервового трансплантату з усередненою довжиною 9,5 см (згідно із даними, що були отримані в ході дослідження).

## ДОДАТОК Б.3

Схематичне зображення методу неселективної трансаксілярної реіннервації дзьобо-плечового м'язу, двоголового м'язу плеча та плечового м'язу за рахунок *nervus phrenicus*



PhN – *nervus phrenicus*, LatC – fasciculus lateralis, MedC – fasciculus medialis, Pct – *n. pectoralis*, Msc – *n. musculocutaneus*, MN – *n. medianus*, UN – *n. ulnaris*, Ax – *n. axillaris*, CB – волокнини до *m. coracobrachialis* в стовбурі *n. musculocutaneus*, BB – волокнини до *m. biceps brachii* в стовбурі *n. musculocutaneus*, B – волокнини до *m. brachialis* в стовбурі *n. musculocutaneus*, LACB – волокнини *n. cutaneus antebrachii lateralis* в стовбурі *n. musculocutaneus*, graft – аутологічний нервовий трансплантат.

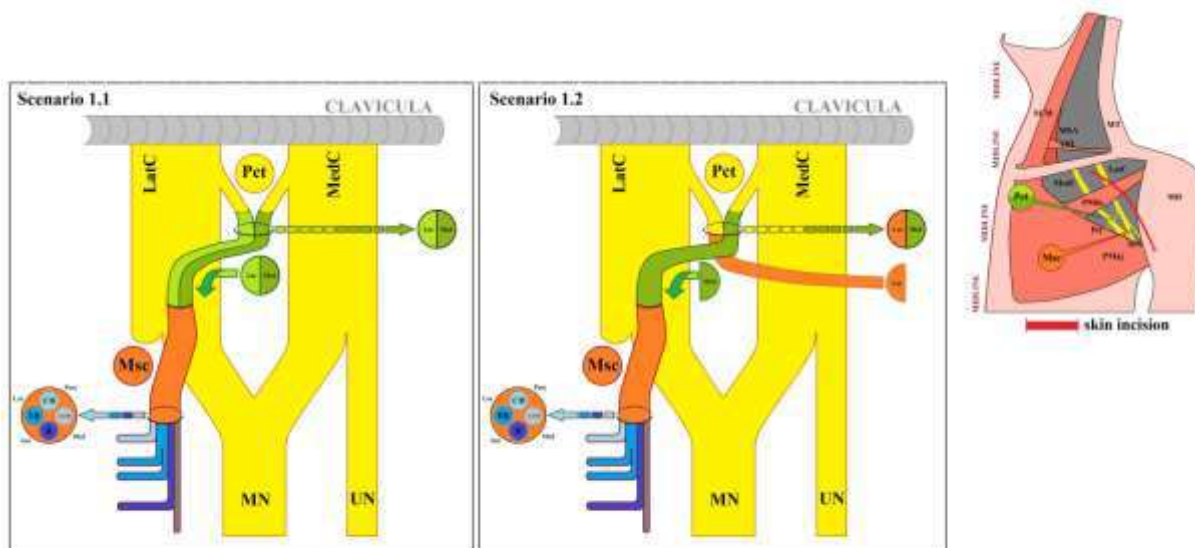
**NB! Використання даного нерва-донора передбачає інтерпозицію одного аутологічного нервового трансплантату з усередненою довжиною 9,5 см (згідно із даними, що були отримані в ході дослідження).**

## ДОДАТОК Б.4

Схематичне зображення методу неселективної трансаксілярної реіннервації дзьобо-плечового м'язу, двоголового м'язу плеча та плечового м'язу за рахунок *n. pectoralis lateralis* або *n. pectoralis communis*.

Використання *n. pectoralis communis* (Scenario 1.1) у якості нерва-донора.

Використання *n. pectoralis medialis* (Scenario 1.2) у якості нерва-донора

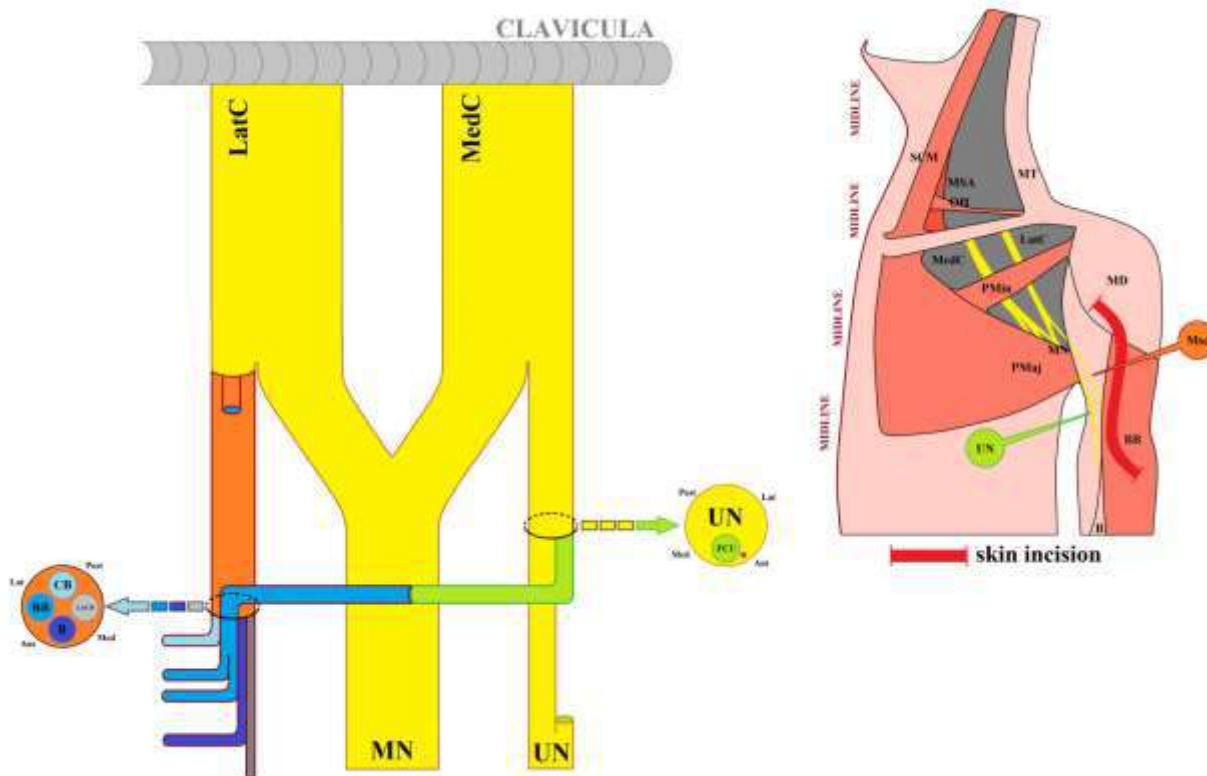


PhN – nervus phrenicus, LatC – fasciculus lateralis, MedC – fasciculus medialis, Pct – *n. pectoralis*, Lat – *n. pectoralis lateralis*, Med – *n. pectoralis medialis*, Msc – *n. musculocutaneus*, MN – *n. medianus*, UN – *n. ulnaris*, Ax – *n. axillaris*, CB – волокнини до *m. coracobrachialis* в стовбурі *n. musculocutaneus*, BB – волокнини до *m. biceps brachii* в стовбурі *n. musculocutaneus*, B – волокнини до *m. brachialis* в стовбурі *n. musculocutaneus*, LACB – волокнини *n. cutaneus antebrachii lateralis* в стовбурі *n. musculocutaneus*.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає пряму коаптацію нервів донора та акцептора.**

## ДОДАТОК Б.5

Схематичне зображення методу селективної реіннервації двоголового м'язу плеча за рахунок волокнини *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris*

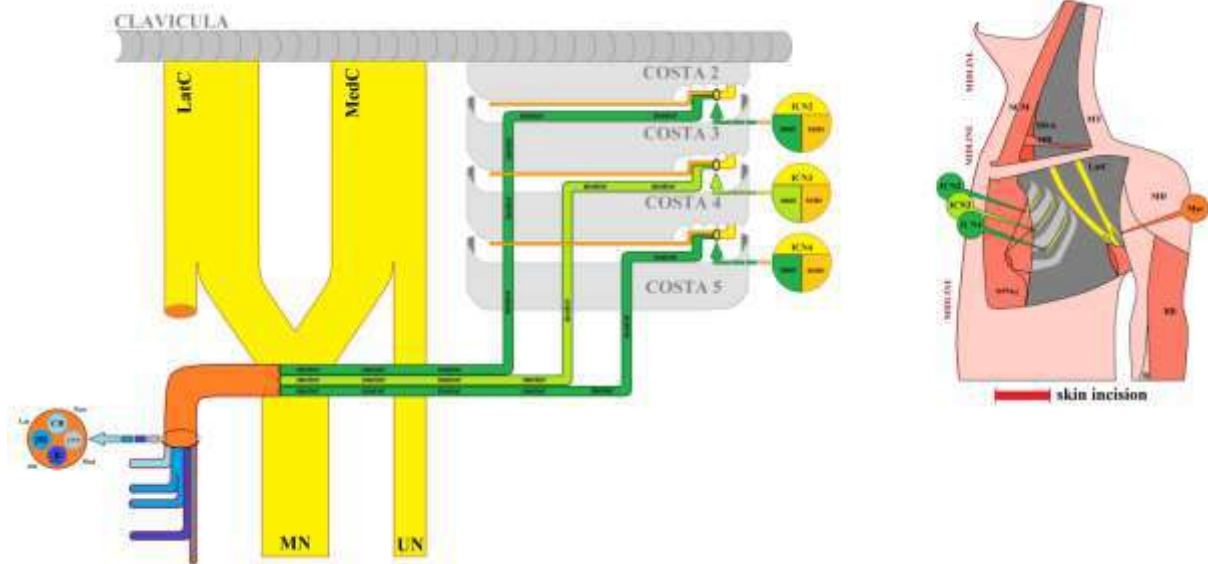


LatC – fasciculus lateralis, MedC – fasciculus medialis, Msc – n. musculocutaneus, MN – n. medianus, UN – n. ulnaris, CB – волокнини до *m. coracobrachialis* в стовбурі *n. musculocutaneus*, BB – волокнини до *m. biceps brachii* в стовбурі *n. musculocutaneus*, B – волокнини до *m. brachialis* в стовбурі *n. musculocutaneus*, LACB – волокнини *n. cutaneus antebrachii lateralis* в стовбурі *n. musculocutaneus*, FCU – волокнини *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris*.

**NB!** Використання даного нерва-донора передбачає пряму коаптацію нервів донора та акцептора.

## ДОДАТОК Б.6

Схематичне зображення методу селективної реіннервації двоголового м'язу  
плеча за рахунок nn. intercostales 2-3-4



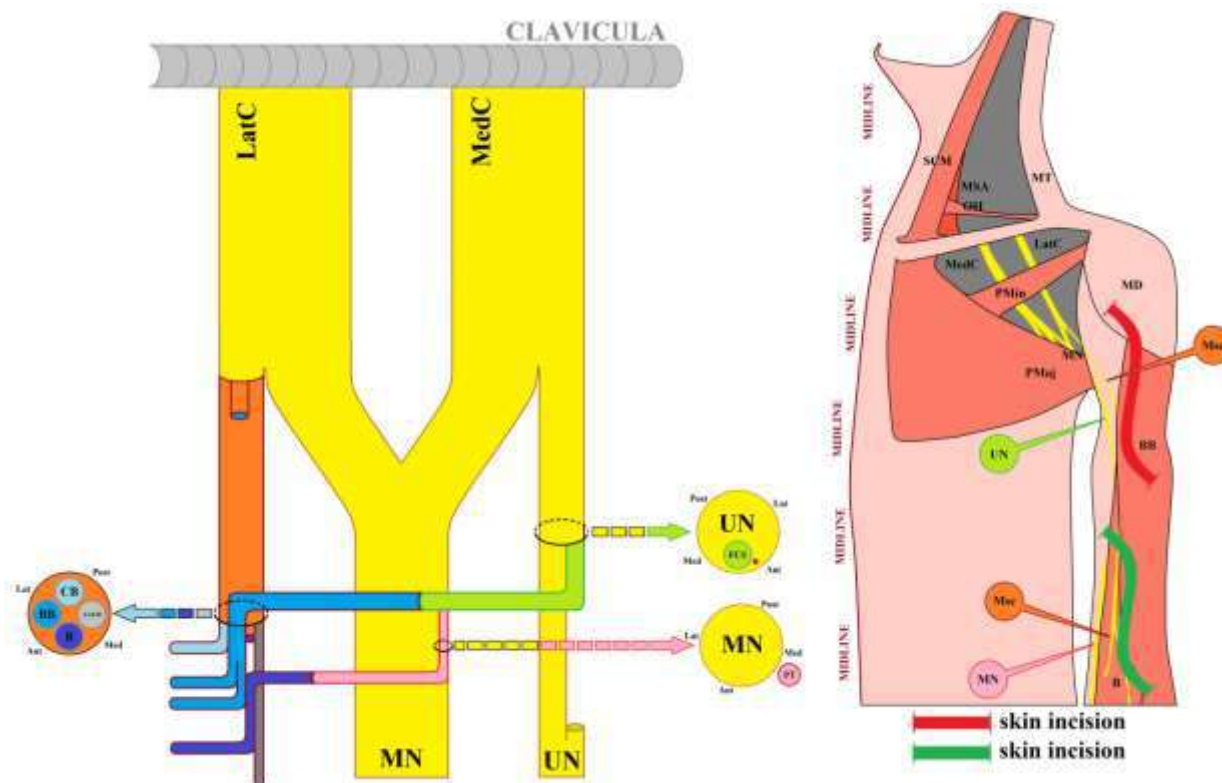
LatC – fasciculus lateralis, MedC – fasciculus medialis, Msc – n. musculocutaneus, MN – n. medianus, UN – n. ulnaris, СВ – волокнини до m. coracobrachialis в стовбурі n. musculocutaneus, ВВ – волокнини до m. biceps brachii в стовбурі n. musculocutaneus, В – волокнини до m. brachialis в стовбурі n. musculocutaneus, ICN2 – n. intercostalis 2, ICN3 – n. intercostalis 3, ICN4 – n. intercostalis 4, mot – ramus anterior nervi intercostalis (рухова порція), sens – ramus lateralis nervi intercostalis (чутлива порція), LACB – волокнини n. cutaneus antebrachii lateralis в стовбурі n. musculocutaneus.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає пряму коаптацію нервів донора та акцептора.**



## ДОДАТОК Б.7

Схематичне зображення модифікованого методу «double nerve transfer»

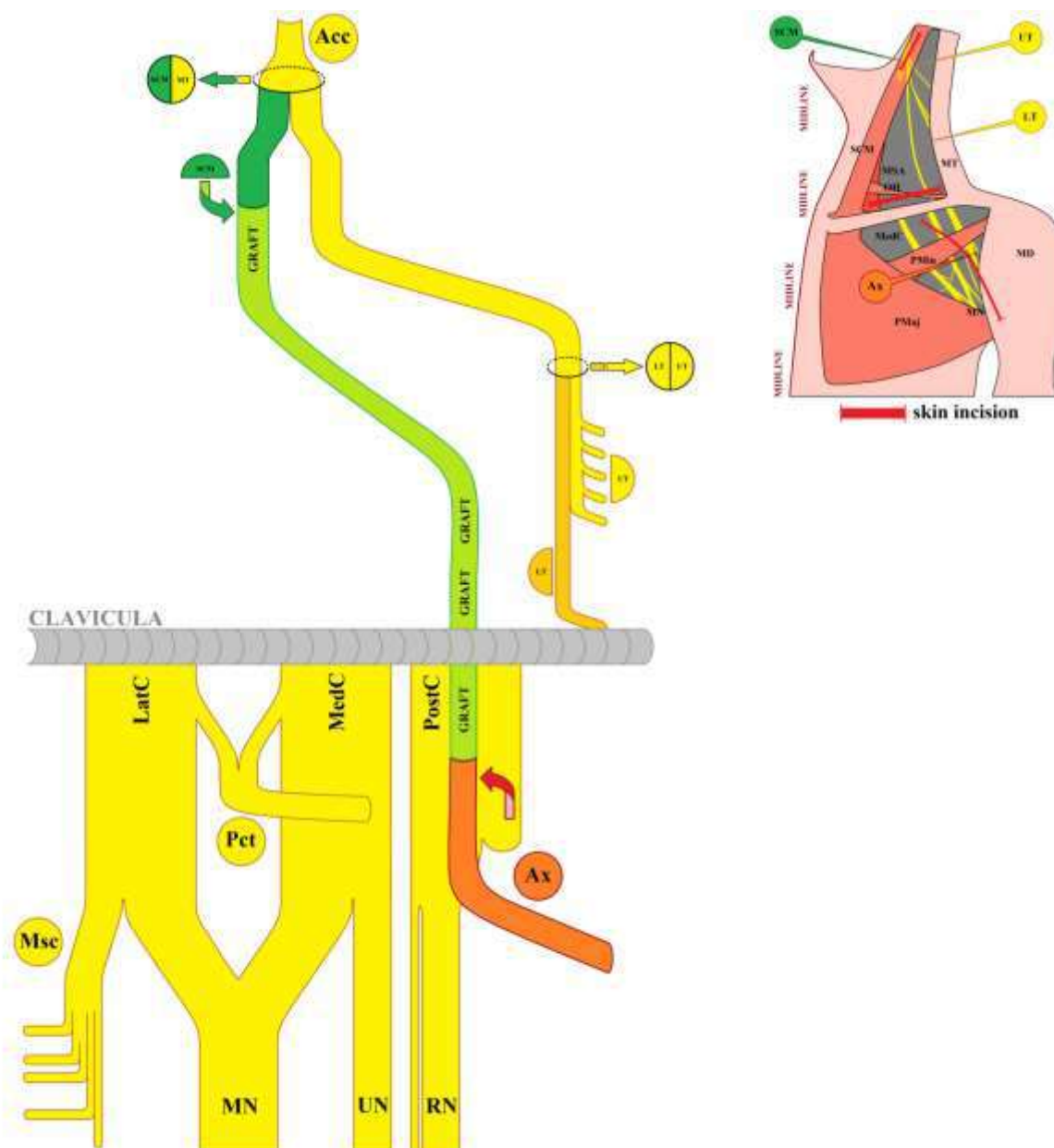


LatC – fasciculus lateralis, MedC – fasciculus medialis, Msc – n. musculocutaneus, MN – n. medianus, UN – n. ulnaris, CB – волокнини до m. coracobrachialis в стовбурі n. musculocutaneus, BB – волокнини до m. biceps brachii в стовбурі n. musculocutaneus, B – волокнини до m. brachialis в стовбурі n. musculocutaneus, LACB – волокнини n. cutaneus antebrachii lateralis в стовбурі n. musculocutaneus, FCU – волокнини n. ulnaris до m. flexor carpi ulnaris, PT – проксимальна гілка n. medianus до caput superficiale m. pronator teres.

**NB! Використання даних нервів-донорів передбачає пряму коаптацію нервів-донорів та акцепторів.**

## ДОДАТОК В.1

Схематичне зображення методу неселективної трансаксілярної реіннервації дельтоподібного м'язу за рахунок *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*



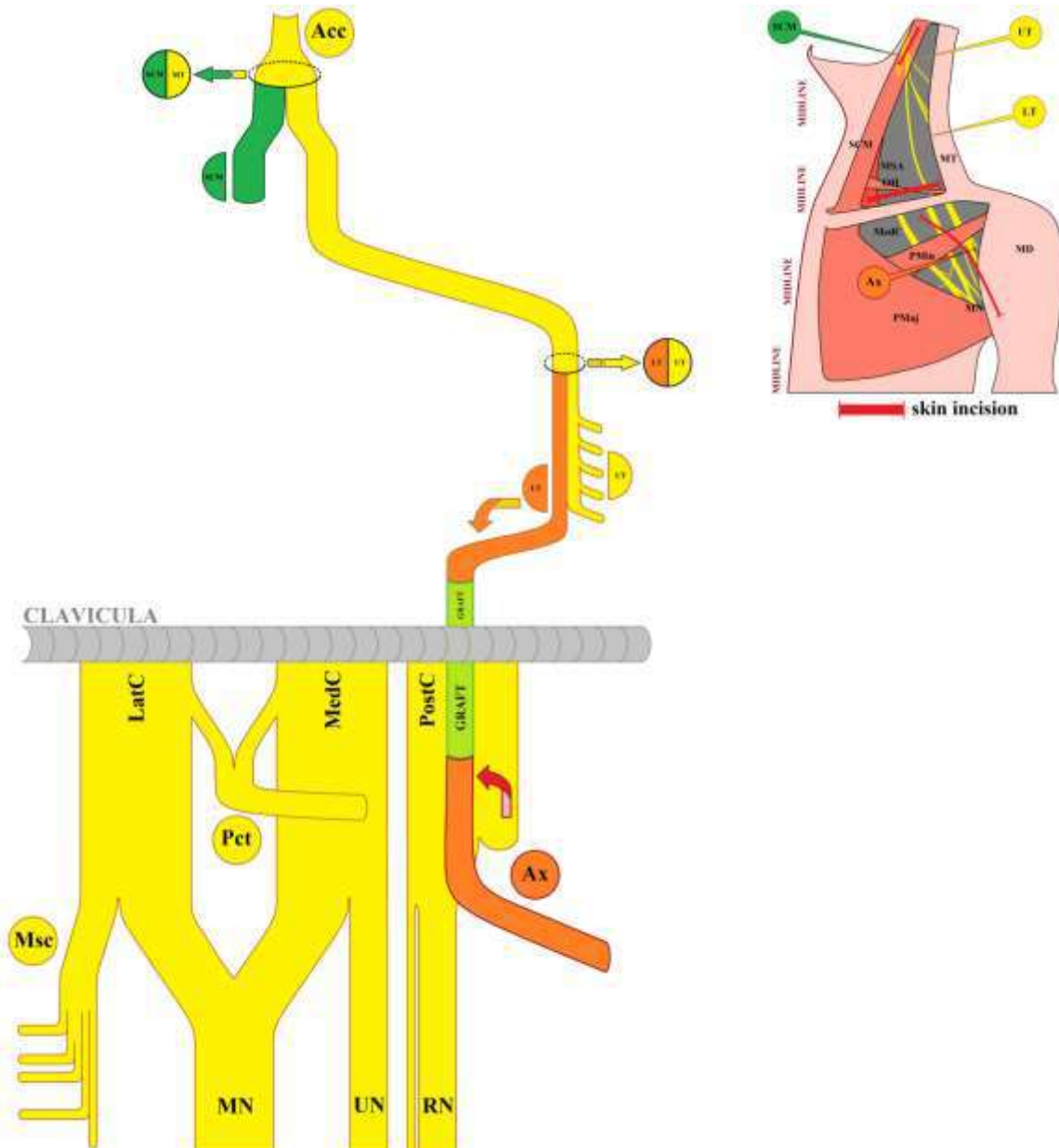
Acc – n. accessorius, SCM – ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, MT – ramus trapezoideus nervi accessorii, UT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars descendens m. trapezius (upper trapezius), LT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars ascendens m. trapezius (lower trapezius), LatC – fasciculus lateralis, MedC – fasciculus medialis, PostC – fasciculus posterior, Pct – n. pectoralis,

Msc – n. musculocutaneus, MN – n. medianus, UN – n. ulnaris, Ax – n. axillaris, graft – аутологічний нервовий трансплантат.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає інтерпозицію одного аутологічного нервового трансплантату з усередненою довжиною 14,5 см (згідно із даними, що були отримані в ході дослідження).**

## ДОДАТОК В.2

Схематичне зображення методу неселективної трансаксілярної реіннервації дельтоподібного м'язу за рахунок *ramus trapezoideus nervi accessorii*



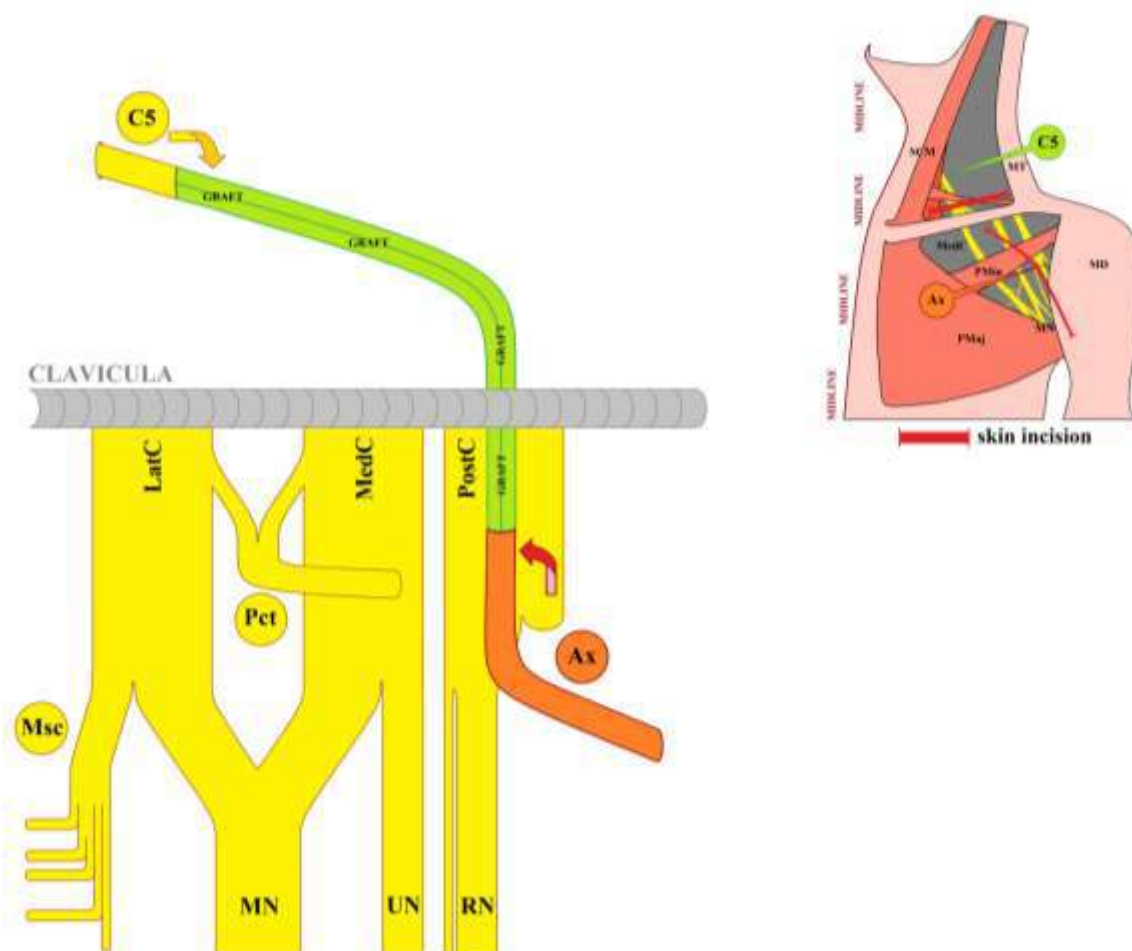
Acc – n. accessorius, SCM – ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, MT – ramus trapezoideus nervi accessorii, UT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars descendens m. trapezius (upper trapezius), LT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars ascendens m. trapezius (lower trapezius), LatC – fasciculus lateralis, MedC – fasciculus medialis, PostC – fasciculus posterior, Pct – n. pectoralis,

Msc – n. musculocutaneus, MN – n. medianus, UN – n. ulnaris, Ax – n. axillaris, graft – аутологічний нервовий трансплантат.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає інтерпозицію одного аутологічного нервового трансплантату з усередненою довжиною 9,5 см (згідно із даними, що були отримані в ході дослідження).**

## ДОДАТОК В.3

Схематичне зображення методу неселективної трансаксілярної реіннервації дельтоподібного м'язу за рахунок *ramus anterior nervi spinalis C5*

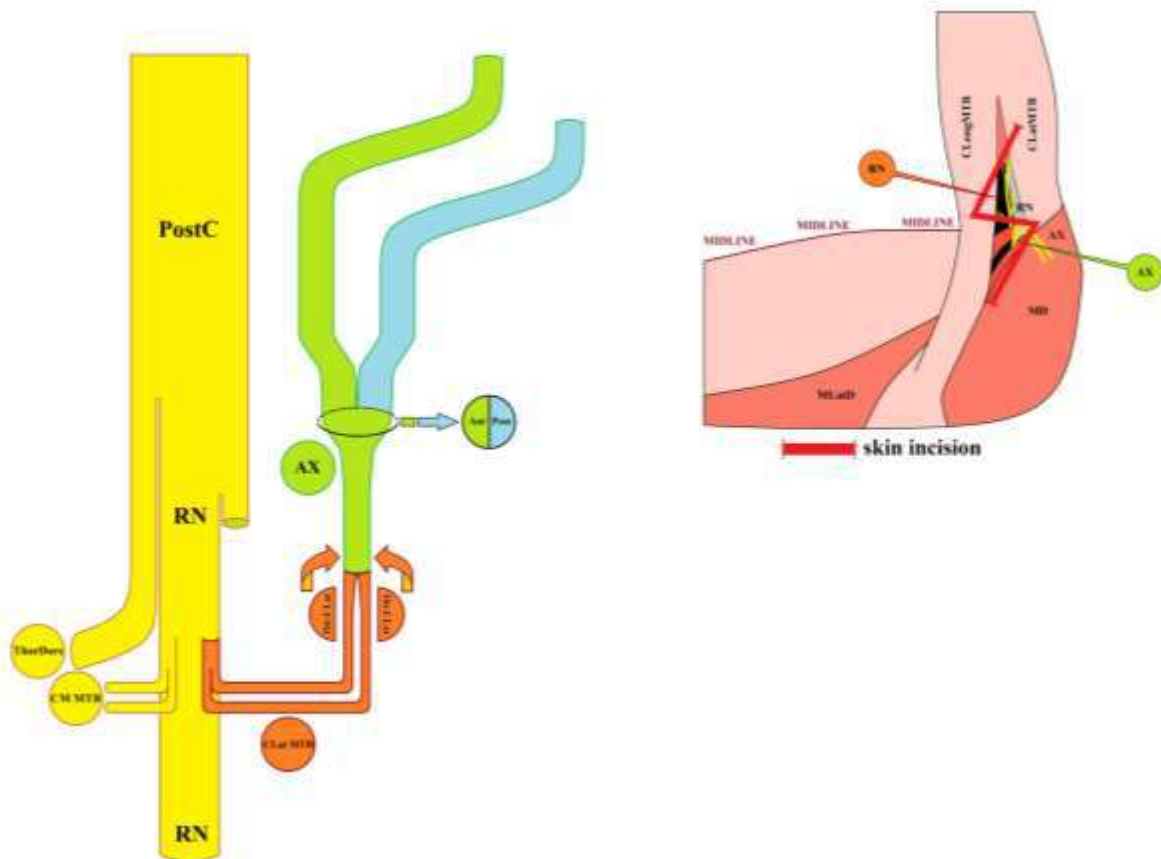


C5 – ramus anterior nervi spinalis C5; LatC – fasciculus lateralis, MedC – fasciculus medialis, PostC – fasciculus posterior, Pct – n. pectoralis, Msc – n. musculocutaneus, MN – n. medianus, UN – n. ulnaris, Ax – n. axillaris, graft – аутологічні нервові трансплантати.

**ВВ!** Використання даного нерва-донора передбачає інтерпозицію двох або трьох аутологічних нервових трансплантатів з усередненою довжиною 11,5 см (згідно із даними, що були отримані в ході дослідження).

## ДОДАТОК В.4

Схематичне зображення методу неселективної реіннервації дельтавидного м'язу доступом по задній поверхні плеча (задній доступ) за рахунок *rami musculares capitis lateralis musculi tricipitis brachii*

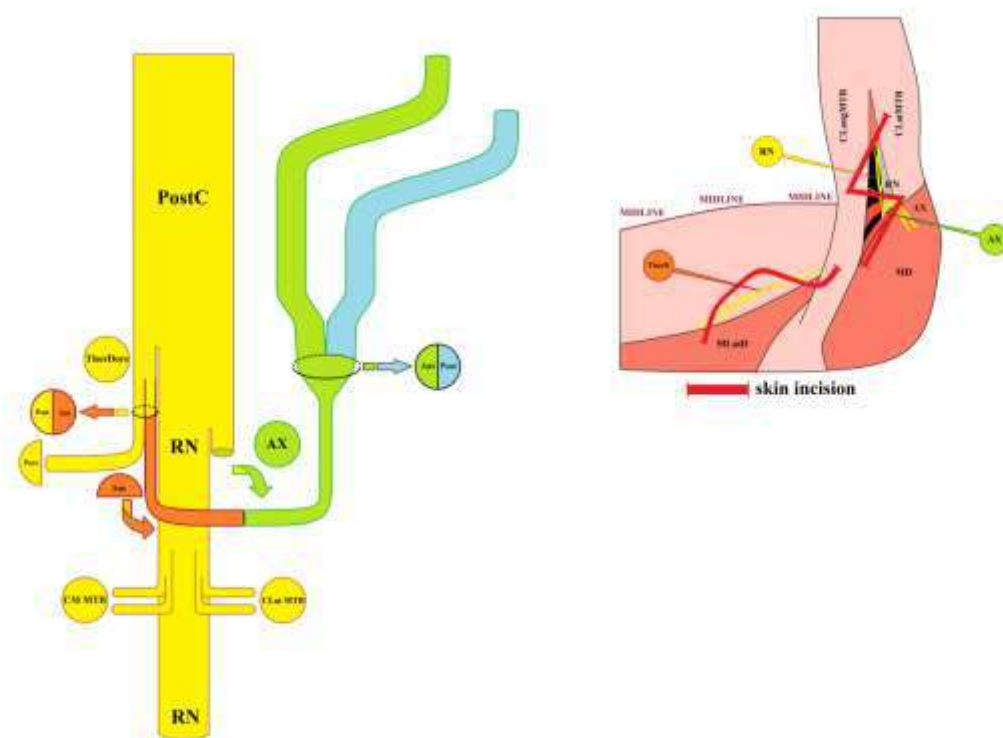


Ax – n. axillaris, Ant – передня гілка n. axillaris, Post – задня гілка n. axillaris, CLat MTB – caput laterale musculi tricipitis brachii, 1brCLat – одна гілка до caput laterale musculi tricipitis brachii, CM MTB – caput mediale musculi tricipitis brachii, ThorDors – n. thoracodorsalis, RN – n. radialis, PostC – fasciculus posterior, MD – m. deltoideus, MLatD – m. latissimus dorsi.

**NB! Використання даних нервів-донорів передбачає пряму коаптацію нервів-донорів та акцептора.**

## ДОДАТОК В.5

Схематичне зображення методу неселективної реіннервації дельтовидного м'язу доступом по задній поверхні плеча (задній доступ) за рахунок передньої гілки *n.thoracodorsalis*



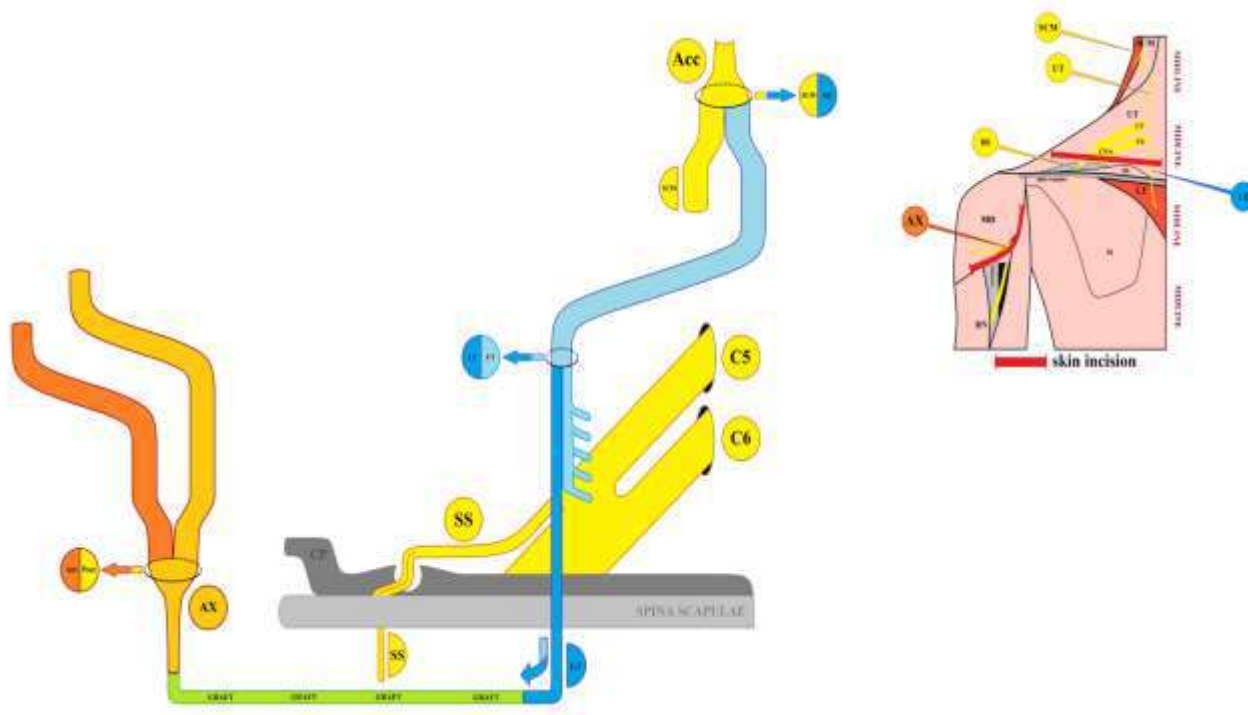
AX – n. axillaris, Ant – передня гілка n. axillaris (позначена голубим), Post – задня гілка n. axillaris (позначена зеленим), Ant – передня гілка n. thoracodorsalis (позначена помаранчевим), CLat MTB – caput laterale musculi tricipitis brachii, CM MTB – caput mediale musculi tricipitis brachii, ThorDors – n. thoracodorsalis, RN – n. radialis, PostC – fasciculus posterior, MD – m. deltoideus, MLatD – m. latissimus dorsi.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає пряму коаптацію нервів донора та акцептора.**



## ДОДАТОК В.6

Схематичне зображення методу неселективної реіннервації дельтовидного м'язу доступом по задній поверхні плеча (задній доступ) за рахунок *ramus trapezoideus nervi accessorii*

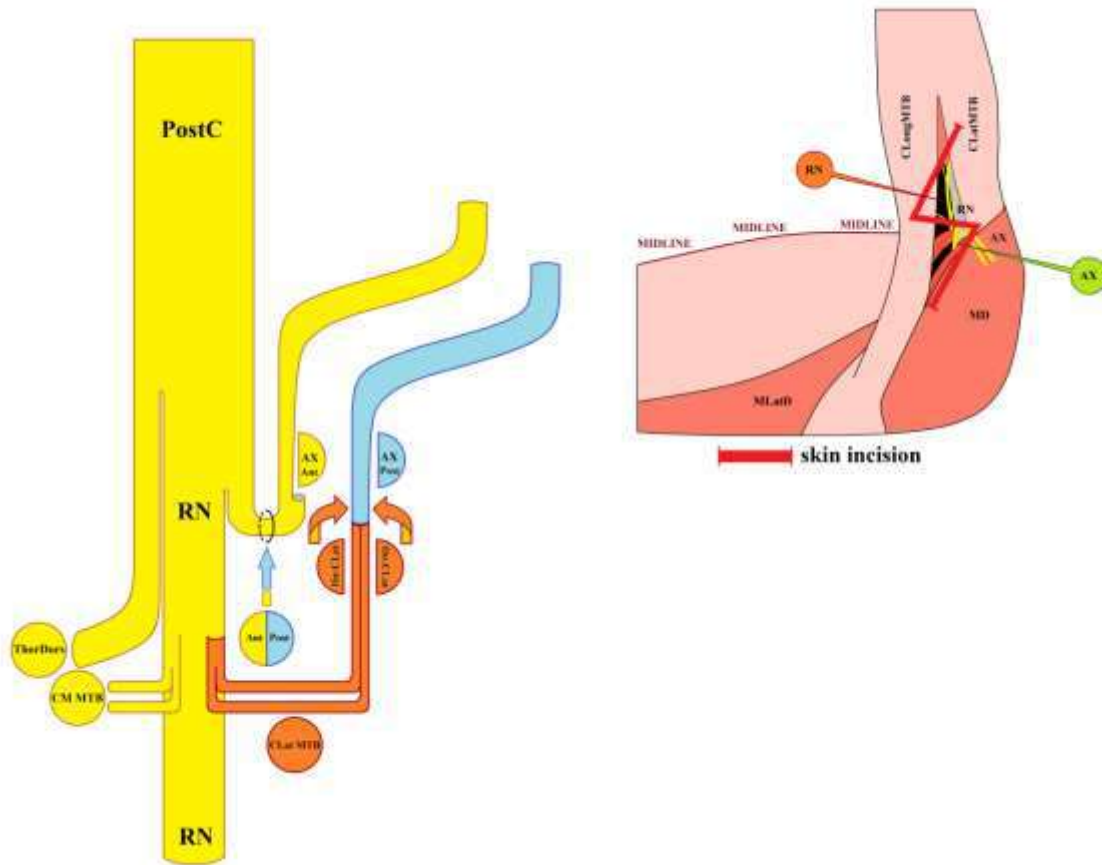


Acc – n. accessorius, SCM – ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, MT – ramus trapezoideus nervi accessorii, UT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars descendens m. trapezius (upper trapezius), LT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars ascendens m. trapezius (lower trapezius), SS – n. suprascapularis, AX – n. axillaris, Ant – передня гілка n. axillaris (позначена помаранчевим), Post – задня гілка n. axillaris (позначена жовтим), graft – аутологічний нервовий трансплантат, CP – processus coracoideus, MD – m. deltoideus.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає інтерпозицію одного аутологічного нервового трансплантату з усередненою довжиною 9,5 см (згідно із даними, що були отримані в ході дослідження).**

## ДОДАТОК В.7

Схематичне зображення методу селективної реіннервації дельтовидного м'язу доступом по задній поверхні плеча (задній доступ) за рахунок *rami musculares capitis lateralis musculi tricipitis brachii*

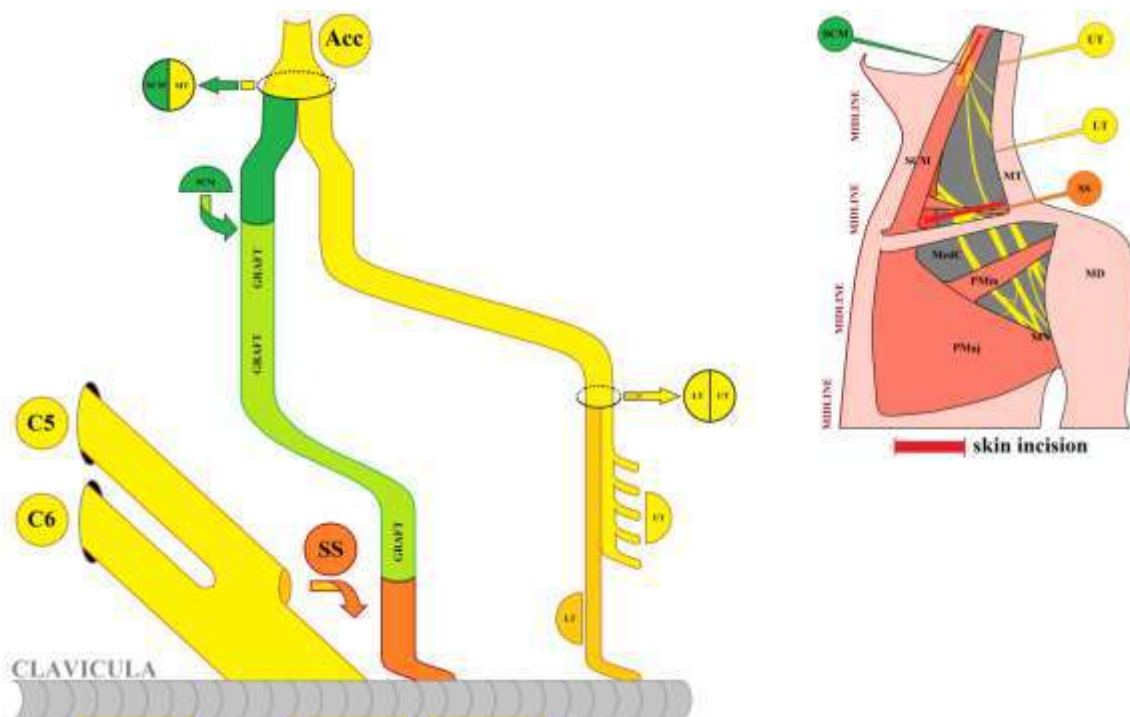


AX Ant – передня гілка n. axillaris, AX Post – задня гілка n. axillaris, CLat MTB – caput laterale musculi tricipitis brachii, 1brCLat – одна гілка до caput laterale musculi tricipitis brachii, CM MTB – caput mediale musculi tricipitis brachii, ThorDors – n. thoracodorsalis, RN – n. radialis, PostC – fasciculus posterior, MD – m. deltoideus, MLatD – m. latissimus dorsi.

**NB! Використання даних нервів-донорів передбачає пряму коаптацію нервів-донорів та акцептора.**

## ДОДАТОК Г.1

Схематичне зображення методу реіннервації надостьового та підостьового м'язів надключичним доступом за рахунок *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*

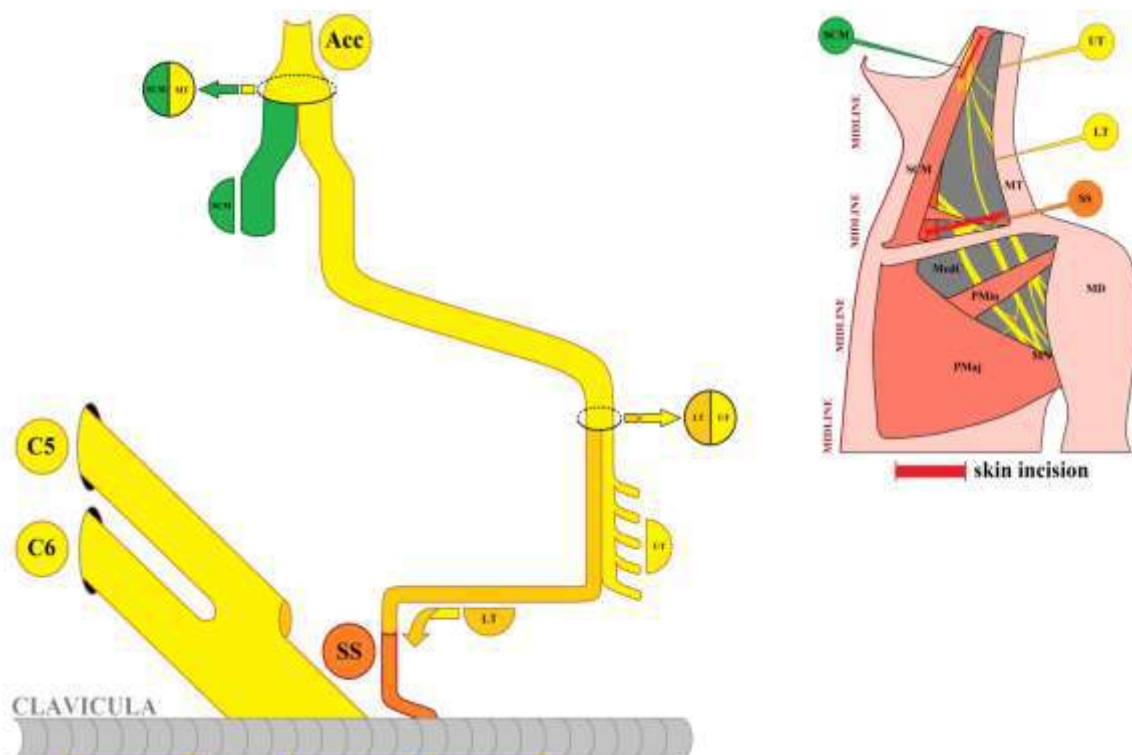


Acc – n. accessorius, SCM – ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, MT – ramus trapezoideus nervi accessorii, UT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars descendens m. trapezius (upper trapezius), LT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars ascendens m. trapezius (lower trapezius), SS – n. suprascapularis, graft – аутологічний нервовий трансплантат.

**NB!** Використання даного нерва-донора передбачає інтерпозицію одного аутологічного нервового трансплантату з усередненою довжиною 9,5 см (згідно із даними, що були отримані в ході дослідження).

## ДОДАТОК Г.2

Схематичне зображення методу реіннервації надостьового та підостьового м'язів надключичним доступом за рахунок *ramus trapezoideus nervi accessorii*

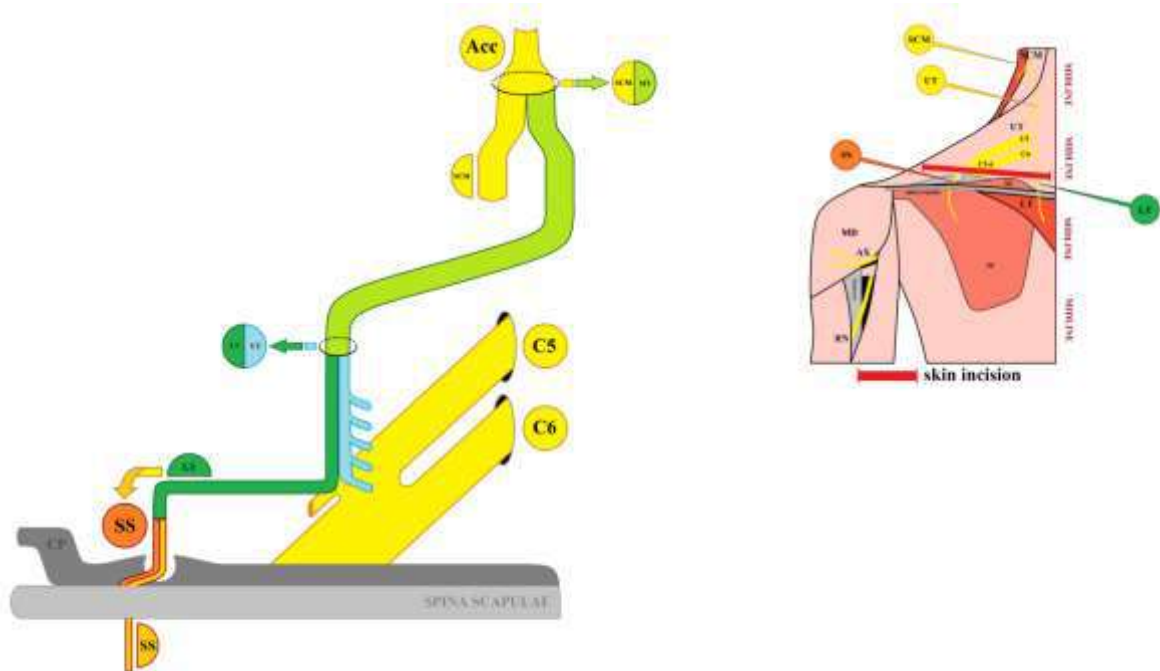


Acc – n. accessorius, SCM – ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, MT – ramus trapezoideus nervi accessorii, UT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars descendens m. trapezius (upper trapezius), LT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars ascendens m. trapezius (lower trapezius), SS – n. suprascapularis, MD – m. deltoideus.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає пряму коаптацію нервів донора та акцептора.**

## ДОДАТОК Г.3

*Схематичне зображення методу реіннервації надостьового та підостьового м'язів надлопатковим доступом за рахунок ramus trapezoideus nervi accessorii.*

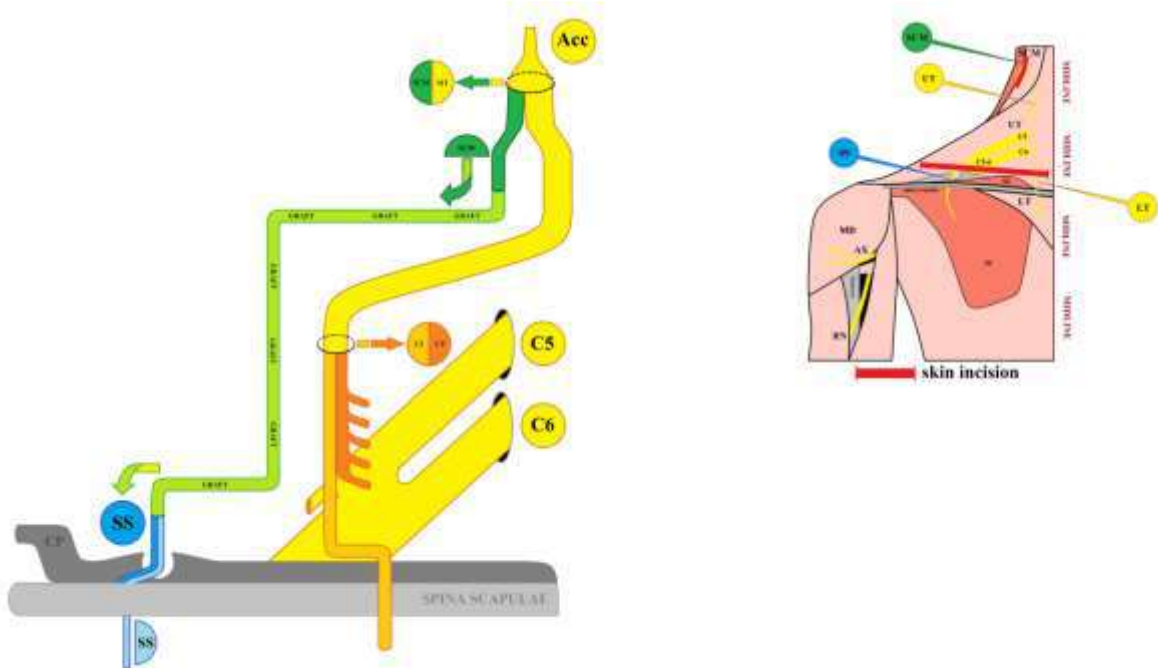


Acc – n. accessorius, SCM – ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, MT – ramus trapezoideus nervi accessorii, UT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars descendens m. trapezius (upper trapezius), LT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars ascendens m. trapezius (lower trapezius), SS – n. suprascapularis, CP – processus coracoideus, MD – m. deltoideus.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає пряму коаптацію нервів донора та акцептора.**

## ДОДАТОК Г.4

Схематичне зображення методу реіннервації надостьового та підостьового м'язів надлопатковим доступом за рахунок *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*

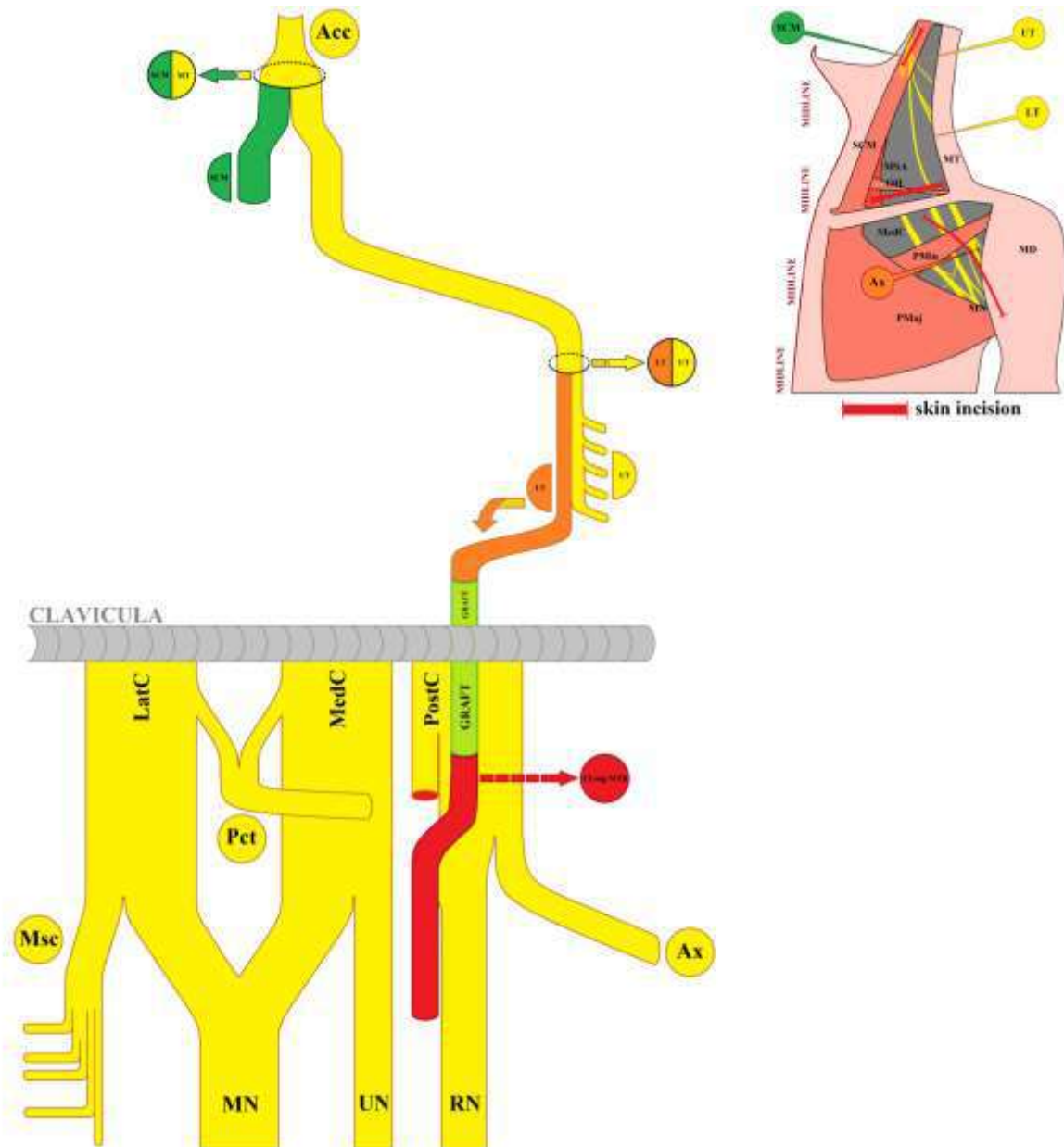


Acc – n. accessorius, SCM – ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, MT – ramus trapezoideus nervi accessorii, UT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars descendens m. trapezius (upper trapezius), LT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars ascendens m. trapezius (lower trapezius), SS – n. suprascapularis, CP – processus coracoideus, MD – m. deltoideus, graft – аутологічний нервовий трансплантат.

**NB!** Використання даного нерва-донора передбачає інтерпозицію одного аутологічного нервового трансплантату з усередненою довжиною 9,5 см (згідно із даними, що були отримані в ході дослідження).

## ДОДАТОК Д

Схематичне зображення методу селективної реіннервації довгої голівки триголового м'язу плеча за рахунок *ramus trapezoideus nervi accessorii* до *pars ascendens m. trapezius*



Acc – n. accessorius, SCM – ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii, MT – ramus trapezoideus nervi accessorii, UT – ramus trapezoideus nervi accessorii до pars descendens m. trapezius (upper trapezius), LT – ramus trapezoideus nervi

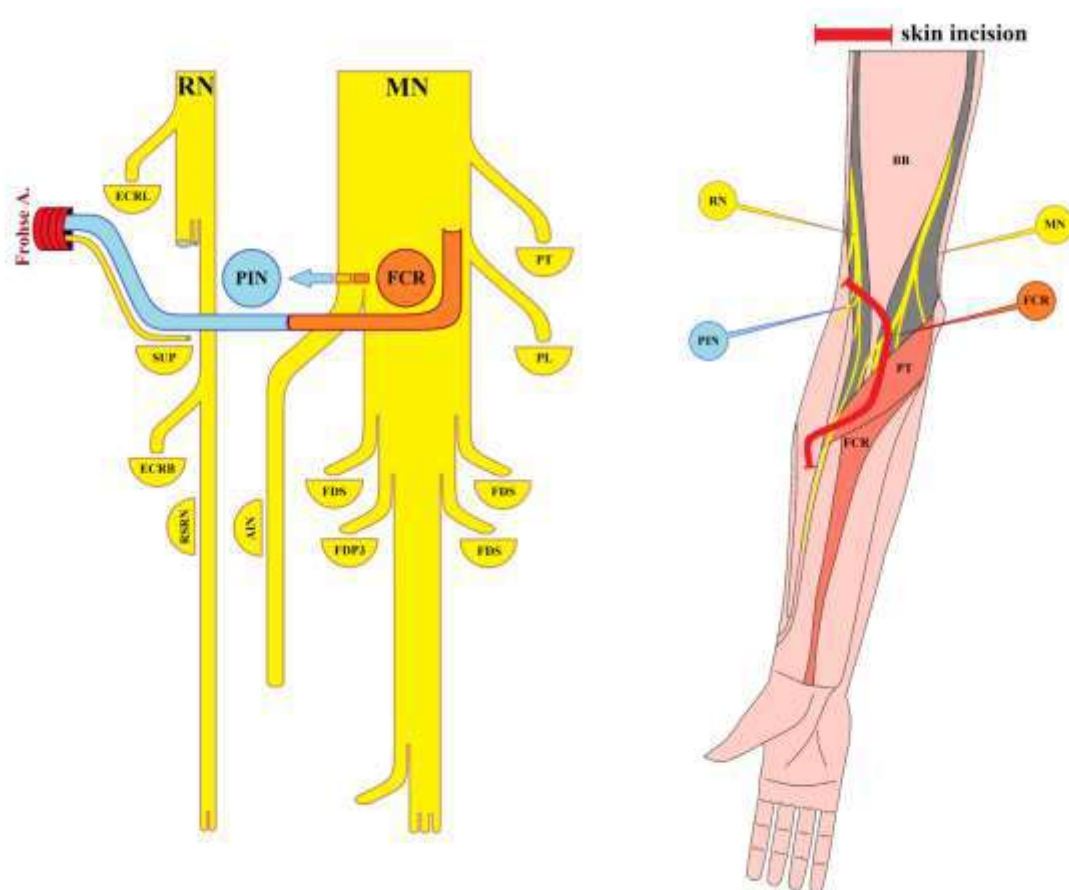
accessorii до pars ascendens m. trapezius (lower trapezius), LatC – fasciculus lateralis, MedC – fasciculus medialis, PostC – fasciculus posterior, Pct – n. pectoralis, Msc – n. musculocutaneus, MN – n. medianus, UN – n. ulnaris, Ax – n. axillaris, RN – n. radialis, CLong МТВ – волокнина n.radialis до caput longum m. trapezius, graft – аутологічний нервовий трансплантат.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає інтерпозицію одного аутологічного нервового трансплантату з усередненою довжиною 10,5 см.**



## ДОДАТОК Е

Схематичне зображення методу селективної реіннервації заднього міжкісткового нерва за рахунок волокнини *n. medianus* до *m. flexor carpi radialis*

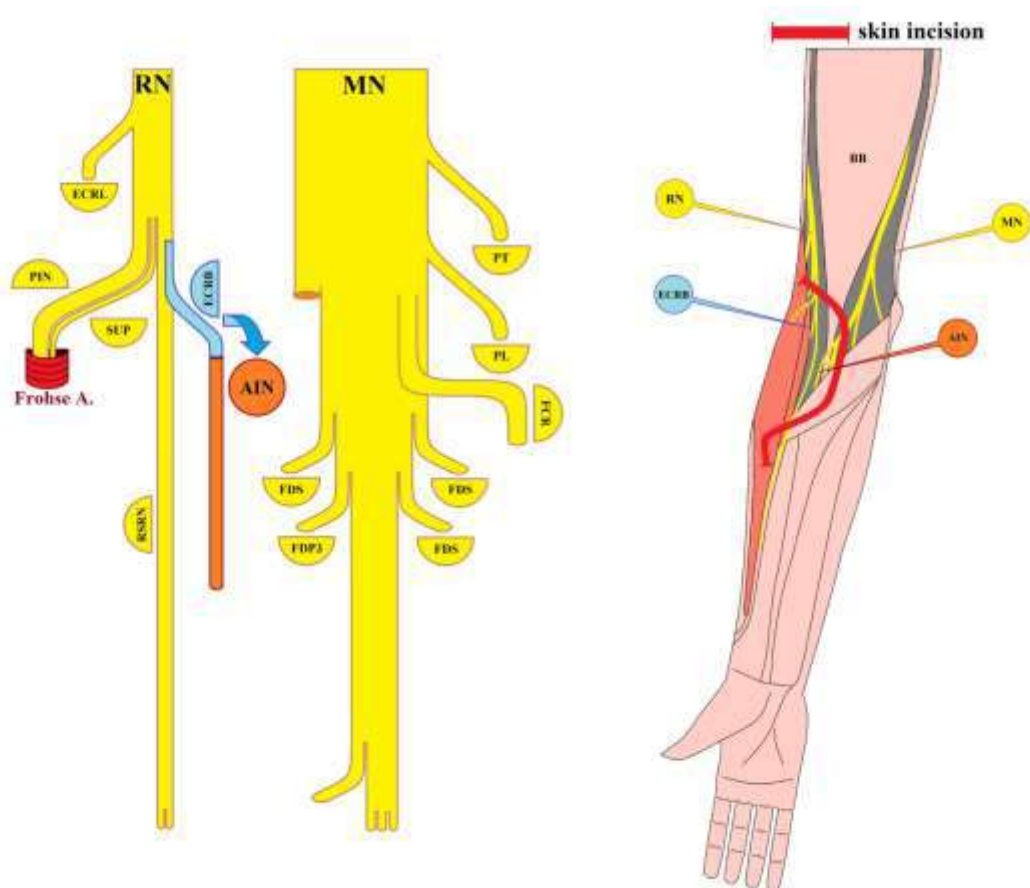


RN – *n. radialis*, MN – *n. medianus*, ECRL – волокнина *n. radialis* до *m. extensor carpi radialis longus*, ECRB – волокнина *n. radialis* до *m. extensor carpi radialis brevis*, RSRN – *ramus superficialis nervi radialis*, PIN – *n. interosseus antebrachii posterior*, SUP – волокнина *n. radialis* до *m. supinator antebrachii*, PT – проксимальна та дистальні гілки *n. medianus* до *m. pronator teres*, FCR – волокнина *n. medianus* до *m. flexor carpi radialis*, FDS – гілки *n. medianus* до м'язів поверхневих згиначів 2-5 пальців, FDP3 – гілка *n. medianus* до м'язу глибокого згинача 3 пальця, AIN – *n. interosseus antebrachii anterior*, BB – *m. biceps brachii*.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає пряму коаптацію нервів донора та акцептора.**

## ДОДАТОК Ж.1

Схематичне зображення методу селективної реіннервації переднього міжкісткового нерва за рахунок волокнини *n. radialis* до *m. extensor carpi radialis brevis*

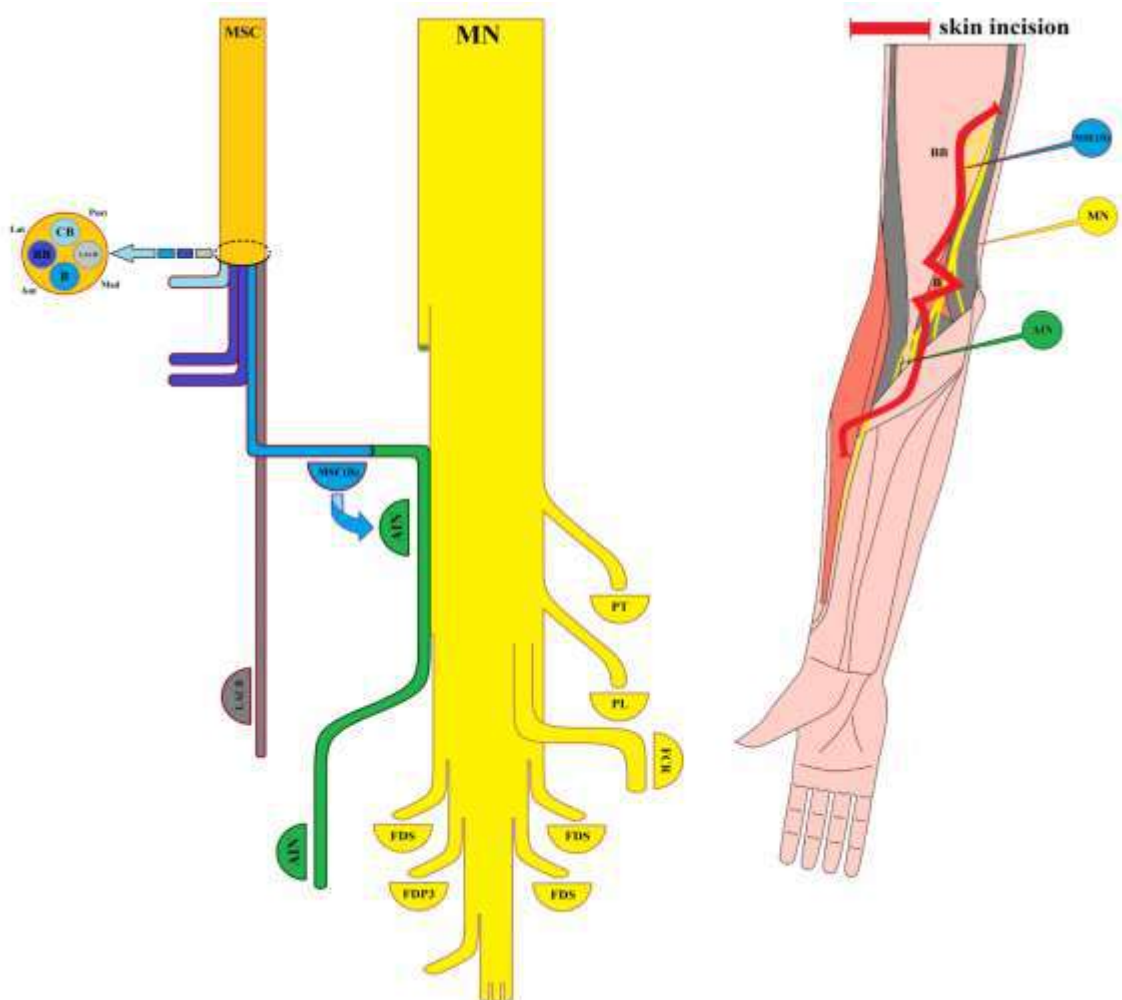


RN – *n. radialis*, MN – *n. medianus*, ECRL – волокнина *n. radialis* до *m. extensor carpi radialis longus*, ECRB – волокнина *n. radialis* до *m. extensor carpi radialis brevis*, RSRN – *ramus superficialis nervi radialis*, PIN – *n. interosseus antebrachii posterior*, SUP – волокнина *n. radialis* до *m. supinator antebrachii*, PT – проксимальна та дистальні гілки *n. medianus* до *m. pronator teres*, FCR – волокнина *n. medianus* до *m. flexor carpi radialis*, FDS – гілки *n. medianus* до м'язів поверхневих згиначів 2-5 пальців, FDP3 – гілка *n. medianus* до м'язу глибокого згинача 3 пальця, AIN – *n. interosseus antebrachii anterior*, BB – *m. biceps brachii*.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає пряму коаптацію нервів донора та акцептора.**

## ДОДАТОК Ж.2

Схематичне зображення методу селективної реіннервації переднього міжкісткового нерва за рахунок волокнини *n. musculocutaneus* до *m. brachialis*

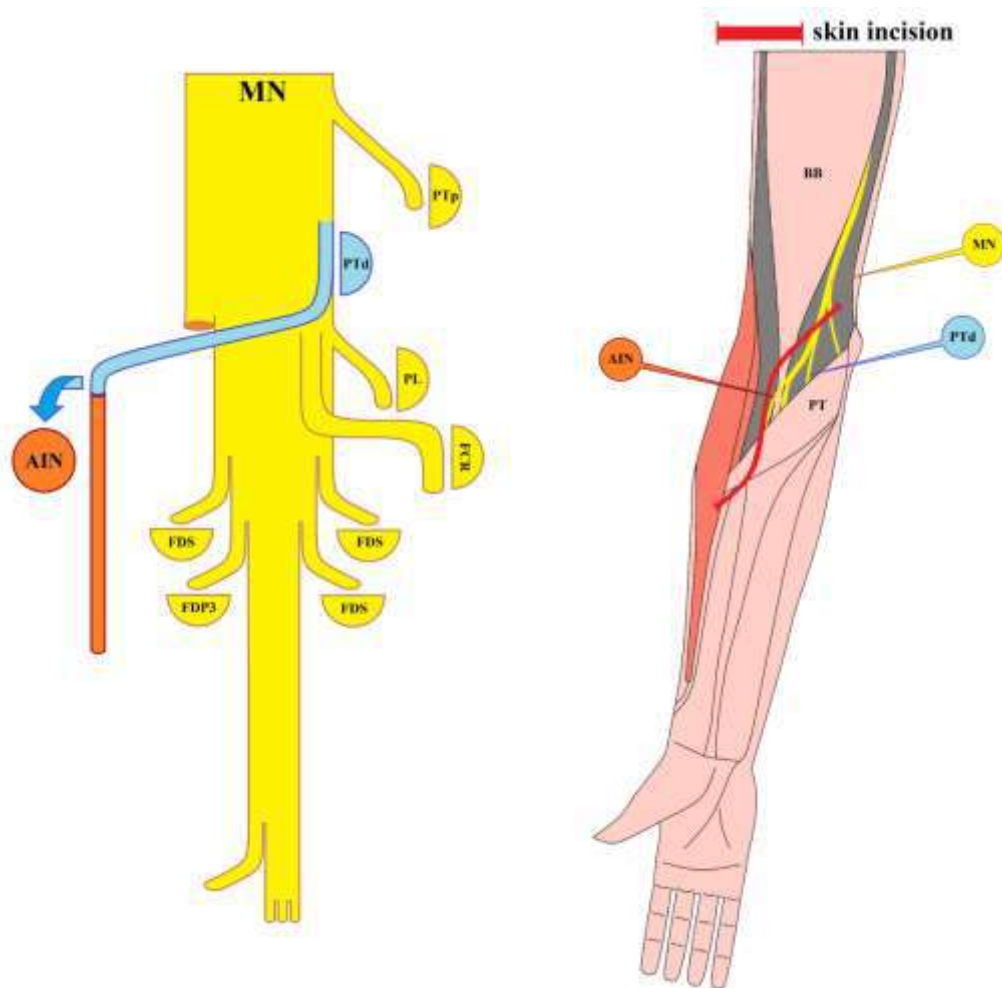


MN – *n. medianus*, MSC – *n. musculocutaneus*, PT – проксимальна та дистальні гілки *n. medianus* до *m. pronator teres*, CB – волокнини до *m. coracobrachialis* в стовбурі *n. musculocutaneus*, BB – волокнини до *m. biceps brachii* в стовбурі *n. musculocutaneus*, B – волокнини до *m. brachialis* в стовбурі *n. musculocutaneus*, LACB – волокнини *n. cutaneus antebrachii lateralis* в стовбурі *n. musculocutaneus*, FCR – волокнина *n. medianus* до *m. flexor carpi radialis*, FDS – гілки *n. medianus* до м'язів поверхневих згиначів 2-5 пальців, FDP3 – гілка *n. medianus* до м'язу глибокого згинача 3 пальця, AIN – *n. interosseus antebrachii anterior*, BB – *m. biceps brachii*.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає пряму коаптацію нервів донора та акцептора.**

## ДОДАТОК Ж.3

Схематичне зображення селективної невротизації переднього міжкісткового нерва за рахунок дистальної гілки n. medianus до m. pronator teres

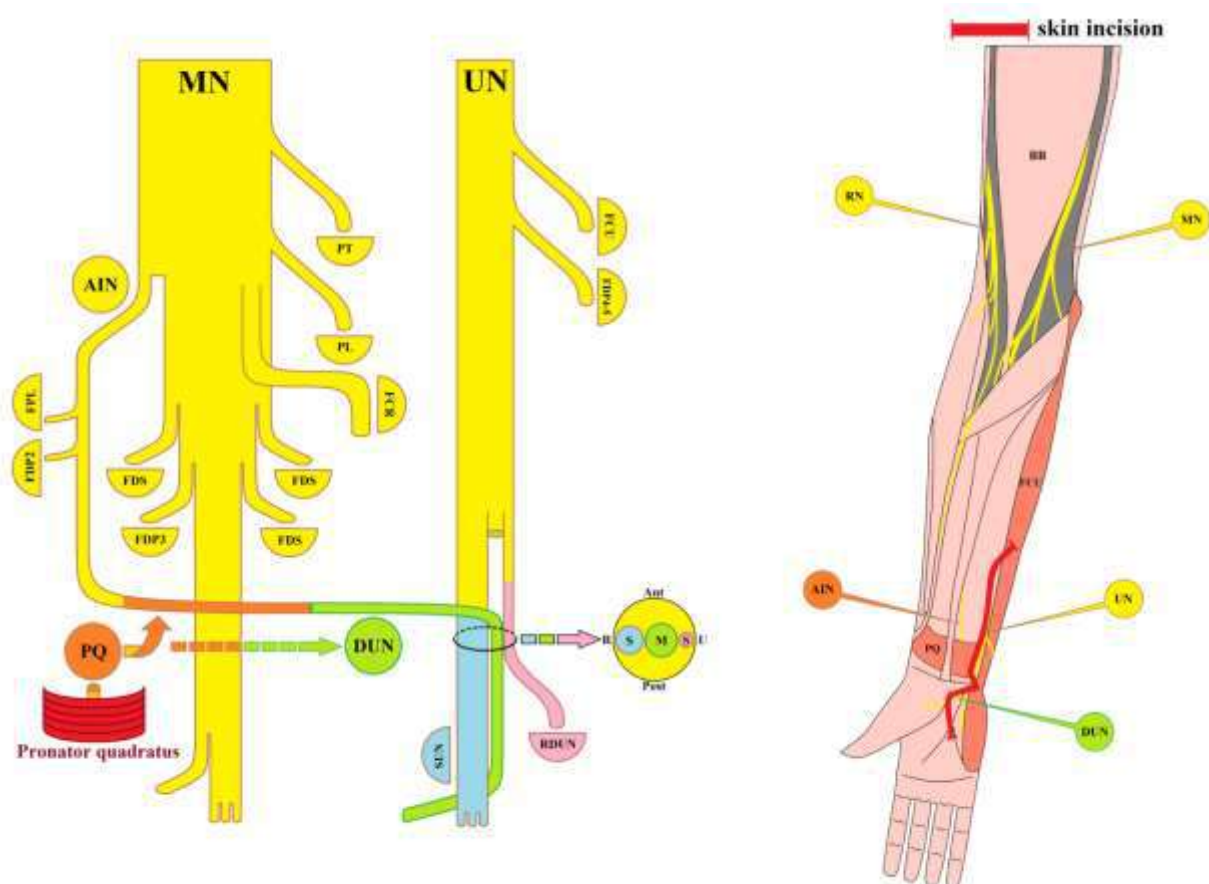


MN – n. medianus; PTr – проксимальна гілка n. medianus до m. pronator teres; PTd – дистальна гілка n. medianus до m. pronator teres; PL – гілка n. medianus до m. palmaris longus; FCR – гілка n. medianus до m. flexor carpi radialis; FDS – гілки n. medianus до радіарної та ульнарної голівок черевця m. flexor digitorum superficialis; FDP3 – гілка n. medianus до m. flexor digiti 3 profundus (іноді в складі AIN); AIN – n. interosseus anterior; BB – черевце m. biceps brachii; PT – черевце m. pronator teres.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає пряму коаптацію нервів донора та акцептора.**

## ДОДАТОК К

Схематичне зображення методу селективної реіннервації глибокої гілки ліктьового нерва за рахунок волокнини *n. interosseus antebrachii anterior* до *m. pronator quadratus*



MN – n. medianus, UN – n. ulnaris, DUN – ramus profundus nervi ulnaris, SUN – ramus superficialis nervi ulnaris, RDUN – ramus dorsalis nervi ulnaris, AIN – nervus interosseus antebrachii anterior, PQ – m. pronator quadrates, PT – волокнина n. medianus до m. pronator teres, FCR – волокнини n. medianus до m. flexor carpi radialis, PL – волокнина n. medianus до m. palmaris longus, FPL – волокнина n. medianus до m. flexor pollicis longus, FDS – гілки n. medianus до м'язів поверхневих згиначів 2-5 пальців, FDP2,3 – гілки n. medianus до м'язів глибоких згиначів 2 та 3 пальців, FCU – волокнини n. ulnaris до m. flexor carpi ulnaris, FDP4-5 – волокнини n. ulnaris до м'язів глибоких згиначів 4 та 5 пальців.

**NB! Використання даного нерва-донора передбачає пряму коаптацію нервів донора та акцептора.**