

# Tjelesni osjeti

---

**Lučić, Mia**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:166:322467>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-19**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Science](#)



Sveučilište u Splitu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Odjel za biologiju

Završni rad

# **TJELESNI OSJETI**

Mentor: Prof. dr. sc. Mate Šantić

Student: Mia Lučić

Split, 2022.

## Temeljna dokumentacijska kartica

Sveučilište u Splitu

Završni rad

Prirodoslovno-matematički fakultet

Odjel za biologiju

Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

### Tjelesni osjeti

Mia Lučić

### SAŽETAK

Osjetni receptori zamjećuju i reagiraju na podražaje iz okoline, kao što su bol, dodir, hladnoća, toplina, svjetlost i zvuk. Pet je vrsta osjetnih receptora: mehanoreceptori, termoreceptori, nociceptori, kemoreceptori i elektromagnetski receptori. Različite modalitete osjeta živčana vlakna različitim brzinama prenose u određene dijelove središnje živčanog sustava. Somatska osjetila prikupljaju informacije iz cijelog tijela i šalju informacije do središnjeg živčanog sustava. Dijele se na mehanoreceptivna, termoreceptivna, ekstrareceptivna i proprioceptivna somatska osjetila. Ovisno o vrsti podražaja informacije putuju ili sustavom dorzalna kolumna - medijalni lemnisk ili anterolateralnim sustavom.

**Ključne riječi:** osjetni receptori, podražaj, signal, potencijal, živčana vlakna

Rad je pohranjen u knjižnici Prirodoslovno – matematičkog fakulteta u Splitu

**Rad sadrži:** 17 stranica, 4 grafička prikaza, 2 tablice i 5 literarnih navoda. Izvornik je na hrvatskom jeziku

**Mentor:** Prof.dr.sc. Mate Šantić

**Ocjenjivači:** Prof.dr.sc. Mate Šantić

Izv.prof.dr.sc. Elma Vuko

Izv.prof.dr.sc. Biljana Apostolska

## Basic documentation card

University of Split  
Thesis

B. Sc.

Faculty of Science

Department of Biology

Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia

### Physical senses

Mia Lučić

Sensory receptors detect and respond to environmental stimuli such as pain, touch, cold, heat, light and sound. There are five types of sensory receptors: mechanoreceptors, thermoreceptors, nociceptors, chemoreceptors and electromagnetic receptors. Different modalities of nerve fiber sensation are transmitted to central nervous system with different velocities. The somatic senses collect information from the whole body and send information to the central nervous system. They are divided into mechanoreceptive, thermoreceptive, extrareceptive and proprioceptive somatic senses. Depending on the type of stimulus, information travels either through dorsal column – medial lemniscus system or through the anterolateral system.

**Key words:** Sensory receptors, stimulus, signal, potential, nerve fiber

Thesis deposited in library of Faculty of Science, University of Split

**Thesis consists of :** 17 pages, 4 graphic figures, 2 tables and 5 references. Original Language : Croatian

**Supervisor:** Ph.D. Mate Šantić, *Professor*

**Reviewers:** Ph.D. Mate Šantić, *Professor*

Ph.D. Elma Vuko, *Associate Professor*

Ph.D. Biljana Apostolska, *Associate Professor*

## IZJAVA

Kojom izjavljujem punom i moralnom odgovornošću da sam završni rad s naslovom „**Tjelesni osjeti**“ izradila samostalno pod voditeljstvom prof.dr.sc. Mate Šantića. U radu sam primijenila metodologiju znanstvenoistraživačkog rada i koristila literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući navela u završnom radu na uobičajen, standardan način citirala sam i povezala fusnotama s korištenim bibliografskim jedinicama. Rad je pisan u duhu hrvatskog jezika.

Ovaj rad, izrađen u Splitu 2022. godine pod mentorstvom prof.dr.sc. Mate Šantića, predan je na ocjenjivanje Odjelu za biologiju Prirodoslovno – matematičkog fakulteta Sveučilišta u Splitu radi stjecanja zvanja prvostupnice Biologije.

## ZAHVALA

*Mentoru, prof.dr.sc. Mati Šantiću, veliko hvala na potpori, neiscrpnom razumijevanju, pomoći i strpljenju.*

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Cilj rada</b>	<b>1</b>
<b>2. RAZRADA TEME</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Osjetni receptor</b>	<b>2</b>
<b>2.1.1. Receptorski potencijal</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2. Prilagodba receptora</b>	<b>3</b>
<b>2.1.3. Živčana vlakna</b>	<b>5</b>
<b>2.1.4. Prostorna i vremenska sumacija</b>	<b>6</b>
<b>2.1.5. Prijenos i obrada signala u neuronskim skupinama</b>	<b>6</b>
<b>2.1.6. Ekscitacija ili facilitacija</b>	<b>8</b>
<b>2.1.7. Divergencija i konvergencija signala</b>	<b>8</b>
<b>2.2. Somatska osjetila</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1. Opip</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2. Prijenos somatskih signala u središnji živčani sustav</b>	<b>11</b>
<b>2.2.3. Sustav Dorzalna kolumna- medijalni lemnisk</b>	<b>12</b>
<b>2.2.4. Prijenos grubih osjetnih signala anterolateralnim putem</b>	<b>14</b>
<b>3. SAŽETAK</b>	<b>15</b>
<b>4. LITERATURA</b>	<b>17</b>



## **1. UVOD**

Svijest čovjeka o okolini i podražajima koji dolaze iz okoliša omogućena je pretvorbom energije podražaja najprije u receptorske potencijale, a zatim u akcijske potencijale u živčanim vlaknima. Zapažanje signala koji nastaju unutar našega tijela ili u okolišu koji nas okružuje omogućeno je složenim sustavom osjetnih receptora koji zamjećuju osjetne podražaje kao što su dodir, zvuk, svjetlost, bol, hladnoća i toplina. Osjetilni sustav dio je živčanog sustava koji se sastoji od receptora koji primaju podražaje okoline, živčanih puteva koji provode informacije od receptora do mozga, te dijelova mozga koji analiziraju te informacije. U ovom radu pobliže ću opisati kako živčani impulsi putuju kroz živčani sustav i što je sve potrebno da bi osjetili nekakav podražaj, te što ga čini takvim kakvim ga percipiramo (Vander i sur., 1990).

### **1.1. CILJ RADA :**

Cilj ovoga rada je opisati na koji način živčani sustav zajedno sa različitim receptorima odgovara na podražaje iz okoline. Pobliže objasniti kako različite vrste receptora odgovaraju i šalju signale, različitim sustavima do pojedinih dijelova mozga, ovisno o vrsti podražaja.

## **2. RAZRADA TEME**

### **2.1. OSJETNI RECEPTORI**

Na signale nastale unutar ljudskog tijela ili u okolišu reagiraju osjetni receptori. Oni zamjećuju podražaje, kao što su bol, dodir, hladnoća, toplina, svjetlost i zvuk. Postoji pet različitih vrsta osjetnih receptora: a) mehanoreceptori (zamjećuju mehaničko pritiskanje ili istežanje samog receptora ili tkiva koje ga okružuje), b) termoreceptori (registriraju promjene u temperaturi – neki reagiraju na hladnoću, a neki na toplinu), c) nociceptori (reagiraju na oštećenje tkiva, rezultirajući osjetom boli), d) elektromagnetski receptori (nalaze se u mrežnici i reagiraju na svjetlost) te e) kemoreceptori (okus, miris te ostale faktore koji se odnose na kemijski sastav određenog dijela tijela) (Guyton i Hall, 2012).

Svaka vrsta receptora osjetljiva je na onaj oblik podražaja kojemu je namijenjena. U pravilu, receptori uopće neće reagirati na druge oblike osjetnih podražaja, svaki služi svojoj jedinstvenoj svrsi. Ovu pojavu nazivamo razlikovna osjetljivost receptora, te se njome opisuje visoka specijaliziranost svakog receptora. Smatra se da nije moguće da receptor kao što je kemoreceptor primi toplinski, ili mehanički podražaj, kao što nije vjerojatno da bi termoreceptor mogao registrirati svjetlost ili osmolarnost neke tjelesne tekućine; nociceptor neće reagirati na umjereni pritisak na tkivo, tj. na invazivniji taktilni podražaj, ali u trenutku kada taj isti pritisak postane prejak i počne oštećivati tkivo, on će se aktivirati i manifestirati kao bol, jer reagira na oštećenje, koje je samo po sebi novi, odvojeni podražaj (Bern i Levy, 1993).

Vrste osjeta koju tijelo doživljava – na primjer bol, dodir, vid, sluh, i dr. nazivaju se modalitetima osjeta. Različite modalitete osjeta živčana vlakna prenose impulsima u središnji živčani sustav – vrsta osjeta koju će tijelo doživjeti nakon podražaja ovisi o ciljnoj lokaciji završetka živčanog vlakna u samom središnjem sustavu. Svako vlakno je specijalizirano za određeni osjet – podraženo vlakno za dodir rezultira osjetom dodira bez obzira na vrstu podražaja, zbog ciljne lokacije u mozgu koja je specijalizirana za registriranje dodira. Drugim riječima, živčana vlakna posjeduju jedinstveno svojstvo za prenošenje samo jednog modaliteta osjeta, koje nazivamo načelom obilježene crte (Guyton i Hall, 2012).

### **2.1.1. Receptorski potencijal**

Što se događa nakon što podražaj aktivira receptor? Što zapravo *znači* primiti podražaj? Prvenstveno, znači da se stanje električnog membranskog potencijala na receptoru mijenja, te se stvara ono što nazivamo receptorskim potencijalom. Postoje različiti načini na koji se pojedini receptori mogu aktivirati. Četiri su osnovna: a) mehanička deformacija receptora (mijenja se oblik membrane te se otvaraju ionski kanali), b) djelovanje određene kemijske tvari (otvaraju se ionski kanali), c) utjecaj na temperaturu membrane (mijenja se stupanj propusnosti membrane) i d) djelovanje elektromagnetskog zračenja (mijenja svojstva receptorske membrane). Način podraživanja ovisi o vrsti receptora, iako je osnovni uzrok promjene membranskog potencijala promjena propusnosti receptorske membrane. Najvažnija stvar u kontekstu stvaranja receptorskog potencijala je difuzija iona kroz membranu, ili sprječavanje iste – što uvjetuje mijene u transmembranskom potencijalu (Guyton i Hall, 2012).

Membrana postaje maksimalno propusnom za natrijeve ione kada promjena napona iznosi 100 mV. Taj iznos odgovara maksimalnoj amplitudi većine potencijala osjetnih receptora, kao i maksimalnom naponu akcijskih potencijala. Doduše, toliki napon receptorskog potencijala, tj. njihova razlika se u pravilu ne dostiže, ukoliko nije u pitanju iznimno velika jakost osjetnog podražaja.

Akcijski potencijal se javlja u živčanim vlaknima, i to onima koji su priključeni podraženom receptoru, u slučaju kada se receptorski potencijal poveća iznad razine potrebne za pobuđivanje akcijskih potencijala. Što je receptorski potencijal više iznad te određene razine, to je učestalost samih akcijskih potencijala veća (Randall i sur., 2002).

### **2.1.2. Prilagodba receptora**

Što se događa s receptorom koji je podvrgnut kontinuiranom podražaju? Odgovara li kontinuirani podražaj i kontinuiranom stvaranju impulsa?

Naime, svi osjetni receptori dijele jedno zajedničko obilježje – a to je prilagodba na kontinuirane podražaje. U početku će receptor reagirati s velikom učestalošću impulsa, ali nakon nekog vremena će se ona početi postupno smanjivati, sve dok akcijski potencijali ne postanu sporadični, ili u nekim slučajevima potpuno nestanu. Bez obzira na to što svi receptori imaju ovo svojstvo, brzina prilagodbe nije ista za svaku vrstu receptora. Određeni receptori se

počnu prilagođavati gotovo trenutno, primjerice receptori koji okružuju korijen dlake, dok će se mišićna vretena adaptirati na kontinuirani podražaj nešto sporije. Kao i brzina, intenzitet prilagodbe različit je za različite receptore. Pacinijeva tjelešca se prilagođavaju do potpunog prestanka slanja impulsa za nekoliko stotinki, dok se neki drugi mehanoreceptori prilagođavaju satima ili danima. Pretpostavlja se da se neki receptori nikada u potpunosti ne prilagode, kao što su nociceptori, ali to je slučaj u kojem takva pojava ima svoju vrlo jasnu svrhu (Guyton i Hall, 2012).

Kao što je priroda receptora varijabilna, varijabilni su i mehanizmi kojima se oni adaptiraju na podražaj. Za sve mehanoreceptore najvjerojatnije vrijedi mehanizam koji je uočen kod najbolje istraženih Pacinijevih tjelešaca, a koncipiran je od dva segmenta. Prvi, tzv. brzi se tiče preraspodjele tekućine unutar tjelešca (ono je viskozno-elastične strukture) unutar nekoliko stotinki sekunde od trenutka prvotnog nastupanja podražaja, što blokira daljnje nastajanje receptorskog potencijala nakon njegovog prvotnog stvaranja. Drugi segment, onaj sporiji, naziva se akomodacija, te se odvija u živčanom vlaknu, a pretpostavlja se da se događa zbog inaktivacije natrijskih kanala u membrani samog vlakna – tok natrijevih iona kroz kanale rezultira njihovim zatvaranjem.

Koliko se receptori brzo ili sporo prilagođavaju uvelike ovisi o njihovoj funkciji. Već spomenuti receptori za bol se sporo prilagođavaju jer je njihova svrha obavještanje centralnog živčanog sustava o oštećenju tkiva, te bi potpuna prilagodba na takav podražaj mogla biti fatalna, ukoliko bi se dogodila. Na isti način funkcioniraju i receptori iz mišićnih vretena, jer je iznimno važno da mozak u svakom trenutku zna kakvo je stanje stezanja mišića, kao i baroreceptori u truncusu brachiocephalicusu – jer je neophodno da CNS u svakom trenutku dobije informacije o tlaku na tom području krvotoka. Ovakvi receptori mogu prenositi isti intenzitet informacije tijekom više sati, ili čak dana, te ih nazivamo toničnim receptorima. Fazni receptori, tj. receptori za brzinu su oni koji se brzo prilagođavaju – točnije, stimulirani su samo prilikom promjene jakosti podražaja. Primjer je za ovakav receptor opet Pacinijevo tjelešce, koje prenosi signal u samome trenutku taktalnog pritiska, i u njegovom uklanjanju. Između ta 2 događaja, ono ne prenosi nikakav signal, iako pritisak može biti stanje koje traje određeno vrijeme. Zanimljivost vezana za ove receptore je da imaju sposobnost „predviđanja“ – omogućuju osjet za doseg nekog pokreta u određenoj jedinici vremena, ili položaj određenog dijela tijela u određenom trenutku. Na ovaj način živčani sustav ima potpunu svijest o položaju i brzini kretanja tijela u svakom trenu, što omogućava korekcije istih te prevenciju ozljeda (Moyes i Shulte, 2008).

### 2.1.3. Živčana vlakna

Kao što je prethodno spomenuto, živčana vlakna su, kao i receptori, specijalizirana za određene vrste podražaja. U pravilu, nije svejedno kako i kojom se brzinom signali prenose. Neki se signali moraju u središnji živčani sustav, ili iz njega na periferiju, prenijeti brzo, dok se drugi mogu prenositi sporo. Brzina prenošenja signala ovisi o promjeru živčanog vlakna – što je veći, i brzina provođenja je veća. Promjer živčanog vlakna kreće se između 0,5 i 20 mikrometara, dok je raspon brzine provođenja signala između 0,5 i 120 metara u sekundi (Vander i sur., 1990).

Općenito, živčana vlakna dijelimo na vlakna vrste A i vrste C. Vlakna vrste A dalje se dijele na vlakna alfa, beta, gama i delta (Tablica 1).

	VLAKNA VRSTE A	VLAKNA VRSTE C
Mijelinska ovojnica	Mijelinizirana	Nemijelinizirana
Promjer	Debela i srednje debljine (1-20 um)	Tanka (0,5-2,0 um)
Brzina provođenja	Brzo (6-20 m/s)	Sporo (0,5-2,0 m/s)

*Tablica 1: Opća podjela živčanih vlakana*

Podjela kojom se služe fiziolozi koji istražuju osjete malo je razrađenija, te uzima u obzir kategorije iz opće podjele, ali uz određene dodatne čimbenike.

Skupina Ia – vlakna iz anulospiralnih završetaka mišićnih vretena (prosječan promjer oko 17 um; vlakna A-alfa).

Skupina Ib – vlakna iz Golgijevih tetivnih organa (prosječan promjer oko 16 um; vlakna A-alfa).

Skupina II – vlakna iz većine kožnih receptora za fini dodir te iz završetaka nalik na rascvjetale grančice u mišićnim vretenima (prosječan promjer oko 8 um; prema općoj podjeli vlakna A-beta i A-gama).

Skupina III – vlakna koja prenose osjet temperature, grubog dodira i boli poput bockanja (prosječan promjer oko 3 um; vlakna A-delta).

Skupina IV – nemijelinizirana vlakna koja prenose osjet boli, svrbeži, temperature i gruboga dodira (promjer 0,5-2 um; vlakna C) (Guyton i Hall, 2012).

#### **2.1.4. Prostorna i vremenska sumacija**

Osnovna značajka signala koji se prenosi je njegova jakost. Jako je važno prenijeti signal na način da se očuva, te vjerno prikaže njegov stvarni intenzitet. Postoje dva načina da se prenese informacija o jakosti signala – prvi je način ovisan o broju usporednih vlakana te se zove prostorna sumacija, dok je drugi ovisan o broju akcijskih potencijala prenesenih jednim vlaknom, koji se zove vremenska sumacija.

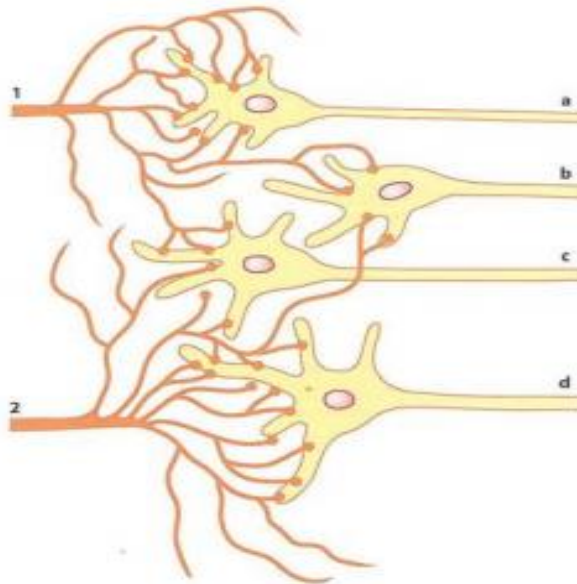
Prostorna sumacija je pojava kod koje se sve veća jakost signala prenosi pomoću sve većeg broja vlakana. Primjerice, određeno područje na koži inervirano je velikim brojem usporednih vlakana za bol, od kojih se svako grana na mnogo živčanih završetaka – nocireptora. Područje koje „pripada“ jednom vlaknu može biti veliko i do 5 cm u promjer te se naziva receptivnim poljem tog vlakna. Završetci su koncentrirani u sredini, dok ih prema periferiji ima sve manje, ali se receptivna polja različitih vlakana međusobno preklapaju te na takav način će se jaki podražaj „rasporediti“ preko većeg broja receptora. Što je on jači, više će živčanih završetaka obuhvatiti.

Drugi način prijenosa signala veće jakosti naziva se vremenskom sumacijom te označava povećanje učestalosti živčanih impulsa u svakome vlaknu (Bern i Levy, 1993).

#### **2.1.5. Prijenos i analiza signala u neuronskim skupinama**

U središnjem živčanom sustavu nalazi se iznimno velika količina skupina neurona, po nekima čak i milijuni. Neke su skupine brojnije, neke manje brojne – cijela kora velikog mozga, ili dorzalni dio sive tvari kralježnične moždine mogli bi se smatrati zasebnim ogromnim skupinama – dok se u nekima nalazi samo pojedini bazalni ganglij, ili specifične jezgre tvorbi kao što je talamus, ili mali mozak. Svaka je skupina osebujna sama za sebe s posebnim ustrojstvom i načinom obrade signala – na takav se način osigurava efikasnost prilikom

zajedničkog obavljanja različitih funkcija živčanog sustava – ali ima i određene sličnosti s drugima.



*Slika 1: Neuronska skupina (Guyton I Hall, 2012)*

Neuronska skupina sastoji se od ulaznih ( aferentnih) i izlaznih ( eferentnih) vlakana (Slika 1). Ulazno vlakno se grana na mnoštvo završnih vlakanaca i protežu se do tijela i dendrita neurona kojima pripadaju izlazna vlakna, i s njima tvore sinapse. Ti dendriti se također granaju i obuhvaćaju široko područje (na stotine i tisuće mikrometara). Površina kojoj će jedno ulazno živčano vlakno prenijeti podražaj naziva se stimulacijskim poljem tog vlakna. Ulazno vlakno će tvoriti više sinapsi s neuronom koji mu je bliži, nego s onim koji mu je udaljeniji (Guyton i Hall, 2012).

### **2.1.6. Ekscitacija ili facilitacija**

Jedinstveni ekscitacijski presinaptički završetak sam od sebe neće potaknuti stvaranje akcijskog potencijala u postsinaptičkom neuronu – mora ih biti više, i moraju podraživati isti postsinaptički neuron, istovremeno ili u neposrednom slijedu. Da bi došlo do ekscitacije, neuron mora podražiti puno presinaptičkih završetaka, i to dovoljno da se prijeđe ekscitacijski prag, što rezultira akcijskim potencijalom i daljnjim prenošenjem signala. Područje u kojem određeno ulazno vlakno podražuje sve neurone naziva se zonom ekscitacije (zonom okidanja ili liminalnom zonom). Ukoliko na neuron postoji prijenos podražaja koji ne prelazi prag, drugim riječima preslab je, ali se svejedno odvija pražnjenje presinaptičkih završetaka, neće doći do stvaranja akcijskog potencijala. Takav događaj zovemo facilitacija – neće doći do stvaranja akcijskog potencijala i prijenosa signala, ali će ti neuroni biti podražljiviji za signale koji dolaze iz drugih vlakana. Facilitirani neuroni nalaze se oko liminalne zone, udaljeniji od ulaznog vlakna u zoni koja se naziva subliminalna ili zona facilitacije. Postoje i ulazna živčana vlakna koja ne ekscitiraju neurone, nego ih inhibiraju, te se zone u kojima su oni koncentrirani nazivaju zonama inhibicije (Guyton i Hall, 2012).

### **2.1.7. Divergencija i konvergencija signala**

Divergencija signala je pojava kojom označavamo prenošenje signala iz jednog koncentriranog izvora na veliki broj ciljnih istovjetnih stanica – primjerice, jedna piramidalna stanica moždane kore može pobuditi tisuće mišićnih vretena (amplifikacijski oblik divergencije); ili na nekoliko različitih putova, primjerice osjetni signal koji se prekopčava u talamusu te putuje u dublje dijelove talamusa, kao i u veliki mozak (divergencija u više tračaka).

Konvergencija bi bila divergenciji suprotna pojava, gdje se veći broj signala iz ulaznih neurona spaja u sustav koji će podražiti jedinstveni neuron. Ulazni signali mogu konvergirati iz jednog izvora, ili iz više njih. Kada konvergiraju iz jednog izvora, prostornom sumacijom postiže se podražaj neurona, što inače ne bi bilo moguće, jer akcijski potencijali iz živčanih završetaka nisu dovoljni da samostalno podraže neuron. Konvergirajući iz više izvora postiže se zbrajanje informacija različite prirode (Bern i Levy, 1993).



## 2.2. SOMATSKA OSJETILA

Somatska osjetila, za razliku od specijalnih osjetila, su živčani mehanizmi koji prikupljaju informacije iz cijelog tijela. Njihova osnovna podjela je na mehanoreceptivna somatska osjetila (opip, položaj), termoreceptivna te osjetilo za bol. Također se mogu podijeliti i na ekstrareceptivne osjete (one koji dolaze s površine tijela), propioceptivne (kao što su položaj i tetivni i mišićni osjeti), visceralne (koji dolaze iz unutarnjih organa) te duboke osjete (koji obuhvaćaju duboki tlak, bol i vibraciju koji dolaze iz fascija, mišića i kostiju) (Vander i sur.,1990).

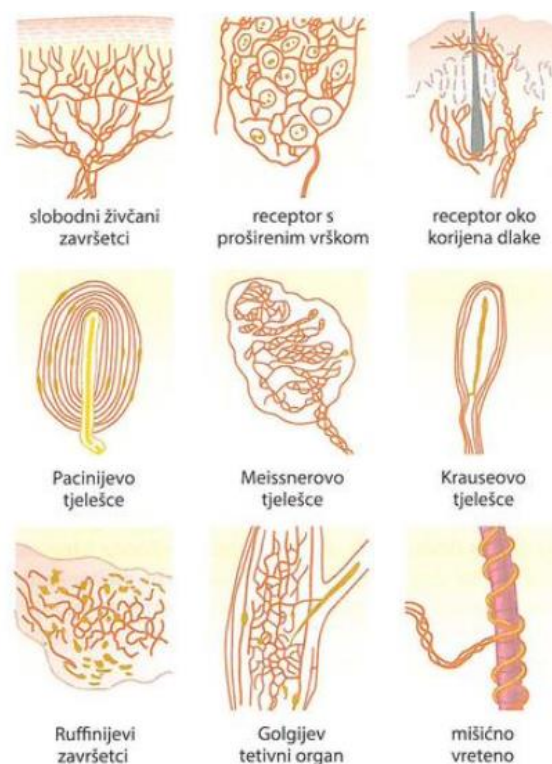
### 2.2.1. Opip

U taktilna osjetila ubrajamo osjetila za dodir, tlak, vibraciju i šakljanje. Dodir, tlak i vibracija zamjećuju se istom vrstom receptora. Ono što je među njima različito je što se osjet za dodir javlja podraživanjem receptora na površini kože ili direktno ispod nje, dok će se osjet za tlak javiti kada su podraženi receptori u dubljim tkivima – osjet vibracije je svojevrsna „kombinacija“ prethodnih dvoje, jer ga stvara brzo ponavljajući osjetni signal koji u isto vrijeme podražuje receptore za dodir i za tlak.

Šest je osnovnih vrsta receptora za opip. Prvi, najjednostavniji su slobodni živčani završetci koji su posvuda u koži i drugim tkivima, a mogu zamjećivati dodir, i tlak. Slijede Meissnerova tjelešca, koji služe registriranju dodira velike osjetljivosti – građom su elongirani završetci debelih mijeliniziranih osjetnih živčanih vlakana vrste A-beta, koji u svojim čahurama imaju mnoštvo živčanih završetaka. Ona se nalaze u koži bez dlačica, kao što su vrhovi prstiju i usne, te se na podražaj prilagođavaju u djeliću sekunde, a funkcija im je prostorna lokalizacija osjeta dodira. U tkivima s mnoštvom Meissnerovih tjelešaca nalazi se i velik broj treće skupine receptora za opip, a to su opipni receptori s proširenim vrškom. Najpoznatija podvrsta ovih receptora su tzv. Merkelove ploče. Njihova specijalizacija je prenošenje jakog signala koji se s vremenom prilagođava, sve dok ne prijeđe u trajan slabi signal, koji će se sporo prilagođavati – drugim riječima, njihova funkcija je registriranje prolongiranog dodira na koži. Kada se Merkelove ploče nalaze u skupinama, tvore zasebne receptorske organe koje nazivamo Iggov receptor u obliku svoda. Tako je nazvan radi izbočenja epitela koje nastaje iznad njega. Cijeli Iggov receptor inervira jedno debelo mijelinizirano živčano vlakno vrste A-beta, što je jedna od dvije značajke koje dijele s Meissnerovim tjelešcima – druga je njihova uloga u lokalizaciji

osjeta dodira na specifičnim površinama tijela, kao i prepoznavanje građe objekta koji koža dodiruje. Četvrti tip receptora su – dlake. Korijen svake dlake obavlja živčano vlakno – sama dlaka zajedno sa živčanim vlaknom je brzo-prilagodljivi receptor za dodir koji nazivamo završnim organom dlake. Funkcijom je sličan Meissnerovim tjelešcima. U dubljim slojevima kože i unutarnjim tkivima nalazi se peti tip receptora, zvanih Ruffinijevi završni organi. Oni su sporo-prilagodljivi, učajureni živčani završetci koji obavještavaju CNS o trajnim deformacijama tkiva. Neposredno ispod kože nalazi se finalni, šesti tip – dobro poznata Pacinijeva tjelešca. Oni se podražuju naglim pritiskom ograničene površine kože, te jako dobro zamjećuju vibracije ili promjene mehaničkog stanja tkiva (Guyton i Hall, 2012).

Meissnerova tjelešca, Iggovi receptori u obliku svoda, završni organ dlake, Pacinijeva tjelešca i Ruffinijevi završetci su svi u korelaciji sa živčanim vlaknima vrste A-beta, koji će signal prenijeti brzinom od 30 do 70 m/s. Za razliku od njih, opipni receptori u obliku slobodnih živčanih završetaka ih šalju tankim mijeliniziranim vlaknima, onima tipa A-delta, te će brzina slanja biti između 5 i 30 m/s. Postoje i receptori koji signal šalju vlaknima vrste C, znači jako sporo, između 0,5 i 2 m/s, ti se najvjerojatnije odnose na osjet škakljanja (Slika 2).



*Slika 2: Različite vrste somatskih osjetnih živčanih završetaka (Guyton i Hall, 2012)*

Oni osjetni signali za koje je ključna preciznost prilikom zamjećivanja moraju se prenositi osjetnim živčanim vlaknima brze vodljivosti. To su lokalizacija, stupnjevanje jakosti podražaja

i zamjećivanje promjena jakosti u podražaju. Za signale poput tlaka ili škakljanja nije takav slučaj, jer su to tzv. grublje vrste signala, pa se prenose tankim vlaknima (Guyton i Hall, 2012).

## 2.2.2 Prijenos somatskih signala u središnji živčani sustav

Dva su osjetna puta kojima se osjetni signali provode od mjesta ulaska u moždinu, stražnjih korijenova spinalnih živaca (Tablica 2). Prvi se naziva sustav dorzalna kolumna-medijalni lemnisk, kojim se signal prenosi „gornjim“ putem u produženu moždinu, preko dorzalnih kolumni kraljeznične moždine. U ovom sustavu odvija se sinaptičko prekopčavanje te signali prelaze na drugu stranu produžene moždine, i onda odlaze medijalnim lemniskom kroz moždano deblo u talamus. Ovaj se sustav sastoji od debelih mijeliniziranih živčanih vlakana, čija je brzina prenošenja signala 30 do 110 m/s. Njihov prostorni raspored visoko je organiziran.

Drugi sustav naziva se anterolateralni sustav, a njegovi signali se direktno iz kraljezničke moždine prekopčavaju u stražnjim rogovima sive tvari. Nakon toga se penju prednjim i lateralnim (bijelim) kolumnama, naposljetku završavajući u donjem dijelu moždanog debla, i u talamusu. Vlakna koja prenose signale u ovom sustavu su tanka i mijelinizirana, te se brzine prenošenja kreću do 40 m/s, i nisu pretjerano organizirano raspoređena. Posebnost ovog sustava je to što ima sposobnost prenošenja razičitih modaliteta osjeta – boli, temperature te grubih osjeta opipa (Bern i Levy. 1993)

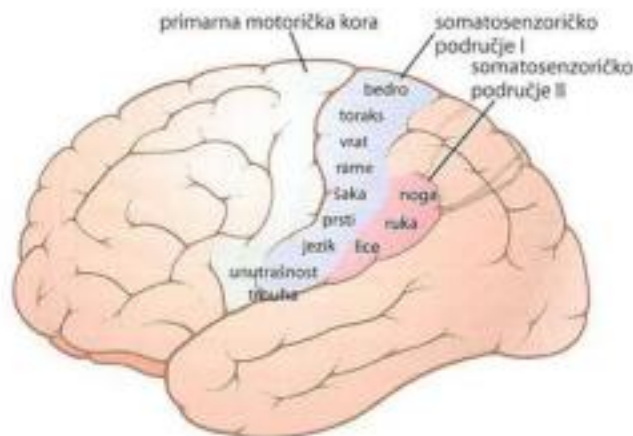
SUSTAV DORZALNA KOLUMNA-MEDIJALNI LEMNISK	ANTEROLATERALNI SUSTAV
Osjeti dodira za koje je potreban visok stupanj lokalizacije podražaja	Bol
Osjeti dodira koji zahtijevaju prijenos finog stupnjevanja jakosti	Temperatura
Fazni osjeti (vibracija)	Grubi dodir i tlak (gruba lokalizacija)
Osjeti koji registriraju pomicanje po koži	Škakljanje
Osjeti položaja iz zglobova	Svrbež
Osjeti tlaka s finom procjenom jakosti tlaka	Spolni osjeti

*Tablica 2: Sustavi za prijenos somatskih sigala u CNS*

### 2.2.3 Sustav DORZALNA KOLUMNA-MEDIJALNI LEMNISK

Iz specijaliziranih mehanoreceptora, debela mijelinizirana vlakna ulaze u kralježničnu moždinu stražnjim korijenovima spinalnih živaca. Ona se tu podijele na medijalnu i lateralnu granu. Put medijalne grane je takav da dorzalnom kolumnom putuje do mozga, dok lateralna grana ulazi u sivu tvar kralježnične moždine i dijeli se na živčane završetke, koji onda tvore sinapse s njenim lokaliziranim neuronima. Funkcije tih neurona su: slanje signala vlaknima kroz dorzalne kolumne moždine prema mozgu, poticanje lokalnih spinalnih refleksa i slanje informacija spinocerebelarnim traktovima do malog mozga (Bern i Levy, 1993).

U dorzalnoj kolumni, živčana se vlakna penju bez prekopčavanja do dorzalnog dijela produžene moždine, gdje s neuronima *n. cuneatus* i *n. gracilis* tvore sinapse. Iz tog kompleksa izlaze neuroni drugog reda i prelaze na drugu stranu moždanog debla, pa se medijalnim lemniscima kreću do talamusa. Svakom medijalnom lemnisku priključuju se i dodatna vlakna na tom putu, koja imaju u glavenom području funkciju osjeta kakvu imaju vlakna dorzalne kolumne. U talamusu završavaju vlakna medijalnog lemniska, u području kojeg zovemo vetrobazalni kompleks, iz kojeg izlaze živčana vlakna trećeg reda koja putuju dalje u somatosenzoričko područje moždane kore (Guyton i Hall, 2012).

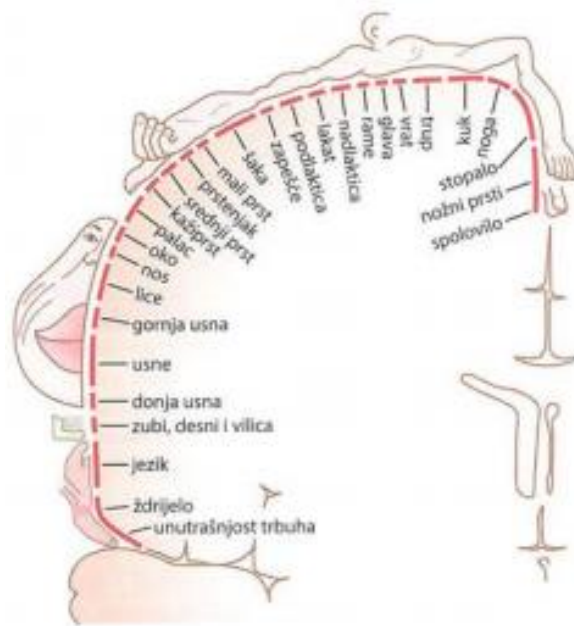


Slika 3: Somatosenzorička područja moždane kore I i II (Guyton i Hall, 2012)

U blizini središnje brazde na kori velikog mozga nalaze se područja vezana za somatosenzorički osjet (Slika 3). Generalno se obilježavaju kao somatosenzoričko područje I i somatosenzoričko područje II, i tiču se različitih djelova tijela. U somatosenzoričkom području I stupanj lokalizacije djelova tijela je visok, za razliku od somatosenzoričkog područja II. Zbog toga se

somatosenzoričko područje I često uzima kao važnije. Također o somatosenzoričkom području II ne zna se puno – poznato je da dosta signala dolazi iz susjednog somatosenzoričnog područja I te da su ona nužna za njegovu funkciju, dok obrnuto nije slučaj (Guyton i Hall, 2012).

Lokacija somatosenzoričkog područja I je postcentralna vijuga moždane kore. Svaka strana prima osjetne informacije gotovo isključivo iz suprotne strane tijela.



Slika 4: Presjek kroz mozak na razini postcentralne vijuge (Guyton i Hall, 2012)

Neka su područja tijela prostorno zastupljenija (usta), dok je za neke rezervirano jako malo površine na kori (Slika 4). Veličina područja rezerviranog za određeni dio tijela proporcionalna je količini živčanih završetaka na njemu. Sama kora velikog mozga može se podijeliti na šest slojeva, funkcionalno različitih jednih od drugih.

Funkcija somatosenzoričke kore I je: a) precizna lokalizacija osjeta na pojedinim djelovima tijela, b) prepoznavanje stupnja tlaka koji utječe na tijelo, c) procjena težine i oblika predmeta te građu materijala (Moyes i Shulte, 2008).

#### **2.2.4. Prijenos grubih osjetnih signala ANTEROLATERALNIM putem**

Kao što je već napomenuto, uz pojam anterolateralni put ne veže se visok stupanj lokalizacije niti razlikovanja jakosti podražaja, nego njima suprotni, grubi osjetni signali. Takvi su, primjerice – bol, temperatura, grubi dodir te škakljanje, svrbež i spolni osjeti.

Vlakna koja pripadaju ovom sustavu dio su primarno lamina I, IV, V, i VI u stražnjim rogovima sive tvari kralježnične moždine. Unutar njih se nalaze krajevi velikog broja osjetnih živčanih vlakana stražnjih korijenova, nakon njihovog ulaska u moždinu. Vlakna koja će sudjelovati u ovom putu se križaju u prednjoj komisuri moždine nakon čega ulaze u prednju i lateralnu bijelu kolumnu – odande će se prednjim i spinotalamičnim traktom uputiti uzbrdo, prema mozgu. Svaki trakt ima dvije potencijalne sudbine – ili će završiti u retikularnim jezgrama moždanog debla, ili u talamičnim jezgrama (ventrobazalni kompleks i intralaminarne jezgre). U ventrobazalnom kompleksu susreću se anterolateralni taktilni signali i oni koji se prenose dorzalnom kolumnom – nakon čega će se zajedno prenijeti u somatosenzoričku koru.

Za razliku od puta dorzalna kolumna-medijalni lemnisk, brzina prijenosa signala anterolateralnim putem je relativno spora – dva do tri puta manja u odnosu na put dorzalna kolumna-medijalni lemnisk. Već je spomenuto da se ovim putem ne prenose lokalizirani signali, niti je precizno određivanje stupnja jakosti signala (Vander i sur., 1990) (Guyton i Hall, 2012).

## 2. SAŽETAK

Različite vrste osjetnih receptora – mehanoreceptori, termoreceptori, nociceptori, kemoreceptori i elektromagnetski receptori reagiraju na podražaje iz okoliša. Razlikovna osjetljivost receptora opisuje visoku specijaliziranost svakog receptora na točno određen, tom receptoru svojstven podražaj. Živčana vlakna prenose različite modalitete osjeta u središnji živčani sustav. Receptori se aktiviraju na različite načine, mehaničkom deformacijom receptora, djelovanjem kemijske tvari, utjecajem temperature ili djelovanjem elektromagnetskog zračenja. Promjena propusnosti receptorske membrane uzrokuje promjene membranskog potencijala. Svi osjetni receptori prilagođavaju se na kontinuirane podražaje. Brzina prilagodbe nije ista za svaku vrstu receptora, neki se krenu prilagođavati gotovo odmah, dok nekima treba više vremena. Koliko se receptori brzo ili sporo prilagođavaju ovisi o njihovoj funkciji. Živčana vlakna također su specijalizirana za određene vrste podražaja. Neki signali se prenose brzo, drugi sporo, a sama brzina prenošenja ovisi o promjeru živčanog vlakna. Prostorna sumacija prenosi signal načinom koji je ovisan o broju usporednih vlakana, vremenska sumacija način je prenošenja ovisan o broju akcijskih potencijala prenesenih jednim vlaknom. Živčani sustav sadrži mnogobrojne neuronske skupine koje se sastoje od aferentnih i eferentni vlakana. Da bi određeni neuron bio ekscitiran, mora podražiti puno presinaptičkih završetaka, dovoljno jako da se pređe ekscitacijski prag koji dovodi do akcijskih potencijala i daljnjeg prenošenja signala. Ukoliko ne dođe do prelaska praga, ali svejedno dođe do pražnjenja pražnjenja presinaptičkih završetaka, akcijski potencijali se ne stvaraju i taj događaj nazivamo facilitacija. Divergencija i konvergencija signala su međusobno suprotne pojave, koje govore o prenošenju signala iz jednog izvora na veliki broj ciljnih istovjetnih stanica ili obratno. Za razliku od specijalnih osjetila, somatska osjetila su živčani mehanizmi koji prikupljaju informacije iz cijelog tijela. Osjetila za dodir, tlak, vibraciju i šakljanje spadaju u taktilna osjetila i postoji 6 osnovnih vrsta receptora koji primaju podražaje opipa. Slobodni živčani završetci zamjećuju dodir i tlak, a nalaze se posvuda u koži i drugim tkivima. Meissnerova tjelešca registriraju na dodire visoke osjetljivosti i nalaze se u tkivima zajedno s opipnim receptorima s proširenim vrškom, koji služe prenošenju jakog signala koji se s vremenom prilagođava. Četvrti tip receptori su dlake, gdje je svaki korijen obavijen živčanim vlaknom. Ruffinijevi završni organi nalaze se u dubljim slojevima kože i obavještavaju CNS o trajnim deformacijama tkiva. Paccinijeva tjelešca, nalaze se neposredno ispod kože i podražuje ih nagli pritisak, jako dobro zamjećuju vibracije i mehaničke promjene stanja tkiva. Osjetni signali provode se putem dva osjetna sustava od mjesta ulaska u moždinu. Sustav dorzalna kolumna – medijalni lemnisk sastoji se od debelih mijeliziranih živčani vlakana i prenosi osjete dodira za

koje potreban visok stupanj lokalizacije podražaja, koji zahtijevaju prijenos finog stupnjevanja jakosti, fazne osjete, osjete položaja zglobova i osjete tlaka s finom procjenom jakosti tlaka. Anterolateralni sustav tankim mijeliniziranim vlaknima prenosi različite modalitete osjeta boli, temperature i grubih osjeta opipa.



### 3. LITERATURA

1. R.M. Berne, M.N. Levy (1993.), Fiziologija, 2. izdanje, Medicinska naklada, Zagreb
2. A.C. Guyton i J.E. Hall (2012.): Medicinska fiziologija, 12. izdanje, Medicinska naklada, Zagreb, poglavlje 47 i 48.
3. C.O. Moyes, P.M. Shulte (2008.): Principles of Animal Physiology, 2. izdanje, poglavlje 6, str. 250.
4. D. Randall, W. Bruggen, K. French (2002.): „Eckert Animal Physiology – mechanisms and adaptations “ 5. izdanje
5. A.J. Vander, D.S. Luciano, J.H. Sherman (1990.): Human Physiology: The Mechanisms of Body Function, 7. izdanje, poglavlje 9, str. 219.