

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

Гацький О.О.¹✉, Третьяк І.Б.¹, Цимбалюк В.І.¹, Цимбалюк Я.В.¹, Цзян Хао¹

Резюме. Актуальність. Травматичні ушкодження плечового сплетення (ТУ-ПС) призводять до важкої та тривалої дисфункції верхньої кінцівки (ВК). Пріоритет надають відновленню згинання у плечовому суглобі та багатоплощинним рухам у плечовому суглобі (РК ПФ2) Своєчасна (< 6 міс.) селективна реіннервація (Н) ключових м'язів дозволяє ефективно відновлювати РК ПФ2. У пізній період (> 6 міс.) ТУ-ПС ефективне відновлення РК ПФ2 можливе лише за допомогою переміщення функціонуючих сухожилково-м'язових комплексів. **Мета дослідження.** Порівняти результати впливу транспозиції висхідної порції трапецієподібного м'яза (ТМ ВПТ) за класичною (к, Elhassan) та модифікованою (м) методикою на ефективність відновлення одноплосинних рухів у плечовому суглобі. **Матеріали і методи.** Пацієнту (П.) № 3 із відновленням дельтоподібного м'яза (ДМ) до М4+ після Н та П. № 4 без спонтанного відновлення (СВ) ДМ – згинання в плечовому суглобі (FF) до 170° та 0°, відповідно, проведена кТМ ВПТ. Пацієнту № 1 із відновленням ДМ до М4+ після Н та П. № 2 після СВ ДМ до М4+ – FF до 160° та 90° відповідно проведено мТМ ВПТ – зміна дистальної точки фіксації з під- на надостьовий м'яз. **Результати.** У П. № 1 та П. № 2 досягли відновлення ABD до 90°. Відновлення ER досягнуто не було, зберігалась внутрішньоротаторна (IR) установка ВК. У П. № 3 та П. № 4 досягли відновлення ABD до 40° та 80°, відновлення ER – до +15° та +70°. **Висновки.** Використання мТМ ВПТ дозволяє більш ефективно відновити одноплосинний рух – ABD – 90° проти 40° при використанні кТМ ВПТ. Використання кТМ ВПТ як корегуючого втручання дозволяє відновити одноплосинний рух – ER – +15° та +70° проти IR при використанні мТМ ВПТ; ТМ ВПТ повинна мати лише комплементарний характер та обов'язково узгоджуватись із вимогами кожного окремого пацієнта.

Ключові слова: травма плечового сплетення; транспозиція м'язів; трапецієподібний м'яз; відведення плеча; зовнішня ротація плеча; невротизація.

Вступ

Травматичні ушкодження плечового сплетення (ТУ-ПС) призводять до найбільш важких форм дисфункції верхньої кінцівки (ВК) [1]. Порядок пріоритетності відновлення функцій останньої [2] залишається незмінним, не залежить від рівня та анатомічних характеристик ушкодження. Найвищий пріоритет надають згинанню в ліктьовому суглобі – пріоритетна функція 1-го порядку (ПФ1) [2] та багатоплощинним рухам у плечовому суглобі – руховий компонент (РК) пріоритетної функції 2-го порядку (ПФ2) [2]. РК ПФ2

(відведення, згинання та зовнішня ротація плеча) забезпечується функцією м'язів із двома різними інтраплексусними джерелами іннервації – надлопатковий та пахвовий нерви [3].

Ефективний РК ПФ2 не можливий без стабільності плеча та лопатково-грудного синартрозу – стабілізуючий динамічний компонент (СДК) ПФ2. Вирішальну роль у забезпеченні СДК ПФ2 мають функціонуючі м'язи аксіоскапулярної групи – м'яз, що підіймає верхньомедіальний кут лопатки, та трапецієподібний м'яз [3]. Збережена функція вказаних вище м'язів у випадку ТУ-ПС обумовлена екстраплексусним походженням джерел їх іннервації [3].

Вибір методики відновлення втрачених пріоритетних функцій ВК, зумовлених травматичним

✉ Гацький О.О., drgatskiy@outlook.com

¹ДУ "Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України", відділення відновлювальної нейрохірургії з рентгеноопераційною, м. Київ

ушкодженням структур периферичної нервової системи (ПНС), має чітку прив'язку до часового фактора [4] та прогнозування спонтанного відновлення у визначений часовий проміжок [2]. Об'єктивізація потенціалу до спонтанної регенерації спирається на дані електрофізіологічних [2, 5] та рентгенологічних [2] методів діагностики, проте жоден із вказаних вище методів поодиночі чи в комплексі не є гарантом надійного прогнозу [2, 5]. Відповідно, фактор часу набуває вирішального значення у виборі методу реконструкції. Встановлено, що у міру за давнення травми [4] традиційні [4, 6] та нові [4, 7, 8] методики реконструктивних втручань на структурах ПНС різною мірою прогресивно втрачають свою ефективність [4]. Втрата ефективності реконструктивних методик на структурах ПНС зумовлена особливостями патофізіологічних процесів не лише власне у ПНС, а й в органах-ефекторах – м'язах [5] чи сенсорному апараті [9, 10]. Однак своєчасна селективна реіннервація, невротизація дозволяє досягнути прогнозованого результату в очікувані терміни [4], а рівень відновлення ефективних силових характеристик м'язів-ефекторів при її використанні досягає здебільшого 90-95% [4].

З іншого боку, ортопедичні методики, що передбачають переміщення функціонуючих м'язово-сухожилкових комплексів – транспозиція м'язів (ТМ), набувають вирішального значення для відновлення рухів у пізній період травми, оскільки вони позбавлені негативного впливу фактора часу.

Можливість використання ТМ як первинного чи вторинного реконструктивного втручання – корегуючого [11, 12] – залишається дискусійною. Незважаючи на майже тотожну ефективність [11, 12] деяких традиційних ТМ та сучасних селективних реіннерваційних методик, що використовуються при ізольованих ушкодженнях нервів верхньої кінцівки (наприклад, променевого нерва [11, 12]), більшість клініцистів вважає, що відновлення ефективних рухів у плечовому поясі та проксимальних відділах ВК є здебільшого прерогативою своєчасної селективної реіннервації м'язів-ефекторів [4, 7, 8].

Можливість поєднання методів селективної

реіннервації та ТМ – одночасне чи відтерміноване їх застосування – дає змогу досягнути максимального функціонального результату.

Мета дослідження: визначити роль класичної транспозиції висхідної порції трапецієподібного м'яза за Elhassan як первинного та корегуючого реконструктивного втручання у відновленні активних одно- та багатоплощинних рухів у плечовому суглобі; порівняти результати впливу зміни дистальної точки фіксації переміщеної висхідної порції трапецієподібного м'яза на ефективність відновлення одноплощинних рухів у плечовому суглобі.

Матеріали і методи

Дизайн дослідження: проведено ретроспективний аналіз хірургічного лікування чотирьох послідовних випадків дисфункції м'язів скапулогумеральної групи (дельтоподібного, над- та підостьового м'язів лопатки), що відповідають за РК ПФ2, зумовлених субтотальними варіантами травматичного ушкодження плечового сплетення (ТУ-ПС), у відділенні відновлювальної нейрохірургії з рентгеноопераційною ДУ "Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України" протягом 2013-2019 рр.

Характеристика пацієнтів, включених у дослідження: середній вік пацієнтів чоловічої статі, що були включені у дослідження, становив $24 \pm 0,5$ року (від 11 до 37 років). У всіх пацієнтів дисфункція м'язів скапулогумеральної групи, що відповідають за РК ПФ2, була зумовлена субтотальними варіантами надключичного ТУ-ПС. Детально анатомічні характеристики ТУ-ПС представлені в табл. 1. Середні терміни від моменту ТУ-ПС до проведення первинного хірургічного реконструктивного втручання (ПХРВ), що було направлено на відновлення ПФ1 та РК ПФ2, становили 4,3 міс. (від 3 до 6 міс.). Середні терміни від моменту ТУ-ПС до проведення вторинного реконструктивного хірургічного втручання (ВХРВ) становили 3,4 року (від 0,5 року до 5 років) (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика пацієнтів, включених у дослідження

№	Вік (роки)	Стать	Терміни ТУ-ПС	Анатомічна характеристика ТУ-ПС	Дата ПХРВ	Первинне ХРВ	Дата ВХРВ
1.	26 р.	ч	3 міс.	C5-C6	2014	PhN-MSA Acc(SCM)-Ax	2019**
2.	37 р.	ч	6 міс.	C5-C6-C7	2017	Pect(M)-MSA	2019**
3.	11 р.	ч	2 міс.	C5-C6-C7	2013	PhN-MSA Acc(SCM)-Ax	2018*
4.	24 р.	ч	6 міс.	C5-C6	2019	Oberlin 1	2019*

Примітка. ТУ-ПС – травматичне ушкодження плечового сплетення; П(Х)РВ – первинне хірургічне реконструктивне втручання (селективна реіннервація); В(Х)РВ – вторинне хірургічне реконструктивне втручання (транспозиція висхідної порції трапецієподібного м'яза); PhN – діафрагмальний нерв; MSC – м'язово-шкірний нерв; Асс(SCM) – гілки додаткового нерва до кивального м'яза; АХ – пахвовий нерв; Рест(М) – медіальний грудний нерв; Oberlin 1 – невротизація гілок м'язово-шкірного нерва волокниною ліктьового нерва до ліктьового згинача кисті.

* – класична транспозиція висхідної порції трапецієподібного м'яза за Elhassan [13];

** – модифікована транспозиція висхідної порції трапецієподібного м'яза за Elhassan.

Характеристика ПХРВ: усім пацієнтам, що були включені в дослідження, виконано невротизацію загального стовбура м'язово-шкірного нерва (MSC) або суперселективну невротизацію гілок MSC до двоголового м'яза плеча – відновлення ПФ1 (табл. 1). Двом пацієнтам виконано невротизацію пахвового нерва (АХ) за рахунок гілок додаткового нерва до кивального м'яза (Асс(SCM)) із інтерпозицією аутологічного нервового трансплантата із литкового нерва довжиною близько 15 см (табл. 1) – відновлення складової РК ПФ2 (реіннервація дельтоподібного м'яза). Двом пацієнтам не проводилось відновлення жодної із складових РК ПФ2: ані реіннервації дельтоподібного, ані над- / під-остьового м'язів лопатки (табл. 1). Селективна реіннервація м'язів, що відповідають за ПФ1 та складову РК ПФ2, проводилась незалежно від результатів клініко-електрофізіологічного дослідження на дохірургічному етапі, а також даних (макроскопічна характеристика стовбурів плечового сплетення / результати прямої стимуляції стовбурів плечового сплетення та його коротких гілок електричним струмом із субмаксимальними показниками – 10-50 мА), що були отримані в ході експлоративного* втручання на структурах плечового сплетення в надключичній області.

Характеристика ВХРВ: двом пацієнтам виконано класичну транспозицію висхідної порції трапецієподібного м'яза (ВПТ) із формуванням дистальної точки фіксації на сухожилковій частині підостьового м'яза (ПОМ) за методикою Elhassan [13]. Двом пацієнтам виконано модифіковану транспозицію. Усі етапи виконання модифікованої транспозиції ВПТ не відрізнялись від класичної методики за Elhassan (рис. 1), за винятком формування дистальної точки фіксації не на сухожилковій частині ПОМ, а на сухожилковій частині надостьового м'яза (НОМ).

* – під експлоративним втручанням слід розуміти виконання не лише ревізії структури плечового сплетення, а й виконання невротізу (усунення натягу, екзо- та ендоневротізу).

Поєднання ПХРВ та ВХРВ:

Таблиця 2

Виконання ВХРВ залежно від відновлення силових характеристик дельтоподібного м'яза в результаті проведеного ПХРВ

№	Функція ДМ після ПХРВ	ВХРВ / дистальна точка фіксації ВПТ
1.	*М4+	НОМ
2.	М4+ (спонтанне відновлення після ТУ-ПС)	НОМ
3.	М4+	ПОМ
4.	б/в	ПОМ

Примітка. ДМ – дельтоподібний м'яз; MRC Scale – Medical Research Council Scale [15]; ПХРВ – первинне хірургічне реконструктивне втручання; ВХРВ – вторинне хірургічне реконструктивне втручання; ТУ-ПС – травматичне ушкодження плечового сплетення; ВПТ – висхідна порція трапецієподібного м'яза; НОМ – надостьовий м'яз лопатки; ПОМ – підостьовий м'яз лопатки.

* – колектив авторів вважає, що найкращі показники відновлення силових характеристик м'яза після проведення селективної невротизації не можуть відповідати таким показникам в інтактного контрлатерального м'яза, тому найвищий показник відновлення силових характеристик позначено М4+.

Особливості післяопераційного періоду після виконання ПХРВ та ВХРВ: медикаментозна терапія та ведення хірургічних ран усіх пацієнтів у післяопераційний період проводились відповідно до затверджених національних та галузевих стандартів [16]. Усім пацієнтам після виконання ВХРВ проводилась іммобілізація гіпсовою пов'язкою (модифікована торакобрахіальна пов'язка) протягом двох тижнів у положенні відведення плеча 90° у фронтальній площині та горизонтальної зовнішньої ротації не більше 30°. Кут відведення плеча зменшувався на 15-20° кожний наступний тиждень. Загальний термін іммобілізації не перебільшував шести тижнів у всіх пацієнтів.

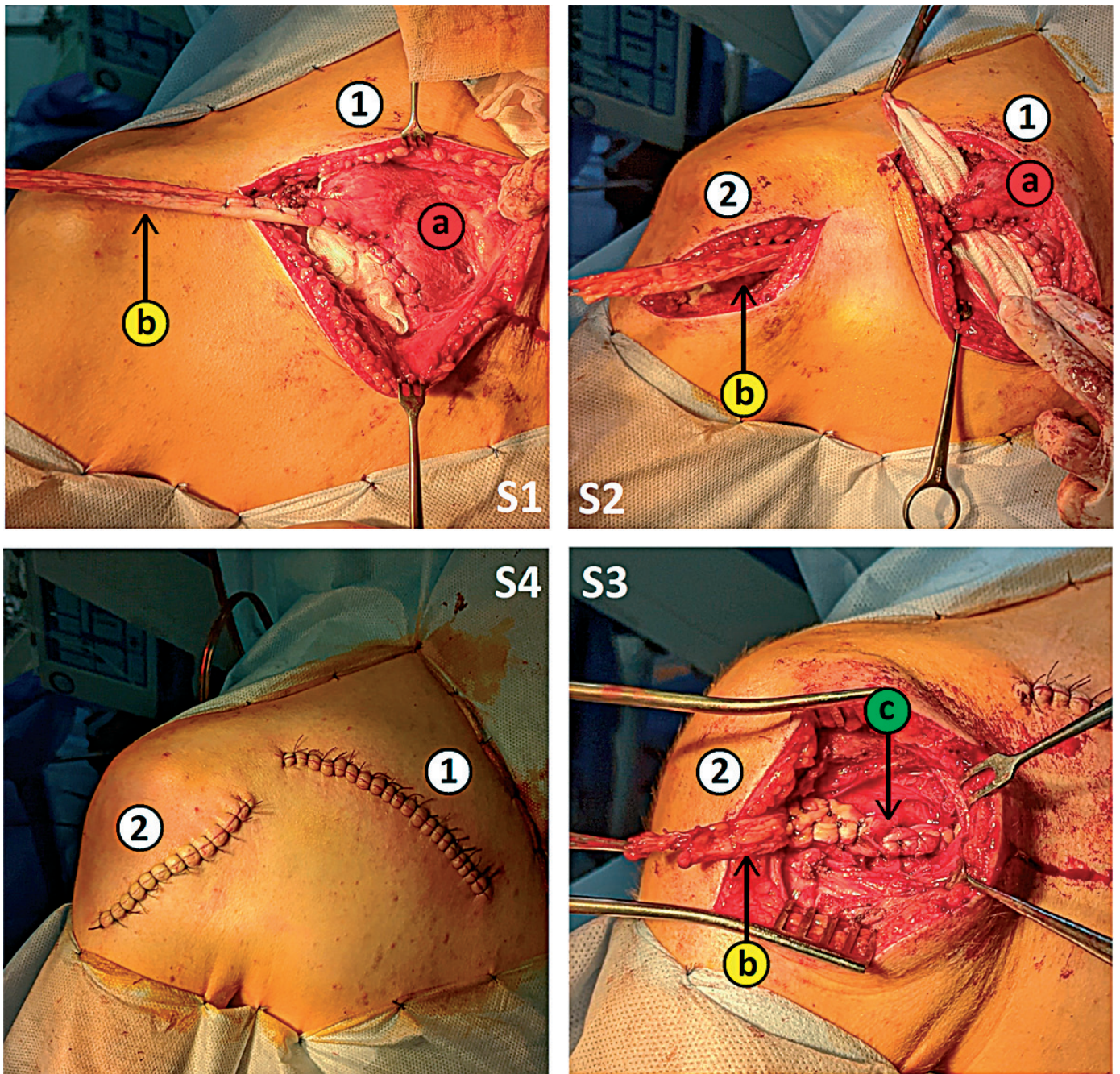


Рис. 1. Етапи виконання транспозиції висхідної порції трапецієподібного м'яза за методикою Elhassan (представлено без урахування альтернативної дистальної точки фіксації):

S1 – перший етап: 1 – шкірний доступ у проекції ості та медіального краю лопатки; а – мобілізована ВПТ; b – аутологічний трансплантат із *fascia lata* довжиною близько 20 см, що з'єднаний із ВПТ швами.

S2 – другий етап: 2 – шкірний доступ по задній поверхні в/3 плеча із розшаруванням задньої порції дельтоподібного м'яза; b – аутологічний трансплантат із *fascia lata*, проведений підшкірно із рани 1 в рану 2. S3: c – сухожилковий частина ПОМ; b – аутологічний трансплантат із *fascia lata*, що з'єднаний із сухожилковою частиною ПОМ швом типу “fish-mouth”

Усім пацієнтам після припинення іммобілізації проведено від трьох до семи 30-хвилинних сеансів реабілітації / перенавчання під наглядом хірурга, що виконував ТМ. Подальша реабілітація пацієнта проводилась на базі регіональних фізіотерапевтичних відділень із дотриманням усіх ре-

комендацій, що були отримані під час первинних сеансів перенавчання з обов'язковим оглядом в терміни > 3 міс. та/або при зверненні пацієнта в інші терміни.

Оцінювання результатів ПХРВ: оцінювання результатів первинного хірургічного відновлення

(втручання на структурах ПНС) проводилось за допомогою клінічного неврологічного обстеження в терміни передбачуваної регенерації (6-12 міс. залежно від методу ПХРВ) та додатково за допомогою електрофізіологічного методу (голкова стимуляційна електронейроміографія (ЕНМГ) за стандартною методикою відповідно до затверджених національних та галузевих стандартів).

Особливості оцінювання результатів ВХРВ: оцінювання ефективності функції переміщеної ВПТ та її модулюючий вплив на одноплщинні рухи в плечовому суглобі проводились не раніше, ніж через 3 міс. від моменту проведення ВХРВ, та/або при зверненні пацієнта в інші терміни. Мінімальний термін спостереження за пацієнтом після виконання ВХРВ становив 9 міс., максимальний – 28 міс. При оцінюванні ефективності проведеної ВХРВ враховували різницю між кутами відхиленнями в плечовому суглобі після виконання ПХРВ та ВХРВ (останній візит пацієнта) у фронтальній (відведення, англ. abduction, ABD) площині та сагітальній (згинання, англ. forward flexion, FF) площині в межах обсягу руху лише допереду від тулуба за стандартною методикою. Вплив переміщеної ВПТ на функцію зовнішньої ротації плеча враховувався або при вихідному нейтральному положенні власне плеча (ліктьова ямка розвернута допереду, вихідний показник 0°), або за наявності будь-яких показників зовнішньої ротації незалежно від вихідного положення власне плеча (навіть якщо вихідне положення відповідало патологічній внутрішньоротаторній установці). Показники горизонтальної зовнішньої та внутрішньої ротації [17] не враховувались у проведеному дослідженні.

Результати

Загалом у трьох пацієнтів після виконання ПХРВ спостерігали відновлення ефективних силових характеристик дельтоподібного м'яза (ДМ) до М4+ за MRC Scale (табл. 2). Серед них ефективне відновлення силових характеристик ДМ відбулося внаслідок проведеної селективної реіннервації пахвового нерва (табл. 1), ще в одного – внаслідок процесу спонтанної регенерації. В одного пацієнта відновлення ДМ (без урахування силових характеристик за MRC Scale) не відбулось – не ефективна реіннервація за даними голкової ЕНМГ. У жодного пацієнта не спостерігали відновлення клінічно значущої функції над- та підостьового м'язів лопатки (НОМ та ПОМ відповідно). До моменту проведення ВХРВ вихідне положення плеча у трьох пацієнтів характеризувалось патологічною внутрішньоротаторною установкою із вираженим клінічним проявом “синдрому трубача” (англ. “trumpet sign” [18]) (табл. 3). В одного пацієнта вихідне положення плеча було нейтральним (табл. 3), у нього не спостерігали відновлення ані ДМ, ані НОМ та ПОМ.

Відновлена функція ДМ у трьох пацієнтів забезпечувала згинання у плечовому суглобі у сагітальній площині (англ. forward flexion, FF) у межах 90-170° (табл. 3). Найнижчий показник FF – 90° – спостерігали у пацієнта, в якого відновлення ДМ відбулося внаслідок процесу спонтанної регенерації та не відповідало ефективному максимальному обсягу руху (ефМОР) у цій площині [19]. У двох пацієнтів після виконання селективної реіннервації пахвового нерва спостерігали відновлення не лише ефективних силових характеристик ДМ, а й ефективної функції – показники FF значно

Таблиця 3

Результати ПХРВ та ВХРВ

№	Результат ПХРВ			Вторинне ХРВ	Результат ВХРВ		
	FF	AB D	ER		FF	AB D	ER
1.	160°	0°	IR	Транспозиція ВПТ+SS	160°	90°	IR
2.	90°	0°	IR	Транспозиція ВПТ+SS	90°	90°	IR
3.	170°	0°	IR	Транспозиція ВПТ+IS	170°	40°	+15°
4.	0°	0°	N	Транспозиція ВПТ+IS	0°	80°	+70°

Примітка. ПХРВ – первинне хірургічне реконструктивне втручання; ВХРВ – вторинне хірургічне реконструктивне втручання; FF – forward flexion (згинання у плечовому суглобі); ABD – abduction (елевація плеча у фронтальній площині, відведення); ER – external rotation (активна зовнішня ротація плеча); IR – internal rotation (внутрішня ротація плеча, в цьому контексті – патологічна внутрішньоротаторна установка у спокої); N – neutral position (нейтральне положення плеча у спокої); ВПТ – висхідна порція трапецієподібного м'яза; SS – дистальна точка фіксації на сухожилковій частині НОМ; IS – дистальна точка фіксації на сухожилковій частині ПОМ.

перевищували необхідні для ефМОР у сагітальній площині [19] та становили 160° і 170° відповідно (табл. 3). Відновлена функція ДМ не здатна була забезпечити бодай мінімальні показники елевації у фронтальній площині, відведення плеча (англ. abduction, ABD) (табл. 3).

Проведення ВХРВ – транспозиція ВПТ за Elhassan за класичною методикою (дистальна точка фіксації ВПТ на сухожилковій частині ПОМ) – привело до відновлення ABD до 40° та 80° відповідно (табл. 3). Більший кут ABD плеча спостерігали у пацієнта без відновлення функції ДМ. Загалом ABD плеча в обох пацієнтів не відповідала вимогам ефМОР [19]. В обох пацієнтів спостерігали відновлення зовнішньої ротації плеча (англ. external rotation, ER) у межах +15° і +70° (табл. 3), що забезпечувало “сагіталізацію” плеча та передпліччя. Відповідно, відновлення ER навіть у межах мінімальних показників ER дозволило реалізувати відновлені (внаслідок проведеного ПХРВ для ПФ1) функції проксимальних та збережені функції дистальних сегментів верхньої кінцівки допереду від тулуба, що є однією з основних вимог при виконанні основних видів щоденної діяльності [19]. Загалом ER плеча не відповідала вимогам ефМОР [19].

Проведення ВХРВ – транспозиція ВПТ за модифікованою методикою (дистальна точка фіксації ВПТ на сухожилковій частині НОМ) – привело до відновлення ABD до 90° у обох пацієнтів (табл. 3). Загалом ABD плеча в обох пацієнтів не відповідала вимогам ефМОР [19]. Відновлення ER у вказаних вище пацієнтів не спостерігали, зберігалась внутрішньоротаторна установка плеча із вираженим клінічним проявом “синдрому трубача”. “Сагіталізація” плеча та передпліччя досягнути не вдалось, відповідно, реалізація відновленої (внаслідок проведеного ПХРВ для ПФ1) функції проксимальних та збережених функцій дистальних сегментів верхньої кінцівки допереду від тулуба була неможлива.

Незалежно від дистальної точки фіксації ВПТ FE, що було відновлено внаслідок проведеного ПХРВ, не зазнало змін. Відповідно, транспозиція ВПТ не призвела у жодного пацієнта до порушення реалізації відновленої функції ДМ (табл. 3).

Обговорення

Використання класичних методик переміщення м'язово-сухожилкових комплексів (транспозиції м'язів – ТМ), направлених на відновлення рухового компонента (РК) пріоритетної функції 2-го порядку (ПФ2) верхньої кінцівки (ВК), у кінцевому варіанті – ефективних багатоплощинних рухів у

плечовому суглобі, не може існувати відокремлено від нагальних щоденних потреб кожного окремого пацієнта. Незважаючи на те, що різноманітні методики ТМ [20] еволюціонували таким чином, щоб максимально відповідати вимогам основних видів щоденної діяльності [19] як для кожного окремого сегмента ВК [19], так і глобальної функції загалом [19], саме індивідуалізація подекуди із модифікацією сталої методики дозволяє досягнути необхідного функціонального результату в кожному окремому випадку дисфункції.

Традиційно ТМ за Elhassan [13] використовується для відновлення втраченої внаслідок різних причин [13] функції зовнішньої ротації плеча [13], що в нормі забезпечується над- та підостьовим (НОМ та ПОМ) м'язами лопатки [14] з іннерваційного пулу надлопаткового нерва [14]. Класична методика ТМ за Elhassan [13] передбачає зміну точки фіксації висхідної порції трапецієподібного м'яза (ВПТ) з ості лопатки на більш дистальну – сухожилкову частину ПОМ [13]. Численні моделі, що вивчали біомеханічний вплив переміщеної ВПТ на функцію зовнішньої ротації плеча, підтверджували максимальну наближеність здобутої нової до природної функції [13, 20].

Догматичний характер усталених методик не дозволяв розглядати будь-які їх зміни навіть для досягнення бажаного функціонального результату.

Ретельний аналіз кінезіологічних характеристик взаємодії м'язів скапулогумеральної групи [14] із комплексу м'язів плечового поясу, основним завданням яких є забезпечення згинання, відведення та зовнішньої ротації плеча [14], дозволив виокремити найбільшу значущість кожного із них в реалізації вказаних вище одноплощинних рухів у кожній із фаз у межах максимального обсягу руху [14]. Так, основною функцією ПОМ визначено забезпечення зовнішньої ротації плеча [14]. НОМ у свою чергу здійснює контрвплив на дельтоподібний м'яз (ДМ), не дозволяючи передній порції останнього як зміщувати голівку плечової кістки догори, стабілізуючи її в гленоїдальній западині [14, 21], й проводити згинання плеча [14], так і максимально реалізовувати потенціал середньої порції ДМ у провадженні відведення [21].

Результати проведеного дослідження підтверджують, що альтернативна щодо класичної, представленої Elhassan [13], дистальна точка фіксації ВПТ – сухожилкова частина НОМ – дозволяє певною мірою компенсувати відсутність активної функції НОМ. Так, відновлена внаслідок проведеного первинного хірургічного реконструктивного втручання (ПХРВ) функція середньої порції ДМ у пацієнта № 1 (рис. 2В) не могла бути реалізована

в забезпеченні відведення плеча за відсутності стабілізуючої та протидіючої функції НОМ. Врахувавши вимоги пацієнта № 1 до функцій у плечовому суглобі в асистуючій ВК, пріоритет був наданий відновленню відведення над зовнішньою ротацією плеча. Відповідно, було виконано модифіковану ТМ за Elhassan із заміною дистальної точки фіксації ВПТ із ПОМ на НОМ, що привело до відновлення відведення плеча до 90° (рис. 2D). З іншого боку, відновлену функцію відведення не можна було вва-

жати повністю ефективною, оскільки відновлені показники не відповідали максимально необхідним (піковим) їх значенням для здійснення ефективного максимального обсягу руху (ефМОР) [19].

Зовнішньої ротації плеча відновлено не було, навіть при відведенні плеча зберігалась внутрішня ротаторна установка проксимальних та дистальних сегментів ВК. Схематично функціональне значення переміщеної ВПТ на відведення в плечовому суглобі представлено на рис. 3.

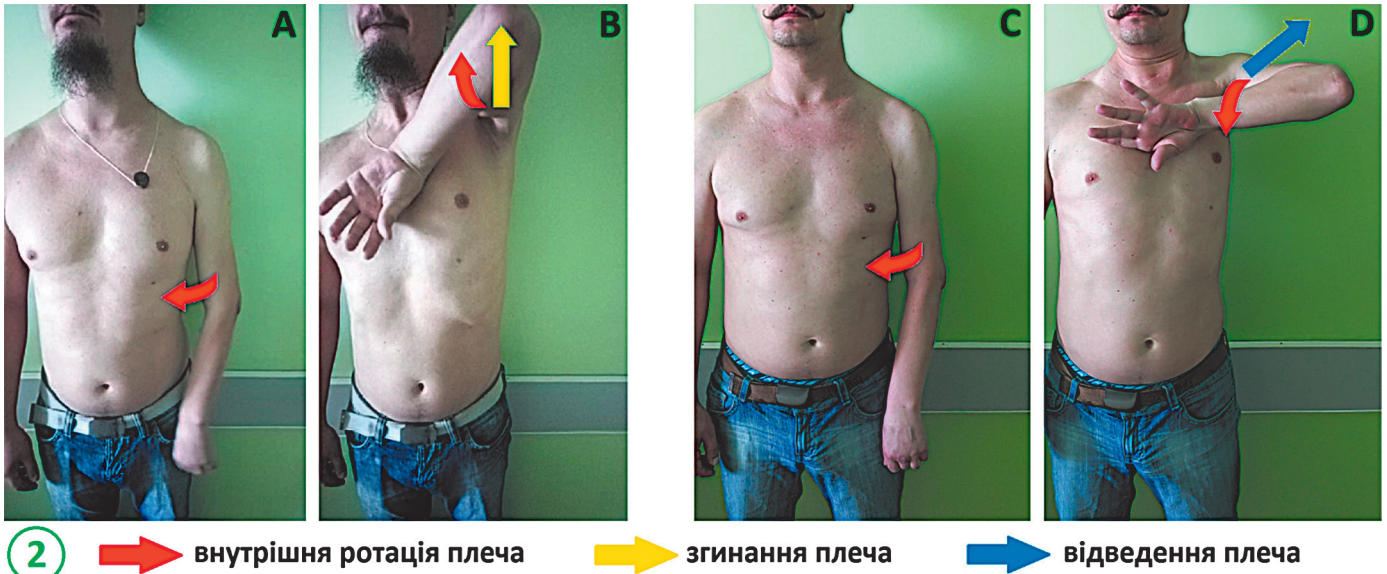


Рис. 2. Результати ПХРВ та корекції руху у плечовому суглобі за допомогою модифікованої транспозиції ВПТ: А та В – функціональний результат ПХРВ; С та D – функціональний результат після виконання корегуючого (вторинного) хірургічного втручання

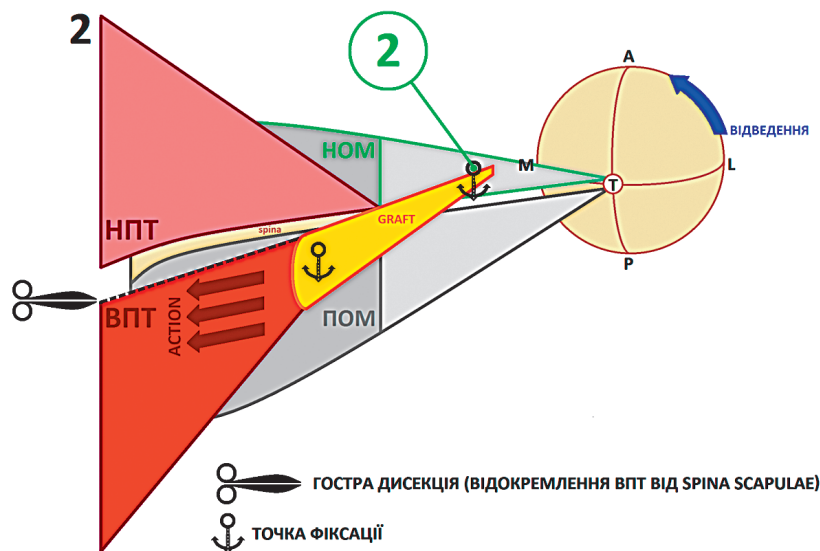


Рис. 3. Схематичне зображення функціональної значущості переміщеної ВПТ для реалізації відведення плеча: 2 – альтернативна дистальна точка фіксації; НПТ – низхідна порція трапецієподібного м'яза; ВПТ – висхідна порція трапецієподібного м'яза; НОМ – надостьовий м'яз; ПОМ – підостьовий м'яз; Т – великий горбок плечової кістки; А – передня поверхня плечового суглоба; Р – нижня поверхня плечового суглоба; М – внутрішня поверхня плечового суглоба; L – зовнішня поверхня плечового суглоба; синя стрілка – напрямок результуючої дії “силової пари” дельтоподібного м'яза та переміщеної ВПТ

У пацієнта № 3 клінічна неврологічна симптоматика після проведення ПРВ була тотожною такій у пацієнта № 1. Відновлена внаслідок проведеного ПРВ функція середньої порції ДМ у пацієнта № 3 (рис. 4А) не могла бути реалізована в забезпеченні відведення плеча за відсутності стабілізуючої та протидіючої функції НОМ, зовнішня ротація плеча була також неможлива внаслідок дисфункції ПОМ. Врахувавши вимоги пацієнта № 3 до функцій у плечовому суглобі в доміантній ВК, пріоритет був наданий відновленню зовнішньої ротації над відведенням плеча.

Пацієнту № 3 було виконано класичну ТМ за Elhassan із формуванням дистальної точки фіксації ВПТ на ПОМ, що привело до відновлення зовнішньої ротації плеча в межах $+15^\circ$ (рис. 4С та 4D), відповідно, дозволило “сагіталізувати” плече та передпліччя – ефективно використовувати ВК допереду від тулуба, що є однією із основних вимог при виконанні основних видів щоденної діяльності [19]. Поряд із відновленням зовнішньої ротації спостерігали відновлення відведення плеча до 40° (рис. 4С та 4D). Функція переміщеної ВПТ характеризувалась певною незалежністю. У момент набуття пікових показників відведення плеча пацієнт № 3 міг проводити активну внутрішню та зовнішню ротацію плеча, що дозволяло дистальним сегментам ВК набутти багатоплощинних ступенів свободи. Жоден із відновлених рухів не відповідав максимально необхідним (піковим) їх значенням для здійснення ефМОР [19].

На нашу думку, функція ДМ, що була відновлена завдяки проведеному ПРВ, не дозволяла повною мірою реалізувати функцію переміщеної ВПТ за рахунок невідповідності суто силових характеристик обох м'язів: переміщеної ВПТ та передньої порції ДМ. Саме тому досягнути ефективного відновлення зовнішньої ротації плеча не вдалось. З іншого боку, заміщена внаслідок ТМ за Elhassan функція ПОМ не призводила до стабілізації голівки плечової кістки в гленоїдальній западині, тому реалізація функції середньої порції ДМ у провадженні відведення плеча була неможлива. Схематично функціональне значення переміщеної ВПТ на зовнішню ротацію та відведення в плечовому суглобі представлено на рис. 5.

На відміну від представлених вище результатів використання класичної та модифікованої ТМ за Elhassan як корегуючого (вторинного) реконструктивного втручання у пацієнта № 1 та № 3, використання класичної ТМ за Elhassan як первинного реконструктивного втручання дозволяє досягти суттєвого поліпшення багатоплощинних рухів у плечовому суглобі.

У пацієнта № 4 виконання класичної ТМ за Elhassan дозволило відновити відведення до 80° (рис. 6А та 6В) та зовнішню ротацію плеча до $+70^\circ$ (рис. 6D). Відновлені рухи в плечовому суглобі характеризувались повною незалежністю та, хоча і не відповідали максимально необхідним (піковим) їх значенням для здійснення ефМОР [19] у

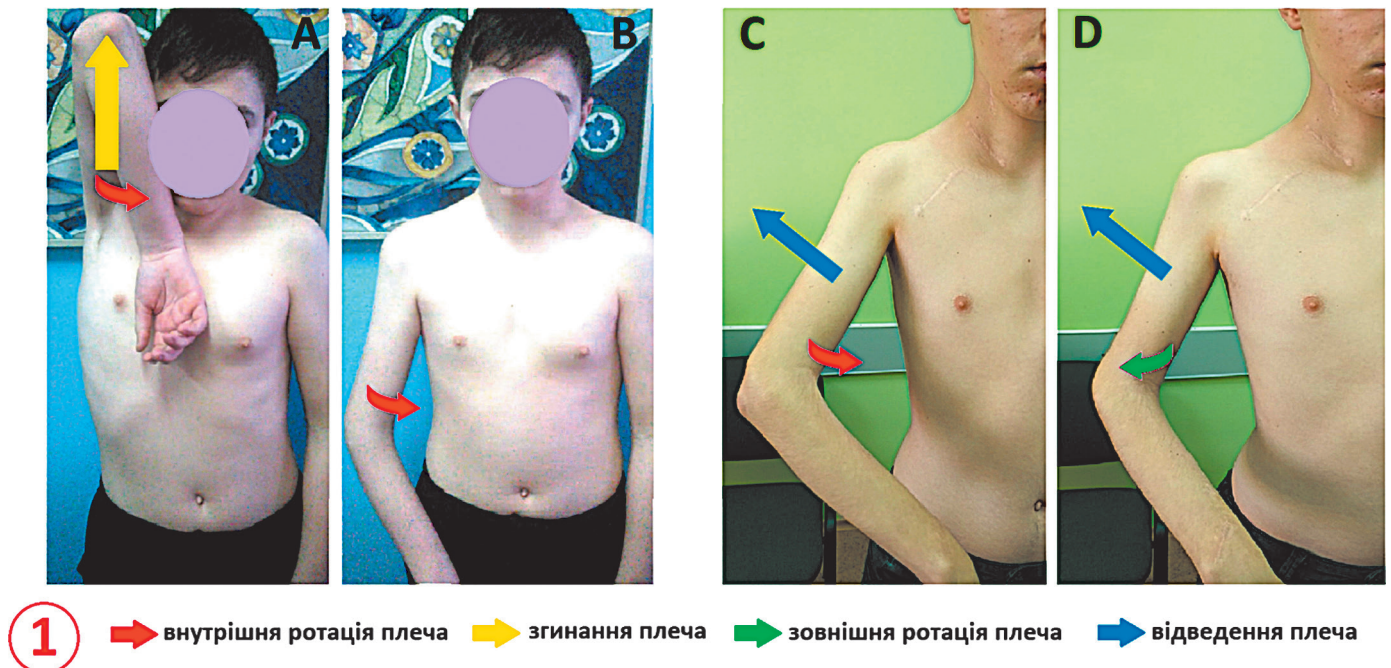


Рис. 4. Результати ПХРВ та корекції руху у плечовому суглобі за допомогою класичної транспозиції ВПТ за Elhassan:

А та В – функціональний результат ПХРВ; С та D – функціональний результат після виконання корегуючого (вторинного) хірургічного втручання

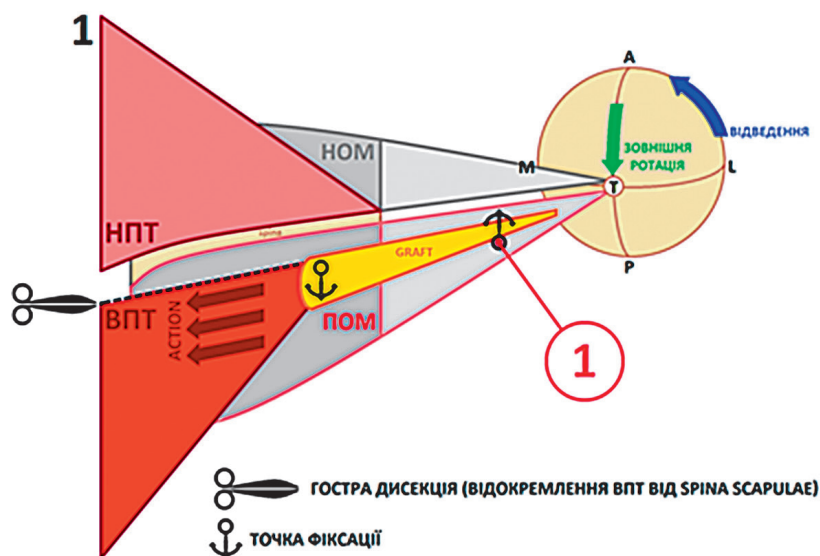
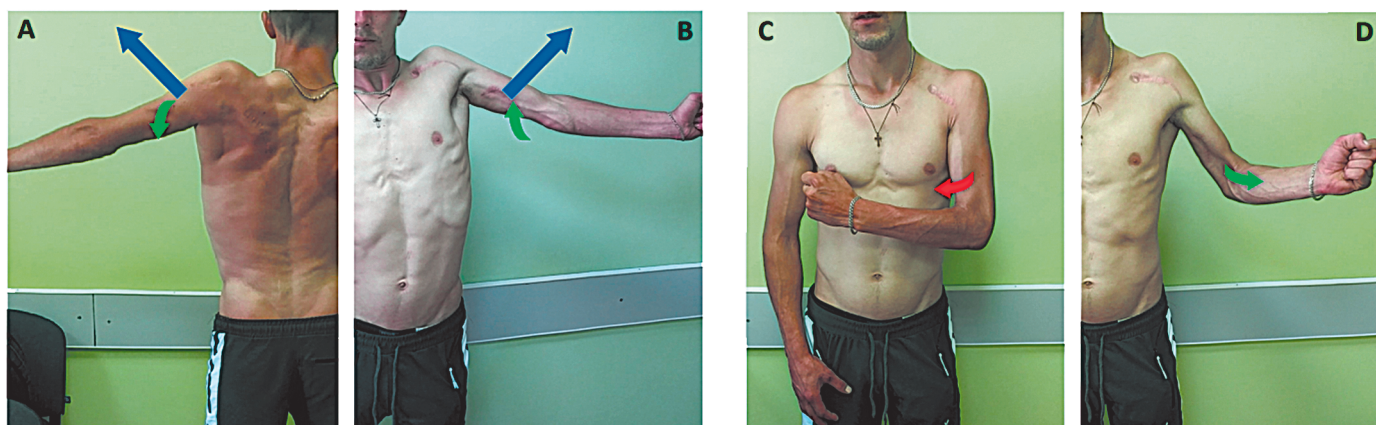


Рис. 5. Схематичне зображення функціональної значущості переміщеної ВПТ для реалізації зовнішньої ротації та відведення плеча:

1 – класична дистальна точка фіксації; НПТ – низхідна порція трапецієподібного м'яза; ВПТ – висхідна порція трапецієподібного м'яза; НОМ – надостьовий м'яз; ПОМ – підостьовий м'яз; Т – великий горбок плечової кістки; А – передня поверхня плечового суглоба; Р – нижня поверхня плечового суглоба; М – внутрішня поверхня плечового суглоба; L – зовнішня поверхня плечового суглоба; синя стрілка – напрямок результуючої дії “силової пари” дельтоподібного м'яза та переміщеної ВПТ



1 → відведення плеча → внутрішня ротація плеча → зовнішня ротація плеча

Рис. 6. Результати ПХРВ за допомогою класичної транспозиції ВПТ за Elhassan: А та В – реалізація функції відведення та зовнішньої ротації плеча; С та D – реалізація функції “сагітальзації” плеча та передпліччя

різних площинах, суттєво поліпшили можливість залучення асистуючої (недомінантної) ВК до виконання переважної більшості моноручних (саме для ушкодженої ВК) та бімануальних видів активної щоденної діяльності. Додатково виконання класичної ТМ за Elhassan дозволило уникнути формування у пацієнта № 4 патологічної внутрішньої ротаторної установки плеча.

Використання ТМ за Elhassan як первинного (пацієнт № 4) та вторинного корегуючого (пацієнт № 1-3) реконструктивного втручання в

ранній (пацієнт № 4) та пізній (пацієнти № 1-3) періоди ТУ-ПС дозволяє досягнути поставлених клінічних задач та певною мірою задовольнити потребу кожного окремого пацієнта у відновленні одноплосинного чи багатоплосинних рухів у плечовому суглобі. З іншого боку, відновленим рухам за допомогою ТМ за Elhassan у кожному окремому випадку бракувало “плавності” (англ. fluidity, flux) під час провадження чи відведення, або відведення / зовнішньої ротації плеча. Виникнення цієї проблеми може бути пояснено з точки

зору класичної кінезіології, що описує функцію ключових м'язів скапулогумеральної групи [14] та їх "силових пар" [14, 21] у кожній із фаз відведення плеча.

Так, у фізіологічній нормі НОМ, володіючи значно більшим моментом сили, забезпечує виконання початкової фази відведення плеча та формує з ДМ "силову пару" [14, 21], проваджує початкову фазу відведення. ПОМ у свою чергу запобігає ковзанню голівки плечової кістки догори, формує з "силову пару" із підлопатковим м'язом [14], та забезпечує відведення плеча за рахунок середньої порції дельтоподібного м'яза до 90°, коли сили, які генеруються ключовими м'язами скапулогумеральної групи, що діють на плечовий суглоб, досягають свого максимуму [14]. Скоординована робота усіх м'язів скапулогумеральної групи та їх "силових пар" [14] дозволяє забезпечити реалізацію їх потенціалу у провадженні відведення плеча у фронтальній площині у межах максимального обсягу руху [19].

На жаль, у жодному випадку використання класичної чи "модифікованої" ТМ за Elhassan як корегуючого втручання "плавності" нового здобутого руху у плечовому суглобі досягти не вдалось. На нашу думку, це було пов'язано із впливом наступних чинників: а) переміщена ВПТ дозволяла компенсувати функцію лише одного із м'язів у "силовій парі" із ДМ у різних фазах відведення плеча; б) порядок активації переміщеної ВПТ у кожній окремій фазі відведення плеча не співпадав із фізіологічно нормальною послідовністю активації ключових м'язів [14] скапулогумеральної групи, що призводило до виникнення феномену "зубчастого колеса". Виникнення вказаного вище феномену, на нашу думку, було пов'язано з різним походженням джерел іннервації в умовах фізіологічної норми та патології (в цьому випадку після ТУ-ПС / первинної хірургічної реконструкції та наступної ТМ) та, відповідно, різного церебрального кортикального представництва центрів активації функції [22] – активація відновленого ДМ унаслідок проведеного ПХРВ та переміщеної ВПТ була асинхронною та асинергічною, що суттєво впливало на "плавність" елевації плеча у фронтальній площині.

Загалом, незважаючи на відсутність суттєвого прогресу у відновленні ефМОР після виконання ТМ за Elhassan, можна стверджувати, що її виконання як корегуючого реконструктивного втручання у пізній період ТУ-ПС дозволяє до певної межі розширити функціональні можливості верхньої кінцівки. Незважаючи на ефективність використання ТМ за Elhassan як первинного методу відновлення зовнішньої ротації плеча, "сагіталазації" плеча й передпліччя, відповідно, ми вважаємо, що своєчас-

на селективна реіннервація м'язів з іннерваційних пулів надлопаткового та пахового нервів, що забезпечують складові РК ПФ2, дозволяє відновити багатоплощинні рухи в плечовому суглобі не лише в межах ефМОР, а й у межах МОР взагалі. Разом із цим селективна реіннервація дозволяє уникнути виникнення феномену "зубчастого колеса", забезпечуючи "плавність" реалізації відновленого руху в будь-якій із його фаз у будь-якій площині, що є однією із наріжних вимог до виконання точних маніпуляцій як домінантною [23, 24], так і асистуючою (значно меншою мірою) [23, 24] верхньою кінцівкою.

Обмеження дослідження. Загалом мала кількість учасників дослідження, що зумовила відсутність можливості розподілити учасників та сформувані групи за подібними ознаками (вік, стать, терміни травми, методи первинного чи вторинного хірургічного відновлення тощо), унеможливило проведення будь-якого достовірного статистичного аналізу.

Висновки

1. Використання класичної транспозиції за Elhassan як первинного хірургічного реконструктивного втручання дозволяє відновити відведення та зовнішню ротацію плеча в пізній період травматичного ушкодження плечового сплетення.

2. Обсяг відновленого відведення та зовнішньої ротації плеча при використанні класичної транспозиції за Elhassan як первинного хірургічного реконструктивного втручання в пізній період травматичного ушкодження плечового сплетення не відповідає мінімальним вимогам, що висувуються до ефективного одно- та багатоплощинного максимального обсягу рухів, необхідних для виконання основних видів активної щоденної діяльності як для домінантної, так і для асистуючої верхньої кінцівки.

3. Використання класичної та модифікованої транспозиції за Elhassan як корегуючого хірургічного реконструктивного втручання в пізній період травматичного ушкодження плечового сплетення дозволяє модулювати напрямок руху (додавати додаткову площину свободи) у плечовому суглобі, що був відновлений на попередніх етапах хірургічної реконструкції;

4. Обсяг відновленого відведення чи зовнішньої ротації плеча при використанні класичної та модифікованої транспозиції за Elhassan як корегуючого хірургічного реконструктивного втручання в пізній період травматичного ушкодження плечового сплетення не відповідає мінімальним

вимогам, що висуваються до ефективного одно- та багатоплощинного максимального обсягу рухів, необхідних для виконання основних видів активної щоденної діяльності як для доміантної, так і для асистуючої верхньої кінцівки.

5. Використання модифікованої транспозиції за Elhassan як корегуючого хірургічного реконструктивного втручання в пізній період травматичного ушкодження плечового сплетення дозволяє більш ефективно відновити одноплощинний рух у плечовому суглобі – відведення плеча – 90° проти 40° при використанні класичної транспозиції за Elhassan.

6. Використання класичної транспозиції за Elhassan як корегуючого хірургічного реконструктивного втручання в пізній період травматичного ушкодження плечового сплетення дозволяє більш ефективно відновити одноплощинний рух у плечовому суглобі – зовнішню ротацію плеча – +15° проти внутрішньоротаторної установки при використанні модифікованої транспозиції за Elhassan.

7. Необхідність використання класичної чи модифікованої ТМ за Elhassan, на нашу думку, повинна мати лише комплементарний характер – вторинне чи корегуюче втручання та обов'язково узгоджуватись із вимогами кожного окремого пацієнта в кожному окремому випадку дисфункції.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів під час підготовки статті.

References

1. Chuang DC. Brachial plexus injury: nerve reconstruction and functioning muscle transplantation. *Semin Plast Surg.* 2010;24(1):57-66. doi: 10.1055/s-0030-1253242.
2. Siqueira MG, Martins RS. Surgical treatment of adult traumatic brachial plexus injuries: an overview. *Arq Neuropsiquiatr.* 2011;69(3):528-535. doi: 10.1590/s0004-282x2011000400023.
3. Oatis, Carol A. Chapter 9: Mechanics and Pathomechanics of Muscle Activity at the Shoulder Complex in *Kinesiology: The Mechanics and Pathomechanics of Human Movement.* 2nd ed. Baltimore, Lippincott Williams & Wilkins, 2009., pp.150-188.
4. Martin E, Senders JT, DiRisio AC, Smith TR, Broekman MLD. Timing of surgery in traumatic brachial plexus injury: a systematic review [published online ahead of print, 2018 May 1]. *J Neurosurg.* 2018;1-13. doi: 10.3171/2018.1.JNS172068.
5. Страфун СС. Клініко-електроміографічні стадії денерваційно-реіннерваційного процесу у м'язах кінцівок при ушкодженні периферичних нервів. *Травма.* 2012. Т. 13, № 4. С. 121-127.
6. Strafun SS. Kliniko-elektromiografichni stadii denervatsiino-reinervatsiinoho protsesu u miazakh kintsivok pry ushkodzhenni peryferichnykh nerviv. *Травма.* 2012. Т. 13, № 4. С. 121-127.
6. Chuang DC. Brachial plexus injury: nerve reconstruction and functioning muscle transplantation. *Semin Plast Surg.* 2010 Feb;24(1):57-66. doi: 10.1055/s-0030-1253242. PMID: 21286305; PMCID: PMC2887004.
7. Moore AM (2014) Nerve transfers to restore upper extremity function: a paradigm shift. *Front. Neurol.* 5:40. doi: 10.3389/fneur.2014.00040.
8. Domeshek LF, Novak CB, Patterson JMM, et al. Nerve Transfers-A Paradigm Shift in the Reconstructive Ladder. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2019;7(6):e2290. Published 2019 Jun 25. doi: 10.1097/GOX.0000000000002290.
9. Bertelli JA, Ghizoni MF: Very distal sensory nerve transfers in high median nerve lesions. *J Hand Surg Am.* 2011, 36:387-93. doi: 10.1016/j.jhssa.2010.11.049.
10. Moore AM, Wagner IJ, Fox IK: Principles of nerve repair in complex wounds of the upper extremity. *Semin Plast Surg.* 2015, 29:40-7. doi: 10.1055/s-0035-1544169.
11. Patterson JMM, Russo SA, El-Haj M, Novak CB, Mackinnon SE. Radial Nerve Palsy: Nerve Transfer Versus Tendon Transfer to Restore Function. *Hand (N Y).* 2022 Nov;17(6):1082-1089. doi: 10.1177/1558944720988126. Epub 2021 Feb 3. PMID: 33530787; PMCID: PMC9608274.
12. Compton J, Owens J, Day M, Caldwell L. Systematic Review of Tendon Transfer Versus Nerve Transfer for the Restoration of Wrist Extension in Isolated Traumatic Radial Nerve Palsy. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev.* 2018 Apr 12;2(4):e001. doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-18-00001. PMID: 30211383; PMCID: PMC6132323.
13. Elhassan B. Lower trapezius transfer for shoulder external rotation in patients with paralytic shoulder. *J Hand Surg Am.* 2014 Mar;39(3):556-62. doi: 10.1016/j.jhssa.2013.12.016. PMID: 24559634.
14. Oatis, Carol A. Chapter 10: Analysis of the Forces on the Shoulder Complex during Activity in *Kinesiology: The Mechanics and Pathomechanics of Human Movement.* 2nd ed. Baltimore, Lippincott Williams & Wilkins, 2009., pp.188-196.
15. Matthews WB. Aids to the examination of the peripheral nervous system. *J Neurol Sci.* 1977;33(1-2):299.
16. Стандартизація в нейрохірургії. Часть 6. Восстановительная и функциональная нейрохирургия. Под ред. академика НАМН Украины, проф. Е. Педаченко. Киев: ГУ "ИНХ НАМНУ", 2020. 144 с.
17. Пшик Я. Анатомо-біомеханічні особливості будови плечового комплексу та види його пошкодження. *Молода спортивна наука України : зб. наук. пр. з галузі фіз. культури та спорту.* Л., 2009. Вип. 13, т. 4. С. 144-149.
18. Pshyk Ya. Anatomо-biomekhanichni osoblyvosti budovy plechovoho kompleksu ta vydu yoho poshkodzhennia. *Moloda sportyvna nauka Ukrainy : zb. nauk. pr. z haluzi fiz. kultury ta sportu.* L., 2009. Vyp. 13, t. 4. S. 144-149.
18. Chuang DCC, Ma HS. Current Concepts in the Management of Obstetrical Brachial Plexus Injuries: The Taipei Experience. *Semin Plast Surg.* 2004 Nov;18(4):309-17. doi: 10.1055/s-2004-837257. PMCID: PMC2884801.
19. Gates DH, Walters LS, Cowley J, Wilken JM, Resnik L. Range of Motion Requirements for Upper-Limb Activities of Daily Living. *Am J Occup Ther.* 2016;70(1):7001350010p1-7001350010p10. doi: 10.5014/ajot.2016.015487.

20. Hartzler RU, Barlow JD, An KN, Elhassan BT. Biomechanical effectiveness of different types of tendon transfers to the shoulder for external rotation. *J Shoulder Elbow Surg.* 2012 Oct;21(10):1370-6. doi: 10.1016/j.jse.2012.01.026. Epub 2012 May 8. PMID: 22572399.

21. Phillips D, Kosek P, Karduna A. The contribution of the supraspinatus muscle at sub-maximal contractions. *J Biomech.* 2018 Feb 8;68:65-69. doi: 10.1016/j.jbiomech.2017.12.015. Epub 2017 Dec 15. PMID: 29277261; PMCID: PMC5783756.

22. Vitikainen AM, Salli E, Lioumis P, Mäkelä JP, Metsähonkala L. Applicability of nTMS in locating the motor cortical representation areas in patients with epilepsy. *Acta*

Neurochir (Wien). 2013 Mar;155(3):507-18. doi: 10.1007/s00701-012-1609-5. Epub 2013 Jan 19. PMID: 23328919.

23. Park H, Choi JY, Yi Sh et al. Relationship between the more-affected upper limb function and daily activity performance in children with cerebral palsy: a cross-sectional study. *BMC Pediatr.* 2021;21:459. doi: 10.1186/s12887-021-02927-2.

24. Lemmens RJ, Janssen-Potten YJ, Timmermans AA, Defesche A, Smeets RJ, Seelen HA. Arm hand skilled performance in cerebral palsy: activity preferences and their movement components. *BMC Neurol.* 2014;14:52. doi: 10.1186/1471-2377-14-52.

The use 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 in Brachial Plexus Injury

Hatskyi O.O.¹, Tretiak I.B.¹, Tsymbaliuk V.I.¹, Tsymbaliuk Ya.V.¹, Jiang Hao¹

¹Restorative Neurosurgery Department, SI "Romodanov Neurosurgery Institute of NAMS of Ukraine", Kyiv

Summary. Background. Brachial plexus injury (BPI) leads to severe dysfunction of the upper extremity (UE). Elbow flexion and multiaxial movements in glenohumeral joint (MGHJ) are prioritized in reconstruction strategy. Time-dependent (< 6 months) nerve transfers (NT) allow effective restoring of MGHJ. Late (> 6 months) reconstruction of MGHJ remains completely dependent on transfers of the functional tendon-muscle complexes. **Objective:** to compare the outcomes of the classic Elhassan (c) and modified (m) transfer of the lower trapezius muscle (LTT) on recovery of monoaxial MGHJ. **Materials and Methods.** Patient (P.) #3 with M4+ recovery of the deltoid muscle (DM) after NT and P. #4 without spontaneous recovery (SR) of DM – forward flexion (FF) was 170° and 0°, respectively, received cLTT. Patient #1 with M4+ recovery of DM after NT and P. #2 with M4+ SR of DM (FF was 160° and 90°, respectively), received mLTT – distal fixation point has been changed from the tendon of the infraspinatus to the tendon of supraspinatus muscle. **Results.** Shoulder abduction (ABD) has been restored to 90° in P. #1 and P. #2, while the recovery of the external rotation (ER) has not been achieved – upper arm remained internally rotated (IR). ABD has been restored to 40° and 80° in P. #3 and P. #4; simultaneously +15° and +70° of ER has been restored. **Conclusions.** The use of mLTT leads to more effective recovery of monoaxial MGHJ – ABD – 90° vs. 40° after cLTT. The use of cLTT leads to more effective recovery of another monoaxial MGHJ – ER – +15° and +70° vs. IR after mLTT; LTT should only be considered as a complementary surgical procedure, which utilization should cohere with a patient's requirements to the MGHJ.

Key words: brachial plexus injury; tendon transfer; trapezius muscle; shoulder abduction; shoulder external rotation; nerve transfer.