

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**3. LÉKAŘSKÁ FAKULTA**



MUDr. Libor Mencil

**Porodní poranění plexus brachialis**

Dizertační práce

Školitel: prof. MUDr. Pavel Haninec, CSc.

Praha, 2015

V Praze dne 10. května 2015

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a použil 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.

Libor Mencl

# PODĚKOVÁNÍ

Předkládaná dizertační práce byla podpořena grantem Univerzity Karlovy v Praze, PRVOUK P34 a 260045/SVV/2014.

Klinická část byla vypracována na Neurochirurgické klinice 3. Lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice Královské Vinohrady v Praze vedené prof. MUDr. Pavlem Hanincem, CSc.

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli prof. MUDr. Pavlu Hanincovi, CSc. Bez jeho odborného vedení by tato práce nikdy nevznikla. Zároveň mi poskytl ke zhodnocení vlastní soubor pacientů, které sám kompletně odoperoval. Rekonstrukční operace porodního poranění plexus brachialis uvedl jako první v České Republice do klinické praxe a v současné době jako jediný na území bývalého Československa komplexně řeší toto složité poranění.

Dále bych rád poděkoval MUDr. Petru Waldaufovi za jeho velkou pomoc při statistickém zpracování výsledků.

V neposlední řadě bych chtěl rovněž poděkovat všem kolegům z Neurochirurgické kliniky 3. LF UK a FNKV v Praze za spolupráci a podporu, které se mi od nich dostalo, zejména pak sestře Ireně Cidlinové za pomoc v elektrofyziologické laboratoři.

# **OBSAH**

1. ÚVOD
2. CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE
3. OBECNÁ ČÁST
  - 3.1. Porodní poranění brachiálního plexu
  - 3.2. Vyšetřovací metody
  - 3.3. Chirurgická léčba
4. KLINICKÁ ČÁST
  - 4.1. Úvod
  - 4.2. Materiál a metodika
  - 4.3. Výsledky
  - 4.4. Diskuze
5. SOUHRN
6. SUMMARY
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY
8. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ
9. PUBLIKAČNÍ A PŘEDNÁŠKOVÁ ČINNOST

## SEZNAM ZKRATEK

<b>ABD</b>	abdukce
<b>AMS</b>	Active Movement Scale
<b>AX</b>	n.axilaris
<b>BDGF</b>	Brain-derived Growth Factor, mozkový růstový faktor
<b>C5-8</b>	označení úrovně krčního nervového kořene
<b>CMAP</b>	Compound Muscle Action Potential, sumační svalový akční potenciál
<b>CNS</b>	centrální nervový systém
<b>CT-PMG</b>	Computer Tomography Perimyelography, perimyelografie pomocí počítačové tomografie
<b>ELB</b>	elbow, loket
<b>EMG</b>	elektromyografie
<b>ETS</b>	end-to-side anastomóza
<b>EXT ROT</b>	external rotation – zevní rotace
<b>FLX</b>	flexe
<b>IT</b>	trunkus inferior
<b>LC</b>	laterální fasciál
<b>MC</b>	medialní fasciál
<b>MCN</b>	n.musculocutaneus
<b>MRC</b>	Medical Research Council, mezinárodní škála svalové síly
<b>MRI</b>	magnetická rezonance
<b>MT</b>	trunkus medius
<b>MUP</b>	Motor Unit Potential
<b>NAP</b>	nervový akční potenciál
<b>NGF</b>	Nerve Growth Factor, nervový růstový faktor
<b>OBPP</b>	Obstetrical Brachial Plexus Palsy, porodní poranění pažní pleteně
<b>PC</b>	zadní fasciál
<b>PCT</b>	n.pectoralis
<b>R</b>	n.radialis
<b>RTG</b>	rentgen
<b>SH</b>	shoulder, rameno
<b>SNAP</b>	senzorický nervový akční potenciál
<b>SS</b>	n.suprascapularis
<b>SSEP</b>	somatosenzorické evokované potenciály
<b>ST</b>	trunkus superior
<b>Th1,2</b>	označení úrovně hrudního nervového kořene
<b>VEGF</b>	Vascular Endothelial Growth Factor, vaskulární endoteliální růstový faktor
<b>wri/ fing/ th</b>	wrist, fingers and thumb, zápěstí, prsty, palec
<b>XI</b>	n.accessorius

# 1. ÚVOD

Porodní poranění brachiálního plexu představuje jednu z nevážnějších komplikací v průběhu porodu. Porodní paréza plexu byla poprvé popsána Smelliem (1764), kdy bylo dítě postiženo oboustrannou parézou, která se však brzy spontánně upravila. V roce 1872 byly publikovány další 4 případy parézy ramene a lokte. Původ novorozenecké parézy byl označen jako traumatický a ne kongenitální (Duchenee, 1872). O dva roky později definoval Wilhelm Erb (1874) na Univerzitě v Heidelbergu jako úroveň postižení horní trunkus. Augusta Déjerine-Klumpke (1885) popsala izolovanou lézi C8 – Th1. I přes pokroky v porodnictví je incidence tohoto poranění poměrně stabilní. Funkce horní končetiny se u většiny dětí spontánně upraví, ale přesto zůstává část dětí s těžkým reziduálním deficitem vhodným k neurochirurgické revizi.

Problematika porodního poranění brachiálního plexu je v porovnání s poúrazovými stavy dospělých mnohem komplikovanější. Vzhledem k chybění jak randomizovaných, tak i větších retrospektivních studií zůstává management těchto stavů i v dnešní době ne úplně jasný. Také indikační kritéria a načasování rekonstrukční operace zůstávají stále kontroverzní.

Distální neurotizační techniky získaly popularitu v léčbě traumatického poranění plexu dospělých a přesto, že recentní výsledky u dospělých pacientů značí lepší výsledky distálních transferů v porovnání s rekonstrukcí pomocí štěpů, musí být jejich role v léčbě porodního poranění plexu být teprve definována. V současné době není žádná studie, která by přímo porovnávala distální neurotizační techniky s rekonstrukcí pomocí štěpů jako primární strategii při léčbě porodního poranění plexu.

Předmětem diskuzí je také samotný mechanismus poranění, za který je všeobecně považován tah za kořeny v průběhu porodu raménka. Výskyt porodního poranění pažní pleteně u dětí porozených sekci naznačuje, že část těchto poranění může vznikat již intrauterinně.

Věk jednoznačně ovlivňuje strukturální a funkční vlastnosti periferního nervového systému včetně regenerační kapacity. Díky tomu je možné indikovat operační léčbu i v takových případech, kdy by u dospělých bylo příliš pozdě. Unikátní reinervační schopnosti umožňují v případě kompletního poranění plexu úspěšně reinervovat hybnost ruky. Takové operace jsou u dospělých pacientů v podstatě nemožné.

## 2. CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Problematika porodního poranění brachiálního plexu je mnohem komplikovanější než pórůrazové stavy dospělých. Vzhledem k absenci randomizovaných nebo rozsáhlejších komparativních studií, hodnotících indikační kritéria a správné načasování výkonu, i rozsáhlejších retrospektivních studií, týkajících se použití jednotlivých technik, je management těchto stavů velmi problematický.

Předkládaná dizertační práce má dvě části:

1. Obecná část – kromě stručného popisu problematiky porodního poranění brachiálního plexu se zabývá:
  - a. odlišnostmi ve vyšetřovacím schématu u dětských pacientů zejména v oblasti klinického vyšetření hybnosti horní končetiny u nespolupracujícího dítěte a současnou rolí předoperačního i intraoperačního elektrofyziologického vyšetření
  - b. indikačními kritérii a načasováním případné operace
  - c. možnostmi chirurgické léčby poranění a použití jednotlivých technik včetně ETS anastomózy a sekundárních operací, v samostatné části jsou shrnuty patofyziologické aspekty poranění a rekonstrukce nervu
2. Klinická část – má za cíl zhodnotit úspěšnost operační strategie při použití různých operačních technik na souboru operovaných dětí a srovnání se současnou anglicky psanou literaturou, ze získaných dat pak vytvořit prediktivní model vývoje jednotlivých pohybů i celkové hybnosti horní končetiny.

## 3. OBECNÁ ČÁST

### 3.1 Porodní poranění plexus brachialis

#### 3.1.1 Incidence a rizikové faktory

Incidence poranění se pohybuje od 0,15 do 3 případů na 1 000 živě narozených dětí (Foad a spol., 2008, Evans-Jones a spol., 2003). Lehce převažuje mužské pohlaví a pravá strana. I přes pokroky v medicíně se tedy u nás stále rodí asi 100-200 takto postižených novorozenců (Haninec a spol., 2011). Souhrn z nejlépe metodologicky zpracovaných studií v současné literatuře ukazuje, že těžký reziduální deficit zůstává u 20 – 30% dětí (Pondaag, 2004).

Identifikace faktorů, které vystavují pacienta zvýšenému riziku porodního poranění, je stěžejní v prevenci vzniku tohoto problému. Množství rozsáhlých populačních studií nabízí užitečné informace o těchto faktorech. Gilbert a spol. (1999) podrobně přezkoumali 1 611 případů OBPP v Kalifornii. Jako největší rizikový faktor uvádějí dystokii ramének, která je spojena až s 76,1x vyšším rizikem vzniku poranění, instrumentální vybavení novorozence pomocí vakuu extraktoru 2,7x a vybavení kleštěmi 3,4x. Gestační diabetes mellitus byl spojený s 1,9x vyšším rizikem. McFarland a spol. (1995) analyzovali data z Washingtonu, jejich výsledky ukazují, že porodní váha byla nejsilnější prediktor OBPP. U dětí s váhou mezi 4 000 – 4 500 g dosáhlo odds ratio 2,4 a nad 4 500g odds ratio 21. Recentní národní studie v USA na 17 334 pacientech s OBPP popisuje srovnatelné výsledky, multivarietní analýzou bylo prokázáno až 100x vyšší riziko porodního poranění u dystokie ramének, u novorozence vážícího přes 4 500 g 14,47x vyšší, instrumentální porod (forceps nebo vakuu extraktor) 7,55x a porod koncem pánevním 1,43x. Dalšími rizikovými faktory mohou být obezita matky nebo prolongovaný porod, naopak porod císařským řezem a porod dvojčat se zdá být protektivní s odds ratio 0,12 resp. 0,26 (Foad a spol., 2008).

Shrneme-li tyto rizikové faktory, můžeme říci, že nejrizikovější skupinou jsou ženy s gestačním diabetem rodící plod o hmotnosti nad 4 500 g pomocí kleští nebo vakuu extraktoru. Porod císařským řezem se nabízí jako logické řešení, bohužel statistickou analýzou i této vysoce rizikové skupiny zjistíme, že u 92 % se porodní poranění brachiálního plexu nevyskytlo a sekce by byla zbytečná (Gilbert a spol., 1999). Selektce pacientů, u kterých by měl být proveden porod císařským řezem, je problematická a na základě sonografického



odhadu váhy plodu se nedoporučuje (Rouse a spol., 1996). Jsou popsány i případy poranění nervové pleteně u dětí porozených sekcí (Gherman a spol., 1997). Zvýšené riziko je také u multipar, které již dříve porodily dítě s porodní parézou. Na souboru 8 žen s anamnézou OBPP v předchozím těhotenství popisuje toto poranění u 2/3 dalších potomků a dokonce horšího stupně (Al-Qattan a Al-Kharfy, 1996).

### 3.1.2 Mechanismus poranění

Původ novorozenecké parézy je traumatický a ne kongenitální. Poranění je způsobené trakčním působením na kořeny brachiálního plexu při současné inklinaci krční páteře ke kontralaterální straně. Různorodost výsledného postižení je způsobena mechanismem poranění. Je závislá také na anatomickém uspořádání kořenů (přítomnost ligamenta, úhlu odstupu a směru průběhu kořene). Mechanismus poranění závisí na tom, zda byl porod veden záhlavím nebo koncem pánevním (Malessy a Pondaag, 2011).

Sever (1916) popsal, jak vzniká poranění během porodu záhlavím, kdy při dystokii ramének vyžaduje uvolnění zaklíněného raménka pod sponou stydké kosti nadměrnou laterální flexi krku a hlavičky. Následné postižení vzniká trakcí za kořeny plexu. Nejčastěji k této situaci dochází u nadměrného plodu (nad 4 000 g). Současná manipulace s kleštěmi může vést ke zlomeninám klíční kosti (Ahn a spol., 2015).

Porodní poranění brachiálního plexu v průběhu porodu koncem pánevním obecně vzniká u dětí s menší porodní hmotností a je předpoklad, že k němu dochází ve fázi, kdy je hlavička konečně vybavena. Při porodu koncem pánevním jsou porozeny nejprve dolní končetiny a trup, poté horní končetiny, raménka a nakonec hlavička. Při porodu může nastat vztyčení jedné nebo obou ruček a tím znesnadnění porodu hlavičky. Výsledkem je násilná hyperabdukce paže, hyperextenze hlavičky a natažení zejména osmého krčního a prvního hrudního kořene. Výsledné poranění je obvykle těžší než při porodu záhlavím a může být i oboustranné (Gilbert a spol., 1988). Z důvodu zvýšeného rizika pro dítě i matku jsou dnes většinou těhotenství, kdy je dítě uloženo koncem pánevním napřed, ukončovány císařským řezem (Chauhan, 2014). Předpokládá se, že část těchto zranění vzniká již intrauterinně, nikoliv traumatickým postižením za porodu (Gherman a spol., 1997). Možné mechanismy intrauteriního poranění zahrnují endogenní propulzní síly působící v průběhu porodu, intrauterinní maladaptaci nebo poruchu intrauterinní rotace ramének a zaklínění zadního

raménka za promontorium sakra. Stejně tak mohou vést ke vzniku OBPP anomalie dělohy jako intrauterinní septum nebo uterus bicornuatus (Doumouchtsis a Arulkumaran, 2009).

### 3.1.2 Anatomie

Brachialní plexus je složitá síť nervových vláken, která sahá od krku po axilu a zásobuje motorická, senzitivní a sympatická nervová vlákna pro horní končetinu. Je tvořena nervi spinales C5–Th1, které vznikají v příslušných foraminech z předního a zadního kořene. Jsou v těsném kontaktu s procesus transversus krčních obratlů dorzálně od arteria vertebralis, která běží od úrovně C6 po C2. Plexus brachialis lze rozdělit na dva hlavní oddíly: supraklavikulární umístěný v regio colli lateralis a infraklavikulární v axille. První úrovní jsou tzv. kořeny pleteně ležící mezi musculus scalenus anterior a medius. Další úrovní jsou kmene: trunkus superior na zevní hranici m. scalenus medius (C5–6), trunkus medius (C7) a trunkus inferior pod m. scalenus anterior na úrovni prvního žebra (C8–Th1). Svazek kmenů pak běží laterokaudálně za klíční kost a infraklavikulárně obklopuje a. brachialis. Každý z kmenů se rozdělí na ventrální a dorzální divizi. Všechny tři dorzální divize vytvářejí zadní svazek (fasciál). Tento svazek má dvě větve n. thoracodorsalis a n. subscapularis. Přední divize horního a středního kmene vytvoří laterální svazek s odstupujícími nn. pectorales laterales. Z dolního kmene vzniká mediální svazek, ze kterého odstupují nn. pectorales mediales, n. cutaneus brachii a antebrachii medialis. Každý ze svazků končí jako dvě konečné větve: z dorzálního n. axillaris a n. radialis, z laterálního n. musculocutaneus a zevní část n. medianus, z mediálního vzniká vnitřní část n. medianus a n. ulnaris.

Před trakčním poškozením je míšní nerv chráněn jednak durálními záhyby, které volně přecházejí v perineurium, a zároveň fibrózním spojením mezi epineuriem a transverzálním výběžkem v oblasti foramina v úrovni C5–C7. Tato spojení chybí v úrovni C8–Th1 – dolní kořeny jsou tedy více náchylné k avulzi, zatímco u horních nervů je častější ruptura (Johnson a spol., 2006). Přední kořeny jsou kratší než zadní, trhají se tedy snadněji (Sunderland, 1974).

Výpadek funkce svalů zásobených z horních kořenů nemusí být při jejich ruptuře úplný pro relativně vysokou četnost tzv. prefixovaného typu pažní pleteně (24–63 %), kdy se na tvorbě plexu podílejí i vlákna z C4. Obdobná je situace u dolních kořenů, kdy do pleteně může vstupovat kořen Th2 a v 30–72 % vytvářet tzv. postfixovaný typ (Uysal a spol., 2003).

### 3.1.2 Patofyziologie poranění a rekonstrukce nervu

Poranění nervů může být v rozsahu neurapraxie nebo axonotmeze po neurotmezi. V případě neurapraxie k strukturálním změnám nedochází, funkčně se jedná pouze o kondukční blok. U axonotmeze dochází k přerušení axonů bez poranění mezenchymálních částí. V případě neurotmeze dochází k přerušení nervu. Neurapraxie a axonotmeze běžně prokazují kompletní spontánní úpravu. Neurotmeze obvykle končí permanentní funkční poruchou (Seddon 1972).

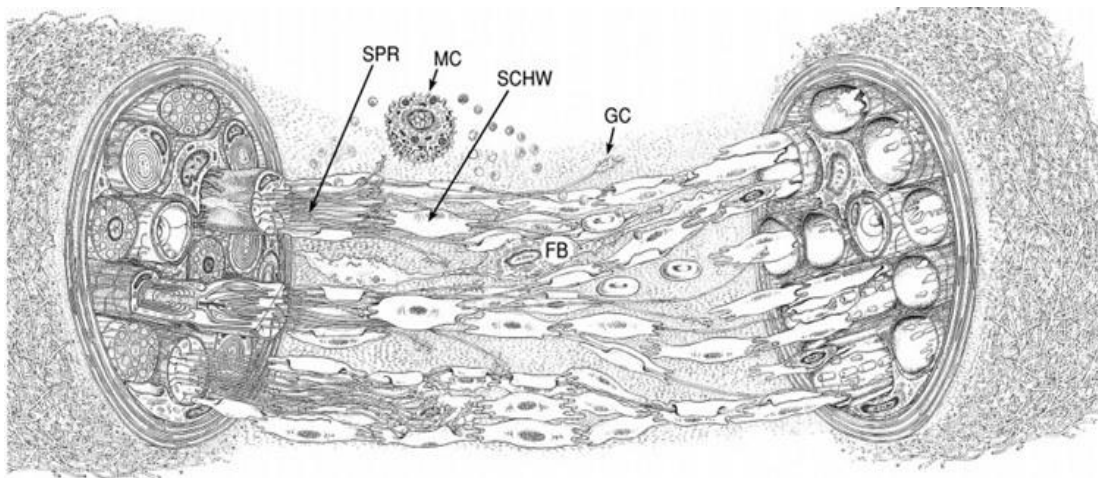
Po poranění a následné chirurgické rekonstrukci nervu začíná dráha regenerujících axonů v místě sutury. V tomto místě proběhla v době od poranění celé řada změn na buněčné úrovni zahrnující odstranění rozpadlých částí makrofágy a Swannovými bunkami, tento proces je označován jako Wallerova degenerace (Waller, 1850).

Podkladem je Wallerovy degenerace je fragmentace axonu a myelinu distálně od místa poranění. Do 24 hodin po zranění se aktivují Schwannovy buňky, které hrají zásadní roli při degradačním a následném reparačním procesu. Prvním úkolem těchto buněk je pomoc při odstraňování rozpadlých částí myelinu a axonu a jejich předání makrofágům, které mezitím doputovaly do místa zranění krevní cestou. Endoneurální mastocyty výrazně proliferují během prvního týdnu po poranění. Jejich produkce histaminu a serotoninu je důležitá pro urychlení migrace makrofágů a dostatečnou propustnost vlásečnic. Dochází ke změnám neurotubulů a neurofilament. Degradační proces končí za 5 až 8 týdnů. Výsledkem jsou zbytky nervových vláken tvořených endoneurií vyplněnými Schwannovými buňkami. Sloupce Schwannových buněk s jejich cytoplazmatickými výběžky, které se vzájemně překrývají, jsou nazývány Büngnerovými pruhy (Kaiser a Haninec, 2012). Hlavní funkcí je navádění a podpora nově vyrůstajícího axonu přítomností adhezivních molekul a enzymovou aktivitou, např. nespecifické cholinesterázy (Haninec a Dubový, 1992).

Proximální axon prorůstá místem poranění či sutury vysláním výběžků. Na jejich konci jsou růstové konusy, které průběžně vytvářejí cytoplazmatické výchlípky označované jako filopodia a lamelipodia. Růstové konusy fungují jako jakési antény pro neurotrofické signály, které mohou přitahovat regenerující axony určitým směrem tím, že stimulují dynamiku mikrofilament uvnitř konusu, vedou tak k prodlužování axonu (Lykissas a spol., 2007).

Bylo identifikováno množství různých neurotrofických faktorů, zahrnujících nervový růstový faktor (NGF), mozkový růstový faktor (BDGF), gliální růstový faktor či VEGF – vaskulární endoteliální růstový faktor (Boyd a Gordon, 2003, Haninec a spol.,2012). Tyto faktory jsou produkovány a secernovány Swannovými buňkami, které zbyly po Wallerově degeneraci uvnitř distálních endoneurálních trubic. Difúze neurotrofických faktorů z distálního pahýlu přitahuje regenerující axony směrem zvyšujícího se gradientu, tento jev se nazývá neurotropismus (Forssmann, 1898). Vedle faktorů přitahujících růst axonů existují faktory s odpuzujícím účinkem, které mohou odklonit regenerující axony nebo indukovat zhroucení růstového konusu, například semaphoriny (Tannemaat a spol., 2007).

Axony mohou být navíc fyzicky naváděny strukturou kolagenní matrix, která je produkovaná fibroblasty po poranění mezi proximálním a distálním pahýlem. Podél této matrix migrují Swannovy buňky a exprimují specifické buněčné adhezivní molekuly navádějící regenerující axony interakcí s růstovým konusem (Son a Thompson, 1995). Příkladem takových adhezivních molekul je L2/HNK-1(Martini a spol., 1994) nebo PSA – NCAM (Franz a spol., 2005).



**Obrázek 1.** Lokální buněčná odpověď po poranění nervu. SPR – výběžky MC - mastocyty SCHW – Schwanovy bb. GC – růstový konus FB – fibroblasty. Zdroj: Journal of Hand Surgery (American Volume),2000, volume 25, Lundborg G, “A 25-year perspective of peripheral nerve surgery: evolving neuroscientific concepts and clinical significance,” pp 391–414,

V ideální situaci kombinace zmíněných faktorů vede k přímému prorůstání axonů zpátky k původní endoneurální trubici. Ve skutečnosti bylo bohužel prokázáno, že axony rostou častěji laterálně místo distální cestou (Witzel a spol., 2005). Tato disperze axonální regenerace může vést k nevhodné reinervaci cílového orgánu, i přes chirurgicky správné fascikulární uspořádání sutury, protože jak jednou regenerující axon dosáhne distální

endoneurální trubice, celý další průběh je stanovený její původní trajektorií. Zda dosáhne cílového orgánu, je opět ovlivněno podporou neurotrofických faktorů, které jsou Swannovy buňky schopny, jak bylo recentně prokázáno, produkovat pouze omezenou časovou periodu. Zároveň bylo prokázáno, že se množství produkovaných neurotrofických faktorů Swannovými buňkami v motorickém a senzitivním nervu liší (Höke a spol., 2006).

Na závěr procesu reinervace musí regenerující axon vytvořit funkční spojení s cílovým orgánem, v případě motorického nervu s nervosvalovou ploténkou. Po poranění a chirurgické rekonstrukci nervu byla prokázána iniciální polyinervace nervosvalové ploténky. Poměr motorický axon / nervosvalová ploténka se později upraví na normální inervaci 1:1 (Magill a spol., 2007). Tato polyinervace by mohla být mechanismem zlepšujícím přesnost reinervace a byl dokázán vliv manuální stimulace a jiných rehabilitačních technik na tento proces selekce (Udina a spol., 2011).

V případě neurotmeze dochází k přerušení nervu. Následkem přerušení kontinuity vláken dochází vlivem elastického endoneuria k jejich retrakci. Edém a krvácení vedou k lokální zánětlivé odpovědi. Následná aktivace fibroblastů pak způsobí produkci jizevnaté tkáně a to jak koncích nervů, tak i interfascikulárně. Konce jsou tak výrazně makroskopicky změněny, stávají se edematózní masou dezorganizovaných Schwannových buněk, kapilár, fibroblastů, makrofágů a kolagenu. Regenerující axony jsou zastaveny novotvořenou jizvou již před dosažením konce proximálního pahýlu, některé z nich prorůstají jizvou do okolních tkání nebo může dojít k otočení směru růstu a dalšímu prorůstání zpět do proximálního pahýlu. Výsledkem je formování traumatického neuromu. Typický intraoperační nález u dětí s OBPP je neurom v kontinuitě postihující horní trunpus. Neurom v kontinuitě je výsledkem trakčního poranění, při kterém je poškozena intraneurální architektura, nerv ale nebývá kompletně přetržený na dvě oddělené části. Taková léze reprezentuje mezistupeň mezi axonotmezí a neurotmezí. Pokud je významná část endoneurálních trubic ušetřena, lézi může označit jako převážně axonotmetickou s potenciálem k axonální regeneraci. Naopak převládá-li poškození endoneurálních trubic, označujeme neurom v kontinuitě jako převážně neurotmetický, je nezbytné jej během operace resekovat a rekonstruovat pomocí štěpů (Pondaag a spol., 2008).

Tato skutečnost je nesmírně důležitá k pochopení výsledného klinického obrazu. Obvykle, dokonce i v těch nejtěžších případech OBPP alespoň několik axonů překoná tento neurom a dosáhne endoneurální trubice distálně od léze. Počet takovýchto axonů je výrazně redukován a odpovídá tíži poranění. Nejtěžším typem porodního poranění, výhradně sdružené s trakcí spinálních kořenů tvořících brachiální plexus, je avulze kořene, vzniká vytržením fila radicularia z míchy. Dochází ke kompletním přerušení míchy a periferního nervového systému, nedochází k tvorbě neuromu. Důležité je zmínit, že poranění nervů se z počátku klinicky manifestují stejně.

Funkční výsledek reinervace po poranění nervu a rekonstrukci není často i přes regenerační kapacitu periferního nervového systému uspokojivý. Je známo několik faktorů, které mají na tento horší výsledek vliv.

Především je nutné zmínit důležitou roli načasování operace. Největší šanci na úspěch dosáhneme operací ihned po poranění, protože: 1. bylo prokázáno, že regenerační kapacita se v čase snižuje (Sunderland, 1991) a 2. delší denervační perioda negativně ovlivňuje kondici cílového orgánu a v době, kdy jej axony dosáhnou, může být sval už výrazně atrofický. Synaptická zakončení svalových plotének přetrvávají ve své původní podobě zhruba rok po denervaci. Postupně dochází k progresivní fibrózní přestavbě, svalová vlákna nejsou kolagenem nahrazena, ale spíše obalena. Makroskopická velikost svalu tedy neodpovídá atrofii vlastní svalové hmoty. Ke ztrátě vlastních svalových vláken dochází později (Fu a Gordon, 1995). Dále s prolongovanou dobou denervace vznikají změny v distální části poraněného nervu, jako je fragmentace endoneurálních trubic a snížení počtu Swannových buněk (Giannini a Dyck, 1990).

Typ poranění a okolnosti operace také ovlivňují funkční výsledek, například úspěšnost reinervace po rekonstrukci s použitím štěpu je nižší než po přímé sutuře. Pokud je pacient starší, šance na reinervaci je nižší (Sunderland, 1991).

Dalším faktorem, který může vysvětlit horší výsledek po poranění a rekonstrukci je směr axonálního růstu v případě porušení endoneuria, který je v zásadě náhodný (Pan a spol., 2003). Prorůstající axony mohou skončit v okolní, perineurální podpůrné tkáni. Jiné axony, které úspěšně překonají místo poranění, zase s oblibou končí v neadekvátní endoneurální trubici. Tento jev je označován jako misrouting (Roth, 1983). V případě sutury smíšeného nervu může dojít k situaci, že motorické axony skončí v kůži a senzorycké axony inervují sval. Rekonstrukce motorického nervu inervujícího rozdílné svalové skupiny může vést k situaci,

že motorické axony s antagonistickými centrálními vzorci mohou skončit ve stejném nervu, což vede k nefunkčním kontrakcím. Při použití štěpu může dojít k tomuto jevu dvakrát (De Ruiter a spol., 2008).

### 3.1.3 Klinický obraz

Podle klinického obrazu můžeme porodní poranění brachiálního plexu rozdělit na:



Obrázek 2. Poranění horního typu

1. Horní typ – jedná se o nejčastějším poranění s četností 73–86 % (Gilbert a spol., 1999), při němž jsou postiženy kořeny C5–C6 resp. C5–C7. Prezentuje se oslabením hybnosti v rameni a flexe v lokti způsobené parézou m. supraspinatus, m. infraspinatus, m. deltoideus a m. biceps brachii. Horní končetina je pak v typickém postavení, extendovaná v lokti s pronací, vnitřně rotovaná a addukovaná. Při současném postižení kořene C7 může být oslaben nervus radialis, chybí navíc extenze lokte, zápěstí a prstů, výsledná poloha v lokti je semiflexe (tzv. ruka číšníka).

2. Kompletní typ – kompletní poškození plexu se vyskytuje v 15–20 % (Gilbert a spol., 1999), zahrnuje kořeny C5–Th1. Obrazem je chabá plegie ve všech segmentech. Horní končetina plandá, bez svalového tonu a bez jakékoliv hybnosti ruky. Může být přítomný Hornerův syndrom s obrazem miózy, ptózy a enoftalmu vznikající na podkladě ztráty sympatické inervace, suspektní pro avulzi jednoho nebo obou kořenů C8–Th1. Enoftalmus je většinou obtížně zjistitelný, ptóza časem díky hyperfunkci m. levator palpebrae superioris odezní, mióza je však trvalá.

3. Dolní typ – obrna Déjerine-Klumpke s postižením kořenů C8 a Th1. Klinicky se toto poranění projevuje poruchou hybnosti ruky a předloktí v inervační zóně n. ulnaris a n. medianus – flexe zápěstí a prstů (Klumpke, 1885). Incidence izolovaného postižení dolní části plexu je sporná. Gilbert a spol. (1999) v dosud nejrozsáhlejších publikovaném souboru tvrdí, že vůbec neexistuje. Al-Qattan a spol. (1995) také v souboru 235 dětí žádné izolované poranění C8 a Th1 nepopisuje a rozbořem literatury s celkem 3 508 pacienty udává výskyt 0,6 %. Někteří autoři ji považují za výsledný stav částečně upravené kompletní léze (Jahne a spol., 1991, Al-Qattan a spol. 1995, Vekris a spol., 2008). Izolovaná léze C8–Th1 je extrémně vzácná, bývá spojená s porodem koncem pánevním při současné hyperabdukci paží novorozence, ale jsou dokumentovány i případy při poloze záhlavím (Buchanan a spol., 2013).

Narakas (1987) klasifikoval porodní poranění brachiálního plexu podle klinického nálezu v 2–3 týdnech po porodu do 4 skupin s přihlédnutím k další prognóze vývoje. Ve skupině I, která zahrnuje klasickou Erbovu parézu (C5–6), dochází k spontánní úpravě u 90 % dětí. Skupina II obsahuje pacienty s postižením C5–C7, paréza je rozšířena o postižení extenzorů, což činí horší prognózu. Ve skupině III jsou pacienti s kompletním poraněním v rozsahu kořenů C5–Th1. Skupina IV jsou kompletní léze s Hornerovým syndromem.

## **3.2 Vyšetřovací metody**

### **3.2.1 Klinické vyšetření**

Základem správné indikace a konečného rozhodnutí o operaci je pečlivé klinické vyšetření hybnosti horní končetiny. Vyšetření hybnosti u dětí s porodní parézou brachiálního plexu představuje velkou výzvu a je pro nespolupráci dítěte velmi obtížné. Možnost přesně dokumentovat motorické funkce a jejich případnou změnu v čase má významný dopad pro stanovení přirozeného vývoje (natural history) porodního poranění pažní pleteně, pro zvolení správného terapeutického postupu a následné hodnocení výsledků léčby. Bylo popsáno množství vyšetřovacích schémat ke stanovení a hodnocení motorické funkce u dětí s OBPP.









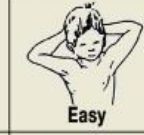






Britský Medical Research Council (MRC) skórovací systém je klasický svalový test používaný u pacientů s poraněním nervů. Hodnotí svalovou sílu na šestibodové škále



(0 – žádná kontrakce, 5 – normální síla). Ačkoliv je MRC systém spolehlivý pro dospělé pacienty (Wadsworth a spol., 1987), není vhodný pro malé děti. Vyšetření lze provést za předpokladu, že pacient rozumí danému úkolu a na výzvu předvede plný rozsah pohybu maximální volní silou proti odporu. Malé děti nejsou schopny pochopit slovní povel a neumí spolupracovat takovým způsobem, který by ukázali plnou sílu. Přesto řada autorů tuto stupnici při hodnocení používá (Estrella a Mella, 2013).

Gilbert a Tassin (1987) navrhli modifikovanou verzi MRC stupnice s ohledem na výše zmíněné nedostatky. Tato škála má však nevýhodu v rozlišení postupného zlepšování hybnosti, protože má pouze jeden stupeň hodnotící částečnou hybnost.

Mallet (1971) popsal vyšetřovací schéma hodnotící aktivní hybnost v ramenním kloubu založené na schopnosti provést postiženou končetinou funkční pohyby. Přestože je řadou autorů často používáno k zhodnocení pooperačního výsledku, je toto schéma založeno na spolupracujícím, starším dítěti a není možné srovnání s předoperačním stavem (Curtis a spol. 2002). Navíc je popisován výskyt diskrepance mezi abdukci v rameni a zevní rotací cca 20 % neoperovaných dětí (Al-Qattan a El- Sayed 2014).

	II	III	IV
Active abduction	 <30°	 30°–90°	 >90°
External rotation	 0°	 <20°	 >20°
Hand behind head	 Impossible	 Difficult	 Easy
Hand to back	 Impossible	 S1	 Normal
Hand to mouth	 "Trumpeter"	 Mild accompanying abduction	

Tabulka 1. Mallet skóre (1971)

Michelow a spol. navrhli Toronto Test Score ke kvantitativnímu určení hybnosti horní končetiny a predikci obnovy funkce. Hodnotí se 5 aktivních pohybů: flexe v lokti, extenze v lokti a pohyb zápěstí, prstů a palce. Každý z těchto pohybů je hodnocen na stupnici 0 pro žádný pohyb až 2 pro normální pohyb (Michelow a spol., 1994) .

V poslední době se do popředí dostává schéma AMS (Active Movement Scale of The Hospital for Sick Children), osmibodová škála s 15 položkami, hodnotící aktivní pohyb ve všech kloubech horní končetiny (Clarke a spol. 1995). Tyto pohyby byly vybrány z následujících důvodů: poskytují obraz funkce všech pěti kořenů, stupně se dají relativně snadno posoudit sledováním dítěte vleže na zádech, na boku a vsedě, a to i u novorozence. Schéma nevyžaduje spolupráci dítěte při verbálních úkolech, využívá gravitaci jako standard pro celou stupnici, diferencuje i malé změny v pohybu, neboť má pro částečný pohyb celkem pět stupňů (stupně 2–6). Škála od nuly do čtyř reflektuje pohyb s vyloučením gravitace, hodnoty pět až sedm proti gravitaci, přičemž sedm znamená plný pohyb. Celkové skóre je 105. Výhodou je možnost použít dané schéma i v dalším období s jednoduchým sledováním dynamiky zlepšování motoriky. Nicméně i tato metoda má své omezení, není schopná ohodnotit skutečnou svalovou sílu proti odporu. Spolehlivost Mallet klasifikace, Toronto Test Score a Active Movement Scale dosáhla na skupině 80 dětí s porodní parézou při hodnocení kappa statistickou metodou výborných výsledků (Bae a spol. 2003).

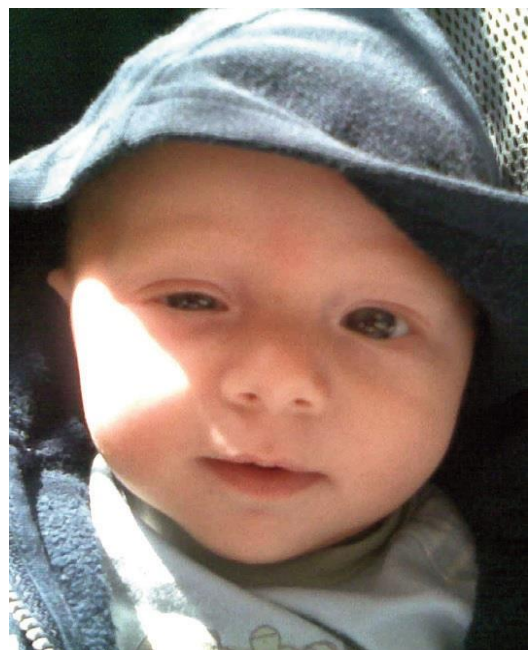
<b>Testované pohyby</b>	
rameno – flexe	
rameno – abdukce/addukce	
rameno – vnitřní/vnější rotace	
loket – flexe/extenze	
předloktí – supinace/pronace	
zápěstí – flexe/extenze	
prsty – flexe/extenze	
palec – flexe/extenze	
<b>Skóre s vyloučením gravitace</b>	
bez kontrakce	0
kontrakce bez pohybu	1
pohyb do $\leq 0,5$ rozsahu	2
pohyb $> 0,5$ rozsahu	3
plný rozsah pohybu	4
<b>Skóre proti gravitaci</b>	
pohyb do $\leq 0,5$ rozsahu	5
pohyb $> 0,5$ rozsahu	6
plný pohyb	7

**Tabulka 2.** AMS skóre (Curtis 2002)

Pro pooperační funkční vyšetření zaměřené na hybnost ramene je možné použít Gilbertovo skóre (Haerle a Gilbert, 2004), pro hybnost lokte Gilbert-Raimondiho skóre (Gilbert a Raimondi, 1996) a pro pohyby ruky Raimondiho skóre (Raimondi, 1993).

Vyšetření zachování kožní citlivosti je u kojence a stejně tak u staršího dítěte velmi obtížné. Ve většině případů je tak bolestivý podnět způsobený píchnutím jediným sensorickým vjemem, který lze vyšetřit. O snížené kožní citlivosti svědčí také známky sebemutilizace. Také Tinelův příznak, který ukazuje úroveň léze a přítomnost axonální regenerace, je u malého dítěte obtížně zjištělný.

Poruchy sympatického systému zahrnují vazomotorické poruchy patrné zejména bezprostředně po porodu, anhidrózu, cyanózu, otok měkkých tkání nejvíce patrný na ruce a radiologické změny karpu a prstů (Gilbert a spol., 2006). Podobně odhalení miózy, ptózy a enoftalmu poukazuje na zapojení dolního trunku. Claude-Bernard- Hornerův syndrom indikátorem pro avulzi kořene C8 a Th1 (Al-Qattan a spol., 2000). V serii 48 případů kompletní parézy došlo ke špatná spontánní reinervaci jak u skupiny s nebo bez přítomného Hornerova příznaku. Statistickou analýzou ukazuje, že přidružený Hornerův syndrom je signifikantní prognostický faktor pro nedostačující spontánní reinervaci horní končetiny (Al-Qattan a spol., 2000).



Obrázek 2. Hornerův syndrom vpravo

### 3.2.2 Elektrofyziologické vyšetření

#### **Elektrofyziologické techniky používané v předoperačním vyšetření**

Laboratorní elektrofyziologické vyšetření sestává z vyšetření jehlové EMG, kdy je hodnocena spontánní aktivita, typ a amplituda interferenčního vzorce. Výběr vyšetřovaných svalů se provádí tak, aby nebylo pochybnosti o identitě svalu a získaná informace přispěla k rozlišení kořenového nebo periferně nervového původu motorické denervace. Elektrofyziologicky je určen rozsah funkčního poškození jednotlivých nervů odstupujících z plexus brachialis a současně jsou tak vyšetřeny potenciální zdroje pro neurotizační operaci a posouzena jejich míra denervace (Zvěřina a Stejskal 1979, Stejskal a Haninec 1997). Analýza

potenciálu motorické jednotky je používána při hodnocení záznamu ze svalů, ve kterých probíhá reinervace. Je hodnocena polyfázie akčního potenciálu motorické jednotky, která je dokladem desynchronizace kontrakce jednotlivých svalových vláken, a její amplituda, která je obrazem počtu kontrahujících se svalových vláken dané motorické jednotky, a je hodnocen také počet motorických jednotek při úsilí (Keller 1998, Ehler a Ambler, 2002).

Role jehlové elektromyografie (nEMG) v posouzení stupně porodního poranění brachiálního plexu je v porovnání s traumatickým poraněním plexu dospělých značně nejistá, a to zejména pro diskrepance mezi klinickým a elektrofyziologickým nálezem (Van Gert Dijk a spol., 2001). Klinická paralýza je normálně doprovázena absencí akčních potenciálů motorické jednotky a přítomností abnormálních grafoelementů v podobě fibrilací či pozitivních hrotů (denervační aktivita). Naproti tomu nEMG klinicky paralyzovaného m. biceps brachii u dítěte 3 měsíce po porodním poranění běžně neukazuje žádnou denervační aktivitu a bohatou interferenci MUP, tedy nález, který by u dospělého pacienta svědčil pro takový stav reinervace svalu schopný lokomotorického efektu. Van Gert Dijk a spol. (2012) ve studii 53 dětí vyšetřených ve 3 měsících věku poukazují na tuto zvláštnost jehlové elektromyografie; klinicky flexe v lokti zcela chyběla u 45,5 %, ale MUP v m. biceps brachii byly přítomné v 97,7 %. Poměr tzv. inaktivních MUP ve svalu v čase roste.

Reinervace po těžkém (neurotmetickém) poranění začíná několika motorickým jednotkami, které nejsou schopny vyvinout detekovatelnou svalovou sílu. Jsou pro to dvě možná vysvětlení. Za prvé je to tzv. misrouting, kdy regenerující axony končí v jiném svalu (Gramseberg a spol., 2000). V případě porodního poranění brachiálního plexu poměrně častý jev. Dva svaly pak mají tendenci se současně kontrahovat, např.: biceps a deltový sval, biceps a triceps. Tento fenomen je značován jak kokontrakce. Projevuje se v pozdějším věku a zhoršuje výslednou hybnost horní končetiny (Anguelova a spol., 2013). Za druhé je to vliv na centrální motorické vzorce: OBPP způsobuje deafferentaci, stejně jako svalovou slabost, a pro normální vývoj centrálních částí nervové soustavy jsou nezbytné aferentní vstupy v specifickém časovém okně. Tzv. misrouting tak komplikuje motorické učení. Pravděpodobně neexistuje pro CNS možnost, jak identifikovat, který motoneuron způsobuje špatný pohyb (Van Dijk a spol., 2008, Anguelova a spol., 2013). V těžkých případech je pak jediná možnost, jak daný pohyb provést, náhradní pohybový vzorec, jako například skapulární místo glenohumerální rotace.

Predikce pozdější paralýzy na základě absence MUP při elektromyografickém vyšetření vykazuje vyšší senzitivitu v 1 měsíci, kdy pro m. biceps brachii dosahuje až 95 % pro pozdější paralýzu flexe v lokti (Van Gert Dijk a spol., 2012). Významný je nález denervace v m. triceps brachii, který odráží rozsah celkového poranění a predikuje pozdější špatnou reinervaci v bicepsu. Nález v tricepsu může hrát jakousi roli markeru pro těžké postižení elementů horního plexu (Van Gert Dijk a spol., 2012). Další zvláštností je důkaz polyneurální inervace nejen na úrovni svalového vlákna, ale také na úrovni ventrálních míšních kořenů. Vredeveld a spol. (2000) na sérii 162 dětí s OBPP prokázali přítomnost tzv. extra inervace m. biceps brachii a m. deltoid skrz kořen C7, nalezené u dětí s peroperačně a CT perimyelografií verifikovaných avulzí kořenů C5 a C6. U referenční skupiny dospělých pacientů s traumatickým poraněním brachiálního plexu identického rozsahu se takové spojky nevyskytly, lze se proto domnívat, že se během života ztrácí, ale zůstávají přítomné, pokud je dominantní inervace poškozená. Pozdější remodelace centrálních motorických drah je zodpovědná za částečné spontánní zlepšení hybnosti (Vredeveld a spol., 2000).



Obrázek 3. EMG vyšetření

Na rozdíl od dospělých pacientů můžeme u porodního poranění nalézt denervační fenomény již po několika dnech. Příčinou může být krátká vzdálenost mezi místem poškození nervu a svalem společně s tenčím průměrem axonů u dětí. Tento jev byl pozorován také na zvířecích modelech. Výskyt denervačních fenoménů v době kolem 3 měsíce klesá (Gonik a spol., 1998, Van Gert Dijk a spol., 2012).

Dalším vyšetřením je sumační nervový akční potenciál n. medianus a n. ulnaris při stimulaci I.–V. prstu obou rukou. Výbavnost SNAP prokazuje zachování fungujícího kontaktu periferního nervu s mateřským neuronem ve spinálním gangliu, prokazuje tedy žádnou nebo jen částečnou lézi postganglionární, nebo lézi preganglionární (Zvěřina a Škorpil, 1968). Princip provedení vyšetření je podobný jako u dospělých pacientů, přesto je nutné jej přiměřeně modifikovat s ohledem na věk a velikost dítěte. Snížení amplitudy SNAP koreluje s kvantem ztracených senzitivních axonů ve fasciklech a prodloužení latence SNAP stupeň druhotně, demyelinizací vzniklého zpomalení vedení v periferním úseku n. medianus a n.

ulnaris (Stejskal a Haninec, 1997). Rychlosti vedení nervem u novorozenců jsou přibližně poloviční oproti dospělým pacientům (Gonik a spol., 1998, Malessy, 2009)

### **Elektrofyzilogické techniky používané v intraoperační monitoraci periferních nervů**

Typický intraoperační nálezn u dětí s OBPP je neurom v kontinuitě postihující horní trunks. Pokud je významná část endoneurálních trubic ušetřena, lézi může označit jako převážně axonotmetickou s potenciálem k axonální regeneraci. Naopak převládá-li poškození endoneurálních trubic, označujeme neurom v kontinuitě jako převážně neurotmetický, je nezbytné jej během operace resekovat a rekonstruovat pomocí štěpů (Pondaag a spol., 2008). Diferenciace mezi axonotmezi a neurotmezi stojí na peroperačním posouzení chirurga s přihlédnutím k rozsahu fibrózy, zvětšení průměru nervu v příčném řezu, ztrátě fascikulární struktury a kontrakci svalu po přímé elektrické stimulaci daného nervu. Takové rozhodnutí může být velmi obtížné a závisí na zkušenostech operátora. Objektivní parametry pro peroperační posouzení stupně poškození jsou u dospělých pacientů získány intraoperačním měřením nervového akčního potenciálu vybaveného elektrickým stimulem (NAP) a vyšetřením EMG odpovědi po přímé stimulaci nervu (CMAP).

Měření nervového akčního potenciálu vybaveného elektrickým stimulem se v intraoperačním vyšetřování periferních nervů používá více než 50 let. NAP je obrazem průchodu vzruchu nervovými vlákny na sledovaném úseku nervu (Škorpil 1965, Kline a spol. 1969, Stejskal a spol., 1979). Vlastnosti registrovaného NAP (tvar, latence a amplituda) jsou odvozené od obecných vlastností šíření akčního potenciálu nervovým vláknem. Při intraoperační monitoraci je vzhledem k těsné blízkosti registrační elektrody a nervových vláken prostorový úhel mezi registrační elektrodou a místem procházejícího vzruchu relativně velký. Proto je NAP zdravého nervu dobře diferencovatelný, má charakteristický trifázický tvar a relativně vysokou amplitudu. Při intraoperačním vyšetření je nutné odlišit NAP od mechanogramu, což lze ověřit změnou vzdálenosti stimulační a registrační odpovědi (Tomáš, 2005). K vyšetření NAP se používá monopolární nebo bipolární elektroda (Tiel a spol. 1996). Měření NAP na krátkých úsecích nervu znesnadňuje stimulační artefakt, jeho částečnou eliminaci lze dosáhnout snížením šířky podnětu. Minimální vzdálenost mezi stimulační a registrační elektrodou, kdy lze ještě NAP diferencovat od stimulačního artefaktu, je 30–40 mm. Registrační elektrody mají tvar háčku, které klademe na vyšetřovaný nervový úsek (Zvěřina a Stejskal, 1979, Kline a spol., 1996). Kline a spol. (1969) prokázali v experimentu na jedincích *Macaca mulatta*, že ke klinické úpravě poškozeného nervu je nutných alespoň

3 000 - 4 000 středně myelinizovaných vláken. Zároveň prokázali, že výbavnost NAP bez zprůměrnění koreluje s přítomností 4 000–5 000 středně myelinizovaných vláken. Výbavnost NAP u dospělého pacienta koreluje s přítomností takového počtu nervových vláken v poškozeném nervu, který je dostatečný pro klinicky úspěšnou reinervaci (Kline a spol. 1969, Tiel a spol., 1996, Kline, 2000).

Další metodou běžně používanou při intraoperačním vyšetření traumatického poranění brachiálního plexu u dospělých je EMG odpověď po přímé stimulaci nervu. Odpovědi CMAP jsou polyfázické s variabilními latencemi i amplitudami jednotlivých složek. Ke stimulaci se používají submaximální podněty, protože hrozí rozšíření podnětu na okolní blízké nervové struktury. K registraci jsou používány koncentrické jehlové elektrody zavedené transkutánně nebo přímo z operační rány do svalu inervovaného vyšetřovaným nervem (Tomáš, 2005). Teoreticky by měla mít výbavnost NAP větší informační hodnotu při časné chirurgické revizi poranění než CMAP, protože odráží počet axonů přerůstajících místo poškození, zatím co amplitudy CMAP jsou obrazem počtu axonů, které již dosáhly cílového svalu, to trvá několik týdnů až měsíců (Kline a spol., 1969).

V porovnání s dospělými je málo známo o intraoperačním neurofyziologickém vyšetření u dětí s OBPP, a tato technika není široce rozšířená. V serii 10 pacientů Konig a spol. (2006) u 5 pacientů neurom v kontinuitě neresekovali pro výbavnost NAP, výsledek následné reinervace nebyl dobrý a nedošlo k uspokojivé obnově hybnosti. Predikce na základě výbavnosti NAP je v případě porodního poranění považována za příliš optimistickou. Pondaag et. al (2008) zaznamenal výbavnost NAP v trajektorii C6 – trunkus superior u 51 z 58 případů histologicky potvrzené neurotmetické léze a dokonce v 5 ze 13 případů avulze kořene C6. Intraoperační nevýbavnost NAP a CMAP v predikci závažného stupně poranění (neurotmese a kořenová avulze) vykazuje vysokou specifitu 0,9, ale výrazně nízkou senzitivitu 0,3, a k praktickému využití se proto nehodí. Clarke a spol. (1996) hodnotili svalovou kontrakci po přímé elektrické stimulaci, dokumentují že samotná neurolyza u neuromu v kontinuitě s výbavným vedením má horší výsledky než vytnutí takového neuromu a následná rekonstrukce štěpy.

Existují rozmanité faktory, které mohou ovlivnit NAP a CMAP a jsou v porovnání s traumatickým poranění brachiálního plexu unikátní. Patří mezi ně rozdíl v mechanismu poranění, regenerační potenciál u dětské populace, nadhodnocení EMG náboru z důvodu menších svalových vláken, perzistující fetální inervace, plasticita na míšní úrovni, tzv.

misrouting, při němž axony dosáhnou nepatřičný sval (Van Dijk, 2001). Výsledky experimentů na zvířecích modelech ukazují větší tendenci k misroutingu u mladších než u dospělých zvířat (Brown a Hardman, 1987). Dalším faktorem, který může výsledek intraoperačního měření ovlivnit, je tzv. axonální zkřížená excitace (axonal cross-excitation). Lze se domnívat, že stimulace kořene C5 může vést ke zkřížené excitaci nervových vláken z C6 v neuromu. Výsledná amplituda NAP měřená v trunkus superior za neuromem (nebo výsledný CMAP v m. biceps brachii) pak v takovém případě neodráží skutečný počet neuronů v trajektorii kořen C5 – trunkus superior, ale je zesílená o excitované axony jdoucí trajektorií kořen C6 – trunkus superior (Seltzer a Devor 1979, Pondaag a spol. 2008). Technický faktor ovlivňující hodnocení amplitudy NAP, tedy stimulační artefakt, není při posuzování stupně poškození nervu důležitý, hlavním kritériem je vlastní výbavnost či nevýbavnost odpovědi (Kline, 2000). Lze tedy konstatovat, že elektrické vedení přes neurom na rozdíl od poranění nervů dospělých pacientů neznamena dobrou spontánní reinervaci u pacientů s OBPP.

### **3.2.2 Zobrazovací metody**

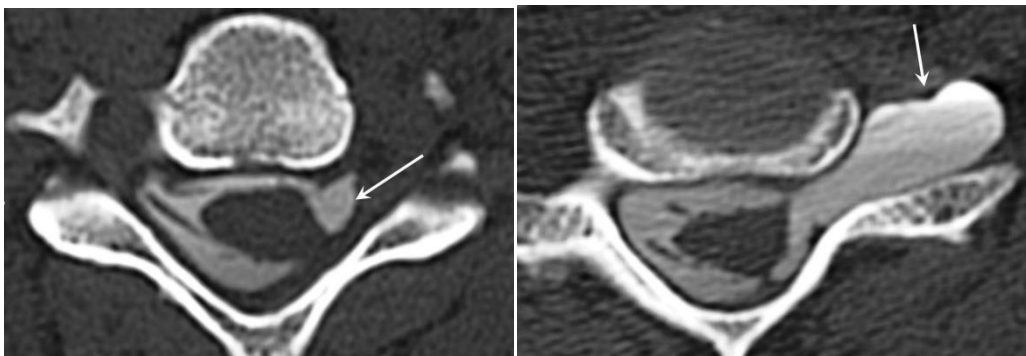
Neurapraxie a axonotmeze běžně prokazují kompletní spontánní úpravu. Neurotmeze a avulze kořenů obvykle končí permanentní funkční poruchou. Během prvních měsíců života tak může dojít k diagnostickému problému, protože iniciální klinická manifestace těchto pacientů může být identická, i přes různé stupně a rozsah poranění nervových kořenů. Žádný klinický ani elektrofyziologický test nedokáže v raném věku spolehlivě rozlišit mezi různými typy a stupni poranění nervů. S tím souvisí i terapeutický problém, protože spontánní úprava v případě neurapraxie a axonotmeze je evidentní až po určitém čase, zatímco účinnost rekonstrukčních operací s prodlužující se dobou od poranění klesá (Malessy a spol. 2009).

V případě avulze spinálních kořenů jsou fila radicularia vytržena z míchy, dochází k trvalé diskontinuitě mezi centrálním a periferním nervovým systémem. Chirurgická explorace brachiálního plexu je rutinně prováděna supraklavikulárně v regio coli lateralis a proximální expozice spinálních kořenů je limitována hranicí kostěného neuroforamina. K intradurální inspekci kontinuity odstupu kořene z míchy je tedy nutný další přístup, dorzální, spojený s hemilaminektomií. Ačkoliv je to technicky možné, CT perimyelografie představuje mnohem méně invazivní metodu, jak odlišit avulze kořenů od neurotmeze a představuje v současné



době standard v zobrazovacích metodách. Detekce avulze kořenů neovlivňuje pouze rozhodnutí pro operaci, ale ovlivňuje také operační strategii.

Častěji jsou vytrženy dolní kořeny, u kterých je vazivové spojení mezi kořenem a foramen méně vyvinuté (Sunderland, 1974). Cenná je také informace o přítomnosti pseudocysty šířící se extraforaminálním směrem, během chirurgické explorace pak může dojít k její perforaci s následným únikem likvoru a rizikem likvorové komunikace (Mallesy a Pondaag, 2009).



Obrázek 4. CT PMG šipka ukazuje avulzi míšního kořene a pseudocystu

CT PMG je obecně bezpečná procedura (Sandow a Donnal, 2005). Nedostatečné množství kontrastní látky intrathekálně, nejčastěji z důvodů epidurální nebo subdurální instilace, je uváděno v 8 % (Steens a spol., 2011). Při analýze snímků je nesmírně důležité správné odečtení úrovně a identifikace odstupujícího kořene. Ventrální i dorzální kořen po odstupu z míchy sestupují šikmo dolů směrem k foramen, které je obvykle uloženo o jedno obratlové tělo níže. K přesnému posouzení celého průběhu kořene je užitečné použít multiplanárních rekonstrukcí (Yamazaki a spol. 2007). Limitace většiny studií, hodnotících přesnost zobrazovacích metod používaných k průkazu avulze míšních kořenů, je absence referenčního standardu, se kterým výsledky vyšetření srovnávat. Intraoperační semotosenzorické evokované potenciály proximální části kořene hodnotí stav dorzálního kořene, a i při její výbavnosti nelze vyloučit vytržení ramus ventralis, tedy část kořene obsahující motorické axony. Někteří autoři (Chow a spol., 2000, Tse a spol. 2014) hodnotí senzitivitu, specificitu a diagnostickou přesnost vyšetření na základě srovnání s nálezem při extradurální inspekci

kořenů. Jediný referenční standard, odrážející skutečný stav, je však posouzení kontinuity odstupujících kořenů při jejich intradurálním odhalení dorzálním přístupem s hemilaminektomií. Tento přístup je spojený se značnou morbiditou a k diagnostickým účelům se rutinně neprovádí. Takovou studii provedl Carvalho a spol. (1997) u dospělých pacientů s traumatickým poraněním plexu. Celková diagnostická přesnost pro CT-PMG dosáhla 85 %, pro MRI 52 %, nejčastější příčiny chyb v hodnocení byly parciální avulze, intradurální fibróza a durální cystické léze.

Na druhé straně nelze opominout, že CT PMG je vyšetření invazivní s rizikem krvácení či hemorhagie, vyžadující celkovou anestezii a vystavující dítě radiální zátěži. Tyto faktory stojí za hledáním alternativní metody. Magnetická rezonance se zjevně nabízí, aby v budoucnu přebrala tuto roli. Vyšetření je možné provést místo v celkové anestezii v lehké sedaci, vyhneme se lumbální punkci i účinkům radiace. Většina publikovaných MR studií je bohužel zaměřená pouze na detekci pseudocysty (Bowen a spol., 2004, Van Ouwerkerk a spol., 2005), nicméně ta není jedinou známkou avulze kořene. Kořen může vakem cysty probíhat bez přerušení, nebo jsou kořeny z míchy vytržené a současně pseudocysta není přítomná. Steens a spol. (2014) takovou situaci dokumentuje na 590 kořenech C5–Th1 u 118 dětí vyšetřených CT PMG v 0,5 % resp. 30 %. V poslední době je díky technickému vývoji MR přístrojů (3T) i designu sekvencí (MR myelografie) dosaženo vyššího rozlišení obrazu dosaženo srovnatelných výsledků jako u CT PMG (Tse a spol. 2014).

## RTG

V časném postnatálním období je u pacientů s porodním poraněním brachiálního plexu indikováno radiologické vyšetření. Standardní RTG snímky mohou odhalit přidruženou zlomeninu krčního obratle, prvního žebra, nejčastěji však klíční nebo pažní kosti. Je třeba mít na paměti, že neurologický deficit způsobený OBPP může maskovat koincidentální distální poranění způsobené například zlomeninou diafýzy humeru s poraněním radiálního nervu (Bodner a spol., 2001). RTG hrudníku musí být nedílnou součástí předoperačních vyšetření, zejména k vyloučení hemiparézy bránice jako následku poranění n. phrenicus.

### 3.3. Operační léčba

#### 3.3.1 Historické poznámky

Na začátku minulého století byla zavedena operační léčba tohoto poranění. První rekonstrukční operace byla provedena Kennedym (1903), rekonstrukce horní části brachiálního plexu u 2měsíčního dítěte, s uspokojivým výsledkem. První větší soubor byl publikován v roce 1917, po analýze výsledků autoři doporučují operační řešení v 1 měsíci u kompletní parézy a ve 3 měsících u částečné parézy bez funkčního zlepšení (Wyeth a Sharpe, 1917). Vzhledem k vysoké morbiditě a mortalitě a nejistým výsledkům byla tato problematika v podstatě zapomenuta.

Za svůj největší rozvoj vděčí rekonstrukční techniky periferních nervů válečné chirurgii. Rozvinuly se metody k vyloučení stehu pod napětím – mobilizace či transpozice nervů. Bylo upuštěno od technik využívajících ke zkrácení defektu mezi konci poraněných nervů flexe kloubů s následným pozvolným protahováním po zhojení sutury či zkracování kostí. Provedené studie ukázaly masivní jizvení v oblasti sutury po natahování končetiny (Highet a Sanders, 1943, Zvěřina a Stejskal, 1979). Publikace Seddona a Sunderlanda (1972) se staly zásadními monografiemi, v nichž byla shrnuta základní pravidla chirurgie nervů, která platí dodnes: sutura bez napětí, resekcce zjizveného konce pahýlů do zdravé tkáně a odstranění koncového epineuria jako zdroje proliferující vazivové tkáně.

V naší literatuře se již od 60. let věnovali problematice periferních nervů Zvěřina, Škorpil, Kredba a Stejskal. Zvěřina se Škorpilem (1968) publikovali diferenciální diagnostiku úrovně léze při poranění pažní pleteně, později pak diagnostiku těchto poranění s využitím EMG a SSEP (Zvěřina a Škorpil, 1969, Zvěřina a Kredba, 1977). Zvěřina a Stejskal (1979) publikovali monografické zpracování problematiky mikrochirurgického ošetření poranění periferních nervů bez napětí a s použitím nervových štěpů.

V posledních 30 letech došlo rozvojem mikrochirurgie k znovuobjevení problematiky porodního poranění brachiálního plexu a dosažení povzbudivých výsledků. V roce 1984 Gilbert a Tassin (1984) publikovali úspěšné výsledky na rozsáhlém souboru pacientů a od té doby se datuje „moderní éra“ rekonstrukce porodního poranění brachiálního plexu. Haninec uvedl jako první v České republice tyto techniky do klinické praxe a v současné době jako jediný na území bývalého Československa komplexně řeší toto složité poranění (Haninec a spol., 2011).

### 3.3.2 Indikace a načasování operace

Indikační kritéria a načasování rekonstrukční operace jsou stále kontroverzní. Je důležité identifikovat všechny pacienty s poraněním charakteru neurotmeze a avulze kořene, aby se zabránilo negativnímu efektu prolongované denervace. V tomto ohledu je důležité zdůraznit faktor nepřímo ovlivňující výsledek operace a to je doba mezi porodním poraněním a vyšetřením na specializovaném pracovišti. Pro dobrý výsledek a správnou indikaci je nutné velmi časně nasměrování dítěte ke specializovanému vyšetření. V optimálním případě je takto dítě vyšetřeno ve věku 1 měsíce (Haninec at al., 2011). Důležitá je také informovanost o možnosti operačního řešení této problematiky mezi porodníky, neonatologu i rodiči dítěte.

Postižení hybnosti ruky v případě kompletní parézy plexu je absolutní indikací k operaci, přednostně ve věku 2–3 měsíců (Gilbert a spol., 2006, Maillet a Romana, 2009, Malessy a Pondaag, 2011). V 90. letech došlo ke změně strategie, která byla do té doby stejná jako u dospělých pacientů, tj. obnova deltoideu a bicepsu. V současné době je hlavní důraz kladen na obnovu inervace ruky. Obnova proximální hybnosti totiž sama o sobě nevede k zapojení končetiny do bimanuální činnosti. Bimanuální provádění běžných denních aktivit vyžaduje silnou flexi prstů v kombinaci s dobrou flexí v lokti. Obnovení této schopnosti je proto zásadní, v opačném případě je maximální využití postižené končetiny jako háku. Senzitivita ruky zabraňuje rozvoji končetinového neglect syndromu a sebemutilace (Krumlinde-Sundholm a spol., 2007).

V případě postižení horní části plexu se názory různí. Je prokázána horší funkce končetiny u dětí, u kterých došlo ke zlepšení funkce bicepsu mezi 4. a 6. měsícem oproti skupině se zlepšením do 3 měsíců. Navíc jsou výsledky rekonstrukční operace provedené v 6 měsících věku signifikantně lepší než konzervativně léčené případy, u kterých došlo ke zlepšení v 5. měsíci. Toto však neplatí pro děti se zlepšením ve 4. měsíci (Waters, 1999). Jiní autoři nespátřují rozdíl ve funkčním výsledku u pacientů operovaných časně a koncem 1. roku (Chen a spol., 2008), přičemž u druhé skupiny může být horší funkce ruky ve 4. roce věku (Chuang a spol., 2005). Někteří autoři uznávají jako hlavní kritérium obnovu funkce bicepsu do věku 3. měsíců, s níž lze očekávat zlepšení funkce celé končetiny do 1 až 2 let. Pokud k obnově nedojde, je nález indikován k revizi (Gilbert a spol., 2006, Maillet a Romana, 2009, Vekris a spol., 2008). Tento postup ale může vést k vysokému procentu falešně pozitivních nálezů (Bain a spol., 2009). Jako nejpříjemnější se zdá být doporučení Malessyho a Pondaaga (2011), kteří indikují k časně revizi dětí bez spontánního zlepšení zevní rotace v ramenním

kloubu a flexe v lokti ve 4 měsících věku. Pokud je úprava hybnosti v těchto segmentech sporná, doporučují chirurgickou revizi. U částečného zlepšení se doporučuje operace v 6 měsících (Mencl a Haninec, 2015). V tomto věku je již možné vyšetřit tzv. cookie test – schopnost dítěte vložit si sladkost z ruky do úst. Sleduje se tedy flexe v lokti proti gravitaci, přičemž kompenzační flexe krku nesmí přesáhnout 45 stupňů a končetina musí být připažena (Marcus a Clarke, 2003).

V roce 2009 byla publikovaná práce Bain a spol. popisující skupinu pacientů, u kterých není prozatím jasné, zda a kdy operovat. Tuto skupinu nazvali tzv. šedou zónou. Pacienty (Narakas I – III) rozdělili do pěti skupin (k hodnocení hybnosti byla použita škála AMS, maximální počet bodů 105): A – bez operace, šedou zónu děti opustily během 1 až 3 měsíců po úplné obnově hybnosti (AMS 105), B – bez operace, ale s opožděným zlepšením mezi 3. až 5. měsícem, přičemž v pozdějším věku děti vykazovaly mírné pohybové patologie, např. scapula alata, poruchu zevní rotace paže apod. C – bez operace, ale s inkompletní úpravou, šedou zónu opustily po 6. měsíci, AMS < 105 s výraznější poruchou hybnosti. Operace nebyla provedena pro nesouhlas rodičů. D – časná operace, pacienti opustili šedou zónu před 6. měsícem pro minimální nebo žádnou úpravu hybnosti při výrazně sníženém AMS. E – pozdní operace – mezi 7. a 12. měsícem – pro pozdní rozhodnutí rodičů. Nejrozporuplnější je skupina B, děti, které sice splnily v rámci AMS škály hodnocení větší než 5 v hlavních svalech, a nebyly proto operovány, ale do budoucna se u nich dá očekávat horší hybnost končetiny jako celku. K rozhodnutí o indikaci operace autoři hodnotí hybnost v alespoň dvou z těchto pohybů: flexe lokte, abdukce ramene, zevní rotace paže a extenze zápěstí. Pokud má např. pacient hybnost  $\leq 1$  ve  $\geq 2$  z těchto pohybů v 1 měsíci věku, je operace diskutována, ale pacient zůstává nadále v šedé zóně, poněvadž i zde může dojít k plné úpravě (Bain a spol., 2009).

Malessy a spol. (2011) z Leidenské univerzity vyvinuli jednoduché vyšetřovací schéma založené na třech položkách: extenze v lokti, flexe v lokti a EMG nálezy MUP v m. biceps brachii, tento postup označovaný jako „Leiden three item test“ dokázal v 1 měsíci předpovědět, zdali se jedná o lehké nebo těžké poranění vhodné k operaci. Tento algoritmus byl potvrzen dvěma kontrolními skupinami pacientů se správnou predikcí těžkého poranění v 88,3 % resp. 84,6 % (senzitivita 0,97–1, specificita 0,66–0,76). Pro děti vyšetřené v 1 týdnu a 3 měsících života už ale tento algoritmus nefungoval. Obecně lze říci, že čím je správně indikovaná operace provedena dříve, tím má lepší výsledky (El-Gammal, 2010).

### 3.3.3.1 Rekonstrukce kořenů

Incidence poranění se pohybuje od 0,15 do 3 případů na 1000 živě narozených dětí. Lehce převažuje mužské pohlaví a pravá strana (Foad a spol., 2008, Evans-Jones a spol., 2003). K revizi kořenů se používá supraklavikulární přístup, který je ve většině případů dostatečný k adekvátní expozici proximálních částí plexu, všech kořenů a trunků. V některých případech kompletní léze je vhodný kombinovaný supra/infra klavikulární přístup. V této situaci někteří autoři doporučují provedení osteotomie klíční kosti k lepšímu ozřejmení dolního části brachiálního plexu (Brennwald a Nigst, 1985, Gilbert a spol., 2006, Thatte a spol., 2011). Tento přístup je nicméně spojený se zvýšenou morbiditou a rizikem vzniku pakloubu či zhojení klíční kosti v nesprávném postavení (malunion). Rigidní fixace tato rizika sice snižuje, ale osteosyntetický materiál je nutné vzhledem k riziku poruchy růstu v druhé době odstranit. Zároveň je důležité zmínit, že osteotomie klíční kosti, ať už s nebo bez rigidní fixace, nese riziko iatrogenního poranění a zbytečného jizvení v těsné blízkosti jemné mikrochirurgické nervové rekonstrukce (Lo a spol., 2010, Werner a spol., 2011).

Dosažení dostatečné expozice retroklavikulární části brachiálního plexu lze dosáhnout odtažením a elevací klíční kosti hákem nebo po subperiostální disekci fixací tkanicí či umbilikální páskou. U dětí lze takto elevovat klavikulu o přibližně 1,5–2 cm a rozšířit tak v případě potřeby prostor k nervové rekonstrukci až za distální hranici poranění (Tse a spol., 2014).

Následně je provedena vizuální explorace a zhodnocení tíže poranění brachiálního plexu v kombinaci se znalostí případné avulze míšních kořenů na základě předoperačního CT PMG vyšetření. Hodnotí se rozsah a lokalizace neuromu a elektrofyzilogickými metodami zejména přímou elektrickou stimulací funkční stav nervových elementů. Přestože je statisticky nejčastějším nálezem je ruptura horních kořenů či kompletní poškození plexu s rupturou horních a avulzí dolních kořenů, existuje značné množství kombinací poranění na různých úrovních plexu až po avulzi všech kořenů.

Peroperačním posouzením poškození kořene lze rozlišit avulzi kořene, neurotmetickou či axonotmetickou lézi. Spinální kořen je považován za vytržený z míchy pokud: 1. Fila radikularia jsou patrná v intraforaminální nebo juxtaforaminální úrovni. 2. Je patrný ganglion zadního míšního kořene. 3. Je absence neuromu. 4. Po přímé elektrické stimulaci nervu nedochází k žádné svalové kontrakci. 5. Nález koresponduje s předoperačním CT PMG

vyšetřením. Jako parciální avulze je hodnocen spinální nerv normálního vzhledu včetně foraminální úrovně bez patrného neuromu, přímou stimulací dosáhneme pouze minimální svalové kontrakce a na předoperačním CT PMG je nalezena asymetrie v porovnání se zdravou stranou nebo pseudocysta.

Jako neurotmetickou lézi hodnotíme nerv s následujícími rysy: 1. Normální vzhled v foraminální oblasti. 2. Jasně rozšíření nervu v příčném řezu v juxtaforaminální oblasti, bohatá epineurální fibróza, ztráta fascikulární kontinuity, tuhá konzistence, prodloužení nervů provázené distální dislokací trunku. Na přímou elektrickou stimulaci proximálně od místa poškození reagují příslušné svaly kontrakcí, která je však bez lokomotorického efektu.

Nerv postižený axonotmezí nejeví podstatné rozšíření v příčném řezu, je přítomná pouze mírná epineurální fibróza, nacházíme intaktní fascikulární strukturu, po přímé elektrické stimulaci dochází ke kontrakci svalů způsobující pohyb končetiny (Gilbert a spol., 2006, Malessy a Pondaag, 2010).

V současné době je k dispozici množství mikrochirurgických technik zahrnujících neurolyzu, resekci neuromu a rekonstrukci pomocí štěpů nebo neurotizaci. V roce 2004 byla publikována multinárodní studie, při níž bylo osloveno 126 chirurgů zabývajících se problematikou brachiálního plexu. V otázce, jakou operační metodu použít při hypotetickém příkladu porodní parézy s neuromem v kontinuitě postihující horní trunкус, nedošlo ke shodě a nebylo možné vyvodit jasný závěr nebo doporučený postup (Belzberg a spol., 2004). To jenom potvrzuje, jak složitá a nejednoznačná je léčba poranění pažní pleteně.

Všeobecně uznávaným konsensem je dnes resekce neuromu s mikrochirurgickou rekonstrukcí pomocí štěpů. Prostá neurolyza v případě neuromu v kontinuitě, který přímou elektrickou stimulací vykazuje známky vedení (vyšetřovaný NAP alespoň 50 % maxima a distální svalová odpověď CMAP), sice vede k částečnému zlepšení u pacientů s horním typem, ale není tomu tak u kompletního poranění (Clarke a spol., 1996). Resekce neuromu v kontinuitě může vést k přechodnému zhoršení hybnosti v horizontu 1–2 měsíců, pravděpodobně díky neurapraxii po chirurgické manipulaci. V 3–6 měsících po resekci se ale tento stav upraví na původní předoperační úroveň. Protože je příliš brzy na to domnívat se, že za tímto zlepšením je již reinervace skrze štěpy, přisuzuje se to funkci neporaněných kořenů, a proto se lze domnívat, že podíl neuromu v kontinuitě je na předoperační hybnosti zanedbatelný (Capek a spol., 1998). Resekce neuromu a následná mikrochirurgická rekonstrukce pomocí štěpů bez ohledu na vedení přes neurom (NAP a CMAP) vede ve

výsledku k lepšímu funkčnímu efektu než prostá neurolyza. Zjevně je tato nově vzniklá reinervace postižené horní končetiny v dlouhodobém horizontu mnohem robustnější (Lin a spol. 2009). Neurolyzu lze zvažovat pouze v případě jednoznačné distální svalové odpovědi s lokomotorickým efektem při stimulaci proximálně od neuromu (Haninec a spol., 2011).

Po resekci neuromu je stejně jako v případě traumatických poranění brachiálního plexu dospělých doporučováno našít štěpy z postiženého kořene přímo na jednotlivé nervy, nikoliv na distální komponenty plexu, což zabraňuje disperzi vláken a vzniku kokontrakcí (Gilbert a spol., 2006, El-Gammal a spol., 2010). Toto ale někteří autoři popírají s odůvodněním mnohem lepší regenerační schopnosti u dětí (Malessy a Pondaag, 2010, Romana a spol., 2014).

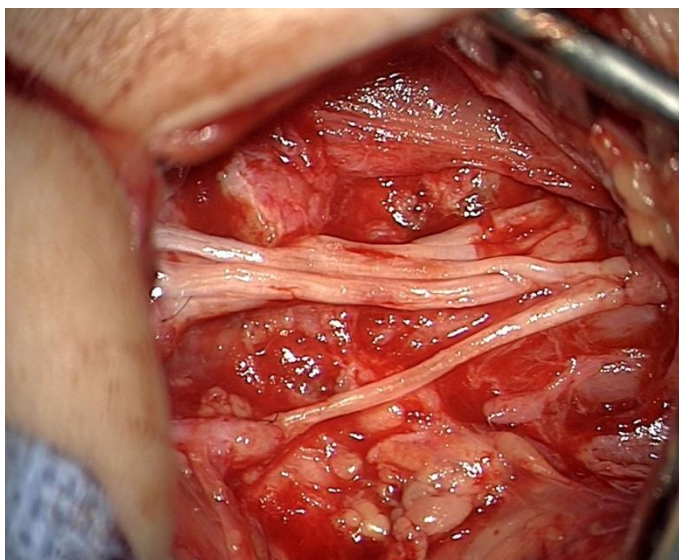
Jako zdroje nervových štěpů je nejčastěji používán n. suralis z jednoho nebo obou lýtek odebíraný standardní technikou z několika krátkých transverzálních řezů na zevní straně bérce. Dlouhý řez po celé délce nervu se z kosmetických důvodů nepoužívá, u dětí je tento postup zvláště nebezpečný pro retrakci okolních tkání jizvou během růstu. Byl popsán i odběr endoskopickou technikou (Capek a spol., 1996). Při použití štěpu by měly být pro co nejlepší výsledek splněny dvě podmínky: Štěpy by měly pokrýt celý průřez postiženého nervu a musí být zajištěna jeho výživa (Millesi, 1984). Výživa štěpu je nejdříve zajištěna difúzí z okolí, později s odstupem asi jednoho týdne z prorůstajících cév z lůžka a z přilehlých konců nervu (Daniel a Terzis, 1977). Při nedostatečné účinnosti difúze dochází před vrůstem neokapilár k centrální nekróze a fibróze. Difúze do centrálních oblastí štěpu může být zajištěna jen u tenkých nervů, doporučuje se proto používat více štěpů o menším průřezu (Lundborg, 1988). S rostoucím počtem štěpů sice klesá difúzní kapacita, bylo však prokázáno, že použití dvou anastomóz s vyloučením napětí v případě štěpu poskytuje lepší výsledky než jedna anastomóza bez štěpu pod napětím (Samii, 1975, Millesi, 1984). Nedostatek výživy u silnějších štěpů lze obejít použitím volného vaskularizovaného štěpu n. ulnaris zásobeného z a. collateralis ulnaris superior (Pondaag a Malessy, 2006, Lin a spol., 2011).

Jiná situace nastává v případě avulze kořene, tj. u preganglionárních lézí. Zde anatomicky odpovídající rekonstrukce není možná a k reinervaci se provádí neurotizace z dostupných viabilních kořenů (Vekris a spol., 2008, Tse a spol., 2015). V některých případech lze takovýmto způsobem rekonstruovat celý brachialní plexus z jednoho nebo dvou kořenů (Haninec a spol., 2011, Mencl a Haninec, 2015). Při mikrochirurgické rekonstrukci kořenů je v případě horního typu porodního poranění brachiálního plexu prioritou obnova



funkce bicepsu (flexe v lokti a supinace předloktí), následovaná funkční obnovou abdukce a zevní rotace v ramenním kloubu. V případě kompletní parézy brachiálního plexu má hlavní prioritu obnova funkce ruky, flexe lokte je tak na druhém místě, na třetím místě je snaha o obnovu abdukce a zevní rotace ramene, teprve na čtvrtém místě je extenze lokte, zápěstí a prstů (Gibert a spol., 2006, El-Gammal a spol. 2010, Malessy a Pondaag, 2011, Tse a spol., 2015). Tomu odpovídají i distální

cíle rekonstrukce, kdy lze pro obnovení flexe v lokti použít kořen C6, přední divize trunkus superior a laterální fasciál. Distální cíle pro obnovu funkce ramene jsou kořen C5, zadní divize trunkus superior a dorzální fasciál. Složitější situace je u kompletní léze, tedy nejtěžšího stupně poranění s minimem dostupných zdrojů, kdy stojí v popředí snaha o reinervaci ruky s nejdelší reinervační dráhou.



Obrázek 5. Rekonstrukce celého brachiálního plexu z kořene C5 a C6

Optimální postup při nervové rekonstrukci k obnově funkce ruky není dosud stanoven vzhledem k omezenému počtu pacientů v publikovaných sériích a různorodosti použitých operačních technik (Pondaag a Malessy, 2006, Gilbert a spol., 2006). K současnému datu neproběhl systematický výzkum, který by definoval ideální distální cíl k obnově funkce ruky. Pro výběr cílového nervu či kořenu musí být vzaty v úvahu následující skutečnosti:

1. Přesná funkce distálního cíle. N. medianus inervuje extrinsické flexory prstů a flexi s opozicí palce, tyto pohyby mají mimořádnou důležitost při činnostech, kdy nedominantní ruka asistuje dominantní při bimanuální činnosti (Krumlinde-Sundholm a spol., 2007). Ulnární nerv poskytující inervaci intrinsickým svalům ruky je zodpovědný za jemné pohyby prstů ruky důležitější pro dominantní končetinu. Zároveň vzhledem k dlouhé reinervační dráze, tedy dlouhému časovému intervalu nutnému k reinervaci daných svalů je pravděpodobnější vznik svalové atrofie v intrinsických svalech inervovaných n. ulnaris než ve více proximálně lokalizovaných extrinsických svalech ruky inervovaných n. medianus. Tento argument lze použít i při výběru rekonstrukce kořene C8, který predominantně kontroluje extrinsické svaly,

oproti kořenu Th1, který ovládá hlavně svaly intrinsické (Gardner a Bunge, 2005). Pondaag a Malessy tento fakt dokládají na příkladu pacienta, u kterého byl použit ulnární nerv jako štěp a tento pacient i přesto dosáhl užitečné reinervace ruky (Pondaag a Malessy, 2006).

2. Otázka proximálního nebo distálního cíle. Je vhodnější zvolit proximálně uložený cíl jako je kořen, nebo distální cíl na úrovni koncového nervu? Výhody proximálního cíle jsou zjevné, vzdálenost mezi proximální a distální částí je kratší, lze využít kratšího štěpu a můžeme tedy očekávat příznivý efekt na výslednou reinervaci, neboť bylo prokázáno, že délka štěpu je nepřímo úměrná úspěšnosti operace (Sunderland, 1991). Na druhou stranu při použití kořene C8 část axonů proroste do zadní divize dolního trunku a k úchopové funkci ruky nebudou přispívat. Čím distálnější cíl je zvolen, tím je tento rozptyl nižší. Z toho však vyplývá, že délka štěpu může tuto výhodu potencionálně anulovat. Jako nejvýhodnější se zdá být využít proximálního cíle v situaci, kdy délka defektu vzniklého resekci neuromu dovolí přímou koaptaci kořene C8 na proximální pahýl (Pondaag a Malessy, 2006). Tento postup je technicky méně náročný než při využití štěpů a nese s sebou výhodu, že prorůstající axony musí překonat pouze jedno rozhraní (nerv vs. nerv). Vyšší úspěšnost přímé sutury oproti dvěma při použití štěpu byla prokázána (Sunderland, 1991).

3. Dostupnost viabilních proximálních kořenů a intra/ extraplexálních dárců

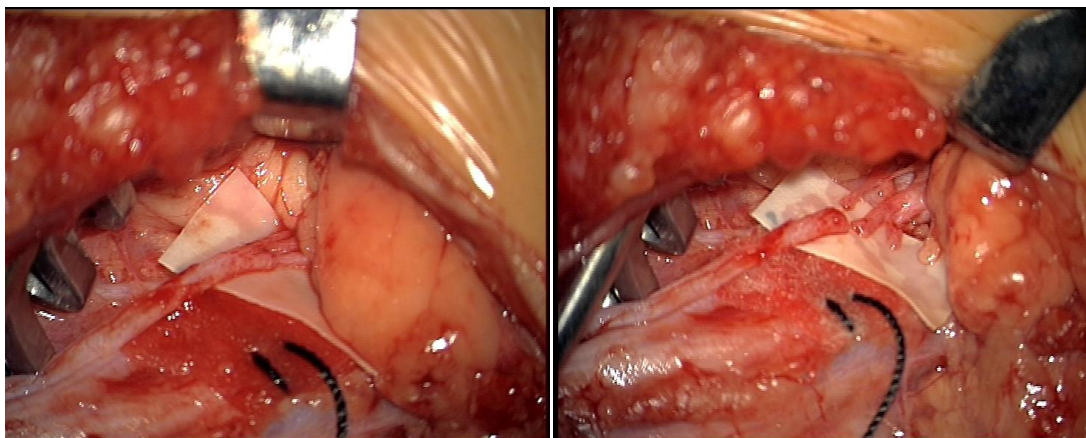
### 3.3.3.2 Neurotizace

Neurotizace, někdy označovaná jako zkřížená anastomóza, je technika využívající jako zdroj axonů intaktní funkčně méně významný nerv k reinervaci nefunkčního nervu v případech, kdy je původní zdroj nedostupný (avulze kořenů). Dárce může být částí brachiálního plexu na postižené straně (intraplexální) nebo může pocházet mimo brachiální plexus (extraplexální). Vzhledem k tomu, že volní pohyb cílovým svalem vyžaduje přeučení na centrální úrovni, dostupné dárcovské nervy jsou voleny tak, aby se co nejvíce blížily funkci cílového svalu (Haninec a spol., 2007, Tse a spol., 2015). Intaktní nerv je přerušen a jeho proximální pahýl našit na distální pahýl rekonstruovaného nervu. Princip této techniky není nový, první popis pochází již z roku 1903 od Harrise a Lova, kteří napojili přerušeny

kořen C5 na zdravý kořen C6. První rekonstrukci s využitím extraplexálního dárce popsal Tuttle (1913), který provedl reinervaci horního kmene pomocí plexus cervicalis. Tato technika, hojně používaná u traumatického poranění brachiálního plexu dospělých, se v posledních letech dostala do popředí zájmu i při chirurgické léčbě porodního poranění brachiálního plexu. Uplatnění nachází nejen v případech avulze kořenů, ale zejména pak v situacích, kdy je dítě operováno opožděně z důvodu pozdní prezentace nebo neúspěchu předchozí rekonstrukce na úrovni kořenů (El-Gammal, 2014). Využívá se totiž její velké výhody, a to možnosti provedení co nejdálší sutury v terénu poraněním nepostižených tkání. Taková sutura zajišťuje výrazné zkrácení vzdálenosti mezi dárce a cílovou motorickou ploténkou a tím značné zkrácení regenerační doby, což je umocněno nepotřebností štěpu (Siqueira a spol., 2012). Ztráta funkce určitého svalu z obětování jeho nervu musí být vždy převážena očekávaným výsledkem. Úspěšnost při využití nervů z vlastního PB je obecně větší, jednak mají vyšší počet motorických axonů, jednak je jednodušší proces reorganizace mozkové kůry, kdy si jsou původní a opravený sval více podobné než v případě nervů inervujících svaly mimo končetinu (Haninec a spol., 2007). V určitých případech je možné zachovat funkce dárce a zároveň zajistit dostatečnou reinervaci příjemce (neurotizace pomocí fasciklu z n. ulnaris nebo n. medianus, neurotizace s využitím větve n. radialis pro m. triceps). Pro zdárný výsledek by měl dárce obsahovat co největší množství motorických myelinizovaných vláken, jejichž počet by se měl co nejvíce blížit příjemcově straně – n. musculocutaneus obsahuje průměrně 6 000 motorických a sensorických vláken, n. Suprascapularis 3 500, n. Axillaris 6 500, n. Medianus 18 000, n. ulnaris 16 000 a n. radialis asi 19 000 vláken. Motorický nerv však obsahuje zhruba 50 % sensorických axonů pro proprioreceptory (Bertelli a Ghizoni, 2006). Např. při neurotizaci n. musculocutaneus obsahujícího asi 60 % motorických vláken by bylo teoreticky potřeba dva nn. XI nebo pět mezižeberních nervů. To však nedopovídá klinickým výsledkům, kdy je potřeba polovičního počtu dárce. Za kompenzaci je zodpovědné dělení axonů, které asi o 30 % zesiluje reinervační potenciál. Stále však platí, že intraplexální rekonstrukce jednoho kořene z druhého je výhodnější pro násobně vyšší dostupné množství axonů (Songcharoen, 2008). Distální nervové transfery umožňují rychlejší reinervaci svalu v porovnání s proximální neurotizací, protože rekonstrukce nervu může být provedena mnohem blíže nervosvalové junkci (Tung a Mackinnon, 2010). Jejich použití si získává při rekonstrukčních operacích porodního poranění brachiálního plexu stále větší oblibu. Zejména pak v kombinaci s resekci neuromu a následné rekonstrukci s použitím štěpu, ale i samostatně při pozdní prezentaci (Hale a spol., 2010).

## Nervi pectorales

V případech preganglionárního typu poranění horních kořenů zásobujících brachiální plexus je u dětí s porodním poraněním plexu neurotizace n. musculocutaneus pomocí rekonstrukce horního trunku nemožná. V takových případech lze provést neurotizaci pomocí pectorálních nervů. Tuto techniku poprvé zmiňuje Foerster (1934) při rekonstrukcích poraněných nervů během 1. světové války. Rozlišujeme dvě větve, laterální (C5–C7) odstupující z laterálního svazku (fasciklu) těsně pod klíční kostí a mediální (C8–Th1) formující se z mediálního svazku (Kline a spol., 2001). Obě větve mohou pojení vytvořit smyčku – ansa pectoralis. Z pohledu využitelnosti nervu při rekonstrukční operaci je důležitější mediální větev, která vzniká cestou rami ventralis C8–Th1 a bývá při poranění horního typu zachována.



Obrázek 6. Neurotizace n.musculocutaneus pomocí 3 nn.pectorales

Tento nerv inervuje m. pectoralis minor a vysílá 2–3 větve do m. pectoralis major, v některých případech dosáhnou drobné větévky až přední porce deltového svalu a akromioklavikulární sklobení (Bergman a spol.,1988). Detailní porozumění anatomické situaci je důležité zejména v situaci, kdy je přítomná tzv. pectorální pleteň a rozlišení mezi distálním a proximálním koncem může být obtížné. V takovém případě nabývá na významu peroperační využití přímé elektrické stimulace (McGillicuddy, 2007). N. pectoralis medialis může také odstupovat z ventrální divize trunkus inferior, nebo může dojít ke spojení terminální části s n. intercostobrachialis (Loukas a spol., 2007). K dosažení požadované délky nervu k neurotizaci n. musculocutaneus je třeba provést odběr co nejbližší svalu, vyžaduje-li to situace, lze nerv mobilizovat protěním ansa pectoralis (Wellons a spol., 2009). Blaauw a Sloof (2003) popisují 25 případů OBPP, u kterých byly použity MPN, výsledek byl excelentní u 17 a uspokojivý u 5 dětí.

## Nervi intercostales

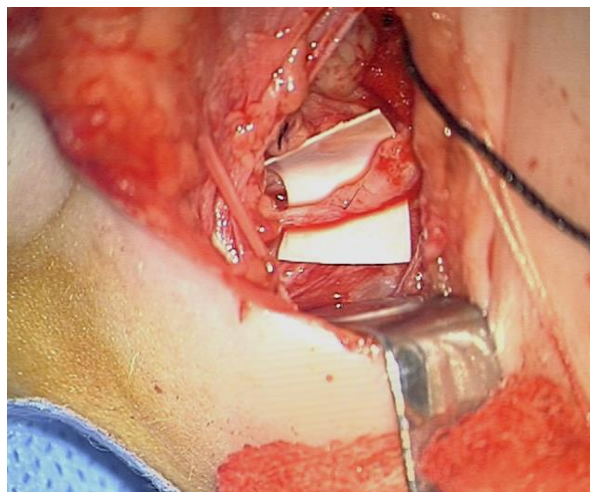
Neurotizace pomocí interkostálních nervů je často používanou technikou v případě poranění brachiálního plexu spojeného s avulzí kořenů u dospělých pacientů, použití u porodního poranění je stále předmětem mnoha studií. Koncept metody je připisován Yeomanem a Seddonem (1963), kteří použili II.–IV. interkostální nerv k neurotizaci n. Musculocutaneus. Následně byla technika převzata množstvím dalších operatérů s rozdílnou úspěšností, původně použitý štěp mezi nervy byl nahrazen přímou koaptací (Friedman a spol., 1990).

Největší počet motorických axonů obsahují III.–IV. interkostální nerv s počtem asi 1 300 vláken, z nichž je jen 40 % motorických (Songcharoen, 2008). Současný konsensus je použití tří nervů vyjma asijské populace, kde je z důvodu menšího somatotypu a tím i nižší potřebě počtu axonů nutných k reinervaci menších svalů potřeba jen dvou nervů (Luo a spol., 2011). K neurotizaci jsou tedy používány III., IV., V. nerv, které jsou opatrně vypreparovány mezi vnitřním a vnějším mezižeberním svalem, pomocí elektrické stimulace je identifikována motorickou větev. Nejčastějším cílem je n. musculocutaneus, ale techniku lze úspěšně použít i pro další části brachiálního plexu. Zpočátku může být kontrakce svalů neurotizovaných interkostálními nervy iniciována hlubokým dýcháním. Svalové synkinézy při respiraci většinou rok po operaci mizí a pacient je schopen ovládat neurotizované svaly vlastní vůlí nezávisle na dýchání, objevit se ale mohou během kašle či kýchnutí (El-Gammal a spol., 2008, Songcharoen, 2008).

Tato metoda má ale také svá rizika. Po celkové anestezii jsou malé děti mnohem náchylnější k rozvoji plicní atelektázy v porovnání s dospělými (Serafini a spol., 1999), pravděpodobně z důvodu vyšší compliance hrudní stěny a snížením distenčních sil působících na plíce (Magnusson, 2003). Výsledná atelektáza je většinou bazálně uložená a byl zaznamenán vyšší výskyt na straně operované. Lze se domnívat, že se jedná o následek manipulace s nervy inervujícími mezižeberní svaly a zároveň vlivem omezení expanze plic během déletrvající operace. Tyto faktory pravděpodobně vedou k dalšímu snížení respirační kapacity a rozvoji atelektázy (El-Gammal a spol., 2008). Pozdější snížení inspiračního svalového tonu vlivem odběru nervů nebyly zaznamenány. Kontraindikací je paréza bránice při současném postižení n. phrenicus a stejnostranná fraktura žeber (Kawabata a spol., 2001).

## Neurotizace n. suprascapularis

N. suprascapularis odstupuje z trunkus superior brachiálního plexu a je zodpovědný za inervaci m. supraspinatus a m. infraspinatus. M. supraspinatus se podílí na abdukci ramene v prvních 30–45°, m. supraspinatus nejen že abdukci iniciuje, ale u některých pacientů vytvoří i bez funkčního deltového svalu dostatečně silný pohyb, který je dobře využitelný pro běžnou funkci končetiny ( Songcharoen, 2008). M. infraspinatus je primární sval zajišťující zevní rotaci v rameni, jak dokazují biomechanické a elektromyografické studie (Kuechle a spol., 2000, David a spol. 2000). Spolu s m. teres minor a m. subscapularis je zodpovědný za depresi hlavice humeru a je nezbytný pro její centraci do glenoideální jamky (Terzis a spol., 2006). Zevní rotace je důležitá nejen k abdukci ramene, ale i k využitelné flexi lokte (Millesi, 2007). Poranění brachiálního plexu zahrnující kořeny C5 a C6 nebo horní trunkus může mít za následek oslabenou nebo úplnou ztrátu zevní rotace. Inadekvátní obnova tohoto pohybu vede v dlouhodobém horizontu k vzniku kontraktur ve vnitřní rotaci, subluxaci či dislokaci ramenního kloubu a glenohumerální dysplazii. Ačkoliv jsou dostupné sekundární korekční operace, hlavní snahou je dosáhnout co možná nejlepší reinervace n. suprascapularis (Tse a spol., 2011). Pro dosažení účinné reinervace jsou obecně uznávané dvě techniky, rekonstrukce z proximální části zdravého kořene nebo neurotizace pomocí n. accesorius. Při rekonstrukci pomocí proximální části kořene, nejčastěji je používán zdravý pahýl C5 ev. C6 po vytnutí neuromu. Pondaag a spol. (2005) doporučují peroperační neuropatologické vyšetření hodnotící kvalitu kořene a potvrzující dokonalé vytnutí tkáně neuromu. K následné rekonstrukci pak použití kořene obsahující minimálně 50 % myelinizovaných vláken, fascikulární architektury normálního vzhledu a žádné nebo minimální známky epi či perineurální fibrózy. N. suprascapularis je následně spojen s pahýlem kořene pomocí štěpu z n. suralis. Neurotizace pomocí n. accesorius je vhodná v případě avulze kořene nebo v situaci, kdy je kořen sice dostupný, ale již využitý k reinervaci jiné části plexu s vyšší prioritou. Ramus externus nervi accessorii (n. XI) inervuje m. trapezius a m. sternocleidomastoideus. Při svém průběhu vydává 2–3 větve pro trapézový sval a poté běží



Obrázek 7. Neurotizace n. suprascapularis pomocí n. accesorius

jako konečná větev inervující dolní část svalu. Odebírá se tedy tato jeho zevní větev a m. trapezius tak není po odběru denervován. Odběr musí být proveden velmi laterálně pro získání dostatečně dlouhého úseku, bylo by velkou chybou prodlužovat krátký nerv štěpem (Haninec a spol., 2007). V případě anatomických anomálií však může vzácně k denervaci trapézového svalu dojít, což vede k mediální rotaci dolního úhlu lopatky s následným omezením abdukce (Malessy a spol., 2004). Při srovnání obou technik ve výsledné zevní rotaci Tse a spol. (2011) nenalezli rozdíl, po 3 letech od operace hodnotili skupinu 106 pacientů, u kterých byl n. suprascapularis rekonstruován z kořene C5 a 71 pacientů s neurotizací pomocí n. XI. Ke stejnému závěru docházejí i autoři dalších komparativních studií, a doporučují proto použití jednotlivé techniky v závislosti na specifických požadavcích individualní léze (Pondaag a spol., 2005, Terzis a Kostas, 2008). Jako adjuvantní terapii k zabránění rozvoje kontraktury ramenního kloubu ve vnitřní rotaci lze aplikovat botulotoxin typu A do m. pectoralis major, m. latissimus dorsi nebo m. teres major v době rekonstrukce nervu (Price a spol., 2007).

### **Neurotizace pomocí n. phrenicus**

N. phrenicus je tvořen z kořene C4, částečně C3 a C5. Vystupuje z plexus cervicalis při laterálním okraji m. scalenus anterior a sbíhá po jeho přední ploše skrze apertura thoracis superior kaudálně do mediastina, kde inervuje bránici, perikard a část pleury a peritonea. Neurotizační techniku využívající tento převážně motorický nerv poprvé popisují Gu a spol. v (1989). Obětování n. phrenicus u zdravých dospělých pacientů nepůsobí výraznější klinické obtíže a opakovaně byla prokázána bezpečnost jeho odběru. Běžně je proto využíván u traumatického poranění brachiálního plexu (Sungpet a spol., 2000, Zheng a spol., 2010). Po jeho přerušení se sice vyvine hemidiaphragmatická paralýza s asi 10% poklesem vitální kapacity, ta však nepůsobí respirační obtíže a funkce se normalizují za 6–24 měsíců (Luedemann a spol., 2002). Jiná situace je u dětských pacientů, kdy je poranění nervu během operace brachiálního plexu spojeno s následnou až 30% morbiditou zahrnující respirační selhání vyžadující intubaci, opakované těžké infekce dolních cest dýchacích, plicní atelektázy a pneumonie (La Scala a spol., 2003). Z tohoto důvodu není neurotizace využívající n. phrenicus u dětí doporučována. Vhodnější je použití ramus ventralis kořene C4 po odstupu větve pro n. phrenicus k rekonstrukci jiných kořenů (Haninec a spol., 2007, Haninec a spol., 2011) nebo drobné větévky, komunikanty, mezi n. phrenicus a kořenem C5 k neurotizaci n. suprascapularis (Al-Qattan a El-Sayed, 2014)

## **Kontralaterální kořen C7**

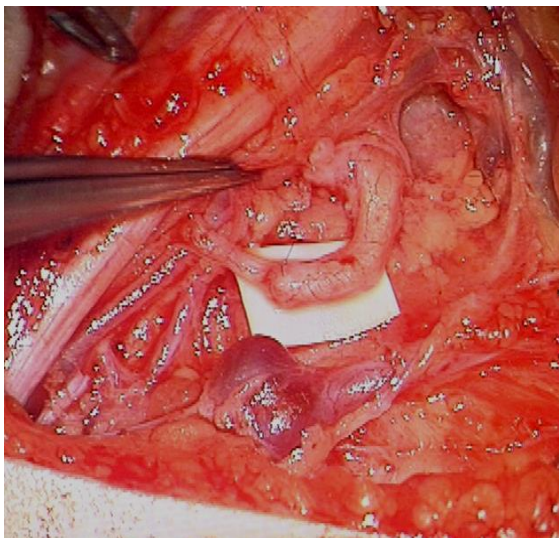
Metoda byla poprvé popsána Guem a spol. (1992) u dospělých pacientů s preganglionární lézí brachiálního plexu. Kořen byl pomocí volného či vaskularizovaného štěpu prodloužen na poraněnou stranu a využit k neurotizaci dolních elementů PB. Podstata techniky je založena na skutečnosti, že izolovaná přerušeni kotralaterálního kořene C7 nepůsobí na straně odběru funkční poruchu, svaly inervované z C7 mají další inervaci i z C6 a C8. Toto bylo potvrzeno dalšími elektromyografickými a klinickými studiemi, které dokázaly, že takové přerušeni nezpůsobí trvalé funkční poškození (Gu a Shen, 1994, Liu a spol. 1997) a je omezeno pouze na odchylky v citlivosti, které časem mizí (Sungpet a spol., 1999). Bonnel (1984) navíc prokázal že průměrný počet axonů v kořeni C7 je vyšší než v ostatních periferních nervech plexu, čehož lze využít při léčbě avulzí. Použití u porodního poranění brachiálního plexu je popsáno pouze v několika případech (Lin a spol., 2010, 2011). Technika je použitelná pro svoji komplikovanost pouze u kompletního poranění brachiálního plexu s nedostatkem dárců, v dnešní době zůstává spíše v pozadí, i když může mít dobré výsledky (Bertelli a spol., 2006). Využití potenciálu kořene C7 popisují Romana a spol. (2014), kdy v případě avulze C5–C6 použili ipsilaterální kořen C7 k rekonstrukci trunks superior. Obnovení hybnosti ramene a flexe lokte dosáhli přímou suturou bez použití štěpů, bez oslabení na straně dárce. Studie na zvířecích modelech prokazují, že svaly zásobené kořenem C7 mohou být kompenzačně inervovány vlákny dolního trunku (Song a spol., 2010).

## **Neurotizace s použitím větve n. radialis pro m. triceps brachii**

Lurje jako první použil nervové větve pro m. triceps k reinervaci n. axilaris a publikoval transfer dvou větví pro triceps na n. axilaris na jednom případě v roce 1948. Leechavengvongs a spol. (2003) a Witoonchart a spol. (2003) hodnotili transfer větve n. radialis pro caput longum tricepsu na n. axilaris v anatomické studii následované ve stejném roce klinickou částí. Demonstrovali, že tuto větev n. radialis lze spolehlivě použít pro nervový transfer jak pro dostačující délku nevyžadující ke spojení s n. axilaris použití štěpu, tak pro dostatečný fascikulární kalibr (množství motorických axonů). Dokumentují, že nerv pro caput longum tricepsu obsahuje 45 % fascikulárního objemu axilárního nervu (Leechavengvongs a spol., 2003, Witoonchart, 2003). Funkční oslabení tricepsu při použití jedné větve je zanedbatelné, zbývající dvě hlavy tricepsu výpadek kompenzují (Lurje, 1948). Caput longum je pro extenzi lokte v porovnání s caput mediale a laterale funkčně nejméně důležitá. Kromě



toho je činnost tricepsu synergistická s abdukcí ramene, a proto představuje vynikající volbu pro funkční rehabilitaci (Travill, 1962).



**Obrázek 8. Neurotizace n.axilaris pomocí motorické větve n. radialis pro m. triceps brachii**

Technika využívá bipolární elektrické stimulace, s jejíž pomocí jsou identifikovány větve n. radialis pro caput longum, mediale a laterale. Opatrnosti je zapotřebí k zachování dalšího průběhu nervu inervujícího extenzory zápěstí a prstů. Větev pro dlouhou hlavu tricepsu je protnuta distálně při větvení do svalu. N. axilaris je protnut co nejvíce proximálně a otočen distálním směrem. Oba nervy jsou pak sešity bez napětí. Uvedená technika dovoluje pohodlné přiblížení obou konců a suturu bez nutnosti použití štěpu.

Použití této techniky u dětí s porodním poraněním brachiálního plexu nelze indikovat u všech pacientů, jako ideální se zdá být využití v případě avulze kořene C5 a C6 s intaktním kořenem C7. Další uplatnění pak u pacientů s horním typem poranění (C5 a C6), kteří jsou většinou z důvodu pozdní prezentace operováni později. McRae a Borschel dále doporučují tuto techniku jako doplňující, bezpečnou a efektivní alternativu, pokud nedojde jeden rok po supraklavikulární rekonstrukční operaci k uspokojivému zlepšení hybnosti ( McRae a Borschel, 2012).

## Neurotizace pomocí fasciklu n. ulnaris

Technika neurotizace pomocí motorického fasciklu n. ulnaris pro m. flexor carpi ulnaris na motorickou větev n. musculocutaneus pro m. biceps byla poprvé Oberlinem a spol. (1994) u dospělých pacientů s traumatickou avulzí míšních kořenů C5 a C6. Tato metoda vzbudila ohlas pro své výborné výsledky, kdy u všech operovaných pacientů došlo k obnovení flexe v lokti za méně než 6 měsíců. Brzy po publikování původní práce ji začala v různých modifikacích využívat řada operatérů, kteří výbornými výsledky potvrdili její úspěšnost (Haninec a Kaiser, 2012). Navzdory rychlému rozšíření u dospělých pacientů je využití této techniky u dětí s porodním poraněním brachiálního plexu mnohem rezervovanější. Al-Qattan (2002) ji jako první popisuje u 2 dětí s parézou horního typu operovaných z důvodu pozdní prezentace v 16 a 18 měsících věku. Vzhledem k době od poranění nebyla provedena explorace brachiálního plexu, tím se výkon zkrátil a byl u obou dětí dobře tolerován. První známky motorické funkce bicepsu se objevily již po 12 resp. 14 týdnech a za 5 měsíců od operace byla flexe v lokti hodnocena jako normální u obou pacientů.

Technika je tedy využitelná při poranění horních kořenů, ale pouze při intaktním dárcovském nervu (zachovaná hybnost ruky). Fascikl pro m. flexor carpi ulnaris je po otevření epineuria nervu v horní třetině paže vyhledán elektrickou stimulací nízké intenzity (0,3–0,5 mA), přičemž se hodnotí kontrakce svalu. Elektrická stimulace vysoké intenzity může způsobit rozšíření podnětu a následné chybné použití fasciklu inervujícího intrinsické svaly, fasciklu predominantně senzorického nebo dokonce n. cutaneus antebrachii medialis (Siqueira a spol., 2012). Fascikl pro m. flexor carpi ulnaris, nejčastěji lokalizovaný ventrálně a mediálně, je následně přeťat a jeho proximální pahýl uvolněn v délce 2 cm. Pro využití přednosti distální sutury je poté tento pahýl našit na motorickou větev n. musculocutaneus pro m. biceps. Ta leží na spodní straně svalu a je ve většině případů společná pro krátkou a dlouhou hlavu svalu, i když se mohou vyskytnout anatomické variace (Noaman a spol. 2004). Epineurotomie je prováděna co nejbližší sval bicepsu, ve vzdálenosti 1 cm proximálně od místa vstupu do svalu. Část n. ulnaris použitá k tomuto distálnímu transferu obvykle nepřesahuje 20 % z celkového nervu (Ladak a spol., 2013). Pooperační morbidita na straně dárcovského nervu, jako snížení hybnosti ruky, oslabení flexe zápěstí nebo zhoršení citlivosti, nebyla prokázána. Opakované měření a porovnání RTG snímku obou rukou během dalšího vývoje dítěte se zaměřením na vzdálenost mezi bazí ossis hamatii a posledním článkem V. prstu neodhalilo rozdíl mezi operovanou a zdravou stranou a vyvrátilo obavy z možného vlivu této techniky na rostoucí ruku (Siqueira a spol., 2012).

## Neurotizace pomocí fasciklu n. medianus

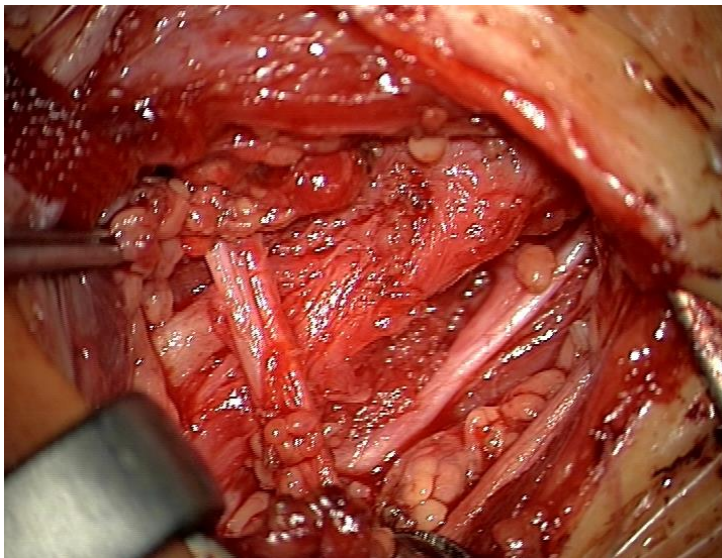
Další možností neurotizace pomocí pouze jednoho fasciklu nervu je využití n. medianus. Takovou metodu poprvé popsal u dospělých pacientů v roce Songcharoenem a spol. (2001), kdy byl k reinervaci m. biceps použit fascikl pro m. pronator teres a m. flexor carpi radialis. Jejich výsledky a výsledky dalších autorů jsou povzbudivé a srovnatelné s Oberlinovou metodou (Sungpet a spol., 2003, Hou a Xu, 2002). U porodní parézy brachiálního plexu tuto techniku poprvé použili Al-Qattan a Al-Kharfy (2014) u dětí s horním typem poranění operovaných vinou pozdní prezentace opožděně ve věku mezi 13–19 měsíci. K neurotizaci použil elektrostimulační nalezený fascikl pro m. flexor carpi radialis a výborného výsledku dosáhl u 9 z 10 dětí. Zajímavé je, že jediné selhání metody se vyskytlo u pacienta operovaného nejdéle od poranění, tedy 19 měsíců, a současně s poraněným kořenem C7. U dospělých pacientů jsou také prokazatelně horší výsledky u velmi pozdní neurotizace poranění C5–C7 v porovnání s časnou neurotizací u poranění v rozsahu C5–C6 (Oberlin a spol., 1994, Mackinnon a spol. 2005). Dlouhá denervační perioda má nepříznivý vliv na trofiku svalu, změny nervosvalové ploténky, zvýšenou fibrózu a snížení počtu Schwannových buněk distální části poraněného nervu (Jonsson a spol., 2013). Na rozdíl od traumatických lézí brachiálního plexu u dospělých pacientů je při porodním poranění avulze horních kořenů méně častá, a proto nemusí být biceps úplně denervovaný (několik regenerujících axonů prorostlo neuromem a dosáhlo svalu). Proto lze v kombinaci s krátkou reinervační dráhou tuto techniku použít i v takových případech, kdy by u dospělých bylo příliš pozdě. Technicky je operace navíc jednodušší, n. medianus je proti n. ulnaris blíže motorické větvi n. musculocutaneus pro m. biceps. (Al-Qattan a Al-Kharfy, 2014).

Kombinaci obou technik popisuje Estrella a Mella (2013), kdy k obnovení flexe v lokti u 10měsíčního chlapce s porodní parézou horního typu použili fasciklu n. ulnaris pro neurotizaci motorické větve pro m. biceps a fasciklu n. medianus k neurotizaci m. brachialis. Tímto dvojitým transferem dosáhla svalová síla flexe v lokti 14 měsíců po operaci stupně 4 dle MRC. Současně nedošlo díky přesné identifikaci použitých fascikulů k oslabení flexe zápěstí ani prstů.

### 3.3.3.3 ETS anastomóza

Stále není zcela jasné, jaká technika by měla být použita při chirurgické léčbě porodního poranění brachiálního plexu u dětí s vícečetnou avulzí kořenů. Při nedostatku zdrojů lze využít end-to-side anastomozu. Metoda byla poprvé popsána Kennedym (1901) při pokusu o reinervaci poraněného n. facialis z n. hypoglossus. Vzhledem k později publikovaným špatným výsledkům byla ETS anastomóza na téměř 90 let zapomenuta. Zájem o tuto techniku byl obnoven roku 1992, kdy Viterbo a spol. (1992) popsali dobré výsledky na zvířecích modelech.

Principem techniky je napojení distálního pahýlu poškozeného nervu ke straně intaktního dárcovského nervu. Na buněčné úrovni je metoda založena na schopnosti axonů ve považována za jednu z nejdůležitějších forem neuroplasticity (Geuna a spol., 2006). Tento jev se uplatňuje během vývoje nervového systému s tím, že pokud některý z axonů dosáhne svého



Obrázek 9. End-to-side neurotizace kořene C8 z kořene C7

cíle, jeho kolaterály zanikají (Bajrović a spol., 2002).

Na úspěšné end-to-side neurotizaci se dále se podílí i částečné poranění nervu, kdy se kromě přerušovaných axonů laterálně dělí i neporušené axony s cílem co nejrychlejšího nalezení endoneurálních trubic distálního pahýlu a reinervace cílového orgánu (Kubek a spol., 2004).

Nikdy však nelze očekávat úplný návrat motorické funkce (Schmidhammer a spol., 2009). Dochází ke vzniku synkinéz, které mohou v případě antagonisty návrat motorické funkce znemožnit nebo dokonce funkci daného segmentu končetiny zhoršit. Jednotlivý neuron totiž nemá kapacitu k ovlivňování dvou cílů s různým efektem. V případě rozdělení axonu jsou vždy zároveň ovládány dvě motorické jednotky (Pondaag a Gilbert, 2008). Na centrální úrovni je však situace nejasná a zatím není prokázáno, jakým způsobem dochází k propojení korových oblastí pro různé svaly (Papalia a spol., 2007).

Dlouho přetrvávaly rozpory, zda je nutné poranění nervových obalů k zahájení reinervace. Studie na experimentálních modelech dokazují, že vyšší úspěšnost perineurální suture je po vytvoření perineurálního okna (Geuna a spol., 2006, Schmidhammer a spol., 2009). Závěry těchto prací ukazují na fakt, že kolaterální dělení axonu je možné pouze v případě byť jen minimálního, subklinického poranění nervu při vytváření perineurálního okna či následné suture nervů, což vede k lokální produkci trofických faktorů stimulujících regeneraci. V tomto případě je však kolaterální dělení doprovázeno i částečnou end-to-end neurotizací některých poraněných vláken, která při přerušení vrůstají nově do recipientního nervu (Al-Qattan a spol., 2001, Haninec a spol., 2013). Bez přispění takto poraněných axonů by byl výsledek této techniky velmi slabý, neboť pouze 1,4 % motorických neuronů s intaktními axony je schopno vyslat kolaterální větve (Dubový a spol., 2011).

Perineurium je tvořené lamelárně uspořádanými perineurálními buňkami a tvoří silnou bariéru, která není schopna propouštět ani chemotaktické látky produkované Schwannovými buňkami, ani prorůstající axony (Haninec, 1988, Bertelli a spol., 1996). Samo perineurium, resp. tzv. „primitivní perineurium“ je jako derivát mezenchymu pokračováním dury mater a subperineurální prostor je funkční obdobou prostoru subdurálního. Odehrávají se zde klíčové děje včetně navádění axonu k cíli během embryonálního vývoje a také při reinervaci. Perineurium je tedy vývojově zřetelnou bariérou oddělující nervové vlákno od okolí (Haninec, 1988). Naopak epineurium je pouhým vazivovým obalem oddělujícím nerv jako celek od okolní tkáně, jeho hlavní funkcí je krytí, resp. ochrana nervu (Haninec a Dubový, 1992). Poškození dárcovského nervu se známkami denervace po vytvoření perineurálního okna nebylo prokázáno na zvířecích modelech ani v klinické praxi (Geuna a spol., 2006, Haninec a spol., 2013). Schopnost tvorby kolaterálního větvení je vyšší u senzoričkových axonů oproti axonům motorickým (Kanje a spol. 2000, Šámal a spol., 2006).

Věk jednoznačně ovlivňuje strukturální a funkční vlastnosti periferního nervového systému. Množství experimentálních a klinických studií dokazuje vyšší regenerační schopnost v mladším věku. Hess a spol. porovnali výsledky end-to-side anastomozy na zvířecích modelech starých 2 týdny, 3 měsíce a 1 rok. Histomorfologické vyšetření 12 týdnů po ETS neurotizací prokázalo u první skupiny signifikantně zvýšenou šíři nervových vláken, zvýšený poměr neurální a interfascikulární tkáně a vyšší neurální hustotu (počet neuronů/mm<sup>2</sup>) v porovnání se staršími skupinami (Hess a spol., 2006). Na zvýšené regenerativní odpovědi u mladých zvířat se zřejmě podílí více faktorů, jako rozdíl v rychlosti syntézy a transportu proteinů cytoskeletu a neurofilament (Hoffman a spol. 1983), v proliferaci Swannových

buněk a myelinizaci (Komiyama a Suzuki, 1992) a aktivaci makrofágů zodpovědných za odstranění neurální drtě (Tanaka a spol.,1992). Zároveň byla prokázána zvýšená sekrece neurotrofních faktorů i zvýšená vnímavost k těmto faktorům u mladých zvířat (Gutmann a Hanzlíková, 1966, Parhada spol. 1995, Verdú a spol.,2000). Kromě toho byla prokázána lepší plasticita míšních motoneuronů v porovnání se staršími (Korak a spol., 2004).

### **3.3.3.4 Závěr**

Mikrochirurgická rekonstrukce pomocí štěpů je základem operační léčby poranění (Hentz a Meyer, 1991, Malessy a Podang, 2011, Gilbert a spol., 2006). V případě avulze kořenů jsou distální cíle voleny s následující prioritou: rekonstrukce hybnosti ruky, flexe lokte a abdukce s zevní rotací ramene.

Distální neurotizační techniky získaly popularitu v léčbě traumatického poranění plexu dospělých (Belzberg a spol., 2004) a mnoho těchto technik je používáno i v léčbě OBPP. Ačkoliv recentní výsledky u dospělých pacientů značí lepší výsledky distálních transferů v porovnání s rekonstrukcí pomocí štěpů (Garg a spol., 2011), role v léčbě porodního poranění plexu musí být teprve definována. Nervové transfery jsou velmi atraktivní technikou, protože jejich provedení je technicky snazší a rychlejší v porovnání s revizí brachiálního plexu a rekonstrukcí pomocí štěpů (Siqueira a spol., 2012). Uvedených předností bylo úspěšně využito ve studii hodnotící výsledky rekonstrukce horního typu poranění s využitím pouze neurotizace koncových nervů (n. suprascapularis z ramus externus n. accesorius, n. axilaris větví n. radialis pro m. triceps a n. musculocutaneus fasciklem n. ulnaris nebo n. medianus) a bez explorační proximálních elementů poraněného brachiálního plexu (Ladak a spol., 2013).

V současné době není žádná studie, která by přímo porovnávala distální neurotizační techniky s rekonstrukcí pomocí štěpů jako primární strategii při léčbě porodního poranění plexu. Použití distálních transferů má svoji důležitou roli za specifických okolností zahrnujících nedostatečné proximální zdroje v případě vícečetných avulzí, neúspěch primární rekonstrukce pomocí štěpu, pozdní prezentace dítěte a v případech izolované parézy při částečné spontánní reinervaci (Tse a spol., 2015). Proximální rekonstrukce pomocí štěpů má výhodu ve větším počtu dostupných axonů (více než při distální neurotizaci) a dosahuje původního anatomicky správného uspořádání. Bohužel nejsme schopni pomocí štěpů přesně reprodukovat přirozenou organizaci v průběhu nervu, neboť naše znalosti o topické fascikulární organizaci a eventuálního vzorce větvení rostoucích axonů z proximálních pahýlů

kořene jsou stejně jako jejich operační ovlivnění velice omezené. To nevyhnutelně vede k určitému stupni axonální misdirekce, disorganizace a fenoménu kokontrakce.

V neposlední řadě distální transfery neurotizují primárně motorické větve a neřeší tak sensorický deficit (rekonstrukce pomocí štěpů potenciálně ano). Systematické odchylky v sensorických funkcích byly zaznamenány v dospělosti u pacientů konzervativně léčených po porodním poraněním brachiálního plexu, tato deprivace sensorických vstupů se může podílet na vývojové apraxii (Brown a spol., 2000, Anguelova a spol., 2013).

Přes chybění randomizovaných nebo rozsáhlejších komparativních studií se lze na základě dostupné literatury domnívat, že úspěšnost rekonstrukce na úrovni kořenů pomocí štěpů, ať už přímou rekonstrukcí nebo využívající proximální pahýl kořene k neurotizaci jiné části plexu v případě avulze, a neurotizační techniky na úrovni koncových nervů je podobná. International Federation of Societies for Surgery of the Hand (2015) ve svém současném doporučení poukazuje na fakt, že v případě poranění většího rozsahu než C5–C6 je samostatná metoda distální neurotizace nedostatečná. Nedokáže totiž postihnout všechny přítomné deficity, a pokud je cílem operace maximální možná reinervace, její použití by mělo být adjuvantní. Současně doporučuje jako primární postup exploraci brachiálního plexu včetně jeho proximálních částí a následnou rekonstrukci kořenů pomocí štěpů.

Maximální reinervační potenciál má tedy kombinace obou technik, jak rekonstrukce pomocí štěpů, tak distální transfery. To může být díky vyššímu počtu axonů dostupných pro rekonstrukci, snížením výskytu kokontrakcí díky rozdělení zdrojů reinervace, zjednodušení centrálního motorického přeučení a zvýšením specificity reinervace (Bertelli a Ghizoni, 2010). Úspěšnost této strategie je podpořena excelentními výsledky dosažených kombinací obou technik (Chuang a spol., 2005, Terzis a Kokkalis, 2009, Tse a spol., 2015, Mencl a Haninec, 2015).

### **3.3.4 Sekundární operace a rehabilitace**

#### **Sekundární operace – šlachové transfery**

Ať už bylo porodní poranění léčeno neurochirurgickou operací nebo konzervativně, jsou pacienti sledováni v pravidelných intervalech a je hodnocen průběh reinervace. U části dětí dojde k pouze částečné obnově hybnosti. Zejména u skupiny konzervativně řešené pro spontánní reinervaci lze často pozorovat svalovou dysbalanci způsobenou dominantní funkcí některých svalových skupin, které byly od poranění ušetřeny. Pokud svalová dysbalance není

řešena, vede ke vzniku kloubních deformit. Nejvíce je tato situace patrná u vnitřních rotátorů ramene, které svou silnou antagonistickou kontrakcí znemožňují zevní rotaci (Gilbert a spol., 2006). Tento problém lze řešit uvolněním m. subscapularis nebo transferem společné šlachy m. latissimus dorsi a teres major z crista tuberculi minoris na crista tuberculi majoris (Pagnotta a spol., 2004).

V případě nedostatečného obnovení flexe v lokti je popsáno množství postupů, jak hybnost sekundárně zlepšit. Podstatou těchto metod je využití dobře fungujícího svalu a změnou jeho původního úponu posílení nebo nahrazení svalu bicepsu. Použití takových metod závisí na dostupnosti funkčního svalu. Steindlerova metoda využívá k navrácení flexe lokte u pacientů se zachovalou akrální hybností oddělený zevní epikondyl humeru s úponem flexorů předloktí, který je fixován na hranici dolní a střední třetiny humeru (Chomiak a spol., 2014). Dále lze použít přenos části šlachy m. triceps nebo m. latissimus dorsi na m. biceps (Haninec a Smrčka, 1998, Haninec a Szeder, 1999). Dalším případem svalové dysbalance, která vyžaduje chirurgickou korekci, je pozice předloktí v supinaci. Řešením je změna úponu m. biceps, který se pak stane pronátorem. Stejného výsledku lze dosáhnout rotační osteotomií kosti vřetenní (Gilbert a spol., 2006).

Na úrovni zápěstí se nejčastěji provádí transfer šlachy m. flexor carpi ulnaris na šlachy extenzorů. Extenze zápěstí významně ovlivňuje celkovou hybnost ruky a je prioritním cílem sekundárních operací (Haninec a spol., 2001). Šlachové a svalové transfery pro obnovení hybnosti prstů jsou sice technicky možné, ale často pro nedostatek funkčních svalů neproveditelné. Je možno použít transfer m. brachialis na flexory předloktí, pro obnovu extenze prstů buď stejný sval nebo m. pronator teres našitý na extensory ( Vektris a spol., 2008)

Tradiční šlachové transfery mohou být rozšířeny použitím volných svalových laloků. Volné vaskularizované a neurotizované svalové laloky jsou indikovány zejména v situaci, kdy není k dispozici žádný lokální sval. K obnovení flexe lokte lze použít m. gracilis, m. latissimus dorsi neb m. rectus femoris. Neurotizace volného svalového laloku je pak dosažena interkostálními nervy nebo pomocí štěpu proximálním dárcem např. z n. accesorius (Doi a spol., 1995, Vektris a spol., 2008). K sekundárním výkonům se přistupuje až po čtvrtém roce věku, kdy lze považovat reinervaci za definitivní a navíc je již dítě schopno plně spolupracovat během rehabilitace (Chuang a spol., 1998)



## Rehabilitace

V minulosti bylo cílem fyzioterapie cvičit dítě v používání fungujících svalů na postižené končetině. Od dříve doporučované imobilizace končetiny s abdukovaným ramenem v zevní rotaci, bylo pro rozvoj trvalých a těžkých deformit ramenního kloubu upuštěno. Dnes je rehabilitační program mnohem propracovanější a komplexnější.

S rehabilitací je nutno začít co nejdříve po nálezů parézy. Prvním cílem je zabránit kostním a kloubním deformitám vznikajícím s růstem dítěte. Od prvního dne života je dítě vystaveno aktivní a pasivní mobilizaci končetiny. Pasivní mobilizace kloubů má být prováděna nejenom rukou fyzioterapeuta, ale také rodiči několikrát denně. Tyto manévry vyvolávají jemné natahování svalů a kloubních struktur. Zabrání vzniku kapsulárních kontraktur a nadměrné kontrakci funkčních svalových skupin. Zásadní význam má prevence vývoje kloubní ztuhlosti jakéhokoliv stupně k zajištění normálního růstu kostí (Vekris a spol., 2008). Elektrostimulace postižených svalů je jedinou možností, jak docílit aktivní kontrakce paralyzovaných svalových vláken a začíná se s ní co nejdříve. Efekt na udržení trofiky svalstva je teoreticky vysvětlitelný, metoda je však stále kontroverzní pro chybění vědeckých důkazů o její prospěšnosti (Haninec a spol., 2011).

Nejdůležitějším smyslem rehabilitace je však skrze specifické aktivní a pasivní pohyby rozvoj adekvátních kortikálních motorických vzorců pro jednotlivé pohyby. Takovýto rehabilitační program nejčastěji s využitím Vojtovy metody je třeba začít velmi brzy po narození, aby se předešlo zafixování nesprávných pohybových vzorců. To je zásadní rozdíl oproti dospělým pacientům (Bahm a spol., 2009). Aktivní rehabilitaci lze doplnit používáním dlah a ortéz, například stabilizace zápěstí v mírné extenzi pomůže rozvoji silnější flexe prstů. Problematiku kokontrakcí lze dle recentních studií řešit aplikací botulotoxinu (Price a spol., 2007).



Obrázek 10. Aktivní rehabilitace

Dočasné vyřazení funkčních antagonistických svalů nebo svalových skupin umožní oslabeným svalům ve fázi reinervace lepší podmínky k posílení. Zároveň relaxace svalů, které způsobují silné kontraktury kloubů, ulehčí provádění rehabilitace.

Rehabilitační program se s rostoucím věkem dítěte mění. V prvních měsících posílí spontánní úpravu nebo předchází rekonstrukční operaci brachiálního plexu. Pooperační rehabilitace doprovází i dobu nutnou k reinervaci rekonstruovaných nervů. První známky návratu motorické funkce jsou viditelné v deltovému svalu a bicepsu nejdříve po 4–6 měsících, ve flexorech a extenzorech zápěstí mezi 12. a 18. měsícem a v intrinsických svalech koncem 2. roku. Proces reinervace a reorganizace mozkové kůry může trvat několik let, finální výsledky lze u hybnosti ruky očekávat mezi 4. a 8. rokem věku (Gilbert a spol., 2006, Pondaag a Malessy, 2006). Později, pokud operátor identifikuje přetrvávající deficit, je možné se před sekundární operací, jako jsou svalové přenosy, cíleně zaměřit na rehabilitaci a posílení svalů vhodných k takovéto operaci. Po sekundární operaci je fyzioterapie nezbytná pro kortikální integraci nových pohybů (Gilbert a spol., 2006).

## **4. KLINICKÁ ČÁST**

### **4.1 Úvod**

Cílem této práce bylo zhodnotit výsledky operačního řešení porodního poranění brachiálního plexu s využitím různých mikrochirurgických technik u pacientů s částečnou a úplnou parézou. I přes vysokou regenerační schopnost dětí zůstává 20 – 30% pacientů s trvalým deficitem hybnosti. Správná indikace, načasování výkonu a volba operační techniky významně ovlivňují úspěšnost operace a ve svém důsledku ovlivní hybnost horní končetiny na celý život. Při absenci rozsáhlejších randomizovaných studií je velice problematika velice složitá a choulostivá.

### **4.2 Materiál a metodika**

V letech 2000–2014 bylo na našem pracovišti vyšetřeno celkem 125 pacientů s porodní parézou brachiálního plexu. V rámci tohoto souboru podstoupilo posléze 33 pacientů rekonstrukční operaci, která byla provedena jedním chirurgem, prof. Pavlem Hanincem, CSc. Dvacet pacientů dosáhlo minimální dobu sledování v délce 24 měsíců, která byla stanovena

jako dostačující k statistickému rozboru a závěrečnému zhodnocení. Pacienti s kratší dobou byli ze studie vyloučeni, další 4 byli ztraceni z evidence.

V souboru pacientů bylo 14 chlapců a 6 děvčat, průměrná porodní hmotnost 3 885g (2 240 g až 4 880 g), pravá strana byla poraněna ve 13 případech (65%). Instrumentální porod s použitím kleští nebo vakuu extraktoru byl zaznamenán ve 4 případech. Hornerův syndrom se vyskytl u 6 dětí. Pacienti byli rozděleni pro lepší analýzu na dvě skupiny:

Skupina 1 zahrnovala 12 pacientů s horním typem poranění brachiálního plexu v rozsahu kořenů C5–C7. Erbova obrna byla přítomna u šesti pacientů, kdy byla končetina typicky držena ve vnitřní rotaci a pronaci s extendovaným loktem. U tří dalších pacientů se vyskytla navíc porucha extenze lokte, zápěstí a prstů. Izolované postižení hybnosti ramene u jednoho a flexe v lokti u dvou pacientů zůstalo po spontánní reinervaci zbylých částí plexu.

Skupina 2 zahrnovala 8 pacientů s úplnou paralýzou horní končetiny odpovídající poranění kořenů C5 –Th1. Končetina odpovídající obrazu chabé plegie byla ve všech segmentech včetně ruky.

U všech pacientů zahrnutých ve studii byla zhodnocena hybnost horní končetiny podle stupnice AMS (Active Movement Scale), škála s 15 položkami, hodnotící všechny pohyby ve všech kloubech horní končetiny od 0 do 7 . Hodnoty AMS byly zaznamenávány předoperačně a později v pravidelných intervalech po operaci. Následné statistické zpracování umožnilo ze shromážděných dat vytvořit prediktivní model (multilevel mixed-effect model: random intercept a random coefficient model). Vzhledem k nenormálnímu rozložení dat byl místo průměru použit medián. K výpočtům byl použit Stata 13.1 software. Elektromyografické a zobrazovací vyšetření bylo provedeno ve všech případech. Prosté RTG vyšetření odhalilo 5 zlomenin klíční kosti a 2 zlomeniny kosti pažní na straně poraněného brachiálního plexu. Jako indikační kritérium byla stanovena obnova flexe v lokti ve 4 měsících věku, ve sporných případech částečné reinervace do 6 měsíců pro horní typ poranění. V případě kompletní léze s obrnou ruky byla indikována časná revize do 3 měsíců věku.

U pacientů vybraných k rekonstrukční operaci byla provedena CT perimyelografie jako metoda volby k průkazu případné avulze míšních kořenů. Vyšetření pak bylo provedeno v celkové anestezii. Jodová kontrastní látka v dávce 0,5ml/kg byla podána intrathekálně klasickou lumbální punkcí z prostoru L4/5 nebo L5/S1. Následně bylo provedeno vlastní vyšetření vleže na břicho s mírně elevovaným trupem a končetinami. Tak je usnadněno

rozprostření kontrastní látky v krční oblasti, podložním čela dítěte se zabrání úniku do mozkových komor. CT vyšetření bylo provedeno podle standardizovaného protokolu od úrovně C0 po Th2 se šířkou řezu 0,5–1,0 mm. Radiační dávka běžného vyšetření nepřesáhla 1,2 mSv. Závažné komplikace jako hemorrhagie, alergická reakce na jodovou kontrastní látku nebo epilepsie se při žádném z provedených vyšetření nevyskytly.

Po operaci byli všichni pacienti hospitalizováni 7 dní, průměrná doba pobytu na jednotce intenzivní péče byla 1,8 dne. Operovaná končetina byla fixována po dobu 3 týdnů s addukovaným ramenem a flektovaným loktem. Po rekonstrukci byla doporučena intenzivní rehabilitace včetně elektrostimulace denervovaných svalů.

## 4.2 Operační technika

Operace byla provedena v celkové anestezii bez použití svalových relaxans. Ve většině případů byla supraklavikulární incize dostačující k dobrému přístupu ke kořenům a trunkům. Poté, co byl poraněný brachiální plexus odhalen, následovalo vizuální zhodnocení stavu míšních kořenů včetně foraminální úrovně, dále pak rozsahu a lokalizace neuromu. Další operační postup byl pak volen v souladu s předoperačním zjištěním případné avulze míšních kořenů a výsledkem intraoperační elektrické stimulace. Pokud byla přímou elektrostimulací proximálně od neuromu vybavena silná kontrakce svalu nebo svalových skupin s lokomotorickým efektem, byla použita prostá neurolyza. V případě žádné nebo neúčinné svalové odpovědi byla tkáň neuromu vytnuta salámovou technikou do zdravě vyhlížející nervové tkáně. Touto technikou bylo dosaženo co možná nejmenšího defektu mezi proximálním a distálním pahýlem. Upřednostňována byla přímá sutura obou konců, ale to pouze za předpokladu dodržení zásady sutury nervu bez napětí. Pokud to situace neumožňovala, byl odebrán n. suralis z obou dolních končetin a použit jako štěp k překlenutí defektu. Odstranění nervů bylo dětmi dobře tolerováno a nezpůsobilo žádný motorický deficit. Pokud byl počet viabilních proximálních pahýlů omezený v případě avulze míšních kořenů, byla provedena rekonstrukce (neurotizace) části či celého plexu z dostupných kořenů nebo byla provedena distální neurotizace nebo end-to-side (ETS) anastomóza.

Distální cíle neurotizace byly zvoleny následovně: pro obnovení funkce ruky kořen C8, trunkus inferior nebo mediální fasciál. Pro obnovení flexe v lokti byl použit kořen C6, přední divize trunkus superior, laterální fasciál a n. musculocutaneus. Distální cíle pro obnovu funkce ramene: kořen C5, zadní divize trunkus superior, dorzální fasciál, n. axillaris a n.

suprascapularis. Při neurotizaci pomocí kořene C4 byl tento kořen použit až po odstupu větve pro n. phrenicus, tímto postupem jsme se vyhnuli případným respiračním komplikacím spojeným s přerušáním tohoto nervu. N. suprascapularis jako nerv se zásadním významem pro abdukcii a zevní rotaci v ramenním kloubu byl rekonstruován buď z dostupného pahýlu kořene nebo zvláště z n. XI, kdy byl kladen důraz na zachování proximálních větví do trapézového svalu. Jako další dárci pro neurotizaci byly použity mediální pektorální nervy a motorická větev n. radialis pro caput longum m. triceps. ETS anastomóza byla provedena po vytvoření perineurálního okna laterální suturou kořene C7 nebo C8 na kořen C5 nebo C7. Nejvhodnější místo laterální anastomózy bylo vybráno po přímé bipolární stimulaci jednotlivých fascikulů po obvodu dárce se stanovením amplitudy M odpovědi v příslušném svalu inervovaném dárcovským nervem. V oblasti kořene s největší amplitudou M odpovědi bylo vytvořeno perineurální okno a následně mikrochirurgická sutura. Použité techniky rekonstrukce byly pro jednotlivé případy zvoleny v závislosti na počtu dostupných viabilních proximálních kořenů a dostupnosti dárcovských nervů k neurotizaci.

## 4.2 Výsledky

Z celkového souboru 33 operovaných pacientů splnilo 20 pacientů podmínky pro zařazení do studie. Klinické výsledky byly vyhodnoceny před případným provedením sekundární operace (šlachové transpozice). V této studii byla k hodnocení hybnosti horní končetiny použita skórovací škála AMS. Dosažené hodnoty 6 a 7 byly stanoveny jako úspěšný výsledek představující funkčně použitelný pohyb, to jest plný rozsah pohybu s vyloučením gravitace a více jak polovina rozsahu pohybu proti gravitaci. Operace byla hodnocena jako neúspěšná při výsledném AMS skóre 5 a méně. I když může být namítnuto, že i menší rozsah pohybu lze považovat za užitečný, zejména u pohybů prstů, naším primárním cílem byl téměř úplný návrat pohybu a tato studie měla stanovit procento pacientů, kteří tohoto cíle dosáhli.

K průkazu avulze míšních kořenů bylo zvoleno CT PMG vyšetření. Avulze byla odhalena u 30 kořenů ( C5, 6.67 %; C6, 16.67 %; C7 23.33 %; C8, 30 %; Th1, 23.33 %). Ve většině případů byly vytrženy z míchy dolní kořeny, avulze všech kořenů se v souboru nevyskytla.

Ve skupině 1 bylo operováno 12 dětí, medián věku v době operace byl 5,5 měsíce. Resekce neuromu následovaná rekonstrukcí kořenů nebo trunku byla provedena u 8 pacientů, přímá sutura bez použití štěpů byla možná u 3 z nich. U 2 dětí byla provedena neurotizace n. axillaris z motorické větve n. radialis pro m. triceps, u dalších 2 dětí pak neurotizace n. musculocutaneus z nn. pectorales. Medián doby sledování dosáhl 36 měsíců. Úspěšnost v této skupině dosáhla pro abdukci ramene 80,0 %, zevní rotace 50,0 %, flexe v lokti 81,8 % a supinace 63,6 %. Ve třech případech bylo přidruženo poranění kořene C7, obnovení extenze lokte bylo úspěšné ve 100 % a extenze prstů a zápěstí v 67 % případů.

**Tabulka 3.** Souhrn pacientů s horním typem poranění plexu léčených rozdílnými operačními technikami s předoperačním a pooperačním AMS skóre (Skupina 1)  
( x – pohyb nebyl předmětem operace)

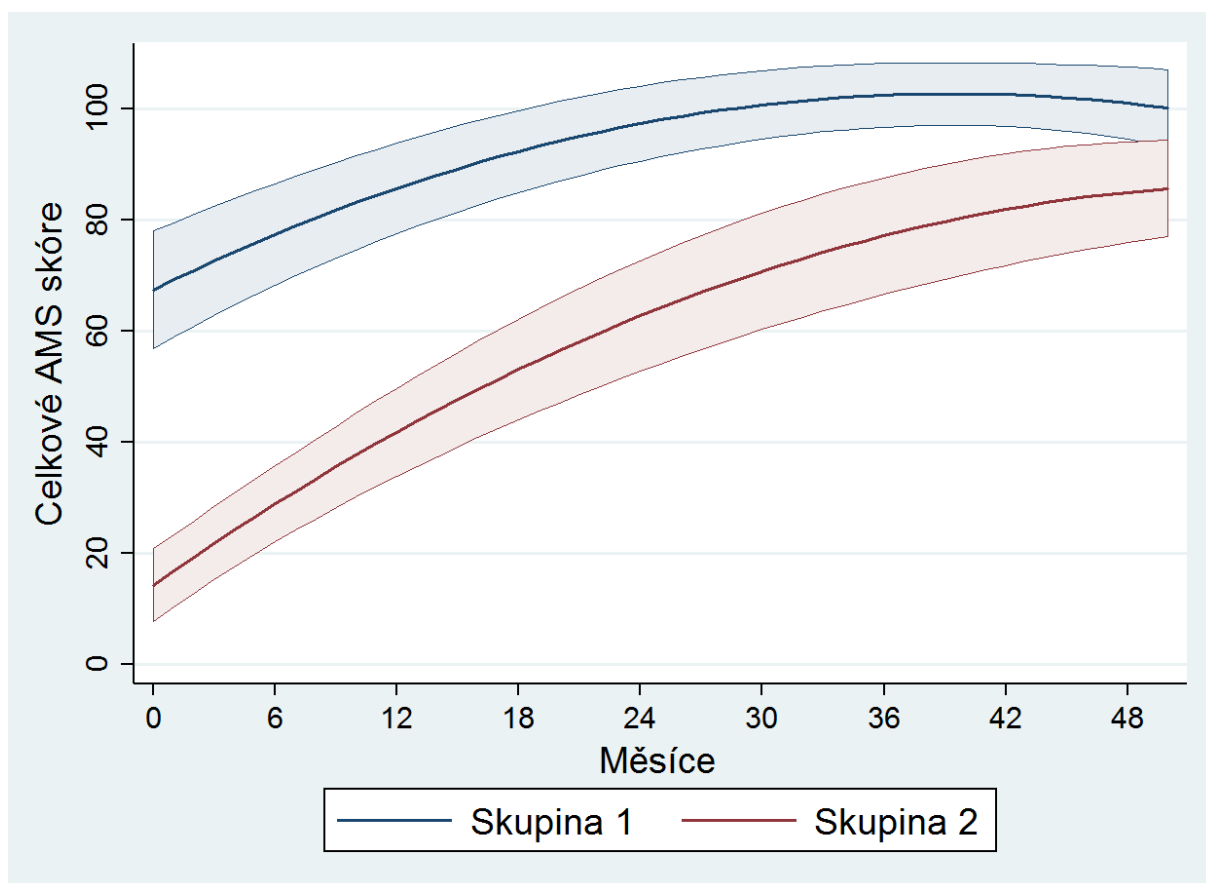
Pac.	Avulze	Věk	Operace	Doba sledování	AMS před- / po-operační					
					sh abd	ext rot	elb flx	elb ext	wrist /fing/ th	
									flx	ext
1	C6	8	C4→C6	62	5	3	0	7	7	7
					7(x)	6(x)	6	x	x	x
2	0	15	PCT→MCN	49	5	2	1	6	6	6
					x	x	7	x	x	x
3	C5	6	C6→ST, C6→SS	56	1	1	1	6	7	6
					7	6	7	x	x	x
4	0	6	C5→C5	48	2	1	0	7	7	7
					6	6	7	x	x	x
5	C7	6	C4→C5, C5→C5, C6, C7	48	1	0	0	0	7	0
					6	4	6	7	x	1/2/2
6	0	6	C5→C5, C6	45	1	1	1	6	7	7
					6	6	7	x	x	x
7	C7	3	C5→ST, SS, C6→ST, MT	35	0	0	0	6	7	0
					7	7	7	7	x	7/7/7
8	C6	4	C5→ST	32	1	0	0	7	7	7
					7	4	6	x	x	x
9	C6	4	R→AX, MCT→MCN, C4→SS	24	1	0	0	7	7	7
					5	5	5	x	x	x
10	C5	5	R→AX, C6+SS neurolyza	25	0	0	1	7	7	7
					6	6	6	x	x	x
11	C7	5	C5→ST, C6→MT	24	0	0	0	1	6	1
					4	5	4	7	x	6/6/6
12	0	5	XI→SS	24	3	1	7	7	7	7
					6	4	x	x	x	x

Ve skupině 2 podstoupilo operaci 8 pacientů. Medián věku v době operace byl 3,5 měsíce. Prostá neurolyza byla provedena v jednom případě, kdy intraoperační elektrická stimulace proximálně od místa léze vyvolala silnou svalovou kontrakci. Rekonstrukce celého brachiálního plexu z jednoho zdravého kořene byla provedena ve 2 případech, ze dvou kořenů pak ve 3 případech. ETS anastomóza byla uskutečněna u 2 poranění, a to pro kořen C8 a C7. Medián celkového AMS před operací byl 5 (3– 29). Po operaci došlo k vzestupu na medián 85,5 (51–91) z celkového možného počtu 105. Medián doby sledování byl 46 měsíců. Úspěšnost obnovy abdukce ramene dosáhla 87,5 %, zevní rotace 25 %, flexe v lokti 75 % a supinace předloktí 25 %. Extenze v lokti byla úspěšná v 87,5 %, zápěstí v 50 % a prstů a palce 37,5 %, flexe zápěstí 75 %, prstů a palce 87,5 % případů.

**Tabulka 4.** Souhrn pacientů s kompletním poraněním plexu léčených rozdílnými operačními technikami s předoperačním a pooperačním AMS skóre (Skupina 2)

Pac.	Avulze	Věk	Operace	Doba sledování	AMS před- / po- operační					
					sh abd	ext rot	elb flx	elb ext	wrist /fing/ th	
									flx	ext
13	C8-Th1	3	C4→C6, C7→C8 ETSN	55	0	0	0	0	0	0
					6	5	7	7	5/7/7	7/7/7
14	C7-Th1	3	C4→C6, C5→C7,C8 ETSN	104	0	0	0	0	0	0
					6	6	1	7	6/7/7	6/5/2
15	C6-Th1	3	C5→MC,PC, C4→LC	90	1	0	0	0	0	0
					6	4	7	6	7/7/7	2/7/2
16	C7-Th1	5	C5→ST, SS, C6→MT, IT	51	2	0	0	0	0	0
					6	5	7	7	7/7/7	2/7/2
17	C8-Th1	5	C5→C5,C6,SS, C6→C7,C8	50	1	1	0	0	0	0
					6	6	4	7	7/7/7	1/7/1
18	C7-Th1	7	C5→ST, MT, IT	33	1	0	0	0	0	0
					6	2	6	1	1/0/0	5/4/2
19	C8	10	C5 -TH1 neurolyza	28	0	0	0	2	1/3/3	7/0/0
					5	4	6	7	6/6/6	7/6/6
20	C6-Th1	2	C4→SS, C5-ST, MT, IT	26	0	0	0	0	0	0
					6	5	6	7	7/7/7	7/5/7

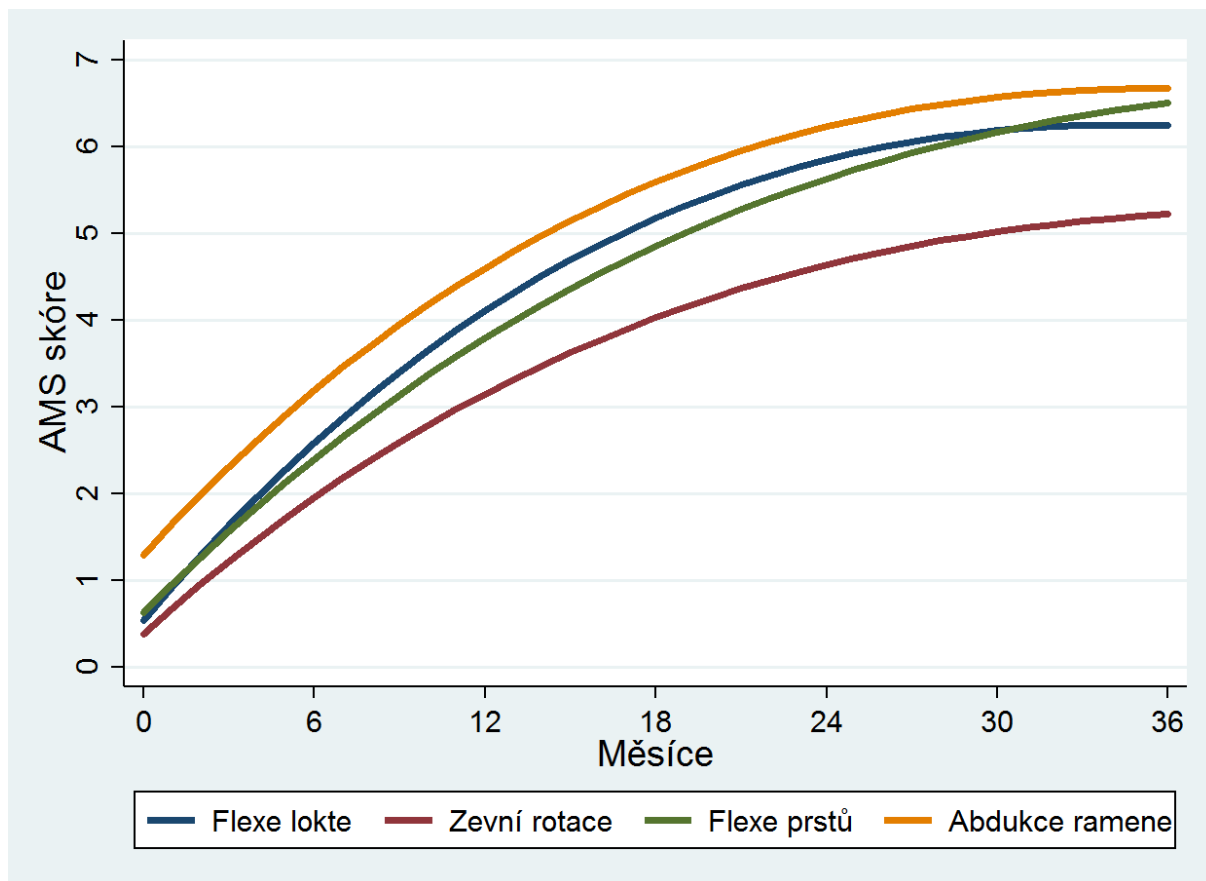
Rozborem souboru bylo zjištěno, že užitečné hybnosti ruky bylo dosaženo u obou dětí, které podstoupily ETS anastomózu. Tento výsledek lze přisuzovat výhradně ETS metodě, protože v obou případech byly kořeny C8 a Th1 vytrženy z míchy. V kontrastu pak je horší výsledek neurolyzy pro abdukcii v rameni, který nebyl tak dobrý jak bylo očekáváno, přestože obnova flexe v lokti a hybnosti ruky byla uspokojivá. Vzestupný trend celkového AMS je zobrazen v prediktivním modelu s predikovaným průměrným AMS s 95% intervalem spolehlivosti (Graf 1.)



Graf 1. Vzestupný trend celkového AMS v prediktivním modelu.



Predikce funkční obnovy pohybů horní končetiny, které byly rekonstruovány se zvýšenou prioritou (graf 2.)



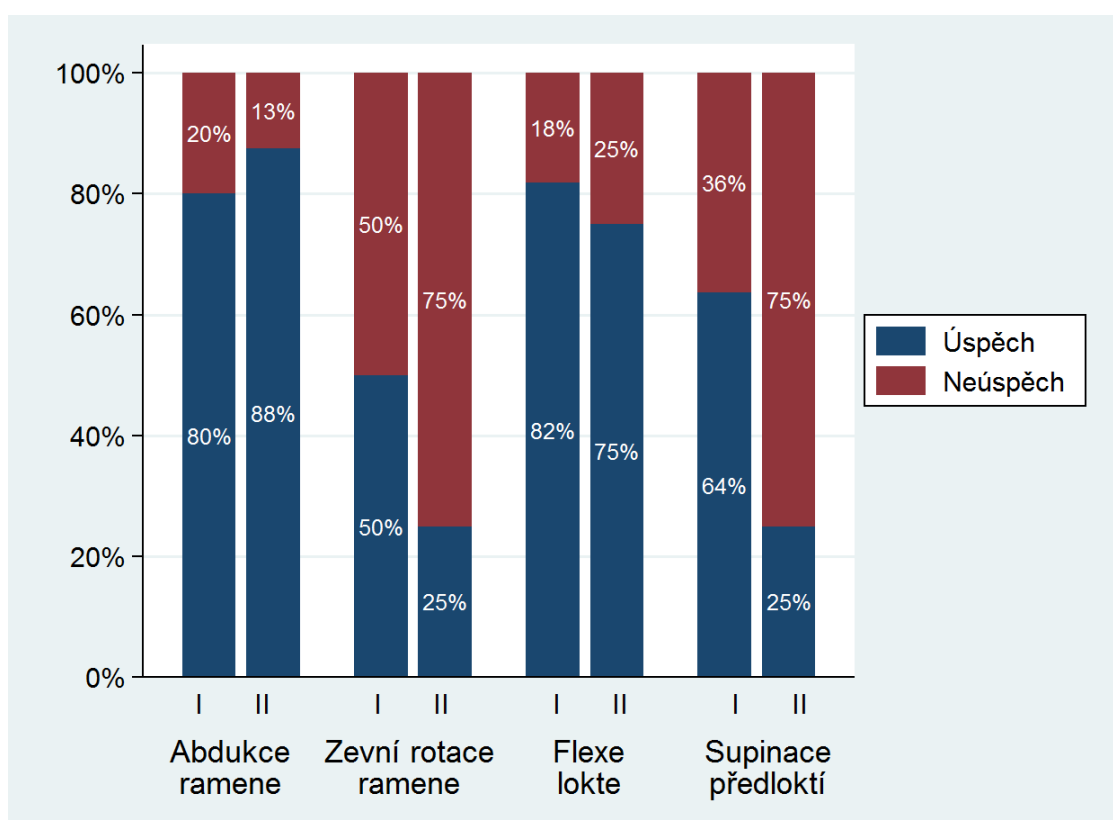
Graf 2.

## 4.2 Diskuze

Management porodního poranění brachiálního dle recentní literatury je nejednotný a ne zcela jasný. Indikační kritéria a načasování rekonstrukční operace zůstávají stále kontroverzní, a to zejména pro chybění jak randomizovaných studií, tak větších retrospektivních studií (Gilbert a spol., 2006, Bain a spol., 2009, El-Gammal a spol., 2010, Malessy a Pondaag, 2011, Tse a spol., 2015). Přesto se domníváme, že v případě kompletní parézy plexu s postiženou hybností ruky je vhodná chirurgická revize do 3 měsíců věku. U horního typu poranění je operace indikována 4 měsících věku při chybějící flexi v lokti a v případě částečné léze nebo při nejasné spontánní reinervaci pak do 6 měsíců.

Ačkoliv u všech pacientů provádíme elektromyografické a zobrazovací vyšetření, konečné rozhodnutí o operaci je založeno na klinickém vyšetření hybnosti horní končetiny. Předoperační i intraoperační elektrofyzilogické vyšetření je v porovnání s traumatickým poraněním brachiálního plexu dospělých považováno za příliš optimistické a jeho výtěžnost je menší (Konig a spol., 2006, Pondaag a spol., 2008). CT perimyelografie je považována za metodu volby k průkazu avulze míšních kořenů s diagnostickou přesností 85 % (Carvalho a spol., 1997). Toto vyšetření je schopné odhalit přítomnost likvorové pseudocysty, ale zároveň parciální avulzi při absenci porušení kontinuity míšních obalů. V současné době není prokázáno lepší zobrazení poranění odstupujícího kořene z míchy pomocí MRI vyšetření (Steens a spol., 2011).

Cílem rekonstrukční operace v případě horního typu je obnovení flexe v lokti, abdukce a zevní rotace v rameni. Horní trunkus představuje při porodním poranění nejvíce zranitelnou část plexu. Při současném poranění dolních elementů je jeho poranění závažnější a i výsledky operace mají tendenci být horší (Birch a spol., 2005). Po statistické analýze jsou výsledky uváděné operační strategie u obou skupin podobné, s výjimkou úspěšnosti supinace, tento rozdíl ale není statisticky signifikantní.



Graf 3. Srovnání úspěšnosti operace u skupiny 1 a skupiny 2

Celková úspěšnost reinervace ramene a flexe lokte je jak v prezentované studii, tak v množství publikovaných sérií dobrá (Gilbert a spol., 2006, Vekris a spol., 2008, El-Gammal a spol., 2010, Malessy a Pondaag, 2011, Tse a spol., 2015).

V kontrastu výsledky obnovení zevní rotace v rameni jsou slabé, úspěšné reinervace bylo dosaženo u 50 % pacientů ve skupině 1 a u 25 % ve skupině 2. Pondaag a spol. (2005) v sérii 86 operovaných pacientů popisují, že pouze 20 % dosáhlo pravé glenohumerální zevní rotace více jak 20 stupňů. El-Gammal a spol. (2010) dosáhli úspěšnosti 34 % a 54% po doplnění o šlachovou transpozici. Není rozdílu ve výsledné zevní rotaci mezi rekonstrukcí z kořene C5 pomocí štěpů a neurotizací z ramus externus n. accessorius (Tse a spol., 2011).

**Tabulka 5.** Předoperační a pooperační AMS skóre vybraných pohybů a úspěšnost operace u pacientů s horním typem poranění (Skupina 1)

Pohyb	Předoperační skóre		Pooperační skóre		
	Median	Range	Median	Range	Úspěch%
rameno abd.	1	0 - 3	6	4 - 7	80%
zevní rot.	0	0 - 1	5,5	4 - 7	50%
loket flx.	0	0 - 3	6	4 - 7	82%
supinace	0	0 - 1	6	2 - 7	64%

V případě pozdní prezentace může být obnovení hybnosti ramene a lokte provedeno pomocí distální neurotizace. Gilbert a spol. (2006) argumentují, že pokud jsou dostupné kořeny k neurotizaci, je taková rekonstrukce upřednostňována a techniky distální neurotizace ponechány v záloze pro případné pozdější užití. Použití pektorálních nervů bylo popsáno s dobrými výsledky (Blaauw a Slooff, 2003, Wellons a spol., 2009). Neurotizace pomocí motorické větve n. radialis pro m. triceps brachii je bezpečná a efektivní metoda. Funkční oslabení tricepsu při použití jedné větve je zanedbatelné, zbývající dvě hlavy tricepsu výpadek kompenzují (McRae a Borschel, 2012). V případě vodivého neuromu v kontinuitě jsou dokumentovány lepší dlouhodobé výsledky po resekci neuromu a mikrochirurgické rekonstrukci pomocí štěpů v porovnání s prostou neurolyzou (Lin a spol., 2009). Ve třech případech došlo díky částečné spontánní reinervaci k vývoji izolovaného postižení bicepsu nebo deltového svalu. Jako možné vysvětlení podává práce Vredevelde a spol. (2000), kteří

popsali kritickou roli kořene C7 při spontánní reinervaci. Na sérii 162 dětí s OBPP byla pomocí elektrofyzilogických vyšetření prokázána přítomnost tzv. extra inervace m. biceps brachii a m. deltoideus skrze spojky z kořene C7, které v dospělosti u zdravého jedince zanikají.

Cílem operace u kompletního poranění plexu je obnovení funkce ruky a zajištění schopnosti používat postiženou ruku v bimanuálních činnostech. Bimanuální provádění běžných činností vyžaduje silnou flexi prstů v kombinaci s dobrou flexí lokte (Krumlinde-Sundholm a spol., 2007). Pohyb ruky je proto zásadní, jinak je maximální využití končetiny jako háku (Pondaag a Malessy, 2006). Úspěšnost reinervace ruky je závislá na věku pacienta v době operace – čím dříve je operace provedena, tím lepšího výsledku je dosaženo (Terzis a Kokkalis, 2008). V prezentované sérii dosáhla úspěšnost obnovení užitečné hybnosti ruky 87 %. Výsledky publikovaných studií je obtížné interpretovat díky různorodosti hodnotících metod a použitých skórovacích systémů. Po 8 let letech od operace a řadě šlachových přenosů se Gilbertovi a spol. (2006) podařilo dosáhnout 76% úspěšnosti v dosud nejrozsáhlejším souboru dětských pacientů; poukazují na fakt že reinervace ruky je velmi pomalá. Úspěšnost v dalších publikovaných studiích je 69–93% (Birch a spol. 2005, Pondaag a Malessy, 2006).

**Tabulka 6.** Předoperační a pooperační AMS skóre vybraných pohybů a úspěšnost operace u pacientů s kompletním poraněním (Skupina 2)

Pohyb	Předoperační skóre		Pooperační skóre		
	Median	Range	Median	Range	Úspěch%
rameno abd.	0,5	0 - 2	6	5 - 6	88%
zevní rot.	0	0 - 1	5	2 - 6	25%
loket flx.	0	0	6	1 - 7	75%
Supinace	0	0	5	4 - 6	25%
loket ext.	0	0 - 2	7	1 - 7	88%
zápěstí flx.	0	0 - 1	6,5	1 - 7	75%
zápěstí ext.	0	0 - 7	5,5	1 - 7	50%
prsty flx.	0	0 - 3	7	0 - 7	88%
prsty ext.	0	0	5,5	1 - 7	38%
palec flx.	0	0 - 3	7	0 - 7	88%
Palec ext.	0	0 - 0	2	0 - 7	38%

Od použití ETS anastomózy bylo většinou autorů upuštěno pro špatné výsledky (Pondaag a Gilbert, 2008). V prezentovaném souboru operovaných dětí byla tato technika použita ve dvou případech s překvapivě dobrým výsledkem, který lze přisuzovat výhradně ETS anastomóze. U obou pacientů byla provedena perineurální laterální sutura po vytvoření perineurálního okna. Používáme této techniky jako standardu, neboť byla na experimentálních modelech prokázáno, že úspěšnost takové sutury je vysoká a zároveň nebyly po vytvoření perineurálního okna nalezeny známky denervace na dárcovském nervu (Geuna a spol., 2006, Šámal a spol., 2006, Haninec a spol., 2007). Podobně u žádného z pacientů v tomto souboru nebo v recentně publikované studii u dospělých pacientů nevznikl funkční deficit na straně dárcovského kořene (Haninec a spol., 2013). Tento úspěšný výsledek, ačkoliv pouze u dvou případů, může být vysvětlen lepší regenerační kapacitou nervů u dětských pacientů v porovnání s dospělými. Laboratorní výzkumy dokazují lepší výsledky ETS anastomózy u mladých potkanů než u starších zvířat (Hess a spol., 2006). Přesto, že se jedná o výsledky na úrovni kazuistiky, tento výsledek má jistě svou váhu. Výhodou ETS anastomózy proti klasické neurotizaci je, že není potřeba obětovat při rekonstrukci jiný nerv. Jednou z možností, jak v budoucnu zlepšit klinické využití této techniky, je použití růstových faktorů k podpoře reinervace (Dubový a spol., 2011, Haninec a spol., 2012).

V souboru operovaných pacientů se nevyskytly žádné operační ani pooperační komplikace s výjimkou přechodné subfebrilie. La Scala a spol. (2003) na sérii 107 pacientů popisuje jako nejčastější komplikaci poranění n. phrenicus v 6,4 %, náhodnou extubaci během operace v 3,9 %, infekci v ráně v 2,3 %, pneumothorax při disekci dolních kořenů v 1,7 % a chylothorax způsobený poraněním ductus thoracicus v 0,6 %.

V případě pozdní prezentace porodní parézy brachiálního plexu, v době kdy již nervová rekonstrukce není možná, lze zlepšit hybnost horní končetiny sekundárními operacemi na úrovni šlach a svalů. Tyto techniky zahrnují chirurgické uvolnění svalových kontraktur, šlachové transfery, transplantace volného svalového laloku a korekční osteotomie. K sekundárním výkonům se přistupuje až po čtvrtém roce věku, kdy lze považovat reinervaci za definitivní a navíc je již dítě schopno plně spolupracovat během rehabilitace (Chuang a spol., 1998, Haninec a spol., 2001, Vekris a spol., 2008). Ačkoliv počet pacientů v této studii je omezený, výsledky ukazují, že časnou neurochirurgickou rekonstrukcí lze dosáhnout významného zlepšení hybnosti u dětí s porodní parézou brachiálního plexu.

## 5. SOUHRN

Porodní paréza brachiálního plexu se vyskytuje v 0,15 až 3 případech na 1000 živě narozených dětí. Hybnost horní končetiny se u většiny dětí spontánně upraví, ale u 20 – 30% dětí zůstává těžký reziduální deficit. Dystokie ramének, makrosomie a instrumentální porod představují největší rizika vzniku poranění, naopak porod Císařským řezem a porod dvojčat se zdá být protektivní.

Výsledné poranění může být v rozsahu neurapraxie nebo axonotmese, které se spontánně upraví, nebo neurotmese či avulze kořene, kde spontánní reinervace není možná. Klinická manifestace těchto poranění je v počáteční fázi stejná a znesnadňuje tak jejich rozlišení. V současné době není k dispozici žádný klinický nebo elektrofyziologický test či zobrazovací metoda, která by dokázala v raném věku tyto stupně poranění nervu odlišit.

Základem správné indikace a konečného rozhodnutí o operaci je klinické vyšetření. To je na rozdíl od dospělých pacientů u nespolupracujícího dítěte obtížné a hodnocení hybnosti a svalové síly je pomocí běžně používaných stupnic nevhodné. Jako nejužitečnější se zdá být škála AMS, které je schopná jednoduchým sledováním dítěte rozlišit i malé změny v pohybu.

Elektrofyziologické vyšetření používané u poúrazových stavů dospělých k objektivizaci stupně poškození nervu je u dětských pacientů s unikátní regenerační schopností velice omezené. Výsledky jak předoperačního tak i intraoperačního elektrofyziologického vyšetření jsou všeobecně považovány za příliš optimistické a neodpovídají kvalitě výsledné reinervace.

CT perimyelografie je považována za metodu volby k průkazu avulze míšních kořenů. V současné době není prokázáno lepší zobrazení poranění odstupujícího kořene z míchy pomocí MRI vyšetření. Detekce avulze kořenů neovlivňuje pouze rozhodnutí pro operaci, ale zásadně ovlivňuje také operační strategii.

V otázce indikačních kritérií a načasování operace nepadají mezi autory jednotný názor a jsou předmětem mnoha diskuzí. Domníváme se, že v případě kompletní parézy plexu s postiženou hybností ruky je vhodná chirurgická revize do 3 měsíců věku. U horního typu poranění je operace indikována ve 4 měsících věku při chybějící flexi v lokti a v případě částečné léze nebo při nejasné spontánní reinervaci pak do 6 měsíců.

Na souboru 20 pacientů byly vyhodnoceny výsledky operační strategie používající jak rekonstrukce na úrovni kořenů pomocí štěpů, ať už přímou rekonstrukcí nebo využívající proximální pahýl kořene k neurotizaci jiné části popřípadě celého plexu v případě avulze, tak neurotizační techniky na úrovni koncových nervů.

Cílem rekonstrukční operace v případě horního typu bylo obnovení flexe v lokti, abdukce a zevní rotace v rameni. Toho bylo dosaženo pro abdukci ramene v 80,0 %, pro zevní rotaci v 50,0 %, flexi v lokti 81,8 % a supinaci 63,6 %. Ve třech případech bylo přidruženo poranění kořene C7, obnovení extenze lokte bylo úspěšné ve 100 % a extenze prstů a zápěstí v 67 % případů.

Cílem operace u kompletního poranění plexu bylo obnovení funkce ruky a zajištění schopnosti používat postiženou ruku v bimanuálních činnostech. V prezentovaném souboru dosáhla úspěšnost obnovení užitečné hybnosti ruky 87 %. Úspěšnost obnovy dalších pohybů dosáhla pro abdukci ramene 87,5 %, zevní rotaci 25 %, flexe v lokti 75 % a supinace předloktí 25 %. Extenze v lokti byla úspěšná v 87,5 %, zápěstí v 50 % a prstů a palce 37,5 %.

Od použití ETS anastomózy bylo většinou autorů upuštěno pro špatné výsledky. V prezentovaném souboru operovaných dětí byla tato technika použita ve dvou případech s překvapivě dobrým výsledkem, který lze přisuzovat výhradně ETS anastomóze. U obou pacientů byla provedena perineurální laterální sutura po vytvoření perineurálního okna. Tento úspěšný výsledek, ačkoliv pouze u dvou případů, může být vysvětlen lepší regenerační kapacitou nervů u dětských pacientů v porovnání s dospělými. V případě pozdní prezentace porodní parézy brachiálního plexu lze zlepšit hybnost končetiny sekundárními operacemi na úrovni šlach a svalů. K sekundárním výkonům se přistupuje až po čtvrtém roce věku, kdy lze považovat reinervaci za definitivní a dítě je schopné spolupracovat během operace.

Ačkoliv počet pacientů v této studii je omezený, výsledky ukazují, že časnou neurochirurgickou rekonstrukcí lze dosáhnout významného zlepšení hybnosti u dětí s porodní parézou brachiálního plexu.

## 6. SUMMARY

Obstetrical brachial plexus palsy (OBPP) displays a stable incidence of 0.15 – 3 per 1,000 live births. Most children show good spontaneous recovery, but a recent literature reviews show that a residual deficit remains in 20% to 30% of children. Shoulder dystocia, macrosomia and instrument delivery, forceps or vacuum extraction present the greatest risk for brachial plexus injury. Caesarean section, having a twin or multiple birth mates seems to offer some protection against injury.

The resulting nerve injury may vary from neurapraxia or axonotmesis to neurotmesis and root avulsion from spinal cord. In neurapraxia or axonotmetic lesions complete recovery will usually occur over the course of weeks or months. In a neurotmetic injury or in case of root avulsion, the most sever type of lesion, useful regeneration of axons cannot take place.

Although we perform electromyography and imaging studies, the final decision of operation relies heavily on the clinical examination. Manual muscle testing system although reliable for examination of motor power in adults is not suited for use with infants. All patients involved in the study were evaluated using the Active Movement Scale (AMS), which greatly increases the ability to detect partial movements.

The results of neurophysiological investigations in older patients are mostly accurate, indicating the severity, location and extent of the lesions. In contrast, the findings of EMG and nerve-conduction studies in obstetrical brachial plexus palsy mostly suggest a falsely optimistic prognosis.

Computed Tomography Myelography was considered to be the technique of choice for diagnostic root avulsions. Detection of root avulsion was important not only in the decision for surgery, but it helped to accurate our operative strategy. So far, no MRI study has proven to be effective in visualizing the roots emerging from the spinal cord better

The aim of this study was to evaluate the results achieved using various surgical techniques in patients with partial and total obstetrical brachial plexus palsy. Twenty patients had follow-up periods greater than 24 months and met criteria for inclusion in the study. The outcomes of different nerve reconstructive procedures including nerve transfers, nerve grafting after neuroma resection and end-to-side neurorrhaphy are presented.



Although the indication and timing of surgery remains controversial among authors, we believe that the optimal indication and timing of surgery in cases of total palsy with impaired hand function is within the first 3 months of age. In cases of upper brachial plexus injuries, within the first 4 months is acceptable if there is no useful elbow flexion. In partial lesions with questionable movement we recommend surgery until before 6 months of age.

The surgical objective in cases of upper OBPP is functional restoration of shoulder abduction with external rotation and biceps function. The overall success rate in upper plexus birth injury was 80% in shoulder abduction, 50% in external rotation and 81.8% in elbow flexion with median follow-ups of 36 months.

The surgical objective in cases with complete OBPI in recovery of hand function and to establish the ability to use the affected hand in bimanual activities. Reanimation of hand is essential; otherwise the maximal function obtained for the affected limb is that of a hook. Our series achieved useful hand reanimation in 87% of cases. Shoulder abduction was successful in 87%, external rotation in 25%, elbow flexion in 75% and supination in 25% of cases. Elbow extension was successful in 87%, wrist extension in 50 % and finger, thumb extension in 37% of cases.

The use of the end-to-side technique has been abandoned by most surgeons due to poor results. We present 2 cases with surprisingly good results, which can be attributed exclusively to the ETSN technique. In both patients we performed a perineural suture after the creation of a perineural window. This result may be explained due to superior nerve regeneration capacity in infants compared with adults. One advantage of ETSN over end-to-end neurotization is that with ETSN there is no need to sacrifice the surrounding nerves. In cases of late obstetrical brachial plexus palsy, nerve surgery will likely be ineffective and thus secondary surgery is called for to improve the hand, forearm, elbow and shoulder function, and to prevent muscle contractures and bone shortening. Surgery should be carried out after the age of 4 years, when the child has ability to cooperate in rehabilitation.

Although the present study contains a limited number of patients, our results demonstrate, that improved function can be obtained for infants with obstetrical brachial plexus injury with early surgical reconstruction.

## 7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Ahn ES, Jung MS, Lee YK, Ko SY, Shin SM, Hahn MH. *Neonatal clavicular fracture: Recent 10 year study*. Pediatrics International. 2015; 57 (1), pp. 60-63.
2. Al-Qattan MM. *Terminolateral neuroorrhaphy: review of experimental and clinical studies*. J Reconstr Microsurg. 2001; 17:99–108.
3. Al-Qattan MM, Al-Kharfy TM. *Median nerve to biceps nerve transfer to restore elbow flexion in obstetric brachial plexus palsy*. BioMed Research International. 2014; art. no. 854084.
4. Al-Qattan MM, Al-Kharfy TM. *Obstetric brachial plexus injury in subsequent deliveries*. Annals of Plastic Surgery. 1996; 37 (5), pp. 545-548.
5. Al-Qattan MM, Clarke HM, Curtis CG. *Klumpke's birth palsy. Does it really exist?* Journal of Hand Surgery. 1995; 20 (1), pp. 19-23.
6. Al-Qattan MM, Clarke HM, Curtis CG. *The prognostic value of concurrent Horner's syndrome in total obstetric brachial plexus injury*. Journal of Hand Surgery. 2005; 25 B (2), pp. 166-167.
7. Al-Qattan MM, El-Sayed AAF. *Obstetric brachial plexus palsy: The mallet grading system for shoulder function – Revisited*. BioMed Research International. 2014; art. no. 398121.
8. Al-Qattan MM, El-Sayed AAF. *The Use of the phrenic nerve communicating branch to the fifth cervical root for nerve transfer to the suprascapular nerve in infants with obstetric brachial plexus palsy*. BioMed Research International. 2014; art. no. 153182.
9. Al-Qattan MM. *Oberlin's ulnar nerve transfer to the biceps nerve in Erb's birth palsy*. Plastic and Reconstructive Surgery. 2002; 09 (1), pp. 405-407.

10. Anguelova GV, Malessy MJ, Van Dijk JG. *A cross-sectional study of hand sensation in adults with conservatively treated obstetric brachial plexus lesion*. Dev Med Child Neurol. 2013; Mar;55(3):257-63.
11. Anguelova GV, Malessy MJA , van Zwet EW. *Extensive motor axonal misrouting after conservative treatment of obstetric brachial plexus lesions*. Developmental Medicine and Child Neurology. 2014; 56/10, pp. 984-989.
12. Bae DS, Waters PM, Zurakowski D. *Reliability of three classification systems measuring active motion in brachial plexus birth palsy*. Journal of Bone and Joint Surgery - Series A. 2003; 85 (9), pp. 1733-1738.
13. Bahm J, Ocampo-Pavez C, Disselhorst-Klug C, Sellhaus B, Weis J. *Obstetric brachial plexus palsy: Treatment strategy, long-term results, and prognosis*. Deutsches Arzteblatt. 2009; 106 (6), pp. 83-90.
14. Bain JR, Dematteo C, Gjertsen D, Hollenberg RD. *Navigating the gray zone: a guideline for surgical decision making in obstetrical brachial plexus injuries*. J Neurosurg Pediatr. 2009; 3(3): 173–180.
15. Bajrović F, Kovacic U, Pavcnik M, Sketelj J. *Interneuronal signalling is involved in induction of collateral sprouting of nociceptive axons*. Neuroscience. 2002; 11(3):587-596.
16. Belzberg AJ, Dorsi MJ, Storm PB, Moriarity JL. *Surgical repair of brachial plexus injury: A multinational survey of experienced peripheral nerve surgeons*. Journal of Neurosurgery. 2004; 101 (3), pp. 365-376.
17. Bentolila V, Nizard R, Bizot P, Sedel L. *Complete traumatic brachial plexus palsy. Treatment and outcome after repair*. J Bone Joint Surg Am.1999; 81, pp. 20-28
18. Bergman RA, Thompson SA, Afifi AK, Saadeh FA. *Compendium of Human Anatomic Variation*.1988.

19. Bertelli JA, dos Santos AR, Calixto JB. *Is axonal sprouting able to traverse the conjunctival layers of the peripheral nerve? A behavioral, motor, and sensory study of end-to-side nerve anastomosis.* J Reconstr Microsurg. 1996; 12:559–563.
20. Bertelli JA, Ghizoni MF. *Concepts of nerve regeneration and repair applied to brachial plexus reconstruction.* Microsurgery. 2006; 26(4):230-244.
21. Bertelli JA, Ghizoni MF. *Nerve Root Grafting and Distal Nerve Transfers for C5-C6 Brachial Plexus Injuries.* Journal of Hand Surgery. 2010; 35 (5), pp. 769-775.
22. Birch R, Ahad N, Kono H, Smith S. *Repair of obstetric brachial plexus palsy: results in 100 children.* J Bone Joint Surg. 2005; (Br) 87(8):1089–1095.
23. Blaauw G, Slooff ACJ, Huang JH, Zager EL, Kliot M, Kline DG. *Transfer of pectoral nerves to the musculocutaneous nerve in obstetric upper brachial plexus palsy.* Neurosurgery. 2003; 53 (2), pp. 338-342.
24. Bodner G, Buchberger W, Schocke M. *Radial nerve palsy associated with humeral shaft fracture: evaluation with US - initial experience.* Radiology. 2001;219:811–816.
25. Bonnel F. *Microscopic anatomy of the adult human brachial plexus: An anatomical and histological basis for microsurgery.* Microsurgery. 1984; 5 (3), pp. 107-117.
26. Bowen BC, Pattany PM, Saraf-Lavi E, Maravilla KR. *The brachial plexus: Normal anatomy, pathology, and MR imaging.* Neuroimaging Clinics of North America. 2004; 14 (1), pp. 59-85.
27. Bowerson M, Nelson VS, Yang LJ. *Diaphragmatic paralysis associated with neonatal brachial plexus palsy.* Pediatr Neurol. 2010;42(3):234–236.
28. Boyd JG, Gordon T. *Neurotrophic Factors and Their Receptors in Axonal Regeneration and Functional Recovery after Peripheral Nerve Injury.* Molecular Neurobiology. 2003; 27 (3), pp. 277-323.

29. Brennwald J, Nigst H. *Osteotomy of the clavicle and osteosynthesis in brachial plexus operations*. Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie. 1985; 17 (5), pp. 277-279.
30. Brown T, Cupido C, Scarfone H, Pape K, Galea V, McComas A. *Developmental apraxia arising from neonatal brachial plexus palsy*. Neurology. 2000; Jul 12;55(1):24-30.
31. Brown MC, Hardman VJA. *Reassessment of the accuracy of reinnervation by motoneurons following crushing or freezing of the sciatic or lumbar spinal nerves of rats*. Brain.1987; 110 (3), pp. 695-705.
32. Buchanan EP, Richardson R, Tse R. *Isolated lower brachial plexus (Klumpke) palsy with compound arm presentation: Case report*. Journal of Hand Surgery. 2013; 38 (8), pp. 1567-1570.
33. Capek L, Clarke HM, Zuker RM. *Endoscopic sural nerve harvest in the pediatric patient*. Plast Reconstr Surg. 1996; 98(5): 884–888.
34. Capek L, Clarke HM, Curtis CG. *Neuroma-in-continuity resection: Early outcome in obstetrical brachial plexus palsy*. Plastic and Reconstructive Surgery. 1998; 102 (5), pp. 1555-1562.
35. Carvalho GA, Nikkhah G, Matthies C, Penkert G, Samii M. *Diagnosis of root avulsions in traumatic brachial plexus injuries: Value of computerized tomography myelography and magnetic resonance imaging*. Journal of Neurosurgery. 1997; 86 (1), pp. 69-76.
36. Clarke HM, Al-Qattan MM, Curtis CG, Zuker RM. *Obstetrical Brachial Plexus Palsy: Results Following Neurolysis of Conducting Neuromas-in-Continuity*. Plastic and Reconstructive Surgery. 1996; 97 (5), pp. 974-982.
37. Clarke HM, Curtis CG, Abbott IR. *An approach to obstetrical brachial plexus injuries*. Hand Clinics.1995; 11 (4), pp. 563-581.

38. Curtis C, Stephens D, Clarke HM, Andrews D. *The active movement scale: An evaluative tool for infants with obstetrical brachial plexus palsy*. Journal of Hand Surgery. 2002; 27 (3), pp. 470-478.
39. Daniel RK, Terzis JK. *Reconstructive microsurgery*. Boston. Little Brown, 1977
40. David G, Magarey ME, Jones MA, Dvir Z, Türker KS, Sharpe M. *EMG and strength correlates of selected shoulder muscles during rotations of the glenohumeral joint*. Clinical Biomechanics. 2000; 15 (2), pp. 95-102.
41. De Ruyter GCW, Malessy MJA, Alaid AO, Spinner RJ, Engelstad JK, Sorenson EJ, Kaufman KR. *Windebank, A.J. Misdirection of regenerating motor axons after nerve injury and repair in the rat sciatic nerve model*. Experimental Neurology. 2008; 211 (2), pp. 339-350.
42. Doi K, Sakai K, Kuwata N. *Double free-muscle transfer to restore prehension following complete brachial plexus avulsion*. J Hand Surg Am. 1995; 20:408-414.
43. Doumouchsis, S.K., Arulkumaran, S. *Are all brachial plexus injuries caused by shoulder dystocia?* Obstetrical and Gynecological Survey. 2009; 64 (9), pp. 615-623.
44. Dubový P, Raška O, Klusáková I, Stejskal L, Čelakovský P, Haninec P. *Ciliary neurotrophic factor promotes motor reinnervation of the musculocutaneous nerve in an experimental model of end-to-side neurorrhaphy*. BMC Neuroscience. 2011; 12, art. no. 58.
45. Duchenne G. *De l'électrisation localisée et de son application à la pathologie et à la thérapeutique*. Paris: JB Bailliére et fils. 1872; pp 357–362.
46. Ehler E, Ambler Z. *Mononeuropatie*. Galén, Praha, 2002.
47. El-Gammal TA, El-Sayed A, Kotb MM, Ragheb YF, Saleh WR, Elnakeeb RM, El-Sayed Semaya A. *Total obstetric brachial plexus palsy: results and strategy of microsurgical reconstruction*. Microsurgery. 2010; 30(3): 169–178.

48. El-Gammal TA, Abdel-Latif MM, Kotb MM, El-Sayed A, Ragheb YF, Saleh WR, Geith MA, Abdel-Ghaffar HS. *Intercostal nerve transfer in infants with obstetric brachial plexus palsy*. *Microsurgery*. 2008; 28 (7), pp. 499-504.
49. El-Gammal TA, El-Sayed A, Kotb MM, Saleh WR, Ragheb YF, El-Refai O. *Delayed selective neurotization for restoration of elbow and hand functions in late presenting obstetrical brachial plexus palsy*. *Journal of Reconstructive microsurgery*. 2014; 30 (4), pp. 271-274.
50. Erb W. *Über eine eigentümliche Lokalisation von Lähmungen im Plexusbrachialis*. *Naturhist Med Verh Heidelberg Verh*. 1874;2:130–136.
51. Estrella EP, Mella PM. *Double nerve transfer for elbow flexion in obstetric brachial plexus injury: A case report*. *Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery*. 2013; 66 (3), pp. 423-426.
52. Evans-Jones G, Kay SPJ, Weindling AM, Cranny G, Ward A, Bradshaw A, Hernon C. *Congenital brachial palsy: Incidence, causes, and outcome in the United Kingdom and Republic of Ireland*. *Arch Dis Child Fetal Neonatal*. 2003;88:F185–F189.
53. Foad SL, Mehlman CT, Ying J. *The epidemiology of neonatal brachial plexus palsy in the United States*. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A*. 2008; 90 (6), pp. 1258-1264.
54. Foerster O. *Die Kriegsschädigungen der peripheren Nerven, in von Schjening O (ed): Handbuch der Ärztlichen Erfahrungen im Weltkrieg 1914/1918: Geistes- und Nervenkrankheiten*. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1934, vol 4, pp 235–332.
55. Forssmann J. *Über die Ursachen, welche die Wachstumsrichtung der peripheren Nervenfasern bei der Regeneration bestimmen*. *Beitr. Pathol. Anat*. 1898; 24, 55.
56. Franz CK, Rutishauser U, Rafuse VF. *Polysialylated neural cell adhesion molecule is necessary for selective targeting of regenerating motor neurons*. *Journal of Neuroscience*. 2005; 25 (8), pp. 2081-2091.

57. Friedman AH, Nunley II JA, Goldner RD, Oakes WJ, Goldner JL, Urbaniak JR. *Nerve transposition for the restoration of elbow flexion following brachial plexus avulsion injuries*. Journal of Neurosurgery. 1991; 72 (1), pp. 59-64.
58. Fu SY, Gordon T. *Contributing factors to poor functional recovery after delayed nerve repair: Prolonged axotomy*. Journal of Neuroscience. 1995; 15 (5 II), pp. 3876-3885.
59. Fullarton AC, Myles LM, Lenihan DV, Hems TEJ, Glasb MA. *Obstetric brachial plexus palsy: A comparison of the degree of recovery after repair of a C6 ventral root avulsion in newborn and adult sheep*. British Journal of Plastic Surgery. 2001; 54 (8), pp. 697-704.
60. Gardner ED, Bunge RP. *Gross Anatomy of the Peripheral Nervous System*. Peripheral Neuropathy. 2005;1, pp. 11-33.
61. Garg R, Merrell GA, Hillstrom HJ, Wolfe SW. *Comparison of nerve transfers and nerve grafting for traumatic upper plexus palsy: A systematic review and analysis*. Journal of Bone and Joint Surgery - Series A. 2011; 93 (9), pp. 819-829.
62. Geuna S, Papalia I, Tos P. *End-to-side (terminolateral) nerve regeneration: a challenge for neuroscientists coming from an intriguing nerve repair concept*. Brain Res Rev. 2006; 52(2):381-388.
63. Gherman RB, Goodwin TM, Ouzounian JG, Miller DA, Paul RH. *Brachial plexus palsy associated with cesarean section: An in utero injury?* American Journal of Obstetrics and Gynecology. 1997; 177 (5), pp. 1162-1164.
64. Giannini C, Dyck PJ. *The fate of schwann cell basement membranes in permanently transected nerves*. Journal of Neuropathology and Experimental Neurology. 1990; 49 (6), pp. 550-563.
65. Gilbert A, Pivato G, Kheiralla T. *Long-term results of primary repair of brachial plexus lesions in children*. Microsurgery. 2006; 26(4): 334–342.



66. Gilbert A, Raimondi P. *Evaluation of results in obstetric brachial plexus palsy. The elbow*. International meeting on obstetric brachial plexus palsy. 1996; Heerlen, NL.
67. Gilbert A, Tassin J-L. *Obstetrical palsy : A clinical, pathologic and surgical review*. In: Terzis JK. editor. *Microreconstruction of Nerve Injuries*. Philadelphia:WB Saunders: 1987. p. 529.
68. Gilbert A, Razaboni R, Amar-Khodja S. *Indications and results of brachial plexus surgery in obstetrical palsy*. *Orthopedic Clinics of North America*. 1988; 19 (1), pp. 91-105.
69. Gilbert A, Tassin JL. *Surgery repair of the brachial plexus after obstetric paralysis*. *Chirurgie - Memoires de l'Academie de Chirurgie*. 1984; 110 (1), pp. 70-75.
70. Gilbert WM, Nesbitt TS, Danielsen B. *Associated factors in 1611 cases of brachial plexus injury*. *Obstetrics and Gynecology*. 1999; 93 (4), pp. 536-540.
71. Gonik B, McCormick E, Verweji. *The timing of congenital brachial plexus injury: a study of electromyographic findings in the newborn piglet*. *Am J Obstet Gynecol*. 1998;178:688-695.
72. Gramsbergen A, Ijkema-Paassen J, Meek MF. *Sciatic nerve transection in the adult rat: Abnormal EMG patterns during locomotion by aberrant innervation of hindleg muscles*. *Experimental Neurology*. 2000; 161 (1), pp. 183-193.
73. Gu YD, Wu MM, Zhen YL, Zhao JA, Zhang GM, Chen DS, Yan JG, Cheng XM. *Phrenic nerve transfer for brachial plexus motor neurotization*. *Microsurgery*. 1989; 10:287-289.
74. Gu YD, Shen LY. *Electrophysiological changes after severance of the C7 nerve root*. *Journal of Hand Surgery*. 1994; 19 (1), pp. 69-71.
75. Gu YD, Zhang GM, Chen DS, Yan JG, Cheng XM, Chen L. *Seventh cervical nerve root transfer from the contralateral healthy side for treatment of brachial plexus root avulsion*. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 1992; 17 (5), pp. 518-521.

76. Gutmann E, Hanzlíková V. *Motor unit in old age*. Nature. 1966; 209 (5026), pp. 921-922.
77. Haerle M, Gilbert A. *Management of complete obstetric brachial plexus lesions*. J Pediatr Orthop. 2004; 24:194–200.
78. Hale HB, Bae DS, Waters PM. *Current concepts in the management of brachial plexus birth palsy*. J Hand Surg Am. 2010; Feb;35(2):322–31.
79. Haninec P, Kaiser R, Brzezny R, Mencl L. *Chirurgická léčba porodní parézy brachiálního plexu*. Neonatologické listy. 2011; 17 (1).
80. Haninec P, Dubový P, Šámal F. *Reconstruction of elbow flexion, wrist and finger extension by transposition of pedicled latissimus dorsi muscle and flexor carpi ulnaris muscle*. Acta Chir Plast. 2001; 43(3):80-85.
81. Haninec P, Dubový P. *Origin of cells in contact with the growth cones of embryonal peripheral nerves and histochemical detection of nonspecific cholinesterase activity in quail-chick and chick-quail chimeras*. J Neurosci Res. 1992; 31(2):301-308.
82. Haninec P, Šámal F, Tomáš R, Houšťava L, Dubový P. *Direct repair (nerve grafting), neurotization, and end-to-side neurorrhaphy in the treatment of brachial plexus injury*. J Neurosurg. 2007; 106(3):391-399.
83. Haninec P. *Study of the origin of connective tissue sheaths of peripheral nerves in the limb of avian embryos*. Anat Embryol. 1988; 178(6):553-557.
84. Haninec P, Smrčka V. *Reconstruction of paralysed biceps brachii muscle by transposition of pedicled latissimus dorsi muscle: Report of two cases*. Acta Chir Plast. 1998; 40(2):41-44.
85. Haninec P, Szeder V. *Reconstruction of elbow flexion by transposition of pedicled long head of triceps brachii muscle*. Acta Chir Plast. 1999; 41(3):82-86.

86. Haninec P, Dubový P, Šámal F. *Reconstruction of elbow flexion, wrist and finger extension by transposition of pedicled latissimus dorsi muscle and flexor carpi ulnaris muscle*. Acta Chir Plast. 2001; 43(3):80-85.
87. Haninec P, Kaiser R, Bobek V, Dubový P. *Enhancement of musculocutaneous nerve reinnervation after vascular endothelial growth factor (VEGF) gene therapy*. BMC Neuroscience. 2012; 13 (1), art. no. 57.
88. Haninec P, Kaiser R. *Axillary nerve repair by fascicle transfer from the ulnar or median nerve in upper brachial plexus palsy*. Journal of Neurosurgery. 2012; 117 (3), pp. 610-614.
89. Haninec P, Mencl L, Kaiser R. *End-to-side neurorrhaphy in brachial plexus reconstruction*. Journal of Neurosurgery. 2013; 119 (3), pp. 689-694.
90. Harris W, Low VW. *On the importance of accurate muscular analysis in lesions of the brachial plexus and the treatment of Erb's palsy and infantile paralysis of the upper extremity by cross-union of nerve roots*. BMJ. 1903; 2:1035-1038.
91. Höke A, Redett R, Hameed H, Jari R, Zhou C, Li ZB, Griffin JW, Brushart TM. *Schwann cells express motor and sensory phenotypes that regulate axon regeneration*. Journal of Neuroscience. 2006; 26 (38), pp. 9646-9655.
92. Hentz VR, Meyer RD. *Brachial plexus microsurgery in children*. Microsurgery. 1991; 12 (3), pp. 175-185.
93. Hess JR, Brenner MJ, Myckatyn TM, Hunter DA, Mackinnon SE. *Influence of aging on regeneration in end-to-side neurorrhaphy*. Annals of Plastic Surgery. 2006; 57 (2), pp. 217-222.
94. Hight WB, Sanders FK. *The effects of stretching nerves after suture*. Br J Surg. 1943; 30:355-369.

95. Hoffman PN, Lasek RJ, Griffin JW, Price DL. *Slowing of the axonal transport of neurofilament proteins during development*. Journal of Neuroscience. 1983; 3 (8), pp. 1694-1700.
96. Hou Z, Xu Z. *Nerve transfer for treatment of brachial plexus injury: Comparison study between the transfer of partial median and ulnar nerves and that of phrenic and spinal accessory nerves*. Chinese Journal of Traumatology - English Edition. 2002; 5 (5), pp. 263-266.
97. Chauhan SP, Blackwell SB, Ananth CV. *Neonatal brachial plexus palsy: Incidence, prevalence, and temporal trends*. Seminars in Perinatology. 2014; 38 (4), pp. 210-218.
98. Chen L, Gu YD, Wang H. *Microsurgical reconstruction of obstetric brachial plexus palsy*. Microsurgery. 2008; 28(2): 108–112.
99. Chomiak J, Dungl P, Ošťádal M, Frydrychová M, Burian M. *Muscle transfers in children and adults improve external rotation in cases of obstetrical brachial plexus paralysis: A comparative study*. International Orthopaedics. 2014; 38 (4), pp. 803-810.
100. Chow BCL, Blaser S, Clarke HM. *Predictive value of computed tomographic myelography in obstetrical brachial plexus palsy*. Plastic and Reconstructive Surgery. 2000; 106 (5), pp. 971-977.
101. Chuang DCC, Mardini S, Ma HS. *Surgical strategy for infant obstetrical brachial plexus palsy: Experiences at Chang Gung Memorial Hospital*. Plast Reconstr Surg. 2005; 116: 132–142.
102. Chuang DC, Ma HS, Wei FC. *A new strategy of muscle transposition for treatment of shoulder deformity caused by obstetric brachial plexus palsy* Plastic and Reconstructive Surgery 1998; 101 (3), pp. 686-694.
103. Jahnke Jr. AH, Bovill DF, McCarroll Jr. HR, James P, Ashley RK. *Persistent brachial plexus birth palsies*. Journal of Pediatric Orthopaedics. 1991; 11 (4), pp. 533-537.

104. 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.
105. Johnston MV. *Clinical disorders of brain plasticity*. *Brain and Development*. 2004; 26 (2), pp. 73-80.
106. Jonsson S, Wiberg R, McGrath AM, Novikov LN, Wiberg M, Novikova LN, Kingham PJ. *Effect of Delayed Peripheral Nerve Repair on Nerve Regeneration, Schwann Cell Function and Target Muscle Recovery*. *PLoS ONE*. 2013; 8 (2), art. no. e56484.
107. Kaiser R, Haninec P. *Degeneration and regeneration of the peripheral nerve*. *Československá fyziologie / Ústřední ústav biologický*. 2012; 61 (1), pp. 9-14.
108. Kanje M, Arai T, Lundborg G. *Collateral sprouting from sensory and motor axons into an end to side attached nerve segment*. *NeuroReport*. 2000; 11 (11), pp. 2455-2459.
109. Kawabata H, Shibata T, Matsui Y, Yasui N. *Use of intercostal nerves for neurotization of the musculocutaneous nerve in infants with birth-related brachial plexus palsy*. *Journal of Neurosurgery*. 2001; 94 (3), pp. 386-391.
110. Keller O. *Analýza potenciálů motorických jednotek. Výsledky*. In Keller O, *Elektromyografie*. Troton, Praha, 1998: 27-58
111. Kennedy R. *On the resoration of co-ordinated movements after nerve crossing, with interchange of fiction of the cerebral cortical centres*. *Philos Trans R Soc London*. 1901; 194B:127-164.
112. Kennedy R. *Suture of the brachial plexus in birth paralysis of the upper extremity*. *Br Med J*. 1903;1:298–301.
113. Kline DG, Hudson AR, Kim DH. *Atlas of Peripheral Nerve Surgery*. Philadelphia, W.B. Saunders Co., 2001.

114. Kline DG. *Nerve surgery as it is now and as it may be*. Neurosurgery. 2000; 46(6): 1285-1293.
115. Kline DG, Hackett ER and May PR. *Evaluation of nerve injuries by evoked potentials and electromyography*. Journal of Neurosurgery 1969; 31(2): 128.
116. Klumpke A. *Paralysie radiculaires du plexus brachial, paralysies radiculaires totales, paralysies radiculaires inférieures. De la participation des filets sympathiques oculo-pupillaires dans ces paralysies*. Rev Med Paris. 1885;5:591–616, 739–790.
117. Komiyama A, Suzuki K. *Age-related differences in proliferative responses of Schwann cells during Wallerian degeneration*. Brain Research. 1992; 573 (2), pp. 267-275.
118. König, R.W., Antoniadis, G., Börm, W., Richter, H.-P., Kretschmer, T. *Role of intraoperative neurophysiology in primary surgery for obstetrical brachial plexus palsy*. Child's Nervous System. 2006; 22 (7), pp. 710-714.
119. Korak KJ, Tam SL, Gordon T, Frey M, Aszmann OC. *Changes in spinal cord architecture after brachial plexus injury in the newborn*. Brain. 2004; 127 (7), pp. 1488-1495.
120. Krumlinde-Sundholm L, Holmefur M, Kottorp A, Eliasson AC. *The Assisting Hand Assessment: Current evidence of validity, reliability, and responsiveness to change*. Developmental Medicine and Child Neurology. 2007; 49 (4), pp. 259-264.
121. Kuechle DK, Newman SR, Itoi E, Niebur GL, Morrey BF, An KN. *The relevance of the moment arm of shoulder muscles with respect to axial rotation of the glenohumeral joint in four positions*. Clinical Biomechanics. 2000; 15 (5), pp. 322-329.
122. La Scala GC, Rice SB, Clarke HM. *Complications of microsurgical reconstruction of obstetrical brachial plexus palsy*. Plastic and Reconstructive Surgery. 2003; 111 (4), pp. 1383-1388.

123. Ladak A, Morhart M, O'Grady K, Wong JN, Chan KM, Watt MJ, Olson JL. *Distal nerve transfers are effective in treating patients with upper trunk obstetrical brachial plexus injuries: An early experience*. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2013; 132 (6), pp. 985e-992e.
124. Laurent JP, Lee R, Shenaq S, Parke JT, Solis IS, Kowalik L. *Neurosurgical correction of upper brachial plexus birth injuries*. *J Neurosurg*. 1993; 79(2): 197–203.
125. Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpaiojkit C, Thuvasethakul P. *Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps, part II: A report of 7 cases*. *Journal of Hand Surgery*. 2003; 28 (4), pp. 633-638.
126. Lin H, Hou C, Chen D. *Contralateral C7 transfer for the treatment of upper obstetrical brachial plexus palsy*. *Pediatric Surgery International*. 2011; 27 (9), pp. 997-1001.
127. Lin H, Hou C, Chen D. *Modified C7 neurotization for the treatment of obstetrical brachial plexus palsy*. *Muscle and Nerve*. 2010; 42 (5), pp. 764-768.
128. Lin JC, Schwentker-Colizza A, Curtis CG, Clarke HM. *Final results of grafting versus neurolysis in obstetrical brachial plexus palsy*. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2009; 123 (3), pp. 939-948.
129. Liu J, Pho RWH, Kour AK, Zhang AH, Ong BKC. *Neurologic deficit and recovery in the donor limb following cross-C7 transfer in brachial-plexus injury*. *Journal of Reconstructive Microsurgery*. 1997; 13 (4), pp. 237-243.
130. Lo EY, Eastman J, Tseng S, Lee MA, Yoo BJ. *Neurovascular risks of anteroinferior clavicular plating*. *Orthopedics*. 2010; 33 (1), p. 21.
131. Loukas M, Grabska J, Tubbs RS, Louis Jr. RG. *An unusual union of the intercostobrachial nerve and the medial pectoral nerve*. *Folia Morphologica*. 2007; 66 (4), pp. 356-359.

132. Luedemann W, Hamm M, Blömer U, Samii M, Tatagiba M. *Brachial plexus neurotization with donor phrenic nerves and its effect on pulmonary function.* J Neurosurg. 2002; 96(3):523-526.
133. Lundborg G. *Nerve Injury and Repair.* Churchill Livingstone, New York. 1988.
134. Lundborg G. *A 25-year perspective of peripheral nerve surgery: Evolving neuroscientific concepts and clinical significance.* Journal of Hand Surgery. 2000; 25 (3), pp. 391-414.
135. Lundborg G. *Nerve injury and repair - A challenge to the plastic brain.* Journal of the Peripheral Nervous System. 2003; 8 (4), pp. 209-226.
136. Luo PB, Chen L, Zhou CH, Hu SN, Gu YD. *Results of intercostal nerve transfer to the musculocutaneous nerve in brachial plexus birth palsy.* Journal of Pediatric Orthopaedics. 2011; 31 (8), pp. 884-888.
137. Lurje A. *Concerning surgical treatment of traumatic injury of the upper division.* Annals of surgery. 1948; 127 (2), pp. 317-326.
138. Lykissas MG, Batistatou AK, Charalabopoulos KA, Beris AE. *The role of neurotrophins in axonal growth, guidance, and regeneration.* Current Neurovascular Research. 2007; 4 (2), pp. 143-151.
139. Mackinnon SE, Novak CB, Myckatyn TM, Tung TH. *Results of reinnervation of the biceps and brachialis muscles with a double fascicular transfer for elbow flexion.* Journal of Hand Surgery. 2005; 30 (5), pp. 978-985.
140. Magill CK, Tong A, Kawamura D, Hayashi A, Hunter DA, Parsadonian A, Mackinnon SE, Myckatyn TM. *Reinnervation of the tibialis anterior following sciatic nerve crush injury: A confocal microscopic study in transgenic mice.* Experimental Neurology. 2007; 207 (1), pp. 64-74.



141. Magnusson L. *New concepts of atelectasis during general anaesthesia*. British Journal of Anaesthesia. 2003; 91 (1), pp. 61-72.
142. Maillet M, Romana C. *Complete obstetric brachial plexus palsy: surgical improvement to recover a functional hand*. J Child Orthop. 2009; 3(2): 101–118.
143. Malessy MJA, W Pondaag . *Obstetric Brachial Plexus Injuries*. Neurosurgery Clinics of North America. 2009; 20(1): 1-14.
144. Malessy MJA. *Electromyography, nerve action potential, and compound motor action potentials in obstetric brachial plexus lesions: Validation in the absence of a "gold standard"*. Neurosurgery. 2009; 65(SUPPL. 4): A153-A159.
145. Malessy MJA, Pondaag W, Yang LJS, Hofstede-Buitenhuis SM, le Cessie S, van Dijk JG. *Severe obstetric brachial plexus palsies can be identified at one month of age*. PLoS ONE. 2011; 6 (10), art. no. e26193.
146. Mallett J. *Paralysie obstetricale du plexus brachial. Traitement des séquelles. Primauté du traitement de l'épaulé - Méthode d'expression des résultats*. Rev Chir Orthop. 1971; 58(suppl. 1 ): 166- 168.
147. Marcus JR, Clarke HM. *Management of obstetrical brachial plexus palsy evaluation, prognosis, and primary surgical treatment*. Clin Plast Surg. 2003; 30(2): 289–306.
148. Martini R, Schachner M, Brushart TM. *The L2/HNK-1 carbohydrate is preferentially expressed by previously motor axon-associated Schwann cells in reinnervated peripheral nerves*. Journal of Neuroscience. 1994;14 (11 II), pp. 7180-7191.
149. McFarland M, Hod M, Piper JM, Xenakis EM, Langer O. *Are labor abnormalities more common in shoulder dystocia?* American Journal of Obstetrics and Gynecology. 1995; 173 (4), pp. 1211-1214.
150. McGillicuddy JE. *Surgical relationship of the medial pectoral nerve to the musculocutaneous nerve: A cadaveric study*. Neurosurgery. 2001; 48: 207.

151. McRae MC, Borschel GH. *Transfer of triceps motor branches of the radial nerve to the axillary nerve with or without other nerve transfers provides antigravity shoulder abduction in pediatric brachial plexus injury.* Hand. 2012; 7 (2), pp. 186-190.
152. Mencl L, Waldauf P, Haninec P. *Results of nerve reconstructions in treatment of obstetrical brachial plexus injuries.* Acta Neurochirurgica. 2015; 157 (4), pp. 673-680.
153. Michelow BJ, Clarke HM, Curtis CG, Zuker RM, Seifu Y, Andrews DF, Laurent JP. *The natural history of obstetrical brachial plexus palsy.* Plastic and Reconstructive Surgery. 1994; 93 (4), pp. 675-681.
154. Millesi H. *Coordinated function oriented movements after multiple root avulsion.* Acta Neurochir Suppl. 2007; 100:117-9.
155. Millesi H. *Nerve grafting.* Clin Plast Surg. 1984; 11:105-113.
156. Narakas A. *Obstetrical brachial plexus injuries.* In: Lamb D, editor. The Paralyzed Hand. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1987. pp 116–135.
157. Narakas, A., Allieu, Y., Alnot, J.Y., Brunelli, G., Merle, M., Santos-Palazzi, A. *Paralysis of the Brachial Plexus.* 1989; pp. 130-162.
158. Noaman HH, Shiha AE, Bahm J. *Oberlin's ulnar nerve transfer to the biceps motor nerve in obstetric brachial plexus palsy: Indications, and good and bad results.* Microsurgery. 2004; 24 (3), pp. 182-187.
159. Oberlin C, Beal D, Leechavengvongs S, Salon A, Sarcy JJ. *Nerve transfer to biceps muscle using a part of ulnar nerve for C5-C6 avulsion of the brachial plexus: anatomical study and report of four cases.* J Hand Surg Am. 1994; 19:232-237.
160. Pan YA, Misgeld T, Lichtman JW, Sanes JR. *Effects of Neurotoxic and Neuroprotective Agents on Peripheral Nerve Regeneration Assayed by Time-Lapse Imaging In Vivo.* Journal of Neuroscience. 2003; 23 (36), pp. 11479-11488.

161. Pagnotta A, Haerle M, Gilbert A. *Long-term results on abduction and external rotation of the shoulder after latissimus dorsi transfer for sequelae of obstetric palsy.* Clinical Orthopaedics and Related Research. 2004; (426), pp. 199-205.
162. Papalia I, Cardaci A, d'Alcontres FS, Lee JM, Tos P, Geuna S. *Selection of the donor nerve for end-to-side neurorrhaphy.* J Neurosurg. 2007; 107(2):378-382.
163. Parhad IM, Scott JN, Cellars LA, Bains JS, Krekoski CA, Clark AW. *Axonal atrophy in aging is associated with a decline in neurofilament gene expression.* Journal of Neuroscience Research. 1995; 41 (3), pp. 355-366.
164. Pondaag W, Gilbert A. *Results of end-to-side nerve coaptation in severe obstetric brachial plexus lesions.* Neurosurgery. 2008; Mar 62(3): 656–663.
165. Pondaag W, De Boer R, Van Wijlen-Hempel MS, Hofstede-Buitenhuis SM, Malessy MJA. *External rotation as a result of suprascapular nerve neurotization in obstetric brachial plexus lesions.* Neurosurgery. 2005; 57 (3), pp. 530-536.
166. Pondaag W, Malessy MJA. *Recovery of hand function following nerve grafting and transfer in obstetric brachial plexus lesions.* Journal of Neurosurgery. 2006; 105 Pediatrics (suppl. 1), pp. 33-40.
167. Pondaag W, Malessy MJA, Van Dijk JG, Thomeer RTWM. *Natural history of obstetric brachial plexus palsy: A systematic review.* Developmental Medicine and Child Neurology. 2004; 46 (2), pp. 138-144.
168. Pondaag W, Malessy MJA. *Recovery of hand function following nerve grafting and transfer in obstetric brachial plexus lesions.* Journal of Neurosurgery. 2006; 105 Pediatrics (suppl. 1), pp. 33-40.

169. Pondaag, W, Van Der Veken LPAJ, Van Someren PJ, Van Dijk JG, Malessy MJA. *Intraoperative nerve action and compound motor action potential recordings in patients with obstetric brachial plexus lesions*. Journal of Neurosurgery. 2008; 109(5): 946-954.
170. Price AE, DiTaranto P, Yaylali I, Tidwell MA, Grossman JAI. *Botulinum toxin type A as an adjunct to the surgical treatment of the medial rotation deformity of the shoulder in birth injuries of the brachial plexus*. Journal of Bone and Joint Surgery - Series B. 2007; 89 (3), pp. 327-329.
171. Raimondi P. *Evaluation of results in obstetric brachial plexus palsy*. The hand. International meeting on obstetric brachial plexus palsy. Heerlen, NL;1993.
172. Romana C, Gibon E, Vialle R. *Total ipsilateral C7 root neurotization to the upper trunk for isolated C5-C6 avulsion in obstetrical brachial plexus palsy: A preliminary technical report*. Child's Nervous System. 2014; 30 (5), pp. 931-935.
173. Roth G. *Reinervation cases of obstetrical brachial-plexus palsy*. Journal of the Neurological Sciences. 1983; 58(1): 103-115.
174. Rouse DJ, Owen J, Goldenberg RL, Oliver SP. *The effectiveness and costs of elective cesarean delivery for fetal macrosomia diagnosed by ultrasound*. J Am Med Assoc. 1996;276:1480-1486.
175. Samii M. *Modern aspects of peripheral and cranial nerve surgery*. Adv Tech Stds Neurosurg. 1975; 2:33-85.
176. Sandow BA, Donnal JF. *Myelography complications and current practice patterns*. American Journal of Roentgenology. 2005; 185 (3), pp. 768-771.
177. Seddon H. *Surgical Disorders of the Peripheral Nerves, 2nd ed*. London: Churchill Livingstone. 1972.

178. Seddon HJ. *Nerve grafting*. The Journal of bone and joint surgery. British volume. 1963; 45, pp. 447-461.
179. Seltzer Z, Devor M. *Ephaptic transmission in chronically damaged peripheral nerves*. Neurology. 1979; 29 (7), pp. 1061-1064.
180. Serafini G, Cornara G, Cavalloro F, Mori A, Dore R, Marraro G, Braschi A. *Pulmonary atelectasis during paediatric anaesthesia: CT scan evaluation and effect of positive endexpiratory pressure*. Paediatric Anaesthesia. 1999; 9 (3), pp. 225-228.
181. Sever J. *Obstetric paralysis*. Am J Dis Child 1916;12, pp.541-578
182. Schmidhammer R, Nógrádi A, Szabó A, Redl H, Hausner T, van der Nest DG, Millesi H. *Synergistic motor nerve fiber transfer between different nerves through the use of end-to-side coaptation*. Exp Neurol. 2009; 217(2):388-394.
183. Siqueira MG, Socolovsky M, Heise CO, Martins RS, Di Masi G. *Efficacy and safety of Oberlin's procedure in the treatment of brachial plexus birth palsy*. Neurosurgery. 2012; 71 (6), pp. 1156-1160.
184. Smellie W. *A Collection of Preternatural Cases and Observations in Midwifery*, Vol. 3. London: Wilson and Durham; 1764. pp 504– 507.
185. Son YJ, Thompson WJ. *Schwann cell processes guide regeneration of peripheral axons*. Neuron. 1995; 14 (1), pp. 125-132.
186. Song J, Chen L, Gu Y. *Effect of ipsilateral C7 nerve root transfer on restoration of rat upper trunk muscle and nerve function after brachial plexus root avulsion*. Orthopedics. 2010; 33 (12).
187. Songcharoen P, Mahaisavariya B, Wongtrakul S, Lamsam C. *Ipsilateral median nerve's fascicle transfer for restoration of elbow flexion in root avulsion brachial plexus injury*. J Thai Orthop Surg. 2001; 26:93-95.

188. Songcharoen P. *Management of brachial plexus injury in adults*. Scand J Surg. 2008; 97(4):317-323.
189. Steens SCA, Pondaag W, Malessy MJA, Verbist BM. *Obstetric brachial plexus lesions: CT myelography*. Radiology. 2011; 259 (2), pp. 508-515.
190. Stejskal L, Haninec P. *Indikace k chirurgické rekonstrukci pažní pleteně. Elektrodiagnostika. Výsledky rekonstrukcí*. Čes a slov neurol neurochir. 1997; 60/93: 126-133.
191. Sunderland S. *Mechanisms of cervical root avulsion in injuries of the neck and shoulder*. J Neurosurg. 1974; 41:705–714.
192. Sunderland S. *Nerves and nerve injuries*. Churchill Livingstone, Edinburgh. 1972.
193. Sunderland S. *Nerve Injuries and Their Repair: A Critical Appraisal*. Churchill Livingstone Edingburgh. 1991.
194. Sungpet A, Suphachatwong C, Kawinwonggowit V. *One-fascicle median nerve transfer to biceps muscle in C5 and C6 root avulsions of brachial plexus injury*. Microsurgery. 2003; 23 (1), pp. 10-13.
195. Sungpet A, Suphachatwong C, Kawinwonggowit V. *Sensory abnormalities after the seventh cervical nerve root transfer*. Microsurgery. 1999; 19 (6), pp. 287-288.
196. Sungpet A, Suphachatwong C, Kawinwonggowith V. *Restoration of shoulder abduction in brachial plexus injury with phrenic nerve transfer*. Australian and New Zealand Journal of Surgery. 2000; 70 (11), pp. 783-785.
197. Šámal F, Haninec P, Raška O, Dubový P. *Quantitative assessment of the ability of collateral sprouting of the motor and primary sensory neurons after the end-to-side neurorrhaphy of the rat musculocutaneous nerve with the ulnar nerve*. Ann Anat. 2006; 188(4):337-344.

198. Tanaka K, Zhang QL, Webster HdeF m. *Myelinated fiber regeneration after sciatic nerve crush: Morphometric observations in young adult and aging mice and the effects of macrophage suppression and conditioning lesions*. *Experimental Neurology*. 1992; 118 (1), pp. 53-61.
199. Tannemaat MR, Korecka J, Ehlert EME, Mason MRJ, Van Duinen SG, Boer GJ, Malessy MJA, Verhaagen J. *Human neuroma contains increased levels of semaphorin 3A, which surrounds nerve fibers and reduces neurite extension in vitro*. *Journal of Neuroscience*. 2007; 27 (52), pp. 14260-14264.
200. Terzis JK, Kokkalis ZT. *Outcomes of hand reconstruction in obstetric brachial plexus palsy*. *Plast Reconstr Surg*. 2008; 122(2):516–526
201. Terzis JK, Kokkalis ZT. *Elbow flexion after primary reconstruction in obstetric brachial plexus palsy*. *Journal of Hand Surgery: European Volume*. 2009; 34 (4), pp. 449-458.
202. Terzis JK, Kostas I, Soucacos PN. *Restoration of shoulder function with nerve transfers in traumatic brachial plexus palsy patients*. *Microsurgery*. 2006; 26(4):316-324.
203. Terzis JK, Kostas I. *Outcomes with suprascapular nerve reconstruction in obstetrical brachial plexus patients*. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2008; 121 (4), pp. 1267-1278.
204. Terzis JK, Vekris MD, Soucacos PN. *Outcomes of brachial plexus reconstruction in 204 patients with devastating paralysis*. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1999; 104 (5), pp. 1221-1240.
205. Thatte MR, Agashe M, Rathod C, Lad P, Mehta R. *An approach to the supraclavicular and infraclavicular aspects of the brachial plexus*. *Techniques in Hand and Upper Extremity Surgery*. 2011; 15 (3), pp. 188-197.

206. Tiel RL, Happel Jr. LT, Kline DG. *Nerve action potential recording method and equipment*. Neurosurgery. 1966; 39(1): 103-109.
207. Tomáš R. *Elektromyografie a somatosensorické evokované potenciály v intraoperační monitoraci neurochirurgických nemocných se zaměřením na úrazy plexus brachialis a patologické léze v centrální krajině mozku*. Dizertační práce. 2005.
208. Travill AA. *Electromyographic study of the extensor apparatus of the forearm*. Anat Rec. 1962;144:373–6.
209. Tse R, Kozin SH, Malessy MJ, Clarke HM. *International federation of societies for surgery of the Hand Committee report: The role of nerve transfers in the treatment of neonatal brachial plexus palsy*. Journal of Hand Surgery. 2015; 40 (6), pp. 1246-1259.
210. Tse R, Marcus JR, Curtis CG, Dupuis A, Clarke HM. *Suprascapular nerve reconstruction in obstetrical brachial plexus palsy: Spinal accessory nerve transfer versus C5 root grafting*. Plastic and Reconst Surgery. 2011; 127 (6), pp. 2391-2396.
211. Tse R, Nixon JN, Iyer RS, Kuhlman-Wood KA, Ishak GE. *The diagnostic value of CT myelography, MR myelography, and both in neonatal brachial plexus palsy*. American Journal of Neuroradiology. 2014; 35 (7), pp. 1425-1432.
212. Tse R, Pondaag W, Malessy M. *Exposure of the retroclavicular brachial plexus by clavicle suspension for birth brachial plexus palsy*. Techniques in Hand and Upper Extremity Surgery. 2014; 18 (2), pp. 85-88.
213. Tung TH, Mackinnon SE. *Nerve Transfers: Indications, Techniques, and Outcomes*. Journal of Hand Surgery. 2010; 35 (2), pp. 332-341.
214. Tuttle HK. *Exposure of the brachial plexus with nerve transplantation*. JAMA. 1913; 61:15-17.



215. Udina E, Cobianchi S, Allodi I, Navarro X. *Effects of activity-dependent strategies on regeneration and plasticity after peripheral nerve injuries*. *Annals of Anatomy*. 2011; 193 (4), pp. 347-353.
216. Uysal II, Seker M, Karabulut AK, Büyükmumcu M, Ziylan T. *Brachial plexus variations in human fetuses*. *Neurosurgery*. 2003; 53(3):676–684.
217. Van Dijk J, Pondaag W, Malessy MJA. *Obstetric lesions of the brachial plexus*. *Muscle and Nerve*. 2001; 24 (11), pp. 1451-1461.
218. Van Dijk JG, Pondaag W, Buitenhuis SM, Van Zwet EW, Malessy MJA. *Needle electromyography at 1 month predicts paralysis of elbow flexion at 3months in obstetric brachial plexus lesions*. *Developmental Medicine and Child Neurology*. 2012; 54 (8), pp. 753-758.
219. Van Dijk JG, Pondaag W, Malessy MJA. *Botulinum toxin and the pathophysiology of obstetric brachial plexus lesions*. *Developmental Medicine and Child Neurology*. 2007; 49 (4), p. 318.
220. Van Gert Dijk J, Pondaag W, Malessy MJA. *Obstetric lesions of the brachial plexus*. *Muscle and Nerve*. 2001; 24 (11), pp. 1451-1461..doi: 10.1002/mus.1168.
221. Van Ouwerkerk WJR, Strijers RLM, Barkhof F, Umans U, Vanderfop WP. *Detection of root avulsion in the dominant C7 obstetric brachial plexus lesion: Experience with three-dimensional constructive interference in steady-state magnetic resonance imaging and electrophysiology*. *Neurosurgery*. 2005; 57 (5), pp. 930-938.
222. Vekris MD, Lykissas MG, Beris AE, Manoudis G, Vekris AD, Soucacos P. *Management of obstetrical brachial plexus palsy with early plexus microreconstruction and late muscle transfers*. *Microsurgery*. 2008; 28 (4), pp. 252-261.

223. Verdú E, Ceballos D, Vilches JJ, Navarro X. *Influence of aging on peripheral nerve function and regeneration*. Journal of the Peripheral Nervous System. 2000; 5 (4), pp. 191-208.
224. Viterbo F, Trinidad JC, Hoshino K, Mazzoni A. *Latero-terminal neuroorrhaphy without removal of the epineural sheath: experimental study in rats*. Sao Paulo Med J. 1992; 110:267-275.
225. Vredevelde JW, Blaauw G, Slooff BACJ, Richards R, Rozeman SCAM. *The findings in paediatric obstetric brachial palsy differ from those in older patients: A suggested explanation*. Developmental Medicine and Child Neurology. 2000; 42 (3), pp. 158-161.
226. Wadsworth C, Krishnan R, Şar M, Harrold J, Nielsen D. *Interrater reliability of manual muscle testing and hand held dynamometric muscle testing*. Phys Ther. 1987;67: 1312- 1346.
227. 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.
228. Waters PM. *Comparison of the natural history, the outcome of microsurgical repair, and the outcome of operative reconstruction in brachial plexus birth palsy*. J Bone Joint Surg (Am). 1999; 81: 649–659.
229. Wellons III JC, Tubbs RS, Pugh JA, Bradley NJ, Law CR, Grabb PA. *Medial pectoral nerve to musculocutaneous nerve neurotization for the treatment of persistent birth-related brachial plexus palsy: An 11-year institutional experience*. Journal of Neurosurgery: Pediatrics. 2009; 3 (5), pp. 348-353.

230. Werner SD, Reed J, Hanson T, Jaeblo T. *Anatomic relationships after instrumentation of the midshaft clavicle with 3.5-mm reconstruction plating: An anatomic study*. Journal of Orthopaedic Trauma. 2011; 25 (11), pp. 657-660.
231. Witoonchart K, Leechavengvongs S, Uerpairojkit C, Thuvasethakul P, Ongnopsuwan V. *Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps, part I: An anatomic feasibility study*. Journal of Hand Surgery. 2003; 28 (4), pp. 628-632.
232. Witzel C, Rohde C, Brushart TM. *Pathway sampling by regenerating peripheral axons*. Journal of Comparative Neurology. 2005; 485 (3), pp. 183-190.
233. Wyeth JA, Sharpe W. *The field of neurological surgery in a general hospital*. Surg Gynecol Obstet 1917;24:29–36.
234. Yamazaki H, Doi K, Hattori Y, Sakamoto S. *Computerized tomography myelography with coronal and oblique coronal view for diagnosis of nerve root avulsion in brachial plexus injury*. Journal of Brachial Plexus and Peripheral Nerve Injury. 2007; 2 (1), art. no. 16.
235. Zheng MX, Xu WD, Qiu YQ, Xu JG, Gu YD. *Phrenic nerve transfer for elbow flexion and intercostal nerve transfer for elbow extension*. Journal of Hand Surgery. 2010; 35 (8), pp. 1304-1309.
236. Zvěřina E, Kredba J. *The significance of investigating somatosensory cerebral evoked potentials in brachial plexus injuries*. Cesk Slov Neurol N. 1977; 40(4):240-50.
237. Zvěřina E, Škorpil V. *Differential diagnosis between the tearing of nerve roots from the spinal cord and a peripheral lesion of the brachial plexus*. Rozhl Chir. 1968; 47(2):99-105.

238. Zvěřina E, Škorpil V. *Possibilities of the electromyography diagnosis of brachial plexus injury*. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1969; 26(2):233.
239. Zvěřina E, Stejskal L. *Poranění periferních nervů*. Avicenum, Praha, 1979.

## **8. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ**

### **Obrázky**

- Obrázek 1. Lokální buněčná odpověď po poranění nervu
- Obrázek 2. Poranění horního typu
- Obrázek 3. EMG vyšetření
- Obrázek 4. CT PMG
- Obrázek 5. Rekonstrukce celého brachiálního plexu z kořene C5 a C6
- Obrázek 6. Neurotizace n.musculocutaneus pomocí 3 nn.pectorales
- Obrázek 7. Neurotizace n.suprascapularis pomocí n. accesorius
- Obrázek 8. Neurotizace n.axilaris pomocí motorické větve n. radialis pro m. triceps
- Obrázek 9. End-to-side neurotizace kořene C8 z kořene C7
- Obrázek 10. Aktivní rehabilitace

### **Tabulky**

- Tabulka 1. Mallet skóre
- Tabulka 2. AMS skóre
- Tabulka 3. Souhrn pacientů s horním typem poranění
- Tabulka 4. Souhrn pacientů s kompletním poraněním
- Tabulka 5. Předoperační a pooperační AMS vybraných pohybů a úspěšnost (Skupina 1)
- Tabulka 6. Předoperační a pooperační AMS vybraných pohybů a úspěšnost (Skupina 2)

### **Grafy**

- Graf 1. Vzestupný trend celkového AMS v prediktivním modelu
- Graf 2. Predikce funkční obnovy pohybů horní končetiny
- Graf 3. Srovnání úspěšnosti operace u skupiny 1 a skupiny 2

## 9. PUBLIKAČNÍ A PŘEDNÁŠKOVÁ ČINNOST

### PUBLIKACE SE VZTAHEM K DIZERTACI – S IF

1. Mencl, L., Waldauf, P., Haninec, P. Results of nerve reconstructions in treatment of obstetrical brachial plexus injuries (2015) *Acta Neurochirurgica*, 157 (4), pp. 673-680. **IF 1,79**
2. Haninec, P., Kaiser, R., Mencl, L., Waldauf, P. Usefulness of screening tools in the evaluation of long-term effectiveness of DREZ lesioning in the treatment of neuropathic pain after brachial plexus injury (2014) *BMC Neurology*, 14 (1), art. no. 225 **IF 2,49**
3. Kaiser, R., Mencl, L., Haninec, P. Injuries associated with serious brachial plexus involvement in polytrauma among patients requiring surgical repair (2014) *Injury*, 45 (1), pp. 223-226. **IF 2,46**
4. Haninec, P., Mencl, L., Kaiser, R. End-to-side neuroorrhaphy in brachial plexus reconstruction (2013) *Journal of Neurosurgery*, 119 (3), pp. 689-694. **IF 3,15**
5. Haninec, P., Mencl, L., Bačinský, P., Kaiser, R. Serious axillary nerve injury caused by subscapular artery compression resulting from use of backpacks (2013) *Journal of Neurological Surgery, Part A: Central European Neurosurgery*, 74 (SUPPL.1), pp. e225-e228. **IF 0,49**
6. Kaiser R, Houšťava L, Mencl L, Brzezny R, Haninec P. Operační léčba poranění peroneálního nervu. *Cesk Slov Neurol N*. 2011; 74/107(2): 187 - 190. **IF 0,393**

### PUBLIKACE SE VZTAHEM K DIZERTACI – BEZ IF

7. Haninec P, Kaiser R, Brzezny R, Mencl L. Chirurgická léčba porodní parézy brachiálního plexu. *Neonatal Listy*. 2011; 17(1):3-8.

## PUBLIKACE BEZ VZTAHU K DIZERTACI – S IF

8. Stetkarova I, Brabec K, Mencl L., Intrathecal baclofen in spinal spasticity: frequency and severity of withdrawal syndrome. *Pain Physician* 2015 (v tisku) **IF 3,54**
9. Widimský, P., Mot'ovská, Z., Havlůj, L., Ondráková, M., Bartoška, R., Bittner, L., Dušek, L., Džupa, V., Knot, J., Krbec, M., Mencl, L., Pchl, J., Grill, R., Haninec, P., Waldauf, P., Gürlich, R. Perioperative cardiovascular complications versus perioperative bleeding in consecutive patients with known cardiac disease undergoing non-cardiac surgery. Focus on antithrombotic medication. (2014) *Netherlands Heart Journal*, 22 (9), pp. 372-379. **IF 2,26**
10. Kaiser R, Mencl L, Haninec P. Lehké mozkové poranění: intrakraniální komplikace a indikační kritéria pro CT vyšetření. *Cesk Slov Neurol N.* 2011; 74/107(3): 330 - 334. **IF 0,393**
11. Kaiser R, Houšťava L, Mencl L, Haninec P. Organizovaný chronický subdurální hematom. *Cesk Slov Neurol N.* 2011; 74/107(3): 353 – 356. **IF 0,393**
12. Kaiser R, Mencl L, Haninec P. Lehké mozkové poranění: intrakraniální komplikace a indikační kritéria pro CT vyšetření. *Cesk Slov Neurol N.* 2011; 74/107(3): 330 - 334. **IF 0,393**
13. Kaiser R, Houšťava L, Mencl L, Haninec P. Organizovaný chronický subdurální hematom. *Cesk Slov Neurol N.* 2011; 74/107(3): 353 – 356. **IF 0,393**

## KAPITOLY V KNIHÁCH

Haninec P, Mencl L. Neurochirurgická léčba spasticity. In: Štetkářová I, Ehler E, Jech R. Spasticita a její léčba. Praha, 2012

### Přednášky

Haninec P, Dubový P, Kaiser R, Mencl L. Use of end-to-side anastomosis in brachial plexus injury. *Int. Symp. Peripheral Nerve Repair and Regeneration*, Torino, Italy, 4. – 5. 12. 2009.

Haninec P, Dubový P, Mencl L, Kaiser R, Houšťava L. Comparison of end-to-end and end-to-side neurorrhaphy in treatment of brachial plexus injury. *Joint Meeting*, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 22. – 24. 4. 2010.

Haninec P, Dubový P, Mencl L, Kaiser R, Houšťava L. Use of the end-to-side neurorrhaphy in treatment of brachial plexus injury. *2nd Sino – European meeting on brachial plexus reconstructive surgery*, Shanghai, China. 22. – 25. 10. 2010.

Haninec P, Mencl L, Kaiser R, Houšťava L, Dubový P. Poporodní poranění pažní pleteně. V. Janskolázeňské symposium. Jánské Lázně, 13. – 15. 1. 2011.

Haninec P, Mencl L, Kaiser R, Houšťava L, Dubový P. Poporodní poranění pažní pleteně. VI. traumatologický den. Praha, 12. 5. 2011.

Kaiser R, Mencl L, Haninec P. Komoce mozku: komplikace a indikační kritéria k CT vyšetření. VI. traumatologický den. Praha, 12. 5. 2011.

Haninec P, Dubový P, Kaiser R, Mencl L, Brzezny R. End-to-side neuroorrhaphy in the treatment of adult brachial plexus injury. XVII. international symposium on brachial plexus surgery. Lisbon, Portugal, 19. – 21. 5. 2011

Haninec P, Mencl L, Kaiser R, Houšťava L, Dubový P. Operační léčba porodního poranění plexus brachialis. 45. česko-slovenské dny dětské neurologie, Plzeň, 26. - 28. 5. 2011

Vasko P, Leis A, Bocek V, Stetkarova I, Mencl L, Cutaneus silent period in brachial plexus injury. 30th International Congress of Clinical Neurophysiology of the IFCN, 2014 (Abstract of poster presentations, Clin Neurophys 125)

Štětkářová I, Brabec K, Mencl L. Výskyt syndromu náhlého odnětí u nemocných léčených intratekálním baclofenem. 28.český a slovenský neurologický sjezd, Ostrava, 19. - 22.11.2014