

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

ГАЦЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

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

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

14.01.05 – Нейрохірургія

222 – Медицина

22 – Охорона здоров'я

РЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора медичних наук

Київ – 2024

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Робота виконана в Державній установі «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України»

Науковий консультант: доктор медичних наук, професор, академік НАН та НАМН України **Цимбалюк Віталій Іванович**; Національна академія медичних наук України, президент; Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця МОЗ України, завідувач кафедри нейрохірургії

Офіційні опоненти:

- доктор медичних наук **Борзих Наталя Олександрівна**, керівник відділу реабілітації ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України»;
- доктор медичних наук, професор **Грабовий Олександр Миколайович**, завідувач кафедри гістології та ембріології Національного медичного університету імені О.О. Богомольця МОЗ України;
- доктор наук з фізичного виховання та спорту, професор **Бісмак Олена Василівна**, професор кафедри терапії та реабілітації Національного університету фізичного виховання і спорту України.

Захист відбудеться «24» грудня 2024 р. о 12-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.557.01 в ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України» за адресою: 04050, м.Київ, вул. П.Майбороди, 32.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України» (04050, м.Київ, вул. П. Майбороди, 32).

Вчений секретар

Спеціалізованої вченої ради з присудження наукового ступеня доктора наук Д 26.557.01, д-р мед.наук, професор

О.Є. Скобська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Головною метою хірургічного лікування травматичних ушкоджень структур периферичної нервової системи є відновлення функції рухового та чутливого апаратів органів-ефекторів. Основним показом до проведення хірургічного втручання є відсутність ознак (клінічних, електрофізіологічних тощо) відновлення (Warren, J. et al., 1969; Landi, A. et al. 1980; Carvalho, G. A. et al., 1997; Walker, A. T. et al., 1996) чи суттєва затримка відновлення (Warren, J. et al., 1969; Landi, A. et al. 1980; Carvalho, G. A. et al., 1997; Walker, A. T. et al., 1996) протягом визначеного «конвенційного часу» (Siqueira, M. G., & Martins, R. S., 2011; Terzis, J. K. et al, 1999; Nagano, A., 1998) з моменту ушкодження, що відведений на процес спонтанної регенерації (Siqueira, M. G., & Martins, R. S., 2011; Terzis, J. K. et al, 1999; Nagano, A., 1998; Sakellariou, V. I. et al., 2014). Саме тому велика кількість робіт протягом усього періоду існування галузі реконструктивної хірургії периферичної нервової системи (ПНС) була (Walker, A. T. et al., 1996; Siqueira, M. G., & Martins, R. S., 2011; Terzis, J. K. et al, 1999; Nagano, A., 1998; Sakellariou, V. I. et al., 2014) і залишається (Tretyak, I. B., 2009) присвяченою визначенню потенціалу структур ПНС до «самостійного» відновлення після травми – спонтанної регенерації. Ефективність комплексу заходів (Siqueira, M. G., & Martins, R. S., 2011; Sakellariou, V. I. et al., 2014; Tretyak, I. B., 2009), що направлений на визначення потенціалу до спонтанної регенерації, залишається дискутабельним, оскільки спрогнозувати якісний компонент відновлення функції органу-ефектора (зокрема, рухового компоненту) майже неможливо. Незважаючи на той факт, що спонтанна регенерація може відбутись і у значно пізніші (Sakellariou, V. I. et al., 2014; Tretyak, I. B., 2009; Nagano, A. et al., 1989; Samii, M. et al., 1997; Songcharoen, P. et al., 1996; Dubuisson, A. S., & Kline, D. G., 2002), по відношенню до конвенційних, терміни, більшість дослідників вважає необхідним залучати можливості реконструктивної хірургії в терміни не пізніше 3-4 міс. з моменту травми (Duraku, L. S. et al., 2023).

Спектр методик реконструктивної хірургії, що використовується для полегшення (Siqueira, M. G., & Martins, R. S., 2011; Sakellariou, V. I. et al., 2014; Duraku, L. S. et al., 2023), посилення (Siqueira, M. G., & Martins, R. S., 2011; Sakellariou, V. I. et al., 2014; Tretyak, I. B., 2009; Duraku, L. S. et al., 2023) чи ініціації регенераційного процесу *ad novo* ((Siqueira, M. G., & Martins, R. S., 2011; Sakellariou, V. I. et al., 2014; Tretyak, I. B., 2009; Duraku, L. S. et al., 2023) при травмі структур ПНС, значно різниться. Головною відмінністю різних методик є ступінь їх агресивності, **селективності**, тобто вибірковості по відношенню до одиної бажаної функції (здебільшого рухової, (Duraku, L. S. et al., 2023)), яку необхідно відновити, та, відповідно, **прогнозованості** (Duraku, L. S. et al., 2023) бажаного функціонального результату, а відтак, й **надійності** (ефективності) методики (Duraku, L. S. et al., 2023). Так, найменш агресивною, найменш селективною та найменш

прогнозованою (в контексті прогнозу відновлення вибраних функцій) є методика зовнішнього та внутрішнього невротізу (Chuang D. C., 2008), більш агресивною, селективною та прогнозованою – аутологічна пластика (Chuang D. C., 2008; Groen, J. L. et al., 2023). Найвищим ступенем селективності та прогнозованості функціонального результату серед усіх реконструктивних методик хірургічного відновлення є селективна реіннервація, невротизація (Duraku, L. S. et al., 2023). Хоча такі фактори, як вік, час від моменту травми, анатомічна характеристика ушкоджень тощо (Duraku, L. S. et al., 2023), відіграють значущу роль у якісному результаті відновлення бажаної функції, в більшості випадків модулювати (змінити) їх неможливо (Duraku, L. S. et al., 2023). Єдиним фактором та його похідними, що піддаються модуляції, є вибір методики (та її похідних – методів) хірургічної реконструкції у бік більш ефективною та прогнозованою.

На шляху становлення реконструктивної хірургії ПНС в Україні сформувались визначені підходи до вирішення питання ефективності та прогнозованості відновлення (Tretyak, I. V., 2009; Tsymbaliuk, Iu.V., 2015), що на думку автора (нехай і суб'єктивну в певній мірі) суттєво відрізняється від світової тенденції (Domeshek, L. F. et al., 2019; Moore, A.M., 2014). Дисертаційні дослідження Третяка І.В. та Цимбалюк Ю.В. (Tretyak, I. V., 2009; Tsymbaliuk, Iu.V., 2015) тяжіють здебільшого до розв'язання проблеми хірургічного відновлення ушкоджених структур ПНС шляхом прогнозування ймовірності спонтанної регенерації (на основі аналізу комплексної оцінки неврологічних, електрофізіологічних характеристик травми тощо) та застосування менш агресивних хірургічних методик. Основною ідеєю вказаних вище робіт була ініціація та посилення власного регенераційного потенціалу організму за допомогою хірургічних методик шляхом залучення багаторівневих ланцюгів в єдиній системі ЦНС та ПНС (Tretyak, I. V., 2009; Tsymbaliuk, Iu.V., 2015). Проведені дослідження довели свою універсальність (при ушкодженні будь-яких структур ПНС будь-якого сегменту будь-якої кінцівки) та ефективність (Tretyak, I. V., 2009; Tsymbaliuk, Iu.V., 2015). Незважаючи на це, питання селективності відновлення бажаної функції залишалось відкритим.

З іншого боку, світова тенденція в реконструктивній хірургії, врахувавши увесь досвід попередніх років (Domeshek, L. F. et al., 2019; Moore, A.M., 2014) протягом щонайменше останнього десятиліття змістилась в бік більш агресивної хірургічної методики – переміщення нервів (від англ. nerve transfer), невротизації, селективної реіннервації (Domeshek, L. F. et al., 2019; Moore, A.M., 2014). Важливо, що процес сприйняття селективної невротизації у світі у якості більш надійної (в контексті ефективності) селективної та прогнозованої методики ще досі характеризується мозаїчністю – процес не відбувається одночасно на одному континенті, в країні, місті та навіть неодноразово в межах однієї установи. З точки зору філософії науки, такий динамічний мозаїчний процес зміни в хірургічному

підході до лікування травматичних ушкоджень структур ПНС носить назву зміни концепції або «зміни парадигми» (Kuhn, Thomas, S., 1996).

Фундамент розвитку селективної реіннервації в Україні був закладений в роботі Третяка І.Б. (Tretyak, I. B., 2009). Саме в ній була вперше охарактеризована загальна концепція методики, та представлені позитивні функціональні результати використання елективних методів (Tretyak, I. B., 2009). Саме тому глобальне питання, яке ставиться перед даною роботою, є проведення об'єктивної порівняльної оцінки **надійності, селективності та прогнозованості** різних методик реіннервації м'язів з метою відновлення їх 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, що використанні в даному дослідженні, частково вивчались в рамках 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» (№ 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 роботи - покращення одночасного відновлення ефективних силових та ефективних функціональних характеристик ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу), ізольована функція яких здатна забезпечити ними 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), що спрямовані 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 основі сучасних анатомічних та кінезіологічних знань визначити ключові м'язи (групи м'язів із одного іннерваційного пулу), обґрунтувати, що саме робота лише ключових м'язів та їх груп (в межах фізіологічної норми) здатна ефективно провадити 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 їх груп (в межах фізіологічної норми) сегментів верхньої кінцівки при виконанні основних видів активної щоденної діяльності.

3. На основі 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 сталими 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 селективної методики та неселективних методик їх хірургічної реіннервації серед когорти пацієнтів, що були включені в дослідження.

6. Вивчити та порівняти результати відновлення ефективної функції ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) після селективної методики та неселективних методик їх хірургічної реіннервації серед когорти пацієнтів, що були включені в дослідження.

7. Вивчити здатність окремих нервів-донорів рухових волокнин 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 волокнин 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 волокнин 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 проведеного дослідження.

11. Обґрунтувати переваги 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, засвідчити факт зміни концепції (парадигми) в 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), що спрямовані на одночасне відновлення ефективних силових характеристик, ефективних функціональних характеристик усіх ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) та, врешті, ефективного 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 з метою оцінки силових характеристик та функцій ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) на момент включення в дослідження та протягом визначеного періоду після проведення будь-якого хірургічного реконструктивного втручання; 2) електрофізіологічний – комплекс електрофізіологічних методів (сЕНМГ, голкова ЕМГ та 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 з метою оцінки достовірності отриманих даних.

В роботі використано останню (шосту) Лондонську анатомічну номенклатуру, затверджену номенклатурним комітетом на XII Міжнародному конгресі анатомів (Лондон, 1985 р.), список латинських термінів якої був доповнений у останньому виданні 1989 р. (Нью-Йорк) та перекладений українською мовою ((Tretyak, I. V., 2009).

Наукова новизна отриманих результатів. На основі аналізу сучасних анатомічних та кінезіологічних знань вперше на теренах України визначено поняття «ключового м'язу» (групи м'язів із одного іннерваційного пулу), ізольована функція якого (яких) здатна забезпечити ефективне виконання ним функції у межах сегментарного апарату верхньої кінцівки.

На основі аналізу сучасних анатомічних та кінезіологічних знань вперше на теренах України визначено поняття «ефективної функції» ключових м'язів (групи м'язів із одного іннерваційного пулу) для забезпечення мульти- (багато-) та моноаксіальних (одноплосинних) рухів в сегментах верхньої кінцівки та глобальної функції верхньої кінцівки в умовах фізіологічної норми та в умовах патології – при ушкодженні структур ПНС різних анатомічних локалізацій.

Систематизовано знання про джерела іннервації, анатомічні особливості кінцевих гілок джерел іннервації та, вперше на теренах України, уточнені знання анатомічної мікроархітектури (внутрішньостовбурової фасцикулярної анатомії ПН 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 в умовах патології – при ушкодженні структур ПНС різних анатомічних локалізацій.

Вперше на теренах України вивчено, вдосконалено та використано 18 нових методів селективної та суперселективної (із урахуванням анатомічних особливостей кінцевих гілок джерел іннервації та анатомічної мікроархітектури (внутрішньостовбурової фасцикулярної анатомії ПН верхньої кінцівки) для реіннервації ключових м'язів усіх сегментів верхньої кінцівки.

Вивчено, вдосконалено, використано та проаналізовано результати застосування методів селективної невротизації ключових м'язів в залежності від порядку їх пріоритетності для відновлення ефективних мульти- (багато-) та моноаксіальних (одноплосинних) рухів в сегментах верхньої кінцівки.

Проаналізувавши результати, що були отримані в ході проведеного дослідження і застосувавши концепцію селективної невротизації при ушкодженнях структур ПНС верхньої кінцівки для ушкодження структур ПНС інших анатомічних ділянок, вперше у світі розроблено та використано 2 нових методи селективної реіннервації: реіннервації трапецієвидного м'язу за рахунок рухових гілок шийного сплетення (Gatskiy, A. A. et al., 2022) та суперселективної реіннервації глибокої порції малогомілкового нерва за рахунок великогомілкового нерва (Gatskiy, A. A. et al., 2019), на останній з яких отримано Патент України на корисну модель № 134795 (Індекс МПК А61В17/00, від 10.06.2019 р.).

Практичне значення отриманих результатів. Запроваджено в щоденну клінічну практику ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України» 18 нових нових методів селективної та суперселективної (із урахуванням анатомічних особливостей кінцевих гілок джерел іннервації та анатомічної мікроархітектури – внутрішньостовбурової фасцикулярної анатомії ПН верхньої кінцівки) реіннервації ключових м'язів усіх сегментів верхньої кінцівки.

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

Основні положення дисертації використовуються в педагогічній роботі на кафедрі нейрохірургії Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця.

Особистий внесок здобувача. Тема роботи була запропонована здобувачем особисто. Здобувачем був проведений патентно-інформаційний пошук, проаналізована література за обраною тематикою, написаний огляд літератури, проведено вивчення медичної документації згідно із планом дослідження, сформовані групи, здійснена статистична обробка та науковий аналіз отриманих результатів. Здобувачем самостійно написані усі розділи

дисертації, сформульовані висновки та практичні рекомендації, підготовлені матеріали до публікації. У наукових результатах, розробках, що відображені в 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 України 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 їх комплексів для забезпечення ефективних рухів верхньої кінцівки, 3 розділів власних досліджень, висновків, списку використаних літературних джерел, додатків. Дисертація ілюстрована 15 таблицями, 121 рисунком. Список використаної літератури становить 258 джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Матеріали і методи дослідження. 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 по 2019 рр.

В дослідження включено 172 чоловіки та 31 жінка із травматичним ушкодженням структур плечового сплетення (ТУ ПС) усередненим віком 37,3 р.

Для визначення рівня, ступеня та характеру ушкодження структур ПС на етапі включення в дослідження та до проведення будь-якого первинного РВ використовували клінічні неврологічні методи, нейрофізіологічні (НФ)

методи (стимуляційна електронейроміографія (сЕМГ), голкова електронейроміографія (гЕМГ), соматосенсорні викликані потенціали (ССВП)) та рентгенологічні методи (рентгенографія, МСКТ МРТ).

Включені пацієнти були розподілені в залежності від рівня ТУ ПС за класифікацією Chuang D.C.C (2010 р.): 149 пацієнтів (Рівень 1-3) із надключичним (Н-ТУ ПС) та 54 пацієнта (Рівень 4) із підключичним (П-ТУ ПС) ТУ ПС. Середні терміни від одержання травми до моменту виконання будь-якого *первинного* планового реконструктивного хірургічного (РВ) втручання у пацієнтів із Н-ТУ ПС становили 7,45 місяців, у пацієнтів із П-ТУ ПС становили 7,2 місяців. Епідеміологія анатомічних характеристик Н-ТУ ПС: 1 пацієнт із Н-ТУ ПС С5 корінця, 40 пацієнтів із Н-ТУ ПС С5-С6, 49 із Н-ТУ ПС С5-С6-С7, 11 пацієнтів із Н-ТУ ПС С5-С6-С7-С8, 48 пацієнтів із Н-ТУ ПС за тотальним типом (Тотал.). Епідеміологія анатомічних характеристик П-ТУ ПС: 25 пацієнтів із П-ТУ ПС одного вторинного пучка, у 16 пацієнтів П-ТУ ПС двох вторинних пучків, 13 пацієнтів П-ТУ ПС трьох вторинних пучків (Тотал.).

Додатково включені в дослідження пацієнти були розподілені 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 пріоритетності – згинання в ліктьовому суглобі, що забезпечується функцією ключового м'язу (КлМ) *m.biceps brachii* (джерело іннервації *n.musculocutaneus*); 2-й порядок пріоритетності – багатоплощинні рухи в плечовому суглобі (згинання та вертикальна зовнішня ротація), що забезпечуються функцією *m.deltoideus* (джерело іннервації *n. axillaris*) *m.supraspinatus et infraspinatus* (джерело іннервації *n.suprascapularis*), відповідно; 3-й порядок пріоритетності – розгинання в ліктьовому суглобі, що забезпечується функцією КлМ *m. triceps brachii* (джерело іннервації *n. radialis*); 5-й порядок пріоритетності – розгинання в променево-зап'ястковому суглобі, що забезпечується функцією КлМ *m.extensor carpi radialis brevis (n. radialis)*. Так, усі пацієнти із Н-ТУ ПС включені досліджувану підгрупу «МОДЕЛЬ А» – 149 пацієнтів із Н-ТУ ПС потребували відновлення пріоритетних функцій 1-го та 2-го порядків (100 %), з них один пацієнт потребував відновлення лише пріоритетної функції 2-го порядку (0,7 %); 54 пацієнти із П-ТУ ПС включені в досліджувану підгрупу «МОДЕЛЬ Б» – 39 пацієнтів (72 %) із П-ТУ ПС потребували відновлення пріоритетних функцій 3-го та 5-го порядків.

148 пацієнтам «МОДЕЛЬ А» для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку (згинання в ліктьовому суглобі, КлМ *m. biceps brachii*, *n. musculocutaneus*) виконано: 76 пацієнтам – РВ «невроліз», 14 пацієнтам – РВ «аутологічна пластика», 58 пацієнтам – 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 пацієнтам – РВ «аутологічна пластика», 42 пацієнтам – 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 пацієнтам – РВ «аутологічна пластика», 29 пацієнтам – РВ «невротизація». Для відновлення функції КЛМ, що відповідає за забезпечення пріоритетної функції 1-го порядку використано 7 різних іпсилатеральних нервів-донорів екстра- та інтраплексусного походження: у 29 випадках *n. phrenicus*, у 3 випадках – *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, у 2 випадках – *nn. intercostales 2-5*, 1 випадку – *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*, у 7 випадках – волокнину *n. ulnaris* до *m. flexor carpi ulnaris*, у 9 випадках – *n. pectoralis lateralis*, у 7 випадках – *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 екстра- та інтраплексусного походження: у 22 випадках *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, у 3 випадках – *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*, у 14 випадках – волокнини *n. radialis* до *caput mediale m. triceps brachii*, у 2 випадках – проксимальну куксу передньої гілки спінального нерва C5, у 1 випадках – *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*) було використано 2 різних іпсилатеральних нервів-донорів лише екстраплексусного походження: у 9 випадках *ramus sternocleidomastoideus nervi accessorii*, у 20 випадках – *ramus trapezoideus (pars ascendens) nervi accessorii*.

39 пацієнтам «МОДЕЛЬ Б» для відновлення пріоритетної функції 3-го порядку (розгинання в ліктьовому суглобі, *m. triceps brachii*, *n. radialis*) виконано: 27 пацієнтам – РВ «невроліз», 12 пацієнтам – РВ «аутологічна пластика»; для відновлення пріоритетної функції 5-го порядку (розгинання в променево-зап'ястковому суглобі, *m. extensor carpi radialis brevis*, *n. radialis*) виконано: 27 пацієнтам – РВ «невроліз», 12 пацієнтам – РВ «аутологічна пластика».

Для оцінки результатів проведених РВ, що були направлені на відновлення функцій верхньої кінцівки у визначеному порядку їх пріоритетності в терміни 6, 9 та 12 міс. (для РВ «невроліз» та РВ «аутологічна пластика») та 9, 12, 15 міс. (для РВ «невротизація») проводили оцінку силових характеристик відповідних КЛМ за MRC Scale – де M4-5 вважались ефективним відновленням силових характеристик. Здатність КЛМ, відновлення силових характеристик яких вважались ефективним, провадити ефективну функцію у відповідних сегментах верхньої кінцівки визначали за кутами відхилення у відповідних суглобах, зумовлених роботою КЛМ. У випадку зміни кута у відповідному суглобі до кутових характеристик, що ґрунтуються на вимогах для 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 – 108 ° згинання в плечовому суглобі (для *m. deltoideus*, *n. axillaris*), 55 ° вертикальної зовнішньої ротації в плечовому суглобі (*m. supraspinatus et infraspinatus*, *n. suprascapularis*); для пріоритетної функції 3-го порядку (*m. triceps brachii*, *n. radialis*) – 70 ° розгинання в ліктьовому суглобі; для пріоритетної функції 5-го порядку (*m. extensor carpi radialis brevis*, *n. radialis*) – 40 ° розгинання в променево-зап'ястковому суглобі.

Порівняння результатів неселективних (РВ «невроліз» та РВ «аутологічна пластика») та селективних (РВ «невротизація») в рамках проведеного дослідження можливим було лише серед пацієнтів «МОДЕЛЬ А» – Н-ТУ ПС.

Результати та їх обговорення. Відновлення ефективних силових характеристик (М4-5) 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 % (аутологічна пластика), після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. musculocutaneus*) – 67,2 % випадків застосування, що у 3,6 ($X\text{-squared} = 40$, $dF = 2$, $p < 0,0001$) та 2,4 рази 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 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; 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.

Відновлення ефективних силових характеристик (М4-5) 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 % (аутологічна пластика), після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. axillaris*) – 31 % випадків застосування, що у 4,3 ($X\text{-squared} = 8,1$, $dF = 2$, $p = 0,02$) та 2,2 рази ефективніше ($X\text{-squared} = 4,8$, $dF = 2$, $p = 0,09$) за неселективні методи. Відновлення ефективної функції *m. deltoideus* (згинання в плечовому суглобі щонайменше до 108 °) при проведенні неселективного (невроліз) хірургічного 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. 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 %.

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 % (аутологічна 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. 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. 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 %.

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 успішних суперселективних невротизацій n. *radialis*, n. *medianus* та n. *ulnaris* дериватів пучків ПС для реіннервацій відповідних КлМ та їх груп при ізольованих ушкодженнях довгих нервів верхньої кінцівки – «МОДЕЛЬ В». Дана когорта із 103 пацієнтів не включена в основну вибірку у зв'язку із тим, що реконструктивні втручання, котрі були виконані, можна охарактеризувати як «похідні» в методологічному плані, але саме вони допомогли розвинути та підтвердити ідею універсальності методики селективної реіннервації – здатність використовувати при будь-якому ушкодженні нервів, будь-якого сегменту, будь-якої кінцівки – ефективність, надійність та прогнозованість якої була доведена в підгрупі пацієнтів із Н-ТУ ПС досліджуваної вибірки («МОДЕЛЬ А», пріоритетні функції 1-го та 2-го порядків).

Таким чином, підсумовуючи результати проведеної роботи, гіпотеза дослідження – селективна реіннервація є більш надійною, ефективною, прогнозованою та універсальною методикою у порівнянні із традиційними хірургічними методиками відновлення ефективної функції ключових м'язів при ушкодженні нервів кінцівок – підтверджена.

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 % (аутологічна пластика), після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. musculocutaneus*) – 67,2 % випадків застосування, що у 3,6 ($X\text{-squared} = 40$, $dF = 2$, $p < 0,0001$) 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 % (аутологічна пластика), після селективної хірургічної реіннервації (невротизація *n. axillaris*) – 31 % випадків застосування, що у 4,3 ($X\text{-squared} = 8,1$, $dF = 2$, $p = 0,02$) та 2.2 ($X\text{-squared} = 4,8$, $dF = 2$, $p = 0,09$) 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 % (аутологічна 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 ефективному згинанню 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 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, узагальненні результатів, підготував статтю до друку).

6. Gatskiy, A. A., Tretyak, I. V., Tretyakova, 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. 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).

(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., Третьак, 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., & 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>

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

12. Гацький, О. О., Третьак, 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, узагальненні 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 задоволеною 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, узагальненні 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 малогомілкового 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. Третьяк, І. Б., Коваленко, І. В., Третьяков, Р. А., Гацький, О. О., Третьякова, 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).

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.

В аналітичне контрольоване ретроспективне когортне одноцентрове дослідження (2013-2019рр.) було залучено 203 пацієта (172 чоловіки та 31 жінку) із травматичним ушкодженням (ТУ) структур плечового сплетення (ПС). Середній вік пацієнтів – 37,3 року. Пацієнтів розподілили в залежності

від рівня ТУ ПС за класифікацією D.C.C. Chuang (2010): 149 пацієнтів (рівень 1-3, МОДЕЛЬ «А») із надключичним (Н-ТУ ПС) та 54 пацієнта (рівень 4, МОДЕЛЬ «Б») із підключичним (П-ТУ ПС) ушкодженням. Усі пацієнти із Н-ТУ ПС потребували відновлення пріоритетних функцій 1-го (згинання в ліктьовому суглобі, ключовий м'яз (КЛМ) *m. biceps brachii*, *n. musculocutaneus*) та 2-го порядків (багатоплощинні рухи в плечовому суглобі, КЛМ *m. deltoideus*, *n. axillaris* та КЛМ *mm. supraspinatus et infraspinatus*, *n. suprascapularis*) відповідно; із 54 пацієнтів із П-ТУ ПС 39 (72 %) потребували відновлення пріоритетних функцій 3-го (розгинання в ліктьовому суглобі, КЛМ *m. triceps brachii*, *n. radialis*) та 5-го порядків (розгинання в променево-зап'ястковому суглобі, КЛМ *m. extensor carpi radialis brevis*, *n. radialis*).

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 і рентгенологічні методи.

Для відновлення пріоритетної функції 1-го порядку виконано 76 РВ «невроліз», 14 РВ «аутологічна пластика», 58 РВ «невротизація»; для відновлення складової пріоритетної функції 2-го порядку (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 (КЛМ *m. supraspinatus et infraspinatus*, *n. suprascapularis*) 106 пацієнтам виконано РВ «невроліз», 14 – РВ «аутологічна пластика», 29 – РВ «невротизація»; для відновлення пріоритетної функції 3-го порядку 27 пацієнтам виконано РВ «невроліз», 12 – РВ «аутологічна пластика»; для відновлення пріоритетної функції 5-го порядку 27 пацієнтам виконано РВ «невроліз», 12 – РВ «аутологічна пластика».

Для оцінки результатів проведених РВ, в терміни 6, 9, 12 та 15 міс проводили оцінку силових характеристик відповідних КЛМ за MRC Scale – М4-5 ефективного відновлення силових характеристик (ЕфС). Зміна кута у відповідному суглобі за рахунок ЕфС КЛМ відповідала його ефективній функції (ЕфР): згинання в ліктьовому суглобі до щонайменше 121 о, згинання в плечовому суглобі до 108 о, вертикальної зовнішньої ротації в плечовому суглобі до 55 о; розгинання в ліктьовому суглобі до 70 о; розгинання в променево-зап'ястковому суглобі до 40 о.

Відновлення ЕфС КЛМ *m. biceps brachii* після проведення неселективного РВ «невроліз» та РВ «аутологічна пластика» досягнуто у 18,4 % та 28,6 % випадків, після селективної РВ «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 ЕфР *m. biceps brachii* після РВ «невроліз» у терміни до 6 міс після травми досягнуто у 15,2 % випадків, після селективної РВ «невротизація» *n. musculocutaneus*) – у 31,7 % випадків, що у 2,1 разу ефективніше за неселективний метод. Найкращого відновлення ЕфС КЛМ *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.

Відновлення ЕфС КЛМ m. deltoideus після проведення неселективного РВ «невроліз» та РВ «автологічна пластика» досягнуто у 7,1 % та 14 % випадків, після селективної РВ «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 ЕфР m. deltoideus після РВ «невроліз» у терміни до 6 міс після травми досягнуто в 11 % випадків, після РВ «невротизація» n. axillaris – у 31 % випадків, що у 2,8 разу ефективніше за неселективний метод. Найкращого відновлення ЕфР 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 – у 100 %.

Відновлення ЕфС КЛМ mm. supraspinatus et infraspinatus після проведення неселективного РВ «невроліз» та РВ «автологічна пластика» досягнуто у 10,4 % та 0 % випадків, після селективної РВ «невротизація» n. suprascapularis – у 37,9 % випадків, що у 3,6 разу ефективніше ($p < 0,0001$) за неселективний метод. Відновлення ЕфР mm. supraspinatus et infraspinatus після РВ «невроліз» у терміни до 6 міс після травми досягнуто в 1,4 % випадків, після РВ «невротизація» n. suprascapularis – у 26,3 % випадків, що у 2,8 разу ефективніше за неселективний метод. Найкращого відновлення ЕфР 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.

Селективна реіннервація є більш надійною, ефективною, прогнозованою та універсальною методикою порівняно з традиційними хірургічними методиками відновлення ефективної функції КЛМ при ушкодженні нервів кінцівок.

Ключові слова: ушкодження, нерв, плечове сплетення, невроліз, 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.

203 patients (172 male and 31 female) (mean age 37.3 years) with traumatic injury to the brachial plexus (TBPI) were enrolled into the analytic retrospective cohort single-center study (2013-2019).

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, MODEL A) with supraclavian TBPI (sTBPI) and 54 (Level 4, MODEL B) with infraclavian TBPI (iTBPi). Mean terms from injury to any type of primary reconstructive surgical (RS) procedure among sTBPI patients were 7.45 mos. All enrolled patients with sTBPI required restoration of the Priority 1 (P1) (elbow flexion, key muscle (KM) *m. biceps brachii*, *n. musculocutaneus*) and P2 (multiaxial movements in glenohumeral joint, KM *m. deltoideus*, *n. axillaris* and KMs *m. supraspinatus et infraspinatus*, *n. suprascapularis*) function of the upper extremity. Thirty nine (72 %) out of 54 patients with iTBPi required restoration of P3 (elbow extension, KM *m. triceps brachii*, *n. radialis*) and P5 (wrist extension, *m. extensor carpi radialis brevis*, *n. radialis*).

Neurologic examination, electrodiagnostics and radiologic methods have been utilized at the time of inclusion in order to define level and severity of TBPI.

sTBPI (MODEL A) 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 all aimed to restore P1; 93 N, 14 G and 42 NT aimed at restoring P2 (shoulder forward flexion, *m. deltoideus*, *n. axillaris*); 106 N, 14 G and 29 NT aimed at restoring P2 (vertical external rotation of the shoulder, *m. supraspinatus et infraspinatus*, *n. suprascapularis*). Thirty nine iTBPi patients (MODEL B) received neurolysis (N) of the brachial plexus structures in 27 cases, autologous grafting (G) in 12 all 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 reconstructive surgery (RS) efficacy the power (effective power, Ep) of KM has been measured on MRC Scale (M4-5 has been considered as effective power) in 6, 9, 12 and 15 mos. The effective function (Ef) of the KM (with recovered Ep only) has been 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; P2 – 108 ° of shoulder forward flexion mediated and 55 ° of vertical external rotation of the shoulder; P3 – 70 ° of elbow extension; P5 – 40 ° of wrist extension.

Recovery of Ep (M4-5) for P1 has been achieved in 18.4 % of N cases and 28.6 % of G cases; recovery of Ep (M4-5) for P1 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 ° or greater) for P1 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 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 musculi 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 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.

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.

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

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КлМ	– ключовий м'яз
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
ТУ ПС	– травматичне ушкодження плечового сплетення
ЦНС	– центральна нервова система
MRC Scale	– Medical Research Council Scale (силові характеристики м'язу)