

Elektrofiziološke značilnosti delovanja dolgih senzoričnih prog in interneuronskih sistemov hrbtenjače – intraoperativni monitoring hrbtenjače*

Electrophysiological characteristics of long sensory tracts and interneuronic systems of the spinal cord – intraoperative monitoring of the spinal cord

Barbara Gnidovec**, Peter Golob***

Deskriptorji
hrbtenjača bolezní – kirurgija
intraoperativno obdobje
evocirani potenciali somatosenzorični

Descriptors
spinal cord diseases – surgery
intraoperative period
evoked potentials, somatosensory

Izvleček. V nalogi obravnavamo elektrofiziološke značilnosti dolgih senzoričnih prog in interneuronskih sistemov hrbtenjače bolnikov, ki so bili operirani na hrbtenjači. Uporabili smo metodo intraoperativnega nevromonitoringa s somatosenzoričnimi izvabljenimi potenciali, ki je na Kliniki za nevrokirurgijo v Ljubljani obvezen pri vseh posegih na hrbtenjači. Za registracijo odzivov smo uporabili subpialno in epiduralno tehniko. Dražili smo mediani, tibialni in suralni živec. Somatosenzorični izvabljeni potenciali dolgih prog in interneuronskih sistemov hrbtenjače so sestavljeni iz različnih elementov. Spremembe teh elementov so odraz poškodbe predela hrbtenjače, ki je njihov izvor. Najbolj stabilen element prevodnega somatosenzoričnega izvabljenega potenciala hrbtenjače (SIPH) so začetni negativni valovi. Njihov izvor je spinocerebellarna proga. Spremembe prevodnih visokih potencialov (PVP) so najbolj občutljiv pokazatelj okvare somatosenzoričnega sistema hrbtenjače. Njihovo izginotje ali odsotnost sta odraz hude okvare zadajšnjih stebričkov. Prevodni nizki potenciali (PNP) so najbolj občutljiv element prevodnega SIPH. Njihova odsotnost je znak okvare somatosenzoričnega sistema hrbtenjače, natančnejše lokalizacije okvare pa spremembe teh potencialov ne omogočajo. Valova N11 in N14 sta najbolj stabilna elementa vratnih in ledveno-križničnih interneuronskih SIPH. Ker sta ohranjena tudi pri hudih okvarah zadajšnjih stebričkov, je njun izvor najverjetneje v predelu vstopa zadajšnjih korenin v hrbtenjačo. Valova N13 in N17 sta elementa vratnih in ledveno-križničnih

Abstract. This article deals with electrophysiological characteristics of the long sensory tracts and the interneuronic system of the spinal cord in patients operated on the spinal cord. Spinal somatosensory evoked potentials (SSEP) were recorded using the subpial and the epidural technique during intraoperative neuromonitoring, which is obligatory in all operations on the spinal cord performed at the Department of Neurosurgery, Ljubljana. The median, tibial and sural nerves were stimulated. Somatosensory evoked potentials of the long sensory tracts and of the spinal interneuronic system consist of different elements. Changes in these elements indicate damage to the parts of the spinal cord that generate them. The most stable element of the conducted SSEP are the initial negative waves, which originate in the spinocerebellar tract. Deterioration in the shape of the negative high amplitude potentials (NHP) is the most sensitive indicator of damage to the somatosensory system of the spinal cord. Their disappearance or absence indicate severe damage to the dorsal columns. The negative low amplitude potentials (NLP) are the most sensitive element of the conducted SSEP. Their absence indicates damage to the somatosensory system of the spinal cord. Wich can not be precisely localized. The N11 and N14 waves are the most stable elements of the cervical and lumbo-sacral interneuronic SSEP. Since they remain unchanged even in cases of severe damage to the dorsal columns they most probably originate in the dorsal root entry zone. The N13 and N17 waves are the

* Objavljeno delo je bilo nagrajeno s Prešernovo nagrado za študente v letu 1994.

** Barbara Gnidovec, štud. med., Klinika za nevrokirurgijo, Klinični center, Zaloška 7, 1105 Ljubljana.

*** Peter Golob, štud. med., Klinika za nevrokirurgijo, Klinični center, Zaloška 7, 1105 Ljubljana.

internevronske SIPH, ki sta najpogosteje spreminjena. Spremembe teh valov odražajo okvare hrbtenjačne sivine. Visokofrekvenčni valovi, ki so nanoseni na počasen negativen val internevronskega SIPH ali pa se pojavljajo na mestu odsotnega vala N13, odražajo aktivnost dolge proge somatosenzoričnega sistema hrbtenjače, najverjetneje kuneatnega svežnja. Spremembe elementov SIPH so povezane s predin pooperativnimi motnjami občutkov. Omogočajo anatomsko lokalizacijo okvare, kar je nevrokirurgu v veliko pomoč pri izvedbi posega.

most frequently changed elements of the cervical and lumbo-sacral interneuronic SSEP. Changes of these two waves suggest the damage to the spinal cord gray matter. High frequency waves seen on the slow negative wave of the interneuronic SSEP or appearing in the place of the absent N13 wave most probably reflect the activity of the somatosensory long tracts. Clinical evidence of somatosensory lesions is associated with the changes of the SSEP elements. They enable us to localize the anatomical site of the lesion, which is of a great help to the operating neurosurgeon.

Uvod

Nevromonitoring je intraoperativno spremljanje delovanja živčevja z izvabljenimi potenciali. Omogoča oceno delovanja živčevja v pogojih splošne anestezije in živčno-mišične relaksacije. Uvedba intraoperativnega monitoringa v sedemdesetih in v začetku osemdesetih let (1–5) je pomenila korak naprej v zmanjševanju funkcijske okvare živčevja med operacijami (6, 7). Zato je postal sestavni del operacij, pri katerih je tveganje nevroloških okvar visoko (8).

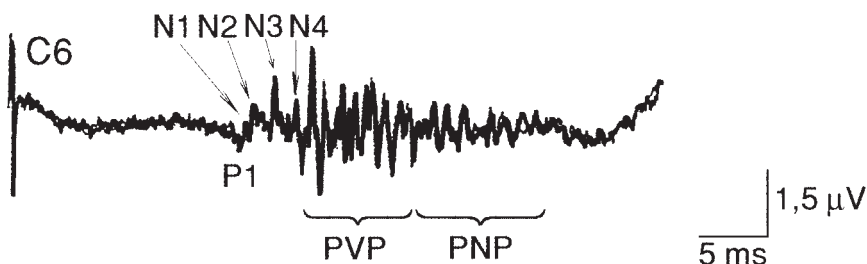
Somatosenzorični izvabljeni potenciali hrbtenjače (SIPH) so odzivi hrbtenjače na draženje perifernih živcev. Na Kliniki za nevrokirurgijo v Ljubljani so leta 1988 uvedli metodo spremljanja SIPH v epiduralnem in subpialnem prostoru (9–12). Od tedaj je elektrofiziološko spremljanje somatosenzoričnih sistemov hrbtenjače obvezno pri vseh mikronevrokirurških posegih na hrbtenjači (13).

Prevodni somatosenzorični izvabljeni potenciali hrbtenjače

SIPH, ki odražajo aktivnost dolgih prog somatosenzoričnega sistema hrbtenjače (5, 14–16), se imenujejo prevodni somatosenzorični izvabljeni potenciali hrbtenjače. Registriramo jih višje nad segmenti aferentnega dotoka impulzov.

Prestor in sodelavci (17) so na normalnem subpialno registriranem prevodnem odzivu vratne hrbtenjače po draženju tibialnega živca v podkolenski jami opisali in poimenovali sledeče elemente: začetni pozitivni odklon P1, dva do največ pet začetnih negativnih valov, skupino hitrih potencialov z veliko amplitudo (prevodni visoki potenciali – PVP) in skupino hitrih potencialov z majhno amplitudo (prevodni nizki potenciali – PNP) (slika 1).

Začetni negativni valovi najverjetneje pripadajo spinocerebelarni progi, kar so omenili že Jones in sodelavci (5) in kasneje jasno pokazali Halonen in sodelavci (16). Aktivacijski prag, hitrost prevajanja in razlike med draženjem mešanih perifernih in senzoričnih živcev so pokazali, da valovi skupine PVP najverjetneje pripadajo sistemu zadajšnjih stebričkov (13, 16), valovi skupine PNP pa spinotalamični progi (13).

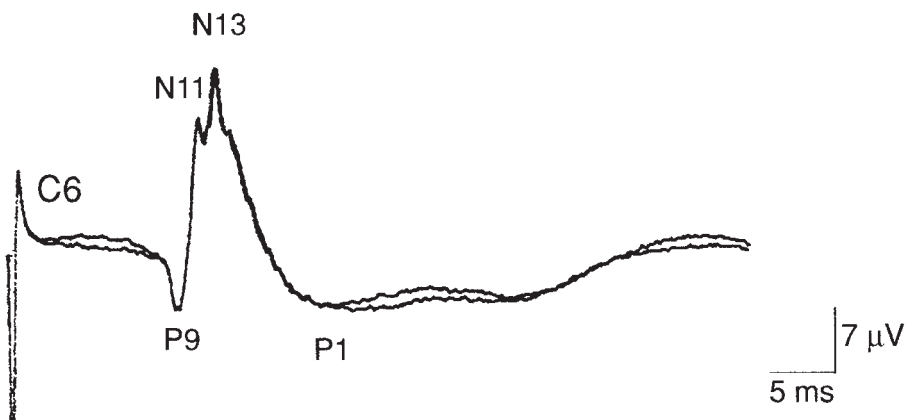


Slika 1. Normalni prevodni somatosenzorični izvajljeni potenciali hrbtenjače po draženju tibialnega živca v podkolenski jami; subpialna tehnika. Vidni so normalni elementi: začetni pozitivni val P1, štirje začetni negativni valovi N1–N4, skupina hitrih potencialov z veliko amplitudo (prevodni visoki potenciali – PVP) in skupina hitrih potencialov z majhno amplitudo (prevodni nizki potenciali – PNP). (Pojmenovanje elementov po Prestorju in sodelavcih (17).) (13)

Internevronske somatosenzorične izvajljene potenciali hrbtenjače

SIPH, registrirane v predelu vratne in ledveno-križnične zadebelitve hrbtenjače po draženju medianega oz. tibialnega živca, smo po dominantnem elementu potenciala, ki ima svoj izvor v internevronskega sistema vratne (18) oz. ledveno-križnične zadebelitve hrbtenjače (19), imenovali internevronske somatosenzorične izvajljene potenciali hrbtenjače.

Na normalnem internevronskega odzivu vratne hrbtenjače po draženju medianega živca v zapestju so opisani sledeči elementi: počasni začetni val P9, počasni val N13 z veliko amplitudo, val N11 na ascendentnem kraku vala N13 in val P1 (20) (slika 2).



Slika 2. Normalni internevronske somatosenzorične izvajljene potenciali vratne hrbtenjače po draženju medianega živca v zapestju; subpialna tehnika. Vidni so normalni elementi: počasni začetni val P9, počasni val N13 z veliko amplitudo, val N11 na ascendentnem kraku vala N13 in val P1. (Normalni internevronske somatosenzorične izvajljene potenciali ledveno-križnične hrbtenjače po draženju tibialnega živca ima enako obliko kot potencial vratne hrbtenjače po draženju medianega živca. Na njem valu P9 ustreza val P10, valu N11 val N14 in valu N13 val N17. Valu N17 sledi val P1.) (13)

Na internevronske odzivu ledveno-križnične hrbtenjače po draženju tibialnega živca valu P9 ustreza val P10, valu N11 val N14 in valu N13 val N17. Valu N17 sledi val P1.

Začetni val P9 oz. P10 ima svoj izvor v proksimalnem delu ramenskega pleteža (7, 21, 22). Raziskovalci opisujejo, da je val N11 sestavljen akcijski potencial proksimalnega dela zadajšnjih korenin (19, 22, 23), sistema zadajšnjih stebričkov (7, 19, 24) in debelih aferentnih kolateral za zadajšnji rog hrbtenjače (25). Izvor vala N13 pripisujejo internevronskim sistemom hrbtenjače v področju vratne zadebelitve hrbtenjače (18). Počasni negativni val N13 internevronskega odziva je odraz dipola z negativnim polom posteriorno in pozitivnim anteriorno (18, 19, 26). V raziskavi, izvedeni na zdravih ljudeh in živalih, sta Allison in Hume (27) pokazala razcepljenost vratnega internevronskega vala N13 v zgornjih vratnih segmentih na komponenti N13a in N13b. Izvor N13a sta pripisala zadajšnjim rogovom hrbtenjačne sivine, izvor N13b pa kuneatnemu jedru. Podobne ugotovitve so opisali Sonoo in sodelavci (28) v klinični raziskavi. Kaji in Sumner (26) sta pokazala, da je izvor električne aktivnosti v zgornjih vratnih segmentih dipol s pozitivnim polom antero-superiorno in negativnim polom postero-inferiorno. Dipol naj bi bil odraz aktivnosti kuneatnega jedra in medialnega lemniska.

Predstavitev problema

Večina kliničnih raziskav SIPH pri bolnikih je temeljila na opisovanju sprememb elektrofizioloških parametrov teh potencialov: spremembe amplitude, latence, trajanja in prevodne hitrosti. Redkeje so avtorji omenjali spremembe elementov odzivov, ki pa jih niso natančneje opredelili. Pri prevodnih SIPH so avtorji spremembe potencialov povezovali s kliničnimi znaki okvare dolgih prog (4, 9, 13, 15, 29–31). Izginotje vala N13 po draženju medianega živca pri bolnikih s siringomielijo (32–39), s hernijo medvretenčne ploščice (34, 40) in pri bolnikih s tumorji hrbtenjače (13, 34) so povezovali s izgubo občutka za bolečino in temperaturo. Razlagali so si jo kot posledico okvare hrbtenjačne sivine. Opisani so tudi primeri, ko normalne večfazne odzive nad mestom poškodbe zamenja monofazni pozitivni potencial z veliko amplitudo (41–44). Imenujejo ga potencial poškodbe in ga razlagajo z blokom prevajanja pri nepovratni poškodbi hrbtenjače. Prestor (9) je opisal nepopolni potencial poškodbe. Hrbtenjača je le delno poškodovana. Gre za nepopolni blok prevajanja. Nad lezijo ostanejo vidni potenciali, ki se uspejo prevesti po nepoškodovanih progah. Tako je klinično pokazal potencial, ki so ga opisali Schramm in sodelavci (45) pri poskusu na živalih.

Ker v literaturi ni zaslediti veliko raziskav, ki bi temeljile na opredeljevanju sprememb elektrofizioloških elementov SIPH pri bolnikih, smo se odločili, da bomo na posameznih primerih bolnikov z lezijami hrbtenjače natančno analizirali predvsem spremembe elementov SIPH. Zanimalo nas je, ali je moč spremembe posameznih elementov SIPH povezati s posameznimi motnjami občutkov in s tem sklepati na izvor elementov SIPH. Izsledki naloge nam bodo v pomoč pri razlagi sprememb SIPH, registriranih med operativnim posegom.

Bolniki in metode

Bolniki

V raziskavi smo zajeli deset bolnikov, ki so se v letih od 1990 do 1994 zdravili na Kliniki za nevrokirurgijo v Ljubljani. Od desetih bolnikov, starih od 28 do 63 let, je bilo pet žensk in pet moških. Operirani so bili zaradi bolezni hrbtenjače. Največ bolezni so predstavljali intra- in ekstrapomedularni tumorji vratnih in prsnih segmentov hrbtenjače. Trije bolniki s tumorjem hrbtenjače so imeli še sirinks (cevasta votlina v hrbtenjači izpolnjena s tekočino). Ena bolnica je bila operirana zaradi obsežne hernije medvretenčne ploščice.

Deset bolnikov smo predstavili v dvanajstih primerih. Eno bolnico smo opisali v dveh primerih (primer 3 in primer 4), ker je bila v razmaku osmih mesecev dvakrat operirana zaradi intramedularnega astrocitoma, eno (primer 11 in primer 12) pa zaradi dvojne patologije in sicer nevrinoma in ependimoma. Pri tej bolnici smo oba tumorja odstranili pri isti operaciji.

Metode

Mikronevrokirurške metode

Bolnike smo operirali v splošni anesteziji. Za anestezijo smo uporabljali N_2O s halotanom ali fentanilom, za mišično relaksacijo pa nedepolarizirajoče blokatorje živčno-mišičnega stika (vecuronium/Norcuron, atracurium/Tracurium). Vzdrževali smo stalno raven anestezije.

Tumorje smo z mikronevrokirurško tehniko odstranili. V primerih s pridruženo siringomielijo smo naredili še siringostomijo in siringosubarahnoidno povezavo. Pri bolnici s hernijo medvretenčne ploščice smo izbočeno ploščico z mikrokirurško tehniko odstranili.

Elektrofiziološke metode

Elektrofiziološka metoda, ki smo jo uporabili, je bil intraoperativni monitoring. Vse meritve smo izvedli z aparatom Nihon Kohden Neuropack Four mini MEB-5304K, ki vsebuje dražilno enoto in računalnik. Povprečili smo 200 odzivov v časovnem oknu 30, 50 ali 100 ms za dražljajem. Za oceno ponovljivosti smo posamezne meritve vsaj dvakrat ponovili. Frekvenčno območje ojačevalnikov je bilo med 10 Hz in 3 kHz. Upornost stika elektrod je bila nižja od 2 k Ω .

Za draženje mešanih perifernih in senzoričnih živcev smo uporabili bipolarne površinske dražilne elektrode Nihon Kohden NM-4205. Namestili smo jih anesteziranim bolnikom na mesta, določena pred anestezijo. Katoda je bila nameščena proksimalno od anode. Dražili smo transkutano, izmenično levo in desno, s pravokotnim tokovnim dražljajem trajanja 0,3 ms in frekvence 10 Hz. Jakost draženja mešanih perifernih živcev je bila tri- do petkrat večja od motoričnega praga, določenega pred uvedbo anestezije. Jakost draženja senzoričnih živcev je bila do petkrat večja od senzoričnega praga, določenega pred uvedbo anestezije. Za ozemljitev smo uporabili trakaste elektrode, nameščene na udu nad mestom draženja.

Pri draženju mešanih perifernih živcev smo bipolarne dražilne elektrode na zgornjih udih namestili nad mediani živcev v zapestju, na spodnjih udih pa nad tibialni živec v podkolenski jami. Pri draženju suralnega živca smo bipolarne dražilne elektrode namestili nad suralni živec za zunanjim gležnjem.

Registracija odzivov je bila unipolarna. Referenčna elektroda je bila igelna elektroda, zabodena v paraspinalno mišičje v sredini med zgornjo in spodnjo registracijsko elektrodo. Referenčno elektrodo smo vodili na pozitivni, registracijsko pa na negativni vhod. Za postavitev registracijskih elektrod smo v šestih primerih uporabili subpialno, v petih primerih epiduralno, v enem primeru pa subpialno in epiduralno tehniko.

Pri subpialni tehniki registracije smo po odprtju dure in arahnoidne naredili majhno incizijo v pivo in namestili Medtronic Pisceess-Sigma elektrodo subpialno, neposredno na zadajšnjo površino hrbtenjače v predelu dorzomedianega žleba. Mesto smo določili z operacijskim mikroskopom. Uporabili smo dve subpialni elektrodi, ki smo ju postavili tik nad in tik pod prizadetim segmentom hrbtenjače.

Pri epiduralni tehniki registracije smo po ekspoziciji dure elektrode tipa Davis-Geck (Medtronic) ali Avery E-355 namestili z operacijskim mikroskopom na zadajšnjo površino dure v mediani liniji. Uporabili smo dve epiduralni elektrodi s štirimi aktivnimi snemalnimi mesti. Postavili smo ju tik nad in tik pod prizadetim segmentom hrbtenjače.

Za odstranjevanje počasnih valov z veliko amplitudo smo uporabili programe računalniške enote aparata Nihon Kohden Neuropack Four mini MEB-5304K.

Vse spremembe elektrofizioloških elementov smo opisali glede na normalne elektrofiziološke elemente SIPH, registrirane pri bolnikih z bolečinskimi sindromi, ki niso imeli nobenih motenj občutkov in pri katerih somatosenzorični sistem hrbtenjače ni bil okvarjen (9, 13).

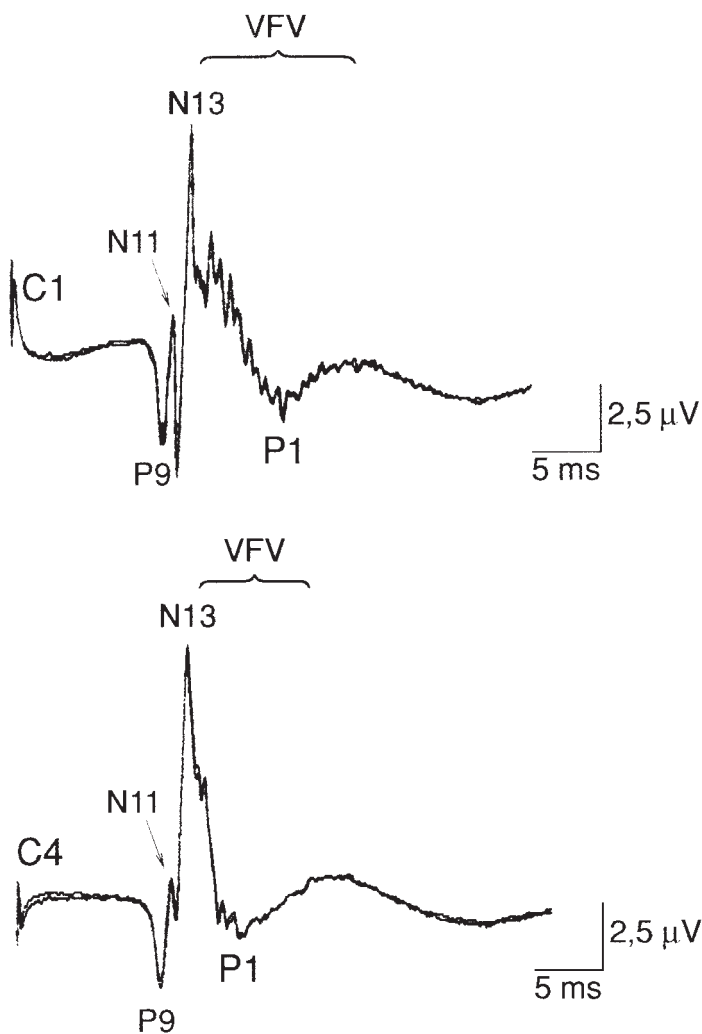
Rezultati

Prevodne SIPH po draženju tibialnega živca smo registrirali v osmih, prevodne SIPH po draženju suralnega živca pa v enem primeru. Internevronske SIPH po draženju medianega živca smo registrirali v šestih, internevronske SIPH po draženju tibialnega živca pa v treh primerih.

Primer 1

Bolnica je imela hemangioblastom v višini segmenta C1 in sirinks od segmenta C1 do C5 vratne hrbtenjače. Ekstramedularni tumor je z desne strani dorzolateralno pritiskal na hrbtenjačo. Pred operacijo je imela bolnica zmanjšan občutek za dotik na obeh straneh pod segmentom T5, po operaciji pa le na desni strani pod segmentom C3. Na levi strani občutek za dotik ni bil moten.

Vsi prevodni SIPH so bili oblikovno spremenjeni in so imeli majhno amplitudo. Po odstranitvi tumorja se je amplituda odzivov nad lezijo povečala. Skupina valov PVP je bila na vseh odzivih slabo oblikovana. Zato smo jo težko razmejili od začetnih negativnih valov in valov skupine PNP. Valovi skupine PVP so se mestoma združevali v negativne



Slika 3. Internevronske SIPH po draženju levega medianega živca pred odstranitvijo tumorja; registracija odziva nad lezijo v segmentni višini C1 in pod njo v segmentni višini C4; subpialna tehnika. Pri okvari hrbtenjačne sivine del vala N13 manjka. Na mestu odsotnega vala se pokažejo številni visokofrekvenčni valovi. VFV – visokofrekvenčni valovi.

komplekse. Skupina valov PNP je bila jasno izražena le na odzivu pod lezijo po draženju z desne.

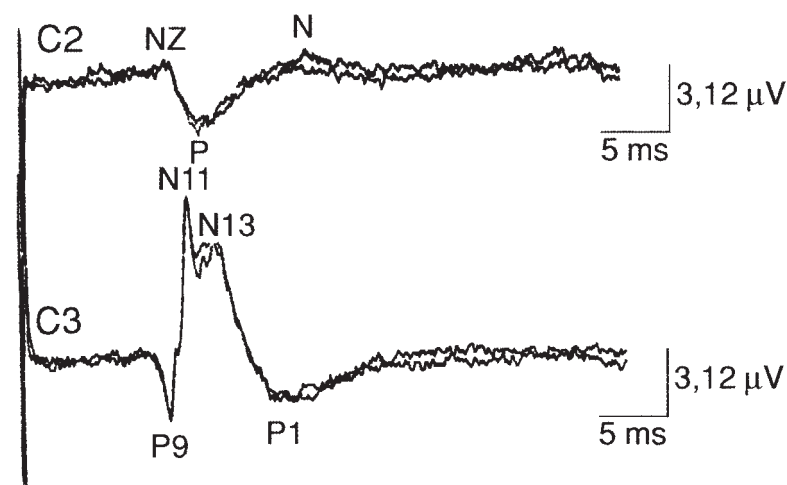
Pred odstranitvijo tumorja je bila amplituda internevronske SIPH po draženju z desne do trikrat manjša od amplitude SIPH po draženju z leve. Po odstranitvi tumorja se je am-

plituda internevrnskih SIPH po draženju z desne povečala. Val P9 je bil na vseh odzivi globok. Val N11 je bil po draženju z desne neizrazit. Po draženju z leve je val N11 nastopal samostojno, jasno ločen od vala N13. Na descendntnem kraku vala N13 odzivov smo videli številne visokofrekvenčne valove z majhno amplitudo. Po draženju z desne se je po odstranitvi tumorja na odzivu nad lezijo število teh valov zmanjšalo. Na odzivi pod lezijo je del vala N13 manjkal. Njegov descendntni krak je hitro in strmo padal. Kompleks je kratko trajal (slika 3).

Primer 2

Bolnica je imela nevrinom v višini segmentov C2 in C3 vratne hrbtenjače. Ekstramedularni tumor je z desne strani dorzolateralno pritiskal na hrbtenjačo. Pred operacijo je imela bolnica na levi strani pod segmentom C4 zmanjšane, na desni strani pa pod istim segmentom odsotne občutke za dotik, bolečino, temperaturo, vibracije in položaj sklepov. Po operaciji je imela bolnica v desni nogi zmanjšane občutke za dotik, bolečino, temperaturo, vibracije in položaj sklepov. Na levi strani ni imela motenj občutkov.

Nad lezijo smo vselej zabeležili skupino počasnih valov z majhno amplitudo. Začetni negativni val se je po latenci ujema z valom P9 internevrnskega SIPH, registriranega pod lezijo. Sledila sta mu pozitivni in negativni val. Prvi se je po latenci ujema z valom N13, drugi pa z valom P1 odziva pod lezijo. Odziv je imel obliko potenciala poškodbe (slika 4). Internevrnski SIPH, registrirani pod lezijo, so bili normalno oblikovani. Po draženju z leve se je amplituda odziva po odstranitvi tumorja zvečala.

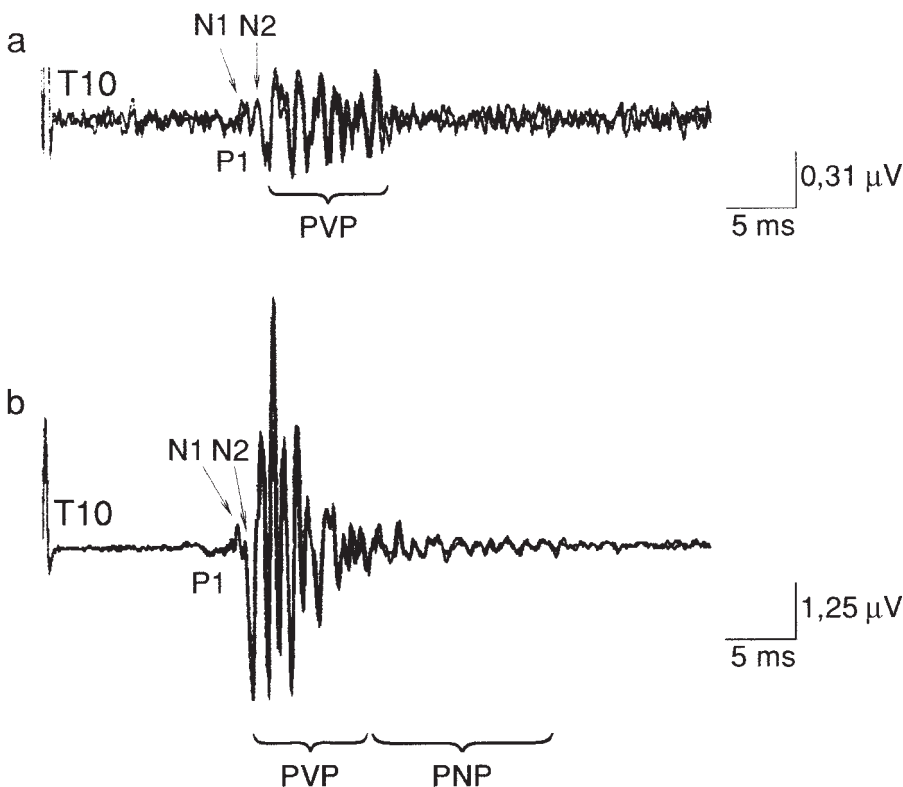


Slika 4. Internevrnski SIPH po draženju desnega medianega živca pred odstranitvijo tumorja; registracija odziva nad lezijo v segmentni višini C2 in pod njo v segmentni višini C3; epiduralna tehnika. Pri okvari hrbtenjače se nad lezijo lahko pojavi potencial poškodbe. Pod lezijo je normalen internevrnski SIPH.

Primer 3

Bolnica je imela astrocitom v segmentih T8 do T10 prsne hrbtenjače. Pred operacijo in po njej je imela bolnica na obeh straneh pod segmentom T10 zmanjšane občutke za dotik, bolečino, temperaturo, vibracije in položaj sklepov.

Negativna valova N1 in N2 sta bila jasno izražena na vseh prevodnih SIPH. Na vseh odzivih po draženju z leve so bili valovi skupine PVP izraziti in so imeli veliko amplitudo. Na vseh odzivih po draženju z desne je bila amplituda valov skupine PVP izrazito manjša od amplitude valov te skupine po draženju z leve. Valovi skupine PVP so se mestoma združevali v negativne komplekse. Valov skupine PNP po draženju z desne ni bilo, po draženju z leve pa so bili jasno izraženi na vseh odzivih (slika 5). Po odstranitvi tumorja je bila amplituda prevodnega odziva po draženju z leve več kot dvaindvajsetkrat večja od amplitude odziva po draženju z desne.



Slika 5. Prevodni SIPH po odstranitvi tumorja; registracija odziva pod lezijo v segmentni višini T10; subpialna tehnika: a) odziv po draženju desnega tibialnega živca, b) odziv po draženju levega tibialnega živca. Okvara hrbtenjače se najprej pokaže z izginotjem valov skupine PNP in zmanjšanjem amplitude potenciala (a).

Primer 4

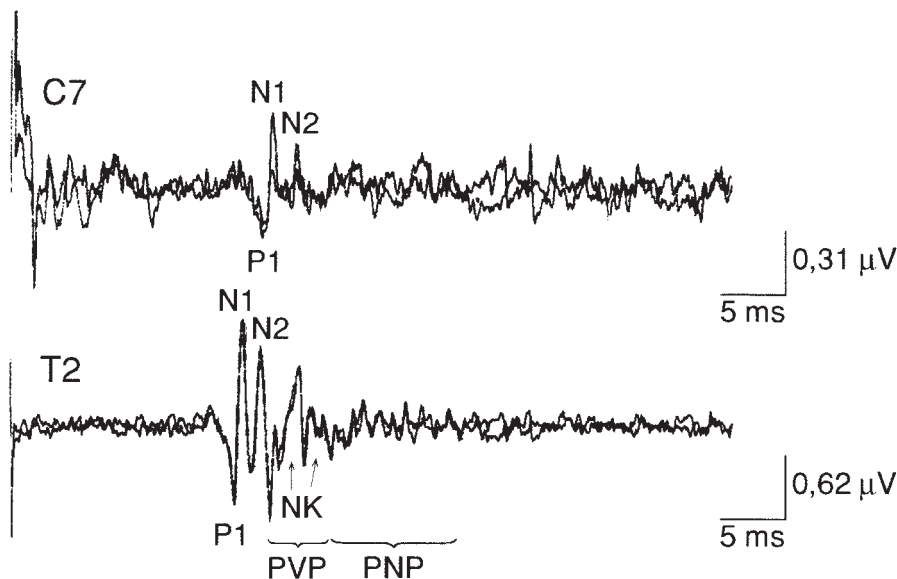
Bolnica s ponavljajočim intramedularnim astroцитomom segmentov T10 do T12 prsne hrbtenjače. Pred operacijo in po njej je imela bolnica na obeh straneh pod segmentom T10 zmanjšane občutke za dotik, bolečino, temperaturo, vibracije in položaj sklepov.

Nad lezijo se je v nejasnem odzivu hrbtenjače nakazoval počasen pozitiven val, ki je imel podobno latenco kot val N17 internevrnskega SIPH, registriranega pod lezijo. Odziv nad lezijo je po obliki spominjal na potencial poškodbe. Pod lezijo je bila amplituda internevrnskih SIPH po odstranitvi tumorja do desetkrat manjša od amplitud SIPH pred odstranitvijo tumorja. Pred valom N17 smo opazili skupino negativnih valov, jasno ločeno od vala N17. Ti valovi so sestavljali val N14.

Primer 5

Bolnik je imel intramedularni astroцитom v segmentih C7 do T3 hrbtenjače. Pred operacijo in po njej je imel bolnik na levi strani pod segmentom T1 in na desni strani pod segmentom T3 zmanjšana občutka za dotik in bolečino, na obeh straneh pa pod segmentom T1 še odsotna občutka za vibracije in položaj sklepov.

Vsi prevodni SIPH so bili močno spremenjeni. Amplituda odzivov nad lezijo je bila manjša od amplitude odzivov pod lezijo. Le negativna valova N1 in N2 sta bila na vseh od-



Slika 6. Prevodni SIPH po draženju desnega tibialnega živca pred odstranitvijo tumorja; registracija odziva nad lezijo v segmentni višini C7 in pod njo v segmentni višini T2; subpialna tehnika. Najbolj stabilen element prevodnih SIPH so začetni negativni valovi. Prisotni so tudi, ko drugi elementi odziva že v celoti izginejo. Zgodnja sprememba valov skupine PVP je njihovo združevanje v negativne komplekse. NK – negativni kompleks valov skupine PVP.

zivih jasno izražena (slika 6). Na odzivu nad lezijo po draženju z desne valov skupine PVP nismo mogli določiti. Na ostalih odzivih so bili prisotni in so se združevali v negativne komplekse. Valovi skupine PNP so bili po draženju z desne pod lezijo jasno izraženi, nad lezijo pa jih nismo mogli določiti. Po draženju z leve so imeli majhne amplitude in so brez jasne meje prehajali v osnovno električno aktivnost.

Na vseh internevrnskih SIPH je bil val P9 globok. Po draženju z leve je bil val N13 normalno oblikovan, po draženju z desne pa je del vala N13 manjkal. Descendentni krak vala je hitro in strmo padal.

Primer 6

Bolnica je imela dorzomediano hernijo medvretenčne ploščice med osmim in devetim vretencem prsne hrbtenice. Klinasta kalcinirana medvretenčna ploščica je predrila duro in skoraj v celoti izpolnjevala širino hrbteničnega kanala. Hrbtenjača je bila stisnjena z desne strani. Bolnica je imela na obeh straneh pod segmentom T10 pred operacijo zmanjšane, po operaciji pa popolnoma odsotne občutke za dotik, bolečino, temperaturo, vibracije in položaj sklepov.

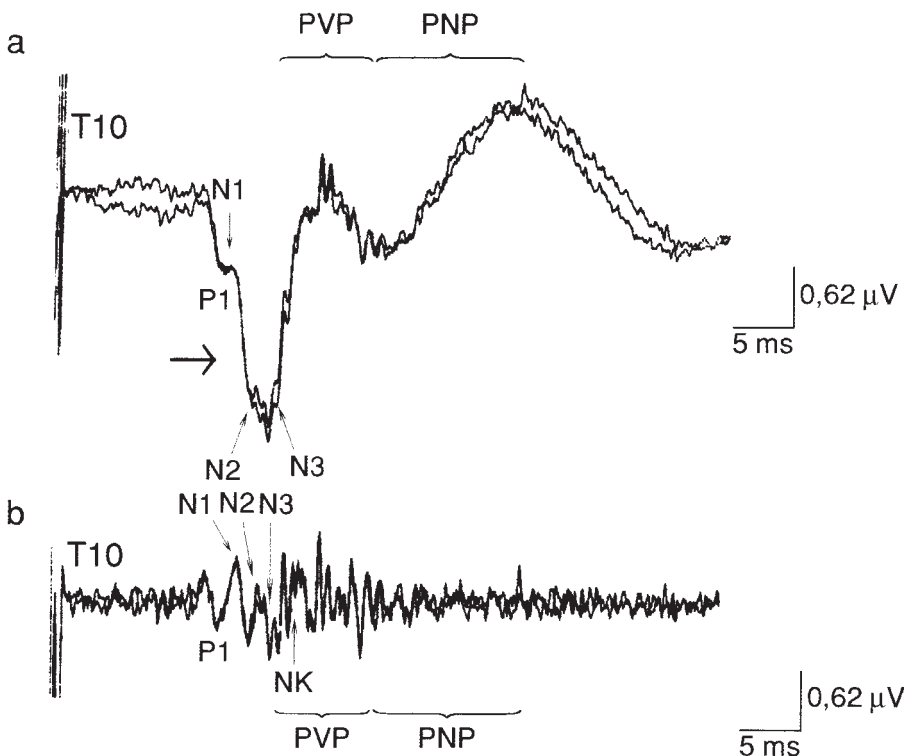
Nad lezijo smo zabeležili skupino počasnih valov z majhno amplitudo. Začetni negativni val se je po latenci ujema z valom P10 internevrnskega SIPH, registriranega pod lezijo. Sledila sta mu pozitivni in negativni val. Prvi se je po latenci ujema z valom N17, drugi pa z valom P1 SIPH pod lezijo. Odziv je imel obliko potenciala poškodbe. Pod lezijo so bile amplitude internevrnskih SIPH po draženju z desne do dvakrat manjše od amplitud odzivov po draženju z leve. Na val N17 so bili naneseni številni visokofrekvenčni valovi.

Primer 7

Bolnik je imel nevrinom v višini segmentov T11 in T12 prsne hrbtenjače. Ekstramedularni tumor je z leve strani dorzolateralno pritiskal na hrbtenjačo. Pred operacijo je imel bolnik na obeh straneh pod segmentom T12 zmanjšan občutek za dotik in odsoten občutek za vibracije. Hkrati je imel v obeh spodnjih udih odsoten tudi občutek za položaj sklepov. Na levi strani je imel pod segmentom T12 odsotna še občutka za temperaturo in bolečino, na desni strani pa le za bolečino pod istim segmentom. Po operaciji bolnik ni imel nobenih motenih občutkov.

SIPH, registrirani nad lezijo, so imeli značilnosti prsnih prevodnih SIPH. Elementi prevodnega odziva so bili vključeni v potencial, ki je spominjal na nepopolni potencial poškodbe (slika 7a). Z odstranitvijo visokoamplitudnih počasnih valov so se pokazali jasneje (slika 7b). Valovi N1, N2 in N3 so bili na vseh odzivih jasno izraženi. Sledili so jim valovi skupine PVP, ki so se mestoma združevali v negativne komplekse. Valovi skupine PNP so bili slabo oblikovani in so brez očitne meje prehajali v osnovno električno aktivnost. Pred odstranitvijo tumorja pa teh valov po draženju z leve sploh nismo mogli določiti.

Amplitude internevrnskih SIPH, registriranih pod lezijo, so bile po draženju z desne večje od amplitud SIPH po draženju z leve. Po odstranitvi tumorja so se amplitude odzivov



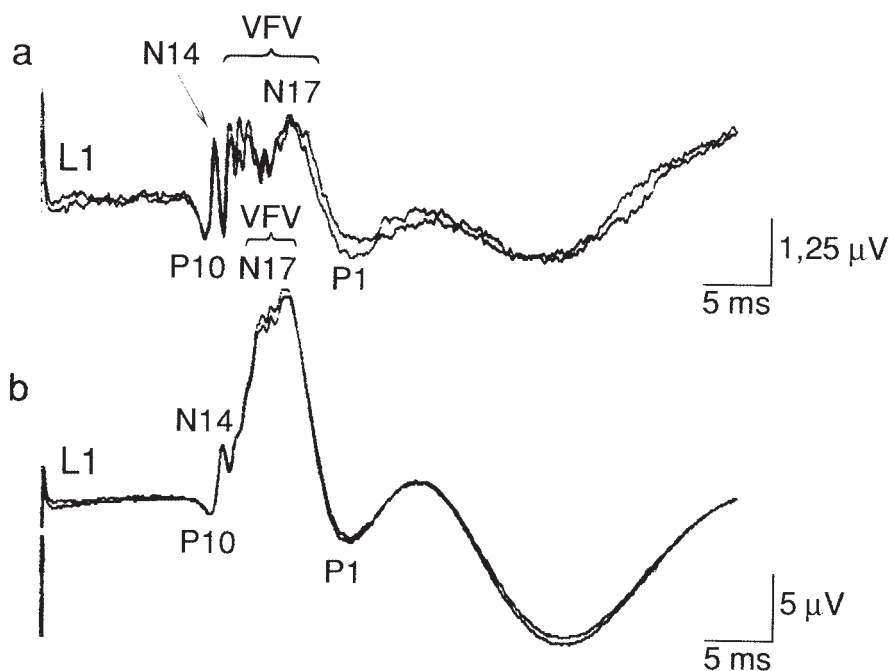
Slika 7. Prevodni somatosenzorični izvabljeni potenciali prsne hrbtenjače po draženju desnega tibialnega živca po odstranitvi tumorja; registracija odziva nad lezijo v segmentni višini T10; epiduralna tehnika: a) nepopolni potencial poškodbe, b) prevodni odziv po odstranitvi počasnih valov z veliko amplitudo. V prsni hrbtenjači so elementi prevodnega SIPH naneseni na počasne valove z veliko amplitudo, ki so zrcalna slika ledvenokrižničnih internevrnskih SIPH (slika 8) in spominjajo na nepopolni potencial poškodbe. Ko odstranimo počasne valove, se elementi prevodnega odziva jasno pokažejo. Puščica označuje počasni pozitivni visokoamplitudni val, na katerega so naneseni elementi prevodnega odziva. NK – negativni kompleks valov skupine PVP.

po draženju z leve in desne povečale in izenačile. Val N14 je bil na vseh odzivih jasno izražen. Pojavil se je samostojno pred valom N17. Na val N17 so bili naneseni številni visokofrekvenčni valovi. Po odstranitvi tumorja se je njihovo število zmanjšalo (slika 8).

Primer 8

Bolnik je imel centralno ležeč epindimom v segmentih C6 in C7 in sirinks od segmenta C7 do segmenta T1 hrbtenjače. Pred operacijo in po njej je imel bolnik na obeh straneh pod segmentom C6 zmanjšane občutke za dotik, bolečino in temperaturo ter odsotna občutka za vibracije in položaj sklepov.

Nad lezijo odziva ni bilo. Na prevodnih SIPH, registriranih pod lezijo, so imeli valovi N1, N2 in N3 majhno amplitudo. Valovi skupine PVP so bili jasno oblikovani po draženju z de-



Slika 8. Internevronske SIPH po draženju tibialnega živca; registracija odziva pod lezijo v segmentni višini L1; epiduralna tehnika: a) odziv pred odstranitvijo tumorja, b) odziv po odstranitvi tumorja. Število visokofrekvenčnih valov na internevronske SIPH se zmanjša, če se amplituda odziva zveča. VFV – visokofrekvenčni valovi.

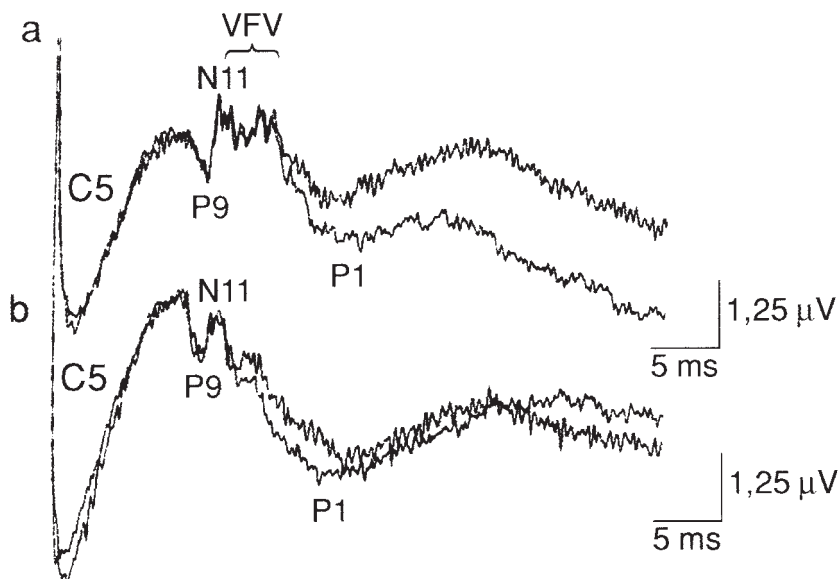
sne, po draženju z leve pa so bili neizraziti in so imeli majhno amplitudo. Po odstranitvi tumorja se je po draženju z desne amplituda valov skupine PVP dvakrat zmanjšala. Skupina je izgubila značilno oblikovanost. Valovi skupine PNP po draženju z leve niso bili ponovljivi, po draženju z desne pa so bili jasno oblikovani.

Amplitude vseh interneuronskih SIPH so bile majhne. Val P9 je bil globok. Val N13 je bil odsoten. Na njegovem mestu so se pokazali posamezni visokofrekvenčni valovi z majhno amplitudo.

Primer 9

Bolnik z obsežnim centralno ležečim ependimomom v segmentih C5 do T1 in sirinksom, ki nad tumorjem sega do segmenta C1, pod njim pa do segmenta T5. Pred operacijo in po njej je imel bolnik na obeh straneh pod segmentom C3 odsotne občutke za dotik, bolečino, temperaturo, vibracije in položaj sklepov.

Amplitude vseh interneuronskih SIPH so bile majhne. Val P9 je bil globok. Vala N13 ni bilo. Na njegovem mestu so se pokazali številni visokofrekvenčni valovi z majhno amplitudo (slika 9).



Slika 9. Internevronske SIPH po draženju medianega živca po odstranitvi tumorja; registracija odziva pod lezijo v segmentni višini C5; subpialna tehnika: a) odziv po draženju z desne, b) odziv po draženju z leve. Pri hudih okvarah hrbtenjačne sivine val N13 skoraj v celoti izgine, na njegovem mestu pa se pokažejo visokofrekvenčni valovi z majhno amplitudo. VFV – visokofrekvenčni valovi.

Primer 10

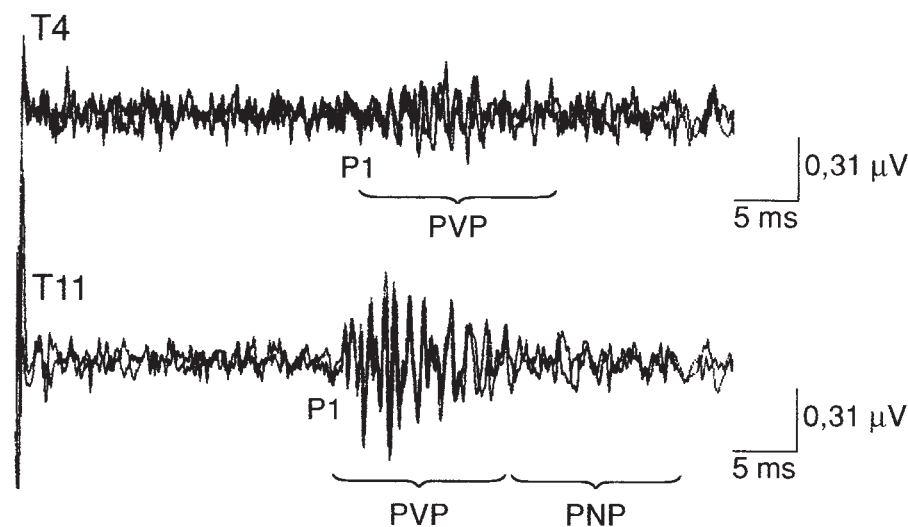
Bolnik je imel obsežen centralno ležeč ependimom v segmentih T4 do T11 prsne hrbtenjače. Pred operacijo in po njej je imel bolnik na obeh straneh pod segmentom T9 zmanjšan občutek za bolečino in odsoten občutek za vibracije. Hkrati je imel v obeh spodnjih udih odsoten tudi občutek za položaj sklepov. Na levi strani pod segmentom T9 in na desni strani pod segmentom T7 je imel zmanjšan še občutek za dotik.

Na prevodnih SIPH po draženju tibialnega živca, registriranih nad lezijo, skupine valov niso bile razpoznavne. Določili smo lahko le začetek in konec odziva. Na odzivih pod lezijo so bili trije začetni negativni valovi. Sledila jim je skupina valov s podobno amplitudo in frekvenco. Skupina ni bila jasno oblikovana in je brez očitne meje prehajala v osnovno električno aktivnost.

Na nobenem prevodnem SIPH po draženju suralnega živca ni bilo začetnih negativnih valov (slika 10). Valovi skupine PVP so bili jasno izraženi le na odzivih pod lezijo. Na odzivih nad lezijo so imeli valovi majhno amplitudo in so brez jasne meje prehajali v osnovno električno aktivnost. Valov skupine PNP nad lezijo ni bilo. Pod lezijo pa so bili prisotni le po draženju z leve. Brez očitne meje so prehajali v osnovno električno aktivnost.

Primer 11 in primer 12

Bolnica s centralno obliko nevrofibromatoze je imela nevrinom v višini segmentov C2 in C3 in ependimom v segmentih C5 in C6 vratne hrbtenjače. Oba tumorja smo odstra-



Slika 10. Prevodni SIPH po draženju levega suralnega živca pred odstranitvijo tumorja; registracija odziva nad lezijo v segmentni višini T4 in pod njo v segmentni višini T11; subpialna tehnika. Po draženju suralnega živca ni začetnih negativnih valov, kljub temu da so prisotni po draženju tibialnega živca z enako jakostjo dražljaja.

nilni pri isti operaciji. Pred operacijo je imela bolnica na obeh straneh v dermatomih C5 in C6 zmanjšane občutke za dotik, temperaturo in bolečino. Po operaciji je imela zmanjšane občutke za dotik, temperaturo in bolečino dodatno še v obeh stopalih, hkrati pa še v zgornjih udih zmanjšana, v spodnjih udih pa povsem odsotna občutka za vibracije in položaj sklepov. Bolnica je imela po operaciji hudo spinalno ataksijo.

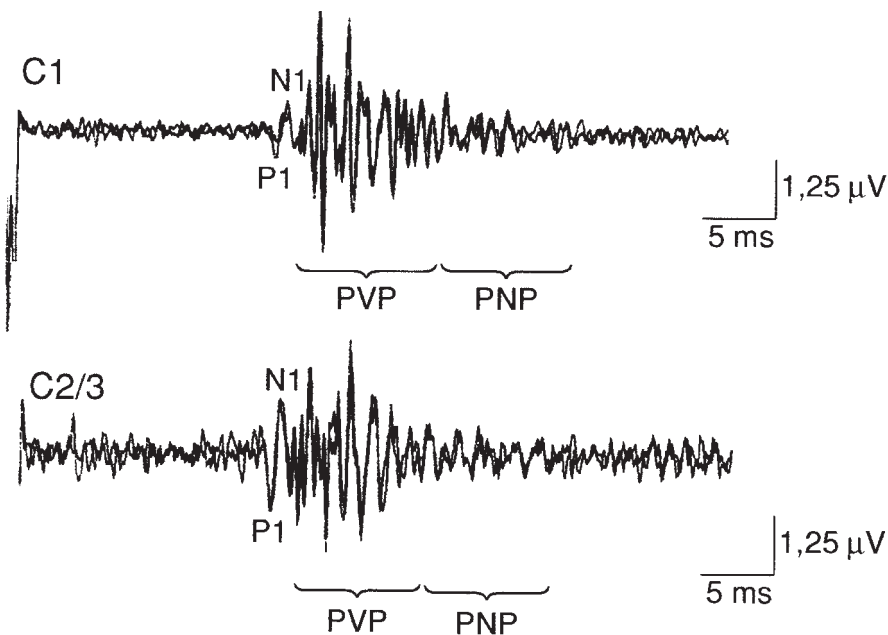
Nevrinom je pritiskal z desne strani dorzolateralno na hrbtnjačo. Meritve smo izvedli pred odstranitvijo nevrinoma.

Na vseh prevodnih SIPH je bil viden začetni negativni val N1. Val je bil pod lezijo izrazit in je imel veliko amplitudo. Valovi skupin PVP in PNP so bili na vseh odzivih jasno izraženi (slika 11).

Na internevronskih SIPH pod lezijo val N13 ni bil jasno oblikovan. Ascendentni krak kompleksa N11/N13 se je končal z vrhom vala N11. Valu N11 je sledil val N13 v obliki platoja z več vrhovi. Pri vseh odzivih so bili na val N13 naneseni številni visokofrekvenčni valovi.

Ependimom je ležal centralno. Meritve smo izvedli po odstranitvi ependimoma.

Vsi prevodni SIPH so bili močno spremenjeni. Vidna sta bila dva začetna negativna vala. Nad lezijo valov skupine PVP nismo mogli razmejiti od valov skupine PNP. Začetni negativni valoma je sledila skupina visokofrekvenčnih valov, ki so brez jasne meje prehajali v osnovno električno aktivnost. Pod lezijo so bili valovi skupine PVP neizraziti in so imeli majhno amplitudo. Sledila jim je skupina nizkofrekvenčnih valov z majh-



Slika 11. Prevodni SIPH po draženju desnega tibialnega živca pred odstranitvijo nevrinoma; registracija odziva nad lezijo v segmentni višini C1 in pod njo v segmentni višini C2/C3; subpialna tehnika. Prevodni SIPH pri bolnici z intra- in ekstramedularnim tumorjem potrjujejo, da dolge senzorične proge niso prizadete.

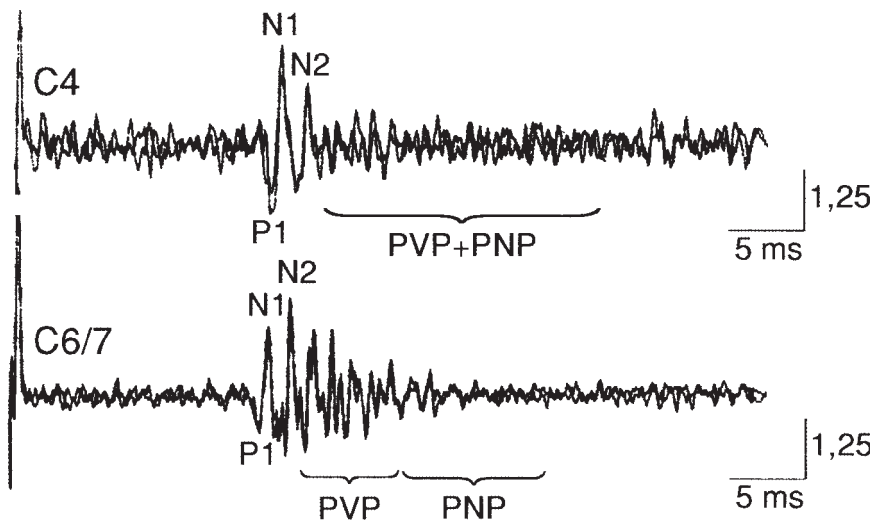
no amplitudo, ki so brez jasne meje prehajali v osnovno električno aktivnost. Najverjetneje je šlo za valove skupine PNP (slika 12).

Na vseh internevronskih SIPH je bil val P9 globok. Po draženju z leve je bil val N13 odsoten (slika 13). Na njegovem mestu so se pokazali visokofrekvenčni valovi z majhno amplitudo. Odziv po draženju z desne je bil normalno oblikovan.

Razprava

Prevodni somatosenzorični izvabljeni potenciali hrbtenjače

Jones in sodelavci (5) ter Halonen in sodelavci (16) so po draženju tibialnega živca v podkolenski jami in registraciji v epiduralnem prostoru opisali začetni negativni val z nizkim aktivacijskim pragom in z veliko hitrostjo prevajanja. S subpialno tehniko je Prestor (9) registriral skupino začetnih negativnih valov s podobnimi prevodnimi hitrostmi. Število teh valov je bilo večje pri večji jakosti dražljaja. Prestor je opisal največ pet začetnih negativnih valov. Domneval je, da se valovi prevajajo po dveh skupinah aksonov spinocerebelarne proge z različnima hitrostima prevajanja. Kot najverjetnejši izvor začetnega negativnega vala so vsi omenjeni avtorji navedli posteriorno spinocerebelarno progo. Halonen in sodelavci (16) v podkrepitev te trditve navajajo še zmanjšanje prevodne hi-

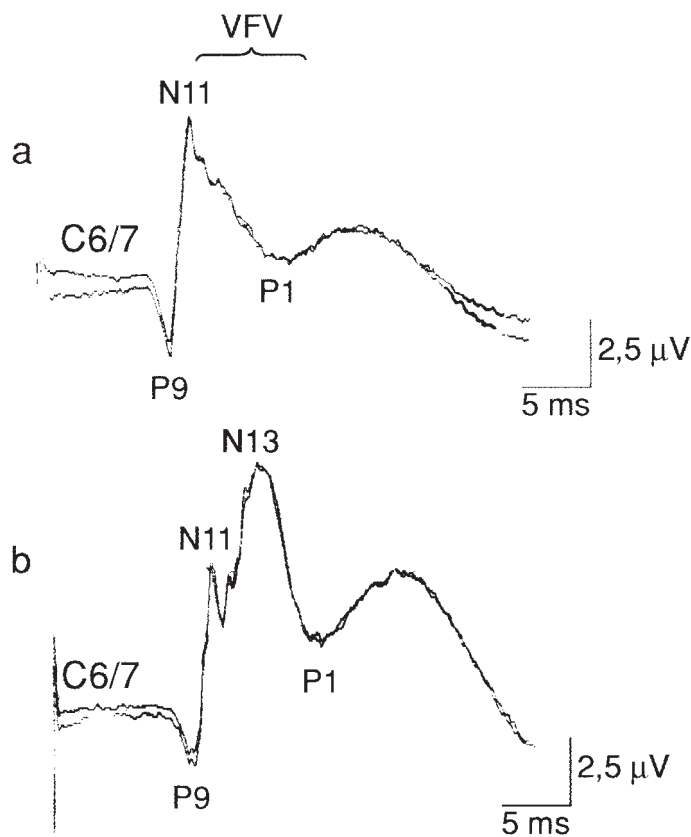


Slika 12. Prevodni SIPH po draženju desnega tibialnega živca po odstranitvi ependimoma; registracija odziva nad lezijo v segmentni višini C4 in pod njo v segmentni višini C6/C7; subpialna tehnika. Pri bolnici, kjer so bili prevodni SIPH normalni, je prišlo pri odstranitvi intramedularnega tumorja do poškodbe dolgih senzoričnih prog. Poškodba se kaže s spremembami valov skupine PVP in PNP.

trosti v spodnjih prsnih segmentih hrbtenjače in večjo refraktarno dobo tega vala v primerjavi z drugimi komponentami odziva.

V naši raziskavi smo našli večinoma dva začetna negativna valova, redkeje enega ali tri. Začetni negativni valovi so najbolj stabilen element prevodnega SIPH. Število teh valov se pri posameznem primeru ni spreminjalo. Na spremenjenem odzivu so se vedno obdržali najdlje. Vidni so bili tudi, ko so drugi elementi že v celoti izginili. Stabilnost začetnih negativnih valov kaže, da je živčna struktura, ki je izvor teh valov, pri naših bolnikih ohranjena. Intramedularni tumorji je ne dosežejo in je ne okvarijo. To nam potrjuje tudi primera dveh bolnikov z intramedularnim tumorjem, kjer so bili na odzivih ohranjeni le začetni negativni valovi. V njuni klinični sliki ni bilo znakov okvare spinotalamične in piramidne proge, prisotni pa so bili znaki okvare globoke senzibilitete in občutka za dotik. Pri teh dveh bolnikih tumor ni okvaril globlje ležeče piramidne in spinotalamične proge, okvarjeni pa so bili zadajšnji stebrički. Ohranjeni začetni negativni valovi imajo zato po našem mnenju izvor na obodu anterolateralnega dela hrbtenjače.

Jones in sodelavci (5) ter Halonen in sodelavci (16) po draženju tibialnega živca za gležnjem začetnega negativnega vala niso registrirali ali pa je ta imel močno zmanjšano amplitudo. Odsotnost oz. zmanjšanje amplitude začetnega negativnega vala so pripisali manjšemu številu vlaken tipa Ia in Ib v tibialnem živcu v predelu gležnja v primerjavi s številom teh vlaken v istem živcu v podkolenski jami. Halonen in sodelavci (16) so dodatno dražili še suralni živec. Začetnega negativnega vala niso registrirali. Njegovo odsotnost so pripisali odsotnosti vlaken tipa Ia in Ib v suralnem živcu. Te ugotovitve se ujemajo



Slika 13. Internevronske SIPH po draženju levega medianega živca pred odstranitvijo tumorja; registracija odziva nad lezijo v segmentni višini C5 in pod njo v segmentni višini C7; subpialna tehnika. Enostranska odsotnost vala N13 pri bolnici z intramedularnim tumorjem kaže, da je prizadeta le hrbtenjačna sivina na levi strani.

z našimi rezultati. Začetnih negativnih valov nismo registrirali le po draženju suralnega živca, kljub temu da so bili ti po draženju tibialnega živca z enako jakostjo dražljaja prisotni. Impulzi živčnih vlaken tipa Ia in Ib, ki jih v sestavi suralnega živca ni, potujejo po preklonu v hrbtenjači po anteriorni in posteriorni spinocerebelarni progji. V klinični raziskavi Prestor in sodelavci (17) opisujejo izginotje valov N1 in N2 ob ohranitvi drugih elementov prevodnega SIPH po zvezni koagulaciji v predelu vstopa zadajšnjih korenin, pri kateri je prišlo do okvare lateralne površine hrbtenjače. Bolnik je imel po operaciji prehodno motnjo koordinacije ipsilateralne noge brez znakov okvare drugih dolgih prog. Izginotje valov N1 in N2 so pripisali okvari spinocerebelarne proge.

Naši rezultati kažejo, da leži struktura, ki je izvor začetnih negativnih valov, v hrbtenjači obodno in anterolateralno ter prevaja impulse, ki na periferiji potujejo po vlaknih tipa

Ia in Ib. Potrdimo lahko domnevo Jonesa in sodelavcev (5), Halonena in sodelavcev (16) in Prestorja in sodelavcev (17), da sta izvor začetnih negativnih valov spinocereblarni progi.

Z epiduralno tehniko so Jones in sodelavci (5) ter Halonen in sodelavci (16) registrirali negativni val s prevodno hitrostjo, ki je bila manjša od prevodne hitrosti začetnih negativnih valov. Več avtorjev je na SIPH, registriranih z epiduralno (29, 46) in subduralno tehniko (47), ugotovilo večjo razčlenjenost počasnejšega negativnega vala. Whittle in sodelavci (15) so na odzivih, registriranih s subduralno tehniko, pokazali, da se latenca tega vala veča od spodnjih prsnih do zgornjih vratnih segmentov hrbtenjače. Amplituda vala se pri tem zmanjšuje, njegovo trajanje pa daljša. Razčlenjenost vala je vedno jasnejša. S subpialno tehniko je Prestor (9) registriral skupino valov prevodnega SIPH. Bila je izrazito polifazna, visokofrekvenčna in večje amplitude od ostalih elementov prevodnega SIPH. Elektrode so bile postavljene nad dorzalnimi stebrički. Veliko amplitudo teh valov si je razlagal s postavitvijo elektrod v bližino izvora. Imenoval jih je prevodni visoki potenciali (PVP). Vsi omenjeni avtorji so si bili edini, da ti valovi odražajo aktivnost zadajšnjih stebričkov.

V naši raziskavi je bila oblika valov skupine PVP prevodnih SIPH večinoma spremenjena. Valovi so izgubili značilno polifaznost in visokofrekvenčnost. Pojavili so se negativni kompleksi. Amplitude valov skupine PVP so bile, ne glede na tip lezije, nad lezijami manjše. Na spremenjenost te skupine valov so opozorili že Whittle in sodelavci (15). Sprememba valov skupine PVP kaže, da je struktura, ki je izvor teh valov, poškodovana. Poškodba je po našem mnenju posledica zunanjega pritiska pri ekstramedularnih tumorjih in uničenja tkiva oz. pritiska od znotraj pri intramedularnih tumorjih. Podobno razlago so podali tudi Whittle in sodelavci (15).

Po odstranitvi ekstramedularnih tumorjev se je amplituda valov skupine PVP zvečala. Valovi so bili lepše oblikovani. V kliničnem statusu smo našli popolno normalizacijo prej motenih občutkov za dotik in globoko senzibiliteto. Poškodba v teh primerih ni bila nepopravljiva. Prevodne lastnosti hrbtenjače so se po odstranitvi tumorja izboljšale. Po odstranitvi intramedularnih tumorjev pa se je amplituda valov skupine PVP zmanjšala, oblikovanost pa še poslabšala. Menimo, da so te dodatne spremembe odraz poškodbe med samim operativnim posegom. Intramedularni tumor smo odstranili skozi dorzalno mediano mielotomijo. Pri tem se lahko zaradi reza in odstranitve tumorja poškodujeta zadajšnja stebrička. Poškodbo le-teh nam potrjuje primer bolnice, ki pred odstranitvijo intramedularnega tumorja ni imela kliničnih znakov okvare zadajšnjih stebričkov, valovi PVP pa so bili lepo izraženi. Po odstranitvi tumorja je imela ta bolnica hudo okvarjena občutka za dotik in globoko senzibiliteto v spodnjih okončinah ter spinalno ataksijo. Valovi skupine PVP so v celoti izginili. Podoben primer so opisali Whittle in sodelavci (15).

Ker strukturo, ki je izvor skupine valov PVP, lahko poškodujejo tako intra- kot ekstramedularne lezije in se lahko poškoduje pri dorzalni mediani mielotomiji, lahko potrdimo domnevo, da so izvor valov skupine PVP zadajšnji stebrički. Pojavljanje negativnih kompleksov je verjetno zgodnji znak okvare zadajšnjih stebričkov. Izginotje ali odsotnost teh valov pa sta znaka hude okvare zadajšnjih stebričkov.

Valove skupine PNP je s subpialno tehniko prvi registriral Prestor (9). Pojavili so se pri jakosti dražljaja, ki je dvakrat preseгла motorični prag. Imeli so majhno amplitudo, kar je avtor pripisal oddaljenosti izvora valov od registracijske elektrode. Opisal jih je kot hitre potenciale z majhno amplitudo in majhno prevodno hitrostjo. Domneval je, da pripadajo spinotalamični progi.

Valovi skupine PNP so najbolj občutljiv element prevodnega SIPH. Nad lezijo so bili praviloma odsotni, pod lezijo pa nejasno oblikovani. Amplituda teh valov je bila majhna. Valovi skupine PNP so bili odsotni vedno, kadar so bili odsotni tudi valovi skupine PVP. Lahko pa so bili odsotni tudi, če so bili valovi skupine PVP ohranjeni. V primerjavi z valovi skupine PVP so imeli valovi skupine PNP manjšo amplitudo in nižjo frekvenco. Če so bili jasno oblikovani, so bili po obliki povsem drugačni od valov skupine PVP.

Valovi skupine PNP so odraz aktivnosti progovnega sistema, ki leži v predelu hrbtenjače, kjer se že najmanjše spremembe v strukturi tkiva odrazijo v izginotju tega elementa prevodnega SIPH. Ker so elektrode postavljene na površino hrbtenjače v predelu dorzomedianega žleba, gre najverjetneje za centralno in anterolateralno ležečo strukturo. Nizkofrekvenčni valovi skupine PNP imajo majhno prevodno hitrost in amplitudo ter visok prag vzdraženja (13). Zato najverjetneje odražajo električno aktivnost spinotalamične proge, čeprav nam tega s povezavami med morfologijo, kliničnim statusom in spremembami teh valov ni uspelo jasno pokazati.

Internevronski somatosenzorični izvabljeni potenciali hrbtenjače

Izvor vala P9 je podrobno raziskan (7, 21, 22). Opisujejo ga kot odraz prihajajočega potenciala v proksimalnem delu ramenskega plečja.

V naši raziskavi smo registrirali globok val P9 pri bolnikih z intramedularnimi lezijami vratne hrbtenjače. Amplituda tega vala je bila večja od tretjine amplitude celotnega odziva. Amplitude celotnih SIPH so bile različne. Prestor (13) je pri bolnikih s siringomielijo po draženju medianega živca ugotovil petkrat večji odklon valov P9 v primerjavi z normalnimi internevronskimi SIPH. Globok val P9 je po obliki podoben počasnemu pozitivnemu valu potenciala poškodbe hrbtenjače. Globok val P9 bi lahko napovedoval poškodbo hrbtenjače pri intramedularnih lezijah.

Raziskovalci so izvor vala N11 pripisovali najrazličnejšim strukturam (23). Obveljalo je mnenje, da je izvor vala N11 v predelu vstopa zadajšnjih korenin in v zadajšnjih stebričkih (7, 18, 23, 24).

V naši raziskavi sta vratni N11 in ledveno-križnični N14 najbolj stabilna elementa internevronskega SIPH. Prisotna sta bila na vseh odzivih. Pokazala sta se kot jasen negativen val kratkega trajanja, ki tudi pri subpialni registraciji ni kazal večje razčlenjenosti. V segmentih aferentnega dotoka smo ju našli na ascendentnemu kraku vratnega N13 oz. ledveno-križničnega N17. V bolj oddaljenih segmentih pa sta izstopala iz kompleksa N11/N13 oz. N14/N17 kot samostojen negativni val pred vratnim N13 oz. ledveno-križničnim N17.

Oblika in trajanje valov N11 in N14 se razlikujeta od oblike in trajanja valov skupine PVP prevodnega SIPH, ki jih pripisujemo zadajšnjim stebričkom. Trajanje valov N11 in N14 je krajše. Prav tako valova nimata za skupino PVP značilne polifaznosti. Val N11 je tudi pri bolnikih z znaki hude okvare zadajšnjih stebričkov ohranjen in jasno izražen. Iz tega domnevamo, da vala N11 in N14 ne odražata aktivnosti zadajšnjih stebričkov. Vala N11 in N14 sta najverjetneje odraz potenciala, ki ima svoj izvor v predelu vstopa zadajšnjih korenin in sicer v proksimalnem delu zadajšnjih korenin ter v Lissaurjevem snopiču. To domnevo potrjuje tudi zmanjšanje amplitude vala N11 po zvezni koagulaciji v predelu vstopa zadajšnjih korenin v hrbtenjačo (24).

Izvor vratnega N13 in ledveno-križničnega N17 je internevrnski sistem zadajšnjega roga hrbtenjače (18, 19).

Pri internevrnskih SIPH najpogosteje opazamo spremembe valov N13 in N17. Amplituda odzivov je bila pri ekstramedularnih tumorjih manjša na strani tumorja. Po njegovi odstranitvi se je po draženju z obeh strani zvečala. Manjša amplituda na strani ekstramedularnega tumorja je odraz hujše okvare hrbtenjačne sivine zaradi pritiska tumorja na tej strani, v primerjavi z drugo stranjo. Zvečanje amplitude po odstranitvi tumorja kaže na to, da sivina ni bila nepopravljivo okvarjena. To dokazuje tudi popolno izboljšanje pred operacijo motenih občutkov za temperaturo in bolečino.

Val N13 je bil pri večih primerih delno ali popolnoma odsoten. Amplituda odzivov s popolnoma odsotnim valom N13 je bila zelo majhna. Za valom N11 se je pokazala skupina visokofrekvenčnih valov. Izginotje vala N13 si številni avtorji razlagajo kot posledico okvare hrbtenjačne sivine (13, 32–39). To domnevo potrjujejo tudi naši primeri delnega ali popolnega izginotja vala N13. Klinično s tem sovpadajo motnje občutkov za bolečino in temperaturo.

Viskofrekvenčni valovi so skupina valov, ki kaže podobne značilnosti kot skupini valov PVP in PNP prevodnega SIPH: podobno amplitudo, izrazito polifaznost in visokofrekvenčnost. Opazili smo jih pri popolni ali delni odsotnosti vala N13 in na internevrnskih odzivih, registriranih nad segmenti aferentnega dotoka. Pojavili so se na mestu, kjer normalno najdemo val N13. Rostralneje so bili jasneje izraženi. Število visokofrekvenčnih valov se je zmanjšalo, če se je amplituda internevrnskega SIPH zvečala. Allison in Hume (27) v svoji primerjalni raziskavi somatosenzoričnih izvabljenih potencialov vratne hrbtenjače živali in človeka dodatne hitre zobce na počasnem negativnem valu pripisujeta zadajšnjemu rogu hrbtenjačne sivine in kuneatnemu jedru. Berić in sodelavci (48) so na epiduralnih posnetkih opisali tri do pet hitrih valov, nanesenih na počasen val vratnih internevrnskih SIPH. Pripisali so jih dolgim aferentnim progam in jih primerjali s tremi valovi prevodnega SIPH, ki so jih opisali Jones in sodelavci (5). Prestor (13) je pri bolnikih s siringomielijsko opisal skupino kratkih, nizkoamplitudnih valov, ki so se pokazali v predelu vala N13, ki je bil pri teh bolnikih odsoten. Ti valovi so imeli podobno trajanje kot kompleksi N11/N13. Pojav visokofrekvenčnih nizkoamplitudnih valov pri bolnikih s siringomielijsko si je razložil kot demaskiranje valov, ki so jih opisali že Berić in sodelavci (48), zaradi odsotnosti vala N13.

Visokofrekvenčni valovi, ki smo jih registrirali pri naši raziskavi, so po našem mnenju najverjetneje istega izvora kot valovi, ki jih opisujejo zgoraj omenjeni avtorji. Glede na visokofrekvenčnost in izrazito polifaznost menimo, da odražajo električno aktivnost dolgih prog somatosenzoričnega sistema hrbtenjače, najverjetneje zadajšnjih stebričkov.

Sklep

Veliko pozornosti se pri nevromonitoringu posveča spremembi amplitude in ostalih elektrofizioloških parametrov SIPH. Pokazalo se je, da so spremembe elektrofizioloških elementov SIPH jasneje povezane s kooperativnimi nevrološkimi izpadi (15, 17). Do enakih ugotovitev so pripeljali tudi rezultati naše naloge. Elektrofiziološke parametre je bilo v več primerih nemogoče smiselno povezati s pred- in kooperativnimi nevrološkimi izpadi ali pa so bili celo v navzkrižju s kliničnimi znaki okvare, še posebej v primerih intramedularnih tumorjev. Elektrofiziološki parametri so veliko bolj občutljivi na minimalne spremembe pogojev registracije, ki v intraoperativnih okoliščinah prav gotovo niso vedno optimalni, kot elektrofiziološki elementi. Kljub temu da elektrofiziološki parametri dajejo koristno splošno oceno o funkcionalnem stanju hrbtenjače, pa nimajo lokalizacijskega pomena. Večino elementov internevrnskih in prevodnih SIPH je že mogoče smiselno povezati z anatomskimi strukturami v hrbtenjači, kar smo poskusili pokazati v tabeli 1. S tem je omogočena tudi anatomska lokalizacija okvare. Ravno podatek o lokalizaciji lezije pa je nevrokirurgu v veliko pomoč.

Tabela 1. Povezava sprememb elektrofizioloških elementov SIPH z anatomsko lokalizacijo okvare hrbtenjače. DREZ – področje vstopa zadajšnjih korenin v hrbtenjačo (dorsal root entry zone), N – začetni negativni valovi, PVP – prevodni visoki potenciali, PNP – prevodni nizki potenciali.

Elektrofiziološki element	Sprememba elementa	Anatomska lokalizacija okvare
N	Odsotnost	Okvara lateralnega dela hrbtenjače
PVP	Slabša oblikovanost	Lažja okvara zadajšnjih stebričkov
PVP	Odsotnost	Huda okvara zadajšnjih stebričkov
PNP	Odsotnost	Odsoten PVP: okvara zadajšnjih stebričkov Prisoten PVP: okvara spinotalamične proge?
P9 oz. P10	Globok val	Centralna okvara, okvara DREZ
N11 oz. N14	Odsotnost	Okvara DREZ
N13 oz. N17	Odsotnost	Okvara hrbtenjačne sivine

V prihodnje bo treba še več pozornosti posvetiti ravno elementom SIPH. Poiskati bo treba dodatne klinične dokaze o izvoru posameznih komponent prevodnega in internevrnskega SIPH in jih podkrepiti z eksperimentalnimi raziskavami. Razjasniti bo treba prispevek dolgih prog v somatosenzoričnih izvabljenih potencialih vratne in ledveno-križnične zadebelitve hrbtenjače po draženju medianega in tibialnega živca. Rezultati naše na-

loge kažejo, da se aktivnost dolgih prog pri teh primerih najverjetneje kaže v obliki visokofrekvenčnih valov.

Nova spoznanja o elektrofiziologiji somatosenzoričnega sistema hrbtenjače bi omogočila sprotno in zanesljivo informacijo o funkcionalnem stanju somatosenzoričnega sistema hrbtenjače. Natančnost in varnost nevrokirurških posegov na hrbtenjači bi se s tem še dodatno zvečali.

Zahvala

Iskreno se zahvaljujema najinemu mentorju doc. dr. Borutu P. Prestorju, dr. med. za uvažanje v raziskovalno delo, vsestransko pomoč in razumevanje.

Mihaeli, Špeli in Lili se zahvaljujema za lektoriranje naloge.

Meti in Borutu, hvala za vse, kar sta storila, da je bila naloga pripravljena pravočasno.

Literatura

1. Croft TJ, Brodkey JS, Nulsen FE. Reversible spinal cord trauma. A model for electrical monitoring of spinal cord monitoring. *J Neurosurg* 1972; 36: 402–6.
2. Nash CL, Lorig RA, Schatzinger LA, Brown RH. Spinal cord monitoring during operative treatment of the spine. *Int Orthop* 1977; 126: 100–5.
3. Tsuyama N, Tsuzuki N, Kurosawa T, Imai T. Clinical application of spinal cord action potential measurement. *Int Orthop* 1978; 2: 39–46.
4. Tamaki T, Tsuji H, Inoue S. Prevention of iatrogenic spinal cord injury utilizing the evoked spinal cord potential. *Int Orthop* 1981; 4: 313–7.
5. Jones SJ, Edgar MA, Ransford AO. Sensory nerve conduction in the human spinal cord: Epidural recordings made during scoliosis surgery. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1982; 45: 446–51.
6. Møller AR. *Evoked Potentials in Intraoperative Monitoring*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1988: 11–23.
7. Desmedt JE. Somatosensory evoked potentials in neuromonitoring. In: Desmedt JE, ed. *Neuromonitoring in Surgery*. Amsterdam: Elsevier, 1989: 1–21.
8. Nash CL, Brown RH. Current concepts review spinal cord monitoring. *J Bone Joint Surg Am* 1989; 71: 627–30.
9. Prestor B. *Mikronevrokirurško zdravljenje bolečin pri izpuljenju korenin ramenskega pleteža in intraoperativno spremljanje funkcije hrbtenjače*. Magistrsko delo. Ljubljana: Medicinska fakulteta Univerze v Ljubljani, 1988: 1–86.
10. Prestor B, Dolenc VV. Intraoperativni monitoring delovanja hrbtenjače. In: Kornhauser P, ed. *Zbornik predavanj 25. podiplomskega tečaja kirurgije*. Ljubljana: Kirurška služba, Univerzitetni klinični center, 1989: 303–8.
11. Prestor B, Žgur T, Dolenc VV. Intraoperativno spremljanje delovanja senzoričnih sistemov hrbtenjače. *Zdrav Vestn* 1990; 59: 209–12.
12. Prestor B, Žgur T, Dolenc VV. Subpially recorded spinal cord evoked potentials during dorsal root entry zone coagulation in cervical and thoracic region. In: Prevec TS, Zidar J, eds. *Neurologija Supl I 1990*; 39: 107–12.
13. Prestor B. *Intraoperativno elektrofiziološko spremljanje senzoričnih in motoričnih sistemov hrbtenjače*. Disertacija. Ljubljana: Medicinska fakulteta Univerze v Ljubljani, 1991: 1–126.
14. Ertekin C. Studies on the human evoked electrospinogram. *Acta Neurol Scand* 1976; 53: 3–57.
15. Whittle IR, Johnston IH, Besser M. Recording of spinal somatosensory evoked potentials for intraoperative spinal cord monitoring. *J Neurosurg* 1986; 64: 601–12.

16. Halonen JP, Jones SJ, Edgar MA, Ransford AO. Conduction properties of epidurally recorded spinal cord potentials following lower limb stimulation in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1989; 74: 161–74.
17. Prestor B, Žgur T, Dolenc VV. Subpial spinal evoked potentials in patients undergoing junctional dorsal root entry zone coagulation for pain relief. *Acta Neurochir* 1989; 101: 59–62.
18. Desmedt JE, Cheron G. Prevertebral (oesophageal) recording of subcortical somatosensory evoked potentials in man: The spinal P13 component and the dual nature of the spinal generators. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1981; 52: 257–75.
19. Jeanmonod D, Sindou M, Mauguière F. Three transverse dipolar generators in the human cervical and lumbo-sacral dorsal horn: evidence from direct intraoperative recordings on the spinal cord surface. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1989; 74: 236–40.
20. Chiappa KH. *Evoked Potentials in Clinical Medicine*. New York: Raven, 1989: 314–17.
21. Desmedt JE; Cheron G. Spinal and far-field components of human somatosensory evoked potentials to posterior tibial nerve stimulation analysed with oesophageal derivations and noncephalic reference recording. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1983; 56: 635–51.
22. Yamada T, Kimura J, Wilkinson T, Kayamori R. Short- and long-latency median somatosensory evoked potentials: Findings in patients with localized neurological lesions. *Arch Neurol* 1983; 40: 215–20.
23. Lesser RP, Lueders H, Hahn J, Klem G. Early somatosensory potentials evoked by median nerve stimulation: Intraoperative monitoring. *Neurology* 1981; 31: 1519–23.
24. Jeanmonod D, Sindou M. Somatosensory function following dorsal root entry zone lesions in patients with neurogenic pain or spasticity. *J Neurosurg* 1991; 74: 916–32.
25. Austin GM, Mc Couch GP. Presynaptic component of intermediary cord potential. *J Neurophysiol* 1955; 18: 441–51.
26. Kaji R, Sumner AJ. Vector short-latency somatosensory-evoked potentials after median nerve stimulation. *Muscle Nerve* 1990; 13: 1172–82.
27. Allison T, Hume AL. A comparative analysis of short-latency somatosensory evoked potentials in man, monkey, cat and rat. *Exp Neurol* 1981; 72: 592–661.
28. Sonoo M, Shimpo T, Genba K, Kunimoto M, Mannen T. Posterior cervical N13 in median nerve SEP has two components. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1990; 77: 28–38.
29. Macon JB, Poletti CE, Sweet WH, Ojemann RG, Zervas NT. Conducted somatosensory evoked potentials during spinal surgery. Clinical applications. *J Neurosurg* 1982; 57: 354–9.
30. Jones SJ, Edgar MA, Ransford AO, Thomas NP. A system for the electrophysiological monitoring of the spinal cord during operations for scoliosis. *J Bone Joint Surg Br* 1983; 65: 134–9.
31. Jones SJ, Edgar MA, Ransford AO. Epidural recording of spinal SEPs following posterior tibial nerve stimulation in man: Conduction properties of the normal human spinal cord and changes occurring during scoliosis correction. In: Homma S, Tamaki T, Shimoji K, Kurokawa T, eds. *Fundamentals and Clinical Application of Spinal Cord Monitoring*. Tokyo: Saikon, 1984: 223–36.
32. Emerson RG, Pedley TA. Effect of cervical spinal cord lesions on early components of the median nerve somatosensory evoked potentials. *Neurology* 1986; 36: 20–6.
33. Urasaki E, Wada S, Kadoya C, Matsuzaki H, Yokota A, Matsuoka S. Absence of spinal N13-P13 and normal scalp far-field P14 in a patient with syringomyelia. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1988; 71: 400–4.
34. Urasaki E, Wada S, Kadoya C, Tokimura T, Yokota A, Matsuoka S, Fukumura A, Hamada S. Skin and epidural recording of spinal somatosensory evoked potentials following median nerve stimulation: Correlation between absence of spinal N13 and impaired pain sense. *J Neurol* 1990; 237: 410–5.
35. Restuccia D, Mauguière F. The contribution of medial nerve SEPs in the functional assesement of the cervical spinal cord in syringomyelia. *Brain* 1991; 114: 361–79.
36. Cioni B, Meglio M, Moles A, Tirendi M, Visocchi M. Spinal somatosensory evoked potentials monitoring during microsurgery for syringomyelia. *Stereotact Funct Neurosurg* 1991; 57: 123–9.
37. Prestor B, Žgur T, Dolenc VV. Subpially recorded cervical spinal cord evoked potentials in syringomyelia. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1991; 80: 155–8.

38. Restuccia D, Di Lazzaro V, Valeriani M, Tonali P, Manguičre F. Segmental dysfunction of the cervical cord revealed by abnormalities of the spinal N13 potential in cervical spondylotic myelopathy. *Neurology* 1992; 42: 1054–63.
39. Morioka T, Katsuta T, Fujji K, Kato M, Fukui M. Discrepancy between SEPs directly recorded from the dorsal column nuclei following upper and lower limb stimulation in patients with syringomyelia. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1993; 88: 453–8.
40. Siivola J, Sulg I, Heiskari M. Somatosensory evoked potentials in diagnostics of cervical spondylosis and herniated disc. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1981; 52: 276–82.
41. Ohmi Y, Tohno S, Harata S, Nakano K. Spinal cord monitoring using evoked potentials recorded from epidural space. In: Homma S, Tamaki T, Shimoji K, Kurokawa T, eds. *Fundamentals and Clinical Application of Spinal Cord Monitoring*. Tokyo: Saikon, 1984: 203–10.
42. Shimada N, Matsuda H, Hirose T, Kondo M, Hashimoto T, Nakajima K, Abe J, Shimazu A. Intraoperative evoked spinal cord potential for diagnosing the level of cervical myelopathy: Recording through the disc space and yellow ligament. In: Homma S, Tamaki T, Shimoji K, Kurosawa T, eds. *Fundamentals and Clinical Application of Spinal Cord Monitoring*. Tokyo: Saikon, 1984: 287–96.
43. Satomi K, Nishimoto GI. Comparison of evoked spinal potentials by stimulation of sciatic nerve and the spinal cord. *Spine* 1985; 10: 884–90.
44. Shinomiya KI, Furuya K, Yamaura I, Sato H, Keneda A, Yokoyama M. Clinical study of cervical spondylotic myelopathy using evoked spinal cord potentials. In: Schramm J, Jones SJ, eds. *Spinal Cord Monitoring*. New York: Springer, 1985: 290–301.
45. Schramm J, Krause R, Shegeno T, Brock M. Relevance of spinal cord evoked injury potential for spinal cord monitoring. In: Homma S, Tamaki T, Shimoji K, Kurosawa T, eds. *Fundamentals and Clinical Application of Spinal Cord Monitoring*. Tokyo: Saikon, 1984: 113–24.
46. Ryan TP, Britt RH. Spinal and cortical somatosensory evoked potential monitoring during corrective spinal surgery with 108 patients. *Spine* 1986; 11: 352–61.
47. Nashold BS Jr, Ovelmen-Levitt J, Sharpe R, Higgins A. Intraoperative evoked potentials recorded in man directly from dorsal roots and spinal cord. *J Neurosurg* 1985; 62: 680–93.
48. Berić A, Dimitrijević MR, Prevec TS, Sherwood AM. Epidurally recorded cervical somatosensory evoked potentials in humans. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1986; 65: 94–101.