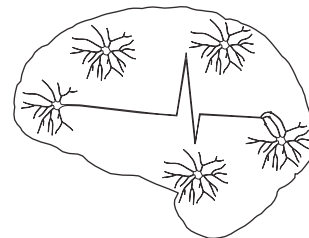


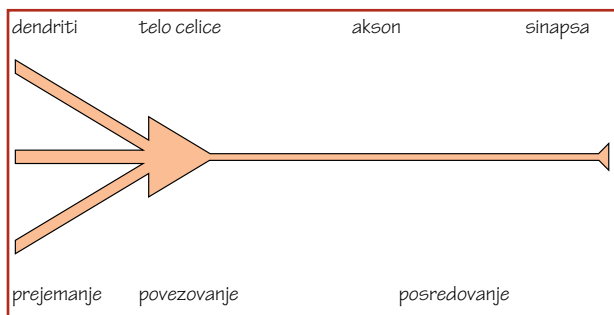
# Nevroni in akcijski potencial



Ne glede na to, ali so nevroni senzorični ali motorični, ali so veliki ali majhni, imajo skupno značilnost, da je njihova aktivnost tako električna kot kemična. Nevroni sodelujejo in tekmujejo drug z drugim pri nadzoru celostnega stanja živčnega sistema, podobno kot sodelujejo in tekmujejo posamezniki v družbi pri procesih odločanja. Kemični signali, ki jih dendriti prejmejo od aksonov, ki so z njimi v stiku, se pretvorijo v električne signale, ki se prištejejo ali odštejejo od električnih signalov z vseh ostalih sinaps, tako se odloči, ali se bo signal prenesel naprej, ali ne. Če je končna odločitev, da se signal prenese naprej, električni potencial potuje po aksonu do sinaps, kjer se pretvori v kemični signal, ki gre naprej do dendritov naslednjih nevronov in proces se ponovi.

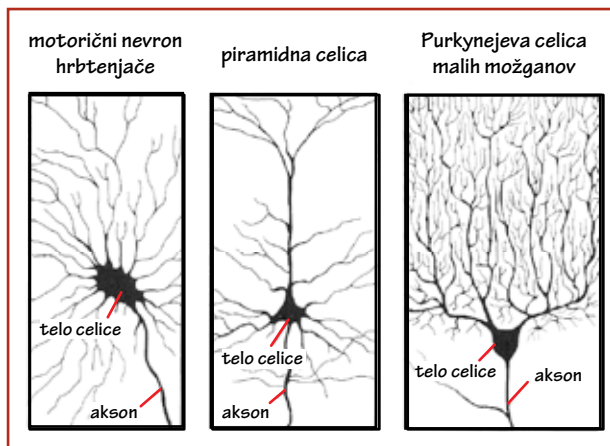
## Dinamičen nevron

Kot je bilo opisano v prejšnjem poglavju, je nevron sestavljen iz **dendritov**, **telesu**, **aksona** in **sinaptičnih končičev**. Ta struktura odseva funkcionalno razdelitev nevrona v sprejemni, povezovalni in posredovalni predelek. Grobo rečeno, dendrit sprejema informacijo, telo jo poveže z informacijo iz drugih dendritov, akson pa jo posreduje naprej – ta način organizacije imenujemo **polarizacija**, ker informacija potuje samo v eno smer.



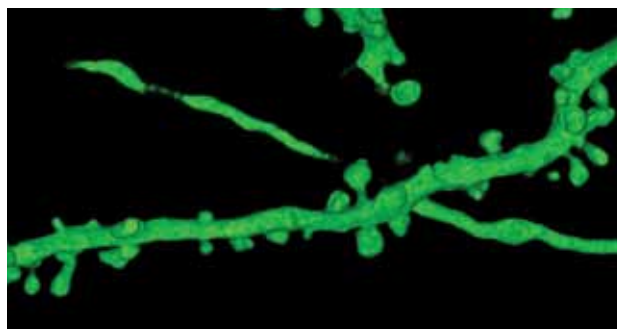
Shematski prikaz zgradbe in delovanja nevrona.

Kot vsaka struktura, mora nevron nekako držati skupaj. Zunanje **membrane** nevrona, sestavljene iz lipidnih snovi, so napete okoli **citosteleta**, ki je zgrajen iz paličic, tubularnih in vlaknastih (filamentoznih) beljakovin, ki se iztezajo v dendrite in akson. Struktura je podobna šotorskemu platnu, ki je napeto okrog cevastega ogrodja šotorja. Različni deli nevrona so v neprestanem gibanju, v procesu reorganizacije, ki odseva lastno aktivnost nevrona in aktivnosti njegovih sosedov. Dendriti spreminjajo obliko, brstijo v nove povezave in se umikajo iz starih, iz aksonov rastejo novi končiči, ko se nevroni borijo, da bi govorili glasneje, ali malo nežneje z drugimi nevroni.



Trije različni tipi nevronov

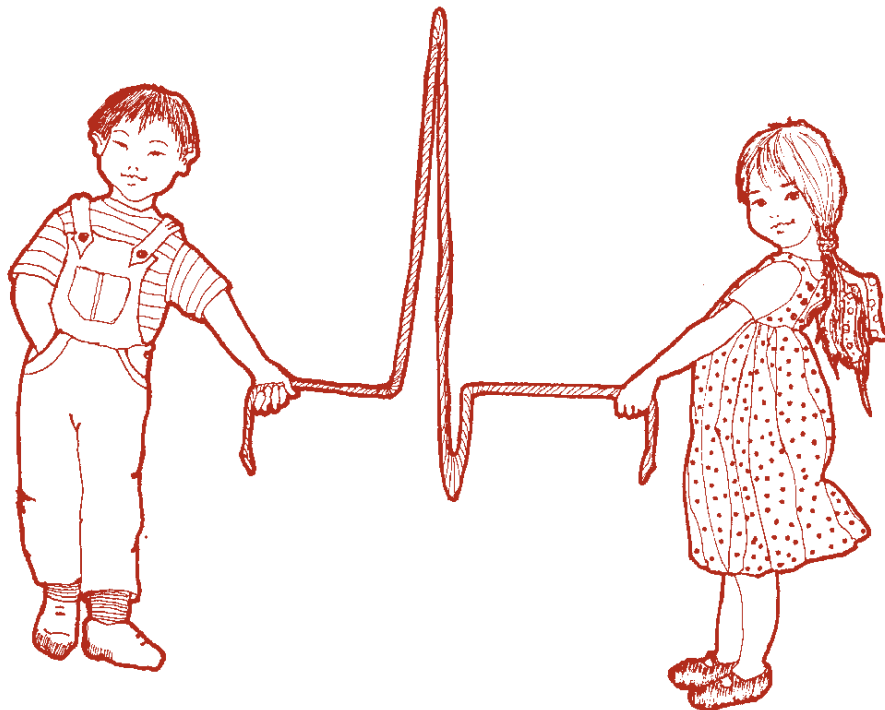
V nevronu je mnogo notranjih **predelkov**. Te sestavljajo beljakovine, ki so večinoma narejene v telesu nevrona in se do predelkov prenesejo po citoskeletu. Iz dendritov se iztezajo drobni izrastki, imenovani **dendritski trni**. Ti se pojavijo, kjer prihajajoči aksoni tvorijo največ povezav. Beljakovine, ki potujejo do trnov, so pomembne za izgradnjo in vzdrževanje povezav. Te beljakovine neprestano krožijo – ko stare opravijo svojo nalogo, jih zamenjajo nove. Vsa ta aktivnost potrebuje energijo, zato so v celici tovarne energije (mitohondriji), ki omogočajo, da vse deluje. Končiči aksonov se odzivajo tudi na molekule, ki jih imenujemo **rastni faktorji**. Akson te rastne faktorje spusti v celico, nato se prenesejo do telesu celice, kjer vplivajo na izražanje genov in preko njih na izdelavo novih proteinov. To omogoča, da nevron izgradi daljše dendrite ali naredi druge dinamične spremembe svoje oblike ali funkcije. Informacija, hranila in obveščevalci ves čas potujejo v telo celice in iz njega.



Dendritski trni so drobni zeleni izrastki, ki štrlijo iz zelenih dendritov nevrona. To so mesta, kjer se nahajajo sinapse.

## Prejemanje in odločanje

Na sprejemni strani celice so dendriti tesno povezani s prihajajočimi aksoni sosednjih celic, od njih se ločujejo z miniaturno špranjo, široko kakšnih 20 milijardink metra. Z dendritom je lahko povezan en, nekaj ali celo na tisoče drugih nevronov. Točke povezave imenujemo **sinapse**. Beseda izvira iz antične grščine in pomeni speti skupaj. Večina sinaps s celic možganske skorje se nahaja na trnih dendritov, ki štrlijo



z dendritov kot kakšni mikrofoni v iskanju šibkega signala. Komunikaciji med živčnimi celicami na teh kontaktnih točkah pravimo **sinaptični prenos** in vključuje kemični proces, ki bo opisan v naslednjem poglavju. Ko do dendrita pride eden od kemičnih obveščevalcev, ki je bil izstreljen skozi špranjo, ki ločuje dendrit od aksona, se v dendritskem trnu sproži miniaturen električni tok. Ponavadi gre za tokove, ki prihajajo v celico, imenovane **ekscitacija**, lahko pa gre tudi za tokove iz celice, imenovane **inhibicija**. Vsi ti pozitivni in negativni valovi toka se zberejo v dendritih in razširijo do telesa celice. Če se ne seštejejo do velike aktivnosti, kmalu zamrejo in se nič ne zgodi. Če pa se tokovi seštejejo do vrednosti, ki presega prag, nevron pošlje sporočilo ostalim nevronom.

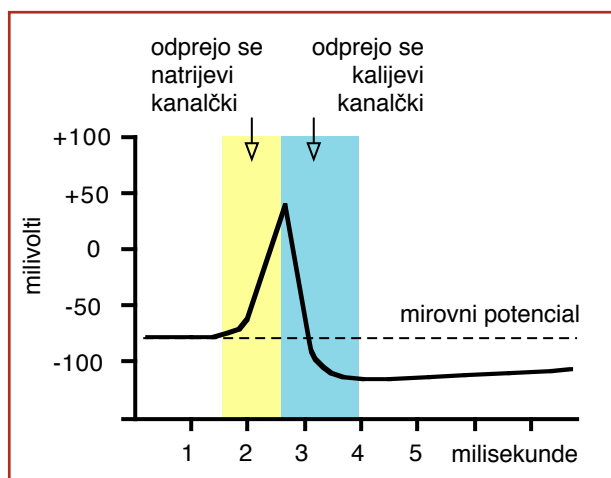
Nevron je torej neke vrste miniaturno računalno: neprestano sešteva in odšteva. To, kar prišteva in odšteva, so sporočila, ki jih prejema od drugih nevronov. Nekateri sinapse povzročijo ekscitacijo, druge inhibicijo. Kako ti signali vplivajo na občutja, misli in gibanje, je odvisno od omrežja, v katerega so nevroni vpleteni.

## Akcijski potencial

Da se omogoči prenašanje sporočila od nevrona do nevrona, mora signal najprej potovati po aksonu. Kako nevroni to naredijo?

Odgovor se skriva v uporabi energije, ki je skrita v fizikalnih in kemičnih gradientih preko membrane nevronov, in v združitvi te energije na ustrezen način. Aksoni nevronov prenašajo

električne pulze, imenovane **akcijski potenciali**. Ti potujejo vzdolž živčnih vlaken kot val, ki potuje po napeti vrvi, ki jo zazibamo na eni strani. To je tako, ker vsebuje membrana **ionske kanalčke**, ki se odpirajo in zapirajo in na ta način nadzirajo pretok električno nabitih ionov. Nekateri kanalčki prepuščajo natrijeve ione ( $\text{Na}^+$ ), drugi kalijeve ( $\text{K}^+$ ). Ko so kanalčki odprti,  $\text{Na}^+$ - ali  $\text{K}^+$ -ioni stečejo v nasprotno smer od kemičnega in električnega gradienta (od tam, kjer jih je več,



Akcijski potencial

tja, kjer jih je manj), v in iz celice, kot odgovor na **električno depolarizacijo** membrane.

Ko se akcijski potencial v telesu celice začne, se najprej odprejo  $\text{Na}^+$ -kanalčki. Pulz natrijevih ionov vdre v celico in že v milisekundah se ustvari nov gradient. V trenutku se napetost preko membrane spremeni za okrog 100 mV. Preskoči iz negativne napetosti znotraj membrane (okrog -70 mV) na pozitivno (okrog +30 mV). Ta sprememba napetosti odpre  $\text{K}^+$ -kanalčke, kar sproži pulz  $\text{K}^+$ -ionov iz celice, ki je skoraj tako hiter, kot je bil prej vdor  $\text{Na}^+$ -ionov v celico. To povzroči, da se membranski potencial ponovno obrne in vrne na svojo prvotno negativno vrednost v notranjosti celice. Akcijski potencial se odvije v krajšem času, kot če bi s stikalom prižgali in takoj ugasnili luč. Da se akcijski potencial zgodi, prečka membrano zelo malo ionov in koncentraciji  $\text{Na}^+$  in  $\text{K}^+$  v citoplazmi se pri tem ne spremenita močno. Vseeno pa vzdržujejo ravnotežni koncentraciji teh ionov **ionske črpalke**, ki iz celice prenašajo odvečne natrijeve ione. To se odvija podobno, kot lahko rešujemo majhno puščanje vode v jadrnico z odstranjevanjem vode s kanglico, ne da bi se pri tem porušilo ravnotežje, in jadrnica nemoteno pluje.

Akcijski potencial je kompleksen električni dogodek. Živčna vlakna delujejo kot električni prevodniki (čeprav so mnogo manj učinkoviti od izoliranih električnih žic). Tako akcijski potencial, ki se zgodi na enem mestu, sproži nov gradient napetosti med aktivno in mirujočo membrano v neposredni bližini. Na ta način se akcijski potencial aktivno širi in val depolarizacije se premika z enega konca živčnega vlakna na drugi konec.

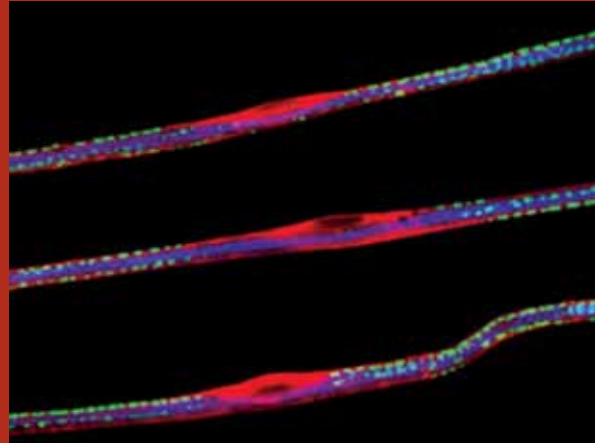
Prevajanje akcijskega potenciala si lahko predstavljamo podobno kot potovanje iskre po zažigalni vrvi. Prižig vrvice na eni strani sproži hitro lokalno iskrenje (enakovredno ionom, ki potujejo v akson in iz njega na mestu akcijskega potenciala), toda celotno potovanje vala iskrice po zažigalni vrvi je mnogo počasnejše. Čudovita značilnost živčnih vlaken je, da po zelo kratkem obdobju tišine (**refraktarni periodi**) ugasnjena membrana obnovi svojo eksplozivno sposobnost, kar pripravi membrano aksona na nov akcijski potencial.

Večina opisanega je znana že več kot 50 let, zahvaljujoč čudovitim eksperimentom, narejenim na zelo velikih nevronih in njihovih aksonih, ki obstajajo v nekaterih morskih bitjih. Zaradi izredne velikosti teh nevronov, so znanstveniki lahko vanje vsadili drobne elektrode in izmerili spreminjajoči se električni potencial. Danes se za tovrstne meritve uporablja sodobna tehnika merjenja električne energije, imenovana **metoda vpete krpice**. Ta nevroznanstvenikom omogoča raziskovanje gibanja ionov skozi posamezne ionske kanalčke v vseh vrstah nevronov. Tako dobimo zelo natančne meritve tokov v možganih, zelo podobnih našim.

## Izolacija aksonov

V mnogih aksonih potujejo akcijski potenciali razmeroma dobro, toda ne zelo hitro. V drugih akcijski potencial prepotuje akson, kot bi trenil. To se zgodi, ker so dolgi odseki aksona oviti z maščobno, izolirno odejo, imenovano **mielinska ovojnica**, narejeno iz ovoja raztegnjenih membran glije.

## Raziskovalna obzorja



Zgornja živčna vlakna (aksoni so vijoličasti) so ovita v Schwannove celice (vrsta glije; rdeče), ki izolirajo električno prevajanje nevrona od njegove okolice. Barve so fluorescentne kemikalije, ki kažejo novo odkrite komplekse beljakovin. Dedna bolezen, ki vodi v izgubljanje mišic, povzroči porušitev teh beljakovinskih kompleksov.

Nove raziskave nam razkrivajo beljakovine, ki sestavljajo mielinsko ovojnico. Ta odeja onemogoča, da bi ionski tokovi puščali na napačnem mestu, toda na določenih intervalih celice glije pustijo špranjo. V tej špranji v mielinski ovojnici akson nakopiči svoje  $\text{Na}^+$ - in  $\text{K}^+$ -kanalčke. Ti snopi ionskih kanalčkov delujejo kot ojačevalci, ki spodbujajo in ohranjajo akcijski potencial, ko dobesedno skače vzdolž živca. To je lahko zelo hitro. V mieliniziranih nevronih lahko akcijski potencial dejansko drvi s hitrostjo 100 metrov na sekundo!

Akcijski potenciali imajo značilnost, da gre pri njih za **vse ali nič**: ne razlikujejo se v velikosti, temveč v pogostosti pojavljanja. Tako je edini način za kodiranje moči ali trajanja dražljaja v posamezni celici spreminjanje frekvence akcijskih potencialov. Najučinkovitejši nevroni lahko prevajajo akcijske potenciale s frekvencami do 1000-krat na sekundo.

Alan Hodgkin in Andrew Huxley sta dobila Nobelovo nagrado za odkritje mehanizma prenosa živčnega impulza. V raziskavah v Plymouthskem morskobioškem laboratoriju (Plymouth Marine Biology Laboratory) sta uporabila velikanski akson iz orjaškega lignja.

