

Klemen Lovšin¹, Oskar Pavel Grilc², Andrej Lapoša³, Klemen Rogelj⁴

Kirurški pristop k zdravljenju poškodb brahialnega pleteža pri odraslih

Surgical Approach to the Management of Brachial Plexus Injuries in Adults

IZVLEČEK

KLJUČNE BESEDE: rekonstrukcija, brahialni pletež, poškodba roke, živčni presadek, nevrotizacija, reinervacija

Poškodbe brahialnega pleteža prizadenejo funkcijo zgornje okončine in s tem tudi način življenja. Zapletena anatomija brahialnega pleteža, ki se ob poškodbah dodatno izkrivi, predstavlja izziv za rekonstrukcijo. S kliničnim pregledom in z diagnostičnimi metodami lahko klasificiramo poškodbo po različnih sistemih glede na stopnjo okvare. Pomembna je časovna komponenta zdravljenja, saj moramo imeti v mislih nepovratno denervacijsko okvaro motorične ploščice. Ob načrtovanju kirurškega zdravljenja imajo osnovno prioriteto v naslednjem vrstnem redu upogib komolca, odmik in zunanja rotacija rame ter nato funkcija dlani. K povrnitvi funkcije kirurško pristopimo z neposrednim šivanjem živcev, nevrolizo, živčnimi presadki, s prenosi živcev oz. z nevrotizacijo in s prostimi prenosi funkcionalnih mišic. Sekundarnih rekonstrukcijskih posegov se poslužujemo, ko s primarnimi ne dosežemo želenega rezultata. Pozna obravnava nam zmanjša nabor mogočih tehnik in pristopov k rekonstrukciji, kar se po navadi odraža tudi v slabšem rezultatu. Prav tako se moramo pogosto spopadati s kronično nevropatsko bolečino, katere zdravljenje je precej zapleteno. V obravnavi in rehabilitaciji je pomembno multidisciplinarno sodelovanje.

ABSTRACT

KEY WORDS: reconstruction, brachial plexus, hand injury, nerve graft, neurotization, reinnervation

Brachial plexus injuries are life-altering entities which limit the function of the upper extremity. Reconstruction of the brachial plexus is a challenge for the surgeon due to the complex nature of its anatomy, which is additionally disordered due to the injury. Using physical examination and different diagnostic methods, we grade the injuries using different classification systems. One of the critical factors of the reconstruction is also

¹ Klemen Lovšin, dr. med., Klinični oddelek za plastično, rekonstrukcijsko, estetsko kirurgijo in opeklino, Kirurška klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Zaloška cesta 7, 1000 Ljubljana; klemen.lovsin@gmail.com

² Oskar Pavel Grilc, dr. med., Klinični oddelek za plastično, rekonstrukcijsko, estetsko kirurgijo in opeklino, Kirurška klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Zaloška cesta 7, 1000 Ljubljana

³ Asist. Andrej Lapoša, dr. med., Klinični oddelek za plastično, rekonstrukcijsko, estetsko kirurgijo in opeklino, Kirurška klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Zaloška cesta 7, 1000 Ljubljana; Katetra za kirurgijo, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

⁴ Asist. Klemen Rogelj, dr. med., Klinični oddelek za plastično, rekonstrukcijsko, estetsko kirurgijo in opeklino, Kirurška klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Zaloška cesta 7, 1000 Ljubljana

the timing of the surgery. We must not forget about the irreversible motor end plate denervation. Prioritization of the reconstruction includes elbow flexion, shoulder stability, and the function of the hand. Common reconstructive operating methods are direct nerve repair, neurolysis, nerve grafting, nerve transfers, and free functioning muscle transfers. Secondary reconstructive methods are used in cases when we can not achieve satisfying results. Delayed treatment of patient lowers the number of possible solutions for the injury which lead to suboptimal results. Another common challenge is the chronic neuropathic pain which is difficult to treat. It is crucial to cooperate in multidisciplinary teams in order to achieve optimal results.

UVOD

Poškodbe brahialnega pleteža (PBP) predstavljajo veliko funkcionalno oviro, saj poslabšajo fizične sposobnosti, povzročijo psihološko breme in pustijo pomembne socioekonomske posledice. Ob poškodbi navadno pride do senzoričnih in motoričnih izpadov, hkrati pa se pogosto pojavi tudi vztrajna nevropatska bolečina (NB).

Ključne naravnave kakovostne kirurške oskrbe so dobro poznavanje in razumevanje mehanizma poškodbe, ustrezna časovna umestitev kirurškega zdravljenja in smiselna razporeditev prioritet pri obnovi funkcij. Pomembna je uskladitev pacientovih pričakovanj s pričakovanimi rezultati, ki jih omogočajo posamezni operativni posegi. Pristopi k zdravljenju se lahko zelo razlikujejo tudi zaradi osebnih in kulturnih preferenc. Značilna PBP ne obstaja, zato pripisujemo velik pomen zdravljenju, ki je prilagojeno posameznemu primeru.

Priljubljenost ekstremnih in adrenalinskih športov ter večje število preživelih poškodovancev v težjih prometnih nesrečah sta v zadnjih letih povzročila rast incidence PBP. Večina tovrstnih poškodb se zgodi pri moški populaciji med 15. in 25. letom starosti (1, 2).

Prvo omembo PBP najdemo že v Homerjevi Iliadi. Včasih so s kombinacijo amputacije roke, zatrditve rame in protetičnim nadomestkom roke poskušali doseči optimalen rezultat. V novejšem obdobju

sta razumevanje fiziologije poškodbe živcev in napredek v mikrokirurgiji perifernega živčevja pripeljala do boljših izidov zdravljenja (3, 4). Ob vseh napredkih zdravljenja PBP lahko zdaj upravičeno pričakujemo boljši funkcionalni rezultat pri pacientih z izpadom delovanja zgornje okončine (5).

ANATOMIJA

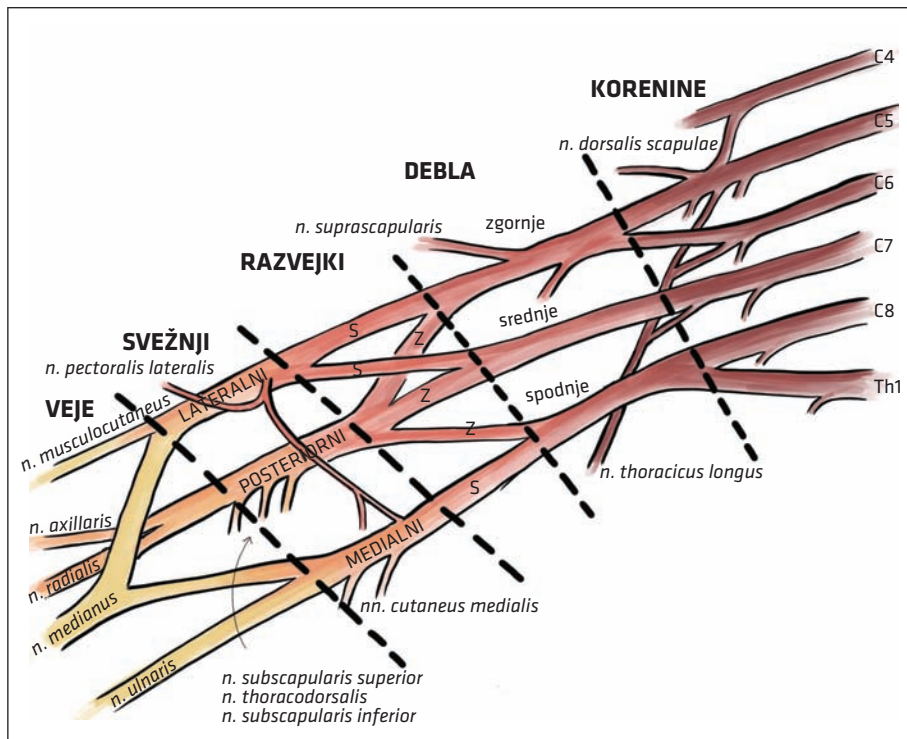
Brahialni pletež (BP) sestavljajo sprednje veje (lat. *rami ventrales*) korenin segmentov štirih cervikalnih živcev, C5–C8, in enega torakalnega živca, Th1. Anatomijo BP opisujemo s pomočjo petih ravni v poteku živcev:

- 5 korenin spinalnih živcev,
- 3 debel,
- 6 razvejkov,
- 3 svežnjev in
- 5 terminalnih vej.

Korenine in debla skupaj tvorijo supraklavikularni del, torej potekajo v vratu nad ključnico. Svežnji in terminalne veje pod ključnico skupaj tvorijo infraklavikularni predel. Poleg petih terminalnih vej se nekateri živci odcepijo od BP že v svojem poteku na zgodnejših ravneh. Zapletena razvejitev BP je prikazana na sliki 1.

Korenine spinalnih živcev

Zaradi prepletanja nitja so periferni živci večsegmentni. Dva terminalna živca, *n. dorsalis scapulae* in *n. thoracicus longus*, se odcepi-



Slika 1. Anatomski prikaz brahialnega plečeža po ravneh. S – sprednji razvejki, Z – zadajšnji razvejki.

ta že na ravni korenin spinalnih živcev. Sicer zunajpletežni živec, *n. phrenicus* (C3–5), leži na *m. scalenus anterior*. Poškodba plečeža na ravni korenine živca lahko povzroči paralizno in posledičen dvig trebušne prepone. V bližini BP, v področju korenine živca Th1, leži tudi simpatični ganglij, zato lahko poškodba v tem delu povzroči Hornerjev sindrom.

Debla

V BP ločimo zgornje (C5–6), srednje (C7) in spodnje debla (C8–Th1). Na tej ravni BP se odcepita *n. suprascapularis* (C5–6) in živec za *m. subclavius* (C5–6).

Razvejki

Debla BP potekajo pod ključnico in se nato razdelijo v tri sprednje in tri zadajšnje razvejke, ki odnosno oživčujejo mišice upogibalke in iztezalke zgornje okončine.

Svežnji

Ko BP poteka distalno od ključnice, se še naprej deli znotraj pazdušne ovojnice. V tem predelu ga sestavljajo trije svežnji, ki jih poimenujemo po anatomskem odnosu glede na *a. axillaris*:

- Lateralni sveženj, ki ga sestavljata sprednja razvejka zgornjega in srednjega debla (C5–7).
- Medialni sveženj, ki je nadaljevanje sprednjega razvejka spodnjega debla (C8, Th1).
- Posteriorni sveženj, ki ga sestavljajo zadajšnji razvejki vseh debel BP (C5–C8, Th1).

Terminalne veje

Ob izteku se svežnji delijo na pet terminalnih vej:

- *N. musculocutaneus* izhaja iz nitja lateralnega svežnja in omogoča upogib komolca.
- *N. medianus* se odcepi od nitij lateralnega in medialnega svežnja ter omogoča upogib prstov in palca.

- *N. ulnaris* se odcepi od nitja medialnega svežnja in oživčuje intrinzične mišice dlani.
- *N. axillaris* se odcepi od nitja posteriornega svežnja in omogoča odmik rame.
- *N. radialis* se prav tako odcepi od nitja posteriornega svežnja, ki omogoča izteg komolca, zapestja in prstov.

Med kirurško eksploracijo PBP je anatomija porušena, saj pride do skrčenja prekinjenih živcev in brazgotinjenja. Dodatno lahko naletimo na različne anatomske različice znotraj pleteža, ki otežijo prepoznavo posameznih živcev.

MEHANIZMI IN NAČINI KLASIFIKACIJE POŠKODB BRAHIALNEGA PLETEŽA

Mehanizmi poškodbe

S poznavanjem mehanizma lahko predpostavimo, za katero vrsto PBP gre. Najpogostejše so zaprte PBP, ki so navadno povezane z natezno silo, kjer sta roka in rama z veliko silo odmaknjeni od glave in vratu. Pri tem lahko pride do izpuljenja oz. avulzije korenine spinalnega živca, zato le redko pride do spontane ozdravitve (6). Tovrstne poškodbe so v 70–80 % posledica motoristične prometne nesreče (7, 8).

Zgornje korenine BP se najpogosteje poškodujejo ob naglem odmiku glave od rame. Pridružene so lahko tudi okvare spodnjih korenin. Spodnje korenine BP se navadno poškodujejo ob nenadnemu odmiku in vleku zgornje okončine nad ravno glave. Lahko so pridružene tudi poškodbe zgornjih korenin.

Med manj pogoste mehanizme štejemo zmečkanine (angl. *crush*) in kompresijske poškodbe, do katerih lahko pride ob zategnitvi pasu v prometni nesreči. Tovrstne poškodbe pogosteje prizadenejo infraklavikularni del pleteža, ki ima sposobnost spontanega izboljšanja. Prav tako lahko do PBP pride ob sprednjem izpahu rame ali zaradi iatrogenega vzroka.

Odrpne PBP so navadno rezultat vbodnih ali strelnih ran, vsekanin ali odrpatega zloma ramenskega sklepa.

Stopnje poškodbe živca

Klasifikacijski sistem poškodb perifernega živčevja po Seddonu razlikuje nevrapraksijo, aksonotmezo in nevrotmezo, medtem ko po Sunderlandu delimo poškodbe na pet stopenj. V praksi se za razvrstitev pogosteje uporablja sistem po Sunderlandu (9, 10). Dellon in MacKinnon sta opisala tudi šesto stopnjo poškodbe živca, ki je kombinacija različnih stopenj okvar posameznih fasciklov znotraj živca in je v klinični uporabi precej pogosta (11). V tabeli 1 smo predstavili okvare in možnosti zdravljenja živcev glede na sistema stopnjevanja poškodb po Seddonu in Sunderlandu.

Mesto in raven poškodbe

Za mesto in raven PBP se uporablja več izrazov in klasifikacijskih sistemov. Pogosto je zaradi narave pleteža in poškodbe težko natančno določiti mesto, na katerem je prišlo do poškodbe, zato je v uporabi način klasifikacije, ki poškodbe deli na supraklavikularne in infraklavikularne lezije.

V tabeli 2 lahko najdemo pogostejše nevrološke izpade, ki jih ugotovimo ob kliničnem pregledu poškodovanca in nas usmerijo v mesto poškodbe (13). Na sliki 2 so funkcije zgornje okončine na poenostavljen način predstavljene v povezavi s koreninami spinalnih živcev BP, ki so zanje zaslužne.

Okoli 10 % pacientov ima kombinacijo supraklavikularne in infraklavikularne lezije (7). Glede na položaj lezije v odnosu do dorzalne korenine ganglija razlikujemo predganglijske poškodbe, ki nastanejo proksimalno glede na dorzalni ganglij in poganglijske, ki nastanejo distalno. Do predganglijske poškodbe navadno pride ob izpuljenju, ki je precej bolj težavna za rekonstrukcijo in pri kateri ne moremo pričakovati spontanega izboljšanja stanja. V tabeli 3 so zbrani pogostejši znaki, ki nam nakazujejo, da je

Tabela 1. Stopnje poškodbe živca z okvaro in možnostmi zdravljenja (9, 10, 12).

Stopnja po Sunderlandu	Stopnja po Seddonu	Okvara	Zdravljenje
1	nevrapraksija	začasna, omejena okvara mielinskih ovojníc, izpad v prevodnosti živčevja brez prekinitve živca	popolno okrevanje v 4–12 tednih
2	aksonotmeza	prekinitve aksonov in mielinske ovojnice, epinevrij in globlje strukture ostanejo ohranjene, sledi Wallerjeva degeneracija	aksonalna regeneracija s hitrostjo 1–3 mm/dan, upoštevajoč predel od poškodbe do tarčne mišice
3		notranja preurejenost endonevrija, intrafascikularna fibroza	onemogočena popolna regeneracija, spontano samo delno okrevanje
4		perinevralna in fascikularna prekinitve, nevromsko spremenjen poškodovani del živca	kirurško zdravljenje
5	nevrotmeza	popolna prekinitve živca	kirurško zdravljenje

Tabela 2. Pogosti nevrološki izpadi glede na mesto poškodbe (13).

Raven poškodbe	Vrsta poškodbe	Izpadi funkcij
Supraklavikularno	zgornji del roke (korenine C5–6)	odmik rame, upogib komolca
	razširjen zgornji del roke (korenine C5–7)	odmik rame, upogib in izteg komolca, izteg zapestja
	celotna roka (korenine C5–Th1)	odmik rame, upogib in izteg komolca, delovanje dlani
Infraklavikularno	lateralni sveženj (<i>n. musculocutaneus</i>)	upogib komolca
	medialni sveženj (<i>n. medianus</i> in <i>ulnaris</i>)	upogib prstov dlani, intrinzična funkcija dlani
	posteriorni sveženj (<i>n. axillaris</i> in <i>radialis</i>)	odmik rame (s tem, da sta <i>n. supraspinatus</i> in <i>n. infraspinatus</i> nepoškodovana) ter izpad iztega komolca in zapestja

Tabela 3. Tipični znaki pri pregledu poškodovanca, ki nakazujejo predganglijsko poškodbo (8).

Najdba	Možen vzrok
Hornerjev sindrom	poškodba simpatičnega ganglija (segment Th1)
štrleča lopatica	poškodba <i>n. thoracicus longus</i> (C5–7)
atrofija paraskapularnih mišic	poškodba <i>n. dorsalis scapulae</i> (C4–5)
šibkost vratnih paraspinalnih mišic in izguba občutka v posteriornem delu vratu	poškodba dorzalnih vej korenin vratnih spinalnih živcev
paraliza hemidiafragme	poškodba <i>n. phrenicus</i> (C3–5)
odsotnost Hoffman-Tinelovega znaka ^a v področju vratu	odsotnost proksimalnega krna spinalnega živca
pseudomeningokela na mielogramu	razvoj meningealnega divertikuluma po celjenju raztrganega žepa spinalne korenine

^a Hoffman-Tinelov znak – s perkusijo nad potekom živca ugotavljamo subjektivno prisotnost parestezij ali bolečine. Ob prisotnosti omenjenih občutkov je znak pozitiven.

prišlo do predganglijske poškodbe. Tovrstno razlikovanje med poškodbami nam omogoči načrtovanje zdravljenja in napove njegov izid.

PREGLLED PACIENTA

Za določitev mesta lezije in načrtovanje zdravljenja je treba zbrati podatke o načinu in času nastanka poškodbe ter o pridruženih poškodbah. Natančen pregled poškodovanca moramo v rednih intervalih ponavljati in beležiti, da lahko ugotovimo, ali se funkcija izboljšuje. Pristop je individualen, zato se dolžina intervalov med posameznimi primeri razlikuje. Že s pregledom lahko okvirno ugotovimo, ali je prišlo do predganglijske ali poganglijske poškodbe. Treba je beležiti tudi motorično funkcijo mišic, ki jih oživčuje BP. Z opazovanjem pacienta lahko ocenimo tudi mišično atrofijo, ki lahko nakazuje mesto in vrsto PBP.

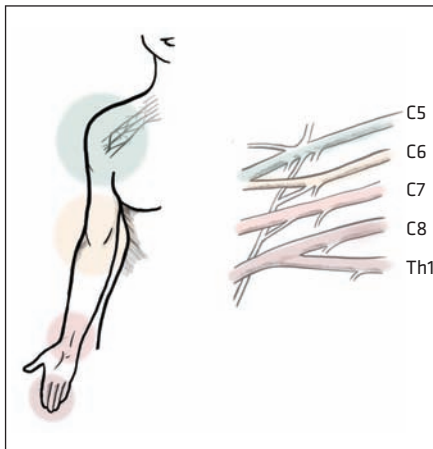
Vedno moramo oceniti obseg naslednjih gibov:

- aktivni in pasivni upogib, odmik in zunanja rotacija rame,
- upogib in izteg komolca,
- pronacija in supinacija podlakti in
- upogib ter izteg zapestja in prstov.

Oceniti je treba tudi različne vrste senzoričnih občutkov, npr. rahel dotik, v različnih samostojnih senzoričnih predelih zgornje okončine. Ugotovitve po dermatomih so kljub novejšim in natančnejšim anatomskim dognanjem lahko nespecifične, a jih je vseeno treba beležiti.

Ob pregledu moramo biti pozorni na prisotnost ali odsotnost občutljivosti ob perkusiji v supraklavikularni in infraklavikularni regiji. Odsotnost parestezij po poteku živca nakazuje na izpuljenje. Napredujoči Hoffman-Tinelov znak distalno od spinalnega živca nakazuje napredek regeneracije.

Poleg pregleda motoričnih in senzoričnih funkcij moramo določiti nevrološki status poškodovanca, saj tako ugotavljamo tudi pridružene poškodbe hrbtenjače in žil. Do



Slika 2. Poenostavljeno je korenina C5 odgovorna za gibanje rame, C6 za gibanje v komolcu, C7 za zapestje ter C8 in Th1 za dlan s prsti.

12 % poškodovancev s PBP ima sočasno poškodbo hrbtenjače, kot so: prekinitve celotne hrbtenjače, sindrom Brown-Sequard in sindrom sprednjega dela hrbtenjače. Tovrstne pridružene poškodbe lahko izključimo z oceno refleksov spodnjih okončin (14). Pri bolniku s hiperrefleksijo spodnjih okončin mora pregled opraviti tudi nevrolog z namenom izključitve poškodb zgornjega motoričnega nevrona.

Žilne poškodbe so pridružene v 13–28 % PBP, predvsem pri hujših poškodbah, pri katerih pride sočasno tudi do skapulotorakalne disociacije (14, 15). Palpiramo *a. brachialis*, *a. ulnaris* in *a. radialis*, lahko se uporabi doplerski UZ. Ocena žilja zgornje okončine je zelo pomembna za predoperativno načrtovanje ob prostem prenosu funkcionalne mišice.

SLIKOVNE PREISKAVE

Rentgensko slikanje

Pri poškodovancu posnamemo RTG prsnega koša med vdihom in izdihom za oceno delovanja *n. phrenicus* (inervacija iz C3–C5). Paraliza trebušne prepone se lahko izrazi tudi pri izpuljenju korenine C5. Pomembna najdba so tudi zlomi reber, predvsem prve-

ga in drugega, saj lahko zamaknjeno rebro poškoduje medrebrne živce (lat. *nn. intercostales*, ICN), ki bi jih sicer lahko izkoristili za rekonstrukcijo BP. Zlomi stranskega odrastka (lat. *processus transversus*) vratne hrbtenice so pogosteje povezani s predganglijskimi poškodbami.

Računalniška tomografija

CT vratnega predela hrbtenice, kombiniran z mielografijo, predstavlja del diagnostike prikazovanja poškodb korenin živcev in omogoča natančen opis stanja živčne korenine (16). V praksi se danes CT uporablja manj pogosto, saj je metodo nadomestila MRI. Ob izpuljenju korenine živca lahko na CT-mielogramu vidimo izbočenje meningealnih ovojníc, psevdomeningokelo.

Magnetna resonanca

Priljubljenost MRI narašča predvsem zaradi neinvazivnosti in možnosti natančnega posredovanja podatkov glede PBP ter stanja celotnega BP (17, 18). CT-mielografija in MRI sta primerljivi preiskavi za oceno BP s primerljivo občutljivostjo, ki je pri obeh metodah 92,9%. Specifičnost MRI je 81,3% in pri CT-mielografiji 75,8% (17).

Ultrazvočna preiskava

V zadnjem obdobju se je povečalo zanimanje za oceno PBP s pomočjo UZ. Sistematični pregled literature je zaznal 87% občutljivost za zaznavanje PBP pri odraslih, pri čemer je bila natančnost boljša pri višjeležečih živčnih koreninah (C5–C7) (19). Zaradi dostopnosti preiskave je UZ zelo uporaben, vendar je za zanesljivo oceno PBP potrebna ustrezna usposobljenost radiologa, obenem pa lahko pridobitev kakovostne ocene dodatno ovira tudi brazgotinsko tkivo.

Angiografija

Ob sumu na žilno poškodbo je smiselna angiografija z namenom prikaza prehodnosti žilja. Opravimo lahko običajno arteriografijo, CT-angiografijo ali MR-angiografijo.

ELEKTRODIAGNOSTIČNE METODE

Elektrodiagnostične metode se uporabljajo v predvsem v predoperativnem in medoperativnem obdobju.

Predoperativno obdobje

Predoperativno s pomočjo meritev prevodnosti živcev in igelne elektromiografije (EMG):

- potrdimo diagnozo,
- določimo, ali gre za predganglijsko ali poganglijsko poškodbo,
- ugotovljamo stopnjo aksonske poškodbe,
- izključujemo druge diferencialne diagnoze in
- lahko prepoznamo subklinične spremembe (16).

Pri zaprtih poškodbah opravimo EMG in izmerimo hitrost živčnega prenosa. Preiskava je smiselna šele 3–4 tedne po poškodbi, saj se Wallerjeva degeneracija, tj. retrogradni degenerativni proces živčevja po prekinitvi živca, prej ne razvije. Če posnamemo EMG pred tem, lahko testiranje zazna lažno prevajanje po živcu. V naslednjih tednih po poškodbi je treba večkrat ponoviti pregled pacienta in elektrodiagnostične preiskave, s čimer dodatno ugotovljamo spontano izboljšanje stanja ali neuspeh reinervacije mišice (20).

Medoperativno obdobje

Kombinacijo elektrodiagnostičnih metod uporabljamo tudi medoperativno, da določimo, katere živčne svežnje je potrebno odstraniti ali presaditi in kateri so normalno delujoči (21).

Med te tehnike uvrščamo:

- živčne akcijske potenciale (angl. *nerve action potentials*, NAP),
- somatosenzorično izzvane potenciale (angl. *somatosensory evoked potentials*, SSEP) in
- motorično izzvane potenciale (angl. *motor evoked potentials*, MEP).

Živčni akcijski potenciali

Z NAP ugotavljamo, ali poškodovani živec lahko prenaša signal čez mesto poškodbe, in s tem napovemo uspeh reinervacije mesece pred drugimi ustaljenimi EMG-tehnikami (22).

Izzvani potenciali

S SSEP in MEP ugotavljamo motnje v poteku motoričnih oz. senzoričnih živcev. Odsotni so pri predganglijskih poškodbah, medtem ko intaktni potenciali nakazujejo na poganglijsko lezijo.

KONCEPTI KIRURŠKEGA ZDRAVLJENJA

Indikacije za kirurške metode zdravljenja

Kirurška oskrba je metoda izbire ob odsotnosti kliničnih in elektrodiagnostičnih znakov za okrevanje ter kadar spontanega povratka funkcije ne moremo pričakovati.

Najzahtevnejši vprašanji, ki se pojavita ob PBP, sta, kdaj in koga operirati. Ob tem je za pacienta in kirurga ključno, da se zavedata, da z operacijo ni mogoče popolnoma povrniti funkcije, prisotne pred poškodbo, in odpraviti NB, ki se pogosto pojavi ob izpuljenju živca.

Cilj je torej gibanje zgornje okončine proti gravitacijski sili, kar olajša opravljanje dnevnih aktivnosti. Prednostni funkciji sta upogib komolca in odmik rame, pri katerih imamo več možnosti za uspešno rekonstrukcijo.

Pomembnost ustrezne časovne umestitve

Ustrezna časovna umestitev kirurškega posega je najpomembnejši vidik zdravljenja PBP. Če živčnega signala ne povrnemo v primerem času, pride do okvare motorične ploščice in denervacijske atrofije, kar mišico nepovratno poškoduje ne glede na to, ali pozneje ponovno dosežemo prevodnost signalov po živcu (20). Ob tem moramo biti pozorni tudi na razdaljo od poškodbe

do tarčnega organa. Razdalja od ramena do dlani je dolga, kar zahteva daljše časovno obdobje za okrevanje. Hkrati se moramo zavedati, da lahko prezgodnji poseg onemogoči spontano regeneracijo aksonov do tarčne mišice.

Odperte poškodbe

Predvsem od mehanizma in tipa poškodbe je odvisno, kdaj se odločimo za kirurški poseg. Takojšnja eksploracija in neposredni šiv živca sta indicirana pri ostrih odprtih poškodbah z akutnim izpadom funkcije živca, kot je vbod z nožem. Tako lažje najdemo prekinjen živec in ga zašijemo konec s koncem (angl. *end-to-end*) (13).

Ob topi odprti poškodbi živca je treba konec prekinjenega živca ustrezno označiti in z rekonstrukcijo počakati 3–4 tedne. V tem času se področje poškodbe ustrezno omeji.

Pri nizkoenergetskih strelnih ranah je stanje treba opazovati, saj navadno pride samo do nevrapraksije. Pri visokoenergetskih strelnih ranah je pridružena tudi večja poškodba okolnih mehkih tkiv, kar navadno zahteva kirurško eksploracijo (23).

Zaprte poškodbe

Pri zaprtih poškodbah je nekoliko težje določiti primeren čas za poseg. Nanj vplivajo vrsta poškodbe, fizični status poškodovanca, rezultati elektrodiagnostičnih metod, najdbe slikovnih diagnostičnih metod in izkušnje operaterja.

Zgodnja eksploracija in rekonstrukcija 3–6 tednov po PBP je indicirana, ko utemeljeno sumimo na izpuljenje korenine, saj ni smiselno pričakovati spontane reinervacije. Podobno ravnamo tudi ob pridruženih posrednih znakih za težje poškodbe (20).

Če pri pacientu ne opazimo znakov reinervacije, se rutinska eksploracija opravi 3–6 mesecev po PBP (24).

Rezultati odložene rekonstrukcije, izvedene 6–12 mesecev po PBP, in pozne rekonstrukcije, izvedene več kot 12 mesecev od PBP, so večinoma slabši, saj je čas za rege-

neracijo živca do tarčne mišice daljši kot preživetveni čas motorične ploščice po denervaciji. V tovrstnih primerih lahko uporabimo proste prenose delujočih mišic in prenose tetiv. Nekateri kirurgi dajejo prednost zgodnji rekonstrukciji po PBP, saj si takrat lažje prikažejo strukture in s tem preprečijo, da bi brazgotinjenje dodatno otežilo zdravljenje.

Prioritete rekonstrukcije

Ob popolnoma nedelujoči zgornji okončini ima najvišjo prioriteto upogib komolca. Sledijo stabilizacija, odmik in zunanja rotacija rame, nato senzorika dlani.

Rekonstrukcija iztega in upogiba zapestja ter prstov je zelo zahtevna predvsem zaradi razdalje od mesta poškodbe in počasne obnove živcev. Prav tako je težavna rekonstrukcija intrinzične funkcije dlani. Tradicionalne metode rekonstrukcije živcev ne omogočajo, da bi aksoni dosegli motorično ploščico pred začetkom nepovratne atrofije mišic.

Žal pogosto nimamo na voljo dovolj vitalnih in darovalskih živcev, da bi povrnil vse želene funkcije, zato sledimo prednostnemu seznamu.

NAČINI KIRURŠKE OSKRBE

Primarna rekonstrukcija je začetna kirurška metoda, ki zajema rekonstrukcijsko kirurgijo živcev in mehkih tkiv. Primeri so neposredni šiv živca, nevroliza, živčni presadek, prenos živca, prosti prenos funkcionalne mišice in prenos tetiv.

Namen sekundarne rekonstrukcije je dodatno izboljšanje funkcije in lahko vse-

buje mehkoaktivno rekonstrukcijo, npr. prenos tetiv in mišic, prosti prenos funkcionalne mišice, kapsulotomija ter posege na kosteh, kot sta artrodeza in osteotomija.

Neposredni šiv živca

Ob ostri poškodbi se prekinjen živec zašije konec s koncem. Zaradi krhkosti struktur morata biti konca zašita z minimalnim natezanjem, kar je v praksi redko mogoče.

Nevroliza

Poseg vključuje sprostitvev živca iz brazgotine, s čimer se izboljšata prekrvavitev in obnova živca. Poslužimo se je lahko, ko živec ni prekinjen in prevaja NAP.

Živčni presadek

Z avtolognim živčnim presadkom lahko premostimo vrzeli, ki nastanejo ob poškodbi živcev. Da preživele motorične aksone v proksimalnem krnu prekinjenega živca povežemo s krnom distalnega dela živca, lahko pri poganglijskih poškodbah uporabimo živčne presadke. Najpogosteje uporabimo *n. suralis*, s katerim lahko premostimo razdaljo do 30 cm, ali druge kožne živce. Preživele korenine pri poganglijskih poškodbah brez natezanja staknemo s premostitvenimi presadki na oddaljene ciljne živce z mikrokirurško tehniko. V tabeli 4 so prikazani primeri uporabe živčnih presadkov za doseganje povrnitve funkcije.

Prenos živca (nevrotizacija)

Princip prenosa živca je, da funkcionalno manj pomemben delujoči živec ali njegov del povežemo s funkcionalno pomembnejšim

Tabela 4. Klasični primeri uporabe živčnih presadkov.

Korenina segmenta hrbtnjače	Oddaljeni ciljni živec	Povrnitev funkcije
C5	<i>n. suprascapularis</i> , <i>n. axillaris</i>	odmik rame
C6	<i>n. musculocutaneus</i>	upogib komolca
C7	<i>n. radialis</i>	izteg zapestja in komolca

denerviranim distalnim živcem. S tem izgubimo določeno funkcijo, kar nam omogoči povrnitev druge. Tako lahko povrnemo motorično in senzorično funkcijo živca, a je za dober rezultat treba intraoperativno oceniti, kateri del živca ima določeno funkcijo. Poleg tipa živca je treba oceniti tudi število vlaken v živcih, ki mora biti čim bolj podobno (25). Prenos živcev se mora opraviti znotraj šestih mesecev od poškodbe, a se to okno lahko v nekaterih primerih podaljša tudi do enega leta ali dlje. Metoda je sicer manj zanesljiva kot živčni presadek.

Prosti prenos funkcionalne mišice

Gre za mikrokirurški prosti prenos oživčene mišice (angl. *free functioning muscle transfer*, FFMT) in njenega nevrovaskularnega peclja z drugega dela telesa z namenom pridobitve nove funkcije. Za preživetje mišice na novem mestu naredimo mikrokirurško anastomozo na darovalsko žilje. S povezavo darovalskega motoričnega živca na živčni pecelj mišice omogočimo regeneracijo in oživčenje.

DEJAVNIKI ODLOČANJA GLEDE ZDRAVLJENJA

Kadar ugotovimo, da je prišlo do predgangeljske poškodbe, živcev poškodovanih korenin ne moremo uporabiti za rekonstrukcijo. V teh primerih imamo za rekonstrukcijo na voljo prenos živcev, mišic in tetiv ter artrodezo. Pri poganglijskih poškodbah je povezava z osrednjim živčnim sistemom ohranjena, zato se te živce lahko uporabi kot vir za rekonstrukcijo distalnih krmov.

Pri izpuljenju celotnega pleteža mora vir živcev za rekonstrukcijo okončine izhajati zunaj BP in navadno vključuje spinalni akcesorni živec (angl. *spinal accessory nerve*, SAN), ICN in kontralateralni C7 živec (26).

Ne glede na obliko in razsežnost poškodbe je treba med kirurško eksploracijo BP oceniti morebitne živčne vire. Intraoperativno si zato pomagamo z elektrofiziološkimi diagnostičnimi metodami.

REKONSTRUKCIJA UPOGIBA KOMOLCA

Najvišjo prioriteto ob rekonstrukciji ima obnovitev upogiba komolca, kar lahko dosežemo z reinervacijo *m. bicepsa* in *m. brachialis* (13).

Na motorično vejo za *m. biceps* ali *n. musculocutaneus* lahko prenesemo ICN ali SAN, kar si olajšamo s premostitvenim živčnim presadkom. *N. musculocutaneus* vsebuje motorična vlakna za *m. biceps brachii*, *m. brachialis* in *m. coracobrachialis*, prav tako pa tudi senzorična vlakna za *n. cutaneus antebrachii lateralis* (27). Slika 3 prikazuje primera rekonstrukcije upogiba komolca.

Ob izpuljenju korenine imamo na voljo tehniko po Oberlinu, s katero opravimo prenos svežnjev *n. ulnarisa*, ki so sicer namenjeni za *m. flexor carpi ulnaris*, na *m. biceps* ali *m. brachialis*. Tako ne izgubimo motoričnih ali senzoričnih kvalitiet žrtvovanega svežnja živca (28). Slika 4 prikazuje tovrstni način rekonstrukcije, ki sicer ustvari boljši funkcionalni rezultat upogiba komolca, kot če uporabimo zunajpletežne donorske živce. Uporabni so tudi svežnji *n. medianusa* (29, 30).

Kadar imamo na voljo vitalni krn C6 korenine, jo lahko s presadkom povežemo s sprednjim razvejkom zgornjega debla za reinervacijo *n. musculocutaneusa*. Če je od poškodbe minilo več kot 9–12 mesecev, se je priporočljivo poslužiti kombinacije FFMT in prenosa zunajpletežnega živca.

Na voljo je več možnosti:

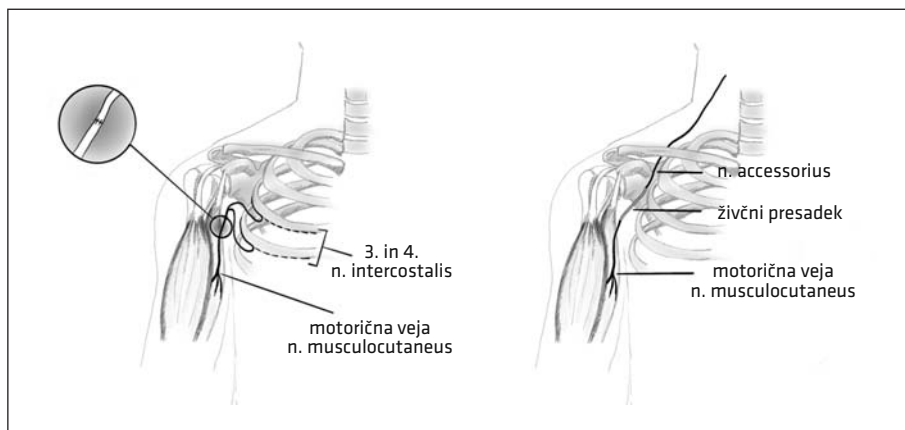
- *m. latissimus dorsi* z *n. thoracodorsalis*,
- *m. rectus femoris* z *n. femoralis* in
- *m. gracilis* s sprednjim razvejkom *n. obturatorja*.

M. gracilis se uporabi najpogosteje, saj ima proksimalno vezan pecelj za zgodnejšo reinervacijo ter dolgo tetivo za potencialno povrnitev funkcij zapestja in prstov (20). Po FFMT za rekonstrukcijo upogiba komolca 79 % poškodovancev doseže zadovoljivo moč (31).

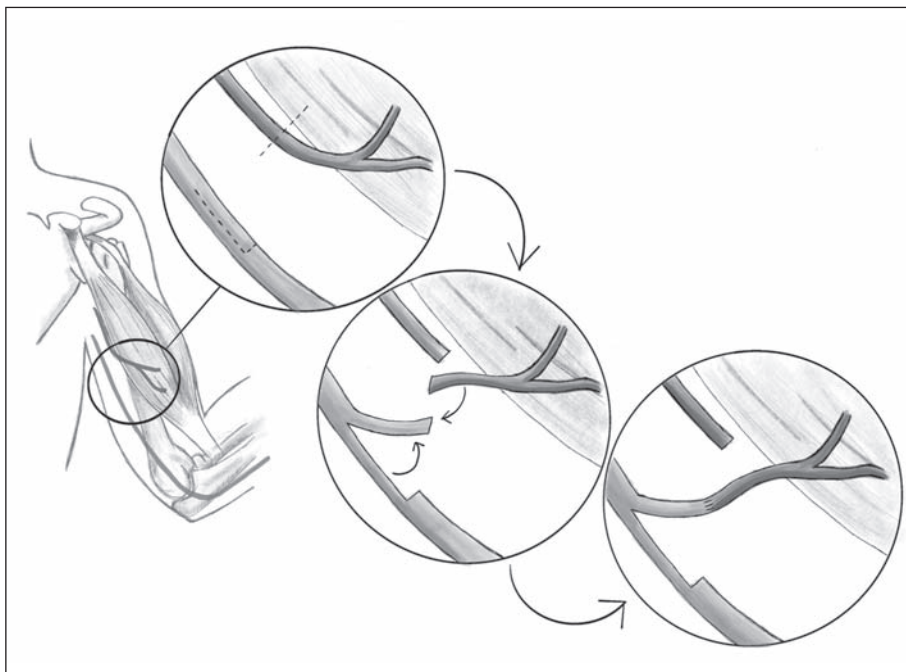
Pri samo delnih PBP se upogib kolenca lahko obnovi s prenosom inerviranih lokalnih mišic; ob tem je treba biti pazljiv, da z žrtvovanjem teh mišic ne oslabimo delovanja rame in drugih struktur.

Prenešemo lahko naslednje mišice:

- *m. pectoralis major*,
- *m. pectoralis minor*,
- *m. triceps brachii* in
- *m. latissimus dorsi*.



Slika 3. Levi del slike prikazuje povrnitev upogiba kolenca s povezavo med ICN in motorično vejo *n. musculocutaneusa*. Na desni je prikaz povrnitve upogiba kolenca s pomočjo živčnega presadka med SAN in motorično vejo *n. musculocutaneusa*.



Slika 4. Tehnika po Oberlinu za povrnitev upogiba kolenca (28).

REKONSTRUKCIJA STABILNOSTI RAME

Kadar ob eksploraciji odkrijemo vitalno korenino C5, jo lahko povežemo z *n. suprascapularis* ter z zadajšnjim razvejkom zgornjega debla za *n. axillaris*. Ob tem lahko uporabimo premostitveni živčni presadek.

Funkcijo lahko rami povrnemo tudi s prenosom SAN do *n. suprascapularis*. Zaradi bližine lahko povezavo napravimo brez premostitvenega presadka, kar glede na raziskave izboljša rezultat rekonstrukcije (27). Dodatno lahko izboljšamo funkcijo še s prenosom veje *n. radialisa* za *m. triceps brachii* na *n. axillaris* (5).

Možni uporabni darovalski živci so tudi:

- *n. thoracodorsalis*,
- ICN,
- *n. pectoralis medialis* in
- *n. phrenicus*, čeprav se slednjega nekateri kirurgi izogibajo zaradi sicer redkega poslabšanja pljučnega delovanja po posegu (32).

Za doseganje stabilnosti rame lahko izvedemo tudi glenohumeralno artrodezo, ki sicer zmanjša gibljivost ramenskega sklepa, a omogoča zadostno stabilnost za uporabo dlani in rekonstrukcijo funkcij komolca (33).

REKONSTRUKCIJA FUNKCIJE DLANI

Žal so rezultati poskusov povrnitve funkcije dlani pri PBP slabši kot rekonstrukcija rame ali komolca (31). Za delovanje je treba ponovno vzpostaviti antagonistični funkciji prijema in izpusta. S pomočjo prenosov živcev ni mogoče povrniti delovanja intrinzičnih mišic.

Doi in sodelavci opisujejo dvojni FFMT *m. gracilis*, pri čemer se pri prvem prenosu mišico reinervira s SAN in naredi žilno anastomozo na torakoakromialno deblo. Tako povrnemo upogib komolca ter izteg prstov in zapestja. Mišica je proksimalno vezana na ključnico in nato speljana distalno ob *m. brachioradialis* do radialnega dela zapestja in iztezalk prstov.

Pri drugem prenosu se *m. gracilis* reinervira z motoričnimi ICN in anastomozira na *a. thoracodorsalis* za povrnitev upogiba prstov. Senzorične ICN se prenese do *n. medianusa* za povrnitev senzorične dlani. Tokrat mišico proksimalno priprnemo na drugo rebro, nato poteka podkožno po medialni strani zgornje okončine, kjer se jo pritrdi na upogibalke prstov (34). Ob enojnem prenosu je treba zapestje stabilizirati z artrodezo (slika 5).

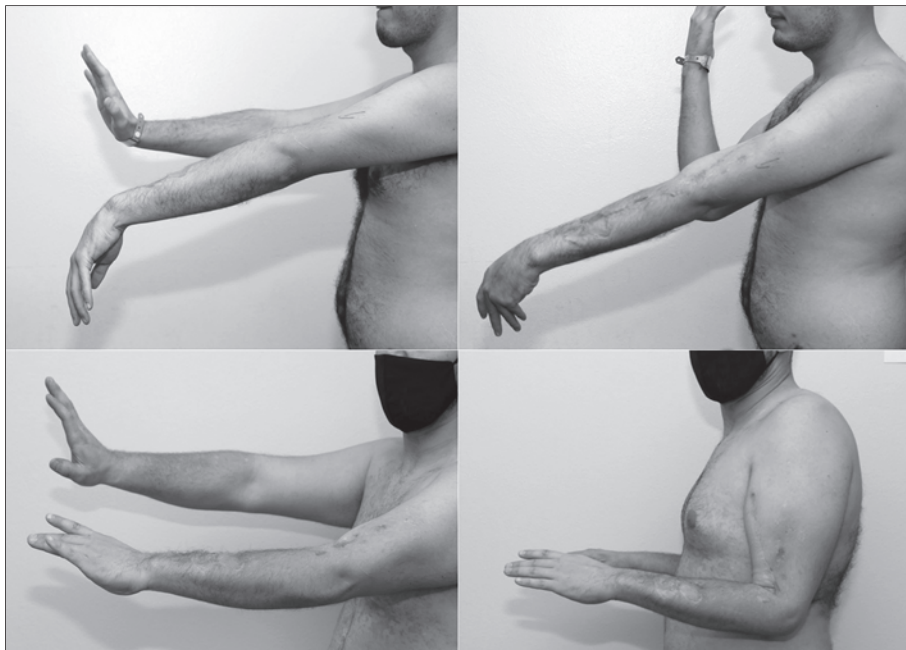
SEKUNDARNA REKONSTRUKCIJA

Poslužujemo se je, ko s primarnim kirurškim zdravljenjem ne dosežemo želenega rezultata in ko ne moremo pričakovati nadaljnjega izboljšanja. Na voljo imamo prenos tetive, ki jo lahko uporabimo le ob delujoči mišici. FFMT se lahko napravi za povrnitev moči šibko reinerviranega *m. bicepsa* ali *m. tricepsa*, ko imamo darovalca viabilnega živčevja ali zadostno darovalsko žilje. Artrodeza se uporabi za ramo, zapestje ali za dlan. Ob vztrajajoči boleči sublukciji rame se kot paliativna operacija lahko napravi fuzija rame. Tudi druge kostne operacije, kot so: humeralna derotacijska osteotomija, artrodeza palca, fuzija zapestja in artrodeza sklepa prsta, lahko izboljšajo stanje.

Bolniki, ki imajo težave z NB, pogosto zahtevajo amputacijo okončine, saj upajo, da se bo stanje s tem izboljšalo. Kirurg mora v tem primeru pojasniti, da je NB posledica poškodbe hrbtenjače, ki je povezana z izpuljenjem živca in da amputacija ne bo omilila bolečine. V akutnem stanju se izogibamo amputacijam in bolj priporočamo rekonstrukcijo živcev. Šele po primerni obravnavi fizioterapevtov in izčrpanih tudi drugih možnosti dodatnega zdravljenja se je občasno treba poslužiti amputacije (35).

NEVROPATSKA BOLEČINA

NB pri PBP lahko pričakujemo pri več kot polovici poškodovancev (36, 37). Podobno kot se to zgodi pri poškodbah hrbtenjače,



Slika 5. Na zgornjih fotografijah je pacient s PBP leve strani pred operativnim zdravljenjem. Spodnji fotografiji prikazujeta stanje po transpoziciji tetiv za izteg dlani in prstov ter prenosu po Oberlinu, s čimer sta bili povrnjeni funkcija dlani in upogib komolca.

lahko NB razvijejo tudi pacienti z izpuljenjem korenine živca. Bolečina se z rekonstrukcijo živca lahko izboljša le pri poganjalskih poškodbah, saj v tem primeru izvira iz proksimalnega krna. Tako preprečimo nastanek nevroma (38).

Zdravljenje NB je zahtevno in vključuje farmakološko ter kirurško zdravljenje. Uporabljamo predvsem antikonvulzive (gabapentin, pregabalin), antidepresive (amitriptilin, duloksetin) in mišične relaksante (baklofen) (39). Ko zdravlila ne zadoščajo, v poštev prideta ablacija s pristopom skozi dorzalno korenino ter globoka stimulacija možganov in hrbtenjače.

POOPERATIVNA TERAPIJA

Po rekonstrukciji živca običajno operirani predel imobiliziramo za tri tedne. Manjši premiki so dovoljeni po treh tednih, saj so popravila živcev izvedena brez natezanja. Razumeti je treba, da je proces zdra-

vljenja živcev počasen in težaven. Klinično lahko rezultate opazimo šele čez eno ali dve leti. Krajša kot je pot od anastomoze do ciljne mišice, hitreje bo prišlo do reinervacije.

Med čakanjem na reinervacijo morajo bolniki izvajati fizioterapijo sklepov, da se preprečijo kontrakture. Ponovna kontrola se priporoča vsakih 6–8 mesecev za naslednjih 2–5 let, da se ocenjuje rezultate posegov in funkcionalnost pacienta ter določi potencialne sekundarne rekonstrukcije.

REHABILITACIJA

Zaradi kompleksnosti poškodovancev je potrebna interdisciplinarna oskrba, ki zajema tudi fizioterapevte in delovne terapevte. Že v obdobju pred operacijo je treba izvajati fizioterapevtske vaje za preprečevanje kontraktur in okrepitev delujočih mišic, po posegu pa se rehabilitacija nadaljuje še 3–4 leta. Pred začetkom obravnave

je treba postaviti primerne cilje znotraj omejitev reinervacije. Vsak program mora biti individualiziran in sprotno prilagojen napredku pacienta (40).

V sklop rehabilitacije spada pester nabor metod in tehnik:

- Elektroterapija, ki s stimulacijo denervirane mišice upočasni propadanje in se uporablja samo do prvih znakov reinervacije.
- Transkutana električna živčna stimulacija (angl. *transcutaneous electrical nerve stimulation*, TENS), ki s pomočjo nizkofrekvenčne električne stimulacije višjih jakosti doseže porast endorfinov, s čimer zmanjšamo lokalno bolečino.
- Magnetoterapija, ki izboljša cirkulacijo, dvigne nasičenost tkiv s kisikom in pospešeno odvaja stranske produkte metabolizma.
- Hidroterapija, ki izkorišča vzgon in upor v vode na gibanje telesa, z njo pa izboljšamo moč, jakost, vzdržljivost, ravnotežje in koordinacijo telesa.
- Ročna limfna drenaža je metoda čiščenja limfnih poti, ki ima simpatikolitične, analgetične, imunske in drenažne učinke.
- Frikcijska masaža je globoka prečna masaža, ki jo izvajamo neposredno na poškodovanem mestu. Učinek je lokalni, zato moramo zadeti točno pravo mesto bolečine.

- Terapija s kineziološkimi trakovi brez učinkovin uspešno lajša bolečine in skrajša čas rehabilitacije. Metoda izboljša mišično funkcijo, stabilizira sklepe, podpira naravno funkcijo, zmanjša bolečino in poveča obseg zmogljivosti.
- Biološka povratna zanka (angl. *biofeedback*) je metoda za ponovno učenje in krepitev mišic, ki kažejo šibko aktivnost.
- Metode kinezioterapije pomenijo zdravljenje z gibanjem. Z njimi vzdržujemo osnovno funkcijo sklepa, raztegljivost ob sklepnih mehkih tkiv in elastičnost mišic, izboljša se pretok krvi in zmanjša bolečina.

ZAKLJUČEK

Zaradi naprednega poznavanja patofiziologije živčevja in metod mikrokirurške rekonstrukcije živcev je zdravljenje poškodbe brahialnega pleteža v zadnjih letih močno napredovalo. Ključno sporočilo za širšo strokovno občinstvo je, da je bolnika treba napotiti na pregled k specialistu plastične kirurgije čim prej, saj lahko samo tako načrtujemo poseg v obdobju, ko imamo na voljo več metod zdravljenja, ki omogočajo spodbudnejše rezultate.

ZAHVALA

Za ilustracije v članku se avtorji iskreno zahvaljujemo Viktoriji Kostadinovi, dr. med.

LITERATURA

1. Bekelis K, Missios S, Spinner RJ. Falls and peripheral nerve injuries: An age-dependent relationship. *J Neurosurg*. 2015; 123 (5): 1223–9.
2. Faglioni W, Jr., Siqueira MG, Martins RS, et al. The epidemiology of adult traumatic brachial plexus lesions in a large metropolis. *Acta Neurochir (Wien)*. 2014; 156 (5): 1025–8.
3. Wang JP, Rancy SK, Lee SK, et al. Shoulder and elbow recovery at 2 and 11 years following brachial plexus reconstruction. *J Hand Surg Am*. 2016; 41 (2): 173–9.
4. Leechavengvongs S, Malungpaishorpe K, Uerpairojkit C, et al. Nerve transfers to restore shoulder function. *Hand Clin*. 2016; 32 (2): 153–64.
5. Leechavengvongs S, Wittoonchart K, Uerpairojkit C, et al. Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps, part ii: A report of 7 cases. *J Hand Surg Am*. 2003; 28 (4): 633–8.
6. Noland SS, Bishop AT, Spinner RJ, et al. Adult traumatic brachial plexus injuries. *J Am Acad Orthop Surg*. 2019; 27 (19): 705–16.
7. Narakas AO. The treatment of brachial plexus injuries. *Int Orthop*. 1985; 9 (1): 29–36.
8. Songcharoen P SA. Brachial plexus injury: Acute diagnosis and treatment. In: Berger RA WA, ed. *Hand surgery*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2003. p. 1005–25.
9. Sunderland S. A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function. *Brain*. 1951; 74 (4): 491–516.
10. Seddon HJ. Three types of nerve injury. *Brain*. 1943; 66 (4): 237–88.
11. Evans GR. Peripheral nerve injury: A review and approach to tissue engineered constructs. *Anat Rec*. 2001; 263 (4): 396–404.
12. Robinson LR. Traumatic injury to peripheral nerves. *Muscle Nerve*. 2000; 23 (6): 863–73.
13. Spinner RJ SA, Herbert-Blouin M, et al. Traumatic brachial plexus injury. In: Wolfe SW HR, Pederson WC, ed. *Green's operative hand surgery*. 6th ed. Philadelphia: Churchill Livingstone Elsevier; 2010. p. 1235–92.
14. Rhee PC, Pirola E, Hébert-Blouin MN, et al. Concomitant traumatic spinal cord and brachial plexus injuries in adult patients. *J Bone Joint Surg Am*. 2011; 93 (24): 2271–7.
15. Terzis JK, Vekris MD, Soucacos PN. Outcomes of brachial plexus reconstruction in 204 patients with devastating paralysis. *Plast Reconstr Surg*. 1999; 104 (5): 1221–40.
16. O'Shea K, Feinberg JH, Wolfe SW. Imaging and electrodiagnostic work-up of acute adult brachial plexus injuries. *J Hand Surg Eur Vol*. 2011; 36 (9): 747–59.
17. Doi K, Otsuka K, Okamoto Y, et al. Cervical nerve root avulsion in brachial plexus injuries: Magnetic resonance imaging classification and comparison with myelography and computerized tomography myelography. *J Neurosurg*. 2002; 96 (3 Suppl): 277–84.
18. Fuzari HKB, Dornelas de Andrade A, Vilar CF, et al. Diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging in post-traumatic brachial plexus injuries: A systematic review. *Clin Neurol Neurosurg*. 2018; 164: 5–10.
19. Chin B, Ramji M, Farrokhkar F, et al. Efficient imaging: Examining the value of ultrasound in the diagnosis of traumatic adult brachial plexus injuries, a systematic review. *Neurosurgery*. 2018; 83 (3): 323–32.
20. Shin AY, Spinner RJ, Steinmann SP, et al. Adult traumatic brachial plexus injuries. *J Am Acad Orthop Surg*. 2005; 13 (6): 382–96.
21. Robert EG, Happel LT, Kline DG. Intraoperative nerve action potential recordings: Technical considerations, problems, and pitfalls. *Neurosurgery*. 2009; 65 (4 Suppl): A97–104.
22. Kline DG, Happel LT. Penfield lecture. A quarter century's experience with intraoperative nerve action potential recording. *Can J Neurol Sci*. 1993; 20 (1): 3–10.
23. Kim DH, Cho YJ, Tiel RL, et al. Outcomes of surgery in 1019 brachial plexus lesions treated at Louisiana state university health sciences center. *J Neurosurg*. 2003; 98 (5): 1005–16.
24. Kline DG. Timing for brachial plexus injury: A personal experience. *Neurosurg Clin N Am*. 2009; 20 (1): 24–6.
25. Songcharoen P. Management of brachial plexus injury in adults. *Scand J Surg*. 2008; 97 (4): 317–23.
26. Wang SF, Li PC, Xue YH, et al. Contralateral c7 nerve transfer with direct coaptation to restore lower trunk function after traumatic brachial plexus avulsion. *J Bone Joint Surg Am*. 2013; 95 (9): 821–7.
27. Merrell GA, Barrie KA, Katz DL, et al. Results of nerve transfer techniques for restoration of shoulder and elbow function in the context of a meta-analysis of the English literature. *J Hand Surg Am*. 2001; 26 (2): 303–14.
28. Oberlin C, Béal D, Leechavengvongs S, et al. 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): 232–7.

29. Coulet B, Boretto JG, Lazerges C, et al. A comparison of intercostal and partial ulnar nerve transfers in restoring elbow flexion following upper brachial plexus injury (c5-c6+/-c7). *J Hand Surg Am.* 2010; 35 (8): 1297–303.
30. Teboul F, Kakkar R, Ameer N, et al. Transfer of fascicles from the ulnar nerve to the nerve to the biceps in the treatment of upper brachial plexus palsy. *J Bone Joint Surg Am.* 2004; 86 (7): 1485–90.
31. Bishop AT. Functioning free-muscle transfer for brachial plexus injury. *Hand Clin.* 2005; 21 (1): 91–102.
32. Chuang ML, Chuang DC, Lin IF, et al. Ventilation and exercise performance after phrenic nerve and multiple intercostal nerve transfers for avulsed brachial plexus injury. *Chest.* 2005; 128 (5): 3434–9.
33. Atlan F, Durand S, Fox M, et al. Functional outcome of glenohumeral fusion in brachial plexus palsy: A report of 54 cases. *J Hand Surg Am.* 2012; 37 (4): 683–8.
34. Doi K, Muramatsu K, Hattori Y, et al. Restoration of prehension with the double free muscle technique following complete avulsion of the brachial plexus. Indications and long-term results. *J Bone Joint Surg Am.* 2000; 82 (5): 652–66.
35. Maldonado AA, Kircher MF, Spinner RJ, et al. The role of elective amputation in patients with traumatic brachial plexus injury. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2016; 69 (3): 311–7.
36. Ciaramitaro P, Padua L, Devigili G, et al. Prevalence of neuropathic pain in patients with traumatic brachial plexus injury: A multicenter prospective hospital-based study. *Pain Med.* 2017; 18 (12): 2428–32.
37. Zhou Y, Liu P, Rui J, et al. The associated factors and clinical features of neuropathic pain after brachial plexus injuries: A cross-sectional study. *Clin J Pain.* 2017; 33 (11): 1030–6.
38. Teixeira MJ, da Paz MG, Bina MT, et al. Neuropathic pain after brachial plexus avulsion - central and peripheral mechanisms. *BMC Neurol.* 2015; 15: 73.
39. Davis G, Curtin CM. Management of pain in complex nerve injuries. *Hand Clin.* 2016; 32 (2): 257–62.
40. Jazbec L, Vinsek T. Fizioterapija po poškodbi brahialnega pleteža. *Novosti na področju kirurgije in rehabilitacije roke. X. Ljubljana: Zbornik interdisciplinarno strokovno srečanje; 2013.*

Prispelo 19. 1. 2021