

Univerzita Karlova
Lékařská fakulta v Plzni

Dizertační práce

Plzeň 2023

Štěpánka BRUŠÁKOVÁ

Univerzita Karlova
Lékařská fakulta v Plzni

Studijní program: Chirurgie

Hodnocení reinervačních změn po rekonstrukčních výkonech
na periferních nervech

*Nervové transfery u pacientů s lézí brachiálního plexu: komplexní hodnocení
výsledků*

Evaluation of reinnervation changes after reconstructive procedures on
peripheral nerves

*Nerve transfers in patients with brachial plexus lesions:
A comprehensive evaluation of outcomes*

Dizertační práce

Školitel: doc. MUDr. Irena Holečková, Ph.D.

Plzeň, 2023

MUDr. Štěpánka Brušáková

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem řádně uvedla a citovala všechny použité prameny a literaturu. Současně prohlašuji, že práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému meziuniverzitního projektu Theses.cz za účelem soustavné kontroly podobnosti kvalifikačních prací.

V Ústí nad Labem, 25. 6. 2023

Štěpánka Brušáková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala těm, bez kterých by tato práce nevznikla.

Na prvním místě děkuji své školitelce, doc. MUDr. Ireně Holečkové, Ph.D., z Neurochirurgické kliniky FNP za trpělivé vedení po celou dobu studia a při zpracování této práce, za její maximální podporu, vstřícnost, cenné připomínky, konstruktivní kritiku a vždy pozitivní zpětnou vazbu.

Na místě druhém děkuji MUDr. Ivanu Humhejovi, Ph.D., z Neurochirurgické kliniky KZ., a.s., Masarykovy nemocnice v Ústí nad Labem. Před dvanácti lety jsme se společně ocitli na samém začátku léčby poranění brachiálního plexu v naší nemocnici a jeho entuziasmus, chirurgické dovednosti, nepředstíraný zájem o blaho pacientů, kolegiální a radost ze získávání a sdílení poznatků pomohly vybudovat multioborový tým pro péči o pacienty s lézí BP, který má kvalitní výsledky a velký potenciál.

Na závěr děkuji MUDr. Jiřímu Ceé za to, že mne přivedl k elektrofyziologii, ukázal mi její eleganci a zůstává mým rádcem a přítelem.

Abstrakt

Účel studie: Cílem studie je analýza výsledků rekonstrukčních operací brachiálního plexu v Masarykově nemocnici v Ústí nad Labem v letech 2012–2023. Práce byla zaměřena na soubor pacientů operovaných technikou nervových transferů. Kromě klinických výsledků byla zkoumána přítomnost neuroplasticity pomocí monitorace pooperačních synkinéz a hodnoceny faktory, na kterých přítomnost neuroplasticity závisí.

Metodika: Celkem bylo u 21 pacientů provedeno 34 proximálních nervových transferů pro obnovu abdukce ramene, zevní rotace a flexe v lokti. Hodnocení výsledků proběhlo minimálně 3 roky od operace, posuzovány byly výsledná svalová síla, rozsah pohybů, Malletova škála, kvantifikace bolesti, výsledky elektrofyzilogického vyšetření a přítomnost či nepřítomnost synkinéz mezi donorem a recipientem. Zaznamenáno bylo také subjektivní hodnocení vlivu snížení funkce na běžné denní aktivity včetně práce schopnosti (DASH). Výsledky byly statisticky zpracovány.

Výsledky: Z 34 neurotransferů dosáhlo 20 síly M3 a větší (58,8 %), 5 transferů síly M4 a větší. Vymizení synkinéz a prokazatelná samostatná volní aktivace recipientu byla zaznamenána u 10 neurotransferů (29,4 %). Pomocí korelační analýzy byla nalezena přímá závislost mezi časnou (do 6 měsíců od operace) reinervací a výslednou svalovou silou ($R_s = 0,528$) a nepřímá závislost mezi svalovou silou a DASH skóre ($R_s = - 0,510$). Neproklázali jsme závislost přítomnosti neuroplasticity na věku, počtu provedených transferů ani času ani lateralitě. Jediný nalezený faktor nepřímé závislosti byl v našem souboru interval mezi poraněním a časem operace ($R_s = - 0,500$).

Závěr: Výsledek operace brachiálního plexu nezahrnuje pouhé hodnocení výsledné svalové síly, ale je nutno posuzovat i další faktory, mezi které patří i rozsah pohybu, bolest, subjektivní hodnocení funkce končetiny a nervová plasticita. Právě ta je předpokladem znovuzískání nezávislé volní kontroly nad končetinou po provedeném nervovém přenosu.

Abstract

Purpose: The purpose of this study is to analyze the results of brachial plexus reconstructive surgery. The work focused on the analysis of the brachial plexus repair at Masaryk Hospital in Ústí nad Labem between 2012 and 2023. The aim of the study was to focus on a set of patients operated using the technique of nerve transfers. In addition to the clinical results, the presence of neuroplasticity was investigated by monitoring postoperative synkinesis and evaluating factors on which the presence of neuroplasticity depends.

Methods: A total of 34 proximal nerve transfers were performed in 21 patients for restoration of shoulder abduction, external rotation and elbow flexion. The evaluation of the results was carried out at least 3 years after surgery. The resulting muscle strength, range of motion, Mallet scale, pain quantification, electrophysiological testing and the presence or absence of synkinesis between donor and recipient were assessed. An evaluation of subjective assessment of the effect of decreased function on normal activities of daily living including work capacity (DASH) was recorded. The results were statistically processed.

Results: Of the 34 neurotransfers, 20 achieved M3 or greater strength (58.8 %), and 5 transfers achieved M4 or greater strength. The disappearance of synkinesis and demonstrable independent voluntary activation of the recipient was noted in 10 neurotransfers (29.4 %). Using correlation analysis, a direct relationship between early (within 6 months after surgery) reinnervation and resulting muscle strength ($R_s = 0.528$) and an inverse relationship between muscle strength and DASH score ($R_s = - 0.510$) were found. We did not demonstrate a dependence of the presence of neuroplasticity on age, number of transfers performed, or time or laterality, the only dependency factor found in our cohort was the interval between injury and time of surgery ($R_s = - 0,500$).

Conclusion: The outcome of brachial plexus surgery does not simply include the evaluation of the resulting muscle strength, but it is also necessary to consider other factors, including range of motion, pain, subjective assessment of limb function and neural plasticity. The latter is a prerequisite for regaining independent free control of the limb after nerve transfer.

Obsah

Abstrakt	5
Abstract	6
Seznam používaných symbolů a zkratek.....	10
Úvod	13
1 Teoretická část.....	15
1.1 Historie rekonstrukčních výkonů v oblasti BP	15
1.2 Anatomie brachiálního plexu.....	18
1.3 Epidemiologie lézí BP	21
1.4 Klasifikace lézí BP	24
1.5 Diagnostika lézí brachiálního plexu	26
1.5.1 Klinické zhodnocení lézí brachiálního plexu	26
1.5.2 Zobrazovací vyšetření	31
1.5.3 Elektrofyzologie	32
1.6 Chirurgická léčba lézí brachiálního plexu	43
1.6.1 Priority chirurgické rekonstrukce	43
1.6.2 Chirurgická technika	44
1.7 Pooperační rehabilitace.....	52
1.8 Hodnocení výsledků	54
1.9 Současný stav vědomostí.....	57
1.9.1 Regenerační potenciál nervu	57

1.9.2	Neuroplasticita	59
1.10	Budoucnost	61
2	Praktická část.....	63
2.1	Hypotézy, cíle práce	63
2.2	Soubor.....	65
2.3	Metodika.....	69
2.3.1	Klinické vyšetření	71
2.3.2	Malletova škála	73
2.3.3	Elektrofyzilogické vyšetření	79
2.3.4	Vyšetření synkinez	81
2.3.5	DASH	83
2.3.6	Sociální dopady	83
2.3.7	Statistické zpracování.....	84
2.4	Výsledky.....	85
2.4.1	Klinické výsledky.....	90
2.4.2	Malletova škála	92
2.4.3	Elektrofyzilogické vyšetření	93
2.4.4	Vyšetření synkinez	95
2.4.5	Hodnocení bolesti.....	97
2.4.6	DASH	97
2.4.7	Sociální dopady.....	98
2.5	Diskuze	100

2.6	Závěr.....	108
2.7	Resume	109
	Seznam obrázků	110
	Seznam tabulek	111
	Seznam grafů.....	112
	Přílohy	113
	Příloha 1: Nervy plexus brachialis	113
	Příloha 2: Zajištění pohybů horní končetiny, hlavní zúčastněné kořeny. Klíčové svaly uvedené tučně. Vlastní modifikace schémat různých autorů.	114
	Příloha 3: The d'Aubigne Brachial Plexus Data Sheet	115
	Příloha 4: Mayo Clinic Brachial Plexus Nerve Muscle Record.....	116
	Příloha 5: DASH	117
	Literatura	120
	Přehled publikací autora.....	130

Seznam používaných symbolů a zkratek

- 2PD – dvoubodová diskriminace při vyšetření čítí
- ADL – activities of daily living, běžné denní aktivity
- ADM – m.abductor digiti minimi
- APB – m. abductor pollicis brevis
- APL – m. abductor pollicis longus
- AxN – n. axillaris
- B – m. brachialis
- BB – m. biceps brachii
- BP – plexus brachialis
- BPBI – brachial plexus birth injury
- BR – m. brachioradialis
- C5 – Th1 – kořeny C5, C6, C7, C8, Th1
- CB – m. coracobrachialis
- CMAP – sumační svalový akční potenciál
- CT – computer tomography, počítačová tomografie
- CT PMG – CT perimyelografie
- D1, 2, 3, 4, 5 – prsty 1, 2, 3, 4,5
- DASH – Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand outcome questionnaire
- DM – m. deltoideus
- ECRB – m. extensor carpi radialis brevis
- ECRL – m. extensor carpi radialis longus
- ECU – m. extensor carpi ulnaris
- EDC – m. extensor digitorum communis
- EDM – m. extensor digiti minimi
- EEG – elektroencefalografie
- EI – m. extensor indicis
- EMG – elektromyografie
- ENG – elektroneurografie

EPB – m. extensor pollicis brevis
EPL – m. extensor pollicis longus
FCR – m. flexor carpi radialis
FCU – m. flexor carpi ulnaris
FDI – m. interosseus dorsalis I.
FDM – m. flexor digiti minimi
FDP – m. flexor digitorum profundus,
FDS – m. flexor digitorum superficialis
FFMT – volný svalový přenos, free functioning muscle transfer
FL – fasciculus lateralis
FM – fasciculus medialis
fMRI – funkční magnetická rezonance
FMT – free muscle transfer
FP – fasciculus posterior
FPB – m. flexor pollicis brevis
FPL – m. flexor pollicis longus
ICN – nn. Intercostales
IOM – intraoperační monitorace
IS – m. infraspinatus
LD – m. latissimus dorsi
LT – lower trunk, dolní truncus
MCN – n. musculocutaneus
MEP – motorické evokované potenciály
MR – magnetická rezonance
MRC – The British Medical Council Research
MT – middle trunk, střední truncus
NAP – nervový akční potenciál
NIRS – near-infrared spectroscopy
nTMS – navigovaná transkraniální magnetická stimulace
OBPP – obstetrical brachial plexus palsy, perinatální poranění pažní pleteně
OP – m. opponens pollicis

PL – m. palmaris longus
PM – m. pectoralis major
PMG – perimyelografie
PN – periferní nerv
PQ – m. pronator quadratus
PT – m. pronator teres
ROM – range of motion
rs-fMRI – resting state funkční magnetická rezonance
S – m. supinator
SA – m. serratus anterior
SNAP – senzitivní nervový akční potenciál
SS – m. supraspinatus
SSEPs – somatosenzorické evokované potenciály
SSN – n. suprascapularis
TB – m. triceps brachii
TDN – n. thoracodorsalis
TIVA – totální intravenózní anestezie
TMS – transkraniální magnetická stimulace
UT – upper trunk, horní truncus
VAS – Visual Analogue Scale

Úvod

Chirurgický přístup k poranění brachiálního plexu se vyvíjí od 50. let 20. století. Ačkoliv od té doby došlo k velkému pokroku v chirurgické technice, není stále v mnoha případech efekt operační léčby uspokojivý. Časná a správná diagnostika poranění, pečlivá aplikace správných principů rekonstrukce s volbou nejvhodnějšího způsobu operace a její kvalitní provedení na specializovaném pracovišti zvyšují pravděpodobnost dosažení úspěšného výsledku, ale proces reinervace ovlivňují další proměnné: věk, typ poranění, časování operace, lokalizace a stupeň léze, přidružená poranění, regenerační potenciál nervu, kvalita pooperační péče, rehabilitace a compliance pacienta.

Kromě faktorů vlastní reinervace jsou výsledky složitých výkonů v oblasti brachiálního plexu významně ovlivněny neuroplasticitou. Motorická reedukace je podmínkou dobrého funkčního výsledku zejména v případech použití nervových transferů. Ty jsou spolu s rekonstrukcí pomocí nervových štěpů zlatým standardem operace brachiálního plexu dospělých i dětských pacientů a vzhledem k širokým rekonstrukčním možnostem a potenciálu uplatnění i v případech pozdních rekonstrukcí jejich využití stále narůstá.

Hodnocení výsledků, v minulosti úzce zaměřené na měření maximální dosažené svalové síly a rozsahu pohybů, je v současnosti chápáno komplexněji a vyvstává potřeba rozšířit a standardizovat výstupní klasifikace se zacílením na další faktory, představující schopnost pacienta operovanou končetinu volně ovládat, řídit plynulost pohybu, hladce stupňovat svalovou sílu a pohyby bezpečně koordinovat, tedy na komplexní interakci motorické reinervace, kortikální kontroly a eferentního feedbacku. Tyto faktory označujeme souhrnně jako funkční výsledek.

Současný stav vědomostí chápe neuroplasticitu za důležitý faktor úspěšného funkčního výsledku nervových transferů, ale prozatím byly změny funkční konektivity mozku studovány převážně metodami funkčního zobrazení (fMRI, resting state fMRI, nTMS) a to pouze v rámci experimentů u malých skupin pacientů po neurotizačních výkonech.

Cílem práce je prokázat, zda lze sledovat reorganizaci motorického kortexu monitorací periferních svalových synkinez. Práce přináší analýzu souboru 21 pacientů s lézí brachiálního plexu léčených v našem zařízení provedením nervových transferů a zaměřuje se na komplexní hodnocení výsledků zahrnující tři oblasti: objektivní, subjektivní a oblast sociální. Součástí objektivního posouzení výsledků je i měření neuroplasticity.

Zavedení tohoto měření do sledovacích protokolů po neurotizačních výkonech by mohlo významně přispět k porozumění, proč jsou některé neurotransfery úspěšnější než jiné a jak je možné neuroplasticitu u pacientů potencovat.

1 Teoretická část

1.1 Historie rekonstrukčních výkonů v oblasti BP

Historie prvních rekonstrukčních výkonů v oblasti BP se vyvíjí od poloviny 19. století v těsné souvislosti s vývojem chirurgie periferních nervů. Předpokladem pro operační řešení jeho lézí bylo dokonalé anatomické poznání struktury a funkce. Ač popis poranění periferního nervového systému datujeme již do období před naším letopočtem (Hippokrates, 460–375 př. n. l.) a první známé pojednání o regeneračním potenciálu nervů do starověku (Galén, 2. století n. l.), v následujícím dlouhém období, prakticky až do devatenáctého století, vedlo velmi omezené chápání anatomické a fyziologické povahy nervů k logicky malému počtu pokusů o chirurgickou léčbu jejich poranění. V období mezi 7. a 17. stoletím nalezneme jednotlivé průkopnické práce osobností, které se ve svých pracích lézím periferních nervů věnovaly (Paulus Aeginatus, Avicenna, Roger ze Salerna, Guglielmo da Saliceto, Guido Lanfranchi a Gabriele Ferrara), jejich zkušenosti však nepřesáhly do širší klinické praxe [1]. Silné teoretické základy pro odůvodněné spojování přerušovaných periferních nervů vytvořila až v polovině devatenáctého století Wallerova formulace zákonů o nervové regeneraci. Vývoj byl i poté ještě dlouhý a poznamenaný mnohými slepými uličkami (vyčkávací taktika, sutura pod tahem, drcení neuromů) [2].

První popisy poranění brachiálního plexu zaznamenáváme v 18. a 19. století (Smellie – 1764, Flaubert – 1827, Duplay a Reclus – 1895, Delbert – 1910) [3]. Význam prací výše uvedených osobností tkví zejména v pochopení, že poranění není koincidencí poranění jednotlivých nervů horní končetiny, ale struktury zodpovědné za komplexní funkci. V roce 1872 popsal Duchenne poškození horní části plexu po porodu a zavedl termín porodní poranění brachiálního plexu (OBPP – obstetric brachial plexus palsy). Erb (1876) popsal stejný typ poranění u skupiny dospělých pacientů. Termín „Erb – Duchenne palsy“ je dodnes používán jako synonymum léze BP horního typu. Francouzská neuroložka Augusta Klumpkeová rozšířila skupinu poranění o popis dolního typu s asociovaným Hornerovým syndromem (obrna ruky a předloktí, poranění C8 a Th1 kořenů) [3]. V roce 1898 byla neurology Duvallem a Guillainem publikována teorie náhlé síly působící na oblast ramene, jejímž následkem může být ruptura nervových kořenů.

V průběhu dvacátého století chirurgové výrazně pokročili v úspěšnosti operační léčby poranění periferních nervů, přičemž milníkem bylo období druhé světové války, které přineslo nové praktické zkušenosti dané vysokým počtem poraněných a sdílením výsledků jejich léčby. Na svou dobu velmi pokročilé myšlenky (Laugier 1864 – sutura nervu, Vulpian 1870 – použití

nervového štěpu, Foerster 1916 – transplantace nervu, Seddon 1943 – klasifikace poškození nervů, 1954 – technika kabeliformní transplantace, Sunderland 1972 – principy sutury, důležitost adaptace, Millesi a Samii – 1972 autologní grafty u defektů) [1,2,4–6] narážely na nedostatečné technické vybavení, limitující úspěšnost mnohých pokusů.

Prvním dokumentovaným pokusem o operační řešení léze BP s částečně pozitivním výsledkem byla operace léze 16leté dívky provedená britským chirurgem Williamem Thorbornem v roce 1900 [7]. V dalším období se pozornost přesunula zejména na porodní poranění; výsledky souborů autorů z období první poloviny 20. století (Kennedy, Taylor, Sever) nebyly ovšem nijak optimistické a proto se pozornost přesunula spíše k vyčkávací taktice a následným paliativním výkonům (svalové transfery), které vykazovaly okamžitý efekt a předvídatelné výsledky [3].

Nárůst počtu otevřených a těžkých lézí BP v době 2. světové války vedl k přijetí názoru o nutnosti časně explorační s provedením neurolyzy a použitím štěpů v případě dlouhých defektů [8]. Seddonova a Sunderlandova klasifikace nervových poranění [9,10] napomohla optimalizovat časování rekonstrukčních výkonů a vyčlenit skupinu, u které je ospravedlnitelná vyčkávací taktika. Celkově nepovzbuzující výsledky prováděných výkonů v období první poloviny 20. století vedly k pesimismu ohledně možností léčby poranění BP. Seddon (1961) favorizoval paliativní techniky řešení (artrodéza, amputace) [11], na shromáždění Mezinárodní ortopedické a traumatologické společnosti (1966, Paříž) bylo konstatováno, že chirurgická léčba poranění BP nemůže garantovat efektivní a předvídatelné výsledky [12].

Zásadním milníkem pro chirurgii periferních nervů (a tím i pro chirurgii BP) bylo zavedení mikrochirurgické operační techniky v sedmdesátých letech [5,13]. Hlubší porozumění struktury nervové tkáně získané technologickým pokrokem (optické zvětšení, mikrochirurgická technika) napomohlo, při vizualizaci intraneurální anatomie, rozvinout techniku atraumatického ošetření nervu a resekce pahýlů až do zdravé tkáně. Formulace požadavku na beztrahovou suturu a časně řešení poranění značně vylepšily klinické výsledky rekonstrukčních operací v 70. a 80. letech. Millesi a Narakas publikovali nové poznatky o významu mikrocirkulace pro přežití štěpů a ospravedlnili zavedení kabeliformní techniky. V naší republice byl průkopníkem mikrochirurgické operační techniky Zvěřina [14], jehož četné publikace jsou stále aktuální. Ve světě následovaly velké soubory operovaných pacientů s lézí BP (Deburge, Lusskin, Campbell, Allieu, Narakas, Alnot, Millesi, Terzis) [3] s definitivně nadějnými výsledky. Další zlepšení přinesl vývoj komplementárních diagnostických metod (cervikální myelografie, ultrazvuk, elektromyografie) umožňující předoperačně hodnotit typ

poranění (pre-, postgangliové) a racionalizovat časování a plánování operace. Pokroky byly zaznamenány také pochopením důležitosti následné pooperační péče a rehabilitace, definováním podmínky zachování viability svalové tkáně a zavedením elektrostimulačních technik.

Nastupujícím trendem se staly na konci 20. století v případě pregangliové léze nervové transfery s užitím intra- či extraplexálních donorů a volné svalové přenosy. Základy techniky sice představili již v roce 1903 Harris a Low, nicméně až do rozvoje mikrochirurgické techniky byly popsány pouze jednotlivé pokusy průkopníků s nepříliš povzbudivými výsledky. Od 80. let dochází k mohutnému rozvoji neurotizačních výkonů. Významnými osobnostmi tohoto období byli na konci 20. století Gilbert, Gu, Chuang, Narakas, Oberlin, Leechavengvongs, Mackinnon a další [3]; řada dodnes používaných nervových transferů nese jméno svého objevitele.

Během celého dlouhého vývoje od samotného poznání struktury BP a pochopení jeho role u chabé obrny horní končetiny přes první pokusy o operační výkony až do dnešní doby tedy došlo ke změně náhledu na prognózu poranění od pesimismu k opatrnému optimismu. Vývoj vedl ke sjednocení klasifikace poranění a zodpovězení otázky, zda poranění mají být operována či ne, jakým postupem, jakou technikou a v jakém čase. Hlavní v současnosti platné principy chirurgického řešení lézí BP jsou uvedeny v kapitole 1.6.

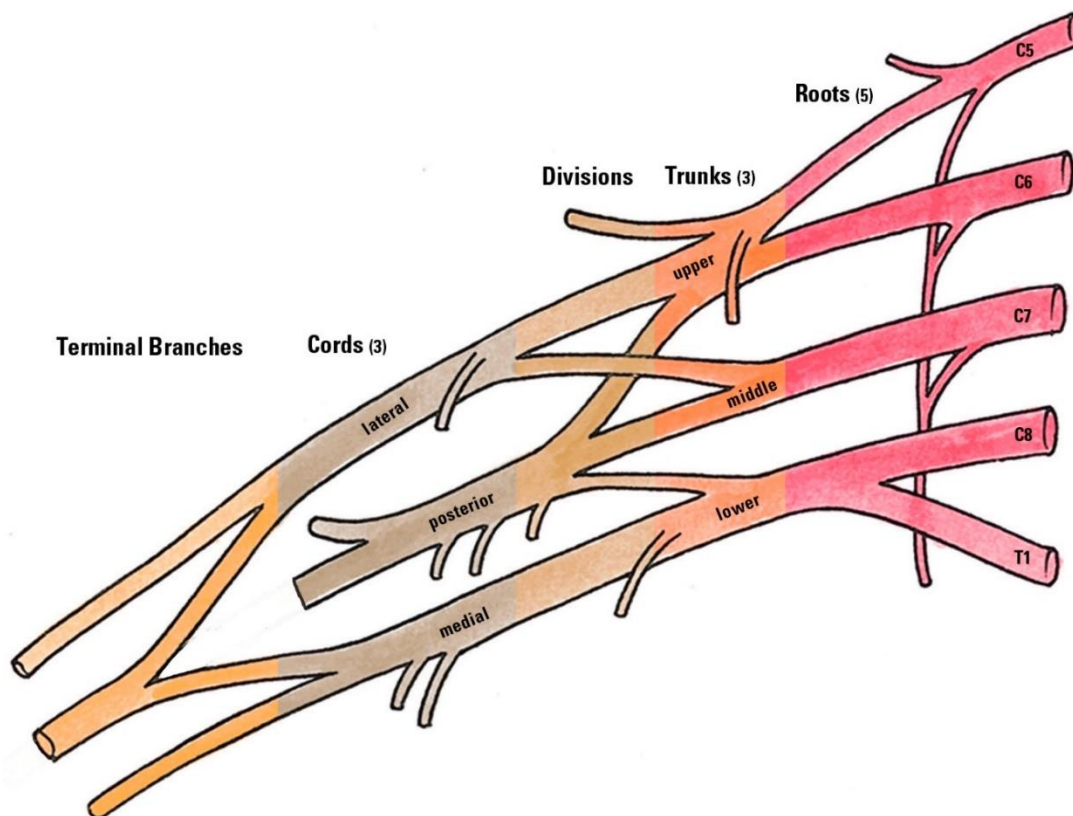
1.2 Anatomie brachiálního plexu

Míšní nervy vycházejí z míchy jako kořenová vlákna (fila radicularia), která se spojují a formují přední a zadní míšní kořen. Oba kořeny se spojují do kmene míšního nervu (nervus spinalis) a vstupují do meziobratlového otvoru (foramen intervertebrale). Na zadním kořenu se nachází spinální ganglion (ganglion spinale) obsahující těla senzitivních pseudounipolárních neuronů. Míšní kořeny jsou až do úrovně výstupu z meziobratlového otvoru uloženy v dura mater, která postupně splývá s epineuriem míšního nervu a tvoří kořenovou pochvu. Připojení nervu ke kostěné drážce mezi tuberculum anterius a posterius processus transversus je jediné kotvení, které jej stabilizuje a chrání slabá fila radicularia před trakčním poraněním. Je dobře vyvinuto zejména pro C5, slabší pro C6 a C7 a nejslabší nebo chybějící pro C8 a Th1, což je příčinou vulnerability dolních kořenů a jejich větší náchylnosti k avulznímu poranění [15]. Přední míšní kořeny jsou eferentní (motorické), zadní aferentní (senzitivní), ač byla prokázána i přítomnost opačně vedoucích vláken v obou kořenech, zejména sakrálních [16]. Po výstupu z meziobratlového otvoru míšní nerv vysílá ramus meningealis pro inervaci mening zpět do páteřního kanálu, rami communicantes (albus a griseus pro propojení se sympatickými ganglii) a nakonec se dělí na dominantní ramus ventralis a slabší ramus dorsalis pro inervaci zádového svalstva a kůže v oblasti páteře. Rami ventrales C5–Th1 formují brachiální plexus (s možností spoluúčasti C4 a Th2, prefixovaný a postfixovaný typ brachiálního plexu) [15,17,18]. Spinální nervy po výstupu z meziobratlového otvoru a před spojením do primárních svazků (trunci) jsou často nazývány kořeny (např. kořen C5). Ačkoliv tato nomenklatura není správná, je běžně užívaná [15].

Rami ventrales C5–Th1 po svém odstupu splývají do tří hlavních svazků (kmenů, trunků) – horního (C5–6), středního (C7) a dolního (C8–Th1). Každý kmen (truncus) se dělí na dvě větve (divize): přední a zadní. Ty poté splývají v sekundární svazky (fascikly) – tři zadní divize vytvoří fasciculus posterior, přední divize horního a středního trunku splynou ve fasciculus lateralis a přední divize dolního trunku samotná tvoří fasciculus medialis. Jejich pojmenování vychází z polohy vzhledem k a. axillaris. Sekundární svazky běží kaudolaterálně směrem do axilly pod m. pectoralis minor a vydávají jednotlivé větve – konečné periferní nervy. Z nich pouze n. medianus vzniká ze dvou fasciklů (spojením větví fasciculus lateralis a medialis), ostatní nervy mají původ vždy pouze v jednom z fasciklů (obr. 1).

Některé periferní nervy z brachiálního plexu odstupují ale již dříve než na úrovni fasciklů: z oblasti kořenů (n. thoracicus longus, n. dorsalis scapulae) či trunků (n. suprascapularis). Proximální odstup z fasciklů mají také n. subscapularis, n. pectoralis medialis a lateralis,

n. thoracodorsalis, nn. subscapulares. Průkaz jejich léze má v klinickém či elektrofyziologickém zhodnocení lokalizační potenciál (lokalizuje poškození brachiálního plexu do oblasti odstupu nebo nad ni, tedy zvyšují pravděpodobnost proximální – supraklavikulární léze BP). Přehled všech konečných větví BP, jejich odstupu a svalů jimi inervovaných je uveden v příloze 1.



Obrázek 1: Schéma brachiálního plexu. Zdroj: [Image \(wordpress.com\)](http://Image.wordpress.com).

Důležité pro pochopení mechanismu poranění samotného brachiálního plexu a jemu blízkých struktur i pro následné chirurgické přístupy jsou anatomické vztahy brachiálního plexu k okolí. Primární svazky (trunci) procházejí skrz fissura scalenorum mezi m. scalenus anterior a medius a jsou v tomto prostoru uloženy nad a. subclavia. Dále sestupují kaudálně a laterálně za klíční kostí směrem do axilly. Klíční kost dělí anatomicky celý plexus na část supraklavikulární (kořeny, trunky) a infraklavikulární (divize, fascikly, jednotlivé PN). Fascikly jsou v těsném kontaktu s axilární artérií. Přesná lokalizace fyziologických morfometrických orientačních bodů v periklavikulární oblasti je důležitým vodítkem pro chirurgy. K dispozici jsou atlasy chirurgických přístupů i přesně zmapované soubory kadaverózních plexů [19–24].

BP obsahuje průměrně 120 000 vláken (85 000 – 160 000) [3], přičemž motorická vlákna tvoří zhruba třetinu z nich (zbývající 2/3 reprezentují vlákna senzitivní). 40 % všech motorických vláken brachiálního plexu je určeno pro inervaci svalů ramenního pletence [19].

1.3 Epidemiologie lézí BP

Ačkoliv se jedná o jednu strukturu, poranění BP dělíme na dvě odlišné skupiny: poranění dospělých (traumatická poranění BP) a perinatální poranění BP (OBPP, BPBI). Obě skupiny se od sebe liší přístupem k diagnostice, operačními kritérii, volbou chirurgické techniky a přístupů i způsobem hodnocení pooperačních výsledků. Skupina perinatálních lézí má mnohá další specifika jako je například vyšší regenerační schopnost, kratší vzdálenosti prorůstání nutné pro reinervaci, častý vznik sekundárních změn jako je retardace muskuloskeletálního růstu postižené končetiny, kloubní dysplázie či vznik kontraktur, jiné metody rehabilitace, významný psychosociální vliv na vývoj jedince a další.

Incidence perinatálního poranění je celosvětově udávána jako 0,4 – 4 /1000 živě narozených dětí [3,25], v Evropských zemích dostupné studie uvádějí četnost 1–2 případy /1000 živě narozených dětí [26–28]. V ČR tedy přibývá, při průměrném počtu 110 000 porodů za rok¹, 100–200 novorozenců s perinatální lézí BP ročně a navzdory pokrokům v porodnictví tato četnost v posledních desetiletích klesá jen velmi pomalu [29]. Lehčí stupně poranění BP ve většině případů úspěšně regenerují spontánně. Hlavními rizikovými faktory jsou makrosomie plodu, diabetes mellitus či obezita matky, dystokie ramének, poloha koncem pánevním, prolongovaný porod či užití kleští nebo vakuumextraktoru v průběhu porodu. Mechanismem poranění je excesivní tahová síla působící na nervové kořeny plodu v průběhu porodu ramene při forsírované inklinaci hlavy; ta může způsobit trakční lézi až rupturu nervových struktur či vytržení nervových kořenů z míchy. Předpokládá se, že část novorozeneckých poranění BP vzniká již intrauterinně, neboť se, ač s daleko menší četností, vyskytují i u novorozenců porozených sekci [30]. Problematika perinatálních lézí není, vzhledem k zaměření výzkumu na léze traumatické, v této práci podrobněji rozpracována.

Traumatické léze BP tvoří druhou, neméně četnou skupinu. Roční incidence chirurgicky řešených lézí je udávána celosvětově dle různých zdrojů 0,17 – 1,6 /100 000 obyvatel [3,27,31–33]. Pro ČR je dle dostupných dat [27] na dolní hranici daného intervalu, 0,2 / 100 000 obyvatel. Při této incidenci se tedy jedná v ČR o cca 20 chirurgicky řešených traumatických lézí BP za rok². Pro incidenci všech traumatických lézí nejsou data k dispozici.

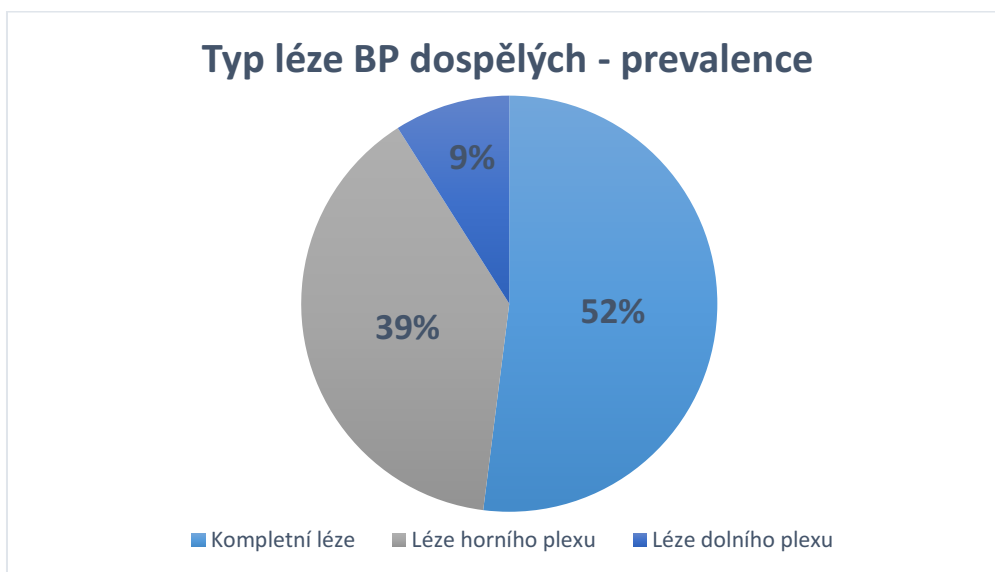
Udává se, že 1,2 % obětí polytraumatu utrpí zároveň poranění BP [32]. Epidemiologické charakteristiky shrnuje dobře Narakasovo pravidlo „7x70“ již z roku 1985 [34]; udává, že 70 %

¹ Zdroj dat: ČSÚ

² Počet obyvatel ČR k 30.9.2022 10 526 937, zdroj: ČSÚ

poranění BP je způsobeno dopravní nehodou, z nich 70 % nehodou na motocyklu nebo bicyklu. U 70 % pacientů je poranění BP součástí polytraumatu. 70 % poranění BP tvoří infraklavikulární léze, 70 % pacientů má avulzi alespoň jednoho kořene, 70 % avulzí postihuje dolní truncus a 70 % pacientů s avulzí trpí neuropatickou bolestí. Všechna Narakasova tvrzení, kromě procenta infraklavikulárních lézí, kterých je v současné době diagnostikován významně nižší počet, se jeví v současnosti stále jako platná.

Metaanalýza 3032 pacientů [27] z roku 2016 udává jako příčinu léze BP u 67 % pacientů motonehodu, u 14 % autonehodu. Většina (93 %) poranění jsou poranění uzavřená. Ve statistikách jasně dominují muži (93 %) oproti ženám (7 %), průměrný věk pacientů je 28,9 let, 90 % poranění tvoří supraklavikulární nebo kombinované supra a infraklavikulární poranění, pouze v 10 % se jedná o izolované infraklavikulární poranění. Prevalence dle lokalizace léze u traumatických poranění viz obr. 2. Prevalence nejtěžších, kompletních – panplexálních lézí je tedy velmi vysoká a tvoří 50 – 52 % všech traumatických lézí [3,27].



Obrázek 2: Prevalence dle typu léze BP. Zdroj dat: Haninec, Kaiser[28] , graf: autor

V naprosté většině je mechanismem poranění působení vysoké energie na oblast ramene nárazem nebo tahem (náraz ramenem ve vyšší rychlosti u motocyklistů i při autonehodách, u lyžařů, pádem z výšky, pádem těžkého předmětu na rameno). Typicky dochází při násilné trakci končetiny směrem dolů a pohybu hlavy a krku od ipsilaterálního ramene (distrakční poranění) k poranění predominantně horních kořenů, zatímco násilná abdukce končetiny poškozuje spíše kořeny dolní.

Vysvětlení, proč je oblast horního plexu náchylnější k trakčnímu poranění a dolní plexus k avulzi podává jednak jejich různě silná fixace v oblasti foramin (viz kap. 1.2) a dále fakt, že nerv je v případě působení trakční síly nejnáchylnější k ruptuře v místě větvení. Větve odstupující z horního plexu v supraklavikulární oblasti jsou predisponovány k ruptuře, zatímco dolní plexus v této oblasti větve nevydává [3].

Poranění otevřená, zejména střelná, mají nejvyšší prevalenci v USA (9,8–19,9 %) [3] a v oblastech válečných konfliktů. Řezné rány (sklo, nůž) a tupá laceranční poranění (pokousání, poranění stroji a motory) jsou nejméně četná a dominantně infraklavikulární. Všechna otevřená poranění BP jsou indikována k časně chirurgické revizi.

Dlouhotrvající operace, jako jsou obtížnější laparoskopické výkony či sternotomie, mohou u predisponovaných pacientů (pacienti s diabetem mellitem, neuropatií, alkoholici, nemocní s krčním žebrem) vést k iatrogennímu poškození pažní pleteně. Důvodem bývá nefyziologická operační poloha (hyperabdukce ramene, retrakce, zevní rotace paže) či chybná manipulace s pacientem [35]. Dalšími příčinami iatrogenního poranění plexu mohou být přímá poškození při výkonech v oblasti klíčku, ramenního kloubu, axilly či při aplikaci svodné anestezie.

1.4 Klasifikace lézí BP

Již od konce 19. století byly obrny pažní pleteně děleny na horní (Erb – Duchenne) a dolní (Klumpke) typ. První třídění se tedy vztahovalo k lokalizaci (výšce) poranění z hlediska nervových kořenů a nezohledňovalo stupeň poranění vlastního nervu. Stále platná klasifikace dle Seddona z roku 1943, modifikovaná v roce 1972 Sunderlandem, je přitom zásadní pro prognózu poranění a možnost spontánní regenerace. Jednotlivé stupně, odpovídající histologické změny a pravděpodobnost spontánní regenerace u jednotlivých subtypů jsou shrnuty v tabulce 1. Prakticky se ovšem ve většině případů jedná o kombinaci různých stupňů.

Tabulka 1: Klasifikace poranění nervu dle Seddona a Sunderlanda, odpovídající histologické změny. Zdroj: Humhej, upraveno.

Seddon	Sunderland	Typ léze	Histologické změny	Spontánní regenerace
Neurapraxie	I	Segmentální demyelinizace	Porucha homeostázy, kondukční blok	Plná
Axonotméza	II	Diskontinuita axonů, zachované endoneurium	Wallerova degenerace distálního pahýlu axonu	Plná (měsíce)
	III	Diskontinuita axonů a endoneuria	Retrakce pružného endoneuria, gap s krvácením a edémem, zánětlivá odpověď, proliferace fibroblastů	Inkompletní
	IV	Ruptura fascikulů a perineuria	Větší gap, formace neuromu v kontinuitě díky proliferaci fibroblastů, perineurální jizvení	Minimální Neurom v kontinuitě
Neurotméza	V	Ruptura celého nervu	Jizvení bez možnosti regenerace	Žádná

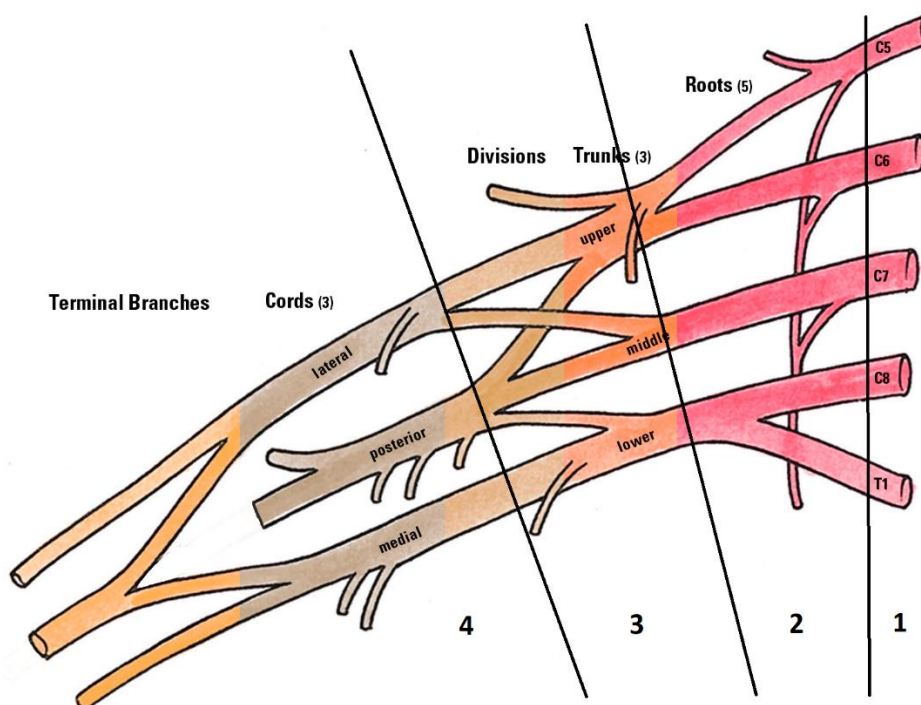
Dalším způsobem klasifikace je dělení dle anatomické výše poranění na supra- a infraklavikulární. Infraklavikulární léze jsou v chirurgicky ošetřených souborech BPI méně časté, ale nejsou méně významné a častěji, než poranění supraklavikulární, jsou spojena se závažným poraněním okolních struktur – vaskulárními lézemi včetně ruptury či okluze a. axillaris, frakturami humeru, lopatky či klíčku. Procento infraklavikulárních lézí významně vzrůstá v souborech zahrnujících i konzervativně řešené spontánně regenerující trakční léze BP (typu neurapraxie nebo axonotmézy bez přerušení peri- a endoneuria) vzniklé při nízkoenergetických poraněních (prosté pády, glenohumerální dislokace).

Z hlediska prognózy, časování operačního výkonu i volby operační techniky je důležité dělení na lézi pregangliovou a postrangliovou. Avulze – vytržení míšního kořene z míchy – je nejtěžším poraněním periferní nervové soustavy s nemožností spontánní regenerace a zároveň bez přítomnosti funkčního proximálního pahýlu pro suturu nervových struktur či rekonstrukci pomocí štěpů.

Všeobecná potřeba sjednocení klasifikace úrovně poranění BP ve vztahu k chirurgickým výkonům vedla k vytvoření nové klasifikace úrovně poranění BP [3], viz tab. 2, obr. 3.

Tabulka 2: Nová klasifikace úrovně poranění BP. Zdroj: Shin, Pulos.

Úroveň I	uvnitř obratle, zahrnující poranění fila radicularia a nervového kořene poranění pregangliová
Úroveň II	poranění v oblasti m. scalenus anterior postgangliová a supraklavikulární úroveň úroveň proximálních odstupů před spojením v primární svazky
Úroveň III	úroveň primárních svazků (trunků), jejich dělení (divizí) a odstupů lokalizace poranění pre – a retroklavikulárně
Úroveň IV	infraklavikulární výše úroveň sekundárních svazků (fascikulů) a jejich odstupů



Obrázek 3: Nová klasifikace úrovně poranění BP. Zdroj: [Image \(wordpress.com\)](http://Image.wordpress.com), upravil autor dle: Shin, Pulos.

1.5 Diagnostika lézí brachiálního plexu

Včasná diagnostika poranění pažní pleteně a správně časovaný operační výkon s volbou odpovídajícího způsobu rekonstrukce jsou v případě těžkého postižení podmínkou budoucího zlepšení funkcí horní končetiny. Zásadní otázkou, kterou je po poranění brachiálního plexu potřeba zodpovědět, je, zda existuje potenciál ke spontánní úpravě nebo je potřebná rekonstrukční operace.

Kombinace klinického a grafického vyšetření zvyšuje přesnost předoperační diagnostiky typu poranění BP na 90 a více % [36]. S využitím elektrofyziologického vyšetření je korelace s peroperačním nálezem ještě vyšší. Zvýšení senzitivity předoperačního vyšetření umožňuje lépe selektovat pacienty, u kterých je vysoká šance na spontánní úpravu, a potenciálně se vyhnout nepotřebné explorativní operaci (redukce morbidity, nákladů), případně provést rovnou, bez časové ztráty, rekonstrukci poraněného BP štěpy či nervovými transfery.

Předoperační diagnostika by měla být provedena co nejdříve standardizovanou metodou, která zahrnuje klinické, elektrofyziologické a zobrazovací vyšetření. Cílem je rozlišení pre- a postgangliového poškození, lokalizace postgangliového poškození dle výše a tíže postižení (parciální / kompletní). Pro plánování chirurgického postupu je velmi důležitý vývoj kliniky, tedy zda a v jaké míře dochází ke spontánnímu zlepšování.

Kapitola 1.5 je zaměřena na vyšetření dospělých pacientů; specifika vyšetření perinatálních lézí nejsou rozebírána.

1.5.1 Klinické zhodnocení lézí brachiálního plexu

Klinické vyšetření pacientů nedokáže samo o sobě spolehlivě rozlišit postižení pregangliové od postgangliového ani lézi kompletní od těžké, ale inkompletní. Má ale velký význam pro zhodnocení velikosti a vzorce funkčního výpadu a sledování dynamiky změn. Kromě samotné anamnézy, hodnocení trofiky, motoriky, cití a bolesti je sledována přítomnost či nepřítomnost Hornerova syndromu, Tinelova příznaku, změn postavení kostěných struktur (lopatka, krční páteř, ramenní kloub) a hodnocení funkce bránice [28,36–38]. K záznamu nálezů se pro přehlednost používají různá schémata, viz přílohy 3 a 4 (The d'Aubigne Brachial Plexus Data Sheet, Mayo Clinic Data Sheet, Mayo Clinic Brachial Plexus Exam Record).

Mezi škály nejčastěji používané k hodnocení motorické a senzitivní regenerace patří klasifikace publikovaná Seddonem v British Medical Research Council (tab. 3) a její modifikace. Regenerace PN je považována za úspěšnou v případě dosažení stupně M3 – M5 pro motorickou

funkci a S3 – S4 pro senzitivní funkci daného nervu. Motorické testování zahrnuje dále aktivní a pasivní rozsah pohybů (ROM).

Tabulka 3: Klasifikace svalové síly podle Seddona a Higheta – British Medical Research Council. Zpracoval: autor.

Stupeň	Popis	Stupeň	Popis
M0	Žádná kontrakce	S0	Žádné čítí
M1	Hmatná kontrakce bez motorického efektu	S1 S1+	Hluboké čítí Povrchové algické čítí
M2	Aktivní pohyb v kloubu s vyloučením gravitace	S2 S2+	Algické + parciálně taktilní Hypersenzitivita
M3	Aktivní pohyb v kloubu proti gravitaci	S3	Algické + taktilní
		S3+	Lokalizace, část. 2PD
M4	Aktivní pohyb v kloubu proti odporu	S4	Kompletní (včetně 2PD)
M5	Normální svalová síla		

Použité zkratky: 2PD – dvoubodová diskriminace.

Každý sval na horní končetině je zásoben minimálně dvěma kořeny, každý pohyb je zajištěn více svaly (viz příloha 2). U kompletního poškození lze očekávat plný výpad motoriky i senzitivity v daném myotomu a dermatomu (plegie, anestezie). Klinické zhodnocení funkce jednotlivých kořenů s jejich klíčovými svaly shrnuje tabulka 4. Způsob testování jednotlivých svalů je podrobně popsán v dostupné literatuře [3,4,12,22,28,38–40].

Ještě větší interindividuální variabilitu než myotomy mají dermatomy. Jejich významný překryv plus anatomické variety samotného plexu (pre-, postfixovaný typ) vylučují jednoznačnou lokalizaci léze dle výpadu čítí. Senzitivní dermatomy hodnotíme vyšetřením čítí v oblasti laterální paže (C5), laterálního předloktí a palce (C6), 2. a 3. prstu (C7), malíku (C8) a vnitřního předloktí (Th1).

Tabulka 4: Klinické zhodnocení funkce jednotlivých kořenů. Zdroj: autor.

	Autonomní motorická funkce (dominantní zajištění příslušným kořenem)	Klíčové svaly	Senzitivita	Reflexy
C5	Abdukce, zevní rotace ramene	DM, SS, IS	Laterální paže	
C6	Flexe v lokti, supinace Extenze a addukce ramene	BB, B, BR, S LD	Laterální předloktí D1 (2)	Bicipitový reflex BR reflex
C7	Extenze v lokti Pronace Flexe zápěstí	TB PT FCR, FCU	D3	Tricipitový reflex
C8	Flexe prstů 1–3 Extenze prstů 1–3	FDS, FDP, FPL EPL, EI APB	D5	Reflex flexorů prstů
Th1	Abdukce prstů	FDI	Mediální předloktí	

Použité zkratky: DM: *m. deltoideus*, SS: *m. supraspinatus*, IS: *m. infraspinatus*, BB: *m. biceps brachii*, B: *m. brachialis*, BR: *m. brachioradialis*, S: *m. supinator*, LD: *m. latissimus dorsi*, TB: *m. triceps brachii*, FCR: *m. flexor carpi radialis*, FCU: *m. flexor carpi ulnaris*, PT: *m. pronator teres*, FDP: *m. flexor digitorum profundus*, FDS: *m. flexor digitorum superficialis*, FPL: *m. flexor pollicis longus*, EPL: *m. extensor pollicis longus*, EI: *m. extensor indicis*, APB: *m. abductor pollicis brevis*, FDI: *m. interosseus dorsalis I*. D1–5: prsty 1–5

Očekávatelným nálezem u léze BP je snížení reflexů horní končetiny. Vzácněji můžeme pozorovat na postižené končetině i reflexy zvýšené (přidružená časná nebo pozdní myelopatie u avulzí, současná cerebrální léze u polytraumat, syringomyelie, intra– nebo extradurální kolekce) [41].

Kromě změn trofiky můžeme pozorovat také změny postavení kostěných struktur: Nejčastější abnormitou je subluxace ramenního kloubu, typická pro postižení kořenů C5,6 nebo n. axillaris, a odstávající lopatka (léze C5,6, n. thoracicus longus, n. dorsalis scapulae). Výraznější nález bývá u inkompletních poranění BP, kdy zachování funkce antagonistů postiženého svalu zvýrazňuje kliniku. Dále můžeme u avulzí, kdy je porušen i ramus dorsalis, pozorovat cervikální skoliózu, kyfózu až dropped head syndrom [42].

Incidence neuropatické bolesti u dospělých pacientů je vysoká, dosahující až 95 % u avulzních lézí [43,44]. Kromě primárního poškození nervových kořenů se na vzniku a progresi neuropatické bolesti podílí i centrální složka související s „odpojením“ (deafferentační bolest); je velmi refrakterní k léčbě a často vyžaduje modulační či ablativní neurochirurgické zásahy.

Mezi specifické symptomy, které jsou v rámci klinického vyšetření vždy testovány, patří zejména Tinelův příznak a přítomnost Hornerova syndromu. Jemný poklep na supraklavikulární oblast postižené strany vyvolávající parestezie či bolest vyzařující do oblasti paže (C5) či laterálního předloktí (C6) je považován za pozitivní Tinelův příznak a s vysokou

pravděpodobností (80–90 % pro kořen C5) [28,36] značí postgangliovou lézi a tedy přítomnost proximálního pahýlu k rekonstrukci nervovými štěpy. Dle práce Landiho a Copelanda [45] je vhodné rozlišovat klasický Tinelův příznak (nebolestivé parestezie v příslušném dermatomu) jako známku růstu senzitivních vláken od bolestivých parestezií, způsobených perkusí neuromu a dráždicích nociceptivní aferenty. Význam má toto rozlišení pro prognózu – bolestivé parestezie by měly být pokládány za známku ruptury kořenů spíše než za znak spontánní regenerace.

Hornerův syndrom je triádou příznaků při ipsilaterální lézi sympatické inervace. Zahrnuje miózu (obrna pupilární dilatace), ptózu (obrna m. tarsalis superior) a anhidrosu. Až v 90 % odpovídá Hornerův příznak avulzi C8 a/nebo Th1 [28,36,38]. Ptóza vymizí relativně brzy (kompenzace funkcí m. levator palpebrae superioris), mióza přetrvává měsíce. Jedná se o poruchu dilatace pupily, tedy fotoreakce je normální a anizokorie je lépe viditelná za šera.

N. phrenicus nevychází z brachiálního plexu, ale formuje se z předních větví kořenů C3–5. Obvykle sledujeme jeho lézi nepřímo jako zvýšené postavení a snížené exkurze bránice na postižené straně (mezi nádechem a výdechem pohyb o méně než dva interkostální prostory). Diagnostika se provádí ultrazvukem či RTG. Lze využít i jehlovou EMG, která prokáže denervace v bránici.

U pacientů s lézí BP pátráme vždy také po možných přidružených poraněních. Mezi nejčastější patří fraktura klíční kosti, humeru, lopatky, žeber, ruptura rotátorové manžety, cévní léze či paréza bránice. Klinické známky, svědčící pro přítomnost avulzního poranění, shrnuje tabulka č. 5.

Tabulka 5: Klinické a elektrofyziologické známky podporující diagnózu avulze u jednotlivých kořenů. Zdroj: autor.

Kořen C5	Kořen C6	Kořen C7	Kořen C8	Kořen Th1
Tinel C5 –	Tinel C6 –		(Horner +)	Horner +
Protrakční test –	SNAP LAC+, D1 +	SNAP D3 +	SNAP D5+, DUCN +	SNAP MAC+
Denervace paravert. svalů	Denervace paravert. svalů	Denervace paravert. svalů	Denervace paravert. svalů	Denervace paravert. svalů
Denervace mm. rhomboidei	Změny postavení páteře	Změny postavení páteře	Změny postavení páteře	Změny postavení páteře
Změny postavení páteře			Bolest ruky	Bolest ruky
Léze n. phrenicus				

Použité zkratky: SNAP: senzitivní potenciál, LAC: n. cutaneus antebrachii lateralis, D1–5: prst 1–5, DUCN: r. dorsalis nervi ulnaris, MAC: n. cutaneus antebrachii medialis.

Brachiální plexus obsahuje všechny nervové struktury pro ipsilaterální horní končetinu, při jeho kompletní lézi nacházíme tedy chabou plegii končetiny s anestezií s výjimkou dermatomu Th2 (oblast mediální paže). Při postižení pouze jednoho kořene je klinika malá až minimální, neboť inervace všech svalů je plurisegmentální. Typické vzorce poranění tedy vznikají při postižení dvou a více, nejčastěji sousedících, kořenů. Často se setkáváme s poraněním horní části BP (paréza Erbova typu) s postižením kořene C5 a C6 či horního trunku, který se z těchto kořenů formuje. Klinický obraz tvoří porucha abdukce a zevní rotace ramene, flexe v lokti a supinace předloktí. Oslabení je přítomno pro m. flexor carpi radialis a m. pronator teres. Variabilně může být u léze horní porce BP poraněn i kořen C7, v tomto případě je pro FCR a PT výpad funkce spolu s oslabením extenze zápěstí, flexe prstů a extenze v lokti. U poranění dolního plexu, tedy kořenů C8 a Th1, je normální funkce ramene, flexe v lokti, extenze zápěstí a prstů. Porucha cití je lokalizována na ulnární hraně předloktí a ruky.

Tabulka 6: Klinické zhodnocení funkce jednotlivých kořenů. Zdroj: autor

	Autonomní motorická funkce (dominantní zajištění příslušným kořenem)	Klíčové svaly	Senzitivita	Reflexy
C5	Abdukce, zevní rotace ramene	DM, SS, IS	Laterální paže	
C6	Flexe v lokti, supinace Extenze a addukce ramene	BB, B, BR, S LD	Laterální předloktí D1 (2)	Bicipitový reflex BR reflex
C7	Extenze v lokti Pronace Flexe zápěstí	TB PT FCR, FCU	D3	Tricipitový reflex
C8	Flexe prstů 1–3 Extenze prstů 1–3	FDS, FDP, FPL EPL, EI APB	D5	Reflex flexorů prstů
Th1	Abdukce prstů	FDI	Mediální předloktí	

Použité zkratky: DM: m. deltoideus, SS: m. supraspinatus, IS: m. infraspinatus, BB: m. biceps brachii, B: m. brachialis, BR: m. brachioradialis, S: m. supinator, LD: m. latissimus dorsi, TB: m. triceps brachii, FCR: m. flexor carpi radialis, FCU: m. flexor carpi ulnaris, PT: m. pronator teres, FDP: m. flexor digitorum profundus, FDS: m. flexor digitorum superficialis, FPL: m. flexor pollicis longus, EPL: m. extensor pollicis longus, EI: m. extensor indicis, APB: m. abductor pollicis brevis, FDI: m. interosseus dorsalis I. D1–5: prsty 1–5

1.5.2 Zobrazovací vyšetření

Modalities, používané k diagnostice poranění BP, zahrnují myelografii, CT perimyelografii (CT PMG), magnetickou rezonanci (MR), myelografické sekvence MR, ultrazvuk a pokročilé metody (MR neurografie a MR traktografie) [46,47]. V současné době jsou za standardní metody pro průkaz pregangliového postižení CT perimyelografie a magnetická rezonance, přičemž za referenční standard hodnocení senzitivity a specifity zobrazovacích vyšetření je považována chirurgická explorace.

Před zavedením CT a MR do klinické praxe byla jedinou možností zobrazení oblasti intradurálního průběhu kořenů klasická myelografie. Aplikace jodové kontrastní látky intrathékálně cestou lumbální punkce zůstává stále základem pokročilejší CT perimyelografie (CT PMG). CT PMG je dodnes zlatým standardem a zřejmě nejspolehlivější metodou pro vyšetření intradurálního průběhu kořenů. Myelografická klasifikace z roku 1989 [48] člení radiologický nález do šesti typů na základě zobrazení kořenové pochvy, kořenových vláken (fila radicularia) a ev. přítomnosti traumatické pseudomeningokély. Vizualizace zachování fila radicularia (rootlet imprint) je považována za důkaz zachování integrity kořene; srovnání probíhá s nepostíženou stranou. Senzitivita vyšetření je uváděna dle různých autorů 81–95 %, specifita i vyšší [38,48–50]. Limitujícími faktory pro CT PMG jsou stenózy v nižších etážích, bránící průniku kontrastní látky, také výrazná nadváha, která může snižovat přehlednost snímků. Nevýhodami vyšetření jsou radiační riziko a invazivita.

MR je v předoperační diagnostice pacientů s poraněním BP používána stále častěji. Kromě klasického zobrazení lze správným nastavením parametrů docílit potlačení signálu tuku i bez podání kontrastní látky a tím ozřejmit poměry v likvorovém kompartmentu (MR myelografie). Doplňují se dále difuzně vážené obrazy (DWI), které hodnotí kontinuitu nervových struktur v oblasti samotného BP. Na významu získávají tzv. pokročilé techniky MR, tj. MR neurografie a experimentálně i MR traktografie [46]. Za přímý průkaz avulze (totální nebo parciální) jsou při hodnocení MR myelografie považovány změny fila radicularia: přerušení, snížení počtu, chybění, případně ztlustění, způsobené hemosiderinovými depozity na vláknech zbývajících. Ostatní změny (pseudomeningokély, denervační edém paravertebrálních svalů, deviace míchy) jsou pokládány za nálezy nepřímé, avulzi pouze podporující. Pro průkaz postgangliových lézí je MR jednoznačně vhodnější než CT. Jedná se o vyšetření neinvazivní, bez radiační zátěže a odpadá při něm nutnost podání kontrastní látky. Navzdory stálému zlepšování technologie MR jsou stále velkým problémem artefakty. Polykací a dýchací pohyby, pulzace velkých cév

i mozkomíšního moku a neklid pacienta při delším vyšetření ztěžují vizualizaci nervových kořenů. Je nutné zohlednit i kontraindikace MR vyšetření (kovy, klaustrofobie).

Kombinace CT PMG a MR zvyšuje senzitivitu a specifitu záchytu poranění BP. Je otázkou, zda je standardní provádění dvojkombinace vyšetření ospravedlnitelné. Do rozhodnutí je nutné zahrnout radiační riziko a invazivitu (nutnost provedení lumbální punkce s aplikací kontrastní látky) u CT PMG, možné kontraindikace MR, zvyklosti pracoviště, technické vybavení a zkušenost laborantů a popisujících radiologů.

V diagnostice lézí pažní pleteně je v rostoucí míře používán i ultrazvuk, zatím jako komplementární vyšetření především u dětí. Jeho výhodou je možnost vyšetření bez sedace. Dokáže identifikovat a lokalizovat především postgangliové postižení oblasti horního a středního trunku [51]. Zlepšování technických parametrů a tím vizualizačních možností do budoucna může zvýšit jeho využití [52].

1.5.3 Elektrofyziologie

Elektrofyziologie hodnotí funkční integritu struktur a dynamiku průběhu procesů reinervace a je proto výborným doplňkem strukturálního – zobrazovacího vyšetření. Základními technikami používanými v případech lézí BP jsou elektroneurografie – ENG, elektromyografie – EMG, somatosenzorické – SSEP a motorické – MEP evokované potenciály. Tyto techniky vyšetřují zejména rychle vedoucí silná myelinizovaná vlákna. Tenká vlákna A–delta a C vlákna se vyšetřují obtížně. K výzkumným účelům jsou využívány další speciální techniky, například kožní perioda útlumu [53], zatím se ale neprokázal významný diagnostický přínos.

Elektrofyziologie je nedílnou součástí péče o pacienta s lézí pažní pleteně ve fázi předoperační, operační i pooperační. Specifika jednotlivých fází jsou rozebrána v následujících podkapitolách.

Plánování vyšetření s maximalizací jeho výtěžnosti pro chirurgické plánování, intraoperační monitoraci i pooperační sledování postupu reinervace vyžaduje zkušenosti. Rozsáhlá vyšetření jsou kontraproduktivní; s délkou vyšetření klesá tolerance a spolupráce pacientů a výtěžnost není úměrná časové náročnosti. Obzvláště vyšetření novorozenců a kojenců přinášejí mnoho specifík a výzev.

Náročná je také interpretace výsledků. Vyžaduje široké znalosti anatomie, neurofyziologie a operační taktiky. Měla by být opatrná s vědomím existence parciálních a double crush lézí,

plurisegmentální inervace, anatomické variability a variet, overlapu dermatomů, častého výskytu kombinovaných (léze nervu plus svalových úponů/ kostí/ kloubů) a double crush lézí.

1.5.3.1 Předoperační diagnostika

Spolu s anamnézou, klinickým a zobrazovacím vyšetřením je předoperační elektrofyziologie rozhodující pro diagnostiku distribuce a závažnosti poranění brachiálního plexu a tím zásadní pro plánování přístupu k intervenci. U pacientů s těžkými poraněními BP je většinou v době prvního vyšetření (cca 3 týdny až 3 měsíce po poranění) přítomna klinicky těžká léze celého plexu s funkční plegií končetiny nebo zachovanou zbytkovou hybností pouze některých segmentů (horní/dolní).

Hlavní úlohou předoperačního elektrofyziologického vyšetření je:

- Rozlišení léze kompletní a inkompletní v každém segmentu
- Co nejpresnější lokalizace léze
- Rozlišení pre- a postgangliové léze
- Sledování dynamiky změn sériovými vyšetřeními pro rozhodování o provedení či neprovedení operačního výkonu
- Zhodnocení kvality donorů před nervovými transfery
- Posouzení „recipient health“
- Pomoc při prognózování

Pro správnou interpretaci výsledků vstupní **elektroneurografie** je důležité její načasování. Příliš časně vyšetření může přinést falešně negativní výsledky, neboť dle pravidel Wallerovy degenerace dráždivost a vodivost distálního pahýlu PN mizí až po rozpadu axonů či dendritů. Tento fakt je podkladem přetrvávající motorické odpovědi při elektrické stimulaci distálního pahýlu ještě několik dnů (2–7 u motorických, až 11 u senzitivních nervů) po přerušení PN [54]. Postupný pokles amplitudy sumačního svalového potenciálu (CMAP) až do jejího úplného vymizení kolem 7. dne je tedy průkazem axono- či neurotmézy. U vláken s avulzí kořene je naopak i při plném výpadu cití zachovaná amplituda i rychlost senzitivního vedení, neboť dendrity periferního senzitivního nervu zůstávají ve spojení s tělem ve spinálním gangliu a tedy Wallerova degenerace neprobíhá. Elektrofyziologický průkaz avulze kořene je tedy založen na průkazu kompletní motorické léze v myotomu spolu s výbavností senzitivního potenciálu při kompletním výpadu cití v příslušném dermatomu. Lepší než srovnání amplitud senzitivních

potenciálů s normami je jejich porovnání mezi postiženou a zdravou končetinou – zejména u mladých pacientů mohou být i snížené amplitudy senzitivních potenciálů v mezích normativních hodnot. V případě anestezie a v dermatomu výbavného senzitivního neurogramu s velmi nízkou amplitudou lze očekávat i podíl postgangliové léze (double crush léze).

Avulze se může týkat pouze ventrálních či pouze dorsálních fila radicularia, což je fakt vysvětlující diagnostické rozpaky při interpretaci elektrofyziologických výsledků (například výbavný senzitivní potenciál s výpadem senzitivity v dermatomu při částečně zachovalé motorice).

Redukce nebo absence výbavnosti CMAP odráží množství poškozených motorických axonů. V případě neurapraxie je možné při časném vyšetření inkompletních poranění zachytit kondukční blok. Ten je identifikován stimulací pod a nad místem poranění.

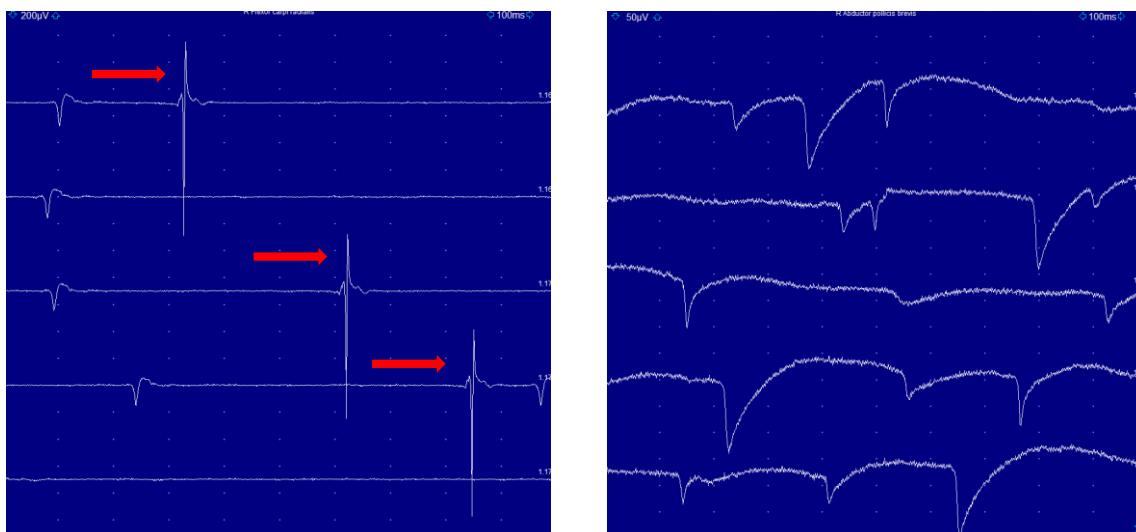
Klasické motorické a senzitivní kondukční studie jsou měřítkem integrity distálních segmentů nervů. Pro zhodnocení segmentů proximálních mají kondukční studie technická omezení pro nemožnost izolované stimulace jednoho nervu, obtížné dosažení supramaximální stimulace a složité měření interstimulačních vzdáleností. Elektrická stimulace v oblasti Erbova bodu je hůře tolerována než stimulace magnetická (**motorické evokované potenciály, MEP**). K orientačnímu posouzení motorických funkcí je tedy výhodnější využít MEP klíčových svalů (m. deltoideus, biceps brachii, triceps brachii, abductor pollicis brevis, abductor digiti minimi). V případě těžkých lézí, které imponují jako kompletní, může výbavnost motorických evokovaných potenciálů prokázat alespoň částečné zachování funkčních motorických vláken.

K hodnocení proximálních segmentů se u lehkých poranění či lézí kompresních (například thoracic outlet syndrom) využívá F vlny nebo somatosenzorických evokovaných potenciálů [55]. F vlna představuje signál, který prošel z místa stimulace proximálně do oblasti předního míšního rohu a poté zpět distálně. **Somatosenzorické evokované potenciály (SEPs)** kmenů n. medianus a ulnaris s registrací z Erbova bodu, míšní oblasti a kontralaterálního skalpu mohou pomoci upřesnit místo léze. Vzhledem k primárnímu cílení operačního výkonu na obnovu motorických funkcí neposkytují předoperačně zásadní informace a slouží spíše pro diagnostiku lehčích lézí. Využití speciálních metodik (např. kožní perioda útlumu) se neukázalo být lokalizačně přínosné [56].

Jehlová EMG je klíčová k průkazu denervačních změn a průkazu absence či zachování volní aktivity. Rozpad motorických jednotek (skupiny svalových vláken inervovaných jedním motoneuronem) se při EMG vyšetření projeví izolovanými spontánními stahy svalových vláken

(denervačními fibrilacemi). Fibrilace jsou pravidelné rytmické výboje viditelné (a slyšitelné) pouze EMG, nejsou viditelné klinicky. Pozitivní ostré vlny mají stejný patofyziologický význam jako fibrilace, ale odlišnou morfologií, viz obr. 4.

Fibrilace a POV jako známky denervace jsou ve svalu viditelné v proximálních svalech 2–3 týdny po poranění nervu a postupují proximodistálně (stejně jako jejich mizení při reinervace svalu). V distálních svalech je můžeme zachytit po 4. týdnu od poranění.



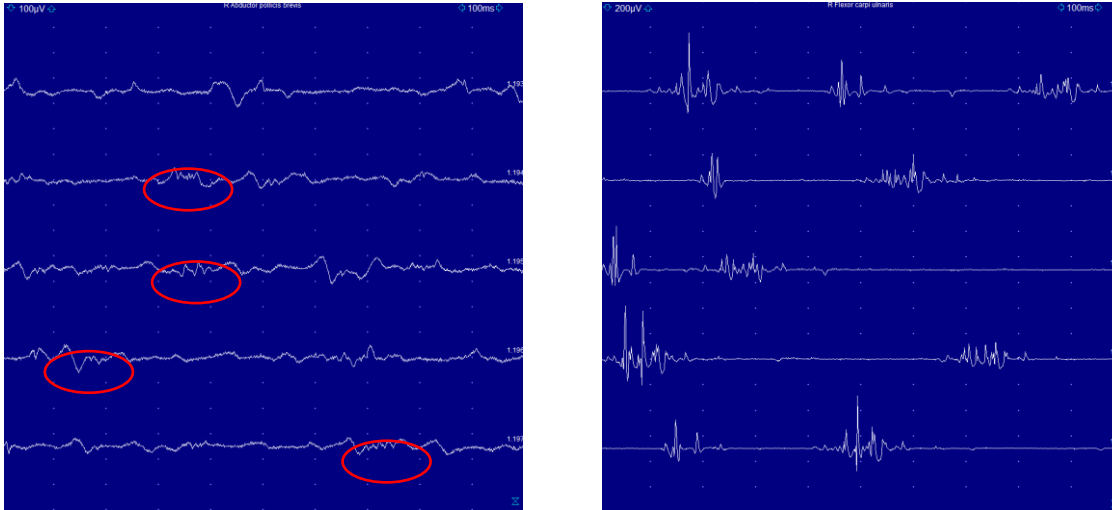
Obrázek 4: Spontánní aktivita v jehlové EMG. Vlevo: fibrilační potenciály označeny červenou šipkou: krátké, bifázické, pravidelné potenciály. Vpravo: pozitivní ostré vlny: pravidelné, bifázické, iniciálně pozitivní, s pomalým návratem. Zdroj: autor.

Volní svalová aktivita hodnotí motorické jednotky během svalové kontrakce. Jakýkoliv průkaz volní aktivity vylučuje kompletní lézi příslušné inervace. U jednotlivých potenciálů se posuzuje se více parametrů, mezi které patří amplituda, doba trvání, počet fází a další.

Morfologie reinervačních jednotek je typická. Časná reinervace se projevuje přítomností velmi nízkých a polyfázických motorických potenciálů, nazývaných nascent units (obr. 5). Pokračování procesu reinervace z oblasti terminálních axonů postupně zvětšuje motorickou jednotku, což se odráží ve zvyšování amplitudy a rozšiřování potenciálu. Nezralé motorické jednotky jsou typické svou variabilitou a instabilitou. To je důsledkem nezralosti nového nervového zakončení a nekonzistentního přenosu přes neuromuskulární spojení.

Nábor motorických jednotek je závislý na počtu motorických jednotek pálících v závislosti na zvyšování svalové síly. V případě úspěšně proběhlé reinervace je jejich počet menší než ve

svalu zdravém a jsou vysoké (až několik mV). Ve zvířecích modelech mohou regenerující axony inervovat až 5x více svalových vláken [57], k funkční úpravě tedy stačí cca 20 % axonů.



Obrázek 5: Časná reinervace – nascent units. Vlevo: velmi časná reinervace. Vpravo: vyzrálější a vyšší jednotky. (rozlišení vpravo 100 uV/dílek, vlevo 200 uV/ dílek). Zdroj: autor.

Zvláštní význam má vyšetření potenciálních donorů. Svaly inervované nervem, který je zvažován jako nerv donorský, by měly být zhodnoceny jehlovou EMG k průkazu denervačních změn, náboru motorických jednotek a volní křivky. Požadavek na ideální kondici dárce inervovaného svalu je svalová síla M4, minimální počet denervací, dostatečný nábor a nepřítomnost výrazných chronických regeneračních změn. Zcela normální svalový náleznale nacházíme při těžkých poraněních BP spíše zřídka, v případě použití nervu inervujícího sval s parciální denervací a křivkou 3/5 můžeme očekávat horší outcome a zřejmě je lepší taktikou použití dvojitých nervových transferů. Pro zhodnocení rizika donor site morbidity jsou testovány svaly, které jsou synergisty funkce svalu inervovaného donorským nervem, viz tab. 7.

Také vyšetření cílového svalu může, obzvláště v případě delší denervace, přinést informace o jeho kondici. Zjišťována je zejména inserční a spontánní aktivita, jejíž přítomnost je v tomto případě příznivou známkou přítomnosti viabilních svalových vláken a nepřítomnosti definitivní fibrózní přestavby. Ta se ve svalu projeví tzv. EMG tichem, v tomto případě již žádná nervová procedura nemá význam.

Tabulka 7: Riziko donor site morbidity

Chybějící pohyb	Donor	Recipient	Závislost
Flexe v lokti	N. ulnaris (FCU) N. medianus (FDS)	Biceps brachii Brachialis	FCU, FCR FDS, FDP
Zevní rotace	SAN (dolní trapéz)	Suprascapularis	M. trapezius
Abdukce ramene	N. radialis (dlouhá hlava TB)	Deltoid	Triceps brachii
Extenze prstů	N. radialis (supinator, BR)	PIN	Biceps brachii
Flexe prstů	N. radialis (m. brachialis, ECRB)	AIN	ECRL, ECU

Použité zkratky: FCU: *m. flexor carpi ulnaris*, FDS: *m. flexor digitorum superficialis*, FCR: *m. flexor carpi radialis*, FDP: *m. flexor digitorum profundus*, SAN: *n. accessorius*, TB: *m. triceps brachii*, BR: *m. brachioradialis*, PIN: *n. interosseus posterior*, ECRB: *m. extensor carpi radialis brevis*, AIN: *n. interosseus anterior*, ECRL: *m. extensor carpi radialis longus*, ECU: *m. extensor carpi ulnaris*

Distribuce abnormit jehlové EMG je důležitá pro lokalizaci léze. Vyšetření probíhá většinou proximodistálně pro kořeny C5 až Th1. Zvláštní význam u parézy horního typu mají svaly inervované nervy odstupujícími z primárních svazků a při normálním nálezu v těchto svalech vylučují avulzi nebo přetržení kořenů. Jedná se o *m. serratus anterior* (*n. thoracicus longus*) a *mm. rhomboidei* (*n. dorsalis scapulae*) a paraspinální svaly. Pro hodnocení horní porce *m. serratus anterior* většinou využíváme klinický protrakční test. *Mm. rhomboidei* vyšetřujeme pro zhodnocení motorické funkce kořene C5, nejlépe v oblasti dolního úhlu lopatky (2–3 cm od dolního úhlu lopatky na mediální hraně), kde není *m. rhomboideus major* krytý trapézem, v navigaci je možné pomoci si ultrazvukem [58]. EMG paraspinálních svalů i přes její výtěžnost většinou neprovádíme, neboť stejnou informaci (denervační edém svalů) získáme z MR [59,60].

U pacientů s těžkými nebo kompletními lézemi je lépe tolerováno jehlové vyšetření končetinových svalů (pro přítomnou anestezii či hypestézii v končetinových dermatomech) než vyšetření svalů lopatkových, paravertebrálních či hrudních (*m. pectoralis major*, *m. serratus anterior*).

Známky dobré a špatné prognózy v předoperačním EMG vyšetření ukazuje tabulka č. 8.

Tabulka 8: Prognóza poranění periferních nervů dle EMG vyšetření. Zdroj: autor.

	Dobrá prognóza	Špatná prognóza
Spontánní aktivita	Řídce přítomna	Masivní nebo 0
Volní aktivita, recruitment	N, redukovaný	0
Distální CMAP	N, redukovaný	0
Kondukční blok/zpomalení	A	0

1.5.3.2 IOM

Ne všichni operatři revidují přímo foraminální oblast či dokonce intradurální průběh fila radicularia pro neodůvodnitelnou invazivitu. Informace, zda je konkrétní nervový kořen spojen s míchou, je ovšem klíčová pro volbu operačního postupu. Intraoperačně je vizualizována anatomická kontinuita oblasti nervového kořene po výstupu z meziobratlového otvoru, pokud ale vytržený kořen není retrahován z intradurálního prostoru nebo je výrazně zajizven, může být mylně považován za intaktní. Opačným problémem je předoperačně diagnostikovaná avulze, u které zůstane částečné množství vláken funkční, dle práce Clarksona a spol. [61] se tento problém týkal až 25 % avulzí – 14 z 55 kořenů. Řešením je použití intraoperační elektrofyziologie s cílem prokázat porušenou či zachovanou vodivost nervových vláken.

Pro správnou a kvalitní monitoraci je nezbytná spolupráce operačního týmu, neurofyziologa a anesteziologického týmu. Požadavky na anestezii zahrnují vyhýbání se použití inhalačních anestetik, nedepolarizujících svalových relaxancií a oxidu dusného (N₂O) pro jejich vliv na intraoperační elektrodiagnostiku. Zlatým standardem pro operace s intraoperační elektrofyziologickou monitorací je totální intravenózní anestezie (TIVA) [62].

Peroperační elektrofyziologie využívá přímou nervovou stimulaci s registrací nervového akčního potenciálu (NAP) háčkovými elektrodami či svalové odpovědi vizuálně či elektromyograficky (monopolární jehlová registrace v příslušných svalech), a dále somatosenzorické a motorické evokované potenciály.

Peroperační přímá elektrická nervová stimulace je prováděna jemnou bipolární hrotovou elektrodou intenzitami 0.5–20 mA. Přítomnost jakékoliv svalové kontrakce indikuje alespoň částečné zachování motorických vláken příslušného kořene. Donorské nervy by měly reagovat svalovou kontrakcí na stimulaci nízkou intenzitou 0.5 mA. Přímá nervová stimulace je používána také v oblasti neuromů v kontinuitě pro zjištění, zda nervová vlákna překonala

regenerací oblast neuromu. Sledována je motorická odpověď periferie při stimulaci nad a pod neuromem. Vzdálenost mezi stimulační a snímací elektrodou by měla být minimálně 4 cm pro minimalizaci stimulačního artefaktu. Snímání NAP umožňuje zjistit, zda došlo k regeneraci nervových vláken přes neurom ještě před tím, než regenerující axony dosáhnou prvního motorického efektoru (svalu). Výbavnost NAP přes lézi indikuje funkční kontinuitu nejméně 4000 axonů [63], při tomto počtu intaktních vláken lze předpokládat funkční reinervaci. Nevybavení NAP při stimulaci přes oblast neuromu je považováno za průkaz toho, že nervová vlákna nebyla schopná prorůst přes postiženou oblast a je nutná resekce neuromu a rekonstrukce pomocí nervových štěpů.

Záznam stimulovaného EMG (snímání svalové odpovědi po přímé nervové stimulaci) je užitečné ke zhodnocení kontinuity nervové struktury a odhalení ev. anomální inervace. Nepřítomnost svalové odpovědi nemusí znamenat přerušování nervu, ale dosud neproběhlou reinervaci a také nedokáže rozlišit mezi pre- a postgangliovou lézí.

Motorické evokované potenciály jsou peroperačně vyvolány transkraniální elektrickou stimulací subkutánně umístěnými elektrodami lokalizovanými nad motorickou kůrou a snímány háčkovými elektrodami přímo na míšním nervu v oblasti co nejbližší intervertebrálnímu foramen. Aplikuje se train (2–5) stimulů s krátkým interstimulačním intervalem 2–4 ms a intenzitou 200–600 V [3,61,64].

Intraoperační přímá stimulace depolarizuje motorické i senzitivní axony. Stimulace bipolární elektrodou s katodou proximálně a snímáním ortodromní odpovědi získáváme somatosenzorické evokované potenciály. Snímání je prováděno nejčastěji v oblasti míchy (subkortikální potenciál, C5–Fz) ev. skalpu (Cpc–Cpi), použita může být i nasopharyngeální snímací elektroda. Vlny jsou nízké amplitudy, takže musí být zprůměrováno alespoň 30, lépe 50 odpovědí. Intenzita stimulu je obvykle kolem 5 mA.

Intraoperační monitorace má mnohá úskalí (stimulační artefakty a artefakty z okolí, falešně pozitivní odpovědi ze vzdálených svalů, vliv anestezie), kterých si musí být elektrofyziolog vědom, aby získané údaje správně interpretoval. IOM nutně vyžaduje komunikaci s neurochirurgickým a anesteziologickým týmem.

1.5.3.3 *Pooperační sledování*

EMG hraje významnou úlohu ve sledování průběhu reinervace. Cenné informace poskytuje v časných stádiích po rekonstrukci zejména jehlová EMG – zachytí časné reinervačních změny ve formě objevení nascent units ještě před klinicky detekovatelným pohybem, a tedy dokáže ideálně časovat potřebu intenzivní a cílené rehabilitace.

Axony dorůstají do kontaktu se svalovými vlákny s časovým rozptylem. Detekovatelné nascent units jsou nízké (100–200 μV), protože svalová vlákna, na která se axony napojují, jsou hypotrofická, a polyfazická, což je dáno nedostatečnou synchronizací aktivace. Jejich záchyt v časném období po rekonstrukci (8–12 týdnů) je tedy průkazem kontaktu sprouting axonu s motorickou ploténkou. Postupem času dochází také ke snižování četnosti a amplitudy spontánní aktivity až jejímu postupnému vymizení.

Motorické jednotky se v průběhu reinervačního procesu zvětšují díky větvení terminálního vlákna a v případě inkompletních lézí i díky kolaterálnímu pučení. Nově zavzatá svalová vlákna jsou asynchronní s vlákny hostitelské jednotky, a i mezi sebou. Tento proces vede k prodloužení trvání reinervační motorické jednotky a zvýšení počtu jejích fází. Navíc vzhledem k nestabilním a nezralým end plates je neuromuskulární přenos nestabilní, často chybný. To vede k nestabilitě potenciálů motorických jednotek. Během dalších měsíců se motorické jednotky prodlužují, zvyšuje se jejich amplituda a snižuje počet fází, dochází k jejich vyžívání a lepší synchronizaci. Vedení je stabilnější a depolarizace motorické jednotky trvá kratší dobu, tedy počet fází postupně klesá. Posledním stádiem reinervačního procesu je chronická neurogenní jednotka s vysokou amplitudou a dlouhým trváním, nicméně již stabilní. Sledování velikosti, stability a počtu fází potenciálů a frekvence jejich pálení dokáže odlišit regeneraci probíhající a již ukončenou. Průběh reinervace dobře demonstruje i křivka maximální volní aktivity a její změny v čase.

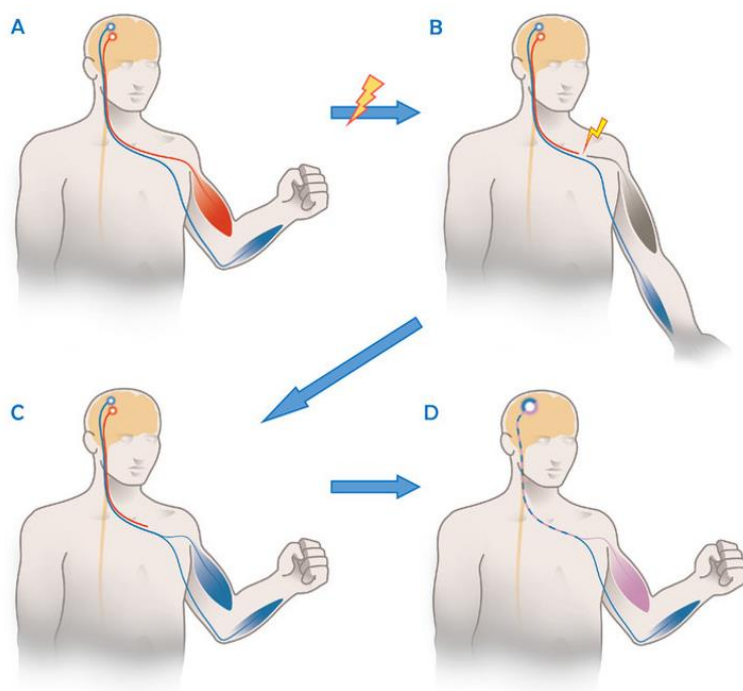
Se vzrůstajícím počtem nově inervovaných svalových vláken je patrné i zlepšování parametrů kondukční studie (růst zprvu nevýbavné amplitudy CMAP), která poskytuje kvantitativní data o stupni axonální ztráty (ekvivalentně přírůstku). Senzitivní nervový akční potenciál bývá výbavný hůře než motorický.

Nová softwarová vybavení současných přístrojů umožňují sledování změny počtu motorických jednotek; dle animálních modelů i dosavadních studií se tento počet v průběhu reinervace postupně zvyšuje na cca 20 % normy; zatím však nebyly publikovány dostatečně velké soubory [65].

Jasný přínos EMG vyšetření je také při nepostupující reinervaci. Trvajících kompletní denervační syndrom v době předpokládané reinervace je v případě sutur PN indikací k chirurgické revizi. U pacientů s rekonstrukcí BP jsou při neprobíhající reinervaci či v případě suboptimálního výsledku zvažovány sekundární korekční intervence (více kap. 1.6.2.4).

Vyzrávání EMG nálezu neznamena vždy relevantní klinické zotavení. Obzvláště v situacích mnohonásobných nervových transferů je funkční výsledek závislý na motorické reedukaci. Po neurotizačních procedurách jsou v počátku reinervace vždy zaznamenány synkinezy s donorem. V počátečních stádiích reinervace je volní aktivita v cílovém svalu přítomna pouze při aktivaci svalu původně inervovaného donorským nervem. Postupem času u některých pacientů tyto synkinezy vymizí; předpokládá se zásadní vliv cerebrální plasticity, která dle předpokladů [66–72] klesá s věkem. Synkinezy při aktivaci původního svalu v ideálním případě mizí do 2 let (reorganizace motorické kůry), často ale přetrvávají a slouží pro pacienty jako pomocný startér či posilovač nového volního pohybu. Často i při úspěšné reinervaci po neurotizaci není dosaženo kvalitní izolované volní inervace recipientu, což je nejspíše dáno nízkou cerebrální plasticitou, zejména u starších pacientů. Nízká cerebrální plasticita je častým důvodem špatného funkčního výsledku i při prokázané synkinetické reinervaci, zejména při použití antagonisty jako zdroje donorských axonů.

U supercharge neurotizací je možné pomocí monitorace synkinez odlišit zdroj axonů reinervujících cílový sval [73].



Obrázek 6: Princip nervového transferu a cerebrální plasticita. Zdroj: Sturma, Agnes. *Structured Motor Rehabilitation After Selective Nerve Transfers* (2019).

Schematické znázornění nervového transferu *n. ulnaris* na *n. musculocutaneus*. (A) Zdravý člověk s oddělenou korovou reprezentací pro oba nervy (*n. ulnaris*: modře, *n. musculocutaneus*: červeně). (B) Po poranění *n. musculocutaneus* je biceps zbaven volní kontroly. (C) Po provedení neurotransferu ovládají fascikly *n. ulnaris* i *m. biceps brachii*. Předtím, než dojde ke kortikální reorganizaci, jsou oba svaly aktivovány společně, protože mezi těmito nervovými vlákny neexistuje kortikální oddělení (modře). (D) S úspěšnou rehabilitací se pacient naučil používat určité kortikální axony pro "normální" funkce loketního nervu (modře), zatímco jiní (fialově) nyní ovládají biceps. Kortikální reprezentace cílového svalu po rekonstrukčním výkonu je změněna [74].

1.6 Chirurgická léčba lézí brachiálního plexu

Včasné odeslání pacienta na specializované pracoviště je důležité pro přesnou diagnostiku a správné načasování chirurgického výkonu. Poranění s minimální (Sunderland IV–V, kap. 1.4) nebo nulovou (avulzní léze) šancí na spontánní regeneraci jsou indikovaná k chirurgické exploraci a mikrochirurgické rekonstrukci. Stejně jako u poranění ostatních periferních nervů představují časový limit ireverzibilní změny v denervovaných svalech. U pacientů s kompletní lézí a s prokázanými avulzemi kořenů je indikován časný (2. – 3. měsíc po poranění) chirurgický výkon. U poranění parciálních s částečnou spontánní úpravou je ideální období pro operaci 3. – 6. měsíc od poranění. Po 9. měsíci dramaticky klesá funkční výsledek. Panuje shoda na faktu, že po roce od poranění již nejsou primární rekonstrukční výkony smysluplné [3,75]. Další možnostmi jsou potom výkony sekundární, korekční.

1.6.1 Priority chirurgické rekonstrukce

Plánování výkonu je komplexní proces, který musí shrnout informace získané klinickým, elektrofyziologickým a zobrazovacím vyšetřením (kap. 1.5). Klíčové je opakovaně vysvětlovat pacientovi dosažitelné cíle; na jeho chápání možností chirurgického výkonu závisí spolupráce v dlouhém období pooperačním a rehabilitačním. Operační intervence zpravidla představují složité mnohahodinové výkony. Plán chirurgického výkonu je často nutno měnit či přizpůsobovat s ohledem na peroperační nález či výsledky intraoperační elektrofyziologické monitorace. Cílem je navrátit co možná nejvíce funkce postižené končetině v co nejkratším čase, přičemž zohledňujeme tzv. funkční priority, které u dospělých pacientů představuje (řazeno od nejdůležitějších):

- 1) Kontrola pohybů lokte, zejména flexe v lokti
- 2) Stabilizace ramene, abdukce a zevní rotace
- 3) Úchop a uvolnění úchopu, extenze zápěstí a flexe prstů
- 4) Flexe zápěstí a extenze prstů
- 5) Obnova protektivního cití
- 6) Obnova jemné motoriky

Priority pro neurochirurgickou rekonstrukci jsou stanoveny na základě posouzení potřebné funkce a pravděpodobnosti, že budou operací úspěšně obnoveny. Priority dětských pacientů se liší. Díky menší délce končetiny (a tedy kratší vzdálenosti pro reinervaci) a lepší regenerační

schopnosti je primárním cílem u dětí obnovení užitečné funkce ruky. Pokud k ní nedojde, děti vyřadí postiženou horní končetinu z tělesného schématu a nezapojí ji do bimanuálních činností.

1.6.2 Chirurgická technika

Chirurgický přístup k poranění brachiálního plexu se vyvíjí od 50. let. V současnosti jsou platnými hlavními principy v případě neavulzního poranění neurolyza, resekce neuromu do zdravé tkáně, bezťahová sutura a v případě delších defektů použití nervových štěpů. V případě inkompletního avulzního poranění jsou používány proximální či distální nervové transfery. Pro panavulzní poranění plexu jsou jedinou možností mnohočetné nervové transfery, případně sekundární korekční výkony. Podrobněji jsou jednotlivé metody rozebrány v následující kapitole.

1.6.2.1 Operační přístupy

Příprava pacienta a jeho polohování musí zajistit náležitý přístup ke všem potenciálním místům zásahu a odběru štěpů. Základní přístup, umožňující identifikaci kořenů, trunků a jejich divizí včetně proximálních odstupujících větví, n. phrenicus a SAN, je přístup supraklavikulární, prováděný 2–3 prsty nad klíčkem. Přehlednost sekundárních svazků a odstupujících hlavních větví BP zajišťuje přístup infraklavikulární, prováděný v deltopectorální rýze od klíčku k přední axilární řase. Další používané přístupy slouží většinou jednotlivým nervovým transferům – dorsální přístup pro transfer SAN–SSN podél horní hrany lopatky, zadní přístup pro RN – AxN transfer podél zadní hlavy deltoиду a laterální hlavy tricepsu, přední přístup pro rekonstrukci AxN z RN v oblasti axilly, přístup pro transfer interkostálních nervů a mnohé další.

1.6.2.2 Neurolyza, sutura, rekonstrukce pomocí nervových štěpů

V případě ostrého otevřeného poranění BP je revize prováděna v akutním režimu. Tupá otevřená poranění jsou ošetřována obvykle s odstupem 2–4 týdnů po demarkaci rozsahu poranění a event. přeléčení znečištěné rány antibiotiky [26].

U trakčních poranění BP je při neprobíhající regeneraci nervu dle opakovaných klinických a elektrofyziologických vyšetření k revizi přistoupeno dle pravidel časování uvedených

v kapitole 1.6. Revize je prováděna mikrochirurgickou technikou pod zvětšením mikroskopem za použití speciálního mikrochirurgického instrumentária. K zástavě krvácení je užívána šetrná bipolární koagulace s použitím nižších proudů v blízkosti nervových struktur, aby nedošlo k jejich poškození [26].

Před provedením sutury (většinou v případě ostrého poranění nervové struktury) je nutné resekovat poškozené konce nervových pahýlů až do vzhledu fyziologického nervu s patrnou fascikulární strukturou a krvácejícími intraneurálními cévami. Pro zabránění vrůstání vaziva do oblasti mikrosutury je z okolí místa spojení nervů vazivo nervových obalů odstraněno. Epineurální suturou rozumíme sešítí pahýlů poraněného PN za epineurium několika jednotlivými stehy v závislosti na velikosti nervu. K sutuře se používá monofilamentní atraumatický šicí materiál o tloušťce vlákna 8.0–10.0, který vyvolává minimální tkáňovou zánětlivou reakci. Je nutné správně adaptovat nervové pahýly dle fascikulárního uspořádání a cévní kresby na povrchu nervu, aby bylo minimalizováno chybné prorůstání motorických vláken do původně senzitivních drah a naopak. Perineurální (interfascikulární) sutura adaptuje jednotlivé fascikly stehem za perineurium. Někdy je využívána kombinace obou technik – tzv. epineuroperineurální sutura [26,28,76,77].

Alternativou k mikrosutuře PN je spojení nervu fibrinovým lepidlem. Jedná se o metodu rychlejší a šetrnější k nervu, z některých studií ale vyplývá menší pevnost oproti samotné sutuře či sutuře v kombinaci s lepením [78,79]. Při operacích pažní pleteně je lepení nejčastěji používáno při spojování více nervových štěpů v kompaktní celek, což následně usnadňuje našití štěpů na pahýly rekonstruovaného PN. Fibrinové lepidlo nepředstavuje překážku pro regenerující nervová vlákna, navíc působí hemostaticky a podporuje angiogenezi zajišťující revaskularizaci nervových štěpů [80].

Podmínku pro úspěšnou regeneraci PN představuje bezťahová sutura. Jakýkoliv tah působí ischemizaci nervových pahýlů a inhibici aktivace Schwannových buněk. V případě, že nelze dosáhnout bezťahového přiblížení pahýlů, využívají se k překlenutí defektu různé náhrady. Zlatý standard představuje využití autotransplantátů – autologních nervových štěpů. Nejčastěji se jako donor štěpů používá n. suralis nebo jiné tenké senzitivní kožní nervy. Výhodou n. suralis je jeho délka, neboť k pokrytí průřezu nervu postiženého je nutné vytvořit odpovídající tloušťku štěpu, nejčastěji kabeliformní technikou (sutura jednotlivých nervových štěpů, splených do silnějšího svazku fibrinovým lepidlem, k epineuriu rekonstruovaného nervu). Délka štěpů by měla být o cca 10 – 20 % delší než délka defektu, neboť časem dochází k mírné retrakci [81]. Mezi výhody tenkých nervových štěpů využívaných k autotransplantaci patří jejich dobrá

schopnost revaskularizace, malé riziko vzniku centrální nekrózy (oproti tlustým nervovým štěpům) a relativně malé množství interfascikulárního vaziva [80].

Mezi vlastnosti ideálního nervového transplantátu patří snadná dostupnost, dostatečná délka, malá nebo žádná donor – site morbidita, nepřítomnost imunitní reakce a ideálně i přítomnost faktorů podporujících reinervaci. Kromě výše zmíněných autotransplantátů lze k překlenování defektů PN využít i další materiály (např. umělé náhrady, acelulární kadaverózní nervové allotransplantáty či autologní cévy, často obohacené o kmenové či Schwannovy buňky) [82–86]. Jejich efektivita pro chirurgii BP zatím není prokázána.

Pokud není po kompletním přerušení PN časně provedena jeho rekonstrukce, dojde na konci proximálního nervového pahýlu k formaci tzv. amputačního neuromu, viz kap. 1.9.1. Toto vřetenovité rozšíření nervu je vytvořeno proliferací vaziva a dezorganizovaným pučením nervových vláken poraněného nervu. U těžkých (Sunderland III–IV, kap. 1.4) trakčních poranění vzniká tzv. neurom v kontinuitě. V obou případech je nutné provést tzv. bread loaf (sendvičovou) technikou postupnou resekci neuromu až do obrazu fyziologického průřezu nervu s dobře patrnou fascikulární strukturou a vzniklý defekt mezi nervovými pahýly vyplnit nervovými štěpy.

Pro rekonstrukci pomocí nervových štěpů (grafting) při operaci poranění BP je nutná přítomnost proximálního pahýlu (nepřítomnost avulze), kterou je nutno předoperačně verifikovat kombinací klinického, zobrazovacího a elektrofyzilogického vyšetření (viz kap. 1.5). Pacienti s totální lézí BP, pozitivním Tinelovým příznakem nebo protrakčním testem a nepřítomností avulze na zobrazovacím vyšetření jsou vždy indikováni k chirurgické revizi kořenů supraklavikulárním přístupem. Kontinuita kořenů je ověřována peroperační elektrostimulací (kap. 1.5.3.2). Přítomnost neuromu v kontinuitě je vždy pokládána za přítomnost kořene s možností rekonstrukce nervovými štěpy.

1.6.2.3 Nervové transfery

Další technikou, která je používána v případě poranění pažní pleteně, je nervový transfer, neurotizace – přenos funkčního nervu z okolí. Technika se rozvíjí od konce 80. let a využívána je v případech proximálního poranění periferního nervu v situaci, kdy chybí proximální pahýl (avulzní léze), tam, kde úrazem došlo k dlouhým ztrátovým poraněním nebo tandemovým lézím a v případě pozdních rekonstrukcí, kdy by již metoda rekonstrukce pomocí nervových štěpů nevedla k včasné reinervaci.

Při neurotizaci je využíván funkční nerv (či jeho část – např. odstupující větev či fascikl) z okolí postiženého PN k náhradě jeho funkce. Neporušené nervy nebo jejich fascikly s nadbytečnou nebo obětovatelnou funkcí a ideálně se synergickou funkcí jsou použity pro obnovení motorické funkce. Děje se tak blíže vlastnímu efektoru, což zkracuje čas potřebný k reinervaci. Výhodou nervových transferů je také provedení operace mimo oblast primárního poškození, operace tedy probíhá v anatomicky přehledném, „zdravém“ terénu. Tato situace může podporovat chirurgy s menšími zkušenostmi v preferování neurotizací před základními technikami explorace oblasti BP (neurolyzou a rekonstrukcí pomocí nervových štěpů) s odůvodněním, že výsledky jsou srovnatelné. Na toto téma bylo publikováno mnoho prací i metaanalýz výsledků [3,87–90], z nichž vyplývá, že nejlepšího výsledku lze dosáhnout kombinací obou metod.

Plánování a provedení neurotizační operace vyžaduje důkladnou znalost anatomie, funkce a vnitřní topografie nervů. Je nutné stále dodržovat priority funkční obnovy paže (viz kap. 1.6.1). Zásadní pro úspěch procedury je správný výběr donorského nervu. Jeho použití by nemělo vyústit ve významný funkční deficit (nízká donor site morbidita), měl by být v dobré kondici (MRC inervovaného svalu minimálně 4/5). Výhodou je funkce synergická s recipientem (akceptorem), neboť motorická reedukace v takovém případě vyžaduje menší cerebrální plasticitu a je intuitivnější. Nutná je anatomická blízkost donoru a recipientu pro zajištění optimální a co nejkratší dráhy pro reinervaci cílového efektoru. Optimální je, když donor obsahuje velký počet čistě motorických vláken. Podobná pravidla jako pro motorické nervové transfery platí i pro senzitivní nervy využívané k neurotizaci. Samozřejmostí je vždy provedení bezťahové sutury.

Časování provedení nervových transferů (ideálně 6. – 9. měsíc po úrazu) ponechává delší období pro sledování spontánních reinervačních změn. Pooperační imobilizace trvá, dle typu výkonu, 3–4 týdny.

Kromě end-to-end neurotizací lze využít při chybění proximálního pahýlu poraněného PN a nedostatku dárců funkčních nervových vláken v okolí i jiné typy anastomóz, například anastomózu end-to-side. V případě, že donorský nerv nelze plně využít pro neurotizaci pro jeho důležitou funkci, je do vytvořeného epineurálního okna (otvoru v epineuriu) našit pahýl recipientního nervu. Mechanismem kolaterálního pučení (sproutingu) dojde k vrůstání nervových vláken z donorského nervu do recipientního a tím k jeho reinervaci. Úspěšnost reinervací efektorů po end-to-side anastomóze je nižší než po klasických rekonstrukčních technikách PN. K pučení a prorůstání senzitivních vláken z donorského do recipientního nervu dochází v omezeném množství samovolně, zatímco v případě motorických vláken až po jejich

přímém přerušení (po parciální neurotomii) [26]. Mezi další typy neurotizací patří neurotizace side-to-side, reverse end-to-side či přímá muskulární neurotizace.

Kromě jednoduché neurotizace bývá v případě dostatku potenciálních donorů používána také neurotizace duální. Dle dostupné literatury [3,88,91,92] jsou její výsledky při obnově funkce ramene lepší než inervace jedním donorem. U jiných dvojitých transferů (například double fascicular transfer pro MCN) nebyly lepší výsledky prokázány [93–95]. Jiným typem dvojitě neurotizace je supercharged neurotizace. Ta potencuje reinervační změny po rekonstrukci primárního nervu end-to-end distálním zdrojem axonů z donorského nervu (end-to-side), zkracuje dobu do dosažení reinervace a zlepšuje trofiku efektoru pro funkční reinervaci původním nervem (neurotrofní potenciál), využívána je zejména v případě rekonstrukcí faciálního nervu přídatným zdrojem axonů z n. trigeminus.

K neurotizaci lze u částečných poranění BP využít tzv. intraplexální donory, např. motorický fasciál z n. ulnaris, n. medianus či jednu z větví n. radialis pro m. triceps brachii. U kompletních lézí pažní pleteně využíváme i tzv. extraplexální donory (např. n. accessorius, nn. intercostales, motorické větve z cervikálního plexu). Nejčastěji používané neurotransfery pro obnovení funkce ramene a paže u dospělých pacientů jsou přehledně shrnuty v tabulce 9. Nejčastějším recipientem všech typů neurotransferů je n. axillaris.

Tabulka 9: Nejčastěji užívané neurotizace pro obnovu funkce ramene a lokte. Zpracoval: autor.

Obnovení funkce	Recipient	Donor	Název procedury
Ramene – stabilizace, zevní rotace, iniciační abdukce	SSN (SS, IS)	SAN	SAN – SSN
Ramene – stabilizace, abdukce	AxN (DM)	RN (větvev pro triceps)	RN – AxN
		<ul style="list-style-type: none"> • Mediální hlava • Dlouhá hlava • Laterální hlava 	Leechavengvongs transfer
		MPN (PM)	MPN – AxN
Flexe v lokti	MCN (BB, B)	UN (větvev pro FCU)	Oberlinův transfer
		UN (FCU + FDS)	Double fascicular transfer
		MPN (PM)	MPN – MCN
		TDN (LD)	TDN – MCN
		SAN (TM)	SAN – MCN
		ICN (ICM)	ICN – MCN
Extenze v lokti	RN (TB)	UN (větvev pro FCU)	UNf – RN
		TDN (LD)	TDN – RN
		ICN (ICM)	ICN – RN

Použité zkratky: SSN: *n. suprascapularis*, SS: *m. supraspinatus*, IS: *m. infraspinatus*, SAN: *n. accessorius*, AxN: *n. axillaris*, DM: *m. deltoideus*, RN: *n. radialis*, MNP: *n. pectoralis medialis*, PM: *m. pectoralis*, MCN: *n. musculocutaneus*, BB: *m. biceps brachii*, B: *m. brachialis*, UN: *n. ulnaris*, FCU: *m. flexor carpi ulnaris*, FDS: *m. flexor digitorum superficialis*, TDN: *n. thoracodorsalis*, LD: *m. latissimus dorsi*, TM: *m. trapezius*, ICN: *nn. Intercostales*, ICM: *interkostální svaly*, UNf: *fascikl n. ulnaris*.

1.6.2.4 Sekundární rekonstrukční techniky

Pokud nedojde k úspěšné regeneraci PN a přetrvává funkčně významná paréza postižené končetiny, lze použít sekundární rekonstrukční techniky, mezi které patří svalové a šlachové transfery a zákroky na kloubním a vazivovém aparátu (osteotomie, artrodézy, amputace). Složité výkony indikuje, provádí a výsledky kontroluje multidisciplinární tým, zahrnující kromě neurochirurga také plastického chirurga, chirurga ruky, ortopeda, neurologa–elektrofyzikologa, fyzioterapeuta, ergoterapeuta, protetika a radiologa.

Principem volného svalového transferu (FFMT – free functioning muscle transfer) je odpojení funkčního svalu spolu s nervově cévním svazkem a jeho přenesení na jiné místo za účelem obnovení porušené funkce. FFMT se stal atraktivní možností pro případy pozdě referovaných nebo neúspěšně operovaných pacientů, kdy již svaly postižené končetiny ireverzibilně fibrotizovaly. Nejčastěji se používá pro obnovení flexe v lokti nebo flexe prstů (gracilis transfer). Mezi další používané svaly patří m. latissimus dorsi, m.adductor longus či m. rectus femoris [96]. K operaci je nutné použití donorského nervu, který bývá v tomto případě často extraplexální (SAN, ICN).

Při šlachových transferech je využívána jedna či více šlach funkčních svalů inervovaných jiným (neporaněným) nervem k substituci chybějící funkce. Funkční šlacha je odpojena od svého úponu a převedena do lokality paretického svalu, kde je zakotvena do nefunkční šlachy, vazy nebo kosti. Benefit transferu by měl vždy převýšit nově vzniklý deficit. Nejčastějšími indikacemi jsou stabilizace ramenního kloubu, zlepšení zevní rotace ramene, flexe či extenze v lokti a zejména obnova hybnosti zápěstí a ruky, kde nejsou u dospělých pacientů ve většině případů nervové rekonstrukce efektivní – flexe a extenze zápěstí, flexe a opozice palce, flexe prstů, úchop. K transpozicím jsou využívány obvykle šlachy málo funkčně významné (např. m. palmaris longus), nebo šlachy, jejichž obětování vede jen k oslabení pohybu, nikoliv k jeho plné ztrátě (např. využití m. pronator teres při dobře funkčním m. pronator quadratus, využití m. flexor carpi ulnaris při plně funkčním m. flexor carpi radialis nebo použití povrchových flexorů prstů při funkčních hlubokých flexorech) [26].

Ortopedické výkony zahrnují nejčastěji glenohumerální fúzi ke stabilizaci ramene či artrodézu zápěstí, fúzi MCP kloubu palce či interfalangeálních kloubů prstů.

Pro pacienty s afunkční končetinou, kterým již v současné době známá operační léčba nenabízí žádné alternativy, je nadějí do budoucna bionická rekonstrukce. Tento postup byl publikován v posledních letech [97,98] se zajímavými výsledky. Jedná se o dvoukrokový proces, kdy

v první fázi jsou speciálními rehabilitacemi posilovány EMG signály, zamýšlené pro řízení budoucí protézy. U kompletních lézí BP pacienti prodělají v první fázi volný svalový transfer, který řídicí myosignály generuje. Ve fázi druhé je provedena elektivní amputace s nasazením individualizované protézy řízené biosignály. Proces vyžaduje intenzivní a specializované rehabilitace s využitím biofeedbacku a vysoce motivovaného a spolupracujícího pacienta. O budoucnosti protetiky více v kapitole 1.9.

1.7 Pooperační rehabilitace

Zlepšování funkce postižené končetiny po operaci léze BP je náročný, dlouhý a pomalý proces, vyžadující týmovou práci pacienta, chirurga a fyzioterapeuta. Jeho cílem je dosažení co nejlepšího možného funkčního výsledku.

V přímé návaznosti na operační výkon, po nutné imobilizaci, jejíž délka se odvíjí podle typu provedeného výkonu, následuje dlouhodobá individualizovaná odborně vedená rehabilitace. Velmi důležitou roli v celém dlouhém procesu hraje compliance pacienta. Hlavní cíle rehabilitační péče a metody jsou shrnuty v tabulce č. 10.

Tabulka 10: Metody a cíle pooperační rehabilitace. Zdroj: autor.

Rehabilitace	Metoda	Cíl
Udržení rozsahu pohybů	Pasivní cvičení	Funkční reinervace
	Aktivní asistované cvičení	Možné sekundární výkony
Pomůcky – závěsy, ortézy	Univerzální x individuální	Redukce glenohumerální subluxace
	Statické x dynamické	Podpora paralyzované končetiny Redukce kontraktur, udržení funkční pozice
Péče o jizvy, metody ke zmírnění otoků	Promašťování, silikonové krytí	Prevence hypertroffické jizvy, kontraktur
	Mobilizace měkkých tkání	Redukce bolesti, zvýšení ROM
Posilování potenciálních donorů	Donor aktivační techniky S postupnou zátěží	Redukce donor-site morbidity
Nervosvalová reedukace	Specifické techniky pro jednotlivé neurotransfery	Zvýšení neuroplasticity Nejlepší možný funkční výsledek
Posilování svalů s probíhající reinervací	S vyloučením gravitace S postupnou zátěží	Zvýšení svalové síly
Biofeedback	Povrchový EMG feedback	Zvýšení svalové kontrakce
	Jedno/ vícekanálové přístroje	Volní svalová kontrakce Relaxace antagonistů pohybu
Senzitivní stimulace	Masážní míčky, press techniky	Protektivní senzitivita
	Hydroterapie.	Neuroplasticita
Ergoterapie zaměřená na sebeobsluhu a ADL jednoručně	Kompenzační pohyby	Sebeobsluha
	Pomůcky	Zvýšení kvality života
	Přecvičování (lateralita)	Práceschopnost, rekvalifikace

Ergoterapie urychluje návrat funkce končetiny, zlepšuje sebeobsluhu pacientů, kvalitu života i práceschopnost. Sensorické stimulace ovlivňují cerebrální plasticitu a fyzioterapie (včetně používání polohovacích ortéz) brání rozvoji kontraktur, které by i v případě následné úspěšné

reinervace hybnost končetiny limitovaly. Udržení rozsahu pasivních pohybů je důležité i v případě neprobíhající reinervace pro možnost sekundárních korekčních výkonů. K motorické reedukaci po nervových transferech mohou sloužit i specializované rehabilitační metodiky jako je např. biofeedback, mirror terapie či využití virtuální reality [99].

Kontroverzní názory existují pro užití elektrostimulačních technik. Dle některých prací [100,101] elektrostimulace zpomalují přívodem zevních elektrických impulsů s nízkou frekvencí proces atrofizace svalů, akcelerují nervovou regeneraci a zvyšují svalovou sílu během reinervačního období ve srovnání se samotnou fyzioterapií, jiné zdroje zužují jejich benefit pouze na přímou stimulaci ve frekvencích fyziologického pálení motoneuronu pro daný sval a prokazatelnou účinnost povrchové elektrické stimulace nepotvrzují [102].

Doporučována bývá i doplňková medikamentózní léčba vitamíny skupiny B pro jejich možný příznivý vliv na regeneraci nervů, efekt není ovšem podpořen žádnou evidencí.

Důležitou součástí pooperační péče je léčba neuropatické bolesti. Kromě léčby medikamentózní zahrnuje specifické rehabilitační techniky (elektrostimulační techniky, desenzibilizační terapii, mirror terapii [103]), chirurgické metody (DREZ ablace, míšní či mozková stimulace) či užití repetitivně transkraniální magnetické stimulace. Bolest je pro pacienta faktor významně snižující compliance, zhoršující kvalitu života a funkční outcome výkonu.

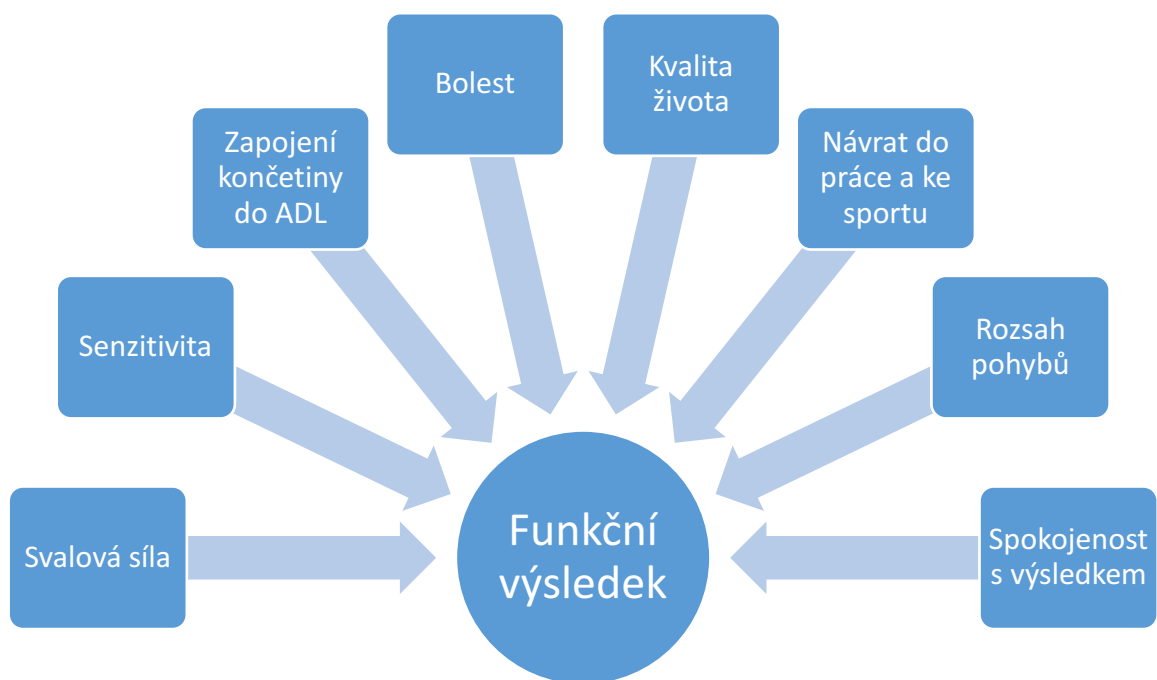
1.8 Hodnocení výsledků

Za celkovou dobu regenerace je považován čas od poranění (v případě spontánní regenerace) či rekonstrukce PN do dosažení definitivního funkčního výsledku. Toto období zahrnuje tedy vlastní reinervaci spolu s tzv. funkční regenerací, kdy dochází k zdokonalování získané funkce na podkladě cerebrální kortikální reorganizace [26]. K vyhodnocení konečného stavu regenerace se přistupuje obvykle s odstupem 36 měsíců (3 roky) od poranění či rekonstrukce.

Do hodnocení výsledku je nutno zahrnout kromě vlastního testování svalu také mechanické faktory (kost, kloub, ligamenta, kontraktury limitující pohyb), agonisty a antagonisty (trick movements, převaha či kokontrakce antagonistů, asynchronie), faktory ze strany pacienta (spolupráce, dominance) a faktory na straně hodnotícího (spolehlivost, konzistence, typ škály). Předmětem největší kritiky v oblasti hodnocení výsledků operací BP dospělých i dětí je nejednotnost používaných škál, a tedy i nemožnost srovnání výsledků mezi jednotlivými pracovišti [104–106]. V minulosti bylo hodnocení zaměřeno pouze na maximální dosaženou svalovou sílu [107], přičemž dosažení síly M3 a vyšší dle BRMC (viz kap. 1.5.1) bylo považováno za dobrý výsledek. Publikovány byly četné relativně malé soubory s podstatnou heterogenitou výsledků danou častým zkreslením či systematickými chybami, ať již v zařazování, selekci či vlastním hodnocení, čím bylo prakticky znemožněno data sdružovat [106].

V současnosti je všeobecně známo, že svalová síla nemusí korelovat s výsledkem funkčním a že je hodnocení výsledků nutno rozšířit na hodnocení dalších podstatných oblastí (viz obr. 5), stále ale nebyla ustanovena doporučená kombinace hodnotících metod a neprobíhají žádné randomizované kontrolované studie.

Pro nastolení konsenzu ohledně způsobu hodnocení vznikla v roce 2016 mezinárodní skupina iPLUTO (international plexus outcome study group), která má za cíl definovat univerzální mezinárodní standard, jak hodnotit a vyjadřovat výsledky léčby u dětí s OBPP. Minimální dataset dle doporučení iPLUTO u dětí v současné době zahrnuje hodnocení rozsahu pohybů, svalové síly, skórovací systém pohybu (Malletova škála či BPOM), hodnocení čítí a funkční outcome hodnocený rodiči. Zároveň byly standardizovány časy, ve kterých se hodnocení provádí. Pro dospělé pacienty zatím podobná iniciativa neprobíhá.



Obrázek 7: Komplexní hodnocení výsledků. Zdroj: autor.

Tabulky 11+12 shrnují nejčastěji používané hodnotící škály objektivního a funkčního výsledku.

Tabulka 11: Používané škály subjektivního hodnocení pacientů po operaci BP u dětí i dospělých. Zdroj: autor.

Metoda subjektivního hodnocení	Vlastnosti
DASH [108]	Dospělí Dosud nejužívanější škála
BPOM [109]	Dospělí Navrženo k používání iPLUTO
HUH – děti [110] (hand use at home questionnaire)	Děti 3-10 let, spontánní používání končetiny doma, hodnotí rodiče Jednoduché, doporučuje iPLUTO
Impairment rating scale for BPP	Hodnocení funkčního postižení v šesti oblastech života dětí pro rodiče a učitele
SF-36, ULM	Zlatý standard, korelace s DASH (reference)
VAS	Vizuální analogová škála bolesti, 0–10 bodů, doporučeno iPLUTO
PODCI, PEDI, PROMIS	Pediatric outcomes data collection instrument plus modifikace dotazníku
ADLs	Hodnocení možnosti vykonávat běžné denní činnosti

Tabulka 12: Používané škály objektivního hodnocení výsledků operace BP u dětí i dospělých. Zdroj: autor.

Metoda objektivního hodnocení	Vlastnosti
BMRC	Jednoduchá, iPLUTO Dobré intra a interindividuální srovnání Nesouvisí s funkčním výsledkem Měří pouze peak volitional force Měří i funkčně irelevantní přírůstky
AROM–d	Aktivní rozsah pohybů ve stupních pro abdukci, zevní rotaci, flexi v lokti, extenzi zápěstí, flexi a extenzi prstů iPLUTO
Haerle shoulder + elbow classification	Jen rameno a loket
Mallet scale	Lepší pro hodnocení užitečného pohybu Hodnotí i vliv pasivního omezení pohybu, kokontrakcí a dalších nepříznivých okolností Standardizována pro děti iPLUTO
Raimondi hand scale Terzis severity	Pouze ruka Orientační
Senzorová technologie Akcelerometrie [111]	Přesnost, objektivita Složitost vyšetření, technické nároky
Video, fotodokumentace	Objektivní, špatné srovnání
Cookie test, towel test Nine-hole PEG test Pick-up test	Děti – jednoduché rychlé performační testy Slušně hodnotí motoriku i funkčnost Orientační
Martin vigorimeter Dynamometr	Síla stisku Spolehlivý, srovnatelnost Pouze úchop
2–PD	Senzitivita

1.9 Současný stav vědomostí

Nekonzistentní a obvykle suboptimální klinické výsledky po těžkých poraněních brachiálního plexu odrážejí složitost procesů, které průběh reinervace ovlivňují. Z faktorů, které mají na výsledek prokazatelný vliv, známe jen některé [112] jako je věk, typ poranění, časování a technika operace, druh poraněného nervu, lokalizace a stupeň poranění. Významnou roli hrají zajisté také přidružená poranění (poranění kostí, cév, šlach, CNS), kvalita pooperační péče, rehabilitace a compliance pacienta. I tak nelze v současné době pouze na základě znalosti těchto okolností predikovat funkční výsledek a do procesu vstupují další proměnné, z nichž nejvýznamnější je regenerační potenciál nervu a centrální reorganizační plasticita [85].

1.9.1 Regenerační potenciál nervu

Principy nervové degenerace byly popsány Wallerem již v roce 1852 – po přerušení axonu dochází k rozpadu distální části, která nemůže bez spojení s buněčným tělem samostatně existovat. Buňka reaguje na ztrátu celistvosti marginalizací jádra, chromatolýzou a mohutnou proteosyntézou pro zachování existence a růst nového výběžku (axonu či dendritu) s cílem opětovného propojení s efektoem či receptorem (heat – shock protein–27, neurotrofni faktory, tubulin, aktin) [85]. To je podstatou tzv. Wallerovy regenerace.

Některé neurony nepřežijí samotný inzult. V ostatních začíná již několik hodin po přerušení výběžku (Sunderland II–V, viz tab. 1) probíhat degenerace. Rozpad axonu probíhá současně v celé délce pahýlu a je rychlejší než rozpad myelinové pochvy.

Přibližně od 4. dne se začínají v endoneurálních trubicích distálního pahýlu PN množit Schwannovy buňky, migrovat proximálním směrem a vylučovat cytokiny, interleukiny a chemotaktické proteiny. Spolu s makrofágy odklízejí defragmentované axony (dendrity) a myelin a řadí se v endoneurálních trubicích do řetězců, čímž vytvářejí tzv. Büngrerovy pruhy. Jejich úloha se postupně mění z fagocytické na podpůrnou. Uvolňováním neurotrofických faktorů umožňují prorůstání nově pučících výběžků z proximálního pahýlu.

Nedochází-li k regeneraci, endoneurální trubice postupně kolabují a jsou uzavírány kolagenem endoneuria. Za 2 roky se průřez trubic zmenší na 1 % jejich původního rozměru [77], což znemožňuje pozdní reinervaci. Denervované efektoery a receptory podléhají degenerativním změnám, které jsou po uplynutí kritické periody nevratné. Svalová vlákna motorické jednotky zmenšují svůj objem a jsou nahrazována kolagenem a tukovou tkání. Degenerace senzitivních receptorů probíhá pomaleji, k senzitivní regeneraci může dojít i více let po poranění PN.

Vlastní regenerace začíná tzv. sproutingem, pučením proximálních pahýlů, který lze pozorovat již několik dnů po poranění. Neurotrofní faktory produkované Schwannovými buňkami navádí novotvořená vlákna do endoneurálních trubic distálního pahýlu. Rychlost růstu novotvořeného výběžku je cca 1 mm za den (3cm za měsíc) se zdržením 4–6 týdnů procesy počátku regenerace. Schwannovy buňky začnou kolem úspěšně regenerujícího nervového vlákna vytvářet novou myelinovou pochvu, která je slabší než původní a obsahuje kratší internodia – rychlost kondukce novotvořeným nervovým vláknem je tedy pomalejší.

Při regeneraci PN dochází vždy k určité míře k prorůstání motorických vláken do původně senzitivních drah a obráceně – tzv. zkřížené intraneurální anastomózy, axonální mismatch, axonální misrouting. Tato vlákna později zaniknou. Nedojde-li k úspěšnému spojení proximálního s distálním pahýlem, vytváří dezorganizovaně rostoucí výběžky a proliferující vazivo na konci proximálního pahýlu vřetenovité rozšíření, tzv. terminální (amputační) neurom.

Tabulka 13: Možnosti ovlivnění regeneračního potenciálu. Zdroj: autor.

Podpora neurotrofního účinku Schwannových buněk, tvorba Büngnerových pruhů	Laminin, kolagen, proteoglykany, entactin [113]
Axonální sprouting a jeho rychlost, pučení filopodií	Neurotrofní faktory, HSP-27
Neovaskularizace	Vaskulární endoteliální růstový faktor (VEGF) [114]
Upregulace proregenerativních genů	Growth-associated protein (GAP-43), tubulin, aktin, reparační lipidy [3]
Proliferace fibroblastů, zánětlivá odpověď v místě léze, tvorba kolagenu v endoneurálních trubicích	Proteázy, aktivátor plazminogenu – růst skrz fibrózní tkáň
Kvalita novotvořeného myelinu Ranvierovy zářezy	Metabolická podpora, tloušťka bazální membrány, laminin
Axonální misrouting	Specifická cílového orgánu, podpora směrování novotvořeného výběžku – laminin, fibronectin Inhibice chybného růstu – chondroitin sulfát proteoglykany [115]
Denervační atrofie svalů	Reparativní myoblasty, kmenové buňky Inhibitory proteazomu – Bortezomid [116] Inhibice myostatínu [117]

1.9.2 Neuroplasticita

Neuroplasticita (neuronální plasticita) je schopnost nervového systému primátů a člověka reagovat v případě změny vstupních informací (individuální vývoj, nové informace, změna zevního prostředí, poranění, dysfunkce) modifikací, adaptací a restrukturalizací nervových spojení. Je přítomna během celého života jako užitečná adaptace na měnící se požadavky vnitřního či vnějšího prostředí s cílem efektivně se přizpůsobit a optimalizovat funkci organismu [118]. Termín „cerebrální plasticita“, ač široce používaný, je méně přesný, neboť ignoruje změny na míšní úrovni [71].

Schopnost adaptace je u člověka nejvyšší v dětství – synaptická plasticita je podmínkou učení. Kortikální synapse se účastní procesu „synaptického soutěžení“, kdy se v závislosti na množství informací přicházejících z periferie modifikují síla a výkonnost synaptických spojení, velikost a hustota dendritů a tvar síťových spojení [119]. Studované biochemické mechanismy prokazují úlohu změny exprese receptorových komplexů hlavních excitačních neurotransmiterů (glutamátový receptor, NMDA receptory) [120]. Synaptické a neurotransmiterové změny jsou prvními procesy, které postupně během času aktivují existující, ale málo aktivní nervové spoje v kůře a podkoří. Histologicky lze v souvislosti s výše zmíněnými procesy sledovat dendritické pučení a elongaci axonů [71].

Fyziologicky je neuroplasticita zodpovědná zejména za adaptaci, paměť a učení. Hraje ale významnou roli i v procesech, které považujeme za negativní. Maladaptivní centrální proces zodpovídá například za vznik fantomové bolesti po amputaci končetiny nebo deafferentační bolesti po těžké periferní neurogenní lézi, například brachiálního plexu. Úrazy obecně představují velkou změnu vstupních informací (deafferentace – „black hole“) s nutností adaptace a implementace kompenzačních mechanismů.

Funkční konektivitu mozku (propojení mezi prostorově oddělenými regiony mozku) a její změny, tedy průkaz a kvantifikaci neuroplasticity, můžeme vizualizovat a objektivizovat funkčními vyšetřeními (dominuje fMRI, resting state fMRI, nTMS) [121].

Funkční magnetická rezonance (fMRI) měří mozkovou aktivitu (detekcí aktivitou asociovaných změn průtoku krve) během specifického úkolu zpracováním rozdílu v magnetizaci mezi krví bohatou a chudou na kyslík. Graficky je mozková aktivita zobrazena barevným kódováním míry aktivace různých mozkových oblastí. Resting state fMRI (metoda užívaná v brain mapping), sledující pomocí změn toku krve – BOLD, blood oxygen level

dependent signal – interakce mozkových oblastí, které vznikají v okamžiku, kdy není prováděn úkol. FMRI je používána ve výzkumu i v klinické praxi, například v neurochirurgii k plánování operačních výkonů v elokventních oblastech. Často je doplňována dalšími funkčními metodami (EEG, NIRS). Brain mapping, jakožto vyšší forma zobrazení centrálních nervových struktur doplněná přídatnými (elektrofyzilogickými, imunohistochemickými) informacemi o funkci jednotlivých oblastí, přinesl bohaté znalosti o organizaci mozku, ale zatím nepřesahuje do běžné klinické praxe.

Velkou změnu vstupních informací představují úrazy. V případě poranění nervového systému (zahrnujícího i poranění periferních nervů a BP) dochází k dlouhodobé deafferentaci s nutností adaptace a implementace kompenzačních mechanismů. Ve studii s primáty, kteří byli dlouhodobě trénováni k provádění specifických úkolů za použití jednoho prstu, bylo dokumentováno zvětšení oblasti kortikální motorické reprezentace pro daný prst, přičemž při prostém tréninku síly k obdobným změnám nedocházelo [122]. Změny můžeme pozorovat nejen ve strukturách, které představují přímou senzomotorickou kortikální reprezentaci dané anatomické oblasti, ale i ve vzdálených korových a podkorových zónách [69]. Neuronální reorganizace, nezbytná pro zotavení, probíhá tedy v poškozených i nepoškozených oblastech mozku. Dle animálních studií může být podpořena hlubokou mozkovou stimulací (deep brain stimulation, DBS), zejména v případě lézí motorických oblastí [68]. Po těžkém poranění pažní pleteně byla u pacientů pozorována alterovaná lokální funkční aktivita frontoparietálně oboustranně. Kaskáda dynamické funkční remodelace u těchto pacientů signifikantně korelovala s reziduální funkcí paže. Navíc bylo prokázáno, že funkční přestavba vede ke kognitivním změnám v komplexních úkolech [69]. Oblasti, které se remodelace účastní, zahrnují kromě primární senzomotorické kůry i oblast přední insuly, suplementární motorický cortex, mediální prefrontální cortex a oblast cingula [123].

Pro účely potenciace neuroplasticity a ovlivnění neuropatické bolesti jsou kromě DBS studovány stimulační elektrická, repetitivní transkraniální magnetická stimulační, párová stimulační a další metody, zatím se slibnými výsledky zejména pro potlačení centrální složky bolesti, méně pro senzomotorickou reedukaci [67,124–127].

1.10 Budoucnost

V oblasti operační techniky je cíleno na minimalizaci donor – site morbidity zaváděním nových variant neurotizací (end-to-side, fascikulární), intraoperační odlišení motorických od senzitivních fascikulů ve smíšených nervech k zamezení axonálního misroutingu a možnosti užití allograftů [82] (ideálně bez nutnosti současného použití imunosupresivní medikace) a syntetických náhrad nervů. V preklinické fázi výzkumu se nachází využití kmenových buněk, ať již s potenciálem diferenciací v neuronální podpůrné či svalové buňky [128]. S rozvojem tkáňového inženýrství lze očekávat nové poznatky v oblasti geometrické konfigurace, biokompatibility, porozity, elektrické vodivosti, degradační kinetiky a mechanické odolnosti nových materiálů. Testováno je obohacování umělých náhrad nervů růstovými faktory či Schwannovými buňkami k podpoře reinervace [83,84]. Další zlepšení operační techniky se předpokládá s rozvojem supermikrochirurgie a nanochirurgie [86]. Pravděpodobné je i zavedení nových funkčních zobrazovacích a rehabilitačních technik. Další poznatky, které bude možno implementovat do klinické praxe, mohou přinést výzkumy v poli regenerace a neuroplasticity (viz kap. 1.9.1 a 1.9.2). Kvalitu života pacientů s poraněním BP mohou zlepšit nové poznatky v oboru léčby bolesti, a to medikamentózní i chirurgické. V oblasti zatím neuskutečnitelných cílů je zejména možnost reimplantace vytržených míšních kořenů a rekonstrukce míšních lézí či rekonstrukce poškozeného sympatiku.

Ideálním požadavkem do budoucna je tedy maximalizovat množství axonů, které reinervují cílový sval bez ztráty funkce v jiných segmentech, minimalizovat jejich chybné napojení (axonal misrouting), obnovit senzitivitu a autonomní funkce, zkrátit čas, za který reinervace proběhne, redukovat involuční změny tkání před dosažením reinervace a optimalizovat užití dosaženého stupně reinervace při minimalizaci apraxie či synkinez (maximalizace neuroplasticity).

Výrazně se rozvíjejícím oborem je protetika, představující nový přístup k funkční rekonstrukci horní končetiny. Aktivní protézy existují v současné době ve formě exoskeletových robotických či myoelektrických zařízení. Exoskelety [129,130] využívají bioelektrické povrchově snímané nervosvalové signály a zajišťují kloubní pohyb, nejčastěji flexi/ extenzi v lokti a tříbodový úchop. Situace je v případě poranění BP složitější než u postižení horního motoneuronu či u končetinových amputací pro chybění nervového zdroje myosignálu a jsou zapotřebí přídatné neurotizační výkony a případně i elektivní amputace. Myoelektrická zařízení [131,132] jsou lehčí než exoskelety a vyžadují alespoň částečnou svalovou volní aktivitu, kterou zesilují. Signály detekované elektrodami na bicepsu, tricepsu, zápěstí a extenzorech

zápěstí jsou zesilovány do funkčního a pohybu končetiny. Používány jsou většinou u pacientů s lézí horního motoneuronu. U pacientů s panplexálním zraněním je nutné dosažení alespoň částečné svalové aktivity rekonstrukčním výkonem, aby mohla být zvažována elektivní amputace předloktí s použitím myoelektrické protézy pro obnovení funkce ruky.

2 Praktická část

2.1 Hypotézy, cíle práce

Po poranění brachiálního plexu jsou nervové transfery jednou z chirurgických možností obnovení ztracené svalové funkce horní končetiny. Jak vyplývá z kapitoly 1.9, cerebrální plasticita hraje právě u nervových transferů významnou roli v procesu znovuzískání nezávislé volní kontroly nad pohyby postižené končetiny. Proto její přítomnost či nepřítomnost ovlivňuje, spolu s vlastním procesem úspěšné reinervace, výsledek chirurgické léčby traumat BP [66,67,69–71,121–123,133].

Ze studií [75,133–136] vyplývá, že změna centrální kontroly pohybu, spočívající v diskonekci motorických oblastí pro nezávislou volní inervaci donoru a recipientu, predikuje lepší funkční výsledek [66]. Zdá se, že dokumentovaná vyšší úspěšnost konkrétních neurotizačních výkonů nezávisí tolik na čistě mechanistických parametrech (jež zohledňují množství prorostlých motorických axonů donorského nervu, vzdálenost prorůstání a počet novotvořených motorických jednotek), ale spíše na preexistenci a následné aktivaci němých interneuronálních subkortikálních spojů mezi korovými oblastmi donoru a recipientu.

Tuto teorii potvrzuje například rozdíl výsledků v neurotizaci MCN pomocí n. phrenicus versus SAN [72]. Z výsledků je zřejmé, že ač stupeň elektrofyziologické reinervace je podobný, výdrž v zátěži je pro transfer SAN – MCN signifikantně vyšší, než při použití n. phrenicus. Je také již ověřeno, že možnosti cerebrální plasticity jsou pro některé typy nervových transferů (například neurotizace MCN pomocí n. hypoglossus) výrazně limitované [134], a předpokládá se, že intraplexální dárce mají obecně vyšší úspěšnost než dárce extraplexální [70,134].

Studium této teorie na větších souborech a kvantifikace kapacity neuroplasticity u různých donorů by mohlo vést chirurgy k preferování úspěšnějších transferů a tím ke zlepšení výsledků.

Význam neuroplasticity je tedy v současnosti studovaným trendem, ač zatím nebyl popsán způsob její objektivní monitorace. Kromě přímé vizualizace CNS ji lze sledovat monitorací periferní – pomocí sledování dynamiky synkinez mezi svaly inervovanými donorským a recipientským nervem [66,71]. Po neurotizačním výkonu jsou snímáním svalové aktivity palpačně, povrchovou či jehlovou elektrodou (v případě dosažení prorůstajících vláken do nervosvalové ploténky) synkinezy zaznamenány vždy, pouze u některých pacientů ale s postupem času vymizí. Jejich nově zjištěnou nepřítomnost lze považovat za důkaz proběhlé kortikální reorganizace.

Pro účely této práce je vymizení synkinez považováno za prokázanou nezávislou volní aktivaci recipientského svalu a tedy za průkaz proběhlých remodelačních centrálních změn. Tento vztah nebyl pomocí jehlové EMG pro BP prozatím systematicky studován.

Cíle práce:

- Standardní vyhodnocení výsledků neurotizačních operací provedených u pacientů s traumatickým poraněním brachiálního plexu: demografická data, dosažená svalová síla, maximální rozsah pohybů, hodnocení bolesti.
- Zjištění, zda časná reinervace predikuje lepší výslednou svalovou sílu.
- Stanovení přítomnosti či nepřítomnosti neuroplasticity pomocí monitorace synkinez donor – recipient.
- Vyhodnocení, jaký vliv mají faktory teoreticky neuroplasticitu ovlivňující (věk, počet provedených transferů, vzorec postižení, typ transferu, typ dárce).
- Korelace sebehodnocení (DASH) a sociálního zapojení pacienta s neuroplasticitou.
- Navržení optimalizace sledovacího protokolu po provedeném neurotransferu a implementace tohoto postupu do klinické praxe.

2.2 Soubor

V letech 2012–2023³ bylo v Masarykově nemocnici v Ústí nad Labem operováno celkem 57 pacientů s lézí brachiálního plexu. Z celkového počtu tvořili 12 pacienti s perinatální lézí, ze zbylých 45 pacientů bylo 39 mužů a 6 žen (86,6 % mužů). Počty operovaných pacientů v jednotlivých letech viz Fig. 1. Pokles operací v letech 2019–2021 byl způsoben redukcí elektivní operativy zapříčiněnou pandemií covid–19. Do souboru nebyli započítáni pacienti operovaní pro thoracic outlet syndrome.

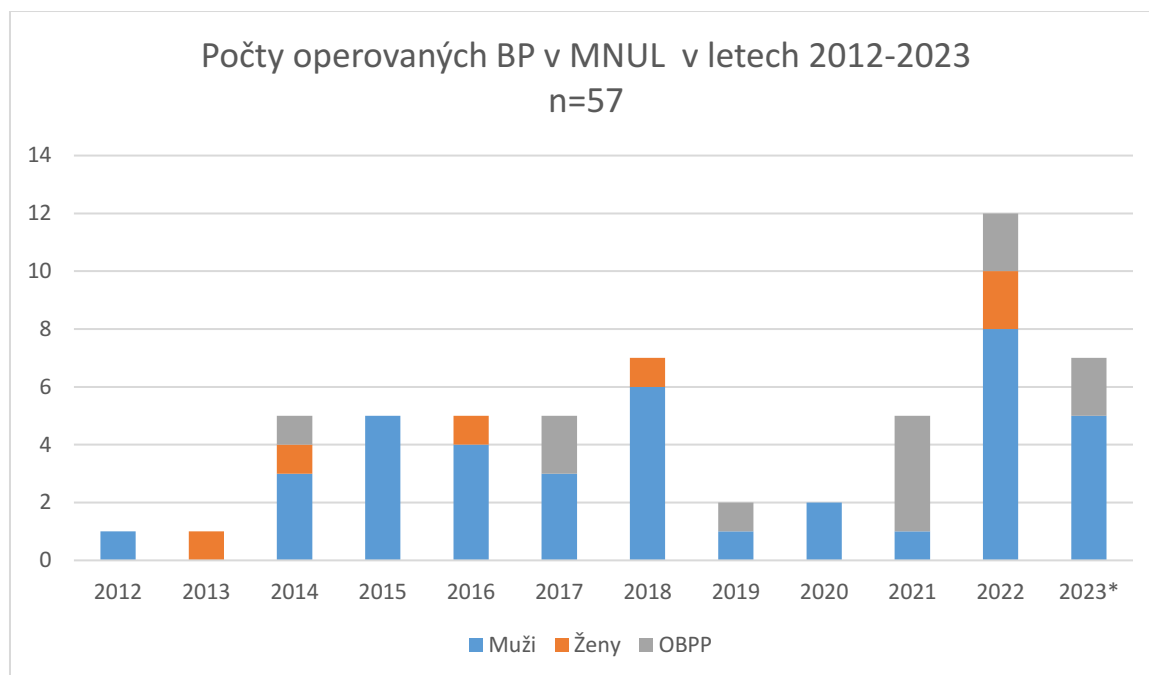


Figure 1: Počty operantů v Masarykově nemocnici v Ústí nad Labem v letech 2012–2023. *pro rok 2023 inkompletní data. Zdroj: autor.

Průměrný věk ve skupině při vyloučení pacientů s OBPP (n=45) byl $37,4 \pm 13,6$ let, s věkovým rozložením mezi 10 a 68 lety, viz Fig. 2.

Ve skupině neperinatálních lézí byla u 39 pacientů příčina traumatická, u 4 iatrogenní a ve 2 případech netraumatická útlaková (1x tumor BP, 1x mohutný svalek po fraktuře klíční kosti). Soubor traumatických lézí (n=39) tvořily zejména motonehody, autonehody, poranění strojem, pád stromu a nehody na bicyklu a lyžích, viz Fig. 3. Ve dvou případech se jednalo o poranění

³ Za rok 2023 zahrnuta data za leden až květen.

otevřená (bodná rána, řezná rána). Iatrogenní poranění způsobila ve třech případech operace ramene a v jednom případě osteosyntéza klíčku.

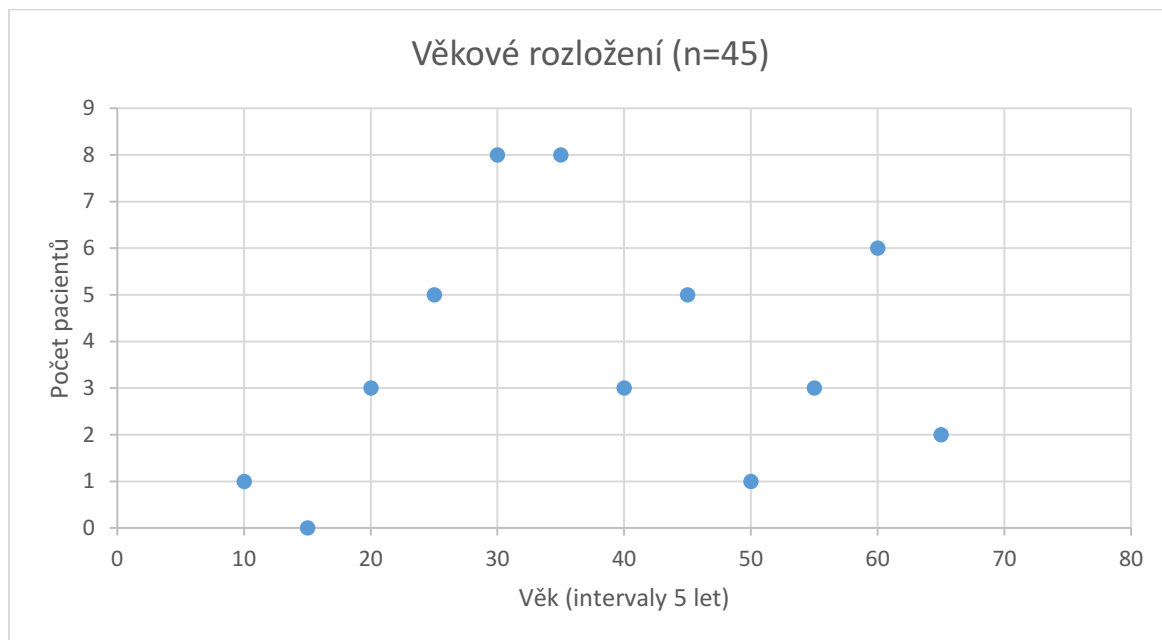


Figure 2: Věkové rozložení pacientů s lézí BP. Zdroj: autor.

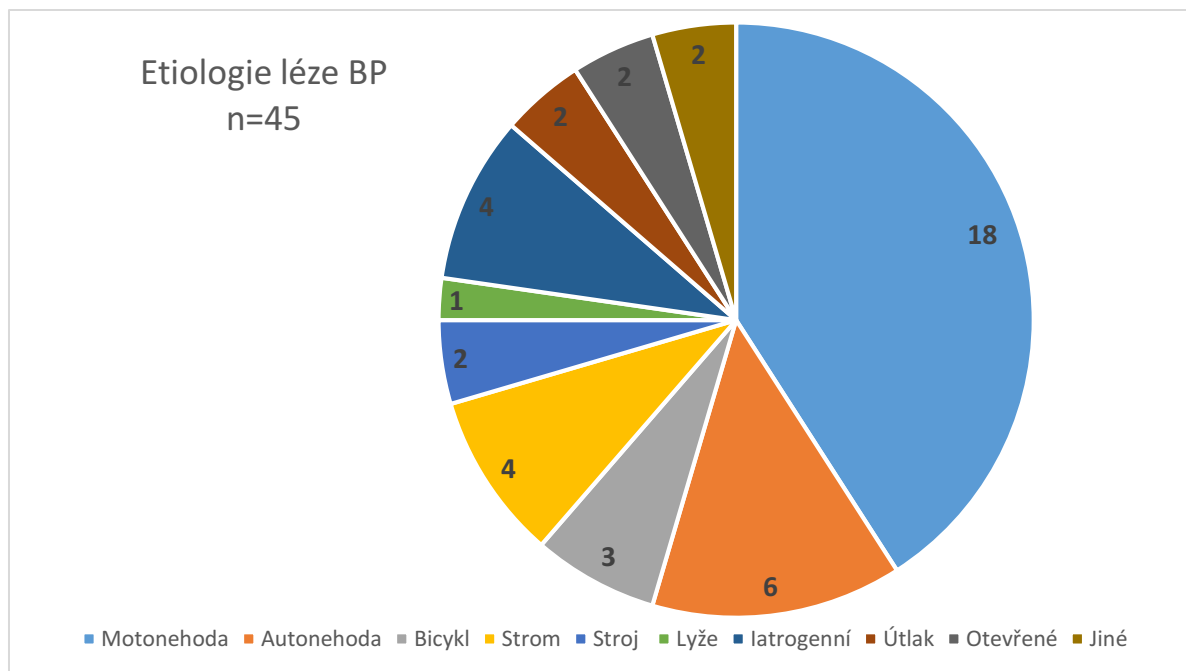


Figure 3: Etiologie léze BP. Zdroj: autor.

Průměrná doba od úrazu do provedení neurochirurgického rekonstrukčního výkonu byla v celém souboru $167,2 \pm 128$ dní (minimum 1 den u otevřených poranění, maximum 699 dní u volného svalového přenosu), medián 143 dní. U 53 % pacientů byla poraněna nedominantní končetina. Spolu s poraněním brachiálního plexu byla v rámci polytraumatu řešena další závažná přidružená poranění, nejčastěji fraktury struktur ramenního pletence (lopatka, klíční kost, humerus) u 44,4 % pacientů, fraktury žeber a/nebo pneumothorax či hemothorax u 40 %, jiné fraktury (obratle, předloktí, ruka, pánev a dolní končetiny) u 51,1 % pacientů, cévní léze a. subclavia či a. axillaris vyžadující chirurgické řešení u 11,1 %, kraniotrauma 22,2 % a poranění orgánů dutiny břišní u 11,1 % pacientů.

Supraklavikulární typ poranění brachiálního plexu se v celkové skupině vyskytoval u 60 % pacientů. Jednotlivé vzorce léze viz Fig. 4.

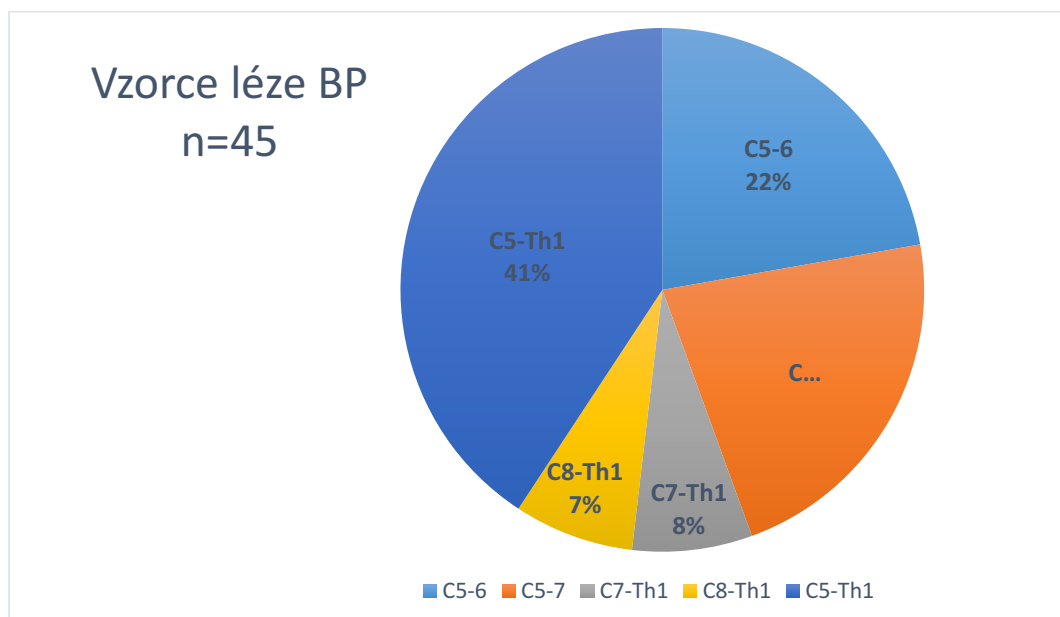
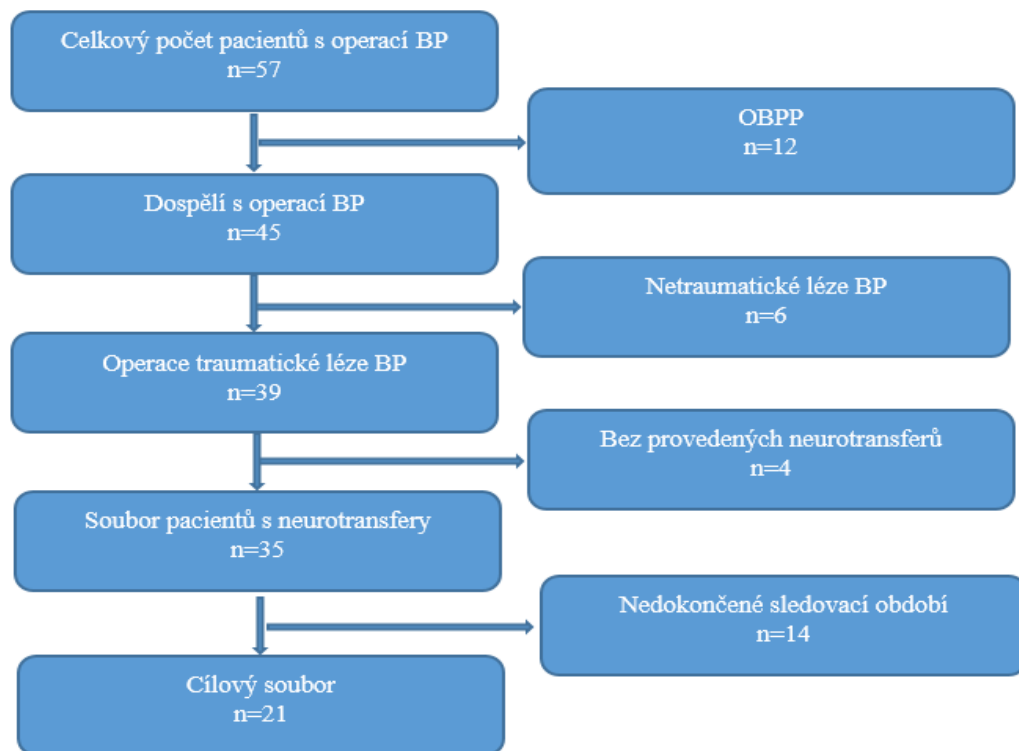


Figure 4: Vzorce léze BP v souboru traumatických lézí plexu. Celkem 45 pacientů. Zdroj: autor.

Ze skupiny všech pacientů s lézí BP byl vyselektován zkoumaný soubor na základě následujících kritérií:

- Traumatická léze BP
- Operace s použitím alespoň jednoho nervového transferu
- Operace a sledování po celé sledovací období na našem pracovišti
- Dokončení minimálního sledovacího období (36 měsíců)

Pro dosažení maximální možné homogenity zkoumaného souboru nebyli zařazeni pacienti s perinatální lézí plexu (ani v případě provedených nervových transferů) a dále byli vyřazeni pacienti s nervovými transfery po poranění plexu neúrazové etiologie, s nervovými transfery pro volné svalové přenosy a s provedením distální neurotizace. Výsledná zkoumaná skupina zahrnuje 21 pacientů a 34 provedených neurotransferů pro obnovu funkce ramene a lokte.



Obrázek 8: Cílový soubor pacientů. Zdroj: autor.

2.3 Metodika

Studie byla provedena v souhlasu s etickými zásadami pro studie zahrnující lidské subjekty, jak je uvedeno v Helsinské deklaraci WHO, a byla schválena institucionální etickou komisí. Studie je koncipována jako kohortová, longitudinální a monocentrická a nadále probíhá. Všichni pacienti zařazení do studovaného výběru na základě kritérií uvedených v kapitole 2.2 byli operováni jedním chirurgem a elektrofyziologické testy prováděl a hodnotil jeden elektrofyziolog (autor práce).

Pacienti byli vyšetřeni předoperačně (ROM, VAS, BRMC, senzitivita, EMG, fotodokumentace, zobrazovací vyšetření, viz kap. 1.5 a 2.3) a sledování pooperačně v intervalech 3–9 měsíců⁴ až do dosažení minimální sledovací doby 36 měsíců, v některých případech i déle (sekundární korekční výkony). Pooperační kontroly zahrnovaly hodnocení svalové síly a rozsahu pohybů (BRMC, ROM, viz kap. 1.8 a 2.3.1), hodnocení senzitivity a elektromyografické vyšetření (EMG, viz kap. 1.5.3, 2.3.3). V případě, že pacient udával bolest, byla tato léčena sledujícím neurologem či v ambulanci bolesti. Všichni pacienti zařazení do sledovaného souboru podstoupili intenzivní dlouhodobou rehabilitaci, jejíž protokoly ale nebyly standardizované a rehabilitace probíhala na různých pracovištích v ČR a s různou intenzitou. Doporučený rehabilitační protokol zahrnuje minimálně 3x týdně prováděné pasivní cvičení končetiny s cílem udržení rozsahu pohybů, elektrostimulaci denervovaných svalů a aktivní cvičení svalů s volným pohybem (viz kap. 1.7). V době objevení nascent units (známek počínající reinervace) bylo pacientům doporučováno zintenzivnění rehabilitace formou pobytu ve specializovaném pracovišti (Rehabilitační oddělení Masarykovy nemocnice v Ústí nad Labem ev. lázeňská léčba) po dobu minimálně 4 týdnů. Žádný z pacientů nepodstoupil rehabilitaci specializovanou na podporu neuroplasticity (biofeedback, mirror terapii), naopak někteří pacienti využili jiné dostupné rehabilitační metody (domácí přístroje pro elektrostimulace, elektroakupunkturu).

Výstupní zhodnocení po minimálně 36 měsících k vyhodnocení konečného stavu regenerace obsahovalo kromě výše uvedených ještě modifikovanou Malletovu škálu (viz kap. 1.8 a 2.3.2) a její fotodokumentaci, sebeevaluaci pomocí dotazníku DASH (kap. 1.8 a 2.3.5) a vyšetření fyzioterapeutem (kap. 2.3.1). Zaznamenán byl také případný návrat do pracovního procesu.

Náplň jednotlivých kontrol viz tabulka 14. Metodika jednotlivých vyšetření je podrobněji rozpracována v dalších kapitolách.

⁴ Standardní sledovací interval 3-6 měsíců nebyl v době pandemie covid-19 často dodržen.

Tabulka 14: Sledovací protokol pro pacienty s lézí BP v Masarykově nemocnici v Ústí nad Labem. Zdroj: autor.

Čas	BRMC	ROM	Senzitivita	VAS	Operace	ENG, EMG	Synkinezy	Foto	Mallet scale	DASH	Fyzió
Vstupní	+	+	+	+		+		+			
0					+						
Kontroly	+	+	+	+		+	+				
Výstupní	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+

2.3.1 Klinické vyšetření

2.3.1.1 Předoperační klinické vyšetření

Klinická část předoperačního hodnocení zahrnovala měření aktivního rozsahu pohybů (AROM) postižené horní končetiny, svalové síly jednotlivých svalů (BRMC) dle schématu d'Aubigne Brachial Plexus Data Sheet, viz příloha 3, a dále hodnocení senzitivity a bolesti. Jako zobrazovací modalita byly použity CT myelografie, MR zobrazení nebo jejich kombinace.

K hodnocení svalové síly byla použita Seddonova klasifikace motorické regenerace British Medical Research Council (tab. 15), kde stupeň M0 odpovídá nepřítomnosti svalové kontrakce a stupeň M5 plné svalové síle.

Senzitivní dermatomy byly v souladu s literaturou testovány vyšetřením citlivosti v oblasti laterální paže (C5), laterálního předloktí a palce (C6), 2. a 3. prstu (C7), malíku (C8) a vnitřního předloktí (Th1) se stanovením oblastí anestezie, hypestezie a normálního citlivosti.

Tabulka 15: Klasifikace svalové síly podle Seddona a Higheta – British Medical Research Council. Zpracoval autor.

Stupeň	Popis
M0	Žádná kontrakce
M1	Hmatná kontrakce bez motorického efektu
M2	Aktivní pohyb v kloubu s vyloučením gravitace
M3	Aktivní pohyb v kloubu proti gravitaci
M4	Aktivní pohyb v kloubu proti odporu
M5	Normální svalová síla

Bolest byla hodnocena vizuální analogovou škálou bolesti VAS od 0 do 10, přičemž 0 odpovídá nepřítomnosti bolesti a 10 bolesti maximální možné. Bolesti byla hodnocena jako nepřítomná (VAS 0), lehká (VAS 1–3), střední (VAS 4–6) a těžká (VAS 7–10).

Vstupně byl po podepsání informovaného souhlasu s fotodokumentací pořízen obrazový záznam počátečního stavu hybnosti.

2.3.1.2 Pooperační klinické vyšetření – kontroly

Typ operace byl volen podle vzorce léze a provedené operační výkony zahrnovaly deliberaci nervových struktur, suturu, rekonstrukci pomocí nervových štěpů, neurotizaci či volný svalový přenos, ev. jejich kombinace. V případech nutnosti použití graftu byl jako štěp použit n. suralis, n. cutaneus antebrachii medialis či n. cutaneus antebrachii lateralis. 3 týdny po provedení operačního výkonu byly započaty rehabilitace a elektrostimulace.

Standardní sledovací intervaly po operaci BP jsou nastaveny po 3–6 měsících, ač tyto intervaly nebyly u všech pacientů striktně dodrženy (překážky na straně pacienta, pandemie covid-19). Během kontrol bylo prováděno orientační hodnocení svalové síly a rozsahu pohybů a hodnocení senzitivity. V případě, že pacient udával bolest, byla tato léčena sledujícím neurologem či v ambulanci bolesti.

2.3.1.3 Pooperační klinické vyšetření – závěrečné

Závěrečné testování rozsahu pohybů a výsledné svalové síly po ukončení minimálně 36 měsíců od operace bylo provedeno nezávislým fyzioterapeutem pro vyloučení zaujatosti. Testovány byly dle platné metodiky svaly obou paží (svaly lopatky, ramene, paže) s hodnocením dle BRMC škály 0–5 (viz tab. 15). Pokud bylo testováno více částí svalu, byl započítán nejlepší dosažený výsledek. Testován byl celý rozsah pohybu stále stejnou silou a rychlostí s vyloučením švihového pohybu. Bylo dbáno na dodržování kvalitní fixace a správně kladený kolmý odpor fyzioterapeutem v celém rozsahu pohybu.

K hodnocení rozsahu aktivního pohybu ve stupních (AROM–d) bylo využito goniometrické měření dle metodiky SFTR⁵ z výchozí (nulové, neutrální) pozice, která je pro abdukci a flexi v lokti pozicí anatomickou (vzpřímený stoj, dolní končetiny paralelně, chodidla směřují vpřed, horní končetiny připaženy), pro měření zevní/ vnitřní rotace a pronace/ supinace je nulovou polohou střední postavení mezi příslušnými antagonistickými pohyby. Pro měření zevní rotace v naší studii se tedy jednalo o polohu anatomickou, modifikovanou flexí v lokti s rukou v sagitální rovině s palcem směřujícím vzhůru. Pokud pacient nebyl schopen aktivní flexe v lokti, vyšetřující udržoval neutrální polohu během provádění testování zevní rotace. Vyšetřovaný byl instruován provádět pohyby sám (aktivně) v plném možném rozsahu.

⁵ Metodika vypracovaná Russem a Gerhardtem v roce 1975, název STFR pochází z označení rovin, ve kterých měření probíhá: sagitální, frontální, transverzální a rotační.

Naměřený rozsah pohybu byl porovnán s druhostrannou (nepostiženou) končetinou. Výsledky byly hodnoceny pro každý transferovaný nerv (a cílový sval/ pohyb) takto:


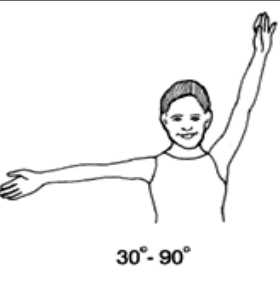

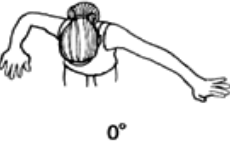











- Za výborný (A) výsledek bylo považováno dosažení svalové síly M4–M5 a ROM abdukce v rameni nad 60 °, zevní rotace ramenního kloubu nad 20 ° a flexe v lokti nad 90 °.
- Za uspokojivý (B) výsledek bylo považováno dosažení svalové síly M3 či M3+ (značeno jako 3,5) plus ROM abdukce v rameni 40–60 °, zevní rotace 1–20 ° a flexe v lokti 20–90 °.
- Neuspokojivý (C) výsledek je charakterizován svalovou silou M1 – M2, abdukci do 40 °, nepřítomností zevní rotace a flexí v lokti 0–20 °.

Pro účely této práce byly výstupy A a B hodnoceny jako úspěšný a C jako neúspěšný klinický výsledek.

2.3.2 Malletova škála

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.8, Malletova škála je skórovací systém hodnocení funkčního výsledku po operacích brachiálního plexu, používaná zejména u dětských pacientů. Hodnotí zejména abdukci a zevní rotaci ramene a flexi v lokti. Hodnocené polohy se liší v různých modifikacích škály [92,135-136], rozdíl je zejména v tom, zda je doplňkově hodnocena ještě pronace/ supinace.

Pro dospělé pacienty je tato škála méně využívána, ale vzhledem k velmi jednoduchému použití, možností fotodokumentace pohybů a komplexnějšímu zhodnocení funkce ramene a lokte ji považujeme za užitečný nástroj zejména u pacientů po rekonstrukci funkcí ramenního a loketního kloubu. V našem souboru byla použita, vzhledem k zaměření na funkci ramene, škála základní, tedy hodnocené polohy zahrnují aktivní abdukci v rameni, zevní rotaci, ruce za hlavu, za záda a na ústa (viz obr. 8).

	II	III	IV
Active Abduction	 Less than 30°	 30° - 90°	 More than 90°
External rotation	 0°	 Less than 20°	 More than 20°
Hand to head	 Impossible	 Difficult	 Easy
Hand to back	 Impossible	 Difficult	 Easy
Hand to mouth	 Impossible	 Difficult	 Easy

Obrázek 9: Malletova škála.. Zdroj: <https://www.stlouischildrens.org/conditions-treatments/neurosurgery-services/brachial-plexus-center/treatment-goals/medical-treatment>.

Každá dosažená poloha byla převedena do celkového stupně odpovídajícího tabulce č. 16. V případě, že některý testovaný pohyb odpovídal vyššímu stupni než jiný, byl celkový stupeň hodnocen nejnižším dosaženým pohybem.

Tabulka 16: Malletova škála. Zdroj: Chung: *Practical Management of Pediatric and Adult Brachial Plexus Palsies*, s. 39–42.
Zpracoval: autor.

Stupeň	Testovaný pohyb	Rozsah testovaného pohybu
I	Bez aktivního pohybu v rameni	
II	Zevní rotace Abdukce aktivní Ruce na ústa Ruce na krk Ruce za záda	0° < 30° nemožno provést či výrazný „trumpet sign“ ⁶ nemožno provést nemožno provést
III	Zevní rotace Abdukce aktivní Ruce na ústa Ruce na krk Ruce za záda	< 20° 30 – 90° obtížně, přítomnost „trumpet sign“ obtížně obtížně
IV	Zevní rotace Abdukce aktivní Ruce na ústa Ruce na krk Ruce za záda	> 20° > 90° lze, s mírným deficitem lze, s mírným deficitem lze, s mírným deficitem
V	Plná hybnost bez omezení	

U každého pacienta byla pořízena fotodokumentace výsledného stavu, viz obr. 9–13.

⁶ "Trumpet sign" je příznak pojmenovaný podle způsobu držení trubky v konkrétní jednotce francouzské armády, projevuje se výraznou abdukcí postižené paže při přikládání ruky k ústům.



Obrázek 10: Mallet skóre V, normální pohyblivost ramene. Pacient č. 8. Foto: autor.



Obrázek 11: Mallet skóre IV, pacient č. 4. Abdukce nad 90 st, částečná zevní rotace, ruce na ústa, za záda a za hlavu s deficitem. Patrná dobrá flexe v lokti. Foto: autor.



Obrázek 12: Mallet III, pacient č. 6. Patný deficit abdukce, odpovídající stupni III (abdukce 30–90 st.). Foto: autor.



Obrázek 13: Mallet II, pacient č. 14. Abdukce méně než 30 st, žádná zevní rotace, ruka za hlavu, na záda, na ústa nemožn o. Patrna dobrá flexie v lokti, která z neurotizace ICN–MCN se silou 3 MRC a flexí 90 stupňů. Foto: autor.



Obrázek 14: Mallet I – bez aktivního pohybu v rameni, „flail shoulder“. Foto: autor.

2.3.3 Elektrofyziologické vyšetření

Všechna předoperační, pooperační i výsledná elektrofyziologická vyšetření byla prováděna na přístroji Medelec Synergy jedním lékařem (autor práce). Všichni pacienti podepsali informovaný souhlas s EMG vyšetřením a souhlas s pořízením fotodokumentace.

Vzhledem k zaměření práce na výsledky operačního řešení není metodika předoperační diagnostiky lézí BP rozpracována.

Pooperační elektrofyziologické hodnocení pacientů je standardně prováděno v pooperačním období v intervalech 3–6 měsíců a zahrnuje zejména jehlovou elektromyografií ke sledování reinervačních změn a vyšetření synkinez. Kondukční studie (ENG) mají při sledování reinervačních změn po operacích BP omezený význam, uplatňují se zejména u monitorace vývoje lehčích poranění řešených konzervativně (sledování dynamiky amplitudy sumačního svalového potenciálu při spontánní reinervaci po stimulaci periferního nervu či oblasti brachiálního plexu – Erbův bod).

Pro účel studie byly vyšetřeny v každém pooperačním sezení svaly inervované recipientským nervem pomocí koncentrické jehlové elektrody v minimálně 3 oblastech (pokud byl získán dobrý záznam volní aktivity) vpichu jehly (změnou polohy jehly v oblasti svalů). Pro jednotlivé recipienty zastoupené v souboru se jednalo o tyto svaly:

N. axillaris – **m. deltoideus**

N. suprascapularis – **m. supraspinatus** či **m. infraspinatus**

N. musculocutaneus – **m. biceps brachii**

N. radialis – **m. triceps brachii**

N. thoracicus longus – **m. serratus anterior**

V první části vyšetření byla sledována klidová spontánní aktivita v relaxovaném svalů a ohodnocena stupněm 0–4+, viz tab. 17.

Tabulka 17: Grading spontánní aktivity. Zdroj: autor.

Grading spontánní aktivity	
0	• Nepřítomnost fibrilací a POV
1+	• záchyt fibrilací či POV nekonstantního trvání alespoň v 1 vyšetřené oblasti
2+	• střední výskyt trvajících fibrilací ve více než 3 oblastech
3+	• vysoký výskyt trvajících fibrilací a POV ve všech oblastech
4+	• profuzní perzistentní spontánní aktivita zaplňující baseline

Seznam použitých zkratk: POV: pozitivní ostré vlny.

V další fázi vyšetření byl pacient vyzván k aktivaci svalu a byla hodnocena aktivita volní – potenciály motorické jednotky (MUPs) – jejich amplituda, počet fází, trvání, stabilita, nábor, frekvence pálení a interferenční křivka. V případě nezachycení volní aktivity pokusem o volní pohyb byl pacient vyzván k aktivaci svalu inervovaného donorským nervem a opět byla sledována přítomnost či nepřítomnost volní aktivity. V případě nezachycení žádné volní aktivity byla vyšetřena jiná oblast stejného svalu dalším vpichem. Minimální počet oblastí, které byly vyšetřeny v případě konstatování nepřítomnosti volní aktivity, byl 9 (3 vpichy, každý minimálně 3x se změnou polohy jehly).

Pro účely studie byla hodnocena přítomnost časných reinervačních změn – tedy výskyt nascent units (viz kap. 1.5.3) ve svalu inervovaném donorem do 6 měsíců od operace. Množství nascent units bylo kvantifikováno na stupně 0, 1, 2 a 3 dle tabulky a hodnoceno jako přítomnost (1–3) a nepřítomnost (0) časných reinervačních změn. Více viz tabulky 18 a 19.

Tabulka 18: Kvantifikace časných reinervačních změn. Zdroj: autor.

**Kvantifikace časné reinervace Jehlová EMG ve svalu inervovaném recipientem
u neurotizací
(nález do 6m od operace)**

0	Kompletní denervační syndrom
1	Alespoň 1 jasně prokazatelný MUAP synkineticky s donorem alespoň ve 2 místech svalu
2	Alespoň MUAPs v minimálně 2 místech svalu synkineticky s donorem
3	Bohatá volní aktivita, více potenciálů ve většině vpichů synkineticky s donorem či aktivací recipientu

Tabulka 19: Tabulka hodnocení de- a reinervačních změn při jehlové EMG. Zdroj: autor.

Denervace/reinervace	Spontánní aktivita	MUAPs tvar	MUAPs četnost	Volní křivka	MUAPs aktivace	Pozn.
Parciální denervace mírná	1+	N	Více ve vpichu	3–5/5	volní	
Parciální denervace výrazná	2+ 3+	N, vysoké	1-2 ve vpichu	1–2/5	volní	
Kompletní denervace	3+ 4+	0	0	0/5	0	
Časná počínající reinervace	2+3+	Nascent units	1-více ve vpichu	0–2/5	Volní/synkinetická dle typu výkonu	Kvantifikace viz tab. 19
Pokročilejší reinervace	1+2+	Směs vyšších nestabilních polyfázických potenciálů plus nascent units	Více ve vpichu	1–3/5	Volní/synkinetická dle typu výkonu	
Pokročilá reinervace	0-2+	Vysoké stabilní a nestabilní rozšířené	Více ve vpichu	1–4/5	Volní/synkinetická dle typu výkonu a neuroplasticity	Neukončená reinervace
Chronický regenerační nále	0-2+	Velmi vysoké (jednotky mV) stabilní rozšířené polyfázické potenciály	Více ve vpichu	1–5/5	Volní/synkinetická dle typu výkonu a neuroplasticity	Konečné stádium procesu

2.3.4 Vyšetření synkinez

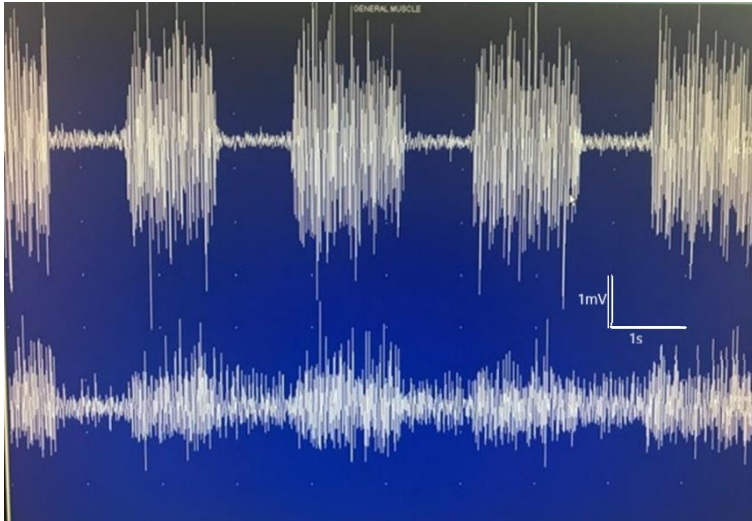
Vyšetření synkinez bylo prováděno dvoukanálovým EMG vyšetřením (koncentrická jehlová elektroda) ve svalu původně inervovaném donorským nervem a v cílovém svalu (recipient). Záznam 1. kanálu představoval vždy záznam ze svalu inervovaného donorským nervem, ve 2. kanálu byl zobrazen záznam z recipientského svalu. Byly testovány tyto pohyby:

1. Volní aktivace donoru s hodnocením přítomnosti volní aktivity v recipientu
2. Volní aktivace recipientu submaximální silou s hodnocením přítomnosti volní aktivity v obou kanálech
3. Volní aktivace recipientu maximální možnou silou s hodnocením přítomnosti volní aktivity v obou kanálech

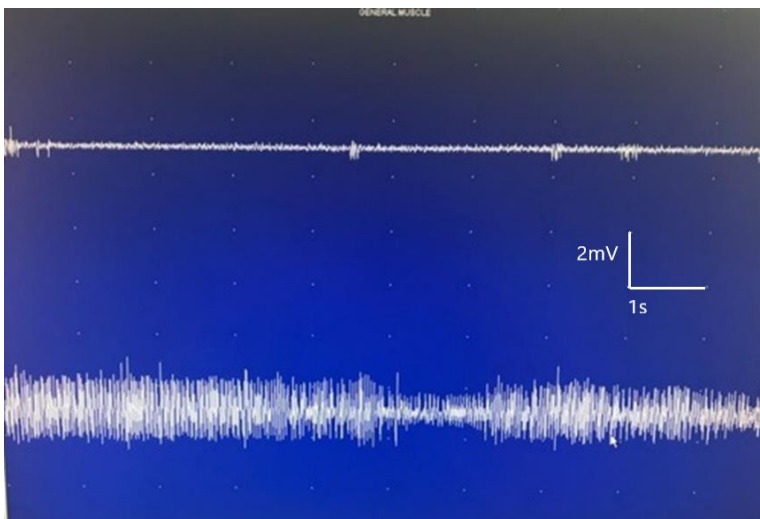
Pro aktivaci jednotlivých donorů byli pacienti žádáni o tyto pohyby: hluboké inspirium (ICN), pohyb rameny nahoru a dolů (SAN), flexe zápěstí (ulnární fascikly FCU), extenze lokte (větve n. radialis), extenze paže ev. zakašlání (TDN), addukce paže (nn. pectorales) se snímáním aktivity ve svalu inervovaném donorem i recipientem. Pro krok 2 byli pacienti požádáni o aktivaci cílového svalu při snaze vyhnout se aktivaci donorského svalu (tedy pouze abdukce ramene, flexe v lokti či zevní rotace), opět byla volní aktivita hodnocena v obou kanálech.

Krok 3 byl stejný jako krok 2, jen s požadavkem na dosažení maximální možné svalové síly v cílovém (recipientním) svalu.

Nepřítomnost volní aktivity v donoru při vyš. 2 při její přítomnosti při vyšetření 1 (ověření správné polohy jehly s aktivací svalu testovacím pohybem) byla hodnocena jako vymizení synkinez a dosažení samostatné volní aktivace (obr. 14 a 15) i v případě, že při vyšetření 1 a 3 byly synkinezy zaznamenány.



Obrázek 15: Přítomnost synkinez při vyšetření dvou svalů. 1. kanál (nahore): donor, 2. kanál (dole): recipient. Při volní aktivaci recipientu se objevuje synchronní volní aktivita i v donoru. Zdroj: autor.



Obrázek 16: Nepřítomnost synkinez při vyšetření dvou svalů. 1. kanál (nahore): donor, 2. kanál (dole): recipient. Při volní aktivaci recipientu nedochází k aktivaci donoru. Vymizení synkinez prokazuje reorganizaci motorického kortexu. Zdroj: autor.

2.3.5 DASH

V rámci výstupního hodnocení byli pacienti požádáni o vyplnění sebeevaluačního testu DASH (Disability of Arm and Shoulder), české verze z roku 2006, originál dle Oxford Outcomes a GlaxoSmithKline, viz příloha 5. Test obsahuje 30 otázek hodnotících subjektivní obtíže při činnostech vykonávaných horními končetinami. Má dva doplňkové čtyřbodové moduly pro hodnocení symptomů a funkce HKK při pracovním zatížení a při sportu (viz kap. 2.4.7). Test využívá bodování pětibodovou škálou od 1 do 5 (1 – nejnižší úroveň obtížnosti či závažnosti, 5 – nejvyšší obtíže či závažnost) dle pacientovy subjektivní schopnosti provádět uvedené aktivity nebo úkoly. Celkový součet se tedy pohybuje mezi 30 a 150 body a je přepočítán na tzv. Dash skór podle vzorce $DASH\ SKÓR = [(součet\ n\ odpovědí) - 1] \times 25$, kde n je rovnou počtu zodpovězených otázek. Výsledná hodnota (0–100) udává v procentech, jak velké omezení funkce končetiny pacient vnímá (0 – žádné, 100 – kompletní).

2.3.6 Sociální dopady

Mezi zaznamenávaná demografická data patřily údaje o dominanci postižené končetiny, pracovním zařazení pacientů před úrazem, po uplynutí sledovacího období a vyplnění volitelného DASH modulu o práci (viz obr. 16).

POSTIŽENÍ PAŽE, RAMENE A RUKY

MODUL O PRÁCI (VOLITELNÝ)

Následující otázky zjišťují dopad Vašich potíží s paží, ramenem nebo rukou na schopnost pracovat (včetně práce v domácnosti, je-li to Vaše hlavní zaměstnání).

Uveďte prosím, jaká je Vaše práce: SPRAVCE AREÁLU

nepracuji (můžete tuto část vynechat)

Zakroužkujte prosím číslo, které nejlépe popisuje Vaši tělesnou schopnost v minulém týdnu. Mělo/a jste nějaké potíže při:

	ZÁDNÉ POTÍŽE	MÍRNÉ POTÍŽE	STŘEDNÍ POTÍŽE	ZÁVAŽNÉ POTÍŽE	NEMOHU VYKONÁVAT
1. používání běžných pracovních postupů při práci?	1	2	3	4	5
2. vykonávání běžné práce kvůli bolestem paže, ramene nebo ruky?	1	2	3	4	5
3. provádění práce tak dobře, jak byste si přál/a?	1	2	3	4	5
4. trávení obvyklého množství času při práci?	1	2	3	4	5

Obrázek 17: DASH volitelný modul o práci. Pacient číslo 1. Součet bodů 9, DASH–práce skór 32,5. Zdroj: autor.

2.3.7 Statistické zpracování

Data z hodnocení popsanych v podkapitolách 2.3.1.1 až 2.3.1.5 byla zpracována za použití softwaru MedCalc version 12. Pomocí tohoto softwaru byla prováděna deskriptivní statistika a základní testování. Vztah mezi měřenými veličinami byl vzhledem k malým rozsahům dat testován pomocí Spearmanova korelačního koeficientu, posouzení závislosti faktorů pak pomocí regresní analýzy.

2.4 Výsledky

Tabulka 20 uvádí přehledně základní demografická data cílového souboru (věk, pohlaví, vzorec léze, datum operace, délka intervalu trauma–operace).

Tabulka 20: Soubor pacientů – demografická data. Zdroj: autor.

Pacient č.	Ročník	Pohlaví	Věk v době traumatu	Mechanismus	Interval úraz–operace	Strana	Vzorec
1.	1970	M	41	motocykl	388	N	C5–6
2.	1977	Ž	35	autonehoda	313	N	C5–Th1
3.	1994	M	18	bicykl	142	D	C5–Th1
4.	1972	M	40	motocykl	242	N	AxN, SSN
5.	1957	M	56	bicykl	236	N	AxN, SSN
6.	1982	Ž	32	motocykl	144	N	C5–7
7.	1983	M	30	motocykl	242	N	C5–Th1
8.	1991	M	23	motocykl	161	N	C5–7
9.	1952	M	62	autonehoda	72	D	C5–6
10.	1962	M	52	pád	266	D	AxN, SSN
11.	1991	M	24	autonehoda	120	N	C5–6
12.	1959	Ž	56	iatrog.	308	N	AxN
13.	2005	M	10	autonehoda	250	D	AxN
14.	1986	M	30	motocykl	131	N	C5–Th1
15.	1961	M	56	tah za paži	190	D	FP
16.	1981	M	35	bicykl	147	N	C5–6
17.	1987	M	30	motocykl	139	D	C5–7
18.	1975	M	42	pád stromu	135	N	C5–7
19.	1990	M	28	motocykl	122	D	C5–7
20.	1990	M	30	motocykl	25	N	FP
21.	1991	M	28	motocykl	28	D	AxN

Použité zkratky: M – muž, Ž – žena, N – nedominantní, D – dominantní, AxN – n. axillaris, SSN – n. suprascapularis, FP – fasciculus posterior. Zdroj: autor.

Věkový průměr zkoumaného souboru je $36,1 \pm 13,5$ let, medián 32 let. V souboru je 18 mužů a 3 ženy. 81 % poranění bylo způsobeno dopravní nehodou, 47,6 % všech lézí zapříčinily motonehody. Všechna poranění v cílovém souboru byla poranění uzavřená.

Avulze jednoho nebo více kořenů byla diagnostikována u 9 pacientů, kompletní panavulzní poranění utrpěli 2 z nich. Četnost avulze jednotlivých kořenů v souboru je zobrazena ve Fig. 5.

Při rozdělení poranění na infra– a supraklavikulární převažují léze supraklavikulární (71,5 %) nad infraklavikulárními (28,5 %).

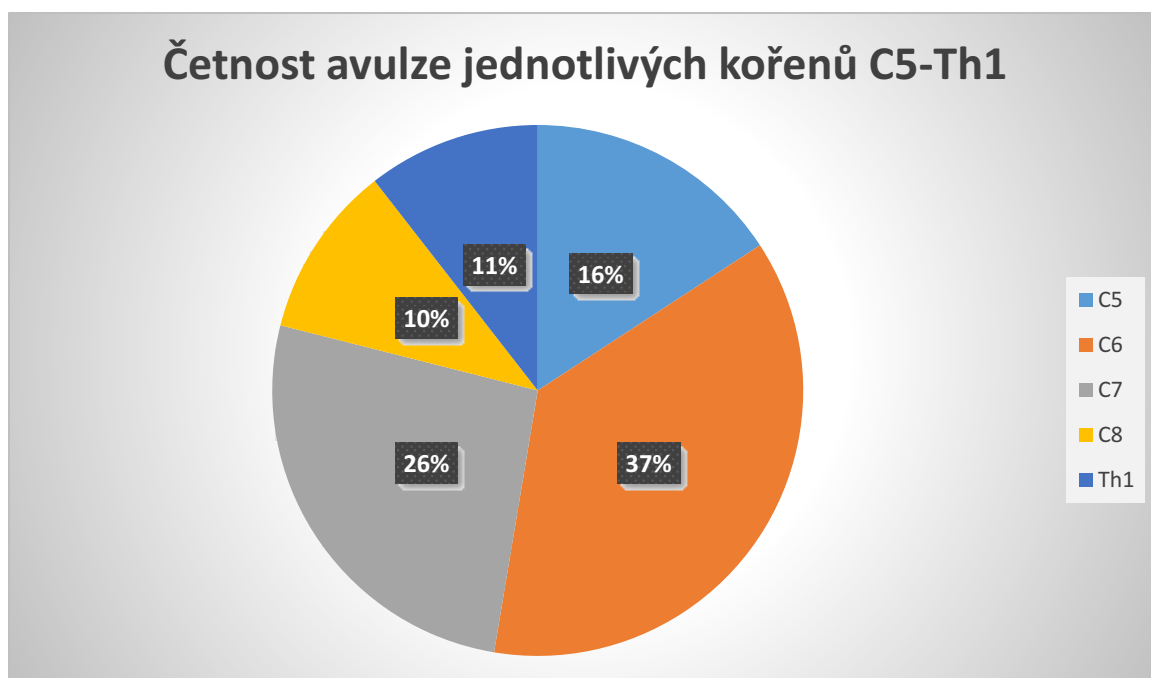


Figure 5: Četnost avulzí jednotlivých kořenů ve zkoumaném souboru. Zdroj: autor.

Průměrná doba od úrazu do provedení neurochirurgického rekonstrukčního výkonu byla v cílovém souboru $181 \pm 76,8$ dní (minimum 25 dní, maximum 388 dní), medián 147 dní. U 61,9 % pacientů v cílovém souboru byla poraněna nedominantní končetina. Dva pacienti z cílového souboru zemřeli, oba po ukončení minimálního sledovacího období, proto jsou do statistiky zahrnuti. Příčinou jednoho úmrtí bylo suicidium, druhé úmrtí bylo v souvislosti s komplikacemi vstupního polytraumatu.

Přehled všech provedených neurochirurgických výkonů u jednotlivých pacientů v souboru a data operace ukazuje tabulka č. 21.

Tabulka 21: přehled provedených výkonů u jednotlivých pacientů: Tučně vyznačeny neurotransfery zahrnuté do zkoumaného souboru. Zdroj: autor.

Pacient	Datum operace	Druh výkonu
1.	9/12	Neurotizace n. thoracodorsalis + nn. subscapulares -> n. axillaris Neurotizace n. pectoralis med. + lat. -> n. musculocutaneus
2.	10/13	Neurotizace n. pectoralis med. + lat. -> n. musculocutaneus Neurotizace n. thoracodorsalis + n. subscapularis -> n. axillaris Neurotizace n. accessorius -> n. suprascapularis
3.	1/14	C5 -> MACN grafts (4x5cm) -> posterior division truncus sup. (AxN) Neurotizace n. accessorius -> n. suprascapularis Neurotizace n. intercostalis T2 -> n. thoracicus longus Neurotizace nn. intercostales (T5+6) -> motor. větev MCN pro m. biceps brachii Transfer 2 motor ICNs (T3+4) -> volný sval, přenos m. gracilis z LDK Transfer 4 sensitive ICNs (T3-6) -> radix lat. MN Anastomóza cév m. gracilis na truncus thoracoacromialis + v. cephalica Sutura šlachy m. gracilis pomocí šlach. štěpů m.FDS III. + IV. do šlach m. FDP II-V a FPL
4.	3/14	Neurotizace motor. větví RN pro dlouhou hlavu tricepsu -> n. axillaris
5.	3/14	Neurotizace motor. větví RN pro mediální hlavu tricepsu -> n. axillaris
6.	10/14	Neurotizace n. accessorius -> n. suprascapularis Oberlinův transfer (fasciál UN -> motor. větev MCN pro biceps brachii) Neurotizace motor. větví RN pro dlouhou hlavu tricepsu -> n. axillaris
7.	2/15	Neurotizace TDN -> AxN
8.	2/15	Neurotizace motor. větví RN pro mediální hlavu tricepsu -> n. axillaris
9.	3/15	Neurotizace n. accessorius -> n. suprascapularis Oberlinův transfer (fasciál UN -> motor. větev MCN pro biceps brachii) Neurotizace motor. větví RN pro dlouhou hlavu tricepsu -> n. axillaris
10.	7/15	Neurotizace motor. větví RN pro dlouhou hlavu tricepsu -> n. axillaris
11.	9/15	Neurotizace motor. větví RN pro dlouhou hlavu tricepsu -> n. axillaris
12.	7/16	Neurotizace motor. větví RN pro dlouhou hlavu tricepsu -> n. axillaris
13.	7/16	Neurotizace motor. větví RN pro dlouhou hlavu tricepsu -> n. axillaris
14.	9/16	C5 -> štěpy MACN (2x9cm) -> AxN Neurotizace nn. intercostales 3.-6. -> motor. větev MCN pro biceps brachii
15.	12/17	Neurotizace motor. větví RN pro dlouhou hlavu tricepsu -> n. axillaris
16.	2/18	Neurotizace 2 motor. větví RN pro laterální hlavu tricepsu -> n. axillaris
17.	4/18	C5 -> sural nerve graft (1x 2cm) -> SSN C5 -> sural nerve grafts (3x 7cm) -> PD UT C6 -> sural nerve grafts (2x 7cm) -> MCN Neurotizace n. pectoralis medialis -> n. radialis pro dlouhou hlavu m. triceps brachii Oberlinův transfer (fasciál UN -> motor. větev MCN pro biceps)
18.	5/18	C5 -> sural nerve grafts (2x 7cm) -> UT C6 -> sural nerve grafts (2x 7cm) -> UT

Pacient	Datum operace	Druh výkonu
		Neurotizace n. accessorius -> n. suprascapularis Neurotizace n. pectoralis medialis -> n. axillaris Oberlinův transfer (fasciál UN -> motor. větev MCN pro biceps)
19.	12/18	Neurotizace n. pectoralis medialis -> n. axillaris Oberlinův transfer (fasciál UN -> motor. větev MCN pro biceps) C5 -> 1 štěp LACN 20 cm -> long head triceps branch RN
20.	5/20	MCN za pomoci autologního štěpu 3 cm. Neurotizace FP -> AxN Neurotizace části FM pro UN -> n. radialis
21.	6/20	Neurotizace motorické větve RN pro dlouhou hlavu tricepsu -> n. axillaris

Použité zkratky: MACN: n. cutaneus antebrachii medialis, AxN: n. axillaris, ICN: nn. Intercostales, C1-8: kořeny C1-8, T1-12: kořeny Th1-Th12, MN: n. medianus, RN: n. radialis, UN: n. ulnaris, LACN: n. cutaneus antebrachii lateralis, FP: fasciculus posterior, FM: fasciculus medialis, MCN: n. musculocutaneus, UT: horní trunкус, PD: zadní divize, FDS: m. flexor digitorum superficialis, FDP: m. flexor digitorum profundus, FPL: m. flexor pollicis longus, SSN: n. suprascapularis.

Neurotransfery byly rozděleny do skupin podle druhu recipientu a obnovované funkce i podle dárcovského nervu. Celkem bylo provedeno 17 neurotizací n. axillaris, 9 neurotizací n. musculocutaneus, 5 neurotizací n. suprascapularis, 2 neurotizace n. radialis a 1 neurotizace n. thoracicus longus.

Nejčastěji prováděnými neurotizacemi v souboru byl transfer větve pro jednu z hlav tricepsu (n. radialis) pro n. axillaris (12x), transfer n. accessorius pro n. suprascapularis (5x) a transfer fasciklu n. ulnaris pro flexor carpi ulnaris pro obnovu funkce n. musculocutaneus (5x). Přehled všech provedených neurotizčních operací je uveden v tabulce č. 22.

Tabulka 22: Přehled provedených nervových transferů v souboru. Zdroj: autor.

Funkee	Donor	Recipient	Počet transferů	Pacient číslo
Abdukce paže	n. thoracodorsalis + nn. subscapulares	n. axillaris	2	1,2
	n. thoracodorsalis	n. axillaris	1	7
	n. radialis (větve pro dlouhou hlavu tricepsu)	n. axillaris	9	4, 6, 9,10,11,12,13,15,21
	n. radialis (větve pro mediální hlavu tricepsu)	n. axillaris	2	5,8
	n. radialis (větve pro laterální hlavu tricepsu)	n. axillaris	1	16
	n. pectoralis medialis	n. axillaris	2	19,21
Abdukce paže, zevní rotace	n. accessorius	n. suprascapularis	5	2, 3, 6, 9, 19
Stabilizace lopatky	nn. intercostales	n. thoracicus longus	1	3
Flexe v lokti	nn. pectorales	n. musculocutaneus	2	1,2
	nn. intercostales	n. musculocutaneus	2	3,14
	Fascikl n. ulnaris pro FCU	n. musculocutaneus	5	6, 9, 17,18, 19
Extenze v lokti	n. pectoralis medialis	n. radialis (větve pro dlouhou hlavu)	1	17
	část FM pro UN	n. radialis	1	20

Použité zkratky: FCU: *m. flexor carpi ulnaris*, FM: *fasciculus medialis*.

Z použitých dárcovských nervů byl nejčastěji využit n. radialis a jeho větve, fascikly n. ulnaris a n. accessorius.

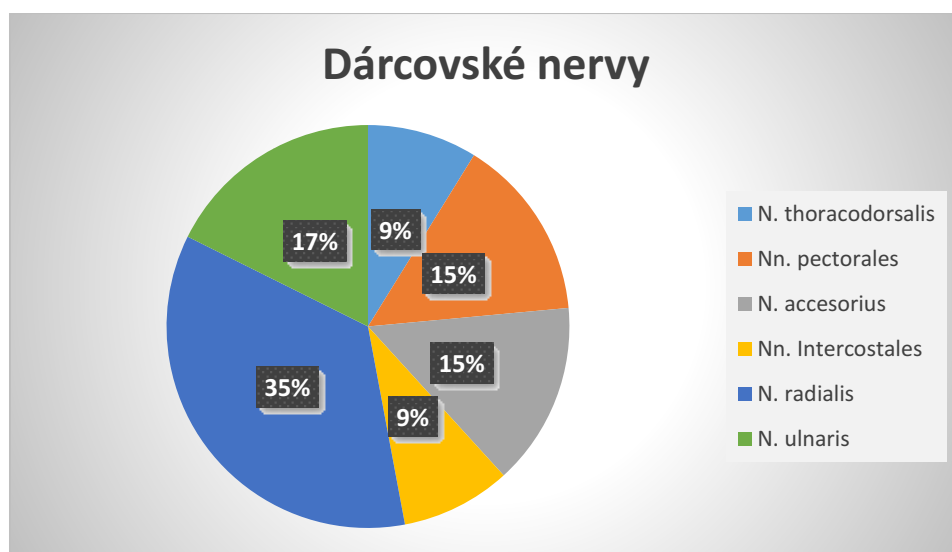


Figure 6: Procentuální zastoupení jednotlivých dárcovských nervů v souboru. Zdroj: autor.

Převažovaly dárcovské nervy intraplexálního (76 %) původu nad extraplexálními dárcei (n. accessorius, nn. intercostales).

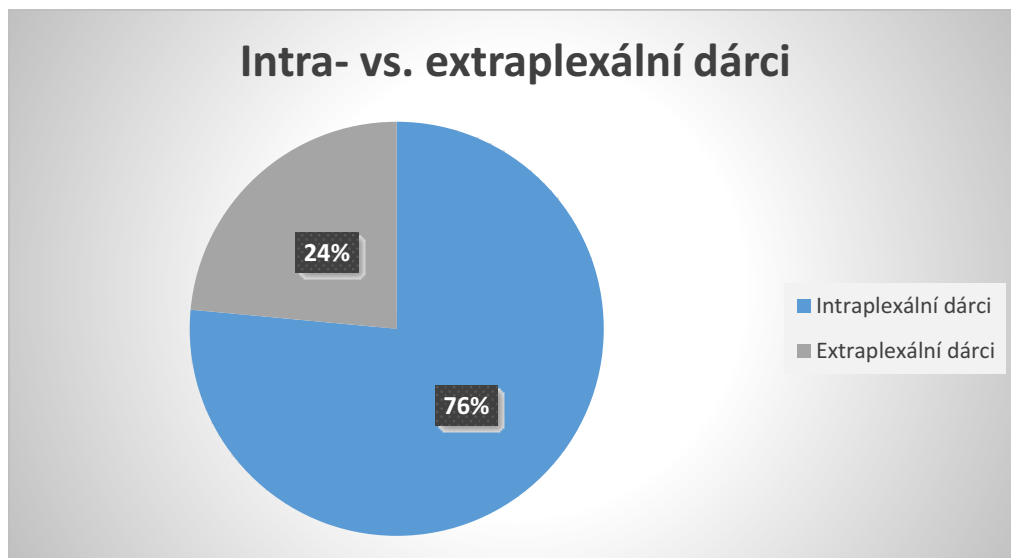


Figure 7: Procentuální zastoupení intra- a extraplexálních dárců v souboru. Zdroj: autor.

2.4.1 Klinické výsledky

Z 34 neurotransferů dosáhlo 20 síly M3 a větší, pouze 5 transferů síly M4 a větší. Celková úspěšnost (výsledky A+B) byla 58,8 %. Ve skupině nervových transferů pro abdukci paže byl dobrý výsledek přítomen v 10 případech ze 17 (58,8 %), flexe v lokti 7 z 9 případů (77,8 %) a ve skupině zevní rotace byl výsledek nejhorší, pouze 1 z 5 transferů (20 %).

Průměrný dosažený úhel abdukce v rameni byl 75,9 ° (SD=61,6), flexe v lokti 72,2 ° (SD=38,2) a zevní rotace 24 ° (SD=33,8).

Tabulka 23: Klinické výsledky jednotlivých transferů. Zdroj: autor.

Pacient číslo	Sval inervovaný neurotransferem	Testovaný pohyb	BMRC	ROM (°)	Výsledek
1	M. deltoideus	Abdukce paže	2	45	C
	M. biceps brachii	Flexe v lokti	3	110	B
2	M. biceps brachii	Flexe v lokti	2	0	C
	M. deltoideus	Abdukce paže	1	0	C
	M. supra+ infraspinatus	Abdukce + zevní rotace	1	0	C
3	M. supra + infraspinatus	Abdukce + zevní rotace	2	20	C
	M. serratus anterior	Stabilizace lopatky	1	-	C
	M. biceps brachii	Flexe v lokti	2	10	C
4	M. deltoideus	Abdukce paže	3,5	50	B
5	M. deltoideus	Abdukce paže	3	40	B
6	M. supra + infraspinatus	Abdukce + zevní rotace	1	0	C
	M. biceps brachii	Flexe v lokti	3	100	B
	M. deltoideus	Abdukce paže	3	70	B
7	M. deltoideus	Abdukce paže	4,5	180	A
8	M. deltoideus	Abdukce paže	5	180	A
9	M. supra + infraspinatus	Abdukce + zevní rotace	3	90	B
	M. biceps brachii	Flexe v lokti	4	100	B
	M. deltoideus	Abdukce paže	2	45	C
10	M. deltoideus	Abdukce paže	2	10	C
11	M. deltoideus	Abdukce paže	4	170	A
12	M. deltoideus	Abdukce paže	3	90	B
13	M. deltoideus	Abdukce paže	5	180	A
14	M. biceps brachii	Flexe v lokti	3	90	B
15	M. deltoideus	Abdukce paže	3	50	B
16	M. deltoideus	Abdukce paže	2	40	C
17	M. triceps brachii	Extenze v lokti	4	-60	B
	M. biceps brachii	Flexe v lokti	4	60	B
18	M. supra + infraspinatus	Abdukce + zevní rotace	2	10	C
	M. deltoideus	Abdukce paže	2	10	C
	M. biceps brachii	Flexe v lokti	3	90	B
19	M. deltoideus	Abdukce paže	2	30	C
	M. biceps brachii	Flexe v lokti	4	90	B
20	M. triceps brachii	Extenze v lokti	4,5	-130	A
21	M. deltoideus	Abdukce paže	3,5	100	B

Regresní analýza (viz tab. 24) hodnotící svalovou sílu jako závislou proměnnou proti ostatním proměnným ukazuje časnou reinervaci a DASH jako signifikantní faktory, nesignifikantní faktory jsou pak věk, VAS, práce a čas od úrazu k operaci.

Tabulka 24: Logistická regrese: Výsledná svalová síla jako závislá proměnná. Zdroj: autor.

Nezávislá proměnná	95% Interval of Confidence	P
Čas od úrazu k operaci	0,9927 – 1,0242	0,2991
Přítomnost časně reinervace	1,0888 – 136,2976	0,0425
Věk	0,8630 – 1,1025	0,6908
VAS	0,8266 – 3,0386	0,1655
Mallet	1,1030 – 1029,2575	0,0439
DASH	0,7764 – 0,9964	0,0438
Práce	0,0029 – 2,8404	0,1725

2.4.2 Malletova škála

Mallet I (nemožnost aktivního pohybu v rameni) byl přítomen u 2 pacientů, Mallet II u 7 pacientů, skupina Mallet III čítala 5 pacientů, výborného výsledku Mallet IV dosáhli 4 pacienti a u 3 pacientů byl výsledný stav hodnocen jako „normální rameno“ skupinou Mallet V (viz tab. 25). U všech pacientů ze skupiny V byl použit jediný nervový transfer a u všech pacientů skupiny V byl řešen deficit abdukce paže. Ve skupině pacientů s 2 a více provedenými neurotizacemi bylo průměrné Mallet score $2,22 \pm 0,9$ zatímco ve skupině pacientů s jednou neurotizací $3,5 \pm 1,1$. Výsledky v procentech ukazuje Figure 8.

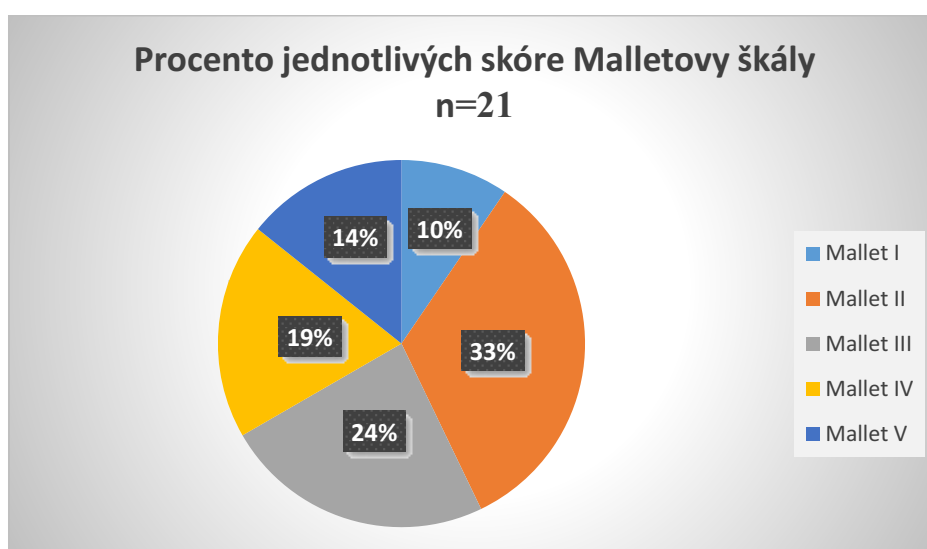


Figure 8: Procento jednotlivých dosažených Mallet skóre u 21 pacientů. Zdroj: autor.

Tabulka 25: Mallet score u jednotlivých pacientů. Zdroj: autor.

Pacient číslo	Mallet score
1.	III
2.	I
3.	I
4.	IV
5.	III
6.	III
7.	IV
8.	V
9.	II
10.	II
11.	V
12.	III
13.	V
14.	II
15.	III
16.	II
17.	II
18.	II
19.	II
20.	IV
21.	IV

2.4.3 Elektrofyziologické vyšetření

Časná reinervace (prokazatelná volní aktivita v recipientském svalu do 6 měsíců od provedení výkonu, viz kap. 2.3.3) byla prokázána u 18 transferů z celkového počtu 34 (52,9 %) a u 15 pacientů z 21 (alespoň v jednom transferu ze všech provedených). Přítomnost a stupeň volní aktivity detekované do 6 měsíců od operace u jednotlivých transferů shrnuje tabulka 26.

Tabulka 26: Přítomnost časné reinervace u všech transferů. Zdroj: autor.

Číslo transferu	Pacient	Volní aktivita do 6m od operace – stupeň	Časná volní aktivita přítomnost (A/N)
1.	1	1	A
2.	1	2	A
3.	2	0	N
4.	2	0	N
5.	2	0	N
6.	3	0	N
7.	3	0	N
8.	3	1	A
9.	4	2	A
10.	5	0	N
11.	6	0	N
12.	6	2	A
13.	6	0	N
14.	7	3	A
15.	8	3	A
16.	9	1	A
17.	9	0	N
18.	9	2	A
19.	10	0	N
20.	11	3	A
21.	12	0	N
22.	13	1	A
23.	14	1	A
24.	15	0	N
25.	16	0	N
26.	17	1	A
27.	17	2	A
28.	18	0	N
29.	18	0	N
30.	18	2	A
31.	19	0	N
32.	19	2	A
33.	20	2	A
34.	21	1	A

Pomocí korelační analýzy (Spearman's coefficient R_s) byla shledána přímá závislost ($R_s = 0,528$) mezi časnou reinervací a výslednou svalovou silou, což podporuje naši hypotézu, že časná reinervace predikuje dobrý funkční výsledek. Neprokázali jsme žádnou závislost mezi faktory výsledná síla a interval úraz – operace.

2.4.4 Vyšetření synkinez

Vymizení synkinez a prokazatelnou samostatnou volní aktivaci recipientu jsme zaznamenali u 10 neurotransferů (29,4 %). Vymizení synkinez považujeme za průkaz proběhlých centrálních remodelačních změn a tedy za průkaz neuroplasticity. Pomocí korelační analýzy (Spearman's coefficient R_s) nebyla nalezena žádná závislost mezi faktory plasticita: věk ($R_s = 0,308$), plasticita: dominance ($R_s = -0,084$), plasticita: počet neurotizací ($R_s = 0,365$). Nepřímá závislost byla nalezena pouze pro faktory plasticita: interval úraz – operace ($R_s = -0,500$).

Tabulka 27: Přítomnost synkinez u jednotlivých neurotransferů po minimálně 3 letech od operace. P: synkinezy přítomny, N: synkinezy nepřítomny. Vymizení synkinez je považováno za důkaz proběhlých centrálních remodelačních změn.

Číslo neurotransferu	Pacient	Synkinezy po 3l
1.	1	P
2.	1	P
3.	2	P
4.	2	P
5.	2	P
6.	3	P
7.	3	P
8.	3	P
9.	4	P
10.	5	P
11.	6	P
12.	6	N
13.	6	N
14.	7	nelze hodnotit, komp denerv donoru
15.	8	N
16.	9	N
17.	9	N
18.	9	P
19.	10	P
20.	11	N
21.	12	P
22.	13	P
23.	14	P
24.	15	P
25.	16	P
26.	17	N
27.	17	N
28.	18	P
29.	18	P
30.	18	P
31.	19	P
32.	19	N
33.	20	N
34.	21	P

2.4.5 Hodnocení bolesti

Průměrné VAS skóre pacientů po operaci bylo $3 \pm 2,7$. Zcela bez bolesti bylo 8 (38,1 %) pacientů. Lehkou bolest (VAS 1–3) udávalo 14,2 %, střední bolest (VAS 4–6) 33,3 % a silnou bolest (VAS 7–10) 14,2 % pacientů, viz tab. 28.

Tabulka 28: Pooperační VAS skóre u jednotlivých pacientů. Zdroj: autor.

Pacient číslo	Počet transferů	Vzorec léze	VAS
1.	2	C5,6	2
2.	3	Kompletní	5
3.	3	Kompletní	3
4.	1	C5,6	7
5.	1	Infraklav.	0
6.	3	C5–7	8
7.	1	C5–Th1	0
8.	1	C5–7	0
9.	3	C5,6	6
10.	1	Infraklav.	0
11.	1	C5,6	4
12.	1	Infraklav.	7
13.	1	Infraklav.	0
14.	1	C5–Th1	5
15.	1	Infraklav.	0
16.	1	C5,6	3
17.	2	C5–7	0
18.	3	C5–7	5
19.	2	C5–7	4
20.	1	Infraklav.	4
21.	1	Infraklav.	0

2.4.6 DASH

Z 21 pacientů odmítli 3 vyplnit DASH dotazník. Průměrný DASH skór ve zbytku skupiny (n=18) bylo 41,1 (SD 22,2), přičemž skór nad 40 je považován za významné postižení funkce horní končetiny. DASH skór u jednotlivých pacientů ukazuje tabulka 29.

Tabulka 29: DASH skóre u jednotlivých pacientů. Zdroj: autor.

Pacient číslo	Počet transferů	Vzorec léze	DASH součet bodů	Dash skóre
1.	2	C5,6	93	52,5
2.	3	Kompletní	135	87,5
3.	3	Kompletní	121	75,8
4.	1	C5,6	104	61,7
5.	1	Infraklav.	-	-
6.	3	C5-7	93	52,5
7.	1	C5-Th1	-	-
8.	1	C5-7	51	17,5
9.	3	C5,6	56	21,7
10.	1	Infraklav.	-	-
11.	1	C5,6	42	10
12.	1	Infraklav.	98	56,7
13.	1	Infraklav.	45	12,5
14.	1	C5-Th1	69	32,5
15.	1	Infraklav.	72	35
16.	1	C5,6	89	49,1
17.	2	C5-7	52	18,3
18.	3	C5-7	79	40,8
19.	2	C5-7	83	44,2
20.	1	Infraklav.	101	59,2
21.	1	Infraklav.	45	12,5

Statistickou analýzou byla prokázána nepřímá závislost faktorů výsledná sval síla: DASH ($R_s = -0,510$), DASH: Mallet ($R_s = -0,500$).

2.4.7 Sociální dopady

Z 21 pacientů bylo 3 roky po úrazu 6 (28,6 %) nepracujících a 15 (71,4 %) pracujících. Z pracujících se do původní práce vrátilo 8 (53 %), viz tab. 30. Z nich polovina vykonává práci administrativního charakteru a polovina práci manuálního charakteru (strojník, řidič, bagrista, obráběč kovů).

DASH skóre ve volitelném modulu práce byl v celém souboru průměrně 45,14 (SD 32,8), přičemž hodnota nad 40 značí těžké omezení schopnosti vykonávat práci. Ve skupině pracujících byla hodnota významně nižší, 27,1 (SD 17) a ve skupině těch, kteří se vrátili

k původní profesi, nejnižší, 18,7 (SD 17). Ve skupině pacientů s přiznaným invalidním důchodem byl DASH skór 73,7 (SD 34).

Při srovnání skupin s postižením dominantní a nedominantní končetiny jsou hodnoty u pacientů s lézí dominantní končetiny překvapivě srovnatelné s postižením končetiny nedominantní (42,75 vs. 43,2).

Pacient číslo	Původní práce	Postižená končetina D/N	Práce 3 roky po úrazu	DASH modul práce	DASH skór
1.	Řidič z povolání	N	Správce areálu	9	31,25
2.	Učitelka AJ	N	Invalidní důchod	20	100
3.	Nezaměstnaný	D	Invalidní důchod	20	100
4.	Řidič z povolání	N	Řidič	12	50
5.	Strojník	N	Strojník	-	-
6.	Úřednice	N	Fitness trenér	14	62,5
7.	Administrativní	N	Administrativa - IT	-	-
8.	Student	N	Lesy ČR - správce	4	0
9.	OSVČ	D	Administrativa	8	25
10.	Chemik	D	Invalidní důchod	-	-
11.	Tesař	N	Administrativa	5	6,3
12.	Dělnice	N	Starobní důchod	12	50
13.	Student	D	Student	4	0
14.	Policie ČR	N	Učitel autoškoly	13	56,3
15.	ÚP	D	Invalidní důchod	16	75
16.	Vedoucí výroby	N	Vedoucí výroby	10	37,5
17.	Bagrista, svářeč	D	Bagrista, svářeč	8	25
18.	Zemědělec	N	Skladník, řidič	7	18,8
19.	Lešenář	D	Invalidní důchod	16	100
20.	Koordinátor výroby	N	Invalidní důchod	14	62,5
21.	Obráběč kovů	D	Obráběč kovů	6	12,5

Tabulka 30: Návrat do práce u jednotlivých pacientů. DASH modul práce. Zdroj: autor.

Byla prokázána nepřímá závislost parametrů práce a DASH skór práce ($R_s = -0,794$). Regresní analýza hodnotící svalovou sílu jako závislou proměnnou ukazuje v našem souboru proměnnou „práce“ jako nesignifikantní faktor.

2.5 Diskuze

Největším přínosem naší práce je návrh a využití nového způsobu průkazu centrálních změn EMG monitorací jejich periferních dopadů. První studie, která zpracovává výskyt periferních synkinez po neurotransferech a jejich vymizení hodnotí jako průkaz neuroplasticity, byla publikována v květnu 2023 [66]. K hodnocení souhybů je v ní použito BRMC měření svalové kontrakce prostou palpací svalu. Pokud je nám známo, nebyly jiné práce na toto téma dosud zveřejněny a v dostupné literatuře není zatím žádná zmínka o použití jehlové EMG ke sledování pacientů po provedení nervových transferů.

Na rozdíl od experimentálních zobrazovacích metod, které nejsou v klinické praxi široce dostupné ani zavedené, představuje elektromyografická monitorace synkinez levnou, technicky jednoduchou, snadno interpretovatelnou, dobře interindividuálně srovnatelnou a především objektivní metodu, která může v případě širšího použití přinést mnoho nových poznatků.

Náš přístup – použití jehlové EMG – je oproti prosté palpaci svalové kontrakce donorského a recipientského svalu přesnější a není zatížen subjektivní chybou. Sledování volní aktivity pomocí dvoukanálového vyšetření volní aktivity umožňuje jasně definovat pacienty, u kterých došlo k plně nezávislé volní aktivaci recipientského svalu. Další výhodou snímání volní aktivity pomocí jehlové elektrody je možnost vyšetření svalů, které nejsou povrchově uložené (na rozdíl od prosté palpce), čímž je metoda využitelná i u distálních transferů.

Socolovsky [66] zařadil do svého souboru pouze s pacienty se výslednou svalovou silou M4 a vyšší. Z našich výsledků vyplývá, že i svaly hodnocené jako M3 mohou dosáhnout nezávislé volní aktivity a i pro tyto případy je jehlová EMG spolehlivější, neboť dobře detekuje i volní aktivitu nižšího stupně. Průměrná svalová síla v transferech, ve kterých dosáhl recipientský sval nezávislé volní kontroly, byla v našem souboru $3,85 \pm 0,64$ s rozptylem M3 – M5, přičemž medián byl 4.

V našem souboru vymizely synkinezy u 29,4 % neurotizací a u 7 (33,3 %) pacientů v alespoň jednom provedeném neurotransferu. Ve studii Socolovského bylo nezávislé volní kontroly recipientu (a tedy průkazu přítomnosti neuroplasticity) dosaženo u zhruba pětiny z celkového počtu 143 pacientů. Lepší výsledek v našem souboru je možno připsat chybě malých čísel a jistě také rozdílným inclusion kritériím – Socolovského soubor obsahoval pouze pacienty s pregangliovou lézí (avulzemi), tedy těžším postižením; v našem souboru byla zahrnuta poranění pre- i postgangliová.

Neprokázali jsme závislost přítomnosti neuroplasticity na věku, druhu donorského nervu, počtu nervových transferů u jednoho pacienta ani na poranění dominantní versus nedominantní končetiny. Jediný faktor, který byl v našem souboru prokázán jako významný, byl interval úraz – čas operace. Je známým faktem, že prodlužování tohoto intervalu limituje úspěšnost reinervace vznikem ireverzibilních změn ve svalech. Důležitost časně operace klade důraz na precizní předoperační diagnostiku a zejména včasné referování pacientů s lézí BP na specializované pracoviště.

Výsledky studií pro závislost výsledku rekonstrukční operace na věku se různí. Některé práce udávají, že s věkem klesá regenerační potenciál nervu a neuroplasticita, což vede u starších pacientů k horším výsledkům, jiné [137], že výsledky jsou srovnatelné a zatížené faktem, že u mladých pacientů je většinou přítomna těžší léze (problém nastavení inclusion kritérií, nehomogenita souborů) [38,94,137,138]. V našem souboru nebyla prokázána závislost výsledné svalové síly ani neuroplasticity na věku. To přičítáme jednak limitované velikosti našeho souboru a také faktu, že soubory pacientů s poraněním BP nevykazují standardní populační věkové rozložení (tj. téměř se zde nevyskytuje skupina pacientů z horní oblasti věkové pyramidy a většina pacientů je mladého či středního věku); navíc do našeho souboru nebyla zahrnuta data dětských pacientů. Do budoucna bude jistě přínosné porovnat přítomnost neuroplasticity mezi skupinou dětí s perinatální lézí brachiálního plexu a dospělými pacienty.

Na základě našich zkušeností se zdá, že i v případě dosažení možnosti nezávislé volní kontroly nad recipientským svalem je při provedení pohybu maximální možnou silou využívána potenciace pohybu zapojením donoru (synkinezy jsou přítomny). Tento fakt je ve shodě s referovanou zkušeností pacientů, že cíleným souhybem mohou svalovou sílu zvýšit či zlepšit výdrž. Toto zjištění je do budoucna žádoucí podrobněji prostudovat, například měřením dosažené svalové síly při inaktivním/aktivním donorském svalu či měřením izometrické kontrakce se současnou monitorací donoru.

V určitých případech není možné sledování synkinez použít – jedná se o situace, kdy byl použit kompletní donorský nerv, který inervuje pouze jeden cílový sval, jenž byl tímto krokem kompletně denervován. V takovém případě není možné volní aktivitu v tomto, původně donorském, svalu detekovat. Tato situace je ale poměrně málo častá a v našem souboru se týkala pouze jednoho transferu (TDN – AxN). Většinou je pro neurotizace využívána větev pro část donorského svalu (RN, SAN) či nervový fasciál (UN). V případě použití interkostálních či mediálních/ laterálních pektorálních nervů je denervována příslušná část svalu, který ovšem pracuje jako celek. I v případě použití n. thoracodorsalis je pro detekci počínající volní aktivity

po nervovém transferu „souhyb“ potřebný; v tomto případě žádáme pacienty o zakašláání, při kterém je v normálním případě m. latissimus dorsi oboustranně aktivován (a v případě časně reinervace můžeme volní aktivitu v m. deltoideus tímto manévrem vyvolat).

Centrální plasticita vzniká podle posledních poznatků [66,67,69–71,122] převážně na synaptické úrovni. Zatím byly identifikovány dva předpoklady pro její uplatnění: korové oblasti donorského a recipientského nervu musí být spojeny němými podkorovými drahami a čím bližší je jejich umístění, tím snáze je nezávislé volní kontroly dosaženo [66–68,70,71]. Proto jsou výsledky extraplexálních donorů při hodnocení plasticity v literatuře obecně horší než při použití donorů intraplexálních. Heterogenita použitých donorů a nízké počty transferů bohužel znemožnily možnost statistického zpracování výsledků intra – a extraplexálních donorů našeho souboru s výrazným rizikem chyby malých čísel.

Zavedení nových metod do protokolů rehabilitace po nervových transferech a jejich standardizace by mohla poskytnout další vhled do otázky, jak je možné neuroplasticitu posilovat. Předpokládáme, že využití biofeedbacku na podkladě EMG signálů by mohlo napomoci volnímu tréninku samostatné aktivace svalů. Pacienti po operaci BP jsou ve velké většině vysoce motivovaní, compliantní a ochotní věnovat smysluplné rehabilitaci velké úsilí. Naopak jsme pozorovali velmi špatné výsledky u pacientů, kteří v rámci polytraumatů utrpěli kraniotrauma; následný organický psychosyndrom u takových pacientů výrazně limitoval vůli rehabilitovat.

Kromě zavedení nového způsobu hodnocení neuroplasticity je další významnou předností naší práce fakt, že soubor byl zpracován komplexně. Hodnocení bylo po celou dobu (tj. od roku 2012) prováděno dle současných trendů se zacílením na objektivní, subjektivní i sociální výsledky, jejichž syntéza poskytuje lepší povědomí o výsledném funkčním stavu končetiny než prosté měření dosažené svalové síly.

Hlavní limitací naší práce je malá velikost souboru, který navíc není homogenní. Byli zařazeni pacienti s pre- i postgangliovým postižením a s provedením dalších chirurgických technik, zejména se současnou rekonstrukcí nervovými štěpy. Po rozdělení transferů do kategorií dle použitého donorského nervu jsou výsledné skupiny statisticky nezpracovatelné. Vzhledem k tomuto faktu nemohla být provedena například analýza závislosti vztahu mezi přítomností a počtem avulzí a neuroplasticitou, vzorcem léze a neuroplasticitou a hodnocení dalších důležitých proměnných. Naše práce byla navíc částečně nepříznivě ovlivněna obdobím

pandemie covid-19 a z něj vyplývajícími omezeními (nedodržení sledovacích intervalů, vynechání kontrol).

Při vyhodnocení demografických dat se naše výsledky nikterak významně neliší od souborů publikovaných jinými autory. Ve srovnání vycházíme z metaanalýzy 3032 pacientů [27] z roku 2016, zmiňované v kapitole 1.3. Věkový průměr našeho zkoumaného souboru je $36,1 \pm 13,5$ let, medián 32 let (metaanalýza 28,9 let). V našem souboru i ve všech statistikách jasně dominují muži (85,7 % mužů v našem souboru, 93 % dle metaanalýzy). Stejně jako v ostatních souborech jsou i v našem dominující příčinou dopravní nehody, 81 % poranění bylo v našem souboru způsobeno dopravní nehodou, 47,6 % všech lézí zapříčinily motonehody (data z metaanalýzy 67 % pacientů motonehoda, 14 % autonehoda). Všechna poranění v našem cílovém souboru byla poranění uzavřená (metaanalýza 93 % uzavřených poranění).

Úspěšnost jednotlivých transferů je v literatuře vyjadřována jako procento pacientů, u kterého bylo dosaženo určitého stupně maximální svalové síly (většinou M3 a více, některé práce M4 a více).

Standardně jsou výsledky hodnoceny manuálním měřením svalové síly (MMT manual muscle test), použitím BRMC škály či dynamometru, hodnocením úhlu dosaženého maximálního pohybu či hodnocením stupně definovaných pohybů (například Mallet scale) [3,66, 104,107,137]. Používání BRMC škály je terčem kritiky [3] pro svou relativní „hrubost“ a subjektivitu; zavedení jejích různých modifikací ovšem na druhou stranu ztěžuje porovnávání výsledků. Dosažení stupně M3 a více je v současné době většinou autorů považováno za indikátor dobrého výsledku neurologických výkonů, ač je v poslední době často zmiňováno, že samotná maximální svalová síla nekoreluje s dlouhodobým funkčním výsledkem, kvalitou života a pacientovou spokojeností [72]. V běžných denních aktivitách není tolik důležitá maximální síla, ale výdrž v submaximálním svalovém napětí s co nejmenším poklesem jeho účinnosti, což můžeme posuzovat jako svalovou výkonnost či únavnost. Někteří autoři proto dávají přednost hodnocení izometrické svalové kontrakce, která by měla více vypovídat o funkčním výsledku [72]. Existují jednotlivé práce se snahou o objektivní hodnocení reinervace například měřením počtu motorických jednotek (MUNE, MScanFit) [139] či objemu svalů [140], které by měly korelovat s výslednou svalovou silou i se subjektivním výsledkem. BRMC přesto prozatím zůstává zlatým standardem, který dosud nebyl nahrazen lepším základním skórovacím systémem. Důraz je kladen zejména na techniku provedení a konzistenci v klasifikaci.

Úspěšné reinervace m. biceps brachii dosáhlo v našem souboru 77,8 % pacientů, což je hodnota odpovídající publikovaným souborům [3,28,137,141,139]. Dle literatury může být úspěšně dosaženo obnovy flexe v lokti v případě použití interkostálních nervů v 44–70 % a v případě pektorálních nervů až v 84–91 % [28], při využití Oberlinova transferu (fasciál UN pro FCU) i více.

Úspěšnost obnovy zevní rotace byla v našem souboru pouze 20 %, což je významně méně, než udává literatura. Zatímco technika měření ramenní a loketní flexe a abdukce ramene je poměrně jednoduchá, v literatuře existují nesrovnalosti týkající se výchozí pozice pro měření zevní rotace [3,24,104,107,137]. Navíc byla naše podskupina velmi málo četná (pouze 5 pacientů). Některé svaly je obtížné vyšetřovat izolovaně, neboť stejnou funkci zastává více svalů příslušné skupiny (supraspinatus + deltoid abdukce, biceps + brachialis flexe v lokti, infraspinatus + teres minor zevní rotace). Měla by být tudíž standardizována hodnotící škála nejen obecná, ale pro každý typ neurotranferu zvlášť. Nekonzistentnost měření při vyšetření různými examinátory je ideálně řešena malým týmem s jedním chirurgem, jedním elektrofyziologem a jedním fyzioterapeutem. Další vliv na horší výsledek v našem souboru může mít fakt, že bylo k hodnocení použito testování m. infraspinatus. Vzhledem k jeho dominantní funkci pro zevní rotaci na rozdíl od m. supraspinatus, jehož hlavní funkcí je iniciace abdukce (a tedy pohyb synergistický s funkcí m. deltoideus, který v abdukci pokračuje), jej považujeme za objektivnější indikátor výsledku. Dle literatury je udávaná úspěšná reinervace v případě použití SAN pro m. supraspinatus 79–95 % [28], ale při hodnocení stejného transferu a testování m. infraspinatus pouze kolem 50 % [3,28,141–143], nejspíše pro delší vzdálenost svalu od místa sutury.

Ve skupině nervových transferů pro abdukci paže byl dobrý výsledek přítomen v 10 případech ze 17 (58,8 %), což je výsledek odpovídající literatuře. Úspěšnost obnovy abdukce v rameni nad 30 ° se v publikovaných souborech liší dle použité techniky, v případě použití interkostálních nervů jsou výsledky v širokém rozmezí 33–67 % úspěšnosti [3,28,144], stejně tak jsou velmi rozdílné výsledky publikovány při použití n. thoracodorsalis (36–93 %) [3,28,145]. Zatím nejlepší zkušenosti jsou udávány s transferem fasciklu n. ulnaris pro FCU na n. musculocutaneus (Oberlinova technika) [3,28].

Hodnocení časných elektromyografických známek reinervace není parametr, který by byl v publikacích často posuzován. Z našich závěrů vyplývá, že uspokojivý výsledek výsledné svalové síly je na časné reinervaci přímo závislý, a proto považujeme zařazení tohoto parametru do hodnocení za přínosné. Limitace velikostí souboru opět nedovoluje členění na podskupiny

dle druhu provedeného transferu, které by bylo zajímavé i vzhledem k různé délce akceptorského nervu, kterou musí donorské axony prorůst (dle literatury je tato vzdálenost pro transfer MN – biceps asi 1,5 cm, UN – m. brachialis asi 2,5 cm, transfer větve pro dlouhou hlavu tricepsu na n. axillaris 4,5 cm a neurotizaci SAN – SSN více než 3 cm).

Regresní analýza (viz tab. 24) hodnotící výslednou svalovou sílu jako závislou proměnnou proti ostatním proměnným vyhodnocuje jako signifikantní faktory časnou reinervaci a DASH. Identicky se uplatňuje při zahrnutí do analýzy parametr Mallet. V případě časně reinervace snižuje částečně spolehlivost tohoto parametru při regresní analýze velmi široký interval spolehlivosti. Pro DASH (které je hodnocením subjektivním) a Malletovu škálu (objektivní škálování funkce ramene) potvrzuje tato závislost jejich dobrou korelaci s objektivním výsledkem maximální dosažené svalové síly. Výsledky Malletovy škály i DASH jsou navíc dokumentovatelné a tedy dobře použitelné ke srovnání výsledků mezi různými soubory a pracovišti.

Jako nesignifikantní faktory při hodnocení výsledné svalové síly regresní analýzou byly vyhodnoceny věk, hodnocení bolesti, průceschopnost a čas od úrazu k operaci. Závislost výsledku rekonstrukční operace na věku již byla diskutována podrobněji v podkapitole diskuze týkající se cerebrální plasticity. Při hodnocení ostatních parametrů soudíme, že bolest ovlivňuje spíše subjektivní výsledky operace a průceschopnost než výslednou svalovou sílu, čemuž naše výsledky odpovídají. Interval úraz – operace není dobře hodnotitelný parametr, neboť většina zkoumaných pacientů je operována s časováním dle guidelines; soubor tedy neobsahuje pacienty operované mimo doporučené časové okno, u kterých by byl, jak předpokládáme, výsledek horší. V rámci doporučeného časového okna není již vliv zkrácení intervalu pro výslednou sílu podle našeho zjištění významný.

Průměrná hodnota na škále bolesti (VAS skóre) našich pacientů po operaci byla $3 \pm 2,7$. Zcela bez bolesti bylo 8 (38,1 %) pacientů. Metaanalýza 88 souborů s provedenými neurotizačními výkony s 5189 pacienty [106] udává průměrné předoperační VAS skóre $5,33 \pm 1,01$ a pooperační $4,01 \pm 0,51$.

Hodnocení DASH pouze pooperačně znemožňuje určit vliv operace na výsledné hodnoty našeho souboru, ale je dobrým ukazatelem pooperační disability. Přítomnost nepřímé závislosti mezi DASH skórem modulu práce a pracovního zařazení prokazuje význam jeho testování. Průměrná DASH hodnota našeho souboru (41,1 bodů) odpovídá významnému omezení (hodnoty nad 40 bodů) funkce končetiny. Tento výsledek se významně neliší od výsledků

jiných autorů [106], kdy byly konstatovány průměrné hodnoty 47.04 ± 4.93 s vyšší hodnotou u pacientů s panplexálním poraněním (rozptyl 36.88–66.8 bodů).

V našem souboru bylo po 3 letech 71,4 % pacientů zpět v pracovním procesu, z toho 53 % ve své původní práci. Neprokázali jsme rozdíl mezi pracovním zařazením pacientů s postiženou dominantní a nedominantní končetinou. Návrat do práce je ve studiích udáván minimálně, z 21 prací výše zmiňované metaanalýzy [106] jej hodnotí pouze 4, které udávají návrat do práce u 66 % pacientů. Z výsledků přitom není patrné, zda se jedná o práci původní či novou, jaký je typ práce (manuální/ administrativní) a jaký je vztah k lateralitě a straně postižení.

Soubor pacientů s poraněním brachiálního plexu je vždy souborem nehomogenním. Pacienti různého věku, s různými mechanismy, typy a rozsahem poranění a rozličnými přidruženými poraněními jsou operováni odlišnými chirurgickými technikami. Výrazně se liší také typ a intenzita rehabilitací, které pacienti dlouhodobě podstupují. Vzhledem k nízké incidenci a dlouhé délce minimálního sledovacího období jsou zkoumané skupiny i relativně málo četné.

V ČR se věnují operacím brachiálního plexu ve větším rozsahu 2 pracoviště. Při průměrné incidenci 0,2 / 100 000 obyvatel [27] je ročně indikováno k operaci pro těžkou lézi BP cca 20 dospělých a je tedy prakticky nemožné vytvořit homogenní soubory čítající desítky pacientů. Připočteme-li k tomuto faktu celosvětovou nejednotnost hodnotících kritérií, lze pochopit, proč jsou často publikovány velmi rozdílné výsledky.

Právě pro výše zmíněné faktory je v současnosti patrna snaha hodnotící kritéria sjednotit, neboť pouze metaanalýzy malých souborů mohou přinést objektivní poznatky na vyšších počtech pacientů, srovnání mezi jednotlivými chirurgickými technikami a identifikaci faktorů zlepšujících výsledky operací těchto invalidizujících a často trvalých postižení horní končetiny.

Minimální sdílený dataset pro srovnávání dat by měl, dle konsenzu odborníků, obsahovat měření svalové síly, aktivního rozsahu pohybů ve stupních, skórovací objektivní systém, hodnocení čítí, bolesti, sociálních konsekvencí a pacientem hlášený (subjektivní) výsledek. Konkrétní doporučení zatím pro dospělé pacienty chybí.

Vzhledem k dlouhé době našeho sběru dat (2012–2023) a prospektivní formě práce byly identifikovány metodologické parametry, které je žádoucí změnit, aby byly výsledky do budoucna lépe hodnotitelné. Navrhli jsme proto modifikaci plánu pooperačního sledování na našem pracovišti včetně zdůvodnění změn, které byly zavedeny a implementovány do klinické praxe.

Hodnocení svalové síly (BMRC) hodnotí pouze maximální volní sílu, což není reprezentativní měření výsledku vzhledem k možnosti rychlého nástupu únavnosti svalu se snížením výsledné funkce končetiny. Do našeho hodnocení tedy k maximální svalové síle a měření aktivního rozsahu pohybů nově zařazujeme i měření výdrže v zátěži (izometrická kontrakce) s porovnáním s druhostrannou končetinou.

K měření subjektivních výsledků ponecháváme dotazník DASH, který je z našeho pohledu vyhovující a dobře postihující funkční status končetiny, ale přidáváme hodnocení DASH i předoperačně, aby bylo možno hodnoty před a po operaci porovnávat.

K Malletově škále pro pacienty s postižením C5–7 zařazujeme i škálu pro posouzení funkce ruky v případě postižení dolního plexu.

Vyšetření synkinez bude probíhat stejně, jak je zavedeno, ale bude zaznamenán i čas, kdy synkinezy u jednotlivých pacientů vymizí. Neuroplasticita nebude hodnocena pouze jako přítomná či nepřítomná, ale bude rozčleněna do skupin (žádná, částečná, plná) – grading neuroplastických změn.

Naším cílem do budoucna je standardizace rehabilitačních postupů a zařazení metodik na podporu neuroplasticity.

Změny v plánu pooperačního sledování udává souhrnně tabulka č. 31.

*Tabulka 31: Změny v plánu sledování pacientů s lézí BP, Masarykova nemocnice v Ústí nad Labem. Změny označeny zeleně.
Zdroj: autor.*

Vyšetření	Vstupní	Kontroly	Výstupní
BRMC	+	+	+fyzioterapeut
AROM—d	+	+orientačně	+fyzioterapeut
Výdrž v izometr. zátěži – dynamometr Čas, porovnání s druhostrannou končetinou			+ fyzioterapeut
Senzitivita	+ v dermatomech	+ orientačně	+ Včetně kvantifikace v dermatomech a 2PD
VAS	+	+	+
Mallet scalle, škála funkce lokte, škála funkce ruky – dle typu vstupní léze			+
EMG	+	+	+
Synkinezy		+ Čas vymizení	+ Grading
Foto	+		+
DASH	+		+

2.6 Závěr

Bunnellova filozofie "pro toho, kdo nemá nic, je i málo hodně" vystihuje dokonale snahu chirurgů v případě závažných poranění brachiálního plexu. Kompletní obnova hybnosti a citlivosti je zatím nedosažitelná, ale znovuzískání alespoň základních funkcí paralyzované končetiny významně zlepšuje kvalitu života pacientů.

Nervové transfery jsou pro obnovu motorických funkcí u pacientů s poraněním brachiálního plexu široce užívané. Změny, které při jejich použití v centrálním nervovém systému vznikají, jsou v posledních dvou dekádách předmětem intenzivního výzkumu, neboť se ukázalo, že hrají významnou roli ve funkčním výsledku operace.

Proces diskonekce motorického programu donorského a recipientského svalu lze monitorovat sledováním synkinez v obou svalech. Námí navržená technika je nová, objektivní, dobře interpretovatelná a interindividuálně srovnatelná. Její zařazení do pooperačního sledování může významně přispět porozumění, proč některé transfery vykazují lepší funkční výsledek než jiné. Je žádoucí, aby byly provedeny další studie určené k analýze závislosti přítomnosti neuroplasticity na proměnných včetně vlivu intenzity, frekvence či druhu rehabilitace.

Shoda na požadavku hodnotit výsledky operací brachiálního plexu komplexněji než pouze výslednou svalovou silou a zároveň absence univerzálního standardu hodnocení ponechává týmy pečující o pacienty po operacích BP v nejistotě jak hodnotit, vyjadřovat a porovnávat výsledky léčby. Snahou odborné veřejnosti je v současné době vytvoření mezinárodního standardu zahrnujícího minimální dataset pro referování výsledků spolu se standardizací časů, ve kterých budou vyšetření provedena. Toto opatření umožní do budoucna sdružovat data a identifikovat faktory predikující lepší funkční výsledky, na jejichž ovlivnění je účelné se zaměřit.

Výsledky naší práce by mohly k této snaze přispět.

2.7 Resume

Bunnell's philosophy of "to someone who has nothing, a little is a lot " perfectly describes the efforts of surgeons in cases of severe brachial plexus injuries. Complete restoration of mobility and sensation is not yet achievable, but regaining at least basic function of the paralysed limb significantly improves the quality of life of patients.

Nerve transfers are widely used to restore motor function in patients with brachial plexus injury. The changes that arise from their use in the central nervous system have been the subject of intense research over the past two decades, as they have been shown to play a significant role in the functional outcome of surgery.

The process of disconnection of the motor program of the donor and recipient muscles can be observed by monitoring the synkinesis in both muscles. Our proposed technique is novel, objective, easy to interpret and inter-individually comparable. Its inclusion in postoperative monitoring may contribute significantly to the understanding of why some transfers show better functional outcome than others. It is desirable that further studies designed to analyze the relationship of the presence of neuroplasticity to variables including the effect of intensity, frequency, or type of rehabilitation be conducted.

The consensus on the requirement to evaluate brachial plexus surgery outcomes more comprehensively than just the resulting muscle strength, along with the lack of a universal standard of assessment, leaves teams caring for patients after BP surgery uncertain how to evaluate, express, and compare treatment outcomes. The professional community is currently seeking to establish an international standard including a minimum dataset for reporting results, along with standardization of the times at which the tests will be performed. This measure will allow future pooling of data and identification of factors predictive of better functional outcomes that are worth focusing on.

Our results could contribute to this effort.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma brachiálního plexu.....	19
Obrázek 2: Prevalence dle typu léze BP	22
Obrázek 3: Nová klasifikace úrovně poranění BP	25
Obrázek 4: Spontánní aktivita v jehlové EMG	35
Obrázek 5: Časná reinervace – nascent units	36
Obrázek 6: Princip nervového transferu a cerebrální plasticita	42
Obrázek 7: Komplexní hodnocení výsledků	55
Obrázek 8: Cílový soubor pacientů	68
Obrázek 9: Malletova škála.....	74
Obrázek 10: Mallet skóre V	76
Obrázek 11: Mallet skóre IV	76
Obrázek 12: Mallet III.....	77
Obrázek 13: Mallet II	77
Obrázek 14: Mallet I	78
Obrázek 15: Přítomnost synkinez	82
Obrázek 16: Nepřítomnost synkinez	82
Obrázek 17: DASH volitelný modul o práci	83

Seznam tabulek

Tabulka 1: Klasifikace poranění nervu	24
Tabulka 2: Nová klasifikace úrovně poranění BP	25
Tabulka 3: Klasifikace svalové síly podle Seddona a Higheta	27
Tabulka 4: Klinické zhodnocení funkce jednotlivých kořenů.....	28
Tabulka 5: Klinické a elektrofyziologické známky avulze Zdroj: autor.	29
Tabulka 6: Klinické zhodnocení funkce jednotlivých kořenů.....	30
Tabulka 7: Riziko donor site morbidity	37
Tabulka 8: Prognóza poranění periferních nervů dle EMG vyšetření.....	38
Tabulka 9: Nejčastěji užívané neurotizace pro obnovu funkce ramene a lokte	49
Tabulka 10: Metody a cíle pooperační rehabilitace.	52
Tabulka 11: Používané škály objektivního hodnocení	56
Tabulka 12: Používané škály subjektivního hodnocení	55
Tabulka 13: Možnosti ovlivnění regeneračního potenciálu	58
Tabulka 14: Sledovací protokol pro pacienty s lézí BP	70
Tabulka 15: Klasifikace BRMC	71
Tabulka 16: Malletova škála.	75
Tabulka 17: Grading spontánní aktivity	80
Tabulka 18: Tabulka hodnocení de- a reinervačních změn.	81
Tabulka 19: Kvantifikace časných reinervačních změn.....	80
Tabulka 20: Soubor pacientů – demografická data	85
Tabulka 21: Přehled provedených výkonů u jednotlivých pacientů	87
Tabulka 22: Přehled provedených nervových transferů v souboru.	89
Tabulka 23: Klinické výsledky jednotlivých transferů	91
Tabulka 24: Mallet score u jednotlivých pacientů	93
Tabulka 25: Přítomnost časné reinervace u všech transferů	94
Tabulka 26: Přítomnost synkinéz u jednotlivých neurotransferů.....	96
Tabulka 27: Pooperační VAS skóre	97
Tabulka 28: DASH skór	98
Tabulka 29: Změny v plánu sledování pacientů s lézí BP	107

Seznam grafů

Figure 1: Počty operantů v Masarykově nemocnici v Ústí nad Labem	65
Figure 2: Věkové rozložení pacientů s lézí BP. Zdroj: autor.	66
Figure 3: Etiologie léze BP	66
Figure 4: Vzorce léze BP	67
Figure 5: Četnost avulzí jednotlivých kořenů	86
Figure 6: Procentuální zastoupení jednotlivých dárcovských nervů	89
Figure 7: Procentuální zastoupení intra– a extraplexálních dárců v souboru	90
Figure 8: Procento jednotlivých dosažených Mallet skóre	92

Přílohy

Příloha 1: Nervy plexus brachialis

Nerv	Odstup, původ	Inervované svaly
n. suprascapularis	Pars supraclavicularis	m. supra- a infraspinatus
n. dorsalis scapulae	Pars supraclavicularis	mm. rhomboidei a m. levator scapulae
n. thoracicus longus	Pars supraclavicularis	m. serratus ant.
nn. subscapulares	Pars supraclavicularis	m. subscapularis, m. teres major
n. subclavius	Pars supraclavicularis	m. subclavius
n. thoracodorsalis	Pars supraclavicularis	m. latissimus dorsi, m. teres major
n. axillaris	C5–6, FP Pars infraclavicularis	m. deltoideus, m. teres minor
n. radialis	C5–Th1, FP Pars infraclavicularis	m. triceps brachii, m. anconeus, BR, ECRL, ECRB, m. supinator, EDC, ECU, EDM, APL, EI
n. musculocutaneus	C5–7, FL Pars infraclavicularis	CB, BB, B
n. medianus	C5–Th1, FL, FM Pars infraclavicularis	PT, FCR, PL, FDS, FDP (med. polovina), APB, OP, caput superficiale krátkého flexoru palce, m. lumbricalis I+ II
n. ulnaris	C8–Th1, FM Pars infraclavicularis	FCU, FDP (uln. polovina), ADM, m. lumbricalis III+ IV, mm. interossei, m. adductor pollicis a caput profundum krátkého flexoru palce

Příloha 2: Zajištění pohybů horní končetiny, hlavní zúčastněné kořeny. Klíčové svaly uvedené tučně. Vlastní modifikace schémat různých autorů.

Pohyb	Zúčastněné svaly	Kořeny
Abdukce ramene	DM (pars acromialis) 30–90° , SS 0–30° SA, IS, PM, BB caput longum	C5 C6 C7
Addukce ramene	PM, LD, Teres major Teres minor, subscapularis, TB caput longum	C6 C7 C8
Flexe ramene	DM (pars clavicularis), CB, BB (caput breve) PM	C5 C6
Extenze ramene	DM (pars spinalis), LD, Teres major TB caput longum, SS, PM, Teres minor	C5 C6 C7 C8
Zevní rotace ramene	IS, Teres minor DM pars spinalis	C5 C6
Vnitřní rotace ramene	Subscapularis Teres major, LD PM, DM pars clavicularis, BB, CB	C5 C6 C7 C8
Flexe v lokti	BR, BB, B	C5 C6
Extenze v lokti	TB, anconaeus	C6 C7 C8
Pronace	PT, PQ, FCR, PL, ECRL, BR	C7 C8
Supinace	BB, supinator, BR	C5 C6
Flexe zápěstí (palmární flexe)	FCR, FCU, PL, APL	C6 C7 C8
Extenze zápěstí (dorsální flexe)	ECRL, ECRB, ECU, extenzory prstů	C6 C7 C8
Flexe prstů	FDS, FDP, lumbricales, interossei palm.,	C7 C8
Flexe malíku	FDM	C8 Th1
Flexe palce	FPL, FPB	
Extenze prstů	ED, EI, EDM, lumbricales, interossei	C7 C8
Extenze palce	EPL, EPB	
Abdukce prstů	Interossei dorsales, ADM	Th1
Abdukce palce	APL, APB	C7, C8, Th1
Addukce prstů	Interossei palmares	C8, Th1
Addukce palce	Adductor pollicis	

Použité zkratky: DM: m. deltoideus, SS: m. supraspinatus, SA: m. serratus anterior, IS: m. infraspinatus, PM: m. pectoralis major, BB: m. biceps brachii, LD: m. latissimus dorsi, TB: m. triceps brachii, B: m. brachialis, CB: m. coracobrachialis, BR: m. brachioradialis, PQ: m. pronator quadratus, PT: m. pronator teres, FCR: m. flexor carpi radialis, FCU: m. flexor carpi ulnaris, ECRB: m. extensor carpi radialis brevis, ECRL: m. extensor carpi radialis longus, ECU: m. extensor carpi ulnaris, FDP: m. flexor digitorum profundus, FDS: m. flexor digitorum superficialis, FDM: m. flexor digiti minimi, FPB: m. flexor pollicis brevis, FPL: m. flexor pollicis longus, EDC: m. extensor digitorum communis, EDM: m. extensor digiti minimi, EI: m. extensor indicis, EPL: m. extensor pollicis longus, EPB: m. extensor pollicis brevis, ADM: m. abductor digiti minimi, APB: m. abductor pollicis brevis, APL: m. abductor pollicis longus

POSTIŽENÍ PAŽE, RAMENE A RUKY

DASH

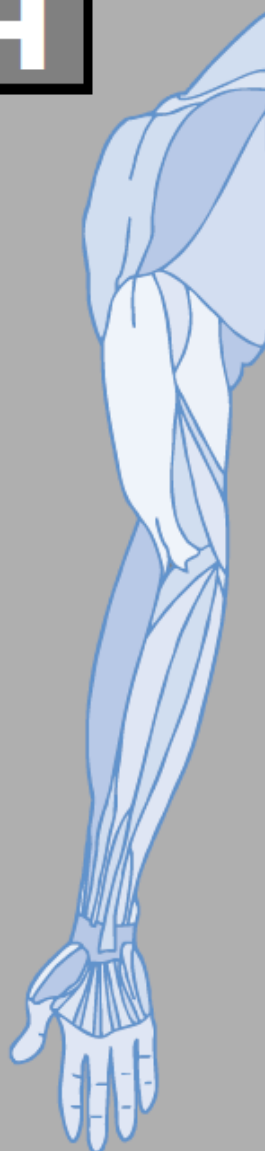
INSTRUKCE

Tento dotazník se ptá na Vaše potíže a schopnost vykonávat určité činnosti.

Odpovězte prosím na *každou otázku* a vycházejte přitom ze svého stavu v minulém týdnu. Zakroužkujte vhodné číslo.

Pokud jste v minulém týdnu tuto činnost neprováděl/a, zkuste co nejlépe odhadnout, jaká odpověď je nejpřesnější.

Nezáleží na tom, kterou ruku k činnosti používáte a na způsobu, jak ji děláte; odpovězte prosím podle toho, jak jste schopen/schopna činnost provádět.



POSTIŽENÍ PAŽE, RAMENE A RUKY

Zhodnotte prosím svou schopnost vykonávat v minulém týdnu dále uvedené činnosti a zakroužkujte číslo pod příslušnou odpovědí.

	ŽÁDNÉ POTÍŽE	MÍRNÉ POTÍŽE	STŘEDNÍ POTÍŽE	ZÁVAŽNÉ POTÍŽE	NEMOHU VYKONÁVAT
1. otevřít těsně zašroubovaný nebo nový uzávěr na sklenici	1	2	3	4	5
2. psát	1	2	3	4	5
3. otočit klíčem	1	2	3	4	5
4. připravit jídlo	1	2	3	4	5
5. zatlačit a otevřít těžké dveře	1	2	3	4	5
6. odložit něco na polici nad hlavou	1	2	3	4	5
7. provádět namáhavé domácí práce (např. umýt podlahu, kachličky)	1	2	3	4	5
8. pracovat na zahradě nebo kolem domu	1	2	3	4	5
9. ustlat postel	1	2	3	4	5
10. nést nákupní tašku nebo aktovku	1	2	3	4	5
11. nést něco těžkého (nad 5 kg)	1	2	3	4	5
12. vyměnit žárovku umístěnou nad hlavou	1	2	3	4	5
13. umýt si vlasy nebo vysušit vlasy fénem	1	2	3	4	5
14. umýt si záda	1	2	3	4	5
15. navléknout si svetr přes hlavu	1	2	3	4	5
16. krájet si jídlo nožem	1	2	3	4	5
17. rekreační činnosti, které nejsou namáhavé (hraní karet, pletení atd.)	1	2	3	4	5
18. rekreační aktivity, při kterých namáháte nebo zatěžujete paži, rameno nebo ruku (např. golf, používání kladívka, tenis atd.)	1	2	3	4	5
19. rekreační aktivity, při kterých volně pohybujete rukou (např. házení lehkých předmětů jako je frisbee, badminton, míč atd.)	1	2	3	4	5
20. dopravit se někam (dostat se z místa na místo)	1	2	3	4	5
21. sexuální aktivity	1	2	3	4	5

POSTIŽENÍ PAŽE, RAMENE A RUKY

	VŮBEC NE	TROCHU	STŘEDNĚ	HODNĚ	MIMOŘÁDNĚ
22. Nakolik Vám během minulého týdne vadily problémy s paží, ramenem nebo rukou při běžných sociálních aktivitách s rodinou, přáteli, sousedy nebo zájmovými skupinami? (zakroužkujte číslo)	1	2	3	4	5

	VŮBEC NEVADILY	TROCHU VADILY	STŘEDNĚ VADILY	VELMI VADILY	VŮBEC TO NEMOHU DĚLAT
23. Vadily Vám během minulého týdne problémy s paží, ramenem nebo rukou při práci nebo jiných pravidelných každodenních činnostech? (zakroužkujte číslo)	1	2	3	4	5

Ohodnotte prosím, jak silné byly v minulém týdnu dále uvedené příznaky (zakroužkujte číslo)

	ŽÁDNÉ	MÍRNÉ	STŘEDNÍ	ZÁVAŽNÉ	MIMOŘÁDNĚ SILNÉ
24. bolesti paže, ramena nebo ruky	1	2	3	4	5
25. bolesti paže, ramena nebo ruky při provádění nějaké konkrétní činnosti	1	2	3	4	5
26. brnění (mravenčení) v paži, rameni nebo ruce	1	2	3	4	5
27. slabost v paži, rameni nebo ruce	1	2	3	4	5
28. ztuhlost v paži, rameni nebo ruce	1	2	3	4	5

	ŽÁDNÉ POTÍŽE	MÍRNÉ POTÍŽE	STŘEDNÍ POTÍŽE	ZÁVAŽNÉ POTÍŽE	TAK VELKÉ POTÍŽE, ŽE NEMOHU SPÁT
29. Jak velké potíže jste měl/a během minulého týdne se spánkem kvůli bolesti paže, ramena nebo ruky? (zakroužkujte číslo)	1	2	3	4	5

	SILNĚ NESOUHLASÍM	NESOUHLASÍM	ANI SOUHLAS ANI NESOUHLAS	SOUHLASÍM	SILNĚ SOUHLASÍM
30. Kvůli problémům s paží, ramenem nebo rukou se cítím méně zdatný/á, méně užitečný/á nebo mám menší sebedůvěru. (zakroužkujte číslo)	1	2	3	4	5

Literatura

1. Belen D, Aciduman A, Er U. History of peripheral nerve repair: may the procedure have been practiced in Hippocratic School? *Surgical Neurology* 2009;72:190–3.
2. Sames M. [Development of peripheral nerve surgery]. *Rozhl Chir* 1998;77:110–6.
3. Shin AY, Pulos N, editors. *Operative brachial plexus surgery: clinical evaluation and management strategies*. Cham: Springer; 2021.
4. Robotti E, Longhi P, Verna G, Bocchiotti G. Bracial plexus surgery. *Hand Clinics* 1995;11:517–33.
5. Smith JW. *Microsurgery Of Peripheral Nerves: Plastic and Reconstructive Surgery* 1964;33:317–29.
6. Seddon HJ. The use of autogenous grafts for the repair of large gaps in peripheral nerves. *British Journal of Surgery* 2005;35:151–67.
7. Thorburn W. A Clinical Lecture on Secondary Suture of the Brachial Plexus. *BMJ* 1900;1:1073–5.
8. Davis L, Martin J, Perret G. The Treatment Of Injuries Of The Brachial Plexus: *Annals of Surgery* 1947;125:647–57.
9. Seddon HJ. Peripheral Nerve Injuries. *Glasgow Med J* 1943;139:61–75.
10. Sunderland S. A Classification Of Peripheral Nerve Injuries Producing Loss Of Function. *Brain* 1951;74:491–516.
11. Yeoman PM, Seddon HJ. Brachial Plexus Injuries: Treatment Of The Flail Arm. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* 1961;43-B:493–500.
12. Birch R. Brachial Plexus Injuries. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* 1996;78-B:986–92.
13. Edshage S. Peripheral Nerve Suture. A Technique For Improved Intraneural Topography. Evaluation Of Some Suture Materials. *Acta Chir Scand Suppl* 1964;15:SUPPL 331:1+.
14. Zvěřina E, Stejskal L. *Poranění periferních nervů*. 1979th ed. Praha: Avicenum;
15. Russell S. Brachial Plexus Anatomy. In: *Examination of peripheral nerve injuries: an anatomical approach*. New York: Thieme; 2015. page 85–138.
16. Schalow G. Ventral root afferent and dorsal root efferent fibres in dog and human lower sacral nerve roots. *Gen Physiol Biophys* 1992;11:123–31.
17. Guday E, Bekele A, Muche A. Anatomical study of prefixed versus postfixed brachial plexuses in adult human cadaver. *ANZ J Surg* 2017;87:399–403.

18. Pellerin M, Kimball Z, Tubbs RS, Nguyen S, Matusz P, Cohen-Gadol AA, et al. The prefixed and postfixed brachial plexus: a review with surgical implications. *Surg Radiol Anat* 2010;32:251–60.
19. Lee JP, Chang JC, Cho SJ, Park HK, Choi SK, Bae HG. A morphometric aspect of the brachial plexus in the periclavicular region. *J Korean Neurosurg Soc* 2009;46:130–5.
20. Kim DH, Hudson AR, Kline DG. *Atlas of peripheral nerve surgery*. 2nd ed. Philadelphia, PA: Elsevier/Saunders; 2013.
21. Maniker AH. *Operative exposures in peripheral nerve surgery*. New York Stuttgart: Thieme; 2005.
22. Chung KC, Yang LJS, McGillicuddy JE. *Practical management of pediatric and adult brachial plexus palsies*. Edinburgh New York: Saunders/Elsevier; 2012.
23. Kim DH, Kline DG. *Kline & Hudson's nerve injuries: operative results for major nerve injuries, entrapments and tumors*. 2nd ed. Philadelphia, PA: Saunders Elsevier; 2008.
24. Socolovsky M, Rasulic L, Midha R, Garozzo D. *Manual of Peripheral Nerve Surgery*.
25. O'Berry P, Brown M, Phillips L, Evans SH. Obstetrical Brachial Plexus Palsy. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care* 2017;47:151–5.
26. Humhej I, Sameš M. Možnosti rekonstrukce poraněného brachiálního plexu. *Neurol. praxi* 2019;20:249–58.
27. Kaiser R, Waldauf P, Ullas G, Krajcová A. Epidemiology, etiology, and types of severe adult brachial plexus injuries requiring surgical repair: systematic review and meta-analysis. *Neurosurg Rev* 2020;43:443–52.
28. Haninec P, Kaiser R. Operační léčba poranění plexus brachialis. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie* 2011;107:619–30.
29. Mollberg M, Ladfors LV, Strömbeck C, Elden H, Ladfors L. Increased incidence of shoulder dystocia but a declining incidence of obstetric brachial plexus palsy in vaginally delivered infants. *Acta Obstet Gynecol Scand* 2023;102:76–81.
30. Al-Qattan MM, El-Sayed AAF, Al-Kharfy TM, Al-Jurayyan NAM. Obstetrical Brachial Plexus Injury in Newborn Babies Delivered by Caesarean Section. *Journal of Hand Surgery* 1996;21:263–5.
31. Cho ÁB, Guerreiro AC, Ferreira CHV, Kiyohara LY, Sorrenti L. Epidemiological study of traumatic brachial plexus injuries. *Acta Ortop Bras* 2020;28:16–8.
32. Midha R. Epidemiology of Brachial Plexus Injuries in a Multitrauma Population: *Neurosurgery* 1997;40:1182–9.
33. Soldado F, Ghizoni MF, Bertelli J. Injury mechanisms in supraclavicular stretch injuries of the brachial plexus. *Hand Surgery and Rehabilitation* 2016;35:51–4.
34. Narakas AO. The treatment of brachial plexus injuries. *International Orthopaedics* 1985;9:29–36.

35. Ehler E. Iatrogenic peripheral nerve damage. *Neurol. pro Praxi* 2019;20:276–80.
36. Bertelli JA, Ghizoni MF. Use of clinical signs and computed tomography myelography findings in detecting and excluding nerve root avulsion in complete brachial plexus palsy. *JNS* 2006;105:835–42.
37. Shah V, Coroneos CJ, Ng E. The evaluation and management of neonatal brachial plexus palsy. *Paediatrics & Child Health* 2021;26:493–7.
38. Sakellariou VI, Badilas NK, Mazis GA, Stavropoulos NA, Kotoulas HK, Kyriakopoulos S, et al. Brachial Plexus Injuries in Adults: Evaluation and Diagnostic Approach. *ISRN Orthopedics* 2014;2014:1–9.
39. Wilson TJ, Yang LJS, editors. *Peripheral nerve surgery*. New York: Oxford University Press; 2019.
40. Thaploo D, Bhat DI, Kulkarni MV, Devi BI. Brachial plexus injury and resting-state fMRI: Need for consensus. *Neurol India* 2019;67:679–83.
41. Clifton WE, Stone JJ, Kumar N, Marek T, Spinner RJ. Delayed Myelopathy in Patients with Traumatic Preganglionic Brachial Plexus Avulsion Injuries. *World Neurosurg* 2019;122:e1562–9.
42. Kumar A, Leodante D. Dropped head syndrome in brachial plexus injury: A technical note. *Neurol India* 2017;65:411–3.
43. Lovaglio AC, Socolovsky M, Di Masi G, Bonilla G. Treatment of neuropathic pain after peripheral nerve and brachial plexus traumatic injury. *Neurol India* 2019;67:S32–7.
44. Teixeira MJ, da Paz MG da S, Bina MT, Santos SN, Raicher I, Galhardoni R, et al. Neuropathic pain after brachial plexus avulsion--central and peripheral mechanisms. *BMC Neurol* 2015;15:73.
45. Landi A, Copeland S. Value of the Tinel sign in brachial plexus lesions. *Ann R Coll Surg Engl* 1979;61:470–1.
46. Humhej I, Ibrahim I, Sameš M, Tintěra J, Hořínek D, Čižmář I. Imaging of peripheral nerves using diffusion tensor imaging and MR tractography. *Cesk Slov Neurol N* 2018;81/114:420–6.
47. Humhej I, Ibrahim I, Sameš M, Tintěra J, Čižmář I. Imaging possibilities of the brachial and lumbosacral plexus using advanced magnetic resonance techniques. *Neurol. pro Praxi* 2019;20:49–53.
48. Nagano A, Ochiai N, Sugioka H, Hara T, Tsuyama N. Usefulness of myelography in brachial plexus injuries. *J Hand Surg Br* 1989;14:59–64.
49. Laohaprasitiporn P, Wongtrakul S, Vathana T, Limthongthang R, Songcharoen P. Is Pseudomeningocele an Absolute Sign of Root Avulsion Brachial Plexus Injury? *J Hand Surg Asian-Pac Vol* 2018;23:360–3.

50. Abul-Kasim K, Backman C, Björkman A, Dahlin L. Advanced radiological work-up as an adjunct to decision in early reconstructive surgery in brachial plexus injuries. *J Brachial Plex Peripher Nerve Inj* 2014;05:e75–81.
51. Gunes A, Bulut E, Uzumcugil A, Oguz KK. Brachial Plexus Ultrasound and MRI in Children with Brachial Plexus Birth Injury. *AJNR Am J Neuroradiol* 2018;39:1745–50.
52. Gu S, Zhao Q, Yao J, Zhang L, Xu L, Chen W, et al. Diagnostic Ability of Ultrasonography in Brachial Plexus Root Injury at Different Stages Post-trauma. *Ultrasound Med Biol* 2022;48:1122–30.
53. Vasko P, Bocek V, Mencl L, Haninec P, Stetkarova I. Preserved cutaneous silent period in cervical root avulsion. *J Spinal Cord Med* 2017;40:175–80.
54. Ridzoň P. Traumata brachiálního plexu a jeho větví. *Neurol.praxi* 2008;9–13.
55. Koval MV, Gryb VA, Gerasymchuk VR, Liskevych II. Clinical and neurophysiological Parallels of the brachial plexopathy in the structure of neurogenic thoracic outlet syndrome. *Wiad Lek* 2022;75:469–72.
56. Vasko P, Mencl L, Haninec P, Boček V, Leis AA, Stetkarova I. Neurofyziologická vyšetření u traumatických lézí brachiálního plexu. *Česká a Slovenská neurologie a neurochirurgie* 2016;5:595–9.
57. Fu S, Gordon T. Contributing factors to poor functional recovery after delayed nerve repair: prolonged axotomy. *J. Neurosci.* 1995;15:3876–85.
58. Kim KH, Kim GY, Lim SG, Park BK, Kim DH. A More Precise Electromyographic Needle Approach for Examination of the Rhomboid Major. *PM R* 2018;10:1380–4.
59. Balakrishnan G, Kadadi BK. Clinical examination versus routine and paraspinal electromyographic studies in predicting the site of lesion in brachial plexus injury. *J Hand Surg Am* 2004;29:140–3.
60. Uetani M, Hayashi K, Hashmi R, Nakahara N, Aso N, Ito N. Traction injuries of the brachial plexus: signal intensity changes of the posterior cervical paraspinal muscles on MRI. *J Comput Assist Tomogr* 1997;21:790–5.
61. Clarkson JHW, Ozyurekoglu T, Mujadzic M, Iyer V, Breidenbach WC. An Evaluation of the Information Gained from the Use of Intraoperative Nerve Recording in the Management of Suspected Brachial Plexus Root Avulsion: *Plastic and Reconstructive Surgery* 2011;127:1237–43.
62. Hudec J, Kosinová M, Němec M. Basic principles of anaesthetic care for intraoperative transcranial motor evoked potentials monitoring. *Cesk Slov Neurol N [Internet]* 2022 [cited 2023 May 16];85/118. Available from: <https://www.csnm.eu/en/journals/czech-and-slovak-neurology-and-neurosurgery/2022-6-10/basic-principles-of-anaesthetic-care-for-intraoperative-transcranial-motor-evoked-potentials-monitoring-133180>
63. Kline DG, Hackett ER, May PR. Evaluation of Nerve Injuries by Evoked Potentials and Electromyography. *Journal of Neurosurgery* 1969;31:128–36.

64. Oberle J, Antoniadis G, Kast E, Richter HP. Evaluation of Traumatic Cervical Nerve Root Injuries by Intraoperative Evoked Potentials. *Neurosurgery* 2002;51:1182–90.
65. Krarup C, Boeckstyns M, Ibsen A, Moldovan M, Archibald S. Remodeling of motor units after nerve regeneration studied by quantitative electromyography. *Clinical Neurophysiology* 2016;127:1675–82.
66. Socolovsky M, Barillaro K, Bonilla G, Masi GD, Malessy M. Nerve transfers for brachial plexus injuries: grading of volitional control. *J Neurosurg* 2023;138:1419–25.
67. Habekost B, Germann M, Baker SN. Plastic changes in primate motor cortex following paired peripheral nerve stimulation. *Journal of Neurophysiology* 2021;125:458–75.
68. Dancause N, Nudo RJ. Shaping plasticity to enhance recovery after injury [Internet]. In: *Progress in Brain Research*. Elsevier; 2011 [cited 2023 Apr 24]. page 273–95. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444533555000154>
69. Feng JT, Liu HQ, Hua XY, Gu YD, Xu JG, Xu WD. Brain functional network abnormality extends beyond the sensorimotor network in brachial plexus injury patients. *Brain Imaging and Behavior* 2016;10:1198–205.
70. Socolovsky M, Malessy M. Brain changes after peripheral nerve repair: limitations of neuroplasticity. *J Neurosurg Sci* [Internet] 2021 [cited 2023 Apr 15];65. Available from: <https://www.minervamedica.it/index2.php?show=R38Y2021N04A0421>
71. Socolovsky M, Malessy M, Lopez D, Guedes F, Flores L. Current concepts in plasticity and nerve transfers: relationship between surgical techniques and outcomes. *FOC* 2017;42:E13.
72. Socolovsky M, Bonilla G, Lovaglio AC, Masi G di. Differences in strength fatigue when using different donors in traumatic brachial plexus injuries. *Acta Neurochir* 2020;162:1913–9.
73. Vachata P, Brusakova S, Lodin J, Sames M. Masseteric nerve supercharge bypass in primary reconstruction of facial nerve. *Acta Neurochir* 2019;161:1089–94.
74. Sturma A, Hruby LA, Farina D, Aszmann OC. Structured Motor Rehabilitation After Selective Nerve Transfers. *JoVE* 2019;59840.
75. Bertelli J, Ghizoni M. Results and current approach for Brachial Plexus reconstruction. *J Brachial Plex Peripher Nerve Inj* 2014;06:e54–61.
76. Haninec P, Šámal F, Tomáš R, Houstava L, Dubový P. Direct repair (nerve grafting), neurotization, and end-to-side neurotization in the treatment of brachial plexus injury. *JNS* 2007;106:391–9.
77. Humhej I, Vachata P. 10 Fyziologie poranění a principy regenerace periferního nervu.
78. Gosk J, Knakiewicz M, Wiacek R, Reichert P. [The use of the fibrin glue in the peripheral nerves reconstructions]. *Polim Med* 2006;36:11–5.

79. Mitchell EC, Haddara MM, Wu KY, Chambers SB, Ferreira LM, Gillis JA. Strength Comparison of Fibrin Glue and Suture Constructs in Upper Extremity Peripheral Nerve Coaptations: An In Vitro Study. *The Journal of Hand Surgery* 2022;S036350232100798X.
80. Humhej I, Sameš M. Reconstruction possibilities of injured brachial plexus. *Neurol. pro Praxi* 2019;20:249–58.
81. Piedra Buena IT, Fichman M. Sural Nerve Graft [Internet]. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [cited 2023 May 14]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557715/>
82. Pedrini FA, Boriani F, Bolognesi F, Fazio N, Marchetti C, Baldini N. Cell-Enhanced Acellular Nerve Allografts for Peripheral Nerve Reconstruction: A Systematic Review and a Meta-Analysis of the Literature. *Neurosurg.* 2019;85:575–604.
83. Hoben G, Yan Y, Iyer N, Newton P, Hunter DA, Moore AM, et al. Comparison of Acellular Nerve Allograft Modification with Schwann Cells or VEGF. *Hand (New York, N.Y.)* 2015;10:396–402.
84. Tamez-Mata Y, Pedroza-Montoya FE, Martínez-Rodríguez HG, García-Pérez MM, Ríos-Cantú AA, González-Flores JR, et al. Nerve gaps repaired with acellular nerve allografts recellularized with Schwann-like cells: Preclinical trial. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery* 2022;75:296–306.
85. Yin Q, Kemp GJ, Frostick SP. Neurotrophins, Neurones and Peripheral Nerve Regeneration. *Journal of Hand Surgery* 1998;23:433–7.
86. Tannemaat MR, Boer GJ, Eggers R, Malessy MJA, Verhaagen J. From microsurgery to nanosurgery: how viral vectors may help repair the peripheral nerve [Internet]. In: *Progress in Brain Research*. Elsevier; 2009 [cited 2023 May 14]. page 173–86. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S007961230917512X>
87. Ayhan E, Soldado F, Fontecha CG, Bertelli JA, Leblebicioglu G. Elbow flexion reconstruction with nerve transfer or grafting in patients with brachial plexus injuries: A systematic review and comparison study. *Microsurgery* 2020;40:79–86.
88. Baltzer HL, Kircher MF, Spinner RJ, Bishop AT, Shin AY. A Comparison of Outcomes of Triceps Motor Branch-to-Axillary Nerve Transfer or Sural Nerve Interpositional Grafting for Isolated Axillary Nerve Injury. *Plastic and Reconstructive Surgery* 2016;138:256e–64e.
89. Tora MS, Hardcastle N, Texakalidis P, Wetzel J, Chern JJ. Elbow flexion in neonatal brachial plexus palsy: a meta-analysis of graft versus transfer. *Childs Nerv Syst* 2019;35:929–35.
90. Bertelli JA, Ghizoni MF. Nerve Root Grafting and Distal Nerve Transfers for C5-C6 Brachial Plexus Injuries. *The Journal of Hand Surgery* 2010;35:769–75.
91. Xiao F, Zhao X, Lao J. Comparative study of single and dual nerve transfers for repairing shoulder abduction. *Acta Neurochir* 2019;161:673–8.

92. Azzi AJ, AlNaeem H, Aubin-Lemay C, Kvann JC, Alam P, Retrouvey H, et al. Restoration of shoulder motion using single- versus dual-nerve repair in obstetrical brachial plexus injury. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics* 2018;21:511–5.
93. Sneiders D, Bulstra LF, Hundepool CA, Treling WJ, Hovius SER, Shin AY. Outcomes of Single versus Double Fascicular Nerve Transfers for Restoration of Elbow Flexion in Patients with Brachial Plexus Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Plastic and Reconstructive Surgery* 2019;144:155–66.
94. Martins RS, Siqueira MG, Heise CO, Foroni L, Teixeira MJ. A Prospective Study Comparing Single and Double Fascicular Transfer to Restore Elbow Flexion After Brachial Plexus Injury. *Neurosurgery* 2013;72:709–15.
95. Carlsen BT, Kircher MF, Spinner RJ, Bishop AT, Shin AY. Comparison of Single versus Double Nerve Transfers for Elbow Flexion after Brachial Plexus Injury: *Plastic and Reconstructive Surgery* 2011;127:269–76.
96. Doi K, Hattori Y, Tan SH, Dhawan V. Basic science behind functioning free muscle transplantation. *Clinics in Plastic Surgery* 2002;29:483–95.
97. Aszmann OC, Roche AD, Salminger S, Paternostro-Sluga T, Herceg M, Sturma A, et al. Bionic reconstruction to restore hand function after brachial plexus injury: a case series of three patients. *The Lancet* 2015;385:2183–9.
98. Hruby LA, Sturma A, Mayer JA, Pittermann A, Salminger S, Aszmann OC. Algorithm for bionic hand reconstruction in patients with global brachial plexopathies. *Journal of Neurosurgery* 2017;127:1163–71.
99. Yeves-Lite A, Zuñil-Escobar JC, Martínez-Cepa C, Romay-Barrero H, Ferri-Morales A, Palomo-Carrión R. Conventional and Virtual Reality Mirror Therapies in Upper Obstetric Brachial Palsy: A Randomized Pilot Study. *JCM* 2020;9:3021.
100. Frade F, Gómez-Salgado J, Jacobsohn L, Florindo-Silva F. Rehabilitation of Neonatal Brachial Plexus Palsy: Integrative Literature Review. *JCM* 2019;8:980.
101. Okafor U, Akinbo S, Sokunbi O, Okanlawon A, Noronha C. Comparison of electrical stimulation and conventional physiotherapy in functional rehabilitation in Erb's Palsy. *Nig. Q. J. Hosp. Med.* [Internet] 2009 [cited 2023 May 4];18. Available from: <http://www.ajol.info/index.php/nqjhm/article/view/45029>
102. Novak CB, von der Heyde RL. Evidence and Techniques in Rehabilitation Following Nerve Injuries. *Hand Clinics* 2013;29:383–92.
103. Priganc VW, Stralka SW. Graded Motor Imagery. *Journal of Hand Therapy* 2011;24:164–9.
104. Dubert T. Outcome measurements in hand and upper limb surgery. *Chirurgie de la Main* 2014;33:235–46.
105. Mancuso CA, Lee SK, Saltzman EB, Model Z, Landers ZA, Dy CJ, et al. Development of a Questionnaire to Measure Impact and Outcomes of Brachial Plexus Injury. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 2018;100:e14.

106. Haldane C, Frost G, Ogalo E, Bristol S, Doherty C, Berger M. A systematic review and meta-analysis of patient-reported outcomes following nerve transfer surgery for brachial plexus injury. *PM&R* 2022;14:1368–81.
107. Dy CJ, Garg R, Lee SK, Tow P, Mancuso CA, Wolfe SW. A Systematic Review of Outcomes Reporting for Brachial Plexus Reconstruction. *The Journal of Hand Surgery* 2015;40:308–13.
108. Estrella EP, Orillaza NS, Castillo-Carandang NT, Cordero CP, Juban NR. The Validity, Reliability and Internal Consistency of the Cross-Cultural Adaptation of the FIL-DASH (Filipino Version of the Disability of the Arm, Shoulder and Hand) Questionnaire in Patients with Traumatic Brachial Plexus Injuries. *J Hand Surg Asian-Pac Vol* 2019;24:456–61.
109. Delioğlu K, Seyhan Bıyık K, Uzunçugil A, Kerem Günel M. “How Well” and “How Often” questions for birth brachial plexus injury: a validity and reliability of the pediatric upper extremity motor activity log-revised. *Disability and Rehabilitation* 2022;1–7.
110. van der Holst M, Geerdink Y, Aarts P, Steenbeek D, Pondaag W, Nelissen RG, et al. Hand-Use-at-Home Questionnaire: validity and reliability in children with neonatal brachial plexus palsy or unilateral cerebral palsy. *Clin Rehabil* 2018;32:1363–73.
111. Smith BW, Chang KWC, Saake SJ, Yang LJS, Chung KC, Brown SH. Quantifying Real-World Upper-Limb Activity Via Patient-Initiated Movement After Nerve Reconstruction for Upper Brachial Plexus Injury. *Neurosurg*. 2019;85:369–74.
112. Menorca RMG, Fussell TS, Elfar JC. Nerve Physiology. *Hand Clinics* 2013;29:317–30.
113. Kaiser R, Haninec P. Degeneration and regeneration of the peripheral nerve. *Cesk Fysiol* 2012;61:9–14.
114. Hobson MI, Green CJ, Terenghi G. VEGF enhances intraneural angiogenesis and improves nerve regeneration after axotomy. *J Anatomy* 2000;197:591–605.
115. Joshi AR, Bobylev I, Zhang G, Sheikh KA, Lehmann HC. Inhibition of Rho-kinase differentially affects axon regeneration of peripheral motor and sensory nerves. *Experimental Neurology* 2015;263:28–38.
116. Sakai H, Zhou Y, Miyauchi Y, Suzuki Y, Ikeno Y, Kon R, et al. Increased 20S Proteasome Expression and the Effect of Bortezomib during Cisplatin-Induced Muscle Atrophy. *Biol Pharm Bull* 2022;45:910–8.
117. Abati E, Manini A, Comi GP, Corti S. Inhibition of myostatin and related signaling pathways for the treatment of muscle atrophy in motor neuron diseases. *Cell Mol Life Sci* 2022;79:374.
118. Pascual-Leone A, Taylor MJ. A Developmental Framework of Brain and Cognition from Infancy to Old Age. *Brain Topogr* 2011;24:183–6.
119. Lundborg G. Brain Plasticity and Hand Surgery: an Overview. *Journal of Hand Surgery* 2000;25:242–52.

120. Fox K, Schlaggar BL, Glazewski S, O’Leary DD. Glutamate receptor blockade at cortical synapses disrupts development of thalamocortical and columnar organization in somatosensory cortex. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1996;93:5584–9.
121. Weise K, Numssen O, Kalloch B, Zier AL, Thielscher A, Haueisen J, et al. Precise motor mapping with transcranial magnetic stimulation. *Nat Protoc* 2023;18:293–318.
122. Jensen JL, Marstrand PCD, Nielsen JB. Motor skill training and strength training are associated with different plastic changes in the central nervous system. *Journal of Applied Physiology* 2005;99:1558–68.
123. Bhat DI, Indira Devi B, Bharti K, Panda R. Cortical plasticity after brachial plexus injury and repair: a resting-state functional MRI study. *FOC* 2017;42:E14.
124. Bisio A, Avanzino L, Gueugneau N, Pozzo T, Ruggeri P, Bove M. Observing and perceiving: A combined approach to induce plasticity in human motor cortex. *Clinical Neurophysiology* 2015;126:1212–20.
125. Bonifácio de Assis ED, Martins WKN, de Carvalho CD, Ferreira CM, Gomes R, de Almeida Rodrigues ET, et al. Effects of rTMS and tDCS on neuropathic pain after brachial plexus injury: a randomized placebo-controlled pilot study. *Sci Rep* 2022;12:1440.
126. Dongés SC, D’Amico JM, Butler JE, Taylor JL. Involvement of *N*-methyl-*D*-aspartate receptors in plasticity induced by paired corticospinal-motoneuronal stimulation in humans. *Journal of Neurophysiology* 2018;119:652–61.
127. Ferreira CM, de Carvalho CD, Gomes R, Bonifácio de Assis ED, Andrade SM. Transcranial Direct Current Stimulation and Mirror Therapy for Neuropathic Pain After Brachial Plexus Avulsion: A Randomized, Double-Blind, Controlled Pilot Study. *Front. Neurol.* 2020;11:568261.
128. Contreras E, Bolívar S, Navarro X, Udina E. New insights into peripheral nerve regeneration: The role of secretomes. *Experimental Neurology* 2022;354:114069.
129. Salminger S, Mayer JA, Sturma A, Riedl O, Bergmeister KD, Aszmann OC. Prothetische Rekonstruktion der oberen Extremität. *Unfallchirurg* 2016;119:408–13.
130. Xu W, Guo Y, Bravo C, Ben-Tzvi P. Design, Control, and Experimental Evaluation of a Novel Robotic Glove System for Patients With Brachial Plexus Injuries. *IEEE Trans. Robot.* 2023;39:1637–52.
131. Androwis GJ, Engler A, Rana S, Kirshblum S, Yue GH. The Rehabilitation Effects of Myoelectric Powered Wearable Orthotics on Improving Upper Extremity Function in Persons with SCI [Internet]. In: 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). Mexico: IEEE; 2021 [cited 2023 May 12]. page 4944–8. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9630972/>
132. Pundik S, McCabe J, Skelly M, Salameh A, Naft J, Chen Z, et al. Myoelectric Arm Orthosis in Motor Learning-Based Therapy for Chronic Deficits After Stroke and Traumatic Brain Injury. *Front. Neurol.* 2022;13:791144.

133. Nyman E, Nyman T, Rubensson C, Thordstein M. Neuroplasticity following Nerve Transfer of the Anterior Interosseous Nerve for Proximal Ulnar Nerve Injuries. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open* 2021;9:e3684.
134. Malessy MJA, Hoffmann CFE, Thomeer RTWM. Initial report on the limited value of hypoglossal nerve transfer to treat brachial plexus root avulsions. *Journal of Neurosurgery* 1999;91:601–4.
135. Russo SA, Topley MT, Richardson RT, Richards JG, Chafetz RS, Rapp van Roden EA, et al. Assessment of the relationship between Brachial Plexus Profile activity short form scores and modified Mallet scores. *Journal of Hand Therapy* 2022;35:51–7.
136. Al-Qattan MM, El-Sayed AAF. Obstetric Brachial Plexus Palsy: The Mallet Grading System for Shoulder Function—Revisited. *BioMed Research International* 2014;2014:1–3.
137. Suroto H, Rahman A. Traumatic brachial plexus injury: proposal of an evaluation functional prognostic scoring system. *British Journal of Neurosurgery* 2021;1–5.
138. Suroto H, Rifqi Farizan Akbar M, Aprilya D, Pribadi F. Validity and Reliability of Prognosis Brachial Plexus Injury Score for Traumatic Brachial Plexus Injury. *Clin Orthop Surg* 2023;15:153.
139. Scarfone H, McComas AJ, Pape K, Newberry R. Denervation and reinnervation in congenital brachial palsy. *Muscle Nerve* 1999;22:600–7.
140. Wilcox M, Dos Santos Canas L, Hargunani R, Tidswell T, Brown H, Modat M, et al. Volumetric MRI is a promising outcome measure of muscle reinnervation. *Sci Rep* 2021;11:22433.
141. Sulaiman OAR, Kim DD, Burkett C, Kline DG. Nerve Transfer Surgery For Adult Brachial Plexus Injury: A 10-Year Experience At Louisiana State University. *Neurosurgery* 2009;65:A55–62.
142. Kim DH, Cho YJ, Tiel RL, Kline DG. Outcomes of surgery in 1019 brachial plexus lesions treated at Louisiana State University Health Sciences Center. *Journal of Neurosurgery* 2003;98:1005–16.
143. Malessy MJA, de Ruyter GCW, de Boer KS, Thomeer RTWM. Evaluation of suprascapular nerve neurotization after nerve graft or transfer in the treatment of brachial plexus traction lesions. *Journal of Neurosurgery* 2004;101:377–89.
144. Moiyadi AV, Devi BI, Sivaraman Nair KP. Brachial plexus injuries: outcome following neurotization with intercostal nerve. *JNS* 2007;107:308–13.
145. Samardzic MM, Grujicic DM, Rasulic LG, Milicic BR. The use of thoracodorsal nerve transfer in restoration of irreparable C5 and C6 spinal nerve lesions. *British Journal of Plastic Surgery* 2005;58:541–6.

Přehled publikací autora

Práce související s dizertační prací:

Původní vědecké publikace s IF

Brušáková Š, Holečková I, Lodin J, Ceé J, Zítek H, Skálová V, Humhej I. **Diagnostika kořenové avulze u poranění brachiálního plexu před chirurgickým výkonem.** Cesk Slov Neurol N 2023.

Lodin J, Brušáková Š, Kachlík D, Sameš M, Humhej I. **Acute piriformis syndrome mimicking cauda equina syndrome: illustrative case.** J Neurosurg Case Lessons. 2021 Oct 25;2(17):CASE21252. doi: 10.3171/CASE21252. PMID: 36060900; PMCID: PMC9435562.

Lodin J, Brušáková Š, Kachlík D, Sameš M, Humhej I. **Results of surgical treatment of 15 patients with meralgia paresthetica.** Cesk Slov Neurol N [Internet] 2022 85(1), 38-43. ISSN 1210-7859. doi:10.48095/cccsnn202238.

Vachata P, Brusakova S, Lodin J, Sames M. **Masseteric nerve supercharge bypass in primary reconstruction of facial nerve.** Acta Neurochir 2019;161:1089–94.

Publikovaná abstrakta

Brusakova S, Humhej I, Cee J, Sames M. ID 397 – **EMG and clinical outcome of Leechavenvong's transfer, preliminary results.** Clinical Neurophysiology 2016;127:e131.

Brusakova S, Vachata P, Lodin J, Sames M. P83-F **Reinnervation in masseteric nerve supercharge bypass in primary reconstruction of facial nerve.** Clinical Neurophysiology 2019;130:e91.

Brušáková Š, Humhej I, Ceé J. TH-157. **Synkinesis monitoring after nerve transfer procedures in brachial plexus surgery.** Clinical Neurophysiology 2022;141:S129.

Cee J, Brusakova S, Humhej I. P93-T **EMG and clinical results of Leechavengvongs transfer, our experiences.** Clinical Neurophysiology 2019;130: e66–7.

Seznam přednášek/ posterů přednesených uchazečem na odborných fórech

EMG vyšetření u radikulopatií dolních končetin – MUDr. Štěpánka Brušáková, MBA. 2022. 27. Podkrušnohorské elektrofyziologické dny.

Piriformis syndrom, diagnostika a diferenciální diagnostika – MUDr. Štěpánka Brušáková, MBA, MUDr. Ivan Humhej, Ph.D., MUDr. Jan Lodin 2022. Ústí nad Labem. 2. Dny praktické neurologie.

EMG pro chirurgické plánování a sledování po chirurgických výkonech – MUDr. Štěpánka Brušáková, MBA, MUDr. Ivan Humhej, Ph.D., MUDr. Jan Lodin. 2022. Bratislava SCNZ.

Acute piriformis syndrome mimicking cauda equina syndrome: a case report – Brušáková Š, Lodin J, Kachlík D, Sameš M, Humhej I. 2022 Vienna EAN.

Long-term results of microsurgical reconstruction of distal traumatic median and ulnar nerve lesions – MUDr. Štěpánka Brušáková, MBA, MUDr. Ivan Humhej, Ph.D., MUDr. Jan Lodin 2022 Vienna EAN.

Úloha EMG vyšetření v diagnostice lézí brachiálního plexu v době rozvoje metod zobrazovacích – Štěpánka Brušáková, Ivan Humhej, David Škvára, 2021, Praha, 67. Český a Slovenský sjezd klinické neurofyziologie.

Synkiniezy po neurochirurgických výkonech na periferních nervech – Štěpánka Brušáková, Ivan Humhej, Jiří Ceé, 2021, Praha, 67. Český a Slovenský sjezd klinické neurofyziologie.

Indikace a možnosti elektrofyziologie u vertebrogenních onemocnění – MUDr. Jiří Ceé, MUDr. Štěpánka Brušáková, MBA, 2021, Ústí nad Labem, 1. dny praktické neurologie.

Melkerssonův– Rosenthalův syndrom – Štěpánka Brušáková, Jiří Ceé. 2018. Martin. 32. Slovenský a český neurologický zjazd.

Transfer tricipitálních větví n. Radialis k n. Axillaris (dle Leechavengvongse) u poranění brachiálního plexu, předběžné klinické a EMG výsledky – Štěpánka Brušáková, Ivan Humhej, Jiří Ceé. 2018. Martin. 32. Slovenský a český neurologický zjazd.

BPI – výsledky chirurgické léčby – Humhej, Brušáková – 2018, Chomutov. 23. Podkrušnohorské elektrofyziologické dny.

Mononeuropatie dolní končetiny – Brušáková – Doporučené postupy a aktuality pro praxi 2017, ČLS JEP.

Úloha elektrofyziologického vyšetření brachiálního plexu u dětí a dospělých – Brušáková Š – Krajský seminář Léčba poranění brachiálního plexu u dětí a dospělých.

Rekonstrukce vysoké léze n. ulnaris pomocí neurotizace z n. medianus – Humhej I, Brušáková Š – Chomutov, 22. Podkrušnohorské elektrofyziologické dny.

Nejčastější bolestivé mononeuropatie na HKK – Doporučené postupy a aktuality pro praxi 2016, ČLS JEP.

Ostatní publikace

Původní vědecké publikace s IF

Vachata P, Lodin J, Bolcha M, Brušáková Š, Sameš M. **Acute Progressive Pediatric Post-Traumatic Kyphotic Deformity**. Children 2023;10:932.

Černík D, Bartoš R, Neradová J, Frenštátská N, Cihlár F, Brušáková Š, et al. Case report: Combined acute revascularization in early bilateral carotid stent occlusion. Front. Neurol. 2022;13:992685.

Hejčl A, Jiránková K, Malucelli A, Sejkorová A, Radovnický T, Bartoš R, et al. **Selective internal carotid artery cross-clamping increases the specificity of cerebral oximetry for indication of shunting during carotid endarterectomy**. Acta Neurochir 2021;163:1807–17.

Ospalík D, Bartoš R, Němcová V, Brušáková Š, Černík D, Cihlár F, et al. **Vascular morphology, symptoms, diagnostics and treatment of brainstem ischemic stroke**. Cesk Slov Neurol N 2020;83/116:127–39.

Původní vědecké práce uveřejněné v recenzovaných časopisech

Javornická K, Jirmusová T, Brušáková Š, Černík D. **Subacute cerebellar degeneration, or Antibodies as an enemy**. Neurol. pro Praxi 2023;24:70–2.

Publikovaná abstrakta

Brušáková Š, Ceé J, Ospalík D, Adamek D. TH-158. **Using of electrophysiologic methods in posterior circulation stroke; reliability and correlation with DWI MR**. Clinical Neurophysiology 2022;141:S129.

Brušáková Š, Ceé J, Ospalík D, Adámek D. P41-F **Reliability of BAEP, MEP and blink reflex (BR) combination in posterior circulation ischemic stroke.** Clinical Neurophysiology 2019;130:e79.

Grantová činnost

Aktuální granty:

IGA-KZ-2020-1-13 **Hodnocení reinervačních změn po rekonstrukčních výkonech na periferních nervech,** hlavní řešitel

IGA-KZ-2021-1-18 **Léčba dvojitého útlaku loketního nervu v loketní krajíně a zápěstí (v Guyonově kanálu),** spoluřešitel

IGA-KZ-2021-1-16 **Ischemie vertebrobasilárního povodí – hodnocení rizik a optimalizace léčebné strategie,** spoluřešitel

IGA-KZ-2021-1-17 **Prediktivní faktory maligní transformace mozkové ischemie,** spoluřešitel

IGA-KZ-2020-1-7 **Korelace biochemických, radiologických a histopatologických parametrů u akutní ischemické cévní mozkové příhody,** spoluřešitel

Ukončené granty:

IGA KZ 217 112 005: **Spolehlivost neurofyziologických metod v detekci mozkových infarktů v zadní cirkulaci; srovnání s výsledky zobrazovacích vyšetření,** hlavní řešitel

IGA KZ 217 111 013: **Monitorace SSEP a NIRS u awake operací karotických endarterektomií,** spoluřešitel