Терапијски поступак код повреда нерава – када, како и зашто?

М. Самарџић¹, В. Башчаревић², И. Цвркота³

Surgical Treatment of Peripheral Nerve Injuries

Samardžić M., Baščarević V., Cvrkota I.

Сажетак: Хирушко лечење повреда периферних нерава индиковано је код свих отворених повреда са трансекцијом нерва као и код затворених повреда где ни након три месеца није дошло до функционалног опоравка. Уколико је операција изведена у првих 48 часова говоримо о примарној неурорафији, одложена примарна неурорафија је до 18-ог дана након повреде, а уколико је операција урађена од треће до шесте недеље након повреде ради се о раној секундарној неурорафији. Код оштрих лацерација или секција индикована је примарна неурорафија, односно одложена примарна неурорафија. Код тупих лацерација оптимални термин за операцију је након три до шест недеља, односно рана секундарна неурорафија. Код прострелних повреда, као и код затворених повреда периферних нерава, индикована је месечна евалуација и одложена секундарна репарација након три месеца. Слични ставови важе и за време оперативног лечења отворених повреда брахијалног плексуса. Код тракционих повреда брахијалног плексуса саветује се одлагање операције најмање за два месеца након чега ће спроведене дијагностичке процедуре омогућити диференцијацију нивоа повреде. Аутологна слободна нервна трансплантација за сада остаје метод избора у премощавању дефеката нервне супстанце код повреда периферних нерава код којих дужина дефекта прелази два сантиметра и не може се редукovati неком од помоћних метода. Нервна трансплантација се углавном врши као секундарна процедура, након збрињавања повреда тетива, кости и дефеката коже.

Summary: Surgical treatment of peripheral nerve injuries is indicated in patients with open injuries of peripheral nerves and in patients who suffered closed injury and nerve lesion where even after three months patients didn't achieve functional recovery. Primary neuroraphy is performed in the first 48th hours, after that till 18th days delayed primary neuroraphy is performed, and after three to six weeks early secondary neuroraphy is carried out. In sharp lacerations primary neuroraphy is indicated, or delayed primary neuroraphy. In blunt lacerations optimal timing for surgery is three to six weeks after injury. In gunshot wounds and in closed peripheral nerve injuries after three months, delayed secondary nerve reparation is indicated. In traction injuries of brachial plexus we advise delayed surgery for at least two months, after necessary diagnostic procedures, that will enable establishing the right level of brachial plexus injury. Nerve transplantation using free nerve graft is the method of choice in peripheral nerve injuries where nerve defect is no longer than 2 cm. Nerve transplantation is secundar procedure, after treating tetive, bone and skin injuries.

Key words: nerve injury, timing, peripheral nerve, brachial plexus, surgical repair.

1 Самарџић М., Институт за неурохирургију, Клинички центар Србије, Београд.

2 Башчаревић В., Институт за неурохирургију, Клинички центар Србије, Београд.

3 Цвркота И., Институт за неурохирургију, Клинички центар Србије, Београд.

Кључне речи: повреда нерва, време, периферни нерви, брахијални плексус, хируршко лечење.

Класификација повреда периферних нерава

Савремена класификација повреда нерава подразумева шест градуса повреде нерава и представља проширену Seddon-Sunderland-ову класификацију (слика 1), а увели су је Mackinon и Dellona 1988. године^{1, 2, 3}.

I степен (неуропраксија по Seddon-у). Ова повреда означава локални блок спровођења. Макроскопски, нерв је нормалног изгледа, а патохистолошке промене подразумевају сегменталну демиелинизацију. Како је аксон интактан, не долази до Waller-ове дегенерације и накнадне регенерације, па се Tinel-ов знак не изазива. Опоравак функције је комплетан и одиграва се у интервалу од више дана до више недеља, а најкасније до истека трећег месеца од повреде. Овај тип повреде обично настаје као последица компресије.

II степен (аксонотмеза по Seddon-у). Код овог степена постоји повреда аксона уз очуван ендонеуријум. Дистални део аксона подлеже Waller-овој дегенерацији. Процес регенерације напредује 1–1,5mm дневно, те је Tinel-ов знак позитиван и напредује пут дистално. Опоравак функције је комплетан и има серијску прогресију у складу са анатомским распоредом циљних органа.

III степен (први интермедијарни степен који је увео Sunderland 1951. године) подразумева и лезију аксона и лезију ендонеуријума, уз очувани перинеуријум, тако да се регенерација одиграва у оквиру фасцикулуса и уколико је повреда дисталније, где су фасцикули диференцирани, опоравак је квалитетнији. Брзина опоравка је иста као код аксонотмезе, али опоравак није потпун и може да варира од скоро комплетног до потпуног изостанка опоравка. Код овог степена повреде, с обзиром на постојање оштећења и аксона и ендонеуријума, аксон регенерише кроз ожиљне промене. Због тога се извесни регенеришући ак-

сони губе у ожиљном ткиву, па због тога процес регенерације није комплетан. Код овог степена повреде Tinel-ов знак је позитиван и напредује пут дистално.

IV степен (други интермедијарни степен по Sunderland-у). Код овог типа повреде јавља се оштећење како ендонеуријума тако и перинеуријума. Епинеуријум је очуван – континуитет нерва је очуван али се одржава ожиљним ткивом. У делу нерва дистално од места повреде долази до Waller-ове дегенерације. Код овог типа никада не долази до спонтаног функционалног опоравка, већ је то могуће само након хируршке интервенције. Најчешће је IV степен повреде последица тракције, а сличну слику дају и повреде иглом и убризганим лековима. Хируршка интервенција се предузима после три месеца од повреде, тј. после периода када би се прва три степена могла.

V степен (неуротмеза по Seddon-у). Овај степен карактерише комплетан пресек нерва, где Tinel-ов знак не напредује пут дистално и где нема спонтаног опоравка па се мора извршити операција. Ове повреде су отворене и лако се дијагностикују. Пресек нерва може бити прост или са дефектом нервне супстанце. У оба случаја се на проксималном крају формира неуром састављен од петљи дезорганизованих регенеришућих аксона и пролиферисаног нервнoг ткива, а на дисталном фибром грађен од везивног ткива.

VI степен (уведен од стране Mackinon-а и Dellon-а 1988. године) представља комбинацију свих претходних и карактерише се постојањем неурома у континуитету што представља велики хируршки проблем. Ова повреда има мешовиту основу са могућношћу постојања очуване функције појединих фасцикулуса и различитим степеном оштећења осталих. С тога је и степен опоравка различит, тј. потпун код I и II степена, делимичан код III, а одсутан код IV и V степена. У тим случајевима пресудна је хируршка експлорација са одстрањивањем епинеуријума који је обично задебљао и издвајањем појединачних фасцикулуса.

Овим поступком се могу наћи макроскопски нормални фасцикули са I и II степеном повреде, где до опоравка није дошло због компресије перинеуралним фиброзним ткивом. У тој ситуацији довољна је само интерфасцикуларна неуролiza. У тој ситуацији саветује се примена интраоперативне електростимулације и регистрација нервних акционих потенцијала у циљу провере постојања очуваних или регенерисаних аксона. Уколико они не постоје, потребно је фасцикулус ресецирати. Неретко постоје комбинације ових оштећења које захтевају комбиновани хируршки поступак.

Слика 1. SUNDERLAND-ова класификација повреда периферних нерава

Механизми повређивања периферних нерава

Механизми који доводе до повреда нерава могу се сврстати у неколико група:

1. *лацерација – трансекција;*
2. *истезање (тракција) и контузије;*
3. *исхемије и компресије;*
4. *електричне, термичке и ирадијационе повреде;*
5. *инјекционе повреде.*

Лацерације

Лацерације подразумевају пресецање нервног стабла. Приближно 30% повреда периферних нерава спада на ову групу, а у оквиру ње повреде са делимичном трансекцијом нерва – делимично очуваним континуитетом нерва, чине око 15%. Пресечени део влакана претрпео је V степен оштећења, а преостали део од I до IV степена оштећења по Sunderland-у. Самим тим и функционални дефицит варира од благог и некомплетног до комплетног, а у складу са тим варира и степен и време могућег спонтаног опоравка. У пракси се парцијално пресечени део нерва ретко регенерише довољно да успостави ранију функцију⁴.

Разликују се оштре и тупе лацерације. Код оштрих лацерација епинеуријум је чисто пресечен, са минималним контузионим и хеморагичним променама на крајцима. Међутим временом долази до ретракције и ожиљног задебљавања крајака. Код тупих лацерација постоји неправилан расцеп епинеуријума и појединих сегмената нерва. Контузије и хеморагије се код тупих лацерација протежу и до неколико центиметара, проксимално и дистално уз развој неурома. Ретракција и пролиферативне ожиљне промене су на крајцима јаче изражене.

Истежање (тракција) и контузије

Код ових повреда нерв је најчешће очуваног континуитета, мада у зависности од величине дејствујуће силе, нерв понекад може бити и прекинут. Код прекида нерва, оштећење крајка је дугачко неколико центиметара, а накнадне ожиљне промене и ретракција су доста изражене. У случају када је континуитет нерва очуван, степен интринеуралног оштећења је разнолик и обухвата све типове нервних лезија. Блажи степен истежања обично је у вези са преломима кости или ретракцијом у току хируршких интервенција. Најчешћи примери ових повреда су тракционе повреде брахијалног плексуса, које могу резултирати у свим степенима нервног оштећења,

Слика 2. Тракциона повреда радијалиса у надлакти

укључујући и авулзију спиналних коренова. Пример за тракционе повреде јесу и повреда перонеуса на нивоу главе фибуле код различитих повреда колена, као и исхијадикуса код дислокације или прелома кука. Такође је тракциони механизам повређивања делом укључен у прострелне повреде изазване пројектилима велике брзине⁵.

Прострелне повреде

Прострелне повреде у 15% случајева настају када пројектил или његов фрагмент директним ударом доведу до тоталне или парцијалне секције нерва. У тим случајевима крајци су неправилни са израженим контузионо-хеморагичним променама и каснијим развојем неуро-

ма. Чешће се дешава да прострелне повреде доводе до тракције и контузије нерва, са очуваним континуитетом нерва, уз различит степен интранеуралног оштећења. То је последица проласка пројектила поред нерва и оштећења проузрокованих компресијом и кавитацијом. При томе могу настати не само оштећења аксона, него и везивних омотача, па и интранеуралних крвних судова на дужем сегменту нерва. У акутној фази сегмент нерва изгледа отечен и хеморагичан. Током времена, пролиферацијом везивног ткива, формира се неуром у континуитету. Први (I) степен спонтаног опоравка ће зависити од степена оштећења, тј. од заступљености аксонотмезе у односу на неуротмезу.

Исхемија

Исхемија може бити одговорна за блажи и у релативно кратком временском року реверзибилан степен оштећења. У већини компресивних лезија, укључујући и хроничне компресивне неуропатије, локализована исхемија има извесну улогу у оштећењу нервних влакана које може бити широког спектра – од благих и реверзибилних па све до Waller-ове дегенерације аксона у случајевима уколико је исхемија била тешка и дуготрајна. На исхемију су осетљивија велика мијелинизована влакна у односу на немијелинизована⁶. Пресечени нерв и нерв под тензијом је осетљивији на исхемију.

Компресија

Компресија такође може да доведе до различитог степена оштећења нерва у зависности од њене тежине и дужине трајања. Тако могу настати само оштећења I степена код минималних компресија. Код тежих се може јавити и Waller-ова дегенерација. Примери компресивних повреда су компресија радијалиса на хумерус – saturday night palsy, код лоше постављене гипсане имобилизације, или неодговарајуће позиције екстремитета у општој анестезији, анеуризмална компресија на брахијални плексус или тешке Crush повреде и фрактуре са поремећајем васкуларизације што доводи до пораста притиска у затвореном простору.

Електричне повреде

Пролазак електричне струје кроз нерв у почетној фази доводи до некрозе, а касније се јављају везивно-ткивне реакције (фиброза), која је најизраженија на перинеуријуму и ендонеуријуму, због чега се спонтани опоравак јавља спорадично и обично је неопходна хируршка интервенција са ресекцијом дужег нервног сегмента.

Термичке повреде

Ове повреде су последица дејства пламена, паре или контакта са врелим предметима које доводе у почетку до коагулационе некрозе која се затим претвара у фиброзно ткиво. По правилу су захваћени дужи нервни сегменти, па је прогноза ових повреда неповољна, поготово ако се има у виду и истовремено оштећење мишића и других меких ткива. Степен ткивне некрозе, бактеријска контаминација и потреба за здравим лежиштем онемогућавају рану репарацију.

Ирадијационе повреде

Ове повреде обично захватају брахијални плексус, а ређе пелвични плексус и карактеришу се екстензивном фиброзом интранеуралних структура и околних ткива. Електричне, термичке као и ирадијационе повреде имају лошу прогнозу због великог степена и екстензије нервне лезије.

Инјекционе повреде

Ове повреде настају убадањем игле директно у нерв или као резултат дејства инјектираног неуротоксичног агенса. Последице интранервне инјекције су акутни едем нерва са бурном инфламаторном реакцијом које често доводе до некрозе аксона и суседних везивно-ткивних елемената. Најчешћи проузроковачи инјекционих неуропатија јесу антибиотици, стероиди и наркотици. Најчешће инјекционе повреде су лезија н. исхиадикуса у глутеалној регији и н. радиалиса у пределу средње трећине надлакти. Терапија инјекционих повреда састоји се у хитној инјекцији 50–100мл физиолошког раствора у регију где је инјектиран лек, како би се што пре разблажила његова концентрација. У случају развоја комплетног дефицита, чека се опоравак нерва 8 до 16 недеља, после чега се предузима оперативно лечење уколико до опоравка не дође. Ако је неуролошки дефицит парцијалан, третман је експектаиван.

Индикације и време оперативног лечења повреда нерава

Индикације за хируршко лечење повреда периферних нерава су:

1. Затворене повреде без знакова функционалног опоравка ни после три месеца од повреде (период од три месеца је крајња граница за спонтани опоравак од I до III степена лезије).
2. Отворене повреде са јасном парцијалном или комплетном трансекцијом нерва.
3. Прогресиван функционални дефицит до кога долази услед неурокомпресивног деловања ожиљног ткива или формирања артериовенске фистуле.
4. Болни синдром и када се не очекује постоперативни функционални опоравак нерва.

Постоји неколико термина за оперативно лечење као што су: *примарна неурорафија*, *одложена примарна неурорафија* и *рана секундарна неурорафија*.

Примарна неурорафија

Уколико је повреда чиста и нанета оштрим предметом (ножем, стаклом, жилетом), онда је примарни шав нерва индикован у првих 6 до 12 часова од повређивања, а према појединим ауторима у оквиру прва 24 часа (Wilgis, 1988)⁷. Примарна неурорафија је нарочито значајна за високе лезије због дугог пута регенерације. Рана експлорација има низ предности као што су:

- лака индентификација нервних крајака,
- минимална ретракција крајака која не захтева већу имобилизацију, а омогућава директну сутуру и
- добитак у времену потребном за регенерацију нерва.

Одложена примарна неурорафија

Одложена примарна неурорафија се изводи између другог и осамнаестог дана (Wilgis, 1991)⁸, ако су постојали услови за примарну сутуру, а она није била урађена.

Рана секундарна неурорафија

Рана секундарна неурорафија се изводи између треће и пете недеље (Sunderland, 1978)² у случају тупих трансекција изазваних тестером, металом, брусилицом и слично. То је време када је већина метаболичких и структурних промена у нерву завршена, те су предности овог термина за операцију следеће:

- лако распознавање интранеуралне лезије,
- завршена Waller-ова дегенерација и празни ендонеурални тубуси,
- оптимална регенеративна активност неурона,
- оптимална активност Шванових ћелија,
- саниране удружене повреде и
- могућност премештања нерва у здраво лежиште.

Свака секундарна неурорафија захтева ресекцију неурома.

Касна секундарна неурорафија

Уколико се операција не изврши у горе наведеним терминима, онда треба настојати да се она уради до краја трећег (Kleinert и Giffin, 1973)⁹, односно четвртог месеца (Kline, 1990)¹⁰, с тим да се код високих лезија тежи што ранијој репарацији. Крајњи термин за операцију је шест месеци после повреде (Millesi, Meissl и Berger, 1972.; Wilgis, 1988)¹¹, с обзиром на то да моторне плоче постају резистентније на реинервацију већ после два месеца, а ендонеурални тубуси се сужавају на 50% после шест месеци и што опада и регенеративна способност аксона. Крајњи термин, по неким ауторима, за репарацију нерва у циљу опоравка моторне функције јесте 12 месеци (Sunderland, 1978). Чињеница је да одлагање операције више утиче на моторику него на сензибилитет. Опоравак сензибилитета скоро никада није потпун, изузевши децу. Функционални опоравак је дуг процес и сматра се да је дефинитивна процена резултата директне сутуре или трансплантације могућа по истеку треће до пете године од операције, а код деце након друге године.

Индикација за реоперацију повреда периферних нерава се поставља у случају:

1. изостанка клиничких и EMNG знакова регенерације нерва у очекиваном временском постоперативном периоду,
2. застоја регенерације који се потврђује ненапоредавањем Tinell-овог знака дистално, после три до четири месеца од извршене хируршке интервенције,
3. суспектног расцепа сутурне линије која је била под тензијом,
4. појаве онеспособљавајуће болне осетљивости на сутурној линији и
5. примене неадекватне хируршке технике током прве операције.

Општи принципи оперативне технике

Оперативни приступ зависи од нерва који је ледиран, висине лезије, дужине дефекта нерва, ако је овај пресечен, као и од тога да ли је дијагностички преоперативно тачно утврђено о каквој врсти лезије се ради. Нерв се мора приказати проксимално и дистално од места лезије.

Неурохируршке технике које се користе, а зависе од степена оштећења нерва, јесу:

- екстерна неуролиза,
- интерна неуролиза,
- директна сутура,
- нервна трансплантација.

Екстерна (спољашња) неуролиза

Екстерна неуролиза представља препарацију нервног стабла са уклањањем меких ткива и ожиљка око нерва и скидање епинеуријума у измењеном сегменту нерва (епифасцикуларна епинеуректомија). Хируршка препарација епинеуријума изводи се уз помоћ микромаказа и јувелирске пинцете. Препарација се увек изводи од очуваног као оштећеном сегменту нерва, у круг читавим обимом, уз обавезно коришћење микроскопа. Спољашња неуролиза представља први део операције. Уколико је нерв након скидања епинеуријума анатомски очуван и не виде се промене на перинеуријуму, оперативни захват се завршава спољашњом неуролизом. Код парцијалних лезија нерава

током операције се користи регистровање нервних акционих потенцијала.

Интерна (унутрашња) или интерфасцикуларна неуролиза

Овај поступак представља наставак операције и састоји се од одвајања фасцикуларних група унутар нерва (интерфасцикуларна епинеуректомија) оштром дисекцијом измењеног (задебљалог) перинеуријума микромаказама и јувелирском пинцетом под микроскопом и то опет у правцу од здравог као измењеном делу нерва. На тај начин се фасцикуларне групе код полифасцикуларних нерава одвајају једна од друге. Код постојања интрафасцикуларних неурома препоручује се примена електронеурографије, јер је регистровање нервних потенцијала знак постојања очуваних великих и средњих нервних влакана, па такав фасцикулус не треба ресецирати. Одстрањивањем задебљалог перинеуријума постиже се ослобађање нервних влакана од компресије, а поновно стварање фиброзе се спречава минуциозном хемостазом фином биполарном дијатермијом уз иригацију физиолошким раствором.

Директна нервна репарација

Основне принципе директне нервне репарације дефинисали су 1984. године Millesi¹ и Terzis¹² и то су:

1. Препарација нервних крајака која се састоји у одстрањивању дела епинеуријума и ослобађању индивидуалних фасцикулуса или фасцикуларних група. Ако постоји неуром треба га одстранити и начинити адекватну хемостазу на нервним крајцима.
2. Апроксимација нервних крајака представља приближавање нервних крајака под минималном тензијом. Међу факторима који утичу на дистанцу крајака, најзначајнији су дефект нервног ткива због повреде, еластична и фиброзна ретракција крајака, дефект нервног ткива због ресекције, позиција зглобова и помоћни поступци којима се та дистанца може редуковати (мобилизација и транспозиција нерва).

Да би се успешно извела директна сатура и на тај начин избегла трансплантација – употреба графта, могу се користити:

- широка оперативна експозиција нерва,
 - мобилизација нервних окрајака, може се мобилисати 6 до 8cm сваког нервног окрајака чиме се добија укупна додатна дужина од 2 до 4cm нерва.
 - транспозиција нерва која обезбеђује 3 до 5cm додатне дужине нерва (пример за то је н. улнарис у регији лакта где се чини његова антепозиција),
 - позиција екстремитета, дозвољена је блага интраоперативна флексија екстремитета од 10 до 15 степени),
 - остеотомија у случају већ формиране псеудоартрозе.
3. Коаптација нервних окрајака постиже се успостављањем присног контакта између проксималног и дисталног окрајака, при чему је најважније успоставити правилну фасцикуларну оријентацију, тј. начинити репарацију нерва без ротације окрајака.
4. Сутурне и несутурне технике за одржавање коаптације.

Сутурне технике које се користе у операцијама повреде периферних нерава зависе од дијаметра нерва и његове фасцикуларне грађе и могу бити:

- епинеурални шав је шав ткива која окружују нерв (адвентиције), али се ретко примењује јер обично нема снаге да одржи сатуру.
- епинеуријални шав је сатура кроз епифасцикуларни епинеуријум. Овај шав се примењује код монофасцикуларних нерава, код олигофасцикуларних нерава са 2 до 4 фасцикулуса и код полифасцикуларних нерава са дифузним распоредом фасцикулуса дијаметра 3 до 4mm, као што су дигитални нерви. Иако оваква репарација није егзактна, неуротропични фактори утичу на усмеравање регенеришућих нервних влакана и омогућавају добре резултате.
- интерфасцикуларни шав је шав кроз интерфасцикуларни епинеуријум који омогућава групну фасцикуларну репарацију и користи се код полифасцикуларних нерава. Овај шав је избор за полифасцикуларне нерве са групним распоредом и за дисталне лезије нерава (слика 3).

Слика 3. Групна фасцикуларна репарација (интерфасцикуларни шав)

- перинеуријални шав је шав кроз перинеуријум који омогућава репарацију на фасцикуларном нивоу. Ова врста сатуре има и највећи трауматски потенцијал, али истовремено омогућава изоловану репарацију само оштећених фасцикулуса, остваривање најпрецизније коаптације фасцикулуса и смањење фиброзе одстрањеном епинеуријума. Шав се поставља тако да пролази кроз перинеуријум, али не захвата фасцикуларни матрикс (слика 4).

Слика 4. Перинеуријални шав (фасцикуларна репарација)

- епи-перинеуријални шав представља истовремено шав епифасцикуларног епинеуријума и перинеуријума и користи се код монофасцикуларних, а ређе код полифасцикуларних нерава са дифузним распоредом. Код полифасцикуларних нерава централни фасцикулуси се шију перинеуријално, а периферни епиперинеуријално.

Сутурни материјал је атрауматски нересорптивни монофиламентни најлон – и то дија-

метра 20 до 29 микрометра (10.0) или 10 до 19 микрометра (11.0), односно 8.0 или 9.0 (само за епинеуријалну сутуру). Овакав материјал обезбеђује минималну реакцију око страног тела, незнатну трауму током постављања шави и формирање сутурне линије отпорне на истезање (конац 10.0 подноси затезање до 27gr, док 11.0 подноси до 7gr). Игле су округле дужине 4 до 6mm са кривином од 1/2 до 3/8 круга. Сутура нервних крајака доводи до настанка реакције око страног тела на сутурној линији.

Несутурне технике (неурорафија без сутуре)

Несутурне технике елиминишу настајање реакције око страног тела и омогућене су:

1. Коришћењем фибриноског лепка који се припрема из раствора хуманог фибрина и лиофилизованог телећег тромбина (активатор фибриногена). Лепак се поставља око епи или перинеуријума и не сме доспети између нервних крајака јер блокира регенерацију нерва.
2. Употребом ненеуралних тубуса од ресорптивног или нересорптивног материјала који премашћавају сегментални дефект нерва. Њихова примена је ограничена на дигиталне нерве и дефекте дужине 1 до 3cm. Данас се као тубуси користе венски графтови, биоапсорбабилни тубуси полигликолне киселине и мишићни графтови.
3. Употребом ласера YAG – неодимијумски ласер, када се коаптација нервних крајева одржава на два начина:
 - а. коагулацијом капи крви на споју крајева пресеченог нервног стабла или фасцикуласа или
 - б. термичком епинеуријумском фузијом (примицањем и коагулацијом епинеуријума пресечених делова нерва).

Предности ове несутурне технике су мање време трајања оперативног поступка, лакши приступ нервима у непогодним локацијама, избегавање реакције на страно тело, смањење неопходне дисекције нервног ткива.

Нервна трансплантација

Најважнији фактор успеха реконструкције пресеченог нерва јесте одсуство тензије на сутурну линију. Да би се премостила дистанца између нервних крајака примењује се нервна трансплантација^{13, 14, 15}.

Непосредно после повреде јавља се примарни дефект нервне супстанце који је резултат губитка нервне супстанце (генуини неурални дефект) и ретракције нервних крајака.

У каснијој фази због ожиљних промена долази до такозване фиброзне ретракције крајака, чиме се дужина дефекта може повећати и шест пута. Када се у току секундарне нервне репарације освеже крајци нерва, ресекцијом до у здраво, настаје секундарни дефект нервне супстанце. Када је апсолутни дефект велики, тако да онемогућава директну сутуру без тензије, могу се применити следеће мере ради његовог смањења:

1. широка оперативна експозиција,
2. мобилизација и транспозиција,
3. позиција екстремитета, односно флексија суседног зглоба,
4. скраћујућа остеотомија у случају постојања psudoartroze.

Ове мере се спроводе симултано и њихов редослед је следећи: мобилизација, флексија зглоба и на крају транспозиција.

Према пореклу разликују се четири врсте нервних трансплантата:

1. хетерографт или ксенографт,
2. хомографт или алогографт,
3. изографт,
4. аутографт.

1. *Техника хетеротрансплантације* подразумева узимање графта са животиње и практично се не користи због одбацивања графта од стране домаћина – изражене имунолошке реакције на страно тело.

2. *Алотрансплантација* подразумева узимање нервног графта од другог људског бића и подразумева примену методе сузбијања антигених карактеристика графта, због појаве имунолошких реакција од стране домаћина,

што је нарочито изражено код графтова дужих од 3cm.

3. *Изографтови* – донор је нерв идентичног близанца.

4. *Аутографт* – донорни нерви су нерви самог пацијента и данас се користи као супериорна техника у односу на друге типове графтова, с обзиром да се имунолошка реакција на графт не јавља, а потенцијал да се успостави функција је већи у односу на друге типове.

Постоје три врсте аутографта у односу на тип циркулације и то:

- *слободни графт* који се спонтано реваскуларизује,
- *графт на петељци* који има очувану васкуларизацију и
- *графт са микроваскуларном анастомозом* код кога се одмах успоставља циркулација.

Слободни аутолози графт представља оптималну технику решавања повреда нерава са постојањем дефекта нерве суспенције.

Постоје две врсте аутографта и то су:

- а. *свеж* који се узима у току операције и
- б. *предегенерисан* који се добија секцијом и остављањем *in situ* 2 до 4 недеље.

Његове предности би биле у томе што представља бољи медијум за спровођење регенеришућих аксона, јер је Waler-ова дегенерација завршена, односно уклоњени су продукти који представљају препреку расту аксона. Овакав графт је чвршћи и лакше се њиме рукује, лакше подноси почетну и привремену деваскуларизацију, због мањих енергетских захтева. Међутим овај тип графта захтева операцију у два акта. Многобројни радови су показали да нема битних разлика између ова два графта.

Битан фактор опоравка функције јесте успостављање адекватног дијаметра регенеришућих аксона. Уколико графт садржи влакна мањег дијаметра од дијаметра влакна повређеног нерва, онда ће и регенеришућа влакна имати мањи дијаметар. Због тога је пожељно да графт садржи влакна великог дијаметра, а то је карактеристика кожных нерава.

Најчешће се користе следећи нерви:

- *n. suralis*, који даје 30 до 40cm графта, лако је доступан, има неколико већих фасцикулуса, по

његовом вађењу остаје минимални сензорни дефицит, укупан дијаметар нерва је 2 до 3mm, а бочне гране су довољне за дигиталне графтове.

- *n. radialis superficialis*, даје 12 до 20cm графта и погодан је за слободан васкуларизовани графт, због артеријске васкуларизације паралелне нерву. Овај тип графта се саветује код постојања ожиљног лежишта, код премошћавања дугог сегмента. Он подржава исхрану слободних графтова.
- *n. cutaneus brachii med.* даје 8 до 14cm графта.
- *n. cutaneus antebrachii lateralis* даје до 15cm графта, а са предњом граном и до 25cm.
- *n. intercostalis*. Први га је употребио Tarlov 1946. године. То је мешовити нерв, који обично садржи неколико паралелних фасцикулуса. Ови фасцикулуси су такође мешовити. Горњи интеркостални нерви у нивоу средње аксиларне линије садрже око 30% моторних влакана, што је од значаја за операције неуротизације брахијалног плексуса.
- *n. cutaneus femoris lateralis* који даје до 8cm.

Према начину формирања графта, разликују се:

Интерфасцикуларни графт (слика 5)

омогућује:

- усаглашење дебљине нервног краја и графта,
- прецизнију фасцикуларну оријентацију,
- исхрану графта дифузијом из лежишта и његову каснију реваскуларизацију,
- смањење фиброзна реакције.

Ова врста графта се примењује код моно- и олигофасцикуларних нерава са два до четири фасцикулуса.

Трункални или пуни графт чини једна вrpца одговарајуће дебљине у односу на реципијентни нерв. Овај графт је сувише дебео да би преживео и у добро васкуларизованом лежишту, па се примењује или као васкуларизовани нервни графт или се дели у фасцикуларне групе које се затим појединачно трансплантирају (*split trunk graft*).

Кабл графт је увео Seddon 1947. године, а састоји се из неколико вrpци донорног нерва који се спајају за нервни крајак (слика 6). Код кабл графта површине графтова једним

Слика 5. Интерфасцикуларни графт улнариса

Слика 6. Кабл графт медијануса

делом належу једне на друге, што може компромитовати њихову васкуларизацију у првим данима. Индикације за кабл трансплантацију су повреде полифасцикуларних нерава са дифузним распоредом фасцикулуса, као што су трункуси и фасцикулуси брахијалног плексуса и исхијадични нерв, код којих се не могу издвојити фасцикуларне групе¹⁶.

Основни проблем кабл трансплантације јесте непрецизност нервне коаптације због разлике између дифузне фасцикуларне грађе окрајака и врпци кабл трансплантата. Резултати ове технике су слични резултатима интерфасцикуларне трансплантације са степеном опоравка за елементе брахијалног плексуса преко 90% и за исхијадикус преко 80%, а време оперативног захвата је знатно краће.

Хируршки поступак у нервној трансплантацији

Приликом извођења интерфасцикуларне трансплантације спроводе се следећи поступци:

1. *припрема нервних окрајака,*
2. *припрема графта,*
3. *спајање графта са нервним окрајцима.*

1. Припрема окрајака подразумева:

- дисекцију нерва у здравом делу изван повреде,
- одстрањивање епинеуријума на окрајцима у дужини од 1 до 2cm,
- издвајање фасцикулуса, односно фасцикуларних група, уз одстрањивање интерфасцикуларног ожиљног ткива,
- пресецање фасцикулуса, односно фасцикуларних група на местима оштећења,
- поравнање површине фасцикулса због протрузије матрикса и ретракције перинеуријума која настаје после неколико минута,
- хемостаза биполарном коагулацијом.

2. Припрема трансплантата, најчешће п. suralis, подразумева:

- чишћење графта од масног и растреситог везивног ткива

- формирање индивидуалних трансплантата, који су дужи за 15% од дужине дефекта због њихове накнадне ретракције. Дужина дефекта се одређује при пуној екстензији суседног зглоба да би се смањило истезање графта.

3. Анастомозирање трансплантата са фасцикулусима, односно фасцикуларним групама, врши се шивењем и/или органским фибринским лепком.

Врста шава која се примењује зависи од грађе нерва и може бити епинеуријалан, епиперинеуријалан, перинеуријалан и интерфасцикуларан, а кроз трансплантат се поставља епинеуријално. Довољно је поставити један до два, евентално три, шава за сваки фасцикулус или фасцикуларну групу.

Најчешће примењиване методе коаптације графта, у зависности од фасцикуларне грађе, јесу:

- код монофасцикуларних и олигофасцикуларних нерава са два до четири фасцикулуса, више графтова за епинеуријум окрајка,
- код олигофасцикуларних нерава са 5 до 10 фасцикулуса графт се спаја за перинеуријум појединачног фасцикулуса,
- код полифасцикуларних нерава са групним распоредом графт се спаја са перинеуријумом једног од фасцикулуса или за интерфасцикуларно епинеурално ткиво фасцикуларне групе,
- код полифасцикуларних нерава са дифузним распоредом, спаја се више графтова за епинеуријум повређеног нерва.

Обично се ставља четири до шест трансплантата на одговарајући број фасцикулуса или фасцикуларних група.

У случајевима великих нервних стабала, као што су трункуси и фасцикулуси брахијалног плексуса, где се не могу издвојити појединачни фасцикулуси и код којих је неопходан велики број графтова, примењује се модификовани кабл трансплантат^{17, 18}.

Кабл графт се формира од појединачних графтова који се на окрајцима споје органским фибринским лепком и на тај начин се форми-

ра циркумференцијални нервни окрајак. Шавови се постављају епинеурално, епиперинеурално или кроз перинеуријум периферних фасцикула. Постоји неколико кључних моментата у току саме хируршке интервенције који битно утичу на крајњи исход трансплантације код прекида континуитета нервог стабла, а то су:

- дужина графта треба да буде већа од самог дефекта за око 15 %, при чему се дужина дефекта одређује када је екстремитет у екстензији,
- трансплантација се изводи у екстензији суседног зглоба. Уколико се изабере минимална дистанца, графт ће бити прекрatak и приликом покретања екстремитета на местима коаптације доћи ће до тензије на сутурној линији и даље од ње, што може довести до неуспеха репарације. Ако графт буде превелике дужине, тензије на сутурној линији неће бити, али може довести до накнадне фиброзе.

Техника нервне трансплантације има и извесне недостатке, а то су:

1. Присуство друге сутурне линије, као препреке за раст аксона и место њиховог потенцијалног расипања.
2. Појава погрешне оријентације фасцикулуса, која је израженија код већих дефеката јер је тежа идентификација и премошћавање одговарајућих фасцикуларних група.
3. Најбољи резултати интерфасцикуларне трансплантације су у случајевима дефекта дужине 2,5 до 5cm, док су за веће дефекте резултати слабији. Мада постоје радови који показују успешну репарацију и код графтова дугих и до 20cm. Ти исти радови указују да уколико дође до застоја у регенерацији на дисталној нервној сутури у трајању од два до три месеца треба извршити реоперацију (неопходно је праћење Tinel-овог знака).
4. У неким случајевима и поред коректно урађеног оперативног поступка долази до фиброзе графта и тада се саветује поновна трансплантација.
5. Код интерфасцикуларне трансплантације може доћи до формирања неурома. Millesi је нашао чак 8% случајева фиброзе и неурома на дисталној сутури у својој оперативној серији.

Ненеурални тубуси

Развој примене технике ненеуралних тубуса условљен је постојањем негативних страна аутологе трансплантације као што су:

- појава анестезије у зони инервације донора,
- настанак болног неурома,
- озилне промене.

Ненеурални тубуси омогућавају неуротизацију – прорастање аксона дуж празног простора, и могу бити синтетски, венски и мишићни. Од синтетских ненеуралних тубуса користе се биоапсорбабилни колагенски или тубуси полигликолне киселине или неапсорбабилни силиконски тубуси¹⁹. Ненеурални тубуси нашли су примену у случајевима трансплантације дефекта дужине 1 до 3cm и код дигиталних нерава.

Приликом извођења саме хируршке процедуре:

- инцизија коже не сме да укршта путању самих графтова,
- дужина графта се одређује у позицији екстензије екстремитета,
- сам трансплантат се мора поставити у здраво лежиште (због васкуларизације),
- пре приступања нервној трансплантацији мора се начинити адекватна хемостаза,
- одабир технике трансплантације зависи од фасцикуларне грађе повређеног нерва,
- приликом затварања оперативне ране треба избећи евентуално истезање и померање графтова, као и аспирациону дренажу,
- екстремитет остаје имобилисан у позицији екстензије у којој је и вршена оперативна процедура две недеље, а потом се слободно мобилише.

Побољшање резултата нервне репарације се може очекивати:

- применом хирургије ћелијског наставка аксона са минимализовањем хируршке трауме,
- развојем несутурних техника нервне анастомозе,
- елонгацијом нервних окрајака балон експанзијом која омогућава директну сутуру,
- фармаколошком активацијом процеса регенерације применом неуротропних фактора,

- развојем супституције за нервне графтове у виду синтетских тубуса у комбинацији са органским молекулима који ће омогућити премошћавање и великих дефеката,
- употребом магнетске резонанце у дијагностици повреда периферних нерава, у циљу spreчавање непотребне операције.

Закључак

Основне индикације за хируршко лечење повреда периферних нерава јесу отворене повреде са трансекцијом нерва и затворене повреде које не показују знаке функционалног опоравка после три месеца од повређивања. Код оштрих лацерација индикована је примарна неурорафија и треба је извршити у првих 48 часова, а уколико

она није извршена, треба урадити одложујућу примарну неурорафију до 18-ог дана након повреде. Код тупих лацерација индикована је рана секундарна неурорафија, где је оптималан термин за операцију три до шест недеља након повреде. Слични ставови важе и за отворене повреде брахијалног плексуса. Код тракционих повреда саветује се одлагање операције за два месеца, када се заврше дијагностичке процедуре које омогућавају диференцијацију нивоа повреде.

Аутологна слободна нервна трансплантација за сада остаје метод избора у премошћавању дефеката нервне супстанце код повреда периферних нерава код којих дужина дефекта прелази 2cm и не може се редуковати неком од помоћних метода. Нервна трансплантација се углавном врши као секундарна процедура, након збрињавања повреда тетива, кости и дефеката коже.

Литература

1. Seddon H: Surgical disorders of peripheral nerves. (2nd edn), Churchill Livingstone, New York, 1975.
2. Sunderland S: Nerves and nerves injuries. Churchill Livingstone, New York, 1978.
3. Mackinnon SE, Dellon AL: Surgery of the peripheral nerve. Thieme, New York, 1988.
4. Антуновић В., Самарџић М.: Механизми класификација повреда периферних нерава. У: Самарџић М., Антуновић В., Грујић Д. et al.: Повреде и обољења периферних нерава. Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1998: 56–69.
5. Kline DG, Hudson A: Nerve injuries. W B Saunders Co, Philadelphia, 1995.
6. Fitzgerald MJT: Neuroanatomy - basic and clinical (3rd edn). W.B. Saunders company Ltd, London, 1996: 53–69.
7. Wilgis Sh: Nerve repair and grafting. In: Green D. (ed): Operative hand surgery, Churchill Livingstone, New York, 1988; 2: 1373–1403.
8. Wilgis Sh: Techniques of epineurial and group fascicular repair. In: Gelberman R. (ed): Operative repair and reconstruction, J.B. Lippincott Co, Philadelphia, 1991; 287–294.
9. Kleinert H, Griffin J: Technique of nerve anastomosis. Orthop Clin North Am, 1973; 4: 907.
10. Kline D.G, Hudson A: Acute injuries of peripheral nerves. In: Youmans RJ (ed): Surgical neurology, WB Saunders Co, Philadelphia, 1990; 4: 2423–2510.
11. Millesi H, Meissner G, Berger A: The interfascicular nerve grafting of the median and ulnar nerves. J Bone Jt Surg., 1972; 54A: 727–50.
12. Millesi H, Terzis J: Nomenclature in peripheral nerve surgery. In: Terzis J. (ed): Microreconstruction of nerve injuries, W.B. Saunders Co, Philadelphia, 1987; 3–14.
13. Самарџић М.: Нервна трансплантација. У: Самарџић М., Антуновић В., Грујић Д. et al.: Повреде и обољења периферних нерава, Београд: Завод за уџбенике и наставна средства, 1998; 247–68.
14. Polder T: Technics of peripheral nerve repair. In: Palmer JD (ed): Neurosurgery, New York, Churchill Livingstone, 1996: 809–14.
15. Mackinnon SE, Dellon AL: Surgery of the peripheral nerve, New York, Thieme, 1998; 1–148.
16. Samardžić M., Rasulić L., Grujić D.: Results of cable graft technique in repair of largenerve trunk lesions. Acta neurochirurgica, 1998; 140: 1177–82.
17. Samardžić M., Grujić D., Rasulić L. et al: Restoration of upper arm function in traction injuries to the brachial plexus. Acta Neurochir, 2002; 144: 327–335.
18. Samardžić M: Indication and timing for surgery in brachial plexus injuries. In: Samardžić M, Antunović V. (eds): Nerve repair of brachial plexus injuries, CIC Edizioni Internazionali, Rome, 1996; 75–81.
19. Belkas JS, Munro CA, Shoichet MS, Midha R: Peripheral nerve regeneration through a synthetic hydrogel nerve tube. Restor Neurol Neurosc, 2005; 23(1): 19–29.