

MIŠIĆNO TKIVO

Mišićno tkivo specijalizirano je za mišićnu kontrakciju. Proces mišićne kontrakcije moguć je zbog prisustva tzv. kontraktilnih proteina - **aktina** i **miozina**, koji se nalaze unutar citoplazme mišićnih stanica. Aktinska proteinska vlakna mogu mijenjati svoj položaj u odnosu na miozinska vlakna što rezultira promjenom dužine samih mišićnih stanica. To svojstvo se naziva **kontraktilnost**. Uz kontraktilnost kao glavnu značajku, bitna svojstva mišićnog tkiva su i **podražljivost**, **izdužljivost** i **elastičnost**.

Mišićno tkivo čini i do 40% tjelesne težine sisavaca. Razvija se iz mezoderma embrija i sastoji se od visokospecijaliziranih kontraktilnih stanica ili vlakana koje na okupu drži vezivno tkivo. Nakon diferencijacije, mišićne stanice se ne mogu dijeliti (regenerirati) tako da u slučaju ozljede mišićnog tkiva nastalu brazgotinu ispunjava vezivno tkivo, a na kraju zacjeljivanja rane na tom mjestu ostaje ožiljak. Stanična membrana mišićnih stanica se naziva **sarkolema**, citoplazma **sarkoplazma**, a glatka endoplazmatska mrežica (retikulum) **sarkoplazmatski retikulum**.

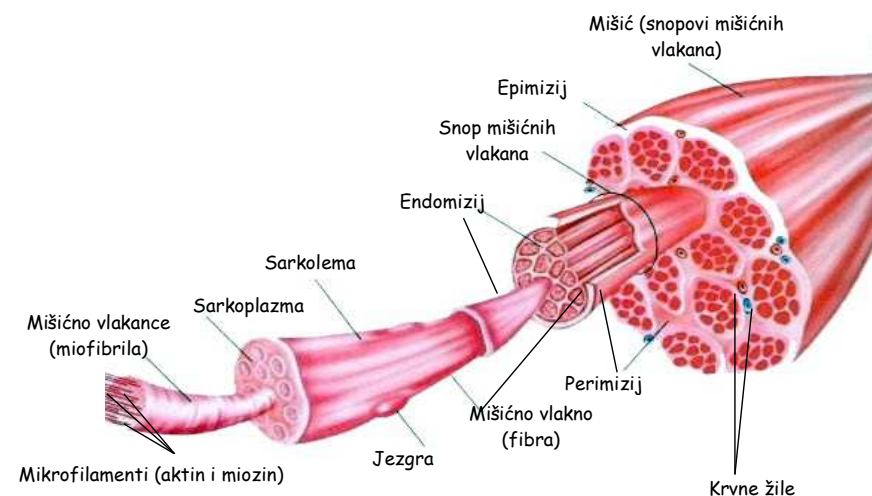
Ovisno o građi, funkcionalnim osobitostima i načinu inervacije razlikujemo skeletno, srčano i glatko mišićno tkivo.

1. SKELETNO MIŠIĆNO TKIVO

Skeletno mišićno tkivo čini glavninu mišićne mase tijela, vezano je za kostur i omogućava kretanje tijela. Kontrakcija skeletnog mišićnog tkiva je brza, snažna i pod kontrolom vlastite volje.

Poprečno-prugasti skeletni mišić (npr. mišić nadlaktice, Slike 1 i 4) građen je od **više snopova mišićnih vlakana** i obavijen je ovojnicom vezivnog tkiva koja se naziva **epimizij**. Svaki snop mišićnih vlakana unutar mišića odijeljen je vezivnom ovojnicom, **perimizijem**, a sastoji se od većeg broja **mišićnih vlakana** (lat. **miofibra**). Svako mišićno vlakno unutar snopa obavijeno je **endomizijem**, vezivnom ovojnicom. U skeletnom mišićnom tkivu nisu vidljive pojedinačne stanice jer tijekom embrionalnog razvoja dolazi do stapanja velikog broja mišićnih stanica u jedinstvenu masu citoplazme sa mnogim jezgrama, što se naziva **sincicij**. Jezgre poprečno-prugastog skeletnog mišićnog tkiva

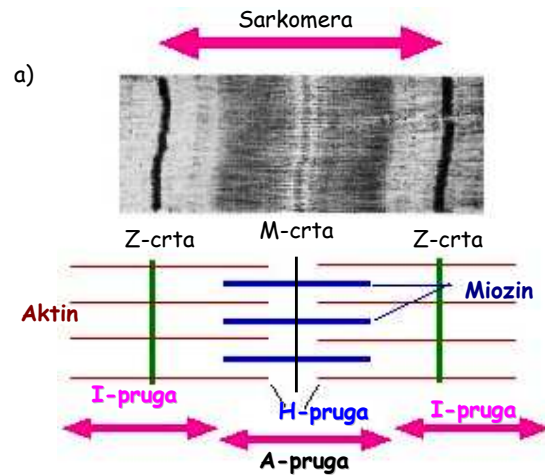
potisnute su prema sarkolemi, a glavninu sarkoplazme ispunjavaju dugi cilindrični snopovi filamenata koji se nazivaju **mišićna vlakanca (miofibrile)**. Njih čine tanje niti **aktina (mikrofilamenti, elementi citoskeleta)** i **miozina** (deblje niti, motorički protein) koji se protežu usporedno s uzdužnom osi mišićnog vlakna. Miofibrile okružuje splet finih endomembranskih cisterni odnosno sarkoplazmatski retikulum u kojem su pohranjeni ioni kalcija neophodni za mišićnu kontrakciju.



Slika 1. Građa skeletnog mišićnog tkiva.

Na uzdužnom presjeku eozinom obojenih mišićnih vlakana, svjetlosnim se mikroskopom može uočiti optička pojava poprečne ispruganosti, tj. da se duž mišićnih vlakana izmjenjuju tamne i svijetle pruge (Slika 4a). Tamnije pruge su područja preklapanja niti aktina i miozina koja propuštaju manje svjetlosti te se stoga nazivaju anizotropne ili **A-pruge**, dok su svjetlija područja tzv. izotropne ili **I-pruge**. To su područja na kojem se nalaze samo niti aktina te propuštaju više svjetlosnih zraka. Elektronskim mikroskopom se može vidjeti da je svaka I-pruga uzdužno podijeljena na dva dijela tamnom poprečnom, **Z-crtom** (od njem. *Zwischenscheibe*, međuploča). Najmanji funkcionalni odsječak mišićnog vlakna, **sarkomera**, proteže se između dviju susjednih Z-crta. Područje na kojem se nalaze samo niti miozina propušta nešto više

svjetlosti, pa stvara prugu (tzv. **H-pruga**, njem. *hell*, svijetli) koja je tamnija od aktinskog područja i svjetlija od područja preklapanja aktina i miozina. U sredini H-pruge je **M-crta** (njem. *Mittel*-središnji), područje postraničnih spojeva susjednih niti



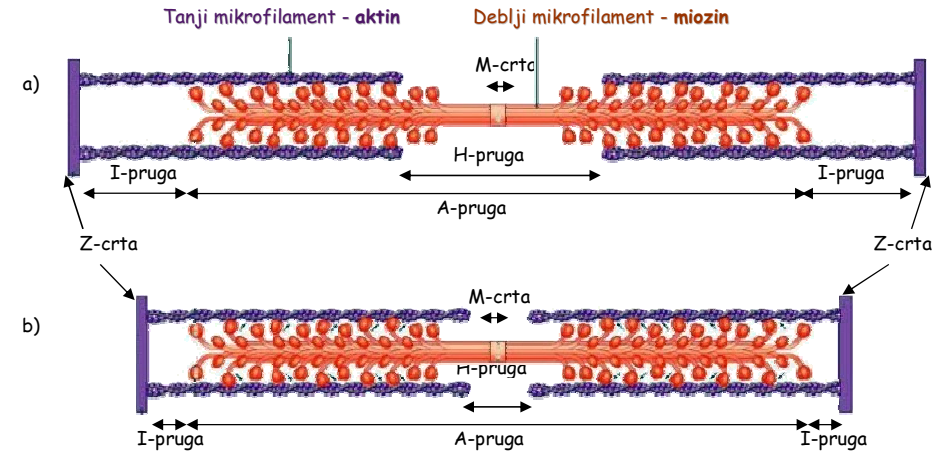
mikrofilamenata aktina i miozina unutar sarkomere.

MIŠIĆNA KONTRAKCIJA

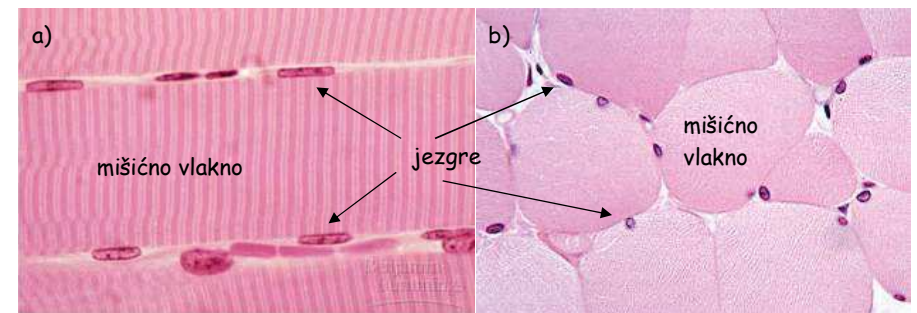
Najmanji funkcionalni odsječak mišićnog vlakanca je **sarkomera**. Prilikom kontrakcije mišića dolazi do skraćivanja sarkomera (Slika 3). Ioni kalcija otpušteni iz sarkoplazmatske mrežice uzrokuju otkrivanje veznih mjesta za miozin na aktinu. Tako se ručice miozina vežu za aktinske filamente i vuku ih prema središtu sarkomere. Osim toga, miozinski filamenti imaju enzimsku ulogu i sudjeluju u cijepanju (hidrolizi) ATP-a čime se osigurava energija potrebna za mišićnu kontrakciju. Dakle, tijekom mišićne kontrakcije, filamenti aktina i miozina međusobno kližu, zbog čega se I-pruga (aktinsko područje u sarkomeri) skraćuje, a H-pruga (miozinsko područje u sarkomeri) gotovo potpuno iščezava.

miozina. Upravo takva građa jedne sarkomere omogućuje mišićnu kontrakciju. Naravno, jedno mišićno vlakance sastoji se od niza sarkomera. Na Slici 2. uočite svaku od ovih zona.

Slika 2. Sarkomera - jedinica mišićne kontrakcije u relaksiranom stanju. a) mikroskopska slika; b) shematski prikaz



Slika 3. Shematski prikaz sarkomere prilikom kontrakcije; a) relaksirano stanje; b) kontrahirano stanje.



Slika 4. Svjetlosnomikroskopska slika a) uzdužnog i b) poprečnog presjeka kroz skeletni mišić. 700x

Zadatak 1: Promatranje skeletnog mišićnog tkiva.

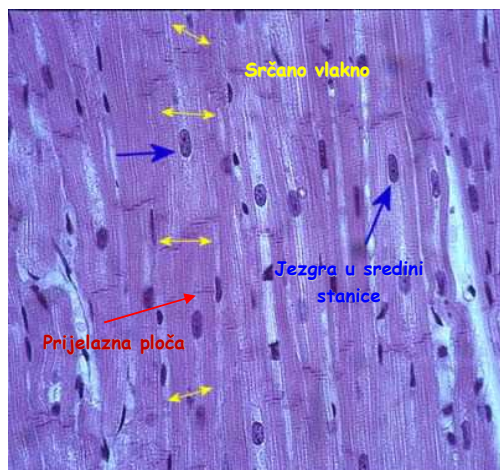
Na trajnom preparatu pogledajte skeletno mišićno tkivo. Nacrtajte detalj uzdužnog i poprečnog presjeka i označite:

- periferno smještene jezgre
- mišićno vlakno (fibra)
- vezivno tkivo (endomizij)
- poprečna ispruganost
- sarkolema
- sarkoplazma

2. SRČANO MIŠIĆNO TKIVO

Srčano mišićno tkivo (Slika 5) također je poprečno isprugano, a nalazi se samo u srcu. Slično je skeletnom mišićnom tkivu, uz sljedeće bitne razlike:

- Mišićna vlakna su razgranjena i umrežena, pa mogu podnijeti trajne kontrakcije.
- Mišićna vlakna sastoje se od pojedinačnih stanica, koje su međusobno spojene **prijelaznim pločama** (mjesto dodira membrana dviju susjednih srčanih mišićnih stanica u nizu). Zahvaljujući prijelaznim pločama moguć je prijenos impulsa s vlakna na vlakno, te je zbog toga rad srca koordiniran.
- Jezgra unutar svake stanice nije potisnuta uz samu sarkolemu, već se nalazi u sredini stanice.
- Kontrakcija srčanog mišićnog tkiva je bez utjecaja volje, snažna i ritmična.



Slika 5. Svjetlosnomikroskopska slika uzdužnog presjeka kroz srčano mišićno tkivo. $\times 700$

- Poprečna ispruganost postoji, ali je slabije izražena nego kod skeletnog mišićja.

Zadatak 2: Promatranje srčanog mišićnog tkiva.

Na trajnom preparatu pogledajte srčano mišićno tkivo. Nacrtajte detalj uzdužnog i poprečnog presjeka. Na slikama naznačite:

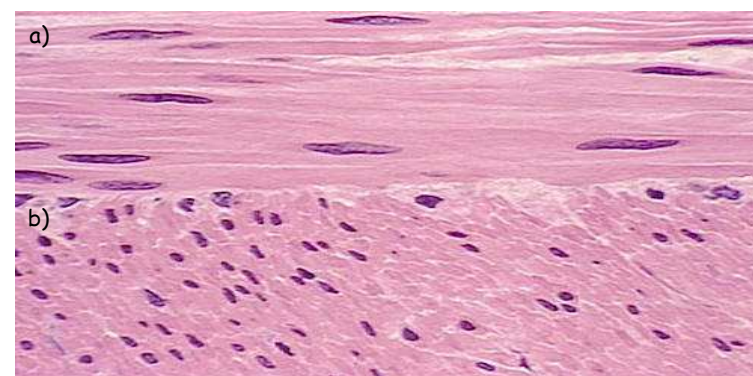
- centralno smještena jezgra
- endomizij
- mišićna stanica
- sarkolema

- razgranato mišićno vlakno (miofibrila) - umreženost mišićnih vlakana
- poprečna ispruganost
- prijelazna ploča

3. GLATKO MIŠIĆNO TKIVO

Glatko mišićno tkivo (Slika 6) sastoji se od snopova vretenastih stanica koje pod svjetlosnim mikroskopom ne pokazuju poprečnu ispruganost. Stanice se nazivaju **miociti** i u sredini svake stanice vidljiva je jezgra. Stanice leže usporedno jedna uz drugu, i to tako da tanki dio jedne stanice leži uz deblji dio druge stanice. Između razmaknutih stanica prolaze nježni snopovi vezivnih vlakana (endomizij). Kontrakcija stanica glatkog mišićnog tkiva je polagana, slabijeg intenziteta nego kod poprečno prugastog mišićnog tkiva, ali duže traje. Nije pod kontrolom vlastite volje.

Glatko mišićno tkivo nalazi se u sastavu «šupljih» organa kao što su želudac ili mjehur, te maternica. Glatki mišići održavaju i mijenjaju napetost (tonus) tih organa, a ujedno omogućavaju pokretanje materijala kroz cjevaste organe (primjerice, pomicanje hrane kroz probavni sustav, a u krvnim žilama kontrakcija dovodi do povećanja krvnog tlaka). Glatki se mišići također nalaze i u koži, odnosno na mjestima gdje okružuju izlaze egzokrinih žlijezdi i folikule iz kojih izrastaju kosa i dlake.



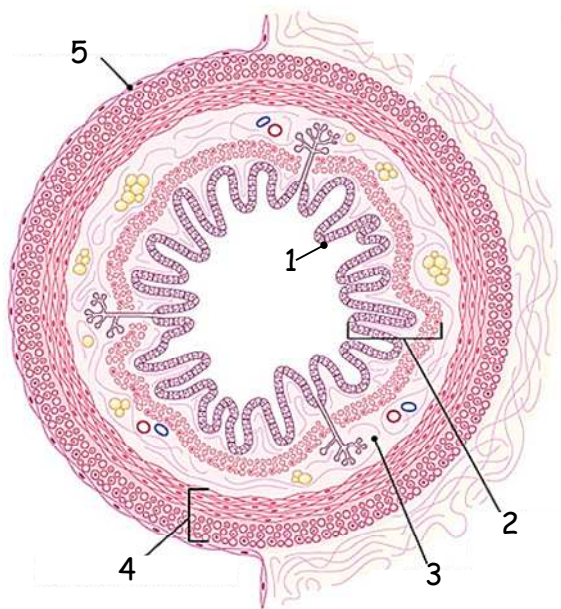
Slika 6. Svjetlosnomikroskopska slika a) uzdužnog i b) poprečnog presjeka kroz glatko mišićno tkivo. $\times 700$

Zadatak 3. Promatranje glatkog mišićnog tkiva na poprečnom presjeku tankog crijeva.

U stijenci crijeva (Slika 7) nalaze se dva sloja glatkih mišićnih stanica: unutrašnji (kružni) i vanjski (uzdužni). Zbog toga se, na istom preparatu, glatke mišićne stanice (miociti) mogu vidjeti presječene poprečno (miociti uzdužnog sloja) i uzdužno (miociti kružnog sloja).

Na trajnom preparatu pogledajte glatko mišićno tkivo. Nacrtajte detalj poprečnog presjeka tankog crijeva uzdužnog i poprečnog presjeka i označite:

- vretenasta mišićna stanica (miocit)
- centralno smještena jezgra
- sarkolema
- sarkoplazma



Slika 7. Shematski prikaz poprečnog presjeka tankog crijeva. 1) jednoslojni cilindrični epitel; 2) lamina proprija i mišićni sloj sluznice; 3) podsluznica (submukoza; gušće vezivno tkivo, limfne i krvne žile, živčani splet); 4) unutrašnji (kružni) sloj i vanjski (uzdužni) sloj glatkog mišićnog tkiva; 5) seroza (rahlo vezivno tkivo, krvne i limfne žile, jednoslojni pločasti epitel).

ŽIVČANO TKIVO

Živčano tkivo služi za primanje, prijenos, obradu i pohranu podražaja iz okoline i tijela. Živčano tkivo raspoređeno je po cijelom tijelu kao složena isprepletana komunikacijska mreža. Anatomske se živčani sustav dijeli na **središnji živčani sustav** (mozak i leđna moždina) i **periferni živčani sustav** (živčana vlakna i nakupine živčanih stanica, **gangliji**).

Živčano tkivo je građeno od dvije vrste stanica:

1. **Živčane stanice** ili **neuroni**
2. **Glija-stanice** ili **neuroglija**

Uz gore navedene stanice, živčano tkivo sadrži osjetilne (receptorske) stanice i često je obavijeno prokrvljenim vezivnim tkivom. Između neurona i glija-stanica nalazi se malo međustaničnog prostora (za razliku od razmještaja stanica u vezivnom tkivu).

1. ŽIVČANE STANICE (NEURONI)

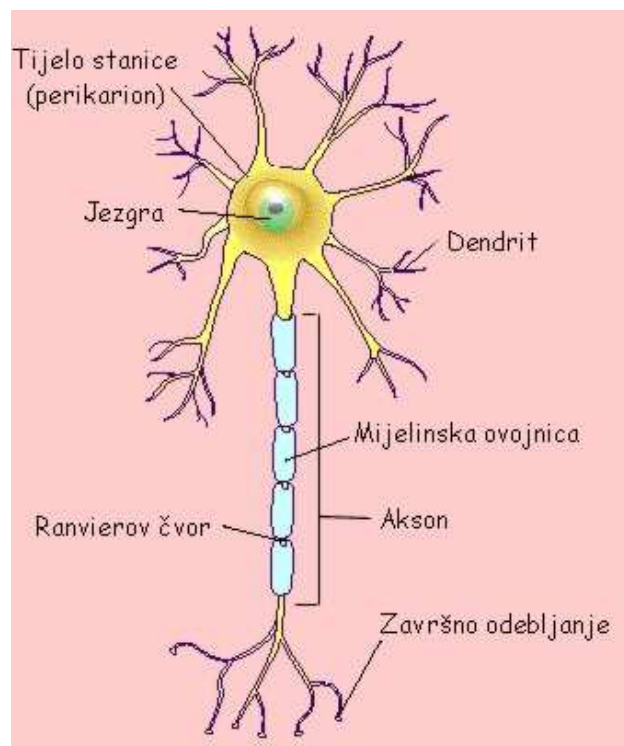
Neuroni su osnovne funkcionalne jedinice živčanog sustava. Oni primaju, prenose i obrađuju podražaje te potiču odgovarajuće odgovore na podražaj. Služe za komunikaciju između **receptora** (stanica ili organa koji primaju podražaj, kao što su osjetne stanice u koži) i **efektora** (tkiva ili organa koji odgovaraju na podražaj, kao što su mišići ili žlijezde). Gusti su i međusobno povezani te imaju brojne izdanke. U ljudskom mozgu ih ima oko 10^{10} . Neuroni vrlo brzo odgovaraju na promjene u okolišu (podražaje ili **stimuluse**) mijenjajući razliku električnog potencijala koja postoji između unutrašnje i vanjske površine njihovih membrana. Stanice s takvim svojstvom (tj. neuroni, mišićne i neke žlijezdane stanice) nazivaju se **podražljivim** ili **iritabilnim**. Podražaj može biti ograničen na mjesto na kojem je djelovao ili se može proširiti membranom kroz cijeli neuron. Širenje podražaja kroz neuron vrši se pomoću električnog impulsa nastalog promjenom električnog potencijala membrane neurona zvanom **akcijski potencijal** ili **živčani impuls**. Signal se tako prenosi na druge neurone, mišiće i žlijezde.

Većina neurona se sastoji tri dijela (Slika 8):

1. **Tijelo stanice (perikarion** ili **soma**), sadrži jezgru i većinu staničnih organela u citoplazmi.

2. Iz tijela stanice se proteže različit broj kratkih citoplazmatskih nastavaka, **dendrita**, koji služe za primanje podražaja iz okoliša ili od drugih stanica. Dendriti provode impulse prema tijelu stanice. Granaju se u fine završne (terminalne) ogranke.

3. Iz tijela stanice izlazi i duži citoplazmatski nastavak, **akson** ili **neurit** (**živčano vlakno**), koji služi za prijenos živčanog impulsa od perikariona na druge stanice (živčane, mišićne ili žljezdane). Može biti dug i nekoliko metara. Akson je obavijen ovojnicama koje grade posebni tipovi glija stanica. U perifernom živčanom sustavu ovojnicu živčanog vlakna grade **Schwannove stanice** (u središnjem živčanom sustavu **oligodendrociti**), važne za održavanje i regeneraciju neurona. Ponegdje Schwannove stanice obaviju akson u više slojeva stvarajući lipoproteinsku tvar **mijelin** te za takvo živčano vlakno kažemo da je **mijelinizirano**. Mijelinska ovojnica izolira akson i ubrzava prijenos živčanog signala. Duž vlakna, mijelinska se ovojnica mjestimice sužuje tvoreći



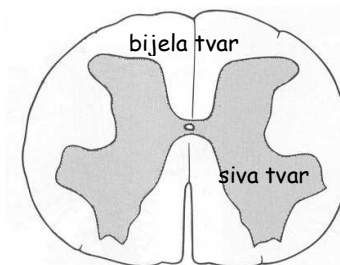
Slika 8. Shematski prikaz živčane stanice (neurona).

dodirnog područja između dva neurona ili neurona i efektorske stanice (mišićna ili žljezdana stanica). U završnim odebljanjima nalaze se tzv. **sinaptički mjehurići (vezikule)** koji sadrže glasničke molekule **neurotransmitera** (acetil-kolin, noradrenalin itd.) za prijenos živčanog signala preko sinapse. Dvije stanice povezane sinapsom nisu u fizičkom kontaktu, pa se između njih nalazi **sinaptička pukotina**. Dolaskom akcijskog potencijala do završnog razgranjenja, posredovanjem iona kalcija sinaptički se mjehurići stapaju s membranom prvog neurona (presinaptička membrana) i otpuštaju neurotransmitere u sinaptičku pukotinu. Dolaskom do membrane drugog neurona (postsinaptička membrana) neurotransmiteri stvaraju podražaj koji se drugim neuronom ponovo prenosi električnim impulsom. Neurotransmiteri se u sinaptičkoj pukotini vrlo brzo razgrađuju (ili resorbiraju natrag u prvi neuron) kako ne bi stalno stvarali podražaj na sinapsi. Mogu pojačavati ili utišavati živčani signal.

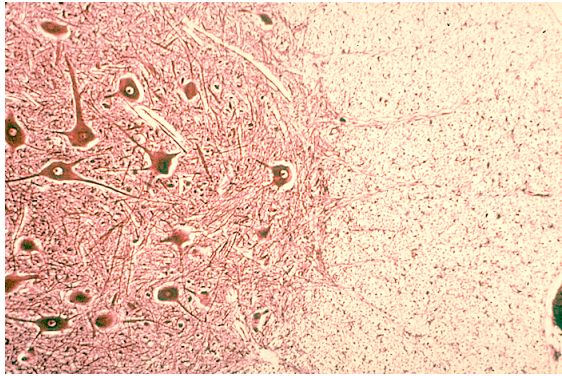
2. NEUROGLIJA (GLIJA-STANICE)

Neuroglija stanice stvaraju mijelin te imaju hranidbenu, zaštitnu, potpornu i obnavljajuću ulogu u živčanom tkivu, a posredno, stvarajući mijelinsku ovojnicu, sudjeluju i u prijenosu živčanog signala. Procjenjuje se da u središnjem živčanom sustavu ima 10 puta više glija-stanica nego neurona. Međutim, budući da su te stanice mnogo manje od neurona, zauzimaju samo polovinu ukupnog volumena živčanog sustava. Različite vrste neuroglija stanica razlikuju se morfološki i funkcionalno.

Mozak i leđna moždina sastoje se od dva tipa živčanog tkiva koje se, zbog prisutnosti odnosno odsutnosti mijelina, nazivaju **bijela i siva tvar** (Slika 9). Bijela tvar sadrži neuroglija stanice te mijelizirana živčana vlakna. Bijele je boje zbog prisutnosti **mijelina** koji obavija većinu nastavaka neurona. Siva sadržava pretežno tijela živčanih stanica i neurogliju. (Slika 10).



Slika 9. Shematski prikaz poprečnog presjeka leđne moždine.



Slika 10. Siva i bijela tvar leđne moždine.

Snopove živčanih vlakana obložene vezivnim tkivom koji prenose živčani signal nazivamo **živicima**. Prema funkciji, živci se mogu podijeliti na:

1. **Aferentne, senzorne ili osjetilne** živce koji primaju osjetilne podražaje iz okoliša i

unutrašnjosti tijela te provode živčani signal *prema* središnjem živčanom sustavu (mozak i leđna moždina).

2. **Eferentne ili motoričke** živce koji provode živčani signal *od* središnjeg živčanog sustava i upravljaju efektorskim organima (mišići, egzokrine i endokrine žlijezde).

Interneuroni međusobno povezuju druge neurone i čine složene funkcionalne lance ili krugove između različitih živaca.

Zadatak 4: Promatranje živčanog tkiva na poprečnom presjeku leđne moždine.

Nacrtajte segment sive i segment bijele tvari leđne moždine i na crtežu označite sljedeće strukture:

- siva tvar
- bijela tvar
- glija stanice
- živčana vlakna
- živčane stanice (neuroni)