

**Univerzita Karlova**

**1. lékařská fakulta**

Studijní program: Experimentální chirurgie



**UNIVERZITA KARLOVA**  
1. lékařská fakulta

MUDr. Aneta Krajcová

**Anatomické možnosti rekonstrukce  
nervus suprascapularis zadním přístupem**

Anatomical possibilities of the suprascapular nerve  
reconstruction by dorsal approach

Disertační práce

Školitel: doc. MUDr. Radek Kaiser, Ph.D.

Konzultant: as. MUDr. Veronika Němcová, CSc.

Praha, 2023

V Praze dne 4. ledna 2023

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a použila jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu literatury. 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.

Aneta Krajcová

Identifikační záznam:

KRAJCOVÁ, Aneta. *Anatomické možnosti rekonstrukce nervus suprascapularis zadním přístupem.* [Anatomical possibilities of the suprascapular nerve reconstruction by dorsal approach]. Praha, 2023. Počet stran: 76, počet příloh: 4. Disertační práce. Univerzita Karlova, 1. lékařská fakulta, Anatomický ústav 1. LF UK. Školitel: Kaiser, Radek. Konzultant: Němcová, Veronika.

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému školiteli doc. MUDr. Radku Kaiserovi, Ph.D. a konzultantce as. MUDr. Veronice Němcové, CSc. za výborné vedení v průběhu mého postgraduálního studia, pomoc při anatomických studiích a tvorbě vědeckých výstupů.

Zároveň děkuji všem svým kolegyním a kolegům za každodenní spolupráci a klinickou i vědeckou inspiraci vedoucí k lepší péči o naše pacienty.

## Abstrakt

Předkládaná disertační práce se primárně zabývá zkoumáním nových možností cílené rekonstrukce dolní větve n. suprascapularis pro m. infraspinatus při poruše vnější rotace paže. Ta vzniká buď na základě parézy plexus brachialis nebo při zlomeninách lopatky.

První část práce měla za cíl pomocí systematického přehledu literatury a následné meta-analýzy definovat údaje o epidemiologii a etiopatogenezi těžkých poranění pažní pleteně, která jsou indikována k operačnímu řešení. Ve druhé části jsou popsány dvě experimentální studie věnované rekonstrukci dolní větve n. suprascapularis pomocí n. accessorius a n. subscapularis inferior.

Stanovení hodnot četnosti různých typů lézí plexus brachialis a jejich závislosti na pohlaví a vyvolávajících příčinách je využitelné jako základní reference při informování pacientů i odborné veřejnosti o těchto typech úrazů. V experimentu bylo prokázáno, že obě metody rekonstrukce n. suprascapularis jsou použitelné u naprosté většiny kadaverů. Jsou tak dle typu poranění potenciálně využitelné v klinické praxi.

**Klíčová slova:** Nervus suprascapularis; nervus accessorius; nervový transfer; poranění brachiálního plexu; zlomenina lopatky

## **Abstract**

The presented dissertation primarily investigates new possibilities of targeted reconstruction of the lower branch of the suprascapular nerve for the infraspinatus muscle in patients with palsy of external rotation of the arm. It arises either on the basis of the brachial plexus palsy or during fractures of the scapula.

The aim of the first part of the thesis was to use a systematic review of the literature and a subsequent meta-analysis to define data on the epidemiology and etiopathogenesis of severe injuries to the brachial plexus, which are indicated for surgical treatment. The second part describes two experimental studies on the reconstruction of the lower branch of the suprascapular nerve using the spinal accessory and lower subscapular nerves.

Determining the values of the frequency of different types of brachial plexus lesions and their dependence on gender and causal mechanisms can be used as a basic reference when informing patients and the professional public about these types of injuries. In the experiment, it was proven that both methods of the suprascapular nerve reconstruction can be used in the vast majority of cadavers. They are thus potentially usable in clinical practice depending on the type of injury.

**Keywords:** Suprascapular nerve; spinal accessory nerve; nerve transfer; brachial plexus injury; scapular fracture

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

a. – arteria

CI – confidence interval (interval spolehlivosti)

CT – počítačová tomografie

EMG – elektromyografie

Lig. – ligamentum

m. – musculus

n. – nervus

NAP – nervový akční potenciál

NSI – nervus subscapularis inferior

NSS – nervus suprascapularis

NSS-infra – dolní větev n. suprascapularis pro m. infraspinatus

PPB – paréza plexus brachialis

SN – supraskapulární neuropatie

SNAP – senzorický nervový akční potenciál

v. – vena

## OBSAH

1	Úvod .....	9
2	Cíle práce .....	11
	Hypotéza .....	11
3	Obecná část .....	12
3.1	Histologická struktura nervu .....	12
3.2	Poranění nervu .....	14
3.2.1	Degenerace nervu .....	14
3.2.2	Regenerace nervu .....	15
3.3	Možnosti rekonstrukce nervu.....	17
3.4	Anatomie plexus brachialis.....	19
3.5	Svaly rotátorové manžety.....	21
3.6	Supraskapulární neuropatie .....	21
3.6.1	Proximální postižení .....	21
3.6.2	Distální postižení .....	22
3.7	Poranění NSS asociované s parézou plexus brachialis .....	23
3.7.1	Klinický obraz .....	24
3.7.2	Diagnostika.....	24
3.7.3	Léčba .....	25
3.8	Poranění NSS asociované se zlomeninou lopatky.....	25
3.8.1	Diagnostika zlomenin lopatky .....	26
3.8.2	Léčba zlomeniny lopatky .....	26
4	Přehledová studie .....	29
4.1	Úvod .....	29
4.2	Metodika .....	30
4.3	Výsledky .....	31
4.4	Diskuze .....	36
5	Experimentální část .....	42
5.1	Úvod .....	42
5.2	Metodika Studie 1 .....	44



5.3	Výsledky Studie 1 .....	49
5.4	Metodika Studie 2 .....	51
5.5	Výsledky Studie 2 .....	55
5.6	Diskuze .....	56
6	Souhrn .....	61
7	Summary .....	63
8	Seznam obrázků a tabulek .....	65
9	Publikační a přednášková činnost .....	66
10	Literatura .....	69

# 1 ÚVOD

Paréza plexus brachialis (PPB) je jedním z nejtěžších úrazů. I když má až v polovině případů dobrou prognózu se spontánní úpravou, velké množství pacientů zůstává těžce invalidizováno. Chirurgie PPB zaznamenala v posledních 20 letech překotný rozmach, který zejména u parézy horní části plexu může znamenat velmi dobrou funkční úpravu. Kompletní či dolní léze pleteně jsou však chirurgicky obtížně ovlivnitelné. Vzhledem k malé četnosti těchto závažných úrazů jsou dostupná data ohledně typů poranění vesměs založena na publikacích popisujících relativně malé soubory chirurgicky řešených případů. Jediná dostupná publikace popisující obsáhleji data o etiologii a patofyziologii PPB je téměř 40 let stará (*Narakas, 1985*). Podrobnější informace o epidemiologii a etiopatogenezi těchto úrazů, které lze využít nejen jako referenci v dalších publikacích, ale i při informování pacientů a odborné veřejnosti o těchto úrazech, však chyběly.

Poranění pletence horní končetiny jsou často spojena s poškozením nervových a cévních struktur a vyžadují odpovídající posouzení hybnosti a citlivosti horní končetiny, protože až 13 % pacientů se zlomeninami lopatky utrpí PPB (*Cole, 2002, Tuček a Bartonicek, 2010*). Zvláště ohroženy jsou n. suprascapularis (NSS) a n. axillaris. Obvykle však není možné ihned posoudit jejich motorickou funkci kvůli nestabilitě zlomeniny a doprovodné bolesti. Poranění NSS je přítomno až u 32 % všech zlomenin lopatky, zejména těch, které probíhají skrz incisura spinoglenoidalis (*Schroder et al., 2016*).

Obnova abdukce paže je jedním ze základních smyslů operační léčby PPB. U lézí v kontinuitě je možno defekt nervu nahradit štěpy, v případě avulzí míšních kořenů či těžkých proximálních poranění je jedinou možností nervový transfer (neurotizace), kdy je distální pahýl poškozeného nervu (příjemce) našit na proximální pahýl intaktního dárce. V minulosti byla primárním cílem obnova funkce n. axillaris inervujícího m. deltoideus (abdukce paže) a m. teres minor (vnější rotace paže). V poslední době se ukazuje, že nejdůležitější je reinervace NSS. Ten inervuje jak m. supraspinatus (prvních 30° abdukce), tak m. infraspinatus (vnější rotace paže). V literatuře však stále existují kontroverze ohledně chirurgického přístupu a techniky jeho reinervace.

Je všeobecně přijato, že nejlepší výsledky z hlediska obnovy abdukce má neurotizace NSS pomocí n. accessorius (n. XI, cca 70 % úspěšnost). Standardem je přední přístup, kdy jsou oba nervy vypreparovány v regio cervicalis lateralis (*Bertelli a Ghizoni, 2016, Emamhadi et al., 2016, Terzis a Kostas, 2006*). V případě těžkých trakčních poranění může být nalezení nervů velmi obtížné a navíc je NSS neurotizován velmi proximálně (daleko od cílových svalů), což zbytečně prodlužuje reinervaci a snižuje její potenciál. Distálnější suturu umožňuje technika z rozšířeného předního přístupu, kdy je však nutné odloučit m. trapezius od úponu na laterální části klavikuly a akromiu, a metoda je tak značně invazivní a mutilující (*Bertelli a Ghizoni, 2016*). V posledních letech však byly publikovány práce popisující reinervaci zadním přístupem, kdy je kmen nervu vypreparován v oblasti incisura scapulae a blízko ležící n. XI tak může být našit o něco distálněji (*Bhandari a Deb, 2013*). Byla zjištěna vyšší úspěšnost zadního ve srovnání s předním přístupem (*Souza et al., 2014*). Zadní přístup je výhodný zejména u případů, kdy je současně postižený n. axillaris rekonstruován nyní velmi oblíbenou a efektivní technikou pomocí větve n. radialis pro m. triceps v oblasti foramen humerotricipitale (*Bhandari a Deb, 2013*). Všechny techniky však mají společnou nízkou úroveň reinervace m. infraspinatus (40–55 % případů) (*Baltzer et al., 2017, Bertelli a Ghizoni, 2016*). Obnovená abdukce paže bez dostatečné vnější rotace výrazně limituje funkční uplatnění končetiny (*Terzis a Kostas, 2006*).

Selektivní reinervace m. infraspinatus, resp. větve NSS pro tento sval (NSS-infra) by tak mohla být využitelná právě v případech již rekonstruované pažní pleteně bez dostatečné úpravy vnější rotace. Dále by mohla být použita u pacientů se selektivním poraněním NSS-infra při zlomenině lopatky. Tato oblast zůstává doposud mimo oblast klinického a vědeckého zájmu. Jako ideální donor pro neurotizaci se jeví právě n. XI, resp. jeho distální část. Veškeré doposud publikované anatomické práce se zabývají pouze topografickými vztahy proximální části n. XI na krku před jeho vnořením do m. trapezius (*Overland et al., 2016*). Detailní morfologie distální části nervu nebyla zatím zpracována. Taktéž detailnější anatomie n. suprascapularis je v literatuře zmiňována jen minimálně (*Warner et al., 1992*). Vedle n. XI připadá v úvahu jako dárce pro nervový transfer také blízký n. subscapularis inferior (NSI).

## 2 CÍLE PRÁCE

Disertační práce byla rozdělena do dvou částí.

1. Cíl přehledové studie: provést podrobnou analýzu epidemiologických a etiologických dat případů poranění plexus brachialis podstupujících chirurgickou rekonstrukci.

2. Cíl experimentální části: provést anatomickou studii proveditelnosti rekonstrukce distální větve NSS pro m. infraspinatus pomocí terminálního úseku n. accessorius (Studie 1) a n. subscapularis inferior (Studie 2).

### HYPOTÉZA

ad 1) Vzhledem k chybění souhrnné publikace mapující etiopatogenezi různých typů PPB jsme předpokládali, že na základě systematického přehledu literatury bude možné provést meta-analýzu dostupných dat, díky které bude možné přesněji definovat epidemiologii, etiologii a typy lézí pažní pleteně u dospělých pacientů podstupujících její chirurgickou rekonstrukci.

ad 2) Doposud nebyla publikována žádná práce popisující selektivní reinervaci distální větve NSS pomocí jiného dárcovského nervu u její parézy při zlomenině lopatky. Předpokládali jsme, že by tato rekonstrukce mohla být proveditelná z nejbližších nervů – terminální větve n. XI nebo n. subscapularis inferior. Proto jsme se rozhodli provést studii proveditelnosti obou těchto rekonstrukčních metod.

## 3 OBECNÁ ČÁST

### 3.1 HISTOLOGICKÁ STRUKTURA NERVU

Nervové vlákno je tvořeno axonem o průměru 0,5–20  $\mu\text{m}$  obaleným Schwannovými buňkami. Axon se skládá z obalu (axolemy) a axoplazmy s důležitými organelami (mitochondrie, axoplazmatické retikulum, cytoskelet atd.) (*Kaiser a Haninec, 2012a*). Nervová vlákna rozdělujeme do dvou základních skupin – myelinizovaná a nemyelinizovaná – podle přítomnosti myelinového obalu tvořeného Schwannovými buňkami jejich rotací kolem vlákna. Obal kryje celou délku vlákna vyjma krátkého úseku po jeho odstupu z nervové buňky a terminálního větvení. Mezi jednotlivými Schwannovými buňkami vznikají tzv. Ranvierovy zářezy bez myelinového obalu. Oblast mezi dvěma zářezy se nazývá internodální segment. Taková struktura myelinového obalu hraje zásadní úlohu při vedení akčního potenciálu. Obal nemyelinizovaných vláken je tvořen záhyby Schwannových buněk, které se takto podílejí na obalení více vláken současně. Chybějí u nich oblasti podobné Ranvierovým zářezům (*Raine, 1982*).

Nervová vlákna se dělí do několika typů. Vlákna aferentní vedou vzruchy z periférie do CNS, vlákna eferentní naopak. Nejčastěji používaná klasifikace dle Erlangera a Gassera (Tabulka 1) dělí vlákna do skupin podle průměru a rychlosti vedení akčního potenciálu. Vlákna typu A a B jsou myelinizovaná, zatímco vlákna typu C jsou nemyelinizovaná (*Erlanger a Gasser, 1937*).

Vnitřní struktura nervu je tvořena fascikly, tj. svazky nervových vláken. Nejmenší nervy bývají monofascikulární, největší nervy jsou naopak polyfascikulární a jsou tvořeny až 100 fascikly, přičemž každý může obsahovat až 10 tisíc axonů. Podle typu a lokalizace obsahuje nerv až 80 % podpůrné tkáně: vazivové obaly, cévy s mezoneuriem (vasa nervorum), nervi nervorum a lymfatické cévy. Nejvíce vazivové tkáně bývá v okolí kloubů (*Sunderland, 1978*).

Pojivová tkáň nervu se dělí dle Keye a Retziuse na endoneurium, perineurium a epineurium (*Key a Retzius, 1876*). Endoneurium tvořené fibroblasty obaluje samotné nervové vlákno. Perineurium tvořené perineurálními buňkami původem z fibroblastů obaluje vlastní fascikl. Skupina fascikulů tvořících celý nerv je obalena epineuriem, což je

vaskularizovaná tkáň přecházející v mezoneurium, tj. závěsné vazivo v místě vstupu cévních kmenů (Sunderland, 1978).

**Tabulka 1.** Klasifikace nervových vláken periferních nervů podle Erlangera a Gassera (Erlanger a Gasser, 1937).

Typ nervového vlákna	Průměr (μm)	Rychlost vedení (m/s)	Funkce / inervace
<b>Aα</b>	12 – 20	72 – 120	Aferentní – svalová vřeténka (primární)
	12 – 20	72 – 120	Aferentní – šlachová (Golgiho) tělíska
	12 – 20	72 – 120	Eferentní – nervosvalová ploténka
<b>Aβ</b>	6 – 12	36 – 72	Aferentní – receptory pro diskriminační cití, vibrace
	5 – 12	20 – 72	Aferentní – svalová vřeténka (sekundární)
<b>Aγ</b>	2 – 8	12 – 48	Eferentní – svalová vřeténka
<b>Aδ</b>	1 – 5	6 – 30	Aferentní – rychlá bolest, teplota
<b>B</b>	< 3	2 – 18	Eferentní – pregangliová autonomní
<b>C</b>	< 1	< 2	Aferentní – pomalá bolest, teplota
			Eferentní – postgangliová autonomní

## 3.2 PORANĚNÍ NERVU

Poranění nervu dělíme do tří základních typů: 1. **trakční** – vznikají při překročení elastické kapacity nervu dané kolagenním endoneuriem; 2. **lacerační** – ostré či tržné rány, nerv může být úplně přerušen, častá jsou však i zranění v kontinuitě s poraněním části průřezu nervu; a 3. **kompresivně-ischemická** – daná dlouhodobým tlakem na nerv spojeným s jeho ischemií. Většinou je reverzibilní, pokud ischemie trvá méně než 8 hodin (*Burnett a Zager, 2004*).

Na základě válečných zkušeností byla vytvořena dodnes nejčastěji používaná Seddonova klasifikace (*Seddon, 1972*) rozdělující poranění nervu na **neurapraxii** (reverzibilní funkční porucha vedení nervu), **axonotmezi** (přerušení axonů bez makroskopického poranění pojivové tkáně) a **neurotmezi** (přerušení nervu). Tato klasifikace byla později rozšířena Sunderlandem (*Sunderland, 1978*) do pěti skupin. První stupeň, porušení myelinu, odpovídá neurapraxii, druhý stupeň, přerušení axonu, je totožný s axonotmezi. Třetí stupeň, poranění axonu a endoneuria, a čtvrtý stupeň, porušení fascikulů se zachovalou kontinuitou epineuria, tvoří mezistupně mezi axonozmezi a neurotmezi. Pátý stupeň, přerušení nervu, odpovídá neurotmezi (*Kaiser a Haninec, 2012a*).

Po poranění nervového vlákna nastává komplexní proces popsaný roku 1850 Wallerem (*Waller, 1850*). Má dvě fáze: Wallerovu degeneraci a v případě zachovalého (či rekonstrukcí nervu obnoveného) spojení proximálního a distálního pahýlu i Wallerovu regeneraci.

### 3.2.1 Degenerace nervu

Neurapraxie je pouhý funkční blok („otřes nervu“) bez patrných histopatologických změn. Změny tak nastávají až u axonotmeze a samozřejmě u neurotmeze. Po přerušení nervového vlákna dochází v řádu několika hodin k progresivní fragmentaci axonu a myelinu distálně od místa poranění. Kontinuita axonu a ztráta jeho vodivé funkce zaniká po dvou až čtyřech dnech od poranění. Klíčovou roli v celém procesu hrají Schwannovy buňky, které se rychle dělí a vytvářejí dceřiné, neúplně diferencované buňky. Jejich hlavní funkcí je účast na odstraňování rozpadlých částí myelinu a axonu a předání jejich zbytků makrofágům.

Degradační proces končí do dvou měsíců od poranění. V místech původních vláken jsou jen jejich zbytky tvořené endoneurií vyplněnými Schwannovými buňkami (Büngnerovy pruhy). Nejzávažnější změny vznikají u neurotmeze, kdy po přerušení nervu vlivem retrakce pahýlů dochází k defektu v kontinuitě nervu. Následné prokrvácení a lokální zánětlivá odpověď má za následek vznik jizvy. Ta společně s růstem velkého množství růstových konusů, které jsou blokovány v růstu do zjizveného distálního pahýlu, vede k vytvoření neuromu.

Proximální pahýl je postižen dle závažnosti poranění. Typicky dochází k degeneraci k prvnímu Ranvierovu zářezu v případě ostrých poranění. U rozsáhlých trakčních či lacerčních úrazů však může degenerovat celý axon až k buněčnému tělu (perikaryu). Tento scénář nastane v případě apoptózy neuronu. V případě zachování buněčného těla je proximální část axonu sice zachována, ale dochází k jeho zúžení. Opětovné rozšíření nastává v případě regenerace distálního pahýlu a jeho napojení na cílový orgán. I tak ale nemusí dojít k obnově na původní velikost a struktura neuronu a jeho axonu již nikdy nemusí odpovídat stavu před poraněním. Celkové množství nervových buněk podléhajících zániku po poranění nervu není známo, ale např. axonotmeze vede k apoptóze 20–50 % neuronů míšního ganglia (*Lundborg, 2000*).

### **3.2.2 Regenerace nervu**

U neurapraxie je regenerace zahájena prakticky ihned po poranění. U axonotmézy, pokud nedošlo k ukončení Wallerovy degenerace, musí axonální konus prorůst zbytky po probíhající degeneraci. To je umožněno přítomností proteáz na konci axonu rozrušujících materiál stojící v cestě (*Krystosek a Seeds, 1981*). U neurotmézy reinervace nastává až po ukončení Wallerově degeneraci. Vzhledem k zachování kontinuity nervu a fascikul je funkční úprava u prvních dvou typů poranění dosažena vždy. U neurotmézy k ní může dojít až po rekonstrukci nervu. U těchto poranění totiž dochází k porušení kontinuity nervu a rostoucí axony tak ztrácejí oporu pro svůj růst. Dochází k jejich prorůstání do neadekvátních endoneurálních trubic či okolní tkáně. Pokud nedojde k sutuře pahýlů, dochází ke vzniku neuromu. Ten může být „terminální“ – pokud není proximální pahýl v kontaktu s pahýlem distálním, nebo „v kontinuitě“ – pokud se pahýly dotýkají nebo u trakčních poranění, kdy mezi pahýly vzniká jizva zabraňující prorůstání axonů distálně.



Vhodné mikroprostředí pro prorůstání axonů do distálního pahýlu zajišťují Büngnerovy pruhy, které sekrecí adhezivních molekul a neurotrofinů umožňují navádění a podporu nově vyrůstajícího axonu. Růst axonálního konusu je umožněn filopodii (výběžky na konci axonu) adherujícími k bazální membráně Schwannových buněk (*Dodd a Jessell, 1988*).

Schwannovy buňky mohou také na malou vzdálenost migrovat do prostoru mezi distální a proximální pahýl přerušenoého nervu. Tam společně s fibroblasty a fibrinovou matrix vytvářejí přemostění pahýlů umožňující prorůstání axonů (*Johnson et al., 2006*).

Úprava po poranění je velmi komplexní proces probíhající na mnoha úrovních. Porucha kterékoli z nich vede k neúspěchu reinervace. K dosažení funkce daného nervu je tak potřeba nejen dobře proběhlé reinervace distálního pahýlu, ale také zachování fungujícího neuronu a proximálního segmentu jeho axonu. Důležitá je taktéž oblast poranění s dobrými předpoklady pro překlenutí defektu rostoucím axonem (minimální vzdálenost pahýlů bez vmezeřené jizvy) a samozřejmě zachovalý cílový orgánu. Dle vzdálenosti místa poranění od terminálních zakončení axonu se doba reinervace pohybuje od několika týdnů až po mnoho měsíců. Neurony mají kapacitu k započítí dostatečně silné regenerace až do jednoho roku od poranění a reinervace je možná i po opakovaném úrazu (*Kaiser, 2016a*).

Remyelinizace a maturace axonu je možná pouze po proběhlé reinervaci a funkčním zapojení do cílového orgánu. Denervovaný sval atrofuje (ztratí více než 60 % hmoty a 90 % maximální síly během prvního měsíce) a následně po 12 – 18 měsících podléhá fibrotizaci (tento proces je ukončen asi dva roky po úrazu) (*Carlson, 2014*). Ztráta kontaktu motorických neuronů s periférií delší než půl roku vede k tomu, že až dvě třetiny z nich podléhají apoptóze (*Brown et al., 2009, Burnett a Zager, 2004*). Proto je rychlost reinervace, resp. načasování rekonstrukce pro obnovu ztracené funkce, naprosto zásadní.

I přes rychle provedenou rekonstrukci nedojde nikdy k plné obnově původní funkce. To je dáno jak kvalitou regenerovaného axonu, tak proběhlou atrofizací, ale i chybnou reinervací, kdy např. původně motorické axony vrůstají do endoneurálních trubic pro senzitivní axony. Podobně mohou vlákna pro rychlá svalová vlákna nově inervovat ta pomalá. V neposlední řadě je nutno zmínit i nedostatečnou reinervaci proprioceptorů.

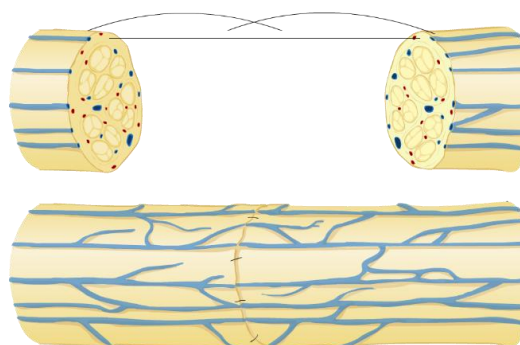
Obecně se udává, že rychlost reinervace, tj. prorůstání axonu, je 1 mm za den. Může však nabývat hodnot 0,5 až 9 mm denně. Rychlost totiž klesá s rostoucí vzdáleností od neuronu a s rostoucím věkem, rozdíly jsou i mezi senzitivními a motorickými axony. Konec rostoucího axonu způsobuje výbavnost tzv. Hoffmannova-Tinelova znamení, kdy při poklepu dochází k vyvolání bolesti s distální propagací. Remyelinizace a zvětšení průměru axonu začíná asi dva týdny po regeneraci. Myelinizovaný axon má prakticky původní šířku, rozdíl je pouze v kratších internodálních úsecích (*Burnett a Zager, 2004, Kaiser a Haninec, 2012a*).

### 3.3 MOŽNOSTI REKONSTRUKCE NERVU

Načasování chirurgické revize se řídí obecnými principy: čisté ostré poranění by mělo být operováno ihned, resp. do tří dnů po poranění (zachovalé vedení distálního pahýlu s možností jeho nalezení elektrostimulací, zabránění retrakce pahýlů). Znečištěné lacerace jsou revidovány po třech týdnech, kdy jsou změny obou pahýlů definitivní. Zavřená poranění se revidují v případě elektrofyzilogicky potvrzené trvající úplné denervace za 3–6 měsíců od úrazu (*Kaiser, 2016a*).

U zavřených poranění nastávají dva možné scénáře. Pokud je během operace zjištěno, že je postižený nervový úsek vodivý, tj. je výbavný nervový akční potenciál (NAP), je provedena pouze neurolyza, tzn. uvolnění nervu z jizvy. V případech, kdy je vytvořen tzv. neurom v kontinuitě, který je většinou palpačně tvrdý a má typicky šedofialové zbarvení, bývá daný úsek nevodivý. Tento úsek je tedy vytnut a konce pahýlů jsou tzv. salámovou technikou seřezávány až do makroskopicky zdravé tkáně s viditelnými fascikly. Následně je zvolena některá z rekonstrukčních technik (*Kim a Kline, 2008*).

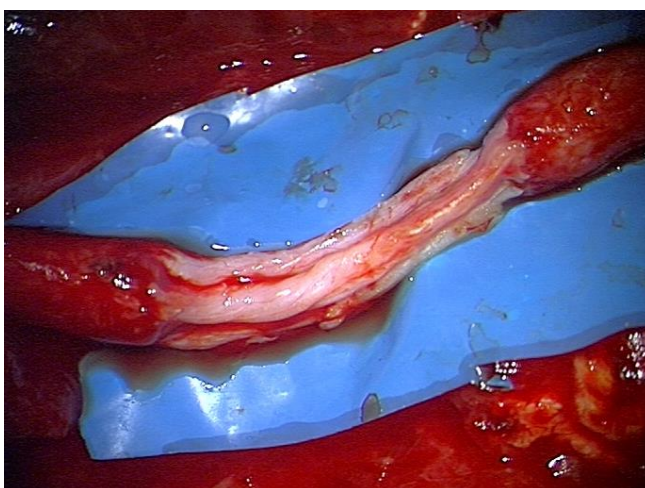
Operační léčba poranění periferních nervů se řídí specifickými principy. Jedná se o oblast mikrochirurgie, nezbytné je tak použití zvětšovací brýlí, či lépe operačního mikroskopu. Pro dosažení dobré reinervace je důležitá správná orientace pahýlů – sledujeme cévní kresbu a průměr jednotlivých fasciкул. Sutura bez napětí se provádí stehem tloušťky



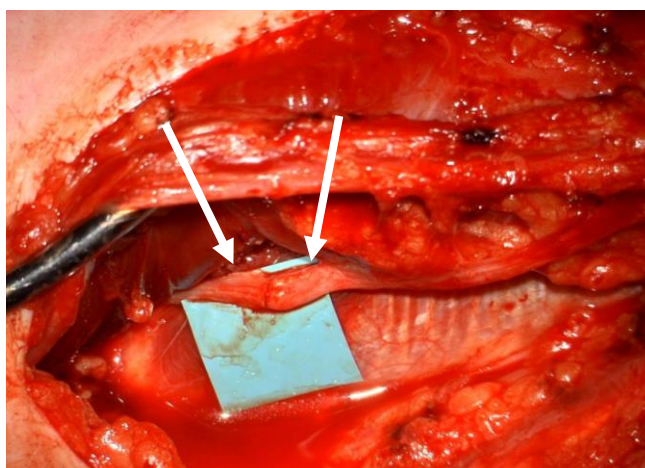
**Obr. 1:** Schéma epineurální suture nervu. Převzato z (*Kaiser, 2016b*)

10/0, pro přiblížení pahýlů lze použít steh tloušťky 8/0. Používají se dvě základní techniky sutury nervu – **epineurální** (Obr. 1) a **fascikulární** (Kaiser, 2016b). Ani na základě dlouholetých zkušeností i velkých souborů nelze jednoznačně říci, která technika je lepší. Výsledek totiž závisí na mnoha proměnných – době od úrazu, typu nervu, složení vláken v nervu (čistě motorický, čistě senzitivní nebo smíšený) či lokalizaci poranění. Proximální poranění je horší ze dvou důvodů: 1. delší reinervační dráha; 2. fascikly, zejména ty, které jsou určené pro distální struktury, jsou smíšené a ve svém průběhu se ještě vzájemně propojují; jednotlivé motorické a senzitivní fascikly jsou dobře formované až distálně. Výsledek je také ovlivněn délkou defektu mezi pahýly (napětí, resp. použitím štěpu) či současným cévním poraněním s ischemií (Kim a Kline, 2008).

V případě defektu mezi pahýly je k docílení sutury bez napětí nutno vzniklou mezeru buď eliminovat, nebo nahradit. K eliminaci lze využít natažení pahýlů. Bezpečně natáhnout lze pouze pahýly v případě čerstvých čistých ostrých poranění, kdy je retrakce minimální (1–2 cm). V případě natažení o více než 5 % délky nervu totiž dochází ke snížení krevního průtoku ve vasa nervorum daného nervu. Defekt lze zkrátit i mobilizací pahýlů z okolních tkání či transpozicí (typicky u n. ulnaris v oblasti lokte). K nahrazení defektu se využívají nervové štěpy, dominantně z n. suralis (Obr. 2). Pro krátké defekty lze využít i syntetické štěpy (Kaiser, 2016b). Specifickou technikou je neurotizace. Ta se používá tehdy, kdy není k dispozici proximální pahýl nervu. Typicky se jedná o těžká supraklavikulární postižení pažní



**Obr. 2:** Peroperační fotografie rekonstrukce n. ulnaris pomocí tří štěpů z n. suralis (archiv školitele)

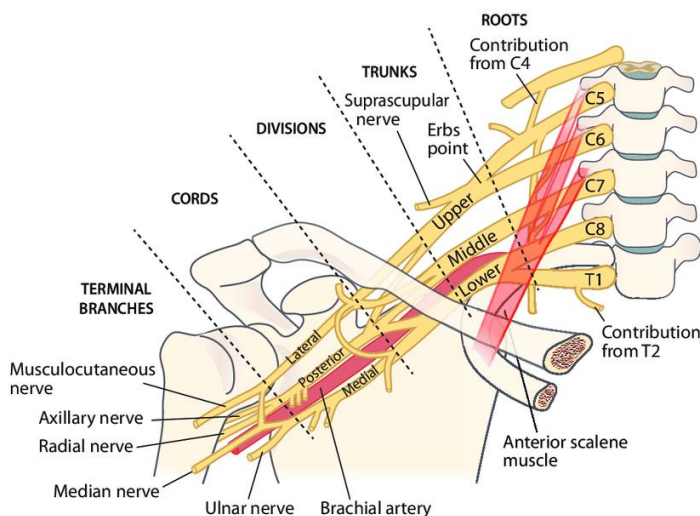


**Obr. 3:** Peroperační fotografie neurotizace ramus profundus n. ulnaris pomocí n. interosseus anterior (levá šipka, archiv školitele)

pleteň s avulzí či foraminální rupturou míšních nervů (kořenů), iatrogenní intrakraniální léze n. facialis (při resekcích nádorů mostomozečkového koutu) nebo vysoké léze periferních nervů, zejména n. ulnaris (Obr. 3) (Kaiser, 2016a).

### 3.4 ANATOMIE PLEXUS BRACHIALIS

Plexus brachialis (Obr. 4) je komplikovaná síť vláken vznikající z **předních větví míšních nervů C5–T1**. Pleteň se dělí na dva hlavní oddíly: supraklavikulární (v regio cervicalis lateralis), tedy nervy odstupující z míšních nervů („kořenů“) či kmenů (trunků) pleteň, a infraklavikulární (v axile), tedy nervy odstupující z fascikulů. Přední a zadní míšní kořeny C5–T1 se ještě v páteřním kanále spojují v míšní nervy vystupující v příslušných meziobratlových otvorech a tvoří tzv. „**kořeny pleteň**“. Míří do fissura scalenorum mezi m. scalenus anterior a medius, kde spojením předních větví míšních nervů vznikají **kmeny (trunci)**. Truncus superior (C5 a C6) míří šikmo dolů na vnější hranici m. scalenus anterior, pod ním je truncus medius (C7) a truncus inferior (C8 a T1) až v úrovni 1. žebra, těsně nad a. subclavia. Kmeny pokračují laterokaudálně za klavikulu a infraklavikulárně obklopují a. axillaris. Každý z kmenů se dělí na přední (flexorovou) a zadní (extenzorovou) větev (**divizi**). Spojením divizí dále vznikají svazky (**fasciculi**). Všechny tři dorzální divize se sbíhají retroarteriálně a vytvářejí **fasciculus posterior**, z něhož proximálně odstupuje n. thoracodorsalis a n. subscapularis. Přední divize horního a středního kmene tvoří **fasciculus lateralis**, ze kterého odstupuje n. pectoralis lateralis, zatímco z přední divize dolního vzniká **fasciculus medialis**. Z tohoto svazku nejprve odstupují tři větve – n. cutaneus brachii medialis, n. cutaneus antebrachii medialis a n. pectoralis medialis. Poté se jako ostatní fascikuly rozdělí na větve koncové (terminální). Z fasciculus lateralis vzniká n. musculocutaneus a radix lateralis n. mediani, z fasciculus medialis se

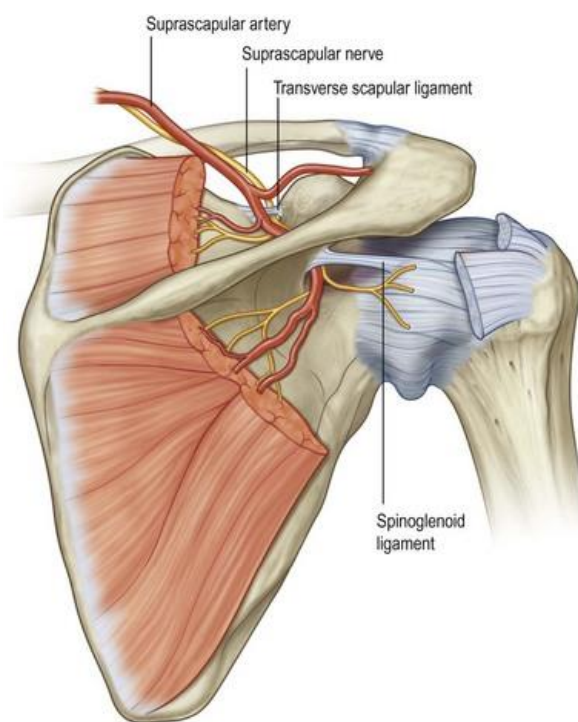


**Obr. 4:** Anatomie plexus brachialis, převzato z (Grahn, 2021)

odštěpuje radix medialis n. mediani a n. ulnaris a z fasciculus posterior vzniká n. radialis a n. axillaris (Čihák, 2004). Výše popsané zdrojové nervy nejsou konstantní, existují dvě základní variace: prefixovaný (C4–C8) a postfixovaný typ (C6–T2) (Benes et al., 2021a).

### 3.4.1 Anatomie n. suprascapularis

N. suprascapularis vzniká typicky z kořenů C5-C6, v případě prefixovaného typu plexus brachialis dostává vlákna v i z kořene C4 (Shin et al., 2010). Kmen nervu odstupuje z truncus superior, vzácněji i z jiných struktur pažní pleteně (Benes et al., 2021b). Poté běží podél m. omohyoideus až do incisura scapulae ležící na margo superior scapulae mediálně od báze processus coracoideus, asi 3 cm mediálně od tuberculum supraglenoidale. Incisura scapulae je kryta kraniálně lig. transversum scapulae superius (lig. suprascapulare). Nerv běží pod vazem (Obr. 5), zatímco doprovodné vasa suprascapularia běží variabilně nad či pod ním (Al-Redouan et al., 2021). Střední průměr NSS v této oblasti je  $2,48 \pm 0,6$  mm (Polgaj et al., 2015). V oblasti incisura scapulae vydává nerv obvykle dvě větve pro m. supraspinatus a u téměř 90 % populace i senzitivní větvičku pro ramenní kloub (ramus articularis). Jen asi v 30 % případů inervuje rovněž kůži nad horní polovinou lopatky. Kmen nervu dále běží laterokaudálně skrz fossa supraspinata v canalis suprascapularis (Al-Redouan et al., 2021), kde vydává asi u tří čtvrtin populace další senzitivní větev pokračující do oblasti úponové šlachy m. infraspinatus (ramus acromialis). NSS poté probíhá v incisura spinoglenoidalis pod variabilním lig. transversum scapulae inferius, přítomným asi u 60 % populace (Demirhan et al., 1998). Tudy se dostává se do fossa infraspinata, kterou běží mediálně a vydává dvě až tři větve pro m. infraspinatus (Kaiser, 2016b, Vorster et al., 2008).



**Obr. 5:** Anatomie n. suprascapularis, převzato z (Bezuhly et al.)

### 3.5 SVALY ROTÁTOROVÉ MANŽETY

Rotátorová manžeta je komplikovaná struktura složená z kloubních pouzder, vazů a hlavně úponů čtyř svalů: m. supraspinatus, m. infraspinatus, m. subscapularis a m. teres minor. Kromě svých specifických funkcí se všechny svaly dohromady podílejí na zajištění stability ramenního kloubu tím, že udržují hlavici pažní kosti v jamce ramenního kloubu.

M. subscapularis je vnitřní rotátor paže. M. supraspinatus je zodpovědný za prvních asi 30° abdukce paže. M. infraspinatus umožňuje zhruba 75 % síly její vnější rotace. Samostatně se uplatňuje při končetině v neutrálním postavení, zatímco druhý, mnohem slabší vnější rotátor, m. teres minor, je účinný zejména při končetině v 90° abdukci (*Standring a Gray, 2008, Williams et al., 2018*).

### 3.6 SUPRASKAPULÁRNÍ NEUROPATIE

Supraskapulární neuropatie (SN) je vzácný úžinový syndrom popsáný poprvé Thompsonem a Kopellem roku 1959 (*Thompson a Kopell, 1959*). Aiello et al. popsali v roce 1982 izolované postižení distální větve NSS pro m. infraspinatus (*Aiello et al., 1982*). Původně se jednalo o diagnózu per exclusionem, s rozvojem zobrazovacích a elektrofyzilogických technik se tato entita dostává v posledních dvou dekáдах do popředí jako jedna z příčin chronických bolestí ramena.

Častou příčinou SN je ruptura rotátorové manžety. Nejčastěji však vzniká trakcí či chronickou mikrotraumatizací při sportech, u nichž dochází k přetěžování končetiny nad úroveň hlavy. Rizikem je rovněž osifikace lig. transversum scapulae superius či specifické příčiny jako kostní nádor, cysta vzniklá následkem labropatie či poranění kloubního pouzdra. Může být rovněž součástí brachiální neuritidy či vzniknout v rámci zlomeniny lopatky, poranění plexus brachialis či izolovaného penetrujícího poranění (*Surya et al., 2019*).

#### 3.6.1 Proximální postižení

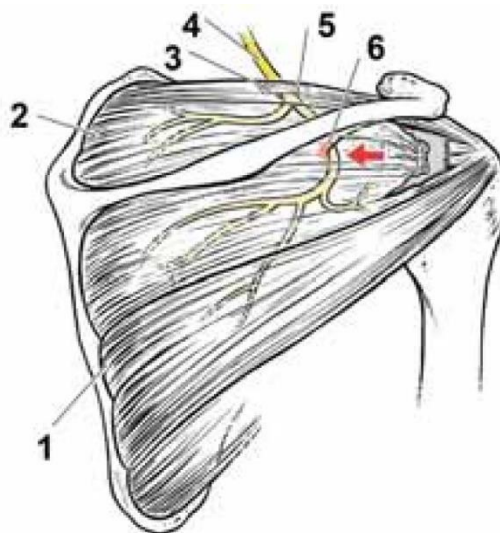
Nejčastější příčinou útlaku kmene NSS je ruptura rotátorové manžety s retrakcí prasklé úponové šlachy m. supraspinatus, která způsobuje natažení první motorické větve

pro m. supraspinatus a komprimuje kmen nervu proti kostní hraně v incisura scapulae (Strauss et al., 2020). Neuropatie může vznikat u specifických činností při nošení těžkých břemen přes rameno (Araujo a Fragoso, 2004) či chronickým přetěžováním končetiny. Raritně může být hodnocena i jako nemoc z povolání (Ehler et al., 2019, Fenclová et al., 2010). Vlastní úžinový syndrom s kompresí kmene NSS v incisura scapulae pod lig. transversum scapulae superius je méně častý. Příčinou bývá osifikace hypertrofického vazy či opakované pohyby s končetinou v abdukci (Strauss et al., 2020).

Útlak kmene NSS působí dominantně iritace v oblasti somatosenzitivní inervace nervu – bolesti vystřelující nad horní částí lopatky do ramena. Dochází k atrofii a oslabení m. supraspinatus a m. infraspinatus s omezením abdukce a vnější rotace paže (Surya et al., 2019).

### 3.6.2 Distální postižení

Izolované postižení koncové větve pro m. infraspinatus v rýze za spina scapulae (incisura spinoglenoidalis) je častější než proximální léze. Dochází k ní opět při ruptuře rotátorové manžety s retrakcí jednoho nebo obou svalů s kompresí nervu o hranu incisura spinoglenoidalis (Obr. 6). Nerv může být také utlačen hypertrofickým lig. transversum scapulae inferius při chronickém přetěžování končetiny v abdukci a vnitřní rotaci (Surya et al., 2019) či opakovaným útlakem excentricky kontrahovaným m. infraspinatus během specifických pohybů. K útlaku může dojít i paralabrální cystou vzniklou v rámci defektů labrum glenoidale (Ferretti et al., 1987). V klinickém obraze je vyjádřena izolovaná atrofie m. infraspinatus s omezením vnější rotace paže.



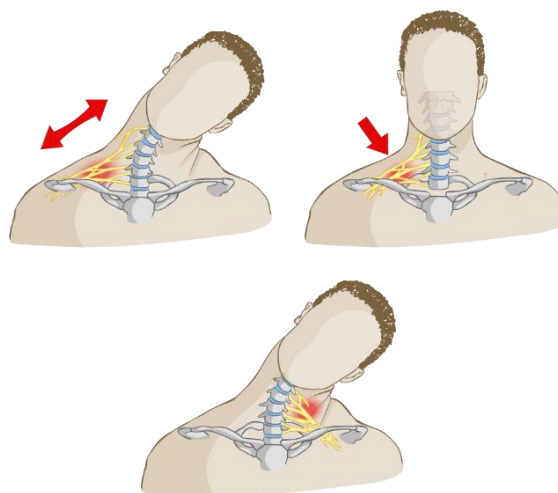
**Obr. 6:** Anatomie n. suprascapularis a schéma útlaku větve pro m. infraspinatus o hranu incisura spinoglenoidalis po retrakci m. supraspinatus a m. infraspinatus při ruptuře rotátorové manžety (šipka). 1 – m. infraspinatus, 2 – m. supraspinatus, 3 – lig. transversum scapulae superius, 4 – n. suprascapularis, 5 – incisura scapulae, 6 – incisura spinoglenoidalis. Převzato z (Strauss et al., 2020), upraveno.

Nález distální SN trakčně-kompresivní etiologie je však tradičně spojován se sporty, u nichž je nadměrně používána horní končetina v abdukci a vnější rotaci. Nejčastěji je popisována u vrcholového volejbalu, méně často u hráčů tenisu, badmintonu či baseballu, u plavců, oštěpařů či vzpěračů (Surya et al., 2019). Byla popsána i kazuistika SN vzniklé u atleta provádějícího shyby na hrazdě (Orenčák et al., 2015). Izolovaná atrofie m. infraspinatus s oslabením vnější rotace bez subjektivního sportovního omezení byla nalezena až u 33 % elitních volejbalistů (Holzgraefe et al., 1994).

Podrobnosti o patofyziologii supraskapulární neuropatie a její diagnostika a léčba jsou uvedeny v **Příloze 1** (Krajcová et al., 2020).

### 3.7 PORANĚNÍ NSS ASOCIOVANÉ S PARÉZOU PLEXUS BRACHIALIS

Paréza plexus brachialis (PPB) je těžké a často invalidizující zranění, které se vyskytuje až u 5 % vysokoenergetických úrazů. Díky pokrokům v operačních technikách lze dosáhnout úspěšné rekonstrukce velkého množství případů. Nejsložitější případy však zůstávají obtížně léčitelné. Typickým pacientem je mladý muž, motorkář, v produktivním věku. PPB jsou obecně klasifikovány podle úrovně poškození ve vztahu ke klíční kosti. Supraklavikulární poranění (Obr. 7) zahrnují supraganglionární (avulze kořene nebo intraforaminální ruptura) a infraganglionární poranění (extraforaminální ruptura kořene pod míšním gangliem nebo poranění distálnějších částí brachiálního plexu). Infraklavikulární poranění zahrnují poranění nejdistálnějších částí brachiálního plexu nebo jednotlivých nervů. Mají obvykle mnohem lepší prognózu než léze nad klíční kostí (Haninec a Kaiser, 2011).



**Obr. 7:** Patofyziologie PPB. Převzato z (Kaiser, 2016b, Kuhlman a McKeag, 1999).

- a)** trakční poranění – deprese ramena a kontralaterální lateroflexe hlavy
- b)** přímý tlak – predominantní útlak truncus superior při tlakovém působení na fossa supraclavicularis
- c)** nervová komprese – kombinace hyperextenze a ipsilaterální lateroflexe krku



### 3.7.1 Klinický obraz

- **Syndrom horního plexu (C5–C6)** – postižena je abdukce a vnější rotace paže (m. supraspinatus, m. infraspinatus, m. teres minor, m. deltoideus), flexe předloktí (m. biceps brachii, m. brachialis a m. coracobrachialis) a supinace předloktí (m. biceps brachii a m. supinator);
- **Syndrom dolního plexu (C8–T1)** – postižena je hybnost ruky a předloktí v inervační zóně n. ulnaris a medianus – flexe zápěstí a prstů, dukce zápěstí a prstů, pronace předloktí;
- **Kompletní PPB (C5–T1)** – plegie celé končetiny a anestézie všech dermatomů vyjma ramena (z C4) a axily a vnitřní strany paže (z T2).

### 3.7.2 Diagnostika

Diagnostika často probíhá s latencí proto, že se na PPB přijde pozdě. Jedná se typicky o polytraumatizovaného pacienta v kómatu, často se zlomeninami končetin a poraněním jiných orgánů. Porucha hybnosti končetiny tak může unikat pozornosti nebo je mylně považována za následek míšního poranění. Každé podezření na zavřené poranění nervů tak musí být verifikováno pomocí elektromyografie. V případě, že nedojde ke spontánní úpravě v rámci neurapraxie či axonotmeze postižených elementů a je zvažována operační intervence, jsou doplňována specifická vyšetření. K průkazu avulze kořenů se provádí CT-perimyelografické vyšetření, nověji lze také použít speciální sekvence na MR (3D-COSMIC). K verifikaci úrovně postižení s rozlišením supraganglionární a infraganglionární léze se doplňuje podrobnější elektrofyziologické vyšetření (SNAP – sensorický nervový akční potenciál a EMG vyšetření potenciálních dárcovských nervů pro neurotizaci) (*Kaiser, 2016a*).

### 3.7.3 Léčba

Každé zavřené trakční poranění nervů se nejdříve léčí konzervativně – rehabilitací a elektrostimulací denervovaných svalů. Při trvání úplné denervace tři měsíce po poranění lze uvažovat o chirurgické revizi.

Paréza NSS je přítomna téměř u všech horních a kompletních lézí pažní pleteně. Chirurgická léčba těchto pacientů obvykle zahrnuje využití nervových transferů (neurotizace), kdy je využíván funkčně méně významný nerv (donor) k reinervaci důležitějšího nervu (recipient). K reinervaci NSS se nejčastěji využívá n. accessorius, vzácněji lze použít n. phrenicus, kontralaterální kořen C7 nebo mezižeberní nervy. Ideální donor má podobný průměr jako příjemce a měl by být anatomický blízký, aby se předešlo nutnosti využití nervového štěpu zhoršujícího celkový výsledek. Kromě NSS je cílem operační léčby rekonstrukce n. axillaris (nejčastěji z n. thoracodorsalis nebo větve n. radialis pro m. triceps brachii) a n. musculocutaneus (z n. pectoralis medialis, z nn. intercostales či pomocí tzv. fascikulárního transferu z n. ulnaris nebo medianus). Operační léčba se tedy zaměřuje na obnovu abdukce a vnější rotace paže a flexe předloktí. Tyto pohyby jsou totiž nejdůležitější pro obnovení sebeobsluhy pacienta. Obnova hybnosti ruky v případech dolních či kompletních lézí není vzhledem k dlouhé reinervační dráze a nedostatku vhodných dárcovských nervů pro rekonstrukci možná (*Emamhadi et al., 2016, Haninec et al., 2013*).

I v pooperačním období je nutná dlouhodobá rehabilitace a elektrostimulace. První EMG známky reinervace lze pozorovat nejdříve půl roku od poranění, první klinické známky pak kolem roku od rekonstrukce. Takto dlouhá latence s sebou nese potenciální riziko nedostatečné spolupráce pacientů na procvičování postižených svalových skupin a může vést k selhání léčby.

## 3.8 PORANĚNÍ NSS ASOCIOVANÉ SE ZLOMENINOU LOPATKY

Zlomeniny lopatky tvoří 3–5 % poranění pletence horní končetiny (*Voleti et al., 2012*). Zpravidla vznikají v průběhu vysokoenergetického traumatu vedoucího obecně k mnohočetným poraněním. Incidence zlomeniny lopatky u polytraumatizovaných pacientů je 5–10 %. Zlomenina lopatky svědčí pro těžké poranění hrudníku. Léčba hlavního, život

ohrožujícího úrazu může být v takových případech tak naléhavá, že se přidružená zlomenina lopatky přehlédne nebo zanedbá. Nejčastějšími typy zlomenin lopatky jsou fraktury lamina scapulae („těla“ lopatky) nebo krčku lopatky (collum scapulae) tvořící 62–98 % všech zlomenin (*Ideberg et al., 1995, Voleti et al., 2012*). Paréza NSS je popisována u 2,4–32 % těchto poranění (*Herrera et al., 2009*).

### 3.8.1 Diagnostika zlomenin lopatky

Přesné určení typu zlomeniny a malpozice fragmentů je nezbytným předpokladem pro indikaci chirurgické rekonstrukce. To vyžaduje dvě tzv. Neerovy projekce (rentgenová projekce demonstrující korakoakromiální oblouk) a také 3D-CT rekonstrukci ze zadního, laterálního, předního a mediálního pohledu s odečtením hlavice humeru a klíční kosti.

Relativní radiologická indikační kritéria k operaci u dislokovaných zlomenin lopatky:

- Intraartikulární zlomenina – schodek či rozstup fragmentů > 4 mm, rozsah postižení kloubní plochy > 25 %;
- Extraartikulární zlomenina těla a krčku lopatky: angulace fragmentů laterálního pilíře v Y-projekci 40°, angulace fragmentů laterálního pilíře v Neerově I. projekci 30°, mediolaterální translace fragmentů laterálního pilíře v rovině těla lopatky 20 mm, překryv fragmentů laterálního pilíře v Neerově I. nebo II. projekci 25 mm, glenopolární úhel v Neerově projekci < 20° nebo > 60°;
- Zlomeniny výběžků – poranění tzv. superior shoulder suspensory complex: minimálně dvojitá léze, každá s minimální dislokací 10 mm, báze processus coracoideus + acromion/spina scapulae, processus coracoideus + akromioklavikulární luxace (*Bartoníček et al., 2021*).

### 3.8.2 Léčba zlomeniny lopatky

Konzervativní léčba je indikována u nedislokovaných nebo minimálně dislokovaných zlomenin. Taková opatření spočívají v analgetizaci a dvoutýdenní imobilizaci končetiny v závěsu. Poté je možné začít s pasivním cvičením s cílem dosažení plného pasivního rozsahu pohybu do jednoho měsíce od úrazu. Plný aktivní rozsah pohybu se obnoví během

druhého měsíce. Od třetího měsíce se začíná s posilováním rotátorové manžety a paraskapulárních svalů a během čtvrtého měsíce se všechna omezení ruší (*Ada a Miller, 1991, Bartonicek et al., 2014*).

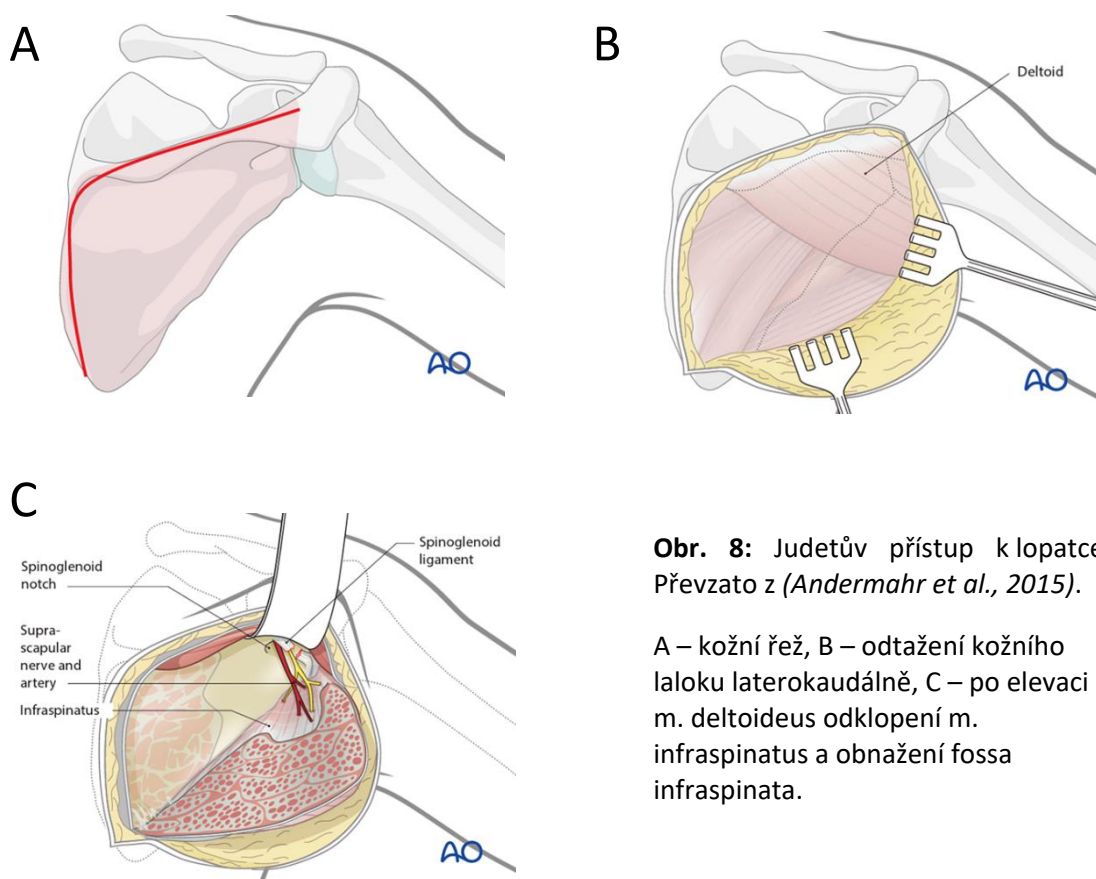
Cíl chirurgické léčby závisí na typu zlomeniny. U dislokovaných intraartikulárních zlomenin jde o obnovení kongruence a stability kloubu. U dislokovaných extraartikulárních zlomenin výběžků, zejména processus coracoideus, akromia a spina scapulae, je cílem dosáhnout zhojení v anatomické poloze, protože hojení v dislokaci může ohrozit rotátorovou manžetu. U dislokovaných extraartikulárních zlomenin těla a krčku lopatky je cílem léčby obnovit anatomickou polohu glenoidu k laterální hranici těla lopatky (glenopolární úhel), tj. rekonstruovat laterální okraj lopatky. Vzhledem k tomu, že většina zlomenin je operována s určitým zpožděním, je nutné identifikovat všechny důležité úlomky a vzniklý kalus zcela odstranit. U zlomenin těla a krčku lopatky je laterální hranice klíčovou strukturou pro úspěšnou vnitřní fixaci (*Bartonicek a Fric, 2011, Zlowodzki et al., 2006*).

Pojem „lopatkový“ nebo „glenoidální krček“ zahrnuje tři různé typy zlomenin, tj. zlomeniny anatomického krčku, zlomeniny chirurgického krčku a transspinózní zlomeniny krčku (*Bartonicek et al., 2014*). Zlomeniny chirurgického krčku jsou nezdědky spojeny se zachycením NSS v linii zlomeniny. Transspinózní zlomeniny krčku jsou přechodným typem lomné linie. Anatomické zlomeniny krčku lopatky jsou vzácné nestabilní zlomeniny, které lze považovat za variaci plovoucího ramena. Vzhledem ke své nestabilitě vyžadují otevřenou repozici a vnitřní fixaci (*Bartonicek et al., 2014*).

Výhodou Judetova přístupu (Obr. 8) je výborná expozice fossa infraspinata. Hlavní nevýhodou je jeho invazivita a častá atrofie m. infraspinatus, která je pravděpodobně způsobena jeho mobilizací. Příčin této atrofie však může být více. Prvním z nich je poranění NSS u zlomenin chirurgického krčku lopatky jeho kompresí v linii lomu. U těchto zlomenin by měl být revidován celý průběh nervu v incisura spinoglenoidalis. Další příčinou může být přetažení nervu při operaci, kdy je mobilizovaný sval retrahován příliš proximálně, mediálně nebo laterálně. Proto je velmi důležitá nepřetržitá vizuální kontrola nervu. Třetí příčinou je nedostatečná reinzerce svalu. Určitou roli může hrát i nedostatečná pooperační rehabilitace (*Bartonicek et al., 2008*).

Provedení omezeného přístupu pomocí laterálního a mediálního okénka je indikováno u příčných dvoudílných zlomenin těla lopatky a výjimečně u třídílných T nebo Y zlomenin těla lopatky s minimálním posunem ve vertikální linii zlomeniny. Velký význam v tomto ohledu má také interval mezi úrazem a operací. Po jednom týdnu je redukce fragmentů z omezeného přístupu obtížná a existuje potenciální riziko zranění NSS. Alternativní laterální přímý přístup k laterálnímu okraji lopatky poskytuje pouze omezenou expozici a nemůže být v případě potřeby rozšířen na celou fossa infraspinata. Proto není vhodný k léčbě zlomenin těla a krčku lopatky. Posterosuperiorní přístup je indikován u izolovaných zlomenin zadní části glenoidu. V případě potřeby může být tento přístup převeden na přístup Judetův (*Bartonicek et al., 2008, Cole et al., 2013*).

Cvičení pasivního rozsahu pohybu v ramenním kloubu začíná první pooperační den a trvá šest týdnů. Aktivní cvičení začínají přibližně čtyři až pět týdnů po operaci v závislosti na rozsahu operačního přístupu a přítomnosti dalších poranění. Všechna omezení rozsahu pohybu ramena se ukončují zpravidla do tří měsíců po operaci (*Bartonicek et al., 2014*).



**Obr. 8:** Judetův přístup k lopatce. Převzato z (*Andermahr et al., 2015*).

A – kožní řež, B – odtažení kožního laloku laterokaudálně, C – po elevaci m. deltoideus odklopení m. infraspinatus a obnažení fossa infraspinata.

## 4 PŘEHLEDOVÁ STUDIE

*Epidemiologie, etiologie a typy těžkých poranění plexus brachialis u dospělých pacientů vyžadujících chirurgickou rekonstrukci: systematické review a meta-analýza (Kaiser et al., 2020) (Příloha 2).*

### 4.1 ÚVOD

Základní referencí při diskuzi o etiopatogenezi PPB bývá tradičně švýcarská studie publikovaná Narakasem v roce 1985, který popsal tzv. „pravidlo 7 x 70“ na základě svých zkušeností se sérií 1068 pacientů (z nich jen 338 operovaných případů) za 18 let (Narakas, 1985): (1) více než 70 % PPB bylo způsobeno dopravními nehodami; (2) z nichž 70 % byla nehoda na motocyklu nebo kole; (3) 70 % z druhé skupiny utrpělo polytrauma; (4) přičemž 70 % z nich mělo supraklavikulární lézi; (5) 70 % pacientů mělo alespoň jednu avulzi kořene; (6) 70 % avulzí bylo v oblasti dolní části plexu (C7–T1); a (7) 70 % pacientů s avulzí mělo chronickou bolest. Tyto údaje jsou však staré více než 30 let.

V současné literatuře existuje pouze několik studií zkoumajících epidemiologii a patofyziologii PPB (Jain et al., 2012, Kaiser et al., 2012, Midha, 1997). Povědomí o frekvenci těžké PPB a jejího vztahu k mechanismu poranění v kontextu polytraumatu se jeví jako klíčové pro včasnou detekci léze. Při informování pacientů o přirozeném průběhu a prognóze PPB je navíc nutné poskytnout adekvátní údaje o epidemiologii a typech lézí.

Cílem tohoto systematického přehledu je poskytnout podrobnou analýzu epidemiologických a etiologických dat současných případů PPB podstupujících chirurgickou rekonstrukci. Mezi studiemi zkoumajícími prevalenci specifických podtypů a příčin PPB byla pozorována velká heterogenita, proto byla provedena i meta-analýza s cílem definování jejich společné prevalence.

## 4.2 METODIKA

### Vyhledávací strategie

Tato studie byla provedena v souladu s metodikou PRISMA (Moher et al., 2009). Elektronické databáze PubMed a Scopus byly prohledávány od ledna 1985 (tj. od publikace Narakasovy studie (Narakas, 1985)) do prosince 2017. Namísto použití „klíčových slov“ byly k vyhledání relevantnějších článků definované termíny hledány v oddílech „název“ nebo „abstrakt“. Například vyhledávací algoritmus pro databázi PubMed byl: “(((brachial plexus injury [Title/Abstract]) OR brachial plexus palsy [Title/Abstract]) OR brachial plexus lesion [Title/Abstract]) AND (((surgical treatment [Title/Abstract]) OR reconstruction [Title/Abstract]) OR repair [Title/Abstract]) OR surgery [Title/Abstract]) OR epidemiology [Title/Abstract]) NOT (((birth [Title/Abstract]) OR obstetric [Title/Abstract]) OR neonatal [Title/Abstract]) OR case report [Title/Abstract])”. Další články byly rovněž hledány z referenčních seznamů vyhledaných článků.

### Kritéria způsobilosti zařazení studie

Kritéria pro zařazení do této meta-analýzy byla: série po sobě jdoucích případů dospělých pacientů s jakýmkoli typem PPB podstupujících chirurgickou rekonstrukci během určitého období; počet případů  $\geq 20$ ; studie poskytla informace alespoň o jednom z následujících: podíl konkrétních typů PPB (zavřené léze, tržné rány a střelná poranění), lokalizace zavřených poranění, klinický rozsah poranění a mechanismus úrazu u zavřených PPB. Kritéria pro vyloučení studie byla: článek nebyl napsán v angličtině (k vyloučení možné chybné interpretace dat vzniklé nedokonalým překladem) a články typu recenze, komentář nebo kazuistika. Kromě toho, pokud byla ve studiích nalezena opakující se data ze stejné chirurgické skupiny/oddělení, byla zahrnuta pouze větší studie.

### Extrakce dat

Dva výzkumníci (Radek Kaiser a Aneta Krajcová) nezávisle určili způsobilost článků a extrahovali data z vhodných článků. Případné nesrovnalosti byly vyřešeny konsenzem. Data získaná z vhodných článků pro tuto studii byla: první autor, rok publikace, země, celkový počet případů, počet pacientů mužského a ženského pohlaví, průměrný věk, typ PPB – zavřené léze, střelná poranění a další otevřené léze, úroveň zavřeného poranění

(supraklavikulární, infraklavikulární a kombinované), klinický rozsah supraklavikulárního poranění (paréza horního nebo dolního plexu a kompletní léze plexu), příčina zavřeného PPB (nehody motocyklu, auta nebo kola / chodce, pády a další).

### **Statistická analýza**

Byla provedena meta-analýza náhodných účinků za účelem shrnutí podílů a 95% intervalů spolehlivosti (CI) pomocí Metaprop (Nyaga et al., 2014) příkazu ve Stata 15.1 (StataCorp LLC Texas, USA). Heterogenita mezi studii byla hodnocena pomocí  $I^2$  statistiky, která kvantifikuje procento odchylek napříč studii v důsledku heterogenity spíše než náhody.  $I^2 \geq 25\%$ ,  $\geq 50\%$  a  $\geq 75\%$  označuje nízkou, střední a vysokou heterogenitu (Johnston et al., 2016). Byla hodnocena sdružená prevalence mužského a ženského pohlaví a typu PPB u všech operovaných pacientů, úroveň zavřené PPB, typ supraklavikulární PPB a příčina zavřené PPB. Publikační zkreslení bylo hodnoceno pomocí Eggerova lineárního testu a byl prezentován trychtýřový graf pro asymetrii. Hladina významnosti byla stanovena na  $p < 0,05$ .

## **4.3 VÝSLEDKY**

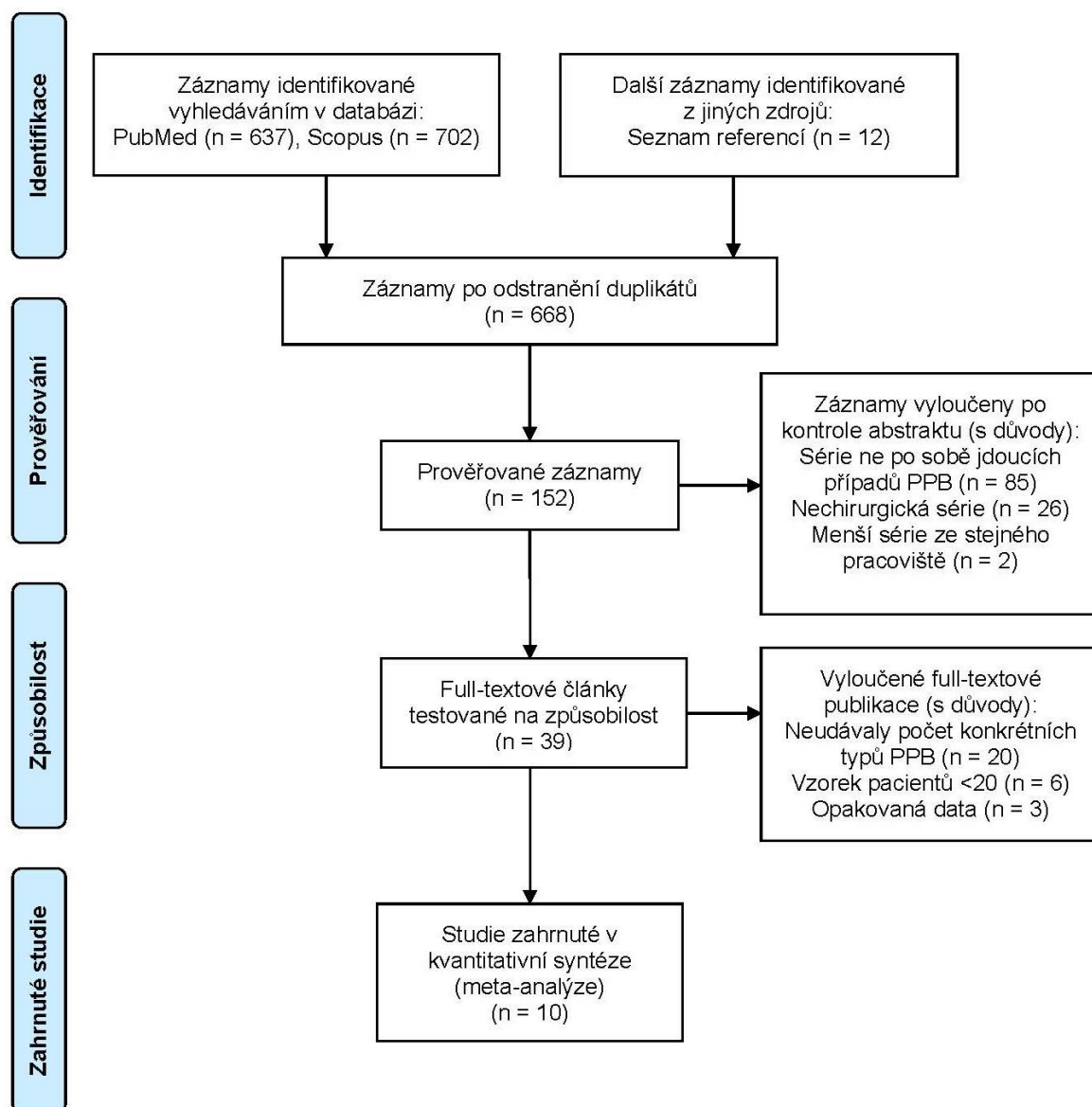
### **Výsledky vyhledávání**

Rešeršní strategií této studie bylo získáno celkem 1351 článků. Po odstranění duplikátů bylo prověřeno 668 článků. Po prohledání abstraktů bylo do užšího výběru zařazeno 39 úplných článků. Z těchto 39 článků bylo 20 vyloučeno, protože neuváděly nic z následujícího: typy operovaných PPB, úroveň zavřených poranění a klinický rozsah supraklavikulárních poranění nebo příčina zavřených PPB. Šest bylo vyloučeno pro velikost vzorku menší než 20 a tři byly vyloučeny pro opakovaná data. Nakonec bylo do této meta-analýzy zahrnuto 10 vhodných článků (Obr. 9).



## Charakteristika studií

Bylo identifikováno 10 studií s celkem 3032 pacienty. Charakteristiky vhodných studií jsou uvedeny v Příloze 2.



Obr. 9: PRISMA diagram.

## Analýza podskupin

Sdružená prevalence postižení mužů a žen, specifické typy PPB a příčiny jsou shrnuty v Tabulce 2.

**Tabulka 2:** Sdružená prevalence zastoupení mužů a žen, specifických typů PPB a jejich příčin.

		Počet studií	Sdružená prevalence (95% CI), %	p hodnota Eggerova testu	p hodnota pro heterogenitu	I <sup>2</sup> , %
Pohlaví	Muži	7	93 (90-96)	0,327	<0,001	79,27
	Ženy	7	7 (4-10)	0,327	<0,001	79,27
Typ PPB	Střelná poranění	10	3 (0-7)	0,394	<0,001	96,21
	Lacerace	10	3 (1-6)	0,666	<0,001	91,92
	Zavřená poranění	10	93 (87-97)	0,453	<0,001	96,68
Úroveň zavřených PPB	Supraklavikulární poranění	8	90 (78-98)	0,928	<0,001	97,65
	Infraklavikulární poranění	8	10 (2-22)	0,342	<0,001	97,65
Typ supraklavikulárních PPB	Parézy horního plexu	6	39 (31-48)	0,244	<0,001	84,57
	Parézy dolního plexu	6	6 (1-12)	0,556	<0,001	89,64
	Kompletní léze	6	53 (47-58)	0,928	0,06	52,65
Etiologie zavřených PPB	Motonehody	8	67 (49-82)	0,43	<0,001	98,17
	Autonehody	8	14 (8-20)	0,315	<0,001	92,38
	Nehoda kol / chodců	8	3 (1-8)	0,95	<0,001	92,69
	Pády	8	0 (0-2)	0,158	<0,001	80,64
	Jiné	8	10 (3-20)	0,569	<0,001	97,22

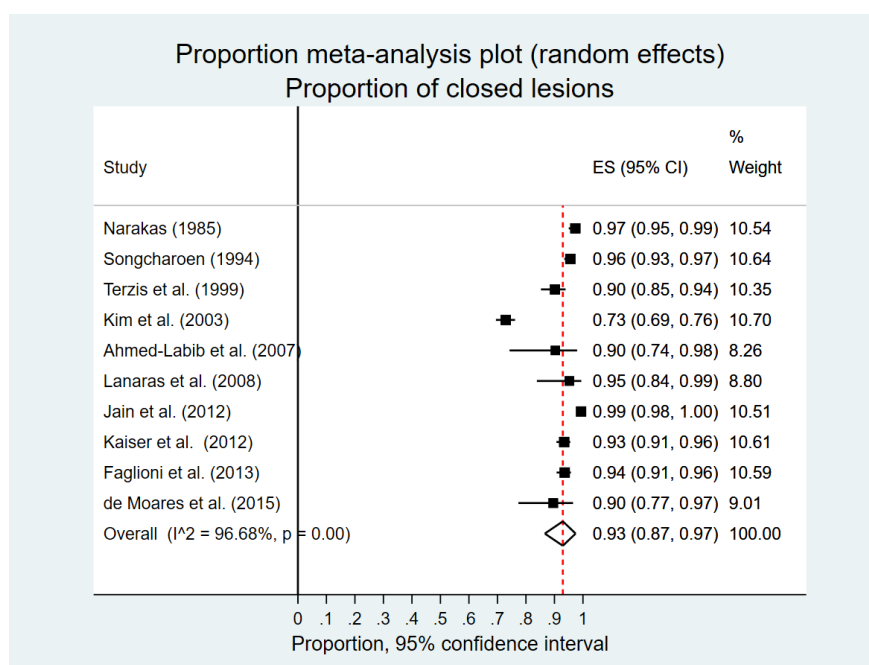
Nejčastějším typem bylo zavřené trakční poranění se sdruženou prevalencí 93 % (95% CI: 87–97 %, Obr. 10). Otevřené léze včetně tržných či ostrých ran a iatrogenických poranění s 3 % (95% CI: 1–6%, Obr. 11) prevalencí a střelná poranění s 3 % (95% CI: 0–7 %, Obr. 12) prevalencí byly vzácné. Sedm studií (1555 pacientů) poskytlo informace o počtu postižených mužů a žen. Souhrnná prevalence pacientů mužského pohlaví byla 93 % (95% CI: 90–96 %), žen bylo postiženo 7 % (95% CI: 4–10 %). Kombinovaný poměr muži : ženy je 13,3 : 1 (95% CI: 9:1; 24:1).

Z osmi studií (1886 pacientů) lze odvodit, že nejčastější příčinou zavřené PPB byly motocyklové nehody se 67 % (95% CI: 49-82 %) souhrnnou prevalencí. Následovaly

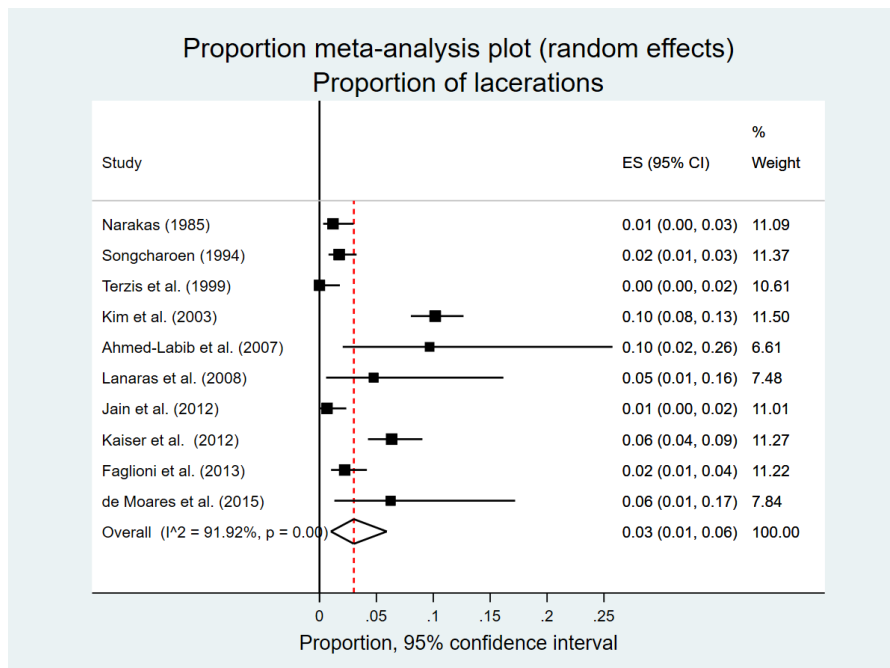
autonehody se 14 % (95% CI: 8–20 %) a „jiné“ mechanismy (pracovní nebo sportovní úrazy, nehody na sněžných skútrech atd.) s 10 % (95% CI: 3–20 %) prevalencí. Nehody na kole nebo sražení chodci představovali 3 % (95% CI: 1–8 %) a pády 0 % (95% CI: 0–2 %) prevalenci. Osm studií (1898 pacientů) poskytlo informace o úrovni zavřeného poranění. Devadesát procent (95% CI: 78–98 %) pacientů utrpělo supraklavikulární nebo kombinované supraklavikulární a infraklavikulární postižení, zatímco 10 % (95% CI: 2–22 %) izolované infraklavikulární poranění. Šest studií prokázalo údaje o úrovni supraklavikulárního poranění. Nejběžnějším typem byla kompletní léze s 53 % (95% CI: 47–58 %) sdruženou prevalencí následovaná lézí horního plexu (C5-6±7) s 39 % (95% CI: 31–48 %) a dolního plexu (C8-T1±C7) s 6 % (95% CI: 1–12 %) prevalencí.

Publikační zkreslení nebylo v této meta-analýze pozorováno, přičemž hodnota p pro Eggerův lineární test byla 0,158–0,928. V souladu s výsledky Eggerova lineárního testu byly trychtýřové grafy symetrické.

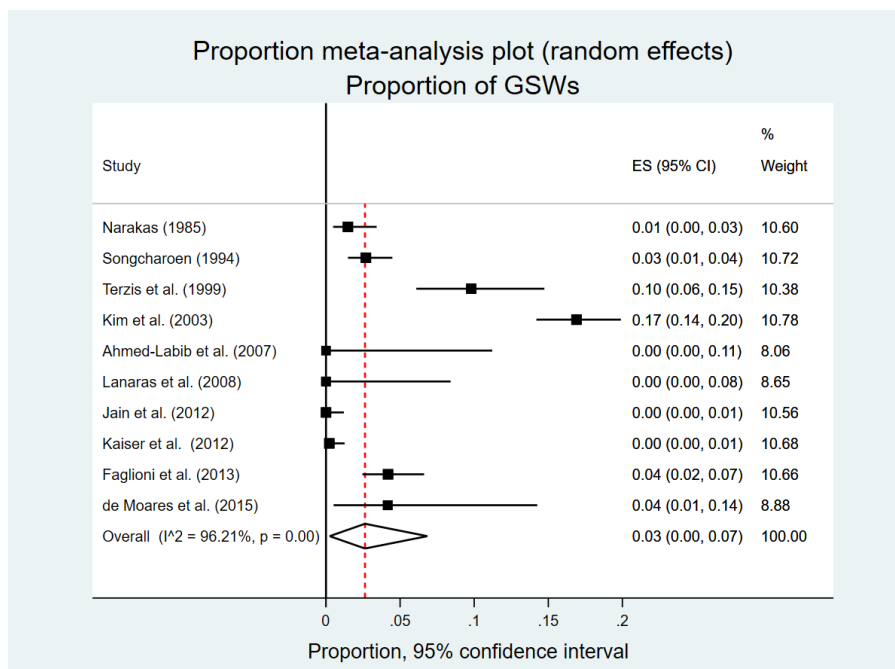
Ve většině podskupin byla heterogenita vysoká. Při odhadu souhrnné prevalence kompletních poranění mezi zavřenými lézemi však byla heterogenita mírná ( $I^2 = 52,65 \%$ ,  $p = 0,06$ ).



**Obr. 10:** Lesní graf („forest plot“) znázorňující prevalenci zavřených PPB ( $n = 2724$ ). U všech čísel vodorovné čáry označují 95% CI; plné čtverce představují bodový odhad každé studie a kosočtverec představuje souhrnný odhad účinku intervence. Velikost plných čtverců je úměrná váze studie.



**Obr. 11:** Graf prevalencí otevřených lézí včetně tržných ran, ostrých a iatrogenických poranění (n = 131).



**Obr. 12:** Graf znázorňující prevalenci střelných poranění (n = 177).

## 4.4 DISKUZE

Tato meta-analýza zahrnuje 10 studií provedených v osmi zemích s celkovým počtem 3032 pacientů. Jedná se o první systematický přehled a meta-analýzu provedenou k odhadu epidemiologických a etiologických faktorů a specifických typů operovaných PPB.

Ačkoli některé z analyzovaných studií (*de Moraes et al., 2015, Jain et al., 2012*) a řada případů PPB souvisejících s motocyklovou nehodou z Velké Británie (*Rosson, 1987*) vykazovaly velmi vysokou mužskou převahu (33–47 : 1), sdružená prevalence mužů a žen byla 93 % (95% CI: 90–96 %) a 7 % (95% CI: 4–10 %). Poměr muži : ženy je tedy 13,3 : 1 (95% CI: 9:1; 24:1). Průměrný věk se pohyboval mezi 23 a 34 lety. Nebyli jsme však schopni vypočítat společný průměrný věk kvůli chybějícím hodnotám směrodatné odchylky ve všech studiích.

### Zavřená poranění

Etiologie PPB se historicky změnila z počáteční dominance otevřených válečných zranění na současnou většinu zavřených lézí způsobených trakčním mechanismem (*Kawai a Kawabata, 2000*). Prevalence zavřených PPB se pohybovala od 72,9 % (*Kim et al., 2003*) do 99,3 % (*Jain et al., 2012*) mezi jednotlivými studiemi a souhrnná prevalence je 93 % (95% CI: 87–97 %).

Mechanismus zavřené PPB může být trakce, komprese nebo kombinace obou. Typické trakční PPB je způsobeno vysokoenergetickým traumatem při dopravních nehodách. Méně často k nim dochází při pádech při zimních sportech (lyžování, snowboarding) nebo ze sněžného skútru. Při těchto nehodách jsou hlava a krk silně odtaženy od ipsilaterální paže. Supraklavikulární PPB horního typu obvykle dominuje, když je končetina podél hrudníku a síla působí shora. V těchto případech přenáší první žebro síly přímo do horních částí plexu. Pokud je paže násilně vtažena do abdukce a extenze, mohou být ovlivněny i prvky dolního plexu. Kompletní léze vznikají buď působením extrémních sil nebo kombinací několika různých sil během pádu (*Midha, 1997*). Infraklavikulární část brachiálního plexu je náchylná k trakčním lézím při současném poranění skeletu. Tyto léze se typicky vyskytují, když je paže v 90° abdukci natažena za frontální rovinu těla nebo při

pádech s hyperabdukovanou a vnitřně rotovanou paží. V těchto případech je obvykle poškozen fasciculus posterior nebo n. axillaris (Coene, 1993).

Horní kořeny jsou chráněny proti avulzi durálními rukávy a vazivovými spoji mezi epineuriem a jednotlivými meziobratlovými otvory, avšak mají mnohem větší sklon k prasknutí. Preganglionární léze horních kořenů může být způsobena buď rupturou nebo avulzí kořenů C5–6 (C7), zatímco poranění dolního plexu téměř vždy avulzí kořenů C8–T1 (Johnson et al., 2006). Přední kořeny jsou kratší než zadní a mají méně fila radicularia, což je činí náchylnějšími k prasknutí (Sunderland, 1974).

## Epidemiologie

Dle Midhy je odhadovaný výskyt zavřených PPB v USA 0,64–3,9 / 100 000 / rok. Jejich prevalence u polytraumatizovaných pacientů je 1,2 %. Předpokládá se, že PPB jsou asi 9x vzácnější než poranění míchy a asi 60x vzácnější než poranění mozku (Midha, 1997). Incidence všech typů PPB ve Spojeném království (včetně lehčích úrazů se spontánní úpravou) je 0,58 (Goldie a Coates, 1992), v Japonsku 0,17 až 0,22 (Kawai a Kawabata, 2000), ve Švýcarsku 0,3 až 0,75 (Narakas, 1985), v ČR a SR dohromady 0,2 (Kaiser et al., 2012) a naopak v Brazílii 1,75 případů / 100 000 / rok (Flores, 2006).

PPB se vyskytuje v 4,2–5 % (Ahmed-Labib et al., 2007, Midha, 1997) polytraumat po nehodách na motocyklu, ve 3–4,8 % po pádu na lyžích nebo snowboardu (Ahmed-Labib et al., 2007, Midha, 1997) a ve 3 % po pádu ze sněžného skútru (Stewart a Black, 2004). PPB tvoří 6–11 % všech operovaných lézí periferních nervů (Eser et al., 2009, Secer et al., 2008). Jsou přítomny u 0,6–0,7 % pacientů s poraněním míchy. Tyto kombinované léze jsou typicky způsobeny nehodami na motocyklu (přes 70 %) (Akita et al., 2006). Na druhé straně 12,2 % pacientů s PPB má různě vyjádřenou míšní lézi (0,8% kompletní míšní poranění a 1,6 % Brownův-Séquardův syndrom) (Rhee et al., 2011).

Midha publikoval dosud největší epidemiologickou studii zahrnující 54 případů PPB ze 4538 pacientů s polytraumatem (1,2 %). PPB bylo spojeno s bezvědomím v 72 % (19 % v kómatu), zlomeninami krční páteře ve 13 %, zlomeninami klíční kosti, pažní kosti nebo lopatky ve 20 % a mnohočetnými zlomeninami žeber ve 41 % (Midha, 1997). Nejčastějším přidruženým poraněním v operační sérii byla zlomenina horní končetiny (55 %) následovaná poraněním páteře ve 43 %. Téměř jedna třetina pacientů utrpěla alespoň

jeden z následujících úrazů: poranění parenchymových orgánů, zlomeniny dolních končetin nebo kóma. Přibližně 25 % pacientů utrpělo zlomeninu lopatky, těžké poranění hlavy a zlomeniny žeber nebo klíční kosti. Bylo však konstatováno, že pacienti s PPB nevykazují žádná „typická doprovodná poranění“, jejichž přítomnost by přímo poukazovala na možnost poranění nervových struktur. Dolní a kompletní léze jsou častěji spojeny s těžkým polytraumatem (*Kaiser et al., 2014*).

## **Etiologie**

Dominantní příčinou zavřených PPB byly motocyklové nehody se 67 % (95% CI: 49–82%) sdruženou prevalencí. Průměrná rychlost motocyklu v době nehody byla v americké studii 88 km/h (40–193) (*Terzis et al., 1999*), zatímco pouze 47 km/h (10–120) v indické sérii (*Jain et al., 2012*). Jain et al. zjistili, že dominantní končetina je při motocyklových nehodách postižena častěji bez ohledu na stranu provozu (*Jain et al., 2012*).

Prevalence dopravních nehod byla 14 % (95% CI: 8–20 %) a „jiných“ mechanismů (pracovní nebo sportovní úrazy, nehody na sněžných skútrech, pád předmětu na rameno nebo zranění způsobené rázem vody z hasičské hadice apod.) byla 10 % (95% CI: 3–20 %). Nehody na kole nebo se sražení chodců byly vzácné. Žádná ze studií neposkytla údaje o specifických kauzálních mechanismech supraklavikulárních a infraklavikulárních zavřených lézí.

## **Typy lézí**

Provedli jsme výpočet kombinované prevalence všech supraklavikulárních PPB, protože jsme z většiny studií nebyli schopni získat přesné informace o frekvenci supraganglionárních a infraganglionárních poranění. Navíc byla analyzována kombinovaná supraklavikulární a infraklavikulární poranění spolu s izolovanými supraklavikulárními poraněními vzhledem k jejich podobné patofyziologii a prognóze. Frekvence těchto lézí u zavřených PPB vyžadujících chirurgický zákrok se pohybovala mezi 60,7 % (*Ahmed-Labib et al., 2007*) a 100 % (*de Moraes et al., 2015*). Jejich souhrnná prevalence však byla 90 % (95% CI: 78–98 %) ve srovnání s 10 % (95% CI: 2–22 %) prevalencí izolovaných infraklavikulárních lézí. To je v souladu s výsledky nedávné studie Bertelliho et al. 565 chirurgicky léčených trakčních PPB (*Bertelli et al., 2017*). Ačkoli Narakas (*Narakas, 1985*) zjistil 70 % prevalenci těchto lézí u všech svých 1068 pacientů (včetně případů nepodstupujících operaci), vyšší

hodnotu v této meta-analýze chirurgických případů lze částečně vysvětlit vyšší tendencí infraklavikulárních PPB ke spontánní úpravě. Midha zjistil, že chirurgická revize byla nutná u 52 % supraklavikulárních a pouze u 17 % infraklavikulárních lézí ve velké studii polytraumatizovaných pacientů (Midha, 1997). Přestože syndrom horního plexu převládal u obětí dopravních nehod (73,9 %) (Kaiser et al., 2012) i v sérii 13 operovaných ragbistů se zavřeným supraklavikulárním PPB (61 %) (Altaf et al., 2012), souhrnná prevalence lézí horního plexu byla 39 % (95% CI: 31–48 %). Supraklavikulární léze byla nejčastěji spojena s kompletní obrnou brachiálního plexu s prevalencí 53 % (95% CI: 47–58 %), zatímco poranění dolního plexu se 6 % (95% CI: 1–12 %) prevalencí bylo vzácné. Bylo však zjištěno, že obrna dolního plexu je relativně častější u dopravních nehod (9 %) a kompletní PPB se u zraněných chodců nevyskytuje (Midha, 1997). Údaje týkající se rozsahu infraklavikulárních PPB ve většině studií chyběly.

Studie o PPB po dopravních nehodách ukázala, že 71,8 % pacientů mělo alespoň jednu avulzi, 26,1 % pacientů mělo avulzi všech kořenů nebo avulzi dolních kořenů, zatímco 45,7 % pacientů mělo avulzi pouze v horní oblasti (Kaiser et al., 2012). Data ukázala podobnost s výsledky Narakasovy studie (Narakas, 1985), jediným větším rozdílem byla obrácená frekvence horních a dolních avulzí. Tuto skutečnost lze snad vysvětlit rozdíly v dopravním provozu a mechanismech úrazů v posledních 20 letech a v období před 30–40 lety.

Bylo zjištěno, že všichni cestující, kteří byli při autonehodě připoutáni bezpečnostními pásy, utrpěli horní PPB na straně, kde bezpečnostní pás přecházel přes rameno. Naproti tomu 86 % pacientů s úplnou obrnou nemělo bezpečnostní pás. Bezpečnostní pás pravděpodobně působí jako těsná bariéra, která stlačuje supraklavikulární oblast. Následná trakce vedoucí k prudké depresi ramene a relativnímu ventrokranálnímu pohybu hlavy a krku vede k ruptuře nebo avulzi horních kořenů. V případech bez použití pásů je závažnější PPB způsobeno pravděpodobně sumací více různých sil (Kaiser a Haninec, 2012b).

## **Lacerace**

Otevřené PPB včetně řezných, bodných či tržných ran a iatrogeně způsobených traumat jsou vzácné. Souhrnná prevalence je 3 % (95% CI: 1–6 %) všech případů



podstupujících chirurgickou léčbu. Typicky postihují infraklavikulární oblast a jsou často doprovázeny současnou zlomeninou humeru nebo poraněním velkých cév (*Kim et al., 2003, Terzis et al., 1999*). Iatrogenní trauma může být způsobeno při axilárním bloku, resekci nádorů krku nebo v supraklavikulární oblasti nebo při operacích velkých cév (*Kim et al., 2003*).

Rozsáhlé lacerace brachiálního plexu jsou extrémně vzácné. Byla popsána zranění způsobená kovovými předměty, ventilátorem nebo lopatkami motoru (*Kim et al., 2005*) a kousnutím zvířaty (*Flores, 2006, Kim et al., 2005*). Vzácně mohou být PPB způsobeny motorovou pilou. Přestože Kim a spol. popsali poranění motorovou pilou jako příčinu některých tržných ran plexu, nevedli ani počet takových případů, ani úroveň poranění (supraklavikulární nebo infraklavikulární) (*Kim et al., 2005*). Zpětný ráz řetězové pily je reaktivní síla, která může nastat, když se špička vodicí lišty s obíhajícím řetězem dostane do kontaktu s relativně masivním nebo nehybným předmětem. Řetěz se může silně zaseknout do dřeva a vymrští lištu směrem k obsluze. Tato poranění se nejčastěji vyskytují na horních (36 %) a dolních končetinách (43 %) a hlavě (9 %). Krk je postižen méně často, ale takové případy mají obvykle závažnou prognózu nebo končí fatálně v důsledku poranění cév nebo dýchacích cest (*Brown, 1995*). Dosud byly publikovány pouze dva případy nefatálního poranění krku s izolovanou supraklavikulární PPB (*Demuynck a Zuker, 1995, Kaiser a Ullas, 2016*).

### **Střelná zranění**

Střelná poranění plexu jsou vzácná a obvykle velmi závažná. Rozsah léze je způsoben autodestruktivním chováním samotného projektilu a kavitací, která závisí jak na velikosti, tak na tvaru, konstrukci a rychlosti střely. Zranění vysokorychlostním projektilem je typické pro válečnou chirurgii. Má horší prognózu než zranění způsobená civilními zbraněmi v důsledku větších, často devastujících poranění měkkých a kostních tkání i výrazné kontaminace rány. Kostní fragmenty v těchto případech mohou působit jako sekundární projektily zvyšující rozsah léze (*Gousheh, 2001*).

Prevalence střelných poranění v civilních zprávách je 3 % (95% CI: 0–7 %). Nejvyšší podíl těchto úrazů byl zjištěn ve dvou studiích z USA – 9,8 % (20/204 pacientů) (*Terzis et al., 1999*) a 19,9 % (118/698 pacientů s PPB) (*Kim et al., 2003*). Zranění byla způsobena ručními

zbraněmi, puškami nebo brokovnicemi a většina ran byla od kulek, ale několik bylo způsobeno úlomky granátů (Kim et al., 2006). Pro srovnání, série případů z Kanady (Ahmed-Labib et al., 2007), Indie (Jain et al., 2012) a Německa (Lanaras et al., 2009) nezahrnovaly žádného pacienta se střelným poraněním.

Doposud byly publikovány pouze dvě válečné studie hodnotící PPB způsobená postřelením v Irácko-iránské válce (20 případů) (Samadian et al., 2009) a Jugoslávské válce (54 případů) (Samardzic et al., 1997). Secer et al. popsali největší sérii 256 pacientů s 288 PPB způsobenými střelným úrazem operovanými během 41 let (1966–2007) v Turecku. Průměrný věk byl 22 let (Secer et al., 2009). Střelná poranění typicky postihují infraklavikulární část brachiálního plexu (90–92 %), zatímco supraklavikulární PPB jsou mnohem vzácnější (8–10 %) (Samadian et al., 2009, Secer et al., 2009). Vzhledem k podobnému mechanismu poranění je nutné zmínit dva případy PPB popsané u 112 přeživších bombového útoku v Bejrútu (prevalence 1,8 %) (Scott et al., 1986).

### **Limitace**

Tato studie má určitá omezení. Za prvé, tato meta-analýza zahrnovala 10 vhodných článků, přičemž žádný z nich neposkytoval podrobný popis věku (směrodatnou odchylku). Většina článků také neukázala podíl supraganglionárních a infraganglionárních poranění, rozsah léze u tržných a střelných ran a zavřených infraklavikulárních poranění a specifické příčiny uzavřených supraklavikulárních a infraklavikulárních lézí. Za druhé, heterogenita byla vysoká ve většině podskupin. Za třetí, studie poskytly informace pouze o operovaných pacientech, ale ne o závažných PPB, která nebyla indikována k operaci z důvodu stáří úrazu nebo závažnosti poranění. Za čtvrté, zobecnitelnost studie je částečně omezená nezahrnutím dat z článků psaných jiným jazykem než angličtinou.

Navzdory předchozím omezením má tato studie dvě silné stránky. Za prvé, jedná se o první meta-analýzu odhadující souhrnnou prevalenci epidemiologických a etiopatogenetických faktorů současných PPB podstupujících chirurgickou léčbu. Za druhé, důvěryhodnost při interpretaci výsledků této studie významně zvyšuje skutečnost, že v této meta-analýze nebylo zjištěno žádné riziko publikačního zkreslení.

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Studie 1: *Anatomická studie neurotizace větve n. suprascapularis pro m. infraspinatus pomocí n. accessorius (Kaiser et al., 2021) (Příloha 3).*

Studie 2: *Anatomická studie neurotizace větve n. suprascapularis pro m. infraspinatus pomocí n. subscapularis inferior (Krajcová et al., 2023) (Příloha 4).*

### 5.1 ÚVOD

Jak již bylo zmíněno, poranění NSS je přítomno až u jedné třetiny zlomenin lopatky (Herrera et al., 2009). Zlomeniny lamina scapulae nebo incisura spinoglenoidalis jsou typicky spojeny s poraněním terminální větve NSS pro m. infraspinatus (NSS-infra). Výsledná ztráta vnější rotace paže způsobená obrnou m. infraspinatus je následkem výrazně limitujícím funkci horní končetiny (Baltzer et al., 2017).

Přestože přímá neurotizace NSS-infra byla popsána u porodní obrny brachiálního plexu (Sommarhem et al., 2015), anatomická proveditelnost u dospělé populace nebyla nikdy zkoumána. Navíc, ani rekonstrukce poranění NSS po zlomenině lopatky nebyla dosud publikována. Přestože byly provedeny opakované anatomické studie zkoumající morfologii proximálního úseku n. XI a schéma inervace m. sternocleidomastoideus a m. trapezius (Overland et al., 2016), podrobná morfologie distální části nervu (jeho průběh v m. trapezius) nebyla doposud tak dobře popsána.

Cílem první studie bylo detailně popsat anatomii hrudní části n. XI a určit proveditelnost jeho přímého přenosu na NSS-infra ze zadního přístupu.

Cílem druhé studie bylo popsat detailní anatomii NSS-infra a určit proveditelnost jeho přímé neurotizace pomocí n. subscapularis inferior z dorzálního přístupu.

#### **Anatomické poznámky**

*Anatomie n. accessorius (n. XI)*

Ramus externus n. accessorii (spinal accessory nerve) je čistě somatomotorický nerv zásobující m. sternocleidomastoideus a m. trapezius. Je pokračováním vláken, která začínají

v míšním jádře nucleus nervi accessorii v míšních segmentech C1–C6 a vzestupují v páteřním kanále jako radix spinalis nervi accessorii, procházejí skrz foramen magnum do lebeční dutiny a připojují se k vláknům tzv. radix cranialis, jež funkčně náleží k n. vagus. Krátký společný kmen n. XI vystoupí z lebky skrz foramen jugulare a rozvidlí se na ramus internus, obsahující vlákna z nucleus ambiguus a spojující se opět s n. vagus, a na ramus externus, který sbíhá retrostyloidním prostorem přes vrchol trigonum caroticum do regio cervicalis lateralis. Ve foramen jugulare se n. XI nachází laterálně od n. vagus a ventrálně od v. jugularis interna, v retrostyloidním prostoru pak mezi a. carotis interna a v. jugularis interna. Poté sestupuje mediálně od processus styloideus ossis temporalis a septum styloideum před processus transversus atlantis. Mezi venter posterior musculi digastrici a v. jugularis interna přechází do (70–80 % případů) nebo pod (20–30 % případů) m. sternocleidomastoideus provázen větví z a. occipitalis (její ramus sternocleidomastoideus).

Po průběhu v m. sternocleidomastoideus opouští jeho zadní hranici 7–9 cm nad klíční kostí (těsně nad polovinou jejího zadního okraje). Protíná regio cervicalis lateralis (trigonum omotrpezium) laterokaudálním směrem, povrchově od m. levator scapulae, oddělený od něj prostřednictvím lamina prevertebralis fasciae cervicalis a tukovým vazivem. Následně proráží m. trapezius, nejčastěji 2–4 cm nad klíční kostí (*Kierner et al., 2000*). Po odstupu větvíček pars descendens m. trapezii probíhá distálně od bodu ležícího na linii mezi C7 a akromiem jako izolovaný hlavní kmen (*Bae et al., 2018*). I když lze prakticky vždy nalézt alespoň přídatný ramus muscularis, tedy ramus communicans mezi n. XI a míšními nervy z plexus cervicalis (tzv. Maubracova ansa), obvykle C3–C4 (*Gavid et al., 2016, Tubbs et al., 2011*), motorický vstup z plexus cervicalis do m. trapezius je patrný pouze v jedné třetině případů (*Gavid et al., 2016*).

#### *Anatomie n. subscapularis inferior*

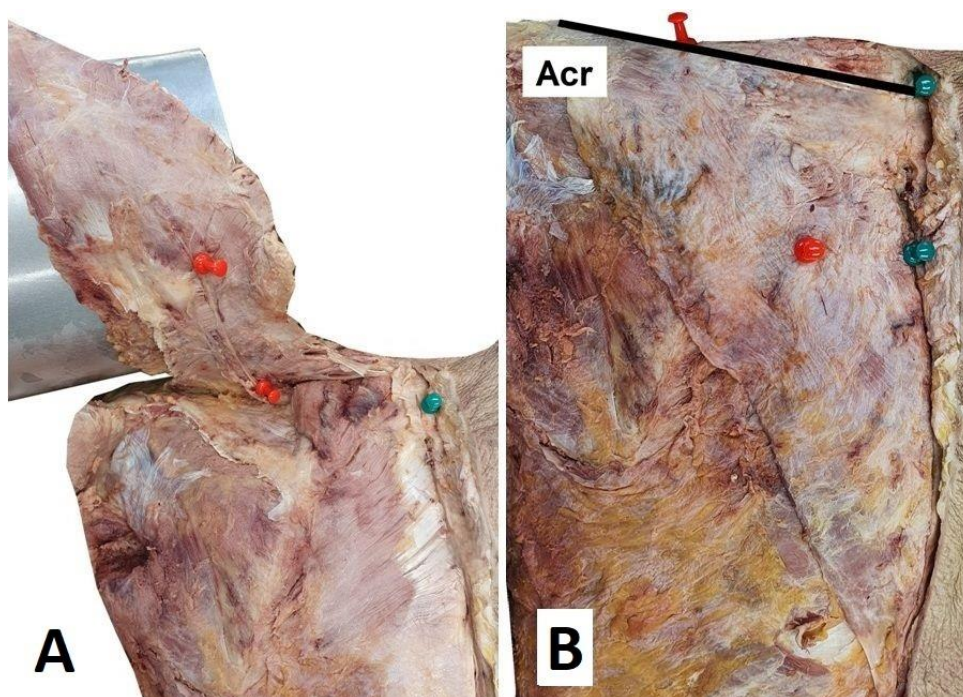
N. subscapularis inferior vychází v 79 % z fasciculus posterior plexus brachialis a v 21 % z proximálního segmentu n. axillaris (*Tubbs et al., 2007*). Tvoří ho nejen fascikly vycházející z C5 a C6, ale také z C7 (40 % nervových vláken) (*Chen et al., 2013*). Inervuje dolní část m. subscapularis a m. teres major. Střední délka větve pro m. teres major je 6 cm (3,3–8,9 cm) a její průměr je asi 1,9 mm (1,1–3,1 mm) (*Tubbs et al., 2007*).

## 5.2 METODIKA STUDIE 1

Studie byla provedena na 25 lidských kadaverech (připravených pro výuku anatomické pitvy), naložených ve standardizovaném roztoku 4 % kyseliny fenolové a 0,5 % formaldehydu. Těla byla darována se souhlasem k použití pro výukové a výzkumné účely. Byla použita pouze těla bez známek předchozí operace nebo jakékoli jiné závažné abnormality v oblastech zájmu. Pro standardizaci byly všechny preparace provedeny na levé straně.

### *Průběh a délka n. XI*

Po protěti kůže a odstranění podkožního tuku byl vypreparován m. trapezius, vertikálně paravertebrálně rozříznut, odpojen od spina scapulae a rotován laterokraniálně (Obr. 13 A). Celý průběh n. XI byl vypreparován od vstupu do m. trapezius v regio cervicalis lateralis (trigonum omotrapezium) až po koncové větve.



**Obr. 13:** Technika morfologického mapování n. XI. (A) Trapézový sval byl odpojen od trnových výběžků a spina scapulae a rotován kranio-laterálně. N. XI byl vypreparován od jeho vstupu do trapézového svalu až po koncové větve. Poté byl označen horním červeným připínáčkem na linii mezi vertebra prominens (C7, horní zelený připínáček) a akromiem (Acr), resp. spodním červeným připínáčkem v místě nejvzdálenější větve n. XI o průměru 2 mm. (B) Trapézový sval byl rotován zpět do původní polohy po zavedení další sady červených připínáček ze svého vnějšího povrchu do bodů odpovídajících umístění vnitřních připínáček. Spodní zelený připínáček byl vložen do horizontálně odpovídajícího hrudního trnového výběžku.

Poloha nervu byla označena na dvou místech:

**Bod A** (horní červený připínáček): na linii mezi vertebra prominens (C7, horní zelený připínáček) a akromiem, od kterého n. XI probíhá kaudálně jako izolovaný hlavní kmen;

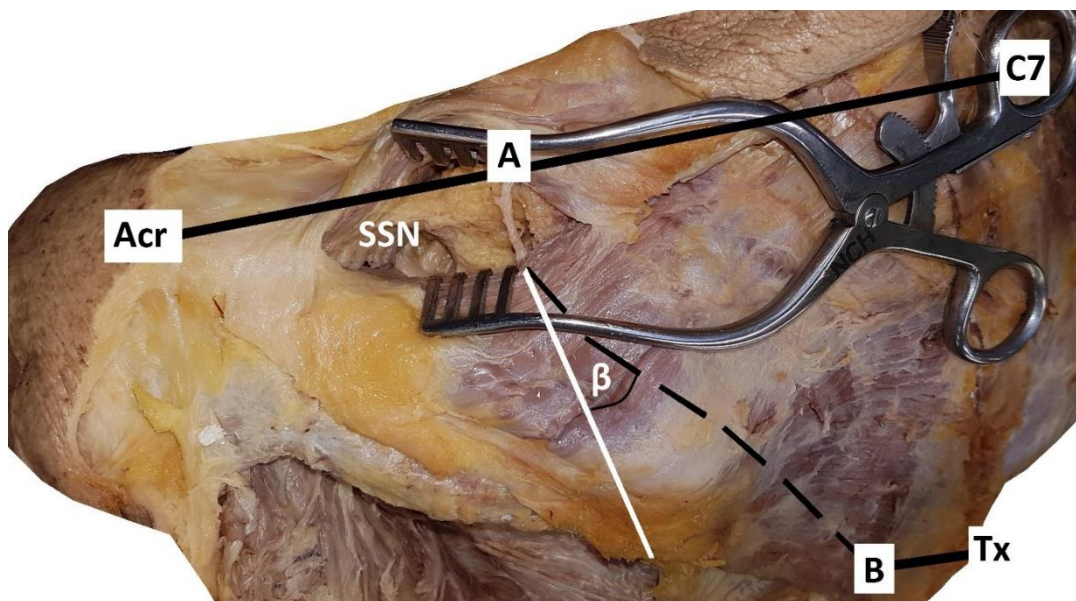
**Bod B** (dolní červený připínáček): v bodě nejvzdálenější větve n. XI o průměru 2 mm. Tento průměr byl stanoven jako minimální použitelný rozměr n. XI pro rekonstrukci, protože průměr celého NSS je  $2,48 \pm 0,6$  mm (Polguy et al., 2015).

Poté byl sval zvednut a další sada červených připínáčků byla vložena z jeho vnějšího povrchu palpací špiček vnitřních připínáčků, které byly poté odstraněny. Sval byl rotován zpět do původní polohy (Obr. 13 B). Délka intramuskulární části n. XI (tedy „délka n. XI“) byla měřena mezi body A a B.

Pro výpočet průběhu n. XI byla měřena vzdálenost nervu od střední čáry ve dvou polohách:

**Vzdálenost 1:** mezi bodem A (horní červený připínáček) a obratlem C7 (horní zelený připínáček);

**Vzdálenost 2:** na vodorovné čáře mezi bodem B (dolní červený připínáček) a odpovídajícím trnovým výběžkem označeným dolním zeleným připínáčkem. Průběh nervu pod úhlem  $\beta$  byl definován ve vztahu k vertikální linii protínající horní polohu nervu (bod A). Úhel byl vypočten podle vzorce  $\beta = \arcsin(b/c)$ . Linie  $b$  byla vypočtena jako rozdíl mezi oběma vzdálenostmi a linie  $c$  byla délkou nervu. Přímka  $c$  a výsledný úhel  $\beta$  jsou přibližné, protože průběh nervu není lineární (Obr. 14).



**Obr. 14:** Poloha (A) vstupního bodu n. XI do trapézového svalu na linii mezi akromiem (Acr) a trnovým výběžkem C7 a (B) nejkaudálnější části nervu o průměru minimálně 2 mm. Vzdálenost 1 měřená mezi body A a C7; Vzdálenost 2 mezi B a trnovým výběžkem odpovídajícího hrudního obratle (Tx); Přerušovaná čára – předpokládaný průběh nervu v trapézovém svalu; Bílá čára – svislá čára z bodu A;  $\beta$  – úhel mezi svislou čarou a n. XI.

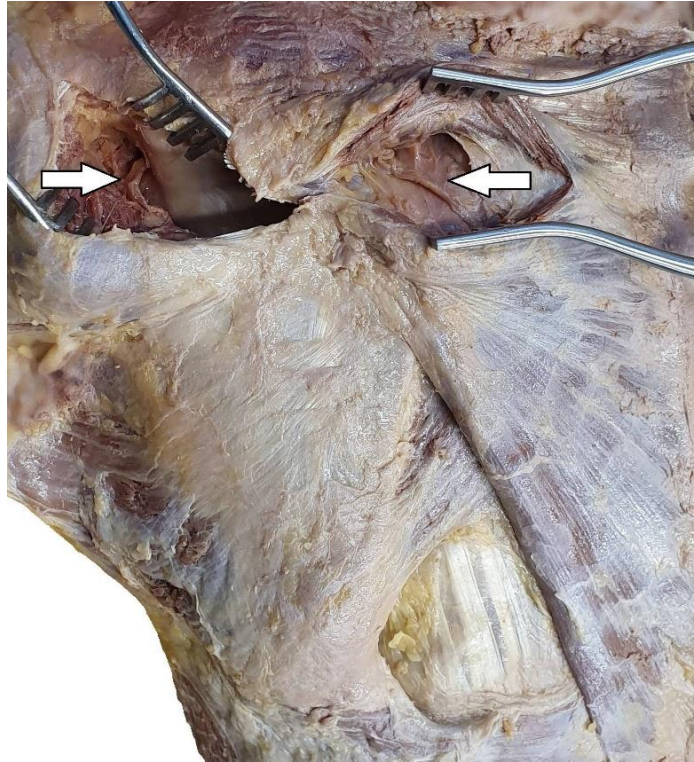
#### *Technika přenosu n. XI na NSS-infra*

M. deltoideus a horní část m. infraspinatus byly odpojeny od dolního okraje spina scapulae a ode dna fossa infraspinata jako u standardního Judetova přístupu (*Bartonicek et al., 2008*) využívaného k operační léčbě zlomenin lopatkového těla. NSS-infra byl vypreparován ve spinoglenoidálním zářezu, přeříznut a sledován distálně do jeho větvení. Byla měřena délka distálního pahýlu NSS-infra k jeho větvení.

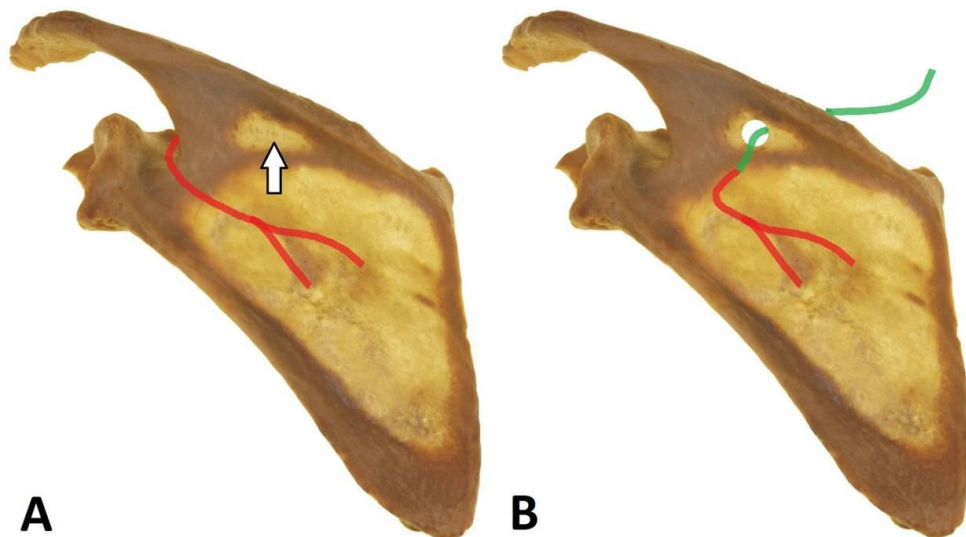
Po provedení měření délek obou nervů byl m. trapezius upevněn do původní pozice a připevněn zpět k páteři. Následně byla mediálně od spina scapulae horizontálně prořazena jeho fascie. Poté byl mezi svalovými vlákny vypreparován n. XI (Obr. 15) a byla změřena vzdálenost mezi ním a mediálním okrajem spina scapulae. Následně byla provedena tupá disekce n. XI a nerv byl prořat co nejkaudálněji. Konec nervu byl zkrácen v bodě s minimálním průměrem 2 mm dle měření mikrokaliperem (XTline, ČR). Pahýl n. XI byl poté mobilizován kraniálně do sestupné části trapézového svalu.

Poté byla svalová vlákna m. supraspinatus odpojena od mediální poloviny horního okraje spina scapulae. Středová zeslabená oblast (Obr. 16 A) byla prořazena ostrými nůžkami a byla vytvořena díra o průměru 10 mm. Délka mobilizovaného pahýlu n. XI byla měřena

od nejkraniálnějšího bodu, do kterého byl nerv mobilizován v sestupné části trapézového svalu. Takto mobilizovaný nerv byl poté přenesen připraveným kanálem pod spina scapulae do fossa infraspinata. Následně byly oba pahýly přiblíženy k sobě ke zjištění proveditelnosti jejich end-to-end sutury bez napětí (Obr. 16 B, 17).

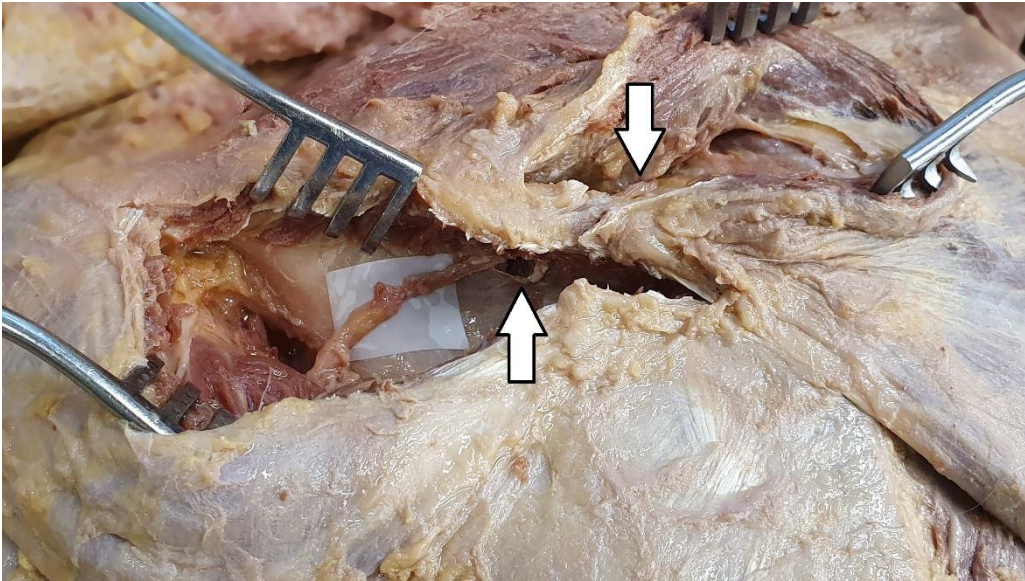


**Obr. 15:** Anatomická situace po oddělení m. infraspinatus od spina scapulae a dna fossa infraspinata a disekci n. XI mezi svalovými vlákny m. trapezius. Šipka vlevo – NSS-infra; šipka vpravo – n. XI.



**Obr. 16:** Prosvícená lopatka, pohled zdola zezadu. Převzato z (Bartonicek et al., 2018) a upraveno. A. NSS (červený) prochází skrz incisura spinoglenoidalis; šipka – centrální oslabená oblast. B. Schematický nákres přenosu n. XI (zelený) na NSS-infra (červený). N. XI procházející kostním kanálem v oslabené oblasti pod spina scapulae.





**Obr. 17:** Přímý přenos n. XI na NSS-infra. Šipka vlevo – n. XI přenesený skrz kostní kanál v centrální oslabené části spina scapulae; Šipka vpravo – proximální část n. XI.

## 5.3 VÝSLEDKY STUDIE 1

Měření jsou shrnuta v Tabulce 3.

**Tabulka 3:** Morfologická analýza intramuskulární části n. XI a NSS-infra. Vzdálenost 1 – vzdálenost n. XI (bod A) od páteře měřená na linii akromion-C7; Vzdálenost 2 – vzdálenost nejdálší části n. XI o minimálním průměru 2 mm (bod B) od páteře; Délka n. XI – délka intramuskulární části nervu mezi body A a B;  $\beta$  – úhel mezi vertikálou z bodu A a průběhem n. XI; Vzdálenost n. XI – spina scapulae – vzdálenost mezi n. XI a mediálním koncem spina scapulae; Délka n. XI pro rekonstrukci – délka pahýlu dárce dostupného tupou disekcí a mobilizovaného do fossa infraspinata pro rekonstrukci NSS-infra; Délka NSS-infra – délka dostupného distálního pahýlu NSS-infra k jeho větvení, který lze mobilizovat pro suturu s n. XI.

Kadaver	Vzdálenost 1 (cm)	Vzdálenost 2 (cm)	Délka n. XI (cm)	$\beta$ (stupně)	Vzdálenost n. XI – spina scapulae (cm)	Délka n. XI pro rekonstrukci (cm)	Délka NSS-infra (cm)
1	9,4	4,2	17,2	17,32	2,8	10,7	3,8
2	8,2	5,0	13,1	14,00	1,8	6,6	2,9
3	6,8	3,3	13,4	14,97	2,6	6,4	2,6
4	9,4	4,7	18,0	14,96	2,3	11,1	2,6
5	9,3	3,9	15,8	19,58	3,4	9,8	4,2
6	7,8	4,1	13,4	15,82	2,4	7,1	3,4
7	8,5	3,8	16,0	16,83	2,6	7,4	4,0
8	9,1	5,7	17,4	11,20	1,4	9,0	4,6
9	10,1	4,2	17,2	19,65	3,8	11,8	4,5
10	7,4	4,3	12,7	13,99	2,1	7,1	3,2
11	6,9	3,4	12,0	16,71	2,7	6,8	2,8
12	8,8	5,1	15,8	13,42	2,3	8,4	3,4
13	9,5	5,1	16,7	15,10	2,3	10,5	4,8
14	9,2	2,8	16,4	22,36	4,1	9,6	3,5
15	8,1	5,2	12,1	13,73	2,0	7,1	3,1
16	7,5	5,1	11,4	12,06	1,9	6,9	3,7
17	7,9	4,3	12,4	16,63	2,8	6,8	3,4
18	7,4	4,4	12,4	13,86	2,1	6,7	3,5
19	9,0	4,9	16,2	14,50	2,4	7,5	4,9
20	9,2	5,6	15,9	12,97	1,7	8,1	3,2
21	8,8	5,2	14,9	13,84	1,6	7,8	3,2
22	8,4	4,1	14,0	17,60	3,0	6,7	3,9
23	7,9	4,3	13,1	15,87	2,2	6,9	4,1
24	9,2	5,1	16,0	14,68	2,4	8,3	2,8
25	8,8	4,4	15,2	16,81	2,7	7,3	4,1

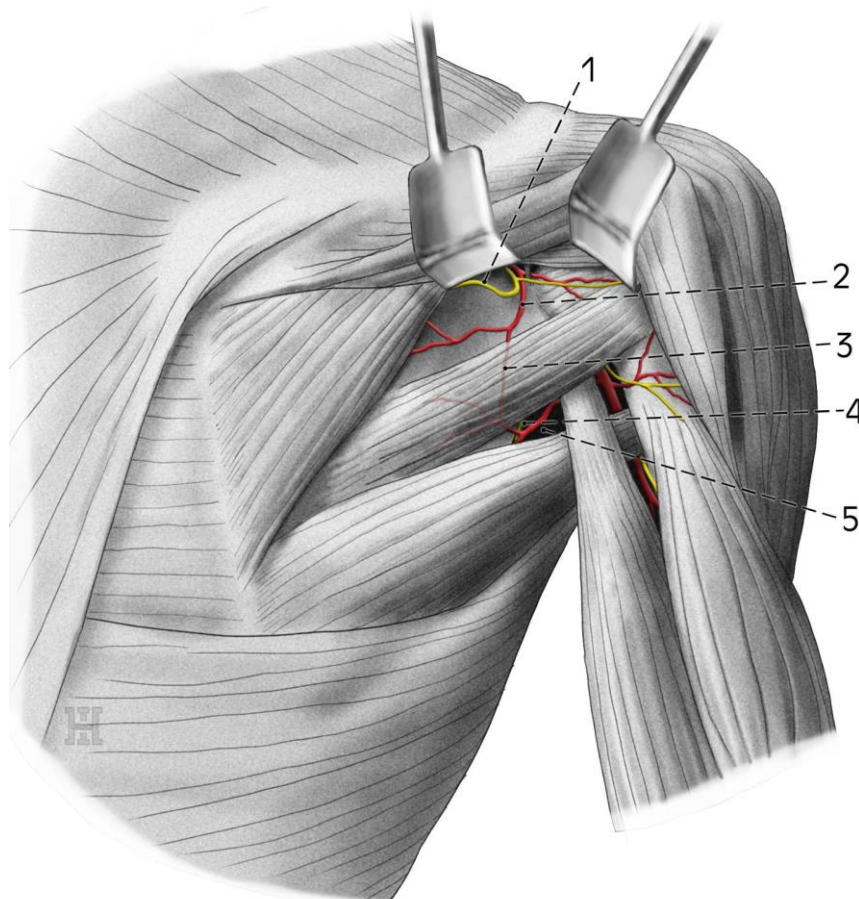
Průměrná vzdálenost n. XI od páteře na linii akromion-C7 byla 8,5 cm ( $\pm 0,88$ ) (Vzdálenost 1) a 4,49 cm ( $\pm 0,72$ ) v nejdálší části nervu s minimálním průměrem 2 mm (Vzdálenost 2). Průměrná délka intramuskulární části nervu (délka n. XI) byla 14,74 cm ( $\pm 1,99$ ) a nerv probíhal pod průměrným úhlem  $\beta = 15,54^\circ$  ( $\pm 2,51$ ).

Průměrná vzdálenost mezi n. XI a mediálním koncem spina scapulae byla 2,44 cm ( $\pm 0,64$ ). Průměrná délka distálního pahýlu NSS-infra k jeho větvení byla 3,6 cm ( $\pm 0,67$ ).

Přenos nervu se ve všech případech jevil anatomicky proveditelný. Průměrná délka pahýlu n. XI o minimálním průměru 2 mm, který byl mobilizován z původního směru a přenesen do fossa infraspinata připraveným kostním kanálem k dosažení distálního pahýlu NSS-infra, byla 8,09 cm ( $\pm 1,6$ ).

## 5.4 METODIKA STUDIE 2

Studie byla provedena na 18 kadaverech, z důvodu standardizace vždy na pravé straně. Ostatní parametry přípravy kadaverů byly shodné s metodikou Studie 1. Základní anatomickou situaci zobrazuje Obr. 18.

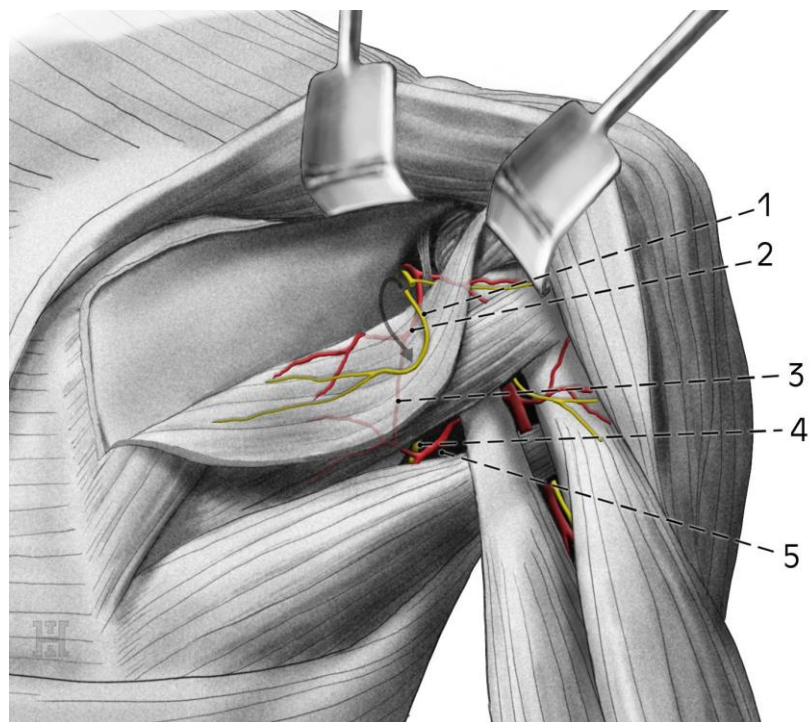


**Obr. 18:** Schéma anatomie nervů a tepen v lopatkové krajině na pravé straně (pohled zezadu). (1) Větev n. suprascapularis pro m. infraspinatus (NSS-infra), (2) a. suprascapularis, (3) a. circumflexa scapulae, (4) n. subscapularis inferior (NSI), (5) foramen omotricipitale.

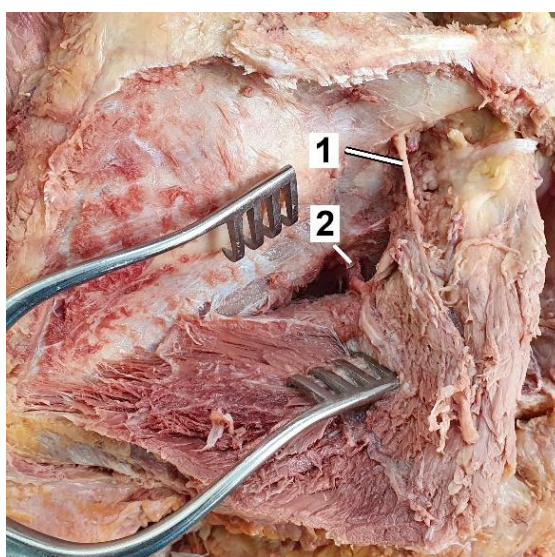
### *Disekce větve n. suprascapularis pro m. infraspinatus (NSS-infra)*

Po protěti kůže a odstranění podkožního tuku byl vypreparován m. infraspinatus, který byl odpojen od dolní části spina scapulae a mediálního okraje lopatky. Poté byl uvolněn ode dna fossa infraspinata a rotován laterokaudálně jako při standardním Judetově přístupu (*Bartoniczek et al., 2008*) (Obr. 19, 20). Celý průběh NSS-infra byl vypreparován od incisura spinoglenoidalis až po koncové větve. Po protěti co nejproximálněji v incisura spinoglenoidalis byl nerv mobilizován ze svalu. Následně byla v m. infraspinatus identifikována a. circumflexa scapulae, která byla tupě disekována

laterokaudálně až mimo tělo lopatky. Délka distálního pahýlu NSS-infra byla změřena ke konci jeho první větve a celý nerv byl poté rotován kaudálně do oblasti foramen omotricipitale podél a. circumflexa scapulae. M. infraspinatus byl poté rotován zpět do původní polohy.



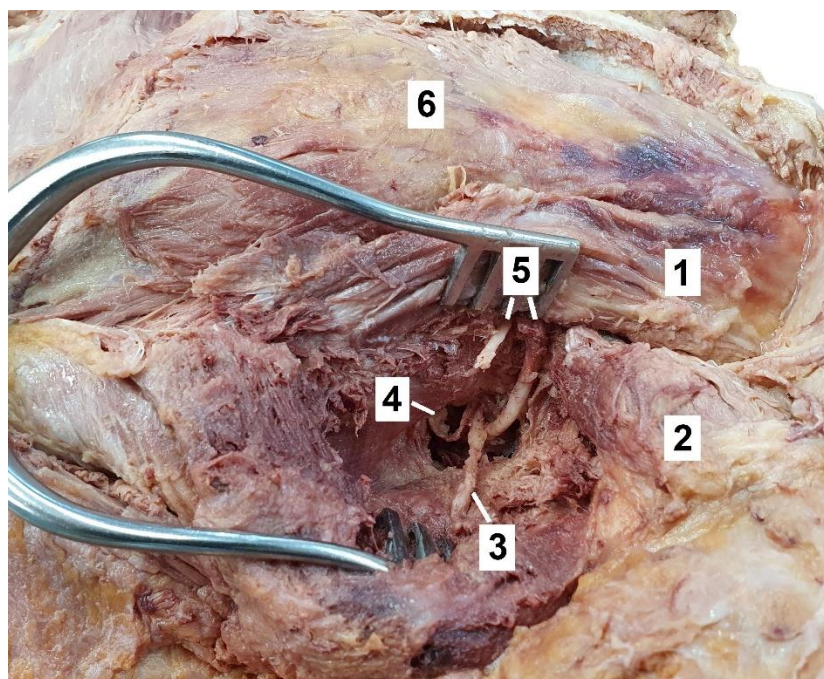
**Obr. 19:** Pohled po oddělení m. infraspinatus od spina scapulae a dna fossa infraspinata na pravé straně a jeho rotaci laterokaudálně. NSS-infra byl prořat v incisura spinoglenoidalis a poté rotován kaudálně pod m. infraspinatus (šipka). Legenda – viz obr. 19.



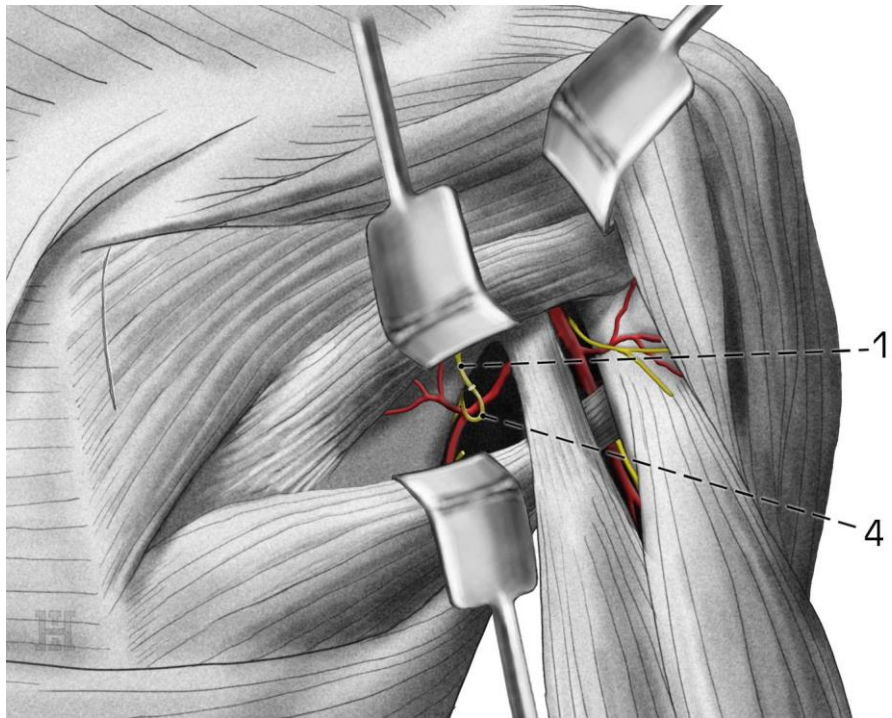
**Obr. 20:** M. infraspinatus oddělený od spina scapulae a dna fossa infraspinata na pravé straně a rotovaný laterokaudálně. NSS-infra byl vypreparován od incisura spinoglenoidalis k jeho větvení. (1) NSS-infra, (2) a. circumflexa scapulae.

### *Technika přenosu NSS-infra na n. subscapularis inferior (NSI)*

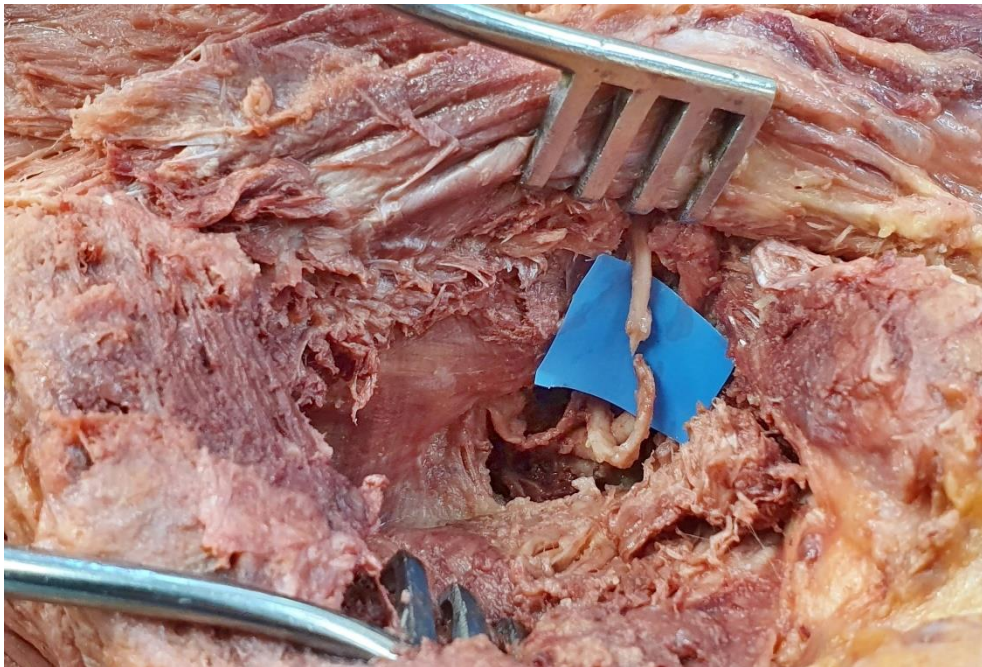
Foramen omotricipitale bylo tupě disekováno mezi m. teres minor kraniálně, teres major kaudálně a caput longum m. tricipitis brachii (Wasfi a Ullah, 1985). Po roztažení svalů a identifikaci a. circumflexa scapulae bylo zjištěno, že NSI probíhá mediálněji od cévy a vstupuje do m. teres major (Obr. 21), kde byl přeříznut. Poté byl vypreparován co nejkraniálněji. Délka NSI byla měřena od vstupu do m. teres major po odstup větve pro m. subscapularis. Průměry jak distálního pahýlu NSS-infra, tak proximálního pahýlu NSI byly měřeny mikrokaliperem. Poté byly oba pahýly přiblíženy k sobě ke zjištění proveditelnosti jejich end-to-end sutury bez napětí (Obr. 23, 23).



**Obr. 21:** Disekce foramen omotricipitale na pravé straně mezi (1) m. teres minor kraniálně, (2) caput longum m. tricipitis brachii laterálně a (3) m. teres major kaudálně. Šipka (3) – NSI vstupující do m. teres major, (4) větev NSI pro m. subscapularis, (5) šipka vlevo – distální pahýl NSS-infra po jeho rotaci pod m. infraspinatus, šipka vpravo – a. circumflexa scapulae, (6) m. infraspinatus.



**Obr. 22:** Sutura distálního pahýlu NSS-infra po jeho rotaci do foramen omotricipitale s proximálním pahýlem NSI (po jeho přetěžení před vstupem do m. teres major). Legenda – viz obr. 19.



**Obr. 23:** Anatomická situace po přetěžení NSI (kaudálně) před jeho suturou s distálním pahýlem NSS-infra (kraniálně).

## 5.5 VÝSLEDKY STUDIE 2

Měření jsou shrnuta v Tabulce 4.

**Tabulka 4:** Morfologická analýza NSS-infra a koncové větve NSI. Hodnoty jsou uvedeny v mm. Průměr NSS-infra v případech 5 a 14 se vypočetl jako součet průměrů dvou hlavních větví.

Kadaver	Průměr NSS-infra	Průměr NSI	Poměr průměrů NSI:NSS-infra	Délka NSS-infra	Délka NSI
1	2,8	2,3	0,82	48	85
2	2,5	2,2	0,88	42	76
3	2,6	2,2	0,85	42	71
4	2,4	2,0	0,83	37	69
5	2,7	2,2	0,82	39	68
6	2,7	2,6	0,96	41	67
7	1,9	1,5	0,79	49	75
8	2,2	1,9	0,86	43	71
9	2,4	2,5	1,04	38	78
10	2,6	2,4	0,92	39	47
11	2,3	2,0	0,87	41	69
12	1,7	1,8	1,05	28	35
13	1,8	2,1	1,2	41	73
14	2,6	2,3	0,88	46	67
15	2,1	1,8	0,86	40	57
16	2,0	1,9	0,95	38	54
17	2,4	2,1	0,88	41	68
18	2,6	2,2	0,85	44	67

Průměrná délka distálního pahýlu NSS-infra ke konci jeho první svalové větve byla 40,9 mm ( $\pm 4,6$ ). Jeho střední průměr byl 2,3 mm ( $\pm 0,3$ ). Ve dvou případech (č. 5 a 14) byly v úrovni incisura spinoglenoidalis nalezeny dvě větve místo jednoho kmene NSS-infra. Proto byl průměr NSS-infra v těchto případech vypočten jako součet průměrů obou větví.

Průměrná délka terminální větve NSI, která byla mobilizována z původního směru a rotována kraniálně, aby dosáhla distálního pahýlu NSS-infra, byla 66,5 mm ( $\pm 11,8$ ). Její střední průměr byl 2,1 mm ( $\pm 0,3$ ).

Průměrný poměr mezi průměry NSI a NSS-infra byl 0,9 ( $\pm 0,1$ ). Přenos nervu byl anatomicky proveditelný v 17 z 18 případů (94,4 %). V případě 12 (délka pahýlu NSS-infra 28 mm a pahýlu NSI 35 mm) byla mezera mezi pahýly po jejich přiblížení 6 mm. Proto nebylo možné přímé spojení end-to-end bez napětí.



## 5.6 DISKUZE

NSS je jedním z nejčastěji postižených nervů při horních či kompletních lézích plexus brachialis (*Kierner et al., 2000*). NSS je obvykle rekonstruován neurotizací pomocí n. XI stejným přístupem, jaký se využívá pro přední přístup k brachiálnímu plexu. N. XI je vypreparován ze supraklavikulárního řezu a je přímo přenesen na NSS (*Bhandari a Deb, 2013*).

Trapézový sval začíná na týlní kosti a trnových výbězcích krčních a hrudních obratlů a upíná se primárně podél spina scapulae. Je rozdělen do tří funkčních složek. Sestupná část zdvihá lopatku a provádí její vnější rotaci (otáčí její horní úhel mediálně), příčná část přitahuje a zasouvá lopatku, a vzestupná část stahuje lopatku a provádí její vnější rotaci (otáčí její dolní úhel mediálně. Typická prezentace oslabení jeho funkce zahrnuje příznaky ztuhlosti, bolesti a slabosti pletence horní končetiny, zejména při aktivitě nad hlavou a při dlouhodobé námaze. Při zachování sestupné části trapézového svalu nedochází k funkční poruše (*Martin a Fish, 2008*). Vzestupná část svalu se používá při různých rekonstrukčních výkonech jako „vertikální trapézový muskulokutánní lalok“ bez zjevného nepříznivého neurologického efektu (*Ou et al., 2013*). Za účelem zkrácení reinervační vzdálenosti začali někteří autoři zkoumat provedení přenosu NSS zadním přístupem, který umožňuje neurotizaci blíže k cílovým svalům. Ačkoli funkční zotavení abdukce paže po přenosu n. XI na NSS je vysoké (> 70 %) (*Bertelli a Ghizoni, 2016*), jak přední, tak i zadní techniky jsou spojeny se špatnou reinervací m. infraspinatus (40–55 % případů) (*Bhandari a Deb, 2013, Emamhadi et al., 2016, Souza et al., 2014*). M. infraspinatus je zodpovědný za 75 % síly vnější rotace paže a je neúčinnější v prvních 90° abdukce paže (*Williams et al., 2018*). Obnovená abdukce bez adekvátní vnější rotace paže výrazně omezuje funkci končetiny (*Baltzer et al., 2017*).

Kromě PPB je postižení NSS typické i pro zlomeniny lopatky. Jak již bylo zmíněno, je obrna NSS (zejména NSS-infra) přítomna u 2,4–32 % těchto poranění (*Herrera et al., 2009*). Zlomeniny těla lopatky nebo krčku jsou často nestabilní a vyžadují otevřenou repozici a vnitřní fixaci - v mnoha případech pomocí Judetova zadního přístupu (*Bartonicek et al., 2008*).

Někteří autoři navrhli myšlenku přímé neurotizace NSS-infra u specifických případů PPB. Sommarhem et al. analyzovali osm pacientů s porodním poraněním brachiálního plexu, kteří podstoupili neurotizaci NSS-infra pomocí n. XI. Při jednoročním sledování bylo průměrné zlepšení aktivní vnější rotace paže 47° (20–85°) u její současné addukce a 49° (5–85°) u její současné abdukce (Sommarhem et al., 2015). Tavares et al. provedli neurotizaci NSS-infra pomocí větve n. radialis pro caput mediale m. tricipitis brachii. Uvedli, že ačkoli je tento přenos anatomicky proveditelný, vede ke špatným klinickým výsledkům (Tavares et al., 2019). Bohužel léčba parézy NSS-infra spojené se zlomeninami lopatky je v klinické praxi opomíjena. V akutním stadiu je často obtížné rozlišit obrnu nervu způsobenou původním poraněním od těch, které se vyskytují jako komplikace operace. Předoperační vyšetření může být limitováno bolestí v důsledku zlomeniny lopatky a přidružených poranění (Lantry et al., 2008). Každá obrna nervu trvající déle než tři měsíce po traumatu bez známek reinervace na elektromyografickém vyšetření si zaslouží chirurgickou revizi. Obecně jsou léze v kontinuitě s pozitivními neurogramy řešeny prostou neurolyzou. Neuromy s negativním neurogramem nebo lacerace nervu se zachovaným proximálním a distálním pahýlem lze rekonstruovat pomocí nervových štěpů. Velmi proximální léze nebo komplexní poranění s nedosažitelnými proximálními pahýly jsou ideálními kandidáty na nervový přenos (neurotizaci). V případech velmi komplikovaných zlomenin lopatky s perzistující obrnou NSS-infra může být disekce celého nervu v jizevnaté tkáni extrémně riskantní. Kromě toho může být chirurgicky náročná rekonstrukce nervu v oblasti incisura spinoglenoidalis (Moen et al., 2012). V těchto případech může být přenos n. XI na NSS-infra užitečný.

Ačkoli Sommarhemova studie postrádá podrobné anatomické popisy, klinické fotografie ukazují, že přenos byl proveden přes (povrchově od) spina scapulae (Sommarhem et al., 2015). N. XI probíhající mezi kostí a kůží však může být v riziku chronické komprese. Ke snížení tohoto rizika jsme se rozhodli hodnotit anatomickou možnost přenosu n. XI skrz kost v centrální oslabené části spina scapulae (Bartoniczek et al., 2018). Tato technika nenesé významné riziko trakce n. XI při pohybech lopatky, protože horní část lopatky včetně spina scapulae není při normálním rozsahu rotace paže příliš pohyblivá (Ebaugh et al., 2005).

Výhodou tohoto přenosu je, že n. XI je prořat v sestupné části trapézového svalu, což vede k denervaci pouze dolních svalových vláken. Sestupná, funkčně nejvýznamnější

část svalu, tak zůstává zachována. Bae et al. analyzovali průběh úseku n. XI v trapézovém svalu a popsali tak nejúčinnější místo vpichu botulotoxinu. Průměrná vzdálenost n. XI od páteře měřená na čáře mezi trnovým výběžkem C7 a akromiem byla 7,98 cm ( $\pm 1,17$ ) (Bae et al., 2018). Tato hodnota je podobná našemu výsledku (8,5 cm  $\pm 0,88$ ). Střední vzdálenost n. XI od mediálního okraje spina scapulae byla přibližně 2,5 cm. Tato skutečnost může pomoci při předoperačním plánování místa disekce n. XI. Po identifikaci nervového kmene následuje preparace jeho šikmého průběhu pod středním úhlem 15 stupňů. Kadaverózní disekce nervu z malého řezu byla možná na relativně dlouhou vzdálenost a domníváme se, že by to mělo být podobné i v klinické praxi. V délce pahýlu n. XI dostupného pro rekonstrukci byly velké odchylky (6,4–11,8 cm), což lze vysvětlit různými velikostmi kadaverů. Domníváme se však, že tato rozmanitost odpovídá klinické praxi. Základem úspěšné nervové rekonstrukce je sutura nervových pahýlů bez napětí i při nadměrných pohybech končetiny. Kvůli morfologickým variacím v typech těl jsme se nesnažili definovat „minimální“ délku n. XI nezbytnou pro rekonstrukci. Přestože jsme zjistili, že napojení nervů bylo na kadaverech možné i u krátkých pahýlů n. XI (kolem 6,5 cm), doporučujeme vypreparovat co nejdelší pahýl dárcovského nervu a případně jej zkrátit podle individuální anatomické situace jako u některých našich případů. Hlavním zjištěním naší studie proto je, že přenos n. XI – NSS-infra byl možný ve všech případech.

Komplexní zlomeniny lopatky se často operují pomocí Judetova zadního přístupu, při kterém je kožní řez veden podél spina scapulae a zatočen kaudálně podél mediálního okraje těla lopatky. Poté se m. infraspinatus oddělí od spodiny fossa infraspinata (Bartonicek et al., 2014, Bartonicek et al., 2008). Proto jsme v naší druhé studii použili stejný přístup. A. circumflexa scapulae, větev z a. subscapularis, je jedinou strukturou (s doprovodnými žilami), která prochází skrz foramen omotricipitale (Wasfi a Ullah, 1985). Poté probíhá na ventrální ploše m. infraspinatus. Po mobilizaci NSS-infra tedy může být tato céva použita jako vodící struktura pro vypreparování „tunelu“ z fossa infraspinata do foramen omotricipitale (ohraničeného pomocí m. teres minor, m. teres major a caput longum m. tricipitis brachii) (Wasfi a Ullah, 1985). Pro disekci tohoto prostoru lze doporučit kožní řez mezi m. teres minor a m. teres major. Pro nervový přenos NSI – NSS-infra proto navrhujeme provést kožní řez ve tvaru U (Obr. 24). U revizních případů po předchozím ortopedickém výkonu pro zlomeninu lopatky provedeném Judetovým přístupem by měl řez

sledovat původní jizvu a poté by měl být prodloužen laterokaudálně souběžně se spina scapulae.

N. subscapularis inferior se zdá být ideálním dárcovským nervem pro neurotizaci, protože m. pectoralis major a m. latissimus dorsi by kompenzovaly ztrátu vnitřní rotace paže, kterou typicky zajišťují m. subscapularis a m. teres major (Abdelaziz et al., 2020). Pokud by se k neurotizaci použil celý nerv, m. subscapularis by byl stále částečně inervován pomocí n. subscapularis superior (Saleh et al., 2012). Samardzic et al. zjistili, že protěť NSI nemá za následek zhoršení hybnosti ramena či paže (Samardzic et al., 1992). Navíc Tubbs et al. ukázali, že větve NSI pro m. teres major



**Obr. 24:** Navrhovaná kožní incize pro přenos NSI na NSS-infra. Zelená – Judetův přístup pro disekci NSS-infra; Červená – variabilní prodloužení pro disekci NSI.

může být použita jako donor pro neurotizaci n. musculocutaneus či axillaris, aniž by bylo potřeba odpojit větve NSI pro m. subscapularis. Zjistili, že střední délka koncové větve NSI byla 6 cm (3,3–8,9 cm) (Tubbs et al., 2006). Tento údaj je podobný našim výsledkům (průměrná délka 6,64 cm). Zjistili jsme, že přenos nervu byl proveditelný ve více než 94 % případů bez denervace m. subscapularis. V jednom případě (č. 12) však byly oba nervové pahýly tak krátké, že přímá sutura end-to-end by nebyla možná bez použití nervového štěpu.

M. teres major, inervovaný NSI, je vnitřní rotátor paže, zatímco m. infraspinatus inervovaný NSS-infra rotuje rameno ven. Přestože by pooperační rehabilitace byla snazší v případě synergického účinku obou nervů, bylo popsáno několik neurotizačních technik s antagonisticky působícími nervy s dobrými výsledky (Ray et al., 2016). Střední průměr pahýlů NSI nalezený v naší studii je podobný dříve publikovaným výsledkům (Tubbs et al., 2007). Prokázali jsme, že střední průměry obou nervových pahýlů jsou velmi podobné

(poměr NSI k NSS-infra 90 %). Tato skutečnost přispívá k očekávané dobré použitelnosti této techniky.

Obě techniky lze využít zejména u pacientů se zlomeninou lopatky s obrnou vnější rotace paže. Mohou být také užitečné pro zlepšení výsledků v případech parciální úpravy funkce NSS nebo u dětí s porodní obrnou brachiálního plexu (*El-Gammal et al., 2020*). Lze je také použít při poranění brachiálního plexu u dospělých, například byl-li NSS rekonstruován pomocí n. phrenicus (*Songcharoen, 2008*) bez adekvátní reinervace m. infraspinatus. Jako u každé jiné techniky bude její účinnost při obnově vnější rotace paže také částečně záviset na stabilitě ramenního kloubu. Pokud je tento kloub nestabilní, neurotizace bude mít omezený účinek, protože samotný kloub není schopen pohybu.

### **Limitace**

Jedná se o anatomické studie proveditelnosti bez prokázání jejich úspěšnosti v klinické praxi. Disekce byly provedeny na vzorcích s neporušenými anatomickými poli. Po traumatu vedoucím ke zlomenině lopatky však může být narušena anatomie obou nervů.

Oba typy přenosů byly zkoumány pouze jednostranně. Chybějící data o lateralitě tak mohou částečně omezovat klinickou aplikovatelnost. Nebyl počítán vztah délek jednotlivých nervů vzhledem k výšce kadaveru. Vzhledem k možnosti přenosu obou dárcovských nervů na NSS-infra v téměř všech případech při velké variabilitě naměřených hodnot lze usuzovat, že výška těla nehraje zásadní roli v proveditelnosti obou technik.

Neprováděli jsme počítání axonů v úrovni protětí, protože oba pahýly měly u obou technik podobnou velikost. Vzhledem k tomu, že reinervace m. supraspinatus po klasické neurotizaci n. XI na NSS je vysoká, lze předpokládat, že přímá rekonstrukce n. XI na NSS-infra povede k podobným výsledkům s obnovením funkce m. infraspinatus. Tuto hypotézu je třeba prokázat klinickou studií.

Přestože přímka c a výsledný úhel  $\beta$  jsou přibližné kvůli nelineárnímu průběhu n. XI, domníváme se, že tato malá chyba měření nemá zásadní klinický význam.

## 6 SOUHRN

Cílem přehledové části disertace bylo prozkoumat epidemiologická a etiopatogenetická data závažných poranění plexus brachialis podstupujících chirurgickou rekonstrukci. Systematické vyhledávání probíhalo od ledna 1985 do prosince 2017. Souhrnná prevalence zavřených lézí byla 93 %, tržné rány představovaly 3 % a střelné také 3 % případů. Muži tvořili 93 % a ženy 7 %. Nejčastější příčinou zavřeného poranění plexus brachialis byly motocyklové nehody s prevalencí 67 %, následované dopravními nehodami se 14 % výskytem. Jiné příčiny byly vzácné. Devadesát procent pacientů trpělo supraklavikulárním nebo kombinovaným supraklavikulárním a infraklavikulárním traumatem, zatímco 10 % izolovaným infraklavikulárním poraněním. Kompletní léze představovaly 53 %, léze horní části pleteně 39 % a poranění dolní části pleteně 6 % případů. Tato meta-analýza ukazuje, že typickým pacientem trpícím těžkou lézí plexus brachialis je muž po nehodě na motocyklu s uzavřeným supraklavikulárním poraněním způsobujícím úplnou nebo o něco méně často horní obrnu pleteně. Tržné a střelné rány plexus brachialis jsou vzácné.

N. suprascapularis (NSS) je běžně rekonstruován nervovým přenosem pomocí n. accessorius. Reinervace jeho větve pro m. infraspinatus (NSS-infra) je však nedostatečná. Rekonstrukce NSS u zlomenin lopatky je v klinické praxi často opomíjena. První morfologická studie byla provedena na 25 dospělých kadaverech na levé straně, druhá studie byla provedena na 18 kadaverech na pravé straně.

V první studii byl sledován průběh a měřena délka n. accessorius o minimálním průměru 2 mm v m. trapezius a délka distálního pahýlu NSS-infra k jeho větvení a jeho celková délka dostupná pro rekonstrukční postup. Byla provedena studie proveditelnosti neurotizace n. XI – NSS-infra provedené pomocí kostního kanálu podbíhajícího spina scapulae. Bylo zjištěno, že n. accessorius vstupuje do m. trapezius průměrně 8,5 cm laterálně od páteře, probíhá šikmo pod středním úhlem 15° lateromediálně a rozděluje se na malé koncové větve 4,5 cm laterálně od páteře. Jeho průměrná délka je téměř 15 cm. Lze jej snadno preparovat přibližně 2,5 cm mediálně od mediálního okraje spina scapulae a použít k neurotizaci NSS-infra skrz preparovaný kostní kanál pod spina scapulae.

Ve druhé studii byla měřena délka distálního pahýlu NSS-infra, délka n. subscapularis inferior (NSI) dostupného pro rekonstrukci a průměr obou pahýlů. Byla provedena studie proveditelnosti přenosu NSI na NSS-infra. Střední délka NSS-infra ke konci jeho první větve byla téměř 41 mm. Jeho střední průměr byl 2,3 mm. Průměrná délka pahýlu NSI, který byl mobilizován z původního směru a přenesen k dosažení distálního pahýlu NSS-infra, byla 66,5 mm a jeho střední průměr byl 2,1 mm. Průměrný poměr mezi průměry nervů byl 90 %. Přenos nervu byl proveditelný v 17 z 18 případů.

Přímý přenos n. accessorius na dolní větev n. suprascapularis pro m. infraspinatus byl anatomicky proveditelný u všech kadaverů. Při použití n. subscapularis inferior jako dárce byl přenos proveditelný na téměř všech kadaverech. Obě metody lze použít v případech komplexních zlomenin lopatky vedoucích k těžkému poranění n. suprascapularis nebo v některých případech obrn plexus brachialis.

## 7 SUMMARY

The aim of this review was to investigate the epidemiological and etiopathogenetical data of serious brachial plexus injuries undergoing surgical reconstruction. A systematic search was conducted from January 1985 to December 2017. The pooled prevalence of closed brachial plexus injuries (BPIs) was 93%, lacerations accounted for 3%, and gunshot wounds also for 3%. Men made up 93% and women 7%. The most common cause of closed injury was motorcycle accidents with 67% prevalence followed by car crashes with 14%. Other causes were rare. Ninety percent of patients suffered from a supraclavicular or combined supraclavicular and infraclavicular trauma, while 10% from isolated infraclavicular injury. Complete lesions accounted for 53%, upper plexus lesions for 39%, and lower plexus injuries for 6% of cases. This meta-analysis demonstrates that the typical patient suffering from severe BPI is a male after motorcycle accident with closed supraclavicular injury causing complete or slightly less commonly upper brachial plexus palsy. Lacerations and gunshot wounds of brachial plexus are rare.

The suprascapular nerve (SSN) is commonly reconstructed by spinal accessory nerve (SAN) transfer. However, reinnervation of its branch to the infraspinatus muscle (IB-SSN) is poor. Reconstruction of the SSN in cases of scapular fractures is frequently neglected in clinical practice. The first morphological study was performed on 25 adult human cadavers on the left side, the second study was performed on 18 cadavers on the right side.

In the first study, the course and the length of the spinal accessory nerve of minimal diameter of 2 mm within the trapezius muscle, the length of the distal stump of the suprascapular nerve for the infraspinatus muscle (SSN-infra) to its branching point and the length of the SSN available for reconstructive procedure were measured. The feasibility study of the SAN – SSN-infra neurotization performed by using a bony canal under the scapular spine was performed. It was found that the SAN enters the trapezius muscle on average 8.5 cm laterally to the scapular spine, runs in an oblique course at a mean angle of 15° lateromedially and divides into small terminal branches 4.5 cm laterally to the scapular spine. Its mean length is almost 15 cm. It can be easily dissected approximately 2.5 cm medially to the medial end of the scapular spine and used for neurotization of the



infraspinatus branch of the suprascapular nerve via a prepared bony canal under the scapular spine.

In the second study, the length of the distal stump of the SSN-infra, the length of the inferior subscapular nerve (LSN) available for reconstruction and diameter of both stumps were measured. The feasibility study of the LSN to SSN-infra transfer was performed. The mean length of the SSN-infra to the end of its first branch was almost 41 mm. Its mean diameter was 2.3 mm. The mean length of the LSN stump which was mobilized from its original course and transferred to reach the distal stump of the SSN-infra was 66.5 mm and its mean diameter was 2.1 mm. The mean ratio between nerves diameters was 90%. The nerve transfer was feasible in 17 out of 18 cases.

Direct transfer of the spinal accessory to the inferior branch of the suprascapular nerve was anatomically feasible in all cadavers. In case of using the inferior subscapular nerve as donor, the transfer was feasible in almost all cadavers. Both methods may be used in patients with complex scapular fractures resulting in severe suprascapular nerve injury or in some cases of brachial plexus palsy.

## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

<b>Obr. 1:</b> Schéma epineurální sutury nervu .....	17
<b>Obr. 2:</b> Peroperační fotografie rekonstrukce n. ulnaris pomocí tří štěpů z n. suralis .....	18
<b>Obr. 3:</b> Peroperační fotografie neurotizace (r. profundus n. ulnaris pomocí n. interosseus ant.)....	18
<b>Obr. 4:</b> Anatomie plexus brachialis .....	19
<b>Obr. 5:</b> Anatomie n. suprascapularis .....	20
<b>Obr. 6:</b> Anatomie n. suprascapularis a schéma útlaku větve pro m. infraspinatus .....	22
<b>Obr. 7:</b> Patofyziologie PPB .....	23
<b>Obr. 8:</b> Judetův přístup k lopatce .....	28
<b>Obr. 9:</b> PRISMA diagram .....	32
<b>Obr. 10:</b> Lesní graf („forest plot“) znázorňující prevalenci zavřených PPB .....	34
<b>Obr. 11:</b> Graf prevalencí otevřených lézí včetně tržných ran, ostrých a iatrogenických poranění .....	35
<b>Obr. 12:</b> Graf znázorňující prevalenci střelných poranění .....	35
<b>Obr. 13:</b> Technika morfologického mapování n. accessorius .....	44
<b>Obr. 14:</b> Průběh n. accessorius .....	46
<b>Obr. 15:</b> Disekce NSS-infra a n. accessorius .....	47
<b>Obr. 16:</b> Prosvícená lopatka, pohled zdola zezadu .....	47
<b>Obr. 17:</b> Přímý přenos n. accessorius na NSS-infra .....	48
<b>Obr. 18:</b> Schéma anatomie nervů a tepen v oblasti dorzální lopatky na pravé straně .....	51
<b>Obr. 19:</b> Pohled po odklopení m. infraspinatus .....	52
<b>Obr. 20:</b> Odklopení m. infraspinatus na kadaveru .....	52
<b>Obr. 21:</b> Disekce foramen omotricipitale na pravé straně .....	53
<b>Obr. 22:</b> Sutura distálního pahýlu NSS-infra s proximálním pahýlem NSI .....	54
<b>Obr. 23:</b> Přiblížení NSS-infra k NSI ve foramen omotricipitale na kadaveru .....	54
<b>Obr. 24:</b> Navrhovaná kožní incize pro přenos NSI na NSS-infra ... ..	59
<b>Tabulka 1:</b> Klasifikace nervových vláken periferních nervů podle Erlangera a Gassera .....	13
<b>Tabulka 2:</b> Sdružená prevalence zastoupení mužů a žen, specifických typů PPB a jejich příčin .....	33
<b>Tabulka 3:</b> Morfologická analýza intramuskulární části n. accessorius a NSS-infra .....	49
<b>Tabulka 4:</b> Morfologická analýza NSS-infra terminální větve NSI .....	55

## 9 PUBLIKAČNÍ A PŘEDNÁŠKOVÁ ČINNOST

### Články s IF k tématu práce

1. **Krajcová A**, Makeř M, Ullas G, Němcová V, Kaiser R. *Anatomical feasibility study of the infraspinatus muscle neurotization by lower subscapular nerve*. **Neurol Res**. 2023; doi: 10.1080/01616412.2022.2164666. **IF 2,529, Q3**
2. Kaiser R, **Krajcová A**, Makeř M, Ullas G, Němcová V. *Anatomical aspects of the selective infraspinatus muscle neurotization by spinal accessory nerve*. **J Plast Surg Hand Surg**. 2021; 55(4):220-225. **IF 1,295, Q3**
3. **Krajcová A**, Makeř M, Němcová V, Kaiser R. *Supraskapulární neuropatie*. **Cesk Slov Neurol N**. 2020; 84/116(6):608-612. **IF 0,35, Q4**
4. 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(2):443-452. **IF 3,042, Q2**

### Články s IF mimo téma práce

1. Hurt K, Zahálka F, Halaška M, Rakovičová I, **Krajcová A**. *Extracorporeal shock wave therapy for treatment of vulvodynia: a prospective, randomized, double-blind, placebo-controlled study*. **Eur J Phys Rehabil Med**. 2020; 56(2):169-174. **IF 2,258, Q1**
2. Kaiser R, **Krajcová A**, Waldauf P, Srikandarajah N, Makeř M, Beneš V. *Are there any risk factors associated with the presence of cauda equina syndrome in symptomatic lumbar disc herniation?* **World Neurosurg**. 2020; e600-e605. **IF 1,829, Q3**
3. Měšťák O, Kullač R, Měšťák J, Nosek A, **Krajcová A**, Sukop A. *Reply: evaluation of the long-term stability of sheath plication*. **Plast Reconstr Surg**. 2013; 131(5):852e. (Letter) **IF 3,328, Q1**
4. Měšťák O, Kullač R, Měšťák J, Nosek A, **Krajcová A**, Sukop A. *Evaluation of the long-term stability of sheath plication using absorbable sutures in 51 patients with diastasis of the recti muscles: an ultrasonographic study*. **Plast Reconstr Surg**. 2012; 130(5):714e-719e. **IF 3,535, Q1**

## Články bez IF mimo téma práce

1. **Krajcová A**, Hurt K, Kufa R, Molitor M. *Ruptura prsního implantátu: sportovní trauma prsu*. **Ceska Gynecol.** 2020; 85(2):116-119.
2. Hurt K, Zahálka F, Halaška M, Rakovičová I, **Krajcová A**. *Rázová vlna v léčbě dyspareunie. Studie proveditelnosti*. **Actual Gyn.** 2019; 11:34-37.
3. Hurt K, Švestková O, Halaška M, Driák D, Rakovičová I, Musálek M, **Krajcová A**. *Extrakorporeální rázová vlna v léčbě vulvodynie. Studie proveditelnosti*. **Actual Gyn.** 2019; 11:18-22.
4. Měšťák J, Černá O, Kalinová L, Měšťák O, **Krajcová A**. *Haemophilia - unexpected complication of rhinoplasty*. **Acta Chir Plast.** 2014; 56(1-2):28-31.
5. Molitor M, Měšťák O, Kalinová L, **Krajcová A**, Měšťák J. *The history and safety of breast implants*. **Acta Chir Plast.** 2014; 56(1-2):15-9.
6. Molitor M, Měšťák O, Kalinová L, Matějovská J, **Krajcová A**, Popelka P, Měšťák J. *Chirurgická léčba nemelanomových maligních kožních nádorů*. **Ces Dermatovenerol.** 2014; 4(3):155-164.
7. Urban K, Kment L, Měšťák J, **Krajcová A**, Měšťák O. *Our eight-year experience with breast reconstruction using abdominal advancement flap (207 reconstructions)*. **Acta Chir Plast.** 2012; 54(2):63-6.
8. Hurt K, Sottner J, Záhumenský J, Halaška M, Krčmář M, **Krajcová A**. *Hormonal contraception interactions*. **Cesk Gynecol.** 2006; 71(6):499-501.

## Kapitola v knize

1. **Krajcová A**. *Jizvy*, In: Měšťák J et al. *Základy plastické chirurgie*. Praha: Karolinum, 2015. ISBN: 978-80-246-2839-4.

## Přednášky

1. **Krajcová A**. *Kongenitální névus z pohledu plastického chirurga*. Interdisciplinární dermatologie. Praha, 19. 5. 2017.

2. **Krajcová A.** *Řešení chronického poranění dolní končetiny pomocí instalační vakuum asistované terapie.* IV. kongres estetické a laserové medicíny. Praha, 2.–3. 6. 2017.
3. Molitor M, Měšťák J, Měšťák O, Kalinová L, **Krajcová A.** *Filosofie rekonstrukce nosu.* Národní kongres plastické chirurgie s mezinárodní účastí, České Budějovice, 9.–11. 10. 2014.
4. Molitor M, Měšťák J, Vatňák A, **Krajcová A,** Lesenský J, Matějovský Z, Matějovská J. *Rekonstrukce rozsáhlých defektů femuru kombinací vaskularizované fibuly a allogenního kostního štěpu.* XX. vzdělávací symposium plastické chirurgie s mezinárodní účastí, Praha, 13. 12. 2014.
5. Měšťák O, Kment L, Urban K, Edriss A, Měšťák J, **Krajcová A,** Sukop A. *Rekonstrukce prsů přenosem autologní tukové tkáně.* Mezinárodní kongres plastickej chirurgie a X. Demjénov deň, Nitra, Slovensko, 16.–17. 5. 2013.
6. Měšťák O, Kment L, Urban K, Edriss A, Měšťák J, **Krajcová A,** Sukop A. *Rekonstrukce prsu autologním tukem.* Seminář subkatedry plastické chirurgie IPVZ s mezinárodní účastí, Praha, 4. 12. 2012.
7. Frajer L, **Krajcová A.** *Doplňující operace ke korekci druhé strany.* Doškolovací kurz pro lékaře IPVZ, Praha, 21. 11. 2009.

## Postery

1. Kaiser R, **Krajcová A,** Waldauf P, Srikandarajah N, Makeř M, Beneš V. *Are there any risk factors associated with the presence of cauda equina syndrome in symptomatic lumbar disc herniation?* EUROSPINE Annual Meeting, Milan, Italy, 19.–21.10.2022.
2. **Krajcová A.** *Řešení chronického poranění dolní končetiny pomocí instalační vakuum asistované terapie.* XI International Congress on Plastic Surgery, Brno, Czech Republic, 7.–9. 6. 2017.

## 10 LITERATURA

1. Abdelaziz AM, Aldahshan W, Hashem Elsherief FA, Ismail MA, Fouaad AA, et al. *Teres major transfer to restore external rotation of shoulder in Erb palsy patients*. J Shoulder Elbow Surg 2020;29(5):941-945.
2. Ada JR, Miller ME. *Scapular fractures. Analysis of 113 cases*. Clin Orthop Relat Res 1991;(269):174-180.
3. Ahmed-Labib M, Golan JD, Jacques L. *Functional outcome of brachial plexus reconstruction after trauma*. Neurosurgery 2007;61(5):1016-1022; discussion 1022-1013.
4. Aiello I, Serra G, Traina GC, Tugnoli V. *Entrapment of the suprascapular nerve at the spinoglenoid notch*. Ann Neurol 1982;12(3):314-316.
5. Akita S, Wada E, Kawai H. *Combined injuries of the brachial plexus and spinal cord*. J Bone Joint Surg Br 2006;88(5):637-641.
6. Al-Redouan A, Holding K, Kachlik D. *"Suprascapular canal": Anatomical and topographical description and its clinical implication in entrapment syndrome*. Ann Anat 2021;233:151593.
7. Altaf F, Mannan K, Bharania P, Sewell MD, Di Mascio L, et al. *Severe brachial plexus injuries in rugby*. Injury 2012;43(3):272-273.
8. Andermahr J, McKee M, Nam D. *Posterior approach to the scapular body*. 2015. Available from: <https://surgeryreference.aofoundation.org/orthopedic-trauma/adult-trauma/scapula/approach/posterior-approach-to-the-scapular-body>.
9. Araujo MG, Fragoso YD. *Occupational lesion of the suprascapular nerve leading to marked atrophy of the supra- and infraspinatus muscles*. J Clin Neuromuscul Dis 2004;6(1):22-23.
10. Bae JH, Lee JS, Choi DY, Suhk J, Kim ST. *Accessory nerve distribution for aesthetic botulinum toxin injections into the upper trapezius muscle: anatomical study and clinical trial : Reproducible BoNT injection sites for upper trapezius*. Surg Radiol Anat 2018;40(11):1253-1259.
11. Baltzer HL, Wagner ER, Kircher MF, Spinner RJ, Bishop AT, et al. *Evaluation of infraspinatus reinnervation and function following spinal accessory nerve to suprascapular nerve transfer in adult traumatic brachial plexus injuries*. Microsurgery 2017;37(5):365-370.
12. Bartonicek J, Fric V. *Scapular body fractures: results of operative treatment*. Int Orthop 2011;35(5):747-753.
13. Bartonicek J, Klika D, Tucek M. *Classification of scapular body fractures*. Rozhl Chir 2018;97(2):67-76.
14. Bartonicek J, Tucek M, Fric V, Obruba P. *Fractures of the scapular neck: diagnosis, classifications and treatment*. Int Orthop 2014;38(10):2163-2173.
15. Bartonicek J, Tucek M, Lunacek L. *[Judet posterior approach to the scapula]*. Acta Chir Orthop Traumatol Cech 2008;75(6):429-435.
16. Bartoniček J, Tuček M, Naňka O. *Zlomeniny lopatky*. Maxdorf: Praha; 2021.

17. Benes M, Kachlik D, Belbl M, Kunc V, Havlikova S, et al. *A meta-analysis on the anatomical variability of the brachial plexus: Part I - Roots, trunks, divisions and cords.* Ann Anat 2021a;238:151751.
18. Benes M, Kachlik D, Belbl M, Whitley A, Havlikova S, et al. *A meta-analysis on the anatomical variability of the brachial plexus: Part II - Branching of the supraclavicular part.* Ann Anat 2021b;238:151788.
19. Bertelli JA, Ghizoni MF. *Results of spinal accessory to suprascapular nerve transfer in 110 patients with complete palsy of the brachial plexus.* J Neurosurg Spine 2016;24(6):990-995.
20. Bertelli JA, Ghizoni MF, Soldado F. *Patterns of Brachial Plexus Stretch Palsy in a Prospective Series of 565 Surgically Treated Patients.* J Hand Surg Am 2017.
21. Bezuhyly M, O'Brien JP, Lalonde D. *Nerve entrapment syndromes.* Available from: <https://plasticsurgerykey.com/nerve-entrapment-syndromes/#>.
22. Bhandari PS, Deb P. *Posterior approach for both spinal accessory nerve to suprascapular nerve and triceps branch to axillary nerve for upper plexus injuries.* J Hand Surg Am 2013;38(1):168-172.
23. Brown AF. *Chainsaw penetrating neck injury.* J Accid Emerg Med 1995;12(2):134-137.
24. Brown JM, Shah MN, Mackinnon SE. *Distal nerve transfers: a biology-based rationale.* Neurosurg Focus 2009;26(2):E12.
25. Burnett MG, Zager EL. *Pathophysiology of peripheral nerve injury: a brief review.* Neurosurg Focus 2004;16(5):E1.
26. Carlson BM. *The Biology of Long-Term Denervated Skeletal Muscle.* Eur J Transl Myol 2014;24(1):3293.
27. Coene LN. *Mechanisms of brachial plexus lesions.* Clin Neurol Neurosurg 1993;95 Suppl:S24-29.
28. Cole PA. *Scapula fractures.* Orthop Clin North Am 2002;33(1):1-18, vii.
29. Cole PA, Dubin JR, Freeman G. *Operative techniques in the management of scapular fractures.* Orthop Clin North Am 2013;44(3):331-343, viii.
30. Čihák R. *Anatomie 3.* Grada: Praha; 2004.
31. de Moraes FB, Kwae MY, da Silva RP, Porto CC, Magalhaes Dde P, et al. *Clinical aspects of patients with traumatic lesions of the brachial plexus following surgical treatment.* Rev Bras Ortop 2015;50(5):556-561.
32. Demirhan M, Imhoff AB, Debski RE, Patel PR, Fu FH, et al. *The spinoglenoid ligament and its relationship to the suprascapular nerve.* J Shoulder Elbow Surg 1998;7(3):238-243.
33. Demuyneck M, Zuker RM. *Biceps tendon rupture after successful reinnervation: a case report.* Acta Orthop Belg 1995;61(1):55-58.
34. Dodd J, Jessell TM. *Axon guidance and the patterning of neuronal projections in vertebrates.* Science 1988;242(4879):692-699.
35. Ebaugh DD, McClure PW, Karduna AR. *Three-dimensional scapulothoracic motion during active and passive arm elevation.* Clin Biomech (Bristol, Avon) 2005;20(7):700-709.
36. Ehler E, Ridzoň P, Fenclová Z, Urban P. *Kompresivní neuropatie jako nemoc z povolání.* Cesk Slov Neurol N 2019;82/115(5):478– 489.

37. El-Gammal TA, Ali AE, Kotb MM, Saleh WR, El-Gammal YT. *Long-term Evaluation of Teres Major to Infraspinatus Transfer for Treatment of Shoulder Sequelae in Obstetrical Brachial Plexus Palsy*. Ann Plast Surg 2020;84(5):565-569.
38. Emamhadi M, Alijani B, Andalib S. *Long-term clinical outcomes of spinal accessory nerve transfer to the suprascapular nerve in patients with brachial plexus palsy*. Acta Neurochir (Wien) 2016;158(9):1801-1806.
39. Erlanger J, Gasser HS. *Electrical signs of nervous activity*. University of Pennsylvania Press: Philadelphia; 1937.
40. Eser F, Aktekin LA, Bodur H, Atan C. *Etiological factors of traumatic peripheral nerve injuries*. Neurol India 2009;57(4):434-437.
41. Fenclová Z, Urban P, Pelclová D, Navrátil T. *Neurologická profesionální onemocnění v České republice v letech 1994–2009*. Cesk Slov Neurol N 2010;75/108(1):70-74.
42. Ferretti A, Cerullo G, Russo G. *Suprascapular neuropathy in volleyball players*. J Bone Joint Surg Am 1987;69(2):260-263.
43. Flores LP. *[Epidemiological study of the traumatic brachial plexus injuries in adults]*. Arq Neuropsiquiatr 2006;64(1):88-94.
44. Gavid M, Mayaud A, Timochenko A, Asanau A, Prades JM. *Topographical and functional anatomy of trapezius muscle innervation by spinal accessory nerve and C2 to C4 nerves of cervical plexus*. Surg Radiol Anat 2016;38(8):917-922.
45. Goldie BS, Coates CJ. *Brachial plexus injury: a survey of incidence and referral pattern*. J Hand Surg Br 1992;17(1):86-88.
46. Gousheh J. War injuries. In: Brachial Plexus Injuries. (Gilbert A ed.) Martin Dunitz: London, 2001; pp. 321 – 325.
47. Grahn P. *Improving Shoulder Function in Brachial Plexus Birth Injury*. In: Helsinki, 2021.
48. Haninec P, Kaiser R. *Operační léčba poranění plexus brachialis*. Cesk Slov Neurol N 2011;74(6):619-630.
49. Haninec P, Mencl L, Kaiser R. *End-to-side neurorrhaphy in brachial plexus reconstruction*. J Neurosurg 2013;119(3):689-694.
50. Herrera DA, Anavian J, Tarkin IS, Armitage BA, Schroder LK, et al. *Delayed operative management of fractures of the scapula*. J Bone Joint Surg Br 2009;91(5):619-626.
51. Holzgraefe M, Kukowski B, Eggert S. *Prevalence of latent and manifest suprascapular neuropathy in high-performance volleyball players*. Br J Sports Med 1994;28(3):177-179.
52. Chen LZ, Chen L, Zhu Y, Gu YD. *Semiquantifying of fascicles of the C7 spinal nerve in the upper and lower subscapular nerves innervating the subscapularis and its clinical inference in Erb's palsy*. Clin Anat 2013;26(4):470-475.
53. Ideberg R, Grevsten S, Larsson S. *Epidemiology of scapular fractures. Incidence and classification of 338 fractures*. Acta Orthop Scand 1995;66(5):395-397.
54. Jain DK, Bhardwaj P, Venkataramani H, Sabapathy SR. *An epidemiological study of traumatic brachial plexus injury patients treated at an Indian centre*. Indian J Plast Surg 2012;45(3):498-503.



55. Johnson EO, Vekris MD, Zoubos AB, Soucacos PN. *Neuroanatomy of the brachial plexus: the missing link in the continuity between the central and peripheral nervous systems*. *Microsurgery* 2006;26(4):218-229.
56. Johnston GM, Urquhart R, Lethbridge L, MacIntyre M. *Increasing our understanding of dying of breast cancer: Comorbidities and care*. *Prog Palliat Care* 2016;24(3):147-152.
57. Kaiser R. *Chirurgická léčba poranění nervů dolních končetin*. *Čas Lék Čes* 2016a;155.
58. Kaiser R. *Chirurgie hlavových a periferních nervů s atlasem přístupů*. Grada Publishing: Praha; 2016b.
59. Kaiser R, Haninec P. *Degeneration and regeneration of the peripheral nerve*. *Cesk Fysiol* 2012a;61(1):9-14.
60. Kaiser R, Haninec P. *The influence of seatbelts on the types of operated brachial plexus lesions caused by car accidents*. *J Hand Surg Am* 2012b;37(8):1657-1659.
61. Kaiser R, Krajcova A, Makej M, Ullas G, Němcová V. *Anatomical aspects of the selective infraspinatus muscle neurotization by spinal accessory nerve*. *J Plast Surg Hand Surg* 2021;55(4):220-225.
62. Kaiser R, Mencl L, Haninec P. *Injuries associated with serious brachial plexus involvement in polytrauma among patients requiring surgical repair*. *Injury* 2014;45(1):223-226.
63. Kaiser R, Ullas G. *Acutely reconstructed isolated supraclavicular brachial plexus injury caused by a chainsaw*. *Plast Surg Case Studies* 2016;2(1):7-8.
64. Kaiser R, Waldauf P, Haninec P. *Types and severity of operated supraclavicular brachial plexus injuries caused by traffic accidents*. *Acta Neurochir (Wien)* 2012;154(7):1293-1297.
65. Kaiser R, Waldauf P, Ullas G, Krajcova A. *Epidemiology, etiology, and types of severe adult brachial plexus injuries requiring surgical repair: systematic review and meta-analysis*. *Neurosurg Rev* 2020;43(2):443-452.
66. Kawai H, Kawabata H. *Brachial Plexus Palsy*. World Scientific Publishing: Singapore; 2000.
67. Key A, Retzius G. *Studien in der Anatomie des Nerevensystems und des Gindegewebes*. Samson & Wallin: Stockholm; 1876.
68. Kierner AC, Zelenka I, Heller S, Burian M. *Surgical anatomy of the spinal accessory nerve and the trapezius branches of the cervical plexus*. *Arch Surg* 2000;135(12):1428-1431.
69. Kim DH, Cho YJ, Tiel RL, Kline DG. *Outcomes of surgery in 1019 brachial plexus lesions treated at Louisiana State University Health Sciences Center*. *J Neurosurg* 2003;98(5):1005-1016.
70. Kim DH, Kline DG. *Kline & Hudson's nerve injuries: Operative results for major nerve injuries, entrapments and tumors*. Saunders Elsevier: Philadelphia, PA; 2008.
71. Kim DH, Murovic JA, Tiel RL, Kline DG. *Lacerations to the brachial plexus: surgical techniques and outcomes*. *J Reconstr Microsurg* 2005;21(7):435-440.
72. Kim DH, Murovic JA, Tiel RL, Kline DG. *Gunshot wounds involving the brachial plexus: surgical techniques and outcomes*. *J Reconstr Microsurg* 2006;22(2):67-72.

73. Krajcová A, Makeř M, Němcová V, Belšan T, Kaiser R. *Supraskapulární neuropatie*. Cesk Slov Neurol N 2020;83/ 116(5):608-613.
74. Krajcová A, Makeř M, Ullas G, Němcová V, Kaiser R. *Anatomical feasibility study of the infraspinatus muscle neurotization by lower subscapular nerve*. Neurol Res 2023;doi: 10.1080/01616412.2022.2164666.
75. Krystosek A, Seeds NW. *Plasminogen activator release at the neuronal growth cone*. Science 1981;213(4515):1532-1534.
76. Kuhlman GS, McKeag DB. *The "burner": a common nerve injury in contact sports*. Am Fam Physician 1999;60(7):2035-2040, 2042.
77. Lanaras TI, Schaller HE, Sinis N. *Brachial plexus lesions: 10 years of experience in a center for microsurgery in Germany*. Microsurgery 2009;29(2):87-94.
78. Lantry JM, Roberts CS, Giannoudis PV. *Operative treatment of scapular fractures: a systematic review*. Injury 2008;39(3):271-283.
79. Lundborg G. *A 25-year perspective of peripheral nerve surgery: evolving neuroscientific concepts and clinical significance*. J Hand Surg Am 2000;25(3):391-414.
80. Martin RM, Fish DE. *Scapular winging: anatomical review, diagnosis, and treatments*. Curr Rev Musculoskelet Med 2008;1(1):1-11.
81. Midha R. *Epidemiology of brachial plexus injuries in a multitrauma population*. Neurosurgery 1997;40(6):1182-1188; discussion 1188-1189.
82. Moen TC, Babatunde OM, Hsu SH, Ahmad CS, Levine WN. *Suprascapular neuropathy: what does the literature show?* J Shoulder Elbow Surg 2012;21(6):835-846.
83. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Group P. *Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement*. PLoS Med 2009;6(7):e1000097.
84. Narakas AO. *The treatment of brachial plexus injuries*. Int Orthop 1985;9(1):29-36.
85. Nyaga VN, Arbyn M, Aerts M. *Metaprop: a Stata command to perform meta-analysis of binomial data*. Arch Public Health 2014;72(1):39.
86. Orenčák R, Onušková S, Onuška A, Janičko M, Macejová Ž. *Neuropatia n. suprascapularis*. Rehabil Fyz Léč 2015;22(2):80-84.
87. Ou KL, Dai YH, Wang HJ, Chen TM, Dai NT, et al. *The lower trapezius musculocutaneous flap for head and neck reconstruction: two decades of clinical experience*. Ann Plast Surg 2013;71 Suppl 1:S48-54.
88. Overland J, Hodge JC, Breik O, Krishnan S. *Surgical anatomy of the spinal accessory nerve: review of the literature and case report of a rare anatomical variant*. J Laryngol Otol 2016;130(10):969-972.
89. Polguy M, Rozniecki J, Sibinski M, Grzegorzewski A, Majos A, et al. *The variable morphology of suprascapular nerve and vessels at suprascapular notch: a proposal for classification and its potential clinical implications*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2015;23(5):1542-1548.
90. Raine CS. *Differences between the nodes of Ranvier of large and small diameter fibres in the P.N.S.* J Neurocytol 1982;11(6):935-947.

91. Ray WZ, Chang J, Hawasli A, Wilson TJ, Yang L. *Motor Nerve Transfers: A Comprehensive Review*. Neurosurgery 2016;78(1):1-26.
92. Rhee PC, Pirola E, Hebert-Blouin MN, Kircher MF, Spinner RJ, et al. *Concomitant traumatic spinal cord and brachial plexus injuries in adult patients*. J Bone Joint Surg Am 2011;93(24):2271-2277.
93. Rosson JW. *Disability following closed traction lesions of the brachial plexus sustained in motor cycle accidents*. J Hand Surg Br 1987;12(3):353-355.
94. Saleh DB, Callear J, McConnell P, Kay SP. *The anatomy of the subscapular nerves: a new nomenclature*. J Plast Reconstr Aesthet Surg 2012;65(8):1072-1075.
95. Samadian M, Rezaee O, Haddadian K, Sharifi G, Abtahi H, et al. *Gunshot injuries to the brachial plexus during wartime*. Br J Neurosurg 2009;23(2):165-169.
96. Samardzic M, Grujicic D, Antunovic V. *Nerve transfer in brachial plexus traction injuries*. J Neurosurg 1992;76(2):191-197.
97. Samardzic MM, Rasulic LG, Grujicic DM. *Gunshot injuries to the brachial plexus*. J Trauma 1997;43(4):645-649.
98. Scott BA, Fletcher JR, Pulliam MW, Harris RD. *The Beirut terrorist bombing*. Neurosurgery 1986;18(1):107-110.
99. Secer HI, Daneyemez M, Tehli O, Gonul E, Izci Y. *The clinical, electrophysiologic, and surgical characteristics of peripheral nerve injuries caused by gunshot wounds in adults: a 40-year experience*. Surg Neurol 2008;69(2):143-152; discussion 152.
100. Secer HI, Solmaz I, Anik I, Izci Y, Duz B, et al. *Surgical outcomes of the brachial plexus lesions caused by gunshot wounds in adults*. J Brachial Plex Peripher Nerve Inj 2009;4:11.
101. Seddon H. *Surgical Disorders of the Peripheral Nerves, 2nd ed*. Churchill Livingstone: London; 1972.
102. Shin C, Lee SE, Yu KH, Chae HK, Lee KS. *Spinal root origins and innervations of the suprascapular nerve*. Surg Radiol Anat 2010;32(3):235-238.
103. Schroder LK, Gauger EM, Gilbertson JA, Cole PA. *Functional Outcomes After Operative Management of Extra-Articular Glenoid Neck and Scapular Body Fractures*. J Bone Joint Surg Am 2016;98(19):1623-1630.
104. Sommarhem AJ, Grahn PM, Nietosvaara YA. *Selective Neurotization of the Infraspinatus Muscle in Brachial Plexus Birth Injury Patients Using the Accessory Nerve*. Plast Reconstr Surg 2015;136(6):1235-1238.
105. Songcharoen P. *Management of brachial plexus injury in adults*. Scand J Surg 2008;97(4):317-323.
106. Souza FH, Bernardino SN, Filho HC, Gobbato PL, Martins RS, et al. *Comparison between the anterior and posterior approach for transfer of the spinal accessory nerve to the suprascapular nerve in late traumatic brachial plexus injuries*. Acta Neurochir (Wien) 2014;156(12):2345-2349.
107. Standring S, Gray H. *Gray's anatomy : the anatomical basis of clinical practice*. Churchill Livingstone/Elsevier: Edinburgh; 2008.
108. Stewart RL, Black GB. *Snowmobile trauma: 10 years' experience at Manitoba's tertiary trauma centre*. Can J Surg 2004;47(2):90-94.

109. Strauss EJ, Kingery MT, Klein D, Manjunath AK. *The Evaluation and Management of Suprascapular Neuropathy*. J Am Acad Orthop Surg 2020;28(15):617-627.
110. Sunderland S. *Mechanisms of cervical nerve root avulsion in injuries of the neck and shoulder*. J Neurosurg 1974;41(6):705-714.
111. Sunderland S. *Nerves and Nerve Injuries*. Churchill Livingstone: New York; 1978.
112. Surya P, Pankhania R, Ul Islam S. *Suprascapular Neuropathy in Overhead Athletes: A Systematic Review of Aetiology and Treatment Options*. Open Orthop J 2019;13:177-182.
113. Tavares PL, Siqueira MG, Martins RS, Zaccariotto M, Foroni L, et al. *Restoration of shoulder external rotation by means of the infraspinatus muscle reinnervation with a radial nerve branch transfer*. Br J Neurosurg 2019:1-7.
114. Terzis JK, Kostas I. *Suprascapular nerve reconstruction in 118 cases of adult posttraumatic brachial plexus*. Plast Reconstr Surg 2006;117(2):613-629.
115. Terzis JK, Vekris MD, Soucacos PN. *Outcomes of brachial plexus reconstruction in 204 patients with devastating paralysis*. Plast Reconstr Surg 1999;104(5):1221-1240.
116. Thompson WA, Kopell HP. *Peripheral entrapment neuropathies of the upper extremity*. N Engl J Med 1959;260(25):1261-1265.
117. Tubbs RS, Khoury CA, Salter EG, Acakpo-Satchivi L, Wellons JC, 3rd, et al. *Quantitation of the lower subscapular nerve for potential use in neurotization procedures*. J Neurosurg 2006;105(6):881-883.
118. Tubbs RS, Loukas M, Shahid K, Judge T, Pinyard J, et al. *Anatomy and quantitation of the subscapular nerves*. Clin Anat 2007;20(6):656-659.
119. Tubbs RS, Shoja MM, Loukas M, Lancaster J, Mortazavi MM, et al. *Study of the cervical plexus innervation of the trapezius muscle*. J Neurosurg Spine 2011;14(5):626-629.
120. Tucek M, Bartonicek J. *[Associated injuries of the scapula fractures]*. Rozhl Chir 2010;89(5):288-292.
121. Voleti PB, Namdari S, Mehta S. *Fractures of the scapula*. Adv Orthop 2012;2012:903850.
122. Vorster W, Lange CP, Briet RJ, Labuschagne BC, du Toit DF, et al. *The sensory branch distribution of the suprascapular nerve: an anatomic study*. J Shoulder Elbow Surg 2008;17(3):500-502.
123. Waller AV. *Experiments on the section of the glossopharyngeal and hypoglossal nerves of the frog, and observations on the alterations produced thereby in the structure of their primitive fibres*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 1850;(140):423-429.
124. Warner JP, Krushell RJ, Masquelet A, Gerber C. *Anatomy and relationships of the suprascapular nerve: anatomical constraints to mobilization of the supraspinatus and infraspinatus muscles in the management of massive rotator-cuff tears*. J Bone Joint Surg Am 1992;74(1):36-45.
125. Wasfi FA, Ullah M. *Structures passing through the triangular space of the human upper limb*. Acta Anat (Basel) 1985;123(2):112-113.

126. Williams MD, Edwards TB, Walch G. *Understanding the Importance of the Teres Minor for Shoulder Function: Functional Anatomy and Pathology*. J Am Acad Orthop Surg 2018;26(5):150-161.
127. Zlowodzki M, Bhandari M, Zelle BA, Kregor PJ, Cole PA. *Treatment of scapula fractures: systematic review of 520 fractures in 22 case series*. J Orthop Trauma 2006;20(3):230-233.