

Univerzita Karlova

1. lékařská fakulta

Autoreferát disertační práce



UNIVERZITA KARLOVA
I. lékařská fakulta

**Anatomické možnosti rekonstrukce
nervus suprascapularis zadním přístupem**

Anatomical possibilities of the suprascapular nerve
reconstruction by dorsal approach

MUDr. Aneta Krajcová

Praha, 2023

Doktorské studijní programy v biomedicině
Univerzita Karlova a Akademie věd České republiky

Obor: Experimentální chirurgie

Předseda oborové rady: prof. MUDr. Zdeněk Krška, DrSc.

Školící pracoviště: Anatomický ústav 1. LF UK

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

Konzultant: as. MUDr. Veronika Němcová, CSc.

Disertační práce bude nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněna k nahlížení veřejnosti v tištěné podobě na Oddělení pro vědeckou činnost a zahraniční styky Děkanátu 1. lékařské fakulty.

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Hypotézy a cíle práce	7
3	Materiál a metodika	7
3.1	Přehledová studie	7
3.2	Experimentální studie 1	8
3.3	Experimentální studie 2	10
4	Výsledky	11
4.1	Přehledová studie	11
4.2	Experimentální studie 1	12
4.3	Experimentální studie 2	12
5	Diskuse	13
6	Závěry.....	16
7	Souhrn.....	16
8	Summary	16
	Použitá literatura	20
	Seznam publikací	22

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

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 invalidizována. Chirurgie PPB zaznamenala v posledních 20 letech překotný rozmach, který zejména u parézy horního 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 spinoglenoidální brázdou (*Schroder et al., 2016*).

Obnova abdukce ramena 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 regio cervicalis lateralis (*Bertelli a Ghizoni, 2016, Emamhadi et al., 2016, Terzis a Kostas, 2006*). V posledních letech však byly publikovány práce popisující reinervaci zadním přístupem (*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 HYPOTÉZY A 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).

Hypotézy:

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 nejbližší probíhajících nervů – terminální větve n. XI nebo n. subscapularis inferior. Proto jsme se rozhodli provést studie proveditelnosti obou těchto rekonstrukčních metod.

3 MATERIÁL A METODIKA

3.1 PŘEHLEDOVÁ STUDIE

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.

Kritéria způsobilosti zařazení studie a extrakce dat

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 ≥ 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.

Data byla extrahována dvěma autory, při nejasnostech byla zařazena dle vzájemného konsenzu.

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). Hladina významnosti byla stanovena na $p < 0,05$.

3.2 EXPERIMENTÁLNÍ 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. Celý průběh n. XI byl vypreparován od vstupu do m. trapezius v regio cervicalis lateralis až po koncové větve.

Poloha nervu byla označena na dvou místech:

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

Bod B: 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 cca 2,5 mm (*Polguy et al., 2015*).

Poté byl sval zvednut a další sada připínáčků byla vložena z jeho vnějšího povrchu palpací špiček vnitřních připínáčků, které byly poté odstraněny. Sval byl rotován zpět do původní polohy. 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 a obratlem C7;

Vzdálenost 2: na vodorovné čáře mezi bodem B a odpovídajícím trnovým výběžkem.

Průběh nervu pod úhlem β 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 β jsou přibližné, protože průběh nervu není lineární.

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 změření délek obou nervů byl m. trapezius upevněn do původní pozice a připevněn zpět k páteři. Následně byla mediálně od spina scapulae horizontálně prořata jeho fascie. Poté byl mezi svalovými vlákny vypreparován n. XI a byla změřena vzdálenost mezi ním a mediálním okrajem spina scapulae. Následně byla provedena tupá disekce n. XI a nerv byl prořat co najkaudálněji.

Konec nervu byl zkrácen v bodě s minimálním průměrem 2 mm dle měření mikrokaliperem. 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 byla prořata ostrými nůžkami a byla vytvořena díra o průměru 10 mm. Délka mobilizovaného pahýlu n. XI byla měřena od nejkraniálnějšiho 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.

3.3 EXPERIMENTÁLNÍ 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.

Disekce větve n. supraspinatus 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 od dna fossa infraspinata a rotován laterokaudálně jako při standardním Judetově přístupu (*Bartonicek et al., 2008*). 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.

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, 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.

4 VÝSLEDKY

4.1 PŘEHLEDOVÁ STUDIE

Nejčastějším typem bylo zavřené trakční poranění se sdruženou prevalencí 93 % (95% CI: 87–97 %). Otevřené léze včetně tržných či ostrých ran a iatrogenních poranění s 3 % (95% CI: 1-6%) prevalencí a střelná poranění s 3% (95% CI: 0-7 %) 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 %) prevalencí. Osm studií (1898 pacientů) poskytlo informace o úrovni zavřené poranění. 90 % (95% CI: 78-98 %) pacientů utrpělo supraklavikulární nebo kombinované supra-/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.

4.2 EXPERIMENTÁLNÍ STUDIE 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 ($\pm 1,6$).

4.3 EXPERIMENTÁLNÍ STUDIE 2

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 ($\pm 11,8$). Jeho 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 DISKUSE

Přehledová část práce 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.

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*). Dominantní příčinou zavřených PPB byly motocyklové nehody s 67 % (95 % CI: 49-82 %) sdruženou prevalencí.

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 supra- a infraklavikulárních zavřených lézí.

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.

NSS je jedním z nejčastěji postižených nervů při horních či kompletních lézích plexus brachialis. 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 chirurgického krčku jsou často nestabilní a vyžadují otevřenou repozici a vnitřní fixaci pomocí Judetova zadního přístupu (*Bartonicke 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 experimentální části jsou popsány dvě nové techniky přímé rekonstrukce NSS-infra. V první studii bylo zjištěno, že střední vzdálenost n. XI od mediálního okraje spina scapulae byla přibližně 2,5 cm. Tento fakt může pomoci při předoperačním plánování místa disekce n. XI. Po identifikaci nervového kmene následuje preparace jeho šikmého průběhu pod středním úhlem 15°. 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. Hlavním zjištěním naší studie proto je, že přenos n. XI – NSS-infra byl možný ve všech případech.

Komplexní zlomeniny lopatky se 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.

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*). Zjistili jsme, že přenos nervu byl proveditelný v 17 z 18 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. 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 očekávatelné 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 když byl 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.

6 ZÁVĚRY

- Typickým pacientem trpícím těžkou úrazovou lézí pažní pleteně je muž po nehodě na motocyklu s uzavřeným supraklavikulárním poraněním způsobujícím úplnou nebo o něco méně často horní obrnu plexu. Tržné a střelné rány brachiálního plexu jsou vzácné.
- Přímý přenos n. XI na dolní větev n. suprascapularis pro m. infraspinatus byl anatomicky proveditelný u všech kadaverů.
- Při použití n. subscapularis inferior jako dárce byl přenos proveditelný v téměř 95 % případů.

7 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 podbíhajícím 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. infraspinitus 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.

8 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.

POUŽITÁ 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. Baltzer HL, Wagner ER, Kircher MF, Spinner RJ, Bishop AT, et al. *Evaluation of infraspinalis reinnervation and function following spinal accessory nerve to suprascapular nerve transfer in adult traumatic brachial plexus injuries*. Microsurgery 2017;37(5):365-370.
3. Bartonicek J, Tucek M, Fric V, Obruba P. *Fractures of the scapular neck: diagnosis, classifications and treatment*. Int Orthop 2014;38(10):2163-2173.
4. Bartonicek J, Tucek M, Lunacek L. *[Judet posterior approach to the scapula]*. Acta Chir Orthop Traumatol Cech 2008;75(6):429-435.
5. 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.
6. 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.
7. Cole PA. *Scapula fractures*. Orthop Clin North Am 2002;33(1):1-18, vii.
8. El-Gammal TA, Ali AE, Kotb MM, Saleh WR, El-Gammal YT. *Long-term Evaluation of Teres Major to Infraspinalis Transfer for Treatment of Shoulder Sequelae in Obstetr Brachial Plexus Palsy*. Ann Plast Surg 2020;84(5):565-569.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Midha R. *Epidemiology of brachial plexus injuries in a multitrauma population*. Neurosurgery 1997;40(6):1182-1188; discussion 1188-1189.
13. 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.

14. Narakas AO. *The treatment of brachial plexus injuries*. Int Orthop 1985;9(1):29-36.
15. Nyaga VN, Arbyn M, Aerts M. *Metaprop: a Stata command to perform meta-analysis of binomial data*. Arch Public Health 2014;72(1):39.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Songcharoen P. *Management of brachial plexus injury in adults*. Scand J Surg 2008;97(4):317-323.
21. 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.
22. Terzis JK, Kostas I. *Suprascapular nerve reconstruction in 118 cases of adult posttraumatic brachial plexus*. Plast Reconstr Surg 2006;117(2):613-629.
23. 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.
24. Tucek M, Bartonicek J. *[Associated injuries of the scapula fractures]*. Rozhl Chir 2010;89(5):288-292.
25. 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.
26. Wasfi FA, Ullah M. *Structures passing through the triangular space of the human upper limb*. Acta Anat (Basel) 1985;123(2):112-113.

SEZNAM PUBLIKACÍ

1. publikace in extenso, které jsou podkladem disertace
 - a) s impact factorem
 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**
 - b) bez IF: 0
 2. publikace in extenso bez vztahu k tématu disertace
 - a) s IF
 1. Hurt K, Zahálka F, Halaška M, Rakovičová I, **Krajcová A**. *Extracorporeal shock wave therapy for treatment of vulvodinia: 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. *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**

b) bez IF

1. **Krajcová A**, Hurt K, Kufa R, Molitor M. *Ruptura prsního implantátu: sportovní trauma prsu.* **Ceska Gynekol.** 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 Gynekol.** 2006;71(6):499-501.