

Оригінальна стаття = Original article = Оригинальная статья

УДК 617.57/.58:616.833-001-08

Концепція відновлення функції кінцівки при травматичному ушкодженні периферичних нервів

Цимбалюк В.І.¹, Страфун С.С.², Гайко О.Г.³, Гайович В.В.²

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

² Клініка мікрохірургії та реконструктивної хірургії верхньої кінцівки, Інститут травматології та ортопедії НАМН України, Київ, Україна

³ Відділення функціональної діагностики, Інститут травматології та ортопедії НАМН України, Київ, Україна

Надійшла до редакції 10.06.16.

Прийнята до публікації 17.06.16.

Адреса для листування:

Гайович Василь Васильович, Клініка мікрохірургії та реконструктивної хірургії верхньої кінцівки, Інститут травматології та ортопедії, вул. Бульварно-Кудрявська, 27, Київ, Україна, 01601, e-mail: gayovich@mail.ru

Мета. На основі аналізу тяжкості ушкодження периферичних нервів (ПН), а також структурно-функціонального стану м'язів розробити основні положення з лікування травматичного ушкодження нервів кінцівок.

Матеріали і методи. Проаналізовані результати лікування 726 потерпілих з приводу травми ПН кінцівок. Травма верхньої кінцівки виникла у 345 (47,5%) потерпілих, нижньої кінцівки — у 381 (52,5%). Електроміографія (ЕМГ) проведена у 460 хворих за допомогою апаратів "Neuroscreen" (Toenis, Німеччина) та "Viking Quest" (Nicollet, США). Ультразвукове дослідження здійснене у 185 хворих з використанням апаратів HDI 3500 та HD 11 XE (Philips) з мультисистемними лінійними датчиками з частотою 5–12 МГц.

Результати. У 70,2% потерпілих ушкодження нервів виникло при поліструктурній травмі кінцівки з ураженням двох анатомо-функціональних структур і більше. На підставі аналізу результатів клінічного обстеження, УЗД та ЕМГ запропонована концепція лікування ушкодження ПН при травмі кінцівки та виділені її основні положення: визначення рівня та тяжкості ушкодження нерва, прогнозу його відновлення та реіннервації м'язів; оцінка характеру та тяжкості ураження ключових м'язів (денервація або поєднання кількох патологічних процесів); оцінка ушкодження інших структур травмованого сегмента кінцівки з огляду на особливості поліструктурної травми в алгоритмі лікування.

Ключові слова: травматичне ушкодження периферичних нервів; відновлення функції кінцівки.

Український нейрохірургічний журнал. — 2016. — №3. — С.48-54.

The concept of limb function recovery in traumatic injury of peripheral nerves

Vitaliy Tsymbaliuk¹, Sergiy Strafun², Oksana Haiko³, Vasil Gaiovych²

¹ Restorative Neurosurgery Department, Romodanov Neurosurgery Institute, Kiev, Ukraine

² Clinic of Hand Microsurgery and Reconstructive Surgery, Institute of Traumatology and Orthopedics, Kiev, Ukraine

³ Functional Diagnostics Department, Institute of Traumatology and Orthopedics, Kiev, Ukraine

Received, June 10, 2016.

Accepted, June 17, 2016.

Address for correspondence:

Vasyl Gayovich, Clinic of Hand Microsurgery and Reconstructive Surgery, Institute of Traumatology and Orthopedics, 27 Bulvarno-Kudryavska St., Kiev, Ukraine, 01601, e-mail: gayovich@mail.ru

Purpose. To develop key principles in the treatment of traumatic injury of peripheral nerves basing on analysis of injury of peripheral nerves severity, and structural and functional condition of muscles.

Materials and methods. We analyzed the results of treatment of 726 patients with injury of peripheral nerves of the extremities. Injury of the upper extremity had 345 (47.5%) patients, with lower limb trauma 381 (52.5%) patients. Electromyography study was performed to 460 patients on "Neuroscreen" (Toenis, Germany) and "Viking Quest" (Nicollet, USA). Ultrasound of muscles was performed to 185 patients on HDI 3500 device and HD 11 XE (Philips) with a multifrequency linear transducer (5–12 MHz).

Results. In 70.2 % of cases, nerve injury has polystructural injury of two or more anatomical and functional structures. Based on the analysis of clinical examination, ultrasound and EMG data characteristics we proposed the concept of the treatment of peripheral nerve injuries in limbs trauma and highlighted its main points: the definition of the level and severity of the nerve damage, forecast its recovery and muscle reinnervation; assessment of the nature and degree of severity of the key muscle (denervation or a combination of several pathological processes), assessment of damage to other structures of the injured limb segment allowing for the polystructural injury treatment algorithm.

Key words: traumatic injuries of peripheral nerves; restore function of the limb.

Ukrainian Neurosurgical Journal. 2016;(3):48-54.

Концепция восстановления функции конечности при травматическом повреждении периферических нервов

Цимбалюк В.И.¹, Страфун С.С.², Гайко О.Г.³, Гайович В.В.²

¹ Отделение восстановительной нейрохирургии, Институт нейрохирургии им. акад. А.П.Ромоданова НАМН Украины, Киев, Украина

Цель. На основе анализа тяжести повреждения периферических нервов, структурно-функционального состояния мышц разработать основные положения лечения травматического повреждения нервов конечностей.

Материалы и методы. Проанализированы результаты лечения 726 пострадавших по поводу травмы периферических нервов конечностей. Травма верхней конечности возникла у 345 (47,5%) пострадавших,

² Клиника микрохирургии и реконструктивной хирургии верхней конечности, Институт травматологии и ортопедии НАМН Украины, Киев, Украина

³ Отделение функциональной диагностики, Институт травматологии и ортопедии НАМН Украины, Киев, Украина

Поступила в редакцию 10.06.16.

Принята к публикации 17.06.16.

Адрес для переписки:

Гайович Василий Васильевич,
Клиника микрохирургии
и реконструктивно-
восстановительной хирургии
верхней конечности, Институт
травматологии и ортопедии, ул.
Бульварно-Кудрявская, 27, Киев,
Украина, 01601, e-mail: gayovich@
mail.ru

нижней конечности — у 381 (52,5%). Электромиография (ЭМГ) проведена у 460 больных с помощью аппаратов "Neuroscreen" (Toenis, Германия) и "Viking Quest" (Nicollet, США). Ультразвуковое исследование (УЗИ) мышц осуществлено у 185 больных с использованием аппаратов HDI 3500 и HD 11 XE (Philips) с мультимодальными линейными датчиками с частотой 5–12 МГц.

Результаты. У 70,2% больных повреждение нервов возникло при полиструктурной травме конечности с повреждением двух анатомо-функциональных структур и более. На основе анализа результатов клинического обследования, УЗИ и ЭМГ предложена концепция лечения повреждения периферических нервов при травме конечности, выделены ее основные положения: определение уровня и тяжести повреждения нерва, прогноза его восстановления и реиннервации мышц; оценка характера и тяжести поражения ключевых мышц (денервация или сочетание нескольких патологических процессов): оценка повреждения других структур травмированного сегмента конечности с учетом особенностей полиструктурной травмы в алгоритме лечения.

Ключевые слова: травматическое повреждение периферических нервов; восстановление функции конечности.

Украинский нейрохирургический журнал. — 2016. — №3. — С.48-54.

Вступ. Травма ПН кінцівок становить від 1,5 до 3,5% в структурі загального травматизму в мирний час, за частотою втрати працездатності посідає одне з перших місць, зумовлює стійку інвалідизацію 28–75% хворих [1]. За поліструктурної травми ушкодження ПН поєднується з переломами кісток та вивихами у 50–79% потерпілих, ушкодженням судин — у 23%, пошкодженням м'язів та сухожиль — у 20–22% [2]. Ушкодження ПН відзначають у 77% спостережень — при травмі верхньої кінцівки, у 23% — нижньої.

Як свідчить наш досвід та аналіз джерел літератури, в лікуванні ушкодження ПН є певні проблеми, пов'язані з несвоєчасним та неточним встановленням діагнозу, помилками щодо прогнозування відновлення, тактичними помилками, зокрема, лікування без оцінки тяжкості та особливостей поліструктурної травми кінцівки, необґрунтоване виконання відновних оперативних втручань у віддаленому періоді після ушкодження тощо. За нашими попередніми даними, 37,6% потерпілих звернулися по спеціалізовану допомогу у строки пізніше ніж через 6 міс після травми, 19,9% — лікували консервативно протягом необґрунтовано тривалого часу [3].

У більшості спостережень ушкодження ПН супроводжує травмування інших структур сегмента кінцівки. Поряд з денервациєю, причиною порушення функції м'язів може бути ішемія, тенотомія, безпосередньо травма м'яза або поєднання кількох патологічних процесів. У зв'язку з цим важливу роль відіграє не тільки адекватна оцінка тяжкості травми нерва, а й тяжкості та характеру ушкодження ключових м'язів. Крім того, за такої травми важливе визначення послідовності етапів та виду хірургічного втручання з відновлення функції кінцівки. У кожній ситуації слід визначати необхідність, строки та місце виконання реконструктивно-відновного втручання. Все це спонукало нас до необхідності концептуально по-новому підійти до визначення тактики лікування таких хворих, що стало основною метою дослідження.

Мета. На основі аналізу тяжкості та тривалості існування ушкодження ПН, а також структурно-функціонального стану м'язів, за даними клініко-інструментальних методів дослідження, розробити основні положення з лікування ушкодження ПН при травмі кінцівок.

Матеріали й методи дослідження. Проаналізовані результати обстеження й лікування 726 потерпілих з приводу травми верхньої та нижньої кінцівок, що супроводжувалася ушкодженням ПН, у клініках Інституту

травматології та ортопедії, а також Інституту нейрохірургії в період з 1999 по 2015 р. Вік хворих у середньому (36,1±14,2) року. Переважали пацієнти працездатного віку (від 20 до 60 років) — 609 (83,9%). Травма верхньої кінцівки відзначена у 345 (47,5%) потерпілих, нижньої — у 381 (52,5%). З травм верхньої кінцівки переважало ушкодженням плечового сплетення — у 127 (36,8%) потерпілих, променевого нерва — у 124 (35,9%), пахового — у 45 (13,1%), середнього та ліктового — у 49 (14,2%). З травм нижньої кінцівки у 148 (20,9%) хворих виявлене ушкодження сідничного нерва на різних рівнях, у 47 (6,6%) — великогомілкового, у 173 (24,4%) — малогомілкового.

У 445 (61,3%) потерпілих виявлено травму нервів на проксимальному рівні: надпліччя, плече, верхня третина стегна; у 281 (38,7%) — на дистальному рівні: передпліччя, кисть, гомілка.

Клінічне обстеження пацієнтів проводили за стандартною ортопедичною та неврологічною схемою. Силові характеристики м'язів оцінювали за 5-бальною шкалою (M0–M5). ЕМГ проведена у 460 хворих за допомогою апаратів "Neuroscreen" (Toenis, Німеччина) та "Viking Quest" (Nicollet, США). За стандартними методиками здійснювали стимуляційну ЕМГ з дослідженням швидкості проведення збудження по нервах [4] та голкову ЕМГ [5]. Голкову ЕМГ м'язів виконували послідовно в 4 режимах реєстрації з використанням концентричних голкових електродів: режим введення голкового електрода з дослідженням активності введення (АВ); режим спокою з дослідженням спонтанної активності (СА); режим мінімального довільного напруження м'яза з визначенням параметрів потенціалів рухових одиниць (ПРО); режим максимального довільного скорочення м'яза (дослідження показників інтерференційного паттерну) [3].

УЗД м'язів проведене у 185 хворих з використанням апаратів HDI 3500 та HD 11 XE (Philips) з мультимодальними лінійними датчиками з частотою 5–12 МГц за стандартними методиками [6]. Для об'єктивізації даних оцінювали кількісні показники: товщину м'яза (ТМ) у спокою та під час скорочення, ехоцильність (ЕШ) м'язів. Рівень вимірювання обирали залежно від сегмента кінцівки: для плеча та стегна — на межі середньої та нижньої третини, передпліччя та гомілки — на рівні верхньої третини. На основі аналізу зазначених параметрів обчислювали коефіцієнти: ступінь (СГ) та коефіцієнт (КГ) гіпотрофії (у % від норми); коефіцієнт скорочення

(КС, %), коефіцієнт ЕЩ уражених м'язів (КЕЩ, % від норми), за норму приймали значення показників в інтактних м'язах контралатеральної кінцівки [7].

Використовували методи варіаційної статистики з обчисленням частотних характеристик для якісних параметрів (%) та середніх величин показників з оцінкою їх варіабельності (середньої арифметичної — М, середньоквадратичного відхилення — SD, σ); кореляційно-регресійного аналізу. Для прогностичної оцінки відновлення функції та визначення прогностичних порогових рівнів показників інструментальних методів дослідження використовували методологію логістичної регресії та ROC аналізу (Receiver Operating Characteristic).

Дослідження проводили у строки від 3 діб до 89 міс після травми.

За відомим кінцевим функціональним результатом лікування (за даними ретроспективного аналізу) хворі розподілені на групи:

- ефективне (корисне) відновлення функції, М3 і більше;
- неефективне відновлення функції, М1–М2;
- відсутність відновлення функції, М0.

Результати та їх обговорення.

Основи концепції. У 510 (70,2%) потерпілих травма була поліструктурною, тобто, з поєднаним ушкодженням двох різних анатомо-функціональних структур і більше у межах травмованого сегмента кінцівки. На підставі аналізу клінічних даних та результатів УЗД та ЕМГ ми дійшли висновку про необхідність вирішення трьох важливих завдань при ушкодженні ПН, що безпосередньо впливають на тактику й результат лікування.

1. Визначення рівня та ступеня тяжкості ушкодження нерва; прогнозу відновлення та реіннервації м'язів.
2. Оцінка характеру та тяжкості ураження ключових м'язів.
3. Оцінка ушкодження інших структур травмованого сегмента кінцівки, що впливають на відновлення її функції (з огляду на особливості поліструктурної травми в алгоритмі лікування).

Важливість всіх пунктів особливо збільшується за тяжких поліструктурних ушкоджень: при багатоуламкових переломах кісток, вивихах у суглобах, травмуванні судинно-нервових пучків та значного масиву м'яких тканин (в тому числі безпосередньо м'язів), порушенні регіонарного кровообігу з формуванням місцевого гіпертензивно-ішемічного синдрому, що спричиняє ішемію м'язів. Саме за таких ушкоджень показане багатоетапне тривале лікування, для планування етапності якого необхідна чітка, ґрунтовна оцінка не тільки тяжкості ушкодження нерва, а й структурно-функціонального стану м'язів, розуміння перспектив їх відновлення.

Синдром взаємного обтяження за поєданого пошкодження м'яких тканин, особливо в ранні строки після травми, ускладнює клінічну діагностику тяжкості травми нерва та стану м'язів, визначення прогнозу

відновлення їх функції. За таких ситуацій збільшується роль інструментальних методів дослідження — ЕМГ та УЗД.

Рівень та тяжкість ушкодження нервів.

Порушення функції нерва та його потенціал до відновлення залежать, насамперед, від тяжкості анатомічного ушкодження нервового стовбура, залучення в патологічний процес тих чи інших структур нерва [8]. Найбільш відомими та поширеними є класифікації травматичного ушкодження ПН за Seddon та S.A. Sunderland (**див. таблицю**). Саме класифікація S.A. Sunderland найточніше відображає анатомію та патофізіологію ушкодження нервів, визначає перспективи відновлення їх функції, особливо за умови аксонотмезису різної тяжкості [8].

Клінічно визначити тяжкість ушкодження за нею практично неможливо, за винятком першого типу. Складність діагностики в перший місяць після травми в тому, що клінічні прояви повного паралічу м'язів можуть бути наслідком одного з трьох або багатьох варіантів типів ушкодження. Для більш точного визначення тяжкості ушкодження нерва ми використовуємо ЕМГ. Основними завданнями цього дослідження є визначення рівня та тяжкості ушкодження, під час обстеження в динаміці ЕМГ дозволяє виявити не тільки початкові ознаки реіннерваційного процесу в м'язах, а й спостерігати його динаміку на етапах лікування та прогнозувати його ефективність [9–11].

Завдяки цьому методу клініцисти можуть об'єктивно оцінити тяжкість ушкодження нервів та можливі механізми їх відновлення — внаслідок ремієлінізації, спраутингу або регенерації аксонів [12], що загалом визначає первинний прогноз щодо тривалості клініко-електроміографічного моніторингу, строків та ефективності реіннервації м'язів.

Застосування стимуляційної ЕМГ є найбільш поширеним та важливим методом для оцінки функціонального стану нервів. Визначення швидкості проведення збудження по сенсорних та моторних волокнах є стандартом під час нейрофізіологічного дослідження у потерпілих за гострої травми нервів. Через 7–10 діб після травми можна досить точно, об'єктивно оцінити тяжкість ушкодження нерва за умови його стимуляції вище й нижче ділянки ушкодження. Це пов'язане з тим, що в перші 4–7 діб після травми за умови дистальної стимуляції нерва (нижче рівня ушкодження) можливо отримати моторну відповідь м'язів, протягом 5–11 діб — сенсорну відповідь нормальної або дещо зниженої амплітуди, навіть за повного анатомічного пересічення нерва [13]. Дані ЕМГ, проведеної раніше цих строків (без подальшого моніторингу) можуть зумовити помилки у діагностиці та, відповідно, обранні тактики лікування таких ушкоджень.

З нашого досвіду, проведення стимуляційної ЕМГ за поліструктурної травми кінцівки в ранні строки після травми в багатьох ситуаціях є досить проблематичним через наявність вираженого больового синдрому, ге-

Класифікація ушкодження ПН за Seddon та S.A. Sunderland

Тип ушкодження (за Seddon)	Тип ушкодження (за S.A. Sunderland)	Патологічний процес
Невропраксія	1	Локальна демієлінізація, «блок» проведення збудження, аксони інтактні
Аксонотмезис	2	Дегенерація аксонів; ендоневрій, периневрій та епіневрій інтактні
Аксонотмезис	3	Дегенерація аксонів, ендоневрій ушкоджений, периневрій та епіневрій інтактні
Аксонотмезис	4	Дегенерація аксонів, ендоневрій та периневрій ушкоджені, епіневрій інтактний
Невротмезис	5	Дегенерація аксонів, ушкодження всіх сполучнотканинних елементів нерва

матом, значного набряку тканин кінцівки, переломів кісток з зміщенням, встановлення апаратів зовнішньої фіксації в місцях необхідної стимуляції нервів.

За нашими даними, ЕМГ найбільш інформативна у діагностиці рівня та тяжкості ушкодження нерва у строки від 2 тиж після травми за умови застосування обох основних методик — стимуляційної та голкової ЕМГ. Визначення рівня ушкодження, як правило, не викликає труднощів, за винятком можливого одночасного травмування нерва на кількох рівнях. За таких ситуацій обов'язковим є проведення голкової ЕМГ.

ЕМГ дає можливість диференціювати 3 основні варіанти ушкодження ПН з відповідним первинним прогнозом. Неврапраксія (дем'єлінізує ушкодження, аксони інтактні) виникає при забою, стисканні нервового стовбура, характеризується спонтанним швидким відновленням внаслідок рем'єлінізації (від кількох діб до 3 міс). Аксонотмезис (ушкодження аксонів): *повний*, з ураженням всіх аксонів, виникає при повному анатомічному пересіченні нерва (невротмезис) або внутрішньостовбуровому ушкодженні (різні варіанти аксонотмезису за класифікацією S.A. Sunderland). Самостійне відновлення можливе, проте, тривале, внаслідок регенерації аксонів з місця ушкодження. *Частковий* аксонотмезис з ураженням певної частини аксонів частіше спостерігають при внутрішньостовбуровому ушкодженні. Самостійне відновлення можливе, більш швидке — внаслідок спраутингу (гілкування неушкоджених аксонів) за умови незначної «втрати аксонів»; спраутингу та регенерації — при масивній травмі значної кількості аксонів. Проте, слід ще раз наголосити, що за даними ЕМГ неможливо чітко визначити тяжкість ушкодження за класифікацією Seddon або S.A. Sunderland, тобто, диференціювати тип 2 від типу 3, чи аксонотмезис від невротмезису, за винятком більших можливостей щодо цього питання за умови виконання відкритого рев'їзійного втручання на нервовому стовбурі. Існують досить чіткі електроміографічні критерії неврапраксії та аксонотмезису в ранні строки після травми нерва [5].

Тактика лікування хворих після визначення тяжкості ушкодження нерва залежить від кількох чинників: наявності абсолютних показань до оперативного втручання на нерві у гострому періоді після травми (відкрите ушкодження нервових стовбурів, закриті ушкодження нервів за типом аксонотмезису за умови його розташування в проекції доступу під час операцій з відновлення магістральних судин або переломів, що потребували здійснення металоостеосинтезу) та характеру ушкоджень інших структур травмованого сегмента кінцівки. За відсутності абсолютних показань до невідкладного відновлення нерва, за умов закритого часткового ушкодження, за ситуацій, коли механізм травми або дані клінічного обстеження дозволяли припустити можливість його самостійного відновлення, слід обирати очікувальну тактику з обов'язковим клініко-інструментальним моніторингом.

Особливо важливим є визначення оптимальних строків виконання оперативного втручання з відновлення нерва, що значною мірою визначає функціональний результат лікування. Так, за нашими даними [14], функціонально корисний ступінь відновлення серединного нерва та реіннервації відповідних м'язів прогресивно зменшувався у міру збільшення тривалості періоду після травми.

Прогнозування перебігу процесу реіннервації та функціонального результату лікування потребує проведення комплексного клініко-інструментального моніторингу. Три варіанти ушкодження мають свої особливості за даними ЕМГ. У 88,9% хворих відзначене тяжке аксональне ушкодження нервів (повний аксонотмезис).

У них процеси відновлення тривають досить довго з огляду на швидкість регенерації аксонів (у середньому 1 мм на добу). Тактику лікування таких хворих планують на підставі аналізу об'єктивних даних моніторингу процесу реіннервації у строки, що дозволяють вчасно виконати оперативне втручання на нервових стовбурах. На підставі аналізу клініко-електроміографічної динаміки відновлення функції у хворих за тяжкого аксонального ушкодження ПН (повний аксонотмезис) виділені п'ять стадій денерваційно-реіннерваційного процесу (ДРП) в м'язах: денервації, початкової реіннервації, ранньої, ефективної та неефективної реіннервації, що дозволило отримати об'єктивну інформацію про перебіг реіннерваційного процесу та прогнозувати ефективність відновлення функції м'язів [13]. Регенерація аксонів та реіннервація м'язів може завершитися або корисним відновленням функції кінцівки до M3 і більше (ефективна реіннервація), або частковим відновленням їх функції до M1–M2 (неефективна реіннервація). Перебіг перших двох стадій ДРП в усіх хворих майже однаковий. У подальшому перебіг процесу суттєво різнився за клініко-електроміографічними даними, відзначений різний функціональний результат лікування. Для інформативного ЕМГ моніторингу, як правило, достатньо провести 2–3 дослідження в динаміці за правильно обраних строків, що залежало від розрахункового терміну реіннервації м'яза (РТРм), який визначали за формулою: $РТРм = BP \times ШР \times Кзр$, де BP — відстань зони регенерації від проксимального кінця ушкодженого нерва (рівня травми) до місця входження нерва в м'яз, мм; ШР — швидкість регенерації (у середньому 1 мм на добу); Кзр — коефіцієнт затримки регенерації після пластики нерва (застосовують значення 1,65) [3].

Таким чином, першу ЕМГ для визначення рівня та тяжкості ушкодження нерва проводять у строки 2–4 тиж, якщо немає абсолютних показань до виконання оперативного втручання одразу після травми; другу — через 2–4 міс після травми, для виявлення початкових ознак реіннервації в проксимальній групі м'язів, які на кілька тижнів можуть випереджати появу перших клінічних ознак відновлення функції; третю — через 6–12 міс після травми, для виявлення реіннерваційних процесів в дистальних м'язах та контролю ефективності відновлення м'язів проксимальної групи. Амплітуда моторної відповіді м'язів (М-відповіді) мала досить слабкий зв'язок з функцією м'язів та появою ПРО на початку реіннерваційних процесів, тому стимуляційну ЕМГ з визначенням швидкості проведення збудження по нерву та амплітуди М-відповіді м'язів не можна самостійно використовувати для ЕМГ-моніторингу, а тільки з одночасним клінічним обстеженням та голковою ЕМГ. На основі аналізу клініко-інструментальних даних виділені прогностично сприятливі критерії щодо ефективної реіннервації та корисного відновлення функції м'язів як за консервативного лікування, так і після хірургічного відновлення нерва [3]. Позитивна динаміка симптому Тінеля свідчила про регенерацію аксонів, проте, не відображала ефективність реіннерваційних процесів у подальшому. Позитивний симптом Тінеля не є аргументом того, що в подальшому відбудеться ефективне, корисне відновлення функції м'яза.

Причиною незадовільних результатів відновлення функції кінцівки можуть бути чинники, пов'язані як безпосередньо з травмою нерва, методом лікування, так і станом м'язів, наприклад, при виконанні неадекватного тяжкості ушкодження оперативного втручання — невротмізу замість пластики тощо. В той же час, відсутність відновлення функції м'язів за умови адекватного проведеного лікування може бути зумовлена станом самого м'яза, необоротними змінами у ньому внаслідок

застарілої денерваційної атрофії або тяжкого поєднаного ураження (денерваційно-ішемічного, денерваційно-травматичного тощо).

Все це обґрунтовує необхідність виконання другого пункту запропонованої концепції.

Оцінка характеру та ступеня тяжкості ураження ключових м'язів. У нашому дослідженні хворі розподілені залежно від характеру патологічного процесу у ключових м'язах, що іннервуються ушкодженим нервом. Денервація відзначена у 651 (89,7%) з них, денерваційно-ішемічні зміни — у 56 (7,7%), інші поєднані ураження (денервація, ішемія та/або безпосередньо травматичне ушкодження м'яза) — у 19 (2,6%).

Першочерговим завданням під час первинного звернення потерпілих з приводу травми кінцівок, крім діагностики тяжкості ушкодження нервових стовбурів, було визначення характеру та тяжкості патологічного процесу у м'язах. За даними ЕМГ та УЗД оцінювали вихідний структурно-функціональний стан м'язів, проводили диференційну діагностику денерваційного, ішемічного чи травматичного ураження м'язів [3]. При виявленні поєднаного ураження м'язів (денервації та ішемії, денервації та синдрому тенотомії) прогноз щодо функціонального результату лікування відразу був менш сприятливим, ніж за ізолюваного ураження («чистого» денерваційного процесу).

Провідну роль в діагностиці поєднаних уражень та необоротних змін у м'язах внаслідок денерваційної атрофії з фіброзно-жировою перебудовою мають інструментальні методи дослідження. Зміни за даними ЕМГ та УЗД мають характерні кількісні та якісні особливості при тенотомії або міотомії, денервації та наслідках ішемічних процесів у м'язах [3]. Найбільш часто спостерігали денерваційне та поєднане ішемічно-денерваційне ураження. На підставі аналізу клініко-інструментальних змін виділені два типи (види) ішемічно-денерваційного ушкодження, що різнилися за тяжкістю та поширенням ішемічних змін. У хворих за легкого поєднаного ішемічно-денерваційного ураження можлива позитивна динаміка відновлення функції м'язів, оскільки ішемічне ураження лише часткове, відбувається реіннервація неушкоджених ішемією м'язових волокон. І навпаки, клініко-електроміографічні показники не мають вагомого значення у хворих за тяжкого ураження м'язів, що свідчить про їх низький реабілітаційний потенціал [3]. Застосування ЕМГ та УЗД критеріїв дозволило по-новому підійти до оцінки тяжкості патологічного процесу. Виділені основні ознаки необоротних змін у м'язах за поєднаного ушкодження: втрата структурованості та поширення зони підвищеної ЕЩ понад 50% м'яза, множинні зони «біоелектричного мовчання» за даними ЕМГ на трьох рівнях черевця м'яза.

Причиною незадовільних результатів, пов'язаних безпосередньо з станом м'язів, є також їх тривала денервація з фіброзно-жировим переродженням м'язових волокон внаслідок застарілого ушкодження нерва. Денерваційні процеси в м'язах за даними ЕМГ та УЗД спричиняли суттєві сонографічні структурно-функціональні зміни, що виникали вже з перших місяців та мали певну динаміку [3]. Такі показники, як АВ та СА — за даними ЕМГ, КГ та КЕЩ — за даними УЗД були єдиними об'єктивними показниками, що характеризували структурно-функціональний стан повністю денервованого м'яза. Нами встановлена залежність між цими показниками та тривалістю денерваційного процесу, нерівномірністю цих змін з часом. У повністю денервованих м'язах, за даними ЕМГ, показник АВ зменшувався, а гіпотрофія та ЕЩ м'яза збільшувалися у міру збільшення тривалості денерваційного процесу. Ці зміни відображали негативні структурні зміни м'язової тканини у вигляді атрофії та

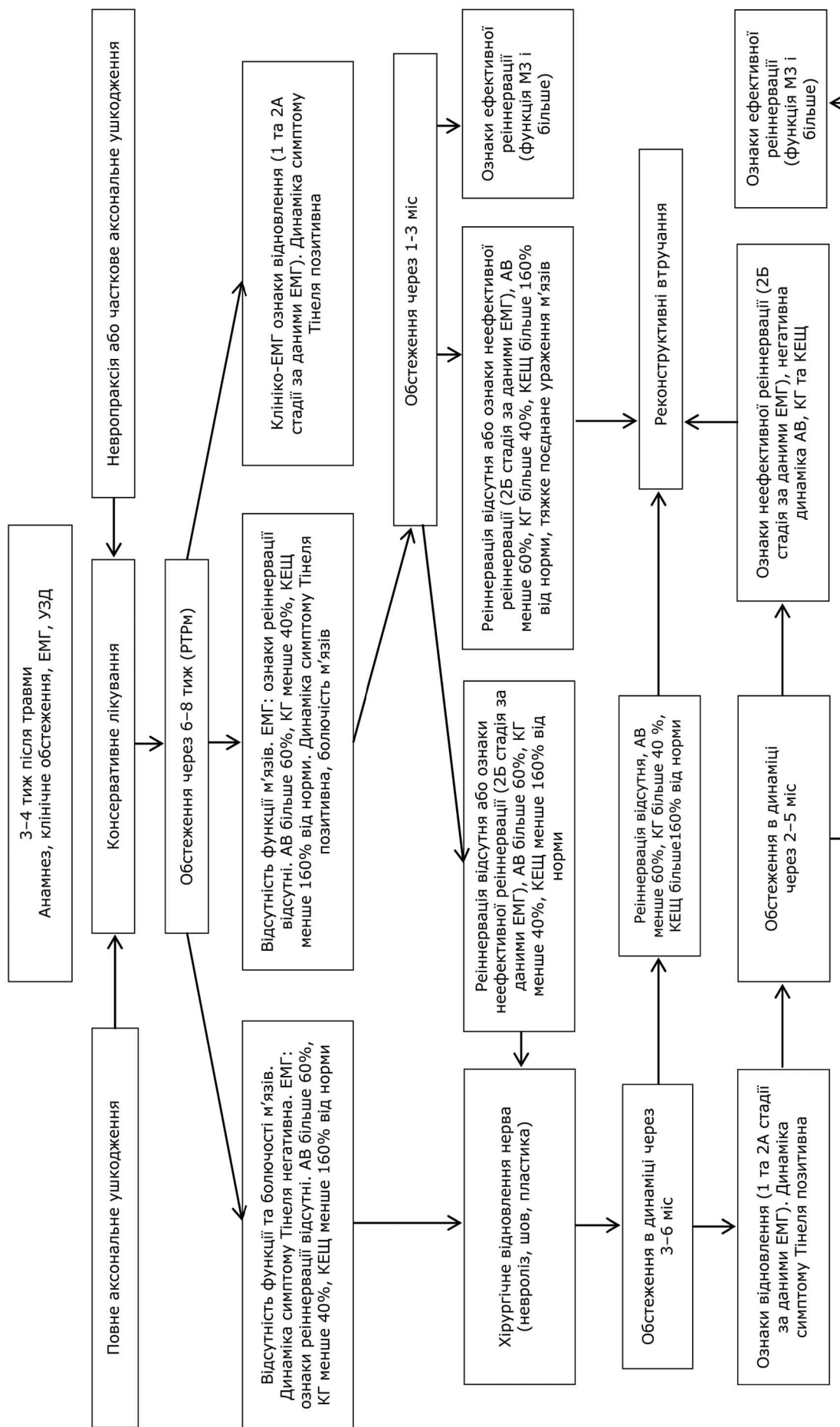
фіброзно-жирової перебудови. Встановлено, що значення АВ менше 60% норми, КГ більше 40%, ЕЩ 160% є об'єктивними критеріями формування необоротних денерваційних змін та прогностично несприятливою ознакою щодо ефективного відновлення функції. За АВ 60% і менше, КГ понад 40%, КЕЩ 160% і більше від норми відповідно тільки у 5,1, 5,3 та 12,9% хворих спостерігали ефективне відновлення функції м'язів. За АВ 50% і менше, КГ 60% і більше, КЕЩ 190% і більше від норми реіннервації, та, відповідно, відновлення функції м'язів не спостерігали [3].

Таким чином, проведення комплексного клініко-інструментального дослідження, виявлення ознак формування необоротних змін у м'язах дає змогу об'єктивно, без тривалого очікування відновних процесів перейти до ортопедичної корекції порушень функції кінцівки.

Оцінка поєднаних поліструктурних ушкоджень. Важливість цього положення зростає у міру збільшення кількості ушкоджених структур травмованого сегмента кінцівки. Ортопед-травматолог має вирішувати питання послідовності виконання відновних реконструктивних хірургічних втручань. У деяких хворих операція з відновлення нерва потребує додаткових підготовчих реконструктивних втручань з заміщення дефектів тканин, рубцево-трансформованої шкіри, стабілізації кісток скелета, відновлення зв'язкового апарату суглобів. Операцію з відновлення нерва здійснюють на етапі, коли подальші втручання або їх наслідки не справлятимуть компресійного або тракційного впливу на відновлений нерв, не спричинять вторинну компресію післяопераційними рубцями, не потребуватимуть застосування повторного доступу у місці відновлення нерва.

Так, при утворенні несправжніх суглобів або переломів, що супроводжуються ушкодженням нерва, втручання доцільно розпочинати з відновлення цілісності скелета, а при можливості — поєднувати його з відновленням нерва (за єдиного хірургічного доступу). При поєднанні ушкодження нервів з рубцевою трансформацією шкіри або післятравматичним дефектом м'яких тканин обов'язково та доцільно першим етапом виконати мікрохірургічне пересадження шкірних або шкірно-м'язових клаптів, що в подальшому забезпечить умови для адекватного відновлення нервів. Відновлення стабільності суглобів та скелета є ключовим моментом у відновленні функції нерва за його ушкодження. Так, при нестабільності колінного суглоба і одночасному ушкодженні маломілкового нерва для адекватного відновлення нервового стовбура необхідно попереднє або одночасне відновлення зв'язкового апарату суглоба.

У найбільш прогностично важливі періоди діагностики слід проводити не тільки клінічні, а й електрофізіологічні дослідження, застосовувати УЗД методики візуалізації структурно-функціонального стану м'язів кінцівки. Отже, під час визначення прогнозу лікування ми спиралися на клініко-електроміографічні та УЗД критерії: вид та механізм травми, рівень та тяжкість ушкодження нервового стовбура, тривалість періоду після травми або оперативного втручання на нервах, силиві характеристики м'язів (M0–M5), розлади чутливості, симптом Тінеля, болючість м'язів при пальпації, дані ЕМГ та УЗД м'язів. Запропонована діагностично-прогностична схема обґрунтування тактики лікування хворих з приводу ушкодження ПН при травмі кінцівок, основана на визначенні строків обстеження потерпілих у динаміці, показників структурно-функціонального стану м'язів та прогностичних клініко-інструментальних критеріїв ефективності відновлення їх функції (**див. рисунок**) [10].



Діагностично-прогностична схема обґрунтування тактики лікування хворих з приводу ушкодження ПН при травмі кінцівок.

Основними тактичними критеріями є: РТРМ, динаміка клінічного обстеження та ЕМГ, зміни у денервованих м'язах за даними УЗД. Відповідність РТРМ клініко-електроміографічним та сонографічним показникам є визначальною в стратегії підходу до лікування: або вичікувальна консервативна терапія або активне хірургічне втручання з відновлення цілісності нерва, або планування ортопедичної реконструкції.

Висновки. 1. Запропонована концепція лікування хворих з приводу ізолюваного та поєданого ушкодження ПН кінцівок, що дозволяє оптимізувати строки й тактику лікування на основі розроблених та обґрунтованих показань до консервативного лікування, хірургічного відновлення нервів або реконструктивних оперативних втручань з відновлення втрачених функцій кінцівки.

2. Розроблена система діагностики, прогнозування ефективності відновлення функції м'язів за наявності денерваційних та поєднаних (денерваційних, травматичних, ішемічних) процесів.

3. Як свідчили результати ретроспективного аналізу лікування значної кількості потерпілих з приводу ушкодження ПН, у виборі тактики лікування доцільно дотримувати кількісних об'єктивних параметрів тяжкості ушкодження нервів, характеру та тяжкості ураження м'язів, характеру супутнього ушкодження інших структур.

Список літератури

- Вишневецький В.О. Причини, діагностичні помилки при ушкодженнях периферичних нервів кінцівок / В.О. Вишневецький // Запоріж. мед. журн. — 2014. — №4(85). — С.50–55.
- Social impact of peripheral nerve injuries / D.M. Wojtkiewicz, J. Saunders, L. Domeshek, C.B. Novak, V. Kaskutas, S.E. Mackinnon // *Hand (NY)*. — 2015. — V.10, N2. — P.161–167.
- Гайко О.Г. Структурно-функціональні порушення у м'язах хворих з травмою кінцівок (діагностика, моніторинг та прогнозування перебігу): автореф. дис. ... д-ра мед. наук: спец. 14.01.21 — травматологія та ортопедія / О.Г. Гайко; Ін-т травматології та ортопедії НАМН України. — Х., 2013, 37 с.
- Clinical neurophysiology and imaging of nerve injuries: preoperative diagnostic work-up and postoperative monitoring / F. Toia, F. Moschella, M. Cillino, A. Gagliardo, F. Maggi, A. Mariolo // *Plast. Aesthet. Res.* — 2015. — V.21. — P.49–55.
- Гехт Б.М. Теоретическая и клиническая электромиография / Б.М. Гехт. — Л.: Наука, 1990. — 229 с.
- Quantitative ultrasound of denervated hand muscles / N.G. Simon, J.W. Ralph, C. Lomen-Hoerth, A.N. Poncelet, S. Vucic, M.C. Kiernan, M. Kliot // *Muscle & Nerve*. — 2015. — V.52, N2. — P.221–230.
- Сонографічне дослідження м'язів у хворих з наслідками травми периферичних нервів / О.Г. Гайко, С.С. Страфун, В.В. Гайович, Г.Я. Вовченко // *Вісн. ортопедії, травматології та протезування*. — 2013. — №1. — С.42–47.
- Grinsell D. Peripheral nerve reconstruction after injury: a review of clinical and experimental therapies / D. Grinsell, C.P. Keating // *Biomed. Res. Int.* — 2014. — V.2014. — P.698256.
- Чеботарьова Л.Л. Комплексна діагностика травматичних уражень плечового сплетення і периферичних нервів та контроль відновлення їх функцій: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: спец. 14.01.05 — нейрохірургія, 14.01.15 — неврологія / Л.Л. Чеботарьова; Ін-т нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова АМН України. — К., 1998. — 31 с.
- Страфун С.С. Клініко-електроміографічні та сонографічні критерії у визначенні тактики лікування хворих з ушкодженням периферичних нервів внаслідок травми кінцівок / С.С. Страфун, О.Г. Гайко, І.М. Курінний // *Травма*. — 2013. — Т.14, №4. — С.75–79.
- Цымбалюк В.І. Електроміографічні критерії ефективності реіннервації після хірургічного лікування хворих з травмою плечового сплетення / В.І. Цымбалюк, Л.Л. Чеботарьова, С.С. Страфун // *Бюл. УАН*. — 1998. — №4. — С.87–92.
- Feinberg J. EMG: myths and facts / J. Feinberg // *HSSJ*. — 2006. — V.2, N1. — P.19–21.
- Страфун С.С. Клініко-електроміографічні стадії денерваційно-реіннерваційного процесу у м'язах кінцівок при ушкодженні периферичних нервів / С.С. Страфун, О.Г. Гайко // *Травма*. — 2012. — Т.13, №4. — С.121–127.
- Цымбалюк В.И. Принципы хирургического лечения при травматических повреждениях срединного нерва на разных уровнях / В.И. Цымбалюк, В.В. Могила, Ж.И. Николас // *Укр. мед. часопис*. — 2005. — Т.47, №3. — С.64–68.

References

- Vishnevskiy V.O. [Reasons and diagnostic errors in cases of the peripheral nerves of extremities injuring]. *Zaporozhye Medical Journal*. 2014;4(85):50–5. Ukrainian. <http://dx.doi.org/10.14739/2310-1210.2014.4.27380>
- Wojtkiewicz DM, Saunders J, Domeshek L, Novak CB, Kaskutas V, Mackinnon SE. Social impact of peripheral nerve injuries. *Hand (NY)*. 2015;10(2):161–7. doi:10.1007/s11552-014-9692-0. PMID:PMC4447662.
- Hayko OH. *Strukturno-funktsionalni porushennya u myazakh khvorykh z travmoyu kintsivok (diahnostyka, monitorynh ta prohnozuvannya perebihu)* [Structural and functional disorders in muscles of patients with limb injuries (diagnosis, monitoring and prognosis)]. [dissertation]. Kiev (Ukraine): Institute of Traumatology and Orthopedics; 2013. Ukrainian.
- Toia F, Moschella F, Cillino M, Gagliardo A, Maggi F, Mariolo A. Clinical neurophysiology and imaging of nerve injuries: preoperative diagnostic work-up and postoperative monitoring. *Plast Aesthet Res*. 2015;21:49–55. doi:10.4103/2347-9264.160877.
- Hecht BM. *Teoreticheskaya i klinicheskaya elektromiografiya* [Theoretical and clinical electromyography]. Leningrad: Science; 1990. Russian.
- Simon NG, Ralph JW, Lomen-Hoerth C, Poncelet AN, Vucic S, Kiernan MC, Kliot M. Quantitative ultrasound of denervated hand muscles. *Muscle & Nerve*. 2015;52(2):221–30. doi:10.1002/mus.24519. PMID:25388871.
- Gayko OG, Strafun SS, Gayovich VV, Vovchenko GY. [Sonographic investigation of muscles in patients with sequences of peripheral nerves injury]. *Journal of Orthopedics, Traumatology and Prosthetics*. 2013;1:42–7. Ukrainian. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Votip_2013_1_12.
- Grinsell D, Keating CP. Peripheral nerve reconstruction after injury: a review of clinical and experimental therapies / *Biomed Res Int*. 2014;2014:698256. doi:10.1155/2014/698256. PMID:25276813.
- Chebotaeva LL. *Kompleksna diagnostika travmatychnykh urazen plechovogo spletennya I periferichnykh nerviv ta kontrol vidnovlennya ih funktsii* [Complex diagnosis of traumatic lesions of the brachial plexus and peripheral nerve recovery and control their functions] [dissertation]. Kiev (Ukraine): Romodanov Neurosurgery Institute; 1998. Ukrainian.
- Strafun SS. *Kliniko-elektromiografichni ta sonografichni kriterii u viznachenni taktiki likuvannya khvorich z ushkozhdzhenniam periferichnykh nerviv vnaslidok travmi kintsivok* [Clinical, electromyographic and sonographic criteria in the selection of treatment strategy for patients with peripheral nerve injury due to trauma of the limbs]. *Travma*. 2013;4(14):75–9. Ukrainian. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Travma_2013_14_4_18.
- Tsymbaliuk VI, Chebotareva LL, Strafun SS. *Elektromiografichni kryteriyi efektyvnosti reinnervatsiyi pislya khirurhichnoho likuvannya khvorykh z travmoyu plechovoho spletennya* [Electromyographic performance criteria reinervatsiyi after surgical treatment of brachial plexus injury]. *Bulletin UAN*. 1998(4):87–92. Ukrainian.
- Feinberg J. EMG: myths and facts. *HSSJ*. 2006;2(1):19–21. doi:10.1007/s11420-005-0124-0. PMID:18751841.
- Strafun SS, Gayko OG. *Kliniko-elektromiografichni stadiyi denervatsiyno-reinnervatsiynoho protsesu u m'yazakh kintsivok pry ushkozhdzhenni periferichnykh nerviv* [Clinical and electromyographic stages of denervation and reinnervation process in muscles in peripheral nerve injuries of the limbs]. *Travma*. 2012;13(4):121–7. Ukrainian. Available from: <http://www.mif-ua.com/archive/article/34666>.
- Tsymbaliuk VI, Mogila VV, Nicholas ZhI. [Principles of surgical treatment of traumatic lesions of the median nerve at different levels]. *Ukr Med Chasopis*. 2005;47(3):64–8. Russian. http://library.gov.ua/cgi-bin/Webirbis3/cgiirbis_64.exe.