mozaik

... za kognitivne neuronauke

# Kognitivne neuronauke

## *put ka razumijevanju uma*

*Svetlana Borojević,*
*Ivana Kovačević, Jelena Jović,*
*Maja Balta, Željana Željak,*
*Milica Papak*

Univerzitet u Banjoj Luci
Filozofski fakultet

Институт за хуманистичке и друштвене науке
Филозофског факултета Универзитета у Бањој Луци

mozaik

... za kognitivne neuronauke

# Kognitivne neuronauke

***put ka razumijevanju uma***

Svetlana Borojević,
Ivana Kovačević, Jelena Jović,
Maja Balta, Željana Željak,
Milica Papak

*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 odgovrni urednik Edicije**
doc. dr Radovan Subić

**Zamjenik glavnog urednika**
mr Miroslav Galić

Mozaik... za kognitivne neuronauke
Urednik: prof. dr Svetlana Borojević

Svetlana Borojević, Ivana Kovačević, Jelena Jović, Maja Balta,
Željana Željak, Milica Papak
*Kognitivne neuronauke: put ka razumijevanju uma*

**Recenzenti:**
Prof. dr Nada Vaselić, Filozofski fakultet Banja Luka
Prof. dr Dijana Đurić, Filozofski fakultet Banja Luka
Ivan Zečević, ma

**Lektura**
dr Dragan Dragomirović

**Tehnička priprema teksta i dizajn**
mr Miroslav Galić

ISBN: 978-99997-40-22-7

SADRŽAJ:


Predgovor 7

Uvod u svijet kognitivnih neuronauka

Evolucija razumijevanja mozga: Od filozofije do savremenog doba 23

Mozak: složeni sistem 41

Kognitivni procesi 53
- Percepcija 55
- Pažnja 57
- Učenje 61
- Mišljenje 62
- Jezički procesi 63
- Kreativnost 64
- Donošenje odluka 65

Kako istražujemo kognitivne procese u kognitivnim neuronaukama 72
- Metoda lezija – klasičan pristup razumevanju mozga i ponašanja 72
- Metode snimanja mozga – od anatomije do funkcije 75
- Elektrofiziološke i magnetne metode – dinamika moždane aktivnosti 82
- Tehnike modulacije moždane aktivnosti 85
- Bihejvioralne metodeBihejvioralne metode 87
- Računarsko modelovanje – simulacija mozga i ponašanja 89

Etički aspekti istraživanja u kognitivnim neuronaukama 93
- Istorija etičkih principa u neuronaukama 95
- Savremeni izazovi u etici kognitivnih neuronauka 98
- Etički principi i procedure u istraživanjima sa ljudima 100
- Etička pitanja u eksperimentima sa životinjama 102
- Zakonodavni i etički okvir 105
- Specifičnosti zakonodavstva u Bosni i Hercegovini, Hrvatskoj i Srbiji 107

Završna razmatranja 112

# KOGNITIVNE NEURONAUKE

## Put ka razumijevanju uma

Svetlana Borojević, Ivana Kovačević,
Jelena Jović, Maja Balta, Željana Željak,
Milica Papak

Univerzitet u Banjoj Luci
Filozofski fakultet

DOI: https://www.doi.org/10.63356/ff.2026.001

Monografija „Kognitivne neuronauke – put ka razumijevanju uma“ pruža sistematičan i interdisciplinaran pregled savremenih saznanja o odnosu mozga i kognitivnih funkcija. Polazeći od osnovnih pitanja o prirodi ljudskog ponašanja i mentalnih procesa, rad integriše uvide iz psihologije, biologije, medicine, filozofije i računarskih nauka kako bi objasnio načine na koje nervni sistem omogućava opažanje, pažnju, pamćenje, mišljenje i emocije. Poseban akcenat stavljen je na istorijski razvoj ideja o mozgu, od ranih filozofskih i medicinskih koncepcija do savremenih eksperimentalnih i neuroimaging metoda. Monografija prikazuje mozak kao složen, dinamičan sistem čija se funkcionalna organizacija zasniva na aktivnosti neuronskih mreža i njihovoj plastičnosti. Pored teorijskih okvira, publikacija razmatra i metodološke pristupe u istraživanju kognitivnih procesa, uključujući eksperimentalne paradigme, savremene tehnike snimanja moždane aktivnosti i kognitivno modeliranje. Takođe se ukazuje na praktične implikacije kognitivnih neuronauka u oblasti mentalnog zdravlja, obrazovanja i razvoja tehnologija, kao i na etičke izazove koji prate napredak ove discipline. Ova edukativna monografija je namijenjena studentima, istraživačima i široj akademskoj zajednici, sa ciljem da pruži temeljno razumijevanje jednog od najdinamičnijih savremenih naučnih polja i podstakne dalja istraživanja o prirodi ljudskog uma.

**Ključne riječi**: kognitivne neuronauke, kognitivni procesi, neuroplastičnost, neuroimaging (EEG, fMRI), kognitivno modeliranje

# Predgovor

Publikacija "Kognitivne neuronauke – put ka razumijevanju uma" je prva u nizu izdanja u okviru edicije Mozaik koja će biti posvećena kognitivnim neuronaukama[1] kao novom i savremenom interdisciplinarnom polju. Ta edicija predstavlja pokušaj sistematizacije saznanja nastalih u proteklim decenijama o tome kako naš mozak "stvara" ili bolje rečeno omogućava izvođenje kognitivnih procesa, a njen cilj jeste da se teme iz ove oblasti približe publici i podstaknu ih na razmišljanje o složenim mehanizmima koji pokreću naš život. Kognitivne neuronauke predstavljaju spoj psihologije, medicine, filozofije i tehnologije, a upravo ta interdisciplinarnost ih čini posebno interesantnim, jer isto pitanje razmatraju iz različitih uglova. Takvo razumijevanje složenih fenomena, poput mišljenja, pamćenja, učenja i drugih i njihovih neuralnih korelata, nije važno samo zbog proširivanja korpusa naučnog znanja, već ima i širi, društveni i praktični značaj. Sva dostignuća kognitivnih neuronauka pomažu u kreiranju programa kognitivne rehabilitacije i unapređenja mentalnog zdravlja, ali osmišljavanju novih asistivnih tehnologija koje "imitiraju" senzorni i kognitivni sistem čovjeka. Stoga, ova edicija treba pružiti uvid u osnovne pojmove i pristupe jednog naučnog polja i ostvariti svoju edukativnu funkciju, ali istovremeno probuditi radoznalost kod čitaoca i želju za daljim istraživanjem i pokretanjem novih pitanja.

Ova prva knjiga u okviru edicije je strukturisana tako da postepeno uvodi čitaoca u složen splet naših doživljaja

[1] Termin kognitivne neuronauke koristimo u množini jer bolje odražava multidisciplinarnost polja i slijedi međunarodnu praksu (Cognitive Neurosciences).

i ponašanja. Čini je šest tematskih cjelina koje se nadovezuju jedna na drugu čineći jedinstvenu i koherentnu cjelinu. Prva cjelina pruža teorijski okvir i objašnjava osnovne pojmove koji olakšavaju razumijevanje ove naučne oblasti. U nastavku je opisano na koji način se kroz istoriju mijenjalo shvatanje o odnosu mozga, mentalnih funkcija i ponašanja. Treća tematska cjelina je posvećena građi i funkcijama mozga, čim se željelo ukazati na kompleksnost ovog organa koji se često naziva i "centralni procesor". Mozak je sačinjen od velikog broja nervnih ćelija koje međusobno komuniciraju putem električnih i hemijskih signala, a upravo ta komunikacija čini osnovu kognitivnih procesa. Zbog toga je sljedeća cjelina u knjizi posvećena procesima poput pažnje, mišljenja, učenja, ali i njihovim neuralnim korelatima.

Metodologija proučavanja kognitivnih procesa u okviru kognitivnih neuronauka je detaljno predstavljena u petom poglavlju. Korištenjem različitih metoda, od eksperimenta i posmatranja, do elektroencefalografije ili magnetoencefalografije i kompjuterskog modeliranja, istraživači postižu dublje razumijevanje složenih neuralnih mehanizama koji upravljaju našim saznajnim procesima. S druge strane, upravo upotreba novih tehnologija koje se koriste za praćenje moždane aktivnosti pokreće i pitanja upotrebe takvih podataka, granica privatnosti i pouzdanosti mjerenja, te je posljednje poglavlje knjige posvećeno etičkim aspektima u kognitivnim neuronaukama. Tu su predstavljene osnovne moralne dileme i izazovi koji prate razvoj ove naučne discipline ali uz koje se i sam čitalac podstiče na kritičko promišljanje o primjeni naučnih saznanja.

Knjiga „Kognitivne neuronauke – put ka razumijevanju uma" namijenjena je svima koji se prvi put susreću s

ovom oblašću, kao i onima koji žele da produbе postojeće znanje. Njen cilj nije samo da informiše, već i da otvori prostor za razmišljanje o tome kako se otkrića iz ove oblasti mogu pretvoriti u vrijednosti korisne za čovjeka i društvo.

## Uvod u svijet kognitivnih neuronauka

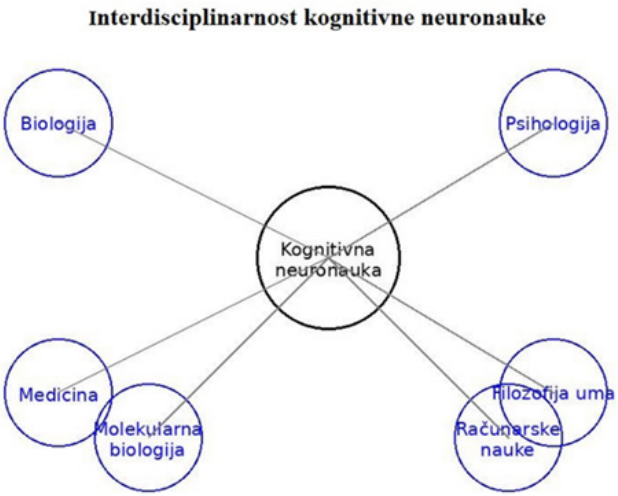
Veza između psihologije i biologije sve je značajnija u savremenim istraživanjima ljudskog uma. Iako se psihologija razvijala kao posebna disciplina, oduvijek je bila povezana s biologijom, kroz genetiku, fiziologiju, ponašanje životinja i evoluciju. Danas, zahvaljujući savremenim metodama snimanja mozga, naučnici mogu direktno pratiti kako moždani procesi utiču na naše misli, emocije i ponašanje. Kognitivne neuronauke upravo se bave tim pitanjima, proučavaju kako mozak omogućava misaone procese. Naučnici ističu da bez razumijevanja nervnog sistema ne možemo u potpunosti objasniti psihološke pojave. Na primjer, ravnoteža hemijskih supstanci u mozgu, poput serotonina i dopamina, ima ključnu ulogu u emocijama i mentalnom zdravlju. Povezivanjem psihologije i neuronauke otvaraju se nove mogućnosti za liječenje mentalnih poremećaja, kako kroz lijekove, tako i kroz psihoterapiju. Cilj ovog poglavlja je da pruži osnovni uvid u kognitivne neuronauke, njihova ključna pitanja, osnovne principe i najvažnije istorijske korake u razvoju ove oblasti. U nastavku ćemo objasniti i osnovne pojmove potrebne za razumijevanje veze između mozga i uma.

Pitanja ljudskog ponašanja i iskustava oduvijek su bila u središtu interesovanja brojnih naučnih disciplina, kako društvenih tako i prirodnih. Čitanje i pisanje, kao osnovne kulturne vještine, predstavljaju ključne faktore u razvoju ljudske civilizacije. Osim što imaju kulturni značaj, ove aktivnosti imaju i snažno biološko uporište, jer bez sposobnosti mozga da procesuira i razumije napisane informacije, čitanje ne bi bilo moguće. Na svakodnevnom nivou, suočavamo se s raznovrsnim emocionalnim iskustvima (radost, tuga, razočaranje), kao i s brojnim odlukama koje donosimo, bile one važne ili trivijalne. Sve ovo vodi ka osnovnom pitanju koje se neprestano nameće: Zašto se ljudi ponašaju onako kako se ponašaju? Ovo pitanje nije novo jer istraživači iz različitih oblasti već decenijama pokušavaju da shvate na koji način ljudi mogu svjesno i dobrovoljno da upravljaju sopstvenim ponašanjem. Njemački psiholog Rösler (2011) je isticao da je ovo pitanje

istovremeno duboko lično i društveno relevantno, jer je neraskidivo povezano sa pojmovima odgovornosti i samokontrole. Razumijevanje psiholoških i bioloških osnova ljudskog ponašanja omogućava nam složenije i dublje sagledavanje same ljudske prirode. U srcu svih ovih procesa nalazi se nervni sistem. Rösler polazi od pretpostavke da se ljudsko iskustvo i ponašanje razvijaju kroz složene interakcije neuronskih grupa u mozgu i stimulusa iz naše okoline, koju opažamo putem čula. Neuropsiholog Wolfgang Hartje (2012) navodi da je osnovni cilj kognitivne neuronauke, kao i srodnih disciplina, da objasne strukturu i način funkcionisanja nervnog sistema. On, međutim, upozorava da se pojam „kognitivno" često koristi preusko, ograničavajući fokus isključivo na vezu između mozga i mišljenja. Savremeni pogled na kogniciju obuhvata širok spektar mentalnih funkcija: percepciju, pažnju, jezik, mišljenje, maštu, pamćenje, donošenje odluka, djelovanje, motoričke vještine, pa čak i emocije. Ovakav pristup pokazuje koliko je istraživačko polje kognitivne neuronauke složeno i široko.

Kognitivne neuronauke predstavljaju jednu od najdinamičnijih i najinterdisciplinarnijih oblasti savremene nauke, usmjerenu na istraživanje bioloških osnova kognitivnih funkcija. Ova disciplina se razvila iz spoja više naučnih oblasti: biologije, psihologije, medicine, filozofije uma, molekularne biologije i računarskih nauka. Kao nauka o biološkoj obradi informacija, kognitivne neuronauke pokušavaju odgovoriti na pitanja o tome kako mozak prikuplja, interpretira, skladišti i koristi informacije, kako upravlja ponašanjem i kako iz fizioloških procesa nastaju mentalna stanja.

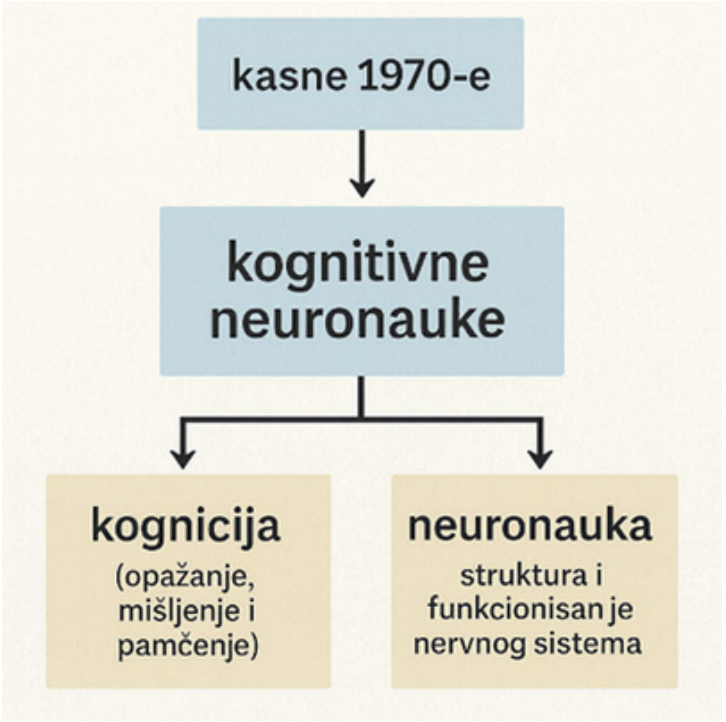
Savremeni pristupi u neuronaukama, poput snimanja moždane aktivnosti funkcionalnom magnetnom rezo-




nancom (fMRI), elektroencefalografijom (EEG), pozitronskom emisionom tomografijom (PET), kao i drugim metodama neurobiologije i molekularne genetike, omogućili su uvid u to kako se odvijaju različiti kognitivni procesi i koje moždane strukture su za njih odgovorne. Ti nalazi ukazuju da mentalne aktivnosti nisu odvojene od tijela, već su čvrsto ukorijenjene u fiziološkoj organizaciji živog organizma. Tradicionalno, kognicija se povezivala sa pojmovima "uma" i "intelekta", koje su filozofi tumačili kao apstraktne entitete. Međutim, savremena naučna paradigma sve više teži naturalizaciji ovih pojmova, odnosno razumijevanju uma kao rezultata fiziološke aktivnosti mozga. Um više nije zamišljen kao nešto odvojeno od tijela, već kao skup operacija koje izvodi mozak, pri čemu se funkcije kao što su mišljenje, planiranje ili pamćenje smatraju rezultatima interakcije neuronskih mreža. Mozak, kao visoko organizovan fizički sistem, posjeduje jasno definisanu strukturu i funkcionalnu organizaciju. Kognitivne funkcije su u osnovi biološke funkcije, jedna-

Zanimljivo je da naziv ove savremene naučne discipline, kognitivne neuronauke, nije nastao u laboratoriji ili na nekom velikom naučnom kongresu, već u taksiju u Njujorku, krajem 1970-ih godina. Jedan od tvoraca ove oblasti, naučnik Michael Gazzaniga, vozio se tada sa poznatim psihologom Džordžom A. Milerom na večeru sa kolegama iz Rokfelerovog i Kornelovog univerziteta. Tema večeri bila je ambiciozna: kako spojiti znanja iz psihologije i neurologije kako bi se odgovorilo na jedno od najvećih pitanja nauke — kako mozak omogućava pojavu svijesti, mišljenja i osjećanja? U toj vožnji rodila se ideja da se ta nova oblast nazove "kognitivna neuronauka". Naziv objedinjuje dva pojma: kognicija, koji se odnosi na procese saznanja poput opažanja, mišljenja i pamćenja, i neuronauka, koja proučava strukturu i funkcionisanje nervnog sistema. Bio je to naziv koji je savršeno opisivao cilj istraživanja, a to je razumjeti kako fizička struktura mozga može da proizvede ono što nazivamo umom. Taj pojam ubrzo je zaživio u naučnoj zajednici i označio početak jedne nove, multidisciplinarne oblasti koja povezuje psihologiju, neurologiju, biologiju i druge nauke.

ko kao i respiratorne ili reproduktivne. One se realizuju putem složenih kognitivnih mehanizama koji uključuju neuronsku aktivaciju, sinaptičku plastičnost, signalne puteve između različitih moždanih regija, te molekularne promjene u ćelijama. Mentalni procesi, dakle, nisu vanjski unosi neke duhovne supstance, već posljedica rada neuronskih mreža koje funkcionišu unutar biološkog sistema, pod uticajem i genetskih i sredinskih faktora. Iako kognitivne neuronauke kao disciplina datiraju iz kasnih 1970-ih godina, interesovanje za kognitivne funkcije traje mnogo duže. Klasična psihologija i filozofija uma vjekovima su pokušavale da objasne kako ljudi razmišljaju, uče i osjećaju. Međutim, tek s razvojem savremenih tehnologija za snimanje i mapiranje mozga, stečena je mogućnost da se ove funkcije proučavaju objektivno i sistematski. Nobelovac Erik Kandel ističe da je u drugoj polovini 20. vijeka centralni fokus biologije bio gen, dok se u 21. vijeku fokus pomijera ka neuronaukama i biologiji uma. Jedan od najvećih izazova u kognitivnoj neuronauci jeste mapiranje viših kognitivnih funkcija na specifične moždane




strukture. Dok su osnovne funkcije poput vida ili sluha jasno povezane s određenim regijama, viši oblici mišljenja i apstrakcije zahtijevaju sofisticirane modele koji uključuju čitave mreže međusobno povezanih oblasti. Pitanje kako je organizovan um postaje pitanje kako su organizovane funkcije mozga, kako prostorno (koje strukture), tako i funkcionalno (na koji način te strukture sarađuju).

Razvoj kognitivnih neuronauka ne može se razumjeti bez uvida u istorijsku evoluciju metoda u psihologiji. Iako su pitanja o prirodi mišljenja, emocija i svijesti postavljana još u antičkoj filozofiji, tek sa razvojem psihologije kao eksperimentalne nauke u XIX veku počinje sistematsko proučavanje uma. Prvi koraci u ovom istraživanju potekli su od holandskog oftalmologa Franciscusa Dondersa,

koji je još 1868. godine koristio mjerenje vremena reakcije da bi proučavao kako ljudi prepoznaju boje. Ovaj pristup otvorio je vrata eksperimentalnom proučavanju uma. Prije nego što je psihologija postala nauka zasnovana na eksperimentima, pitanja o tome kako stičemo znanje i doživljavamo svijet pripadala su filozofiji. Postojala su dva glavna pravca: racionalizam, koji je vjerovao da je razum glavni izvor znanja, i empirizam, koji je tvrdio da svo znanje dolazi iz iskustva i čula. Iz empirizma je nastao asocijacionizam koji zastupa shvatanje da se složene misli grade povezivanjem jednostavnih ideja i senzacija. Tokom 19. i početkom 20. vijeka, istraživači poput Hermanna Ebbinghausa i Edwarda Thorndikea pokazali su da unutrašnje mentalne procese, poput pamćenja i učenja, možemo mjeriti i proučavati objektivno. Thorndike je otkrio da ponašanja koja su nagrađena postaju učestalija, što je postavilo temelje psihologiji ponašanja. Na osnovu ovih ideja nastao je biheviorizam, pravac koji je fokus stavio samo na ponašanje koje može da se mjeri, dok je unutrašnje mentalne procese smatrao nepouzdanim za proučavanje. John B. Watson, vodeći biheviorista, vjerovao je da se sve sposobnosti stiču kroz iskustvo i učenje. Međutim, neki poznati mislioci, poput Dekarta i Kanta, već su tada smatrali da ljudi imaju urođene mentalne strukture koje pomažu u obradi informacija. To je ideja koja je kasnije postala osnova moderne kognitivne nauke. Za razliku od dominantnog američkog biheviorizma, istraživači u Kanadi, poput Vajldera Penfilda, kroz direktno proučavanje mozga budnih pacijenata tokom operacija, pokazali su koliko su biologija i organizacija mozga ključni za razumijevanje ljudskog ponašanja. Ovi rani nalazi pripremili su teren za razvoj kognitivnih neuronauka. Penfield je sarađivao sa psihologom iz Škotske, Donaldom Hebbom,

kako bi proučavao efekte operacija i povreda mozga na njegovo funkcionisanje. Hebb je tvrdio da ponašanje ima biološku osnovu i da se psihologija ne može odvojiti od biologije, a takvim svojim stavovima je odstupao od tadašnjih dominantnih mišljenja u psihologiji. Godine 1949. objavio je knjigu *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*, u kojoj je tvrdio da učenje ima biološku osnovu. Poznata fraza u neuronaukama „neuroni koji se zajedno aktiviraju, zajedno se povezuju" (eng. *neurons that fire together, wire together)* potiče iz njegove teorije. On je pokazao da je mozak stalno aktivan i da spoljni nadražaji samo mijenjaju tu aktivnost. Njegova teorija kasnije je poslužila kao osnova za razvoj vještačkih neuronskih mreža. Hebbova britanska studentkinja Brenda Milner nastavila je istraživanja na Penfieldovim pacijentima prije i poslije operacije. Kada su se pacijenti žalili na blagi gubitak pamćenja, Milner je otkrila da postoje različiti sistemi pamćenja i time pružila prve dokaze za tu tvrdnju, a bila je pionirka među ženama u ovoj oblasti. Prekretnica u prevlasti bihejviorizma u SAD dogodila se krajem 1950-ih kada su psiholozi počeli da se bave kognicijom. George Miller, nekadašnji pristalica biheviorizma, promijenio je mišljenje i počeo da zastupa stavove koji ne isključuju unutrašnje fenomene  Njegova knjiga iz 1951. godine *Language and Communication* bila je još u duhu klasičnog bihejviorizma, ali već 1962. objavio je knjigu *Psychology, the Science of Mental Life*, koja je označila prelaz ka proučavanju mentalnih procesa. Tehnike otkrivanja signala razvijene tokom Drugog svetskog rata korišćene su za proučavanje percepcije. Godine 1956, George Miller je objavio čuveni rad „Magični broj sedam, plus ili minus dva", gdje je pokazao ograničenje kratkoročne memorije dokazavši da ljudi mogu zapamtiti oko sedam informacija

odjednom. Time je započeo „kognitivnu revoluciju“ jer je pokazao da se um može proučavati naučno. Iste godine, Miller se upoznao sa teorijama Noama Chomskog, koji je tvrdio da se jezik ne uči samo putem iskustva i asocijacija (kako je vjerovao B. F. Skinner), već da postoje univerzalna, urođena pravila jezika. To je navelo Millera i Chomskog da istražuju psihološke implikacije ovih ideja i osnovali su novu oblast, *kognitivnu psihologiju*. Cilj je bio da se razumije kako mozak stvara svijest. Kasnije, u 1970-im, Patricia Goldman-Rakic je spojila više naučnih oblasti (biohemiju, anatomiju, elektrofiziologiju...) u pokušaju da prouči radnu memoriju. Prva je opisala ulogu prefrontalnog korteksa u pamćenju. Otkrila je da pojedine ćelije pamte specifične informacije (npr. lice, glas), a neka njena otkrića su promijenila razumijevanje mentalnih bolesti. Ovaj hronološki pregled značajnih događaja i imena u psihologiji jasno pokazuju vezu sa onim što danas nazivamo kognitivnom neuronaukom.

Pored psihologije, kognitivne neuronauke se oslanjaju i na istraživanja iz oblasti računarskih nauka. U ranim fazama razvoja digitalnog računarstva, istraživači su počeli razmatrati kako se principi obrade informacija mogu primijeniti na razumijevanje ljudskog mišljenja. Allen Newell i Herbert Simon razvili su Information Processing Language I (IPL I), moćan programski jezik kojim su uspjeli simulirati proces dokazivanja logičkih teorema, jedan od prvih pokušaja da se misaoni procesi modeliraju pomoću računara. U isto vrijeme, jedan od najuticajnijih umova 20. vijeka, John von Neumann, u svojim predavanjima o neuralnoj organizaciji iznio je ideju da bi mozak mogao funkcionisati poput masivnog paralelnog računara, sposoban za istovremenu obradu velikog broja informacija. Godine 1956. održan je i legendarni sastanak na Dartmouth

Collegeu, koji se danas smatra početkom razvoja oblasti vještačke inteligencije. Na njemu su učestvovali Marvin Minsky, Claude Shannon (poznat kao „otac teorije informacija“) i mnogi drugi naučnici. Ova rana istraživanja i susreti stvorili su temelje za kasniji razvoj kognitivnih nauka i neuronauka, usmjeravajući pažnju naučnika ka ideji da se kognitivni procesi mogu razumjeti i proučavati kroz modele obrade informacija.

Od sredine 20. vijeka prve teorijske pretpostavke o funkcionisanju mozga inspirisale su razvoj algoritama u vještačkoj inteligenciji, dok su istovremeno tehnološki napreci u računarstvu pružali nove uvide u prirodu moždanih procesa. Iako savremeni računari mogu nadmašiti ljude u pojedinim visoko specijalizovanim zadacima, ljudski mozak i dalje ostaje nenadmašan u pogledu fleksibilnosti, sposobnosti učenja i energetske efikasnosti. Jedno od centralnih pitanja savremene nauke jeste razumijevanje načina na koji mozak postiže ove sposobnosti i kako ih je moguće vjerodostojno modelovati u vještačkim sistemima. Razvoj ovog interdisciplinarnog polja suočava se s dvije značajne prepreke:

(1) *Fragmentacija alata i istraživačkih zajednica*, jer se modeli iz neuronauke i vještačke inteligencije često razvijaju u odvojenim softverskim okruženjima (npr. NEURON, PyTorch), što otežava međusobnu razmjenu metoda i rezultata;

(2) *Tehnička složenost*, budući da sve kompleksniji modeli zahtijevaju specijalizovane optimizacije kako bi se mogli efikasno izvršavati. Prevazilaženje ovih prepreka od presudnog je značaja za nesmetan protok ideja, metoda i modela između neuronauke i vještačke inteligencije.

Upravo na ovom spoju javlja se kognitivno modelira-

nje kao ključni metodološki okvir. Prema Schamlhoferu i Wetteru (1988), ono podrazumijeva izradu kompjuterski implementiranih modela koji odražavaju osnovne aspekte znanja i obrade informacija. Postoje dva dominantna pristupa:

a) Korišćenje postojećih modela vještačke inteligencije radi ispitivanja u kojoj mjeri se ljudska i mašinska obrada informacija podudaraju, što omogućava poređenje i testiranje sličnosti procesa.

b) Deskriptivno modeliranje kognitivnih procesa koje se zasniva na empirijskim podacima o psihološkim fenomenima, kao što su pamćenje, pažnja i prepoznavanje, s ciljem izgradnje modela koji vjerno odražavaju funkcionisanje ljudskog uma.

Kako ističe Strohner (2013), razvoj kognitivnog modela obuhvata četiri osnovna zadatka:

1. Definisanje cilja – precizno određivanje svrhe modela i njegovih aplikacija, bilo radi generisanja novih hipoteza, bilo radi provjere postojećih.
2. Konceptualizacija – formulacija teorijskih ideja u skladu s empirijskim nalazima i eksperimentalnim podacima.
3. Formalizacija – prevođenje teorijskih iskaza u formalni jezik (matematičke izraze, algoritme) pogodan za implementaciju.
4. Implementacija – izrada i testiranje računarskog modela te njegovo prilagođavanje na osnovu poređenja sa stvarnim podacima.

Kognitivne neuronauke upravo kroz integraciju ovih metodoloških pristupa nastoje povezati biološke principe obrade informacija sa algoritamskim rješenjima, stvarajući tako dvostruku dobit: unapređenje razumijevanja mozga i razvoj naprednijih vještačkih sistema.

Na kraju možemo reći da kognitivne neuronauke nude revolucionarni pristup razumijevanju ljudskog uma i ponašanja. One usmjerava pažnju na mozak kao centralni organ odgovoran za cjelokupno ljudsko iskustvo. Učenje, sjećanje, emocije, govor, kreativnost... sve te funkcije više nisu mistični fenomeni, već procesi koji se mogu analizirati, kvantifikovati i, u budućnosti, možda čak i unaprijediti. Ipak, razumijevanje koje danas posjedujemo rezultat je dugotrajnog i složenog razvoja ideja i metoda. Da bismo u potpunosti shvatili savremeni pristup, potrebno je vratiti se korijenima, periodima kada su pitanja o prirodi uma pripadala prvenstveno filozofiji, a istraživanje mozga tek započinjalo svoj naučni put.

Naredno poglavlje donosi pregled te evolucije razumijevanja mozga od antičkih filozofskih postavki do današnjih naučnih dostignuća.

Bennett, M., & Hacker, P. (2003). *Philosophical Foundations of Neuroscience.* Wiley.

Bock, M. (1997). Emotion und semantisches Gedächtnis. In A. Gather, & H. Werner, *Semiotische Prozesse und natürliche Sprache. Festschrift für Udo L. Figge zum 60. Geburtstag* (S. 75-87). Stuttgart: Franz Steiner.

Brandt-Rauf, P., & Brandt-Rauf, S. (1987). History of occupational medicine: relevance of Imhotep and the Edwin Smith papyrus. *British Journal of Industrial Medicine 44*, 68-70.

Habermas, J. (2004). Freiheit und Determinismus. *Deutsche Zeitschrift für Philosophie 6*, 871-890.

Hesse, F., & Hänze, M. (1993). Emotional influences on semantic priming. *Cognition and Emotion 7(2)*, 195-205.

Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2019). *Cognitive neuroscience: The biology of the mind (5th ed.).* W. W. Norton & Company.

Gleeson, P., Crook, S., Turner, D., Mantel, K., Raunak, M., Willke, T., & Cohen, J. D. (2023). Integrating model development across computational neuroscience, cognitive science, and

machine learning. *Neuron*, 111(10), 1526–1530. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2023.03.037

Jäncke, L. (2024). *Lehrbuch Kognitive Neurowissenschaft (4. izdanje).* Bern: Hogrefe.

Jurić, A. (2019). Čemu nas neuronauka ne može naučiti o umu? *Čemu: Časopis studenata filozofije 15(26)*, 140-153.

Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (1996). *Neurowissenschaften. Eine Einführung.* Heidelberg/Berlin: Spektrum.

Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A., & Hudspeth, A. (2013). *Principles of Neural Science, Fifth Edition.* New York: McGraw Hill Professional.

Keil, G. (2018). *Willensfreiheit und Determinismus (2. izdanje).* Ditzingen: Reclam.

Marinković, D. (2018). *Biološke osnove kognitivnih funkcija*. Beograd: Fakultet za specijalnu edukaciju i rahabilitaciju.

Mausfeld, R. (2010). Psychologie, Biologie, kognitive Neurowissenschaften. Zur gegenwärtigen Dominanz neuroreduktionistischer Positionen und zu ihren stillschweigenden Grundannahmen. *Psychologische Rundschau 61 (4)*, S. 180-190.

Monyer, H., Rösler, F., Roth, G., Scheich, H., Singer, W., Elger, C. E., . . . Menzel, R. (2004). Das Manifest. Elf führende Neurowissenschaftler über Gegenwart und Zukunft der Hirnforschung. *Gehirn&Geist 6(4)*, 30-37.

Oatley, K., & Johnson-Laird, P. (1987). Towards a Cognitive Theory of Emotions. *Cognition and Emotion 1*, 29-50.

Postle, B. R. (2015). *Essentials of Cognitive Neuroscience.* Chichester: Wiley-Blackwell.

Rösler, F. (2011). *Psychophysiologie der Kognition: Eine Einführung in die Kognitive Neurowissenschaft.* Heidelberg: Spektrum.

Rüegg, J. C. (2011). *Gehirn, Psyche und Körper: Neurobiologie von Psychosomatik und Psychotherapie.* Stuttgart: Schattauer.

Schmalhofer, F., & Wetter Thomas. (1988). Kognitive Modellierung: Menschliche Wissensrepräsentationen und Verarbeitungsstrategien. In T. Christaller, H.-W. Hein, & M. M. Richter, *Künstliche Intelligenz. Theoretische Grundlagen und Anwendungsfelder Frühjahrsschulen, Dassel, 8.–16. März 1985 und 8.–16.März 1986* (S. 245-291). Berlin: Springer.

Schwarz-Friesel, M. (2008). Sprache, Kognition und Emotion: Neue Wege in der Kognitionswissenschaft. In H. Kämper, & L. M. Eichinger, *Sprache - Kognition - Kultur* (S. 277-301). Berlin: de Gruyter.

Strohner, H. (2013). *Kognitive Systeme: Eine Einführung in die Kognitionswissenschaft.* Bielfeld: Springer.

Wallach, D. (2013). *Komplexe Regelungsprozesse. Eine kognitionswissenschaftliche Analyse.* Wiesbaden: Springer.

Wengemuth, E. (2023). *Neurowissenschaften in der Kritik: Positionierungen im ökonomisierten Wissenschaftssystem.* Marburg: Transcript.

Wolfgang, H. (2012). Zur Entwicklung der kognitiven Neurowissenschaften. In H.-O. Karnath, & P. Thier, *Kognitive Neurowissenschaft (3. izdanje)* (S. 1-8). Berlin: Springer.

## Evolucija razumijevanja mozga: Od filozofije do savremenog doba

Razumijevanje ljudskog mozga kroz istoriju je prošlo dug i složen put, od apstraktnih filozofskih rasprava do preciznih naučnih otkrića. U antičkim vremenima, mozak je bio često zanemarivan u korist srca kao centra mišljenja i osjećanja. Filozofi poput Platona i Aristotela oblikovali su rane teorije o svijesti, umu i duši, dok su kasniji mislioci, poput Descartesa, pokušali povezati duh i tijelo kroz racionalna promišljanja. Tek s razvojem medicine, biologije i tehnologije u modernom dobu počinje istinsko naučno istraživanje mozga, koje omogućava dublji uvid u njegovu strukturu i funkcije. Ovo poglavlje prati ključne etape tog razvoja, opisujući kako su se ideje mijenjale i nadograđivale, vodeći nas ka današnjem razumijevanju ovog izuzetno složenog organa.

Zamislimo svijet u kojem se ljudsko ponašanje i bolesti tumače voljom bogova, i srce, a ne mozak, smatra se centrom razuma, osjećanja i života. Takva vjerovanja dominirala su u staroj epohi antičke Grčke (800–500. godine prije nove ere), gdje se ljudska sudbina doživljavala kao nešto što je u rukama viših sila. U tom periodu, mitologija i religija prožimale su sve aspekte života, uključujući i zdravlje. Bolest nije bila rezultat fizičkog uzroka, već znak božanskog nezadovoljstva. Primjer za to nalazimo u Homerovim epovima, „Ilijadi“ i „Odiseji“, gdje bog Apolon šalje kugu kao kaznu Grcima, ali isto tako ima moć da bolest ukloni. Mentalna stanja, poput tuge ili ludila, također su pripisivana bogovima. Boginja Atena je izazivala Odisejeve unutrašnje borbe, testirajući njegov um i osjećaje. U takvom okruženju, uloga ljekara bila je ograničena, oni su mogli nuditi pomoć, ali se vjerovalo da ishod bolesti ipak zavisi od volje bogova. Simboličan primjer ove neraskidive veze između liječenja i magije jeste lik čarobnice Kirke, koja je koristila  napitke, magiju i znanje da bi liječila ili nanosila patnju. Ljekarstvo tog doba bilo je mješavina rituala, magijskih formula i vjerovanja, a ne racionalnog

promišljanja o uzrocima i mehanizmima bolesti. Tek s dolaskom zlatnog doba grčke civilizacije, između 500. i 300. godine p.n.e, dolazi do značajne promjene. U ovom periodu se razvija demokratsko društveno uređenje, što sa sobom donosi i šire promjene u načinu mišljenja, uključujući i pristup zdravlju i tijelu. Najveći korak napravio je Hipokrat iz Kosa (460–370. p.n.e.), koji se s pravom smatra ocem medicine. On je bio prvi koji je jasno izrazio ideju da mozak, a ne srce, predstavlja središte razuma, osjećanja i volje. Njegove riječi to jasno potvrđuju:

„*Stoga su srce i dijafragma posebno osjetljivi, međutim, oni nemaju nikakve veze s operacijama razuma, već je od svih ovih stvari mozak uzrok.*"

Hipokrat i njegovi sljedbenici odbacili su religijsko tumačenje bolesti. Umjesto toga, zagovarali su da bolesti imaju prirodne uzroke, koji se mogu razumjeti i liječiti kroz promatranje, iskustvo i racionalnu analizu. Ovakav pristup predstavljao je korak ka modernoj medicini. Još jedan važan korak napravljen je kroz posmatranje efekata povreda mozga. Hipokrat je primijetio da povrede na lijevoj strani glave mogu izazvati paralizu desne strane tijela i obrnuto. Ovo je bio prvi uvid u funkcionalnu podjelu mozga i ulogu moždanih hemisfera, iako to tada još nije bilo potpuno jasno objašnjeno.

U tom duhu, Alkmeon iz Krotona, filozof i ljekar iz 5. vijeka p.n.e, jedan je od prvih koji je pokušao objasniti da različiti dijelovi mozga imaju različite funkcije. On je tvrdio da „postoje dva mozga u glavi: jedan koji omogućava razumijevanje, i drugi koji pruža čulnu percepciju."

Iako danas znamo da hemisfere mozga nisu u potpunosti podijeljene na „čulnu" i „razumsku", ovaj pokušaj povezivanja strukture mozga s funkcijama bio je revolucionaran. Međutim, vrijedno je napomenuti da ni tada nije

bilo opšteprihvaćeno da je mozak centar svega, mnogi su i dalje smatrali srce središtem uma.

Hipokratova učenja donijela su i novo tumačenje određenih poremećaja. Umjesto demonskog opsjedanja, kao što se ranije vjerovalo, epilepsija se po prvi put opisuje kao bolest mozga, izazvana fiziološkim uzrocima, poput blokada krvnih sudova. Najpoznatija Hipokratova izjava o mozgu dolazi iz njegovog djela „O svetoj bolesti", gdje piše: „Iz ničega drugog osim iz mozga dolaze radosti, užici, smijeh i zabava, i tuga, žalosti, obeshrabrenost i tužna jaukanja…" Ova rečenica izražava duboko razumijevanje da mozak upravlja ne samo fizičkim funkcijama, već i našim doživljajem svijeta, osjećanjima, pa čak i ličnim identitetom.

U helenističkom dobu, koje nastupa nakon Aleksandra Velikog (od 323. p.n.e. nadalje), nauka doživljava procvat, naročito u medicinskom centru Aleksandrije. Promjena u filozofskom gledanju na tijelo (ideja da je tijelo prolazno, dok je duša besmrtna) omogućila je seciranje ljudskih tijela, što je do tada bilo strogo zabranjeno. U tom kontekstu djeluje Herofil iz Kalcedona (335–280. p.n.e.), koji se danas smatra ocem ljudske anatomije. On je bio prvi koji je detaljno proučavao mozak mrtvih ljudi, razlikovao veliki i mali mozak, opisao komore mozga i identifikovao razliku između nervnih vlakana i krvnih sudova. Bio je među prvima koji je tvrdio da je mozak centar razmišljanja, što se suprotstavljalo tadašnjim autoritetima poput Aristotela, koji je smatrao da je srce središte uma, a da mozak služi za hlađenje krvi. Nažalost, većina Herofilovih spisa nije sačuvana, ali su njegova otkrića zabilježena u djelima kasnijih ljekara, posebno Galena, koji je vijekovima kasnije koristio njegova zapažanja kao osnovu za dalja istraživanja.

Još jedan značajan mislilac tog perioda bio je Erazistrat

(304–250. p.n.e.), koji je proučavao cerebelum (mali mozak) i njegove razlike kod ljudi i životinja. Uočio je da ljudi imaju mnogo više nabora na kori mozga, što je povezao sa većim intelektualnim kapacitetom. Iako su njegova zapažanja bila precizna, ona su još uvijek bila hipotetička, jer medicina tog vremena nije imala eksperimentalne metode koje su kasnije omogućile pravu naučnu potvrdu.

Možda se danas pitamo, ako su još u 4. vijeku p.n.e. postojala tako napredna razmišljanja o mozgu, zašto se medicina nije brže razvijala? Odgovor leži u prirodi tadašnjih otkrića. Većina njih je bila intuicija, analogija, promišljanje, a ne rezultat naučnih eksperimenata u kontrolisanim uslovima. Pored toga, autoriteti poput Aristotela, koji su vjerovali da je srce središte duše i misli, imali su ogroman uticaj. Njegove ideje dominirale su vijekovima, čak i kada su bile u suprotnosti s onim što je bilo empirijski uočeno. Uprkos svemu, doprinos antičkih mislilaca postavio je temelje za kasnije razumijevanje mozga. Njihove ideje, iako često nedokazane, bile su podsticaj za kasnija naučna razumijevanja čovjeka kao biološkog, psihološkog i duhovnog bića.

Nakon što su Hipokrat i njegovi sljedbenici otvorili vrata racionalnom pristupu razumijevanja tijela i uma, činilo se da je nauka o mozgu pronašla svoj pravac. Međutim, Aristotel (384–322. p.n.e.), jedan od najvećih filozofa antičkog svijeta, krenuo je drugim putem. Za razliku od Platonovih učenika, koji su nastavili tradiciju Hipokratove škole, Aristotel je bio empiričar, oslanjao se na ono što se može osjetiti, vidjeti i doživjeti kroz direktno iskustvo. Njegova saznanja najviše su dolazila iz seciranja životinja, budući da ljudsko tijelo tada nije smjelo biti predmet naučnih istraživanja. U tim promatranjima, srce mu je djelovalo kao središte života. Ono je toplo, aktivno i cen-

tralno smješteno u tijelu, te sadrži krv, osnovni fluid života. Nasuprot tome, mozak je izgledao hladan, beživotan i statičan. Zbog toga je smatrao da je srce, a ne mozak, centar razmišljanja, emocija i pokreta, dok je ulogu mozga vidio kao pomoćnu, organ koji služi za rashlađivanje krvi i regulaciju tjelesne temperature. Njegova teorija bila je logična iz ugla tadašnje fiziologije: toplo srce podstiče aktivnost, dok hladan mozak hladi tijelo, kao neka vrsta prirodnog termostata. Ipak, Aristotel nije u potpunosti zanemario značaj mozga. U svojim djelima, naročito u traktatu „O duši", navodi:

> „*Svi organi imaju svoju funkciju, a mozak je organ za percepciju. Percepcija je aktivnost duše koja se ostvaruje kroz tijelo, a mozak je organ kroz koji se ostvaruje??*."

Ovi citati pokazuju da je Aristotel, iako je srce smatrao primarnim, ipak priznavao mozak kao važan organ za percepciju. Njegov pogled na mozak, premda danas prevaziđen, ne treba posmatrati kao negaciju važnosti tog organa, već kao odraz tadašnjeg znanja i ograničenja u naučnim metodama. Ono što je sigurno, Aristotelove ideje, posebno zbog njegovog ogromnog autoriteta, nastavile su da oblikuju medicinsko mišljenje još vijekovima kasnije.

U vremenu kad je Aristotelove ideje još uvijek podržavao značajan broj učenjaka, pojavljuje se Galen čija medicina predstavlja prekretnicu u shvatanju mozga. Klaudije Galen (oko 130–200. n.e.), rođen u Pergamu, bio je ljekar u službi rimskih gladijatora, što mu je omogućilo da iz prve ruke posmatra posljedice povreda glave i kičme na ponašanje i funkcije tijela. Iako zakon nije dozvoljavao seciranje ljudskih tijela, Galen je marljivo secirao životinje (posebno majmune i svinje) i na osnovu tih zapažanja izgradio složenu i uticajnu medicinsku teoriju. Za razliku od Aristotela, Galen je smatrao da se funkcija organa

može naslutiti iz njegove strukture. Jedno od njegovih najvažnijih otkrića bilo je da je veliki mozak mekan, dok je mali mozak tvrd. Na osnovu toga zaključuje - *Mekan mozak prima senzacije i skladišti ih u pamćenju, dok tvrd mali mozak upravlja pokretima*. Iako pojednostavljeno, ovo zapažanje je zapanjujuće blizu istini: veliki mozak je,

Zanimljivo je da i danas, uprkos savremenim saznanjima o mozgu, u svakodnevnom jeziku koristimo izraze poput „slomljeno srce“, „srcem osjećam“ ili „govori iz srca“. Ove fraze su nasljeđe duboko ukorijenjenog vjerovanja naših predaka u to da je srce, a ne mozak, sjedište emocija i duševnosti.

zaista, centar za osjete, percepciju i pamćenje, dok mali mozak ima ključnu ulogu u kontroli kretanja i koordinaciji. Galen je otkrio i šupljine unutar mozga, ventrikule, koje su bile ispunjene tečnošću. On je ovu tečnost povezao s idejom „vitalnih sokova“ ili četiri humora (krvi, flegme, žute i crne žuči) koje je prvobitno opisao Hipokrat. Galen je smatrao da ravnoteža ovih tečnosti reguliše zdravlje, a njihova neravnoteža izaziva bolesti. Njegova djela, poput „O prirodi čovjeka“ i „O bolestima“, razrađuju ovu teoriju i nude terapije za obnavljanje te ravnoteže.

U djelu „O korisnosti dijelova tijela“, Galen ide i korak dalje, jer direktno osporava Aristotelovu teoriju o srcu kao centru misli. Ističe da „za rashlađivanje krvi nije potrebna složena struktura poput mozga, običan sunđer bio bi dovoljan. A mozak, kada se dodirne, nije hladan.“ Njegov najjači argument bio je anatomski: nervi koji kontrolišu čula i pokrete vode do mozga, a ne do srca. Osim toga, otkrio je da nervi iz mozga upravljaju glasom, što je povezano sa sposobnošću govora i mišljenja, a to je još jedan dokaz da je mozak, a ne srce, središte uma. Galenovi eksperimenti su često bili jednostavni, ali genijalno izvedeni. Pratio je nervne putanje, bilježio posljedice povreda moz-

ga, i zaključivao na osnovu toga kako tijelo funkcioniše. Njegova saznanja bila su primjenjiva i korisna u medicinskoj praksi, što ga je učinilo najuticajnijim ljekarom Rimskog carstva, a njegova djela ostala su osnov medicinske nauke više od hiljadu godina, sve do renesanse.

Nakon smrti Galena, njegov sistem znanja o mozgu i tijelu postaje neprikosnovena osnova u medicini. Galenova učenja postaju dogma, a prostor za nova istraživanja gotovo da nestaje. Počinje duga era stagnacije u razvoju neuroznanja, poznata i kao mračni vijekovi, koji su trajali od 3. pa sve do 13. vijeka. U ovom periodu, duhovni život i religijska simbolika su preovladavali nad naučnim istraživanjima. Crkva je postala centralna institucija obrazovanja i čuvar "istine", a ljudsko tijelo se sve više posmatralo kao božanski dar koji ne treba oskrnaviti. Zbog toga je seciranje tijela bilo zabranjeno, a eksperimentisanje gotovo da nije ni postojalo. Ipak, i u ovom dobu je došlo do određenih pomaka. Između 4. i 5. vijeka, hrišćanski učenjaci su počeli razvijati novu sliku mozga, ne više kao centar fizičkog funkcionisanja, već kao duhovni prostor. Ventrikule mozga, šupljine koje su ranije smatrane rezervoarima tečnosti, sada su se tumačile kao prebivališta duše i razuma. Moždana supstanca je bila potisnuta u drugi plan. U toj slici, svaka šupljina je dobila svoju funkciju, jedna za maštu, druga za razum, treća za pamćenje. Ova tzv. ventrikularna teorija bila je duboko ukorijenjena u srednjovjekovnu teologiju i filozofiju, i opstala je duže od milenijuma, sve do dolaska nove epohe, renesanse.

Sa dolaskom renesanse, Evropa se počinje oslobađati okova dogmi. Ponovo se budi interesovanje za realno, fizičko tijelo ne samo kao božansko čudo, već i kao objekt naučnog istraživanja. Jedna od ključnih ličnosti tog vremena bio je Andreas Vesalius (1514–1564), flamanski ana-

tom i ljekar. Njegovo remek-djelo „De humani corporis fabrica“ („O radu ljudskog tijela“) iz 1543. godine postaje revolucija u medicinskoj literaturi. Po prvi put, ljudski mozak je detaljno predstavljen kroz 25 preciznih ilustracija, prikazanih iz različitih uglova i slojeva. Vesalius ne samo da opisuje anatomiju, već ukazuje i na medicinske poremećaje. Tako u svom djelu bilježi vjerovatno prvi tačan opis hidrocefalusa, stanja prekomjernog nakupljanja tečnosti u mozgu. Njegov rad je, ujedno, bio i napad na Galenove autoritete, jer je pokazivao razlike između ljudske i životinjske anatomije koje su Galen i njegovi sljedbenici zanemarivali. Vesaliusov savremenik Paracelsus, borio se da zamijeni dotadašnju humoralnu teoriju (teoriju četiri tjelesne tečnosti) novom disciplinom, medicinskom hemijom, otvarajući vrata modernoj biohemiji.

Dalji tok razvoja se vezuje za sedamnaesti vijek, kada se pod uticajem tehnoloških otkrića (poput hidrauličkih mašina), pojavljuje novi model razmišljanja – mehaničko shvatanje mozga. Jedan od najpoznatijih mislilaca tog doba, Rene Dekart (1596–1650), predlaže da mozak funkcioniše kao sistem cijevi i pumpi, kroz koje se kreće „životna tečnost“ iz ventrikula, izazivajući pokrete tijela. Međutim, Dekart ide i dalje, pa tvrdi da, iako se životinjski pokreti mogu objasniti mehanički, ljudsko ponašanje ne može. Ljudski um i intelekt, prema Dekartu, nisu smješteni u mozgu, već izvan njega. On uvodi koncept dualizma: tijelo (materijalno) i um (duhovno) su dva različita entiteta, a povezuju se kroz jednu jedinu tačku, epifizu (pinealnu žlijezdu). Iako danas znamo da se mnoge Dekartove ideje ne mogu potvrditi, njegova teorija je imala ogroman uticaj na filozofiju svijesti i i dalje se koristi kao temelj u mnogim raspravama o odnosu tijela i uma.

U 18. vijeku, naučnici se okreću istraživanju moždane

supstance, a ne samo šupljina. Otkrivaju postojanje sive i bijele mase. Bijela masa, koja se povezuje sa živcima, postaje osnova za razumijevanje prenosa informacija kroz nervni sistem. Prava revolucija dolazi sa elektricitetom. Benjamin Franklin 1751. godine objavljuje rad o električnim fenomenima, a ubrzo nakon toga Luigi Galvani i Emil du Bois-Reymond pokazuju da električni impulsi mogu izazvati pokret mišića. Ideja da živci prenose informacije pomoću tečnosti konačno pada. Nervi su sada shvaćeni kao „žice" koje prenose električne signale. Ali da li iste nervne žice upravljaju i pokretima i osjetima? Odgovor na ovo pitanje donose Charles Bell i François Magendie oko 1810. godine. Eksperimentišući na životinjama, otkrili su da se nervi dijele na dvije grane:

- Ventralni (prednji) korijeni - kontrolišu pokret,
- Dorzalni (zadnji) korijeni - prenose osjete.

Ova saznanja su temelj današnje neurofiziologije. Bell i Magendie su pokazali da je nervni prenos jednosmjeran: jedan smjer za informacije iz čula, a drugi za komande prema mišićima. Time su postavili osnovu za razumijevanje refleksa, motorike i senzorne percepcije.

Krajem 18. i početkom 19. vijeka, kada su naučnici već dokazali da nervi prenose signale jednosmjerno i da su povezani sa preciznim ulazima i izlazima iz kičmene moždine, pojavilo se novo, logično pitanje: ako su senzacije i pokreti razdvojeni već u kičmenim korijenima, da li je moguće da i u mozgu postoje odvojeni centri za različite funkcije? Upravo ta ideja o lokalizaciji funkcija u mozgu, (da se specifične sposobnosti poput govora, vida, pokreta ili razmišljanja ne odvijaju ravnomjerno u cijelom mozgu, već su vezane za određene regije) postala je jedna od centralnih tema u razvoju moderne neurologije. Tokom 19. vijeka, uz pomoć eksperimentalnih metoda, analiza

slučajeva moždanih lezija, ali i kroz neke manje naučno utemeljene ideje, istraživači su počeli mapirati mozak, pokušavajući da precizno odrede gdje je smješten govor, razumijevanje, voljni pokreti i druge sposobnosti. Godine 1811., Charles Bell je pretpostavio da motorna vlakna potiču iz malog mozga, a da senzorna završavaju u velikom mozgu. Da bi testirao ovu hipotezu, on i drugi istraživači koristili su eksperimentalnu metodu poznatu kao ablacija, koja predstavlja sistematsko uništavanje dijelova mozga životinja kako bi se utvrdilo koja funkcija nedostaje. Ova metoda, premda gruba, donijela je prve pouzdane uvide u funkcionalnu podjelu mozga. Francuski fiziolog Marie-Jean-Pierre Flourens koristio je ovu metodu na životinjama, posebno na pticama. Ova istraživanja pružila su eksperimentalne dokaze koji su podržavali ranije teorije Galena i Bella, ali su takođe dovela i do pretjerane generalizacije. Flourens je tvrdio da svi dijelovi velikog mozga ravnopravno učestvuju u svim funkcijama, što se kasnije pokazalo netačnim.

U istom periodu pojavila se i frenologija, popularna ali pseudonaučna teorija koju je razvio Franz Joseph Gall. On je tvrdio da se mentalne sposobnosti i osobine ličnosti mogu očitati iz oblika i izbočina na lobanji, vjerujući da one odražavaju oblik mozga. Gall i njegovi sljedbenici pažljivo su mjerili lobanje stotina ljudi, povezujući određene osobine poput velikodušnosti, lukavosti ili agresivnosti s određenim dijelovima glave. Ova teorija nikada nije ozbiljno prihvaćena od strane naučne zajednice, ali je bila izuzetno popularna među širom publikom, a knjige o ovoj pseudonauci su se prodavale u desetinama hiljada primjeraka. Flourens je bio jedan od njenih najoštrijih kritičara. On je eksperimentalno dokazivao da nema korelacije između oblika lobanje i mentalnih funkcija, i da frenološke

mape mozga ne odražavaju stvarnu neuroanatomiju. Ipak, i on je pogriješio negirajući mogućnost funkcionalne lokalizacije u velikom mozgu.

Naučna potvrda ideje lokalizacije stigla je kroz rad francuskog neurologa Paula Broce, koji je 1861. godine analizirao mozak pacijenta poznatog pod imenom „Tan", čovjeka koji je mogao razumjeti govor, ali nije mogao govoriti. Obdukcijom je otkrivena lezija u lijevom frontalnom režnju. Na osnovu ovog i sličnih slučajeva, Broca je zaključio da se proizvodnja govora lokalizuje u specifičnom dijelu mozga, koji je kasnije po njemu nazvan Brocina zona. Nekoliko godina kasnije, njemački neurolog Carl Wernicke otkrio je drugo važno područje, regiju u temporalnom režnju, zaduženu za razumijevanje govora, poznatu kao Wernickeova oblast. Otkrića Broce i Wernickea postavila su temelje za kasnija istraživanja jezika, neuropsihologije i afazije, i potvrdila da mozak funkcioniše kao kompleksna mreža specijalizovanih regija. Dalje potvrde lokalizacije došle su i iz eksperimenata na životinjama. David Ferrier, škotski neurolog, je uklanjanjem različitih dijelova mozga kod majmuna pokazao da specifične regije kontrolišu pokrete određenih dijelova tijela. Njegovi eksperimenti iz 1881. godine su nepobitno pokazali motorne i senzorne zone u kori velikog mozga, što je omogućilo preciznije mapiranje funkcija mozga. Hermann Munk, njemački fiziolog, koristio je slične metode kako bi pokazao da se vid lokalizuje u okcipitalnom režnju, čime je dodatno osnažio koncept da različite moždane regije imaju specifične funkcije.

Posebno značajnu ulogu u ovom periodu imao je Jean-Martin Charcot, francuski neurolog i profesor na Salpetrière klinici u Parizu. Charcot je među prvima jasno definisao neurologiju kao posebnu granu medicine i sis-

tematizovao veliki broj neuroloških poremećaja. Detaljno je proučavao bolesti poput Parkinsonove bolesti, multiple skleroze i ALS-a, te postavio dijagnostičke kriterijume koji su se zadržali do danas. Jedan od njegovih najznačajnijih doprinosa bilo je istraživanje histerije, poremećaja koji se ranije smatrao isključivo psihološkim. Charcot je tvrdio da histerični simptomi imaju neurološku osnovu, a pri liječenju je koristio hipnozu kao terapijski alat. Ovaj pristup inspirisao je mladog Sigmunda Freuda, koji je bio njegov učenik i kasnije razvio psihoanalizu. Charcotov rad je uspostavio most između fizičkih promjena u mozgu i ponašajnih simptoma, čime je postavio temelje ne samo za neurologiju, već i za modernu psihijatriju i kliničku psihologiju.

Kraj devetnaestog i početak dvadesetog vijeka obilježila su značajna otkrića koja su značajno obogatila naučna otkrića o funkcionisanju mozga. Godine 1873. italijanski naučnik Camillo Golgi napravio je važan iskorak u istraživanju mozga. Razvio je posebnu tehniku bojenja nervnog tkiva koja je omogućila da se nervne ćelije (neuroni) jasno vide pod mikroskopom. Njegova metoda, poznata kao „crna reakcija" (reakcija Golgi), učinila je neurone tamnima, gotovo crnima, na svijetloj pozadini, čime je omogućena mnogo preciznija vizualizacija nego ikad ranije. Golgi je koristio ovu tehniku kako bi detaljno proučavao nervni sistem, posebno ćelije malog mozga i mirisnog centra (olfaktorne lukovice). Uočio je da postoje dvije osnovne vrste nervnih ćelija, one koje imaju dugačke „izlazne" nastavke, poznate kao aksoni, i one sa kratkim aksonima koji formiraju složene, razgranate strukture. Te ćelije su kasnije nazvane po njemu: Golgi tip I i Golgi tip II. Iako mu je nova metoda otkrila mnogo o strukturi nervnih ćelija, Golgi nije mogao da vidi kako se one tač-

no međusobno povezuju pa je, kao i većina naučnika tog doba, vjerovao da se nervni nastavci fizički spajaju u jednu veliku mrežu. Onda se na sceni pojavio Santiago Ramón y Cajal, španski naučnik koji će zauvijek promijeniti naše razumijevanje mozga. Rođen 1852. godine, Cajal je koristio Golgijevu metodu, ali ju je dodatno usavršio. Proučavao je nervne ćelije ptica, posebno mali mozak, i došao do iznenađujućeg zaključka: nervne ćelije se ne spajaju direktno. Umjesto toga, izgledalo je da svaka ćelija funkcioniše kao samostalna jedinica, samo se približavajući drugim ćelijama, ali ne i stapajući se s njima. Ovo otkriće bilo je revolucionarno. Cajal nije našao nikakav dokaz za postojanje "nervne mreže" kakvu su ranije zamišljali naučnici poput Golgija. Bez obzira da li je posmatrao mrežnjaču oka, moždanu koru, kičmenu moždinu ili moždano stablo, svuda je dolazio do istog zaključka: nervne ćelije funkcionišu kao odvojeni, ali povezani entiteti. Do 1889. godine Cajal je već čvrsto vjerovao da su nervne ćelije nezavisni elementi, baš kao i sve druge ćelije u tijelu. Njegov rad je toliko impresionirao njemačkog anatoma Wilhelma Waldeyera, da je ovaj napisao niz radova u kojima je podržao Cajalovu ideju i prvi put upotrijebio riječ neuron. Waldeyer je zaključio da je neuron osnovna anatomska i funkcionalna jedinica nervnog sistema. U to vrijeme, međutim, mikroskopi nisu bili dovoljno moćni da bi se stvarno mogla vidjeti veza između dva neurona. Nije bilo elektronskih mikroskopa, pa su naučnici mogli samo nagađati o tome šta se dešava u najsitnijim dijelovima nervnog sistema. Prostor između dva neurona bio je nevidljiv i bez imena sve dok Charles Sherrington nije 1897. godine predložio naziv sinapsa za to nevidljivo, ali ključno mjesto komunikacije među ćelijama. Godine 1906. Golgi i Cajal su zajedno dobili Nobelovu nagradu

za fiziologiju ili medicinu. Iako su se njihova mišljenja o tome kako su nervne ćelije povezane razlikovala, njihovi doprinosi su bili ključni za razumijevanje mozga. Golgi je nagrađen za svoju metodu bojenja i otkrića vezana za anatomiju nervnog sistema, dok je Cajal dobio priznanje za svoju teoriju o neuronima kao nezavisnim jedinicama i za otkrivanje pravca u kojem se nervni impulsi kreću. Tako je, zahvaljujući oštrom oku i neumornoj radoznalosti ovih naučnika, postavljen temelj moderne neuronauke. Između crno obojenih ćelija i nevidljivih sinapsi, otkrivali su ono što danas znamo: da je naš mozak čudesna mreža nezavisnih ćelija koje komuniciraju na nevjerovatno precizan način.

Na prelazu u 20. vijek, Charles Sherrington napravio je još jedan veliki korak u razumijevanju nervnog sistema. On je uveo pojam sinapsa da opiše mjesto gdje se, prema njegovom mišljenju, odvija funkcionalni spoj između dvije nervne ćelije. Iako ni on ni njegovi savremenici nisu mogli da vide ovaj prostor jer tada još nije postojao elektronski mikroskop, Sherrington je sinapsu smatrao fiziološkom konstrukcijom, odnosno stvarnim mjestom prenosa signala. Njegova vlastita istraživanja degeneracije nervnih vlakana i opažanja da se nervni impulsi prenose u jednom smjeru, potvrdila su ideju da između neurona postoji „nevidljivi" spoj. Također, zahvaljujući radu njemačkog fiziologa Hermanna Helmholca, Sherrington je znao da su refleksi mnogo sporiji nego što bi to bilo moguće da se nervni impulsi prenose samo kroz nervna vlakna. To je značilo da postoji dodatni proces ili „izgubljeno vrijeme" u prenošenju signala. Sherrington je detaljno proučavao refleksni luk, a njegov doprinos bio je i uvođenje koncepta integracije u kičmenoj moždini: umjesto da refleksi budu izolovani i samostalni, on je pokazao da su međusobno

povezani i rade zajedno da bi proizveli koordinisane pokrete. Još jedno važno otkriće bilo je da neuroni mogu imati različite efekte na druge neurone: neke mogu pobuditi (ekscitatorno djelovanje), dok druge mogu inhibirati (inhibitorno djelovanje). Ovo je dodatno razjasnilo složenu mrežu komunikacije u mozgu i nervnom sistemu. U isto vrijeme, naučni radovi su se bavili i razvojem nervnog sistema u embrionu. Wilhelm His, njemački anatom, smatra se pionirom u oblasti neuroembriologije, nauke o razvoju nervnog sistema. Između 1879. i 1886. godine, His je detaljno proučavao razvoj nervnih vlakana kod ljudskih embriona. Došao je do zaključka da su nervne ćelije posebni, zasebni morfološki entiteti. Nervno tkivo, po njegovom mišljenju, ima ćelijsku (celularnu) strukturu, isto kao i sva druga tkiva u tijelu. Ovaj zaključak postao je temelj kasnije poznate neuronske teorije da je nervni sistem sačinjen od zasebnih ćelija.

U prvim decenijama 20. vijeka, razmišljanja o tome kako neuroni komuniciraju dodatno su se razvijala. Do tada se smatralo da se električni impulsi neprekidno prenose od jedne ćelije do druge. Međutim, taj koncept je bio doveden u pitanje pojavom teorije o hemijskim supstancama koje se oslobađaju u sinapsama i prenose signal. Jedan od prvih koji je dao značajan doprinos u ovom pravcu bio je Henry Dale. Još 1914. godine objavio je da supstanca pod nazivom acetilholin može imitirati prirodne efekte parasimpatičkog nervnog sistema. Ova hemikalija mogla je usporiti rad srca, povećati lučenje pljuvačke i izazvati kontrakcije u crijevima, a sve ove funkcije kontroliše parasimpatički sistem. Dale je također primijetio da acetilholin ima dvije različite vrste dejstva:

- Jedno slično djelovanju muskarina (supstance iz gljiva)
- Drugo slično efektima nikotina

Ove dvije vrste efekata danas poznajemo kao muskarinska i nikotinska aktivacija acetilholinskih receptora. Ipak, tada Dale nije mogao potvrditi da se acetilholin zaista nalazi u ljudskom tijelu i da li se u njemu brzo razgrađuje. Zahvaljujući Daleovom radu, njemački fiziolog Otto Loewi je 1921. godine izveo čuveni eksperiment koji je pokazao da nervni impulsi mogu biti preneseni hemijski. U svom eksperimentu koristio je dva srca žabe: jedno je stimulisao putem vagusnog nerva (koji usporava rad srca), a drugo nije dirano. Nakon stimulacije, fiziološki rastvor iz prvog srca prelio je na drugo srce. Zapanjujuće, i drugo srce je usporilo otkucaje! Ovim je Loewi dokazao da je neki hemijski posrednik (koji je kasnije identifikovan kao acetilholin) oslobođen iz prvog srca i djelovao na drugo. Ovo otkriće pokazalo je da pored električnih impulsa postoji i hemijski prenos signala u nervnom sistemu, čime je omogućeno objašnjenje i inhibicije u sinapsama, a ne samo ekscitacije. Za svoja otkrića o hemijskom prenosu nervnih impulsa, Henry Dale i Otto Loewi su 1936. godine podijelili Nobelovu nagradu. Njihov rad postavio je temelje za razumijevanje funkcionisanja sinapsi i neurotransmitera, što i danas predstavlja ključni dio neuronauka.

U periodu između 1930. i 1940. godine, Alan Hodgkin i Andrew Huxley napravili su revolucionarna otkrića koja su u potpunosti promijenila naše razumijevanje kako nervni impulsi nastaju i putuju kroz nervne ćelije. Njihov eksperiment bio je poseban zato što su koristili lignju, životinju koja ima izuzetno veliki akson (izlazni nervni nastavak). Zbog njegove veličine, mogli su na njega da spoje elektrode i precizno mjere promjene električnog napona i protok jona unutar ćelije. Znali su da je unutrašnjost ćelije okružena membranom koja djeluje kao električni izolator, sa razlikom u električnom potencijalu između unutrašnje

i spoljašnje strane. Međutim, do tada nije postojao način da se taj potencijal direktno izmjeri. Hodgkin i Huxley su primijetili da akcioni potencijal, tj. nervni impuls nastaje kada pozitivno naelektrisani natrijumovi ($Na^+$) joni ulaze u neuron, a kalijumovi ($K^+$) joni izlaze iz njega. Ove promjene u propustljivosti membrane za jone brzo i precizno mijenjaju električni signal koji se prenosi nervnim vlaknima. Ovo otkriće, poznato kao Hodgkin-Huxley model uticalo je na kasnija neuronaučna saznanja, a autori su za njega dobili Nobelovu nagradu 1963. godine.

Ovaj istorijski pregled nam pokazuje da mnoga pitanja koja danas postavljamo imaju svoje korijene u davnim raspravama i istraživanjima. Nakon ovakvog istorijskog uvoda, sljedeće poglavlje nas vodi direktno u srž teme, u sam mozak. Tamo ćemo istražiti šta čini njegovu strukturu, kako izgleda mreža milijardi neurona i na koji način ova složena organizacija stvara osnovu za naše misli, emocije i ponašanja.

Aristotle. (2004). On the soul (De Anima) (J. A. Smith, Trans.). Harvard University Press. (Original work published ca. 350 B.C.E.)

Bower, J. M., & Beeman, D. (1998). The book of GENESIS: Exploring realistic neural models with the GEneral NEural SImulation System. Springer. https://www.academia.edu/122452166/The_Hodgkin_Huxley_Model

Brown, R. E. (2006). The life and work of Donald Olding Hebb. Acta Neurologica Taiwanica, 15(2), 67-73.

Finger, S. (1999). Minds behind the brain: A history of the pioneers and their discoveries. Oxford University Press.

Galen. (1950). On the nature of man (C. D. O'Malley, Trans.). The Ohio State University Press. (Original work published ca. 175 C.E.)

Galen. (1951). On the causes of diseases (C. D. O'Malley, Trans.). The Ohio State University Press. (Original work published ca. 175 C.E.)

Hebb, D. O. (1949). The organization of behavior: A neuropsycho-

logical theory.
Hinton, G. E., & Anderson, J. A. (Eds.). (1981). Skeleton filters in the brain, in Parallel models of associative memory (pp. 189-212). Lawrence Erlbaum Associates.
Rosenzweig, M. R., Diamond, M. C., & Krech, D. (1964). The effects of an enriched environment on the histology of the rat cerebral cortex. Journal of Comparative Neurology, 123(1), 111-120.
Stefanović, B. (2011). Integrativna neurobiologija: Ćelija, tkivo, neurologija.
Yang, F. (n.d.). Introduction: The origins of neuroscience & neuroscience today. Academia.edu. https://www.academia.edu/40376251/INTRODUCTION_THE_ORIGINS_OF_NEUROSCIENCE_NEUROSCIENCE_TODAY

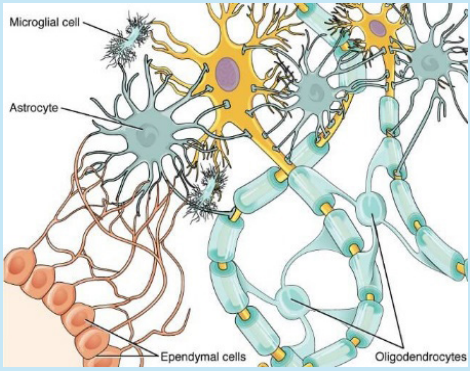
# Mozak: složeni sistem

U fokusu istraživanja kognitivnih neuronauka nalazi se mozak – najvažniji i najsloženiji organ u tijelu, odgovoran za naše misli, osjećanja i ponašanje. Kako razmišljamo, pamtimo i učimo? Zašto se sjećamo nekih stvari, dok druge zaboravljamo? Kako učimo jezik? Kako rješavamo svakodnevne probleme? Ova pitanja pokušavaju da objasne kako naš um obrađuje informacije. Cilj poglavlja je da objasni građu mozga, njegovu kompleksnost, kao i ulogu neurona, sinapsi i različitih regija u svakodnevnom funkcionisanju, ali i izvođenju mentalnih funkcija.

Mozak je centralni dio našeg nervnog sistema i upravlja svim funkcijama tijela, od disanja i kucanja srca, pa do razmišljanja, emocija i donošenja odluka. Sastoji se od oko 86 milijardi nervnih ćelija koje se povezuju kroz sinapse, sitne "spojeve" koji omogućavaju komunikaciju između različitih dijelova mozga. Ova ogromna mreža omogućava da različiti dijelovi mozga rade zajedno i usklađeno. Zahvaljujući tim složenim vezama, mozak može da obradi ogroman broj informacija svakog trenutka. Zato se kaže da je mozak najkompleksniji organ u ljudskom tijelu. On upravlja našim mislima, pokretima, osjećanjima, pamćenjem i mnogim drugim funkcijama koje omogućavaju da svakodnevno živimo i funkcionišemo.

Razumijevanje kako mozak izgleda i kako radi ključno je za istraživanje mnogih bolesti, poput Alchajmerove bolesti, depresije, epilepsije i drugih poremećaja. Takođe, to znanje pomaže u razvoju novih terapija i metoda liječenja. Proučavanjem glavnih dijelova mozga i načina na koji oni međusobno sarađuju, možemo bolje shvatiti i kako mozak pomaže našem tijelu da funkcioniše. Mozak nije „fiksiran" i nepromjenljiv. Naprotiv, on je vrlo prilagodljiv. Ova sposobnost mozga da se mijenja i prilagođava naziva

se *neuroplastičnost*. Na primjer, kada učimo novu vještinu ili se oporavljamo od povrede, mozak može da stvori nove veze među nervnim ćelijama. To znači da imamo potencijal da razvijamo svoje sposobnosti cijelog života. Zahvaljujući ovoj osobini, mozak može da se prilagođava novim uslovima i izazovima, što je ključno za naše kognitivne (mentalne), emocionalne i socijalne vještine.




**Nervni sistem** se sastoji od dvije glavne vrste ćelija: glijalnih ćelija i neurona. U mozgu ima otprilike isto toliko glija ćelija koliko i neurona, a tri glavne vrste u centralnom nervnom sistemu su astrociti, mikroglije i oligodendrociti. Astrociti su velike ćelije koje okružuju neurone i dolaze u kontakt s krvnim sudovima omogućavajući prenos jona. Oni formiraju krvno-moždanu barijeru (BBB), koja štiti mozak ograničavajući ulazak velikih molekula i patogena iz krvi u neuralno tkivo. BBB dozvoljava prolazak malih hidrofobnih molekula poput kiseonika, ugljen-dioksida i hormona, dok sprečava ulazak mnogih lijekova i neurotransmitera, poput dopamina. Novija istraživanja pokazuju da astrociti nisu samo pasivna podrška, već aktivno učestvuju u moždanoj funkciji oslobađanjem neurotransmitera i modulacijom sinapsi. Kada se blokira njihova aktivnost, dolazi do povećanja neuronske aktivnosti, što ukazuje da astrociti imaju ulogu u regulaciji neuronskih signala. Glija ćelije formiraju masnu supstancu poznatu kao mijelin, koji oblaže aksone i omogućava brži prenos informacija. U centralnom nervnom sistemu mijelin stvaraju oligodendrociti, dok u perifernom nervnom sistemu tu funkciju obavljaju Švanove ćelije. Ove ćelije obavijaju membranu oko aksona u koncentričnim slojevima, izbacujući citoplazmu i ostavljajući slojeve lipida koji izoluju akson. Mijelin sprečava gubitak električne struje i povećava brzinu i domet prenosa signala duž neurona. Mikroglija ćelije su male, nepravilnog oblika i funkcionišu kao fagociti koji uklanjaju oštećene ćelije, a mogu se umnožavati čak i u odraslom mozgu.

**Neuroni** imaju osnovne ćelijske komponente kao što su jedro, mitohondrije, endoplazmatični retikulum i citoskelet, koje su smještene u tijelu ćelije (somi). Ove strukture se nalaze u citoplazmi, slanom rastvoru bogatom jonima i proteinima, dok je sam neuron okružen vanćelijskom tečnošću sa sličnim jonima. Neuroni posjeduju posebne strukture koje im omogućavaju brz prenos informacija: dendrite i akson. Dendriti su razgranate strukture koje primaju signale od drugih neurona. Akson je jedan produžetak koji prenosi električne impulse od tijela ćelije ka krajevima zvanim aksonski (terminalni) završetak. Na tim završecima se signal prenosi na druge ćelije putem sinapse, specijalizovanog mjesta za hemijski ili električni prenos. Neki aksoni se granaju u kolaterale, omogućavajući prenos signala na više ciljanih ćelija. Mnogi aksoni su obavijeni mijelinom, masnim slojem koji ubrzava prenos impulsa. Uzduž aksona postoje praznine u mijelinskom omotaču, poznate kao Ranvijerova suženja, koja igraju ključnu ulogu u bržem prenosu signala. Zahvaljujući ovim specifičnim strukturama i fiziološkim osobinama, neuroni su efikasni u prenosu i obradi informacija.

**Neuronska transmisija**

Neuroni primaju, obrađuju i prenose informacije kroz proces koji se naziva neuronska signalizacija. Signal se prima na ulaznim sinapsama, zatim prolazi kroz tijelo neurona i prenosi se aksonom do izlaznih sinapsi, gde se prenosi na druge neurone, mišićne ili žljezdane ćelije, pa čak i na krvne sudove. Unutar neurona, informacije se prenose promjenama u električnom stanju koje nastaju protokom jona kroz membranu, dok se između neurona signal uglavnom prenosi hemijskim putem pomoću neurotransmitera, mada ponekad i električnim putem. Neuron koji šalje signal naziva se presinaptički, a onaj koji ga prima postsinaptički, pri čemu većina neurona ima ulogu obe vrste. Za generisanje signala potrebna je energija u obliku električnog potencijala membrane, što predstavlja razliku u naponu između unutrašnje i spoljašnje strane ćelije. Ta razlika nastaje usljed različitih koncentracija jona, najčešće kalijuma, natrijuma, hlorida, i naelektrisanih proteinskih molekula. U stanju mirovanja, unutrašnjost neurona je negativnije naelektrisana u odnosu na spoljašnjost, a taj napon iznosi oko –70 milivolti i naziva se membranski potencijal u mirovanju (potencijal mirovanja). On predstavlja potencijalnu energiju koju neuron koristi za prenos signala. Membrana neurona je građena od sloja lipida koji odvaja

unutrašnjost ćelije od spoljašnje sredine i time sprečava slobodno kretanje jona, što omogućava održavanje razlika u električnom naboju. U toj membrani se nalaze proteinske strukture (jonski kanali i pumpe) koji omogućavaju jonski prenos. Jonski kanali omogućavaju pasivan prolazak jona niz njihov elektrohemijski gradijent, dok jonske pumpe aktivno transportuju jone uz utrošak energije. Ovi kanali su selektivni i propuštaju samo određene jone, kao što su natrijum ($Na^+$), kalijum ($K^+$), kalcijum ($Ca^{2+}$) i hlorid ($Cl^+$), čime membrana dobija osobinu selektivne propustljivosti. Kod neurona, membrana je najpropustljivija za kalijum jer sadrži najviše kanala za $K^+$, što u velikoj mjeri doprinosi stvaranju potencijala mirovanja. Za razliku od većine drugih ćelija, neuroni su ekscitabilni, što znači da mogu mijenjati svoju membransku propustljivost zahvaljujući specijalizovanim, regulisanim jonskim kanalima. Ovi kanali se otvaraju ili zatvaraju kao odgovor na promjene u membranskom naponu, na prisustvo hemijskih signala ili fizičke draži, omogućavajući preciznu kontrolu nad prenosom informacija unutar nervnog sistema.

Mozak je dio nervnog sistema, a nervni sistem čovjeka možemo podijeliti na dvije glavne cjeline:

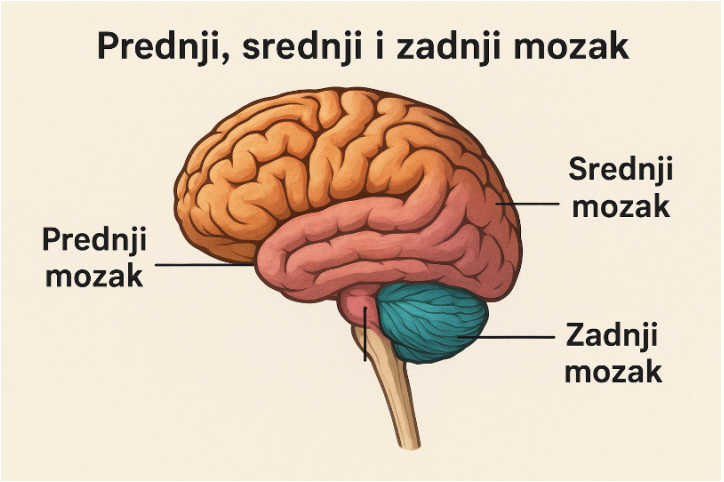
1. *Centralni nervni sistem (CNS)* – čine ga mozak i kičmena moždina.
2. *Periferni nervni sistem (PNS)* – čine ga moždani (kranijalni) i kičmeni (spinalni) nervi, zajedno s malim grupama nervnih ćelija koje se nazivaju ganglije; dijeli se na somatski i autonomni

Zajedno, CNS i PNS čine mrežu koja omogućava prenos informacija kroz cijelo tijelo, od mozga do mišića, unutrašnjih organa i čula.

Mozak se anatomski dijeli na tri glavna dijela: *Prednji mozak* – uključuje moždanu koru i odgovoran je za razmišljanje, pamćenje, učenje, donošenje odluka i osjećanja; *Srednji mozak* – kontroliše pokrete i reflekse; *Zadnji mozak* – reguliše osnovne funkcije poput disanja, rada srca i ravnoteže.

*Prednji mozak* je najveći i funkcionalno najkompleksniji dio. Obuhvata:

- *Veliki mozak (cerebrum)* – odgovoran za svjesno




mišljenje, percepciju, pokretanje voljnih radnji, govor, pamćenje i emocije. Površina velikog mozga (kora mozga ili korteks) ispunjena je vijugama i brazdama koje povećavaju njegovu površinu.

Prema funkcijama i lokaciji, veliki mozak je podijeljen na 4 režnja:
1. **Čeoni režanj (frontalni)** – zadužen za planiranje, logičko razmišljanje i voljne pokrete.
2. **Tjemeni režanj (parijetalni)** – odgovoran za obradu informacija iz čula dodira.
3. **Potiljačni režanj (okcipitalni)** – glavna oblast za obradu vizuelnih informacija.
4. **Sljepoočni režanj (temporalni)** – važno područje za sluh i razumijevanje jezika.

- *Međumozak (diencephalon)* – spaja srednji sa prednjim mozgom. Sastoji se iz dvije simetrične grupe jedara.
- Prednji mozak uključuje nekoliko važnih struktura ispod cerebralne kore. Dvije od njih su talamus i limbički sistem. Talamus djeluje kao relejna stanica za čula u mozgu. Putevi iz svih čula, osim čula mirisa, prolaze kroz talamus. On usmjerava čulne in-

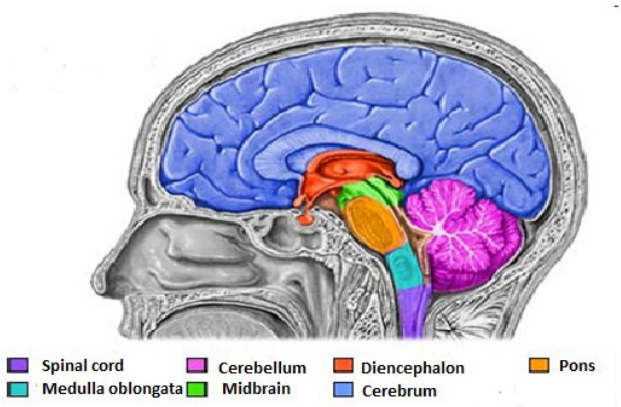
formacije ka odgovarajućim područjima za obradu. Limbički sistem igra ključnu ulogu u emocijama i pamćenju. Za razliku od drugih čula, miris zaobilazi talamus i ide direktno u limbički sistem. Ova direktna veza objašnjava zašto miris može izazvati snažne emocionalne reakcije. Limbički sistem se sastoji od više struktura. Najvažnije među njima su hipokampus, amigdala i hipotalamus. Hipokampus je od suštinskog značaja za učenje i formiranje novih sjećanja. Amigdala nam pomaže da doživimo emocije. Ona takođe povezuje emocije sa našim sećanjima. Hipotalamus upravlja različitim homeostatskim funkcijama. To uključuje tjelesnu temperaturu, glad i krvni pritisak. Pored toga, hipotalamus povezuje nervni sistem sa endokrinim sistemom i utiče na seksualno ponašanje.

*Srednji mozak* je manji, ali važan jer povezuje prednji i zadnji mozak. Njegove funkcije uključuju: kontrolu refleksa vezanih za vid i sluh; učešće u regulaciji pokreta, povezivanje različitih regija mozga kroz moždane puteve.

*Zadnji mozak* obuhvata nekoliko ključnih struktura:

- *Mali mozak (cerebellum)* – koordiniše pokrete, ravnotežu i držanje tijela.
- *Most (pons)* – prenosi informacije između velikog mozga i malog mozga, kao i između različitih regija centralnog nervnog sistema.
- *Produžena moždina (medulla oblongata)* – reguliše vitalne funkcije kao što su disanje, krvni pritisak i rad srca.

Da bismo razumjeli kako mozak obrađuje informacije, moramo sagledati njegovu organizacionu arhitekturu, koja je rezultat evolucije. Tokom 20. vijeka, popularna je bila teorija da su ljudi inteligentniji jer imaju veći mozak u




odnosu na tjelesnu masu, ali su istraživanja Suzane Herculano-Houzel iz 2009. pokazala da je odnos broja neurona prema veličini mozga sličan kod svih primata. Prednost ljudi nije u efikasnijem korišćenju prostora, već u apsolutnom broju neurona, jer imamo veći mozak. Primati, međutim, imaju više neurona po jedinici zapremine mozga u poređenju s drugim sisarima, što ih čini efikasnijim. Iako neke životinje, poput slonova ili kitova, imaju veće mozgove, ljudi vjerovatno imaju najviše ukupnih neurona, što doprinosi našim kognitivnim sposobnostima. Osim broja neurona, važna je i njihova međusobna povezanost, ali se broj veza po neuronu ne povećava proporcionalno sa veličinom mozga, jer bi to bio energetski i fizički neodrživ sistem. Evolucija je riješila ovaj izazov kroz dva principa: prvi je minimizacija dužine veza, prema kojem većina neuronskih konekcija ostaje lokalna, što omogućava bržu i jeftiniju obradu podataka, a drugi je očuvanje manjeg broja dugih veza koje povezuju udaljene regije. Ovakva mrežna organizacija omogućava efikasnu lokalnu obradu i brzu globalnu komunikaciju. Kako broj neurona raste, obrasci povezivanja se mijenjaju, pa se umjesto cjelovite međusobne povezanosti razvijaju moduli, specijalizovane

Poznat slučaj oštećenja čeonog režnja je Fineas Gejdž, nadzornik na željeznici koji je povređen 1848. godine. Gvozdena šipka mu je prošla kroz lobanju tokom nesreće i oštetila čeoni režanj. Gejdž je preživio i ubrzo poslije nesreće mogao je da govori i hoda. Ipak, njegova ličnost se znatno promijenila. Od mirnog i odgovornog čovjeka postao je nepredvidjiv i neprimjerenog ponašanja. Te promjene su bile povezane sa gubitkom kontrole impulsa, funkcije čeonog režnja. Kasnija istraživanja ukazala su na to da je šipka vjerovatno oštetila i veze između čeonog režnja i limbičkog sistema, koji je važan za regulaciju emocija. Njegov slučaj postao je centralna tema u tadašnjoj raspravi o lokalizaciji funkcija u mozgu. Zbog ograničenih podataka, zaključci o njegovom slučaju su se uzimali sa rezervom. Ipak, njegov primjer je ostao značajan u razumijevanju odnosa između mozga i ponašanja. Parijetalni režanj se nalazi odmah iza frontalnog režnja i zadužen je za obradu senzornih informacija iz tijela. Sadrži somatosenzornu koru, koja je ključna za tumačenje dodira, temperature i bola. Svaki dio somatosenzorne kore odgovara određenom dijelu tijela. Dijelovi tijela sa više nervnih završetaka i većom površinom, poput prstiju, zauzimaju veći prostor u ovoj kori. Temporalni režanj, koji se nalazi blizu sljepoočnica, učestvuje u procesima sluha, pamćenja, emocija i jezika. U njemu se nalaze slušna kora i Vernikeovo područje, koje je važno za razumijevanje govora. Oštećenje Vernikeovog područja dovodi do problema u razumijevanju jezika, iako sposobnost govora može ostati očuvana. Nasuprot tome, oštećenje Brokinog područja otežava produkciju jezika. Okcipitalni režanj se nalazi na samom zadnjem dijelu mozga i obrađuje vizuelne informacije. Sadrži primarnu vidnu koru, koja je retinotopički organizovana, što znači da je raspored objekata na kori povezan sa njihovim položajem u vidnom polju.

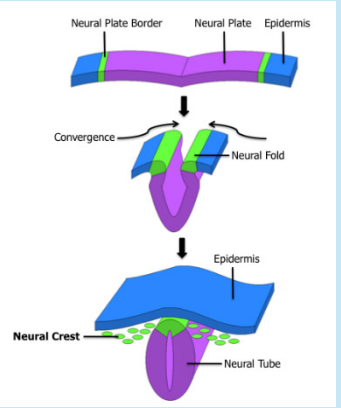
funkcionalne jedinice mozga. Kompleksne funkcije, poput jezika, zahtijevaju povezivanje udaljenih regija, kao što su Brokina i Vernikeova zona, koje su povezane vlaknastim snopom. Istovremeno, smanjuje se broj veza između regija koje nisu funkcionalno povezane, što omogućava energetsku štednju i efikasnost. Proučavanje moždane povezanosti započelo je još u 16. vijeku disekcijama, a nastavilo se eksperimentima na životinjama. Danas, savremene metode poput magnetne rezonance omogućavaju mapiranje puteva bijele mase i u živim mozgovima. Identifikovane su brojne funckionalne mreže  koje se i dalje proučavaju omogućavajući bolje razumijevanje načina na koji mozak

organizuje i koordiniše kompleksne funkcije.

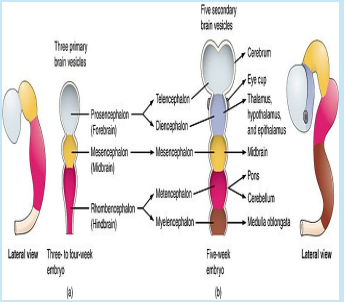
Na prethodnim stranicama je detaljno predstavljena građa nervnog sistema i način njegovog funkcionisanja, kao i fascinantna složenost mozga koji predstavlja ključni

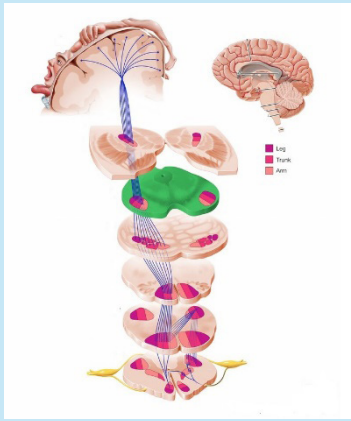
**Razvoj nervnog sistema**

Počinje odmah nakon oplodnje, kada se iz blastule diferenciraju tri zametna sloja: ektoderm, mezoderm i endoderm. Ektoderm formira nervni sistem, kožu, oko i uho, a proces koji vodi ka razvoju nervnog sistema naziva se neurulacija. Tokom neurulacije, ektoderm formira neuralnu ploču, čije se bočne strane uzdižu i spajaju u neuralnu cijev, koja se zatvara na oba kraja oko 23–26. dana gestacije. Nepravilno zatvaranje može dovesti do poremećaja kao što su anencefalija ili spina bifida. Prednji dio neuralne cijevi razvija se u mozak, dok zadnji dio formira kičmenu moždinu. Mozak se formira kroz rast i savijanje neuralne cijevi, pri čemu moždana kora obavija subkortikalne strukture. Skoro svi neuroni se stvaraju prenatalno, a novorođenče već ima razvijenu moždanu koru, uključujući specifične regije poput primarne vizuelne kore. Neuroni se razvijaju iz prekursorskih ćelija u subventrikularnoj zoni, koje se u početku simetrično dijele, a zatim asimetrično – pri čemu jedna ćelija ostaje, a druga migrira i formira slojeve kore. Migracija se odvija pomoću radijalnih glijalnih ćelija, koje kasnije postaju astrociti. Moždana kora se razvija iznutra ka spolja, tako da prvi migrirani neuroni ostaju u dubljim slojevima, dok kasniji dolaze do spoljašnjih slojeva. Na taj način se uspostavlja slojevita organizacija korteksa, koja je osnova za kasniju funkcionalnu specijalizaciju mozga.




Kora velikog mozga sastoji se od različitih tipova neurona raspoređenih po slojevima, a njihova diferencijacija zavisi od vremena neurogeneze, a ne od genetski unaprijed određene sudbine.






Eksperimenti pokazuju da čak i neuroni koji ne migriraju pravilno zbog oštećenja zračenjem razvijaju karakteristike tipične za njihov gestacijski period. U svim regijama korteksa neurogeneza se odvija po obrascu iznutra ka spolja, a poremećaji tog procesa, kao što je kod fetalnog alkoholnog sindroma, dovode do teških oštećenja moždane strukture i funkcije. Iako se broj neurona ne povećava značajno nakon rođenja, mozak novorođenčeta brzo raste zahvaljujući sinaptogenezi, razgranavanju dendrita, produžavanju aksona i mijelinizaciji. Sinapse se počinju formirati prije 27. nedjelje gestacije, ali dostižu vrhunac tek u prvih 15 mjeseci života. Sinaptogeneza prvo zahvata dublje slojeve kore, a kasnije površinske, prateći razvojni obrazac neurogeneze. Uslijed sinaptičkog orezivanja (pruning), koje traje godinama, eliminišu se redundantne i nefunkcionalne veze, čime se finije oblikuju neuronske mreže. Ovaj proces je pod snažnim uticajem okoline i iskustava (koristiš ili gubiš). Na primjeru primarne vizuelne kore vidi se da se nakon rođenja projekcije iz oba oka, koje su inicijalno preklopljene, razdvajaju u specifične kolone dominantne za jedno oko. Pretpostavlja se da sinaptogeneza i orezivanje ne teku jednako brzo u svim regijama mozga. Senzorne i motoričke oblasti sazrijevaju ranije nego asocijativne. Kod drugih primata sinaptogeneza izgleda ravnomjernije po regijama, ali metodološke razlike otežavaju direktna poređenja. Pored sinaptičkih promjena, postnatalni rast mozga rezultat je i povećanja mijelina i proliferacije glijalnih ćelija. Zapremina bijele mase se linearno povećava sa godinama, dok siva masa raste do puberteta, a potom se smanjuje. Ove promjene ne prate isti tempo u svim regijama korteksa, što ukazuje da različiti dijelovi ljudskog mozga sazrijevaju u različito vrijeme.

dio tog sistema. U narednom poglavlju ćemo se upoznati sa tim kako osnovne strukture mozga stvaraju kognitivne procese kojima oblikujemo naš doživljaj spoljašnjeg svijeta.

Anand, K. S., & Dhikav, V. (2012). Hippocampus in health and disease: An overview. *Annals of Indian Academy of Neurology, 15*(4), 239–246.

Arnsten, A. F. (2009). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. *Nature Reviews Neuroscience, 10*(6), 410–422.

Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2020). *Neuroscience: Exploring the brain* (4th ed.). Wolters Kluwer.

Bogović, I. (2017). *Razvoj percepcije* (Diplomski rad). Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Umjetnička akademija u Osijeku. https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:134:213106

Cabib, S., Campus, P., Conversi, D., Orsini, C., & Puglisi-Allegra, S. (2020). Functional and Dysfunctional Neuroplasticity in Learning to Cope with Stress. *Brain Sciences, 10*(2), 127.

Čelebić, A., Begagić, E., Bećirspahić, M., & Bečulić, H. (2020). Anatomska studija o strukturi i funkcionalnim karakteristikama insulae. *Bilten Ljekarske komore*.

Dumančić, S. (2014). *Neuronske mreže* (Diplomski rad). Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku.

Eagleman, D. (2015). *Mozak: priča o tebi*. Laguna.

González, M. P., Macho-González, A., Garcimartin, A., López-Oliva, M. E., Benedi, J., & Merino, J. J. (2019). Neuroplasticity and neuronal communications in the healthy and in the disease brain. *Journal of Neurology, Neurological Science and Disorders*.

Kaczmarek, B. L. J. (2019). Current views on neuroplasticity: What is new and what is old? *Acta Neuropsychologica, 18*(1), 1–14.

Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A., & Hudspeth, A. J. (2013). *Principles of Neural Science* (5th ed.). McGraw-Hill.

Kim, E. J., & Kim, J. J. (2023). Neurocognitive effects of stress: A metaparadigm perspective. *Molecular Psychiatry, 28*, 1–14.

Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (2015). *Fundamentals of Human Neuropsychology* (7th ed.). Worth Publishers.

LeDoux, J. E. (1992). Emotion and the Amygdala. U J. P. Aggleton (Ur.), *The Amygdala: Neurobiological Aspects of Emotion, Memory and Mental Dysfunction* (str. 339–351). Wiley–Liss.

Mašić, V., Šečić, A., Trošt Bobić, T., & Femec, L. (2020). Neuroplasticity and Braille Reading. *Acta Clinica Croatica, 59*(1), 147–153.

McEwen, B. S. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation: Central role of the brain. *Physiological Reviews, 87*, 873–904.

McGaugh, J. L., & Roozendaal, B. (2002). Role of adrenal stress hormones in forming lasting memories in the brain. *Current Opinion in Neurobiology, 12*, 205–210.

Power, J. D., & Schlaggar, B. L. (2017). Neural plasticity across the lifespan. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology, 6*(1).

Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., & White, L. E. (2018). *Neuroscience* (6th ed.). Oxford University Press.

Roozendaal, B., McEwen, B. S., & Chattarji, S. (2009). Stress, memory and the amygdala. *Nature Neuroscience, 10*, 423–433.

Sheline, Y. I. (2003). Neuroimaging studies of mood disorder effects on the brain. *Biological Psychiatry, 54*, 338–352.

Sherwood, L. (2013). *Human physiology: From cells to systems* (8th ed.). Brooks/Cole, Cengage Learning.

Šimić, N., Valerjev, P., & Nikolić Ivanišević, M. (Ur.). (2020). *Mozak i um: Od električnih potencijala do svjesnog bića*. Sveučilište u Zadru.

Stanojlović, D. (2015). Neurobiološki aspekti kreativnosti. Pregledni rad. *Visoka škola strukovnih studija za vaspitače „Mihailo Palov" Vršac, 20*, 254–262.

Sternberg, R. J. (2004). *Kognitivna psihologija*. Zagreb: Naklada Slap.

Stojić, D. (2023). *Evaluacija slika neurona i astrocita glavnog maslinastog jedra čoveka - njihova analiza, klasifikacija i praćenje pomoću geometriskih i fraktalnih parametara* (Doktorska disertacija). Univerzitet u Beogradu.

Stupar, S., & Šahić, E. (2013). Značaj emocija u odlučivanju u ekonomiji i biznisu. *Zbornik radova Ekonomskog fakulteta, 7*, 343–354. https://doi.org/10.7251/ZREFIS1307343S

Šapiro, L. E. (1998). *Emocionalna inteligencija – kako vaspitanjem dobiti dete s visokim EQ*. Beograd: Narodna knjiga Alfa.

Vance, D. E., Roberson, A. J., McGuinness, T. M., & Fazeli, P. L. (2010). How neuroplasticity and cognitive reserve protect cognitive functioning. *Journal of Psychosocial Nursing and Mental Health Services, 48*(4), 23–30.

Voss, P., Thomas, M. E., Cisneros-Franco, J. M., & de Villers-Sidani, É. (2017). Dynamic brains and the changing rules of neuroplasticity: Implications for learning and recovery.

Zonamedicine. (2024). Morfologija velikog mozga. Preuzeto sa https://zonamedicine.com/morfologija-velikog-mozga

## Kognitivni procesi

Kognitivni procesi predstavljaju ključne mentalne aktivnosti koje omogućavaju ljudima da interpretiraju i reaguju na informacije iz svog okruženja. Ove aktivnosti obuhvataju širok spektar funkcija, uključujući percepciju, pažnju, pamćenje, učenje, mišljenje, donošenje odluka i rješavanje problema. Kognitivni procesi olakšavaju svakodnevno funkcionisanje, jer omogućavaju ljudima da obrade informacije, donesu odluke, prepoznaju obrasce i rješavaju nove situacije. Kroz ove procese, ljudi interpretiraju svijet oko sebe, usmjeravaju pažnju na relevantne informacije, pamte iskustva i koriste ih kako bi donijeli informisane odluke. Kognitivni procesi su usko povezani sa funkcijama mozga, a neuronauka igra ključnu ulogu u otkrivanju kako ove mentalne aktivnosti nastaju i funkcionišu. U ovom poglavlju će biti predstavljeni osnovni kognitivni procesi: od osjeta i percepcije, preko pažnje i memorije, do jezika, mišljenja i donošenja odluka. Vidjećemo kako se oni prepliću, ali i kako savremena istraživanja u kognitivnoj neuronauci otkrivaju njihove neuralne osnove.

Savremena istraživanja su pokazala da različiti kognitivni procesi imaju specifične neuralne korijene. Na primjer, prefrontalni korteks se često identifikuje kao ključan za izvršne funkcije kao što su donošenje odluka, planiranje i kontrola impulsa. Ova oblast mozga omogućava usklađivanje višestrukih kognitivnih zadataka i igra centralnu ulogu u procesima poput rješavanja problema i fleksibilnog razmišljanja.

Tehnologije poput funkcionalne magnetne rezonance (fMRI) i elektroencefalografije (EEG) omogućile su naučnicima da prate neuralne aktivnosti tokom različitih kognitivnih zadataka. Tako su istraživanja pažnje pokazala značaj aktivacije parijetalnog korteksa i prednjeg cingularnog korteksa u procesima selektivnog fokusiranja i preusmjeravanja pažnje. Slično tome, hipokampus je identifikovan kao ključan za formiranje i konsolidaciju dugoročnih sjećanja.

Jedan od fascinantnih aspekata povezanosti kognitiv-

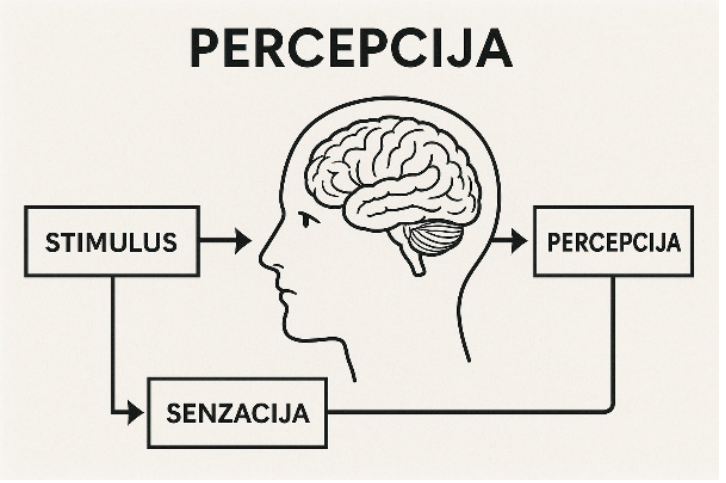
nih procesa i neuronauka jeste neuroplastičnost, odnosno sposobnost mozga da se prilagođava i mijenja kroz iskustvo i učenje. Istraživanja su pokazala da aktivnosti poput rješavanja složenih problema, učenja novih jezika ili praktikovanja meditacije mogu fizički promijeniti strukturu i funkciju mozga, poboljšavajući kognitivne sposobnosti.

Razumijevanje neuralnih osnova kognitivnih procesa ima praktične implikacije i za kliničku praksu. Na primjer, kognitivna rehabilitacija nakon povreda mozga oslanja se na principe neuroplastičnosti kako bi se razvile intervencije koje pomažu pacijentima da povrate izgubljene funkcije. Takođe, neuronauka pruža uvide u tretman neurodegenerativnih bolesti poput Alzheimerove bolesti, omogućavajući razvoj terapija koje ciljaju specifične neuralne mehanizme. Ipak, povezanost kognitivnih procesa i neuronauka nije ograničena samo na medicinsku primjenu. Istraživanja o neuralnim osnovama donošenja odluka omogućila su bolje razumijevanje kako su emocije i kognicija u interakciji u situacijama poput ekonomskog odlučivanja ili moralnih dilema. Ovo znanje se primjenjuje u oblastima poput ekonomije ponašanja, marketinga i javne politike. Sve navedeno jasno govori o značaju istraživanja neuralnih osnova kognitivnih procesa.

Neki od najvažnijih kognitivnih procesa uključuju percepciju, pažnju, pamćenje, učenje, mišljenje, jezik, rešavanje problema i donošenje odluka. Svaka od ovih aktivnosti igra specifičnu ulogu u svakodnevnim iskustvima, ali svi ovi procesi su međusobno povezani i utiču na jedan drugi, te će u nastavku će biti opisani osnovni kognitivni procesi.

## Percepcija

Percepcija je kognitivni proces koji omogućava organizovanje, integraciju i interpretaciju čulnih informacija, čime stičemo predstavu o svijetu oko nas. Ovaj proces uključuje prijem nadražaja putem naših čula, vida, sluha, mirisa, ukusa i dodira, koji se zatim obrađuju kako bi se stvorila koherentna slika spoljnog sveta. Važno je napomenuti da percepcija nije pasivno preslikavanje objektivne stvarnosti, već aktivno tumačenje tih nadražaja. Naša prethodna iskustva, znanje i očekivanja značajno utiču na način na koji interpretiramo informacije.




Percepcija se može posmatrati kroz dva glavna procesa:

1. *Bottom-up obrada:* Ovaj proces počinje sa senzornim nadražajem koji se obrađuje od nižih ka višim nivoima obrade, bez uticaja prethodnog znanja ili očekivanja. Na primjer, prepoznavanje lica na osnovu njegovih karakterističnih osobina.
2. *Top-down obrada:* Ovdje naši prethodni znaci, iskustva i očekivanja utiču na interpretaciju sen-

zornog inputa. Na primjer, ako očekujemo da ćemo čuti određenu melodiju, možemo je lakše prepoznati čak i ako je zvuk djelimično zaklonjen ili oštećen.

Ako se osvrnemo na odnos ovog procesa sa neuronaukama, možemo reći da je on puno složeniji od pokušaja svođenja na samo dva gore navedena procesa. Naime, kada senzorni organi registruju nadražaj iz okoline, ti signali se pretvaraju u električne impulse i prenose specifičnim neuralnim putevima do odgovarajućih kortikalnih centara u mozgu, gdje se dalje analiziraju i integrišu. Svako čulo ima svoj primarni korteks, ali i više asocijativne zone koje omogućavaju dublju obradu. Na primjer, vizuelni stimulusi iz mrežnjače putuju preko optičkog živca, optičke hijazme i optičkog trakta do lateralnog genikulatnog tijela talamusa, a zatim do primarnog vizuelnog korteksa (V1) u potiljačnom režnju, gdje se detektuju osnovne karakteristike kao što su konture i boje. Odatle se informacije prosljeđuju u više vizuelne oblasti za prepoznavanje oblika, pokreta i objekata. Slušni signali se prenose iz unutrašnjeg uha preko moždanog stabla i talamusa do primarnog slušnog korteksa u temporalnom režnju, a zatim u asocijativne zone zadužene za prepoznavanje govora i muzike. Tjelesna čula (dodir, bol, temperatura, propriocepcija) obrađuju se u primarnom somatosenzornom korteksu u parijetalnom režnju, gdje svaka regija tijela ima svoju prostornu reprezentaciju (somatotopija). Mirisni stimulusi su specifični jer zaobilaze talamus i direktno se prenose u olfaktornu koru i limbički sistem, dok se ukusni signali iz jezika prenose preko moždanog stabla do primarnog gustatornog korteksa. Ove informacije se zatim integrišu u višim asocijativnim regijama mozga koje omogućavaju multimodalnu percepciju, odnosno povezivanje slike, zvu-

ka i značenja u jedinstveni doživljaj. Neuralni putevi nisu jednostrani; osim aferentnih (uzlaznih), postoje i eferentni putevi kojima mozak modulira senzorne procese, na primjer kroz pažnju, inhibiciju ili očekivanja. Percepcija je stoga rezultat složene razmjene između fizičkih nadražaja, nervnog sistema i prethodnog iskustva, što znači da doživljaj stvarnosti zavisi ne samo od onoga što opažamo, već i od načina na koji mozak interpretira i organizuje te informacije u svrsishodan perceptivni doživljaj.

## Pažnja

Pažnja je ključni kognitivni proces koji omogućava selektivno usmjeravanje mentalnih resursa prema određenim informacijama dok ignorišemo druge. Kroz pažnju, mi filtriramo ogromnu količinu čulnih nadražaja koji nas okružuju i koncentrišemo se na relevantne informacije, što nam omogućava da obavljamo zadatke efikasno. Pažnja je prema tome osnova za mnoge druge kognitivne procese. Pažnja se može razvrstati prema načinu na koji je usmjeravamo na:

1. *Selektivnu pažnju* koja nam omogućava da se fokusiramo na jedan stimulus ili grupu stimulusa dok ignorišemo druge. Na primjer, kada razgovaramo u bučnom okruženju, možemo usmjeriti pažnju na glas sagovornika, ignorišući šum u pozadini.
2. *Podijeljenu pažnju* koja se odnosi na sposobnost da istovremeno obrađujemo više informacija ili obavljamo više zadataka. Na primjer, kada vozimo auto i slušamo muziku, dijelimo pažnju između obrade saobraćajnih informacija i uživanja u muzici.
3. *Fokusiranu pažnju* koja omogućava da se koncentrišemo na jedan zadatak ili stimulus, obezbjeđujući veći

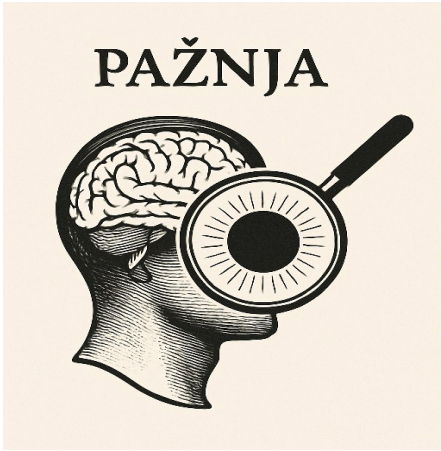
nivo pažnje na njemu. Na primjer, kada pišemo ispit, imamo fokusiranu pažnju na tekst pitanja i zadatka.

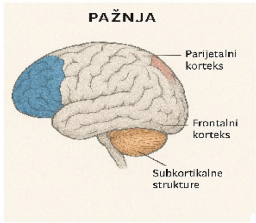
4. *Kontrolisanu pažnju* koja predstavlja aktivnu i svjesnu odluku da obratimo pažnju na određeni zadatak ili stimulus. On zahtijeva svjesni napor, kao što je u slučaju rješavanja problema ili donošenja važnih odluka.

Osim ovih kategorija, pažnja je povezana i sa kapacitetima pamćenja. Kognitivna teorija pažnje sugeriše da možemo obraditi samo ograničen broj informacija u svakom trenutku, što znači da je pažnja povezana sa kapacitetima radne memorije. Osim toga, pažnja može biti automatizovana u određenim situacijama. Kada se vježba neki zadatak, postepeno postaje lakše usmjeriti pažnju na njega, jer postaje dio automatizovanog procesa. Razumijevanje pažnje kao kognitivnog procesa od esencijalnog je značaja za bolje razumijevanje kako obavljamo svakodnevne zadatke, kako selektujemo relevantne informacije i kako održavamo koncentraciju tokom aktivnosti.

Istraživanja funkcionalnom magnetnom rezonancom (fMRI), elektroencefalografijom (EEG) i magnetoencefalografijom (MEG) pokazala su da pažnja uključuje više međusobno povezanih regija mozga. Najznačajnije su:

- Parijetalni korteks (posebno intraparijetalni sulkus) – ključan za prostornu orijentaciju i usmjeravanje pažnje.
- Frontalni korteks (dorzolateralni prefrontalni korteks i frontalno-okularno polje) – uključen u voljno usmjeravanje pažnje i izvršne funkcije.
- Subkortikalne strukture, kao što su talamus i superiorni kolikulus – filtriraju i prenose senzorne informacije, igrajući ulogu u refleksivnom preusmjeravanju pažnje.




## Memorija

Memorija je složen kognitivni proces koji omogućava zadržavanje, skladištenje i pozivanje informacija, a ključna je za uspješno obavljanje svakodnevnih aktivnosti i donošenje odluka. Kroz memoriju se omogućava povezivanje prethodnih iskustava sa trenutnim situacijama, čime se olakšava adaptacija i interakcija sa okolinom. Postoje tri glavne vrste memorije: kratkoročna, dugoročna i radna memorija, koje se međusobno razlikuju po funkciji, trajanju i kapacitetu.

- *Kratkoročna memorija* odnosi se na privremeno zadržavanje informacija, obično u trajanju od nekoliko sekundi do nekoliko minuta. Na primjer, pamćenje broja telefona dok ga ne zapišemo ili ukucamo u telefon. Kapacitet kratkoročne memorije je ograničen i obično obuhvata od pet do devet informacija istovremeno, što je poznato kao "magični broj". Informacije iz kratkoročne memorije se gube ukoliko nisu aktivno ponavljane ili prebačene u dugoročnu memoriju.

- *Dugoročna memorija* omogućava trajno skladištenje informacija, često tokom čitavog života. Ova vrsta memorije se dijeli na deklarativnu (eksplicitnu) i nedeklarativnu (implicitnu) memoriju. Deklarativna memorija uključuje sjećanja na činjenice (semantička memorija) i događaje (epizodička memorija). Nedeklarativna memorija, s druge strane, povezana je sa vještinama, poput vožnje bicikla ili kucanja na tastaturi, i automatizovanim procesima koji ne zahtijevaju svjesno prisjećanje.
- *Radna memorija*, prema modelu Baddelyja, predstavlja sistem za privremeno zadržavanje i manipulaciju informacijama neophodnim za složene kognitivne zadatke, poput rješavanja problema, razumijevanja jezika i donošenja odluka. Radna memorija se oslanja na interakciju između vizuelno-prostornog skladišta, fonološke petlje i centralnog izvršnog sistema koji koordiniše procese.

Razumijevanje različitih vrsta memorije i njihovih funkcija neophodno je za dublje sagledavanje mehanizama koji stoje iza procesa pamćenja. Ovi procesi oslanjaju se na složene neurobiološke osnove, pri čemu različite moždane strukture i neurohemijski mehanizmi igraju ključnu ulogu u formiranju, skladištenju i prizivanju informacija. Neurobiološke osnove memorije uključuju hipokampus, koji je ključan za konsolidaciju dugoročnih sećanja, prefrontalni korteks, odgovoran za radnu memoriju, i parijetalni režanj, povezan sa kratkoročnim skladištenjem informacija. Emocije i stresni događaji značajno utiču na memoriju.

Brojna istraživanja pokazuju da poremećaji poput amnezije, Alzheimerove bolesti i drugih neurodegenerativnih stanja imaju direktnu vezu sa oštećenjima specifičnih moždanih regija.

## Učenje

Učenje je proces kojim se stiču nove informacije, vještine i ponašanja kroz iskustvo i prilagodljivost neuroplastičnosti mozga. Ovaj proces omogućava individui da se adaptira na promjene u okolini i da unaprijedi svoje kognitivne sposobnosti. Učenje se može klasifikovati na nekoliko ključnih tipova. Na primjer, klasično uslovljavanje, koje je istraživao Ivan Pavlov, zasniva se na povezivanju neutralnog stimulusa sa stimulusom koji izaziva prirodni refleks. Koristi se u svakodnevnom životu, kao što je razvijanje određenih preferencija prema hrani ili formiranje navika povezanih sa određenim rutinama.

Operantno uslovljavanje, koje je razvio B. F. Skinner, fokusira se na oblikovanje ponašanja na osnovu pozitivnih ili negativnih posljedica. Na primjer, dijete koje dobija pohvalu za svoje uspjehe u školi vjerovatno će nastaviti da se trudi da postigne slične rezultate. Slično tome, izbjegavanje negativnih posljedica, poput opomene, motiviše pojedinca da promijeni svoje ponašanje.

Ljudi ne uče samo kroz lična iskustva, već i kroz posmatranje drugih. To je učenje po modelu, za koje su ključni tzv. "ogledalo neuroni", koji se aktiviraju kada sami izvodimo neku radnju ali i kada posmatramo druge kako je izvode.

Različiti oblici učenja oslanjaju se na složene neurobiološke mehanizme koji omogućavaju prilagođavanje i dugoročno usvajanje informacija. Ovi procesi zavise od sinaptičke plastičnosti, poput dugoročne potencijacije (LTP), koja jača neuronske veze i poboljšava pamćenje i obnavljanje informacija. Takođe zavise i od aktivnosti neurotransmitera i specifičnih moždanih struktura koje imaju ključnu ulogu u formiranju i učvršćivanju naučenih vještina i znanja. Neurotransmiteri kao što su dopamin i

acetilholin igraju ključnu ulogu u konsolidaciji naučenih vještina. Na primjer, dopamin je ključan za nagrađivanje i motivaciju, što direktno utiče na operantno uslovljavanje.

## Mišljenje

Mišljenje je složen kognitivni proces koji uključuje analizu, rješavanje problema, donošenje odluka i kreativno izražavanje. Ono se može kategorizovati u različite vrste, uključujući logičko, kritičko, kreativno, analitičko i intuitivno mišljenje. Logičko mišljenje oslanja se na pravila deduktivnog i induktivnog rezonovanja, pri čemu se zaključci izvode na osnovu datih premisa.

Kritičko mišljenje, s druge strane, uključuje procjenu vjerodostojnosti informacija i donošenje informisanih zaključaka kroz procese kao što su analiza argumenata, identifikacija predrasuda i evaluacija dokaza.

Kreativno mišljenje podrazumijeva divergentno razmišljanje, gdje se generišu brojne ideje ili rješenja za dati problem, kao i konvergentno mišljenje, gdje se bira najefikasnije rješenje među dostupnim opcijama.

Intuitivno mišljenje karakteriše brzo i automatsko donošenje odluka na osnovu prethodnog iskustva, dok analitičko mišljenje zahtijeva sporiji, detaljniji proces analize. Na primjer, intuicija može igrati ulogu u situacijama gdje su brze reakcije neophodne, poput vožnje u nepredvidivim uslovima, dok se analitičko mišljenje koristi prilikom rješavanja složenih problema, kao što su finansijske analize ili naučna istraživanja.

Neurološki temelji mišljenja uključuju frontalni korteks, ključan za planiranje, rješavanje problema i donošenje odluka, dok parijetalne regije omogućavaju prostorno rezonovanje i integraciju informacija. Ove oblasti moz-

ga međusobno komuniciraju putem složenih neuronskih mreža kako bi omogućile koordinaciju kognitivnih procesa.

## Jezički procesi

Jezički procesi obuhvataju širok spektar aktivnosti, uključujući razumijevanje i proizvodnju jezika, kao i specifične vještine poput čitanja i pisanja. Temelj ovih procesa leži u integraciji različitih jezičkih komponenti, kao što su sintaksa, semantika i fonologija. Sintaksa se odnosi na pravila koja uređuju način na koji se riječi kombinuju u rečenice, semantika se bavi značenjem riječi i rečenica, dok fonologija proučava zvučne aspekte jezika, kao što su glasovi i njihova kombinacija. Jezički procesi se obično klasifikuju u dva glavna tipa: receptivne i produktivne**.** Receptivni procesi uključuju sposobnost razumijevanja govora i pisanih tekstova, dok produktivni obuhvataju sposobnost stvaranja rečenica i izražavanja misli. Ovi procesi nisu statični; oni se dinamično razvijaju i prilagođavaju kako osoba stiče više jezičkog iskustva. Na primjer, razvoj sintaktičkih sposobnosti kod djece zahtijeva ne samo razumijevanje pojedinih riječi, već i njihovih međusobnih odnosa u okviru rečenica, što se postepeno usavršava kroz socijalnu interakciju i izlaganje jeziku.

Neurobiološke osnove jezika su ključne za razumijevanje kako mozak upravlja jezičkim funkcijama. Brokin centar, lociran u frontalnom dijelu mozga, odgovoran je za proizvodnju jezika, dok je Vernikeov centar, koji se nalazi u temporalnom režnju, ključan za razumijevanje jezika. Ove regije su povezane putem nervnih puteva i zajedno omogućavaju koordinaciju između razumijevanja i produkcije govora. Oštećenje ovih centara može dovesti do

različitih oblika afazije, što je pokazatelj njihove specifične uloge u jezičkim procesima.

## Kreativnost

Kreativnost je složen kognitivni proces koji obuhvata generisanje novih, originalnih ideja, rješenja i koncepata. Ovaj proces je ključan za inovacije u mnogim oblastima, od umjetnosti do nauke, i omogućava stvaranje novih perspektiva kroz povezivanje naizgled nespojivih ideja. Kreativnost se može manifestovati na različite načine, bilo kroz umjetničko stvaralaštvo, naučno otkriće, inženjerske inovacije ili svakodnevno rješavanje problema. Osim što je sastavni dio intelektualnog rada, kreativnost je i emotivno iskustvo, jer često dovodi do izražavanja individualnosti i identiteta. Jedan od ključnih aspekata kreativnosti je sposobnost da se povežu različite informacije i da se iz njih stvori nešto novo. Ovaj proces uključuje fleksibilnost u razmišljanju i mogućnost sagledavanja situacija iz više uglova. Na primjer, umjetnik može koristiti nespojive elemente, kao što su boje, oblici i zvukovi, kako bi stvorio jedinstvenu umjetničku kompoziciju, dok naučnik može koristiti postojeće teorije iz različitih oblasti kako bi došao do novog naučnog modela.

Studije pokazuju da kreativni procesi aktiviraju različite dijelove mozga, uključujući one koji su povezani sa apstraktnim mišljenjem, maštom i rješavanjem problema. Takođe, neurobiološki temelji kreativnosti uključuju ravnotežu između inhibicije i aktivacije određenih moždanih područja, što omogućava selektivno angažovanje novih ideja. Kreativnost se, dakle, ne razvija samo kroz trening, već i kroz iskustva koja podstiču mozak da se reorganizuje i stvori nove povezane ideje.

## Donošenje odluka

Donošenje odluka je ključan kognitivni proces kroz koji individua bira između različitih opcija temeljenih na vrednovanju informacija i predviđanju mogućih ishoda. Ovaj proces je zasnovan na različitim vrstama evaluacija, od racionalnih do intuitivnih, i može značajno uticati na ponašanje i svakodnevne odluke. Dok racionalno donošenje odluka uključuje analizu svih dostupnih opcija, intuitivno donošenje se oslanja na brze, instinktivne reakcije zasnovane na prethodnom iskustvu i unutrašnjim procjenama.

*Racionalno donošenje odluka* se bazira na logici i analizi prednosti i mana svake opcije. U ovom slučaju, osoba procjenjuje sve relevantne informacije, predviđa moguće ishode svake opcije i bira onu koja daje najbolji rezultat. Ovaj pristup je često povezan sa procesima koji zahtijevaju visoku kognitivnu angažovanost i uključuju ravnotežu između faktora kao što su vremenski pritisak, dostupnost informacija i složenost problema.

S druge strane, *intuitivno donošenje odluka* se često koristi u situacijama koje zahtijevaju brzu reakciju i kada nije moguće prikupiti sve informacije. Ovaj oblik donošenja odluka oslanja se na prethodna iskustva i unutrašnje uvide koji omogućavaju brzo procenjivanje situacije. Iako intuitivne odluke često mogu biti tačne, one su podložne različitim kognitivnim pristrasnostima koje mogu dovesti do sistematskih grešaka u procjeni. Na primjer, prekomjerno oslanjanje na prethodna iskustva može dovesti do potiskivanja novih informacija koje bi mogle biti korisne za donošenje ispravne odluke.

Kognitivne pristrasnosti, kao što su potvrđivanje pristrasnosti (tendencija da se traže informacije koje

potvrđuju već postojeća uvjerenja) i pristrasnost prema statusu kvo (sklonost da se odaberu poznate opcije), često oblikuju proces donošenja odluka. Ove pristrasnosti mogu narušiti objektivnost i racionalnost odluka, što dovodi do suboptimalnih ishoda. U savremenim istraživanjima, donošenje odluka se povezuje sa radom prefrontalnog korteksa, koji je odgovoran za planiranje, procjenu rizika i kontrolu impulsivnog ponašanja.

Razvoj kognitivnih procesa zavisi od niza bioloških, sredinskih i socijalnih faktora. Ovi faktori se međusobno prepliću i oblikuju način na koji se kognitivne sposobnosti razvijaju tokom životnog vijeka. Razumijevanje njihovog uticaja ključno je za primjenu u obrazovanju, zdravstvenim intervencijama i društvenim politikama. Biološka osnova razvoja kognitivnih procesa uključuje genetiku, razvoj mozga i hormonalne promjene. Genetski faktori određuju osnovne predispozicije za kognitivne sposobnosti, uključujući inteligenciju i brzinu obrade informacija. Takođe, razvoj mozga, naročito frontalnog režnja, igra ključnu ulogu u razvoju vještina poput rješavanja problema i kontrole impulsa. Hormonalne promjene, poput povećanja nivoa kortizola usljed stresa, mogu negativno uticati na radnu memoriju i sposobnost donošenja odluka. Okruženje u kojem dijete odrasta ima snažan uticaj na razvoj kognitivnih procesa. Stimulativno okruženje, koje uključuje interakciju sa roditeljima, bogate jezičke inpute i pristup edukativnim materijalima, pozitivno utiče na kognitivne funkcije. Nasuprot tome, zanemarivanje, siromaštvo i stresni događaji mogu ometati razvoj mozga i dovesti do smanjenih kognitivnih kapaciteta. U budućnosti, interdisciplinarni pristupi koji integrišu neuronauke i kognitivnu psihologiju obe-

ćavaju dalji napredak u razumijevanju ljudskog uma. Kako tehnologije za snimanje mozga postaju sve sofisticiranije, naučnici će moći da istraže još dublje neuralne osnove složenih kognitivnih procesa i njihove primjene u svakodnevnom životu. S obzirom na to da su mnogi kognitivni procesi uključeni u međusobno povezane aktivnosti, istraživanje interakcije između ovih funkcija od ključnog je značaja za razumijevanje celokupne ljudske kognicije.

Opis kognitivnih procesa otvara novo pitanje: kako dolazimo do tih saznanja? Odgovor se nalazi u istraživačkim metodama, koje predstavljaju most između teorijskih pretpostavki i empirijskih dokaza. Upravo njima je posvećeno naredno poglavlje.

Anderson, J. R. (2015). Cognitive psychology and its implications (8th ed.). Worth Publishers.

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? Trends in Cognitive Sciences, 4(11), 417–423. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2

Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (2000). Theory of mind and autism: A review. Psychological Medicine, 30(1), 3-15. https://doi.org/10.1017/S0033291799004246

Bechara, A., Damasio, A. R., & Damasio, H. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. Science, 275(5304), 1293–1295. https://doi.org/10.1126/science.275.5304.1293

Bechara, A., & Damasio, A. R. (2005). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. Games and Economic Behavior, 52(2), 336-372. https://doi.org/10.1016/j.geb.2004.06.010

Beck, A. T. (1997). Cognitive therapy: Basics and beyond. Guilford Press.

Bialystok, E. (2009). Bilingualism: The good, the bad, and the indifferent. Bilingualism: Language and Cognition, 12(1), 3–11. https://doi.org/10.1017/S1366728908003477

Bliss, T. V., & Lomo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. The Journal of Physiology, 232(2), 331–356. https://doi.org/10.1113/jphysiol.1973.sp010648

Broadbent, D. E. (1958). Perception and communication. Pergamon Press.

Cicerone, K. D., Mott, T., Azulay, J., & Friel, J. (2011). Cognitive rehabilitation interventions for improving executive function and attention. Journal of Head Trauma Rehabilitation, 26(4), 279-291. https://doi.org/10.1097/HTR.0b013e318214f476

Cowan, N. (2005). Working memory capacity. Psychology Press.

Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., & Bogdahn, U. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. Nature, 427(6972), 311-312. https://doi.org/10.1038/427311a

Dubois, B., Feldman, H. H., & Jacova, C. (2016). Advances in the diagnosis of Alzheimer's disease. The Lancet Neurology, 15(7), 701-708. https://doi.org/10.1016/S1474-4422(16)30015-3

Epstein, S. (1994). Integration of the cognitive and the psychodynamic unconscious. American Psychologist, 49(8), 709–724. https://doi.org/10.1037/0003-066X.49.8.709

Finke, R. A., Ward, T. B., & Smith, S. M. (1992). Creative cognition: Theory, research, and applications. MIT Press.

Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry. American Psychologist, 34(10), 906-911. https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906

Fodor, J. A. (1983). The modularity of mind: An essay on faculty psychology. MIT Press.

Gigerenzer, G. (2007). Gut feelings: The intelligence of the unconscious. Viking Penguin.

Goldstein, E. B. (2014). Cognitive psychology: Connecting mind, research, and everyday experience (4th ed.). Wadsworth Cengage Learning.

Goel, V. (2007). Versatility and functional specialization of the human prefrontal cortex. NeuroImage, 35(2), 597–600. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.11.045

Hart, B., & Risley, T. R. (1995). Meaningful differences in the everyday experience of young American children. Paul H. Brookes Publishing.

Jung, R. E., Sibley, D., & Wilkins, J. (2013). The neuroscience of creativity. Neuropsychologia, 51(7), 1446–1455. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.03.003

Kabat-Zinn, J. (1990). Full catastrophe living: Using the wisdom of your body and mind to face stress, pain, and illness. Delta Publishing.

Kahneman, D. (2011). Thinking, fast and slow. Farrar, Straus and Giroux.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. Econometrica, 47(2), 263–291. https://doi.org/10.2307/1914185

Kahneman, D., Tversky, A., & Slovic, P. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. Cambridge University Press.

Kovács, A. M., & Mehler, J. (2009). Flexibility in the mental representation of the bilingual lexicon. Cognition, 113(1), 19–25. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.07.004

Lamme, V. A. (2003). Why visual attention and awareness are different. Trends in Cognitive Sciences, 7(1), 12–18. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)00013-3

Luria, A. R. (1970). The working brain: An introduction to neuropsychology. Penguin.

Lutz, A., Lachaux, J. P., Martinerie, J., & Varela, F. J. (2008). Guiding the interpretation of brain activity: The human brain in a state of flow. Nature Reviews Neuroscience, 9(9), 705–710. https://doi.org/10.1038/nrn2461

McGaugh, J. L. (2000). Memory—a century of consolidation. Science, 287(5451), 248–251. https://doi.org/10.1126/science.287.5451.248

Mayer, R. E. (2020). Multimedia learning. Cambridge University Press.

Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. Annual Review of Neuroscience, 24, 167-202. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. Psychological Review, 63(2), 81–97. https://doi.org/10.1037/h0043158

Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In Cognitive Psychology and the Brain (pp. 1–18). Springer.

Norman, D. A. (1988). *The design of everyday things*. Basic Books.

Paller, K. A., & Wagner, A. D. (2002). Observing the transformation of experience into memory. Trends in Cognitive Sciences, 6(2), 93–102. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01843-1

Pavlov, I. P. (1927). Conditioned reflexes: An investigation of the physiological activity of the cerebral cortex. Oxford University Press.

Pinker, S. (1994). The language instinct: How the mind creates language. William Morrow.

Posner, M. I. (2012). Cognition: From memory to thinking. Psychology Press.

Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of brain and cognition. The European Journal of Cognitive Psychology, 19(1-2), 1-13. https://doi.org/10.1080/09541440601056630

Rensink, R. A. (2000). The dynamic nature of visual attention. Cognitive Science, 24(5), 905–944. https://doi.org/10.1016/S0364-0213(00)00036-3

Roediger, H. L., & Butler, A. C. (2011). The critical role of retrieval in improving long-term retention. Trends in Cognitive Sciences, 15(1), 20-27. https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.003

Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial intelligence: A modern approach (4th ed.). Pearson Education.

Salthouse, T. A. (2010). Major issues in cognitive aging. Oxford University Press.

Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. Psychological Review, 84(1), 1–66. https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.1.1

Simon, H. A. (1990). Invariants of human behavior. Annual Review of Psychology, 41(1), 1-20. https://doi.org/10.1146/annurev.ps.41.020190.000245

Skinner, B. F. (1953). Science and human behavior. Macmillan.

Squire, L. R., & Wixted, J. T. (2011). The cognitive neuroscience of human memory since H. M. Annual Review of Neuroscience, 34, 259-288. https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113720

Squire, L. R., & Zola, S. M. (1996). Structure and function of memory systems: A neuropsychological perspective. Annual Review of Psychology, 47, 169–194. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.47.1.169

Trofimovich, P., & McDonough, K. (2012). Cognitive approaches to second language acquisition. Applied Linguistics, 33(2), 135-157. https://doi.org/10.1093/applin/amr031

## Kako istražujemo kognitivne procese u kognitivnim neuronaukama

Kognitivna neuronauka je jedna od najdinamičnijih disciplina savremene nauke. Ona se razvila na presjeku psihologije, neurobiologije, filozofije i računarskih nauka, sa ciljem da odgovori na jedno od najstarijih pitanja ljudskog roda: kako mozak stvara misao, emociju i ponašanje. Ovo poglavlje pruža pregled najvažnijih istraživačkih metoda u kognitivnim neuronaukama: od klasičnih lezionih metoda, preko savremenih tehnika snimanja i elektrofizioloških pristupa, do metoda modulacije moždane aktivnosti i genetičkih manipulacija. Svaka od ovih metoda ima svoje mjesto i značaj, a tek njihova integracija omogućava najpouzdanije odgovore na pitanje kako mozak funkcioniše.

Kognitivne neuronauke koriste širok spektar metoda kako bi povezale moždanu aktivnost sa mentalnim procesima. Cilj je da se razumije na koji način mozak omogućava mišljenje, učenje, pamćenje, jezik, percepciju, emocije i dr. U nastavku su prikazane glavne grupe metoda koje istraživači koriste.

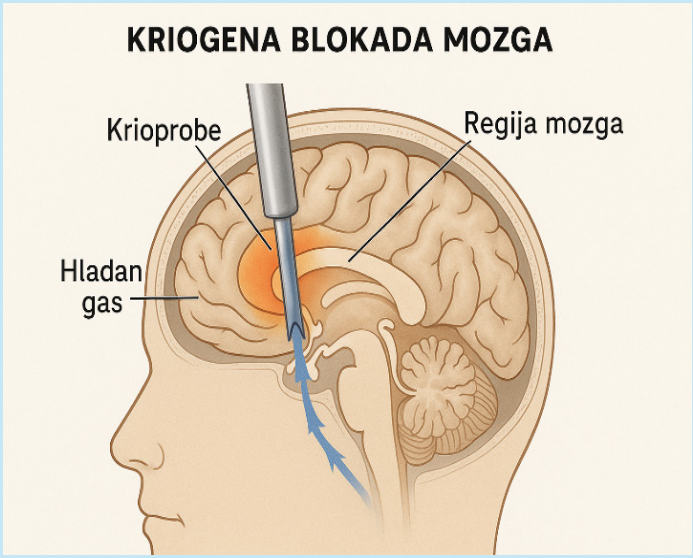
### Metoda lezija

Jedan od najstarijih i najuticajnijih pristupa u istraživanju odnosa između mozga i kognitivnih funkcija jeste metoda lezija. Osnovna ideja ovog pristupa zasniva se na poređenju promjena u ponašanju i kognitivnim sposobnostima kod pacijenata sa jasno lokalizovanim oštećenjima mozga. Ako je određena funkcija narušena nakon oštećenja specifične regije, istraživači mogu zaključiti da je upravo ta moždana oblast uključena u njeno normalno odvijanje. Metoda lezija ima duboke korijene u istoriji medicine i psihologije. Jedan od prvih sistematskih primjera jeste rad već pomenutog Pola Broke, koji je sredinom XIX veka opisao pacijente sa specifičnim oštećenjem u

prednjem dijelu lijevog frontalnog režnja. Kao što je već spomenuto na prethodnih stranicama knjige, kod ovih pacijenata dolazilo je do ozbiljnog poremećaja govorne produkcije, iako su mogli relativno dobro razumjeti govor. Ovaj deficit, kasnije poznat kao *Brokina afazija*, doveo je do identifikacije tzv. *Brokine oblasti*. Suprotan poremećaj opisan je kod pacijenata sa oštećenjem u zadnjem dijelu lijevog temporalnog režnja, što je rezultovalo *Vernikovom afazijom* – sposobnošću da tečno, ali besmisleno govore, uz ozbiljno narušeno razumijevanje jezika. Jedan od najpoznatijih slučajeva u istoriji neuropsihologije svakako je slučaj Finesea Gejdža (Phineas Gage) koga smo takođe već spomenuli na prethodnim stranicama. Iako su kasnije interpretacije njegovog slučaja djelimično idealizovane, Gejdž je postao paradigma za razumijevanje uloge frontalnih režnjeva u regulaciji emocija, impulsa i socijalnog funkcionisanja

Kod ljudi, lezije nastaju najčešće kao posljedica moždanog udara, tumora, traumatskih povreda ili neurodegenerativnih bolesti. Proučavanje ovih prirodnih „eksperimenata" omogućilo je istraživačima da izgrade prve mape moždanih funkcija. Ipak, takva istraživanja imaju značajna ograničenja, jer lezije nisu uvijek lokalizovane na identične pozicije, individualne varijacije u anatomiji mozga otežavaju poređenja, a nemoguće je kontrolisati sve relevantne varijable. Zbog toga su u eksperimentalnoj neurologiji i psihologiji veliki značaj imala istraživanja na životinjama. Indukovanjem precizno lokalizovanih lezija kod eksperimentalnih subjekata (najčešće glodara i primata) moguće je bilo sistematski ispitivati posljedice u oblasti percepcije, učenja ili pamćenja. Prednost ovakvih istraživanja je bila u tome što se učinak koji životinja postiže mogao pratiti prije i poslije lezije, što je omogućilo

intra-individualna poređenja. Takođe, moguće je u takvim istraživanjima koristiti i kontrolne grupe koje prolaze kroz iste procedure bez pravog oštećenja mozga. Na ovaj način se povećavala pouzdanost zaključaka u vezi sa funkcionalnom ulogom specifičnih moždanih oblasti




Specifični vid lezije jeste i kriogena blokada. Kriogena blokada mozga je eksperimentalna metoda kojom se određeni region mozga privremeno „isključuje" hlađenjem pomoću krioprobe kroz koju prolazi rashlađeni gas (npr. azot ili freon). Snižavanjem temperature neuronska aktivnost u tom području prestaje, ali bez trajnog oštećenja, pa se funkcija vraća nakon zagrijavanja. Ova tehnika omogućava istraživačima da reverzibilno ispituju ulogu pojedinih moždanih struktura u ponašanju, percepciji i kognitivnim procesima.

Da bi se obezbijedili snažniji dokazi o specifičnosti funkcija, istraživači primjenjuju koncept *dvostruke disocijacije*. Ovaj pristup podrazumijeva poređenje dva pacijenta (ili dvije grupe pacijenata) sa različitim moždanim oštećenjima i različitim obrascima kognitivnih deficita. Na primjer, ako pacijent A pokazuje deficit u funkciji X,

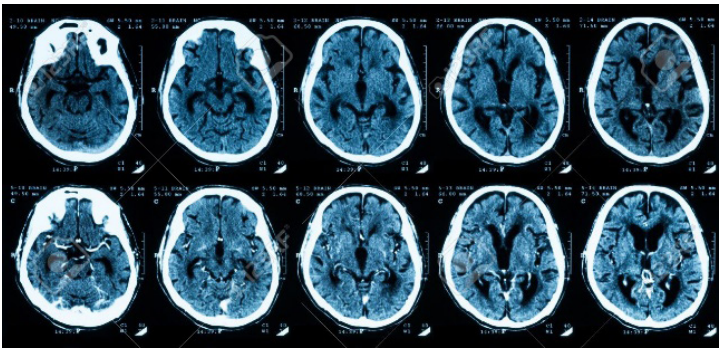
ali očuvanu funkciju Y, dok pacijent B pokazuje suprotan obrazac (deficit Y uz očuvanu X), istraživači mogu zaključiti da su X i Y nezavisne funkcije povezane sa različitim moždanim strukturama. Ovakvi dokazi bili su ključni u razvoju kognitivne neuropsihologije, jer su omogućili mapiranje kognitivnih procesa na specifične moždane module. Metoda lezija je nesumnjivo dala ključne uvide u organizaciju mozga i ostala fundamentalna za kognitivne neuronauke. Njene prednosti uključuju prirodnu „eksperimentalnu manipulaciju" i mogućnost direktnog uvida u posljedice oštećenja. Međutim, postoje i značajna ograničenja. Prije svega, lezije su često difuzne, pa je teško razlikovati primarne od sekundarnih efekata, a etički okvir onemogućava plansko eksperimentalno stvaranje lezija kod ljudi. Pored toga, neuroplastičnost mozga može dovesti do reorganizacije funkcija, što komplikuje interpretaciju rezultata.

## Metode snimanja mozga

Razvoj metoda snimanja mozga predstavljao je prekretnicu u kognitivnim neuronaukama, jer je omogućio da se unutrašnja struktura i aktivnost mozga prikažu na neinvazivan i bezbjedan način. Dok su rani pristupi bili ograničeni na anatomske opise ili posredne indicije (npr. leziona metoda), savremene tehnike pružaju mogućnost preciznog mapiranja moždanih regija i praćenja njihove funkcije u realnom vremenu. Ove metode dijele se na one koje daju anatomsku sliku mozga (*strukturno snimanje*) i one koje otkrivaju funkcionalnu dinamiku (*funkcionalno snimanje*)

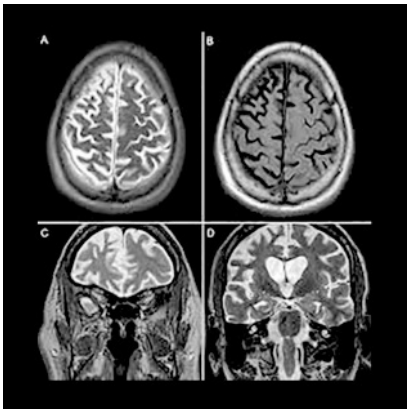
**Kompjuterizovana tomografija (CT)** razvijena je po-

četkom 1970-ih i ubrzo je postala značajna u medicinskoj dijagnostici. Koristeći rendgenske zrake i računarsku rekonstrukciju, CT omogućava kreiranje trodimenzionalnih presjeka mozga i otkrivanje tumora, hematoma, aneurizmi i drugih patoloških promjena. Njegova prednost je brzina i dostupnost, ali mu je ograničenje izlaganje jonizujućem zračenju. Snimanje se izvodi tako što se ispitanik smjesti u ležeći položaj unutar cilindra koji kroz njegovu glavu projektuje x-zrake ka detektoru (na drugom kraju cilindra). Sukcesivnim skeniranjem glave u slojevima (tomovima) pomoću suženog snopa rendgenskog zračenja dobija se prikaz dat na slici ispod.



CT se koristi u dijagnostici poremećaja pamćenja, u procjeni traumatskih povreda mozga, jer omogućava brzo otkrivanje hematoma, fraktura i edema koji mogu uticati na pažnju, brzinu obrade informacija i izvršne funkcije. Takođe je koristan u diferencijalnoj dijagnozi demencija, jer može pokazati atrofiju specifičnih regija poput hipokampusa, što pomaže u razlikovanju Alzheimerove bolesti od vaskularne demencije. CT se koristi i za praćenje progresivnih promjena u strukturi mozga tokom razvoja bolesti, za planiranje neurohirurških intervencija kako bi se sačuvale ili obnovile kognitivne funkcije, te u kombinaciji s neuropsihološkim testovima, gdje rezultati snimanja pomažu da se precizno utvrdi povezanost između strukturnih oštećenja i kognitivnih deficita.

**Magnetna rezonanca (MRI)**, koja se razvija nekoliko godina kasnije, oslanja se na snažna magnetna polja i radio-talase. MRI pruža izuzetno detaljne slike mekih tkiva i zato je superiorna za prikaz moždanih struktura bez korišćenja štetnog zračenja. Danas se koristi kao „zlatni standard" u prikazu anatomske organizacije mozga, omogućavajući istraživačima da identifikuju individualne razlike u veličini, obliku i integritetu regija. Magnetna rezonanca zasniva se na bilježenju signala koje oslobađaju atomi vodonika kada na njih djeluju radio-talasi unutar snažnog magnetnog polja.

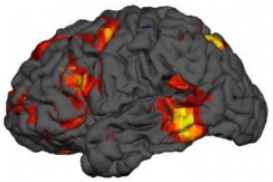



Budući da je vodonik sastavni dio molekula vode, a voda čini najveći dio mekih tkiva, ova metoda omogućava dobijanje vrlo preciznih slika unutrašnjih struktura. U prirodnim uslovima, magnetni momenti protona raspoređeni su nasumično, ali kada se tijelo ispitanika smjesti u magnetno polje jačine 1,5 do 3 Tesle, veliki broj njih se poravna u pravcu tog polja. Zatim se primjenjuje kratak radiofrekventni impuls koji zakrene orijentaciju protona za oko 90 stepeni, što dovodi do promjene ukupnog magnetnog signala. Taj signal se bilježi i naziva T2. Kada impuls prestane, protoni se postepeno vraćaju u prvobitni položaj, pri čemu nastaje drugi tip signala, poznat kao T1. Ovi procesi se ponavljaju sloj po sloj kroz mozak, pa se tako dobijaju slike različitog kontrasta. T1 slike jasno razlikuju sivu i bijelu masu mozga. Siva masa je prikazana tamnijim nijansama, a bijela svjetlijim. T2 slike pokazuju suprotan odnos boja i posebno su korisne u otkrivanju promjena u tkivima, jer su osjetljive na sadržaj vode. Na taj način magnetna rezonanca pruža detaljan anatomski i strukturalni uvid u strukturu mozga. Magnetna rezonanca (MR) se koristi za detaljno ispitivanje građe mozga i daje podatke o veličini, obliku i debljini moždanih struktura, razvoju i promjenama tokom starenja, kao i o oštećenjima izazvanim povredama, tumorima ili neurološkim bolestima. Može se, također, analizirati povezanost moždanih regija kroz mreže bijelih vlakana, što je značajno za razumijevanje

složenih kognitivnih procesa. Iako ne mjeri direktno moždanu aktivnost, ona pruža važne uvide u moždane regije u kojima se kognicija odvija, jer promjene u građi i povezanosti mozga često stoje u osnovi razlika u pamćenju, pažnji, jeziku i drugim mentalnim funkcijama.

**Funkcionalna magnetna rezonanca (fMRI)** koristi se za proučavanje aktivnosti mozga tokom obavljanja određenih kognitivnih zadataka. Ova tehnika mjeri promjene u nivou kiseonika u krvi (tzv. BOLD signal – *blood oxygenation level dependent*), pri čemu se pretpostavlja da povećana potrošnja kiseonika u nekoj oblasti odražava intenzivniju neuronsku aktivnost. fMRI je unaprijedila kognitivne neuronauke krajem 1990-ih jer je omogućila mapiranje regija uključenih u jezik, pažnju, memoriju ili donošenje odluka, sa prostornom preciznošću do nekoliko milimetara. Kada se određena moždana regija uključi u proces obrade informacija, protok krvi u tom području se povećava, a magnetna rezonanca registruje razlike u odnosu oksigenisanog hemoglobina i deoksihemoglobina (spomenuti BOLD signal). Ona omogućava precizno određivanje koje regije su uključene u određeni kognitivni proces, a takođe omogućava i upoređivanje obrazaca aktivnosti između različitih osoba ili grupa (npr. zdravih i pacijenata). Zahvaljujući tome, fMRI se koristi u istraživanju pažnje, radne i dugoročne memorije, jezika, donošenja odluka, ali i u kliničkoj praksi (npr. pri planiranju neurohirurških zahvata kako bi se izbjegla oštećenja ključnih funkcija). Ipak, vremenska rezolucija fMRI-ja je ograničena (slika se formira svake 2 sekunde), što znači da ne može uhvatiti brze kognitivne procese.

**Pozitronska emisiona tomografija (PET)** mjeri metaboličke procese u mozgu pomoću radioaktivnih markera koji se vezuju za glukozu ili druge molekule. Ona se



Eksperimenti sa funkcionalnom magnetnom rezonancom (fMRI) često se koriste za ispitivanje pamćenja tako što ispitanici tokom snimanja uče listu slika ili riječi, a kasnije u istom ili drugom dijelu zadatka prepoznaju koje su već vidjeli. fMRI meri tzv. BOLD signal, odnosno promjene u oksigenaciji krvi u mozgu, pa istraživači mogu uporediti moždanu aktivnost za informacije koje su kasnije tačno zapamćene u odnosu na one koje su zaboravljene. Na ovaj način identifikuju se regije poput hipokampusa i prefrontalnog korteksa koje imaju ključnu ulogu u uspješnom kodiranju i prepoznavanju sjećanja. Slično, zadaci pažnje (npr. praćenje strelica koje ukazuju gdje će se pojaviti meta) omogućavaju da se prate mreže odgovorne za usmjeravanje i preusmjeravanje pažnje, uključujući parijetalne i frontalne regije. Ovako osmišljeni eksperimenti povezuju ponašajne rezultate (tačnost, brzinu reakcije) sa moždanom aktivnošću, čime se dobija uvid u to kako kognitivni procesi funkcionišu u realnom vremenu.

zasniva na unošenju radioaktivno obilježene supstance neposredno prije obavljanja zadatka koji aktivira određene mentalne funkcije. Praćenjem raspodjele i intenziteta vezivanja supstance u različitim regijama mozga moguće je uočiti koje se strukture uključuju tokom specifičnih kognitivnih aktivnosti. Radioaktivna suspstanca se preko krvi doprema do mozga, ali se, za razliku od prirodnih metabolita, ne troši u metaboličkim procesima, već se nagomilava u aktiviranim neuronima i njima pridruženim astrocitima. Funkcionalna aktivacija određene moždane strukture tokom mentalnog procesa povećava

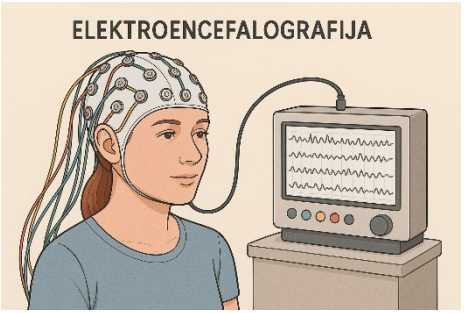
protok krvi, a time i apsorpciju i deponovanje veće količine radioaktivne probe u toj oblasti. Na primjer, u zadacima pamćenja PET registruje pojačanu aktivnost u hipokampusu i medijalnim temporalnim režnjevima; u zadacima pažnje i perceptivne obrade pojačana aktivnost se bilježi u parijetalnim režnjevima i frontalnom korteksu, dok zadaci govora i jezika najčešće angažuju Brokinu i Vernikeovu oblast. Time se dobija slika ne samo o tome koji dijelovi mozga "rade" u datom trenutku, već i o tome kako se različite regije funkcionalno povezuju i sarađuju u složenim procesima kao što su rješavanje problema ili donošenje odluka. Iako PET ima ograničenu vremensku rezoluciju i zahtijeva upotrebu radioaktivnog markera, njegova prednost je mogućnost mjerenja metaboličke aktivnosti i neurohemijskih procesa, uključujući i vezivanje specifičnih neurotransmitera. To ga čini dragocjenom metodom u kognitivnim neuronaukama jer istraživačima omogućava da povežu funkcionalnu aktivaciju mozga sa osnovnim mehanizmima pažnje, memorije, jezika i drugih složenih psihičkih procesa, te da istraže razlike između zdravih i kliničkih populacija. Ova metoda je naročito korisna za dijagnostiku neurodegenerativnih bolesti, poput Alchajmerove ili Parkinsonove, jer može otkriti promjene u metabolizmu mozga i prije pojave strukturnih oštećenja. PET ima izuzetnu vrijednost i u istraživanju epilepsije, jer omogućava lokalizaciju žarišta epileptičnih napada. Ne-

dostatak mu je invazivnost zbog upotrebe radioaktivnih supstanci, što ga čini manje pogodnim za eksperimentalna istraživanja na zdravim ispitanicima.

## Elektrofiziološke i magnetne metode

Za razliku od metoda koje prvenstveno pružaju prostornu mapu mozga, elektrofiziološke i magnetne tehnike omogućavaju izuzetno precizno praćenje vremenske dinamike neuralne aktivnosti. Njihova ključna prednost je što bilježe promjene u moždanim signalima na nivou milisekundi, čime omogućavaju istraživačima da detaljno prate tok kognitivnih procesa, od prvih trenutaka perceptivne obrade do složenijih oblika mišljenja i odlučivanja

**Elektroencefalografija (EEG)** je jedna od najstarijih i najrasprostranjenijih metoda u istraživanju mozga. Postupak podrazumijeva postavljanje elektroda na skalp ispitanika radi mjerenja slabih električnih signala koje generišu sinhronizovane aktivnosti velikog broja neurona. EEG je u širokoj kliničkoj upotrebi (dijagnostika epilepsije, poremećaja spavanja, kome i moždane smrti), ali se koristi i u eksperimentalnoj psihologiji, naročito za istraživanje pažnje, emocija i različitih stanja svijesti. Prednost EEG-a jeste njegova izuzetna vremenska rezolucija, jer je u mogućnosti da registruje promjene u neuralnoj aktivnosti na nivou milisekundi. Međutim, njegova prostorna rezolucija je relativno niska, jer se električni signal mijenja dok



prolazi kroz lobanju i tkiva, što otežava tačnu lokalizaciju izvora aktivnosti. EEG bilježi različite vrste moždanih talasa, od sporih delta talasa (0.1–3 Hz) karakterističnih za dubok san, do brzih gama talasa (25–100 Hz) povezanih sa svjesnošću, pažnjom i procesima učenja. Analiza ovih obrazaca daje uvid u funkcionalna stanja mozga.

**ERP (Event-Related Potentials)** predstavlja specijalizovanu analizu EEG signala koja se fokusira na električne promjene u mozgu izazvane određenim stimulusom ili događajem. Na primjer, prikaz riječi, slike ili zvuka može proizvesti specifične talase u moždanoj aktivnosti, kao što su P200 ili N400, koji odražavaju procese semantičke i lingvističke obrade. Jedan od najpoznatijih primjera je komponenta N400**,** koja se javlja oko 400 ms nakon prezentacije semantički neprikladne riječi (npr. „Mačka neće peći hljeb"). Ova komponenta otkriva da mozgu treba određeno vrijeme da detektuje semantičku nepravilnost, što čini ERP ključnim alatom u istraživanju i razumijevanju jezika. ERP omogućava istraživačima da precizno povežu vremenski okvir neuralnih procesa sa određenim fazama kognitivne obrade, što je posebno važno u proučavanju pažnje, donošenja odluka i perceptivnih procesa.

**Magnetoencefalografija (MEG)** mjeri magnetna polja koja nastaju kao posljedica neuronske električne aktivnosti. Za razliku od EEG-a, koji bilježi električne potencijale, MEG detektuje promjene u magnetnim poljima korišćenjem specijalno dizajniranih senzora poznatih kao SQUID uređaji (*Superconducting Quantum Interference Device*). Prednosti MEG-a u odnosu na EEG su značajne: magnetna polja manje zavise od provodljivosti tkiva, što omogućava bolju prostornu rezoluciju i precizniju lokalizaciju izvora neuralne aktivnosti. MEG se koristi u kliničkim i istraživačkim kontekstima, uključujući ma-

piranje senzornog korteksa prije neurohirurških zahvata, lokalizaciju epileptičkih žarišta i proučavanje percepcije, jezika i poremećaja poput šizofrenije. Međutim, MEG je tehnološki izuzetno zahtjevna i skupa metoda. Potrebne su posebno zaštićene prostorije kako bi se eliminisali spoljašnji magnetni šumovi, a instrumentacija je ograničena samo na visoko specijalizovane centre.

Za bolji pregled, sljedeća tabela sumira osnovne prednosti i nedostatke EEG-a, ERP-a i MEG-a:

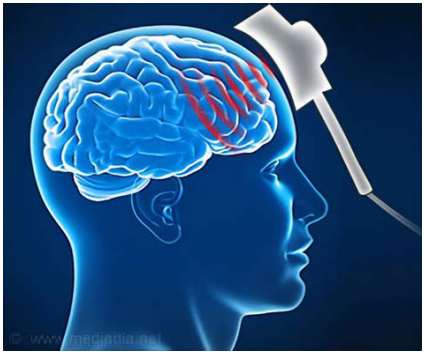
| Metoda | Prednosti | Ograničenja | Primjene |
|---|---|---|---|
| EEG | Visoka vremenska rezolucija; neinvazivno; relativno jeftino | Slaba prostorna rezolucija; teško lociranje izvora signala | Epilepsija, poremećaji spavanja, istraživanja pažnje i emocija |
| ERP | Precizan uvid u faze obrade informacija; neinvazivno | Slaba prostorna rezolucija; potreban veliki broj ponavljanja stimulusa | Istraživanja jezika, pažnje, semantike |
| MEG | Dobra prostorna i vremenska rezolucija; manje zavisi od tkiva | Veoma skupo; potrebne specijalno zaštićene sobe | Lokalizacija epileptičkih žarišta, istraživanja percepcije i jezika |

Iako elektrofiziološke i magnetne metode imaju nedostatke u pogledu prostorne preciznosti (EEG i ERP) ili cijene i dostupnosti (MEG), one su nezamjenljive kada je riječ o razumijevanju vremenskog toka kognitivnih procesa. Na primjer, kombinacija fMRI-ja (za prostornu rezoluciju) i EEG-a ili MEG-a (za vremensku rezoluciju) sve češće se koristi u istraživanjima jezika, memorije i pažnje, jer omogućava integrisanu sliku, pokazuje i gdje i kada se određena kognitivna aktivnost odvija.

## Tehnike modulacije moždane aktivnosti

Pored metoda koje omogućavaju pasivno praćenje aktivnosti mozga, kognitivne neuronauke razvile su i tehnike kojima se moždana aktivnost može direktno mijenjati. Ove metode ne samo da proširuju mogućnosti istraživanja već otvaraju i potencijalne kliničke primjene, jer omogućavaju intervencije u slučaju disfunkcionalnosti. Najznačajnije među njima su **transkranijalna magnetna stimulacija (TMS)** i **transkranijalna stimulacija jednosmjernom strujom (tDCS)**

**TMS** (**transkranijalna magnetna stimulacija**) se zasniva na principima elektromagnetne indukcije: kratki impulsi magnetnog polja generišu električne struje u moždanom tkivu, što može dovesti do privremenog povećanja ili smanjenja aktivnosti neurona u ciljanoj regiji. Elektromagnet u obliku zavojnice postavlja se na površinu glave, a efekti stimulacije su lokalizovani i reverzibilni. Prvi moderni TMS uređaj razvio je Entoni Bejker (Anthony Barker) 1985. godine u Šefildu. Od tada TMS je postao standardna istraživačka tehnika u neuronaukama i kliničkoj neurologiji. Njegova primjena se proširila od mapiranja motornih funkcija do istraživanja jezika, memorije i pažnje. TMS se koristi kao „virtuelna lezija“, jer omogućava privremeno onemogućavanje rada određene moždane oblasti. Na primjer, stimulacija prefrontalnog korteksa može ometati kratkoročnu memoriju, što potvrđuje ključnu ulogu ove regije u radnom



pamćenju. TMS je korišćen i za proučavanje vizuelne percepcije, produkcije jezika i izvršnih funkcija. Posebno značajna primjena jeste mapiranje motornih područja prije neurohirurških intervencija. Iako još uvijek nije dio rutinske terapije, repetitivna TMS (rTMS) pokazala je potencijal u liječenju depresije. Serije stimulacija prefrontalnog korteksa mogu dovesti do trajnih promjena u neuronskim mrežama, što stvara osnovu za antidepresivni efekat. Istražuju se i mogućnosti primjene kod anksioznih poremećaja, posttraumatskog stresnog poremećaja i hroničnog bola. Ipak, dugoročni efekti i optimalni protokoli još uvijek nisu dovoljno utvrđeni.

**tDCS (transkranijalna stimulacija jednosmjernom strujom)** je neinvazivna i bezbolna metoda koja koristi slab električni napon (1–2 mA) primijenjen preko elektroda postavljenih na površinu glave. Za razliku od TMS-a, tDCS ne izaziva direktnu neuralnu aktivnost, već mijenja pobuđenost neuronskih membrana, čime modifikuje vjerovatnoću da će neuroni reagovati na draž. Efekti zavise od polariteta stimulacije:

- *Anodalna stimulacija* dovodi do depolarizacije membrana i povećava aktivnost neurona.
- *Katodalna stimulacija* dovodi do hiperpolarizacije i smanjenja aktivnosti.

Na taj način, tDCS može selektivno povećavati ili smanjivati funkcionalnost određene moždane oblasti. U istraživačkom kontekstu, tDCS se koristi za mapiranje moždanih regija povezanih sa pažnjom, učenjem ili radnom memorijom. U kliničkoj primjeni, pokazao je obećavajuće rezultate kod pacijenata nakon moždanog udara, gdje se koristi za ubrzavanje oporavka motornih funkcija. Takođe se istražuje njegova efikasnost u tretmanu depresije i anksioznih poremećaja, kao i u poboljšanju

kognitivnih sposobnosti kod zdravih ispitanika. Tehnike modulisanja moždane aktivnosti predstavljaju značajan metodološki iskorak jer omogućavaju istraživačima da postavljaju pitanja uzročnosti, jer ne samo da posmatraju, već i da eksperimentalno ispituju posljedice stimulacije. Ipak, postoje značajna ograničenja i etičke dileme. Dugoročni efekti ponovljenih stimulacija nisu u potpunosti poznati, a potencijalna upotreba ovih metoda u svrhe „neuropoboljšanja" otvara čitav niz neuroetičkih pitanja. Uprkos tome, TMS i tDCS ostaju obećavajući alati kako za fundamentalna istraživanja, tako i za razvoj novih terapijskih pristupa.

## Bihejvioralne metode

Iako kognitivne neuronauke raspolažu sofisticiranim metodama snimanja i modulisanja moždane aktivnosti, ponašanje ostaje osnovni i nezaobilazni indikator kognitivnog funkcionisanja. Bihejvioralne metode omogućavaju istraživačima da izmjere kako pojedinci opažaju, pamte, uče, komuniciraju i rješavaju probleme. U kombinaciji sa drugim tehnikama, one daju cjelovit uvid u vezu između neuralnih procesa i spoljašnjih manifestacija ljudske aktivnosti.

Bihejvioralna istraživanja zasnivaju se na jasno definisanim testovima, čiji je cilj da se izoluje određeni aspekt ponašanja i poveže sa kognitivnim procesima. Na primjer, tipičan eksperiment prolazi kroz nekoliko faza:

1. *Definisanje istraživačkog pitanja* (npr. da li buka utiče na rješavanje problema?).
2. *Dizajniranje testa* (kontrola sporednih varijabli, izbor uslova i grupa).
3. *Mjerenje i ponavljanje* (prikupljanje dovoljno po-

dataka kroz više proba).

4. *Statistička analiza* (testiranje hipoteza, utvrđivanje značajnih razlika).
5. *Integracija sa neuronaučnim metodama* (npr. kombinovanje sa EEG-om ili fMRI-jem da bi se ponašajni nalazi povezali sa neuralnim korelatima)

U kliničkoj i istraživačkoj praksi koriste se standardizovane baterije testova, koje omogućavaju sistematsko mjerenje različitih kognitivnih domena:

- **Halstead–Reitan baterija**: obuhvata testove od osnovne senzorne obrade do kompleksnog rezonovanja, često se koristi za lokalizaciju lezija i procjenu posljedica povreda mozga.
- **Luria–Nebraska baterija**: brža od Halstead–Reitan baterije, pokriva dvanaest oblasti kognitivnog funkcionisanja, uključujući motoriku, pamćenje i jezičke sposobnosti.
- **IQ testovi** (npr. Vekslerove skale): procjenjuju opšte intelektualne sposobnosti i koriste se za procjenu razvojnih, neuroloških i psihijatrijskih poremećaja. Najnovija verzija za djecu, WISC-V, mjeri pet ključnih domena: verbalno rezonovanje, fluidno rezonovanje, vizuoprostornu obradu, brzinu obrade i radnu memoriju.

Ove baterije testova od posebnog su značaja za kliničku dijagnostiku, jer omogućavaju diferenciranje između različitih poremećaja i mapiranje kognitivnih profila pojedinaca.

Jedna od najvažnijih savremenih bihejvioralnih metoda jeste **praćenje pokreta očiju (eye-tracking)**. Ova tehnika mjeri kretanje oka i tačke fiksacije dok ispitanik posmatra određeni stimulus ili obavlja zadatak. Savremeni uređaji koriste infracrveno svjetlo i visoku frekvenciju uzorkovanja kako bi precizno registrovali čak i brze sakadne pokrete.

Eye-tracking omogućava istraživačima da prate pažnju i interesovanje ispitanika, što se koristi u različitim oblastima:

- u psiholingvistici, za proučavanje procesa čitanja i razumijevanja jezika;
- u kognitivnoj psihologiji, za analizu vizuelne percepcije i selektivne pažnje;
- u primijenjenim oblastima, kao što su marketing (praćenje pažnje potrošača) i saobraćajna psihologija (analiza pažnje vozača).

Bihejvioralne metode se rijetko koriste izolovano. U kombinaciji sa drugim metodama, pružaju veliko bogatstvo podataka. Na primjer, testovi pažnje se mogu kombinovati sa EEG-om radi analize P300 potencijala, dok se testovi memorije kombinuju sa funkcionalnom magnetnom rezonancom (fMRI) za identifikaciju hipokampalnih aktivacija, Na ovaj način, bihejvioralne metode omogućavaju interpretaciju neuralnih signala u kontekstu konkretnog ponašanja. Zbog toga su nezamjenljive u kognitivnim neuronaukama. Njihove prednosti uključuju relativnu jednostavnost, dostupnost i široku primenljivost. Međutim, postoje i određena ograničenja koja se ogledaju u tome što rezultati mogu biti pod uticajem sporednih varijabli, kao što su motivacija, umor i strategije rješavanja zadataka, kao i u ograničenoj ekološkoj validnosti, budući da eksperimentalni zadaci često ne odražavaju složenost svakodnevnog života. Uprkos tome, kombinovanje eksperimentalnih metoda sa neuronaučnim tehnikama pruža najpotpuniji uvid u prirodu kognitivnih procesa.

### Računarsko modelovanje – simulacija mozga i ponašanja

Savremene kognitivne neuronauke ne oslanjaju se samo na posmatranje i mjerenje moždane aktivnosti, već

koriste i računarske simulacije kao način da testiraju teorije i povežu biološke i psihološke podatke. Računarsko modelovanje omogućava stvaranje apstraktnih, ali funkcionalnih prikaza mozga i kognitivnih procesa, čime se dobija dodatna perspektiva o tome kako neuronske mreže proizvode mišljenje, pamćenje, percepciju ili učenje. Modeli se najčešće zasnivaju na konceptu vještačkih neuronskih mreža, gdje osnovne jedinice („čvorovi“) imitiraju neurone. Svaka jedinica prima ulazne signale, sabira ih i transformiše u izlaz, najčešće pomoću matematičkih funkcija. Jedinice su povezane u slojeve:

- *ulazni sloj* prima informacije iz spoljašnjeg svijeta,
- *skriveni slojevi* vrše transformacije i omogućavaju apstraktno procesiranje,
- *izlazni sloj* generiše ponašanje sistema ili predikciju.

Ponašanje mreže zavisi od težina veza između jedinica, koje određuju koliko jedan neuron utiče na drugi. Najznačajnija osobina neuronskih mreža jeste sposobnost učenja bez eksplicitnih pravila. Proces učenja zasniva se na ponovljenoj izloženosti ulaznim obrascima i prilagođavanju težina veza. Najčešći mehanizam jeste *propagacija unazad* (engl. *Backpropagation*), gdje se greška na izlazu mreže koristi za korigovanje težina, sve dok mreža ne nauči da daje tačne odgovore na nove ulaze. Ovaj proces podsjeća na neuroplastičnost mozga. Na primjer, kao što dijete spontano usvaja gramatičke obrasce jezika, tako i neuronska mreža uči pravilnosti iz skupa podataka bez eksplicitnog programiranja. Računarsko modelovanje koristi se za simulaciju različitih aspekata kognitivnog funkcionisanja:

- percepcija – modeli vizuelnih mreža pomažu u razumijevanju prepoznavanja objekata i lica
- jezik – mreže za obradu jezika simuliraju razumijevanje sintakse i semantike

- učenje i pamćenje – modeli radne memorije i dugoročnog skladištenja informacija objašnjavaju načine kodiranja i preuzimanja podataka
- odlučivanje – simulacije procesa izbora omogućavaju testiranje teorija racionalnog i heurističkog mišljenja.

Korišćenjem ovih modela istraživači mogu testirati hipoteze koje bi bilo teško ili nemoguće provjeriti u eksperimentalnim uslovima. Na primjer, moguće je simulirati efekte „lezije" u modelu i posmatrati kako se ona odražava na performanse sistema, što predstavlja analogiju sa istraživanjima u neuropsihologiji. Računarsko modelovanje donosi niz prednosti: omogućava testiranje teorija na kontrolisan i ponovljiv način, pruža vezu između bioloških mehanizama i psiholoških fenomena i otvara mogućnost predviđanja ponašanja sistema u novim uslovima. Ipak, postoje i ograničenja. Modeli su nužno uprošćeni i ne mogu u potpunosti obuhvatiti složenost mozga. Takođe, postoji rizik od „previše prilagođenih" simulacija koje dobro objašnjavaju poznate podatke, ali ne uspijevaju da generalizuju na nove situacije. Uprkos ovim izazovima, modelovanje ostaje nezaobilazna metoda u kognitivnim neuronaukama, jer omogućava integraciju teorijskih, empirijskih i bioloških nalaza.

Filler, A. (2009). The History, Development and Impact of Computed Imaging in Neurological Diagnosis and Neurosurgery: CT, MRI, and DTI. *Nature Precedings*. 10.1038/npre.2009.3267.4.

Ward, Jamie (2006) The Student's Guide to Cognitive Neuroscience New York: Psychology Press

Banich,Marie T. (2004). Cognitive Neurosciene and Neuropsychology. Housthon Mifflin Company. ISBN 0618122109

Gazzangia, Michael S.(2000). Cognitive Neuroscience. Blackwell Publishers. ISBN 0631216596

Sharma, M. Cognitive Psychology and Cognitive Neuroscience.

Sarita, Mukherjee, S., & Sharma, A. (2017). A review paper on cognitive neuroscience. In R. Prasad et al. (Eds.), *Communication and computing systems* (pp. 1065–1070). Taylor & Francis Group.

Maeda, F., & Pascual-Leone, A. (2003). Transcranial magnetic stimulation: Studying motor neurophysiology of psychiatric disorders. *Psychopharmacology, 168*(4), 359–376. https://doi.org/10.1007/s00213-002-1216-x

Jorge, R. E., Robinson, R. G., Tateno, A., Narushima, K., Acion, L., Moser, D., Arndt, S., & Chemerinski, E. (2004). Repetitive transcranial magnetic stimulation as treatment of poststroke depression: a preliminary study. *Biological psychiatry*, *55*(4), 398–405. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2003.08.017

Moates, D. R. (1980). *An introduction to cognitive psychology*. B: HRH. ISBN 4229-724-0

## Etički aspekti istraživanja u kognitivnim neuronaukama

Etika ima ključnu ulogu u svim naukama, a u neuronaukama je posebno značajna jer istraživanja mozga zadiru u identitet, slobodu i privatnost čovjeka. Zato se razvila neuroetika, posebna oblast koja razmatra proces usklađivanja naučnog napretka sa očuvanjem ljudskih prava i vrijednosti.
U ovom poglavlju razmatraju se tri cjeline: opšti principi naučne etike i njihova primjena u kognitivnim neuronaukama, istorijski razvoj etičkih normi kroz najznačajnija istraživanja i kontroverze, te savremeni izazovi poput neurološkog poboljšanja, genetske modifikacije i neuroprotetike.
Cilj poglavlja je da pokaže kako etička pitanja oblikuju praksu neuronaučnih istraživanja i zašto su ona presudna za očuvanje povjerenja u nauku i njen doprinos društvu.

Etika je grana filozofije koja se bavi proučavanjem moralnih vrijednosti, normi i principa koji regulišu ljudsko ponašanje. Pitanja etike postavljaju se kada dolazi do sukoba između različitih vrijednosti i interesa, te se temelje na razlikovanju između dobrog i lošeg, ispravnog i pogrešnog. Etika, dakle, razmatra kako bi ljudi trebali da se ponašaju u različitim situacijama i kako se donose odluke u životu koje imaju moralne posljedice. U kontekstu nauke, etika postavlja smjernice koje osiguravaju da istraživanje bude sprovedeno u skladu sa moralnim normama i vrijednostima društva. Naučna etika obuhvata širok spektar pitanja, uključujući pristup podacima, sigurnost ispitanika, autentičnost i transparentnost istraživanja. U svim granama nauke, istraživači su dužni da postupaju u najboljem interesu ljudi i društva, vodeći se etičkim principima koji štite ljudsku dobrobit. Kognitivne neuronauke, kao oblast koja proučava strukture i procese u ljudskom mozgu, suočavaju se sa specifičnim etičkim izazovima. Na primjer, korišćenje metoda kao što su neuroimaging (fMRI, PET skeneri) može potencijalno

ugroziti privatnost ispitanika, jer se mogu analizirati mentalni procesi koji uključuju lične i emocionalne aspekte. Zato je ključno da istraživači u ovoj oblasti primjenjuju stroge etičke smjernice, kao što su informisani pristanak, povjerljivost podataka, i minimizacija potencijalne štete za ispitanike. Takođe, eksperimenti koji uključuju manipulaciju sa moždanim funkcijama, kao što su primjena elektrošokova ili duboke stimulacije mozga, donose izazove u pogledu pitanja ljudskih prava, poštovanja autonomije ispitanika i mogućih neželjenih efekata. Istraživanja u ovoj oblasti moraju biti dizajnirana u skladu sa najvišim etičkim standardima kako bi se obezbijedila zaštita prava ispitanika i minimalizovali potencijalni rizici (Illes & Sahakian, 2006).

Etika je temelj za očuvanje javnog povjerenja u naučna istraživanja. Kada istraživači i institucije krše etičke norme, to može imati ozbiljne posljedice, ne samo za rezultate istraživanja, već i za šire društvo. Skandali poput manipulacije podacima (npr. komercijalizacija naučnih istraživanja, plagijatorstvo) mogu ozbiljno narušiti povjerenje javnosti u naučne procese i ustanove (Resnik, 2015). Transparentnost, odgovornost i nepristrasnost u naučnom istraživanju osiguravaju da istraživanja bude provjerena i verifikovana, čime se stvara prostor za javnu validaciju naučnih nalaza. U cilju očuvanja integriteta naučnih istraživanja, postoje etičke komisije i protokoli koji prate primjenu etičkih principa. Na primjer, u mnogim zemljama postoje nacionalni i međunarodni etički standardi koji definišu obavezne smjernice za istraživanje u oblasti neurologije i psihologije, uključujući i zaštitu privatnosti i informisani pristanak (Council for International Organizations of Medical Sciences [CIOMS], 2016). Bez etičkih smjernica, naučna istraživanja mogu izgubiti svoju

društvenu vrijednost i legitimitet, a povjerenje u nauku može biti ozbiljno poljuljano. U tom smislu, etički principi služe kao neophodan okvir za osiguranje da nauka bude u službi ljudskih prava, dobrog života i napretka društva.

## Istorija etičkih principa u neuronaukama

Razumijevanje etičkih principa u neuronaukama razvijalo se kroz istoriju, u skladu sa napretkom u tehnološkim inovacijama i istraživačkim metodama. Neuronauke su se kroz vrijeme suočavale sa brojnim etičkim izazovima, posebno u pogledu ljudskih eksperimenata i novih terapeutskih pristupa. Od pionira koji su postavili temelje neuronaučnih disciplina, do kontroverznih eksperimenta koji su izazvali javne diskusije o granicama etičkog istraživanja, evolucija neuronauka jasno pokazala da je neophodno stalno preispitivanje etičkih normi i principa.

Počeci neuronauka datiraju još iz 19. vijeka, kada su pioniri poput Paula Broce, Carlosa Wernickea i Wildera Penfielda (koje smo već spominjali) postavili temelje savremenog razumijevanja neuroloških funkcija, koristeći inovativne metode istraživanja. U tom periodu, etičke norme nisu bile toliko razvijene kao danas, a mnogi istraživači su se fokusirali na anatomiju i fiziologiju mozga bez dubljeg razmatranja etičkih implikacija njihovih istraživanja.

Istraživanja Paula Broca temeljila su se na analizi mozgova ljudi koji su preminuli, što se smatralo tada etički prihvatljivim, iako današnje prakse nalaze problematičnim nedostatak pristanka živih ispitanika. Isto važi i za Carlosa Wernickea, koji je istraživao afaziju. Iako su njegova otkrića imala ogroman uticaj, istraživanja koja su obuhvatala postmortalne analize mozga postavljaju etička pitanja u

vezi sa poštovanjem ljudskih prava i dostojanstva.

Wilder Penfield, koji je razvio tehniku stimulacije mozga kroz operativne intervencije, takođe je postavio temelje za razumijevanje neurofiziologije. Penfield je izvodio hirurške zahvate na pacijentima sa epilepsijom kako bi istraživao funkcionalne oblasti mozga. Iako su njegovi eksperimenti bili presudni za neuronauku, postavlja se pitanje da li su pacijenti bili dovoljno informisani o rizicima tih intervencija, jer etičke smjernice o informisanom pristanku nisu bile u potpunosti razvijene.

Tokom 20. vijeka, razvoj novih tehnoloških metoda u neuronaukama doveo je do ozbiljnih etičkih dilema, posebno u pogledu pristupa ljudskim mozgovima i njihovim funkcijama. Jedan od najkontroverznijih perioda bio je era lobotomije, kada su neurohirurzi koristili hirurške zahvate za "lječenje" mentalnih bolesti. Lobotomija je postala popularna metoda za tretman shizofrenije i drugih psihijatrijskih poremećaja, a izvođena je bez dovoljno objašnjavanja rizika pacijentima ili njihovim porodicama. Ovaj postupak je često imao ozbiljne posljedice po pacijente, uključujući trajnu mentalnu i fizičku disfunkciju, zbog čega je kasnije zabranjen. Slično tome, elektrokonvulzivna terapija (ECT), iako je u mnogim slučajevima korisna, bila je predmet etičkih kritika. U početnim fazama primjene, ECT se koristila bez odgovarajuće kontrole i uz minimalnu informisanost o potencijalnim neželjenim efektima. Kritičari su ukazivali na to da je terapija često bila primjenjivana kao oblik kontrole i „disciplinovanja" pacijenata, što postavlja ozbiljna etička pitanja o poštovanju njihovih prava i autonomije. U savremenim neuronaučnim istraživanjima, razvoj tehnologija poput neuroimaging (fMRI, PET skeneri) i neuroimplantata otvara nova etička pitanja. Tehnike kao što je funkcionalna magnetna rezonanca

(fMRI) omogućavaju istraživačima da neinvazivno prate aktivnosti mozga, što postavlja pitanje kako se ovi podaci mogu zloupotrijebiti, na primjer, u komercijalne ili pravne svrhe. Takođe, implantacija neurostimulatora ili drugih uređaja koji utiču na moždane funkcije otvara pitanje gdje treba postaviti granicu u vezi sa manipulacijom ljudskim mozgom.

Istorija neuronaučnih istraživanja sadrži brojne kontroverze i skandale, posebno u vezi sa eksperimentima na ljudima, kao i sa upotrebom psihotropnih supstanci. Jedan od najpoznatijih skandala u neuronaukama bio je *Tuskegee eksperiment*, koji je trajao od 1932. do 1972. godine i u kojem su se Afroamerički muškarci sa sifilisom pratili, ali nisu tretirani, kako bi istraživači proučavali tok bolesti. Ovaj eksperiment postavio je temelje za ozbiljna pitanja o etici istraživanja na ljudskim subjektima, uključujući nesposobnost istraživača da obezbijede informisani pristanak i da poštuju ljudska prava. Još jedan kontroverzan eksperiment bio je MKUltra projekat CIA-e tokom Hladnog rata, kada je korišćena psihotropna supstanca LSD na subjektima u cilju istraživanja kontrole uma i uticaja droga na ljudski mozak. Iako su ovi eksperimenti bili tajni, kasniji izvještaji su izazvali ogorčenje zbog kršenja etičkih standarda i ljudskih prava, kao i ozbiljnih posljedica po zdravlje i integritet učesnika. Iz istorijskog pregleda razvoja etičkih principa u neuronaukama jasno je da su etičke norme evoluirale zajedno sa naučnim napretkom. Dok su rani neurolozi radili u kontekstu manje razvijenih etičkih smjernica, savremena neuronauka se suočava sa novim i kompleksnijim izazovima, koji zahtijevaju temeljnu primjenu etičkih principa kako bi se zaštitili ljudska prava, integritet istraživanja i dobrobit pacijenata. Usmjeravanje neuronaučnih istraživanja ka poštovanju etičkih normi

postalo je neophodno za očuvanje povjerenja u nauku i medicinu.

## Savremeni izazovi u etici kognitivnih neuronauka

Kognitivne neuronauke su u posljednjim decenijama doživjele značajan tehnološki napredak, koji je otvorio nove horizonte u razumijevanju ljudskog mozga i njegovih funkcija. Ipak, sa ovim napretkom dolaze i brojni etički izazovi koji postavljaju pitanja o granicama primjene ovih novih tehnologija. Od neuropoboljšanja do genetske modifikacije i neuroprotetike, razvoj novih tehnologija donosi sa sobom ozbiljna pitanja o tome kako i u kojoj mjeri možemo koristiti ove inovacije, a da ne ugrozimo ljudska prava, slobodu i privatnost. Takođe, *neuroetika*, kao nova grana etičkog istraživanja, sve više postaje relevantna, jer nastoji da odgovori na pitanja o tome šta je etički prihvatljivo kada je u pitanju manipulacija ljudskim mozgom i ponašanjem.

Jedan od najistaknutijih izazova u savremenim kognitivnim neuronaučnim istraživanjima je upotreba tehnologija za neurološko poboljšanje. Ovaj fenomen obuhvata primjenu različitih tehnologija u cilju poboljšanja kognitivnih sposobnosti, kao što su pamćenje, koncentracija, pažnja ili emocionalna stabilnost. Tehnike za neurostimulaciju, fMRI uređaji, kao i upotreba farmaceutskih supstanci (npr. modafinil) kako bi se poboljšale mentalne funkcije, pokreću važno etičko pitanje: gdje treba povući granicu između terapije i unapređenja sposobnosti? U današnjem društvu, u kojem se sve više traži mentalna agilnost i produktivnost, ovo pitanje postaje izuzetno relevantno. Mnogi autori i naučnici se pitaju da li je moralno ili čak prihvatljivo koristiti tehnologije za poboljšanje

ljudskih sposobnosti, posebno u kontekstu socijalnih nejednakosti koje ove tehnologije mogu izazvati, ako samo bogati i privilegovani imaju pristup tim tehnologijama? Pored toga, genetska modifikacija i neuroprotetika donose nove izazove u pogledu etičkog pristupa. Genetska modifikacija u kontekstu kognitivnih sposobnosti, na primjer, putem CRISPR tehnologije, omogućava uređivanje ljudskog genoma kako bi se poboljšale mentalne funkcije, ali ovo nosi rizik od nepredvidivih posljedica, kao što su neetička selektivna modifikacija ili diskriminacija. Korišćenje neuroprotetika, kao što su vještački implantati za poboljšanje motoričkih funkcija ili čak uređaji koji utiču na kognitivne sposobnosti, može izazvati pitanja o autonomiji i prirodi ljudskog identiteta, jer se postavlja pitanje da li smo još uvijek „ljudi" kada počnemo da zamjenjujemo ili poboljšavamo biološke sisteme putem tehnologije.

Pored tehničkih i pravnih izazova, postoji i pitanje kako se neuronaučna saznanja primjenjuju u popularnoj kulturi i medijima. Kognitivne neuronauke, zahvaljujući svojim spektakularnim otkrićima, postale su izvor inspiracije za mnoge filmske i televizijske produkcije. Popularni filmovi i knjige često prikazuju moćne neurološke tehnologije koje omogućavaju poboljšanje ljudskih sposobnosti, što izaziva i pozitivne i negativne reakcije u društvu. Na primjer, filmovi poput „Limitless" i knjige koje se bave ovom tematikom često prikazuju tehnologije koje omogućavaju „neograničene" ljudske sposobnosti, što može stvoriti utisak da je sve moguće i da bi svi trebalo da teže toj vrsti poboljšanja.

Međutim, ova umjetnička vizija može imati negativne posljedice jer može dovesti do simplifikacije i idealizacije tehnologija koje su još uvek neprovjerene i nepotpuno shvaćene. Takođe, može se stvoriti „kultura poboljšanja",

u kojoj ljudi počinju da se osjećaju kao da moraju koristiti ove tehnologije kako bi postigli određeni nivo uspjeha, što može izazvati stres i socijalnu nepravednost. Takođe, u medijima se često ne razmatraju potencijalni rizici i etičke dileme koje ove tehnologije nose sa sobom, čime se može stvoriti pogrešan utisak o njihovoj sigurnosti i prihvatljivosti. Savremeni izazovi u etici kognitivnih neuronauka su mnogobrojni i kompleksni. S napretkom novih tehnologija, kao što su neuropoboljšanje, neuroprotetika i genetska modifikacija, postavlja se pitanje gdje treba postaviti granicu između terapije i poboljšanja. Takođe, etičke dileme u vezi sa privatnošću podataka i manipulacijom ljudskim mozgom postaju centralna tema, dok se u popularnoj kulturi i medijima često zanemaruju rizici koje ove tehnologije mogu nositi. Kako bi se odgovorilo na ove izazove, potrebna je pažljiva i odgovorna primjena etičkih principa, koji će balansirati naučni napredak sa zaštitom ljudskih prava, privatnosti i integriteta.

## Etički principi i procedure u istraživanjima sa ljudima

Istraživanje u kognitivnim neuronauka sa ljudskim subjektima nosi sa sobom visoke etičke zahtjeve, jer direktno utiče na ljudske subjekte, njihove misli, ponašanja, kao i fizičko i mentalno zdravlje. U oblasti neuronauka, gdje istraživanja mogu obuhvatiti korišćenje naprednih tehnologija, ključno je pridržavati se etičkih principa koji osiguravaju da istraživanje bude sprovedeno uz poštovanje ljudskih prava i integriteta ispitanika. Na neki način, etički principi djeluju kao zaštitna mreža za ispitanike, garantujući da njihova prava, sigurnost i dobrobit budu u prvom planu. Osnovni etički principi su:

1. *Autonomija ispitanika:* osnovni princip u etici istraživanja sa ljudskim subjektima koji podrazumijeva pravo svakog pojedinca da samostalno i informisano odluči o svom učešću u istraživanju. Ovaj princip osigurava da ispitanici nisu podložni manipulaciji i da mogu slobodno odlučiti da li žele učestvovati u istraživanju, s obzirom na sve relevantne informacije.
2. *Poštovanje privatnosti i povjerljivosti*: svaki eksperiment mora imati jasno definisane procedure za zaštitu podataka i poverljivost informacija, kao i jasne smjernice o tome ko ima pristup podacima i u kojim okolnostima.
3. *Pravo na informisani pristanak*: ispitanici moraju dobiti sve potrebne informacije na jeziku koji je njima razumljiv, tako da mogu donijeti odluku da li žele učestvovati u istraživanju. Pravo na informisani pristanak takođe podrazumijeva da ispitanik može u bilo kojem trenutku povući svoju saglasnost bez posljedica, što je posebno važno u istraživanjima koja koriste napredne tehnologije, koje mogu izazvati nepredviđene ili neprijatne efekte.
4. *Zaštita od fizičke i psihičke štete*: jedan od ključnih etičkih principa je da istraživači preduzmu sve mjere predostrožnosti kako bi minimalizovali rizike i štetu, kako fizičku, tako i psihičku. Ispitanici moraju biti u potpunosti obaviješteni o mogućim nuspojavama i rizicima, a istraživači imaju dužnost da pruže potrebnu zaštitu i intervenciju u slučaju da se šteta dogodi tokom istraživanja. Pored toga, istraživači moraju osigurati adekvatnu psihološku i medicinsku podršku tokom i nakon eksperimenta.

Prije nego što se istraživanje sa ljudskim subjektima sprovede, potrebno je dobiti odobrenje od odgovarajuće etičke komisije. Etičke komisije, koje se obično sastoje od stručnjaka iz oblasti psihologije, medicine, prava i drugih relevantnih disciplina, imaju zadatak da pregledaju istraživanje i procijene da li ono ispunjava sve etičke standarde. Proces etičkog odobrenja podrazumijeva detaljnu evaluaciju dizajna istraživanja, procedura u vezi sa zaštitom prava ispitanika, kao i eventualnih rizika koji mogu nastati. Transparentnost u izvještavanju, uključujući sve informacije o metodologiji, procedurama i potencijalnim posljedicama za ispitanike, predstavlja ključni faktor u procesu odobrenja. Istraživači su dužni da pripreme detaljan izveštaj o istraživačkom dizajnu, koji će biti razmatran od strane komisije. Ovaj izveštaj treba da obuhvati sve aspekte istraživanja, od ciljeva, metoda, do zaštite privatnosti i sigurnosti ispitanika. Kroz transparentnost, istraživači ne samo da omogućavaju etičkoj komisiji da odobri eksperiment, već i da pokažu javnosti da su istraživanja sprovedena u skladu sa visokim etičkim standardima. Važno je spomenuti da prilikom dizajniranja eksperimenata u kognitivnim neuronaukama, istraživači slijede etičke smjernice koje omogućavaju zaštitu prava i dobrobiti ispitanika.

## Etička pitanja u eksperimentima sa životinjama

Upotreba životinja u istraživanjima, naročito u kognitivnim neuronaukama, ima dugu istoriju, koja je oblikovana razvojem naučnih metoda i napretkom u razumijevanju funkcionisanja nervnog sistema. Iako su eksperimenti sa životinjama u mnogim slučajevima dali neprocjenjive uvide u biološke procese, etička pitanja koja se odnose

na dobrobit životinja i nužnost ovih istraživanja ostaju kontroverzna. Korišćenje životinja u istraživanjima nije novost. Već od kraja 19. i početka 20. vijeka, životinje su korišćene kao modeli za razumijevanje ljudskog ponašanja i fizioloških procesa. Poznati psiholog Ivan Pavlov, na primjer, izveo je svoja slavna istraživanja o uslovljavanju na psima, otkrivajući osnovne zakone učenja koji su kasnije postali temelj mnogih teorija u psihologiji. Kroz decenije, životinje, uključujući majmune, štakore, miševe i druge vrste, korišćene su za istraživanja u kognitivnim neuronaukama, neurofiziologiji, kao i za razvoj lijekova i tretmana. Eksperimenti sa majmunima, na primjer, postavili su temelje za razumijevanje viših mentalnih funkcija, dok su miševi i štakori često korišćeni za istraživanje fizioloških odgovora na različite stimuluse. Ovo je omogućilo napredak u razumijevanju neuroloških bolesti, kao što su Parkinsonova i Alchajmerova bolest, pa čak i za razvoj novih tretmana i lijekova za te poremećaje.

S obzirom na sve veću svijest o pravima životinja, postavljanje etičkih granica u eksperimentima sa životinjama postalo je imperativ. U posljednjim decenijama, naučnici i zakonodavci usmjerili su pažnju na izradu smjernica koje omogućavaju da eksperimentisanje sa životinjama bude ne samo naučno opravdano, već i etički prihvatljivo. U mnogim zemljama, uključujući Evropsku uniju, Sjedinjene Američke Države i druge razvijene regione, zakoni o zaštiti životinja osiguravaju da eksperimenti sa životinjama budu izvedeni prema strogim etičkim standardima. Evropska unija ima usvojenu Direktivu 2010/63/EU, koja nalaže da svi eksperimenti sa životinjama moraju biti opravdani naučnim interesom i da ne postoji alternativa koja bi mogla da postigne iste rezultate. Takođe, svi eksperimenti sa životinjama moraju biti odobreni od

strane etičkih komisija i izvršeni u skladu sa pravilima humane obrade životinja, koja uključuju minimalizaciju bola, patnje i stresa tokom istraživanja (European Parliament, 2010).

Jedan od principa koji se često primjenjuje u neuronaučnim istraživanjima je 3R princip – zamjena (*Replacement*), smanjenje (*Reduction*), i poboljšanje (*Refinement*). Ovaj princip je razvijen kako bi se smanjio broj životinja koje se koriste u istraživanjima, kao i da bi se osigurala njihova dobrobit. Zamjena podrazumijeva korišćenje alternativnih metoda, kao što su računarske simulacije ili in vitro tehnike, kada god je to moguće. Smanjenje znači korišćenje najmanjeg broja životinja potrebnog da bi se dobili validni rezultati. Poboljšanje se odnosi na modifikaciju istraživačkih metoda tako da se životinjama smanji patnja i stres tokom eksperimenta.

Prednost istraživanja na životinjama se ogleda u tome što se mnoge neurološke bolesti i poremećaji, kao što su Parkinsonova i Alchajmerova bolest, mogu bolje razumijeti kroz eksperimente sa životinjama, jer omogućavaju istraživanje uzroka bolesti, razvoja i efekata tretmana u kontrolisanim uslovima. Takođe, u mnogim slučajevima, životinjski modeli omogućavaju simulaciju ljudskih neuroloških stanja na način koji bi bio etički neprihvatljiv u istraživanju na ljudima. S druge strane, kritičari ovih eksperimenata ističu da životinjski modeli često ne pružaju adekvatne ili precizne informacije o ljudskim bolestima. Razlike u biologiji između ljudi i životinja mogu dovesti do netačnih ili nerelevantnih rezultata. Osim toga, mnogi naučnici smatraju da bi razvoj alternativnih metoda mogao smanjiti potrebu za životinjskim eksperimentima, kao što su napredne tehnike in vitro, računarske simulacije i primjena ljudskih matičnih ćelija.

Pitanje dobrobiti životinja u istraživanjima postavlja etičke dileme koje se ne mogu lako riješiti. Upotreba invazivnih tehnika, kao što su elektrošokovi, lezije na mozgu, ili dugoročno izlaganje stresorima, često podrazumijeva ozbiljan fizički ili psihički bol za životinje. Iako postoje zakonski okviri koji nastoje da minimiziraju ovu štetu, postoji realna zabrinutost da istraživanja koja previđaju dobrobit životinja mogu biti etički neprihvatljiva, posebno kada postoji sumnja da dobijeni rezultati mogu biti previše spekulativni ili primijenjeni u kontekstu koji nije dovoljno opravdan.

## Zakonodavni i etički okvir

Kako bi se obezbijedila zaštita podataka u neuronaučnim istraživanjima, neophodno je pridržavati se postojećih zakonskih i etičkih okvira. U Evropskoj uniji, Opšta uredba o zaštiti podataka (GDPR) pruža jasne smjernice o tome kako se podaci o ličnosti, uključujući neurološke i genetske podatke, moraju prikupljati, čuvati i dijeliti. Takođe, etičke komisije i odbori za zaštitu privatnosti igraju ključnu ulogu u nadgledanju i odobravanju istraživanja koja koriste osjetljive podatke, kako bi se osigurala njihova sigurnost i zaštita prava ispitanika (European Commission, 2016). Regulativa u oblasti neuronaučnih istraživanja, kao i u svim drugim granama nauke koje se bave ljudskim bićima, zasniva se na nekoliko ključnih principa: zaštita ljudskih prava, privatnost podataka, obaveza informisanog pristanka, kao i etičke smjernice za eksperimentisanje sa životinjama. Evropska unija ima nekoliko ključnih zakonodavnih alata i smjernica koji se odnose na etičke i pravne aspekte naučnih istraživanja, uključujući neuronaučna istraživanja. Najvažniji pravni akti su:

1. *Opšta uredba o zaštiti podataka (GDPR)*: Ovaj zakon, koji je stupio na snagu 2018. godine, postavlja visoke standarde za zaštitu privatnosti i sigurnost ličnih podataka. GDPR se primjenjuje na sve organizacije koje prikupljaju ili obrađuju podatke građana EU, uključujući neurološke podatke, koji se smatraju osjetljivim informacijama (European Commission, 2016).

2. *Evropska konvencija o ljudskim pravima i ljudsko dostojanstvo u biologiji i medicini*: Ova konvencija usvojena je od strane Savjeta Evrope 1997. godine, a njena osnovna svrha je da obezbijedi ljudska prava u kontekstu biomedicinskih istraživanja, uključujući neuronauke.

3. *Direktiva EU 2010/63/EU o zaštiti životinja koje se koriste u naučne svrhe*: Ova direktiva ima za cilj da obezbijedi etičku primjenu životinjskih eksperimenata u EU. Direktiva nalaže da se koriste metode koje minimiziraju bol i patnju životinja, kao i da se eksperimenti sprovedu samo kada su nužni za napredak nauke.

Sjedinjene Američke Države imaju specifične zakone koji regulišu istraživanja u neuronaukama, a dva najvažnija su HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act) i Common Rule.

1. HIPAA: Ovaj zakon štiti privatnost zdravstvenih podataka i primenjuje se na zdravstvene organizacije, osiguravajuće kompanije i sve druge entitete koji se bave zdravstvenim informacijama. HIPAA nalaže da se podaci o mentalnim i fizič-

kim bolestima, uključujući neurološke podatke, moraju čuvati sa najvišim nivoom povjerljivosti.

2. Common Rule: Ovaj zakon reguliše istraživanja koja uključuju ljudske subjekte. Definiše etičke smjernice za obavezni informisani pristanak, obavezne revizije od strane etičkih komisija, kao i minimizaciju rizika za ispitanike. Common Rule je posebno važan za neuronaučna istraživanja jer se odnosi na istraživanja koja uključuju ljudske podatke, uključujući neurološke, psihijatrijske i genetske informacije.

## Specifičnosti zakonodavstva u Bosni i Hercegovini, Hrvatskoj i Srbiji

U Bosni i Hercegovini, Hrvatskoj i Srbiji, zakonodavni okvir koji reguliše neuronaučna istraživanja u velikoj meri se temelji na zakonima i regulativama EU, ali postoje i specifičnosti u svakom od ovih zemalja.

1. Bosna i Hercegovina: Zakonodavni okvir u Bosni i Hercegovini u oblasti ljudskih prava, zaštite privatnosti i etičkih istraživanja postavljen je kroz Zakon o zaštiti ličnih podataka i Zakon o ljudskim pravima. Takođe, Bosna i Hercegovina usklađuje zakonodavstvo sa evropskim normama i zakonima, ali još uvijek postoji potreba za daljim unapređenjem zaštite podataka i uvođenjem etičkih smjernica za istraživanja sa životinjama i ljudima (BiH Data Protection Agency, 2016).
2. Hrvatska: Hrvatska ima razvijen zakonodavni okvir koji uključuje Zakon o zaštiti osobnih podataka i Zakon o biomedicinskim istraživanjima. Kao

članica EU, Hrvatska se striktno pridržava smjernica EU u vezi sa privatnošću i etikom u istraživanjima. Zakonodavstvo u Hrvatskoj takođe uključuje obaveznu upotrebu etičkih komisija i poštovanje principa informisanog pristanka (Republika Hrvatska, 2018).

3. Srbija: Srbija, kao i ostale bivše jugoslovenske zemlje, usklađuje svoj zakonodavni okvir sa međunarodnim normama, ali još uvijek postoje određene izazovi u implementaciji standarda zaštite podataka. Zakon o zaštiti podataka o ličnosti i Zakon o biomedicinskim istraživanjim**a** osiguravaju zaštitu ljudskih prava u istraživanjima, ali postoje poteškoće u pogledu implementacije etičkih smjernica i transparentnosti u prikupljanju podataka (Zakon o zaštiti podataka o ličnosti, 2018).

Etička dimenzija u neuronaučnim istraživanjima predstavlja osnovu na kojoj počiva odgovorno sticanje i primjena novih znanja. Istraživači su stalno u poziciji da balansiraju između naučne radoznalosti, koja ih podstiče da otkrivaju nove mehanizme i razvijaju teorije, i etičkih principa koji zahtijevaju poštovanje prava, privatnosti i dobrobiti ispitanika, kao i šireg društvenog interesa. Ovaj balans nije nimalo jednostavan, jer ista otkrića mogu donijeti ogromne koristi (bolje razumijevanje mozga, efikasnije tretmane i prevenciju poremećaja) ali i otvoriti prostor za rizike, kao što su stigmatizacija pojedinaca, zloupotreba podataka ili pretjerana komercijalizacija. Zato je od ključne važnosti da istraživači jasno komuniciraju sa širom javnošću, ne samo o svojim rezultatima, već i o njihovom značaju, ograničenjima i mogućim implikacijama. Javnosti se ne smiju plasirati sadržaji koji bi doveli do nerealnih očekivanja u pogledu brzog izlječenja primjenom

novih biotehnologija, poboljšanja izvan vlastitih granica i stvaranja nevjerovatnih sposobnosti. Stoga je pored poštovanja etičkih principa u sprovođenju istraživanja, neophodno poštovati i principe odgovornosti i objektivnosti u prezentovanju rezultata koji iz njih proizlaze.

Aristotle. (2004). *Nicomachean Ethics*. Translated by W. D. Ross. In The Complete Works of Aristotle, Volume 2. Princeton University Press.

Bentham, J. (1789). *An Introduction to the Principles of Morals and Legislation*. W. Pickering.

CIOMS (Council for International Organizations of Medical Sciences). (2016). *International Ethical Guidelines for Biomedical Research Involving Human Subjects*. CIOMS.

Illes, J., & Sahakian, B. J. (2006). Neuroethical issues in neuroimaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(8), 1184–1190.

Kant, I. (1785). *Groundwork for the Metaphysics of Morals*. Translated by H. J. Paton. Harper & Row.

MacIntyre, A. (1981). *After Virtue*. University of Notre Dame Press.

Resnik, D. B. (2015). *Ethical Issues in Biomedical Research*. Oxford University Press.

Fink, M. (2007). *Electroconvulsive therapy: A review of the literature*. The Journal of Clinical Psychiatry, 68(7), 1045-1052.

Guggenheim, D. (2017). *The MKUltra Experiments: The CIA's Secret Program of Mind Control*. New York Times.

Illes, J., Sahakian, B. J., & Racine, E. (2006). *Neuroethics in the age of neuroscience*. Neuron, 50(3), 389-391.

Jones, J. H. (1993). *Bad Blood: The Tuskegee Syphilis Experiment*. Free Press.

Penfield, W., & Jasper, H. H. (1954). *Epilepsy and the functional anatomy of the human brain*. Little, Brown and Company.

Valenstein, E. S. (1986). *Blaming the Brain: The Truth About Drugs and Mental Health*. The Free Press.

Buchanan, A. (2011). *Beyond Humanity? The Ethics of Neuro-enhancement*. Oxford University Press.

Harris, J. (2007). *Enhancing Evolution: The Ethical Case for Making Better People*. Princeton University Press.

Illes, J., & Sahakian, B. J. (2006). *Neuroethics in the age of neuroscience*.

Neuron, 50(3), 389-391.
Radin, J. (2013). *The Ethical Brain: The Science of Our Moral Dilemmas*. HarperCollins.
Sandel, M. (2007). *The Case Against Perfection: Ethics in the Age of Genetic Engineering*. Harvard University Press.
Beauchamp, T. L., & Childress, J. F. (2019). *Principles of Biomedical Ethics* (8th ed.). Oxford University Press.
Faden, R. R., Beauchamp, T. L., & King, N. M. (1986). *A History and Theory of Informed Consent*. Oxford University Press.
Miller, F. G., & Wertheimer, A. (2009). *The Ethics of Human Research: A Guide for Research Ethics Committees*. Oxford University Press.
Resnik, D. B. (2012). *The Ethics of Science: An Introduction*. Routledge.
European Parliament. (2010). *Directive 2010/63/EU on the protection of animals used for scientific purposes.* Official Journal of the European Union.
Flecknell, P. (2016). *Laboratory Animal Anesthesia* (4th ed.). Academic Press.
Kuffler, S. W. (1999). *Neuroscience: A History of Its Origins and Development*. Oxford University Press.
Olson, L. (2008). *Animal Models of Disease: Scientific and Ethical Considerations*. Bioethics, 22(6), 322-327.
Pavlov, I. P. (1927). *Conditioned Reflexes*. Oxford University Press.
Russell, W. M. S., & Burch, R. L. (1959). *The Principles of Humane Experimental Technique*. Methuen.
European Commission. (2016). *General Data Protection Regulation (GDPR)*. Official Journal of the European Union.
Pescosolido, B. A., Martin, J. K., Long, J. S., Medina, T. L., & Phelan, J. C. (2010). *The "Backbone" of Stigma: Identifying the Global Core of Public Prejudice Associated with Mental Illness*. American Journal of Public Health, 100(2), 431-438.
Sweeney, L. (2002). *k-anonymity: A Model for Protecting Privacy*. International Journal on Uncertainty, Fuzziness, and Knowledge-based Systems, 10(5), 557-570.
Wright, D., Mccarthy, P., & Bunnell, T. (2008). *Genetic Discrimination: A Review of the Ethical, Legal, and Social Issues*. Human Genetics, 123(5), 581-590.
BiH Data Protection Agency. (2016). *Zakon o zaštiti ličnih podataka*.
European Commission. (2016). *General Data Protection Regulation (GDPR)*. Official Journal of the European Union.

Phelan, J. C. (2010). *The "Backbone" of Stigma: Identifying the Global Core of Public Prejudice Associated with Mental Illness*. American Journal of Public Health, 100(2), 431-438.

Republika Hrvatska. (2018). *Zakon o biomedicinskim istraživanjima*.

U.S. Department of Health and Human Services. (2003). *HIPAA: Health Insurance Portability and Accountability Act*.

Zakon o zaštiti podataka o ličnosti, 2018. (Službeni glasnik Republike Srbije).

Beauchamp, T. L., & Childress, J. F. (2001). *Principles of biomedical ethics*. Oxford University Press.

Borenstein, J. (2017). *Ethical Issues in the Development of Neuroprosthetics*. Journal of Neuroethics, 10(3), 291-298.

European Commission. (2016). *General Data Protection Regulation (GDPR)*. Official Journal of the European Union.

Fry, C. L. (2005). *Ethical challenges in neuroscience research*. Journal of Neuroscience, 25(6), 264-270.

Ioannidis, J. P. (2005). *Why most published research findings are false*. PLoS Medicine, 2(8), e124.

Nuffield Council on Bioethics. (2004). *The ethics of research involving animals*. Nuffield Council on Bioethics.

Perry, D. (2016). *Ethical Considerations in Neuroscience Research: Balancing Progress and Responsibility*. Ethics & Medicine, 32(1), 23-30.

Resnik, D. B. (2010). *Ethical issues in the use of animals in research*. The Journal of Clinical Investigation, 120(6), 2297-2304

## Završna razmatranja

Na prethodnim stranicama ove knjige dat je pregled osnovnih pojmova iz oblasti kognitivnih neuronauka i pitanja na koja one nastoje odgovoriti. Želja autora je bila da se čitaoci upoznaju sa jednim novim pristupom razumijevanju čovjeka, koji ne samo da nudi određene odgovore na brojna pitanja, već i otvara mnoga druga koja će u budućnosti biti istražena. Kognitivne neuronauke su fokusirane na neuralne osnove kognitivnih procesa i pratećeg ponašanja, čim se kao centralna jedinica proučavanja izdvaja mozak. To je najsloženiji organ u ljudskom tijelu, ali i glavni kontrolor sveukupnog djelovanja. Međutim, interes za mozak i njegove funkcije nije nov. Njega pronalazimo i kod antičkih filozofa, tako da su čitaocima ponuđeni i počeci analize njegove uloge i značaja u životu čovjeka. Kao što se i u psihologiji, posebno kognitivnoj psihologiji može prepoznati filozofsko naslijeđe, tako se i kognitivne neuronauke oslanjaju na ranu naučnu misao. Nakon upoznavanja sa filozofskim korijenima, čitaocima su prezentovane osnovne anatomske i funkcionalne karakteristike mozga. Tekst je oblikovan tako da bude razumljiv i onima koji nemaju prethodno znanje iz neuronauka, a jasnoći doprinose i vizuelni prikazi koji su pažljivo birani i usklađeni sa sadržajem. Dalje su, u skladu sa naslovom ove publikacije, detaljno opisani kognitivni procesi i njihova veza sa moždanim strukturama. Bez učenja, pamćenja, mišljenja, odlučivanja i drugih procesa nema ni saznanja niti svakodnevnog iskustva, pa je njihovo bolje razumijevanje višestruko značajno. Kognitivne neuronauke nude i nove istraživačke postupke, od snimanja mozga i eksperimenata, preko neuropsiholoških studija, do računarskih

modela mozga, čijom primjenom se dobija cjelovitija i potpunija slika o funkcionisanju mozga i ljudskog uma. Međutim, razvoj tih novih tehnologija pokreće brojna etička pitanja i dileme, pa je posljednji segment knjige u potpunosti posvećen etici u kognitivnim neuronaukama, odnosno neuroetici. Ovo je ujedno i završno poglavlje publikacije, ali ne i završetak promišljanja o složenom odnosu između moždanih struktura i kognitivnih funkcija. Naredne publikacije u okviru edicije Mozaik će biti posvećene upravo pojedinačnim kognitivnim funkcijama, njihovim neuronskim osnovama i savremenim empirijskim nalazima dobijenim kroz integraciju psihološkog pristupa i tehnoloških neuronaučnih inovacija.

Nadamo se da smo ovim izdanjem uspjeli da pobudimo radoznalost kod čitaoca i da će naredne publikacije iz ove edicije biti čitane sa istom pažnjom i interesovanjem.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

165.194(0.034.2)
159.955:616.8(0.034.2)

**КОГНИТИВНЕ неуронауке**
Kognitivne neuronauke : put ka razumijevanju uma / Svetlana Borojević, ...[et al.]. - Onlajn izd. - El. knjiga. - Banja Luka : Univerzitet u Banjoj Luci Filozofski fakultet, 2026. - (Mozaik : za kognitivne neuronauke / Svetlana Borojević) (Mozaik / Radovan Subić)

Način pristupa (URL): https://www.doi.org/10.63356/ff.2026.001. - Опис извора дана 8.05.2026. - Ел. публикација у PDF формату опсега 113 стр. - Библиографија уз свако поглавље.

ISBN 978-99997-40-22-7

COBISS.RS-ID 144364033

**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