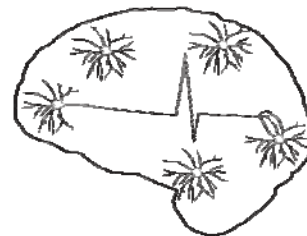


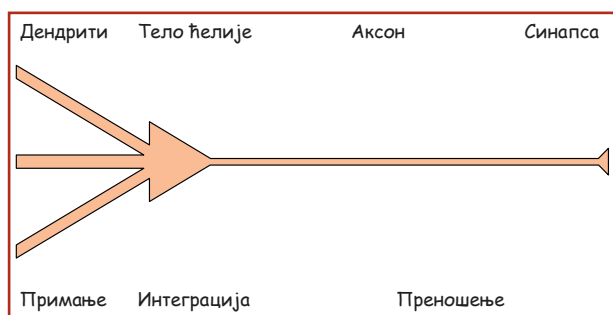
# Неурони и акциони потенцијал



Било да су неурони сензорни или моторни, велики или мали, свима је заједничко то да им је активности и електрична и хемијска. Неурони сарађују, али се и такмиче међу собом при регулисању општег стања нервног система, на исти начин као што појединци у друштву сарађују и такмиче се у процесу доношења одлука. Хемијски сигнали, примљени у дендритима са аксона који се са њима спајају, се преводe у електричне сигнале. Они се сабирају или одузимају са сигнаlima из осталих синапси, доносећи на тај начин одлуку да се сигнал даље пренесе. Електрични потенцијали потом путују низ аксоне до синапси на дендритима следећег неурона, па се процес понавља.

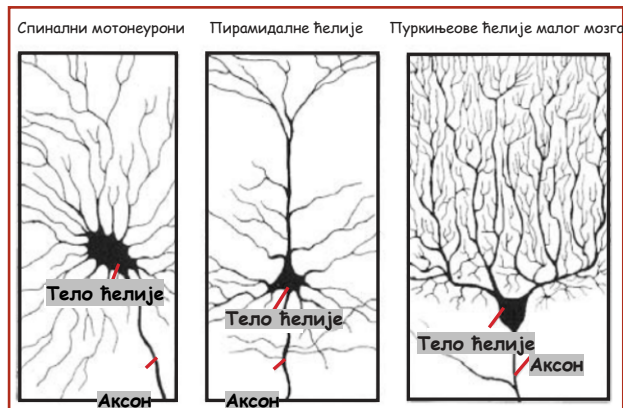
## Динамични неурон

Као што смо описали у претходном поглављу, неурон се састоји од дендрита, тела ћелије, аксона и синаптичких завршетака. Оваква структура представља одраз његове функционалне поделе на одељке који примају, интегришу и преносе информације. Грубо говорећи, дендрит прима, тело интегрише, а аксон преноси - концепт се зове поларизација пошто информације које они обрађују наводно иду само у једном смеру.

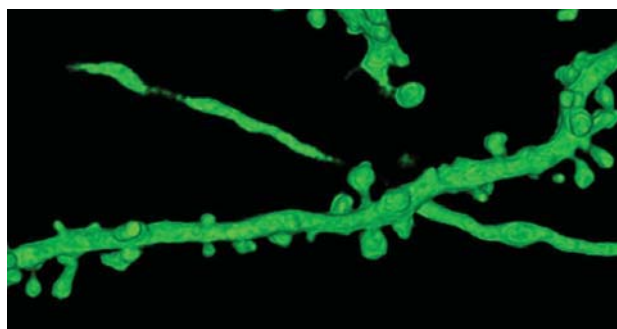


### Основни делови неурона

Као свака структура и ова мора да се држи на окупу. Спољашња мембрана неурона, сачињена од масних супстанци, се омотава око цитоскелета кога чине штапићи цевастих и влакнастих протеина који се пружају и у дендрите и у аксоне. Структура помало личи на сликарско платно развучено преко цевастог скелета рама. Различити делови неурона су у сталном покрету, у процесу преуређивања који је одраз сопствене активности неурона и активности његових суседа. Дендрити мењају облик, ничу им нови спојеве док се други повлаче, а аксонима израстају нови завршеци док се неурон бори да осталим неуронима говори гласније или тише.



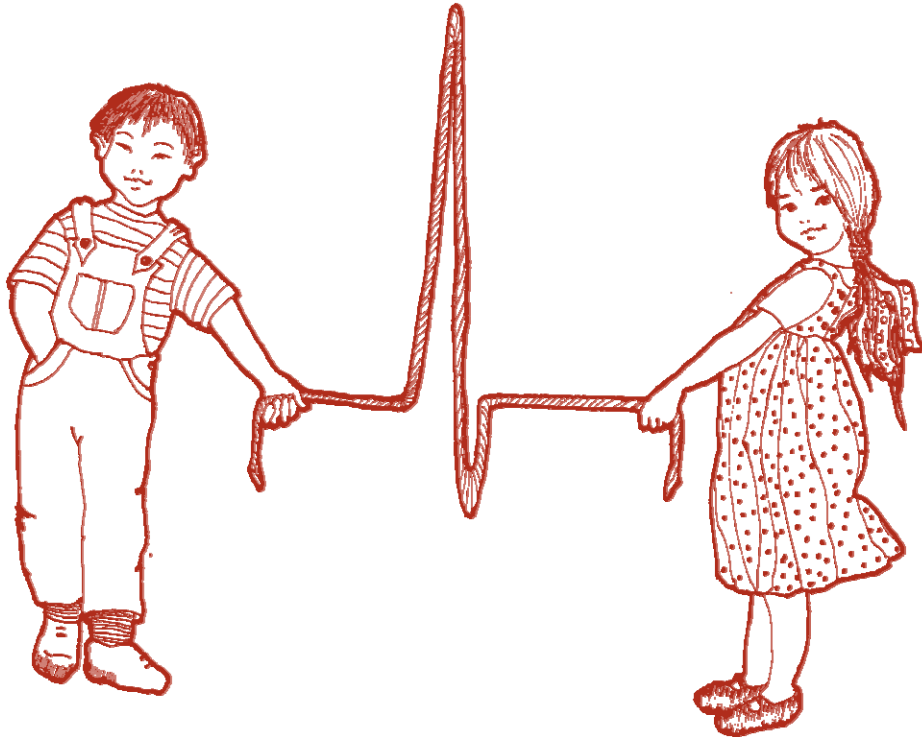
Унутар неурона има много одељака. Њих чине протеини, већином произведени у ћелијском телу, који су транспортовани дуж цитоскелета. Мала испупчења која се пружају из дендрита се зову дендритске спине. Оне су творевине са којима долазећи аксони праве већину својих спојева. Протеини транспортовани до спина су важни за стварање и одржавање способности неурона да прави спојеве. Ови протеини се стално стварају и разграђују, тј. замењују их нови када стари одраде свој посао. За сву ову активност је потребно гориво, а томе служе фабрике енергије (митохондрије) које све држе у покрету. Завршни делови аксона реагују на молекуле зване фактори раста. Они се преузимају споља и преносе до тела ћелије где утичу на експресију гена и тиме на стварање нових протеина. Ово омогућава неурону да створи дуже дендрите или да врши друге промене њихових облика или функције. Информације, нутријенти и гласници све време теку ка телу ћелије и из њега.



Дендритске спине су мала зелена испупчења на зеленим дендритима неурона. То су места на којима су лоциране синапсе.

## Тријем и одлучивање

На региструјућој страни ћелије, дендрити имају блиске контакте са долазећим аксонима осталих ћелија, а од свакога су одвојени уском пукотином ширине око 20 милијардитих делова метра. Дендрит може да прави контакте са једним, неколико или чак хиљадама других неурона. Ова места споја се зову **синапсе**, по старогрчкој речи која значи "спојити". Већина синапси на ћелијама церебралног кортекса



су смештене на дендритским спинама које су испружене као мали микрофони који траже слаб сигнал. Комуникација између нервних ћелија на овим местима се зове **синаптичка трансмисија** (пренос) и обухвата хемијски процес који ћемо описати у следећем поглављу. Када дендрит региструје хемијске гласнике који су били послати преко пукотине јаза који га раздваја од одашиљућег аксона, у тој дендритској спини се стварају слабе електричне струје. Ово су обично струје које теку у ћелију, чиме настаје **ексцитација**, или из ње, када настаје **инхибиција**. Сви ови позитивни и негативни струјни таласи се накупљају у дендритима и шире наниже ка телу ћелије. Ако је њихова збирна активност мала, струје убрзо одумиру и ништа се више не догађа. Међутим, ако њихова збирна вредност пређе праговну вредност, неурон ће послати поруку другим неуронима.

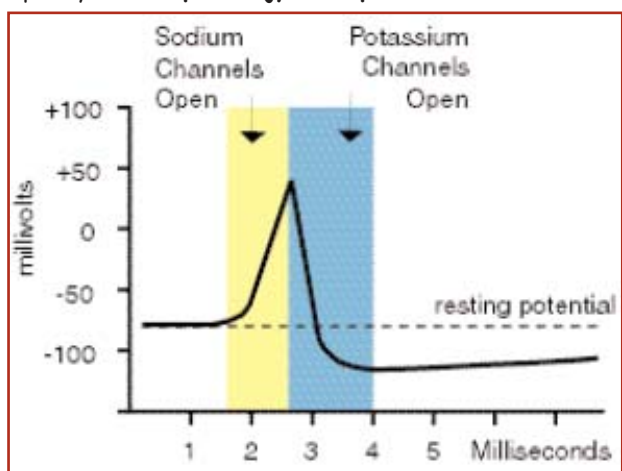
Тако се неурон понаша као минијатурни дигитрон - стално сабира и одузима. Оно што сабира и одузима су поруке које прима од других неурона. Неке синапсе узрокују ексцитацију, друге инхибицију. То како ће ови сигнали да чине основу за осећаје, мисли и покрете првенствено зависи од неуронске мреже чији је тај неурон део.

## Акциони потенцијал

Да би се пренео са једног неурона на други, неуронски сигнал најпре мора да путује дуж аксона. Како неурони ово раде?

Одговор лежи у искоришћавању енергије која је депонована у облику физичких и хемијских градијената и ефикасном повезивању ових сила. Аксони неурона проводе електричне пулсеве зване **акциони потенцијали**.

Они путују дуж аксонских влакана попут таласа када се играте канапом (као на слици горе). Ово функционише зато што аксонска мембрана садржи **јонске канале**, који могу да се отварају и затварају пропуштајући наелектрисане честице, јоне. Неки пропуштају натријумове ( $\text{Na}^+$ ), док други пропуштају калијумове јоне ( $\text{K}^+$ ). Када се канал отвори,  $\text{Na}^+$  или  $\text{K}^+$  јони теку дуж својих супротних хемијских и електричних градијената, у ћелију и из ње, у одговору на електричну **деполаризацију мембране**.



Акциони потенцијал

Када акциони потенцијал настане у телу ћелије, прво се отварају  $\text{Na}^+$  канали. Пулс натријумових јона бљесне у ћелији, да би се у милисекунди успоставила нова равнотежа. У моменту, транс-мембрански потенцијал се промени за око 100 mV. Потенцијал унутар мембране који је био негативан (око -70 mV) скочи на позитивну вредност (око +30 mV). Овај прелаз отвара  $\text{K}^+$  канале, па калијумови јони нагло истичу из ћелије, скоро једнако брзо као  $\text{Na}^+$  јони који су текли у њу, чиме се потенцијал са унутрашње стране мембране врати на своју полазну негативну вредност. Акциони потенцијал се заврши за мање времена него што је потребно да се брзо укључи и искључи кућна сијалица. Изузетно мало јона при томе прође кроз мембрану и концентрације  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  у цитоплазми се не мењају током једног акционог потенцијала. Међутим, на дуге стазе, равнотежу одржавају **јонске пумпе** чији је задатак да избацују вишак натријумових јона. Ово је слично ономе када се мала пукотина у кориту брода реши тиме што се вода избацује кофом, не реметећи укупну способност корита да издржи притисак воде по којој брод плови.

Акциони потенцијал је електрични догађај, мада комплексан. Нервна влакна се понашају као електрични проводници (иако су много мање ефикасни него изоловане жице), тако да акциони потенцијал створен у једној тачки ствара градијент напона између активног дела мембране и суседног дела који је још у мировању. На овај начин, акциони потенцијал се активно преноси таласом деполаризације који се шири са једног на други крај нервног влакна.

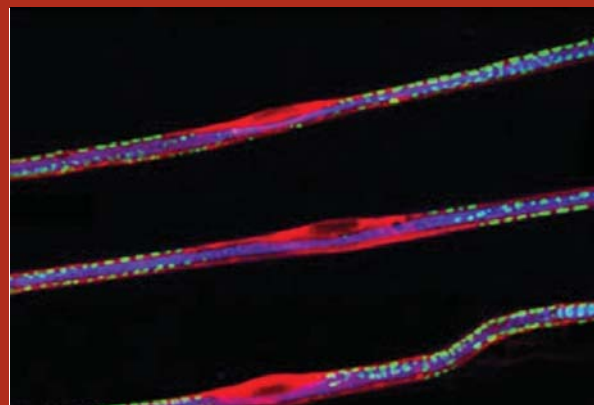
Аналогија која може да помогне у размишљању о акционим потенцијалима је пренос енергије дуж фитиља када се он запали на једном крају. Палење изазива локално варничење (попут јона који на месту акционог потенцијала теку у аксон и из њега), али опште ширење таласа варничења је много спорије. Чудесна карактеристика нервног влакна је да после кратког периода затишја (**рефракторни период**), претходно активна мембрана може да поврати своје експлозивне способности, припремајући аксонску мембрану за следећи акциони потенцијал.

О већини овога се сазнало у последњих 50 година на основу предивних експеримената вршених на јако великим неуронима и њиховим аксонима добијеним из морских бића. Велики пречник ових аксона је омогућио научницима да у њих поставе танке електроде да би мерили промене напона. У данашње доба, модерна техника регистровања звана **печ-клемпинг** омогућава научницима да испитују ток јона кроз појединачне јонске канале у разним неуронима и тиме врше тачна мерења ових струја у мозговима врло сличним нашим.

### Изоловање аксона

У многим аксонима, акциони потенцијали се добро преносе, али ипак не врло брзо. У другим, акциони потенцијали буквално скачу дуж нерва. Ово се дешава зато што су дугачки усеци мембране омотани масним, изолационим омотачем насталим од продужетака мембрана глијалних ћелија, а који се зове **мијелински омотач**.

### Домети истраживања



Горе приказана нервна влакна (љубичасто означени аксон) су омотана Швановим ћелијама (црвено) које изолују електрични пренос у нерву од околине нерва. Флуоресцентне супстанце показују новооткривене протеинске комплексе. Нарушавање ових протеинских комплекса изазива наследне болести које доводе до губитка мишића.

Новим истраживањима сазнајемо о протеинима који чине мијелински омотач. Овај омотач спречава да јонска струја исцури на погрешном месту, али, глијалне ћелије погодно остављају мале размаке у правилним интервалима. На њима аксон концентрише своје  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  јонске канале. Групице ових канала функционишу као појачала која појачавају и одржавају акциони потенцијал док он буквално скаче дуж нерва. Ово може да се дешава врло брзо. Штавише, у мијелинизованим неуронима, акциони потенцијали могу да јуре брзином од 100 метара у секунди!

Акциони потенцијали се карактеристично понашају по закону **све-или-ништа**: не мења им се јачина, већ то колико често се стварају. Тако, једини начин како јачина или трајање стимулуса могу да се кодују у једној ћелији јесте преко промене фреквенце акционих потенцијала. Најефикаснији аксон могу да проводе акционе потенцијале фреквенцом до 1000 пута у секунди.

Ален Хоџкин и Ендрју Хаксли су добили Нобелову награду за откриће механизма преношења нервних импулса. Користили су гигантски аксон сипе у својим студијама у Лабораторији за Биологију Мора у Глимуту.

