

# Možnosti rekonstrukce poraněného brachiálního plexu

**MUDr. Ivan Humhej, Ph.D., prof. MUDr. Martin Sameš, CSc.**

Neurochirurgická klinika FZS UJEP, Masarykova nemocnice v Ústí nad Labem, o.z., Krajská zdravotní, a.s.

Chirurgická léčba poraněného brachiálního plexu (BP) zaznamenala v posledních desetiletích výrazný pokrok a rozvoj. V současné době umožňují techniky primární rekonstrukce BP (štěpování a neurotizace) i sekundární korekční zákroky (šlachové a svalové transfery, volné svalové přenosy, artrodézy a další zákroky na kloubech a kostech) výrazné zlepšení funkce postižené horní končetiny u tohoto invalidizujícího poranění. Podmínkou pro dosažení nejlepších možných výsledků léčby je komplexní a individuální přístup k pacientovi v rámci multidisciplinárního týmu odborníků věnujících se této problematice. Zásadní význam pro výsledný stav má i adekvátní a dlouhodobě vedená pooperační péče. Přestože se postižená horní končetina u nejtěžších typů poranění BP nikdy nevrátí do plně funkčního stavu, představuje každé zlepšení kondice paretické končetiny pro postiženého zásadní posun v kvalitě života.

**Klíčová slova:** poranění brachiálního plexu, mikrochirurgická rekonstrukce, štěpování, nervový transfer, sekundární korekce.

## Reconstruction possibilities of injured brachial plexus

Surgical management of brachial plexus (BP) injuries has achieved significant evolution throughout the last decades. Currently, primary techniques of BP reconstruction (grafting, neurotization) along with secondary correction procedures (tendon transfers, free functional muscle transfers, arthrodesis, other bone/joint procedures), allow a high degree of functional recovery of the disabled limbs. The main requirement for achieving ideal therapeutic results, is a complex approach by a team of experienced specialists, tailored to each individual patient accordingly. Adequately planned long-term postoperative care is a crucial component of the therapeutic process. Although patients with severe cases of BP injury have little chance regaining full physical function, even minor functional improvement of the paretic limb results in major improvement in overall quality of life.

**Key words:** brachial plexus injury, microsurgical reconstruction, grafting, nerve transfer, secondary correction.

## Úvod

Brachiální plexus (BP) představuje komplexní nervovou strukturu zajišťující senzitivní i motorickou inervaci horní končetiny. Poranění této pleteně způsobí ztrátu funkce inervované končetiny, jejíž tíže a rozsah odpovídá míře a části postižení plexu. Vzhledem k významnosti BP pro funkci horní končetiny se nezdá jedná o invalidizující postižení. Situace je o to závažnější, že postižena bývá často mladá a aktivní populace v produktivním věku, což má vážné socioekonomické dopady (Krishnan et al., 2008).

Mezi nejčastější příčiny poranění BP u dospělých patří úrazy, u nichž dojde k zavřené lézi struktur BP. Často jde o součást těžkých polytraumat, zejména dopravních nehod (dominantně motonehod), dále sportovních úrazů a pádů z výšky (Haninec et Kaiser, 2011). Polytrauma může v iniciální fázi poranění BP zastínit, k jeho odhalení se dospěje až s odstupem po stabilizaci základních životních funkcí a ošetření poranění bezprostředně ohrožujících postiženého. Mnohem vzácněji se setkáváme s otevřenými poraněními BP, jako jsou poranění bodná, sečná a střelná. Iatrogenní léze mohou vzniknout při

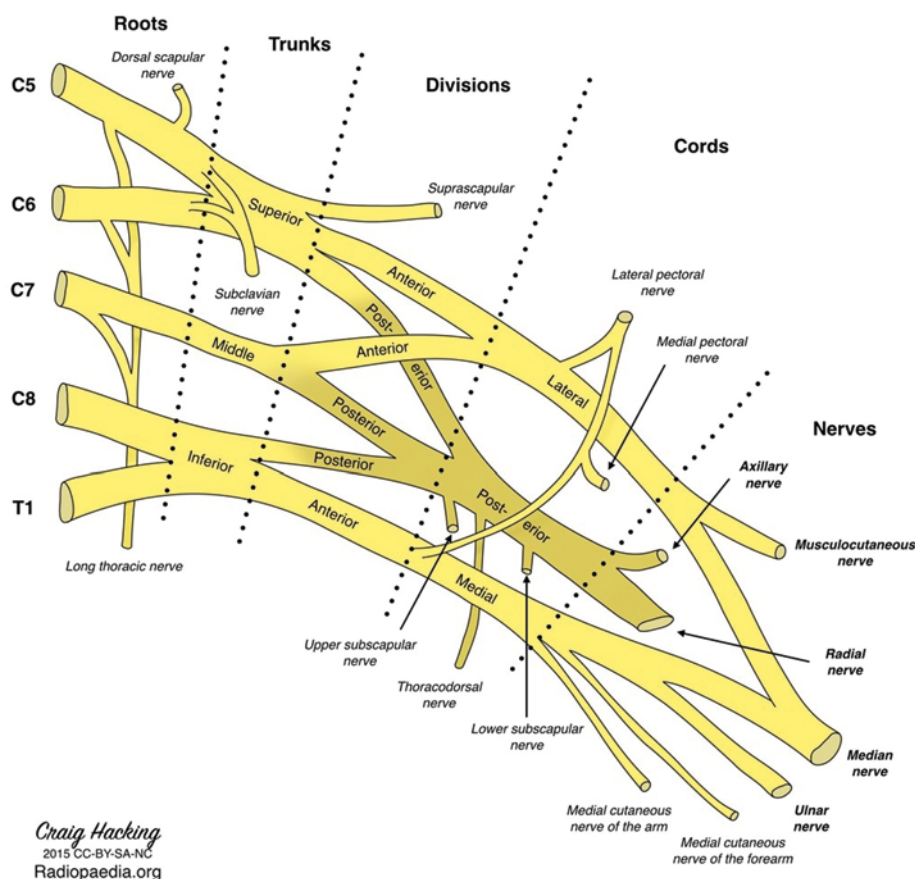
operativě v oblasti plexu z nejrůznějších indikací, například při resekcích tumorů, lymfatických uzlin, operacích rotátorové manžety, arthroplastikách ramenního kloubu, stabilizacích fraktur klavikuly. K iatrogennímu poranění může dojít ale i nepřímo, trakčně při špatné poloze pacienta během dlouhých neurochirurgických či hrudních operacích nebo při instrumentacích krční páteře (Dengler et al., 2017). U dětí bývá nejčastější příčinou léze BP trakční poranění vzniklé při porodu, jehož incidence je v evropských zemích udávána mezi 1–2 případy na 1 000 živě narozených dětí (Haninec et Mencl, 2017), následované



KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA: MUDr. Ivan Humhej, Ph.D., ivan.humhej@kzcr.eu  
Neurochirurgická klinika Fakulty zdravotnických studií Univerzity Jana Evangelisty Purkyně  
MN v Ústí nad Labem, o.z., Krajská zdravotní, a.s., Sociální péče 12A, 401 13 Ústí nad Labem

Cit. zkr: Neurol. praxi 2019; 20(4): 249–258  
Článek přijat redakcí: 4. 3. 2019  
Článek přijat k publikaci: 10. 6. 2019

**Obr. 1.** Schéma brachiálního plexu (obrázek převzat z <https://radiopaedia.org/>)



poraněním v důsledku dopravní nehody (auto-nehoda, sražení chodce).

Ať už je důvodem léze BP jakákoliv příčina, vždy hraje klíčovou roli v diagnostice a stanovení dalšího terapeutického postupu podrobná anamnéza a fyzikální vyšetření, založené na detailní znalosti komplexní anatomie BP (obrázek 1) i senzitivní a motorické inervace postižené končetiny jednotlivými strukturami ple-

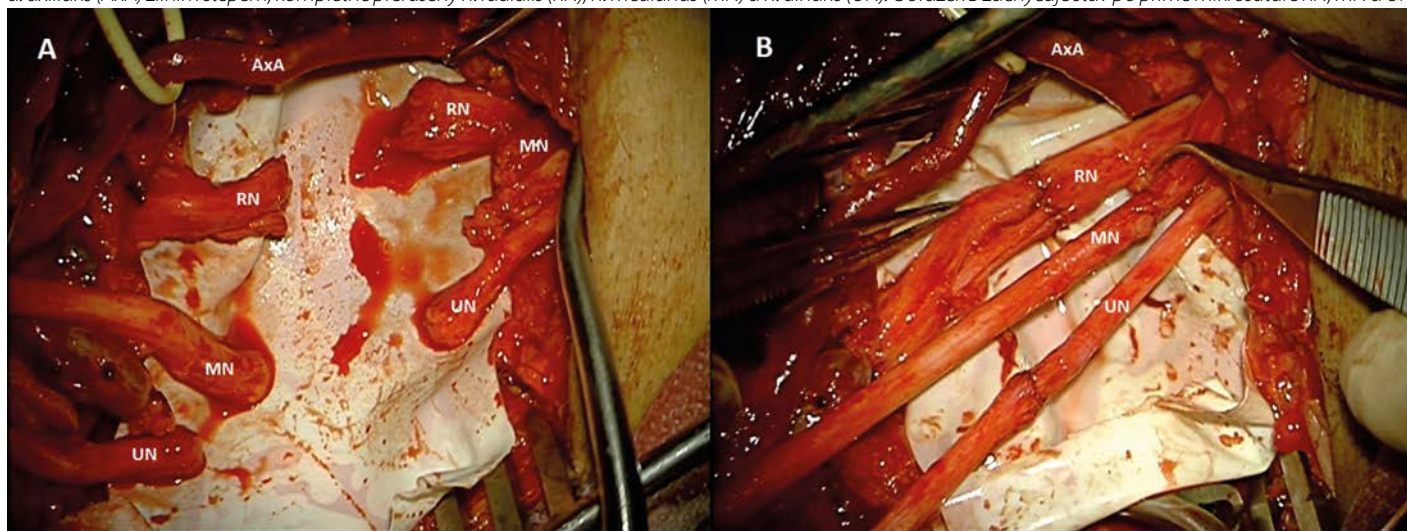
xu. Nezastupitelnou roli plní i elektrofyziologické vyšetření (kondukční studie, jehlová elektromyografie) a některá grafická vyšetření s ohledem na konkrétní typ patologie plexu a případná přidružená poranění okolních struktur. Vlastní nervové struktury BP nejlépe zobrazí magnetická rezonance (MR), která patří dnes již k běžně dostupným vyšetřovacím modalitám s rutinním použitím u patologií měkkých tkání, u kterých

poskytuje excelentní kontrast (Eppenberger et al., 2014). Kromě konvenčních sekvencí MR a MR myelografie (sekvence ke zobrazení intradurálního průběhu nervových kořenů) se do klinické praxe postupně zavádějí i takzvané pokročilé techniky magnetické rezonance. Patří k nim MR neurografie – technika k selektivnímu zobrazení nervových struktur, umožňující detailní hodnocení morfolgie BP, dále metoda zobrazení difuzního tenzoru (DTI) a MR traktografie, které umožňují hodnotit funkční integritu nervových vláken na mikrostrukturální úrovni (Humhej et al., 2019). Svě místo v diagnostice poranění BP si udržuje, i přes svojí relativní invazivitu, metoda CT perimyelografie (CT PMG), která po aplikaci kontrastní látky cestou lumbální punkce umožní zobrazit odstupující nervové kořeny v oblasti krční páteře a zachytit či vyloučit jejich případnou traumatickou avulzi z míchy. Byť je CT PMG postupně nahrazována zcela neinvazivními metodami MR, na mnoha pracovištích je stále považována za zlatý diagnostický standard pro svoji vysokou senzitivitu a specifitu. Rovněž moderní techniky ultrazvuku (USG), zejména USG s vysokou rozlišovací schopností, nachází stále častěji uplatnění při vyšetřování struktur periferních nervů (PN) včetně BP (Lapegue et al., 2014).

### Léčba poraněného BP

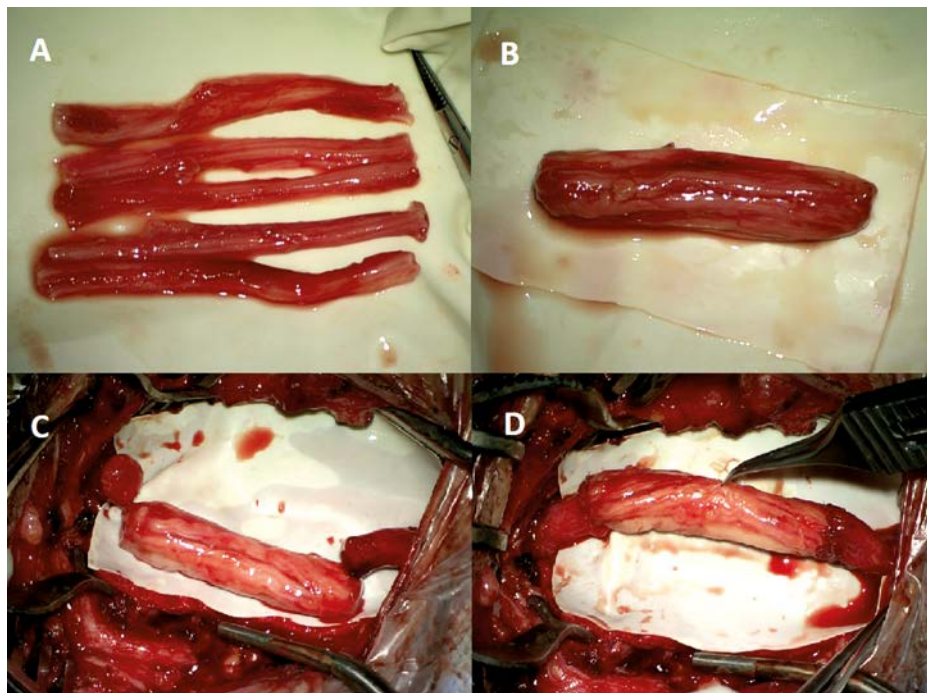
Vzhledem k různé etáži, rozsahu a stupni poranění struktur BP u jednotlivých pacientů, různým přidruženým poraněním i různé míře spontánní regenerace můžeme konstatovat, že každý postižený s poraněním BP je svým způ-

**Obr. 2.** Rekonstrukce poranění distální části pravého brachiálního plexu u 32letého muže po pořežení okružní pilou v axile. Na obrázku A je patrná rekonstruovaná a. axillaris (AxA) žilním štěpem, kompletně přerušeny n. radialis (RN), n. medianus (MN) a n. ulnaris (UN). Obrázek B zachycuje stav po přímé mikrosutuře RN, MN a UN

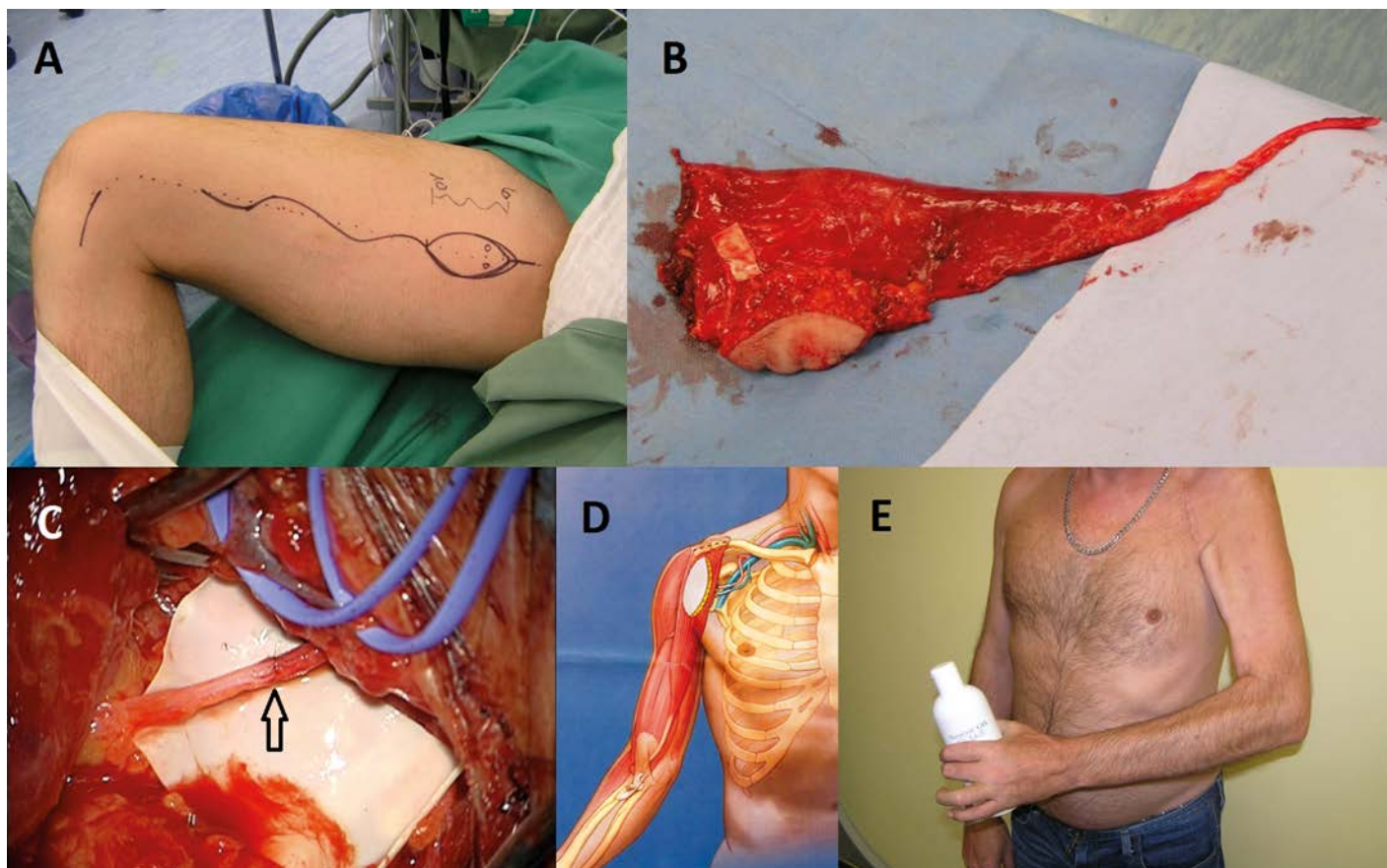




**Obr. 3.** Rekonstrukce transeize kořene C5 vpravo pomocí štěpů po supraklavikulárním poranění truncus superior brachiálního plexu střepey u 21letého muže. K ošetření odeslán s třítydenním odstupem od poranění, kdy již došlo k retrakci poraněných nervových struktur znemožňujících přímou suturu. A – připravené štěpy z n. suralis délky 3 cm; B – spleené štěpy fibrinovým tkáňovým lepidlem; C – vložení spleených štěpů do defektu kořene C5 po seříznutí zhmžděných konců nervových pahýlů; D – rekonstruovaný kořen C5



**Obr. 4.** Volný svalový přenos m. gracilis z pravé dolní končetiny (PDK) na paretickou levou horní končetinu (LHK) a jeho využití k obnově flexe v lokti. A – zakreslené místo odběru m. gracilis na vnitřní straně stehna PDK; B – odebraný m. gracilis spolu s kožním ostrůvkem k monitoraci prokrvení svalu po jeho přenosu a mikroanastomóze na cévy LHK; C – neurotizace přeneseného svalu pomocí obětované distální porce n. accessorius, která byla našita na větev n. obturatorius původně inervující m. gracilis (šipka); D – schéma využití přeneseného m. gracilis po jeho napojení na cévy a nerv k substituci flexe v lokti (obrázek převzat z Giuffrè et al., 2010); E – obnova flexe v lokti na postižené LHK za jeden rok po provedeném přenosu m. gracilis



patofyziologii poranění PN, precizní mikrochirurgické rekonstrukční techniky a zavádění nových způsobů rekonstrukcí a sekundárních korekcí se postižená horní končetina u těžkých typů poranění BP nikdy nevrátí do plného funkčního stavu. Na druhou stranu je třeba uvést, že od 60. let 20. století nastal **výrazný rozvoj chirurgické léčby poranění BP**. Stalo se tak díky zavedení mikroskopu a mikrochirurgické techniky do chirurgie PN (1964 – Smith & Edshage), formulaci zásad správného ošetřování poraněných PN (1972 – Sunderland & Seddon) a zásluhou využití autotransplantátů k mikrosuturě PN bez napětí (1972 – Millesii & Samii). Celkově došlo k významnému zlepšení výsledků rekonstrukcí poraněných BP (Giuffre et al., 2010).

Léčebný postup u poranění BP závisí na několika faktorech, mezi které patří:

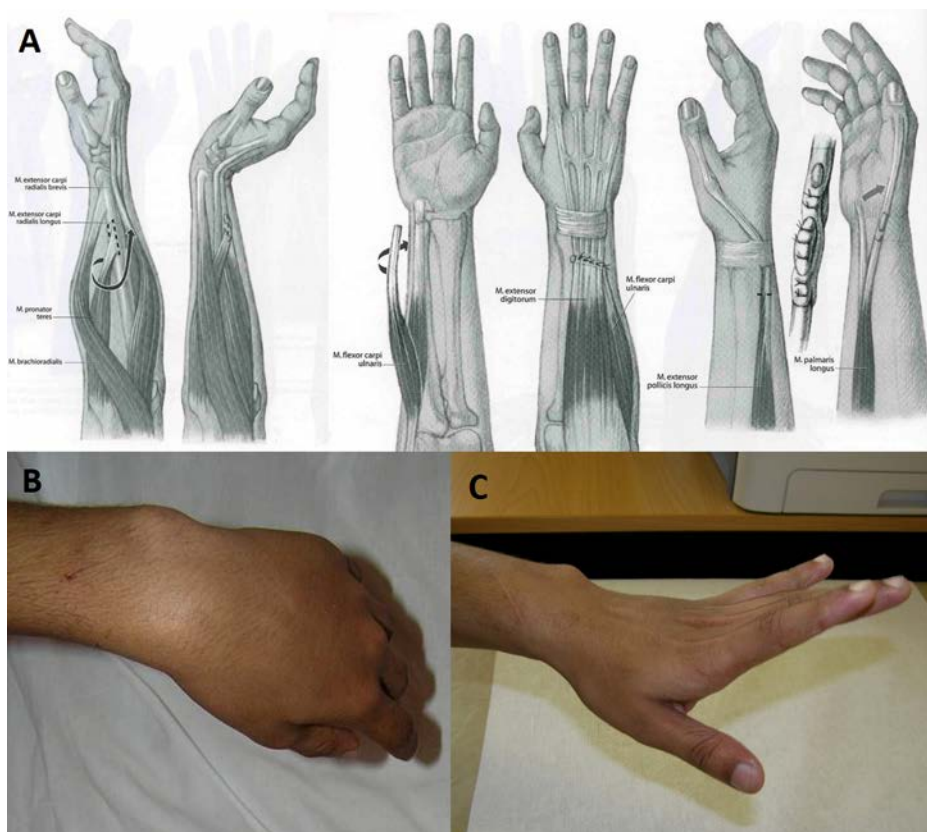
- druh a mechanismus úrazu
- časový odstup od úrazu
- typ poranění BP
- priority rekonstrukce

- přidružená poranění (měkké tkáně, cévy, kosti)

### Druh a mechanismus úrazu

Postup se neliší od obecných principů využívaných při ošetřování poraněných PN (Dubuisson et Kline, 1992). Pokud se jedná o otevřené ostré poranění (bodné, řezné, sečné rány), provádíme časnou exploraci poraněného BP a jeho primární rekonstrukci přímou mikrosuturou (obrázek 2). V případě otevřeného tržného nebo znečištěného poranění (např. lacerační či střelné rány) provedeme revizi rány, její důslednou toaletu, šetrné označení a fixaci přerušovaných nervových struktur stehy k okolním tkáním za účelem usnadnění pozdější rekonstrukce a zabránění retrakce nervových pahýlů. Rekonstrukci BP provádíme s odstupem 2–4 týdnů od poranění, kdy jsou již demarkovány poškozené úseky nervů, které je třeba resekovat, a případně proběhlo přeléčení kontaminované rány antibiotiky. K ošetření těchto poranění a dosažení beztlakové sutury, která představuje nutnou podmínku úspěšné regenerace poraněných nervových struktur, využíváme

**Obr. 5.** Ukázka korekce radialisové parézy šlachovými/svalovými transfery. A – schéma korekce radialisové parézy transpozicí úponu fungujícího *m. pronator teres* (s jeho napojením do radiálních extenzorů karpu – *m. extensor carpi radialis longus et brevis*, *m. flexor carpi ulnaris* (našit na *m. extensor digitorum*) a *m. palmaris longus* (našit na *m. extensor pollicis longus*) (Obrázek převzat z Penkert et Fansa, 2004); B – stav ruky před šlachovými transfery; C – obnova aktivní extenze zápěstí a prstů včetně palce po šlachových transferech za tři měsíce po operaci



autologní nervové štěpy, nejčastěji odebrané z n. suralis či některého senzitivního nervu v okolí poraněného BP (obrázek 3).

Nejčastější způsob poranění BP představují zavřené trakční léze, u nichž se v prvních měsících po poranění postupuje konzervativně. Pacienti v průběhu této doby podstupují odborně vedené rehabilitace včetně elektrostimulací denervovaných svalů, čímž se udržuje rozsah hybnosti postižené končetiny, zabraňuje rozvoji kontraktur a zpomaluje proces atrofizace postižených svalů. V průběhu rehabilitace čekáme na projevy spontánní regenerace postižených nervových struktur zaznamenaných při zevrubném klinickém a EMG vyšetření. Pokud k úspěšné regeneraci nedochází, přistupujeme k chirurgické revizi a rekonstrukci BP, jejíž načasování stále patří ke kontroverzním tématům mezi odborníky zabývajícími se léčbou poraněných BP. Lze však konstatovat, že k provedení chirurgické explorační a rekonstrukce by optimálně mělo dojít do šesti měsíců od poranění BP při nepostupující či nedostatečné spontánní regeneraci. U vysokoenergetických poranění (např. motonehody), u nichž předpokládáme závažnější stupeň poranění BP (neurotmézu či avulzi), indikujeme rekonstrukci dříve (za 3–4 měsíce od úrazu), zatímco u nízkoenergetických poranění (např. pády s luxací paže v ramenním kloubu), kde předpokládáme spíše nižší stupeň poranění (neurapraxii či axonotmézu), můžeme být s indikací operace zdrženlivější (Giuffre et al., 2010).

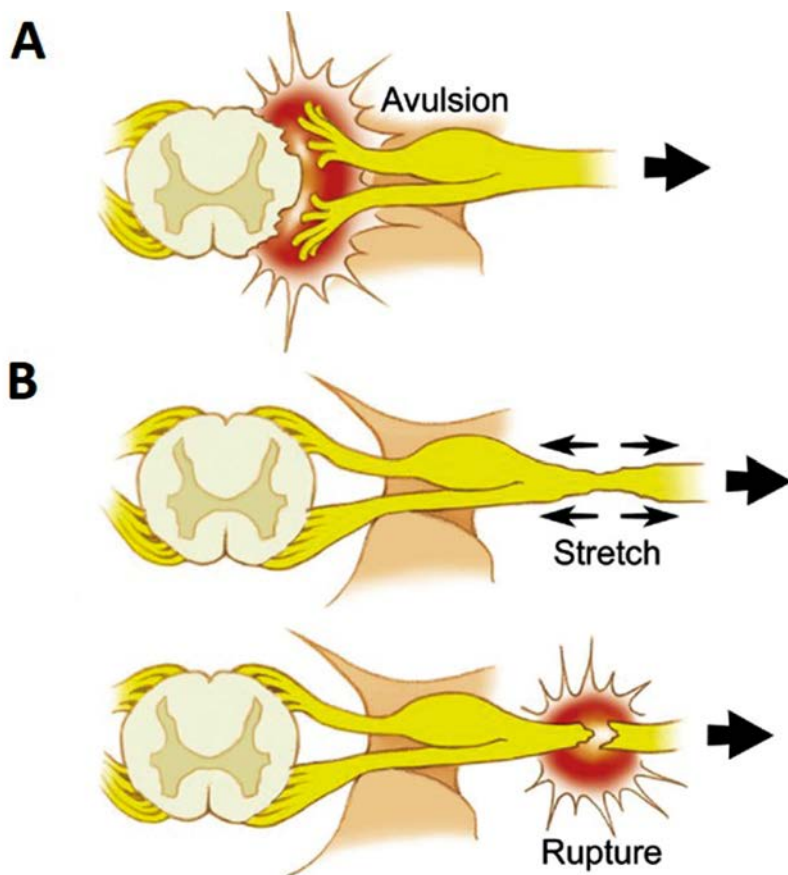
### Časový odstup od úrazu

Šance na úspěšnou obnovu kontraktivity denervovaného svalu klesá s délkou denervace, což je dáno ireverzibilními změnami na nervosvalových ploténkách a postupnou fibrotizací a tukovou přestavbou svalových vláken (Humhej et Sameš, 2015). Tento fakt je třeba mít na paměti při indikaci rekonstrukce poraněného BP, ke které by mělo dojít ideálně mezi třemi a šesti měsíci od úrazu (Giuffre et al., 2010).

Někteří autoři provádějí v případech suspekce či průkazu avulze nervových kořenů časnou exploraci a rekonstrukci zavřených poranění BP, ke které přistupují během prvních týdnů po úrazu (Hems, 2015). Hlavní výhodou časně revize je snazší preparace a identifikace nervových struktur v terénu dosud nevytvořené jizvy a neuromů. Časná explorace však nepo-



**Obr. 6.** Typy poranění brachiálního plexu. A – preganglionální léze (avulze), při které dochází k vytržení nervového kořene z míchy; B – postganglionální léze, při které dochází k natažení až ruptuře nervových struktur periferně od spinálního ganglia (obrázek po úpravě převzat z Giuffre et al., 2010)



skytne v některých případech dostatečný čas pro spontánní regeneraci, což představuje hlavní riziko tohoto přístupu. Nezdídko není časná revize možná pro přítomnost závažných přidružených poranění (Giuffre et al., 2010).

Pozdní rekonstrukce poranění BP (> 9 měsíců od úrazu) vykazují špatné výsledky, neboť nedojde k včasné reinervaci postižených svalů a úspěšné obnově jejich kontraktility. V těchto případech můžeme přistoupit k některým sekundárním korekčním zákrokům, jako např. přenosu volného normálně fungujícího svalu na postiženou končetinu a jeho napojením na cévy a nerv (Bishop, 2005). Pomocí tohoto svalového přenosu substituujeme některou chybějící funkci paretické končetiny (obrázek 4). Mezi další využívané sekundární korekční zákroky patří šlachové a svalové transfery (Čižmář et al., 2010), při nichž využijeme normálně inervované a fungující svaly a převedením (transpozicí) jejich úponů do nové pozice obnovíme některý pohyb na postižené končetině (obrázek 5). Oproti volnému svalovému přenosu nemusíme u těchto výkonů čekat na reinervaci, neboť transponovaný sval či jeho šlacha má zachovanou vlastní inervaci a jeho

zapojení do nové funkce je jen otázkou přeučení na kortikální úrovni mozku.

### Typ poranění BP

Rozlišujeme dva základní typy poranění BP (obrázek 6), u kterých se zásadním způsobem liší rekonstrukční strategie. Jejich pojmenování je odvozeno od lokalizace léze vzhledem ke spinálnímu gangliu.

#### Preganglionální poranění (avulze)

Jedná se o vytržení jednoho či více nervových kořenů z krční míchy. Protože u tohoto typu poranění neexistuje proximální pahýl nervového kořene, který by představoval zdroj axonů, na něž by bylo možné distální pahýl našít, je jediným možným způsobem rekonstrukce tzv. **nervový transfer (neurotizace)**. Využíváme při něm fungující nervy BP nebo v jeho blízkosti, které obětujeme, přerušíme a našijeme je na postižené struktury BP. Z podstaty výkonu vyplývá, že jako donory neurotizace můžeme využít pouze „postradatelné“ nervy či jejich části (fascikly nebo větve), jejichž přerušování nezpůsobí další významnou funkční ztrátu pro postižené-

ho a v případě úspěšné reinervace akceptoru (recipientu) dojde k obnově klíčové funkce postižené končetiny. Provedení neurotizace musí předcházet pečlivá předoperační rozvaha, při níž hodnotíme ztrátu i potenciální benefit každého takového přenosu.

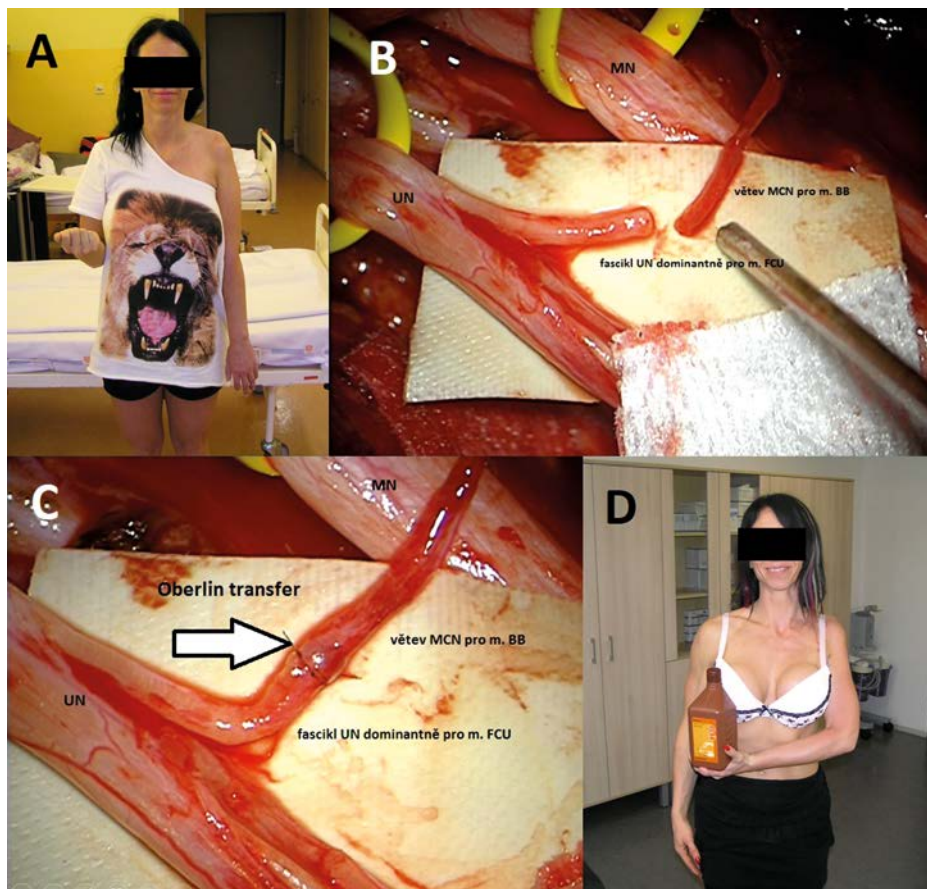
Z hlediska původu dělíme donory využívané k neurotizacím na intraplexální (ze struktur vlastního BP) a extraplexální (z PN v okolí poraněného BP).

**Intraplexální donory** můžeme využít u partiálních lézí BP, kdy použijeme nerv, motorický fasciál či větev z některé nervové struktury BP se zachovanou funkcí, provedeme jejich přerušování a napojení na recipientní nerv či větev, které chceme neurotizovat. Mezi nejběžněji využívané intraplexální donory patří motorický fasciál z n. ulnaris (využívaný k neurotizaci např. motorické větve n. musculocutaneus pro m. biceps brachii = transfer dle Oberlina – obrázek 7), motorický fasciál z n. medianus (k neurotizaci např. motorické větve n. musculocutaneus pro m. brachialis), motorická větev n. radialis pro dlouhou hlavu tricepsu (k neurotizaci např. n. axillaris = transfer dle Leechavengvonga – obrázek 8), mediální pektorální nerv (k neurotizaci např. n. musculocutaneus) nebo n. thoracodorsalis (k neurotizaci např. n. axillaris – obrázek 9).

Mezi využívané **extraplexální donory** patří distální porce n. accessorius pro m. trapezius (využívaná zejména k neurotizaci n. suprascapularis), motorická i senzitivní porce III.–VI. interkostálního nervu (obrázek 10; ostatní mezižeberní nervy ani po jejich mobilizaci ke strukturám BP nedosáhnou), n. phrenicus, kontralaterální kořen C7 (CC7) z druhostranného BP, jehož přerušování ve většině případů není prováděno trvalou donor-site morbiditou (využívá se zejména u kompletních poranění BP, kde není jiný využitelný zdroj axonů; užití CC7 vyžaduje jeho prodloužení pomocí nervových štěpů – obrázek 11) nebo motorické větve cervikálního plexu.

Zavedení neurotizací k rekonstrukci poranění BP (ale i např. k rekonstrukci proximálních lézí jiných PN, dlouhých ztrátových poranění PN či nedostupnosti proximálního pahýlu PN) v 90. letech 20. století znamenalo otevření nové dimenze a výrazné rozšíření rekonstrukčních možností PN s šancí na dosažení lepších výsledků regenerace. Zejména využití tzv. distálních neurotizací, při nichž je zdroj axonů z dárce přiveden k recipientovi lokalizovanému blízko efektoru (inervovaného

**Obr. 7.** Neurotizace motorického fasciklu n. ulnaris (UN) na motorickou větev n. musculocutaneus (MCN) pro m. biceps brachii = transfer dle Oberlina. A – plegie flexe v lokti v rámci léze horní porce (C5 + C6) brachiálního plexu vlevo; B – vypreparovaný a přerušovaný fasciál normálně fungujícího UN (donor) přivedený k přerušované motorické větvi nefunkčního MCN pro m. biceps brachii (recipient); C – provedená neurotizace fasciklu UN na motorickou větev MCN pro biceps (šipka); D – obnova flexe v lokti síly 4+/5 za 18 měsíců od neurotizace



svalu) výrazně zkrátí dráhu regenerace a čas nutný k reinervaci svalu. Z tohoto důvodu lze neurotizace využít i u poranění BP s pozdním načasováním rekonstrukce. V posledních letech se z výše uvedených důvodů využívají nervové transfery stále častěji i jako alternativa k rekonstrukci poraněných struktur BP štěpy (Garg et al., 2011).

### Postganglionální poranění

U postganglionálních poranění BP (trakční léze či ruptury struktur BP distálně od spinálního ganglia) můžeme v případě spontánně neprobíhající regenerace využít jako zdroj axonů centrální pahýl poraněné nervové struktury. Rekonstrukce spočívá v resekcii neuromu či zhmožděných konců nervu až do obrazu zdravé tkáně a následné reparaci postižené části BP pomocí nervových štěpů (autotransplantátů) odebraných z n. suralis či jiného méně významného nebo poškozeného senzitivního nervu v okolí BP. Takto můžeme provést naštěpování (grafting) např. kořene C5 na zadní divizi horního trunku (n. axillaris) a n. suprascapularis, kořene C6

na přední divizi horního trunku (n. musculocutaneus) nebo kořene C7 na n. radialis (motorickou větev n. radialis pro triceps) (obrázek 12).

Z uvedených informací vyplývá, že odlišení preganglionální a postganglionální léze BP hraje klíčovou roli při plánování a následné realizaci operační intervence. Kromě informací získaných z anamnézy a klinického vyšetření (suspekce na avulzi můžeme pojmut u vysokoenergetických poranění BP spojených s výraznými neuropatickými bolestmi a přítomností Hornerova syndromu, vyskytujícímu se typicky při avulzích dolní porce BP) nám mohou pomoci zobrazovací metody (CT PMG, MR myelografie a nově pokročilé techniky MR – MR neurografie a MR traktografie) a EMG. U avulzí nacházíme navzdory plegii v daném myotomu a anestezii v daném dermatomu zachované senzitivní nervové akční potenciály (SNAP), protože je zachována kontinuita vyšetřovaných nervových struktur BP s mateřskými neurony ve spinálních gangliích. V jehlové EMG zaznamenáme při avulzích nervových kořenů fibrilace a pozitivní ostré vlny také v paraspinál-

ních svalech (např. mm. multifidi), m. serratus anterior a mm. rhomboidei, přestože tyto svaly dostávají nervové zásobení z motorických větví odstupujících z nervových kořenů velmi proximálně (rami dorsales, n. thoracicus longus, n. dorsalis scapulae) (Ridzoň, 2008).

### Priority rekonstrukce

Pokud nedochází k uspokojivé spontánní regeneraci poraněného BP, musíme do šesti měsíců od úrazu stanovit **rekonstrukční strategii**. Ta závisí na mnoha faktorech, zejména na druhu a mechanismu úrazu, rozsahu a typu poranění BP, přidružených poraněních, dostupných dárcích k neurotizacím i k odběru štěpů a stavu potenciálních recipientů. Roli hraje i věk pacienta, od něhož se odvíjí regenerační potenciál poraněných nervových struktur. Obecně platí, že čím mladší jedinec, tím lepší výsledky regenerací poraněných PN zaznamenáváme (Humhej et Sameš, 2015).

Formulace rekonstrukčního plánu je snazší u parciálních lézí BP, kdy došlo k postižení jen části BP (např. horní porce). U těchto typů poranění máme zpravidla širší možnosti výběru potenciálních donorů k neurotizacím či dostatek nervových štěpů k provedení rekonstrukce BP. Mnohem těžší situace nastává u kompletních poranění BP, u kterých nacházíme chabou celou horní končetinu na podkladě léze všech struktur BP. U těchto nejtěžších postižení BP máme zpravidla omezené rekonstrukční možnosti dané přítomností jen několika potenciálních zdrojů k neurotizaci (extraplexální dárci) a limitovanému množství dárců nervových štěpů. V takových případech je nutné stanovit **priority rekonstrukce** s ohledem na významnost a míru přínosu jednotlivých funkcí horní končetiny pro postiženého.

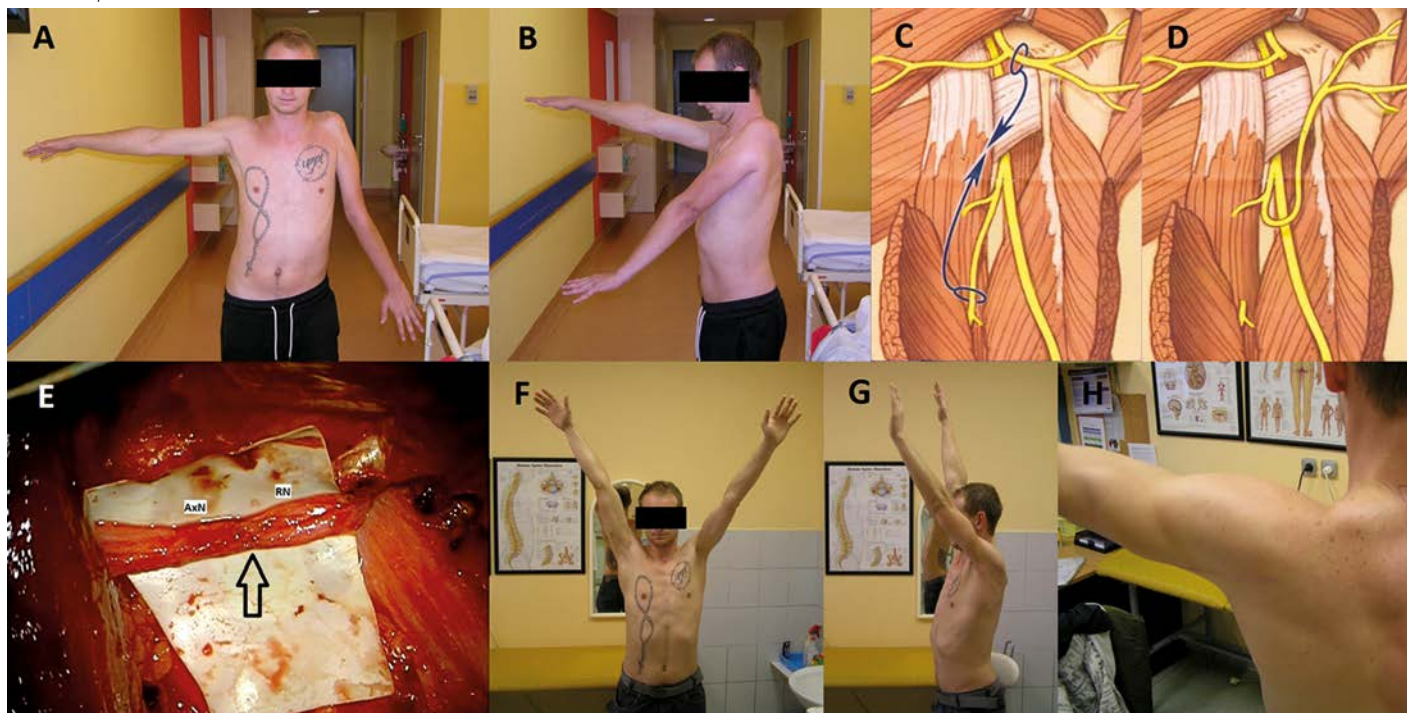
U kompletních poranění BP u dospělých jedinců jsou dle obecného konsenzu (Giuffre et al., 2010) následující priority:

- flexe lokte
- abdukce, flexe, zevní rotace a stabilita ramene
- protektivní citlivost ruky
- extenze a flexe zápěstí a prstů
- jemná motorika ruky

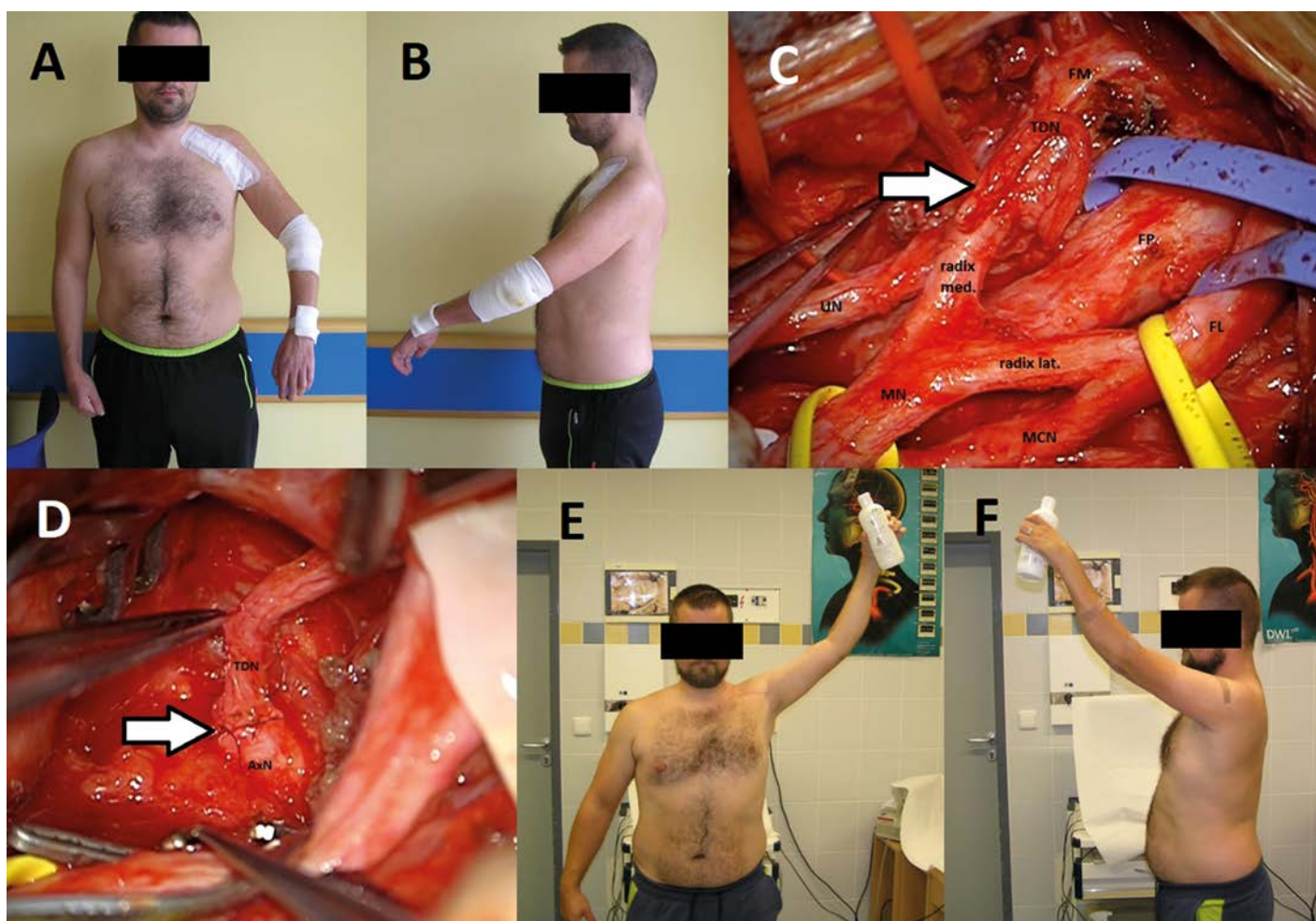
Zatímco výsledky rekonstrukcí hybnosti proximálních segmentů horní končetiny (rameno, loket) dosahují u dospělých velmi dobrých či alespoň slušných výsledků (např. více než 90%



**Obr. 8.** Neurotizace motorické větve *n. radialis* (RN) pro dlouhou hlavu *m. triceps brachii* na *n. axillaris* (AxN) = transfer dle Leechavengvonga. A a B – plegie *m. deltoideus* vlevo na podkladě léze AxN; C a D – schéma transferu motorické větve RN na AxN (Obrázek po úpravě převzat z Shin, Spinner et Bishop, 2004); E – neurotizace motorické větve RN pro dlouhou hlavu tricepsu na AxN (šipka); F–H – funkční výsledek reinervace *m. deltoideus* za 15 měsíců po neurotizaci

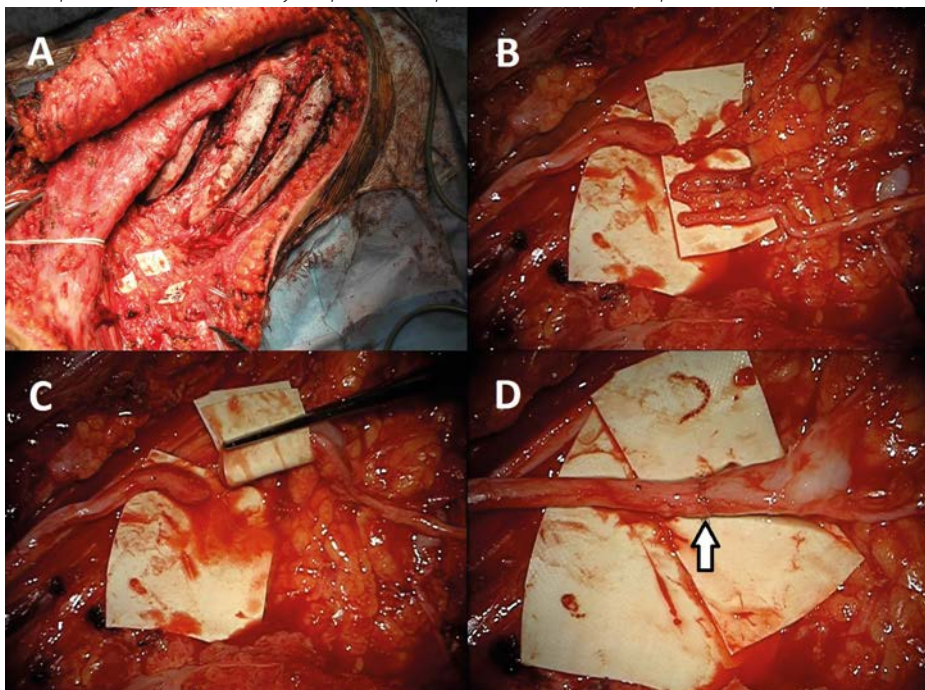


**Obr. 9.** Neurotizace *n. thoracodorsalis* (TDN) na *n. axillaris* (AxN). A a B – plegie *m. deltoideus* vlevo na podkladě léze AxN; C – infraklavikulární porce brachiálního plexu s vypreparovaným a přerušným TDN (šipka); D – neurotizace TDN na AxN (šipka); E a F – funkční výsledek reinervace *m. deltoideus* za 15 měsíců po neurotizaci

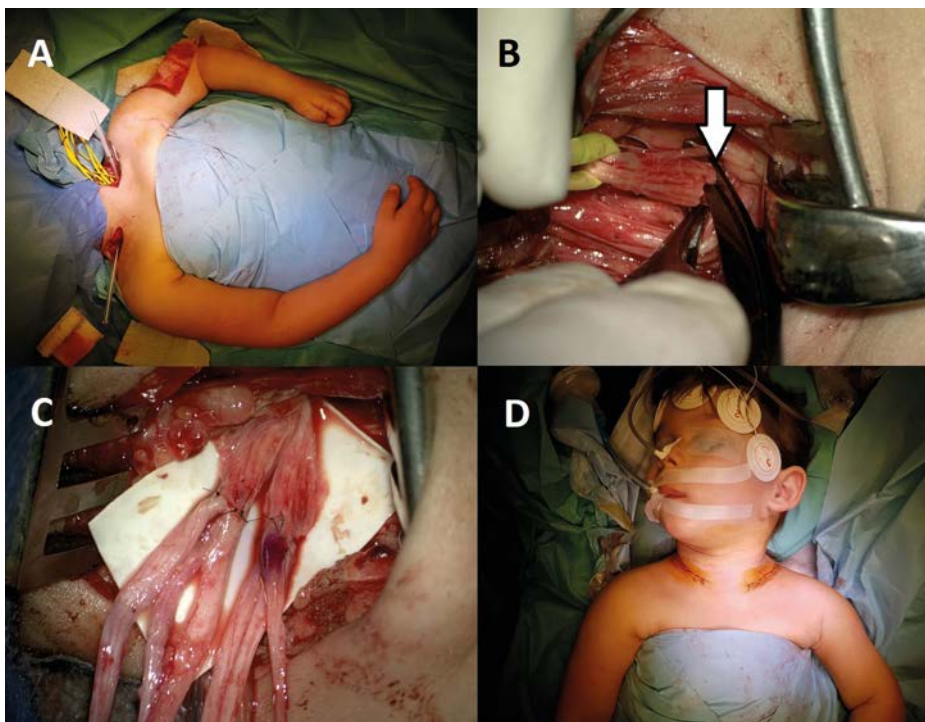




**Obr. 10.** Neurotizace senzitivních porcí III.–VI. interkostálního nervu (ICN) na radix lateralis n. mediani (MN) k obnově protektivní senzitivity v inervační zóně n. medianus. A – makroskopický pohled na vypreparovaný III.–VI. ICN; B – senzitivní porce III.–VI. ICN (donor) připravené k neurotizaci na radix lateralis MN (recipient); C – slepování III.–VI. ICN fibrinovým lepidlem; D – provedená neurotizace (šipka)



**Obr. 11.** Kontralaterální C7 (CC7) transfer u 2letého děvčete s kompletní lézí brachiálního plexu (BP) vlevo. A – vypreparovaný BP bilat. s připraveným prevvertebrálním retrofaryngeálním tunelem pro provedení CC7 transferu; B – transceze kořene C7, resp. středního trunku BP vpravo = donor (šipka); C – prodloužení donoru (CC7) pomocí štěpů z n. suralis před jeho tunelizací k poraněnému BP vlevo a jeho našitím na střední a dolní trunus BP vlevo = recipient; D – stav po provedení CC7 transferu ze supraklavikulárního přístupu bilat



šance na obnovu flexe v lokti síly  $\geq$  M4 po transferu dle Oberlina (Oberlin et al., 1994), obnova hybnosti v distálních segmentech z důvodu dlouhé regenerační dráhy už tak úspěšná nebývá a šance na obnovu jemné motoriky ruky

je u dospělých jedinců po rekonstrukci BP minimální. Úspěšné obnovy flexe a extenze zápěstí a prstů dosáhneme spíše použitím volného svalového přenosu (např. m. gracilis) nebo využitím šlachových transferů (Giuffre et al., 2010).

Někteří rekonstrukční chirurgové preferují „simplifikaci“ horní končetiny pomocí selektivní artrodézy glenohumerálního nebo scapulothorakálního skloubení, čímž zajistí stabilitu v tomto segmentu a „ušetří“ zdroje axonů na ostatní důležité funkce končetiny.

Byť představuje obnova motorických funkcí v rámci chirurgie BP prioritu, nelze též opomíjet snahu o obnovu protektivní citlivosti ruky, která je neocenitelná pro dotykové vjemy, prevenci úrazů i modulaci patogeneze deafferentační bolesti (Giuffre et al., 2010).

Jiná je situace u dětí (zejména v rámci poporodních poranění BP), u kterých je vzhledem k velké regenerační schopnosti, relativně krátké regenerační dráze z důvodu neukončeného růstu končetin, větší mozkové kortikální plasticitě i schopnosti reedukace možné provést úspěšnou reinervaci i distálních partií horní končetiny. Obnova senzitivity ruky u dětí zabraňuje rozvoji neglect syndromu a sebumutilace horní končetiny. Obnova proximální hybnosti nevede sama o sobě k zapojení končetiny do bimanuální činnosti (Haninec et Kaiser, 2011). V rámci poporodních lézí BP jsou tedy rekonstrukční priority následující:

- funkce ruky (flexe a extenze zápěstí a prstů, jemná motorika, citlivost)
- flexe a extenze v lokti
- abdukce, flexe, zevní rotace a stabilita v rameni

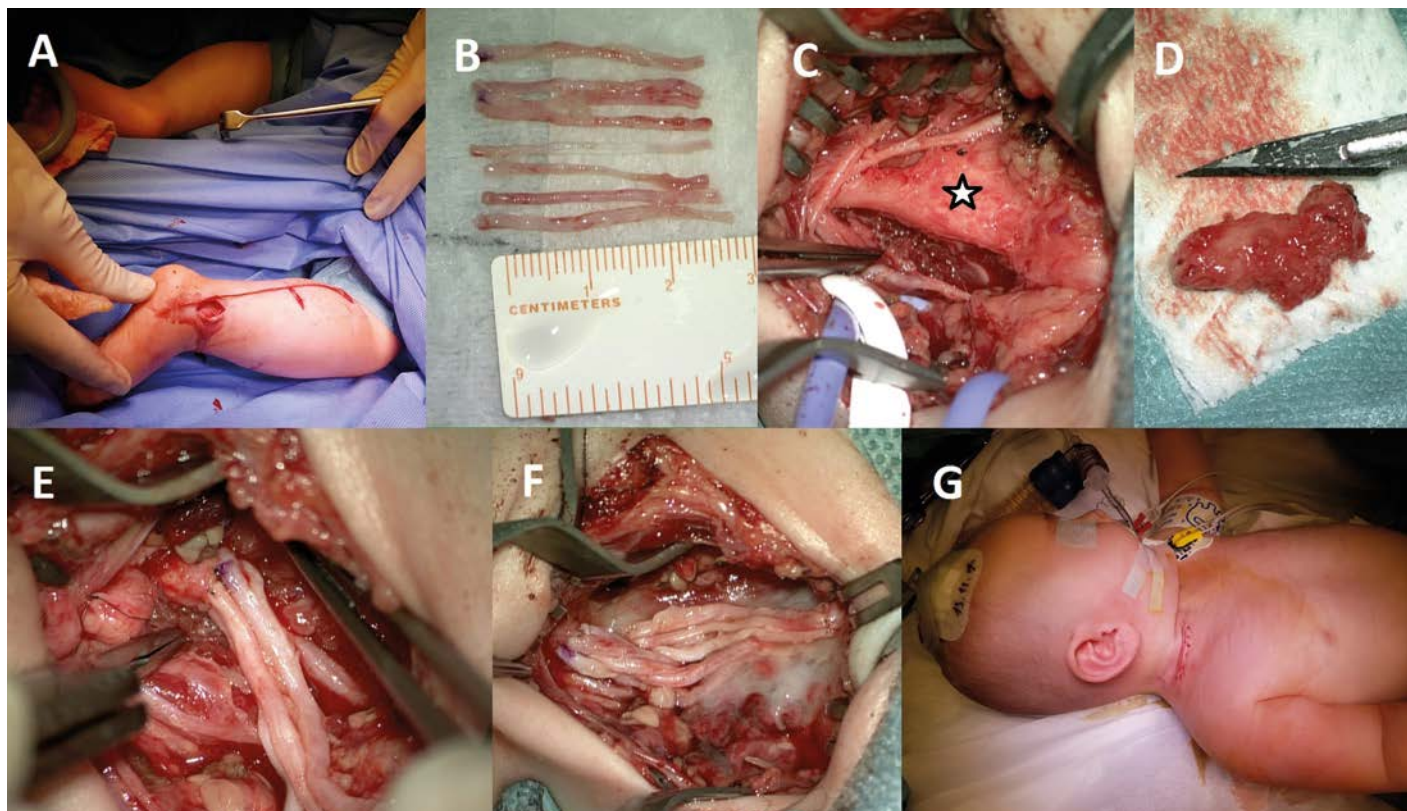
U řady dětí s poporodní kompletní lézí BP může dojít k úspěšné reinervaci celé horní končetiny naštěpováním struktur BP z několika či dokonce z jednoho zachovaného nevytrženého nervového kořene (Haninec et Kaiser, 2011).

### Deafferentační bolest

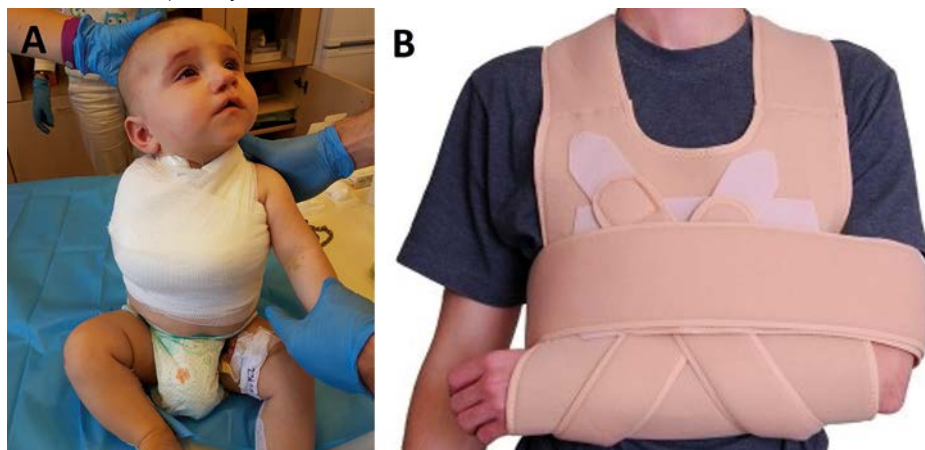
V návaznosti na avulzní nebo trakční postganglionární poranění BP trpí postižení často limitující až nesnesitelnou bolestí, paresteziemi a dysesteziemi v inervačních zónách postižených nervů. Jedná se obvykle o kombinaci neuropatické bolesti, dané poraněním nervových struktur, a nociceptivní bolesti z přidruženého poraněných ligament a kloubů. Tato bolest je v mnoha případech rezistentní na opioidy a vyžaduje včasnou léčbu v režii specialisty na bolest (algeziologa). Pokud není dostatečně účinná farmakologická terapie (antikonvulziva, tricyklická antidepresiva, selektivní inhibitory



**Obr. 12.** Rekonstrukce poporodní léze BP horního typu (C5 + C6) vpravo pomocí autograftů z nn. surales u šestiměsíčního chlapce. A – odběr n. suralis z pravé dolní končetiny; B – vytvořené štěpy délky 3 cm z nn. surales; C – neurom na truncus superior BP vpravo (hvězdička); D – resekovaný neurom; E a F – naštěpování kořene C5 na zadní divizi truncus superior + n. suprascapularis a kořene C6 na přední divizi truncus superior; G – zašitá rána po supraklavikulárním přístupu k pravému BP



**Obr. 13.** Pooperační fixace horní končetiny (HK) po rekonstrukci poraněného brachiálního plexu (BP). A – fixace HK po rekonstrukci poporodní léze BP vpravo u šestiměsíčního chlapce; B – fixace HK po rekonstrukci léze BP vlevo u dospělého jedince



zpětného vychytávání serotoninu a noradrenalinu, svalová relaxancia), může u vybraných pacientů pomoci selektivní nervová blokáda či transkutánní elektrická stimulace. Mezi další metody léčby refrakterní bolesti patří neuromodulační techniky a neurální ablace (Giuffrè et al., 2010).

### Možnosti chirurgické léčby poraněného BP

Chirurgické techniky využívané v rámci řešení poranění BP lze rozdělit na **primár-**

**ní rekonstrukce vlastního BP** a dále na **sekundární korekční zákroky**, kterými se dále snažíme zlepšit funkční stav postižené končetiny. Mezi v současnosti používané techniky patří:

- přímá sutura nervových struktur
- rekonstrukce pomocí štěpů
- nervové transfery (neurotizace)
- volné svalové přenosy
- šlachové a svalové transpozice
- artrodézy a další zákroky na kloubech a kostech

U většiny pacientů nevystačíme pouze s jednou technikou ošetření, zpravidla se využívají **kombinace technik**, často v několika etapách s různým časovým odstupem. Tyto rekonstrukční techniky vyžadují komplexní multidisciplinární přístup, kde hlavní roli hraje nejen neurochirurg, ale také plastický chirurg, chirurg ruky a ortoped. Nezřídka se jedná o velmi složité operační výkony, jejichž délka trvání přesahuje deset i více hodin a provádí se jen v několika specializovaných centrech. Zásadním předpokladem k poskytnutí maximální šíře rekonstrukčních výkonů je včasná (u otevřených poranění okamžitá, u zavřených poranění do jednoho měsíce od úrazu) konzultace s následným odesláním pacienta s poraněným BP na pracoviště, které se léčbě těchto postižení věnuje.

### Pooperační péče

Předpokladem dobrého funkčního výsledku je nejen technicky dokonale provedená a precizní rekonstrukce BP či sekundární korekce, ale i neodmyslitelná dlouhodobá následná péče. Po několikátýdenní **fixaci** operované horní končetiny (po nervových rekonstrukcích stačí po dobu 2–3 týdnů, po sekundárních korekčních zákrocích se může v závislosti na typu výkonu jednat o 4–6

týdnů – obrázek 13) následují pozvolně **odborně vedené rehabilitace** doprovázené elektrostimulační denervovaných svalů. Rehabilitace a elektrostimulace musí probíhat dlouhodobě, po dobu minimálně 1–1,5 roku v závislosti na rekonstruovaném cíli, ideálně denně či alespoň ob den. Rehabilitace udržují rozsah pohybu v kloubech, zabraňují kontrakturám svalů a vazů, u dětí navíc zamezují či zpomalují rozvoj kloubních dysplazií nezralých kloubů. Důležité je, aby rehabilitační pracovník věděl, jaký druh rekonstrukčního výkonu byl u konkrétního pacienta proveden a jaké jsou předpoklady obnovy hybnosti v jednotlivých segmentech postižené končetiny v případě úspěšné regenerace nervů. Zabráni se tak kupříkladu nechtěnému přetržení našitých nervových transferů, které svou limitovanou délkou v někte-

rých případech neurotizují plný rozsah hybnosti v daném kloubu (např. neurotizace interkostálních nervů na motorickou větev n. musculocutaneus pro biceps nedovoluje abdukci paže nad 90°). Spolu s rehabilitacemi zabraňují rozvoji nežádoucích kontraktur také speciální na míru vyrobené **dlahy a ortézy** v závislosti na konkrétní poraněné nervové struktuře. **Elektrostimulace** zpomalují proces atrofizace denervovaných svalů přívodem zevních elektrických impulzů a měly by probíhat po celou dobu regenerace nervů až do obnovy inervace svalů.

Důležitou roli hrají i **senzitivní stimulace** denervovaných kožních okrsků (např. masážními míčky, přebíráním zrn kukuřice), adekvátní **péče o jizvy** (masáže a mobilizace jizvy jako prevence srůstů a otoků, promašťování, silikonové náplasti

či návlčky jako prevence formace hypertrofické a keloidní jizvy) a **vitaminy skupiny B** pro jejich možný příznivý vliv na regeneraci PN, i když tento efekt není podpořen žádnou evidencí (Humhej et Sameš, 2015).

## Závěr

V posledních desetiletích došlo k výraznému rozvoji rekonstrukčních možností poraněného BP (neurotizací, šlachových a svalových transpozic, volných svalových přenosů). Tyto techniky poskytují pacientům šanci na výrazné funkční zlepšení paretické končetiny, a tím zmírnění závažnosti hendikepu, který poranění BP způsobuje. Zásadou zůstává včasné odeslání pacienta s poraněným BP na pracoviště, které se řešením této problematiky komplexně zabývá.

## LITERATURA

1. Bishop AT. Functioning free-muscle transfer for brachial plexus injury. *Hand Clin.* 2005; 21(1): 91–102.
2. Čižmář I, Ehler E, Pilný J, Ira D, Višňa P, Dráč P. Léze radiálního nervu a možnosti pozdní rekonstrukce funkce šlachovým transferem. *Cesk Slov Neurol N* 2010; 73/106(6): 701–705.
3. Dengler NF, Antoniadis G, Grolik B, Wirtz CR, König R, Pedro MT. Mechanisms, treatment and patient outcome of iatrogenic injury to the brachial plexus – a retrospective single-center study. *World Neurosurg.* 2017; 107: 868–876. doi: 10.1016/j.wneu.2017.08.119.
4. Dubuisson A, Kline DG. Indications for peripheral nerve and brachial plexus surgery. *Neurol Clin.* 1992; 10(4): 935–951.
5. Eppenberger P, Andreisek G, Chhabra A. Magnetic resonance neurography: diffusion tensor imaging and future directions. *Neuroimaging Clin N Am.* 2014; 24(1): 245–256. doi: 10.1016/j.nic.2013.03.031.
6. 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. *J Bone Joint Surg Am.* 2011; 93(9): 819–829. doi: 10.2106/JBJS.I.01602.
7. Giuffre JL, Kakar S, Bishop AT, Spinner RJ, Shin AY. Current concepts of the treatment of adult brachial plexus injuries. *J Hand Surg Am.* 2010; 35(4): 678–688. doi: 10.1016/j.jhssa.2010.01.021.
8. Haninec P, Kaiser R. Operační léčba poranění plexus brachialis. *Cesk Slov Neurol N* 2011; 74/107(5): 619–630.
9. Haninec P, Mendl L. Neurochirurgická léčba porodního poranění brachiálního plexu. *Bolest* 2017; 20: 143–148.
10. Hems TE. Timing of surgical reconstruction for closed traumatic injury to the supraclavicular brachial plexus. *J Hand Surg Eur Vol.* 2015; 40(6): 568–572. doi: 10.1177/1753193414540074.
11. Humhej J, Ibrahim I, Sameš M, Tintěra J, Čižmář I. Možnosti zobrazení brachiálního a lumbosakrálního plexu pomocí pokročilých technik magnetické rezonance. *Neurol. praxi* 2019; 20(1): 49–53.
12. Humhej J, Sameš M. Poranění periferních nervů u dětí a mladistvých. *Čes Slov Pediat.* 2015; 70: 20–28.
13. Krishnan KG, Martin KD, Schackert G. Traumatic lesions of the brachial plexus: an analysis of outcomes in primary brachial plexus reconstruction and secondary functional arm reanimation. *Neurosurgery* 2008; 62(4): 873–885; discussion 885–6. doi: 10.1227/01.neu.0000318173.28461.32.
14. Lapegue F, Faruch-Bilfeld M, Demondion X, Apredoaei C, Bayol MA, Artico H, Chiavassa-Gandois H, Railhac JJ, Sans N. Ultrasonography of the brachial plexus, normal appearance and practical applications. *Diagn Interv Imaging* 2014; 95(3): 259–275. doi: 10.1016/j.diii.2014.01.020.
15. Oberlin C, Béal D, Leechavengvongs S, Salon A, Dauge MC, 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(2): 232–237.
16. Penkert G, Fansa H. *Peripheral Nerve Lesions. Nerve Surgery and Secondary Reconstructive Repair.* Springer 2004: 145–148.
17. Ridzoň P. Traumata brachiálního plexu a jeho větví. *Neurol. praxi* 2008; 9(1): 9–13.
18. Shin AY, Spinner RJ, Bishop AT. Nerve Transfers for Brachial Plexus Injuries. *Operative Techniques in Orthopaedics* 2004; 14(3 SPEC. ISS.), 199–212. <https://doi.org/10.1053/j.oto.2004.06.003>.