

mozaik

... za kognitivne neuronauke

Od senzacije do percepcije

neuronaučni aspekti

*Svetlana Borojević, Arijana Radić,
Dejana Nešković, Nađa Petrović,
Vanja Radić, Aleksandar Tošić,
Sara Filipović*



Univerzitet u Banjoj Luci
Filozofski fakultet



Институт за
хуманистичке
и друштвене
науке
Филозофски факултет
Универзитета у Банjoj Луци

mozaik ■ ■ ■

... za kognitivne neuronauke

Od senzacije do percepcije

Neuronaučni aspekti

Svetlana Borojević,
Arijana Radić, Dejana Nešković,
Nađa Petrović, Vanja Radić,
Aleksandar Tošić, Sara Filipović

*Univerzitet u Banjoj Luci
Filozofski fakultet*

Banja Luka, 2026.



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
UNIVERSITY OF BANJA LUKA
ФИЛОЗОФСКИ ФАКУЛТЕТ
FACULTY OF PHILOSOPHY



Izdavač

Univerzitet u Banjoj Luci
Filozofski fakultet
Institut za humanističke i društvene nauke

Za izdavača

prof. dr Srđan Dušanić

Edicija „Mozaik...”

Glavni i odgovorni urednik Edicije

doc. dr Radovan Subić

Zamjenik glavnog urednika

mr Miroslav Galić

Mozaik... za kognitivne neuronauke

Urednik: prof. dr Svetlana Borojević

Svetlana Borojević, Arijana Radić, Dejana Nešković,
Nađa Petrović, Vanja Radić, Aleksandar Tošić, Sara Filipović
Od senzacije do percepcije: Neuronaučni aspekti

Recenzenti:

Prof. dr Miroslav Đurić, Filozofski fakultet, Univerzitet PIM, Banja Luka
Prof. dr Milena Pašić, Filozofski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci

Lektura

dr Dragan Dragomirović

Tehnička priprema teksta i dizajn

mr Miroslav Galić

ISBN:

SADRŽAJ:

Predgovor	7
Čula: most između nas i svijeta	9
Pojam i građa čula	9
Građa čula	10
Podjela čula	11
Opšta i specijalizovana čula	12
Klasifikacija po modalitetu	13
Klasifikacija prema porijeklu	14
Specijalizovana čula i njihove funkcije	15
Čula kao most između našeg unutrašnjeg i spoljašnjeg svijeta	20
Od čula do mozga: kako mozak tumači svijet	26
Čulo vida: od svjetlosti do vizuelne percepcije	28
Čulo sluha i čulo ravnoteže: od zvučnih talasa do percepcije zvuka i orijentacije u prostoru	30
Čulo mirisa: hemijski most između percepcije, emocija i pamćenja	32
Čulo ukusa: hemijska osnova prehrambenog ponašanja	34
Somatosenzorni sistem – dodir i temperatura	36
Bol: zaštitni senzorni sistem organizma	38
Propriocepcija: unutrašnje čulo pokreta i položaja tijela	39
Interocepcija: unutrašnje čulo tjelesnih stanja	40
Integracija čulnih informacija u mozgu – kako nastaje jedinstvena percepcija	41
Perceptivne iluzije - da li nas varaju čula ili mozak?	45
Vizuelne iluzije	46
Geometrijske iluzije	47
Iluzije boje i kontrasta	51
Auditivne iluzije	55
McGurk efekt	55
Binauralni otkucaji	57
Shepardovi tonovi	60
Taktilne iluzije	62
Iluzija gumene ruke	62
Od novorođenčeta do odrasle osobe: da li su neuralni i perceptivni razvoj sinhronizovani?	76

Neurološki poremećaji i percepcija	86
1. Vrtoglavice (vertigo)	87
2. Moždani udar	89
3. Multipla skleroza	93
Nove tehnologije: budućnost istraživanja percepcije	105
1. Neuroimaging i neurofiziološke tehnologije	109
2. Tehnologije za praćenje pokreta očiju (Eye-tracking tehnologije)	116
3. Virtuelna stvarnost (VR) i proširena stvarnost (AR)	119
4. Računarsko modelovanje i vještačka inteligencija (AI)	122
Završna razmatranja	128

OD SENZACIJE DO PERCEPCIJE

Neuronaučni aspekti

Svetlana Borojević, Arijana Radić,
Dejana Nešković, Nađa Petrović, Vanja Radić,
Aleksandar Tošić, Sara Filipović

Univerzitet u Banjoj Luci
Filozofski fakultet

DOI: <https://www.doi.org/10.63356/ff.2026.002>

Ova monografija predstavlja drugu publikaciju u okviru Edicije *Mozaik*, posvećene neuronaukama, i nastaje kao prirodan nastavak prethodnog izdanja. Kako je u završnom poglavlju prve publikacije naglašeno, tadašnji tekst nije predstavljao kraj promišljanja o odnosu između moždanih struktura i kognitivnih funkcija, već polaznu tačku za dublje, tematski usmjereno razmatranje pojedinačnih kognitivnih procesa. U tom smislu, ova knjiga usmjerena je na percepciju kao jednu od temeljnih funkcija putem koje se uspostavlja veza između mozga, tijela i okruženja. Prvo poglavlje monografije polazi od ideje da su čula most između organizma i svijeta. U drugom poglavlju fokus se pomjera sa perifernih čulnih organa ka mozgu kao centralnom mjestu obrade informacija. Treće poglavlje posvećeno je perceptivnim iluzijama, koje predstavljaju posebno vrijedan istraživački alat. Četvrto poglavlje uvodi razvoju perspektivu i sagledava percepciju kroz životni vijek – od ranog djetinjstva do odraslog doba. U petom poglavlju razmatra se odnos između neuroloških poremećaja i percepcije. Završno poglavlje ove monografije usmjereno je ka savremenim tehnologijama i njihovoj ulozi u istraživanju percepcije.

Ključne riječi: kognitivne neuronauke, percepcija, senzacija, čulni sistemi, multisenzorna integracija, perceptivne iluzije, neuroplastičnost, neuroimaging

Predgovor

Ova monografija predstavlja drugu publikaciju u okviru Edicije *Mozaik*, posvećene neuronaukama, i nastaje kao prirodan nastavak prethodnog izdanja. Kako je u završnom poglavlju prve publikacije naglašeno, tadašnji tekst nije predstavljao kraj promišljanja o odnosu između moždanih struktura i kognitivnih funkcija, već polaznu tačku za dublje, tematski usmjereno razmatranje pojedinačnih kognitivnih procesa. U tom smislu, ova knjiga usmjerena je na percepciju kao jednu od temeljnih funkcija putem koje se uspostavlja veza između mozga, tijela i okruženja. Prvo poglavlje monografije polazi od ideje da su čula most između organizma i svijeta. Ona omogućavaju da fizičke karakteristike okruženja postanu psihološki relevantne informacije. Međutim, taj most nije pasivan ni savršen, jer čulni sistemi imaju ograničenja i specifične načine kodiranja stimulusa. Razumijevanje ovih karakteristika čini osnovu za dalje proučavanje perceptivnih procesa. U drugom poglavlju fokus se pomjera sa perifernih čulnih organa ka mozgu kao centralnom mjestu obrade informacija. Razmatra se kako se čulni signali organizuju u smislene cjeline, kako mozak integriše informacije iz različitih modaliteta i na koji način prethodno iskustvo, očekivanja i kontekst utiču na ono što opažamo. Treće poglavlje posvećeno je perceptivnim iluzijama, koje predstavljaju posebno vrijedan istraživački alat. One jasno pokazuju da razlike između fizičke stimulacije i perceptivnog doživljaja nisu izuzeci, već rezultat osnovnih principa funkcionisanja perceptivnog sistema. Iluzije otvaraju pitanje da li greške potiču od čula ili od načina na koji mozak obrađuje informacije. Četvrto poglavlje uvodi razvojnu perspektivu i sagledava percepciju kroz životni vijek –

od ranog djetinjstva do odraslog doba. Postavlja se pitanje da li su neuralni i perceptivni razvoj sinhronizovani ili se odvijaju različitim tempom, te kakvu ulogu u tom procesu imaju iskustvo, sazrijevanje nervnog sistema i plastičnost mozga. U petom poglavlju razmatra se odnos između neuroloških poremećaja i percepcije. Analiza specifičnih perceptivnih deficita nastalih usljed oštećenja određenih moždanih struktura omogućava dublje razumijevanje funkcionalne organizacije perceptivnih sistema i odnosa između mozga i subjektivnog iskustva. Završno poglavlje ove monografije usmjereno je ka savremenim tehnologijama i njihovoj ulozi u istraživanju percepcije. Metodološki pristupi zasnovani na neuroimaging tehnikama, elektroencefalografiji, praćenju pokreta očiju, kao i virtuelnoj i proširenoj realnosti, omogućavaju integraciju psihološkog i neuronaučnog pristupa. Time se percepcija sagledava kao dinamičan proces koji se može proučavati u složenim, ali kontrolisanim eksperimentalnim uslovima.

Ova publikacija predstavlja još jedan korak u izgradnji Edicije *Mozaik*, čiji je cilj da kroz interdisciplinarni pristup približi savremena saznanja o funkcionisanju ljudskog mozga i kognitivnih procesa. Nadamo se da će ova knjiga doprinijeti boljem razumijevanju složenih odnosa između mozga i ponašanja, podstaći kritičko promišljanje i inspirisati čitaoce da sa jednakim interesovanjem prate i naredna izdanja Edicije *Mozaik*

Čula: most između nas i svijeta

Zamislite da stojite na vrhu planine, okruženi tišinom koja djeluje gotovo opipljivo. Pogled se proteže u beskraj, dok se oblaci lijeno vuku iznad planinskih vrhova, spajajući se s horizontom u plavetnilu koje oduzima dah. Sunčevi zraci se probijaju kroz kristalno čist zrak, nježno milujući vam kožu i dajući pejzažu zlatasti sjaj. Vjetar vas obavija, donoseći svjež miris borova, trave i zemlje. Uzimate gutljaj izvorske vode, dok prsti dodiruju hrapavu površinu stijene na kojoj stojite. Ovo iskustvo i hiljade drugih poput njega, bilo bi nezamislivo bez naših čula.

Zahvaljujući čulima, mi pravimo naš prvi kontakt sa svijetom. Još kao novorođenčad, oslanjamo se na njih da bismo naučili više o svijetu koji nas okružuje (Bremner & Spence, 2017). Ipak, čula nisu samo alat pomoću koga prepoznajemo svijet, ona oblikuju naše stavove, kognitivne procese i emocionalne odgovore (Lin, 2023). U ovom poglavlju upoznaćemo se sa značajem čula, njihovim vrstama, funkcijama, ulogom u povezivanju sa svijetom i drugima, te njihovim doprinosom u oblikovanju naših iskustava i identiteta.

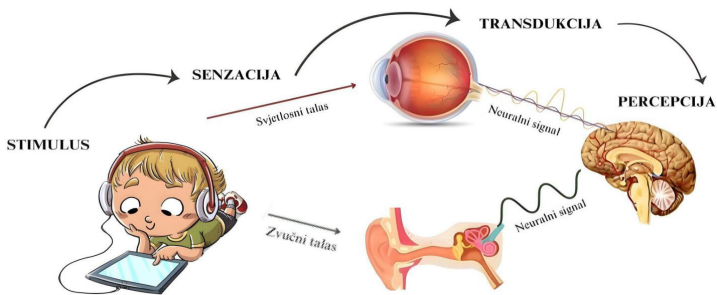
Pojam i građa čula

Najjednostavnije rečeno, čula su dijelovi našeg tijela, koji nam omogućavaju da primamo informacije koje dolaze iz svijeta oko nas. Njihov zadatak jeste da predstavljaju most između nas i svijeta, te da informacije koje opažamo prenose do mozga, gdje ih on dalje integriše sa onim što smo do tada znali.

Građa čula

Svako čulo posjeduje svoje *receptore* – ćelije koje prepoznaju specifične vrste signala, kao što su svjetlost, zvuk ili dodir. Receptori pretvaraju signale u električne impulse, koji putuju nervnim putem do mozga, gdje se interpretiraju kao stvarni doživljaji. Na primjer, fotoreceptori u mrežnjači oka omogućavaju vid, dok mehanoreceptori u koži prepoznaju dodir i pritisak. Nervni impulsi putuju kroz *senzorne nervne puteve* do dijelova mozga, gdje se obrađuju u specifičnim *centrima za obradu*, kao što su okcipitalni režanj za vid i temporalni režanj za sluh. Ovi nervni putevi omogućavaju brzo i precizno prepoznavanje spoljašnjih i unutrašnjih stimulansa (Snowdon, 2015; Brandt et al., 2024). Uzmimo za primjer da igrate igricu, koja je nedavno izašla. Dok istražujete tamnu pećinu, primjećujete svjetlucanje na zidu koje vaše oči prepoznaju kao blago. Taj proces uključuje *transdukciju*, gdje se svjetlost, kao fizički stimulus, pretvara u električne signale koje mozak interpretira. Istovremeno, čujete korake iza sebe a vaši *slušni receptori*, specijalizovani neuroni u ušima, detektuju vibracije zvuka i šalju informacije mozgu. Kada neprijatelj napadne, kontroler vibrira, pružajući vam *haptičku povratnu informaciju*, odnosno osjećaj dodira koji simulira udarac. Ova interakcija vizuelnih, slušnih i haptičkih čula omogućava našem tijelu da brzo odreaguje. Da bi se ovo desilo, ključna su dva procesa, i to *senzacija i percepcija*. *Senzacija* se odnosi na osnovne, fizičke procese putem kojih naša čula (poput vida, sluha, mirisa) primaju stimulse iz spoljnog svijeta. To je početni proces, pomoću koga naša čula detektuju informacije, prije nego što naš mozak “sazna” šta te informacije znače. Na primjer, buka koju čujemo, dok stojimo sa prijateljima, predstavlja sen-

zaciju, ali nam ne govori ništa o sadržaju koji taj zvuk nosi (o čemu se priča, ko pravi buku i sl.). Suprotno, *percepcija* je proces koji podrazumijeva interpretaciju informacija dobijenih senzacijom. *Percepcija* je složeniji psihološki proces putem kojeg čovjek dobija informacije o spoljašnjem svijetu ili o sopstvenom tijelu. Procesom percepcije se naša prethodna iskustva, znanja i očekivanja integrišu, kako bi mozak mogao da novim informacijama pridoda neko značenje. Ovo znači da isti senzorni podražaji, mogu da budu različito interpretirani u zavisnosti od toga ko ih percipira. Percepcija, s druge strane, podrazumijeva interpretaciju tih senzacija.



Slika 1. Proces opažanja

Podjela čula

Dugo se smatralo da postoji samo pet čula pomoću kojih prikupljamo informacije. Ovakvo shvatanje potiče od Aristotela, koji je u svojoj knjizi *De Anima* istakao da postoji samo pet čula i to: vid, sluh, miris, ukus i dodir (Shields, 2016). Za ovaj stav se, tokom prethodnih vijekova, zalagalo mnogo naučnika (vidjeti Macpherson, 2011). Međutim, danas znamo da pored ovih postoje i druga čula (Rivlin & Gravelle, 1984).

Opšta i specijalizovana čula

Tabela 1. Opšta i specijalizovana čula

Vrsta čula	Naziv čula	Opis	Specijalizovani organi
Opšta čula	Bol	Detekcija oštećenja tkiva i izazivanje osjećaja bola.	Nema specijalizovan organ; nociceptori u koži i unutrašnjim organima.
	Temperatura	Detekcija promjena u temperaturi (toplo i hladno).	Nema specijalizovan organ; termoreceptori u koži i unutrašnjosti tijela.
	Dodir	Detekcija kontakta sa površinom i detekcija vrste kontakta.	Nema specijalizovan organ; mehanoreceptori u koži.
	Pritisak	Detekcija promjena u pritisku na koži i unutrašnjim organima.	Nema specijalizovan organ; baroreceptori i mehanoreceptori.
	Vibracija	Detekcija oscilacija i pokreta u koži, mišićima i drugim dijelovima tijela.	Nema specijalizovan organ; Pacinijeva tjelešca i drugi receptori u koži.
	Propriocepcija	Određivanje položaja u odnosu na prostor i kretanje.	Nema specijalizovan organ; proprioceptori u mišićima, tetivama i zglobovima.
Specijalizovana čula	Vid	Obrada vizuelnih informacija i slanje mozgu na obradu.	Oči
	Sluh	Obrada zvučnih informacija i slanje mozgu na obradu.	Uši
	Ravnoteža (ekvilibracija)	Obrada informacija o ravnoteži i pokretima tijela.	Vestibularni sistem u unutrašnjem uhu
	Miris (olfaktorni sistem)	Obrada informacija o mirisima.	Nosna šupljina
	Ukus (gustativni sistem)	Obrada informacija o ukusima.	Jezik i usna šupljina

Jedan način podjele jeste na opšta i specijalizovana čula (Hammel & Yee, 2024). Pod *opštim čulima* podrazumijevamo grupu čula koja su raspoređena po cijelom tijelu,

pri čemu se njihovi specijalizovani receptori nalaze unutar struktura drugih organa (Kandel et al., 2021). Ova čula povezana su sa osnovnim aspektima dodira, aktivnosti i položaja dijelova tijela, ali nemaju specijalizovane organe za percepciju (npr. bol). Sa druge strane, pod *specijalizovanim čulima* podrazumijevamo grupu čula poput vida, sluha, ravnoteže, mirisa i ukusa. Specijalizovana čula se oslanjaju na organe (npr. oči), koji detektuju određene draži, koja dalje izaziva promjenu u organizmu koja se naziva nadražaj (Vidaković, 2006). Ti organi transformišu energiju nadražaja u nervne signale koji se prenose do specifičnih dijelova mozga, gdje dolazi do percepcije (Hammel & Yee, 2024).

Navedena podjela je samo jedna od brojnih, koje postoje kako bi se napravila klasifikacija čula. Zbog toga i dalje u naučnoj zajednici traju debate o tome koliko čula zapravo postoji. Takođe, postoji i mnogo načina za klasifikaciju senzornih receptora. Na primjer, receptori se mogu klasifikovati prema vrsti stimulusa koji detektuju (modalitetu), porijeklu stimulusa (izvan ili unutar tijela) i po tome da li pripadaju opštim ili specijalizovanim čulima (Basbaum, 2008).

Klasifikacija po modalitetu

Dakle, čula se sastoje od receptora, odnosno ćelija koje primaju informacije, senzornih nerava (nerava koji prenose senzorne informacije od receptora do mozga) u kome se informacije dalje obrađuju. Informacije koje receptori registruju su promjene u svijetu oko čovjeka ili u čovjeku, koje se nazivaju draži. Draži su bilo koje promjene koje aktiviraju receptore. Prema modalitetu, odnosno vrsti draži na koje je čulo najosjetljivije, receptori

se mogu podijeliti na: mehanoreceptore, termoreceptore, nociceptori, fotoreceptore i hemoreceptore.

Tabela 2. Podjela receptora prema modalitetu

Modalitet	Naziv receptora	Opis	Uloga	Izvor
Mehanička energija	Mehanoreceptori	Mehanoreceptori reaguju na fizičke deformacije, kao što su dodir i pritisak, kroz mehanički zatvorene jonske kanale.	Igraju ključnu ulogu u proprioceptiji i brzo se prilagođavaju stimulusi- ma, poput vibracija, što omogućava interakciju sa okolinom.	Kröger, 2018; Ziolkowski et al., 2022; Kröger, 2023
Temperatura	Termoreceptori	Termoreceptori detektuju promjene u temperaturi, omogućavajući tijelu da se prilagodi toplotnim varijacijama.	Pomažu tijelu da održava homeostazu, sprečavajući pregrijavanje ili hipotermiju.	Raven et al., 2013
Bol	Nociceptori	Nociceptori se aktiviraju fizičkim ili hemijskim oštećenjem tkiva i ključni su za percepciju bola.	Omogućavaju brzo reagovanje na štetne podražaje, štiteći tijelo od povreda.	Raven et al., 2013
Svjetlost	Fotoreceptori	Fotoreceptori u mrežnjači oka su osjetljivi na svjetlost, omogućavajući percepciju boja, kontrasta i pokreta.	Detektuju promjene u svjetlosti, omogućavajući vizuelno prepoznavanje okoline.	Raven et al., 2013
Hemijska energija	Hemoreceptori	Hemoreceptori reaguju na hemijske podražaje i igraju ključnu ulogu u percepciji ukusa i mirisa.	Detektuju hemikalije važne za prepoznavanje hrane i opasnosti u okolini.	Raven et al., 2013

Klasifikacija prema porijeklu

Čula se također mogu klasifikovati prema njihovom porijeklu. Prema ovoj klasifikaciji, čula se dijele na eksteroreceptore, interoceptore i proprioceptore. Eksteroreceptori su odgovorni za prepoznavanje draži koje dolaze iz spolj-

njeg svijeta, kao što su dodir, temperatura, svjetlost i zvuk. Ovi receptori se nalaze u koži i čulnim organima, poput očiju i ušiju, i transformišu spoljne draži u nervne signale koji se šalju u mozak za dalju obradu (Møller, 2011; Bear et al., 2020). S druge strane, interoceptori, poznati i kao visceroreceptori, registruju promjene unutar tijela, kao što su osjećaj gladi, žeđi, ili bol koji potiče iz unutrašnjih organa. Ovi receptori igraju ključnu ulogu u održavanju homeostaze tijela i omogućuju reakciju na promjene koje mogu ugroziti ravnotežu tijela. Iako je većina ovih signala nesvjesna, oni su od ključne važnosti za preživljavanje (Zimmermann, 1989; Møller, 2011). Na kraju, proprioceptori su smješteni u mišićima, tetivama i zglobovima i omogućuju nam da osjećamo položaj i pokrete svog tijela u prostoru. Ovi receptori omogućavaju nesvjesnu koordinaciju pokreta, što je od ključne važnosti za pravilno funkcionisanje svakodnevnih aktivnosti, kao što su hodanje ili vožnja bicikla. Bez propriocepcije, naši pokreti bi bili nespretni i neusklađeni (Zimmermann, 1989; Weimer, 2014; Møller, 2011).

Specijalizovana čula i njihove funkcije

Kao što je ranije pomenuto, čovjek ima pet specijalizovanih čula i to: vid, sluh, čulo ravnoteže, miris i ukus. Svako od čula ima posebne receptore čiji je zadatak da selektivno detektuju stimuluse i pretvaraju ih u impulse. U narednom poglavlju ćemo se detaljnije baviti ovim čulima, njihovom građom i vezom sa neuralnim strukturama, dok ćemo ovdje opisati njihove glavne funkcije. Čulo vida nam omogućava da opažamo i prepoznamo izgled svijeta oko nas, dok nam čulo sluha pomaže da raspoznamo zvukove. Međutim, ove uloge predstavljaju samo dio širokog

spektra funkcija koje ta čula obavljaju. Tabela 3. prikazuje sažet pregled dodatnih funkcija specijalizovanih čula.

Tabela 3. Funkcije specijalizovanih čula

Čulo	Primarne funkcije	Sekundarne funkcije	Specijalizovane funkcije	Reference
Vid	Percepcija oblika, boje, svjetlosti i pokreta	Prostorna orijentacija, prepoznavanje lica i objekata	Reguliše cirkadijalne ritmove, olakšava komunikaciju (izraz lica)	Basbaum, 2008; Mausfeld, 2013
Sluh	Prepoznavanje zvuka, tona, ritma i govora	Prostorna orijentacija kroz lokalizaciju zvuka	Razumijevanje jezika, upozorenje na opasnost	Smirnov, 2014; Mausfeld, 2013
Čulo ravnoteže	Održavanje stabilnosti i koordinacije tijela	Kontrola pokreta i položaja glave	Kompenzacija naglih pokreta, prilagođavanje promjenama gravitacije	Smirnov, 2014
Miris	Prepoznavanje hemijskih supstanci u vazduhu	Vraćanje sjećanja i izazivanje emocionalnih reakcija	Otkrivanje opasnosti (dim, gasovi), prepoznavanje feromona	Eom, 2007
Ukus	Detekcija osnovnih ukusa (slatko, slano, kiselo, gorko)	Stimulacija salivacije i varenja	Procjena nutritivne vrijednosti, zaštita od štetnih supstanci (detekcija ukusa gorkog)	Sert & Panieri, 2023

Pored ovih osnovnih funkcija, naša čula imaju i druge funkcije bez kojih naš svakodnevni život ne bi bio moguć. Naša čula su mnogo više od fizioloških mehanizama koji nam pomažu da percipiramo svijet. Ona su osnova našeg povezivanja s drugima i oblikuju našu sposobnost da gradimo i održavamo socijalne i intimne odnose. Bez njih, naša svakodnevica i odnosi bili bi neprepoznatljivi, a možda čak i nemogući.

Porodica je primarna čovjekova grupa. Upravo u tim odnosima, dodir zauzima važno mjesto kao primarni kanal komunikacije i građenja povjerenja u formativnim godinama života. Od prvih trenutaka života, dodir omo-

gućava uspostavljanje sigurne vezanosti, dok prisustvo specifičnih vlakana (C-taktilna vlakna), koja odgovaraju na blage dodire, postavlja fiziološke temelje emocionalnoj dobrobiti. Blagi dodiri ne samo da umiruju dijete, već i podstiču njegov kognitivni i emocionalni razvoj (Capelli et al., 2022).

U prijateljskim odnosima, najvažnija funkcija dodira je prilikom izražavanja podrške i u iskazivanju bliskosti (Neuman et al., 2024). Primjera radi, stisak ruke može pružiti značajno ohrabrenje u teškim trenucima. Pored dodira i druga čula, poput mirisa i ukusa, imaju važnu ulogu u socijalnim interakcijama. Mirisi bude snažne uspomene i emocije, dok zajednički obroci, posredovani čulom ukusa, jačaju osjećaj zajedništva i pripadnosti (Guha, 2015).



Slika 2. Uloga čula u formiranju socijalnih odnosa

Čula su važna i u procesu formiranja i održavanja intimnih odnosa. Ton glasa partnera prenosi različite emocije, dok se smijehom, šapatom i blagim dodirom produbljuju povezanost i povjerenje. Držanjem za ruke ili nježnim dodirom osigurava se emocionalna intimnost i stvara osjećaj sigurnosti (Gibson & Lehn, 2021). Prirodni miris partnera, takođe, igra značajnu ulogu u formiranju osjećaja pripadnosti i emocionalne bliskosti (Howes,

2015), a istraživanja sugerišu da se ljudska bića podsvjesno privlače mirisom drugih ljudskih bića, koja bi bila genetski kompatibilna za reprodukciju (Keaveny & Mahmut, 2021).

U okviru grupne dinamike, vizuelna percepcija ima dominantnu ulogu u prepoznavanju izraza lica, pogleda i govora tijela kao osnovnih elemenata neverbalne komunikacije. Pogledom se može prenijeti povjerenje, sumnja ili naklonost, dok aktivnosti poput slušanja muzike i plesa, povezuju ljude na intuitivnom nivou zahvaljujući čulu sluha (Neuman et al., 2024). Na taj način, čula postaju ne samo sredstva individualne percepcije već i mostovi prema zajednici.

Čula nisu samo naši posrednici u socijalnim odnosima, ona imaju i značajnu ulogu u procesima sakupljanja naših znanja. Učenje je proces sticanja novog znanja, vještina, proces usvajanja ponašanja, vrijednosti, stavova i sklonosti (Gross, 2010). Proces učenja u velikoj mjeri je oblikovan interakcijom senzornih modaliteta, koji služe kao suštinski mehanizmi za prikupljanje informacija. Vid se smatra najdominantnijim čulom u savremenim obrazovnim sistemima. Psihološka istraživanja sugerišu da vizuelni modaliteti angažuju više kortikalnih oblasti, poput okcipitalnog režnja i dijelova prefrontalnog korteksa, koji su povezani sa obradom složenih vizuelnih informacija (Gori et al., 2022). Vizuelni simboli, poput dijagrama, grafika i ilustracija, omogućavaju konceptualizaciju apstraktnih pojmova, olakšavajući proces kodiranja i dugoročnog skladištenja informacija u memoriji, dok fenomen poput "dualnog kodiranja"¹, tj. mogućnosti istovremenog obrađivanja verbalnog i neverbalnog materijala, ukazuje na to da kombinacija verbalnih i vizuelnih

¹ Ljudska spoznaja je jedinstvena jer se specijalizovala za istovremeno bavljenje jezikom, te neverbalnim objektima i događajima (Paivio, 1990).

informacija rezultuje dubljim procesiranjem i boljem prisustvu informacija (Jenkin, 2023). Dalje se može istaći da su zvukovi i govor osnova za razvoj jezičkih i komunikacijskih vještina. Fonološka obrada, koju reguliše lijevi temporalni režanj, ključna je za razumijevanje i proizvodnju jezika (Alvi & Rehan, 2022). U obrazovnim kontekstima, auditivni stimuli, kao što su predavanja, slušanje muzike ili gledanje videa praćenih glasom, stimulišu ne samo razumijevanje informacija već i kreativne procese učenika (Gori et al., 2022). Dodir, kao taktilni modalitet, ima važnu ulogu još od prvih mjeseci razvoja (Bremner & Spence, 2017). Prvi kontakt koji beba ima sa svijetom je putem dodira. Dodirom dolazi do integracije senzornih i motoričkih vještina, što kasnije utiče na razvoj prostorne svijesti, koordinacije i motoričkih sposobnosti (Alvi & Rehan, 2022). Neuropsihološki gledano, somatosenzorni korteks igra ključnu ulogu u obradi taktilnih informacija, dok praktični zadaci u obrazovanju, poput rada sa alatima ili instrumentima, angažuju proceduralnu memoriju i doprinose formiranju implicitnih znanja (James et al., 2017). Suštinski, to znači da kada učimo da koristimo alat ili neki predmet, naš mozak pamti te radnje na način koji ne zahtijeva puno razmišljanja kasnije. Na primjer, kada naučimo da vozimo bicikl, nakon nekog vremena to postaje automatski, kao da tijelo samo zna šta treba da uradi, bez prevelikog angažovanja mozga. Miris i ukus, iako naizgled sekundarni, ostvaruju vezu sa emocionalnim aspektima učenja. Naime, dio mozga koji je zadužen za percepciju mirisa (olfaktorni bulbus) povezan je sa dijelovima mozga koji kontrolišu emocije i sjećanja (limbički sistem, amigdala i hipokampus). Zbog toga miris može brzo probuditi u nama određena sjećanja i izazvati emocionalne reakcije (O'Callaghan, 2019). Ova čula, mirisa i ukusa naročito su važni u specijalizovanim oblastima, kao što je kulinarsstvo, gdje mirisi i ukusi direktno utiču

na proces učenja kroz iskustvo i praktične zadatke (Alvi & Rehan, 2022).

Čula kao most između našeg unutrašnjeg i spoljašnjeg svijeta

Čula su most koji nas povezuje sa spoljnim svijetom, ali takođe i alati pomoću kojih oblikujemo naše unutrašnje doživljaje. Naša svakodnevna iskustva doživljavamo čulima, ali ona ne predstavljaju samo pasivno reagovanje na spoljne stimuluse, već su aktivni procesi koji integrišu naše biološke, emocionalne, kulturalne i psihološke osobine. Kao što smo već ranije pomenuli, čulima detektujemo podražaje iz spoljašnjeg svijeta, pretvarajući ih u perceptivna iskustva, kao što su prizori i zvukovi (Iqbal, 2024). Mozak tumači ove informacije, ali na ovaj proces ne utiču samo sposobnosti našeg kognitivnog aparata, već i individualna iskustva i očekivanja. Zamislite leptira sa prelijepim, šarenim krilima. Takav leptir može očarati nekoga ko voli prirodu, dok kod onih koji se plaše insekata, može izazvati strah i nelagodnost.

Kulturološki aspekt, takođe, oblikuje naše senzorne interpretacije; na primjer, određeni mirisi mogu izazvati pozitivne ili negativne asocijacije u zavisnosti od kulture u kojoj se nalazimo (Mesquita & Walker, 2003). Ovaj proces filtriranja omogućava da čula postanu most između spoljašnjeg svijeta i unutrašnjih iskustava, jer ono što smatramo prijatnim ili neprijatnim često zavisi od naših kulturnih normi i iskustava. Emocije, s druge strane, imaju još jači uticaj na senzorna iskustva. Poznati miris može izazvati osjećaj prijatnosti ili anksioznosti na osnovu prošlih doživljaja (Greš et al., 2024). Percepcija je inherentno subjektivna, pod uticajem lične istorije i bioloških



Slika 3. Individualne razlike u procesu percepcije
Napomena. Preuzeto sa chegg.com, prema Guardian Angel (2022).

predispozicija (Pazziani et al., 2024). Čak i kada su stimuli isti, različiti ljudi mogu reagovati na njih na potpuno različite načine.

Misaoni procesi koji se javljaju usljed procesa percepcije, takođe, mogu značajno varirati. Na primjer, dok neki ljudi mogu reagovati na umjetničko djelo u muzeju na nivou “sviđa mi se/ne sviđa mi se”, kod drugih, ista slika može izazvati asocijaciju na neku osobu kojoj bi se to djelo svidjelo (Wang, 2005).

U ovom poglavlju smo istražili način na koji čula služe kao posrednici između nas i svijeta. Objasnili smo šta čula predstavljaju, kako su konstruisana i koje funkcije obavljaju. Razmatrali smo razliku između opštih čula, kao što su dodir, temperatura i bol, te specijalizovanih čula, poput vida, sluha, mirisa, ukusa i ravnoteže. Takođe,



Slika 4. Razlike u misaonim procesima tokom percepcije

osvrnuli smo se na različite pristupe klasifikaciji receptora, uključujući podjelu prema modalitetu (vrsti stimulusa), porijeklu draži (spoljašnje ili unutrašnje), kao i njihovoj ulozi u integraciji informacija. Istaknuli smo načine na koje oblikuju naše doživljaje kroz interakciju bioloških, emocionalnih i kulturnih faktora, te ukazali na njihov značaj u našim odnosima prema drugima i prema sebi. U narednim poglavljima detaljnije ćemo objasniti strukturu naših čula i način na koji su povezana sa odgovarajućim centrima u mozgu. Razjasnićemo odnos između razvoja mozga i čula tokom života, istražujući da li se mozak i čula razvijaju paralelno. U ovom poglavlju smo se dotakli individualnih razlika u percepciji, a u poglavlju *“Perceptivne iluzije - da li nas varaju čula ili mozak?”*, objasnićemo razloge zbog kojih dolazi do tih razlika. Na kraju, razmotrićemo šta se dešava kada čula ne funkcionišu ispravno ili zakažu, te kakve nam mogućnosti buduća naučna istraživanja ljudske percepcije mogu donijeti.

Alvi, J., & Rehan, M. (2022). Role of senses in the construction of

- knowledge. *Global Journal of Business, Economics and Management: Current Issues*, 12(1), 75–81. <https://doi.org/10.18844/gjbem.v12i1.5780>
- Basbaum, A. I. (2008). *The senses: A comprehensive reference*. Elsevier.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2020). *Neuroscience: Exploring the brain* (4th ed.). Wolters Kluwer.
- Brandt, T., Dieterich, M., & Huppert, D. (2024). Human senses and sensors from Aristotle to the present. *Frontiers in Neurology*, 15, 1404720. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1404720>
- Bremner, A. J., & Spence, C. (2017). The development of tactile perception. *Advances in Child Development and Behavior*, 52, 227–268.
- Capelli, E., Grumi, S., Fullone, E., Rinaldi, E., & Provenzi, L. (2022). An update on social touch: How does humans' social nature emerge at the periphery of the body? *Rorschachiana*, 43(2), 168–190.
- Eom, S. (2007). Making sense out of five senses: Body-mediated cognition. *Discourse and Cognition*, 14(1), 113–134.
- Gibson, W., & vom Lehn, D. (2021). Introduction: The senses in social interaction. *Symbolic Interaction*, 44(1), 3–9. <https://doi.org/10.1002/symb.539>
- Gori, M., Sandini, G., & Burr, D. (2022). Multisensory integration and learning. *Nature Reviews Psychology*.
- Greš, A., Staver, D., & Radovančević, L. (2024). Consideration of emotions and sensations in a neuroscientific context. *Scripta Medica*, 55(4), 511–516. <https://doi.org/10.5937/scriptamed55-49738>
- Gross, R. (2010). *Psychology: The science of mind and behaviour* (6th ed.). Hodder Education.
- Guha, M. (2015). A cultural history of the senses. *Reference Reviews*, 29(7), 17–19. <https://doi.org/10.1108/RR-05-2015-0122>
- Hammel, A. M., & Yee, R. L. (2024). The sensory domain. In *Teaching music to students with differences and disabilities* (pp. 110–129). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780197748244.003.0006>
- Howes, D. (2015). *The varieties of sensory experience: A sourcebook in the anthropology of the senses*. University of Toronto Press.
- Iqbal, T. (2024). Limitations of human sensory systems. *Pakistan Journal of Physiology*, 20(1), 1–2. <https://doi.org/10.69656/pjp.v20i1.1661>
- James, K. H., Engelhardt, L., & Johnson, S. P. (2017). The effects of

- handwriting experience on functional brain development. *Trends in Neuroscience and Education*, 6, 1–7.
- Jenkin, Z. (2023). Perceptual learning. *Philosophy Compass*, 18(6), e12932. <https://doi.org/10.1111/phc3.12932>
- Kandel, E. R., Koester, J. D., Mack, S. H., & Siegelbaum, S. A. (2021). *Principles of neural science* (6th ed.). McGraw-Hill.
- Keaveny, M., & Mahmut, M. K. (2021). Love stinks: The association between body odors and romantic relationship commitment. *Brain Sciences*, 11(11), 1522. <https://doi.org/10.3390/brainsci11111522>
- Kröger, S. (2018). Proprioception 2.0: Novel functions for muscle spindles. *Current Opinion in Neurology*, 31(5), 592–598. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000590>
- Kröger, S. (2023). Mechanotransduction, muscle spindles and proprioception. *Experimental Physiology*, 109(1), 1–2.
- Lin, J. (2023). Sensory inputs guiding cognitive behaviors and decision making. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 74, 1399–1404. <https://doi.org/10.54097/gew7ng02>
- Macpherson, F. (2011). *The senses: Classic and contemporary philosophical perspectives*. Oxford University Press.
- Mausfeld, R. (2013). The biological function of sensory systems. In *Neurosciences: From molecule to behavior* (pp. 239–252). Springer.
- Mesquita, B., & Walker, R. (2003). Cultural differences in emotions. *Annual Review of Psychology*, 54, 777–802.
- Møller, A. R. (2011). *Sensory systems: Anatomy and physiology*. Academic Press.
- Neuman, N., Lövestam, E., Karlén, J., & Sandvik, P. (2024). Sensing sociality: Disruptions of social life when living with chemosensory dysfunctions after COVID-19. *Qualitative Health Research*. <https://doi.org/10.1177/10497323241278551>
- O’Callaghan, C. (2017). *Beyond vision: Philosophical essays*. Oxford University Press.
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford University Press.
- Pazziani, M. L., Sader, J., von Haller, L. L., & Pataky, Z. (2024). Awakening the senses to change our relationship with the body. *Revue Médicale Suisse*, 20(866), 595–599. <https://doi.org/10.53738/REVMED.2024.20.866.595>
- Raven, P., Johnson, G., Mason, K., Losos, J., & Singer, S. (2013). *Biology*. McGraw-Hill.

- Rivlin, R., & Gravelle, K. (1984). *Deciphering the senses: The expanding world of human perception*. Simon & Schuster.
- Sert, Z. S., & Panieri, G. (2023). Functions of senses in learning. *Septentrio Educational*, 1, 11–13. <https://doi.org/10.7557/8.7047>
- Shields, C. (Ed.). (2016). *Aristotle: De Anima*. Oxford University Press.
- Smirnov, V. M. (2014). *Human sensory systems*. Springer.
- Snowdon, P. F. (2015). Sense-data. In *The Oxford handbook of philosophy of perception* (pp. 118–135). Oxford University Press.
- Sternberg, R. J. (2005). *Cognitive psychology* (4th ed.). Thomson Wadsworth.
- Wang, Y. (2005). On the cognitive processes of human perception. In *Proceedings of the IEEE Conference on Cognitive Informatics* (pp. 203–210). IEEE. <https://doi.org/10.1109/COGINF.2005.1532633>
- Weimer, W. B. (2014). *Conceptual foundations of sensory psychology*. Psychology Press.
- Zdravković, S. (2008). *Percepcija*. Filozofski fakultet Beograd.
- Zimmermann, M. (1989). Neural mechanisms of pain. *Progress in Brain Research*, 79, 1–14.
- Ziolkowski, L. H., Gracheva, E. O., & Bagriantsev, S. N. (2022). Tactile sensation in birds: Physiological insights from avian mechanoreceptors. *Current Opinion in Neurobiology*, 74, 102548. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2022.102548>

Od čula do mozga: kako mozak tumači svijet

Još od antičkih vremena, mislioci su pokušavali da razumiju odnos između čovjeka i stvarnosti koja ga okružuje. I sam Aristotel je tvrdio da „ništa nije u umu što prije nije bilo u čulima“, naglašavajući ideju da se znanje rađa iz iskustva i da su čula naš prvi prozor u svijet. Nasuprot tome, racionalisti poput Dekarta smatrali su da su čula varljiva i nepouzdana, te da jedino razum može ponuditi istinsko znanje. Ova drevna dilema, da li zaista opažamo svijet onakvim kakav jeste ili samo njegovu interpretaciju, i danas ostaje jedno od centralnih pitanja nauke o opažanju. Savremene kognitivne nauke nude odgovor: ono što doživljavamo nije jednostavan odraz stvarnosti, već rezultat složene interakcije između čula i mozga. Svaki miris, ton, slika ili dodir proizvodi niz nervnih impulsa koji putuju do mozga, gdje se pretvaraju u ono što nazivamo svjesnim iskustvom. Dakle, ne opažamo svijet direktno, već mozak konstruiše sliku tog svijeta na osnovu podataka koje dobija putem čula (Kandel et al., 2021). U tom procesu čula igraju ulogu senzornih prevodilaca. Ona fizičke ili hemijske draži pretvaraju u električne signale koji preko nervnog sistema putuju do mozga. Odatle nastavlja kognicija odnosno tumačenje informacija (Sternberg, 2005; Zdravković, 2008). Razumijevanje kako informacija putuje od receptora do moždane kore ključno je i za psihologiju, i za neurologiju, i za medicinu i bihevioralne nauke.

Naša čula su zadivljujuće sofisticirani biološki sistemi (Bear et al., 2020). Fotoreceptori u mrežnjači oka mogu registrovati samo 1 kvant svjetlosti. Mehanoreceptori u unutrašnjem uhu mogu detektovati vibraciju dijela atoma. Receptori mirisa mogu razlikovati hiljade mirisnih mo-

lekula u koncentracijama manjim od jedne jedine čestice u milion. Termoreceptori u koži precizno registruju promjene temperature od samo $0,1^{\circ}\text{C}$. Ipak, sva ta preciznost bila bi besmislena bez mozga, centralne strukture koja podatke pretvara u percepciju. Percepcija nije ono što čula primaju, već ono što mozak razumije. Kada pogledamo horizont, ne vidimo zakrivljenost Zemlje, ali ona postoji. Kada stavimo ruku u hladnu vodu, ona može postati „topla“ ako smo prethodno držali drugu ruku u ledenoj vodi. Kada gledamo optičke iluzije, svjedočimo činjenici da mozak uvijek konstruiše stvarnost, često popunjavajući nedostajuće informacije na osnovu iskustva i očekivanja. Zato se i kaže da je percepcija aktivni proces, a ne pasivni odraz svijeta. Cilj ovog poglavlja je da objasni kako čula funkcionišu na anatomsko-fiziološkom nivou i kako informacija putuje od receptora do mozga, gdje postaje dio našeg svjesnog iskustva.

Ovo poglavlje predstavlja most između biološke osnove čula i psihološkog procesa percepcije – dva nivoa objašnjenja koja su nerazdvojiva ako želimo razumjeti kako spoznajemo svijet.

Čulo vida: od svjetlosti do vizuelne percepcije

Vid je najsloženije i najdominantnije ljudsko čulo koje obezbjeđuje najveći dio informacija o spoljašnjem svijetu (Goldstein, 2019). Organ vida je oko, precizno građen optičko–neuronski sistem čija je osnovna uloga da registruje svjetlosne talase reflektovane od objekata i pretvori ih u nervne impulse razumljive mozgu. Oko se anatomski sastoji od tri sloja: spoljašnjeg fibrozna sloja koji čine rožnjača i beonjača, srednjeg vaskularnog sloja u kojem se nalaze krvni sudovi, horoid, cilijarno tijelo i šarenica, te unutrašnjeg

sloja, mrežnjače (retine), funkcionalno najvažnijeg dijela oka gdje dolazi do pretvaranja svjetlosti u električni signal. Sočivo, smješteno iza zjenice, omogućava fokusiranje slike na mrežnjaču, dok staklasto tijelo održava oblik očne jabučice i stabilnost unutrašnjeg optičkog sistema. Na mrežnjači se nalaze fotoreceptori, štapići i čepići, koji predstavljaju početak vizuelne percepcije. Štapići su osjetljiviji na slabo osvjetljenje i omogućavaju noćni vid, ali ne registruju boje, dok su čepići aktivni pri jačem osvjetljenju i omogućavaju razlikovanje boja i detalja. Čepići se nalaze u najvećoj koncentraciji u žutoj mrlji (makuli), posebno u fovei, regiji mrežnjače odgovornoj za najprecizniji, centralni vid. Svjetlosni talasi koji dopiju do retine apsorbiraju se pigmentima u fotoreceptorima, pri čemu dolazi do hemijskih promjena i stvaranja receptorskog potencijala, procesa poznatog kao fototransdukcija. Ovaj signal se zatim prenosi preko bipolarnih, horizontalnih i amakrinih ćelija na ganglijske ćelije, čiji aksoni formiraju optički nerv. Time se završava optički, a počinje neurološki dio vizuelne obrade. Vizuelna informacija se od mrežnjače preko optičkog nerva prenosi do optičke hijazme, mjesta gdje se vlakna iz nazalnih dijelova mrežnjača oba oka ukrštaju, dok vlakna iz sljepoočnih polovina ostaju na istoj strani (Bear et al., 2020). Ovaj raspored omogućava da lijeva hemisfera obrađuje informacije iz desnog vidnog polja, a desna hemisfera iz lijevog vidnog polja, čime se postiže prostorna organizacija slike. Nakon hijazme, nervni signali nastavljaju kroz optičke traktuse do lateralnih genikulatnih jedara (LGN) u talamusu, gdje se informacija organizuje i preliminarno filtrira. Iz talamusa vizuelni impulsi putuju do primarnog vidnog korteksa (V1) u okcipitalnom režnju mozga, gdje se registruju osnovni elementi slike – kontrast, linije, obrisi i orijentacija (Kandel et al., 2021). U sekundarnim vizuelnim područjima (V2)

informacije se dalje slojevito analiziraju: jednim putem (dorzalni tok) mozak registruje položaj i kre-

Svako ljudsko oko ima slijepu tačku – mjesto gdje optički nerv izlazi iz retine i gdje nema fotoreceptora. Ipak, ne primjećujemo prazninu u vidnom polju. Mozak automatski „popunjava“ nedostajuće informacije prema okolnom kontekstu, fenomen poznat kao perceptivna interpolacija.

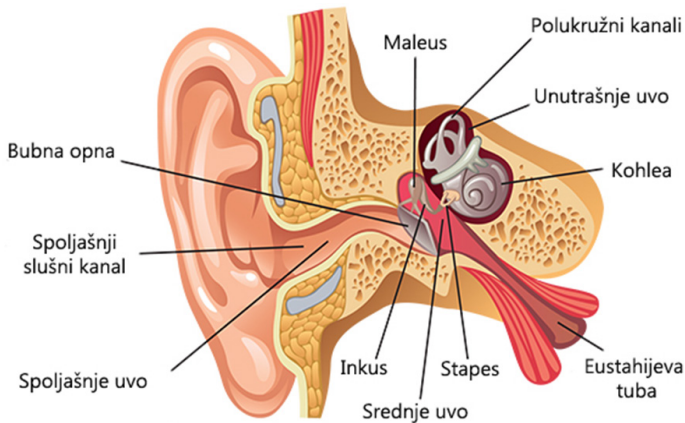
tanje objekata u prostoru, dok drugim putem (ventralni tok) prepoznaje njihova svojstva kao što su oblik, identitet i boja (Milner & Goodale, 2008). Ovaj organizovani sistem modularne obrade omogućava da svjetlosna stimulacija oka postane smislen vizuelni doživljaj. Ipak, važno je naglasiti da vid nije samo optički proces, već konstruktivna aktivnost mozga koji na osnovu iskustva i konteksta popunjava nedostajuće informacije, stabilizuje sliku uprkos pokretu i svjetlosnim promjenama, te omogućava percepciju dubine i trodimenzionalnosti. Zato se kaže da oko vidi ali razumije mozak.

Kada vidimo crveni krug koji se kreće, mi doživljavamo jedan objekat. Međutim, boja se obrađuje u jednoj zoni (V4), a pokret u drugoj (V5). Kako onda znamo da crvena boja i kretanje pripadaju istom objektu? Eksperimenti Treismanove (*Feature Integration Theory*) pokazali su da pažnja ima ulogu u vezivanju osobina. U tzv. treptaju pažnje (attentional blink), kada se stimulusi prikazuju brzo jedan za drugim, ljudi često kombinuju osobine pogrešno – npr. vide plavu sliku kako se kreće iako je plava bila statična, a crvena u pokretu.

Čulo sluha i čulo ravnoteže: od zvučnih talasa do percepcije zvuka i orijentacije u prostoru

Slušni sistem omogućava percepciju zvuka, jednog od najvažnijih oblika komunikacije sa okolinom (Bear et al., 2020). Glavni organ sluha je uho, koje se sastoji od tri ključna dijela: spoljašnjeg, srednjeg i unutrašnjeg uha, a svaki od njih ima posebnu ulogu u prenosu i obradi zvuka. Spoljašnje uho čine ušna školjka i ušni kanal, koji imaju zadatak da sakupe zvučne talase. Zvučni talasi su

mehaničke vibracije čestica u vazduhu koje se prikupljaju ušnom školjkom i usmjeravaju u spoljašnji slušni kanal (Kandel et al., 2021). Na završetku kanala nalazi se bubna opna, tanka membrana koja vibrira kao odgovor na dolazni zvučni talas. Te vibracije se prenose na tri minijaturne slušne koščiце smještene u srednjem uhu, čekić, nakovanj i uzengiju, koje mehanički pojačavaju signal i prenose ga do ovalnog prozora unutrašnjeg uha. Unutrašnje uho čini složeni membranski sistem ispunjen tečnošću, u čijem se spiralnom dijelu, kohlei ili pužu, nalazi Kortijev organ sa trepljastim ćelijama, koje predstavljaju receptore sluha. Kretanje tečnosti u kohlei savija treplje ovih receptorskih ćelija, čime se mehanička energija zvučnog talasa pretvara u nervni impuls (taj proces se naziva mehanotransdukcija). Receptorske ćelije sluha izuzetno su osjetljive i njihovo oštećenje, često izazvano prejakom bukom, infekcijama ili starenjem, dovodi do senzoneuralnog gubitka sluha, najčešćeg tipa trajnog oštećenja sluha kod ljudi. Slušni nerv (dio VIII moždanog živca) prenosi električne impulse do moždanog stabla, čime počinje viši nivo obrade zvučnih informacija. Informacije iz kohlee se organizuju već na ranom nivou, u kohlearnim jedrima moždanog stabla, a zatim se dalje prenose u gornje olive, strukture koje omogućavaju lokalizaciju zvuka poređenjem razlike u vremenu i jačini signala između lijevog i desnog uha (Bear et al., 2020). Nakon toga, signal nastavlja prema donjim kolikulusima u srednjem mozgu, centrima važnim za refleksno usmjeravanje pažnje prema izvoru zvuka, a zatim ka medijalnom genikulatnom tijelu talamusa, koji, kao i kod drugih čula, djeluje kao relejna stanica ka kori velikog mozga. Konačna obrada vrši se u primarnom slušnom korteksu smještenom u temporalnom režnju mozga, gdje se analiziraju osnovni elementi zvuka: frekvencija (visi-



Slika 5. Građa organa sluha (WebDr, 2019).

Napomena: Slika preuzeta sa <https://webdr.ba/index.php/2019/05/13/akutna-upala-srednjeg-uha/uvo-1/>

na tona), amplituda (jačina zvuka) i timbar (boja zvuka). Sekundarne slušne zone omogućavaju prepoznavanje složenih zvučnih obrazaca kao što su govor ili muzika, i njihovo povezivanje sa značenjem i sjećanjem. Funkcionalno, slušni sistem je blisko povezan sa sistemom ravnoteže koji se takođe nalazi u unutrašnjem uhu, u vestibularnom aparatu sačinjenom od polukružnih kanala, sakulusa i utrikulusa (Kandel et al., 2021). Ove strukture registruju promjene položaja glave i ubrzanja tijela, te omogućavaju osjećaj ravnoteže i prostorne orijentacije. Mehanoreceptori vestibularnog sistema reaguju na pomijeranje tečnosti unutar polukružnih kanala i šalju informacije malom mozgu i moždanom stablu, koji usklađuju pokrete očiju i tijela. Kada vestibularni sistem postane disfunkcionalan, javljaju se vrtoglavica (vertigo), poremećaji ravnoteže i mučnina, što ilustrativno pokazuje koliko je tijesna veza između percepcije položaja tijela i autonomnih fizioloških reakcija. Zahvaljujući integraciji slušnog i vestibularnog sistema, čovjek osim što čuje i orijentiše se u prostoru,

održava stabilan hod, refleksno usklađuje pokrete i zadržava ravnotežu čak i pri složenim kretanjima.

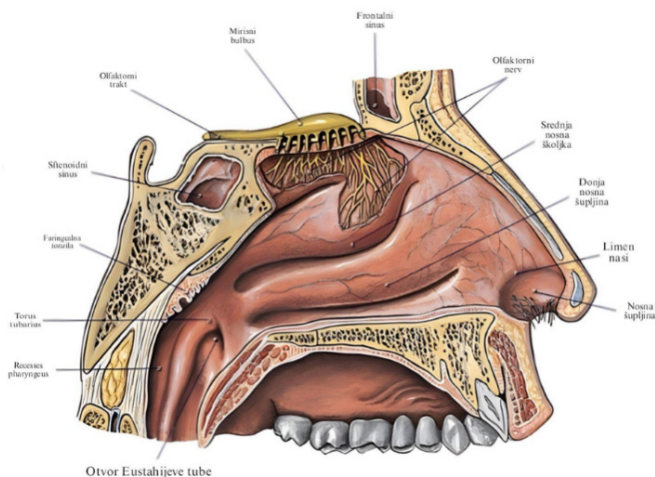
Da li ste se ikada zapitali zašto svoj glas čujemo drugačije nego drugi? Pa odgovor leži upravo u složenom odnosu čulo-mozak. Kada pričamo, naš glas do unutrašnjeg uha stiže i kroz vazduh i putem vibracija kostiju lobanje, zbog čega zvuči dublje. Na snimku svoj glas čujemo samo preko vazduha, pa nam zato zvuči "čudno".

Mučnina u vožnji nastaje zbog sukoba između informacija koje mozak dobija iz različitih čula. Dok vestibularni aparat u unutrašnjem uhu registruje da se tijelo kreće i osjeća ubrzanje, oči pri čitanju knjige ili gledanju u telefon „govore“ mozgu da mirujemo. Ovaj senzorni nesklad zbunjuje mozak, koji aktivira centre u moždanom stablu odgovorne za mučninu i povraćanje (area postrema).

Čulo mirisa: hemijski most između percepcije, emocija i pamćenja

Čulo mirisa jedno je od najstarijih čula u evoluciji i pripada hemijskim čulima, jer registruje supstance iz spoljašnje sredine putem njihovih molekula (Kandel et al., 2021). Proces započinje u nosnoj šupljini, gdje tokom udisanja mirisne molekule (odoranti) dopijevaju do olfaktornog epitela, tankog sloja smještenog u gornjem dijelu nosne šupljine. U njemu se nalaze olfaktorne receptorske ćelije – bipolarni neuroni čije treplje (cilije) sadrže receptorske proteine sposobne da vezuju različite hemijske molekule. Čovjek posjeduje oko 400 tipova olfaktornih receptora koji, kombinovanom aktivacijom, omogućavaju razlikovanje hiljada različitih mirisa.

Kada se odorant veže za receptor, izaziva se niz biokemijskih promjena koje dovode do stvaranja nervnog impulsa. Za razliku od većine drugih receptora u tijelu, olfaktorne receptorske ćelije se relativno često obnavljaju tokom života, zahvaljujući bazalnim ćelijama iz kojih se diferenciraju novi neuroreceptori. Aksoni olfaktornih



Slika 6. Čulo mirisa

receptora prolaze kroz sitastu kost i ulaze u olfaktorni bulbus, prvu stanicu obrade mirisnih informacija u mozgu. U bulbusu se organizuju u funkcionalne jedinice nazvane glomeruli, gdje ostvaruju sinapse sa mitralnim ćelijama koje dalje formiraju olfaktorni trakt. Olfaktorni trakt je izuzetak u odnosu na opšti plan senzornog sistema: za razliku od svih drugih čulnih puteva, koji prolaze kroz talamus, mirisne informacije zaobilaze talamus i direktno se projektuju u više moždane strukture, među kojima su piriformni korteks (primarni olfaktorni korteks), amigdalna i hipokampus. Time se objašnjava snažna veza između mirisa, emocija i pamćenja, jer limbički sistem, zadužen za emocionalnu obradu i formiranje sjećanja, učestvuje u obradi mirisnih informacija od samog početka. Zbog toga miris često može prizvati davno zaboravljene događaje ili emocionalne doživljaje, to je fenomen poznat kao „Proustov efekat“. Čulo mirisa takođe ima važnu odbrambenu ulogu, jer nam omogućava da prepoznamo potencijalno opasne supstance kao što su dim, hemikalije ili pokvarena hrana. Gubitak čula mirisa (anosmija), koji se može javiti

zbog virusnih infekcija, povreda glave ili neurodegenerativnih poremećaja, značajno utiče ne samo na kvalitet života, već i na doživljaj svijeta, apetit, emocionalno stanje i sigurnost.

Čulo ukusa: hemijska osnova prehrambenog ponašanja

Čulo ukusa pripada hemijskim čulima i omogućava prepoznavanje supstanci rastvorljivih u pljuvački putem specijalizovanih receptora smještenih na jeziku, mekom nepcu, ždrijelu i epiglotisu. Površina jezika ispunjena je sitnim ispupčenjima koja se nazivaju papile, a unutar njih nalaze se ukusni pupoljci kao osnovne funkcionalne jedinice gustatornog sistema. Svaki pupoljak sadrži između 50 i 150 receptorskih ćelija povezanih sa vlaknima senzornog



Slika 7. Pet osnovnih ukusa

nervnog sistema. Tradicionalno se smatralo da je jezik „podijeljen“ na regije specijalizovane za različite ukuse, ali savremena istraživanja pokazuju da se svih pet osnovnih kvaliteta ukusa, slatko, slano, kiselo, gorko i umami, može registrovati u gotovo svim dijelovima jezika, iako

neke regije imaju veći prag osjetljivosti od drugih. Slatkoća signalizira prisustvo šećera i energetskih izvora, slano ukazuje na soli važne za regulaciju elektrolita, kiselost čuva tijelo od pokvarene hrane, gorčina služi kao zaštita od toksina, dok umami (prijatan „mesni“ ukus povezan s L-glutamatom) označava prisustvo proteina.

Upravo zbog te adaptivne funkcije ukusa mnogi istraživači smatraju da gustacija predstavlja važan biološki mehanizam preživljavanja. Kada se molekuli hrane rastvore u pljuvački i vežu za receptore ukusnih ćelija, nastaje receptorsko depolarizacijsko pobuđenje koje se prenosi na senzorne neurone tri moždana živca: facijalnog (VII), glosofaringealnog (IX) i vagus nerva (X). Svi oni prenose gustatorne informacije do nucleus tractus solitarius u produženoj moždini, a zatim se signal usmjerava prema talamusu, odakle stiže do primarnog gustatornog korteksa smještenog u inzuli i donjem dijelu somatosenzorne kore parijetalnog režnja (Goldstein, 2019). Čulo ukusa blisko je povezano sa čulom mirisa i somatosenzornim sistemom usne duplje, pa konačan doživljaj hrane nije samo rezultat gustatornog sistema, već kombinovano opažanje koje nazivamo aromom. Zbog toga kod prehlada ili upala sinusa, kada je oslabljena olfaktorna funkcija, ljudi često imaju osjećaj da su „izgubili ukus“, iako je riječ o smanjenoj olfaktornoj percepciji. Gubitak ukusa (ageuzija) ili njegovo slabljenje (hipogeuzija) može biti posljedica oštećenja perifernih nervnih puteva, pušenja, nedostataka cinka, nekih virusnih infekcija ili neurodegenerativnih bolesti. Iako se često potcjenjuje u odnosu na vid i sluh, čulo ukusa ima ključnu biološku ulogu u regulaciji prehrambenog ponašanja, zaštiti organizma i uživanju u hrani.

Somatosenzorni sistem: dodir i temperatura

Somatosenzorni sistem obuhvata složen skup čulnih mehanizama pomoću kojih doživljavamo dodir, pritisak, vibracije i temperaturu, ali i položaj sopstvenog tijela u prostoru. Za razliku od vida i sluha, koji su lokalizovani u specifičnim organima, somatosenzorna percepcija obuhvata cijelo tijelo, jer su receptori raspoređeni u koži, mišićima, zglobovima i unutrašnjim organima. Koža, najveći organ ljudskog tijela, sadrži mrežu specijalizovanih receptora koji odgovaraju na različite mehaničke i termalne draži. Mehanoreceptori su osjetljivi na dodir i mehanički pritisak, pri čemu svaka vrsta receptora obrađuje specifičan aspekt taktilne percepcije. Merkelove ćelije registruju lagani, statički pritisak i teksturu, zbog čega omogućavaju preciznu diskriminaciju detalja pri dodiru, poput čitanja Brajevog pisma. Meissnerova tjelešca reaguju na brze promjene pritiska i vibracije niskih frekvencija, pa su važna za prepoznavanje dodira koji nastaje tokom interakcije sa predmetima. Pacinijeva tjelešca reaguju na duboke vibracije i brze promjene pritiska, dok Ruffinijevi završeci reaguju na istezanje kože i doprinose percepciji položaja zglobova i pokreta ruku i prstiju. Takva specijalizacija receptora omogućava bogatstvo dodirnih informacija koje prikupljamo prilikom istraživanja okoline. Pored mehanoreceptora, koža sadrži i termoreceptore, receptore osjetljive na toplotu i hladnoću. Nalaze se u površinskom i dubljem sloju kože i neprekidno registruju temperaturne promjene koje mogu biti bezopasne, ali i potencijalno štetne. Receptori za hladno aktivniji su u temperaturnom rasponu od oko 10 do 35 °C, dok receptori za toplo reaguju na temperature između 30 i 45 °C. Ispod ovog i iznad navedenog raspona aktiviraju se receptori bola, jer

ekstremne temperature mogu izazvati oštećenje tkiva. Informacije o dodiru i temperaturi prenose se kroz dva glavna senzorna puta: brži lemniskalni put, koji omogućava preciznu diskriminaciju dodira i lokalizaciju stimulusa, i sporiji spinothalmički put, koji prenosi informacije o grubim dodirima i temperaturi. Oba puta završavaju u talamusu, odakle se senzorne informacije projektuju prema primarnoj somatosenzornoj kori (S1) smještenoj u parijetalnom režnju mozga. U S1 postoji somatotopija (organizacija senzorne obrade prema dijelovima tijela), koja se često prikazuje kroz model senzornog "homunkulusa". Dijelovi tijela s najvećom taktilnom osjetljivošću, kao što su prsti i usne, zauzimaju disproporcionalno veliku površinu moždane kore, što odražava važnost ovih regija u percepciji i interakciji s okolinom. Somatosenzorni sistem omogućava ne samo registraciju dodira, već i aktivnu manipulaciju predmetima, koordinaciju pokreta i preciznu kontrolu ruku i prstiju, čineći ga ključnim za svakodnevno funkcionisanje.

Bol: zaštitni senzorni sistem organizma

Bol je specifičan dio somatosenzornog sistema, ali zbog svoje zaštitne i biološke važnosti smatra se posebnim sensorim modalitetom. Za razliku od drugih čula koja obavještavaju o spoljašnjem svijetu, bol nas upozorava na potencijalnu ili stvarnu opasnost po integritet tkiva i signalizira potrebu za zaštitnom reakcijom. Nociceptori, receptori za bol, nalaze se u koži, mišićima, tetivama, kostima i unutrašnjim organima. Oni nisu aktivni u normalnim uslovima, već se pobuđuju samo pri intenzivnim, potencijalno štetnim stimulacijama, kao što su ekstremna temperatura, jak pritisak, rezanje, upala ili hemijske pro-

mjene u tkivu. Postoje tri glavne vrste nociceptora: mehanički (aktivirani snažnim pritiskom ili povredom), termalni (aktivirani ekstremnim temperaturama) i polimodalni (reaguju na više različitih štetnih draži). Informacije o bolu prenose se u mozak putem dvije vrste nervnih vlakana: brza A-delta vlakna prenose akutni, oštar i lokalizovan bol koji omogućava brzu zaštitnu reakciju, dok spora i tanja C-vlakna prenose dugotrajan, tup i difuzan bol koji nas upozorava na potrebu mirovanja i oporavka tkiva. Signal putuje spinotalamičkim putem ka talamusu, a zatim u somatosenzornu koru, gdje se bol prepoznaje i lokalizuje. Međutim, doživljaj bola nije samo čulni fenomen, on uključuje i limbički sistem i prefrontalni korteks, zbog čega bol uvijek ima i emocionalnu i kognitivnu komponentu (Kandel et al., 2021). Zbog toga je moguće da isti bol stimuliše različit intenzitet doživljaja u zavisnosti od emocionalnog stanja, pažnje, prethodnog iskustva ili očekivanja osobe. Bol je i neurofiziološki fleksibilan fenomen: mozak može pojačati njegovu percepciju (hiperalgezija) ili je potisnuti aktivacijom endogenih sistema za supresiju bola putem endorfina. Hronični bol, koji traje duže od tri mjeseca, predstavlja ozbiljan medicinski, psihološki i društveni problem, jer remeti kvalitet života i funkcionalnost, često čak i bez jasnog izvora u tkivima. Upravo zbog toga bol predstavlja spoj biologije, psihologije i subjektivnog doživljaja kao nijedan drugi senzorni sistem.

Propriocepcija: unutrašnje čulo pokreta i položaja tijela

Propriocepcija je sposobnost opažanja položaja i pokreta dijelova tijela, koja nastaje obradom informacija pristiglih iz proprioceptivnih receptora u mišićima, tetivama i zglobovima. Ona predstavlja „unutrašnje čulo“ koje

pruža stalne informacije o položaju zglobova, napetosti mišića i dinamici pokreta. Zahvaljujući proprioceptiji, možemo hodati bez gledanja u stopala, dohvatiti predmet bez pokušaja provjeravanja okom ili precizno svirati muzički instrument. Mišićna vretena detektuju promjene dužine mišića i brzinu njihovog istezanja, čime omogućavaju doživljaj položaja ekstremiteta. Goldijevi tetivni organi registruju tenziju u mišićima i štite ih od preopterećenja refleksnim opuštanjem kada sila postane prevelika. Zglobni receptori smješteni u ligamentima i zglobnim kapsulama šalju informacije o položaju i pokretima zglobova, posebno pri promjeni pravca ili iznenadnim ubrzanjima. Proprioceptivna informacija se prenosi brzim nervnim putevima do kičmene moždine, malog mozga i somatosenzorne kore. Mali mozak ima ključnu ulogu u kontroli i korekciji pokreta u realnom vremenu, poredeći planirani pokret sa stvarnim izvođenjem i vršeći motoričku korekciju. Ovaj sistem sarađuje sa vestibularnim sistemom unutrašnjeg uha i vizuelnim sistemom kako bi se održala posturalna stabilnost i koordinacija pokreta. Kada proprioceptija oslabi, kao kod povreda zglobova, polineuropatija ili neuroloških oboljenja, javljaju se nesigurnost u hodu, loša koordinacija pokreta i smanjena sposobnost preciznog izvođenja motornih radnji. Proprioceptija je ključna ne samo za motoričku kontrolu, već i za perceptivno jedinstvo tijela: ona stvara osjećaj tjelesne šeme, unutrašnjeg modela tijela koji nam omogućava da doživimo vlastito tijelo kao cjelinu u prostoru.

Interoceptija: unutrašnje čulo tjelesnih stanja

Interoceptija predstavlja sposobnost organizma da opaža unutrašnja tjelesna stanja kao što su glad, žeđ, rad

srca, pokreti crijeva, nivo napetosti mišića, hormonski balans ili promjene u disanju (Møller, 2011). Za razliku od somatosenzorne percepcije, koja pruža informacije o spoljašnjem svijetu i kontaktu tijela sa okolinom, interoceptija informiše mozak o stanju unutar tijela i ključna je za održavanje homeostaze. Receptori koji učestvuju u interoceptivnoj obradi nalaze se u unutrašnjim organima, krvnim sudovima, srčanom mišiću i viscerosceptivnim strukturama gastrointestinalnog sistema. Oni registruju promjene kao što su pH vrijednost krvi, osmotski pritisak, nivo kiseonika ili prisustvo bola u unutrašnjim organima. Ove informacije se putem visceralnih aferentnih vlakana prenose ka mozgu uglavnom preko vagusnog nerva kičmene moždine, koji predstavlja ključnu komunikacijsku vezu između unutrašnjih organa i centralnog nervnog sistema. Interoceptivni signali prvo dolaze u moždano stablo i talamus, a zatim se obrađuju u insularnom korteksu – području mozga koje je funkcionalno specijalizovano za integraciju tjelesnih senzacija sa emocionalnim doživljajem. Zato interoceptija ima snažnu vezu sa emocijama i subjektivnim iskustvom „tjelesnog doživljaja“. Ubrzano lupanje srca može biti protumačeno kao strah, a napetost u stomaku kao zabrinutost ili stres, što pokazuje da emocionalno stanje neraskidivo proizlazi iz tjelesnog signala. Osobe sa većom interoceptivnom svjesnošću preciznije opažaju unutrašnje signale iz tijela, dok smanjena interoceptija može biti povezana sa emocionalnim distanciranjem, poremećajima ishrane ili anksioznošću. Interoceptija zato zauzima jedinstveno mjesto među čulima jer ona nije samo neurofiziološki senzorni mehanizam, već i temelj tjelesne samosvijesti.

Integracija čulnih informacija u mozgu – kako nastaje jedinstvena percepcija?

Iako svaki senzorni sistem ima svoje specifične receptore, puteve i moždane zone, čula nikada ne funkcionišu izolovano. U svakom trenutku mozak prima ogromnu količinu podataka iz okoline (vizuelne, auditivne, taktilne, olfaktorne, proprioceptivne i interoceptivne) i pretvara ih u jedinstven, smislen doživljaj stvarnosti. Ovaj proces naziva se multisenzorna integracija, a odvija se na više nivoa: od talamusa i moždanog stabla do parijetalnih i frontalnih asocijativnih kortikalnih područja. Jedna od ključnih struktura u tom procesu je talamus, koji ne samo da distribuira informacije ka odgovarajućim dijelovima kore, već vrši i selekciju i sinhronizaciju ulaza iz više čula. Dodatno, superiorni kolikulus u srednjem mozgu kombinuje informacije iz vida i sluha kako bi omogućio orijentacione reakcije u prostoru, poput automatskog okretanja glave prema zvuku. Nakon što informacije stignu u primarne senzorne zone, one se prosljeđuju ka asocijativnim područjima, gdje se vrši njihova integracija sa prethodnim iskustvom, memorijom, emocijama i značenjem. Multisenzorna integracija omogućava da različita čula sarađuju, pa tako vizuelni signali mogu pojačati percepciju ukusa, a miris može uticati na procjenu kvaliteta hrane. Percepcija je, međutim, više od pukog sabiranja senzacija: ona je aktivna interpretacija stvarnosti. Mozak koristi dva smjera obrade informacija: „odozdo prema gore“ (*bottom-up*) gdje se informacije analiziraju počev od receptora ka višim centrima, i „odozgo prema dolje“ (*top-down*) u kojoj iskustvo, očekivanja i pažnja utiču na to kako doživljavamo spoljašnje draži. Zato ista senzorna stimulacija ne mora uvijek izazvati isti perceptivni doživljaj. Ovaj princip je osnova perceptivnih

iluzija, kao i razlike u opažanju među ljudima. Integracija čulnih sistema omogućava stabilnost percepcije uprkos promjenama u senzornim ulazima. Prilikom hodanja, na primjer, slika na mrežnjači stalno se pomijera, ali mozak održava stabilan vizuelni doživljaj zahvaljujući integraciji senzorne povratne informacije iz očiju, vestibularnog aparata i proprioceptivnih receptora. Sličan princip važi i za slušanje govora u buci, gdje mozak kombinuje slušne signale sa vizuelnim informacijama iz pokreta usana kako bi prepoznao riječi (McGurk efekt). Ovi primjeri pokazuju da percepcija nije vjerna kopija stvarnosti, već rezultat složene neuronske konstrukcije iskustva. Time se zatvara put od čula do mozga: draž postaje signal, signal postaje senzacija, a senzacija, zahvaljujući mozgu, postaje značenje.

Na kraju možemo rezimirati da percepcija svijeta počinje u čulima, ali njena konačna priroda određena je načinom na koji mozak organizuje, integriše i interpretira senzorni unos. Svaki senzorni sistem posjeduje specifičnu anatomsku strukturu i fiziološki mehanizam prijema informacija: fotoreceptori omogućavaju vizuelnu percepciju svjetlosti, mehanoreceptori pretvaraju vibracije u zvuk, hemijski receptori omogućavaju doživljaj ukusa i mirisa, a taktilni receptori i proprioceptori pružaju informacije o dodiru i položaju tijela. Senzorna transdukcija i prenos signala ka mozgu odvijaju se složenim mrežama nervnih puteva, pri čemu talamus ima centralnu ulogu u distribuciji informacija, osim u olfaktornom sistemu koji direktno komunicira sa limbičkim strukturama. Tek na nivou moždane kore senzacije postaju percepcija, a kroz multisenzornu integraciju mozak formira jedinstven i stabilan doživljaj stvarnosti uprkos stalnim promjenama u senzornim podacima. Time se otvara jedno od najvažnijih pitanja psihologije opažanja: ako mozak konstruiše stvarnost, da li je moguće da nas po-

nekad prevari? Ova tema vodi nas ka sljedećem poglavlju, posvećenom perceptivnim iluzijama, kroz koje ćemo razumjeti kako ograničenja i principi funkcionisanja senzornog sistema otkrivaju pravu prirodu ljudske percepcije.

- Bear, M. F. (2007). *Neuroscience: Exploring the brain* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2020). *Neuroscience: Exploring the brain* (4th ed.). Wolters Kluwer.
- Blumenfeld, H. (2010). *Neuroanatomy through clinical cases* (2nd ed.). Sinauer Associates.
- Goldstein, E. B. (2019). *Sensation and perception* (10th ed.). Cengage Learning
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). *Textbook of medical physiology* (14th ed.). Elsevier.
- Kandel, E. R., Koester, J. D., Mack, S. H., & Siegelbaum, S. A. (2021). *Principles of neural science* (6th ed.). McGraw-Hill.
- Livingstone, M., & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: Anatomy, physiology, and perception. *Science*, 240(4853), 740–749.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774–785. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.005>
- Møller, A. R. (2011). *Sensory systems: Anatomy and physiology*. Academic Press.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A. S., Mooney, R. D., & White, L. E. (2018). *Neuroscience* (6th ed.). Oxford University Press.
- Treisman, A. (1996). The binding problem. *Current Opinion in Neurobiology*, 6(2), 171–178. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(96\)80070-5](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(96)80070-5)
- Yantis, S. (2001). Visual attention: Control, representation, and time course. *Annual Review of Psychology*, 52, 201–228.
- Sherrington, C. S. (1906). *The integrative action of the nervous system*. Yale University Press.
- Sternberg, R. J. (2005). *Cognitive psychology* (4th ed.). Thomson Wadsworth.
- Zdravković, S. (2008). *Percepcija*. Filozofski fakultet u Beogradu.

Perceptivne iluzije - da li nas varaju čula ili mozak?

Da li je ono što vidimo uvijek stvarno, ili nas sopstvena čula ponekad obmanjuju? Ovo pitanje ne izaziva samo radoznalost, već nas vodi u dublje promišljanje o samoj prirodi ljudske percepcije. Naša čula, iako fascinantno precizna, nisu nepogrešiva, ona su alat kroz koji doživljavamo svijet, ali i izvor potencijalnih zabluda. Perceptivne iluzije su veoma interesantan fenomen i predmet proučavanja u neuronauci, te je fokus istraživanja usmjeren na otkrivanje neuroloških mehanizama koji leže u osnovi ovih iluzija, sticanju saznanja o tome kako naš mozak obrađuje senzorne informaciju i konstruiše percepciju, kao i otkrivanje razloga zbog kojih naš kognitivni aparat ponekad pravi greške u percepciji.

Naučna literatura često razlikuje tri vrste perceptivnih iskustava: (a) tačnu percepciju stvarnosti, koja odgovara stvarnom stanju objektivne stvarnosti; (b) iluzije, koje predstavlja pogrešnu interpretaciju stvarnosti; i (c) halucinacije, gdje dolazi do formiranja percepta bez prisustva odgovarajućeg spoljašnjeg stimulusa (Macpherson, 2013). Perceptivne iluzije, dakle, možemo definisati kao perceptivna iskustva u kojima naša percepcija pouzdano ne odgovara pravoj prirodi sirovih senzornih informacija (Gregory, 1997). Smatra se da perceptivne iluzije obično nastaju usljed načina na koji mozak kodira senzorne informacije, te se često koriste za izvođenje zaključaka o mehanizmima kodiranja senzornih informacija (Eaglesman, 2001). Međutim, perceptivne iluzije mogu, takođe, biti posljedica načina na koji mozak dekodira senzorne informacije (Gregory, 1997). Novija istraživanja iz oblasti neuronauke ukazuju da perceptivne iluzije ne treba po-

smatrati kao neuspjeh perceptivnog sistema da adekvatno obradi ulazne informacije, već se one putem teorije perceptivnog zaključivanja objašnjavaju kao produkt kognitivnog aparata, koji nastaje prilikom obrade kontekstualnih informacija i prethodnih očekivanja u cilju efikasne interpretacije senzornih informacija (Purves et al., 2011). Možda je zabavno percipirati iluzije, ali je sticanje uvida u mehanizme koji su uključeni u njihovo formiranje još interesantnije. Perceptivne iluzije nam mogu ukazivati na ograničenja i kapacitete našeg perceptivnog sistema, a dodatno, one nam omogućavaju da analiziramo kognitivne procese koji leže u osnovi naše percepcije (Carbon, 2014).

Unutar ovog poglavlja, obradimo neke od odabranih vizualnih, auditivnih i taktilnih perceptivnih iluzija i razmatrati neurološku osnovu njihovog nastanka, te pokušati da na osnovu savremene naučne literature odgovorimo na pitanje da li nas varaju čula ili mozak?

Vizuelne iluzije

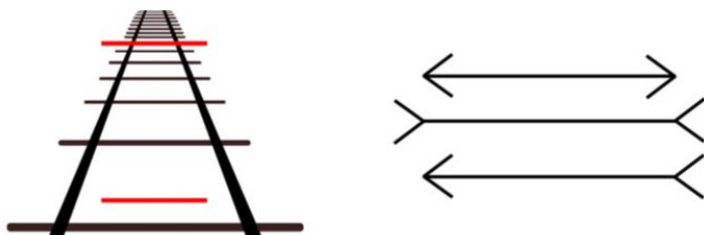
Vizuelne iluzije su fascinantni fenomeni koji ukazuju na ključnu karakteristiku naših neurokognitivnih sistema, konkretnije, da se naš mozak nije razvio kao savršen perceptivni uređaj koji pruža apsolutno vjerodostojne prikaze objektivne stvarnosti, već integriše prethodno znanje i kontekstualne informacije, koje se spajaju zajedno u našem subjektivnom svjesnom iskustvu (Carbon, 2014). Iako priroda procesa koji leže u osnovi percepcije iluzija, bilo da su povezani sa karakteristikama nižeg nivoa obrade vizuelnog sistema (Gori et al., 2016) ili procesa odozgo ka dole i dalje ostaje predmet rasprave, ističe se sve veći broj literature koja predlaže konceptualizaciju iluzija u okviru Bayesove hipoteze o mozgu (Friston, 2010), gdje se

iluzije konceptualizuju kao nevjerodostojna perceptivna iskustva koja su rezultat toga što kognitivni sistem pridodaje veliki značaj prethodnom znanju u cilju minimizacije grešaka u predviđanju.

Geometrijske iluzije

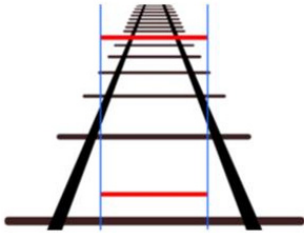
Termin “geometrijska optička iluzija”, prevedeno sa njemačkog “geometrisch-optische Täuschung”, prvi je iskoristio Oppel (1855) u svom radu o procjenjivanju prekinutog u poređenju sa neprekinutim prostornim opsegom, koji kasnije naziva Oppel-Kundtova iluzija jer ju je takođe proučavao Kundt (1863). Interesovanje za ove iluzije bilo je u porastu tokom druge polovine devetnaestog vijeka, naročito u Njemačkoj, a od tada se dostupna literatura na ovu temu stalno povećava (Robinson, 1998).

Sada, pažljivo analizirajte obje slike ispod, te procjenite koja linija je najduža na svakoj slici.



Slika 8. Ilustracije vizuelnih iluzija

Autori prikazanih iluzija su italijanski psiholog Mario Ponzo (Ponzo, 1910) i njemački psiholog i sociolog Franz Carl Müller-Lyer (Müller-Lyer, 1889). Iako se linije na pojedinačnim slikama opažaju kao različite dužine, one su u stvarnosti jednake.



Slika 9. Ponzo iluzija



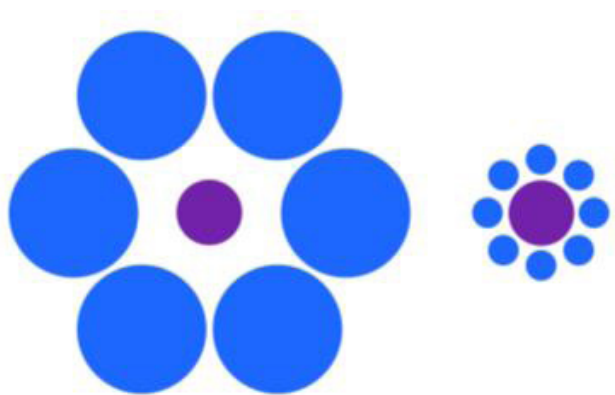
Slika 10. Müller-Lyerova iluzija

Ponzo iluzija (Ponzo, 1910), u kojoj dvije identične linije izgledaju da su različite veličine kada su postavljene preko različitih dijelova kontekstualnih linija, ilustruje da procjene o veličini objekta zavise od konteksta. Konkretnije, pošto su obje linije postavljene unutar konteksta koji može da sugerise da se linije nalaze na različitim udaljenostima (Gregory, 1966), „udaljena“ linija može da izgleda veća od „bliže“ šipke. U istraživanju He i saradnika (2015) korištena je tehnika mapiranja populacionih receptivnih polja, koja se bazira na funkcionalnoj magnetnoj rezonanci, uz kombinaciju psihofizičkih metoda, u cilju ispitivanja fenomena Ponzo iluzije. Rezultati istraživanja pokazuju da povećanje prividne dubine u 3D sceni uzrokuje pomijeranje populacionih receptivnih polja u vizuelnim područjima V1-V3 prema fovei. Štaviše, što je pomijeranje populacionih receptivnih polja u području V1 bilo izraženije, to je bio snažniji doživljaj Ponzove iluzije. Ovi nalazi sugerisu blisku vezu između percipirane veličine objekta i pomijeranja pozicije populacionih receptivnih polja, a naročito u zoni V1.

Kod Müller-Lyer-ove iluzije (Müller-Lyer, 1889) dolazi do promjene u percepciji dužine linije putem strelica koje se nalaze na krajevima linija, koje su okrenute ka unutra ili spolja, te se razlika između retinalne i percipirane veličine definiše kao jačina iluzije.

U slučaju Müller-Lyer-ove iluzije, jačina iluzije zavisi od dužine strelica i ugla koji one zaklapaju (Pressey i Martin, 1990; Erlebacher i Sekuler, 1969). Nalazi studije Plewan et al. (2012) ukazuju da percepcija Müller-Lyerove iluzije uključuje mrežu moždanih područja koja obuhvataju ventralni i dorzalni tok, te dok je lateralni okcipitalni korteks uključen u skaliranje veličine i generisanje reprezentacija objekata invarijantnih na veličinu, desni superiorni parijetalni korteks dalje obrađuje ove reprezentacije.

Još jedan primjer perceptivne iluzije prikazan je na narednoj slici. Iako su ljubičasti krugovi jednake veličine, njihov odnos prema okolnim elementima stvara utisak da je krug sa desne strane veći od onog sa lijeve strane. To je u literaturi poznato kao Ebbinghausova iluzija.



Slika 11. Ebbinghausova iluzija

Odavno je poznato da percipirana veličina objekta zavisi od veličine objekta u neposrednoj blizini (von Helmholtz, 1867). Ebbinghausova iluzija (ili Tičenerovi krugovi) je još jedna optička iluzija u percepciji veličine, gdje stimulus okružen manjim stimulusima izgleda veći, dok stimulus okružen većim stimulusima izgleda manje.

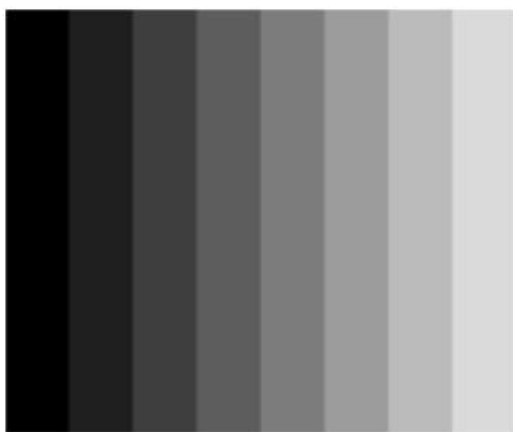
(Ebbinghaus, 1902; Titchener, 1901). Teorija kontrastne veličine objašnjava Ebbinghausovu iluziju ističući da vizuelni sistem koristi spoljašnje elemente kao referentni standard, kako bi procijenio veličinu centralnog stimulusa, te kako je veličina spoljašnjih elemenata potrebna da bi se registrovala i vratila povratna informacija o veličini centralnog stimulusa, teorija kontrastne veličine implicira uključenost viših nivoa procesa zaključivanja (De Fockert et al., 2007; Gold, 2014; Massaro i Anderson, 1971). Drugo objašnjenje pruža teorija interakcije kontura (Jaeger, 1978), koja objašnjava Ebbinghausovu iluziju bez pozivanja na veličinu objekta, već na interakcije nižih nivoa između vizuelnih kontura.

Rezultati studije Schwarzkopf et al. (2010) pronašli su statistički značajnu, negativnu korelaciju između snage iluzije i primarnog vizuelnog korteksta, konkretnije, površine zone V1. Ovi nalazi su u skladu sa rezultatima istraživanja koja sugerišu da je aktivnost neuronskih mreža u zoni V1 povezana sa percepcijom veličine objekata (Murray et al., 2006; Fang et al., 2008). Površina zone V1, pored toga što je neuronski korelat snage same iluzija (Fang et al., 2008), predviđa interindividualne razlike u vizuelnoj svijesti o veličini. Pored toga, promjene u percipiranoj veličini vizuelnog stimulusa usljed dubinskih znakova (Fang et al., 2008, Murray et al., 2006) i adaptacijom na veličinu (Pooresmaeili et al., 2013) koreliraju sa aktivacijom u primarnom vizuelnom korteksu. Interesantni su nalazi studije Doherty et al. (2010) koji pokazuju da efekti kontrastne veličine u Ebbinghausovoj iluziji, za razliku od odraslih, nisu pronađeni kod djece mlađe od 7 godina, te se smatra da je razvoj kontekstualne osjetljivosti u Ebbinghausovoj iluziji postepen i traje najmanje do 10. godine života. Autori studije smatraju da ovi nalazi jasno impli-

ciraju da se različite funkcije ventralnog i dorzalnog puta razvijaju različitim brzinama. Neke funkcije ventralnog puta se razvijaju rano u djetinjstvu (Dannemiller, 2001), ali, kao i one koje se tiču obrade lica i mjesta (Grill-Spector et al., 2008), te percepcije veličine, nastavljaju da se razvijaju sve do adolescencije.

Iluzije boje i kontrasta

Kada se posmatraju Mahovi pojasevi, primijetićete da se u svakoj pojedinačnoj koloni, s desne strane javljaju trake koje su tamnije od same kolone, te s lijeve strane trake koje su svjetlije od same kolone.



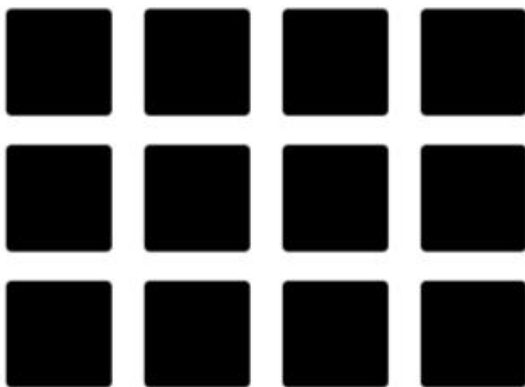
Slika 12. Mahovi pojasevi

Fizičar Ernst Mach je prvi primijetio iluzorne tamne i svijetle trake, te je pretpostavio da se one javljaju kao rezultat recipročnih interakcija između susjednih retinalnih ćelija, odnosno lateralne inhibicije, procesa u kojem aktivacija jedne retinalne ćelije smanjuje aktivnost susjednih ćelija, čime se pojačava kontrast na granicama između

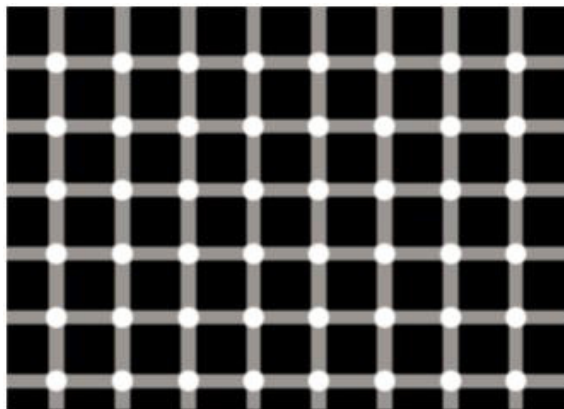
različitih nivoa osvijetljenosti i olakšava percepciju ivica objekata (Mach, 1865).

Iluzija Mahovih pojaseva ima praktične implikacije u medicini, jer može uticati na donošenje adekvatne dijagnoze, konkretnije, prilikom radiografije, ukoliko se postojanje ove iluzije ne uzme u obzir. Mahovi pojasevi koji se preklapaju sa kostima mogu se pogrešno percipirati kao prelomi. U slučaju kada kožni nabori dovedu do iluzije Mahovih pojasa, ova iluzija može oponašati izgled pneumotoraksa, konkretnije, vazduha u prostoru koji okružuje pluća (Kattea i Labebede, 2015). Mahovi pojasevi takođe mogu biti uzrok pogrešne dijagnoze karijesa na dentalnim radiografijama (Thomson i Johnson, 2018).

Iluzija Hermannove mreže (1870) sastoji se od preklapajućih vertikalnih i horizontalnih bijelih linija koje su postavljene preko crne pozadine, čime se formira niz ravnomjerno raspoređenih crnih kvadrata. Na presjecima linija percipiraju se iluzorni sivi krugovi, koji se mogu primijetiti svuda osim na presjeku na kojem ste trenutno fokusirali pogled, fascinantno zar ne?



Slika 13. Iluzija Hermannove mreže



Slika 14. Iluzija svjetlucave mreže

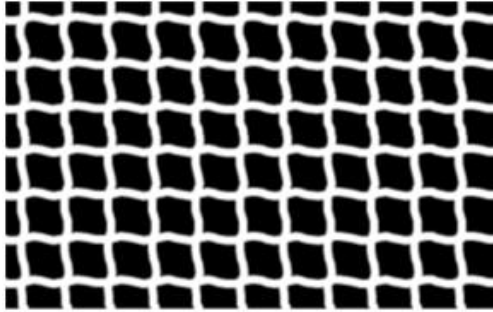
Iluzija svjetlucave mreže predstavlja varijaciju iluzije Hermannove mreže i sastoji se od bijelih diskova koji su postavljeni na presjeka sivih linija na crnoj pozadini (Schrauf et al., 1997).

U nasumičnim bijelim krugovima, pojavljuju se i brzo nestaju tamni krugovi, osim u slučajevima kada se pogled fokusira na jedan od presjeka, ili u slučajevima kada sliku gledate iz blizine.

Tokom godina, iluzija Hermannova mreže bila je predmet većeg broja istraživanja (Hering 1964; Spillmann i Levine 1971; Spillmann 1994; Ninio i Stevens 2000; De Lafuente i Ruiz, 2003). Interesovanje za iluziju je dodatno poraslo kada je ponuđeno objašnjenje ove iluzije u vidu lateralne inhibicije. Ovo objašnjenje zasniva se na rezultatima iz oblasti neurofiziologije, koji su pokazali da retinalne ganglijske ćelije imaju antagonističku organizaciju u centralnim i okolnim neuronima (Kuffler 1953; Werblin i Dowling 1969; Schiller 1995).

Međutim, istraživači su otkrili nekoliko fenomena koje lateralna inhibicija neurona ne može da objasni, te kako

se sivi krugovi ne pojavljuju na presjecima u Geierovom obrascu (Geier et al. 2008), koji iskrivljuje putanje u iluziji Hermannove mreže (Hermann, 1870), ovi nalazi sugeriraju da iluzija nastaje zbog drugačijih mehanizama.



Slika 15. Geierov obrazac

Novije istraživanje, ponudilo je objašnjenje ove iluzije koje se zasniva na slijepoj mrlji, koja se nalazi u oba oka (Nishiyama, 2024).



Slika 16. Varijacija iluzije svjetlucave mreže

Prema Nishiyama, (2024), kada je fokus na centralnom krugu sa oba oka, on izgleda kao bijeli krug, te se na tom mjestu ne percipira iluzorni crni krug, dok kada je fokus na lijevom bijelom krugu, on izgleda bijelo, ali desni krug pada na slijepu mrlju, što dovodi do percepcije crnog iluzornog kruga. Suprotno tome, kada se lijevom okom fokusira na desni krug, on izgleda bijelo, ali lijevi krug tada pada na slijepu mrlju, te se percipira iluzorni crni krug. Autor studije navodi da se sa pomijeranjem fokusa,

pomijera i slijepa mrlja što dovodi do iluzije Hermannove mreže.

Auditivne iluzije

McGurk efekt

Govor je primarni oblik komunikacije kod ljudi, te u cilju poboljšanja razumijevanja govora, naš kognitivni aparat kombinuje informacije auditornog (govor koji čujemo) i vizuelnog (pokrete usana) modaliteta (Hickok i Poeppel, 2007; Poeppel et al., 2007; Samuel, 2011). Auditivna iluzija poznata kao McGurk efekt (McGurk i MacDonald, 1976) govori u prilog ovoj integraciji auditivnih i vizuelnih informacija. U studiji McGurk i MacDonald (1976), ispitanici su bili izloženi auditivnom stimulusu "ba", koji je predstavljen uz vizuelni stimulus, u vidu pokreta usana kojim se izgovara slog "ga", što je dovelo do toga da su ispitanici percipirali potpuno drugačiji slog, „da“, koji se naziva McGurk-ov percept. Međutim, ovu auditivnu iluziju ne doživljavaju sve osobe, pri čemu se procjene o podložnosti McGurk efektu u populaciji kreću između 26% i 98% (Gentilucci i Cattaneo, 2005; McGurk i MacDonald, 1976). Rezultati većeg broja istraživanja ukazuju da superiorni temporalni sulkus igra ključnu ulogu u procesu multisenzorne integracije auditivnih i vizuelnih informacija (Beauchamp et al., 2004; Macaluso et al., 2004; Miller and D'Esposito, 2005; Noesselt et al., 2007; Sekiyama et al., 2003).

Ovi nalazi sugerišu da ukoliko se lijevi superiorni temporalni sulkus aktivira prilikom integracije nekongruenčnih auditivnih i vizuelnih informacija koji čine McGurk stimulus, to dovodi do formiranja McGurk-ovog percepta.

Suprotno tome, ukoliko se lijevi superiorni temporalni sulkus ne aktivira, neće doći do formiranja McGurk-ovog percepta. U prilog ovim nalazima govore rezultati studije u kojoj je kod ispitanika primjenjivana transkranijalna magnetna stimulacija na lijevom superiornom temporalnom sulkus, što je dovelo do značajnog umanjavanja formiranja McGurk-ovog percepta. Vođeni nalazima koji sugerišu da povećana aktivnost lijevog superiornog temporalnog sulkusa igra ključnu ulogu u procesu multisenzorne integracije (Beauchamp et al., 2004; van Atteveldt et al., 2004; Wright et al., 2003), Nath i Beauchamp (2012) sprovode studiju, uz postavljenu hipotezu da će razlika u aktivnosti lijevog superiornog temporalnog sulkusa i potencijalno drugih dijelova mozga, biti glavna razlika između ljudi kod kojih dolazi do formiranja McGurk-ovog percepta i onih kod kojih on izostaje. Konkretnije, u skladu sa postavljenom hipotezom, očekivana je značajna aktivnost superiornog temporalnog sulkusa kod ispitanika koji su podložni McGurk- ovom efektu, što dovodi do integracije auditivnih i vizuelnih informacija, a suprotno tome, očekivana je značajno niža aktivnost kod ispitanika koji nisu podložni McGurk-ovom efektu, te kod kojih ne dolazi do multisenzorne integracije informacija. Putem funkcionalne magnetne rezonance mjerena je moždana aktivnost u superiornom temporalnom sulkus i drugim ključnim zonama, odgovornim za obradu audiovizualnih informacija, poput ekstrastrijatnog vizuelnog korteksa, auditornog korteksa i inferiornog frontalnog girusa (Scott and Johnsrude, 2003).

Dobijeni rezultati u studiji Nath i Beauchamp (2012) potvrdili su hipotezu istraživanja. Autori ove studije navode da ovaj liberalniji kriterijum za integraciju auditivnih i vizuelnih informacija predstavlja vrstu prednosti u

u uslovima povećanog auditivnog šuma. U prilog tome govore nalazi studije Sekiyama i Tohkura (1991) koji pokazuju da je McGurk efekat izraženiji u situacijama kada je prisutna velika količina auditivnog šuma. Ovakvi nalazi su u skladu i sa drugim istraživanjima koji ukazuju da je audiovizuelna integracija informacija naročito važna u u uslovima buke, jer je multisenzorna integracija najizraženija u okolnostima kada su ispitanici izloženi stimulusima slabog intenziteta (Eisner et al., 2010; Grant and Seitz, 2000; Stein and Meredith, 1993).

Uzimajući u obzir da postoji povezanost superiornog temporalnog sulkusa sa auditivnim i vizuelnim korteksom, te povezanost sa stepenom šuma u situacijama u kojima su auditivne i vizuelne informacije kongruentne (Nath and Beauchamp, 2011), pretpostavlja se da sa povećanjem šuma u auditivnim informacijama, dolazi do slabljenja veze između auditivnog korteksa i superiornog temporalnog sulkusa, dok veza između vizuelnog korteksa i superiornog temporalnog sulkusa postaje jača, što dovodi do povećanog uticaja vizuelnog stimulusa u procesu obrade informacija, te se povećava vjerovatnoća da će se McGurk-ov efekat manifestovati.

Binauralni otkucaji

Istraživanja binauralnih otkucaja, započela su još davne 1839. godine, kada je ovaj fenomen prvi put opisao fizičar Heinrich Wilhelm Dove (Dove & Moser, 1839). Naime, kada se ljudima dok nose slušalice, odvojeno na oba uha, izlože dva tona, čije se frekvencije razlikuju u maloj mjeri, dolazi do percepcije trećeg tona koji predstavlja razliku frekvencije dva predstavljena tona. Konkretnije, kada se ton frekvencije 400 Hz izloži desnom uhu, a drugi ton fre-

kvencije 420 Hz istovremeno lijevom uhu, dolazi do percepcije binauralnih otkucaja od 20 Hz. Međutim, postoje određena ograničenja vezana za percepciju binauralnih otkucaja. Rezultati studije Licklider et al. (1950) ukazuju da frekvencija dva izložena tona može biti maksimalno 1000 Hz, kako bi se izazvala percepcija binauralnih otkucaja, što je posljedica toga da auditivni put može da kodira samo zvučne talase sa frekvencijama do 1 kHz (Schwarz i Taylor, 2005; Rolls, 2023). Dodatno, nalazi sugerisu da se binauralni otkucaji najbolje percipiraju kada je frekvencija dva izložena tona oko 400 Hz (Goodin et al., 2012). Nalazi istraživanja Perrott i Nelson (1969) su pokazali da maksimalna razlika dva izložena tona mora biti oko 30 Hz, te ukoliko je razlika frekvencija veća od 30 Hz, izloženi će se percipirati odvojeno umjesto da izazovu percept binauralnih otkucaja. Prema Licklider et al (1950) postoje razlike u percepciji binauralnih otkucaja koje zavise od razlike frekvencija izloženih tonova, te razlike do 20 Hz dovode do percepcije binauralnih otkucaja koji se opisuje kao ton čija jačina zvuka varira, dok frekventne razlike veće od 20 Hz stvaraju percept grubog zvuka. Ukoliko je razlika u frekvencijama tona manja od 3 Hz, binauralni otkucaji se percipiraju kao rotirajući ton, konkretnije, stvara se percept zvuka koji se rotira u glavi od uha do uha (Perrott i Musicant, 1977). Dodatno, Schwarz i Taylor (2005) su utvrdili da ispitanici mogu u određenoj mjeri uticati na percepciju binauralnih otkucaja fokusiranjem ili na dva izložena tona odvojeno ili na percept binauralnih otkucaja. Nalazi istraživanja takođe sugerisu da postoje individualne razlike u sposobnosti percepcije binauralnih otkucaja (Oster, 1973).

Binauralni otkucaji su, kao što je pomenuto na početku, perceptivna iluzija, što znači da njihovu perceptivnu

osnovu ne predstavlja interferencija dva zvučna talasa, već je ova iluzija rezultat njihove kombinovane neuronske aktivnosti u auditivnom putu (Pratt et al., 2009). Superiorni olivarni kompleks, prvo je mjesto na tom putu koje prima informacije sa oba uha i važna je struktura za integraciju zvuka (Wernick i Starr, 1968). Dodatno, smatra se da je superiorni olivarni kompleks glavna neuroanatomska struktura uključena u percepciju binauralnih otkucaja (Kuwada et al., 1979; Draganova et al., 2008). Ova struktura igra važnu ulogu u lokalizaciji zvuka, te pored obrade razlika u jačini zvuka, lokalizacija zvuka se zasniva na identifikaciji faznih razlika između signala koje percipiraju oba uha (Recanzone, 2011).

S obzirom da binauralni otkucaji predstavljaju perceptivni odgovor na stimuluse koji su vještački generisani i nisu inače zastupljeni u prirodi, binauralni otkucaji su više od jednog vijeka bili van interesovanja naučne zajednice, te se interesovanje ponovo javlja tek mnogo kasnije kada su rezultati ranijih empirijskih istraživanja sistematično integrisani od strane Ostera (1973). Kako je Oster (1973), ne samo detaljnije opisao fenomen binauralnih otkucaja, već je i istakao potencijalnu relevantnost u praktičnoj primjeni, ovo je dovelo do šireg interesovanja, ne samo u naučnoj zajednici već i u određenim pseudonaučnim kontekstima, što je konačno dovelo do intervencionih pristupa koji koriste binauralne otkucaje u cilju poboljšanja kognitivne efikasnosti (Atwater, 1997). Nešto kasnije, istraživanja koja su u izučavanju auditivnih odgovora stabilnog stanja koristila elektroencefalografiju i magnetoencefalografiju, pružila su prve pouzdane dokaze za specifične odgovore u aktivnosti ljudskog mozga nakon stimulacije binauralnim otkucajima (Schwarz i Taylor, 2005, Draganova et al., 2008, Karino et al., 2006). Noviji

nalazi o elektrokortikalnim odgovorima na binauralne otkucaje doveli su do porasta interesovanja za neurofiziološke korelate (Palaniappan et al., 2015; Jirakittayakorn i Wongsawat, 2018; Gantt et al., 2017).

Uzimajući u obzir sve navedeno, rezultate nekoliko istraživanja koja sugerišu da binauralni otkucaji mogu ostvarivati pozitivne efekte na regulaciju otkucaja srca, krvni pritisak (Kennerly, 2004; Bakaeva et al., 2021), stanja budnosti, depresije i uopšteno raspoloženje (Lane et al., 1998; Wahbeh et al., 2007; Cantor, i Stevens, 2009), relaksaciju (Lee-Harris et al., 2018), pažnju i pamćenje (Basu, i Banerjee, 2022), te smanjenje anksioznosti i stresa (Chan i Calvo, 2017; Lee et al., 2022) treba tumačiti sa dozom opreza, zbog razlika u vremenu izlaganja i korišćenih frekvencija u ovim studijama.

Shepardovi tonovi

Shepardovi tonovi, predstavljaju iluziju neprekidnog kretanja visine tonova. Konkretnije, ovu iluziju čini skup muzičkih nota ili tonova u kojima se odnos visine između nota percipira kao cikličan, a ne linearan, što utiče na mogućnost adekvatne percepcije visine tonova, te se tako stvara osjećaj da ton vječno raste ili opada (Shepard, 1964). Amplituda ovih tonova je kontrolisana tako da se održi konstantan fokus na sredinu spektra sa stacionarnom Gausovom ovojnicom, te kako se visina tona udaljava od centra, njegova jačina zvuka se smanjuje, a kako ulazi u perceptivno polje, polako se povećava (Vernooij, 2016). 1968. godine francuski kompozitor Jean-Claude Risset razvio je varijantu diskretne Shepardove skale za kontinuirane klizajuće tonove, poznatu kao Shepard-Risset glissando (Risset, 1969).

Cilj studije Shimizu et al. (2007) bio je istražiti funkcionalne procese u mozgu uključene u fenomen Shepardovih tonova pomoću funkcionalne magnetne rezonance, te je pronađena aktivnost u primarnom auditivnom korteksu i u dijelovima okcipitalne regije. U istraživanju Zatorre et al. (1994) ispitivan je neuronski odgovor na promjene šuma i melodijskih obrazaca, te nalazi studije sugeriraju da se obrada predominantno odvija u desnom temporalnom režnju i desnom okcipitalnom korteksu. Takođe, prema Zatorre et al. (1994), samo poređenje visine tona zahtjeva uključenost desnog prefrontalnog kao i desnog temporalnog korteksa. Pretpostavlja se da je za donošenje suda o visini tona neophodna spektralna analiza, koja se odvija u regionima desnog režnja auditivnog korteksa (Robin et al., 1990). Kako u studiji Shimizu et al. (2007) nijedna od pomenutih oblasti nije bila detektovana putem statističkog parametarskog mapiranja, zaključuje se da tokom slušanja Shepardovih tonova zaista ne dolazi do aktivne diskriminacije visine tona.

Čulo sluha kod ljudi posebno je osjetljivo u rasponu od 500 Hz do 4000 Hz (Oxenham, 2018), te rezultati studije Shimizu et al. (2007) sugeriraju da se tokom slušanja Shepardovih tonova prati frekvencija najbliža prethodnoj datoj frekvenciji, sve dok se ista nalazi unutar ovog osjetljivog opsega. Kada se pređe granica osjetljivosti, odnosno kada praćena frekvencija postane mnogo niža od drugih frekvencija, pažnja se preusmjerava na frekvenciju unutar osjetljivog opsega, te se u ovom trenutku javlja greška u percepciji, usljed prostorne blizine oktavnih tonova, pri čemu dolazi do iluzije stalno uzlazne skale tonova (Shimizu et al., 2007).

Taktilne iluzije

Iluzija gumene ruke

Iluzija gumene ruke jeste jedna od najinteresantnijih taktilnih perceptivnih iluzija. U istraživanju Botvinick i Cohen (1998), ispitanicima je na malom stolu postavljen zaklon između njihove lijeve ruke i gumene ruke, na koju su trebali biti fokusirani tokom eksperimenta, te su bili izloženi sinhronizovanom dodiru četke po sopstvenoj ruci i gumenoj ruci, što je bilo dovoljno da kod većine ispitanika proizvede osjećaj da je gumena ruka dio njihovog tijela. Dodatno, uočena je distorzija propioceptivnih informacija, te kada je od ispitanika zatraženo da sa zatvorenim očima svojom desnom rukom, koja nije bila izložena stimulaciji četkom, pokažu gdje percipiraju da se nalazi njihova lijeva ruka, ispitanici su izvještavali o percepciji osjećaja unutar gumene ruke. Intenzitet pomijeranja osjećaja sa stvarne ruke na gumenu ruku varirao je proporcionalno sa dužinom trajanja ove iluzije kod ispitanika. Rezultati studija ukazuju da se ovaj fenomen javlja kod oko 80% ispitanika u roku od 15 sekundi od sinhronog četkanja ruku (Ehrsson et al., 2005; Lloyd, 2007). U istraživanju Ramachandran et al. (1995), pacijenti koji su doživljavali senzacije fantomskog uda posmatrali su svoju očuvanu ruku u ogledalu, te je prema odrazu u ogledalu izgledalo kao da ponovo imaju drugu ruku, a nekoliko pacijenata koji su posmatrali odraz kao da je to njihova očuvana ruka, prijavilo je da osjećaju dodir u amputiranom (fantomskom) udu. Slična iluzija se manifestovala u istraživanju Ehrsson et al. (2005) u kome je eksperimentator proizvodio pasivne pokrete lijeve ruke učesnika, čije su oči bile vezane, tako da je ona dodirivala lažnu desnu ruku,

dok je istovremeno sinhrono dodirivao pravu desnu ruku učesnika. Ovo je proizvelo sličnu iluziju posjedovanja, u kojoj su ispitanici imali osjećaj kao da svojom lijevom rukom dodiruju sopstvenu desnu ruku. Nalazi ove studije sugerišu da iluzija gumene ruke nije nužno posljedica vizuelne dominacije nad dodirom, već multisenzorna integracija koja ne zavisi od vizuelnih reprezentacija.

Jedno objašnjenje ove iluzije, jeste da je osjećaj posjedovanja dijelova tijela posredovan putem multisenzornih perceptivnih korelacija, te u skladu sa tim, ukoliko neko dodiruje ili gleda svoju ruku, osjećaj posjedovanja te ruke zavisi od usklađenosti između vizuelnih, taktilnih i proprioceptivnih signala koji se primaju, kao i od unutrašnje mentalne reprezentacije pojedinca o posjedovanju ruke (Botvinick i Cohen, 1998; van den Bos and Jeannerod, 2002; Costantini i Haggard, 2007).

U istraživanju Ehrsson et al. (2005) primjenjivana je funkcionalna magnetna rezonanca tokom doživljaja iluzije gumene ruke. Utvrđeno je da je bilateralna aktivnost ventralnog premotornog korteksa i cerebeluma bila izraženija tokom iluzije nego u kontrolnoj situaciji. Pored toga, pronađena je linearna povezanost između stepena aktivacije ovih moždanih regija i procjena ispitanika o intenzitetu doživljene iluzije. Ovi rezultati govore u prilog argumentu iz prethodne studije (Ehrsson et al., 2004) da premotorna aktivnost odražava integraciju korelisanih vizuelnih, taktilnih i proprioceptivnih signala sa šake, a ne vizuelnu reprezentaciju objekta u peripersonalnom prostoru (Botvinick, 2004). Ovi nalazi pružaju snažnu podršku hipotezi da se osjećaj posjedovanja tijela posreduje detekcijom korelisanih multisenzornih signala i da premotorni korteks i cerebelum igraju važne uloge u ovom procesu (Ehrsson et al., 2005). Nalazi da ventral-

ni premotorni korteks doprinosi osjećaju posjedovanja dijelova tijela, u skladu su sa dobro utvrđenom ulogom ovog područja u multisenzornoj integraciji, budući da ventralni premotorni korteks prima vizuelne, taktilne i proprioceptivne ulazne informacije (Graziano i Gross, 1998; Rizzolatti et al., 2002), a anatomski je povezan sa višim somatosenzornim oblastima kao što su sekundarni somatosenzorni korteks i inferiorni parijetalni korteks (Godschalk et al., 1984; Matelli et al., 1986; Rizzolatti et al., 1998).

Pronađena je značajna korelacija između aktivnosti u lateralnom cerebelumu i jačine vizuelne iluzije gumene ruke, kao i cerebelarnih odgovora koji odražavaju sinhronost pokreta četkica i orijentaciju gumene ruke (Ehrsson et al., 2004). Posteriorni parijetalni korteks je vjerovatno uključen u proces multisenzorne integracije tokom iluzije, te je kao u prethodnoj studiji (Ehrsson et al., 2004) detektovana aktivnost u korteksima koji oblažu intraparijetalni korteks. Ova regija je povezana sa vizuelnim, somatosenzornim i premotornim oblastima (Jones et al., 1978; Johnson et al., 1996; Rizzolatti et al., 1998), dok neuroni u ovoj regiji integrišu vizuelne, taktilne i proprioceptivne informacije sa šake (Sakata et al., 1973; Colby and Duhamel, 1991; Iriki et al., 1996; Graziano et al., 2000; Graziano and Botvinick, 2002).

Zaključno, nalazi studija Ehrsson et al. (2004,2005) dovode u vezu aktivnost u premotornim, intraparijetalnim i cerebelarnim područjima sa osjećajem posjedovanja tijela prilikom dodirivanja sopstvenih udova.

U ovom poglavlju upoznali smo se sa perceptivnim iluzijama različitog modaliteta, od Ebbinghausove iluzije do McGurk-ovog efekta i iluzije gumene ruke, te istražili kompleksnu interakciju između naših čula i mozga prili-

kom konstrukcije naše percepcije svijeta.

Perceptivne iluzije nam ukazuju da naš kognitivni aparat nije pasivan primalac informacija od strane naših čula, već ih obrađuje, filtrira i integriše sa prethodnim iskustvima i očekivanjima. Ovaj proces podlozan je greškama, a perceptivne iluzije su upravo te greške koje nam omogućavaju da steknemo dublji uvid u to kako naš mozak funkcioniše.

Vraćamo se na pitanje sa početka poglavlja - da li nas varaju čula ili mozak? Naša čula nam pružaju sirove informacije o svijetu, koji mogu biti nepotpuni ili puni šuma. Naš kognitivni aparat, poput računara, obrađuje ove sirove podatke i pokušava da stvori koherentnu i preciznu sliku svijeta. Međutim, ako su iluzije proizvod načina na koji perceptivni sistem organizuje i interpretira senzorne podatke, postavlja se ključno pitanje: kada i kako se ti mehanizmi formiraju? Da li se sposobnost da „vidimo pogrešno“ razvija paralelno sa razvojem nervnog sistema, ili perceptivni obrasci prethode potpunom neuralnom sazrijevanju? Ova pitanja vode nas ka razmatranju odnosa između perceptivnog razvoja i neuralnog razvoja, te njihove moguće sinhronizacije.

- Carbon, C. C. (2014). Understanding human perception by human-made illusions. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 566. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00566>
- Eagleman, D. M. (2001). Visual illusions and neurobiology. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(12), 920–926. <https://doi.org/10.1038/35104092>
- Helmholtz, H. von. (1867/1962). *Treatise on physiological optics* (J. P. Southall, Trans.). Dover Publications.
- Ramachandran, V. S., & Rogers-Ramachandran, D. (1996). Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proceedings of the Royal Society B*, 263(1369), 377–386.
- Ramachandran, V. S. (2004). *A brief tour of human consciousness*.

Pi Press.

- Dannemiller, J.L. (2001). Brain-behavior relationships in early visual development. In C.A. Nelson & M. Luciana (Eds.), *Handbook of developmental cognitive neuroscience* (pp. 221– 235). Cambridge, MA: MIT Press.
- De Fockert, J., Davidoff, J., Fagot, J., Parron, C., & Goldstein, J. (2007). More accurate size contrast judgments in the Ebbinghaus Illusion by a remote culture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(3), 738.
- de Lafuente, V., & Ruiz, O. (2003). The orientation dependence of the Hermann Grid Illusion. *Experimental Brain Research*, 154(2), 255–260. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1700-5>
- Doherty, M. J., Campbell, N. M., Tsuji, H., & Phillips, W. A. (2010). The ebbinghaus illusion deceives adults but not young children. *Developmental Science*, 13(5), 714–721. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00931.x>
- Dove, H. W., & Moser, L. (1839). *Repertorium der Physik*. De Gruyter.
- Draganova, R., Ross, B., Wollbrink, A., & Pantev, C. (2008). Cortical steady-state responses to central and peripheral auditory beats. *Cerebral Cortex*, 18(5), 1193-1200.
- Eagleman, D. M. (2001). Visual illusions and neurobiology. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(12), 920–926. <https://doi.org/10.1038/35104092>
- Ebbinghaus, H. (1902). The principles of psychology. *Veit, Leipzig*, 437.
- Ehrsson, H. H., Holmes, N. P., & Passingham, R. E. (2005). Touching a rubber hand: Feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *The Journal of Neuroscience*, 25(45), 10564–10573. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.0800-05.2005>
- Ehrsson, H. H., Spence, C., & Passingham, R. E. (2004). That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb. *Science*, 305(5685), 875-877.
- Eisner, F., McGettigan, C., Faulkner, A., Rosen, S., & Scott, S. K. (2010). Inferior frontal gyrus activation predicts individual differences in perceptual learning of Cochlear-implant simulations. *The Journal of Neuroscience*, 30(21), 7179–7186. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.4040-09.2010>
- Erlebacher, A., & Sekuler, R. (1969). Explanation of the Müller-Lyer illusion: Confusion theory examined. *Journal of Experimental Psychology*, 80, 462 –467.

- Fang, F., Boyaci, H., Kersten, D., & Murray, S. O. (2008). Attention-dependent representation of a size illusion in human V1. *Current Biology*, 18(21), 1707–1712. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.09.025>
- Friston, K. (2010). The free-energy principle: a unified brain theory?. *Nature reviews neuroscience*, 11(2), 127–138.
- Gantt, M. A., Dadds, S., Burns, D. S., Glaser, D., & Moore, A. D. (2017). The effect of binaural beat technology on the cardiovascular stress response in military service members with postdeployment stress. *Journal of Nursing Scholarship*, 49(4), 411–420.
- Geier, J., Bernáth, L., Hudák, M., & Séra, L. (2008). Straightness as the main factor of the Hermann Grid Illusion. *Perception*, 37(5), 651–665. <https://doi.org/10.1068/p5622>
- Gentilucci, M., & Cattaneo, L. (2005). Automatic audiovisual integration in speech perception. *Experimental Brain Research*, 167(1), 66–75. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-0008-z>
- Godschalk, M., Lemon, R. N., Kuypers, H. G., & Runday, H. K. (1984). Cortical afferents and efferents of monkey postarcuate area: an anatomical and electrophysiological study. *Experimental brain research*, 56, 410–424.
- Gold, J. M. (2014). Information processing correlates of a size-contrast illusion. *Frontiers in Psychology*, 5, 142.
- Goodin, P., Ciorciari, J., Baker, K., Carrey, A.-M., Harper, M., & Kaufman, J. (2012). A high-density EEG investigation into Steady State Binaural beat stimulation. *PLoS ONE*, 7(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034789>
- Gori, S., Molteni, M., & Facoetti, A. (2016). Visual illusions: An interesting tool to investigate developmental dyslexia and autism spectrum disorder. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 175.
- Grant, K. W., & Seitz, P.-F. (2000). The use of visible speech cues for improving auditory detection of spoken sentences. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 108(3), 1197–1208. <https://doi.org/10.1121/1.1288668>
- Graziano, M. S., & Botvinick, M. M. (2002). How the brain represents the body: insights from neurophysiology and psychology. *Common mechanisms in perception and action: Attention and performance XIX*, 19, 136–157.
- Graziano, M. S., & Gross, C. G. (1998). Spatial maps for the control of movement. *Current opinion in neurobiology*, 8(2), 195–201

- Graziano, M. S., Cooke, D. F., & Taylor, C. S. (2000). Coding the location of the arm by sight. *Science*, 290(5497), 1782-1786.
- Gregory, R. L. (1997). *Eye and brain: The psychology of seeing* (5th ed.). Princeton University Press.
- Gregory, R. L. (1966). *Eye and brain. The psychology of seeing*. London: Weidenfeld and Nicholson.
- Grill-Spector, K., Golarai, G., & Gabrieli, J. (2008). Developmental neuroimaging of the human ventral visual cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 152-162.
- He, D., Mo, C., Wang, Y., & Fang, F. (2015). Position shifts of fMRI-based population receptive fields in human visual cortex induced by Ponzo illusion. *Experimental Brain Research*, 233(12), 3535-3541. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4425-3>
- Hering, E. (1964). *Outlines of the theory of the light sense*. Harvard University Press.
- Hermann, L. (1870). Eine Erscheinung Simultanen Contrastes. *Pflüger, Archiv Für Die Gesamte Physiologie Des Menschen Und Der Thiere*, 3(1), 13-15. <https://doi.org/10.1007/bf01855743>
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2007). The cortical organization of Speech Processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(5), 393-402. <https://doi.org/10.1038/nrn2113>
- Iriki, A., Tanaka, M., & Iwamura, Y. (1996). Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Neuroreport*, 7(14), 2325-2330.
- Jaeger, T. (1978). Ebbinghaus illusions: Size contrast or contour interaction phenomena?. *Perception & Psychophysics*, 24, 337-342.
- Jirakittayakorn, N., & Wongsawat, Y. (2018). A novel insight of effects of a 3-Hz binaural beat on sleep stages during sleep. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 387.
- Johnson, P. B., Ferraina, S., Bianchi, L., & Caminiti, R. (1996). Cortical networks for visual reaching: physiological and anatomical organization of frontal and parietal lobe arm regions. *Cerebral cortex*, 6(2), 102-119.
- Jones, E. G., Coulter, J. D., & Hendry, S. H. C. (1978). Intracortical connectivity of architectonic fields in the somatic sensory, motor and parietal cortex of monkeys. *Journal of Comparative Neurology*, 181(2), 291-347.
- Karino, S., Yumoto, M., Itoh, K., Uno, A., Yamakawa, K., Sekimoto, S., & Kaga, K. (2006). Neuromagnetic responses to binaural beat

- in human cerebral cortex. *Journal of neurophysiology*, 96(4), 1927-1938.
- Kattea, M. O., & Lababede, O. (2015). Differentiating pneumothorax from the common radiographic skinfold artifact. *Annals of the American Thoracic Society*, 12(6), 928-931.
- Kennerly, R.C. (2004). QEEG analysis of binaural-beat audio entrainment: a pilot study. *Journal of Neurotherapy*, 8(22), 122-122.
- Kuffler, S. W. (1953). Discharge patterns and functional organization of Mammalian Retina. *Journal of Neurophysiology*, 16(1), 37-68. <https://doi.org/10.1152/jn.1953.16.1.37>
- Kundt, A. (1863). Untersuchungen über Augenmaass und optische Täuschungen. *Annalen der Physik*, 196(9), 118-158.
- Kuwada, S., Yin, T. C., & Wickesberg, R. E. (1979). Response of cat inferior colliculus neurons to binaural beat stimuli: possible mechanisms for sound localization. *Science*, 206(4418), 586-588.
- Lane, J., Kasian, S.J., Owens, J.E., & Marsh, G.R. (1998). Binaural auditory beats affect vigilance performance and mood. *Physiology and Behavior*, 63(2), 249-252. [https://doi.org/10.1016/s0031-9384\(97\)00436-8](https://doi.org/10.1016/s0031-9384(97)00436-8)
- Lee, M., Lee, H.J., Ahn, J., Hong, J.K., & Yoon, I.Y. (2022). Comparison of autonomous sensory meridian response and binaural auditory beats effects on stress reduction: a pilot study. *Scientific Reports*, 12, 19521. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24120-w>
- Lee-Harris, G., Timmers, R., Humberstone, N., & Blackburn, D. (2018). Music for Relaxation: A Comparison Across Two Age Groups. *Journal of Music Therapy*, 55(4), 439-462. <https://doi.org/10.1093/jmt/thy016>
- Licklider, J. C. R., Webster, J. C., & Hedlun, J. M. (1950). On the frequency limits of binaural beats. *The journal of the acoustical society of america*, 22(4), 468-473.
- Lloyd, D. M. (2007). Spatial limits on referred touch to an alien limb may reflect boundaries of visuo-tactile peripersonal space surrounding the hand. *Brain and Cognition*, 64(1), 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.09.013>
- Macaluso, E., George, N., Dolan, R., Spence, C., & Driver, J. (2004). Spatial and temporal factors during processing of audiovisual speech: A pet study. *NeuroImage*, 21(2), 725-732. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.09.049>
- Mach E. (1865). *On the effect of the spatial distribution of the light*

- stimulus on the retina*. In Ratliff F. (Ed.) *Mach Bands: Quantitative Studies on Neural Networks in the Retina* (pp. 253–271).
- Macpherson, F. (2013). 'The Philosophy and Psychology of Hallucination: An Introduction,' in *Hallucination: Philosophy and Psychology*, MIT Press: Cambridge, MA.
- Massaro, D. W., & Anderson, N. H. (1971). Judgmental model of the Ebbinghaus illusion. *Journal of experimental psychology*, 89(1), 147.
- Matelli, M., Camarda, R., Glickstein, M., & Rizzolatti, G. (1986). Afferent and efferent projections of the inferior area 6 in the macaque monkey. *Journal of Comparative Neurology*, 251(3), 281-298.
- McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264, 746–748. <https://doi.org/10.1038/264746a0>
- Miller, L. M., & D'Esposito, M. (2005). Perceptual fusion and stimulus coincidence in the cross-modal integration of Speech. *The Journal of Neuroscience*, 25(25), 5884–5893. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.0896-05.2005>
- Müller-Lyer, F.C. (1889). Optische urteilstäuschungen. *Archiv für Anatomie und Physiologie, Physiologische Abteilung*, 2, 263-270.
- Murray, S. O., Boyaci, H., & Kersten, D. (2006). The representation of perceived angular size in human primary visual cortex. *Nature Neuroscience*, 9(3), 429–434. <https://doi.org/10.1038/nn1641>
- Nath, A. R., & Beauchamp, M. S. (2011). Dynamic changes in superior temporal sulcus connectivity during perception of noisy audiovisual speech. *The Journal of Neuroscience*, 31(5), 1704–1714. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4853-10.2011>
- Nath, A. R., & Beauchamp, M. S. (2012). A neural basis for inter-individual differences in the McGurk effect, a multisensory speech illusion. *NeuroImage*, 59(1), 781–787. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.07.024>
- Ninio, J., & Stevens, K. A. (2000). Variations on the hermann grid: An extinction illusion. *Perception*, 29(10), 1209–1217. <https://doi.org/10.1068/p2985>
- Nishiyama, Y. (2024). Dynamic transitions of blind spots in the Hermann grid illusion. *arXiv preprint* <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.00782>
- Noesselt, T., Rieger, J. W., Schoenfeld, M. A., Kanowski, M., Hinrichs, H., Heinze, H.-J., & Driver, J. (2007). Audiovisual temporal correspondence modulates human multisensory superior

- temporal sulcus plus primary sensory cortices. *The Journal of Neuroscience*, 27(42), 11431–11441. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.2252-07.2007>
- Oppel, J. J. (1855). Über geometrisch-optische Täuschungen. *Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main*, 1854–1855, pp. 37–47.
- Oster, G. (1973). Auditory beats in the brain. *Scientific American*, 229(4), 94–103.
- Oxenham, A. J. (2018). How we hear: The perception and neural coding of sound. *Annual Review of Psychology*, 69(1), 27–50. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011635>
- Palaniappan, R., Phon-Amnuaisuk, S., & Eswaran, C. (2015). On the binaural brain entrainment indicating lower heart rate variability. *International journal of cardiology*, 190, 262–263.
- Perrott, D. R., & Musicant, A. D. (1977). Rotating tones and binaural beats. *The journal of the acoustical society of America*, 61(5), 1288–1292.
- Perrott, D. R., & Nelson, M. A. (1969). Limits for the detection of binaural beats. *The journal of the Acoustical Society of America*, 46(6B), 1477–1481.
- Plewan, T., Weidner, R., Eickhoff, S. B., & Fink, G. R. (2012). Ventral and dorsal stream interactions during the perception of the müller-lyer illusion: Evidence derived from fmri and dynamic causal modeling. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(10), 2015–2029. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00258
- Poeppel, D., Idsardi, W. J., & van Wassenhove, V. (2007). Speech perception at the interface of Neurobiology and Linguistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 1071–1086. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2160>
- Ponzo, M. (1910). *Intorno ad alcune illusioni nel campo delle sensazioni tattili, sull'illusione di aristotele e Fenomeni Analoghi*. W. Engelmann.
- Pooresmaeili, A., Arrighi, R., Biagi, L., & Morrone, M. C. (2013). Blood oxygen level-dependent activation of the primary visual cortex predicts size adaptation illusion. *Journal of Neuroscience*, 33(40), 15999–16008.
- Pratt, H., Starr, A., Michalewski, H. J., Dimitrijevic, A., Bleich, N., & Mittelman, N. (2009). Cortical evoked potentials to an auditory illusion: binaural beats. *Clinical neurophysiology*, 120(8), 1514–1524.
- Pressey, A., & Martin, N. S. (1990). The effects of varying fins in

- Müller-Lyer and Holding illusions. *Psychological Research*, 52, 46–53.
- Purves, D., Wojtach, W. T., & Lotto, R. B. (2011). Understanding vision in wholly empirical terms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(Suppl 3), 15588–15595. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012178108>
- Ramachandran, V. S., Rogers-Ramachandran, D., & Cobb, S. (1995). Touching the phantom limb. *Nature*, 377(6549), 489–490.
- Recanzone, G. H. (2011). The biological basis of audition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 2(4), 408–418.
- Risset, J. C. (1969). Pitch Control and Pitch Paradoxes Demonstrated with Computer-Synthesized Sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 46(1A_Supplement), 88–88.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2002). Motor and cognitive functions of the ventral premotor cortex. *Current opinion in neurobiology*, 12(2), 149–154.
- Rizzolatti, G., Luppino, G., & Matelli, M. (1998). The organization of the Cortical Motor System: New concepts. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 106(4), 283–296. [https://doi.org/10.1016/s0013-4694\(98\)00022-4](https://doi.org/10.1016/s0013-4694(98)00022-4)
- Robin, D. A., Tranel, D., & Damasio, H. (1990). Auditory perception of temporal and spectral events in patients with focal left and right cerebral lesions. *Brain and Language*, 39(4), 539–555. [https://doi.org/10.1016/0093-934x\(90\)90161-9](https://doi.org/10.1016/0093-934x(90)90161-9)
- Robinson, J. O. (1998). *The Psychology of Visual Illusion*. Dover Publications.
- Rolls, E. T. (2023). The auditory system. *Brain Computations and Connectivity*, 286–298. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198887911.003.0007>
- Sakata, H., Takaoka, Y., Kawarasaki, A., & Shibutani, H. (1973). Somatosensory properties of neurons in the superior parietal cortex (area 5) of the rhesus monkey. *Brain research*, 64, 85–102.
- Samuel, A. G. (2011). Speech perception. *Annual Review of Psychology*, 62, 49–72. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.121208.131643>
- Schiller, P. H. (1995). The on and off channels of the Mammalian Visual System. *Progress in Retinal and Eye Research*, 15(1), 173–195. [https://doi.org/10.1016/1350-9462\(95\)00009-7](https://doi.org/10.1016/1350-9462(95)00009-7)
- Schrauf, M., Lingelbach, B., & Wist, E. (1997). The Scintillating Grid Illusion. *Vision Research*, 37(8), 1033–1038. [https://doi.org/10.1016/0042-6967\(97\)00033-7](https://doi.org/10.1016/0042-6967(97)00033-7)

- org/10.1016/s0042-6989(96)00255-6
- Schwarz, D. W., & Taylor, P. J. C. N. (2005). Human auditory steady state responses to binaural and monaural beats. *Clinical Neurophysiology*, 116(3), 658-668.
- Schwarzkopf, D. S., Song, C., & Rees, G. (2010). The surface area of human V1 predicts the subjective experience of object size. *Nature Neuroscience*, 14(1), 28-30. <https://doi.org/10.1038/nn.2706>
- Scott, S. K., & Johnsrude, I. S. (2003). The neuroanatomical and functional organization of speech perception. *Trends in Neurosciences*, 26(2), 100-107. [https://doi.org/10.1016/s0166-2236\(02\)00037-1](https://doi.org/10.1016/s0166-2236(02)00037-1)
- Sekiyama, K., & Tohkura, Y. (1991). McGurk effect in non-English listeners: Few visual effects for Japanese subjects hearing Japanese syllables of high auditory intelligibility. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 90(4), 1797-1805. <https://doi.org/10.1121/1.401660>
- Sekiyama, K., Kanno, I., Miura, S., & Sugita, Y. (2003). Auditory-visual speech perception examined by fmri and pet. *Neuroscience Research*, 47(3), 277-287. [https://doi.org/10.1016/s0168-0102\(03\)00214-1](https://doi.org/10.1016/s0168-0102(03)00214-1)
- Shepard, R. N. (1964). Circularity in judgments of relative pitch. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 36(12), 2346-2353. <https://doi.org/10.1121/1.1919362>
- Shimizu, Y., Umeda, M., Mano, H., Aoki, I., Higuchi, T., & Tanaka, C. (2007). Neuronal response to Shepard's tones. an auditory fmri study using multifractal analysis. *Brain Research*, 1186, 113-123. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2007.09.097>
- Sperandio, I., Chouinard, P. A., & Goodale, M. A. (2012). Retinotopic activity in V1 reflects the perceived and not the retinal size of an afterimage. *Nature neuroscience*, 15(4), 540-542.
- Spillmann, L. (1994). The Hermann Grid Illusion: A tool for studying human perceptive field organization. *Perception*, 23(6), 691-708. <https://doi.org/10.1068/p230691>
- Spillmann, L., & Levine, J. (1971). Contrast enhancement in a Hermann grid with variable figure-ground ratio. *Experimental Brain Research*, 13(5). <https://doi.org/10.1007/bf00234285>
- Stein, B. E., & Meredith, M. A. (1993). *The merging of the senses*. The MIT Press.
- Stevenson, R. A., & James, T. W. (2009). Audiovisual integration in human superior temporal sulcus: Inverse effectiveness and

- the neural processing of speech and object recognition. *NeuroImage*, 44(3), 1210–1223. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.09.034>
- Teufel, C., Dakin, S. C., & Fletcher, P. C. (2018). Prior object-knowledge sharpens properties of early visual feature-detectors. *Scientific reports*, 8(1), 10853.
- Thomson, E., & Johnson, O. (2018). Essentials of dental radiography for dental assistants and hygienists. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Titchener E.B. (1901). *Experimental Psychology: A Manual of Laboratory Practice*. London: MacMillan.
- van Atteveldt, N., Formisano, E., Goebel, R., & Blomert, L. (2004). Integration of letters and speech sounds in the human brain. *Neuron*, 43(2), 271–282. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.06.025>
- van den Bos, E., & Jeannerod, M. (2002). Sense of body and sense of action both contribute to self-recognition. *Cognition*, 85(2), 177–187.
- Vernooij, E., Orcalli, A., Fabbro, F., & Crescentini, C. (2016). Listening to the shepard-risset glissando: The relationship between emotional response, disruption of equilibrium, and personality. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00300>
- Von Helmholtz, H. (1867). *Handbuch der physiologischen Optik* (Vol. 9). Voss.
- Wahbeh, H., Calabrese, C., & Zwickey, H. (2007). Binaural beat technology in humans: a pilot study to assess psychologic and physiologic effects. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 13(1), 25–32. <https://doi.org/10.1089/acm.2006.6196>
- Werblin, F. S., & Dowling, J. E. (1969). Organization of the retina of the Mudpuppy, *necturus maculosus*. II. Intracellular recording. *Journal of Neurophysiology*, 32(3), 339–355. <https://doi.org/10.1152/jn.1969.32.3.339>
- Werner, S., & Noppeney, U. (2009). Superadditive responses in superior temporal sulcus predict audiovisual benefits in object categorization. *Cerebral Cortex*, 20(8), 1829–1842. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp248>
- Wernick, J. S., & Starr, A. (1968). Binaural interaction in the superior olivary complex of the cat: an analysis of field potentials evoked by binaural-beat stimuli. *Journal of neurophysiology*, 31(3), 428–441.

- Wright, T. M. (2003). Polysensory interactions along lateral temporal regions evoked by audiovisual speech. *Cerebral Cortex*, 13(10), 1034–1043. <https://doi.org/10.1093/cercor/13.10.1034>
- Zatorre, R., Evans, A., & Meyer, E. (1994). Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *The Journal of Neuroscience*, 14(4), 1908–1919. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.14-04-01908.1994>

Od novorođenčeta do odrasle osobe: da li su neuralni i perceptivni razvoj sinhronizovani?

Uz pomoć čula opažamo svijet oko sebe i prikupljamo informacije koje do nas dolaze. Te dobijene informacije zahvaljujući percepciji naš mozak obrađuje. Kada dobijeni stimulusi prođu kroz proces organizovanja i integrisanja u našem sistemu, dobijamo smislenu cjelinu uz pomoć koje možemo svakodnevno da funkcionišemo. Slika o svijetu koju dobijamo ovim putem je oblikovana našim mentalnim sposobnostima. Po začeću ploda kreće neuralni razvoj, pa se već u trećoj sedmici intrauterinog života stvara neuralna ploča, a kasnije između šeste i sedme sedmice i neuralna cijev. Tokom trudnoće, svaki minut intrauterinog života, stvara se par stotina hiljada novih neurona. Do kraja trudnoće i pri porodu beba se rađa sa poprilično razvijenim mozgom koji čini 21% od mase mozga odrasle osobe. Mali mozak je ključan u početku života jer on igra glavnu ulogu u razvoju motoričkih funkcija bebe (Guyton & Hall, 2021). Kako tijelo postaje sposobnije za različite vrste pokreta, tako i beba sakuplja više informacija iz spoljašnjeg svijeta. Tijelo predstavlja periferiju koja prenosi stimuluse do centralnog nervnog sistema, gdje onda započinje kognitivna obrada. Bitan faktor za opažanje i razmišljanja okoline su emocije. One utiču na to kako ćemo procijeniti i doživjeti određeni stimulus. Hormoni utiču na emocionalnu procjenu određenog doživljaja, a jedan od najbitnijih je serotonin. Serotonin je neurotransmiter koji ima važnu ulogu u regulaciji raspoloženja, pažnje i obrade informacija. Iako se značajan dio serotonina sintetizuje u gastrointestinalnom sistemu, njegov uticaj na percepciju ostvaruje se prvenstveno putem centralnog

nervnog sistema. Istraživanja pokazuju da serotonin može modulirati pažnju i emocionalnu evaluaciju stimulusa, čime indirektno utiče na perceptivne procese (Cools et al., 2008; Dayan & Huys, 2009).

Neuralni i perceptivni razvoj su usko povezani, ali nisu uvijek potpuno sinhronizovani. Dok neuralni razvoj stvara temelje za perceptivne sposobnosti, razvoj percepcije može biti nešto kasniji u odnosu na sazrijevanje mozga.

Istraživanje provedeno u Baby-LINC laboratoriji na Cambridge-u pokazalo je da kada odrasli i novorođenčad uspostave kontakt očima, njihovi moždani talasi se usklađuju. Ova sinhronizacija koja je nazvana “zajedničko umreženo stanje” olakšava komunikaciju između njih. Studija je uključivala prikazivanje videozapisa odraslih koji pjevaju dječije pjesme 17 beba u različitim scenarijima kontakta očima, a kasnije su provedene stvarne sesije pjevanja odraslih i beba dok su se pratili njihovi moždani talasi pomoću EEG-a. Rezultati su pokazali jaču sinhronizaciju moždanih talasa kada su odrasli gledali direktno u bebe. U tim sesijama pjevanja bebe su više vokalizovale tokom direktnog kontakta očima, što ukazuje na namjeru za komunikacijom. Ova neuralna sinhronizacija smatra se mehanizmom pomoću kojeg novorođenčad uspostavlja svoje prve socijalne kontakte (Wass et al., 2018; Leong et al., 2017).

Neuralni i perceptivni razvoj kod beba i adolescenata su usko povezani, a različite studije pružaju uvide u načine na koje se njihova sinhronizacija oblikuje tokom vremena. Istraživanja pokazuju da razvoj neuralnih mreža u mozgu stvara osnovu za perceptivne sposobnosti. Na primjer, studije su pokazale da novorođenčad u vrlo ranoj dobi već može uskladiti svoje neuralne aktivnosti s ritmičkim podražajima, što sugerise da su već tada sposobna za

osnovnu percepciju ritma i auditivne sinhronizacije. U adolescenciji neuralna sinhronizacija igra ključnu ulogu u učenju jer istraživanja pokazuju da se sposobnost mozga za usklađivanje neuronskih talasa poboljšava u fazama razvoja, ali dolazi i do reorganizacije koja utiče na performanse. Ova neurološka usklađenost takođe utiče na složeniju perceptivnu obradu, poput prepoznavanja audiovizuelnih stimulusa i sinhronizacije zvuka i slike, što se sve razvija kako dijete raste i sazrijeva. Kroz ove različite aspekte uočavamo da neuralna i perceptivna sinhronizacija zajedno oblikuju sposobnost da se percipira i interpretira čime se podržava socijalni, kognitivni i motorički razvoj. Senzorno-motorička sinhronizacija (SMS) je sposobnost sinhronizovanja ritmičkog motoričkog obrasca sa spoljašnjim percipiranim ritmom, i jedinstvena je za vrste sposobne za vokalno učenje (Patel, 2006). SMS ima važnu ulogu u kognitivnom, socijalnom i motoričkom ponašanju i neizostavan je dio svakodnevnog života. Na primjer kada igrač prati loptu koja dolazi prema njemu, njegovo tijelo mora se pripremiti za prijem lopte ili njen udarac. Kada osoba vidi loptu koja dolazi prema njoj, mora predvidjeti njen put i uskladiti pokrete ruku ili nogu kako bi je uhvatila ili odbila. Ovdje je ključna sinhronizacija između vida i pokreta ruku kako bi došlo do uspješnog kontakta s loptom. Kognitivni sistem tek rođene bebe nije dovoljno razvijen, ali ipak je primjećena povezanost između pokreta nogicama i rukicama sa spoljašnjim zvukom. To nam govori da postoji interakcija između pokreta i zvuka te da je SMS u nekom obliku razvijen i kod novorođenčadi. S obzirom da je kod male djece teško ispitati ovaj fenomen Bobin-Bègue (2003) i Bobin-Bègue i Provassi (2008) testirali su kucanje prstom u ritmu sa auditivnim tempom to jest uz pomoć zvuka životinja koji su puštani

na različitim ritmovima. Dobili su rezultate da djeca između 18 mjeseci i 4 godine sinhronizuju svoje pokrete sa spoljnim ritmom ali samo ako je vremenska frekvencija auditivnog obrasca bila blizu spontanog motoričkog tempa njihovog kucanja prstima to jest 400ms. Tokom intrauterinog života fetus je izložen raznim stimulusima preko majke. Fetus osjeti sve njene pokrete, glas i druge spoljašnje zvukove, peristaltiku crijeva, kucanje srca i ostalo. Najviše ovih stimulusa dobija se auditivnim i taktilnim putem. Vestibularni aparat fetusa razvijen je do 14. nedjelje intrauterinog života, tako da je od tog perioda moguće pratiti fetalne reakcije na izloženost stimulusima. Uz pomoć praćenja srčane frekvencije fetusa rađen je eksperiment, gdje je dobijeno da fetus pokazuje različite obrasce srčanih frekvencija kada je majka u pokretu ili izložena različitim stimulusima u odnosu na njen položaj mirovanja. U eksperimentu Lecanueta i Jacqueta (2002) majke su pomijerane na ljuljašci 5 ili 26 sekundi sa ritmom lju-ljanja od 2,6 sekundi za cijeli ciklus i ritmom klatnog lju-ljanja od 2 sekunde za cijeli ciklus. Prosječna srčana frekvencija tokom 26 sekundi lju-ljanja bila je značajno viša od prosječne srčane frekvencije tokom 26 ili 5 sekundi klatnog pomaka. Ako fetus reaguje na ritam lju-ljanja majčinog tijela, može se pretpostaviti da reaguje i na ritam svakodnevnog kretanja majke. Ovakvi nalazi su naročito izraženi kod prijevremeno rođene djece koja su u toku intrauterinog života uskraćena za neke od ovih stimulusa. Stimulisana djeca rođena u očekivanom terminu bez komplikacija brže dobijaju na težini, imaju manje disajnih smetnji, usklađenije reflekse i bolju orijentaciju. Sammon i Darnal (1994) su snimali abdominalne pokrete disanja kod 18 prijevremeno rođene djece. Oni su za potrebu istraživanja manuelno ritmički lju-ljali bebe. Rezultat ek-

sperimenta je bio da je 15 od 18 prijevremeno rođenih beba poboljšalo svoje respiratorne funkcije, a najbolji rezultat je dobijen pri najsporijem ritmu ljuljanja. Slična studija je rađena ali u kontekstu izloženosti vestibularnim stimulacijama. Djeca stimulirana vestibularnim putem bila su sposobna da prilagode svoje disanje brzini i ubrzanju vestibularnih stimulacija, pri čemu je najviše vestibularno ubrzanje indukovalo najveći broj udisaja u minuti. S obzirom na to da je ovaj tip disanja ključan za prilagođavanje različitim zadacima kao što su hranjenje i rane vokalizacije, vestibularna stimulacija je važna za prijevremeno rođenu djecu. U fetalnom periodu kognitivni razvoj je usko povezan sa izloženošću stimulusima, te lišavanje tih stimulusa dovodi do raznih problema koje mogu biti opasne po život bebe. Ritam ne samo da je važan za disanje i orijentaciju bebe, već i za usvajanje jezika. Karakteristike kao što su melodija, intenzitet i ritam igraju ključnu ulogu u usvajanju maternjeg jezika, ali i u razumijevanju drugih stranih jezika. Novorođenčad usvajaju prosodijske, to jest ritmičke osobine rečenica i razvrstavaju rečenice u klase zasnovane na ritmičkim osobinama (Ramus et al., 1999; Byers-Heinlein et al., 2010; May and Byers-Heinlein, 2011; Moon et al., 2013). Iskustva u materici utiču na percepciju samoglasnika više nego na percepciju suglasnika, jer su samoglasnici glasniji, duži i nose značajne prosodijske informacije kao što su melodija, ritam i akcenat (Moon et al., 2013). Novorođenčad mogu da razlikuju jezike iz različitih ritmičkih klasa, ali ne mogu da razlikuju jezike iz iste ritmičke klase. Poznato je da novorođene bebe preferiraju i pozitivno reaguju na melodije koje je njihova majka slušala tokom trudnoće. U prilog tome idu nalazi Jamesa (2002) o postojanju prenatalnog učenja tokom ponovljenog izlaganja muzici. U

njihovoj studiji, fetusi su bili izloženi istom muzičkom djelu 4 sata, pa su počele da pokazuju veće reakcije na tu muziku tokom četvrtog sata izlaganja (pokazujući veću varijaciju fetalnih otkucaja srca). Nakon rođenja, sva novorođenčad su bila izložena istoj muzici od 3. do 5. postnatalnog dana. Prenatalno izložena novorođenčad su više vremena provela u budnom stanju dok su bili izložena istom muzičkom stimulusu. Autori su zaključili da fetus može da nauči da prepozna muziku. Fetusi i novorođenčad mogu proizvoditi mnoge ritmičke aktivnosti, od kojih su većina automatski generisane na subkortikalnom nivou. Još 1974. Condon i Sander su objavili da novorođenčad imaju mogućnosti da sinhronizuju pokrete svojih nogu sa strukturom govora odraslih. Otkrili su da su se novorođenčad brže kretala kada je odrasla osoba govorila brže, ali nisu se kretali sporije kada je odrasla osoba govorila sporije (Condon i Sander, 1974). Mnoge studije su istakle da prozodija ljudskog govora kao i ritam u muzici, mogu povećati pažnju i interakciju kod novorođenčadi. Iako je SMS ograničen kod male djece to ne znači da novorođenčad nisu u stanju da sinhronizuju svoje primitivne i nerazvijene pokrete sa spoljašnjim ritmom. Ovo usklađivanje sa spoljašnjim ritmom mogu koristiti u nekom vidu komunikacije sa drugima. Jedan od primjera takve neusklađenosti neuralnog i perceptivnog razvoja je u polju prepoznavanja boja. Iako novorođenčad posjeduje osnovnu sposobnost da registruje svjetlosne draži, njihova sposobnost za razlikovanje boja nije odmah razvijena. Neuralni razvoj u početnim fazama života djeteta uključuje proces sazrijevanja i organizacije neuronskih mreža, posebno u korteksu, koji je ključan za obradu vizuelnih informacija. U tom period neuronske mreže koje omogućuju prepoznavanje boja nisu u potpunosti razvijene kod

novorođenčadi. Odrasli ljudi imaju razvijene fotoreceptore u mrežnjači koji omogućavaju jasnu percepciju boja, dok kod novorođenčadi ti dijelovi oka nisu potpuno funkcionalni. Kao rezultat toga djetetov mozak još uvijek nije u stanju da precizno obradi različite spektre boja. Iako je perceptivni razvoj novorođenčadi na početku jednostavan, bebe odmah počinju reagovati na svjetlosne podražaje. Na primjer, novorođenčad reaguje na visoke kontraste i svijetle boje kao što su crvena ili žuta, ali nisu u mogućnosti da razlikuju boje na istom nivou kao odrasli. U prvim mjesecima života djetetovo prepoznavanje boja je vrlo ograničeno, a sposobnost da se jasno razlikuju boje kao što su crvena i zelena ili plava i ljubičasta neće biti usvojena sve dok neuralne strukture u mozgu ne sazriju do određenog nivoa. Ova neusklađenost između neuralnog i perceptivnog razvoja može se objasniti različitim vremenskim okvirima u kojima se razvijaju ove dvije komponente. Dok nervni sistem postepeno sazrijeva perceptivne sposobnosti koje su rezultat tog razvoja ostaju ograničene pa tako novorođenčad može imati problema s jasnim prepoznavanjem boja jer neuralne mreže koje omogućavaju tu preciznost još nisu u potpunosti formirane. Samo kroz daljnji razvoj neuronskih mreža i veće iskustvo s okolinom, dijete će početi preciznije prepoznavati boje i usklađivati perceptivne odgovore sa razvojem svojih neuralnih sposobnosti.

Razvoj neuralnih i perceptivnih sposobnosti kod male djece ne odvija se uvijek potpuno sinhronizovano. Iako se osnovni čulni i nervni procesi formiraju već u ranim fazama života, njihova funkcionalna preciznost dostiže punu razvijenost tek postepenim sazrijevanjem neuralnih struktura i mreža. Ovaj početni nesklad svjedoči o kompleksnosti dječijeg razvoja, u kojem različiti biološ-

ki i funkcionalni sistemi zahtijevaju vrijeme za potpunu integraciju. Razmatranje odnosa između perceptivnog i neuralnog razvoja ukazuje da sazrijevanje čulnih sistema i odgovarajućih moždanih mreža nije ni paralelan ni potpuno nezavisan proces, već postoji snažna međuzavisnost. Strukturno sazrijevanje nervnog sistema postavlja biološke osnove razvoja, dok iskustvo i perceptivna stimulacija dodatno oblikuju funkcionalnu organizaciju mozga. Kako dijete odrasta, ova međusobna usklađenost postaje sve izraženija, pa perceptivni i neuralni procesi postaju sinhronizovaniji. Međutim, upravo takva razvojna osjetljivost čini perceptivni sistem ranjivim. Oštećenja, disfunkcije ili atipičnosti u razvoju neuralnih struktura ne odražavaju se samo na neurološkom nivou, već i na način na koji pojedinac opaža, organizuje i interpretira spoljašnji svijet. Stoga razumijevanje normativnog odnosa između neuralnog i perceptivnog razvoja predstavlja ključnu teorijsku osnovu za razmatranje perceptivnih promjena u kontekstu neuroloških poremećaja, čemu je posvećeno naredno poglavlje.

- Byers-Heinlein, K., Burns, T. C., & Werker, J. F. (2010). The roots of bilingualism in newborns. *Psychological Science*, 21(3), 343–348. <https://doi.org/10.1177/0956797609360758>
- Bobin-Bègue, A. (2003). Développement de la synchronisation sensori-motrice chez le jeune enfant. *L'Année Psychologique*, 103(2), 317–347.
- Bobin-Bègue, A., & Provasi, J. (2008). Régulation sensorimotrice du rythme chez le jeune enfant. *Enfance*, 60(3), 263–277.
- Condon, W. S., & Sander, L. W. (1974). Synchrony demonstrated between movements of the neonate and adult speech. *Science*, 183(4120), 99–101. <https://doi.org/10.1126/science.183.4120.99>
- Cools, R., Roberts, A. C., & Robbins, T. W. (2008). Serotonergic regulation of emotional and behavioural control. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(1), 31–40. <https://doi.org/10.1016/j>

tics.2007.10.011

- Dayan, P., & Huys, Q. J. M. (2009). Serotonin in affective control. *Annual Review of Neuroscience*, 32, 95–126. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.051508.135607>
- Guyton, A. C. & Hall, J. E. (2021). *Medicinska fiziologija* (14. izd.). Medicinska naklada.
- Hall, J. E. (2016). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (13th ed.). Elsevier.
- James, D. K. (2002). Fetal learning: A review of recent findings. *Early Human Development*, 68(1), 1–10.
- Lecanuet, J. P., & Jacquet, A. Y. (2002). Fetal responsiveness to maternal passive swinging in low-risk pregnancies. *Early Human Development*, 68(1), 1–13.
- Lecanuet, J. P., & Schaal, B. (1996). Fetal sensory competencies. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 68(1–2), 1–23.
- Leong, V., Byrne, E., Clackson, K., Georgieva, S., Lam, S., & Wass, S. (2017). Speaker gaze increases information coupling between infant and adult brains. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(50), 13290–13295. <https://doi.org/10.1073/pnas.1702493114>
- Lewkowicz, D. J. (2010). Infant perception of audio-visual speech synchrony. *Developmental Psychology*, 46(1), 66–77. <https://doi.org/10.1037/a0017417>
- May, L., & Byers-Heinlein, K. (2011). The role of phonological information in early language discrimination. *Developmental Science*, 14(5), 1003–1012.
- Moon, C., Lagercrantz, H., & Kuhl, P. K. (2013). Language experienced in utero affects vowel perception after birth. *Acta Paediatrica*, 102(2), 156–160. <https://doi.org/10.1111/apa.12098>
- Patel, A. D. (2006). Musical rhythm, linguistic rhythm, and human evolution. *Music Perception*, 24(1), 99–104.
- Provasi, J., Anderson, D. I., & Barbu-Roth, M. (2014). Rhythm perception, production, and synchronization during the perinatal period. *Frontiers in Psychology*, 5, 1048. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01048>
- Ramus, F., Nespor, M., & Mehler, J. (1999). Correlates of linguistic rhythm in the speech signal. *Cognition*, 73(3), 265–292. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(99\)00058-X](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(99)00058-X)
- Sammon, M., & Darnall, R. (1994). Entrainment of respiration in preterm infants. *Journal of Applied Physiology*, 77(4), 2004–

2010.

- Wass, S. V., Whitehorn, M., Marriott Haresign, I., Phillips, E., & Leong, V. (2018). Interpersonal neural entrainment during early social interaction. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(4), 348–359. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.01.006>
- White-Traut, R., Nelson, M. N., Silvestri, J. M., Cunningham, N., & Patel, M. (2009). Multisensory intervention for preterm infants. *Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing*, 38(5), 523–534. <https://doi.org/10.1111/j.1552-6909.2009.01055.x>
- Zdravković, S. (2008). *Percepcija*. Gradska narodna biblioteka „Žarko Zrenjanin“.

Neurološki poremećaji i percepcija

Neurološki poremećaji obuhvataju širok spektar oboljenja koja zahvataju mozak, kičmenu moždinu i periferni nervni sistem. Budući da je nervni sistem „centralni aparat“ za prijem, obradu i integraciju informacija, promjene u njegovoj strukturi ili funkcionisanju često dovode do promjena u kognitivnim procesima, emocijama, kretanju i naročito percepciji. Percepcija nije samo „pasivno registrovanje“ podražaja, već aktivan proces u kojem mozak selektuje, organizuje i tumači senzorne informacije. Zato neurološki poremećaji mogu narušiti percepciju na više nivoa:

- na nivou receptora i perifernih puteva (npr. oštećenje receptora ili perifernih nerava),
- na nivou centralne obrade (npr. oštećenja u moždanom stablu, talamusu, korteksu),
- na nivou integracije i interpretacije (npr. poremećaji pažnje, prostorne organizacije, prepoznavanja, jezičke obrade).

Neurološki poremećaji obuhvataju oboljenja koja utiču na strukturu i funkciju centralnog i perifernog nervnog sistema. Uzroci su često višestruki: genetske predispozicije, infekcije, degenerativni procesi, povrede glave i kičmenog stuba, vaskularni događaji, metabolički poremećaji, kao i faktori načina života (npr. hronični stres, upotreba toksičnih supstanci, loše zdravstvene navike).

Najčešći poremećaji koji se navode u kliničkoj praksi uključuju: demencije (npr. Alzheimerova bolest), Parkinsonovu bolest, epilepsiju, multiplu sklerozu, moždani udar, migrene i neuropatije). Simptomi zavise od zahvaćenih struktura i mogu uključivati: motoričke disfunkcije (tremor, slabost, paralize), senzorne promjene (pro-

mjene vida, sluha, osjeta), kognitivne poteškoće (pažnja, pamćenje, jezik) i emocionalne promjene (anksioznost, depresija).

U objašnjenju načina na koji neurološki poremećaji mijenjaju percepciju navode se tri tipična puta:

1. *Oštećenje ulaza*: signal ne dolazi uredno (npr. oštećenje živca, receptora).
2. *Oštećenje obrade*: signal dolazi, ali se „pogrešno obrađuje“ (npr. poremećaji vestibularne integracije - vrtoglavica, nistagmus).
3. *Oštećenje interpretacije i integracije*: signal se registruje, ali značenje izostaje ili je iskrivljeno (npr., poremećaji prepoznavanja, prostorne pažnje, auditivne integracije).

U nastavku poglavlja su prikazani poremećaji kod kojih je percepcija naročito promijenjena i klinički važna.

Vrtoglavice (vertigo)

„Vrtoglavica je, odmah nakon glavobolje, drugi najčešći simptom kod pacijenata u neurološkim ambulanta-ma širom svijeta.” (Račić, 2018, str. 13). U poređenju sa drugim oboljenjima, sama epidemiologija vrtoglavice kao oboljenja i dalje je nedovoljno istražena. Uprkos tome, vrtoglavica se i dalje smatra jednom od najčešćih problema zbog koga se pacijenti javljaju svom porodičnom ljekaru. Vrtoglavice imaju prevalencu od 15% do 35%, kada se posmatra opšta populacija na godišnjem nivou, sa 3% učestalosti kod odraslih osoba (Wiltink J, Tschan R, Michal M, et al., 2009). Takođe je dokazano da pojave vrtoglavice značajno utiču na pogoršanje psiholoških problema kod pacijenta. Populacione studije pokazale su da više od četvrtine pacijenata sa vrtoglavicom, čak 28%,

imaju simptome anksioznosti, dok 18% pacijenata ima anksiozne napade, a 9% pacijenata ima pridružene i socijalne fobije (Wiltink J. et al., 2009).

Dokazano je da postoji opšta povezanost pojave vrtoglavice sa oštećenjem samog organa sluha (vestibuluma) ili osmog kranijalnog živca (Račić, 2018). Mnoge međusobno zavisne strukture i mehanizmi odgovorni su za održavanje stabilnog položaja tijela i svjesnog poimanja položaja našeg tijela u odnosu na okolinu koja nas okružuje. Konstantni dolazni impulsi iz strukture oka, mišića i zglobova, u stvari nas informišu o položaju različitih dijelova sopstvenog tijela. U normalnim svakodnevnim situacijama, nemamo svijest o odvijanju ovih procesa, jer se oni odigravaju na refleksnom nivou. Ovi procesi, zapravo, predstavljaju osnovu procesa u kojem se usaglašavaju osjećaj jedinke za samu sebe (koja se naziva *“tjelesna šema”*) i osjećaj jedinke za svoje okruženje (odnosno, *“šema okoline”*). Tokom odvijanja ovog procesa, aktiviraju se istovremeno različiti senzorni organi pri svakom, i najmanjem, pokretu tijela. Zato, zahvaljujući refleksnim mehanizmima, možemo okolinu doživjeti kao statičnu dok se krećemo ili da doživimo da se predmeti sami kreću, bilo da mi stojimo ili se krećemo. Bilo koji poremećaj jednog od ovih mehanizama, dovodi do osjećaja vrtoglavice i do pogrešne percepcije kretanja nas i naše okoline (Ropper, Samuels, & Klein, 2014). Neurološki pregled pacijenta sa vrtoglavicom se uglavnom usmjerava na pregled bulbomotorne funkcije i ravnoteže. Bulbomotori su nervi koji inervišu mišiće pokretače očnih jabučica. Zahvaljujući složenom sistemu nervnih veza, ti pokreti su asocirani, odnosno, obje očne jabučice se kreću u istom smjeru. Ako pak dođe do oštećenja jednog ili više mišića pokretača, oni zdravi mišići koji su preostali, pokreću očnu jabučicu

po svojoj funkciji i tada se usred nefunkcionalnosti ostalih dijelova mišića, javlja *strabizam* (Račić, 2018). Kada je u pitanju oštećenje centralnog nervnog sistema, jedna od očnih jabučica može biti okrenuta naviše, dok druga gleda naniže. Odnosno, niti jedna od očnih jabučica neće fiksirati predmet onako kako bi to trebala u normalnim uslovima. Ovo se naziva *Hertwig-Magendijev sindrom* (Račić, 2018). Za utvrđivanje tipa devijacije očnih jabučica, koristi se test pokrivanja očiju, ili *cover test*. Pacijent gleda tako da fokusira neki objekat blizak njemu. Nakon kratkog pokrivanja jednog oka, prelazi se na posmatranje oba oka i tako postoji mogućnost da se uoči devijacija bolesnog oka. Procedura se ponavlja sa oba oka, a potom je procedura ista, samo će pacijent tada fokusirati objekte u daljini (Račić, 2018).

Glavno pitanje koje si ljekari postavljaju prilikom utvrđivanja dijagnoze pacijenta jeste “Da li je lezija centralno ili primarno?” Razlikovanje da li je vertigo uzrokovan centralnom ili perifernom lezijom se utvrđuje putem više faktora. Na primjer, kakav je početak simptoma (nagao ili postepen), kakav je intenzitet vertiga (blaži ili je maksimalan od početka), obraća se pažnja i na trajanje simptoma (odnosno, da li je konačno i sa tendencijom ponavljanja u razmaku od nekoliko minuta/sati, ili je hronično i kontinuirano te da traje nekoliko dana/nedjelja). Posvećuje se pažnja i tome da li je narušena funkcija sluha (tj. da li pacijent čuje određene šumove), testira se pravac pogleda, utvrđuje se da li je narušena ravnoteža itd. (Račić, 2018).

Moždani udar

Moždani udar se i dalje smatra trećim najvećim uzrokom smrtnosti u svijetu, ali i prvim uzročnikom invalid-

nosti i kod nas i u svijetu. Zadnjih godina, sve češće od moždanog udara obolijeva populacija u najproduktivnijim godinama života. Prevencija moždanog udara je najbolji način za borbu protiv ovog oboljenja. Ona podrazumijeva obraćanje pažnje na pravilnu ishranu, nekonзумiranje alkohola ili cigareta, povećanu fizičku aktivnost, kontrolisanje zdravstvenog stanja pojedinca i slično (Demarin, 2002). Prema podacima koje je objavila Svjetska zdravstvena organizacija (SZO), od akutnog moždanog udara u svijetu oboli oko 15 miliona osoba godišnje, a letalan ishod doživi oko 5 miliona ljudi, koliko ih ostaje i trajno onesposobljeno nakon preživljenog udara (World Heart Federation: Stroke, Geneva, 2016).

Po smjernicama Američke neurološke akademije, neophodno je fokusiranje na tri znaka moždanog udara. A to su:

1. *akutna slabost mišića lica* (Face drooping),
2. *slabost ruke* (Arm weakness),
3. *poremećaj govora* (Speech difficulty).

Ovakav pristup značajno utiče na povećanje preciznosti dijagnostifikovanja moždanog udara, ali i skraćuje vrijeme (*Time*), koje je ključno za uspješnu terapiju moždanog udara. Zbog toga je ova akcija dobila naziva FAST (BRZO) (Powers JW, Rabinstein AA, Ackerson T et al., 2018). Iako, pored ovih simptoma koji su ključni za prepoznavanje napada moždanog udara, postoje i drugi, ne tako nebitni simptomi, koji se mogu javljati kombinovano ili odvojeno od FAST simptoma, i veoma često se susreću u kliničkoj praksi (Račić, 2018). Oni su:

- iznenadna konfuzija, problemi sa izgovaranjem ili razumijevanjem govora,
- iznenadna utrnutost ili slabost lica, ruke ili noge (posebno na jednoj strani tijela),

- iznenadni problemi sa vidom u jednom ili oba oka,
- iznenadni problemi sa hodom, vrtoglavica, gubitak ravnoteže ili koordinacije,
- iznenadna i jaka glavobolja.

Moždani udar je klinički sindrom, koji podrazumijeva akutni gubitak moždane funkcije koji može da traje duže od 24 sata ili dovodi do smrti. On nastaje zbog spontanog krvarenja ili pak moždane ishemije uzrokovane hemodinamski, trombozom ili embolijom, što je povezano sa promjenama na samim krvnim žilama ili srčanim oboljenjem (Podobnik-Šarkanji, 2002).

Osnovni cilj liječenja moždanog udara jeste smanjiti oštećenje mozga zbog ishemije i neurološkog deficita izazvanog samim moždanim udarom. Veoma je važno da se sa tretmanom počne što ranije, u specijalizovanim jedinicama intenzivnog liječenja i to unutar 3-6 sati nakon početka samog oboljenja (Vargek-Solter, 2002). Nakon preživljenog moždanog udara, oboljele osobe su ostavljene sa raznim, privremenim ili trajnim, "defektima" u funkcionisanju u svakodnevnom životu. Uz neurološka oštećenja najčešće idu i poremećaji kognitivnih funkcija, koje su uglavnom značajno oslabljene. Istraživanja su pokazala da se njihov najintenzivniji oporavak dešava u periodu unutar prva tri mjeseca nakon napada, a nakon toga u 1/3 slučajeva oboljelih, ostaju trajna oštećenja (Vladetić, 2002). Kognitivna se oštećenja mogu javiti kao specifični defekti kao posljedica moždanog udara, koji se mogu procjenjivati tokom neurološkog pregleda, ali često je to mnogo kompleksniji proces za koji je potrebna neuropsihološka evaluacija. *Neuropsihologija*, kao posebna grana psihologije, bavi se proučavanjem veza između središnjih nervnih struktura i ponašanja. Ponašanje je rezultat međudjelovanja kognitivnih i emocionalnih procesa,

pri čemu izvršne funkcije, kao dio kognitivnog sistema, imaju važnu ulogu u regulaciji i usmjeravanju ponašanja. Kognitivno funkcionisanje pak, obuhvata: *receptivne funkcije* (odnosno, sposobnost primanja, klasifikovanja i obrade informacija), *mišljenje* (sposobnost organizacije i reorganizacije prethodno primljenih informacija), *pamćenje i učenje* (odnosno sposobnost pohrane i prizivanja informacija nazad u svijest), i za kraj, *ekspresivne funkcije* (izvršavanje ili saopštavanje informacija) (Vladetić, 2002). Nakon moždanog udara, kognitivni poremećaji su česta pojava. U najvećoj mjeri su pogođeni pamćenje, pažnja, koncentracija, govor, vizuelnoperceptivne sposobnosti, te i orijentacija. Neuropsihološka evaluacija daje sistematičan pregled vrste i stepena zastupljenosti kognitivnog oštećenja, što je veoma važna stavka kada je u pitanju planiranje i organizacija rehabilitacijskog procesa pacijenta i njegovo spremanje za dalji svakodnevni život ili za ocjenjivanje potrebnih uslova za zbrinjavanje oboljelog lica (Vladetić, 2002). Rehabilitacija oboljelih od moždanog udara mora da bude dobro organizovan i ekonomičan proces. Iz razloga što složenost struktura središnjeg nervnog sistema, u znatnoj mjeri određuje i vlastitu sposobnost regeneracije i samog oporavka, kao i ponovnog uspostavljanja (restauracije) motoričkih funkcija, intelektualnih funkcija, osjeta i drugih (Butković-Soldo, 2002).

Multipla skleroza

„Multipla skleroza se javlja u najljepšim, dvadesetim i tridesetim godinama života, a sve je češća kod mlađih adolescenata i djece. Ova bolest je glavni neurološki uzrok onesposobljenosti mladih i odraslih osoba. Iako ne spada u masovna oboljenja, ove činjenice multiplu sklerozu

izdvajaju i daju joj poseban značaj” (Grgić, 2019). „Multipla skleroza (MS) je hronično, autoimuno, inflamatorno, diseminovano, demijelinizaciono oboljenje centralnog nervnog sistema” (Grgić, 2019). Opšte je poznato da je ovo oboljenje uslovljeno udruženim djelovanjem genetskih i spoljnih faktora, a najprije virusa (Noseworthy, Luccinetti, Rodriguez, & Weinshenker, 2000). Uglavnom se javlja kod osoba srednje životne dobi, između 20. i 40. godine, a sve češće se javlja i u pedijatrijskoj populaciji (McDonald, Fazekas, & Thompon, 2003). Multipla skleroza koja je dijagnostifikovana kod djece, ima značajno lošiju prognozu, iz razloga što se javljaju česti i onesposobljavajući relapsi, problemi u kognitivnom funkcionisanju, depresija i zamor (Dell Avvento, Sotgio, Mance, Sotgiu, & Sotgiu, 2016). Od ove bolesti više obolijevaju žene u odnosu na muškarce, omjer je 2:1, a u nekim mjestima i 3:1 (Pekmezovic, Jarebanski, Drulovic, Stojisavljevic, & Levic, 2001).

Brojna istraživanja pokazala su da na prevalenciju ove bolesti utiče više međusobno povezanih faktora, među kojima se izdvajaju ishrana, higijenski uslovi, klima, životne navike, socioekonomski uslovi, prethodne bolesti, faktori životne sredine, mjesto rođenja i boravka, socijalni faktori i rasna pripadnost (Pugliatti, Rosati, Carton, Riise, Drulović, Vécsei, & Milanov, 2006). Takođe, veoma je bitno uzeti u obzir i genetske faktore, koji ukazuju na značajno češće obolijevanje od multiple skleroze u porodicama gdje oba roditelja takođe boluju od ove bolesti, te je rizik za obolijevanje u ovakvim porodicama prilično visok i iznosi oko 20% u odnosu na opštu populaciju (Pena & Iotze, 2013). Mortalitet oboljelih od MS samo je nešto viši u odnosu na opštu populaciju. Ova pojava posebno je izražena kod starijih bolesnika koji pate od multiple skleroze

(Ragonese, Aridon, Salemi, D'Amelio, & Savettieri, 2008). Smrtni ishod kod ovih bolesnika, uglavnom je uzrokovan brojim komorbiditetima, invalidnošću i nepokretnošću. Takođe, infekcije su još jedan uzročnik smrtnosti, dok je suicid sve više zastupljen, s obzirom na činjenicu da sve više bolesnika oboljelih od MS ima pridruženu i depresiju (Thormann, Sorensen, Koch-Henriksen, Laursen, & Magyari, 2017).

Kada je u pitanju odnos ovog poremećaja i percepcije, on se ogleda prije svega u uticaju na oštrinu vida. Jedan od karakterističnih poremećaja vida kod multiple skleroze jeste inflamacija očnog živca, odnosno optički neuritis (ON), koji se najčešće ispoljava kao monookularni gubitak centralnog vida, praćen nelagodom i bolom pri pokretima oka (Grgić, Dominović, Vukojević, & Račić, 2011). Pacijenti sa ovim oboljenjem, takođe se žale i na subakutni pad vida, poremećaj kolornog vida (naročito kad je u pitanju crvena boja), a čak 92% pacijenata se žali i na bol prilikom samog pokretanja očiju (Račić, 2018). Pad vida je tipičan za jedno oko i može se pogoršati u periodu od nekoliko sati/dana, a procjenjuje se da će nastupiti i određeni stepen oporavka unutar perioda od mjesec dana od početka samog problema (Beck et al., 1992). Oboljenje multipla skleroza takođe može da utiče na samu pokretljivost očnih jabučica. Najčešći poremećaji pokretljivosti očnih jabučica su *sakadna dizometrija*, *internuklearna oftalmoplegija (INO)* i *pogledom provocirani nistagmus* (Downey et al., 2002).

Sakade predstavljaju brze pokrete očne jabučice pomoću kojih fiksiramo željene predmete. U svom normalnom stanju, sakade su glatke i usmjerene u vertikalni pravac pogleda. Pacijenti koji boluju od MS mogu imati problem prilikom usmjeravanja pogleda, u vidu prebacivanja cilja

(hipermetrije) i usmjerene dizmetrije (na primjer, tokom horizontalne sakade može doći do neželjenog vertikalnog pomjeranja oka, koje se zatim ispravlja kratkim korektivnim pokretom). Kod pacijenata sa internuklearnom oftalmoplegijom (INO) dolazi do poremećaja koordinacije pokreta očiju, pri čemu je pokret oka koje se pomjera ka nosu (adukcija) sporiji i zaostaje u odnosu na oko koje se pomjera ka spolja (abdukcija). Razlog tome je nedovoljna i neadekvatna pulsna nervna inervacija neophodna za brze kontrakcije očnih mišića (Leigh & Zee, 2006). Ovaj nalaz se lako uočava tokom testiranja brzih pokreta očiju, kada ispitanik brzo prebacuje pogled sa jedne tačke fiksacije na drugu (Račić, 2018). Kod oboljelih od multiple skleroze mogu se javiti i dodatne promjene sakada, poput produžene latencije, dizmetrije i smanjene brzine pokreta (Meienberg, Müri & Rabinéau, 1986), dok je nistagmus često asimptomatski nalaz, ali se može manifestovati kao zamagljen vid, osjećaj poskakivanja slike ili duple slike (Račić, 2018).

Pored jasno definisanih neuroloških oboljenja, perceptivne promjene se mogu javiti i kao izolovani funkcionalni poremećaji senzornog procesiranja. U takvim slučajevima, primarno oštećenje ne mora zahvatiti čulni receptor, već centralne mehanizme obrade i integracije informacija. Ovi poremećaji predstavljaju važan most između neurologije i kognitivne psihologije, jer jasno pokazuju da percepcija zavisi od integrativne funkcije mozga, a ne samo od integriteta čulnih organa. Među funkcionalnim poremećajima senzornog procesiranja, posebno mjesto zauzimaju poremećaji slušnog procesiranja. Mozak koristi različite karakteristike zvuka, kao što su frekvencija, intenzitet i vremenski faktor, kako bi mogao da obradi, prepozna i razumije

poruku koja se prenosi (Schminky & Baran, 1999). Slušno procesiranje se u stvari odnosi na način na koji mozak prepoznaje, tumači, obrađuje i klasifikuje zvučne draži iz okoline (Bonetti & Heđever, 2010). Sam proces slušnog procesiranja počinje primanjem draži iz okoline putem vanjskog dijela uha i ta draž (zvuk) prenosi daljim slušnim putevima do centara u mozgu. Ovaj proces obuhvata lokalizaciju zvuka, njegovu diskriminaciju i prepoznavanje uzorka same slušne draži, te vremenski aspekt slušanja (Chermak, 2001). Izmijenjeno funkcionisanje bilo koje od ovih etapa slušnog procesa, može dovesti do problema u svakodnevnom funkcionisanju osobe ili do težih kliničkih oboljenja. Poremećaj slušnog procesiranja ne odnosi se na receptivni problem samog slušanja, već se odnosi na probleme procesiranja, tj. obrade informacija, njihove interpretacije (Flexer, 1999; prema Heđever & Bonetti, 2010). Prema ASHA-i (American Speech Language Hearing Association), poremećaj slušnog procesiranja se prvenstveno odnosi na poteškoće u obradi slušnih nadražaja u središnjem nervnom sistemu. Te poteškoće zatim dovode do poteškoća u lokalizaciji zvuka, diskriminaciji zvuka, prepoznavanju zvučnog obrasca i vremenskom aspektu slušanja (Micallef, 2015). Ovaj poremećaj (PSP), može istovremeno da postoji zajedno sa nekim drugim poremećajima, kao što su poremećaji u govoru, hiperaktivni poremećaj, deficit pažnje i drugi, ali on i dalje nije rezultat tih poremećaja (Bellis, 2007). Kao pozadina nastanka ovog oboljenja, uzimaju se različiti faktori, poput povreda glave, neurološki poremećaji ili neke abnormalnosti u funkcionisanju, iako se u većini slučajeva i dalje za sigurno ne zna koji je stvarni uzrok ovog oboljenja (Baran, 2007). Razna istraživanja koja su rađena na djeci i na odraslima sa ovim poremećajem, pokazala su da razne poteškoće koje dolaze

uz ovo oboljenje mogu biti posljedica lezija na mozgu ili određenih procesa pojedinih oboljenja koji ugrožavaju integrisanje i samu funkciju slušnog aparata. Tu se misli na različite tipove trauma, degenerativnih poremećaja, metaboličke disfunkcije, virusne infekcije i sl. (Baran, 2007). Simptomi koji mogu ukazivati na pojavu PSP-a, mogu se javiti već u ranom djetinjstvu. Karakteristično je to što djeca koja pate od PSP-a, ponekad se mogu ponašati kao da imaju privremeni gubitak sluha, tako što će tražiti da im se ponovi ili bolje razjasni rečeno (Lanc et al., 2012). Baran (2007) navodi nekoliko značajnih karakteristika, koje ukazuju na ovaj poremećaj. A to su:

- teškoće slušanja govorne poruke u prisutnosti druge „kompetitivne“ govorne poruke ili u bučnoj ili odjekujućoj okolini,
- teškoće lokalizovanja izvora signala,
- teškoće učenja stranog jezika ili drugih novih govornih materijala,
- česti zahtjevi za ponavljanjem,
- teškoće procesiranja brzog govora,
- nekonzistentno ili neprimjereno odgovaranje na verbalne podražaje,
- nemogućnost prepoznavanja humora ili sarkazma koji su signalizirani suptilnim promjenama u prozodiji,
- lako otklonjiva pažnja nekim eksternim podražajima,
- teškoće zadržavanja pažnje,
- teškoće praćenja uputstava
- loše muzičke sposobnosti te problemi u čitanju, pisanju i učenju.

Prema Bellis/Ferre modelu, moguće je identifikovati 3 podtipa poremećaja slušnog procesiranja, a to podrazu-

mijeva: poteškoće u auditivnom dekodiranju (tj. problemi u lijevoj hemisferi, tačnije primarni auditivni korteks), poteškoće u obradi prozodijskih govornih elemenata (desna hemisfera) i poteškoće u slušnoj integraciji (corpus callosum) (Heðever & Bonetti, 2010). Prema drugom, Buffalo modelu, postoje 4 kategorije ovog poremećaja, a to su: dekodiranje, slabljenje radne memorije zbog nerazumijevanja govora kada su zvukovi pomiješani sa bukom, organizacija i integracija podražaja (Heðever & Bonetti, 2010).

Poremećaj slušnog procesiranja jeste poremećaj koji je često u komorbiditetu sa nekim drugim poremećajima. Zato je neophodno da se, kada se vrši procjena, uključe i stručnjaci i iz drugih oblasti, radi tačnije i preciznije procjene. Visok komorbiditet sa drugim poteškoćama, najvjerovatnije se projektuje kroz uticaj pažnje, pamćenja i jezičkih sposobnosti pojedinca, na same testove za ispitivanje PSP-a, te se iz tog razloga očekuje da su auditivne poteškoće u stvari zajednička karakteristika ovih razvojnih poremećaja (Kamhi, 2010). Međutim, to se ne može zaključiti samo na osnovu ovih karakteristika, jer se PSP može pojaviti kao pridruženi poremećaj uz neke od neuroloških oboljenja (npr. tumor srednjeg auditivnog nervnog sistema, vanjska oštećenja mozga, cerebrovaskularne bolesti, epilepsija itd.), kao i druge razvojne poremećaje, poput hiperaktivnog poremećaja i prilikom deficita pažnje (Bamiou, Musiek & Luxon, 2001; prema Lanc et al., 2012).

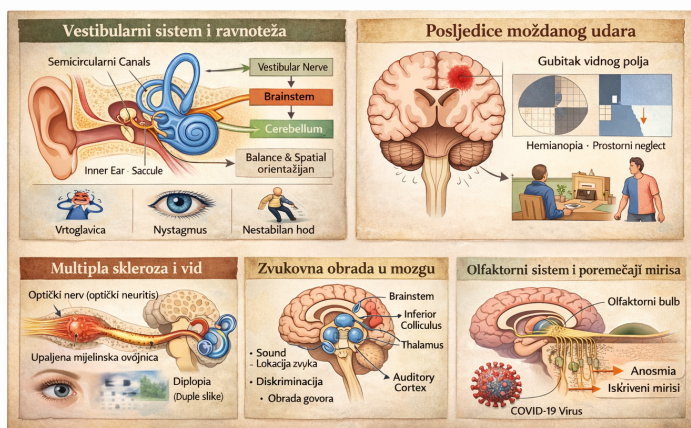
Postoje brojni terapijski pristupi koji se mogu koristiti u borbi protiv PSP-a, a kao jedna od njih jeste auditivna terapija, koja se sastoji od strukturisanih vježbi, koje se temelje na poboljšanju samo sposobnosti osobe da razumije i obradi zvučnu informaciju (Keith, 2018). Ovakve vježbe mogu da uključuju različite zadatke, poput prepoznavanja

različitih tonova, kao i različitih tipova zvuka, vježbanje usmjeravanja pažnje na zvukove iz okoline, slaganje zvukova u riječi itd. Ovaj vid terapije predviđen je da bude individualni ili grupni, dok njegovo trajanje nije precizno određeno, jer zavisi od ličnih potreba samog pacijenta (Tolić, 2023).

Sličan princip centralne disfunkcije može se uočiti i u okviru olfaktornog sistema. Iako se poremećaji mirisa tradicionalno povezuju sa perifernim oštećenjima olfaktornog epitela, savremena neurološka istraživanja ukazuju da su mnoge olfaktorne disfunkcije povezane sa promjenama u centralnim nervnim putevima i kortikalnoj obradi mirisnih informacija. U ovom dijelu poglavlja, govorićemo o djelimičnom ili potpunom gubitku olfaktornog osjeta, prikazanom na specifičnom primjeru, odnosno usljed djelovanja virusa COVID-19, te o posljedicama koje je ostavio na oboljele. Postoje mnogi neurološki poremećaji koji se mogu javiti u sklopu bolesti COVID-19, koje zahvataju centralni i periferni nervni sistem. Istraživanja sprovedena na hospitalizovanim pacijentima sa potvrđenom SARS-CoV-2 infekcijom u Wuhanu u Kini (njih 214), pokazuju da je 36% pacijenata je imalo i neurološke manifestacije ove bolesti. Kod 25% oboljelih zahvaćen je centralni nervni sistem, dok kod 9% pacijenata periferni nervni sistem (Mao et al., 2020). Najčešći neurološki poremećaji centralnog nervnog sistema, u sklopu bolesti COVID-19, bili su nesanica, glavobolja, metaboličko-hipoksijska encefalopatija i moždani udar. Česta neurološka oboljenja koja su zahvatala periferni nervni sistem, u sklopu oboljenja COVID-19, bila su migralgija, anosmija, ageuzija, gubitak vida i neuralgična bol (Garg, 2020). Kod pacijenata sa blažim oblicima zahvaćenosti virusom, bili su prisutni neurološki simptomi virusnih infekcija, kao što su vrtoglavica, glavobolje, anosmija i

ageuzija (Iadecola, Anrather, & Kamel, 2020). Akutna faza oboljenja COVID-19, često se karakteriše promjenama u funkcionisanju čula okusa i mirisa. Metaanalize su pokazale da je učestalost pojave anosmije kod pacijenata koji su bili zahvaćeni virusom COVID-19 čak 41%, dok je 38,2% pacijenata oboljelo od ageuzije (Agyeman, Chin, Landersdorfer, Liew, & Ofori-Asenso, 2020). Poremećaji okusa i mirisa su se obično javljali 4 dana nakon dobijanja infekcije, te su u prosjeku trajali do 9 dana. Većina pacijenata se uspješno oporavila i vratila na staro u periodu od 28 dana od samog početka infekcije (Klopfenstein, Kadiane-Oussou, Toko, Royer, Lepiller, Gendrin, & Zayet, 2020). S obzirom na to da su se ovi poremećaji u funkcionisanju čula javljali naglo, bez nazalne opstrukcije, zaključeno je da je najvjerovatniji razlog za pojavu ovog poremećaja, u stvari oštećenje nervnih struktura u nosnoj šupljini, ali i centralnom nervnom sistemu (Nouchi et al., 2021). Iako se većina pacijenata sa olfaktornim poremećajima (anosmijom i hiposmijom) oporavljala u periodu od mjesec dana nakon pojave prvih simptoma, mogao se registrovati određen broj osoba kod kojih su uočene olfaktorne disfunkcije u sklopu post-COVID sindroma, tj. 2-3 mjeseca od pojave prvih simptoma oboljenja (Rashid, Alaqeedy, Al-Ani, 2021). U post-COVID periodu, najčešće se kod bolesnika javljala parosmija, a njoj je nakon infekcije SARS-CoV-2 virusom obično prethodila anosmija ili hiposmija. Prosječno trajanje parosmije u post-COVID periodu je oko 3.5 mjeseca (Rashid, Alaqeedy, & Al-Ani, 2021). Kod većine bolesnika, identifikovano je nekoliko mirisnih nadražaja koji zapravo predstavljaju okidač parosmije. Ono što su pacijenti navodili kao primjer, bilo je opisivanje mirisnog nadražaja koji podsjeća na miris kanalizacije (Rashid, Alaqeedy, & Al-Ani, 2021). Jedan od mogućih razloga nastanka parosmije kao oboljenja u

post-COVID periodu, jeste pogrešno povezivanje olfaktornih neurona i dijelova mozga tokom procesa regeneracije prethodno oštećenih struktura zahvaćenih virusom (Saniasiaya & Narayanan, 2021). Parosmija kao oboljenje, je najčešće povezana sa spontanom procesom oporavka same olfaktorne funkcije. Jedan od mogućih terapijskih pristupa vezanih za ovo oboljenje, jeste olfaktorni trening, iako se on i dalje proučava i istražuje (Saniasiaya & Narayanan, 2021).



Slika 16. Neurološki poremećaji i perceptivni sistemi.

(Izvor: Ilustracija generisana uz pomoć OpenAI DALL-E, 2026.)

Analiza neuroloških poremećaja ukazala je da percepcija nije pasivan odraz spoljašnje stvarnosti, već rezultat složene interakcije senzornog unosa i centralne neuralne obrade. Promjene u percepciji, bilo da nastaju usljed lezija mozga ili disfunkcije senzornog procesiranja, potvrđuju ključnu ulogu multisenzorne integracije i distribuiranih neuralnih mreža u formiranju opazajnog iskustva. Iako su klinička opažanja pružila značajne uvide u organizaciju perceptivnih sistema, savremena neuronauka danas raspolaže tehnologijama koje omogućavaju njihovo direktno proučavanje, čime se otvara novo poglavlje istraživanja percepcije zasnovano

na naprednim neuroimaging i eksperimentalnim metodama. U posljednjem poglavlju ćemo opisati savremene pristupe u izučavanje percepcije.

- Agyeman, A. A., Chin, K. L., Landersdorfer, C. B., Liew, D., & Ofori-Asenso, R. (2020). Smell and taste dysfunction in patients with COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *Mayo Clinic Proceedings*, 95(8), 1621–1631. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.05.030>
- Baran, J. A. (2007). Test battery considerations. U F. E. Musiek & G. D. Chermak (Eds.), *Handbook of (central) auditory processing disorder* (str. 163–193). Plural Publishing.
- Bamiou, D. E., Musiek, F. E., & Luxon, L. M. (2001). Aetiology and clinical presentations of auditory processing disorders. *Archives of Disease in Childhood*, 85(5), 361–365.
- Beck, R. W., Cleary, P. A., Anderson, M. M., et al. (1992). A randomized, controlled trial of corticosteroids in the treatment of acute optic neuritis. *New England Journal of Medicine*, 326, 581–588.
- Bellis, T. J. (2002). *When the brain can't hear: Unraveling the mystery of auditory processing disorder*. Atria Books.
- Bellis, T. J. (2007). Historical foundations and the nature of (central) auditory processing disorder. U F. E. Musiek & G. D. Chermak (Eds.), *Handbook of (central) auditory processing disorder* (str. 119–136). Plural Publishing.
- Bonetti, A., & Heđever, M. (2010). Slušno procesiranje: teorijski i klinički aspekti. Zagreb: Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet.
- Brann, D. H., Tsukahara, T., Weinreb, C., Lipovsek, M., Van den Berge, K., Gong, B., et al. (2020). Non-neuronal expression of SARS-CoV-2 entry genes in the olfactory system suggests mechanisms underlying COVID-19-associated anosmia. *Science Advances*, 6(31), eabc5801.
- Butković-Soldo, S. (2002). Rehabilitacija bolesnika nakon moždanog udara. *Acta Clinica Croatica*, 41(Suppl. 3), 47–48.
- Chermak, G. D. (2001). Auditory processing disorder: An overview for the clinician. *The Hearing Journal*, 54(7), 10–25.
- Demarin, V. (2002). Moždani udar – smjernice u dijagnostici i terapiji. *Acta Clinica Croatica*, 41(Suppl. 3), 9–10.
- Dell'Avvento, S., Sotgiu, M. A., Mance, S., Sotgiu, G., & Sotgiu, S. (2016). Epidemiology of multiple sclerosis in the pediatric

- population. *European Journal of Pediatrics*, 175(1), 19–21.
- Downey, D. L., Stahl, J. S., Bhidayasiri, R., et al. (2002). Saccadic and vestibular abnormalities in multiple sclerosis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 956, 438–440.
- Garg, R. K. (2020). Spectrum of neurological manifestations in COVID-19. *Neurology India*, 68(3), 560–572.
- Grgić, S. (2019). *Multipla skleroza i značaj izoelektričnog fokusiranja likvora*. Medicinski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci.
- Grgić, S., Dominović, A., Vukojević, Z., & Račić, D. (2011). Pain in multiple sclerosis patients. *Journal of Association of Serbian Neurologists*, 19(3–4), 14–20.
- Hedeveer, M., & Bonetti, A. (2010). Poremećaji slušnog procesiranja. Zagreb: ERF.
- Iadecola, C., Anrather, J., & Kamel, H. (2020). Effects of COVID-19 on the nervous system. *Cell*, 183(1), 16–27.
- Kamhi, A. (2010). What speech-language pathologists need to know about auditory processing disorder. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 42, 265–272.
- Keith, R. W. (2018). Auditory training for auditory processing disorders. *Seminars in Hearing*, 39(1), 14–23.
- Klopfenstein, T., et al. (2020). Features of anosmia in COVID-19. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 50(5), 436–439.
- Leigh, R. J., & Zee, D. S. (2006). *The neurology of eye movements* (4th ed.). Oxford University Press.
- Mao, L., Jin, H., Wang, M., et al. (2020). Neurologic manifestations of hospitalized patients with COVID-19. *JAMA Neurology*, 77(6), 683–690.
- McDonald, W. I., Compston, A., Edan, G., et al. (2001/2003). Recommended diagnostic criteria for multiple sclerosis. *Annals of Neurology*, 50(1), 121–127.
- Meienberg, O., Müri, R., & Rabinéau, P. A. (1986). Saccadic eye movement disorders in multiple sclerosis. *Archives of Neurology*, 43, 438–443.
- Noseworthy, J. H., Lucchinetti, C., Rodriguez, M., & Weinshenker, B. G. (2000). Multiple sclerosis. *New England Journal of Medicine*, 343, 938–952.
- Nouchi, A., et al. (2021). Prevalence of hyposmia and hypogeusia in COVID-19 patients. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 40(4), 691–697.
- Pekmezovic, T., et al. (2001). Prevalence of multiple sclerosis. *Acta Neurologica Scandinavica*, 104, 353–357.

- Podobnik-Šarkanji, S. (2002). Klasifikacija moždanog udara. *Acta Clinica Croatica*, 41(Suppl. 3), 31–32.
- Powers, W. J., Rabinstein, A. A., Ackerson, T., et al. (2018). Guidelines for early management of acute ischemic stroke. *Stroke*, 49, e46–e110.
- Pugliatti, M., et al. (2006). Epidemiology of multiple sclerosis in Europe. *European Journal of Neurology*, 13(7), 700–722.
- Račić, D. (2018). *Vrtoglavice u neurologiji*. Medicinski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci.
- Ragonesi, P., et al. (2008). Mortality in multiple sclerosis. *European Journal of Neurology*, 15(2), 123–127.
- Rashid, R. A., Alaqeedy, A. A., & Al-Ani, R. M. (2021). Parosmia due to COVID-19. *Indian Journal of Otolaryngology*, 1–8.
- Ropper, A. H., Samuels, M. A., & Klein, J. P. (2014). *Adams and Victor's principles of neurology* (10th ed.). McGraw-Hill.
- Saniasiaya, J., & Narayanan, P. (2021). Parosmia post COVID-19. *Postgraduate Medical Journal*.
- Tolić, M. (2023). *Poremećaj slušnog procesiranja – stanje i perspektive* (doktorska disertacija). Univerzitet u Zagrebu.
- Wiltink, J., Tschann, R., Michal, M., et al. (2009). Dizziness and anxiety. *Journal of Psychosomatic Research*, 66(5), 417–424.
- Zdravković, S. (2008). *Percepcija*. Gradska narodna biblioteka „Žarko Zrenjanin“.

Nove tehnologije: budućnost istraživanja percepcije

Sve što je napisano u prethodnim poglavljima nedvosmisleno ukazuje na složenost percepcije, ali i na činjenicu da bez tog procesa ne bismo mogli spoznavati svijet oko nas, niti stupati u interakciju sa njim. Zbog toga je interes za proučavanje i otkrivanje načina na koji se obrađuju i tumače informacije iz tog spoljašnjeg svijeta bio veoma izražen od samih početaka razvoja psihologije kao samostalne nauke. Prva istraživanja percepcije se vezuju za psihofiziku kao prvu eksperimentalnu disciplinu koja je težila da utvrdi vezu između intenziteta fizičkih stimulusa i intenziteta senzacija, odnosno subjektivnih doživljaja. Veber je, koristeći male tegove postavljene na dlanove subjekata počeo empirijski da provjerava osjetljivost čula. On je kroz niz sistematskih eksperimenata ispitivao sposobnost ljudi da uoče minimalne razlike u jačini fizičkih draži, pri čemu se fokusirao na diferencijalni prag, odnosno najmanju promjenu draži koja se pouzdano opaža. U eksperimentima sa težinama, taktilnim, auditivnim i vizuelnim stimulusima pokazao je da uočavanje razlike ne zavisi od apsolutne veličine tih stimulusa, već od njenog odnosa prema početnom intenzitetu draži. Na osnovu tih nalaza formulisao je Veberov zakon, prema kojem je odnos između minimalne saznavne promjene i početne jačine draži konstantan, pri čemu se konstanta razlikuje u zavisnosti od senzornog modaliteta. Ovaj zakon ukazuje na to da je perceptivni sistem osjetljiviji na relativne nego na apsolutne promjene u okruženju i predstavlja empirijsku osnovu klasične psihofizike. Njegove nalaze je preuzeo Fehner pokušavajući matematički da izrazi zakonitost do koje je njegov prethodnik došao.



Želio je ispitati da li se sa povećanjem fizičkog stimulusa i psihološki doživljaj (senzacija) povećava na isti način. Odgovor do koga je došao jeste da ne postoji linearno povećanje subjektivnog doživljaja, nego da između ovih varijabli postoji logaritamski odnos, što je poznato kao Veber-Fehnerov zakon. Ono što treba naglasiti jeste da, iako su se pojavile u devetnaestom vijeku, psihofizičke metode i danas čine neizostavni segment eksperimentalnih procedura u mjerenju osjetljivosti senzornog sistema i procjene perceptivnih sudova (Gescheider, 1997).

Drugi značajan doprinos istraživačkoj metodologiji u oblasti percepcije dao je holandski oftamolog Donders. On je uveo vrijeme reakcije kao ključnu varijablu u eksperimentalnom ispitivanju perceptivnih procesa. Vrijeme reakcije je vremenski interval koji protekne od pojave stimulusa (npr. svjetlosni signal, zvuk, slika) do početka odgovora ispitanika (npr. pritisak dugmeta, verbalni odgovor, pokret). Ono se najčešće mjeri u milisekundama i smatra se indirektnim pokazateljem brzine obrade informacija u nervnom sistemu. Vrijeme reakcije ne odražava samo brzinu motorne reakcije, već uključuje više uzastopnih faza: detekciju stimulusa, njegovu perceptivnu analizu, donošenje odluke i aktivaciju motornog odgovora.

Upravo je ovo bila suština Dondersove eksperimentalne metodologije kojom je prvi put pokazao da je percepcija proces koji ima svoj vremenski kontinuitet i da se može mjeriti. Koristio je tri vrste zadataka: prosto vrijeme reakcije, diskriminaciono vrijeme reakcije i izborno vrijeme reakcije. U zadatku *prostog vremena reakcije* ispitanik reaguje uvijek istim odgovorom na jedan poznat stimulus. Na primjer, kada se na ekranu pojavi svjetlosni signal, zadatak ispitanika je da što brže pritisne jedno dugme. Ovdje nema potrebe za diskriminacijom ili izborom, jer je jedini zahtjev da se stimulus detektuje i da se izvrši motorna reakcija. Zbog toga se prosto vrijeme reakcije smatra mjerom najosnovnije perceptivne obrade i motornog prenosa, te obično ima najkraće trajanje. U zadatku *diskriminacionog vremena reakcije* ispitanik mora razlikovati relevantne od irelevantnih stimulusa, ali i dalje reaguje uvijek istim odgovorom. Na primjer, pritisne dugme samo kada vidi zeleni krug, ali ne reaguje kada se pojavi crveni krug ili drugi oblik. Ovaj zadatak uvodi dodatnu fazu perceptivne diskriminacije, jer ispitanik mora analizirati osobine stimulusa (boju, oblik, intenzitet) prije nego što odluči da li će reagovati. Zbog toga je diskriminaciono vrijeme reakcije duže od prostog i koristi se kao mjera složenosti perceptivne analize. U zadatku *izbornog vremena reakcije* ispitanik mora izabrati različite odgovore u zavisnosti od vrste stimulusa. Na primjer, pritisne lijevo dugme kada vidi crveni krug, a desno dugme kada vidi plavi kvadrat. Ovdje se, pored perceptivne diskriminacije, javlja i faza odlučivanja o odgovoru, što značajno povećava trajanje reakcije. Izborno vrijeme reakcije zato najviše opterećuje kognitivni sistem i predstavlja mjeru procesa odlučivanja i mapiranja stimulusa na odgovor (Zdravković, 2008).

Iako su ovi pristupi omogućili značajne pomake u

istraživanjima i doveli do korisnih naučnih saznanja, postoje i određena ograničenja zbog kojih je bilo potrebno razvijati novije metode i pristupe percepciji. Neka od najvažnijih ograničenja su bila: nemogućnost direktnog posmatranja moždane aktivnosti i oslanjanje pretežno na ponašajne mjere i verbalne izvještaje, kao i ograničena vremenska i prostorna rezolucija klasičnih psihofizičkih eksperimenata, koji su mogli precizno mjeriti brzinu i tačnost odgovora, ali ne i odrediti kada i gdje u mozgu nastaju perceptivni procesi (Logothetis, 2008; Luck, 2014). Dodatni problem predstavljali su vještački laboratorijski uslovi sa pojednostavljenim stimulusima, što je umanjivalo ekološku validnost nalaza i otežavalo njihovu primjenu na realne situacije opažanja, kao i nedostatak sistematskog proučavanja multisenzorne integracije, iako je poznato da se u svakodnevnom životu čulni sistemi neprestano prepliću tokom aktivne interakcije sa okolinom (Stein & Stanford, 2008; Slater & Sanchez-Vives, 2016). To je dovelo do revolucije u istraživanju percepcije krajem XX vijeka razvojem savremenih neurotehnoloških metoda. Uvođenje neinvazivnih tehnika snimanja mozga, poput funkcionalne magnetne rezonance (fMRI), elektroencefalografije (EEG), magnetoencefalografije (MEG) i funkcionalne infracrvene spektroskopije (fNIRS), omogućilo je interdisciplinarnu integraciju psihologije, neuronauke i računarstva, čime je percepcija počela da se istražuje istovremeno na ponašajnom, neuronskom i kognitivnom nivou, uz mogućnost direktnog povezivanja subjektivnog perceptivnog iskustva sa specifičnim obrascima moždane aktivnosti (Gazzaniga, Ivry & Mangun, 2019; Logothetis, 2008). Savremene tehnologije se razlikuju prema tome šta mjere i na koji način, pa se u skladu sa tim dijele na nekoliko grupa:

1. Neuroimaging i neurofiziološke tehnologije,
2. Tehnologije za praćenje pokreta očiju (*Eye-tracking* tehnologije),
3. Virtuelna stvarnost (VR) i proširena stvarnost (AR),
4. Računarsko modelovanje i vještačka inteligencija (AI).

U ovom dijelu poglavlja ćemo ukratko opisati svaku grupu i navesti njihove specifičnosti, kao i primjenu u novijim empirijskim studijama.

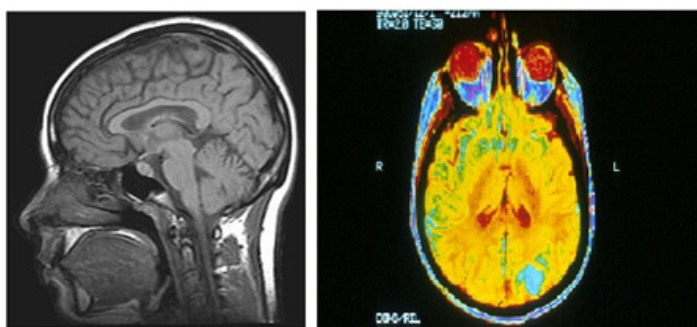
1. Neuroimaging i neurofiziološke tehnologije

Neuroimaging obuhvata svaku tehniku koja omogućava proučavanje strukture ili funkcije mozga, vremenske obrade informacija i prostorne lokalizacije moždanih funkcija (Brammer, 2009). S druge strane, neurofiziološke tehnologije su usmjerene na praćenje, mjerenje i stimulaciju rada nervnog sistema, posebno mozga. Iako su primarno fokusirane na to kako nervne ćelije funkcionišu, što je uži segment praćenja, i one kao i neuroimaging tehnike imaju isti cilj. One omogućavaju vizuelizaciju moždane aktivnosti tokom procesa percepcije, pomažu da utvrdimo koje regije mozga su uključene u obradu različitih senzornih informacija i kako se one integrišu u perceptivnu cjelinu. Jedna od najčešće korištenih tehnika jeste *funkcionalna magnetna rezonanca* (fMRI) (Slika 17). Ona mjeri promjene u oksigenaciji krvi povezane sa neuralnom aktivnošću (BOLD signal) i omogućava izuzetno precizno prostorno mapiranje moždanih regija uključenih u perceptivnu obradu, zahvaljujući visokoj prostornoj rezoluciji od približno 1–3 mm. U istraživanjima percepcije ova tehnika ima veliku primjenu, jer potkrepljuje saznanja

fMRI metoda zasniva se na mjerenju promjena u potrošnji kisika koje prate povećan protok krvi u aktivnim dijelovima mozga. Tokom neuronske aktivnosti, u te regije se doprema više krvi bogate oksihemoglobinom. Nakon što ćelije potroše kisik, dio oksihemoglobina prelazi u deoksihemoglobin, koji ima izražena magnetna svojstva i utiče na lokalno magnetno polje. Promjene u odnosu oksihemoglobina i deoksihemoglobina odražavaju se u fMRI signalu: on raste sa porastom oksihemoglobina, a opada sa porastom deoksihemoglobina.

i pretpostavke nastale na osnovu bihevioralnih mjerenja. Rad Ungerleider i Haxby (1994) zauzima posebno mjesto u objašnjenju modela vizuelne obrade koji je bio idealan za empirijsku provjeru pomoću fMRI tehnologije. Njihova pretpostavka o postojanju dva relativno diferencirana vizuelna toka, ventralnog, zaduženog za prepoznavanje identiteta i karakteristika objekata („šta“), i dorzalnog, uključenog u obradu prostorne lokacije, kretanja i vizuelno vođene pažnje („gdje“), direktno se oslanja na ideju da se različiti kognitivni procesi mogu mapirati na različite obrasce moždane aktivacije. fMRI, mjereći promjene u oksigenaciji krvi (BOLD signal) omogućila je neinvazivno i precizno testiranje ovih hipoteza kod ljudi, kroz poređenje aktivacije tokom zadataka prepoznavanja objekata i zadataka lokalizacije ili procjene kretanja. Na taj način, fMRI je pružila prostorno precizne dokaze da različite vizuelne funkcije aktiviraju različite kortikalne mreže, čime je model Ungerleider i Haxby postao jedan od primjera kako se teorijski modeli kognitivne psihologije mogu empirijski validirati savremenim neuroimaging tehnikama. Pionirska fMRI studija Kanwisher, McDermott i Chun (1997) pružila je jedan od najjasnijih empirijskih dokaza funkcionalne specijalizacije u vizuelnom korteksu, identifikujući fusiformno područje (*Fusiform Face Area* – FFA) u inferiornom temporalnom korteksu kao regiju koja se aktivira tokom percepcije ljudskih lica. Korišćenjem

block-dizajna i mjerenjem BOLD signala, autori su pokazali da ova regija reaguje značajno snažnije na lica nego na druge vizuelne kategorije, uključujući objekte i teksture. I pored brojnih prednosti, navode se ipak određena ograničenja fMRI metode, a to su slaba vremenska rezolucija, koja se kreće u rasponu od samo nekoliko sekundi, visoki troškovi primjene i ograničena ekološka validnost eksperimentalnih uslova (Logothetis, 2008).



Slika 17. Primjer prikaza vizualizacije mozga pomoću fMRI-a
(Izvor: Wikimedia Commons, public domain)

Druga često korištena tehnika u okviru kognitivnih neuronauka jeste elektroencefalografija (EEG), koja omogućava direktno i neinvazivno mjerenje električne aktivnosti mozga. EEG registruje razlike u električnom potencijalu između elektroda postavljenih na površini skalpa, pri čemu brojna istraživanja potvrđuju da je porijeklo ovog signala u neuronskoj aktivnosti mozga (Pizzagalli, 2007). EEG signal je po svojoj prirodi spontan, ali snažno zavisn od konteksta, što znači da se obrasci električne aktivnosti razlikuju u zavisnosti od toga da li se mozak nalazi u stanju odmora ili je uključen u aktivnu kognitivnu obradu. Jedna od ključnih prednosti EEG metodologije jeste izuzetno visoka vremenska rezolucija, koja se mjeri u milise-

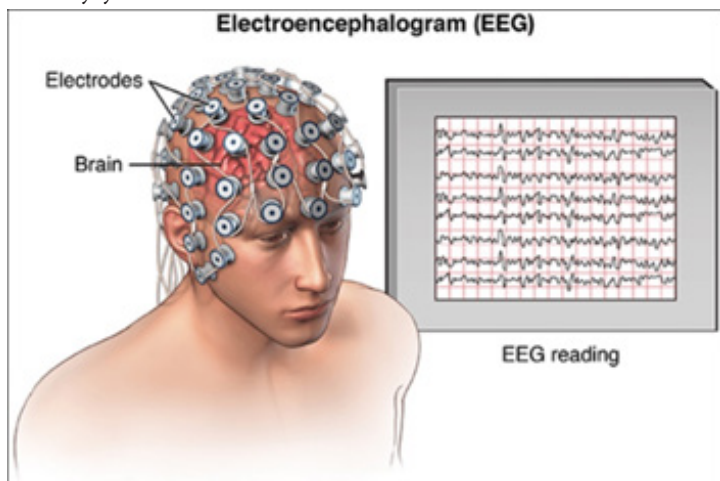
kundama. Zahvaljujući tome, postsinaptičke promjene u neuronskim mrežama se praktično trenutno reflektuju u EEG zapisu, što ovu tehniku čini posebno prihvatljivom za praćenje brzih i dinamičnih promjena u funkcionisanju mozga. EEG signal prvenstveno odražava sinhronizovanu postsinaptičku aktivnost velikog broja kortikalnih neurona, pri čemu dominantnu ulogu imaju piramidalne ćelije. Njihova paralelna prostorna organizacija omogućava da se promjene električnog potencijala detektuju na površini glave (Niedermeyer & da Silva, 2005). Analiza EEG zapisa često se zasniva na ispitivanju moždanih oscilacija u različitim frekvencijskim opsezima, kao što su alfa, beta, theta, delta i gama ritmovi. Promjene u snazi i frekvenciji ovih oscilacija dovode se u vezu sa osnovnim kognitivnim funkcijama, uključujući pažnju, percepciju, učenje i pamćenje. Na taj način EEG pruža značajan uvid u funkcionalnu organizaciju moždane aktivnosti u realnom vremenu. Delta talasi (<4 Hz) predstavljaju najsporiji oblik moždane aktivnosti registrovane elektroencefalografijom, i karakteristični su za stanja dubokog, sporotalasnog sna, ali i za određene razvojne a često i patološke uslove. Theta talasi (4–8 Hz) povezani su sa pospanošću, lakim snom i stanjima unutrašnjeg fokusa, a značajnu ulogu imaju u procesima učenja i memorije. Alpha talasi (8–13 Hz) javljaju se u opuštenom budnom stanju, naročito pri zatvorenim očima, i smanjuju se tokom kognitivnog napora, zbog čega se često tumače kao ritam funkcionalnog mirovanja korteksa. Beta talasi (13–30 Hz) povezani su sa aktivnim mišljenjem, pažnjom i svjesnom kontrolom ponašanja, dok su gamma talasi (>30 Hz) vezani za složene kognitivne procese, integraciju informacija i svjesni doživljaj (Buzsáki, 2006; Klimesch, 1999). Savremena EEG istraživanja pokazuju da je vizuelna percepcija duboko

povezana sa dinamikom moždanih oscilacija različitih frekvencija, koje ne odražavaju samo pasivne odgovore na stimulus, već aktivno strukturiraju način na koji se vizuelne informacije uzorkuju, selektuju i integrišu kroz vrijeme. Spore moždane oscilacije u delta i theta opsegu ($\approx 1-8$ Hz) imaju važnu ulogu u vremenskoj organizaciji vizuelne percepcije. One omogućavaju svojevrsno „uzorkovanje“ vizuelnog toka, naročito u situacijama kada se nadražaji javljaju ritmično ili u predvidivom redoslijedu. U takvim uslovima faza ovih oscilacija može se uskladiti sa trenutkom pojave stimulusa (fenomen entrainment), čime nastaju ciklični periodi povećane kortikalne pobuđenosti. Tokom tih „prozora“ vjerovatnoća detekcije vizuelnog nadražaja je veća (Lakatos et al., 2008; Schroeder & Lakatos, 2009). Alpha oscilacije (8–13 Hz) posebno su značajne za vizuelnu percepciju jer učestvuju u mehanizmu selektivne inhibicije. Njihova snaga i faza u okcipitalnim regijama mogu predvidjeti koliko ćemo biti perceptivno osjetljivi, odnosno da li ćemo neki stimulus svjesno registrovati. Povišena alpha aktivnost često je povezana sa inhibicijom irelevantnih informacija, dok njeno smanjenje olakšava obradu relevantnih vizuelnih sadržaja. Ovi efekti jasno su demonstrirani u istraživanjima vizuelne pažnje i maskiranja (Jensen & Mazaheri, 2010; Mathewson et al., 2009). Beta oscilacije (13–30 Hz) povezuju se sa top-down procesima, odnosno uticajem očekivanja, znanja i perceptivnih hipoteza na obradu vizuelnog inputa. Smatra se da one doprinose stabilizaciji aktuelne interpretacije onoga što vidimo, posebno kada je potrebno održati određeno perceptivno rješenje kroz vrijeme (Engel & Fries, 2010). Nasuprot tome, gamma aktivnost (>30 Hz) odražava intenzivnu lokalnu kortikalnu obradu i integraciju vizuelnih karakteristika, kao što su oblik, boja i prostorna lokaci-

ja. Gamma oscilacije često se pojačavaju kada stimulus postane perceptivno relevantan ili kada uđe u svjesno opažanje (Fries, 2015). Važno je naglasiti da ovi ritmovi ne funkcionišu izolovano. Oni djeluju u hijerarhijskoj interakciji: sporije oscilacije (posebno theta i alpha) mogu modulirati amplitudu bržih frekvencija (beta i gamma). Ovakva međufrekventna sprega omogućava preciznu vremensku koordinaciju neuralne obrade i podržava ideju da je vizuelna percepcija aktivan i prediktivan proces, a ne samo linearni prenos informacija od oka ka moždanoj kori (Buzsáki, 2006; Jensen et al., 2014).

Kada se EEG aktivnost analizira u odnosu na precizno definisan događaj ili stimulus, govori se o evociranim potencijalima. Evocirani potencijali predstavljaju specifične obrasce moždane aktivnosti koji su vremenski vezani za pojavu određenog senzornog, kognitivnog ili motoričkog događaja. Ova tehnika omogućava detaljno ispitivanje vremenskog toka neuralne obrade informacija, od ranih senzoričkih faza do složenijih kognitivnih procesa. U istraživanjima vizuelne percepcije, evocirani potencijali (ERP) su tradicionalno tumačeni kao niz karakterističnih komponenti koje odražavaju različite faze obrade vizuelnog stimulusa, ali savremeni EEG pristupi pokazuju da se ove komponente mogu bolje razumjeti u okviru dinamike moždanih oscilacija. P1 komponenta (oko 80–120 ms nakon prezentovanja stimulusa) smatra se pokazateljem rane senzorne obrade u vizuelnoj kori, a njena amplituda zavisi od prethodnog stanja alpha ritma, pri čemu slabija alpha aktivnost omogućava efikasniji ulaz vizuelnih informacija u korteks (Jensen & Mazaheri, 2010; Busch et al., 2009). N1 komponenta (oko 140–200 ms) povezuje se sa ranim aspektima pažnje i diskriminacije stimulusa i prati je dalja desinhronizacija alpha ritma, kao i pojačana

lokalna obrada u višim frekvencijama, uključujući gamma aktivnost, što ukazuje na detaljniju analizu vizuelnih karakteristika. N2 komponenta (200–300 ms) predstavlja elektrofiziološki marker prostorne pažnje i odražava selektivno usmjeravanje obrade ka relevantnoj lokaciji u vidnom polju, što se na oscilatornom nivou manifestuje kao lateralizovano smanjenje alpha aktivnosti u parijsko-okcipitalnim regijama (Klimesch, 2012; Mazaheri et al., 2014). P3 (P300) komponenta (300–600 ms) tradicionalno se dovodi u vezu sa svjesnom evaluacijom stimulusa i aktiviranjem radne memorije, a savremena istraživanja je povezuju sa povećanom theta aktivnošću i koordinacijom frontalno-parijetalnih mreža, što ukazuje na integraciju perceptivnih i kognitivnih procesa (Polich, 2007; Cohen, 2014). Ovakav pogled omogućava da se ERP komponente u vizuelnoj percepciji shvate ne kao izolovani odgovori, već kao vremenski strukturisani izrazi interakcije različitih moždanih ritmova koji zajedno oblikuju perceptivni doživljaj.



Slika 18. Ilustracija EEG snimanja (Izvor: National Institute of Mental Health (NIMH), public domain)

Iako ovi pristupi omogućavaju precizno praćenje vremenske dinamike vizuelne percepcije, njihovo osnovno ograničenje predstavlja slaba prostorna rezolucija, zbog koje je teško pouzdano lokalizovati neuralne izvore zabilježenih efekata. Promjene moždane aktivnosti takođe snažno zavisi od konteksta zadatka, pažnje i individualnih razlika, a često je prisutna i osjetljivost na artefakte poput pokreta očiju i mišićne aktivnosti. Većina EEG nalaza je korelaciona pa nije moguće donositi čvrste zaključke o kauzalnoj ulozi moždanih ritmova u vizuelnoj percepciji.

2. Tehnologije za praćenje pokreta očiju (Eye-tracking tehnologije)

Eye-tracking tehnologije predstavljaju neinvazivan metod za precizno mjerenje položaja pogleda i pokreta očiju tokom vizuelnog opažanja i zasnivaju se na pretpostavci da je usmjerenost pogleda snažan pokazatelj raspodjele vizuelne pažnje i toka perceptivne obrade. Savremeni eye-tracking sistemi koriste infracrveno osvjetljenje i registraciju refleksije sa rožnjače i zjenice kako bi se u realnom vremenu odredila tačka pogleda, omogućavajući analizu fiksacija, sakada i njihovih vremenskih i prostornih obrazaca. Klasična istraživanja Keitha Raynera pokazala su da trajanje i redoslijed fiksacija tokom čitanja direktno odražavaju jezičku i kognitivnu obradu teksta, pri čemu se duže fiksacije javljaju na semantički ili sintaksički složenim dijelovima, što je postavilo temelje za široku primjenu ove tehnologije u proučavanju percepcije i kognicije (Rayner, 1998, 2009). U istraživanjima percepcije složenih scena, Henderson i saradnici su pokazali da obrasci pogleda nisu određeni samo vizuelnim karakteristikama (kao što su kontrast, boja), već u velikoj mjeri zavise od

semantičkog značenja i ciljeva posmatrača, što potvrđuje aktivnu i ciljno usmjerenu prirodu vizuelne percepcije (Henderson, 2003).



Slika 19. Remote eye-tracker oprema
(Izvor:Wikimedia Commons (CC BY-SA))

DANS, KÖN OCH JAGPROJEKT

På jakt efter ungdomars kroppsspråk och den "synkretiska dansen", en sammansmältning av olika kulturers dans, har jag i mitt fältarbete under hösten rört mig på olika arenor inom skolans värld. Nordiska, afrikanska, syd- och östeuropeiska ungdomar gör sina röster hörda genom sång, musik, skrik, skraff och gestaltar känslor och uttryck med hjälp av kroppsspråk och dans.

Den individuella estetiken framträder i kläder, frisyrer och symboliska tecken som förstärker ungdomarnas "jagprojekt" där också den egna stilen i kroppsrörelserna spelar en betydande roll i identitetsprövningen. Upphållsrummet fungerar som offentlig arena där ungdomarna spelar upp sina performanceliknande kroppsspråk.

Slika 20. Ilustracija obrazaca kretanja očiju tokom čitanja teksta
(autor nepoznat, javno dostupno, Creative Commons)

Eye-tracking je takođe dao značajan doprinos proučavanju percepcije lica, gdje su brojne studije pokazale stabilan obrazac fiksacija na oči, nos i usta, uz varijacije u zavisnosti od emocionalnog izraza i socijalnog konteksta, čime je omogućeno objektivno mjerenje socijalno-perceptivnih strategija (Yarbus, 1967; Walker-Smith et al., 1977). U paradigmi vizuelne pretrage, istraživanja su pokazala da se strategije pogleda razlikuju u zavisnosti od toga da li se cilj razlikuje po jednoj ili više karakteristika, što je u skladu sa teorijama serijalne i paralelne obrade u vizuelnoj percepciji (Findlay & Gilchrist, 2003). Posebno važan doprinos ovih tehnologija ogleda se u istraživanjima perceptivnih iluzija i dvosmislenih stimulusa, gdje se pokazalo da promjene u perceptivnoj interpretaciji često prate sistematske promjene u obrascima pogleda, što ukazuje na dinamičku interakciju između perceptivnih hipoteza i vizuelnog uzorkovanja. Savremena istraživanja sve češće kombinuju eye-tracking sa neurofiziološkim metodama, posebno EEG-om, pokazujući da se fiksacije i sakade mogu dovesti u vezu sa specifičnim neuralnim odgovorima i oscilatornim stanjima mozga, čime se uspostavlja direktna veza između ponašajnih i neuralnih osnova percepcije (Dimigen et al., 2011). Uprkos brojnim prednostima, važno je naglasiti da usmjerenost pogleda ne mora uvijek podrazumijevati i duboku perceptivnu obradu, te da interpretacija eye-tracking podataka zahtijeva pažljivo kontrolisan eksperimentalni kontekst i teorijsku utemeljenost, zbog čega se eye-tracking u savremenim istraživanjima najčešće koristi kao komplementarna, a ne samostalna metoda u proučavanju perceptivnih i kognitivnih procesa.

3. Virtuelna stvarnost (VR) i proširena stvarnost (AR)

Savremena istraživanja percepcije u okviru kognitivnih neuronauka sve češće koriste virtuelnu realnost (VR) kao eksperimentalni okvir koji omogućava visoku kontrolu nad perceptivnim informacijama, ali istovremeno otvara nova teorijska pitanja o prirodi opažanja. Za razliku od tradicionalnih eksperimentalnih stimulusa (slika ili video-zapisa), VR ne predstavlja pasivan prikaz okruženja, već interaktivno perceptivno okruženje u kojem se vizuelna scena mijenja u realnom vremenu, u zavisnosti od pokreta tijela i glave posmatrača. VR se obično ostvaruje pomoću uređaja koji se nose na glavi (engl. *head-mounted display*, HMD), koji korisniku omogućavaju da opaža računarom generisano okruženje kao da se u njemu nalazi. Zbog kontinuirane veze između pokreta i promjena vizuelne scene, VR se ne može svesti na opažanje slike, već se može razumjeti kao dinamički perceptivni sistem koji omogućava aktivno istraživanje prostora (Baggs, 2024).



Slika 21. Prikaz uređaja (Izvor: Evan-Amos / Vanamo Media (public domain))

Iako VR uspješno obezbjeđuje mnoge ključne vizuelne signale važne za percepciju prostora i kretanja, poput binokularnog dispariteta i perspektive, neki aspekti prirodne percepcije ostaju ograničeni ili izmijenjeni. Na primjer, akomodacija oka, realna luminancija i precizni periferni vid često ne odgovaraju uslovima stvarnog okruženja (Baggs, 2024). Empirijska istraživanja pokazuju da perceptivni sistem u VR-u funkcioniše prema istim osnovnim principima kao i u realnom svijetu, ali na osnovu drugačije i često nepotpune kombinacije vizuelnih informacija. Kao posljedica toga, javljaju se sistematska perceptivna odstupanja. Jedan od najdosljednijih nalaza jeste potcjenjivanje udaljenosti u virtuelnim okruženjima. Meta-analitički podaci ukazuju da na preciznost procjene distance značajno utiču tehničke karakteristike HMD sistema, uključujući vidno polje, stereoskopsku tačnost, rezoluciju prikaza i mogućnost aktivnog kretanja korisnika (Kelly et al., 2023). Dodatno, istraživanja ukazuju da iskustva stečena u VR-u, posebno kada su praćena snažnim osjećajem prisutnosti i visokom senzornom koherentnošću, mogu biti subjektivno izuzetno uvjerljiva. Takva iskustva se ponekad naknadno miješaju sa realnim iskustvima u pamćenju i prosuđivanju. Perceptivni i memorijski sistemi, naime, ne razlikuju događaje prema tome da li su „stvarni“ ili „virtuelni“, već prema stepenu doživljajne uvjerljivosti i funkcionalne relevantnosti iskustva (Wiesing, 2025). Zbog toga se VR u kognitivnim neuro-naukama ne posmatra samo kao tehnički alat, već i kao teorijski relevantan okvir za proučavanje odnosa između percepcije, pamćenja i svijesti. Za razliku od virtuelne realnosti, koja korisnika u potpunosti uranja u vještačko okruženje, proširena realnost (AR) funkcioniše tako što digitalne informacije nadograđuje na postojeće fizičko

okruženje. Time se formira hibridni perceptivni prostor u kojem se realni i digitalni signali istovremeno opažaju i međusobno utiču jedni na druge.



Slika 22. Konceptualni prikaz AR naočara (Izvor: OpenClipart, public domain)

U AR okruženju digitalni elementi mogu postati perceptivno veoma istaknuti, što utiče na raspodjelu pažnje i na to koje informacije se smatraju relevantnim. Time se mijenja hijerarhija perceptivnih signala i način na koji se integrišu vizuelne, prostorne i semantičke informacije (Hadi, 2024; Barta, 2025). Kao rezultat toga, opažanje u AR-u se sve manje oslanja isključivo na fizičke karakteristike stimulusa, a sve više na interakciju između realnih i digitalno posredovanih znakova, što može dovesti do promjena u prosuđivanju i donošenju odluka. Zanimljivo je da savremeni teorijski pristupi ukazuju da ovakav način opažanja nije stran ni prirodnoj percepciji. Svjesno perceptivno iskustvo može se razumjeti kao proces u kojem mozak stalno „nadograđuje“ senzorne informacije predik-

tivnim, konceptualnim i semantičkim slojevima, pri čemu ti dodaci ostaju fenomenološki nevidljivi i doživljavaju se kao dio neposredne realnosti (Wiese, 2025). Iz tog ugla, AR tehnologije ne predstavljaju radikalno odstupanje od prirodnih principa percepcije, već njihovu tehnološku ekspanziju. Zbog toga su VR i AR posebno važni istraživački okviri u kognitivnim neuronaukama za proučavanje pažnje, perceptivnog zaključivanja, odnosa između opažanja i djelovanja, kao i veze između percepcije i svijesti.

4. Računarsko modelovanje i vještačka inteligencija (AI)

Računarsko modelovanje i vještačka inteligencija danas imaju veoma važnu ulogu u istraživanju percepcije, jer omogućavaju naučnicima da preciznije objasne kako mozak obrađuje informacije koje dolaze iz čula. Za razliku od ranijih teorija koje su perceptivne procese opisivale uglavnom verbalno, savremeni pristupi nastoje da te procese „prevedu“ u matematičke i računarske modele. Na taj način moguće je simulirati kako perceptivni sistem prima senzorne podatke, kako ih transformiše i kako na osnovu njih nastaje opažaj, čime se percepcija proučava kao informacioni proces koji se može kvantifikovati i empirijski testirati (Kriegeskorte, 2015). Jedan od najpoznatijih teorijskih okvira za razumijevanje računarskog modelovanja percepcije predložio je Marr, koji je istakao da se percepcija može analizirati na tri međusobno povezana nivoa: računskom, algoritamsko-reprezentacionom i implementacionom (Marr, 1982). Računski nivo odnosi se na pitanje koji problem perceptivni sistem rješava, algoritamski na način obrade informacija i reprezentacije koje koristi, dok implementacioni nivo obuhvata neuronske strukture koje te procese realizuju. Ovakva podjela i da-

nas predstavlja temelj povezivanja psihologije percepcije, neuronauke i vještačke inteligencije. Savremene teorije dodatno naglašavaju da percepcija nije pasivno registrovanje spoljašnje stvarnosti, već aktivan proces predviđanja. U okviru modela prediktivnog kodiranja pretpostavlja se da viši kortikalni nivoi generišu očekivanja o dolaznim signalima, dok niži nivoi kodiraju odstupanja između očekivanog i stvarnog ulaza (Rao & Ballard, 1999). Ta odstupanja, odnosno greške predikcije, koriste se za kontinuirano ažuriranje perceptivnih modela svijeta. Ovaj pristup uklapa se u širi Bayesovski okvir, prema kojem se opažaj formira integracijom senzorne evidencije i prethodnog iskustva (Friston, 2010). Takvo tumačenje uspješno objašnjava pojave poput perceptivnih iluzija, efekata konteksta i multisenzorne integracije. Značajan napredak u istraživanju percepcije ostvaren je razvojem dubokih neuronskih mreža, čija hijerarhijska organizacija funkcionalno podsjeća na organizaciju vizuelnog korteksa. Niži slojevi ovih mreža obrađuju jednostavne karakteristike poput ivica i kontrasta, dok viši slojevi kodiraju složenije obrasce, uključujući objekte i lica. Empirijska istraživanja pokazala su da reprezentacije formirane u dubokim mrežama mogu predviđati neuronske odgovore u višim vizuelnim područjima, posebno u inferotemporalnom korteksu (Yamins et al., 2014). Ovi nalazi podržavaju ideju da optimizacija perceptivnih zadataka može dovesti do formiranja reprezentacija sličnih biološkim, iako modeli ne predstavljaju direktne replike moždanih mehanizama (Kriegeskorte, 2015). Kako bi se omogućilo sistematsko poređenje računarskih modela i moždane aktivnosti, razvijene su metode poput *encoding* i *decoding* pristupa, kao i analize reprezentacione sličnosti, koja omogućava poređenje strukture informacija između mozga i modela,

nezavisno od mjerne skale, čime predstavlja važan most između neuroimaging nalaza i vještačkih sistema (Kriegeskorte, Mur, & Bandettini, 2008). Noviji pravci razvoja uključuju generativne modele i samonadgledano učenje, koji nastoje simulirati način na koji perceptivni sistemi uče iz prirodnog okruženja bez eksplicitnih instrukcija. Ovakvi pristupi posebno su značajni za razumijevanje perceptivne neizvjesnosti, efekata šuma i kontekstualne modulacije opažanja (Khan et al., 2024). Ipak, uprkos visokoj prediktivnoj moći, savremena istraživanja upozoravaju da funkcionalna sličnost između modela i mozga ne podrazumijeva nužno identične mehanizme obrade, zbog čega interpretacija nalaza zahtijeva oprez i interdisciplinarni pristup (Friston, 2010; Kriegeskorte, 2015).

Savremene tehnologije značajno su unaprijedile istraživanje neuralnih osnova percepcije, omogućavajući direktan uvid u moždane mehanizme koji stoje u osnovi opažajnog iskustva. Kombinacija neuroimaging metoda, elektrofizioloških mjerenja, praćenja pokreta očiju, imerzivnih virtuelnih okruženja i računarskog modelovanja omogućila je integrativno proučavanje percepcije, od rane senzorne obrade do viših interpretativnih procesa. Zahvaljujući ovim pristupima, percepcija se danas razumije kao dinamičan rezultat aktivnosti distribuiranih i međusobno povezanih neuronskih mreža, što otvara nove mogućnosti za povezivanje psiholoških teorija, moždanih funkcija i savremenih tehnoloških modela u jedinstven naučni okvir.

- Baggs, E. (2024). The visual information available in virtual reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, Article 1336828. <https://doi.org/10.3389/frvir.2024.1336828>
- Barta, S. (2025). Consumer-centered augmented reality framework

- and its psychological effects on perception and decision making. *Journal of Business Research*, 176, 114987. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2025.114987>
- Brammer, M. (2009). The role of neuroimaging in diagnosis and personalized medicine—Current position and likely future directions. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 11(4), 389–396. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2009.11.4/mbrammer>
- Busch, N. A., Dubois, J., & VanRullen, R. (2009). The phase of ongoing EEG oscillations predicts visual perception. *Journal of Neuroscience*, 29(24), 7869–7876. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0113-09.2009>
- Buzsáki, G. (2006). *Rhythms of the brain*. Oxford University Press.
- Cohen, M. X. (2014). *Analyzing neural time series data: Theory and practice*. MIT Press.
- Dimigen, O., Sommer, W., Hohlfeld, A., Jacobs, A. M., & Kliegl, R. (2011). Coregistration of eye movements and EEG in natural reading: Analyses and review. *Journal of Experimental Psychology: General*, 140(4), 552–572. <https://doi.org/10.1037/a0023885>
- Engel, A. K., & Fries, P. (2010). Beta-band oscillations—Signalling the status quo? *Current Opinion in Neurobiology*, 20(2), 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2010.02.015>
- Findlay, J. M., & Gilchrist, I. D. (2003). *Active vision: The psychology of looking and seeing*. Oxford University Press.
- Fries, P. (2015). Rhythms for cognition: Communication through coherence. *Neuron*, 88(1), 220–235. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.034>
- Friston, K. (2010). The free-energy principle: A unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 127–138.
- Gescheider, G. A. (1997). *Psychophysics: The fundamentals* (3rd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Hadi, R. (2024). Bridging the digital and physical: The psychology of augmented reality. *Frontiers in Psychology*, 15, Article 1349127. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1349127>
- Henderson, J. M. (2003). Human gaze control during real-world scene perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(11), 498–504. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00216-9](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00216-9)
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press.
- Jensen, O., & Mazaheri, A. (2010). Shaping functional architecture

- by oscillatory alpha activity: Gating by inhibition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 186. <https://doi.org/10.3389/fn-hum.2010.00186>
- Jensen, O., Bonnefond, M., & VanRullen, R. (2014). An oscillatory mechanism for prioritizing salient unattended stimuli. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(8), 439–445. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.03.002>
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience*, 17(11), 4302–4311.
- Kelly, J. W., Cherep, L. A., & Siegel, Z. D. (2023). Distance perception in virtual reality: A meta-analysis of the effect of head-mounted display characteristics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 29(5), 2703–2715. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3247051>
- Khan, A., et al. (2024). A survey of self-supervised learning mechanisms for vision transformers. *arXiv*.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2–3), 169–195. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)
- Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(12), 606–617. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>
- Kriegeskorte, N. (2015). Deep neural networks: A new framework for modeling biological vision. *Annual Review of Vision Science*, 1, 417–446.
- Kriegeskorte, N., Mur, M., & Bandettini, P. (2008). Representational similarity analysis. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 2, 4.
- Lakatos, P., Karmos, G., Mehta, A. D., Ulbert, I., & Schroeder, C. E. (2008). Entrainment of neuronal oscillations as a mechanism of attentional selection. *Science*, 320(5872), 110–113. <https://doi.org/10.1126/science.1154735>
- Logothetis, N. K. (2008). What we can do and what we cannot do with fMRI. *Nature*, 453(7197), 869–878.
- Marr, D. (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. MIT Press.
- Mathewson, K. E., Gratton, G., Fabiani, M., Beck, D. M., & Ro, T. (2009). To see or not to see: Prestimulus alpha phase predicts visual awareness. *Journal of Neuroscience*, 29(9), 2725–2732.

- <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3963-08.2009>
- Mazaheri, A., et al. (2014). Differential oscillatory dynamics of alpha band activity during spatial attention. *Journal of Neuroscience*, 34(28), 9156–9164. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0399-14.2014>
- Niedermeyer, E., & da Silva, F. L. (2005). *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields* (5th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Pizzagalli, D. A. (2007). Electroencephalography and high-density electrophysiological source localization. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (3rd ed., pp. 56–84). Cambridge University Press.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118(10), 2128–2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
- Rao, R. P. N., & Ballard, D. H. (1999). Predictive coding in the visual cortex. *Nature Neuroscience*, 2, 79–87.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372–422. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>
- Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457–1506. <https://doi.org/10.1080/17470210902816461>
- Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(4), 332–339. <https://doi.org/10.1038/nrn1651>
- Schroeder, C. E., & Lakatos, P. (2009). Low-frequency neuronal oscillations as instruments of sensory selection. *Trends in Neurosciences*, 32(1), 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2008.09.012>
- Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1994). ‘What’ and ‘where’ in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 4(2), 157–165.
- Walker-Smith, G. J., Gale, A. G., & Findlay, J. M. (1977). Eye movement strategies involved in face perception. *Perception*, 6(3), 313–326. <https://doi.org/10.1068/p060313>
- Wiese, W. (2025). Conscious perception as augmented reality. *Synthese*, 203, Article 68. <https://doi.org/10.1007/s11229-024-04683-2>
- Wiesing, M., Comadran, G., & Slater, M. (2025). Confusing virtual reality with reality—An experimental study. *iScience*, 28, 112655. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112655>

- Yamins, D. L. K., et al. (2014). Performance-optimized hierarchical models predict neural responses in higher visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 8619–8624.
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision*. Plenum Press.
- Zdravković, S. (2008). *Percepcija*. Gradska narodna biblioteka „Žarko Zrenjanin“.

ZAVRŠNA RAZMATRANJA

Druga publikacija u okviru Edicije *Mozaik* je bila posvećena percepciji kao bazičnom procesu sa kojim počinje svaka interakcija sa spoljašnjim svijetom. Razumijevanje percepcije je neophodno za razumijevanje svih drugih psiholoških procesa, jer bez početnog prijema ulaznih informacija nije moguće ostvarivanje brojnih kognitivnih funkcija. Percepcija predstavlja saznavni proces kojim se informacije dobijene putem čula provode do odgovarajućih centara u mozgu gdje se integrišu u svjesni doživljaj. Međutim, iako ljudi posjeduju iste čulne organe to ne znači i da će imati identično opažanje svijeta, jer mozak senzorne informacije obrađuje i tumači u skladu sa prethodnim iskustvom, znanjem, očekivanjem ili kontekstom. Zbog toga percepcija zauzima posebno mjesto u oblasti kognitivnih neuronauka. Zato što predstavlja most između čulnih sistema i moždanih mehanizama koji kreiraju subjektivnu sliku realnosti. Kroz šest poglavlja je prikazan tok senzorne informacije od čulnih receptora preko neuralnih puteva i moždanih struktura odgovornih za obradu informacija, do razvoja perceptivnih sposobnosti tokom životnog vijeka. Razmatrane su i perceptivne iluzije kao model za proučavanje funkcionisanja mozga, dok je cijelo poglavlje bilo posvećeno neurološkim poremećajima kojim se jasno pokazala povezanost između promjene u funkcionisanju pojedinih moždanih sistema i načina na koji osoba percipira okruženje. Posljednje poglavlje je bilo posvećeno naprednim naučnim metodama jer je razvoj savremenih tehnologija otvorio mogućnost za nova istraživanja u oblasti percepcije koja će u budućnosti dovesti do preciznijih i jasnijih saznanja o tome kako mozak in-

tegriše veliki broj informacija u jedinstven percept.

Kroz stranice ove knjige, čitaoci su mogli da se upoznaju sa načinom na koji naša čula prikupljaju podatke, pretvaraju ih u nervne signale i prenose do mozga, gdje oni bivaju obrađeni i interpretirani. Međutim, mi smo svakodnevno okruženi velikim brojem informacija pa se postavlja pitanje kako mozak pravi selekciju i razdvajanje relevantnih od nerelavntnih sadržaja. Odgovor se nalazi u još jednom važnom kognitivnom procesu, a to je pažnja. Ona se definiše kao usmjeravanje naše mentalne aktivnosti na selecionisane draži a zanemarivanje drugih, nerelevantnih koje djeluju na naša čula. Upravo će pažnja, njeni neurobiološki mehanizmi i uloga u svakodnevnom životu čovjeka biti u središtu naredne publikacije u okviru Edicije *Mozaik*. Nadamo se da će i ona, kao i ova koja se ovdje završava, pobuditi interesovanje čitalaca i predstavljati još jedan korak ka boljem razumijevanju složenosti ljudskog uma i čovjeka kao biološkog i racionalnog bića.



Институт за
хуманистичке
и друштвене
науке
Филозофски факултет
Универзитета у Банској Луци

**Univerzitet u Banjoj Luci
Filozofski fakultet**

Institut za humanističke i društvene nauke

Edicija „Mozaik“

Glavni i odgovorni urednik: doc. dr Radovan Subić
Zamjenik glavnog urednika: mr Miroslav Galić