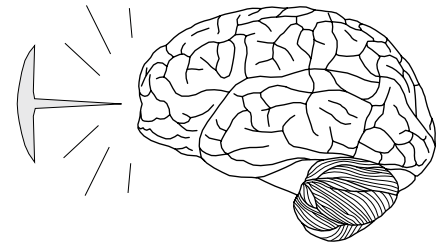
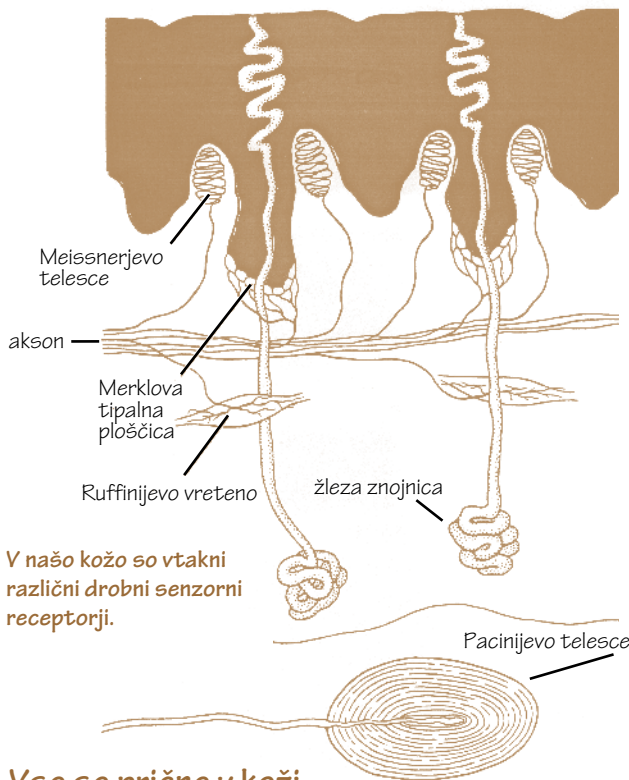


# Tip in bolečina



Tip je nekaj posebnega – stisk roke, poljub, krst. Omogoča nam prvi stik s svetom. Receptorji so uglašeni na različne vidike somatosenzornega sveta (na dotik, temperaturo in položaj telesa), drugi receptorji pa so uglašeni na zaznavo bolečine. Vzdolž telesa je moč razlikovanja zelo različna. Na nekaterih predelih, kot so konice prstov, je občutljivost odlična. Pri aktivnem preiskovanju okolja s tipanjem je pomembna povezava z motoričnim sistemom. Bolečina nas opozarja na grozečo ali dejansko okvaro našega telesa. Ima močan čustveni vpliv in je podrejena učinkovitim mehanizmom nadzora.



V našo kožo so vtakni različni drobni senzorni receptorji.

## Vse se prične v koži

V dermalnih plasteh kože, pod površjem, so vtakane različne vrste drobnih receptorjev, ki zaznavajo različne vidike tipa. Imenujejo se po znanstvenikih, ki so jih prvi opazili pod mikroskopom – **Pacinijeva** in **Meissnerjeva** telesca, **Merklove** tipalne ploščice in **Ruffinijeva** vretena. Vsi receptorji imajo ionske kanalčke, ki se odprejo v odgovor na mehanično deformacijo in sprožijo akcijske potenciale, ki jih lahko eksperimentalno beležimo s tankimi elektrodami. Pred nekaj leti so znanstveniki na sebi naredili nekaj osupljivih eksperimentov. V svojo kožo so vstavili elektrode in beležili dogajanje v posameznih senzornih živcih. Iz takšnih in podobnih eksperimentov na anesteziranih živalih vemo, da se prva dva tipa receptorjev (Pacinijeva in Meissnerjeva

telesca) prilagajata hitro in se tako najbolje odzivata na hitro spreminjajoče se dražljaje (občutek **vibriranja** in **drhtenja**), Merklove tipalne ploščice se dobro odzivajo na dolgotrajne dražljaje na koži (občutek **pritiska**), medtem ko se Ruffinijeva vretena najbolje odzivajo na počasi spreminjajoči se dotik.

Pomemben koncept v povezavi s somatosenzoričnimi receptorji je **receptivno polje**, ki predstavlja del površine kože, v katerem se vsak posamezen receptor odziva. Pacinijeva telesca imajo veliko večja receptivna polja kot Meissnerjeva telesca. Ti in drugi receptorji omogočajo, da lahko občutimo dražljaje po celotni površini telesa. Ko receptorji zaznajo dražljaj, pošljejo impulze vzdolž senzornih živcev do zadajšnjih korenin spinalnih živcev v hrbtenjači. Aksoni, ki povezujejo receptorje za tip s hrbtenjačo, so debela mielinizirana vlakna. Ta prevajajo informacijo iz perifernih delov telesa proti možganski skorji (korteksu) zelo hitro. Mraz, toploto in bolečinske dražljaje zaznajo tanki aksoni, ki imajo „gole“ končiče (brez oblikovanih receptorjev). Ti informacijo prevajajo počasneje. Receptorji za temperaturo se lahko **adaptirajo** (glej okvirček z eksperimentom). Relejne postaje živčne poti za tip (kjer so sinapse s preklopi na nove nevrone) se nahajajo v hrbtenjači in talamusu, nato pa se informacije projicirajo v primarno senzorno področje možganske skorje, ki ga imenujemo **somatosenzorični korteks**. Živčne poti se križajo, tako da je desna stran telesa zastopana v levi hemisferi, leva stran telesa pa v desni hemisferi.



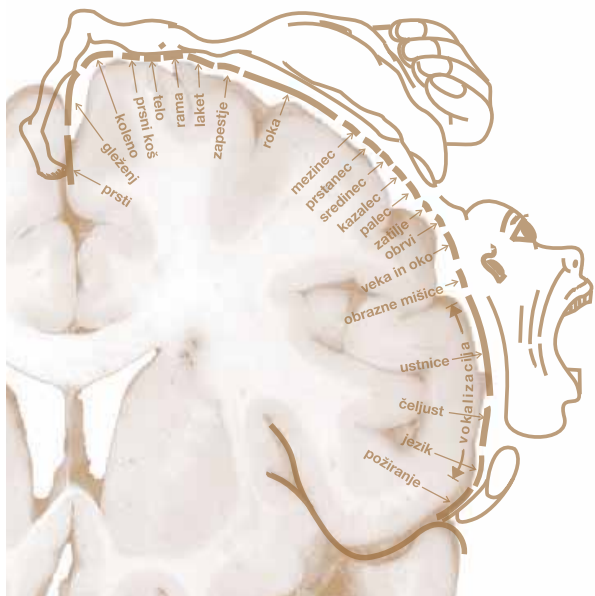
### Preizkus temperaturne adaptacije

Eksperiment je zelo preprost. Potrebujete približno en meter dolgo kovinsko palico (kot je na primer drog za brisačo) in dve vedri vode. Eno vedro naj ima precej vročo vodo, drugo pa čim bolj mrzlo vodo. Levo roko potopite v eno vedro, desno pa v drugo, v njih pa ju zadržite vsaj minuto. Potem vzemite roki iz vedra, ju zelo hitro posušite in zgrabite kovinsko palico. Čutili boste, kot da sta dva konca palice različne temperature. Zakaj?

Informacije iz telesa so sistematično razporejene vzdolž somatosenzorične možganske skorje tako, da **predstavljajo celotno površino telesa**. Nekateri deli telesa, kot so konice prstov in usta, imajo veliko gostoto receptorjev in skladno s tem tudi veliko število senzoričnih nevronov. Področja, kot je hrbet, imajo manjše število receptorjev in nevronov. Gostota nevronov je v somatosenzorični skorji povsod enaka. Zaradi

tega je prikaz površine telesa v skorji zelo popačen. Če bi senzorni **homunkulus** (kot ga včasih imenujemo) resnično obstajal, bi ga bilo zanimivo videti, saj bi bil s svojo enako gostoto senzornih receptorjev vzdolž telesa videti kot zelo popačena oseba.

S pomočjo **testa dvotočkovnega razlikovanja** lahko preverite različno občutljivost vzdolž svojega telesa. Upognite nekaj sponk za papir v obliko črke U, tako da bodo nekatere s konicami 2 - 3 centimetre narazen, nekatere pa manj. Na očeh imejte prevezo, prijatelj pa naj se vas s konicami sponke dotika po različnih delih telesa. Ali čutite eno konico ali dve? Ali včasih čutite eno konico, v resnici pa se vas dotika z dvema? Zakaj je tako?



Homunkulus. Vzdolž površine somatosenzorične skorje je prikazana slika človeka, ki je proporcionalna glede na to, koliko receptorjev prinaša informacijo v ta predel iz posameznih delov telesa. Zaradi tega je oblika popačena.

## Prefinjena moč razlikovanja

Sposobnost zaznati fine dražljaje se zelo razlikuje po različnih delih telesa ter je najbolj razvita v konicah prstov in ustnicah. Naša koža je dovolj občutljiva, da lahko prepoznamo izboklinico, ki je visoka manj kot stotinko milimetra – kar omogoča slepim, da berejo Braillovo pisavo. Eno izmed raziskovalnih področij se ukvarja z vprašanjem, kako različni tipi receptorjev prispevajo k nalogam, kot je na primer razlikovanje med teksturami ali prepoznavanje oblike objektov.

Tip ni pasivno čutilo, ki se odziva le na podane dražljaje, ampak sodeluje tudi pri **aktivnem nadzoru gibanja**. Nevroni, ki v motoričnem predelu možganske skorje kontrolirajo mišice za premikanje prstov, prejemajo senzorično informacijo iz senzoričnih receptorjev v konicah prstov. Bi lahko kako bolje zaznali predmet, ki nam polzi iz rok, kot ravno preko hitre komunikacije med senzoričnim in motoričnim sistemom? Navzkrižna komunikacija med senzoričnim in motoričnim sistemom se prične v hrbtenjači in vključuje propioceptivno povratno informacijo motoričnim nevronom, proces pa se potem nadaljuje na vseh ravneh somatosenzoričnega

sistema. Primarna senzorična in motorična skorja sta v možganih locirani ena poleg druge.

Za občutek tipa je bistveno **aktivno preiskovanje**.

Predstavlajte si, da poskušate razlikovati med finimi razlikami v teksturi, kot je na primer med različnimi vrstami materialov ali različnimi velikostmi zrn smirkovega papirja. V kateri od naštetih situacij menite, da lahko najbolj natančno prepoznavamo razlike:

- Če položimo konice prstov na vzorce?
- Če drsimo s konicami prstov čez vzorce?
- Če s pomočjo stroja drsijo vzorci čez naše konice prstov?

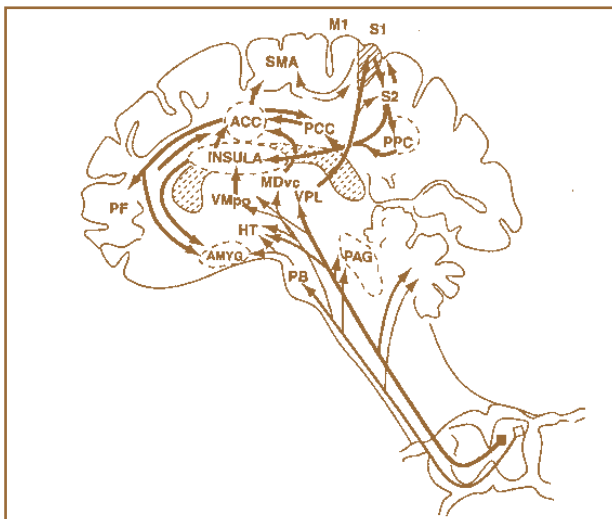
Rezultati takšnih vedenjskih eksperimentov nas vodijo do vprašanja, kje v možganih se analizira relevantna senzorična informacija. Funkcijsko možgansko slikanje kaže, da prepoznavanje tekstur ali objektov s pomočjo tipa vključuje različna področja skorje. Možgansko slikanje nam omogoča tudi razumevanje **kortikalne plastičnosti**, saj nam razkriva, da se lahko glede na izkušnje zemljevid telesa v somatosenzoričnem področju tudi spreminja. Tako imajo na primer slepi, ki berejo Braillovo pisavo, povečan predel, ki v možganski skorji predstavlja kazalec, ki ga uporabljajo za branje. Podobno imajo violinisti v skorji povečan predel, ki predstavlja prste leve roke.

## Bolečina

Čeprav jo velikokrat skupaj s tipom klasificirajo med čute kože, je bolečina pravzaprav funkcionalno drugačen sistem, pri čemer ima tudi precej drugačno anatomsko organizacijo. Njene glavne značilnosti so občutek neprijetnosti, različnost med posamezniki in presenetljiva značilnost, da nudi informacija, pridobljena iz receptorjev za bolečino, malo podatkov o naravi dražljaja (med bolečino zaradi odrgnine in zaradi pekoče koprive je le malo razlike). Antični Grki so imeli bolečino za čustvo in ne občutek.

S pomočjo snemanja električne aktivnosti posameznih živalskih senzoričnih vlaken so ugotovili, da ta kažejo odzive na dražljaje, ki povzročajo ali samo napovedujejo okvaro tkiva – na primer na močne mehanske dražljaje (kot je ščipanje), visoko vročino in raznolike kemične dražljaje. Vendar pa nam takšna vrsta eksperimentov ne pove veliko o subjektivnem doživljanju bolečine.

S pomočjo molekularnih bioloških tehnik so odkrili zgradbo in značilnosti velikega števila **nociceptorjev**. Med njimi so receptorji, ki se odzivajo na vročino nad 46 °C, na kislost tkiva in – presenetljivo – na aktivne sestavine pekočih feferonov. Čeprav obstajajo, genov za receptorje, ki se odzivajo na močne mehanske dražljaje, še niso identificirali. Na škodljive dražljaje se odzoveta dve vrsti perifernih dovodnih vlaken: relativno hitra mielizirana **vlakna Aδ** in zelo fina, počasna, nemielizirana **vlakna C**. Obe vrsti vlaken vstopata v hrbtenjačo, kjer se povezujeta z vrsto nevronov, ki posredujejo signal v možgansko skorjo. Signal potuje navzgor po dveh vzporednih poteh, pri čemer je ena odgovorna za lokalizacijo bolečine (podobna je poti za tip), druga pot pa je odgovorna za čustveni vidik bolečine.



Ascendentne poti bolečine, ki vodijo od področij hrbtenjače (na dnu slike) do različnih področij v možganskem deblu in skorji, med drugim v ACC (anteriorni cingulatni korteks) in v inzulo.

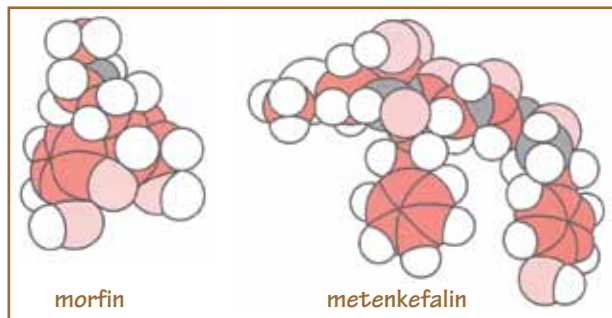
Po slednji poti se prenašajo signali v popolnoma drugačne predele kot je somatosenzorični del skorje, to je v **sprednjo (anteriorno) cingulatno skorjo** in **inzularno skorjo (inzulo)**. S pomočjo hipnoze in možganskega slikanja so eksperimentalno uspeli ločiti čisto zaznavo bolečega dražljaja od občutka neprijetnosti, ki ga ta izzove.

Preizkušanci so potopili roke v tako vročo vodo, da je povzročala bolečino. V hipnozi jim je bilo sugerirano, naj se zveča ali zmanjša intenziteta bolečine ali občutek neprijetnosti bolečine. S pomočjo pozitronske emisijske tomografije (PET) so ugotovili, da se je med spremembami intenzitete bolečine aktivirala somatosenzorična skorja, medtem ko je občutek neprijetnosti bolečine spremljala aktivacija v sprednji cingulatni skorji.

## Življenje brez bolečine?

Glede na to, da si velikokrat želimo, da bi se bolečini izognili (kot na primer pri zobozdravniku), si najverjetneje predstavljate, da bi bilo življenje brez bolečine odlično. Ampak ni tako. Ena izmed ključnih funkcij bolečine je namreč ta, da nam omogoča, da se naučimo, katerih situacij, ki povzročajo bolečino, se moramo izogibati. Akcijski potenciali v nociceptivnih živcih, ki nato nadaljujejo pot v hrbtenjačo, sprožijo avtomatične varovalne reflekse, kot je na primer refleks umika. Omogočajo nam tudi informacije o tem, katerih nevarnih ali ogrožajočih situacij se moramo izogibati.

Druga pomembna funkcija bolečine je zaviranje aktivnosti – počitek, ki omogoča zdravljenje poškodovanega tkiva. Seveda pa je v nekaterih situacijah pomembno, da aktivnost in reakcije (kot je bežanje) niso zavrte. Da bi lahko pravilno ravnali v takšnih situacijah, so se fiziološki mehanizmi razvili tako, da lahko bolečino zmanjšajo ali povečajo. Prvi, ki so ga odkrili, je bil mehanizem za regulacijo, ki sprošča **endogene analgetike**. V situacijah, kjer je možnost poškodbe velika (na primer vojak v bitki), je občutenje bolečine zmanjšano do presenetljive mere – domnevno prav zaradi sproščanja teh substanc. Poskusi na živalih so pokazali, da električna stimulacija možganskih področij (kot je periakveduktalna



sivina) s posredovanjem živčne projekcije iz mezencefalona v hrbtenjačo povzroči izrazit dvig praga bolečine.

V to dogajanje je vključenih veliko nevrotansmitorjev, med drugim tudi endogeni opiodi, kot je **metenkefalin**. Na receptorje, na katere delujejo endogeni opiodi, deluje tudi zaviralec bolečine **morfin**.

Nasproten pojav - povečanje bolečine - imenujemo **hiperalgezija**. Prag bolečine se pri tem pojavu zniža, poveča se intenzivnost bolečine, včasih pa se pojavi povečanje bolečega predela ali celo bolečina v odsotnosti škodljivega dražljaja. Hiperalgizija vključuje povečano občutljivost perifernih receptorjev in druge kompleksne pojave na različnih ravneh bolečinskih poti. Te vključujejo interakcijo kemično uravnavane ekscitacije in inhibicije. Hiperalgizija, kakršno ugotavljamo pri starih kronične bolečine, je posledica povečane ekscitacije in zmanjšane inhibicije. Vzrok za to se nahaja predvsem v spremembah odzivnosti nevronov, ki procesirajo senzorične informacije. Pomembne spremembe se zgodijo v molekularnih receptorjev, ki posredujejo aktivnost udeleženih nevrotansmitorjev. Kljub velikemu napredku pri razumevanju celičnih mehanizmov hiperalgizije, klinično zdravljenje kronične bolečine na žalost še ni ustrezno.

## Raziskovalna obzorja



Za lajšanje bolečine uporablja tradicionalna kitajska medicina „akupunkturo“. Oseba, ki pacienta zdravi, vstavi tanke iglice v kožo na točno določena mesta na telesu, imenovana meridiane, nato pa iglice vrtili ali tresje. Znano je, da akupunktura bolečino lajša, vendar nihče ne ve, kako.

Da bi ugotovili, kako akupunktura deluje, so pred štiridesetimi leti na Kitajskem odprli raziskovalni center. Raziskovalci so ugotovili, da električna stimulacija z določeno frekvenco vibriranja sproži sprostitvev endogenih opiodov endorfinov, kot so metenkefalini, medtem ko stimulacija na drugi frekvenci aktivira sisteme, občutljive na dinorfine. Te ugotovitve so vodile k razvoju poceni električne akupunkturne naprave (na levi), ki jo lahko namesto zdravil uporabljamo za lajšanje bolečine. Par elektrod namestimo na točke „Heku“ na roki (na desni), drugi par pa na mesto bolečine.

