

# Redukcionistički pristupi filozofiji na neuroznanosti: slučaj pamćenja

---

Škrlac, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2020

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:186:485907>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-27**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences - FHSSRI Repository](#)



Sveučilište u Rijeci  
Filozofski fakultet u Rijeci  
Rijeka

Redukcionistički pristupi u filozofiji neuroznanosti: slučaj  
pamćenja  
Diplomski rad

Mentor: izv. prof. dr. sc. Luca Malatesti

Komentor: izv. prof. dr. sc. Predrag Šustar

Student: Matija Škrlac

Filozofija/Povijest

Travanj, 2020

# SADRŽAJ

---

Sadržaj .....	1
1 Uvod .....	2
2 Problem objašnjenja mentalnih fenomena u filozofiji neuroznanosti .....	4
2.1 Uvod.....	4
2.2 Objašnjenje u filozofiji znanosti .....	4
2.3 Neuroznanost i objašnjenje mentalnih fenomena .....	7
2.4 Dvije vrste redukcionizma.....	10
2.5 Zaključak .....	15
3 Fenomen pamćenja .....	16
3.1 uvod.....	16
3.2 Pamćenje u neuroznanosti .....	16
3.3 Teorije pamćenja.....	30
3.4 Zaključno o pamćenju .....	32
4 Stanica ili mehanizam? Argumenti dvaju redukcionističkih pozicija.....	34
4.1 Uvod.....	34
4.2 Mehanistički redukcionizam.....	35
4.3 Nemilosrdni redukcionizam.....	39
4.4 Zaključak .....	44
5 Rezultati istraživanja.....	45
5.1 Zaključak .....	45
5.2 Implikacije istraživanja .....	49
Literatura .....	51

# 1 UVOD

---

Filozofija znanosti je tijekom svoje bogate povijesti pokazala da formulacija dobrog objašnjenja mora biti jedan od glavnih ciljeva znanstvenih teorija. Sukladno tome, jedno od temeljnih pitanja koje se pojavljuje u filozofiji neuroznanosti je pitanje objašnjenja, odnosno, na koji način možemo objasniti mentalna stanja i ponašanje, kakva su ta objašnjenja, te na koji način treba formirati dobro neuroznanstveno objašnjenje. Pitanje dobrog neuroznanstvenog objašnjenja je ključno pitanje kojim ću se baviti u ovome radu.

Najvažniji doprinos rješavanju ovog problema dolazi iz redukcionističkih pristupa filozofije neuroznanosti. Glavna rasprava u filozofiji neuroznanosti se zbog toga bazira na sukobu između pozicije mehanističkih redukcionista i pozicije nemilosrdnih redukcionista. Mehanistički redukcionista smatraju da dobro neuroznanstveno objašnjenje treba formulirati putem preciznog i jasnog opisa promatranog fenomena te putem opisa mehanizma i njegovih dijelova koji svojom aktivnosti proizvode promatrani fenomen. S druge strane, nemilosrdni redukcionista smatraju da dobro neuroznanstveno objašnjenje ne može biti formulirano putem korištenja jednostavnih opisa mehanizama i njegovih dijelova. Oni zagovaraju eksplanatorno bogatiji pristup rješavanju problema objašnjenja, a to je formulacija objašnjenja na razini individualnih neurona ili kemijskih i molekularnih procesa koji se u njima odvijaju. Zbog tog eksplanatornog bogatstva objašnjenja nemilosrdnih redukcionista ću u ovome radu zastupati njihovu poziciju.

U drugom poglavlju ovog rada predstaviti ću važnost objašnjenja u filozofiji znanosti. Pokazati ću zbog čega je pitanje objašnjenja u filozofiji neuroznanosti temeljno pitanje kojim se ovaj rad bavi. Kako bih detaljnije prikazao ovaj kompleksan problem, najprije ću objasniti što je to objašnjenje, te potom kako ga definiraju filozofi znanosti. Ukratko ću opisati dvije najvažnije konstruktivne teorije koje se bave objašnjenjem u filozofiji znanosti, a to su teorija objašnjenja sveobuhvatnog prirodnog zakona (*Covering law theory of explanation*) i deduktivno-nomološki model objašnjenja (D-N model). Budući da se filozofija neuroznanosti bavi mentalnim fenomenima koje možemo opisati putem kauzalnih interakcija pojedinih neurona koji zajedničkim snagama proizvode fenomen kojeg se promatra, ukatko ću opisati pojam kauzalnosti te pokazati kako su neuroznanstvena objašnjenja zapravo kauzalna objašnjenja. Sukladno tome, prikazati ću kako u filozofiji neuroznanosti, najčešći odgovori problemu objašnjenja dolaze iz tradicionalnih

pozicija filozofije uma od kojih su glavne dualizam, eliminativizam i redukcionizam. Nakon toga ću obratiti pažnju na redukcionizam. Ukratko ću prikazati kako je u fokusu ovog rada rasprava između dvije vrste redukcionizma, a to su mehanistički redukcionizam i nemilosrdni (ruthless) redukcionizam.

Nakon toga ću se u trećem poglavlju ovoga rada baviti fenomenom pamćenja čija enigmatičnost i kompleksnost daje vrlo dobar primjer na kojem možemo istražiti redukcionistički pristup formulaciji objašnjenja. Vidjet ćemo kako pamćenje na najjednostavniji način možemo podijeliti na dugoročno i kratkoročno pamćenje. Budući da dugoročno pamćenje ima poseban značaj za ovo istraživanje dodatno ćemo ga podijeliti na njegove podvrste, a to su implicitno i eksplicitno pamćenje. Također ću pojasniti proces formiranja dugoročnog pamćenja putem četiri razine procesiranja koje nova informacija mora proći kako bi bila ugrađena u dugoročno pamćenje. Potom ću objasniti kako je dugotrajni povijesni proces istraživanja pamćenja na temelju stvarnih eksperimenata doveo do otkrivanja fenomena konsolidacije pamćenja i fenomena višestruke dugoročne potencijacije stanica (long-term potentiation) koji imaju ključnu ulogu u formiranju dugoročnog pamćenja te će stoga biti od iznimne važnosti za ovo istraživanje. Ovi fenomeni su također imali ključnu ulogu u formiranju tri različite teorije pamćenja od kojih svaka na svoj način nastoji objasniti kakav je proces kodiranja nove informacije te kakva je uloga hipokampusa kao dijela kognitivnog sustava odgovornog za stvaranje dugoročne memorije.

U četvrtom poglavlju ovog rada ću detaljno analizirati redukcionističke pristupe mehanističkih i nemilosrdnih redukcionista te opisati implikacije ovih pozicija u formuliranju neuroznanstvenih objašnjenja. Prvo ću analizirati prednosti i nedostatke mehanističkih redukcionista te formulirati argument u prilog mehanističkom redukcionizmu kojim mogu tvrditi da mehanistički redukcionizam uspješno rješava problem prelaska višestrukih eksplanatornih razina. Ovaj argument ću testirati putem fenomena dugoročne višestruke potencijacije neurona i uputiti mu vlastiti prigovor. Nakon toga ću analizirati poziciju nemilosrdnih redukcionista te prikazati argument kojim mogu tvrditi da nemilosrdni redukcionizam nudi eksplanatorno bogatija i preciznija objašnjenja od mehanističkog redukcionizma. Nakon toga ću ponuditi vlastiti argument u prilog tome argumentu.

U posljednjem poglavlju ovog rada ću prikazati nekoliko zaključaka do kojih sam došao tijekom ovog istraživanja. Također ću analizirati mogući alternativni pristup ovoj

redukcionišćkoj raspravi putem formulacije kombiniranog pristupa koji sadrži pretpostavke nemilosrdnih i mehanistićkih redukcionista. Prikazat ću kako bi ovaj kombinirani pristup mogao riješiti problem prevelike jednostavnosti objašnjenja kojeg imaju mehanistićki redukcionisti te problem prevelike kompleksnosti objašnjenja kojeg formuliraju nemilosrdni redukcionisti. Istraživanje ću završiti konkretnim prikazom kako bi suradnja ovih naizgled suparnićkih pozicija mogla izgledati u znanstvenoj praksi te koji bi pozitivni rezultati mogli proizaći iz korištenja kombiniranog redukcionišćkog pristupa.

## 2 PROBLEM OBJAŠNENJA MENTALNIH FENOMENA U FILOZOFIJI NEUROZNANOSTI

---

### 2.1 UVOD

Nagli razvoj istraživanja je utjecao na sve veću lokalizaciju filozofije znanosti pa se njezin fokus pomaknuo sa generalnih pitanja i problema znanstvene prakse prema pojedinim znanstvenim disciplinama. Plod ovakvog fokusiranog razvoja filozofije znanosti je filozofija neuroznanosti (Bickle, Mandik, Landreth, 2019). Ona nastoji ponuditi odgovore na fundamentalna pitanja koja se pojavljuju napretkom neuroznanstvenih istraživanja za razliku od neurofilozofije koja nastoji primijeniti termine i znanstvene teorije koje koriste neuroznanstvenici na tradicionalne filozofske probleme.<sup>1</sup>

### 2.2 OBJAŠNENJE U FILOZOFIJI ZNANOSTI

---

<sup>1</sup> Bickle, Mandik, Landreth 2019.

Filozofija znanosti je pokazala da objašnjenje mora biti jedan od ciljeva znanstvenih teorija. Jedno od temeljnih pitanja u filozofiji neuroznanosti je pitanje objašnjenja, odnosno, na koji način možemo objasniti mentalna stanja i ponašanje, kakva su ta objašnjenja, te na koji način treba formirati dobro neuroznanstveno objašnjenje. Sukladno tome, u ovome radu ću se baviti problemom redukcije u filozofiji neuroznanosti te ponuditi prikaz dvaju redukcionističkih pozicija te njihove kapacitete za formulacijom zadovoljavajućeg objašnjenja u neuroznanosti.

Kada govorimo o objašnjenju govorimo o potencijalnom odgovoru na pitanje „zašto?“. Kada nudi objašnjenje tada argumentiramo određeni stav, iskazujemo određena vjerovanja ili činjenice na kojima temeljimo određeni zaključak.

Ključan dio svakog objašnjenja je eksplanatorno zaključivanje koje možemo definirati kao zaključivanje temeljeno na setu podataka koji nam omogućuju formulaciju hipoteze o nekom procesu ili strukturi koji mogu objasniti podatke koje imamo.<sup>2</sup>

U filozofiji znanosti postoje dvije karakterizacije dobrog objašnjenja. Svako objašnjenje se sastoji od eksplanansa i eksplananduma gdje eksplanans predstavlja skup činjenica na koje se pozivamo da bi nešto objasnili, a eksplanandum predstavlja ono što se objašnjava. Prema prvoj karakterizaciji, objašnjenje imamo onda kada smo osmislili argument u kojem eksplanandum logički slijedi iz eksplanansa na temelju zakona prirode i inicijalnih uvjeta.<sup>3</sup>

Prema drugoj karakterizaciji, objašnjenja nisu argumenti nego informacije koje kauzalna opisuju kako je eksplanandum nastao. U ovome slučaju nije potrebno da objašnjenje sadrži zakone prirode nego je dovoljno pronaći kauzalni mehanizam koji je odgovoran za nastanak nekog fenomena. Ovakva karakterizacija se često naziva ontičkim oblikom objašnjenja te čvrsto vezuje objašnjenje uz kauzalnost pa objašnjenje možemo promatrati kao proces putem kojeg eksplanandumu određujemo ispravno mjesto u kauzalnom uređenju našeg svijeta.<sup>4</sup> Obje od navedenih opcija naglašavaju činjenicu da dobro objašnjenje mora sadržavati eksplanans i eksplanandum.

---

<sup>2</sup> Godfrey-Smith, 2003, str. 190.

<sup>3</sup> Psillos 2007, str. 85.

<sup>4</sup> Psillos 2007, str. 86.

Prva konstruktivna teorija koja se bavila objašnjenjem u filozofiji znanosti je teorija objašnjenja sveobuhvatnog prirodnog zakona (*Covering law theory of explanation*) koju su formirali Carl Hempel i Paul Oppenheim 1948. godine.<sup>5</sup> Prema ovoj teoriji, objasniti nešto zapravo znači prikazati određene hipoteze i podatke putem formiranja logičkog argumenta gdje će eksplanandum biti konkluzija argumenta, a eksplanans će činiti premise argumenta. Dodatan uvjet ove teorije je da barem jedna premisa mora sadržavati neki zakon prirode. Ukoliko je logički argument na kojem temeljimo naše objašnjenje deduktivan, tada pripada u deduktivno-nomološki model objašnjenja (D-N model).<sup>6</sup> Problem ove teorije je u tome što ne čini veliki razliku između objašnjenja fenomena i njegovog predviđanja. U ovome radu ću se zbog toga fokusirati na kauzalna objašnjenja.<sup>7</sup>

Kako bi mogli adekvatno razumjeti pojam kauzalnog objašnjenja potrebno je pojasniti pojam kauzalnosti. Utjecajnu karakterizaciju pojma kauzalnosti je formulirao David Hume koji je smatrao da kauzalnost označava nevidljivu vezu između različitih objekata koja je nužna za funkcioniranje našeg svijeta. Ova nevidljiva veza može biti objašnjena putem jednostavne tvrdnje „C uzrokuje E“ gdje C i E predstavljaju varijable koje će najčešće biti događaji ili svojstva pa npr. pušenje (C) može prouzročiti kancerogenezu u plućima (E). Način na koji pušenje omogućuje ili dovodi do stvaranja stanica raka putem direktnih uzroka je odličan primjer kauzalnosti.<sup>8</sup> Robert Salomon i Patrick Suppes su dodatno razradili ovu teoriju putem primjene teorije vjerojatnosti jer se na taj način moglo bolje objasniti kako je neki fenomen uzrokovan.<sup>9</sup>

Kauzalnost je ključan termin u razumijevanju kauzalnog objašnjenja. Kauzalno objašnjenje imamo onda kada možemo objasniti što je uzrokovalo nastanak određenog fenomena. Međutim, brojni filozofi su kauzalnost smatrali problematičnim metafizičkim terminom kojeg bi u znanosti bilo najbolje izbjegavati.<sup>10</sup> Kako bi formirali dobro kauzalno objašnjenje, u idealnim uvjetima bi trebali moć objasniti svaki uzrok koji je doveo do određenog fenomena jer bi na taj način imali potpunu kauzalnu povijest nekog događaja specificiranu do najmanjih detalja. Međutim, za

---

<sup>5</sup> Godfrey-Smith 2003, str. 191.

<sup>6</sup> Godfrey-Smith 2003, str. 193.

<sup>7</sup> Za više informacija o deduktivno-nomološkom modelu vidi Fetzer, 2017.

<sup>8</sup> Za više informacija o kauzalnosti vidi Hume, 1748.

<sup>9</sup> Godfrey-Smith 2003, str. 195.

<sup>10</sup> Za više informacija vidi Hitchcock, 2018.



objašnjenje u praksi će biti relevantan samo dio informacija iz te kompletne kauzalne povijesti i bit će dovoljan za formiranje dobrog objašnjenja.

### 2.3 NEUROZNANOST I OBJAŠNENJE MENTALNIH FENOMENA

U filozofiji neuroznanosti, najčešći odgovori problemu objašnjenja dolaze iz tradicionalnih pozicija filozofije uma od kojih su glavne dualizam, eliminativizam i redukcionizam.

Kako bismo riješili pitanje objašnjenja u neuroznanosti obratit ćemo pažnju na dva povezana pitanja u filozofiji. Jedno takvo pitanje se odnosi na prirodu znanstvenog objašnjenja ili formalne karakterizacije objašnjenja te ga proučava filozofija znanosti. Drugim pitanjem se bave filozofija uma i filozofija neuroznanosti te se pitanje fokusira na pojedine elemente koje bi svako neuroznanstveno objašnjenje trebalo sadržavati. Dualizam i eliminativizam na taj način odgovaraju prvom pitanju dok redukcionizam sa pripadajućim redukcionističkim pozicijama bolje odgovara drugom pitanju.

Dualistički pristup u filozofiji neuroznanosti označava težnju da se mentalni procesi u našem mozgu mogu podijeliti na dva striktno odvojena dijela, fizički i mentalni/duhovni. Ovaj psihofizički problem nam pokazuje da se različiti događaji u ljudskome tijelu ne mogu lako objasniti u potpuno materijalnim terminima jer svako istraživanje ovog područja dovodi do korištenja nematerijalnih termina, kao što su duša, um ili mentalna stanja.<sup>11</sup> Zbog toga dualisti mogu tvrditi da je evidentno da se unutrašnji svijet čovjeka ne može opisati u materijalnim terminima. Prema tome, mentalna stanja bi trebalo promatrati kao odvojena od fizičkih stanja. Ona nisu dispozicije za ponašanje ili dio fizičkog ustroja organizama.<sup>12</sup>

Glavni dualistički argument je poznat kao modalni argument u korist dualizma jer se nastoji dokazati da su mentalno i fizičko dvije odvojene vrste stvari koje (barem logički) mogu postojati zasebno.<sup>13</sup> Um bi, prema dualističkoj interpretaciji, predstavljao svojevrnog „upravljača“ nad

---

<sup>11</sup> Sesardić 1984, str. 3-4.

<sup>12</sup> Berčić 2012, str. 282.

<sup>13</sup> Berčić 2012, str. 286.

fizičkim dijelom organizma. Međutim, ovakav pristup dualizmu ne donosi nikakvo objašnjenje o klasičnom problemu uma i tijela.

Budući da um može upravljati tijelom te da tjelesno može utjecati na mentalno, očigledno postoji neka vrsta interakcije između ove dvije odvojene supstancije. Problem uma i tijela postaje očigledan upravo u toj interakciji jer nije jasno kako dvije odvojene i potpuno drugačije supstancije mogu utjecati jedna na drugu te koja je priroda toga odnosa.

Sukladno tome, dualisti bi smatrali da neuroznanstvenim metodama možemo objasniti kako funkcionira fizički aspekt mentalnih procesa u mozgu, no ne možemo dati odgovor na klasični problem uma i tijela. Neuroznanstvenici bi mogli objasniti uzročni odnos između nekog fizičkog događaja kao što je udarac te mentalne manifestacije boli koju je fizički uzrok proizveo.<sup>14</sup> Također bi mogli objasniti uzročni odnos između želje za kavom te posljedičnog pomicanja ruke kako bismo uhvatili šalicu kave. No, putem dualističkog shvaćanja uma i tijela ne bi mogli objasniti kakva je priroda te interakcije ili gdje se ona događa. Budući da ova pozicija ne može ponuditi nikakve relevantne odgovore za problem kojim se bavim, njome se neću baviti.<sup>15</sup>

Druga moguća pozicija je eliminativizam. Ova pozicija predstavlja drugačiji pristup shvaćanju fizikalizma.<sup>16</sup> Iz ovog stava je vidljivo da su materijalizam i fizikalizam veoma slične teorije. Razlika leži u tome što bi materijalisti u određenim uvjetima dopustili da postoje neki materijalni entiteti koji mogu imati određena nematerijalna svojstva ili prihvaćaju postojanje nematerijalnih, apstraktnih matematičkih entiteta.

Za razliku od materijalizma, fizikalizam ne dopušta postojanje takvih nefizičkih entiteta i svojstava.<sup>17</sup> Problem za fizikaliste leži u tome što čak i fizika, kao materijalna znanost, koristi različite termine koji nisu materijalni, kao što su fotoni, brojevi, sile, magnetna polja itd.

U filozofiji uma možemo promatrati dvije varijante fizikalizma – type (tipski ili vrsni) fizikalizam i token (primjerak) fizikalizam. Prema type fizikalizmu, svaka vrsta mentalnih stanja može biti reducirana na određenu vrstu fizičkih stanja.<sup>18</sup> Primjerice, vjerovanja o prevladavajućim

---

<sup>14</sup> Berčić 2012, str. 283.

<sup>15</sup> Za više informacija vidi Robinson, 2017.

<sup>16</sup> Pećnjak i Janović 2016, str. 91.

<sup>17</sup> Pećnjak i Janović 2016, str.91.

<sup>18</sup> Pećnjak i Janović 2016, str. 93.

vremenskim prilikama mogu biti objašnjena putem iste vrste fizičko-kemijskih procesa u mozgu. S druge strane, prema token fizikalizmu jedna vrsta mentalnih stanja može biti objašnjena putem različitih fizičko-kemijskih procesa u mozgu pa vjerovanje o prevladavajućim vremenskim prilikama može biti objašnjeno putem različitih procesa. Ukoliko fizikalizam vrsta u potpunosti radikaliziramo dolazimo do eliminativizma, no kako sam već naveo, radi se samo o drugačijoj varijanti fizikalizma.<sup>19</sup>

Eliminativizam se često karakterizira kao eliminativni materijalizam jer se radi o fizikalističkoj poziciji prema kojoj termini koje često spominjemo u folk psihologiji (kao što su vjerovanja, želje, osjećaji, svijest, percepcija, namjera, mišljenje i sl.) zapravo ne postoje, pa će u budućnosti biti izbačeni iz neuroznanstvenih istraživanja. Zbog toga će negirati postojanje bilo kakvih mentalnih stanja, uključujući svjesna stanja. Smatraju da možemo provesti temeljitu redukciju takvih folk psiholoških termina na fizikalne termine putem stroge znanstvene provjere njihovih fizikalnih referenata.<sup>20</sup>

Eliminativisti bi, prema tome, priznali postojanje samo onih stvari koje postoje na način da ih možemo promatrati, ali koje nisu povezane sa našim privatnim iskustvom.<sup>21</sup> Doživljaj boli bi na taj način mogli opisati kao uzročno-posljedičnu vezu između uboda igle koji aktivira impulse koji se prenose živcima do našeg mozga te uzrokuju aktivaciju moždanog centra za bol i posljedično reakciju odmicanja ubodenog dijela tijela. Uzrok boli je ozljeda, a ne osjet koji uzrokuje senzaciju boli.

Budući da se radi o neurološkom fenomenu, nema razloga koristiti termin „osjeta boli“ jer ona može biti objašnjena u neuroznanstvenim i neurološkim terminima. Uspješna redukcija folk psiholoških termina na fizikalne termine bi značila eliminaciju folk psihološke znanstvene teorije te uspostavu potpunog znanstvenog objašnjenja svijeta. Međutim, budući da vjerovanja, želje i osjećaji mogu biti objašnjeni putem neuroznanosti na temelju kompleksnih fizikalnih procesa u mozgu, ne postoji razlog zašto bi takvi termini trebali biti odbačeni (Bickle, Mandik, Landreth, 2019).

---

<sup>19</sup> Za više informacija o fizikalizmu vidi Stoljar, 2017.

<sup>20</sup> Pećnjak i Janović 2016, str. 93.

<sup>21</sup> Richardson 2006. str. 12.

Kada bismo prihvatili eliminativističke implikacije, došli bi do eliminacije velikog broj termina koji su prisutni u znanstvenoj praksi. Primjerice, svijest je pojam prisutan u znanosti za kojeg ne bismo mogli pronaći adekvatan fizički termin. Prema eliminativistima, pojam svijesti (kao i brojni drugi pojmovi navedeni ranije) ne referira ni na što pa prema tome ne može postojati. Na taj način bi iz upotrebe izbacili termin koji je prisutan eksplicitno ili implicitno u svim znanstvenim teorijama koje se bave pitanjem mentalnih stanja.<sup>22</sup>

Budući da neuroznanost može ponuditi kvalitetna i potpuna objašnjenja nematerijalnih termina koje bi eliminativisti htjeli eliminirati, ova pozicija neće biti relevantna za moje istraživanje. Dualizam i eliminativizam nisu pozicije koje su relevantne za raspravu kojom se ovdje bavim. Zbog toga moj zadatak u ovome istraživanju nije evaluacija ovih pozicija. Iz tog razloga ću se fokusirati na redukcionizam.<sup>23</sup>

## 2.4 DVIJE VRSTE REDUKCIONIZMA

Kada govorimo o redukcionizmu govorimo o mogućnosti toga da svojstva, termini, objašnjenja, pojmovi i metode jedne znanstvene domene budu objašnjenje u terminima neke druge znanstvene domene (Brigandt i Love, 2017). Zbog toga će u znanstvenoj domeni biologije redukcionisti tvrditi da biološke teorije, generalizacije ili biološka objašnjenja moraju biti svedena na teorije, objašnjenja ili generalizacije koje donosi molekularna biologija, odnosno, da neuroznanstvena objašnjenja mogu biti prikazana koristeći termine molekularne biologije, kemije, fizike i neurologije.

Takva objašnjenja imaju svoj temelj u fizikalnim znanostima kao što su kemija i fizika.<sup>24</sup> Budući da redukcionisti nalaze svoj temelj u fizikalnim znanostima, dolaze do evidencije koja može dodatno osnažiti njihov stav. Korištenjem evidencije iz fizikalnih znanosti se može dodatno unaprijediti neuroznanstvena objašnjenja te ih učiniti boljima, preciznijima i sveobuhvatnijima.

Redukcionisti će tvrditi da je njihova pozicija najbolja za formiranje dobrog objašnjenja na temelju stalnog znanstvenog napretka koji je proizveo niz sukcesivnih, uspješnih redukcija. To bi

---

<sup>22</sup> Pećnjak i Janović 2016, str. 94.

<sup>23</sup> Za više informacija o eliminativizmu vidi Ramsey, 2019.

<sup>24</sup> Rosenberg i McShea, 2008, str. 96.

značilo da stalni znanstveni napredak dovodi do postepenog sužavanja fokusa istraživanja na sve niže razine redukcije.

Povijest fizikalnih znanosti je zapravo povijest stalne redukcije prema sve užim teorijama. U fizici je razvoj tekao od Keplerovih prema Newtonovim zakonima. Razvoj kemije je tekao od Mendeljejeve periodičke tablice elemenata prema objašnjenju kemijskih elemenata na subatomske ili atomske razini.<sup>25</sup> Ovakav fokusirani i usmjereni razvoj biologije počinje mnogo kasnije, tek 1953. godine otkrićem strukture gena Jamesa Watsona i Francisca Creeka kojim je konačno omogućeno proučavanje molekularnih mehanizama na razini gena.

Zbog toga možemo zaključiti da reduciranjem neuroznanosti na niže razine proučavanja, možemo doći do preciznijih objašnjenja koja također omogućuju preciznije predviđanje. Ovakvi redukcionistički modeli su dio „novog vala“ redukcionizma jer se putem takvih modela može vrlo precizno rekonstruirati specifičan znanstveni napredak te u isto vrijeme ukazati na to da veliki napredak neuroznanosti može dovesti do potpune eliminacije psihologije ili da psihologija može biti reducirana na neuroznanost (Van Riel i Van Gulick, 2019).

Kako bi govorili o ispravnoj redukciji potrebno je ispuniti dva kriterija. Prvo, zakoni uže teorije moraju biti logički izvedeni iz zakone šire teorije. Drugo, pojmovi, termini, vrste i svojstva koji su karakteristični za užu teoriju moraju biti karakterizirani putem termina koji se koriste u široj, fundamentalnijoj teoriji.<sup>26</sup>

Glavni problem za redukcioniste leži u tome što biologija ne sadržava zakone kakvi postoje u pravim fizikalnim znanostima. Zbog toga također ne postoje zakoni koje možemo reducirati na bazičnije zakone niže razine. Međutim, ne postojanje zakona u biologiji ne bi trebalo biti u fokusu redukcionista. Umjesto toga, bolje je govoriti o biologiji kao o znanosti koja bazira svoja objašnjenja bioloških procesa, događaja, bioloških sustava i svojstava na fizičkim zakonima i fizičkim svojstvima.<sup>27</sup> Jedan od velikih redukcionističkih problema je problem eksplanatorne baze no ovaj problem nije u fokusu ovog istraživanja. Umjesto ovog velikog problema, pažnju ću

---

<sup>25</sup> Rosenberg i McShea, 2008, str. 102.

<sup>26</sup> Rosenberg i McShea, 2008, str. 104.

<sup>27</sup> Rosenberg i McShea, 2008, str. 105.

usmjeriti na raspravu u kojoj neki redukcionisti smatraju da je najniža potrebna eksplanatorna razina zapravo biološka.

Fizički zakoni i svojstva čine evidenciju na temelju koje se biološka objašnjenja mogu kvalitetnije i preciznije formirati.<sup>28</sup> Budući da biologija i neuroznanost nemaju nikakve zakone, one se ne bave općenitim nego pojedinačnim događajima, stanjima i procesima koji se događaju u našem svijetu pa se svako novo objašnjenje može formirati za točno određeni promatrani slučaj.

Redukcionistička objašnjenja koriste „top-down“ i „bottom-up“ istraživanja. To znači da bilo kakva neuroznanstvena otkrića treba objasniti na nižim razinama, primarno na razini molekularne biologije te fizike i kemije. Redukcionističko objašnjenje u neuroznanosti stoga podrazumijeva dvije moguće alternative, mehanistički i ruthless redukcionizam.

Uzimanjem u obzir redukcionističkog pristupa u neuroznanosti dolazi do stvaranja različitih teorija kojima se nastoji objasniti funkcioniranje mentalnih procesa u našem mozgu.

Među najutjecajnijim alternativama su bile kompjutacijska teorija koja nastoji objasniti mentalne procese prema analogiji sa radom računala gdje ljudski mozak funkcionira kao svojevrsno računalo, prenoseći i obrađujući informacije sa određenim učinkom koji može biti promatran u ponašanju subjekta (Bickle, Mandik, Landreth, 2019).

Svoj fokus stavljam na raspravu između dvije utjecajne redukcionističke pozicije, raspravu između mehanističkog redukcionizma i nemilosrdnog (*ruthless*) redukcionizma. Ova dva pristupa objašnjenju mentalnih procesa se razlikuju u poimanju onoga što je potrebno da bi mogli objasniti mentalne fenomene. Treba uzeti u obzir da filozofi koji naglašavaju važnost stanične i molekularne neuroznanosti te filozofi koji fokus stavljaju na sistemsku i bihevioralnu neuroznanost, su oboje redukcionisti u pitanju mentalne aktivnosti. Međutim, njihovi redukcionizmi se razlikuju upravo u finalnoj razini na koju mentalne aktivnosti možemo reducirati, što čini temeljnu razliku između ova dva redukcionistička pristupa.<sup>29</sup>

Mehanistički redukcionizam je vrlo utjecajna redukcionistička pozicija koja je u posljednjih dvadesetak godina doživjela veliki zamah u cjelokupnoj filozofiji znanosti. Razvio se kroz rad velike grupe filozofa koji su svoj primarni fokus usmjerili na sistemsku razinu

---

<sup>28</sup> Rosenberg i McShea, 2008, str. 112.

<sup>29</sup> Bechtel, 2009, str. 14.

razumijevanja funkcije mozga te ju na taj način povezali sa procesiranjem informacija koje proučava psihologija. Carl Craver je jedan od najpoznatijih zagovaratelja ove vrste redukcionizma.<sup>30</sup>

Mehanističkim redukcionizmom se nastoji objasniti funkcioniranja mozga u terminima dijelova mehanizama, njihovih operacija te fenomena kojeg određeni mehanizam u mozgu proizvodi. Na taj način naglašava potrebu za identificiranjem svih ili barem onih najvažnijih operativnih dijelova mehanizama koji su odgovorni za proizvodnju promatranog fenomena u mozgu. Njihov cilj je razumjeti način organizacije mehanizama u mozgu te kako su operacije pojedinih dijelova mehanizama organizirani kako bi realizirali određeni fenomen.<sup>31</sup> Većina operativnih dijelova mehanizama može biti identificirana u terminima moždanih regija ili živčanih stanica. Integracijom operativnih dijelova mehanizama možemo konstruirati kompleksne mreže koje čine određeni mehanizam te nude kauzalno objašnjenje njegovog funkcioniranja. Zbog toga smatraju da bihevioralna i kognitivna znanost imaju važnu eksplanatornu ulogu u objašnjenju funkcioniranja našeg kognitivnog sustava.

Dakle, prednost mehanističkog redukcionizma čine kauzalna objašnjenja koja putem obuhvaćanja više različitih razina nude jasniju sliku određenog fenomena te njegovih unutarnji karakteristika koje mu omogućuju funkcioniranje. Ovakav pristup objašnjenju mentalnih procesa je široko rasprostranjen u neuroznanosti jer pojedini fenomeni mogu biti dobro objašnjeni u terminima svojih dijelova te mogu predstavljati neurone, sinapse i različite kemijske reakcije čije operacije direktno ili indirektno doprinose proizvodnji određenog fenomena u mozgu (Bickle, Mandik, Landreth. 2019).

Novija redukcionistička pozicija je nemilosrdni (ruthless) redukcionizam koji nastaje kao reakcija na kritike radikalnog reduciranja mentalnih procesa na jednostavne stanice ili kemijske procese u mozgu.

Prema nemilosrdnom redukcionizmu, mentalni proces u našem mozgu mogu biti dobro objašnjeni koristeći ove najniže dijelove kognitivnog sustava (Bickle, Mandik, Landreth, 2019).

---

<sup>30</sup> Bechtel, 2009, str. 14.

<sup>31</sup> Bechtel, 2009, str. 14.

Tako pojedini fenomen možemo objasniti samo koristeći individualne neurone, njihove grupe, različite kemijske reakcije u njihovom međudnosu itd.

Glavni zagovaratelj ove pozicije je John Bickle koji smatra da stanični i molekularni procesi koje istražujemo kako bi otkrili prirodu mentalnih procesa zapravo nisu operativni dijelovi mehanizama, kakvima ih doživljavaju sljedbenici mehanističkog redukcionizma. Bickle smatra da ovakav pristup neuroznanosti možemo eksperimentalno dokazati putem intervencije na pojedinim molekulama ili stanicama te pratiti promjene koje je intervencija uzrokovala na bihevioralnoj razini cijelog sustava. Na taj način možemo promatrati kako specifična intervencija utječe na trenutno promatrani fenomen i objasniti kakvu ulogu imaju najmanji dijelovi mozga u proizvodnji mentalnih procesa.<sup>32</sup> Iz tog razloga, možemo reći da bi pojedine stanice i molekule u mozgu činile dijelove operativnih dijelova. Stoga ih se može promatrati kao mehanizme na nižoj razini organizacije od one koju promatraju mehanistički redukcionisti. Bez dobrog razumijevanja uloge pojedinih stanica ili molekula u širem sustavu mehanizama ne možemo imat dovoljno precizno razumijevanje kognitivnog ponašanja pojedinaca.<sup>33</sup>

Za razliku od mehanističkih redukcionista, Bickle smatra da kognitivna i bihevioralna neuroznanost imaju heurističku ulogu koja samo priprema teren za objašnjenja koja će biti bazirana na razumijevanju funkcioniranja stanica i molekula u mozgu.

Prema tome, prednost nemilosrdnog redukcionizma je u tome što potpunom redukcijom na najsitnije dijelove našeg kognitivnog sustava omogućuje istraživanje najmanjih jedinica živčanih sustava, pa čak i njihovu kemijsku osnovu, kako bi se moglo formirati najbolje i najpreciznije objašnjenje funkcioniranja mentalnih procesa.

Mehanistički redukcionisti i nemilosrdni redukcionisti govore o potrebi za formuliranjem kvalitetnog objašnjenja putem spuštanjem na niže eksplanatorne razine. Možemo primijetiti da se radi o problemu eksplanatornih razina (levels of explanation) kojim se postavlja pitanja koliko je redukcije doista potrebno da bismo mogli formulirati kvalitetno neuroznanstveno objašnjenje. Ovaj problem pokazuje temeljnu razliku između ovih redukcionističkih pozicija jer se njihova rasprava svodi na sukob mehanističke ideje o redukciji samo jednu razinu niže od promatranog fenomena sa idejom nemilosrdnih redukcionista koji ovakvu redukciju smatraju nedovoljnom te

---

<sup>32</sup> Bechtel, 2009, str. 19.

<sup>33</sup> Bechtel, 2009, str. 14.



inzistiraju na spuštanju kroz veliki broj eksplanatornih razina sve do najniže razine na kojoj objašnjenje možemo formulirati putem stanica i molekula.

## 2.5 ZAKLJUČAK

U ovome poglavlju sam ukratko prikazao kako je tekao razvoj neuroznanosti te kako je njezinim razvojem došlo do sve većeg fokusa prema istraživanju konkretnih događaja ili fenomena. Također sam prikazao kako je problematičnost ovih istraživanja izazvala stvaranje filozofije neuroznanosti kao grane filozofije koja nastoji ponuditi odgovore na važna neuroznanstvena pitanja i usmjeriti razvoj neuroznanosti.

Fokus ovog poglavlja se zbog toga nalazi u filozofskoj raspravi između mehanističkog i ruthless redukcionizma. Zbog toga što svaka od navedenih pozicija ima prednosti i nedostatke, za znanost će biti prihvatljivija ona pozicija koja može biti bolje implementirana u znanstvenoj praksi. Pragmatična pozicija će moći ponuditi kvalitetno objašnjenje o tome kako funkcioniraju bazični neuralni procesi odgovorni za stvaranje ljudskih mentalnih fenomena. Zbog toga ću u idućem poglavlju testirati argumentaciju ovih pozicija putem fenomena pamćenja.

## 3 FENOMEN PAMĆENJA

---

### 3.1 UVOD

U ovome poglavlju ću se baviti pamćenjem koje predstavlja jedan od najvažnijih fenomena našeg kognitivnog sustava koji je također iznimno važan u našem svakodnevnom funkcioniranju. Predstaviti ću povijest istraživanja pamćenja, pokazati kako ga definiramo u modernim terminima te kako ovaj fenomen zapravo funkcionira.

Kroz razvoj neuroznanosti, ovo područje je pobudilo veliki interes neuroznanstvenika zbog toga što još uvijek nije sasvim jasno kako funkcionira ljudsko pamćenje. Veliki razvoj neuroznanosti još uvijek nije rezultirao adekvatnim objašnjenjem funkcioniranja ovog kompleksnog fenomena. Unatoč tome, ovo područje neuroznanstvenog istraživanja smatram prikladnim za prikaz redukcionističke rasprave između mehanističkog i nemilosrdnog redukcionizma jer bogata povijest istraživanja pamćenja omogućuje detaljnu i preciznu analizu razvoja znanstvenih pozicija koje smatram relevantnima za utvrđivanje kvalitete promatrane argumentacije.

### 3.2 PAMĆENJE U NEUROZNANOSTI

Pamćenje je kao fenomen usko povezano sa učenjem te jedno ne može biti odvojeno od drugoga. Sve što znamo o sebi i svijetu koji nas okružuje je zapravo proces dugotrajnog učenja. Kako bi se formirali kao samostalne i neovisne osobe, moramo naučiti sve ono što nam nije urođeno. Pritom možemo razlikovati instinktivno od naučenog jer instinktivno predstavlja prošlost naše vrste čije znanje nam se prenosi urođenim putevima. Zbog toga je važno naglasiti da je teško odvojiti instinktivno od naučenog ponašanja jer su njihove mreže neurona koji sudjeluju u procesu

učenja vrlo usko isprepletene te određeni neuroni mogu sudjelovati u više različitih zadataka koji se nalaze u pozadini svakog učenja.<sup>34</sup>

Kod definiranja fenomena učenja i pamćenja moramo uključiti važnost genetičkog nasljeđivanja, razvitka, iskustva, odnosa između pripadnika vrste i brojnih drugih faktora. Kombinacija ovih brojnih faktora će kod svakog organizma utjecati na način na koji uči i pamti nove informacije.<sup>35</sup> Novo znanje će pak utjecati na ponašanje subjekta koji ga stječe jer smo, biološki gledano, životinje čiji je glavni interes prilagoditi se okolišu i osigurati opstanak svoje vrste. Naš je mozak uređen na točno određeni način kako bi čak i nesvjesno implementirao novo znanje u realizaciji naših bioloških ciljeva.

Učenje označava promjenu u ponašanju pojedinca koja nastaje kao rezultat usvajanja znanja o svijetu koji nas okružuje te na temelju prethodnog iskustva. Učenje je kompleksan proces u kojem pojedinac aktivno manipulira objektima, iskustvima i razgovorima. Na taj način pojedinac može formulirati vlastitu mentalnu sliku svijeta. Ključan dio procesa učenja je obogaćivanje već postojećeg znanja te postupna izgradnja novog znanja na temelju ranije postojećeg. Učenje je proces koji se ne događa samo na individualnoj razini nego pojedinac uči od društva u kojem se nalazi kroz komunikaciju, međuljudske odnose i vlastita iskustva u nekoj zajednici. Kvalitetno i brzo učenje mora biti popraćeno motivacijom pojedinca za stjecanjem novih znanja i vještina.

Za razliku od učenja, pamćenje označava proces putem kojeg se to usvojeno znanje kodira, sprema te doziva u skladu s našim potrebama.<sup>36</sup> Pamćenje je fenomen koji nam omogućuje da se prisjetimo i prepoznamo važne ljude u našim životima, mjesta koja smo posjetili te lokaciju i izgled našeg doma. Kako navodi Goran Šimić: „Pamćenje se odnosi se na pohranu naučenih odgovora te svjesni ili nesvjesni proces dosjećanja kojim se promijenjeno ponašanje manifestira.“<sup>37</sup> Bez pamćenja ne bismo mogli koristiti naučene motoričke vještine, razumjeti i koristiti jezike te prisjećati se sretnih i tužnih trenutaka iz naše prošlosti. Zbog toga čak i blagi poremećaji u pamćenju mogu imati ozbiljne posljedice za subjekta te ga dezorijentirati ili izolirati od kontakta u svijetu u kojem se nalazi.

---

<sup>34</sup> Šimić 2019, str. 15.

<sup>35</sup> Šimić 2019, str. 16.

<sup>36</sup> Kandel, 2013, str. 1441.

<sup>37</sup> Šimić 2019, str. 16.

Prema tome, pamćenje je esencijalno važno u formiranju našeg karaktera kao osobe te našeg identiteta koji nas čini osobama kakve jesmo. Bez pamćenja ne bi mogli biti autonomni i neovisni što znači da ne bi bili u mogućnosti osigurati vlastiti opstanak.<sup>38</sup>

Neuroznanost promatra pamćenje kao set dugotrajnih, kompleksnih promjena u mozgu koje nastaju na temelju aktivnosti pojedinih neurona. Ove kompleksne promjene nastaju putem kemijskih promjena u sinapsi neurona koje se mijenjaju ili remodeliraju ovisno o potrebama kako bi se prenijela kemijska poruka čiji efekt će biti vidljiv u aktivnosti postsinaptičkog neurona. Pamćenje je, stoga, proces stalne promjene broja i oblika sinapsi koje će u neuronima potaknuti izlučivanje proteina i na taj način omogućiti kodiranje informacija u dugoročno pamćenje.

Danas znamo da pamćenje funkcionira putem više različitih dijelova mozga te da su određeni dijelovi važniji za formiranje određene vrste pamćenja. Postoji nekoliko oblika učenja i pamćenja te svaki od njih ima svoje jedinstvene kognitivne karakteristike u vlastitim kognitivnim sustavima. Najjednostavnija podjela pamćenja je na kratkoročno i dugoročno pamćenje.

*Kratkoročno pamćenje* sadrži reprezentacije informacija koje su nam važne u ovome trenutku da bi postigli određene ciljeve. Zbog toga se često naziva „radnom memorijom“ u kojoj se informacije zadržavaju vrlo kratko vrijeme, obično jednu do dvije minute. Informacije koje možemo pronaći u ovoj vrsti memorije mogu biti verbalne ili vizualno-spacijalne. Verbalne informacije će sadržavati informacije iz govora te mogu predstavljati telefonski broj kojeg ponavljamo kako bismo ga upamtili. S druge strane, vizualno-spacijalne informacije sadržavaju mentalne slike objekata, njihovu lokaciju te položaj u svijetu.<sup>39</sup> Neuronima odgovorni za upravljanje ovim informacijama se nalaze u prefrontalnom korteksu, ali različite grupe neurona svojom aktivacijom održavaju različiti oblik informacije.

Istraživanje *dugoročnog pamćenja* je dobilo veliki napredak sredinom 1950-ih godina kada je kod pacijenata sa bilateralno uklonjenim hipokampusom i okolnim područjima u medijalnom temporalnom režnju, putem kojeg se nastojalo liječiti epilepsiju, došlo do otkrića neuralne baze pamćenja.

---

<sup>38</sup> Kandel 2013, str. 1441.

<sup>39</sup> Kandel 2013, str. 1442.

Prvi proučavani slučaj je slučaj Henrya Molaisona koji je patio od epilepsije zbog ozljede mozga koju je zadobio prilikom pada sa bicikla u dobi od sedam godina. Nakon zahvata u medijalnom temporalnom režnju je imao amneziju (jaki deficit pamćenja). Ovaj slučaj je poseban zbog toga što je pacijent imao u potpunosti funkcionalno kratkoročno pamćenje te dobro dugoročno pamćenje o događajima koji su se dogodili prije operacije u kojoj mu je uklonjen hipokampus. Odstranjivanje hipokampusa iz limbičkog sustava subjekta te jaki deficit pamćenja kojeg je odstranjivanje izazvalo su ukazali na važnost hipokampusa u formiranju dugoročnog pamćenja ljudi.

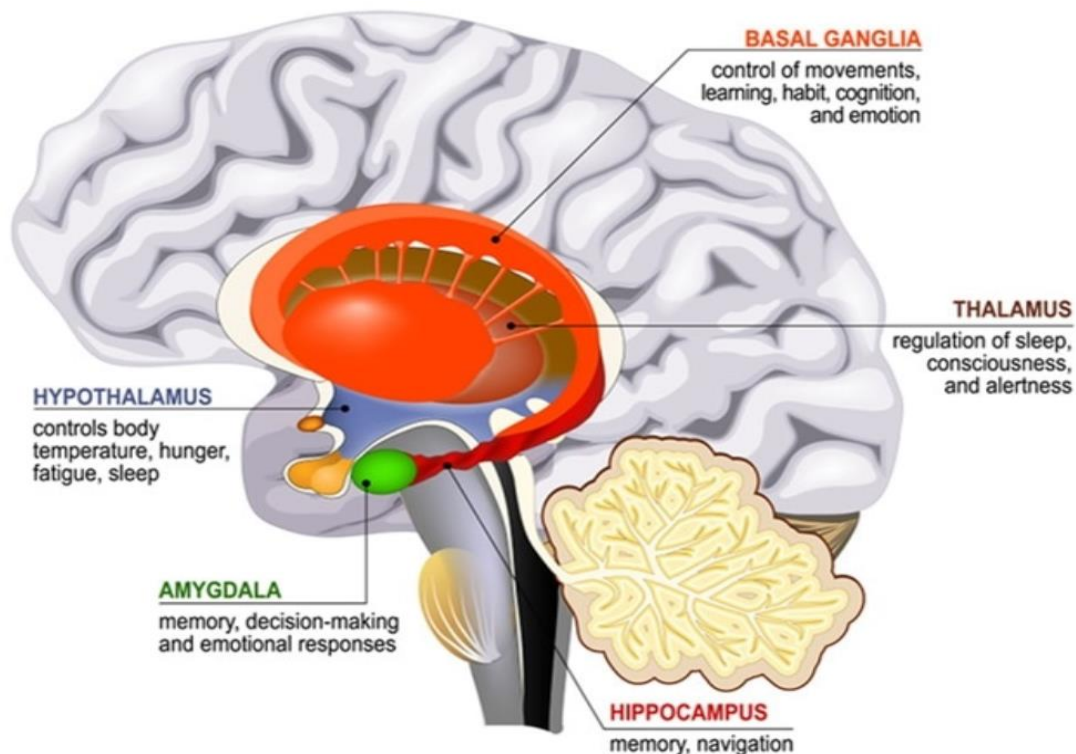
Hipokampus je dio limbičkog sustava koji je odgovoran za ljudske emocije, motivaciju te ponašanje i autonomne funkcije mozga. Svoje ime je dobio zbog oblika koji podsjeća na onaj morskog konjica. Kao dio limbičkog sustava, ima važnu ulogu u formiranju ljudskog pamćenja, formiranju adaptiranog ponašanja te u inhibiciji određenih vrsta ponašanja.<sup>40</sup>

Pacijent sa uklonjenim hipokampusom je zadržao mogućnost govora i vokabular kojeg je imao i ranije, što znači da semantička memorija nije bila oštećena. Međutim, Molaison nije mogao kodirati informacije iz kratkoročnog pamćenja u dugoročno pamćenje što znači da nije mogao dugoročno zapamtiti nikakve nove informacije o ljudima, svijetu, brojevima i događajima. Ovaj slučaj je veoma važan jer je po prvi put pokazao važnost veze između dugoročnog pamćenja i medijalnog temporalnog režnja sa hipokampusom.<sup>41</sup> Drugi dijelovi temporalnog režnja su također uključeni u sustav pamćenja, ali s drugačijim zadacima kao što su prepoznavanje objekata ili prostorna orijentacija.

---

<sup>40</sup> Yassa 2009, Encyclopaedia Britannica.

<sup>41</sup> Kandel et al. 2013, str. 1443.



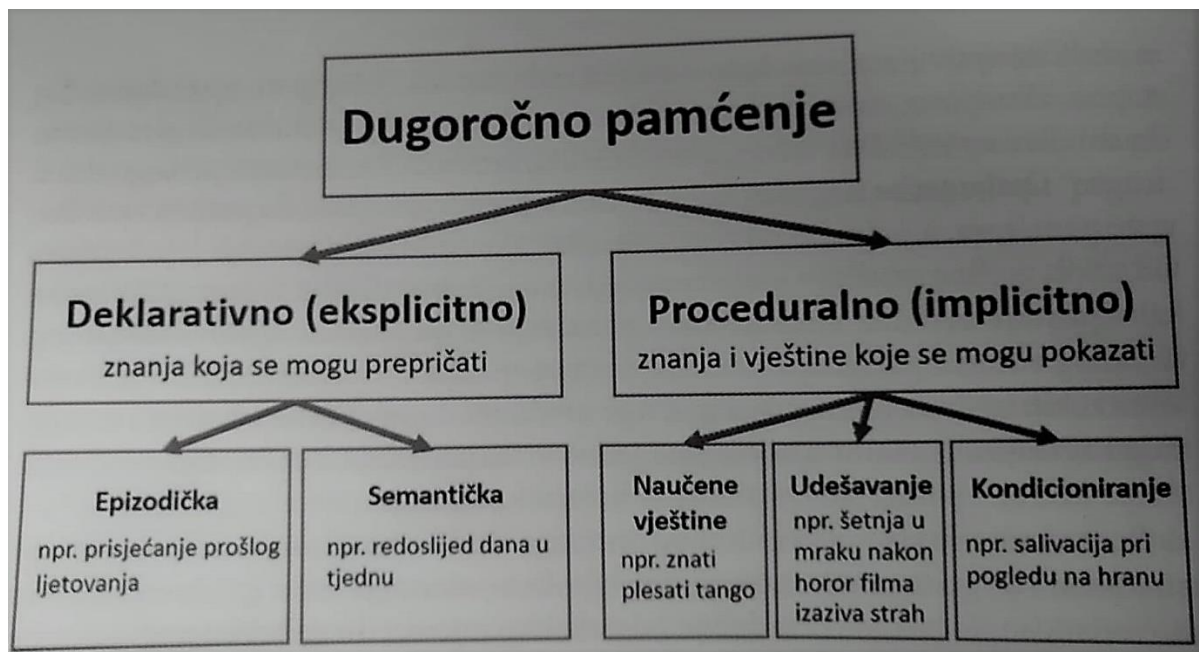
Slika 1. položaj hipokampusa u limbičkom sustavu (Dutta, S.S. Hippocampus functions. <https://www.news-medical.net/health/Hippocampus-Functions.aspx#1>)

Dugoročno pamćenje sadrži dvije podvrste pamćenja, a to su implicitno i eksplicitno pamćenje.

*Implicitno pamćenje* je nesvjesni oblik pamćenja kojeg možemo vidjeti u izvođenju nekog zadatka. Zbog toga je poznata kao proceduralno ili nedeklarativno pamćenje. U ovaj oblik dugoročnog pamćenja spadaju vještine, navike i automatske reakcije koje predstavljaju rigidan oblik pamćenja koji se čvrsto veže uz uvjete u kojima je takvo pamćenje nastalo. U implicitno pamćenje spadaju vještine kao što su pisanje, čitanje te upravljanje biciklom ili automobilom.

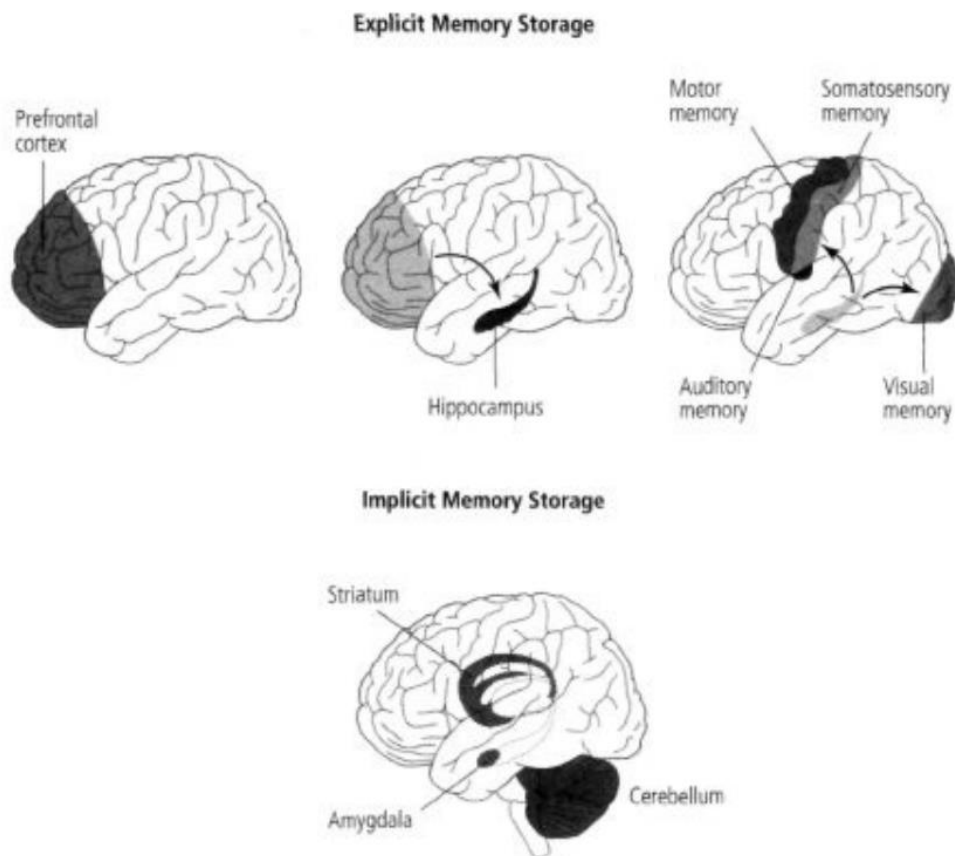
Drugi oblik dugoročnog pamćenja je *eksplicitno pamćenje* koje označava namjerno ili svjesno prizivanje upamćenih informacija o događajima, činjenično znanje o ljudima, mjestima i stvarima. Eksplicitno pamćenje je također poznato kao deklarativno pamćenje jer osoba može izraziti svoje sjećanje na svjestan način. Eksplicitno pamćenje je vrlo fleksibilno te nam

omogućuje umrežavanje i povezivanje različitih informacije.<sup>42</sup> Ovu vrstu pamćenja možemo vidjeti kada pojedinac deklarira svoje sjećanje na izvrsno jelo koje je konzumirao u lokalnom restoranu, točno određenog datuma uz pripadajuće činjenično znanje o imenu restorana, njegovoj lokaciji, imenu hrane koju je konzumirao, s kojom se osobom nalazio itd.



Slika 2. Obilježja dugoročnog pamćenja (Šimić, G. 2019. Uvod u neuroznanost učenja i pamćenja)

<sup>42</sup> Kandel 2013, str. 1446.



Slika 3. Prikaz moždanih regija odgovornih za pohranu eksplicitnog i implicitnog pamćenja (Kandel, E.R., 2006, In Search of Memory: The Emergence of a New Science of Mind)

Kako bi neka informacija bila ugrađena u dugoročno pamćenje te u eksplicitno pamćenje mora proći kroz četiri razine procesiranja. Prva razina je kodiranje i označava proces u kojem se nova informacija povezuje sa postojećim informacijama u pamćenju putem asocijacije. Nakon povezivanja informacija dolazi do druge razine koja predstavlja skladištenje informacije. Radi se o neuralnom mehanizmu pohranjivanja informacije u prostor koji je gotovo neograničen i može sadržavati nemjerljivu količinu informacija.

Nakon skladištenja informacije, treća razina pamćenja je konsolidacija informacije. Ona predstavlja proces u kojem postojeća informacija postaje snažnija i manje labilnom. Na taj način ova informacija postaje otporna na protok vremena i može biti prizvana u svijest pojedinac ukoliko



je potrebna. Tek nakon što je neka nova informacija konsolidirana u dugoročnom pamćenju možemo koristiti četvrtu razinu koja predstavlja dohvaćanje upamćene informacije. Ovaj proces nam omogućava da prizovemo informaciju iz dugoročnog pamćenja kako bi je ponovno koristili u kratkoročnom pamćenju za obavljanje različitih aktivnosti ili interakcija.<sup>43</sup>

Važnost načela asocijacije je potvrđena putem novijih neuroznanstvenih istraživanja, kao što je ono Joaquina M. Fustera koji naglašava da se pamćenje formira u mrežama neurona moždane kore kroz empirijska načela asociiranja te putem sinaptičkih mehanizama koji posreduju u njezinoj implementaciji.<sup>44</sup> Prisjećanje se pritom sastoji od višestruke aktivacije istih neuralnih mreža koje pomažu u stvaranju asocijacija. Ovaj fenomen ojačavanja sinaptičkih veza možemo identificirati u obliku fenomena LTP-a (long-term potentiation) o kojem će biti govora u nastavku ovog poglavlja.<sup>45</sup>

Ekperimentalno istraživanje učenja i pamćenja je započeo Hermann Ebbinghaus koji je tijekom perioda od dvije godine svakodnevno bilježio fenomene koji su bili povezani sa njegovom sposobnosti zapamćivanja i prisjećanja određenih slogova riječi koji zasebno nisu imali nikakvog smisla. Putem ovog istraživanja je razvio metodologiju razdvajanja subjektovog znanja na one informacije koje subjekt već zna i na ono znanje koje će steći za vrijeme eksperimenta. Ebbinghaus je putem ovog eksperimenta konstruirao krivulju zaboravljanja te utvrdio da informacije najčešće nestaju iz pamćenja u periodu od nekoliko sati nakon učenja informacija. Istraživanje je pokazalo da redovitim i distribuiranim učenjem lakše kodiramo informacije u dugoročno pamćenje nego učenjem svih informacija odjednom.<sup>46</sup>

Ebbinghausovo istraživanje je nastavio William James podijelivši proces upamćivanja na kratkotrajni osjet u kojem dobivamo reprezentaciju vanjskog svijeta, primarno pamćenje koje označava reprezentaciju nekog iskustva te sekundarno pamćenje kojim je označio neograničeni zapis iskustva u ljudskome mozgu. Ovi termini su preteča suvremenih termina koje vežemo uz pamćenje a to su osjetno, kratkoročno i dugoročno pamćenje.<sup>47</sup>

---

<sup>43</sup> Kandel 2013, str. 1447.

<sup>44</sup> Šimić 2019, str. 15.

<sup>45</sup> Istraživanje asocijativnosti pamćenja je započelo sa Aristotelom no njegove formulacije nisu relevantne za novija neuroznanstvena istraživanja pamćenja. Za više informacija o aristotelovom istraživanju pamćenja i njegovim načelima vidi Šimić, G. 2019. *Uvod u neuroznanost učenja i pamćenja*. Zagreb: Ljevak.

<sup>46</sup> Šimić 2019, str. 18.

<sup>47</sup> Šimić 2019, str. 19.

Početkom 20. st. je u medicini već bilo dobro poznato da gubitak svijesti, elektrošokovi, anestezija, pothlađivanje ili drugi postupci koji onemogućuju sintezu proteina na kraće vrijeme dovode do oštećenja kratkoročnog pamćenja, ali ne oštećuju dugoročno pamćenje. Dominantna hipoteza je bila preservacijsko-konsolidacijska hipoteza koju su formulirali Georg Elias Muller i Alfons Pilzecker.

Muller i Pilzecker su unaprijedili Ebbinghausovu metodu testiranja pamćenja te slogove koje je trebalo zapamtiti stavili na cilindrične kolute. Njihovo je testiranje pokazalo kako pamćenje ne može nastati trenutno, u istome trenutku kada učimo. Smatrali su da je za nastanak trajnog pamćenja potrebno određeno vrijeme koje su nazvali konsolidacijom.

*Konsolidacija* označava pretvorbu kratkoročnog pamćenja u dugoročno pamćenje. Na temelju tog saznanja je Santiago Ramon y Cajal zaključio da je kratkoročno pamćenje utemeljeno na elektro-fiziološkim fenomenima dok bi dugoročno pamćenje utemeljio na trajnijim fiziološkim promjenama u mozgu.<sup>48</sup> Hipoteza Mullere i Pilzeckera je potvrđena zadavanjem elektro-konvulzivnih šokova laboratorijskim štakorima odmah nakon učenja novih informacija te je potvrđeno da je zadavanjem elektrošokova pogoršana izvedba štakora. Time je dokazano da pamćenje ovisi o sintezi proteina te je moguće oštetiti sposobnost pamćenja ukoliko se onemogući sinteza proteina.

Jedan od najvažniji doprinosa istraživanju pamćenja je dao Donald Hebb koji je 1949. godine predložio svoje viđenje procesa učenja i pamćenja u mozgu. Hebb je smatrao da procese učenja i pamćenja treba objasniti kroz globalne promjene u ponašanju kao rezultatu aktivnosti pojedinačnih moždanih stanica. Prema tome, potrebno je objasniti kako plastičnost neurona kao lokalno svojstvo koje omogućuje prilagodbu i korištenje novog znanja omogućuje učenje na globalnoj razini cijelog mozga. Drugim riječima, potrebno je objasniti kako uzročno-posljedična veza između interakcija na staničnoj razini dovodi do prilagodbe organizma vanjskome svijetu.<sup>49</sup>

Hebb je zaključio da je odluka o promjeni bazirana na specifičnoj sinapsi koja sama po sebi nema znanje ili svijest koje bi joj omogućilo da shvati da je vrijeme za određenu promjenu. Ona te informacije dobiva preko signala koji nastaju zbog događaja u određenom vremenu i prostoru. Zbog toga plastičnost najviše ovisi o signalima koji su prisutni na sinapsi te promjena

---

<sup>48</sup> Šimić 2019, str. 20.

<sup>49</sup> Šimić 2019, str. 20.

može biti moguća samo u strukturama mozga koje su dovoljno bliske da bi mogle uzročno utjecati jedna na drugu. Prema tome, Hebb navodi da kada je akson jedne stanice dovoljno blizu da potakne drugu stanicu i prema njoj šalje višestruke signale, doći će do morfološke ili metaboličke promjene u obje stanice u kojoj će učinkovitost odašiljanja signala prve stanice biti povećana.<sup>50</sup>

Hebb je ovom teorijom nadopunio istraživanje Mullera i Pilzeckera jer je smatrao da višestruka neuronska aktivnost predstavlja temelj kratkoročnog pamćenja, ali je također nužna za morfološke i metaboličke promjene koje dovode do konsolidacije pamćenja i pohranjivanja novog znanja u dugoročnom pamćenju.<sup>51</sup>

Sva navedena istraživanja su usmjerila neuroznanstveno proučavanje pamćenja prema staničnim fenomenima koji su važni za formiranje kratkoročnog i dugoročnog pamćenja. U ovome radu ću pažnju obratiti na dva fenomena koji imaju ključnu ulogu u formiranju dugoročnog pamćenja.

Jedan od takvih fenomena je *konsolidacija pamćenja*. Radi se o fenomenu koji nastupa u vrijeme kodiranja nove memorije putem kojeg krhka informacija postaje dovoljno robusna i čvrsta da bi mogla biti pohranjena u dugoročno pamćenje.<sup>52</sup> Radi se o fenomenu pretvorbe kratkoročnog u dugoročno pamćenje.

Ovaj fenomen je poznat još od 1. st. kada ga je Kvintilijan prvi opisao. Međutim, fenomen nije istraživan putem eksperimenata sve do kraja 19. st. kada su ga Georg Elias Muller i Alfons Pilzecker imenovali konsolidacijom.<sup>53</sup> Ovaj fenomen možemo objasniti na temelju pokusa ranije spomenutog Hermanna Ebbinghauza iz 1885. koji je otkrio tehniku praćenja vremenskih intervala potrebnih da se određena fraza zapamti te da se potom mjeri vrijeme potrebno za zaboravljanje određene fraze.

Njegov eksperiment su Muller i Pilzecker usvojili i dodatno unaprijedili te proširili istraživanje na druge subjekte umjesto da istraživanje provode na sebi. Veze između informacija koje su subjekti upamćivali su dodatno ojačali koristeći upamćivanje parova samoglasnika koje

---

<sup>50</sup> Šimić 2019, str. 21.

<sup>51</sup> Za više informacija o Hebbovom istraživanju vidi Šimić, G. 2019. *Uvod u neuroznanost učenja i pamćenja*. Zagreb: Ljevak, str 22.

<sup>52</sup> Bechtel, 2009, str. 15.

<sup>53</sup> Bechtel, 2009, str. 15.

im je omogućilo promatranje između povezivanja različitih informacija u pamćenju te analizu pogrešaka i nadomjestaka informacija koje su bile zaboravljene.

Ovaj proces su nazvali *prezervacijom*. Na temelju eksperimenta su mogli zaključiti da prezervacija ima funkciju pomoći u formiranju novih reprezentacija samoglasnika u pamćenju te funkciju jačanja veza između različitih upamćenih informacija, odnosno da prezervacija pomaže u konsolidaciji novog pamćenja.<sup>54</sup> Ovaj inovativni eksperiment je također pokazao da će subjekti zaboraviti puno veću količinu informacija ukoliko im se odmah nakon učenja zada nova aktivnost koja predstavlja mentalni izazov za subjekta. S druge strane, ukoliko pauza između dvaju aktivnosti bude duga barem nekoliko minuta, doći će do većeg broja upamćenih informacija.

Eksperiment Mullera i Pilzeckera je postao baza mnogih drugih eksperimenata. William McDougall i William Burnham su primijenili nalaze njihovog eksperimenta na fenomen retroaktivne amnezije koja podrazumijeva gubitak pamćenja u vremenu prije ozljede ili velikog šoka. To je 1949. omogućilo Carlu Duncanu da potvrdi postojanje retroaktivne amnezije putem zadavanja električnih šokova na laboratorijskim štakorima.<sup>55</sup>

Fenomen konsolidacije pamćenja je zbog toga postao dijelom biološki orijentiranih istraživanja pamćenja koja postaju aktualna tek u drugoj polovici 20. st., zamijenivši psihološka istraživanja gubitka pamćenja. Istraživanja, ranije spomenutog, Donalda Hebba vezana uz postepeno povećanje kortikalnih veza između neurona koji djeluju zajedno tijekom konsolidacije pamćenja su potaknula veliki interes za istraživanjem važnosti sinteze proteina u konsolidaciji pamćenja. Time je omogućeno ostvarivanje novih saznanja o tome kako je sinteza proteina odgovorna za formiranje dugoročnog pamćenja, ali ne kratkoročnog pamćenja.<sup>56</sup>

Drugi važan fenomen u formiranju pamćenja je fenomen LTP-a (Long-Term Potentiation). Ovaj fenomen je važan u formiranju dugoročnog pamćenja kod ljudi te djeluje sukladno konsolidaciji pamćenja. Istraživači su 1950-ih i 1960-ih godina obratili pažnju na nestajanje električnih impulsa stanica u hipokampusu te otkrili da se stanice mogu ponovno aktivirati ukoliko im se zada kratka stimulacija putem tetanusa.

---

<sup>54</sup> Bechtel, 2009, str. 15.

<sup>55</sup> Bechtel, 2009, str. 15.

<sup>56</sup> Bechtel, 2009, str. 16.

Ovo otkriće je nastalo na temelju eksperimenta aplikacije tetanusa u područje hipokampusa jer se smatralo da ovo područje uzrokuje preveliku aktivnost živčanih impulsa te posljedično epileptične napadaje kod proučavanih subjekata. Na taj način je putem stalne aktivacije moždanih stanica otkriven fenomen LTP-a te važna uloga hipokampusa u stvaranju dugoročnog pamćenja. LTP je dio procesa konsolidacije pamćenja koji dolazi kronološki nakon kodiranja novog sjećanja. Istraživanje uloge hipokampusa u kodiranju dugoročnog pamćenja je rezultiralo identificiranjem dugoročne potencijacije (LTP).

LTP označava stanični fenomen trajnog ojačavanja aktivacije postsinaptičke stanice zbog inputa predsinaptičke stanice.<sup>57</sup> Tim Bliss i Terje Lomo su putem ovakvih eksperimenata otkrili dugotrajnu prisutnost LTP-a.

Kako bi se otkrila stanična priroda ovog fenomena korišteni su uzorci moždanog tkiva kako bi se izolirale moždane stanice koje proizvode ovaj fenomen. Predisinaptičke stanice su stimulirali putem elektroda te mjerili output postsinaptičkih stanica. Ovo istraživanje im je omogućilo da zakluče da je LTP stvaran stanični fenomen koji ima važnu ulogu u učenju i formiranju pamćenja.<sup>58</sup> Tijekom dodatnih istraživanja su uspješno objasnili mehanizam LTP-a otkrivši njegove operativne dijelove i njihove operacije putem neurotransmitera i receptora u moždanim stanicama.

Novija istraživanja ovog fenomena su veliku pažnju posvetila hipokampalnom Schafferovom kolateralnom putu. Radi se o skupini aksona iz hipokampalne regije stanica CA3 koje su sinaptički povezane sa drugim hipokampalnim regijama te pokazuju veliku važnost hipokampusa u stvaranju dugoročne memorije.<sup>59</sup>

Istraživanja su pokazala da fenomen LTP-a možemo podijeliti u dvije faze. Rana faza LTP-a započinje odmah nakon jedinstvenog električnog impulsa visoke frekvencije živčanim vlaknima u Schafferovom putu koji se opetovana ponavlja u periodu od jednog do tri sata nakon izvorne stimulacije vlakana. Zbog toga ova rana faza LTP-a ne proizvodi nikakve nove proteine kako bi nastavila komunikaciju između živčanih vlakana. Komunikacija između neurona na ovoj razini se događa putem neurotransmitera glutamata koji se veže na AMPA receptore stanica i mijenja

---

<sup>57</sup> Bechtel, 2009, str. 16.

<sup>58</sup> Bechtel, 2009, str. 17.

<sup>59</sup> Bickle, 2003, str. 62.

njihovu fiziološku strukturu. Promjenom strukturu u receptorima nastaju putevi za prolaz natrijevog kationa ( $\text{Na}^+$ ) koji izaziva pozitivne električne signale u sada depolariziranoj stanici. Depolarizacija stanice aktivira drugu vrstu receptora glutamata pod nazivom NMDA receptori. Pod utjecajem depolariziranih AMPA receptora, NMDA receptori mijenjaju svoju polarizaciju i dopuštaju vezanje glutamata te, posljedično, prijenos električnog impulsa.<sup>60</sup>

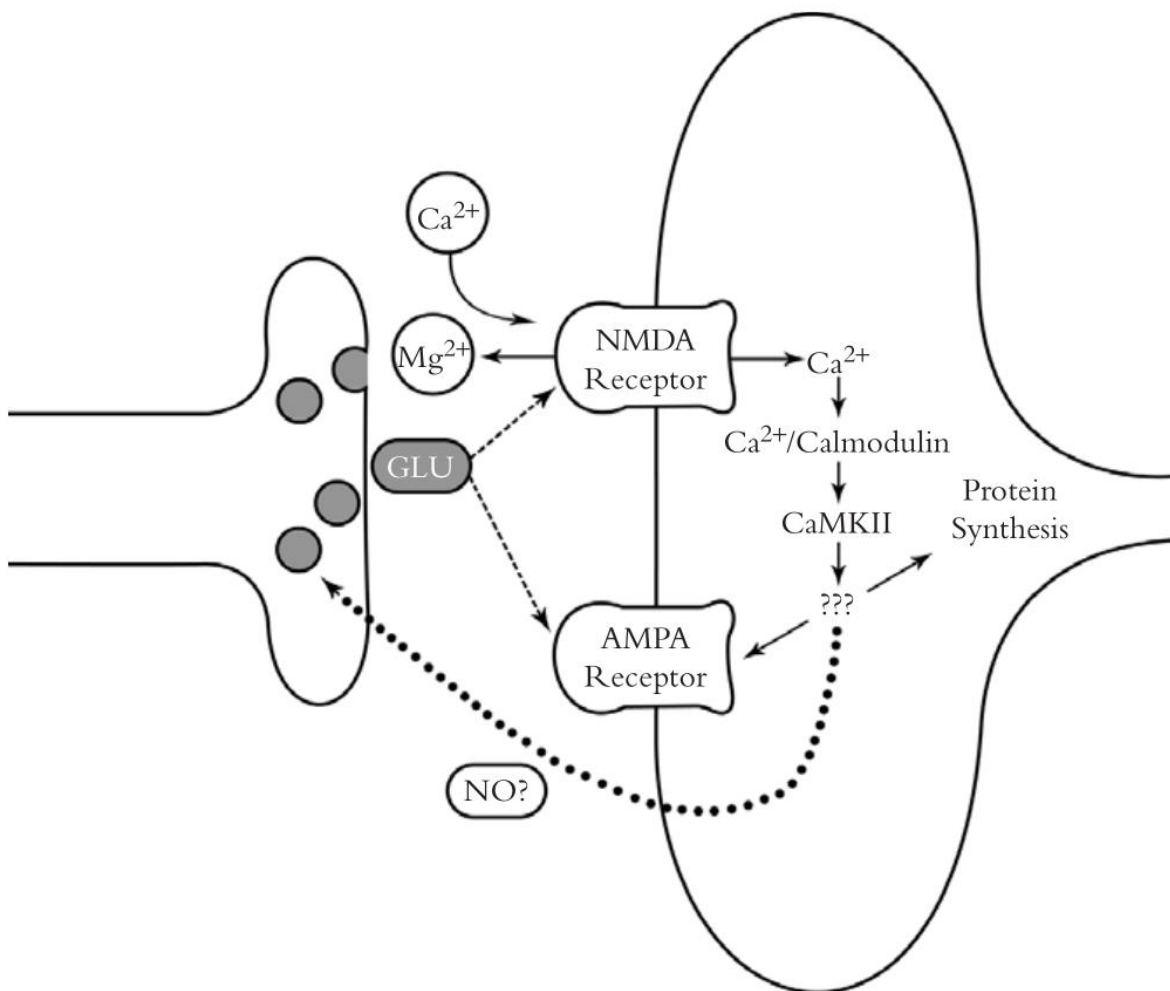
Nova istraživanja su pokazala da u ranoj fazi LTP-a također postoji retrogradna neurotransmisija signala putem dušikovog oksida (NO) koji u ovom slučaju djeluje kao neurotransmiter. Svojim otapanjem u predsinaptičkoj stanici, dušikov oksid vraća signal iz postinaptičke u predsinaptičku stanicu te na taj način motivira predsinaptičku stanicu na dodatno izlučivanje glutamata.<sup>61</sup> Na taj način ovaj fenomen samostalno održava višestruku potencijaciju postsinaptičke stanice te dodatno ojačava prijenos impulsa između promatranih stanica.

Kasna faza LTP-a pokazuje važno obilježje ovog fenomena, temporalnu trajnost. Potencirane sinapse mogu zadržati svoju aktivnost kroz period u trajanju od nekoliko sati do nekoliko dana. Nakon rane faze LTP-a koja završava najkasnije 3 sata nakon izvorne stimulacije stanice u Schafferovom hipokampalnom putu može doći do ponovne stimulacije koja „trenira“ stanice i na taj način im omogućava jačanje prijenosa impulsa. Što je prijenos impulsa jači i dugotrajniji, veća je vjerojatnost da će doći do konsolidacije novog pamćenja i prijenosa informacije iz kratkoročnog u dugoročno pamćenje. Da bi moglo doći do veće količine prijenosa impulsa i njihove repeticije, potrebno je izlučivanje veće količine glutamata u predsinaptičkoj

---

<sup>60</sup> Bickle, 2003, str. 64.

<sup>61</sup> Bickle, 2003, str. 66.



Slika 4. Shema mehanizma LTP-a (Craver, C.F. 2007. *Explaining the Brain: Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*. Clarendon Press: Oxford, str. 71.)

stanici koji je glavni nositelj živčanih impulsa.<sup>62</sup> Kasna faza zahtjeva sintezu novih proteina koji će pomoći u stvaranju dugoročne memorije.

Ovako prikazan, fenomen LTP-a vrlo dobro prikazuje kako funkcionira mehanističko objašnjenje i kako neuroznanstveni termini mogu biti dobro prikazani i objašnjeni na temelju mehanizama. Kako bi se mehanistički objasnio fenomen LTP-a bilo je potrebno identificirati sve entitete koji sudjeluju u proizvodnji ovog fenomena. U ovome slučaju ti entiteti se nalaze na molekularnoj i staničnoj razini te obuhvaćaju pre- i postsinaptičku stanicu,

<sup>62</sup> Bickel, 2003, str. 67.

neurotransmitere (glutamat, dušikov oksid itd.), receptore neurotransmitera (NMDA, AMPA) te gene i proteine koji se sintetiziraju na temelju informacija dobivenih iz genoma. Svaki od ovih entiteta na temelju svoje aktivnosti te na individualan način doprinosi proizvodnji višestruke potencijacije postsinaptičke stanice čime se ojačava prijenos informacije te, nakon određenog vremena i sinteze novih proteina, stvaranje novog dugoročnog pamćenja koje je dovoljno rigidno i stabilno da bi moglo odoljeti testu vremena.

Otkrića fenomena konsolidacije pamćenja i fenomena dugoročne potencijacije pamćenja (LTP) su pokazala kolika je važnost hipokampusa u stvaranju dugoročnog pamćenja kod ljudi. Međutim, nakon otkrivanja ovih važnih fenomena postavilo se pitanje o tome koja je doista uloga hipokampusa u njihovom funkcioniranju. Ovo pitanje je dovelo do formulacije tri teorije pamćenja koje nastoje objasniti koja je uloga hipokampusa.

### 3.3 TEORIJE PAMĆENJA

Ranije navedeni eksperimenti su pokazali da fenomen konsolidacije pamćenja uvelike ovisi o funkcioniranju hipokampusa. Eksperimenti su pokazali da hipokampus povezuje informacije koje dolaze iz različitih područja moždane kore te potom konsolidira dobivene informacije u neokorteksu.

Neokorteks je dio mozga koji je odgovoran za stvaranje viših kognitivnih funkcija kao što su percepcija, kognicija, motorne vještine itd. Konsolidacija informacija u neokorteksu omogućuje to da se naučene informacije mogu koristiti neovisno od samog hipokampusa pa prema tome možemo zaključiti da hipokampus nije mjesto trajne pohrane informacije ili mjesto gdje možemo locirati dugoročno pamćenje.

Uloga hipokampusa u konsolidaciji nove memorije je više „mentorske“ prirode jer vrlo brzo prikuplja veliku količinu senzornih i drugih informacija iz našeg okruženja te koristi tragove informacija kako bi pobudio sjećanje u dijelovima moždane kore.<sup>63</sup> Na taj način, hipokampus pomaže u konsolidaciji velikog broja informacija šaljući ih moždanoj kori kojoj je potrebno mnogo

---

<sup>63</sup> Šimić, 2019, str. 70.



duže razdoblje da bi konsolidirala i potpuno pohranila novu informaciju u dugoročno pamćenje. Moždanj kori je potrebno šest do osam tjedana da bi preuzela i integrirala pojedine aspekte hipokampalnih reprezentacija.

Ovakva teorija fenomena konsolidacije je poznata kao *Standardni model sustavne konsolidacije* (Standard Model of Systems Consolidation – SMSC). Prema ovome modelu hipokampus, sa ciljem stvaranja traga pamćenja cjelokupnog iskustva, u početku brzo integrira i povezuje sve informacije koje preko moždane kore primi iz asocijativnih područja. Nakon toga, tijekom dužeg razdoblja, hipokampus polako stvara i postupno stabilizira trag pamćenja u moždanoj kori putem ponavljajućih reaktivacija hipokampalnih i kortikalnih mreža neurona.

Ovakav proces konsolidacije pamćenja omogućuje da putem duljeg vremenskog razdoblja i postepenog sazrijevanja sjećanja ona postaju sve manje ovisna o inputu iz hipokampusa te na kraju procesa konsolidacije mogu biti trajno dostupna bez ikakve pomoći hipokampusa.<sup>64</sup> Zbog toga je hipokampus neophodan u stvaranju epizodičkog deklarativnog sjećanja i kratkoročnog pamćenja.

Novija istraživanja su pokazala da uz kratkoročno pamćenje, hipokampus može imati važnu ulogu u dugoročnom pamćenju. Takva se teorija naziva *Teorijom višestrukih tragova* (Multiple Trace Theory – MTT). Prema ovoj teoriji hipokampus ima neozaobilaznu ulogu u prisjećanju, jednako kao u pohrani novog sjećanja. Njome se tvrdi da „svaki puta kada se prisjećamo nekog događaja dolazi do njegovog ponovnog kodiranja u obliku višestrukih i snažnijih tragova pamćenja koji se raspršuju na sve veće dijelove istih hipokampalno-kortikalnih mreža.“<sup>65</sup>

Budući da prisjećanjem dolazi do rekonsolidacije sjećanja, dolazi do stvaranja različitih tragova za isto sjećanje. Zbog toga će, prema MTT-u, u slučaju prisjećanja nekih davno stečenih sjećanja koja imaju bogati autobiografski sadržaj uvijek doći do ponovne aktivacije hipokampusa što pokazuje da je aktivacija hipokampusa nužna za prisjećanje epizodičkog sadržaja bez obzira na starost pohranjenog sjećanja.<sup>66</sup>

---

<sup>64</sup> Šimić, 2019, str. 71.

<sup>65</sup> Šimić 2019, str. 72.

<sup>66</sup> Šimić, 2019, str. 72.

Novija istraživanja Karla Diesserotha su pokazala da obje od navedenih teorija imaju određene nedostatke. Putem inhibicije aktivnosti neurona koda miševa je dokazao da hipokampus ima neophodnu ulogu u prizivanju starih sjećanja što je potpuno suprotno SMSC teoriji.

Inhibicijom neurona je došlo do blokade učenja i prisjećanja no nakon dužeg vremena inhibicije učinak je nestao jer je došlo do oštećenja samo novih sjećanja dok su ona starija bila u potpunosti netaknuta. Budući da inhibicija nije utjecala na prizivanje starih sjećanja, ovi rezultati su u suprotnosti sa MTT teorijom.<sup>67</sup> Diesseroth je ovim eksperimentom pokazao da postoji vremenski određena aktivacija hipokampusa što znači da su novostvorena sjećanja s vremenom sve manje ovisna o ponovnoj aktivaciji hipokampusa.

Zbog nedostataka SMSC i MTT teorija je formulirana *Teorija suparničkih tragova* (Competitive Trace Theory – CTT). Ova nova teorija sadrži obilježja SMSC i MTT teorija. Njezine ključne tvrdnje se temelje na ideji da svaki put kad se neko sjećanje ponovno aktivira, hipokampus preuzima ulogu kontekstualizacije tog sjećanja na način koji je sličan prijašnjem tragu.

Tijekom dužeg vremenskog perioda dolazi do dekontekstualizacije sjećanja zbog interferencije koja nastaje između sličnih tragova sjećanja. Na taj način se epizodičko sjećanje nadopunjuje detaljima starijih tragova sjećanja što potencijalno može dovesti do stvaranja lažne memorije, odnosno do stvaranja sjećanja koje se nikada nije dogodilo.<sup>68</sup>

### 3.4 ZAKLJUČNO O PAMĆENJU

U ovome poglavlju sam prikazao najvažnija obilježja fenomena pamćenja. Objasnio sam tri važne neuroznanstvene teorije kojima se nastoji objasniti kako funkcionira pamćenje te koja je uloga hipokampusa u stvaranju novih sjećanja i dohvaćanju starih. Neovisno o nedostacima teorija SMSC i MTT te o novim rezultatima istraživanja koji su nastali na temelju CTT teorije, možemo doći do nekoliko važnih informacija koje su relevantne za raspravu kojom se bavim u ovome radu.

---

<sup>67</sup> Šimić, 2019, str. 73.

<sup>68</sup> Šimić, 2019, str. 75.

Neurološki procesi koji rezultiraju postojanjem fenomena pamćenja ovise o nizu vrlo kompleksnih i duboko povezanih interakcija između neurona različitih moždanih područja. Interakcija ovih neurona može biti objašnjena na temelju pojedinih stanica i njihovih biokemijskih procesa koji rezultiraju stvaranjem sjećanja neovisno o tome radi li se o kratkoročnom ili dugoročnom pamćenju. Jednako tako, ovi kompleksni stanični fenomeni mogu biti vrlo dobro objašnjeni putem različitih mehanizama koji su odgovorni za stvaranje sjećanja, njegovo osnaživanje, pohranjivanje te kasnije dohvaćanje sjećanja (kao što su LTP, konsolidacija, rekonsolidacija itd.). Zbog toga ću u sljedećem poglavlju detaljno analizirati filozofsku raspravu između mehanističkog i nemilosrdnog redukcionizma te na temelju istraživanja pamćenja kojeg sam prikazao u ovome poglavlju analizirati njihove implikacije i pokazati koja bi filozofska pozicija mogla ponuditi bolje objašnjenje za neuroznanstveno istraživanje pamćenja.

Kako sam ranije naveo, mehanističkim redukcionizmom se nastoji objasniti funkcioniranje mozga u terminima dijelova mehanizama, njihovih operacija te fenomena kojeg određeni mehanizam u mozgu proizvodi. Njihov cilj je razumjeti način organizacije mehanizama u mozgu te kako su operacije pojedinih dijelova mehanizama organizirani kako bi realizirali određeni fenomen. S druge strane, nemilosrdni redukcionisti smatraju da mentalni proces u našem mozgu mogu biti dobro objašnjeni koristeći individualne neurone ili molekularne procese koji se odvijaju na razini pojedinog neurona. Tako pojedini fenomen možemo objasniti samo koristeći individualne neurone, njihove grupe te različite kemijske reakcije u njihovom međuodnosu.

Pristupi ovih redukcionističkih pozicija se razlikuju u kriterijima formiranja preciznog objašnjenja mentalnih procesa. Mehanistički redukcionisti će dobrim objašnjenjem smatrati precizan opis promatranog fenomena kojeg dobivamo putem opisa entiteta i njihovih operacija koje proizvode promatrani fenomen, a nemilosrdni redukcionisti će za dobro objašnjenje mentalnih procesa smatrati ono objašnjenje koje može precizno opisati promatrane mentalne fenomene putem opisa aktivnosti pojedinih neurona, opisa kemijskih promjene unutar svakog neurona te njihovim umrežavanjem u proizvodnji nekog mentalnog fenomena.

## 4 STANICA ILI MEHANIZAM? ARGUMENTI DVAJU REDUKCIONISTIČKIH POZICIJA

---

### 4.1 UVOD

U ovome poglavlju ću primijeniti saznanja iz područja istraživanja pamćenja kako bih analizirao argumentaciju dvaju redukcionističkih pozicija kojima se bavim u ovome radu. Kako sam ranije naveo, mehanistički i nemilosrdni redukcionizam predstavljaju dvije različite redukcionističke pozicije čija razlika leži u prihvaćanju najniže razine objašnjenja koju smatraju relevantnom za jasno i kvalitetno razumijevanje principa putem kojih funkcionira moždani sustav kod čovjeka. U ovome poglavlju ću detaljno predstaviti obje pozicije te prikazati sličnosti i razlike između mehanističkog i nemilosrdnog redukcionizma.

Nakon predstavljanja pozicije mehanističkog redukcionizam, prikazat ću njihov glavni argument kojim nastoje dokazati da mehanistički redukcionizam uspješno rješava problem višestrukih razina objašnjenja putem jednostavne formulacije objašnjenja samo jednu razinu ispod promatranog fenomena. Pokazat ću kako im rješavanje ovog problema potencijalno omogućuje formulaciju jednostavnog i elegantnog objašnjenja te ponuditi prigovor njihovom argumentu. Potom ću detaljno analizirati obilježja nemilosrdnog redukcionizma i prikazati njihovu argumentaciju kojom mogu izbjeći problem višestrukih razina objašnjenja i pokazati da dobro neuroznanstveno objašnjenje doista može biti formulirano koristeći termine kao što se neuroni ili kemijski procesi unutar stanica.

## 4.2 MEHANISTIČKI REDUKCIONIZAM

Kako bismo jasnije razumjeli kakvo je filozofsko stajalište mehanističkih redukcionista, prvo moramo razumjeti što je to mehanizam. U neuroznanstvenoj terminologiji se pojam mehanizma često objašnjava kroz putove, sustave ili supstrate (causal pathways, systems, substrats), no filozofi će sve ove termine objediniti pojmom mehanizma. Ovaj pojam je kroz svoju povijest označavao mnogo različitih stvari, no danas se uvriježeno koristi jednostavna i precizna definicija mehanizma.

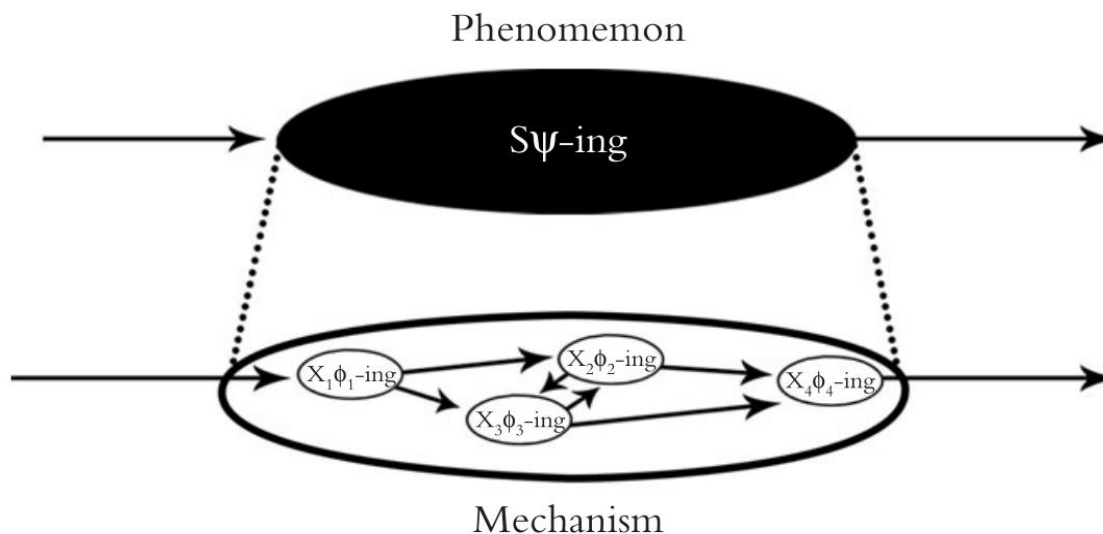
Prema ovoj definiciji, mehanizam označava „... set entiteta i njihovih aktivnosti organiziranih tako da proizvode fenomen kojeg se nastoji objasniti.“<sup>69</sup> Primjerice, da bismo uspješno objasnili kako neuroni međusobno komuniciraju putem neurotransmitera, moramo prvo identificirati pojedine entitete koji sudjeluju u proizvodnji nekog fenomena, te potom identificirati operacije individualnih entiteta putem kojih sudjeluju u proizvodnji promatranog fenomena.

Objašnjenje koje nastaje putem identifikacije mehanizma i njegovog pripadajućeg fenomena kojeg proizvodi zovemo mehanističkim objašnjenjem. Radi se o kauzalnom objašnjenju jer promatrani fenomen nastaje zbog aktivnosti pojedinih entiteta u mehanizmu koji ga na taj način uzrokuju.<sup>70</sup> Mehanističko objašnjenje imamo onda kada promatrani fenomen (koji ovdje predstavlja eksplanandum objašnjenja) možemo opisati putem entiteta, njihove organizacije i njihovih pojedinih aktivnosti koje u ovom slučaju označavaju eksplanans fenomena.<sup>71</sup>

---

<sup>69</sup> Craver, 2007, str. 5.

<sup>70</sup> Robins i Craver, 2009, str. 43.



Slika 5. Skica fenomena i pripadajućeg mehanizma koji ga proizvodi (Craver, C.F. 2007. Explaining the Brain: Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience. Clarendon Press: Oxford, str. 7.

Mehanistički redukcionisti smatraju da najniža promatrana razina potrebna za formuliranje kvalitetnog objašnjenja mentalnih procesa treba biti razina individualnih mehanizama koji se nalaze samo jednu razinu ispod fenomena kojeg nastojimo objasniti. Iz tog razloga, objašnjenje fenomena mogu formulirati koristeći dijelove mehanizma i njihove operacije, bez potrebe za spuštanjem na niže razine objašnjenja. Za njih objasniti fenomen znači opisati mehanizam odgovoran za proizvodnju promatranog fenomena. Na ovoj razini objašnjenja možemo formulirati tako da identificiramo najvažnije dijelove promatranih mehanizama. Nakon identifikacije pojedinih dijelova mehanizama možemo promatrati operacije i aktivnosti svakog pojedinog dijela kako bismo utvrdili kako svaki pojedini dio mehanizma sudjeluje u stvaranju fenomena kojeg mehanizam kao cjelina proizvodi. Mehanistički redukcionisti, stoga, smatraju da identifikacijom i opisivanjem funkcioniranja pojedinog mehanizma ili njihovih sustava možemo imati objašnjenje koje na kvalitetan način opisuje kako nastaju naši mentalni procesi te kako mozak funkcionira kao sustav isprepletenih, kompleksnih mehanizama.

Mehanistički redukcionizam stavlja veliki fokus na razliku između entiteta i njihovih operacija. Entiteti ili dijelovi mehanizama imaju strukturnu važnost jer promatrani mehanizam možemo objasniti tek kad smo identificirali njegove najvažnije operative entitete, subjekte koji

direktno sudjeluju u proizvodnji nekog fenomena. Operacije promatranih entiteta imaju funkcionalnu važnost jer označavaju vršenje neke radnje putem koje entiteti mehanizama mijenjaju sebe ili vode do promjena u procesu proizvodnje fenomena.<sup>72</sup>

Kada govorimo o mentalnim fenomenima radi se o identifikaciji svih ili barem onih operativnih entiteta mentalnih mehanizama te o razumijevanju način na koje su promatrani entiteti organizirani u proizvodnji promatranog fenomena. Za većinu mentalnih mehanizama ti operativni entiteti mogu biti karakterizirani u terminima moždanih regija ili populacija moždanih stanica integriranih u dobro povezane mreže koje zajedno čine mehanizme odgovorne za proizvodnju mentalnih fenomena.<sup>73</sup>

Ranije spomenuti fenomen LTP-a (Long-Term potentiation) može biti vrlo precizno prikazan putem objašnjenja mehanizma koji se nalazi u pozadini ovog fenomena. Ovaj mehanizam povezuje unutarstanične molekularne mehanizme sa mjerljivim promjenama u ponašanju promatranih subjekata.

Detaljnijom analizom svih navedenih tvrdnji mehanističkih redukcionista možemo formulirati bazu njihove argumentacije kojom mogu tvrditi da su mehanizmi najbolji za konstrukciju objašnjenja u neuroznanosti. Argument za mehanistički redukcionizam bi glasio ovako:

*Prvo*, mehanistički redukcionisti smatraju da je mehanizam set entiteta i njihovih operacija. Kako sam već naveo, poanta svakog mehanizma je u objašnjenju proizvodnje određenog fenomena koji nastaje na temelju operativnih entiteta te na temelju svojih operacija proizvode promatrani fenomen. U proučavanju mentalnih fenomena, entiteti mehanizama će biti pojedine moždane regije ili skupine stanica koje svojom aktivacijom stvaraju promatrani fenomen. Primjerice, fenomen LTP na taj način možemo prikazati putem hipokampalnog Schafferovog puta, predsinaptičke i postsinaptičke stanice, jakog električnog impulsa, neurotransmitera i njihovih receptora čijom se aktivnosti proizvodi fenomen LTP-a.

*Drugo*, entiteti i njihove operacije proizvode promatrani fenomen. Mehanistički redukcionisti tvrde da ako uspješno identificiramo operativne entitete i njihove operacije tada

---

<sup>72</sup> Bechtel, 2009, str. 20.

<sup>73</sup> Bechtel, 2009, str. 14.

možemo tvrditi da imamo objašnjenje određenog mehanizma. Na primjer, fenomen LTP-a može biti objašnjen putem identifikacije njegovih operativnih dijelova koji će u ovom slučaju biti Schafferov put kao dio hipokampalne skupine stanica koje se aktiviraju putem jakog električnog impulsa. Aktivacijom stanica potom dolazi do lučenja neurotransmitera glutamata koji se veže na AMPA i NMDA receptore te time depolarizira postsinaptičku stanicu i omogućuje prijenos molekula koje će pokrenuti sintezu novih proteina odgovornih za stvaranje nove memorije.

*Treće*, entiteti i njihove operacije se nalaze samo jednu razinu ispod razine promatranog fenomena. Budući da se mehanizmi sastoje od operativnih entiteta i njihovih operacija koji zajedno proizvode promatrani fenomen, nalaze se samo jednu razinu objašnjenja ispod formulacije cijelog mehanizma. Zbog toga je objašnjenje nekog fenomena vrlo jednostavno te može biti jasno i precizno prikazano putem jednostavnog modela mehanizma. Takvo jednostavno objašnjenje promatranog fenomena jamči da neće doći do problematičnih formulacija u prelasku od razine pojedinih entiteta do razine mehanizma. Primjerice, objašnjenje fenomena LTP-a možemo vrlo jednostavno prikazati opisom pojedinih entiteta koji direktno doprinose proizvodnji ovog fenomena. Opisom ranije navedenih entiteta i njihovih operacija koje sudjeluju u proizvodnji fenomena LTP-a ostajemo samo jednu razinu ispod formulacije cijelog mehanizma te na jednostavan način možemo prikazati model mehanizma koji jasno i precizno objašnjava kako nastaje fenomen LTP-a.

Sve navedene tvrdnje omogućavaju mehanističkim redukcionistima da zaključe da mehanistički redukcionizam izbjegava problem višestrukih razina objašnjenja kakav bi se mogao pojaviti ukoliko bismo svaki pojedini operativni entitet razložili u najsitnije detalje jer bi tada na još nižim razinama trebalo dodatno opisati i objasniti kako entiteti nižih razina proizvode određeni fenomen. Zbog toga smatraju da mehanizam sa pripadajućim jednostavnim modelima čini najjednostavniji i najprecizniji alat u objašnjenju mentalnih fenomena te može biti korišten vrlo pragmatično u neuroznanstvenim istraživanjima.

Ovaj argument mehanističkih redukcionista na vrlo dobar način zahvaća koje su prednosti ove redukcionističke pozicije. Radi se o poziciji koja na jednostavan i elegantan način putem mehanizama donosi vrlo pragmatičan pristup formulaciji objašnjenja mentalnih fenomena. Smatram da ovakav pristup u formiranju neuroznanstvenih objašnjenja može imati svoje mjesto u



znanosti, primarno koristeći jednostavne modele da bi se na jednostavan način prikazalo vrlo kompleksne procese koji postoje u našem mozgu.

Međutim, korištenje mehanizama u vrijeme velikog tehnološkog i znanstvenog napretka u neuroznanosti ne zadovoljava u potpunosti potrebe za vrlo preciznim i detaljnim objašnjenjem mentalnih procesa. Budući da objasniti neki fenomen znači objasniti mehanizam te njegove operativne entitete i njihove operacije, upitno je koliko se vrlo kompleksni procesi, kao što su mentalni procesi, mogu na jednostavan način prikazati putem mehanizama. Spuštanje na niže eksplanatorne razine može biti mnogo informativnije od pukog opisa entiteta i njihovih operacije koje proizvode fenomen kojeg mehanistički redukcionisti žele opisati.

Prilikom prikazivanja fenomena LTP-a bilo je vidljivo da se sastoji od cijelog niza vrlo kompleksnih entiteta od kojih svaki entitet može biti proizvod zasebnog mehanizma koji djeluje na razini ispod njega. Kada bismo svaki operativni entitet nekog mehanizma dodatno razlagali na sve bazičnije forme, stvorili bi vrlo kompleksnu mrežu mehanizama koja zapravo u potpunosti ovisi o procesima koji se događaju na staničnoj i molekularnoj razini svakog od promatranih entiteta. Iz tog razloga, mehanistički redukcionisti ne mogu tvrditi da uspješno izbjegavaju problem premošćivanja velikog broja razina u objašnjenju jer neki fenomen ne možemo u potpunosti objasniti bez dobrog opisa svakog entiteta i njihovih operacija. Zbog toga se čini da bi dobro objašnjenje trebalo formulirati na nižim eksplanatornim razinama koje mogu ponuditi puno više informacija o promatranom fenomenu od opisa mehanizma i njegovih dijelova.

### 4.3 NEMILOSRDNI REDUKCIONIZAM

Suprotno mehanističkim redukcionistima, nemilosrdni redukcionisti smatraju da je mehanistički način objašnjavanja mentalnih procesa vrlo neprecizan i nedostatan da bismo mogli formulirati precizno i jasno objašnjenje mentalnih procesa. Nemilosrdni redukcionizam svoju pažnju fokusira na staničnim i molekularnim procesima koji sami po sebi nisu operativni dijelovi mehanizama, kakvima bi ih smatrali mehanistički redukcionisti.

Prema njihovom stajalištu, razumijevanje kognitivnog ponašanja ljudskog moždanog sustava ovisi o tome koliko dobro poznajemo procese koji se odvijaju na staničnoj i molekularnoj

razini mozga. Razina koju nemilosrdni redukcionisti promatraju je niža od razine operativnih entiteta mehanizama. Iz tog razloga, nemilosrdni redukcionisti mogu tvrditi da ne možemo identificirati najvažnije operativne entitete mehanizma te način na koji svaki entitet doprinosi proizvodnji promatranog fenomena jer da bi mogli identificirati operativne entitete moramo razumjeti staničnu i molekularnu bazi svih takvih procesa.<sup>74</sup>

Put istraživanja nemilosrdnih redukcionista se bazira na silasku kroz više razina objašnjenja od biheviornalne razine konsolidacije memorije sve do identifikacije najvažnijih pojedinačnih komponenti koje sudjeluju u stvaranju fenomena konsolidacije memorije. Ovakav silazak do najnižih razina objašnjenja mentalnih procesa smatraju esencijalnim za znanstveni napredak te napredak u kvaliteti i preciznosti novih objašnjenja.

Glavne karakteristike nemilosrdnog redukcionizma možemo promatrati u izjavi Johna Bicklea koji navodi da ova vrsta redukcionizma počiva na ideji da treba „intervenirati na staničnoj/molekularnoj razini, a promjene pratiti na ponašajnoj razini“.<sup>75</sup> Bickleova tvrdnja pokazuje težnju nemilosrdnih redukcionista da prilikom proučavanja mentalnih procesa treba kauzalno utjecati na aktivnost neurona ili na aktivnost molekula putem kojih različiti neuroni međusobno komuniciraju. Nakon intervencije na pojedinim neuronima ili kemijskim molekulama putem kojih neuroni komuniciraju, treba pratiti promjene ponašanja sustava na kojem je intervencija izvršena. Zbog toga mogu tvrditi da je za objašnjenje mentalnih fenomena nezaobilazno važno razumjeti kakva je uloga i funkcija pojedinih stanica i kemijskih molekula u našem mozgu.

Za Bicklea imati uspješno objašnjenje ili potpuno opisani stanični ili molekularni mehanizam znači uspješno provesti intervenciju na razini nižoj od razine objašnjenja mehanizama. Uspješno objašnjenje bi u ovome slučaju dalo mjerljivu i statistički značajnu promjenu u ponašanju promatranog sustava.<sup>76</sup>

Zbog težnje za potpunom redukcijom na najniže i najjednostavnije komponente mentalnih procesa, čini se da bi nemilosrdni redukcionisti mogli imati velikih problema u povezivanju višestrukih razina objašnjenja kakve mehanistički redukcionisti nastoje izbjeći svojim

---

<sup>74</sup> Bechtel, 2009, str. 14.

<sup>75</sup> Bickle, 2006, str. 425.

<sup>76</sup> Bechtel, 2009, str. 19.

jednostavnim pristupom spuštanja samo jednu razinu niže od promatranog mehanizma. No, Bickle smatra da ovo nije problematičan slučaj za nemilosrdni redukcionizam. Između bihevioralne i molekularne razine, Bickle identificira barem staničnu razinu, neuroanatomsku razinu, razinu mreža neurona, moždane regije, moždane sustave, razine procesiranja informacija itd. Čini se da ovakav veliki broj razina stvara vrlo kompleksan sustav redukcije, no za Bicklea, između svake navedene razine moraju postojati „mostovi“ redukcije. Ukoliko možemo prikazati mostove između svake razine redukcije, tek tada možemo tvrditi da um i mentalni procesi mogu biti reducirani na molekule.<sup>77</sup>

Kada Bickle govori o „mostovima“ redukcije zapravo govori o postepenom spuštanju kroz višestruke razine redukcije počevši od promatranog fenomena (kao što je fenomen LTP-a) te prema posljednjoj razini redukcije koja bi za nemilosrdne redukcioniste predstavljala razinu individualnih stanica ili kemijskih, molekularnih procesa unutar stanice. Stoga, mostovi redukcije predstavljaju objašnjenje koje može obuhvatiti objekte svake razine redukcije te uspostaviti kauzalni lanac od događaja na razini stanice prema fenomenu kojeg te stanice na najvišoj razini proizvode. Zbog toga za nemilosrdne redukcioniste nije važna formulacija principa premošćivanja u klasičnoj teoriji redukcije kakvu je formulirao Thomas Nagel (Bridge principles).<sup>78</sup>

U tom je smislu važnija rasprava o eksplanatornim razinama (levels of explanation) gdje se postavlja pitanje treba li koristiti objašnjenja više razine koja su generalnija i mogu se primijeniti na širem rasponu događaja ili koristiti objašnjenja niže razine čiji je doseg mnogo uži, ali daleko precizniji.<sup>79</sup> Pristup nemilosrdnih redukcionista u argumentaciji koja slijedi nam može pokazati da objašnjenja niže razine mogu također biti vrlo generalna. Razumijevanje fenomena na molekularnoj i staničnoj razini bi moglo omogućiti kvalitetno objašnjenje za brojne druge neuralne fenomene. Molekularna i stanična baza različitih mentalnih fenomena je vrlo slična, pa razumijevanje funkcioniranja stanica i kemijskih procesa u njima može dovesti do razumijevanja širokog spektra mentalnih fenomena.

Argumentaciju nemilosrdnih redukcionista možemo prikazati na sljedeći način:

---

<sup>77</sup> Bechtel, 2009, str. 19.

<sup>78</sup> Za više informacija o Nagelovim principima premošćivanja vidi van Riel i van Gulick, 2019.

<sup>79</sup> Za više informacija o eksplanatornim razinama vidi Potochnik, A. 2010.

*Prvo*, mentalni procesi u našem mozgu nastaju na temelju aktivnosti stanica i njihovih molekula. Svaki mentalni proces koji funkcionira u našem mozgu je proizvodi aktivnosti stanica koje ga čine. Individualni neuroni međusobno komuniciraju putem kemijskih molekula koje prenose poruku putem aktivacije postsinaptičke stanice. Kako sam ranije prikazao na primjeru LTP-a, višestruka aktivacija postsinaptičke stanice, na temelju pojačane aktivnosti predsinaptičke stanice, prolazi kroz kemijsku promjenu u kojoj dolazi do izlučivanja novih proteina koji su važni za formiranje dugoročne memorije kod ljudi.

*Drugo*, intervencija na razini molekula proizvodi posljedice na razini neurona. Ova kemijska promjena je posebno dobro prikazana u fenomenu LTP-a gdje jaki električni impuls motivira predsinaptičku stanicu da izlučuje neurotransmiter glutamat koji se veže na NMDA i AMPA receptore postsinaptičke stanice zbog čega postsinaptička stanica započinje svoju aktivnost.

*Treće*, intervencija na razini individualnih neurona proizvodi posljedice za cijeli sustav. Ova kauzalna veza je posebno vidljiva kada postsinaptička stanica primi poruku od predsinaptičke stanice o potrebi izlučivanja novih proteina koji su esencijalni za formiranje dugoročnog pamćenja. Zbog toga je aktivnost stanica na temelju molekula koje primaju od drugih stanica esencijalna u pokretanju i odvijanju svakog mentalnog procesa, pa tako i fenomena LTP-a koji je ključan u formiranju dugoročne memorije jer bez njega ne bi mogli formirati rigidno i trajno pamćenje. Tako je aktivacija stanice, pridonijela promjeni na razini cijelog mentalnog sustava.

Dakle, ponašanje sustava možemo objasniti na temelju aktivnosti neurona i molekula. Kako sam ranije prikazao na temelju fenomena LTP-a, sustav pamćenja kod ljudi te posebno proces formiranja dugoročne memorije, možemo objasniti na temelju kompleksnog procesa aktivacije predsinaptičke i postsinaptičke stanice. Aktivnost neurona direktno ovisi o zadanom snažnom električnom impulsu koji pokreće ovaj proces, motivira stanice na lučenje neurotransmitera i izlučivanje novih proteina. Uz zadani impuls dolazi i do retrogradne aktivacije neurona putem neurotransmitera dušikovog oksida koji iznova motivira predsinaptičku stanicu i time omogućuje višestruki prijenos poruka između dvaju neurona. Fenomen LTP-a obuhvaća vrlo veliki broj neurona hipokampusu, no aktivacija cijelog sustava može biti objašnjena na razini pojedinih neurona i molekula.

Ovim argumentom nemilosrdni redukcioniisti mogu vrlo precizno prikazati važnost proučavanja mentalnih fenomena putem staničnih i molekularnih termina. Objašnjenje utemeljeno na ovakvim terminima nudi mnogo precizniji kauzalni opis procesa u kojima stimulacija jedne stanice može izazvati vrlo snažne promjene na razini cijelog proučavanog sustava. Snažni tehnološki napredak je omogućio neuroznanstvenicima da svoja istraživanja fokusiraju na takvim bazičnim entitetima koji se nalaze u srži svih bioloških i kemijskih procesa ljudskih bića. Budući da neuroznanstvenici danas mogu jasno prikazati kako je stimulacija određenih neurona prouzročila bihevioralnu promjenu na razini cijelog promatranog sustava, nema potrebe za korištenjem mehanizama ili pojednostavljenih modela u formiranju neuroznanstvenih objašnjenja.

Modeli mehanizama zasigurno imaju svoju pragmatičnu primjenu jer se putem njih vizualno može na jednostavan i pregledan način prikazati ili ilustrirati neki proučavani fenomen. Međutim, ukoliko želimo formulirati potpuno jasno i precizno objašnjenje mentalnih procesa u neuroznanstvenim istraživanjima, tada je bolje prihvatiti pristup nemilosrdnih redukcionista. Smatram da je budućnost neuroznanstvenih istraživanja vezana isključivo uz molekularne i stanične termine jer nam doista nude najbolja dostupna objašnjenja. Zbog toga prikazani argument nemilosrdnih redukcionista smatram prihvatljivim.

Međutim, ukoliko detaljno usporedimo razlike mehanističkog i nemilosrdnog redukcionizma možemo primijetiti da se ove dvije pozicije ne isključuju međusobno. Njihove razlike su naizgled nepremostive no smatram da je moguće rješenje ove rasprave u kojoj bi ove dvije redukcionističke pozicije mogle pronaći zajednički jezik. Ovo istraživanje je ukazalo na to da je moguć spoj ovih dvaju naizgled vrlo različitih pozicija gdje bi početno istraživanje i formulaciju objašnjenja trebalo bazirati na pristupu kojeg zagovaraju nemilosrdni redukcioniisti koji će znanstvenicima omogućiti vrlo detaljno i precizno objašnjenje promatranog mentalnog fenomena. To znači da bi primarnu formulaciju neuroznanstvenog objašnjenja trebalo prepustiti pristupu nemilosrdnih redukcionista koji će vrlo detaljno i precizno objasniti promatrani fenomen počevši od termina najniže eksplanatorne razine (stanice i molekule) te ih kauzalno povezati sa promatranim fenomenom na najvišoj eksplanatornoj razini.

Međutim, prilikom predstavljanja ovakvih kompleksnih istraživanja široj javnosti bilo bi adekvatnije pojednostaviti rezultate istraživanja i prikazati ih u obliku mehanističkog pristupa koji je eksplanatorno siromašniji, ali omogućuje vrlo jednostavno i slikovit prikazivanje rezultata

istraživanja koje može biti razumljivo puno široj publici. Na taj način bi mehanistički pristup bio sekundaran pristupu nemilosrdnih redukcionista, ali ne bi ga bilo potrebno u potpunosti odbaciti jer prikazivanje kompleksnog istraživanja putem jednostavnih mehanističkih modela može imati svoju svrhu. Na taj način bi se naizgled suprotne redukcionističke mogle spojiti u jedinstvenom pristupu koji pronalazi korisne karakteristike oba pristupa i spaja ih na korist znanstvene zajednice, ali i šire javnosti kojoj bi trebalo omogućiti dobar pristup najnovijim neuroznanstvenim istraživanjima.

#### 4.4 ZAKLJUČAK

U ovome poglavlju sam na jednostavan način prikazao najvažnije filozofske tvrdnje mehanističkih i nemilosrdnih redukcionista. Vidjeli smo kako mehanistički redukcionisti tvrde da neuroznanstvena objašnjenja možemo na jasan i jednostavan način formulirati putem mehanizama kao seta entitea koji putem svojih operacija proizvode proučavani fenomen. Također smo vidjeli kako nemilosrdni redukcionisti takvu redukciju smatraju previše površnom zbog čega traže potpunu redukciju na najbazičnije elemente mentalnih procesa koje možemo proučavati na molekularnoj i staničnoj razini.

Nakon detaljne analize argumentacije ovih filozofskih pozicija možemo zaključiti da su mehanizmi zasigurno bili vrlo koristan alat u formiranju neuroznanstvenih objašnjenja. Međutim, napretkom istraživanja i razvojem tehnologije potrebne za istraživanje mentalnih procesa je došlo do povećane potrebe za objašnjenjima koja bi bila mnogo preciznija i detaljnija od jednostavnih mehanizama. Pozicija nemilosrdnih redukcionista mnogo bolje odgovara takvim povećanim potrebama neuroznanstvenika u sadašnjim istraživanjima, ali isto tako u istraživanjima koja tek dolaze. Argument nemilosrdnih redukcionista o potrebi i prednostima potpune redukcije ukazuje na sve veću prisutnost molekularnih i staničnih neuroznanstvenih objašnjenja te pokazuje kolika je prednost korištenja istraživanja molekula i stanica u formiranju neuroznanstvenih objašnjenja. Potencijalna kombinacija ova dva pristupa bi mogla otvoriti potpuno novi način promatranja ove filozofske rasprave jer bi implikacije ovog kombiniranog pristupa bile korisne ne samo za neuroznanstvenike nego i za širu javnost koja ima interes naučiti više o neuroznanosti i istraživanjima koje provodi.

## 5 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

---

### 5.1 ZAKLJUČAK

Tijekom ovog istraživanja sam obratio pažnju na nekoliko važnih filozofskih problema koji su dali veliki doprinos istraživanju filozofije neuroznanosti. Fokus ovog istraživanja je bio na problemu redukcije u filozofiji neuroznanosti te može li i kako ovakav pristup omogućiti formuliranje kvalitetnih i preciznih neuroznanstvenih objašnjenja. Nakon detaljnog prikaza filozofske pozadine ovog problema objasnio sam kako najvažniji doprinosi pitanju objašnjenja dolaze iz tradicionalnih pozicija kojima se bavi filozofija uma, a to su dualizam, eliminativizam i redukcionizam. Također smo vidjeli zašto redukcionizam smatram najboljom pozicijom za formuliranje kvalitetnog neuroznanstvenog objašnjenja. Također smo vidjeli važnost rasprave između mehanističkog i nemilosrdnog redukcionizma u filozofiji neuroznanosti koja se nalazi u punom fokusu ovog istraživanja.

Nastavak istraživanja nas je odveo u područje istraživanja fenomena pamćenja gdje sam prikazao najvažnija obilježja ovog kompleksnog fenomena. Vidjeli smo kako pamćenje možemo na najjednostavniji način podijeliti na kratkoročno i dugoročno pamćenje. Za ovo istraživanje je od posebne važnosti bilo dugoročno pamćenje te njegove podvrste implicitno i eksplicitno pamćenje. Na temelju brojnih eksperimenata i povijesnog toka istraživanja sam naglasio postupno otkrivanje glavnih fenomena koji se nalaze u pozadini našeg pamćenja te omogućuju stvaranje dugoročnog pamćenja. Od iznimne važnosti su nam bili fenomeni konsolidacije pamćenja, prezervacije te fenomen dugoročne potencijacije stanica (LTP). Istraživanjem ovakvih fenomena, znanstvenici su došli do novih informacija o ulozi hipokampusa u stvaranju dugoročnog pamćenja te su na temelju tih istraživanja mogli sastaviti tri teorije pamćenja (SMSC, MTT,CTT) putem kojih se nastojalo objasniti koja je točno uloga hipokampusa u stvaranju dugoročnog pamćenja.

Nakon prikaza najvažnijih obilježja fenomena pamćenja, pažnju sam obratio na filozofsku raspravu između mehanističkog i nemilosrdnog redukcionizma. Vidjeli smo kako mehanistički

redukcioniisti putem jednostavnog opisa mehanizama na temelju dijelova i operacija tih dijelova proizvode promatrani fenomen te na taj način nude njegovo objašnjenje. Jednostavnost njihovog pristupa im je omogućila da tvrde kako su mehanizmi najbolji odgovor za formulaciju neuroznanstvenih objašnjenja jer izbjegavaju problem višestrukih razina objašnjenja. Također smo vidjeli kako nemilosrdni redukcioniisti ovakav tip redukcije smatraju nedovoljnim i prejednostavnim za formuliranje potpunog i preciznog neuroznanstvenog objašnjenja. Zbog toga inzistiraju na potpunoj redukciji sve do stanica i njihovih molekula jer je takav pristup eksplanatorno mnogo bogatiji od pukog opisivanja mehanizama i njima pripadajućih fenomena.

Na kraju ovog istraživanja možemo doći do nekoliko zaključaka:

Prvo, problem objašnjenja u filozofiji neuroznanosti zaslužuje veliku pažnju filozofa jer može ponuditi važne implikacije neuroznanstvenici o tome kako formulirati neuroznanstvena objašnjenja.

Drugo, istraživanje fenomena pamćenja ima dugu i bogatu povijest no potreban je nastavak istraživanja putem suvremenih neuroznanstvenih metoda kako bi se precizno odredilo kako nastaje pamćenje, gdje se pohranjuju informacije koje pamtimo i u kojem se obliku informacije skladište.

Treće, filozofska rasprava između mehanističkog i nemilosrdnog redukcionizma može ponuditi dobre odgovore o tome koji je oblik objašnjenja najbolji za formulaciju neuroznanstvenih objašnjenja te može proizvesti važan orijentir neuroznanstvenicima o tome kako istraživati mentalne fenomene, kako formulirati rezultate istraživanja te gdje posebno usmjeriti pažnju prilikom formulacije neuroznanstvenih objašnjenja.

Četvrto, mehanistički redukcionizam doista može ponuditi vrlo jednostavan pristup formulaciji neuroznanstvenih objašnjenja. Međutim, u suvremenom svijetu u kojem neuroznanstvenici koriste vrlo naprednu tehnologiju prilikom proučavanja mentalnih fenomena mehanistički pristup ne može ponuditi adekvatna objašnjenja. Mehanistički pristup je previše jednostavan i eksplanatorno siromašan da bi mogao omogućiti detaljno istraživanje fenomena. Njegov doseg u formuliranju neuroznanstvenih objašnjenja je previše limitiran pa kao takav ne može ponuditi precizna i iscrpna neuroznanstvena objašnjenja.

Peto, nemilosrdni redukcionizam nudi puno prihvatljiviji pristup formulaciji objašnjenja za suvremenu neuroznanost. Budući da neuroznanstvenici provode veliki dio istraživanja na



staničnoj i molekularnoj razini našeg moždanog sustava objašnjenje proučavanih procesa bi trebalo biti formulirano koristeći takve termine. Ovakav pristup je eksplanatorno puno bogatiji i fokusiraniji te može ponuditi širok spektar informacija kauzalno povezujući stanice i molekule sa mentalnim fenomenima koji se odvijaju u našem mozgu.

Šesto, razlike mehanističkog i nemilosrdnog redukcionizma ne podrazumijevaju njihovo međusobno isključivanje. Ovo istraživanje je ukazalo na to da je moguć spoj ovih dvaju naizgled vrlo različitih pozicija gdje bi početno istraživanje i formulaciju objašnjenja trebalo bazirati na pristupu kojeg zagovaraju nemilosrdni redukcionisti koje će znanstvenicima omogućiti vrlo detaljno i precizno objašnjenje promatranog mentalnog fenomena. Međutim, prilikom predstavljanja ovakvih kompleksnih istraživanja široj javnosti bilo bi adekvatnije pojednostaviti rezultate istraživanja i prikazati ih u obliku mehanističkog pristupa koji je eksplanatorno siromašniji, ali omogućuje vrlo jednostavno i slikovit prikazivanje rezultata istraživanja koje može biti razumljivo puno široj publici.

Kako bih istražio mogućnost spajanja ovih naizgled suprotnih redukcionističkih pozicija potrebno je detaljnije usporediti njihove implikacije. Kako sam ranije naveo, mehanistički redukcionisti smatraju da najniža promatrana razina potrebna za formuliranje kvalitetnog objašnjenja mentalnih procesa treba biti razina individualnih mehanizama koji se nalaze samo jednu razinu ispod fenomena kojeg nastojimo objasniti. Iz tog razloga, objašnjenje fenomena mogu formulirati koristeći dijelove mehanizma i njihove operacije, bez potrebe za spuštanjem na niže razine objašnjenja. Zbog toga za njih objasniti neki fenomen znači opisati mehanizam odgovoran za proizvodnju promatranog fenomena.

S druge strane, nemilosrdni redukcionisti svoju pažnju fokusiraju na staničnim i molekularnim procesima koji sami po sebi nisu operativni dijelovi mehanizama, kakvima bi ih smatrali mehanistički redukcionisti. Za njih bi razumijevanje kognitivnog ponašanja ljudskog moždanog sustava ovisilo o tome koliko dobro poznajemo procese koji se odvijaju na staničnoj i molekularnoj razini mozga. Iz tog razloga bi formulirali svoje objašnjenje na daleko nižoj razini od mehanističkih redukcionista koristeći molekularne i stanične termine na najnižoj razini redukcije.

Kada usporedimo ova dva redukcionistička pristupa možemo zaključiti da se jedina relevantna razlika nalazi u razini redukcije koju smatraju zadovoljavajućom za formuliranje

preciznog objašnjenja mentalnih procesa. Između ovih pristupa nema relevantne razlike u terminologiji što znači da se međusobno mogu dobro razumjeti. Pristup objašnjenju nemilosrdnih redukcionista je daleko eksplanatorno bogatiji i precizniji od pristupa mehanističkih redukcionista no nema razloga zbog kojeg bi trebalo odbaciti neki od pristupa u formuliranju objašnjenja. Smatram da bi se suradnja ovih pristupa pokazala mnogo plodonosnijom od prihvatanja samo jednog od navedenih pristupa.

Suradnja ovih pristupa (primjerice u proučavanju fenomena LTP-a) bi mogla izgledati tako da se prepusti nemilosrdnim redukcionistima da formuliraju precizno objašnjenje ovog fenomena putem eksperimenata na neuronima. Eksperimenti bi im omogućili da formuliraju detaljan opis kemijskih procesa koje neurotransmiter glutamat izaziva u receptorima postsinaptičke stanice uz opetovanu stimulaciju predsintaptičke stanice. Nakon preciznog opisa nemilosrdnih redukcionista, mehanistički redukcionisti bi mogli konzultirati njihovo istraživanje i stvoriti model mehanizma koji je odgovoran za proizvodnju fenomena LTP-a. Iako se čini da bi se time posao znanstvenika zakomplicirao, oni prilikom predstavljanja svojih nalaza (primjerice na konferencijama) ne govore o svakom detalju svog istraživanja već koriste pojednostavljeni model prikaza koji koristi najvažnije podatke za prikaz rezultata istraživanja. Zbog toga bi kompleksni fenomen LTP-a mogli na jasan način prikazati putem korištenja modela mehanizma koji je odgovoran za proizvodnju ovog fenomena.

Ovaj primjer pokazuje da znanstvenici u određenoj mjeri već koriste kombinaciju ovih pristupa u praksi jer je na taj način mnogo jednostavnije predstaviti svoje istraživanje široj publici uz mogućnost poučavanja šire publike koja mehanističke modele može razumjeti mnogo lakše nego kompleksne formulacije nemilosrdnih redukcionista. Zbog toga se čini da je ovakav kombinirani pristup nemilosrdnog i mehanističkog redukcionizma ne samo prihvatljiv, već i poželjan.

Potencijalni problem kombiniranom pristupu bi mogao nastati oko problema prelaska višestrukih razina objašnjenja kojeg mehanistički redukcionisti pripisuju nemilosrdnim redukcionistima. Kako sam ranije naveo, radi se o problemu kauzalnog povezivanja staničnih i kemijskih procesa na najnižoj eksplanatornoj razini sa promatranim mentalnim fenomenom kojeg istražujemo na najvišoj eksplanatornoj razini. Mehanistički redukcionisti izbjegavaju ovaj problem tako što svoje objašnjenje fenomena formuliraju na temelju mehanizma koji proizvodi promatrani

fenomen samo jednu eksplanatornu razinu ispod promatranog fenomena. Kako sam ranije naveo, unatoč tome što nemilosrdni redukcionisti doista moraju premostiti veliki broj eksplanatornih razina od stanica i molekula do fenomena, preciznom formulacijom mogu lako zaobići mogućnost pogreške.

Ukoliko detaljnije analiziramo ovaj problem, primijetit ćemo da se radi o problemu formulacije preciznog i jasnog objašnjenja kojeg bi mehanistički redukcionisti formulirali jasnije i bez komplikacija jer ne moraju spajati veliki broj različitih eksplanatornih razina. Međutim, manji broj eksplanatornih razina nam ne jamči da će objašnjenje biti potpuno precizno. Praksa neuroznanstvenika je pokazala da se precizna i jasna objašnjenja mogu formulirati na temelju vrlo kompleksnih procesa koji uključuju ogroman broj individualnih stanica, moždanih regija i kemijskih procesa neovisno o količini eksplanatornih razina koje treba premostiti. Zbog toga smatram da ovaj problem ne utječe na predloženi kombinirani pristup jer je njegova glavna prednost upravo u tome da se koristi ona vrsta objašnjenja koja je najpogodnija ovisno o situaciji. Primjerice, ukoliko sa kolegama znanstvenicima koji dobro poznaju neuroznanstveno područje istraživanja i njegovu terminologiju istražujemo novi mentalni fenomen, tada bi trebali koristiti kompleksne formulacije kakve imaju nemilosrdni redukcionisti. Međutim ukoliko rezultate tog istraživanja želimo predstaviti studentima medicine tada je bolje koristiti mehanistički pristup jer je jasniji i organiziraniji pa ga je lakše razumjeti.

Zbog svega navedenog mogu zaključiti da kombinirani pristup doista nudi mnoge prednosti u formuliranju adekvatnih i preciznih neuroznanstvenih objašnjenja. Redukcionistička rasprava u ovom slučaju ne mora biti crno-bijela, ne mora biti tako da moramo koristiti samo jedan pristup objašnjenju. Neuroznanost je vrlo kompleksna i dostupna relativno malom broju ljudi pa bi zasigurno bilo poželjno da se tip objašnjenja formulira ovisno o situaciji u kojoj će se koristiti. To ne znači da kompleksna objašnjenja treba u potpunosti pojednostaviti i riskirati gubitak preciznosti ili jasnoće dobrog objašnjenja. Ali, moguće ih je pojednostaviti i formulirati na način razumljiv većem broju ljudi bez gubitaka koji bi mogli oštetiti dobro objašnjenje.

## 5.2 IMPLIKACIJE ISTRAŽIVANJA

Filozofska rasprava između mehanističkih i nemilosrdnih redukcionista je ponudila dobre odgovore o tome kako bi neuroznanstvenici trebali formulirati znanstveno objašnjenje fenomena

koje istražuju. Rezultati ovog istraživanja impliciraju na potrebu sve preciznijeg i detaljnijeg opisa mentalnih fenomena koje neuroznanost istražuje. Područje proučavanja fenomena pamćenja je vrlo dobar primjer u kojem treba provesti veliki broj ovakvih istraživanja jer unatoč dugoj povijesti istraživanja pamćenja, ključna pitanja o tome kako pamćenje funkcionira, gdje se informacije skladište te u kojem obliku i brojna druga pitanja zaslužuju precizniji i bolji odgovor. Budući da u ovom području neuroznanosti postoje brojne nepoznanice preporučio bih neuroznanstvenicima da uzmu u obzir ovakve filozofske prijedloge o tome kako formulirati dobra neuroznanstvena objašnjenja zbog koristi znanstvene zajednice, ali i šire populacije.

Nadalje, primjenom kombiniranog pristupa nemilosrdnog i mehanističkog redukcionizma u formulaciji objašnjenja gdje bi se kombinirala preciznost i eksplanatorno bogatstvo nemilosrdnog redukcionizma sa jednostavnošću mehanističkog pristupa može imati brojne pozitivne utjecaje na cjelokupnu neuroznanost. Neuroznanstvenici bi mogli formulirati iznimno iscrpna i precizna objašnjenja fenomena koje proučavaju, a potom bi širokoj javnosti mogli predstaviti svoja istraživanja na način koji je dovoljno jednostavan da bude razumljiv pojedincima izvan znanstvene zajednice.

Ovakav pristup zahtjeva dodatna istraživanja koja bi mogla uslijediti kako bi se detaljnije istražilo kolika je mogućnost njegove implementacije, no neuroznanstvenici bi trebali uzeti u obzir da je cjelokupna neuroznanost iznimno važna za civilizacijski napredak te da rezultati istraživanja trebaju biti dostupni velikom broju ljudi. Dostupnost takvih podataka bi mogla izazvati značajne promjene u svim sektorima ljudskog djelovanja, od medicine i ekonomije sve do školstva i političkih institucija. Na kraju je potrebno naglasiti da dobro objašnjenje nije samo ono koje na precizan i detaljan način opisuje određeni fenomen, nego također ono koje je formulirano na adekvatan način koji je dostupan i razumljiv širokoj populaciji jer je populacija ta koja ima najveću korist od napretka u formuliranju neuroznanstvenih objašnjenja.

## LITERATURA

---

- Bechtel, W. 2009. Molecules, Systems, and Behavior: Another view of memory consolidation. U: Bickle, W. ur. *The Oxford Handbook of Philosophy and Neuroscience*. New York: Oxford University Press Inc, str. 13-40.
- Bickle, John, Mandik, Peter and Landreth, Anthony, "The Philosophy of Neuroscience", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2019 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/fall2019/entries/neuroscience/>.
- Bickle, J. 2003. *Philosophy and Neuroscience: A Ruthlessly Reductive Account*. Cincinnati: Springer-Science i Business Media B.V.
- Bickle, J. 2006. Reducing mind to molecular pathways: explicating the reductionism implicit in current cellular and molecular neuroscience. *Synthese*. Springer Science i Business Media B.V: Cincinnati. 151: 411–434.
- Berčić, B. 2012. *Filozofija*. Ibis grafika: Zagreb.
- Brigandt, I. i Love, A., "Reductionism in Biology", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/reduction-biology/>.
- Craver, C.F. 2007. *Explaining the Brain: Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*. Clarendon Press: Oxford.
- Fetzer, J. Carl Hempel, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2017 Edition), U: Edward N. Zalta, <https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/hempel/>
- Godfrey-Smith, P. 2003. *Theory and Reality – an introduction to the philosophy of science*. Chicago: The University of Chicago Press.

Hitchcock, C. 2018. Probabilistic causation. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2018 edition), U: Edward N. Zalta. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2018/entries/causation-probabilistic>

Hume, D. 1748. *An Enquiry Concerning Human Understanding*. Oxford: Clarendon Press.

Kandel, E.R., Schwartz, J.H. et al. 2013. *Principles of Neural Science*. The McGraw-Hill Companies Inc.: New York.

Ramsey, W. Eliminative Materialism *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2019 Edition), U: Edward N. Zalta. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/materialism-eliminative/>

Robinson, H. "Dualism". *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2017 Edition). U: Edward N. Zalta. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/dualism/>

Rosenberg, A. i McShea, D. 2008. *Philosophy of Biology: A Contemporary Introduction*. Routledge: London.

van Riel, Raphael and Van Gulick, Robert, "Scientific Reduction", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2019 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/scientific-reduction/>.

Pećnjak, D. i Janović, T. 2016. *Prema dualizmu - Ogledi iz filozofije uma*. Zagreb: Ibis grafika.

Potochnik, A. 2010. Levels of explanation reconceived. *Philosophy of Science* 77 (1): 59-72.

Psillos, S. 2007. *Philosophy of Science A-Z*. Edinburgh: Edinburgh University Press.

Richardson, A.W. 2006. The Many Unities of Science: Politics, Semantics, and Ontology. U: Kellert, S.H, Longino, H.E. i Waters, K. ur. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science - Scientific Pluralism*. Minneapolis: University of Minnesota Press, str. 1-26.

Robins, S.K. i Craver, C.F. 2009. Biological Clocks: Explaining with Models of Mechanisms. U: Bickle, W. ur. *The Oxford Handbook of Philosophy and Neuroscience*. New York: Oxford University Press Inc, str. 41-67.

Sesardić, N. 1984. *Fizikalizam*. Beograd: Istraživačko-izdavački centar SSO Srbije.

Stoljar, D. Physicalism. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2017 Edition). U: Edward N. Zalta. <https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/physicalism/>

Šimić, G. 2019. *Uvod u neuroznanost učenja i pamćenja*. Zagreb: Ljevak.

van Riel, R. i Van Gulick, R. "Scientific Reduction", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2019 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/scientific-reduction/>

Yassa, M.A., 2009, Hippocampus. *Encyclopaedia Britannica*:  
<https://www.britannica.com/science/hippocampus>

### **Prilozi:**

Slika 1.

Dutta, S.S. Hippocampus functions. <https://www.news-medical.net/health/Hippocampus-Functions.aspx#1> (stranica posjećena 05.02.2020)

Slika 2.

Šimić, G. 2019. *Uvod u neuroznanost učenja i pamćenja*. Zagreb: Ljevak.

Slika 3.

Kandel, E.R., 2006, *In Search of Memory: The Emergence of a New Science of Mind*. New York: W.W. Norton & Company Inc. str. 80.

Slika 4.

Craver, C.F. 2007. *Explaining the Brain: Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*. Clarendon Press: Oxford, str. 71.

Slika 5.

Craver, C.F. 2007. *Explaining the Brain: Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*. Clarendon Press: Oxford, str. 7.