

# Centralni živčni sistem

The human brain is an incredible  
pattern-matching machine

Jeff Bezos

# Spletišče SiNAPSA

<https://sinapsa.org>

## Spletišče SiNAPSA

### za radovedne

Poljudne vsebine za obiskovalce vseh starosti

### za strokovnjake

Obvestila za raziskovalce in strokovnjake

### za medije

Informacije za predstavnike medijev

### teden možganov

Mednarodna akcija posvečena možganom

### SiNAPSA eNevron

Portal za nevroznanstveno pošto

### eSiNAPSA

Spletna revija za znanstvenike, strokovnjake in nevroznanstvene navdušence

### SiNAPSA srečanja

Mednarodna nevroznanstvena srečanja

### Za možgane

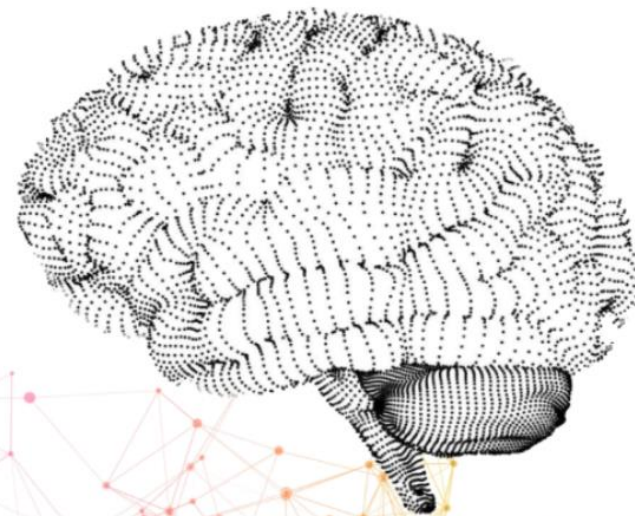
Vseslovenska akcija namenjena napredku nevroznanosti in skrbi za možgane

### for international visitors

SiNAPSA pages in English

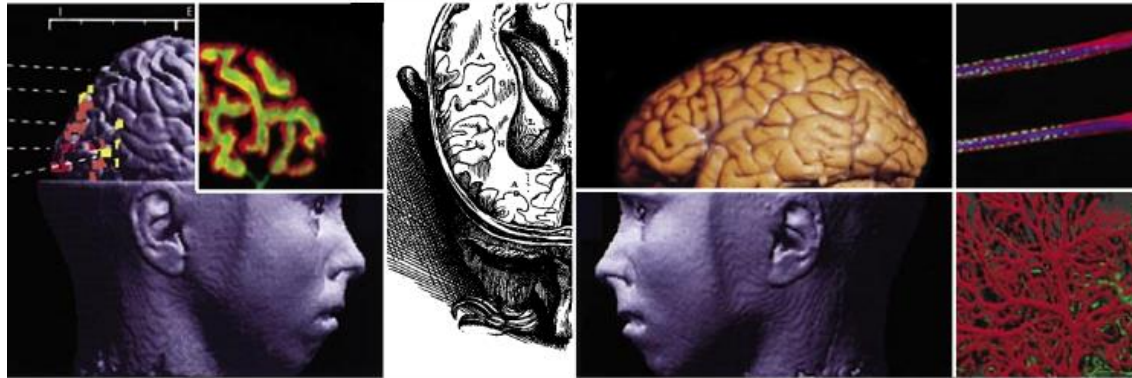
## SiNAPSA

SiNAPSA, Slovensko društvo za nevroznanost, povezuje nevroznanstvenike v Sloveniji in svetu v znanstveno-raziskovalne projekte ter izobražuje javnost o delovanju živčevja v zdravju in bolezni, pomenu raziskovanja živčevja in uporabi znanja za kakovostno življenje posameznika in družbe.



SiNAPSA je prenovila svoje spletišče. Razkrili ga bomo ob koncu januarja 2025.

# PRVI KORAKI V



# NEVROZNANOST ZNANOST O MOŽGANIH

**učni material v slovenščini**

<http://www.sinapsa.org/radovedni/media/priponke/a317-Nevroznanst-2014.pdf>

<http://www.sinapsa.org/>





Funded by  
the European Union



Home

About HybridNeuro

Partners ▾

News and Events ▾

Project results ▾

Contact

<https://www.hybridneuro.feri.um.si/>

Hybrid neuroscience based on cerebral and muscular information for motor rehabilitation and neuromuscular disorders

## What are Hybrid Neural Interfaces?

For complete understanding of the neurophysiology of human movement, motor learning, motor recovery and rehabilitation the activities of brain centers need to be analyzed simultaneously with the activity of muscles. Hybrid Neural interfaces combine the information from both recording modalities.

## Why HybridNeuro project?

HybridNeuro project combines the expertise of leading European partners in the field of Neural Interfaces to set up a new pathways of analyzing human motor system and human movements and transfer the academic research into clinical and industrial practice.

**More about HybridNeuro**

<https://www.hybridneuro.feri.um.si/>



# Blue Brain Project

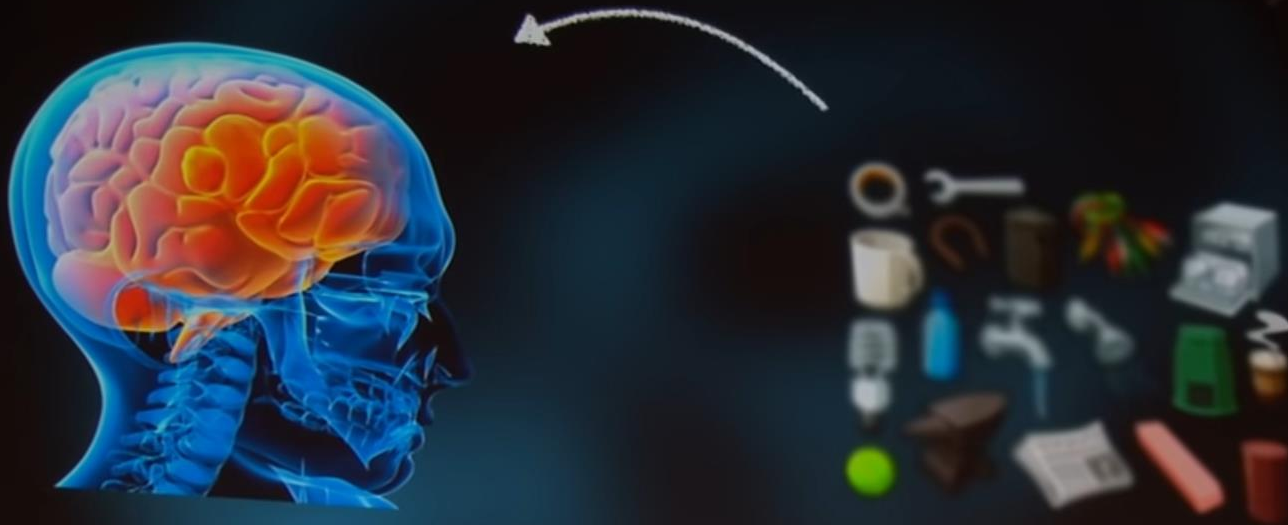
## Blue Brain Project

<https://www.youtube.com/watch?v=LS3wMC2BpxU>



# Anil Seth: Your brain hallucinates your conscious reality

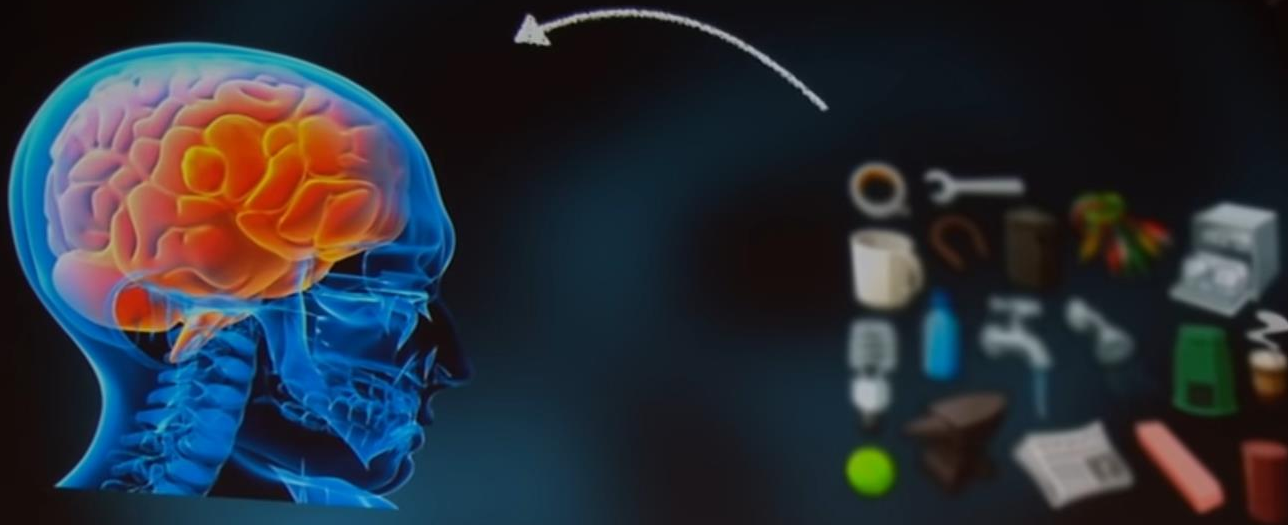
<https://www.youtube.com/watch?v=lyu7v7nWzfo>





# Anil Seth: Your brain hallucinates your conscious reality

<https://www.youtube.com/watch?v=lyu7v7nWzfo>





**How do neurons connect to each others? Blue Brain Project opens new insights.**

**<https://www.youtube.com/watch?v=ySgmZOTkQA8>**

**Scientists discover hidden patterns of brain activity.**

**<https://www.youtube.com/watch?v=ZQTqvv6HHHY>**

**Blue Brain Project.**

**<https://www.youtube.com/watch?v=Tzj0gt7czXA>**



**HarvardX**

**1. Experiences Build Brain Architecture**

**<https://www.youtube.com/watch?v=VNNsN9IJkws>**

**How a synapse works**

**<https://www.youtube.com/watch?v=OvVl8rOEncE>**



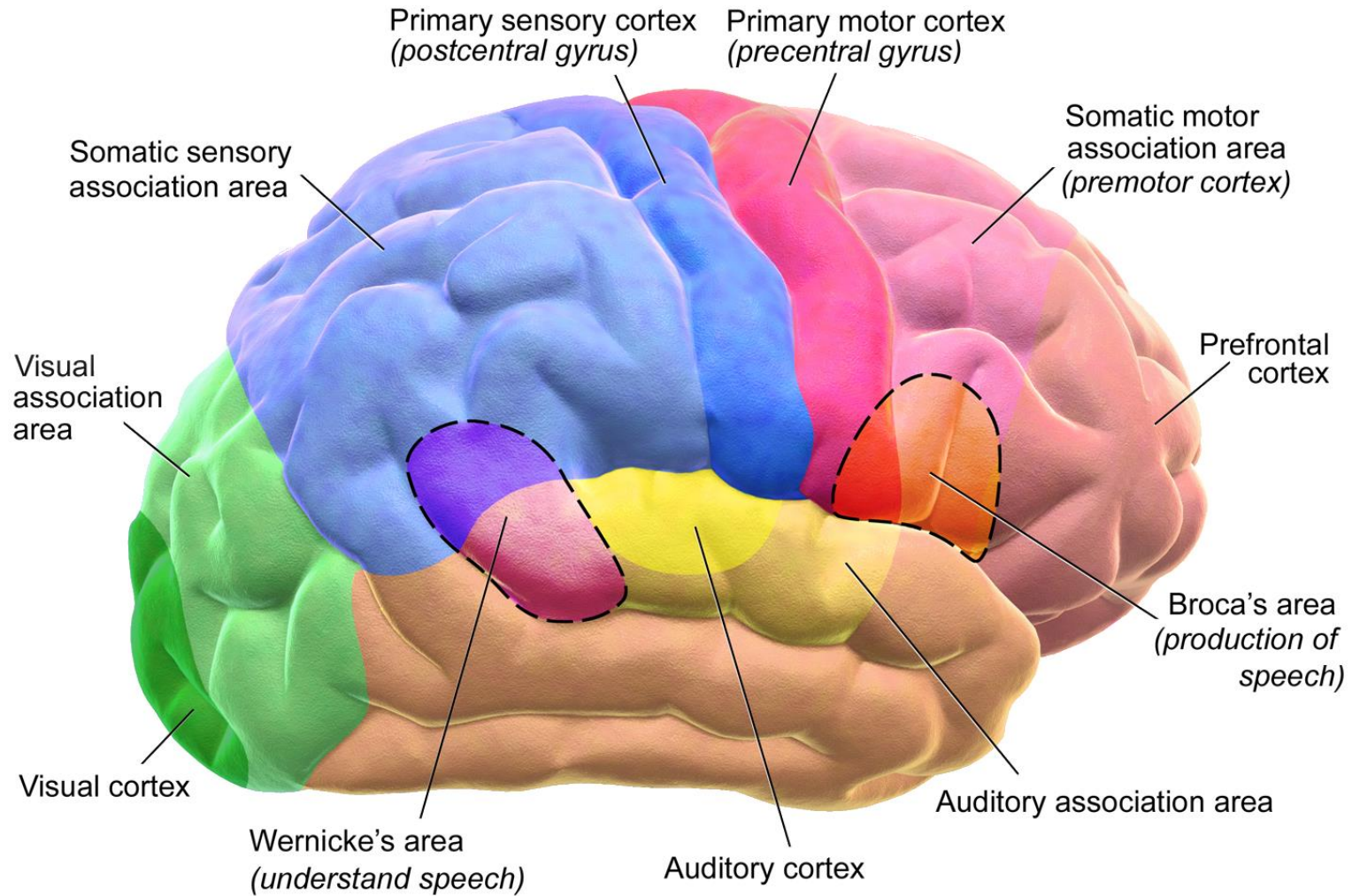
# Blue Gene

**500 TFLOPS**



Vir: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IBM\\_Blue\\_Gene\\_P\\_supercomputer.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IBM_Blue_Gene_P_supercomputer.jpg)

# Funkcionalnosti možganske skorje



Blausen.com staff (2014). "[Medical gallery of Blausen Medical 2014](#)". *WikiJournal of Medicine* 1 (2). DOI:[10.15347/wjm/2014.010](#). ISSN 2002-4436

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen\\_0102\\_Brain\\_Motor%26Sensory\\_\(flipped\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen_0102_Brain_Motor%26Sensory_(flipped).png)



# Anatomija možganov

[https://sl.wikipedia.org/wiki/človeški\\_možgani](https://sl.wikipedia.org/wiki/človeški_možgani)

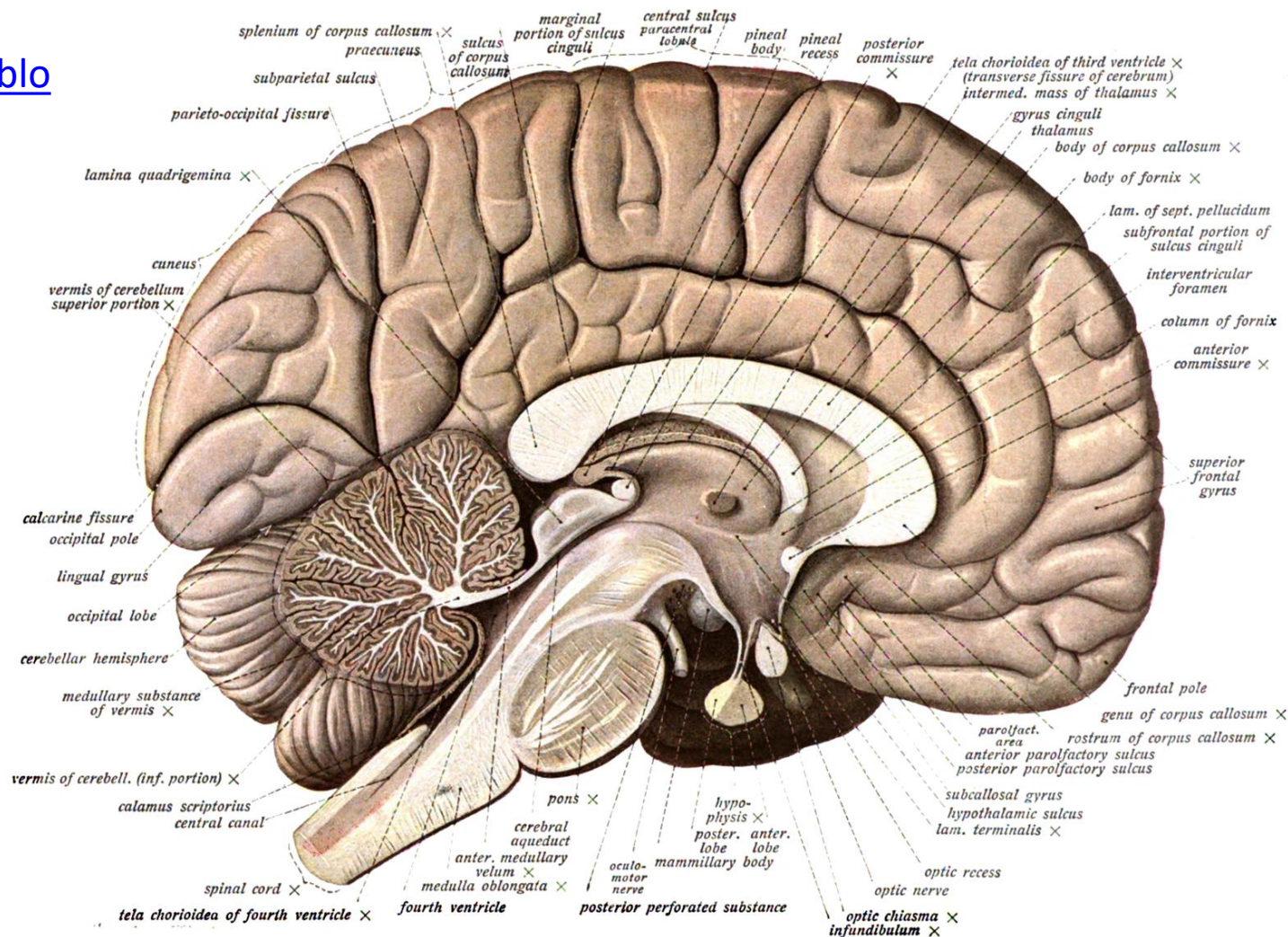
- [4.1 Veliki možgani](#)
- [4.2 Mali možgani](#)
- [4.3 Možgansko deblo](#)

Nadaljne branje:

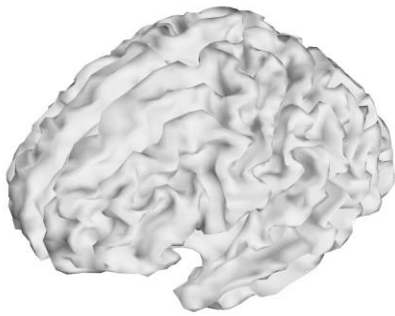
Rok Merc,

[ORGANIZACIJA](#)  
[MOŽGANOV IN](#)  
[PSIHOLOŠKI VIDIK](#)  
[TRAVMATIČNE](#)  
[MOŽGANSKE](#)  
[POŠKODBE](#), Zavod

za varstvo in  
rehabilitacijo po  
poškodbi glave Zarja



Vir: Atlas and Text-book of Human Anatomy Volume III Vascular System, Lymphatic system, Nervous system and Sense Organs <https://en.wikipedia.org/wiki/Neuroanatomy>

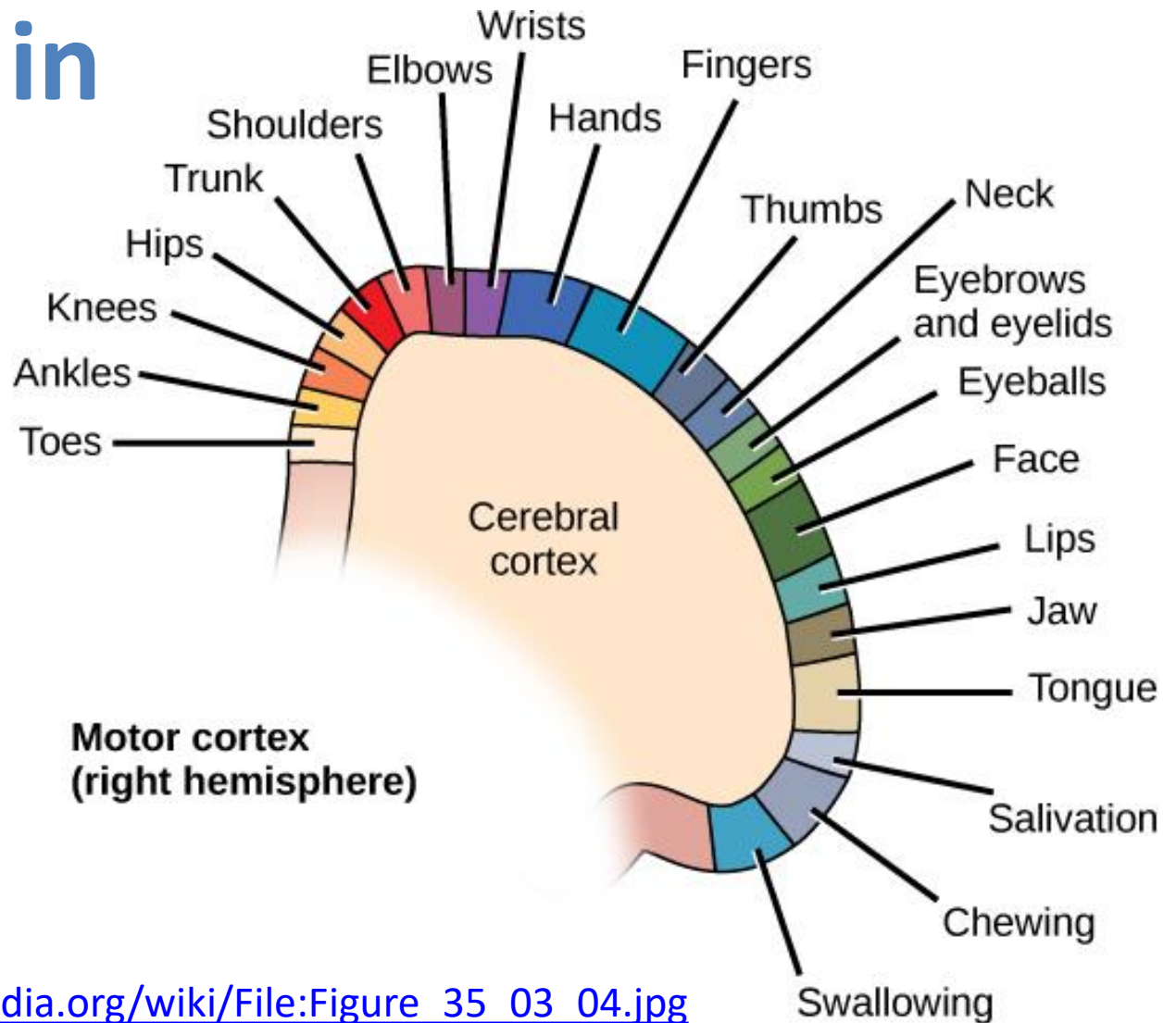


# MOŽGANSKA SKORJA

Kortikalno področje	Dejavnost
Prefrontalni korteks	Reševanje problemov, Kompleksno mišljenje
Motorični asociacijski korteks	Koordinacija kompleksnih gibov
Primarni motorični korteks	Začenjenje hotenih gibov
Primarni Somatosenzorični korteks	Sprejemanje čutnih informacij iz telesa
Senzorično Asociacijsko področje	Procesiranje večsenzoričnih informacij
Vidno asociacijsko področje	Compleksno procesiranje vidnih informacij
Vidni korteks	Detekcija enostavnih vidnih dražljajev
Wernicke-jevo področje	Razumevanje govora
Slušno asociacijsko področje	Kompleksno procesiranje zvočnih informacij
Slušni korteks	Detekcija zvočnih kvalitet (ton, intenziteta)
Center za govor (področje Broca)	Artikulacija in produkcija govora



# Motorični in senzorični kortex



[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Figure\\_35\\_03\\_04.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Figure_35_03_04.jpg)

Čutila niso enakomerno porazdeljena po telesu:

<https://blog.cabreraresearch.org/meet-cortex-man-how-your-brain-sees-your-body>

# Human Connectome Project

[Home](#)[About](#)[Data](#)[Informatics](#)[Gallery](#)[Publications](#)[News](#)

## The Human Connectome Project

Navigate the brain in a way that was never before possible; fly through major brain pathways, compare essential circuits, zoom into a region to explore the cells that comprise it, and the functions that depend on it.

The Human Connectome Project aims to provide an unparalleled compilation of neural data, an interface to graphically navigate this data and the opportunity to achieve never before realized conclusions about the living human brain.

[Download Data](#)*Laboratory of Neuro-Imaging*

### News

[RSS News](#)

**National Geographic features the Human Connectome Project**

New research from members of our HCP team suggests that brain circuitry is organized more like Manhattan's street grid than London's chaotic tangle of random roadways. Read the full article in the February 2014 issue of *Nature Neuroscience*.

*National Geographic*

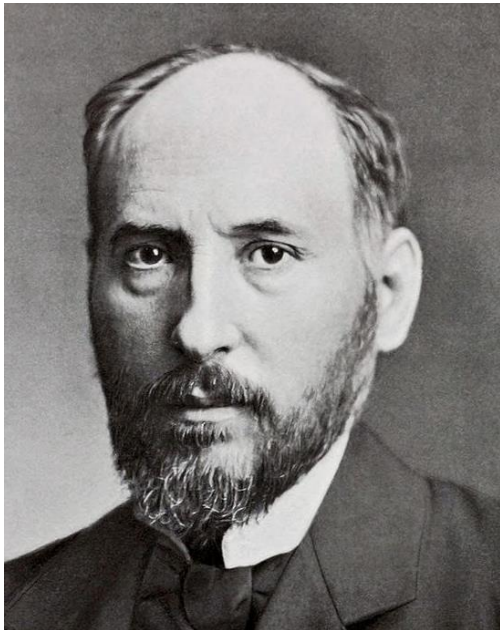
- <http://www.humanconnectomeproject.org/>

# informacijska tehnologija: doktrina nevronov

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Camillo\\_Golgi.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Camillo_Golgi.jpg)

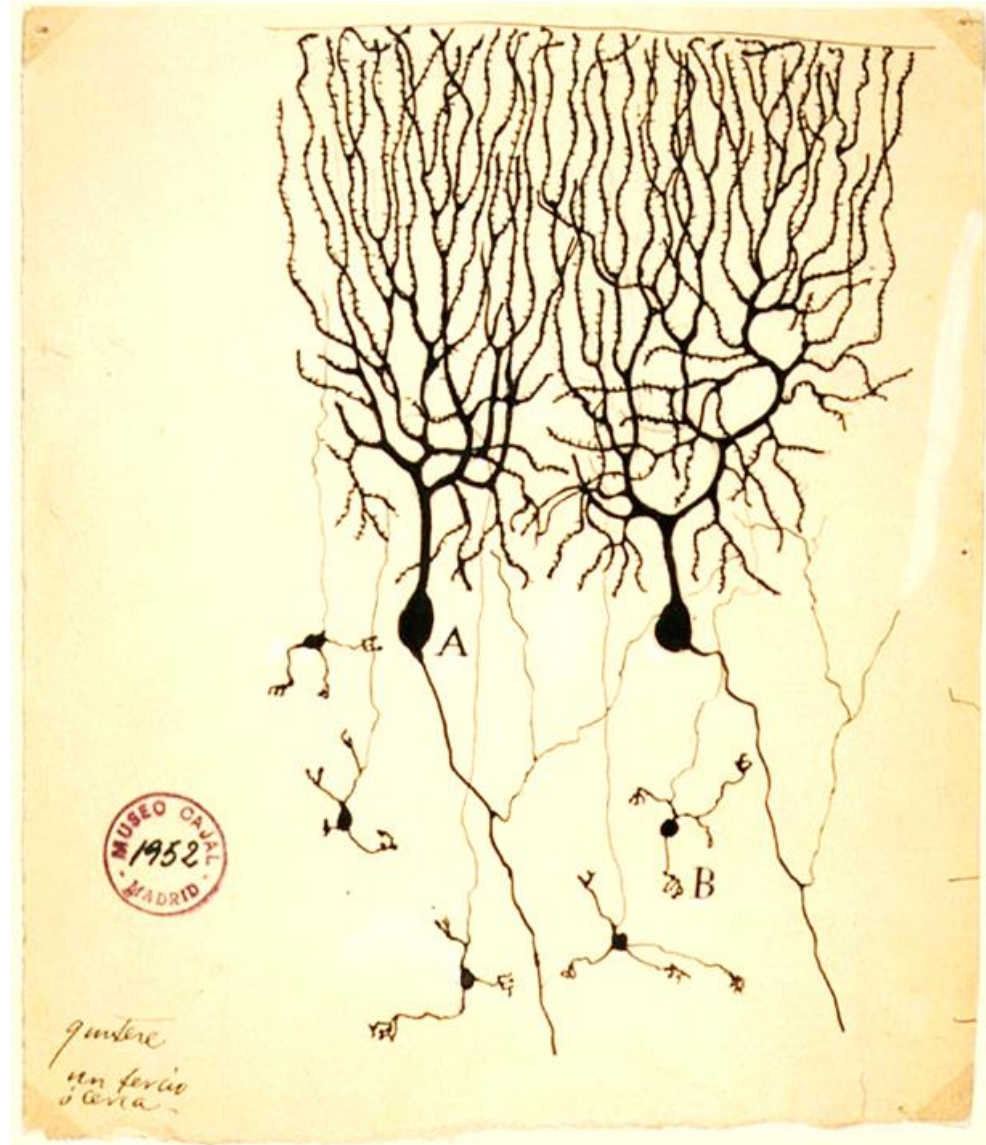


Camillo Golgi, 1843-1926



Santiago Ramon y Cajal 1852-1934

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cajal-Restored.jpg>

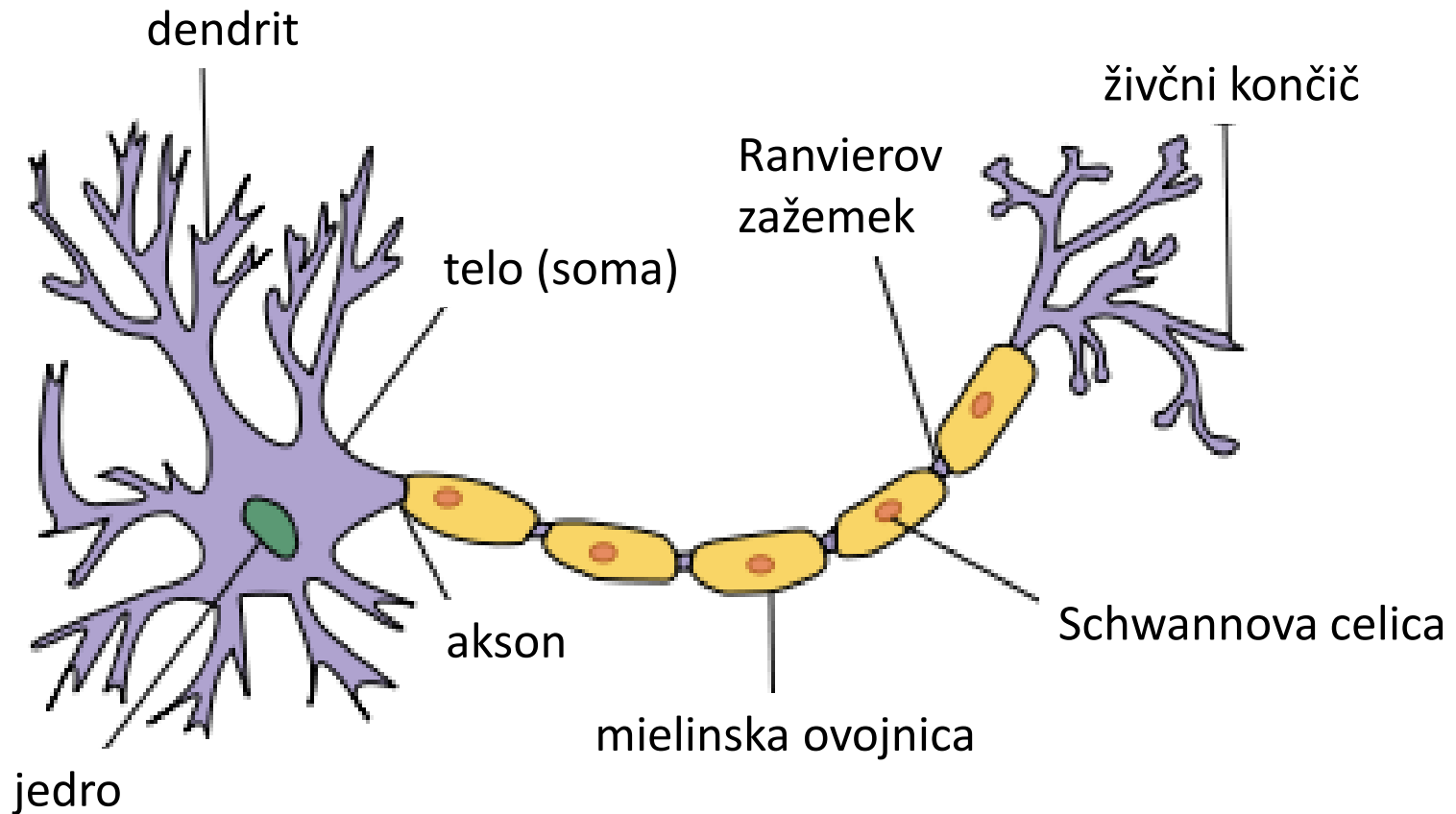


Purkinje cells (A) and granule cells (B) from pigeon cerebellum by Santiago Ramón y Cajal, 1899. Instituto Santiago Ramón y Cajal, Madrid, Spain

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PurkinjeCell.jpg>



# Nevroni



Vir: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neuron\\_Hand-tuned.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neuron_Hand-tuned.svg)



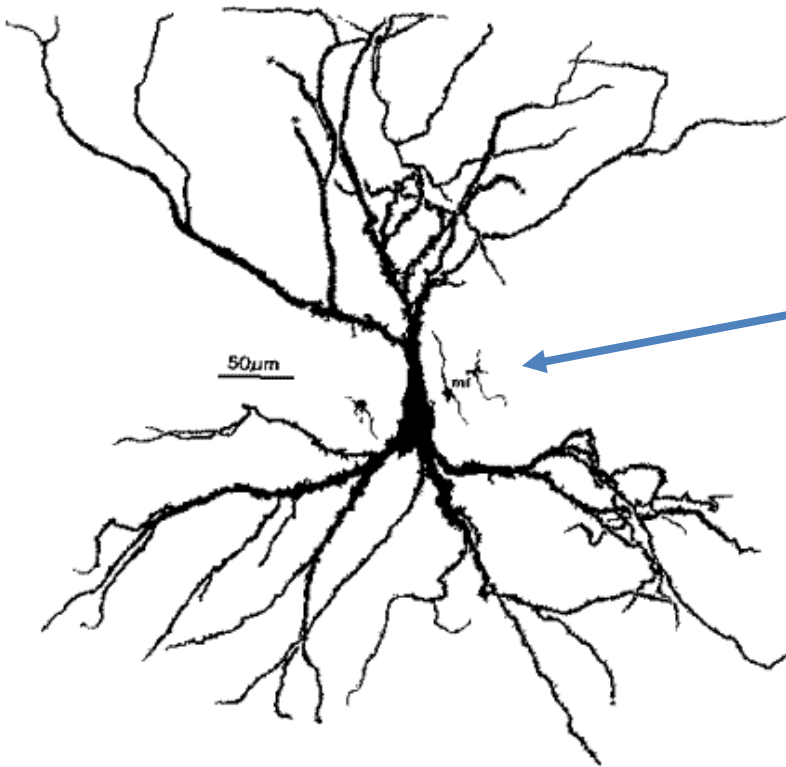
# Nevroni

**Motorični nevron:** ima telo v centralnem živčevju. Akson je v živcu, ki vodi v efektorje, končiči pa so povezani z efekorskimi celicami (žlezne ali mišične celice).

**Senzorični nevron:** povezuje čutila s centralnim živčevjem – dovodna vlakna.

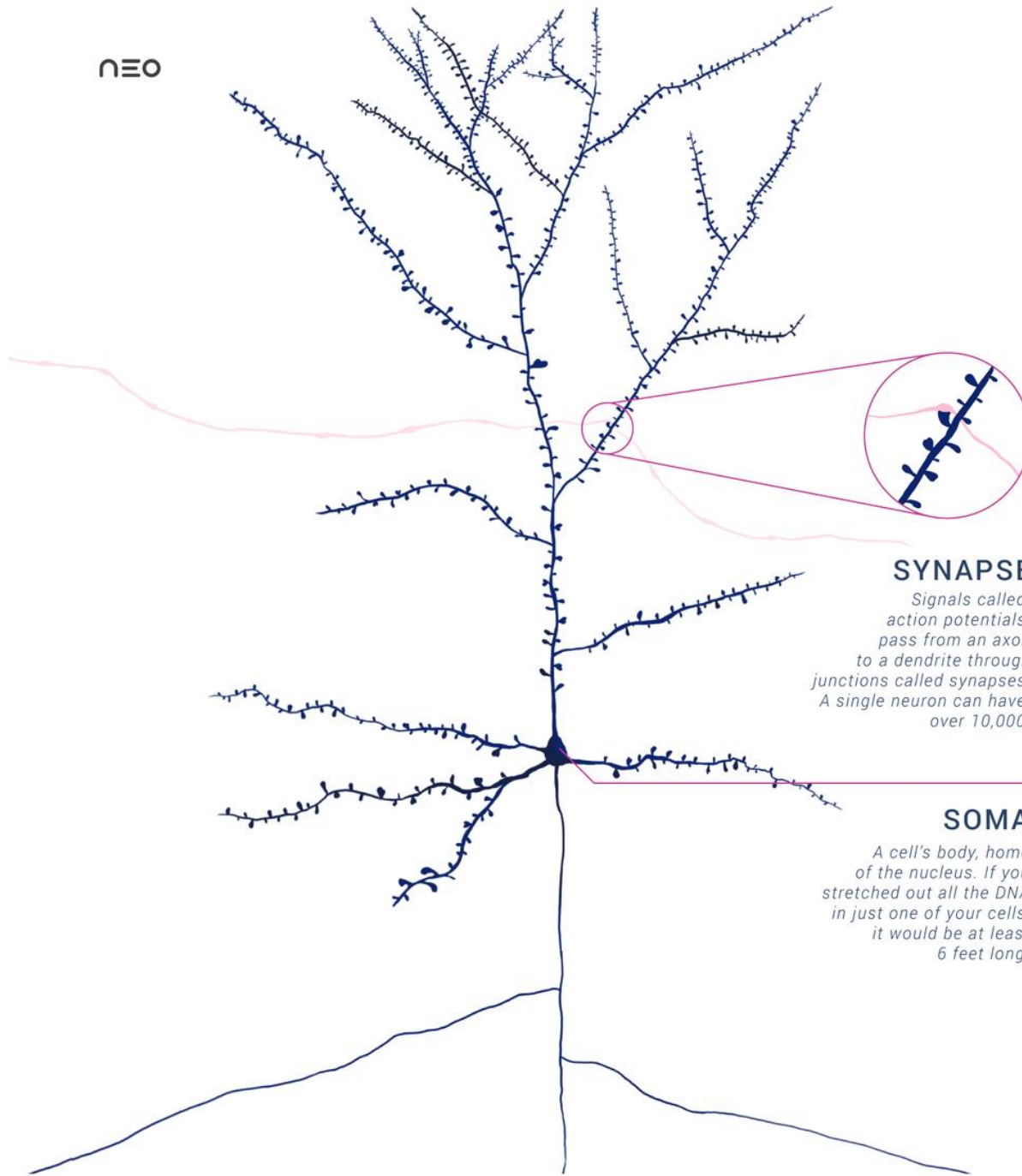
**Piramidne celice:** tipični nevroni v možganih. Sestavlja jo celično telo, ki je piramidne oblike in razvejana struktura dendritov, ki v premeru meri  $\sim 2$  mm. Informacije se pretakajo preko bazalnih dendritov, apikalni dendrit pa služi za nastavljanje pragovne funkcije. Med seboj lahko tvorijo veliko število kontaktov. Te povezave omogočajo funkcioniranje možganov.

**Celice Glia:** so pomožne celice v centralnem živčevju. Dajejo oporo živčnim celicam, jih prehranjujejo



vir: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hippocampal-pyramidal-cell.png>

David Beeman from <http://www.brains-minds-media.org/archive/218/>



### SYNAPSE

Signals called action potentials pass from an axon to a dendrite through junctions called synapses. A single neuron can have over 10,000.

### SOMA

A cell's body, home of the nucleus. If you stretched out all the DNA in just one of your cells, it would be at least 6 feet long.

## NEURON ANATOMY

### DENDRITES

Signals come in through dendrites. These vast, tree-like branches grow up and out from the soma. Dendrites are thicker than axons and covered in synapses.

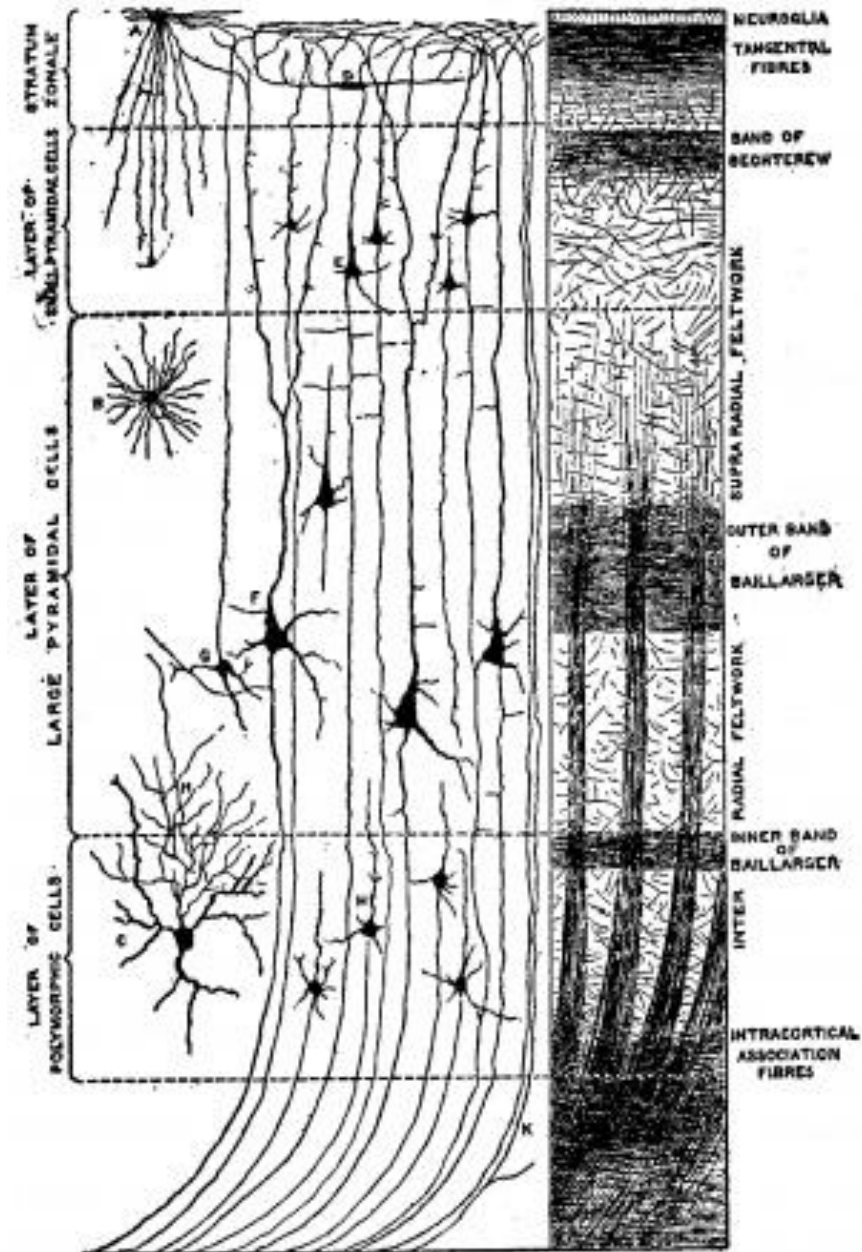
### AXON

Signals go out through axons, which branch many times and stretch vast distances. Neurons send action potentials down their axons and through synapses they've formed to communicate with other cells. The longest axons in your body reach from your toes to your spine.

# Struktura korteksa

Neokorteks sestavlja 6 različnih plasti:

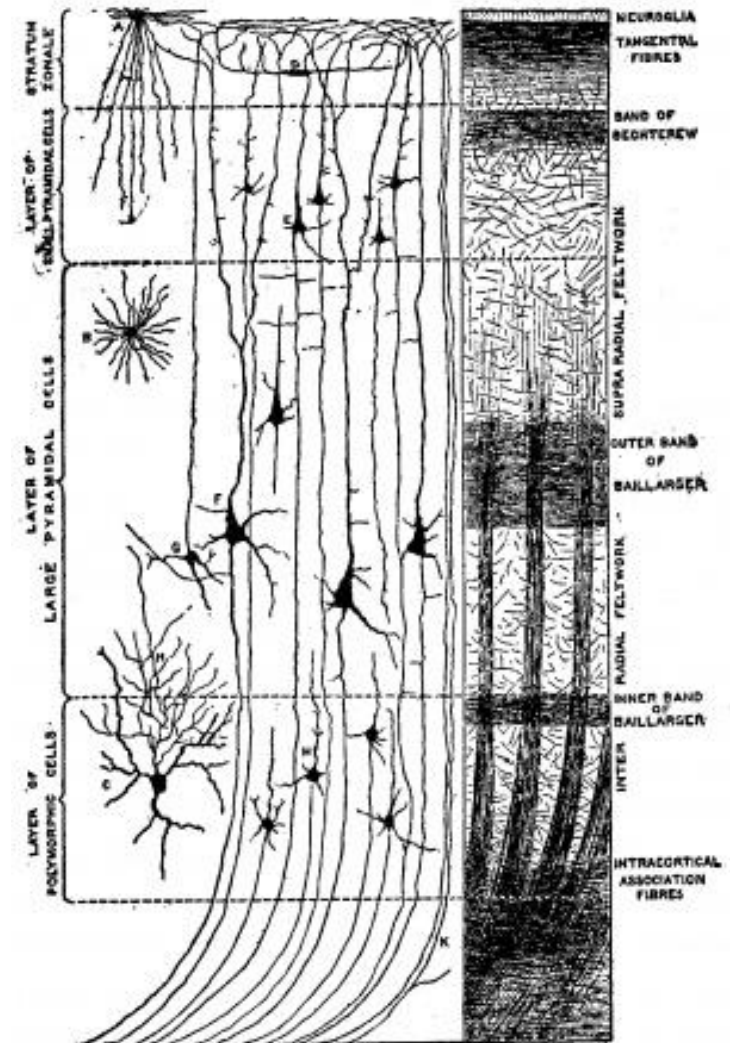
- I Zunanja molekularna plast
- II Zunanja granularna celična plast
- III Zunanja piramidalna celična plast
- IV Notranja granularna celična plast
- V Notranja piramidalna celična plast
- VI Raznolika (multiformna) plast



# Zunanja molekularna plast

## (Molecular layer)

- Apikalni dendriti piramidnih nevronov (prilagoditev praga priamidnih nevronov)
- Celice glia (pomožne celice v centralnem živčevju. Dajejo oporo živčnim celicam, jih prehranjujejo)
- nekaj teles nevronov
- izmenjava lokalnih informacij

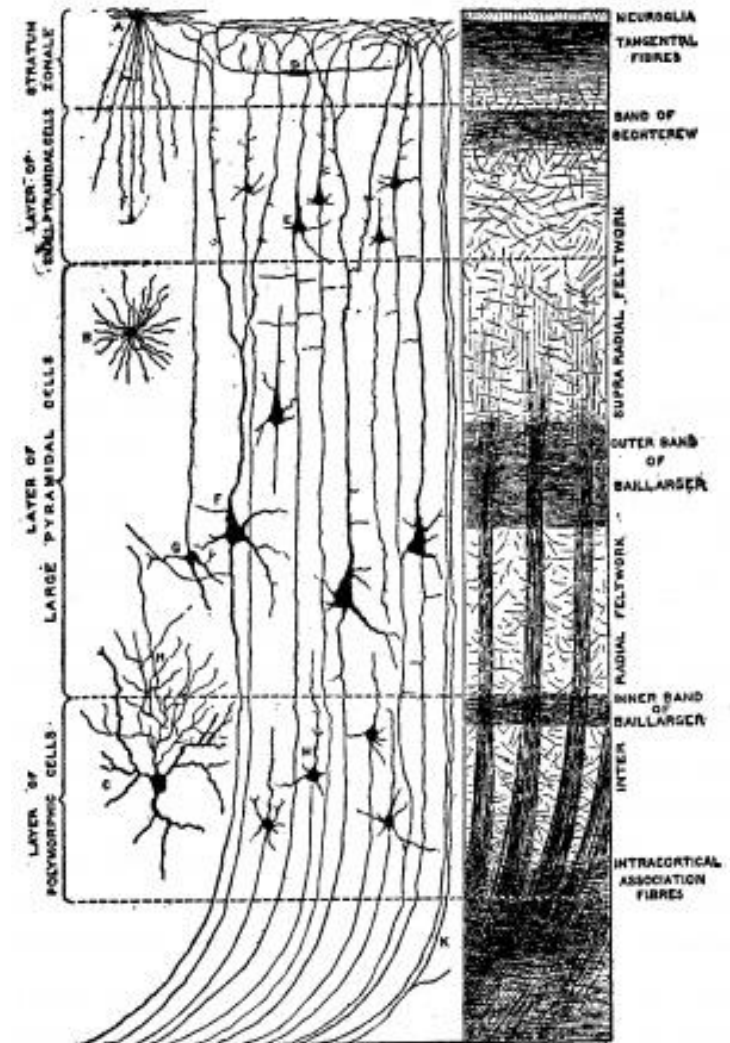




# Zunanja granularna in piramidalna plast

(Cortex Structure Layer II/ III)

- II zunanja granularna celična plast (External granular layer)
- III zunanja piramidalna celična plast (External pyramidal layer)
- Medkortična izmenjava informacij:
  - Aferentna (dovodna) vlakna iz ostalih predelov korteksa
  - Odvodna vlakna (k isti in sosednji hemisferi korteksa) zapuščajo to plast (in stopajo vanjo na ciljni destinaciji)

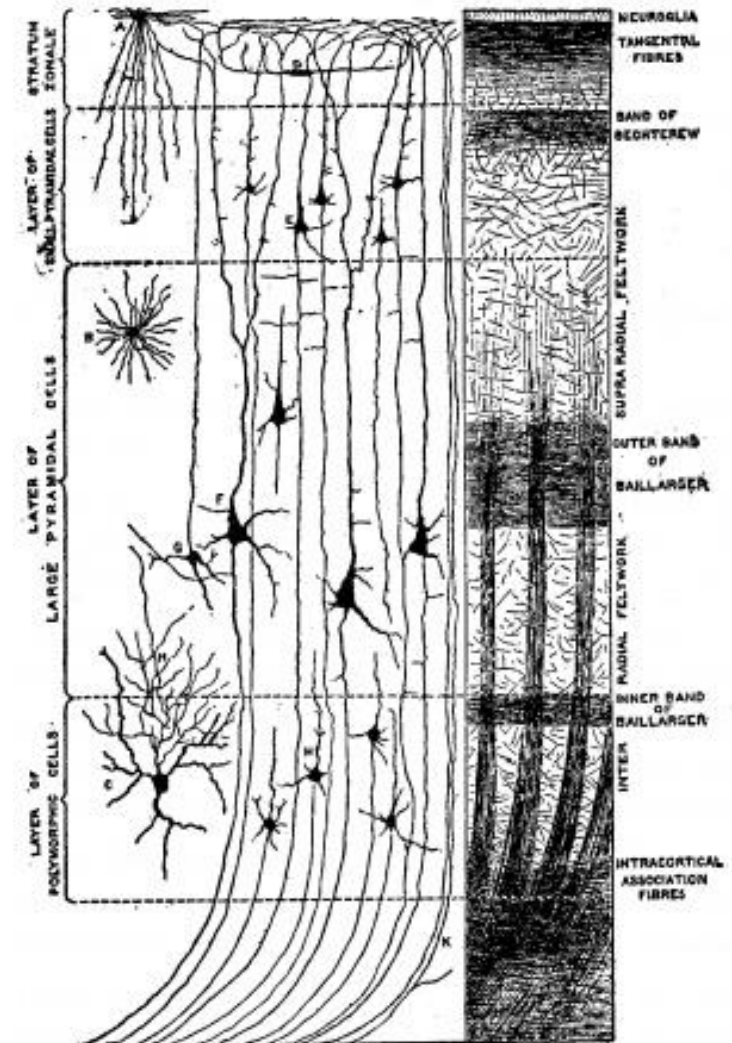


# Interna granularna plast

## (Cortex Structure Layer IV)

### IV Interna granularna plast (Internal granular layer)

- Aferentna vlakna iz Talamusa
- številne in kompleksne sinaptične povezave
- ta plast je specializirana za sprejem informacij (dobro razvita v senzoričnem korteksu)

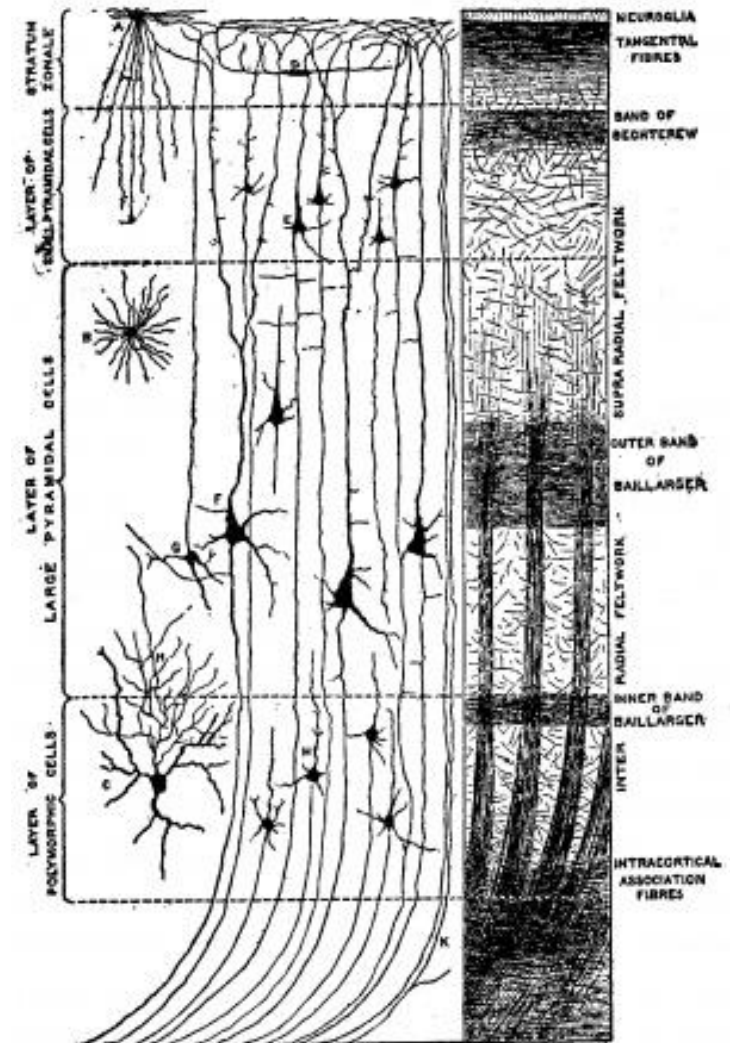


# Interna piramidalna plast

(Internal pyramidal layer)

## V Interna piramidalna plast (Internal pyramidal layer)

- velike piramidalne celice
- Projekcije (izhodne povezave) v podtalamična območja možganov
  - Bazalni gangliji
  - možgansko deblo
  - hrbtenjača
- Izhodna informacijska plast (dobro razvita predvsem v motoričnem korteksu)

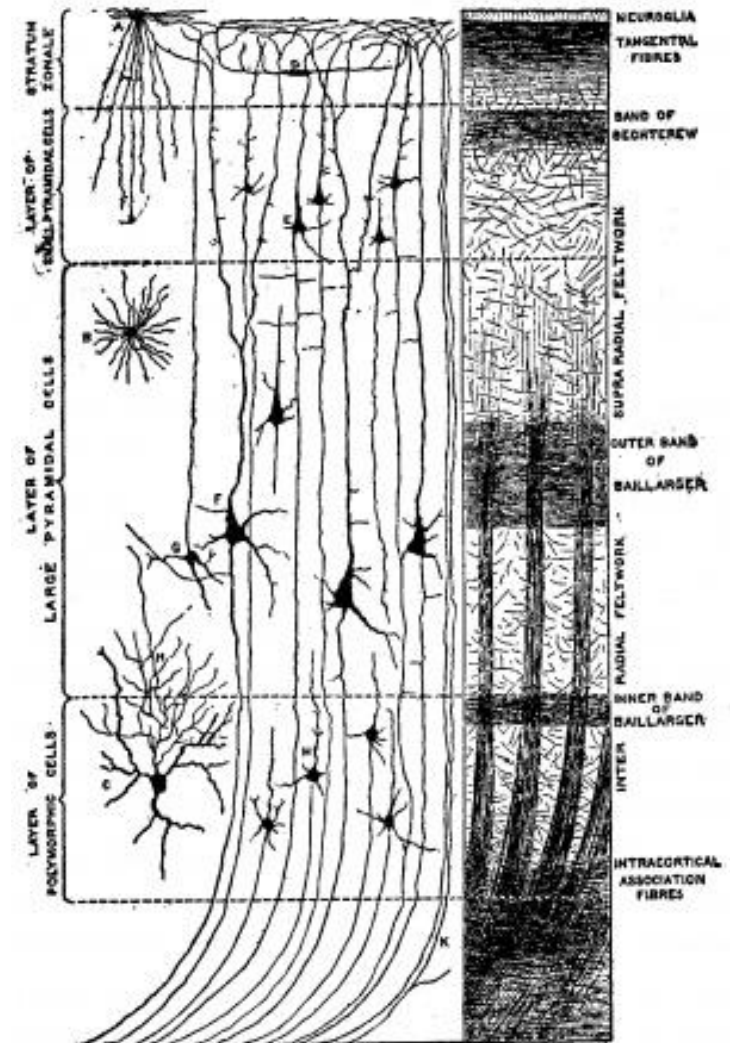


# Raznolika plast

## (Multiform layer)

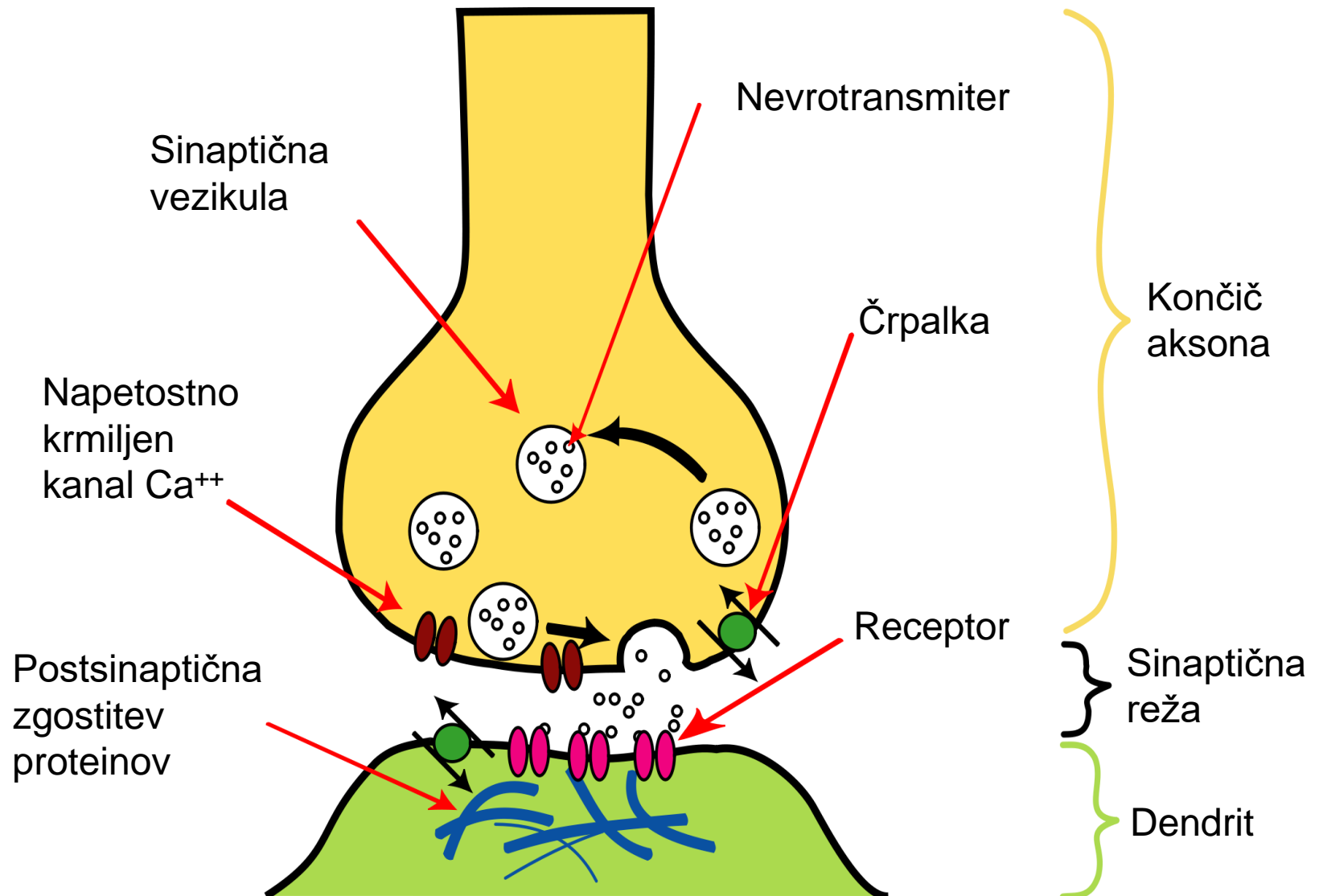
### VI raznolika plast (Multiform layer)

- Nevroni različnih oblik
- meji na belino
- Kortikotalamična izmenjava informacij





# Sinapsa



# Nevrotransmitterji

## Receptorji na nevronih:

- Ionotropični (ionotropic receptor): sprejem ionov in električna ekscitacija...
- Metabotropični (metabotropic receptor): uravnavanje metabolizma nevrona, ki vpliva tudi na njegovo električno delovanje

## Živčne prenašalci (neurotransmitter)

- ekscitatorni (vzburjevalni): npr. [glutamat](#)
- inhibitorni (zavorni): npr. [γ-aminomaslena kislina](#) (GABA)

Vir: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Živčni\\_prenašalec](https://sl.wikipedia.org/wiki/Živčni_prenašalec)

# Nevrotransmitterji

## Ekscitatorni ionotropni:

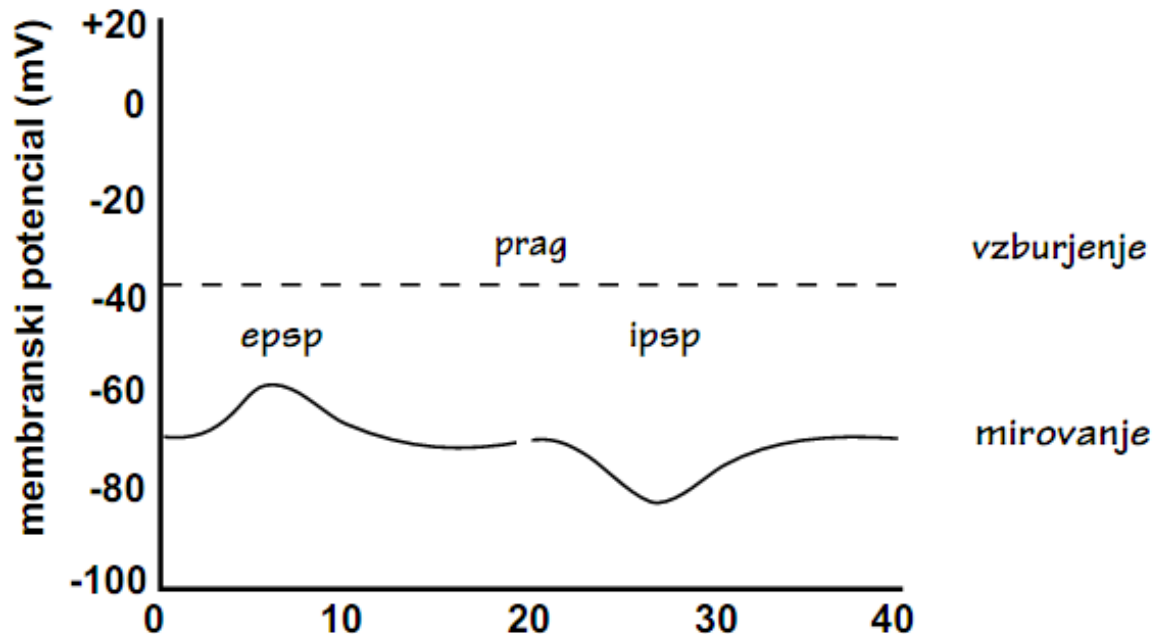
- *glutamat*

## Inhibicijski ionotropni:

- *GABA*
- *glicin*

## Metabotropni:

- *acetilholin*
- *dopamin*
- *noradrenalin*

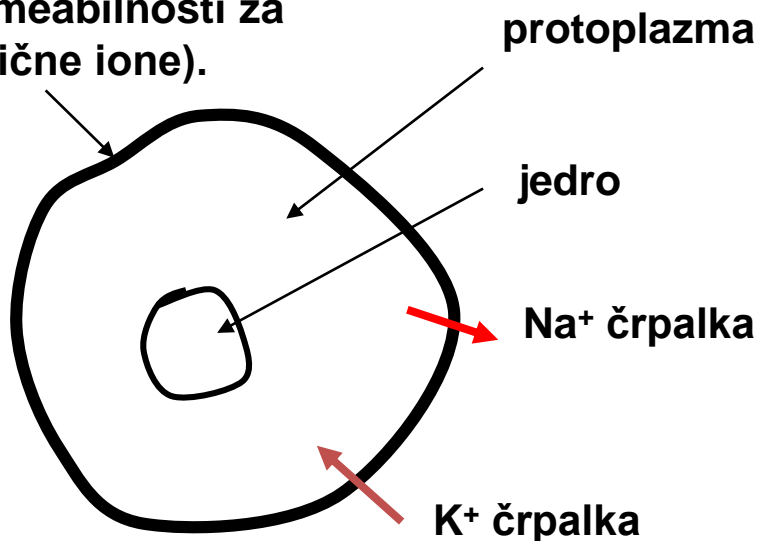


**Ekscitatorni postsinaptični potencial (epsp)** je sprememba membranskega potenciala iz -70 mV na vrednost, bližjo 0 mV.

**Inhibitorni postsinaptični potencial (ipsp)** ima nasprotni učinek.

# Električna aktivnost celice

Membrana je permeabilna za vodo in ione (različne permeabilnosti za različne ione).



Analogna električna vezja:

**Aktivne črpalke:** generatorji toka

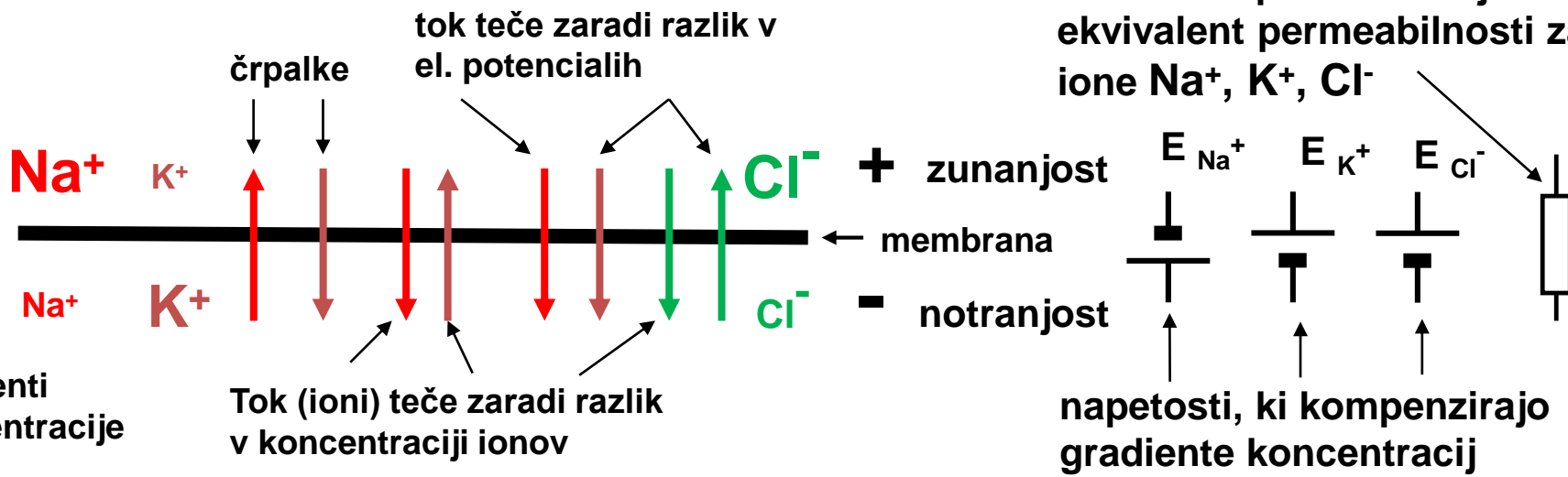
**Permeabilnost:** električna prevodnost

**Gradienti koncentracije:** električna polja,

**Glavni ioni:** Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>

Čezmembranska napetost se stabilizira pri ~ 70 mV, pri čemer je notranjost celice – in zunanost +. Pri tej napetosti je vsota pretokov ionov enak nič.

Električna prevodnost je ekvivalent permeabilnosti za ione Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>

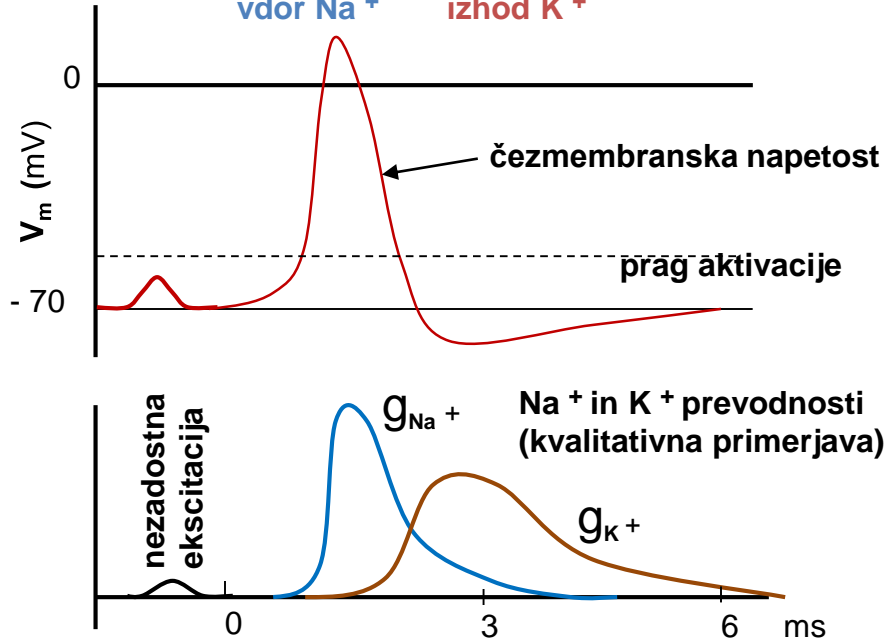
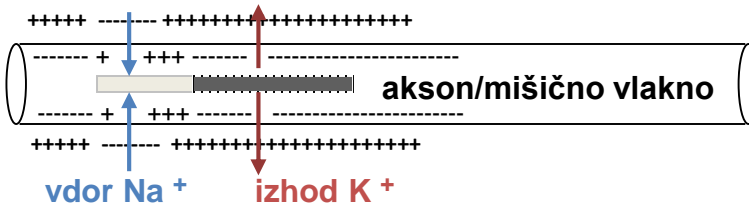




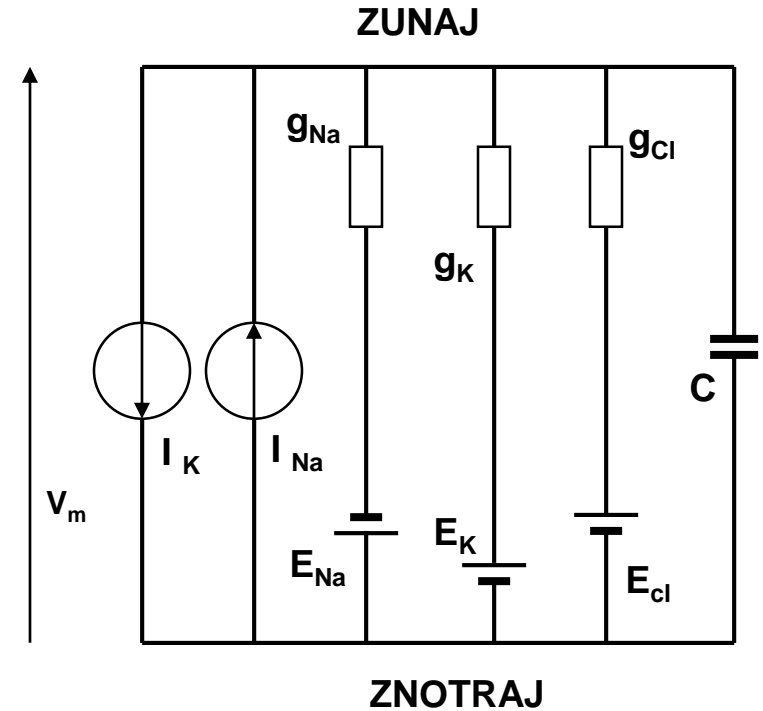
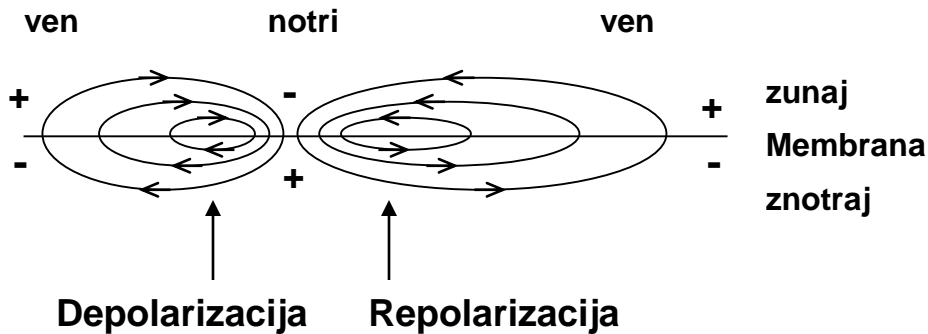
# Celična membrana

- Celična membrana je semipermeabilna. Je bolj permeabilna za določene substance kot za druge.
- Njena debelina je med  $75\div 100 \text{ \AA} = 7.5 - 10.0 \text{ nm}$  (1 Angstrom = 0,1 nm), zgrajena pa je iz molekul proteinov (debeline 30 Å), dvojnega sloja polariziranih maščobnih molekul (debeline 35 Å) in zunanega sloja proteinskih molekul (debeline 30 Å).
- Pore so namenske, vsaka za specifične ione (Ca, Na, K itd.). Njihov premer znaša 8 Å. Odpiranje in zapiranje por (in s tem permeabilnost) sta odvisna od napetosti na membrani in prisotnosti specifičnih substanc v okolici pore.
- Mirovna membranska napetost je okoli 70 mV. Notranjost celice je negativno nabita, zunanost pozitivno.
- Delček membrane lahko ekvivalentno opišemo z nelinearnim električnim vezjem, ki ga opisuje **Hodgkin-Huxley**-ev model.

# model Hodgkin-Huxley (celica HH)



## Tok preko membrane



$V_m$  = čezmembranska napetost

$C$  = kapacitivnost membrane

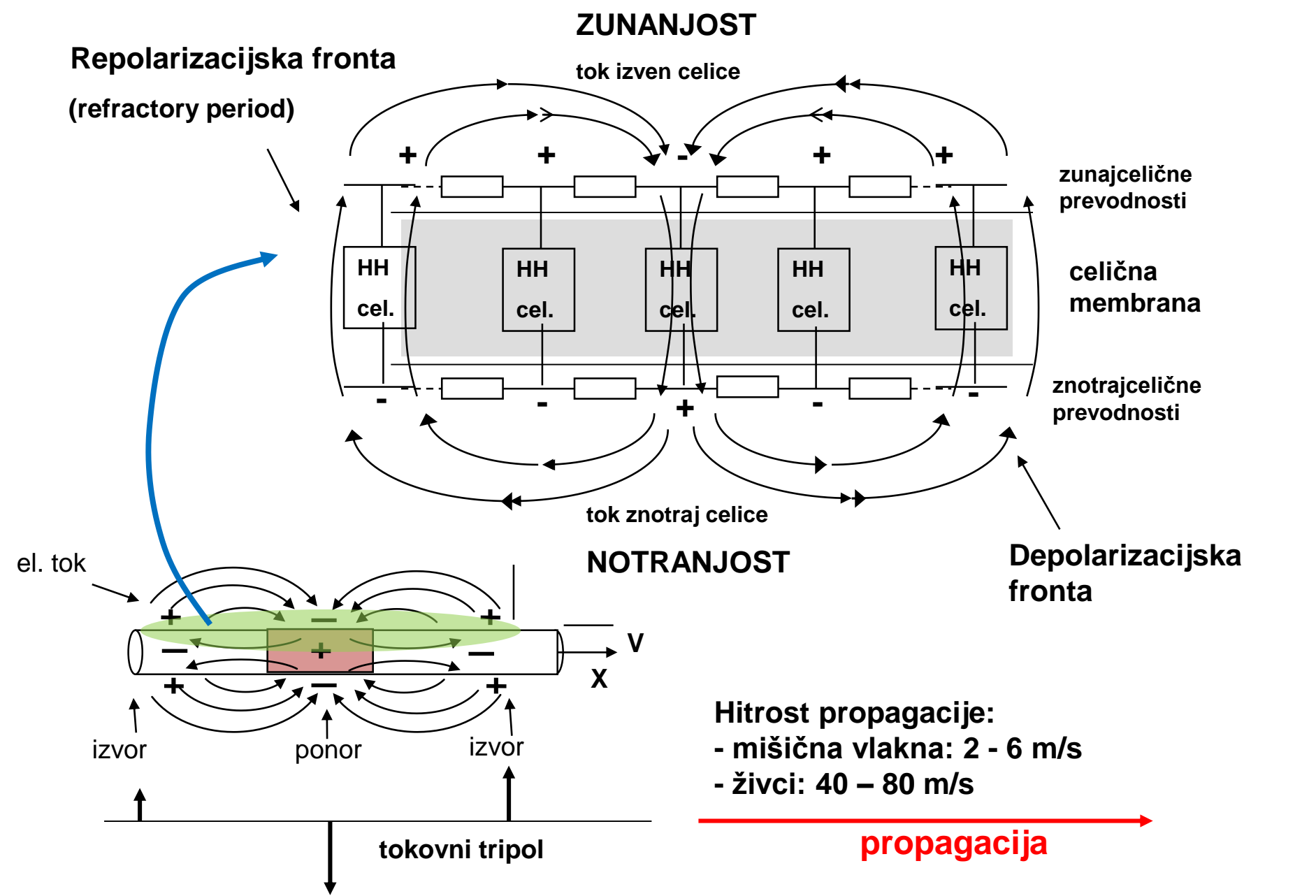
$g_{Na}$  = prevodnost Na kanalov,  $g_{Na} = g_1(V_m, t)$

$g_K$  = prevodnost K kanalov,  $g_K = g_2(V_m, t)$

$g_{Cl}$  = prevodnost Cl kanalov,  $g_{Cl} = g_3(V_m, t)$

$I_K, I_{Na}$  - tokovi aktivnih črpalk

# Propagacija akcijskega potenciala po aksonu/vlaknu



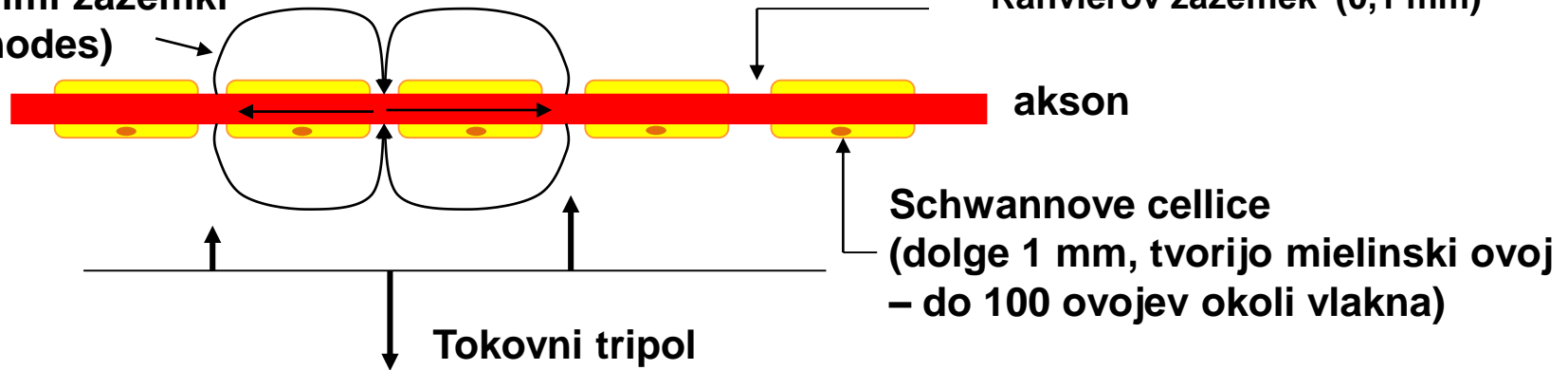


# Živčna vlakna imajo mielinsko ovojnico

Tok teče le med

Ranvierovimi zažemki  
(Ranvier nodes)

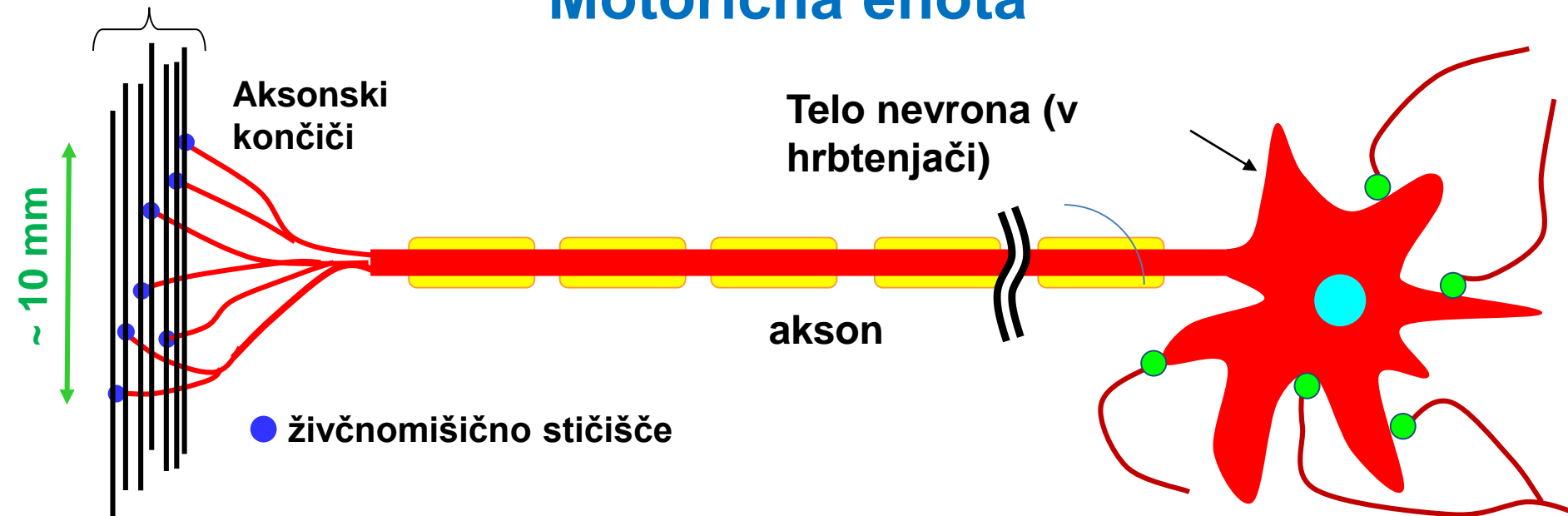
Ranvierov zažemek (0,1 mm)



depolarizacija “skače” iz zažemka na zažemek.

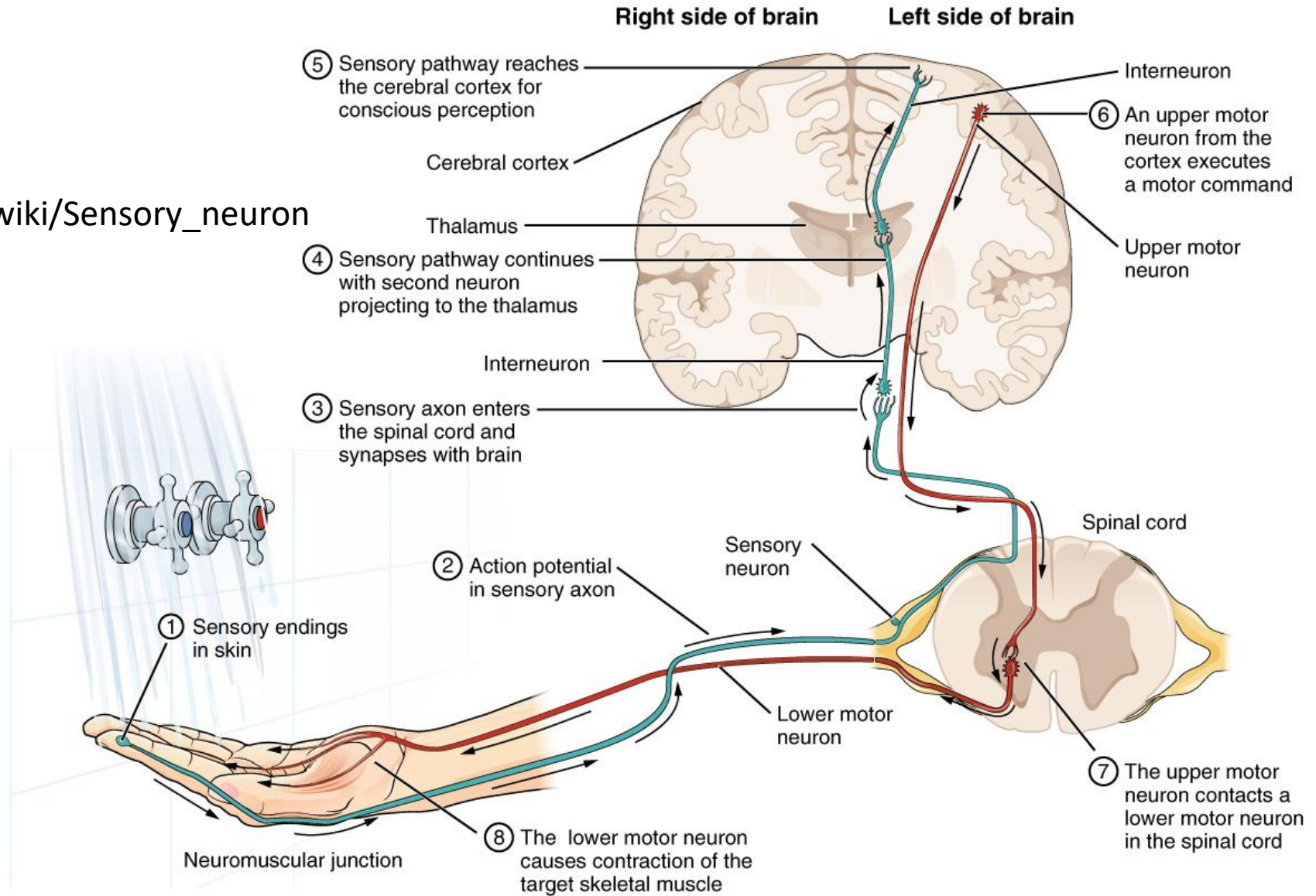
Mišična  
vlakna

## Motorična enota



# Senzorični sistem pri ljudeh

org/wiki/Sensory\_neuron



Vir: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1212\\_Sensory\\_Neuron\\_Test\\_Water.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1212_Sensory_Neuron_Test_Water.jpg)

<https://cnx.org/contents/FPtK1zmh@8.25:fEl3C8Ot@10/Preface>

# Coding and use of tactile signals from the fingertips in object manipulation tasks

Roland S. Johansson\* and J. Randall Flanagan‡

*"Coding and use of tactile signals from the fingertips in object manipulation tasks"*  
(PDF). *Nature Reviews. Neuroscience*. **10** (5): 345–59. [doi:10.1038/nrn2621](https://doi.org/10.1038/nrn2621).

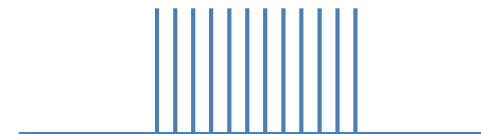
šibek  
dražljaj



srednji  
dražljaj



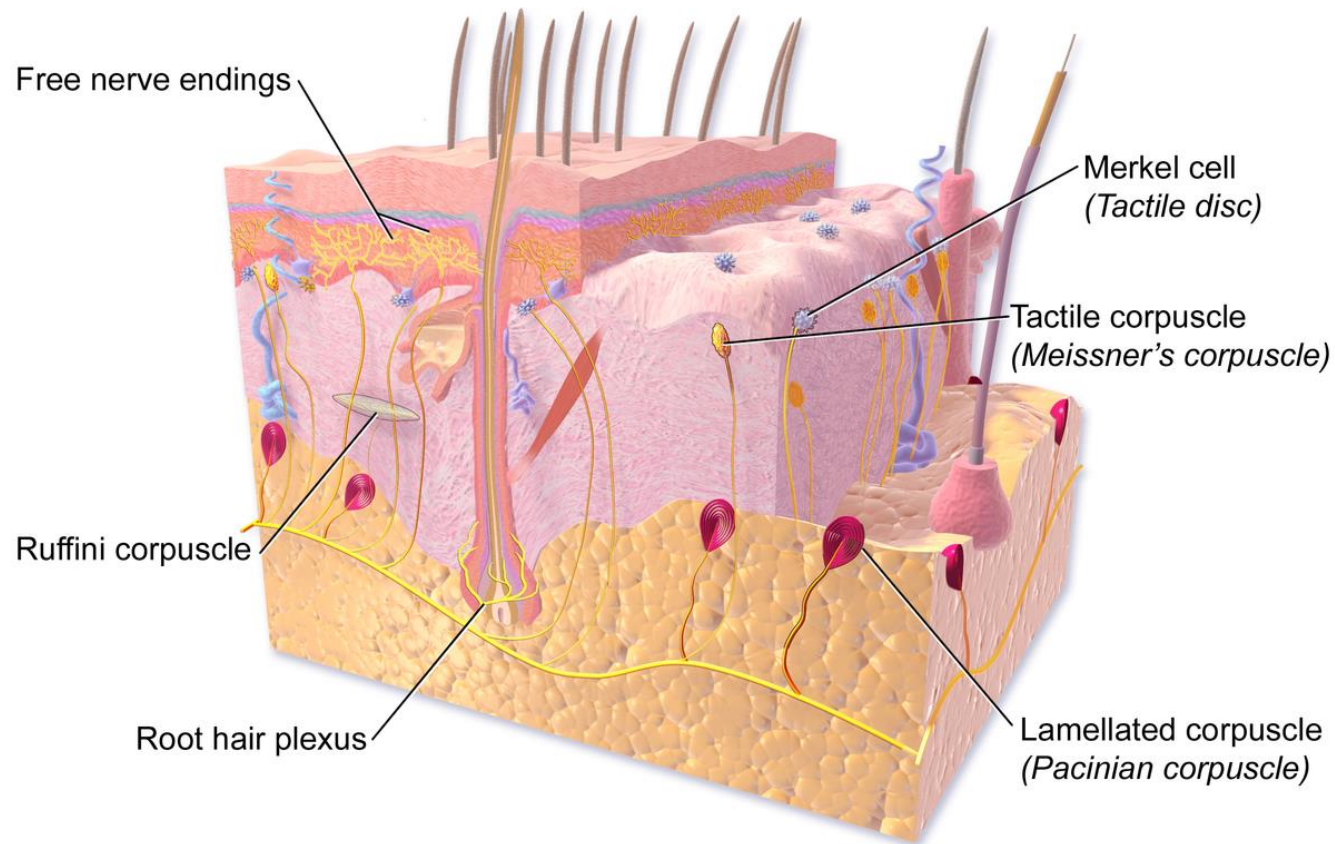
močan  
dražljaj





# Primeri senzoričnih nevronov

- Prosti živčni končiči – bolečina, temperatura
- Merkelovi taktilni meniski
- Lasni mešički (dotik)
- Meissnerjeva telesa (dotik)
- Vater-Pacinijeva telesa (pritisk)
- Krausejeva telesa (hladno)
- Ruffinijeva telesa
- Mišično vreteno (razteg)
- Golgijev tetiven organ (napetost)



## Tactile Receptors in the Skin

Vir: Blausen.com staff (2014). "[Medical gallery of Blausen Medical 2014](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen_0809_Skin_TactileReceptors.png)". *WikiJournal of Medicine* 1 (2). DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 2002-4436 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen\\_0809\\_Skin\\_TactileReceptors.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen_0809_Skin_TactileReceptors.png)

# Predavanje: **Brain as processing machine**

- [http://www.ted.com/talks/michael\\_merzenich\\_on\\_the\\_elastic\\_brain.html](http://www.ted.com/talks/michael_merzenich_on_the_elastic_brain.html)
- <https://www.youtube.com/watch?v=It8SJQkseHE>



# Ostale zanimive povezave...

- [https://www.ted.com/talks/jeff\\_hawkins\\_how\\_brain\\_science\\_will\\_change\\_computing](https://www.ted.com/talks/jeff_hawkins_how_brain_science_will_change_computing)
- [https://www.ted.com/talks/dan\\_dennett\\_the\\_illusion\\_of\\_consciousness](https://www.ted.com/talks/dan_dennett_the_illusion_of_consciousness)
- Sergiu P. Pasca: How We're Reverse Engineering the Human Brain in the Lab | TED  
<https://youtu.be/ABmRCdnVq3E>
- [https://www.ted.com/talks/oliver\\_sacks\\_what\\_hallucination\\_reveals\\_about\\_our\\_minds](https://www.ted.com/talks/oliver_sacks_what_hallucination_reveals_about_our_minds)