

Kako mozak percipira glazbu?

Košić, Dora

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:517522>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Dora Košić

Kako mozak percipira glazbu?

Završni rad

Zagreb, 2024.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Dora Košić

How does the brain perceive music?

Bachelor thesis

Zagreb, 2024.

Ovaj završni rad je izrađen u sklopu studijskog programa sveučilišni prijediplomski studij Biologija na Zavodu za animalnu fiziologiju Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Dubravke Hranilović.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Završni rad

Kako mozak percipira glazbu?

Dora Košić

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Glazba utječe na čovjeka i njegovu okolinu na razne načine. Zvučni valovi ulaze u uho te se nakon niza procesa konačno u mozgu formira ono što prepoznajemo kao glazbu. Različiti dijelovi mozga procesiraju različite elemente glazbe (visinu tona, glasnoću, ritam, tempo, melodiju, itd.). Nedostatak sposobnosti procesiranja određenih glazbenih elemenata u mozgu pojedinca naziva se amuzija, a može biti urođena ili stečena. Za sposobnost sinkroniziranog pokretanja tijela uz glazbu zaslužni su zrcalni neuroni i PCM model (eng. *the predictive coding of music model*). Težnja za plesom je također povezana s tradicijom, aktivacijom sustava za nagrađivanje u organizmu, emocijama koje izaziva i povijesnim značajem. I samo slušanje glazbe aktivira centar za nagrađivanje u mozgu te izaziva emocije, što se može opisati s nekoliko psiholoških mehanizama. Glazbene preferencije pojedinaca ovise o kulturi, psihološkim faktorima, izloženosti glazbi, osobnosti, okolini, prijašnjim iskustvima i mnogim drugim faktorima. Glazba djeluje kao sredstvo društvenog povezivanja na psihološkoj i fiziološkoj razini. Učestalo učenje i izvođenje glazbe ostavlja posljedice na anatomsku strukturu mozga te posljedično i na moždane funkcije. Terapija slušanjem glazbe i plesom pomaže ljudima sa psihičkim i fizičkim poteškoćama u oporavku te ima ulogu u općenitom poboljšanju kvalitete života ljudi.

Ključne riječi: amuzija, emocije, sustav za nagrađivanje, neuroplastičnost

(21 stranica, 3 slike, 40 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: prof. dr. sc. Dubravka Hranilović

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Bachelor thesis

How does the brain perceive music?

Dora Košić

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Music affects humans and their environment in various ways. Sound waves enter the ear and, after a series of processes, transform into music in the brain. Different parts of the brain process different elements of music (pitch, volume, rhythm, tempo, melody, etc.). The lack of ability to process certain musical elements in an individual's brain is called amusia and it can be congenital or acquired. Mirror neurons and the predictive coding of music model are responsible for the ability to move the body in sync with music. The desire to dance is also connected with tradition, the activation of the reward system and emotions, and its historical significance. Listening to music also activates the reward center in the brain and evokes emotions, which can be described by several psychological mechanisms. The musical preferences of individuals depend on culture, psychological factors, exposure to music, personality, environment, and previous experiences. Music acts as a mean of social bonding on a psychological and physiological level. Frequent learning and performance of music leaves consequences on the anatomical structure of the brain and, consequently, on brain functions. Music therapy and dancing helps people with mental and physical difficulties in recovery and plays a role in the general improvement of people's quality of life.

Keywords: amusia, emotions, reward system, neuroplasticity

(21 pages, 3 figures, 40 references, original in: croatian)
Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: prof. dr. sc. Dubravka Hranilović

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. NEUROLOŠKA OSNOVA PERCEPCIJE GLAZBE	2
2.1. Od izvora zvuka do mozga.....	2
2.2. Regije mozga važne za percepciju glazbe.....	3
2.3. Procesiranje različitih glazbenih elemenata.....	3
2.4. Poremećaji povezani s percepcijom glazbe.....	6
2.5. Glazba i pokretanje tijela.....	6
3. PSIHOLOŠKI ASPEKTI PERCEPCIJE GLAZBE	8
3.1. Emocije.....	8
3.2. Glazbene preferencije.....	10
4. SOCIJALNI ASPEKTI PERCEPCIJE GLAZBE	11
5. UČENJE I IZVOĐENJE GLAZBE	12
6. GLAZBA KAO TERAPIJA	15
7. ZAKLJUČAK	16
8. LITERATURA	17
9. ŽIVOTOPIS	21

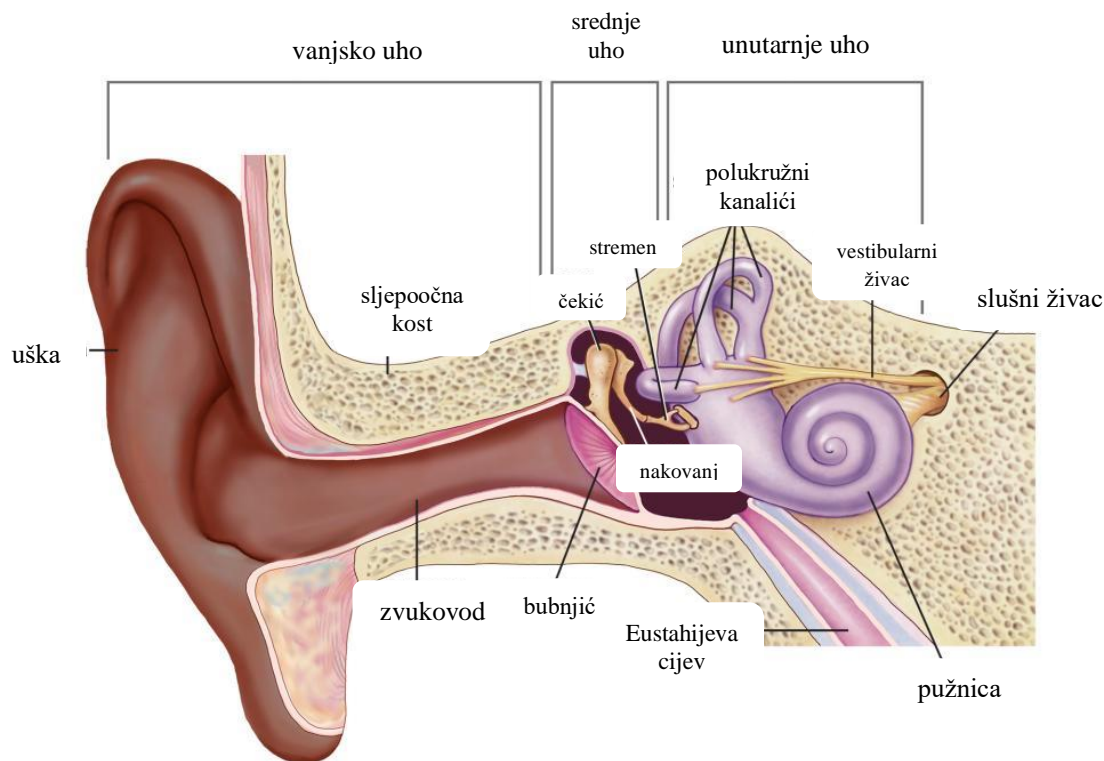
1. UVOD

Glazba je integrirana u ljudske živote od samih početaka. Postoje dokazi poput primitivnih instrumenata starih koliko i čovječanstvo. Iako nije od životne važnosti, do današnjeg se dana zadržala kao gotovo neizbježan dio ljudske svakodnevice. Ta je karakteristika čini vrlo zanimljivom temom istraživanja. Sa glazbom se susrećemo u trgovinama, filmovima, na koncertima, u klubovima, na radiju i u mnogim drugim okolnostima. Cilj ovog preglednog rada je upoznati čitatelja sa osnovnim principima procesiranja glazbe, što uključuje neurološku osnovu tog procesa, psihološke aspekte percepcije glazbe, socijalne aspekte istoga, posljedice koje učenje glazbe ostavlja na ljudski mozak i primjenu glazbe u medicinskoj terapiji. Što se tiče neurološke osnove percepcije glazbe, bitno je znati kako zvuk dolazi do mozga i koje su moždane regije uključene u njegovu percepciju te raspoznati osnovne glazbene elemente i način na koji ih mozak obrađuje. Kako su glazba i ples (odnosno neki oblik pokretanja tijela) gotovo nerazdvojni pojmovi, dotaknut ću se i teme interakcije tih koncepata. Psihološki aspekti percepcije glazbe u ovom slučaju podrazumijevaju emocije koje glazba izaziva te podlogu glazbenog ukusa, odnosno glazbenih preferencija pojedinaca. Glazba kao faktor socijalnog povezivanja djeluje na razini psihološkog fenomena pri oponašanju pokreta drugog pojedinca te na fiziološkoj razini, aktivacijom endogenog opioidnog sustava i oslobađanjem neurohormona. Izvođenje glazbe, poput sviranja instrumenta, podrazumijeva interakciju senzornog i motoričkog sustava pojedinca. Konstantno prakticiranje te aktivnosti ostavlja kratkotrajne i dugotrajne posljedice na anatomske strukturu mozga te posljedično i na moždane funkcije. U novije vrijeme glazba ima sve češću primjenu u području medicine, u obliku terapije slušanjem glazbe i terapije plesom. Dokazano je da takve vrste terapija pomažu ljudima sa psihičkim i fizičkim poteškoćama kao što su primjerice demencija, Parkinsonova bolest te pri oporavku nakon kirurških zahvata.

2. NEUROLOŠKA OSNOVA PERCEPCIJE GLAZBE

2.1. Od izvora zvuka do mozga

Kako bi ljudski mozak percipirao glazbu, zvučni se valovi moraju prevesti u električne impulse unutar slušnog puta. Glazba, odnosno zvučni valovi koji je tvore, nakon ulaska kroz ušku dolaze do zvukovoda vanjskog uha na čijem se kraju nalazi bubnjić. Zvučni valovi uzorkuju vibracije bubnjića, a zatim i triju košćica u srednjem uhu (čekić, nakovanj i stremen) koji prenose vibracije do unutarnjeg uha, odnosno do pužnice. U pužnici vibracije uzrokuju stvaranje valova u tekućini kojom je ispunjena. Valove detektiraju osjetne dlačice unutar pužnice. Rezultat je stvaranje električnog signala kojeg slušni živac provodi dalje prema mozgu. Na taj se način u mozgu formira ono što prepoznajemo kao zvuk, odnosno glazbu (National Institute on Deafness and Other Communication Disorders 2015). Ovaj put je prikazan na Slici 1.



Slika 1. Grafički prikaz dijelova uha kroz koje zvuk prolazi kako bi na kraju slušnim živcem došao do mozga (prilagođeno prema: NIH/NIDCD).

2.2. Regije mozga važne za percepciju glazbe

Glazba utječe na gotovo svaki dio mozga, no njegovi različiti dijelovi procesiraju različite glazbene elemente. Neki od glavnih dijelova mozga uključenih u percepciju glazbe prikazani su na Slici 2. Općenito, percepcija glazbe započinje u moždanom deblu i malom mozgu, a zatim se širi prema slušnom korteksu (dio temporalnog režnja velikog mozga) bilateralno, odnosno s obje strane mozga (Levitin 2006).

Yasui i suradnici (2009) su utvrdili da je, iako se percepcija glazbe u mozgu odvija bilateralno, u nekim slučajevima vidljiva dominacija slušnog korteksa određene hemisfere – primjerice pri slušanju poznate pjesme, kod ispitanika koji je dešnjak, uz devijaciju teksta iste zabilježen je snažniji odgovor lijeve hemisfere (odnosno njezinog slušnog korteksa), a uz devijaciju melodije iste zabilježen je snažniji odgovor desne hemisfere mozga.

2.3. Procesiranje različitih glazbenih elemenata

Glazbu, odnosno zvuk možemo podijeliti na komponente kao što su visina tona, glasnoća, ritam, tempo, melodija, harmonija i dr. Ton definiramo kao jedinicu zvuka koji čujemo (Levitin 2006).

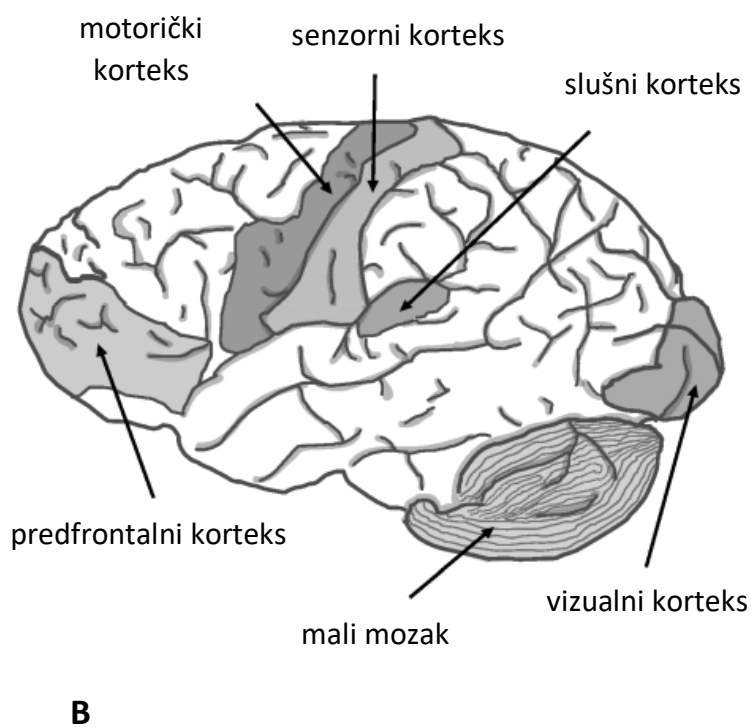
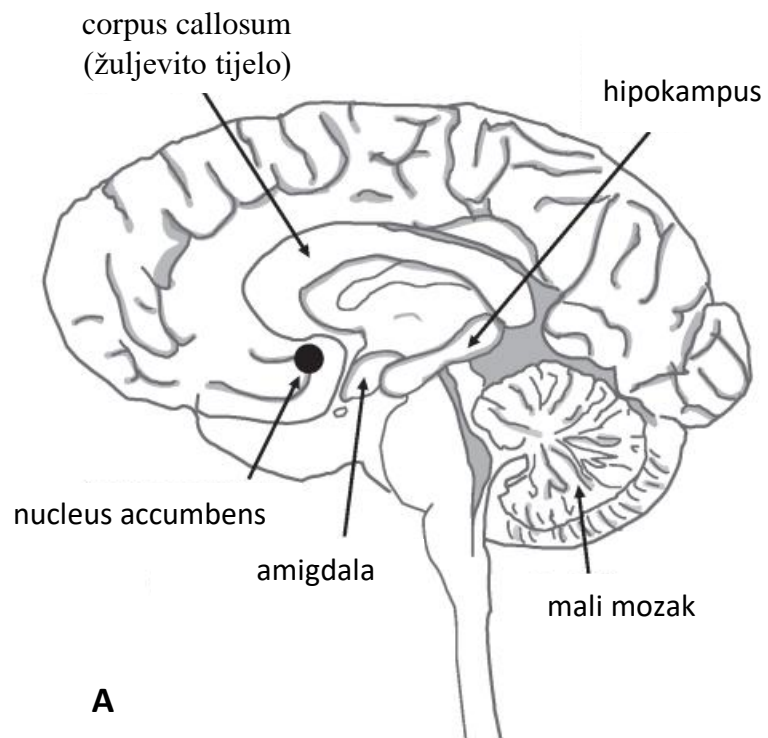
Kako bi se istražilo koji se dio mozga aktivira prilikom podražaja (u ovom slučaju tijekom slušanja zvukova), koriste se razne metode za funkcionalno oslikavanje mozga, a neke od njih su elektroencefalografija (EEG), magnetoencefalografija (MEG) i funkcionalna magnetska rezonancija (fMRI) (Vuust i sur. 2022).

Visina tona (eng. *pitch*) je povezana s frekvencijom zvučnih valova, a procesira se u slušnom korteksu. Ljudski mozak percipira spektar frekvencije zvuka od 20 do 20 000 Hz (Toader i sur. 2023). U primarnom slušnom korteksu većine sisavaca se nalazi tonotopska mapa – pojedine regije, odnosno neuroni, na površini korteksa su osjetljive na pojedine frekvencije zvuka, a isti je princip prisutan i u pužnici unutarnjeg uha (Bendor i Wang 2005). Nakon aktivacije određenih osjetilnih stanica na bazilarnoj membrani pužnice, a zatim i u slušnom korteksu kao odgovor na zvuk, različiti dijelovi mozga percipiraju različite visine tonova kojih u teoriji postoji beskonačno mnogo (Levitin 2006). Obrada i prepoznavanje pojedinačnog tona iz kompleksnijih zvukova se širi iz primarnog slušnog korteksa prema inferiornom frontalnom girusu (lat. *gyrus frontalis inferior*) – takav se put neuralnog procesiranja naziva ventralni tok (eng. *ventral stream*). S druge strane,

dorzalnim se tokom (eng. *dorsal stream*) odvija percepcija melodije. Taj put obuhvaća širenje od primarnog dijela slušnog korteksa, preko Wernickeovog područja i parijetalnog korteksa do dorzolateralnog predfrontalnog korteksa (prednji dio frontalnog korteksa) (Rauschecker i Scott 2009). Melodija nastaje kao rezultat slijeda različitih tonova, odnosno zvukova različite visine (Vuust i sur. 2022). Harmonija je spoj više tonova koje čujemo istovremeno. Njena percepcija uključuje aktivnost slušnog, predfrontalnog i parijetalnog korteksa. (Toader i sur. 2023). Ritam aktivira dijelove malog mozga (što omogućuje i kuckanje u ritmu glazbe – više u poglavlju 2.5.) i bazalnih ganglija (Ivry i Keele 1989) te određena motorička područja mozga kao što su predmotorički korteks (dio frontalnog korteksa) i suplementarna motorička regija (Halsband i sur. 1993). Glasnoća zvuka je odraz amplitude zvučnih valova.

Glasnoća i visina zvuka su psihološki konstrukti koji nastaju tek nakon obrade zvuka u mozgu – naime, čestica zraka koja vibrira (odnosno zvučni val) nema svoju glasnoću niti visinu tona. Za percepciju tempa (brzina glazbe) su zaslužni, kao i za ritam, mali mozak i bazalni gangliji. (Levitin 2006).

Smatra se da se ritam, visina tona i glasnoća zvuka procesiraju pojedinačno prije nego što se stvori cjelokupna slika zvuka koji čujemo (Levitin i Tirovalas 2009).



Slika 2: Prikaz dijelova mozga uključenih u procesiranje glazbe (prilagođeno prema: Levitin 2006).

2.4. Poremećaji povezani s percepcijom glazbe

Amuzija je naziv za nesposobnost procesiranja jednog ili više elemenata glazbe. Može biti urođena ili stečena. Pojedinci s amuzijom manje slušaju glazbu, s obzirom na to da manje ili uopće ne uživaju u slušanju glazbe (Levitin i Tirovolas 2009). Kalmus i Fry (1980) su u svom radu procijenjenili da je ovaj poremećaj prisutan u približno 4% populacije, iako novija istraživanja daju različite rezultate.

Najčešći uzrok stečene amuzije je oštećenje moždanog tkiva (Levitin i Tirovolas 2009). Kod osoba s urođenom amuzijom primjećen je deblji moždani korteks, odnosno povećana količina sive tvari te redukcija bijele tvari (koja gradi unutrašnjost mozga). Te se promjene odnose na desni inferiorni frontalni girus i desni slušni korteks (sekundarni temporalni girus) što ukazuje na važnost ovih regija u procesiranju visine tona. Pretpostavlja se da je malformacija prilikom razvoja korteksa moguć uzrok razvoja amuzije. Te su malformacije često nasljedne pa je vjerojatno da isto vrijedi za amuziju (Hyde i sur. 2007). Općenito, neuspjeh mladih neurona u migraciji, od mjesta nastanka do mjesta za koje su predodređeni, dovodi do zadebljana korteksa i time do raznih poremećaja (Guerrini i Marini 2006). Različita istraživanja su dala različite odgovore na pitanje imaju li pojedinci s urođenim poremećajem percepcije glazbe također i nedostatke u lingvističkom aspektu (Levitin i Tirovolas 2009).

2.5. Glazba i pokretanje tijela

Glazba nas potiče na kretanje, bilo to kuckanje prstima, udaranje nogom, pjevanje ili ples. Instinktivna želja za pokretanjem tijela kada čujemo glazbu se u literaturi često naziva „groove“ (Matthews i sur. 2020). S obzirom na to da se glazba često temelji na obrascima koji se ponavljaju (npr. ritmički obrasci), naš mozak prilikom slušanja glazbe neprekidno radi na principu stvaranja očekivanja u vezi toga što će se dalje događati ili kako će glazba zvučati u sljedećem trenutku. Stvorena se očekivanja temelje na prijašnjem iskustvu, a razlikuju se od pojedinca do pojedinca. Ta se pojava naziva „*the predictive coding of music model*“, skraćeno PCM model, a omogućuje nam usklađivanje pokreta tijela s elementima glazbe (Vuust i sur. 2022). Mali je mozak zaslužan za održavanje ritma, primjerice kuckanja rukom ili tapkanje nogom, sinkronizirano s glazbom koju čujemo - može se reći da služi kao „unutarnji brojač vremena“. Slušajući glazbu koja ima

predvidljiv ritam, ljudi osjećaju veću potrebu za pokretanjem tijela (Levitin 2006). U počecima istraživanja ovog područja smatralo se da je sposobnost percepcije ritma i sinkronizirano kretanje uz njega (eng. *beat perception and synchronization*, skraćeno BPS) svojstvo jedinstveno ljudima. Međutim, novija istraživanja poput onoga na vrsti *Cacatua galerita leonora* su dokazala da i druge životinje mogu održavati sinkronizirane pokrete uz glazbu, ali kratkotrajnije i manje uspješno od ljudi (Patel i sur. 2008).

Smatra se da u ovakvim aktivnostima sudjeluje i sistem takozvanih zrcalnih neurona (eng. *mirror neurons*). To je mehanizam koji omogućuje razumijevanje radnji drugih pojedinaca, te imitaciju tuđih pokreta. Takvi su neuroni zapaženi u majmuna vrste *Macaca nemestrin*, a smješteni su u predmotoričkom i parijetalnom korteksu, (Rizzolatti i Craighero 2004). Istraživanja na toj vrsti su pokazala da se isti neuroni aktiviraju u dva slučaja: kada majmun sam izvodi neku radnju i kada gleda drugog majmuna kako izvodi tu istu radnju (di Pellegrino i sur. 1992). Iako nema konkretnog dokaza da takav sustav postoji u ljudskom mozgu, to se može indirektno zaključiti na temelju raznih istraživanja. Sustav zrcalnih neurona u čovjeka zauzima drugačije regije mozga nego u majmuna, ali funkcionira na sličan način (Rizzolatti i Craighero 2004). Kohler i suradnici (2002) u svom su istraživanju dokazali da se sistem zrcalnih neurona aktivira i u slučaju kada majmun samo čuje zvuk koji je prethodno bio povezan uz izvođenje određene radnje. Ta nam otkrića djelomično objašnjavaju ljudsku potrebu za pokretanjem tijela kada čujemo glazbu – kada se aktiviraju, zrcalni neuroni tjeraju naše tijelo na svjesno ili nesvjesno imitiranje pokreta glazbenika koji izvode glazbu koju čujemo, bilo to kuckanje u ritmu ili pjevušenje. Iako u tom trenu ne vidimo osobu koja proizvodi zvuk, iz iskustva znamo kako izgledaju pokreti potrebni da se on proizvede (pokreti usta pjevača, pokreti ruku i nogu bubnjara i slično). Zanimljivo je da je su djeca u vrlo ranoj dobi sposobna otpjevati melodije koje čuju.

Sukladno tome, može se zaključiti da je isti fenomen zaslužan za ples koji možemo definirati kao kompleksniji oblik pokreta potrebnih za izvođenje zvuka, tj. glazbe (Levitin i Tirovalas 2009).

Postoje i mnogi drugi faktori koji objašnjavaju ljudsku težnju za plesom. U vrijeme kada su ljudi živjeli u lovačko – sakupljačkim društvima i plemenima, što se zadržalo i do danas u nekim dijelovima svijeta, plesanje muškaraca odražavalo je njihovu fizičku sposobnost. Što je muškarac sposobniji, veća je vjerojatnost da će biti bolji u lovu i preživljavanju ili da će biti privlačniji ženama te lakše pronaći partnericu (Levitin 2006).

Tradicija je također bitan motiv za ples. Različiti zvukovi glazbe karakteriziraju kulture različitih dijelove svijeta, kao i plesovi koji idu uz njih. Tako se razvilo mnoštvo plesova koji danas postoje, ovisno o tome gdje su nastali.

Uz sve to ples ima i mnoge pozitivne učinke na tijelo. Izaziva emocije, potpomaže zdravlju organizma i dovodi do osjećaja zadovoljstva. Plesanjem se aktiviraju centri u mozgu zaslužni za nagrađivanje i osjećaj zadovoljstva, a to su bazalni gangliji, točnije *nucleus accumbens*, *caudate* i *putamen*. Istraživanja su pokazala da srednje složen ritam i harmonija bude jaču želju za plesom kod ispitanika (i glazbenika i onih koji se ne bave glazbom) nego jako složen ritam i harmonija te isto tako rezultiraju većom dozom zadovoljstva. Uzrok tome je jača aktivacija navedenih dijelova bazalnih ganglija (Matthews i sur. 2020).

Ples i pjevanje stvaraju osjećaj zajedništva i potiču ljude na okupljanje. Kao dokaz možemo uzeti koncerte, plesne nastupe, noćne klubove, sviranje gitare u društvu, glazbene škole i slično.

3. PSIHOLOŠKI ASPEKTI PERCEPCIJE GLAZBE

3.1. Glazba i emocije

Opće je poznata činjenica da glazba izaziva emocije. Istraživanja su pokazala da određeni zvukovi u većini slučajeva rezultiraju određenim emocijama kod ljudi. Tako zvukove durske ljestvice uglavnom povezujemo s pozitivnim emocijama (sreća, zadovoljstvo) a molske s negativnim emocijama (strah, tuga), no taj se zaključak ne može primijeniti na sve kulture i pojedince. Isto tako se glazba s bržim tempom često doživljava kao sretnija nego ona sa sporim tempom (Levitin 2006). Juslin i Västfjäll (2008) su u svom radu predstavili šest psiholoških mehanizama koji bi mogli sudjelovati u procesu izazivanja emocija slušanjem glazbe, a to su: refleksi moždanog debla (eng. *brain stem reflexes*), procjenjujuće kondicioniranje (eng. *evaluative conditioning*), emocionalna zaraza (eng. *emotional contagion*), vizualna predodžba (eng. *visual imagery*), epizodično pamćenje (eng. *episodic memory*), i glazbeno očekivanje (eng. *musical expectancy*). U nastavku slijedi njihovo kratko objašnjenje svakog od navedenih mehanizama.

Mehanizam refleksa moždanog debla objašnjava da neki element glazbe koju osoba čuje aktivira rad moždanog debla, signalizirajući tijelu da se potencijalno događa nešto bitno. Takvu reakciju obično izazivaju nagle promjene zvuka, vrlo glasni zvukovi ili zvukovi vrlo visoke ili niske frekvencije.

Procjenjujuće kondicioniranje govori o tome da glazba izaziva određene emocije zbog toga što je taj zvuk glazbe konstantno bio povezivan s drugim podražajima u prošlosti, bili oni pozitivni ili negativni. Ti drugi podražaji mogu podrazumijevati određene događaje koji izazivaju pozitivne ili negativne emocije. Da bi taj mehanizam bio primijenjen i da bi na taj način glazba izazvala emociju, ti su se simultani podražaji morali ponoviti više puta. Taj se mehanizam još naziva i afektivno učenje ili emocionalno kondicioniranje.

Emocionalna zaraza je proces u kojem osoba prepozna emocionalni izraz u glazbi koju sluša te u sebi oponaša isti, što na kraju rezultira istom emocijom kod slušatelja. Smatra se da bi ovaj mehanizam mogao uključivati ranije spomenute zrcalne neurone.

Vizualna predodžba objašnjava induciranje emocija glazbom na način da osoba tijekom slušanja zamišlja vizualne slike na temelju glazbe koju čuje. Ovaj se proces može preklapati s mehanizmom epizodičnog pamćenja, objašnjenim u nastavku.

Mehanizam epizodičnog pamćenja opisuje proces u kojem slušanje glazbe izazove sjećanje na određeni prošli događaj u životu slušatelja, što naravno inducira emocije. Ljudi nerijetko aktivno koriste ovaj fenomen kako bi se pomoću glazbe prisjetili događaja iz prošlosti, iz čega je vidljivo da se glazba često povezuje s nostalgijom. Dokazano je da se ljudi najčešće i najjasnije prisjećaju događaja iz mladosti, otprilike u razdoblju od 15. do 25. godine života.

Glazbeno očekivanje se odnosi na izazivanje emocija slušanjem glazbe, na način da neko glazbeno obilježje ispunjava ili ne ispunjava formirana očekivanja slušatelja o daljnjem tijeku zvuka. Za razvoj ovog mehanizma potrebno je iskustvo, učenje i izloženost određenom žanru glazbe. Dokaz za to su istraživanja (primjerice Sloboda 1989) koja pokazuju da kod male djece nije uočen isti efekt kao kod odraslih slušatelja.

Odgovor na pitanje zašto osjećamo zadovoljstvo prilikom slušanja glazbe leži u sustavu nagrađivanja. To je vrlo kompleksan sustav smješten u središnjem dijelu ljudskog mozga koji obuhvaća mnoštvo struktura, od kojih su neke amigdala, dijelovi frontalnog korteksa, strijatum i

druge. Zanimljivo je da glazbu ne možemo svrstati niti u primarne nagrade (koje se odnose na biološki važne faktore kao što su jedenje, spolni odnos, socijalne interakcije i druge), niti u sekundarne nagrade (koje se odnose na naučene vrijednosti poput novca, zbog povezivanja s primarnim nagradama), već se smatra sama svojom nagradom. Sustav nagrađivanja je usko povezan s dopaminskim putem (Zatorre 2015). Dakle, slušanjem glazbe dolazi do aktivacije sustava za nagrađivanje u mozgu, što rezultira otpuštanjem veće količine neurotransmitera dopamina zaslužnog za osjećaj zadovoljstva i užitka u glazbi. Treba napomenuti da iako povezanost glazbe i emocija doživljavamo vrlo često, ipak to područje još nije dovoljno istraženo.

3.2. Glazbene preferencije

Pitanje zašto ljudi imaju različit ukus za glazbu je vrlo kompleksno i nema jednoznačan odgovor. U formiranju glazbenih preferencija ulogu igra kultura, psihološki faktori, izloženost glazbi, osobnost pojedinca, društvo i mnogi drugi čimbenici (Vuust i sur. 2022).

Hunter i suradnici (2011) su proveli istraživanje na djeci i odraslima u kojemu su došli do nekoliko zaključaka. Dokazali su da odrasli ljudi uglavnom preferiraju glazbu koja se najčešće smatra sretnom (durska ljestvica, brži tempo) nad onom koja se smatra tužnom glazbom (molska ljestvica, sporiji tempo). S druge strane, djeca preferiraju glazbu koja pobuđuje intenzivnije emocije (sreću i strah), bez obzira na to smatra li se općenito sretnom ili tužnom. S obzirom na to da je istraživanje bilo provedeno na oba spola, otkrili su da su žene sklonije preferiranju glazbe koja izaziva pozitivne emocije nad onom koja izaziva tužne emocije od muškaraca, u svih uzrasta.

Osim dobi i spola, duža izloženost određenom glazbenom komadu (ili nekom drugom podražaju) često povećava sklonost prema istome. Taj se fenomen odnosi na sve razine kompleksnosti glazbe, što ukazuje na činjenicu da je upoznatost s određenim glazbenim komadom faktor koji samostalno utječe na glazbene preferencije (Madison i Schiölde 2017).

Međutim, pretjerana izloženost određenom glazbenom komadu ili čak potencijalno i glazbenom žanru u nekim slučajevima dovodi do sve manje privlačnosti prema istome. Ovom su se pojavom bavili Hunter i Schellenberg (2011). Dokazali su da je sklonost prema određenoj vrsti glazbe povezana sa osobnošću ispitanika, ovdje konkretno njegovom otvorenošću za nova iskustva (eng. *Openness-to-Experience*). Kod slušatelja otvorenijih za nova iskustva utvrđeno je pojačana

privlačnost prema novoj glazbi za razliku od slušatelja manje otvorenih za nova iskustva u početku, ali pad privlačnosti pri manjem broju ponovnih slušanja (odnosno brži pad prilikom ponovnih slušanja) od ljudi koji su manje otvoreni za nova iskustva.

Osim navedenog, naše se glazbene preferencije temelje na prijašnjim iskustvima s glazbom, kulturi kojoj pripadamo te na emocijama koje glazba izaziva (opisano u poglavlju 3.1.) (Levitin 2006).

4. SOCIJALNI ASPEKTI PERCEPCIJE GLAZBE

Već je spomenuto da je glazba bitan faktor u povezivanju društva. Tarr i suradnici (2014) predlažu dva puta povezivanja ljudi glazbom. Prvi se odnosi na povezivanje ljudi zbog međusobne sinkronizacije (takozvani „self-other merging“), a drugi na otpuštanje endorfina tijekom sinkroniziranih pokreta tijela.

Oponašanje tjelesnih pokreta druge osobe može poremetiti razlikovanje postojanja sebe i druge osobe u ljudskom mozgu, što dovodi do kratkotrajnih poteškoća u razdvajanja nas i druge osobe stvarajući međuljudsku vezu (Decety i Sommerville 2003). Taj se fenomen može primijeniti na situacije poput zajedničkog izvođenja ili slušanja glazbe, zajedničkog plesanja i slično. Ovdje se za razumijevanje ponovno može primijeniti koncept zrcalnih neurona (objašnjeno u poglavlju 2.5) koji nas prvobitno potiče na imitiranje tuđih pokreta. Ovaj je mehanizam vidljiviji kod dvoje ljudi ili male skupine, dok se povezivanje većeg broja ljudi pomoću glazbe objašnjava drugim navedenim mehanizmom

Endogeni opioidni sustav (skraćeno EOS) je dio živčanog sustava primata uključen u društveno povezivanje i muzičke aktivnosti poput plesanja i pjevanja. Aktivira se i pasivnim slušanjem glazbe. EOS potiče izlučivanje endorfina (endogenih opioida) tijekom pasivnog slušanja glazbe ili tijekom energičnog plesanja (kao i kod napora prilikom bilo kakve intenzivne fizičke aktivnosti), koji nam daju osjećaj zadovoljstva i euforije, a u društvu daju osjećaj pripadnosti te tako povezuju ljude (Tarr i suradnici 2014). Rađena su mnoga istraživanja utjecaja endogenih opioida na životinje (koje nisu ljudi), kao primjerice ono na vrsti *Macaca mulatta* (Graves i suradnici 2002), koja su

dokazala da potiču povezivanje među jedinkama. Iz toga se može zaključiti da bi isti efekt mogli imati i na ljude (Tarr i suradnici 2014).

Osim endorfina, glazba potiče i lučenje drugih neurohormona poput oksitocina i vazopresina. Oni se smatraju potencijalnim posrednicima u društvenom povezivanju ljudi. Oksitocin ne potiče socijalno okupljanje direktno, već je to posljedica njegove regulacije stresa i smanjenja socijalne anksioznosti. Vazopresin se obično veže uz oksitocin, ali njegova uloga, kao i međudjelovanje ovih dviju neurokemikalija u kontekstu slušanja glazbe, još nije dovoljno istražena (Chanda i Levitin 2013).

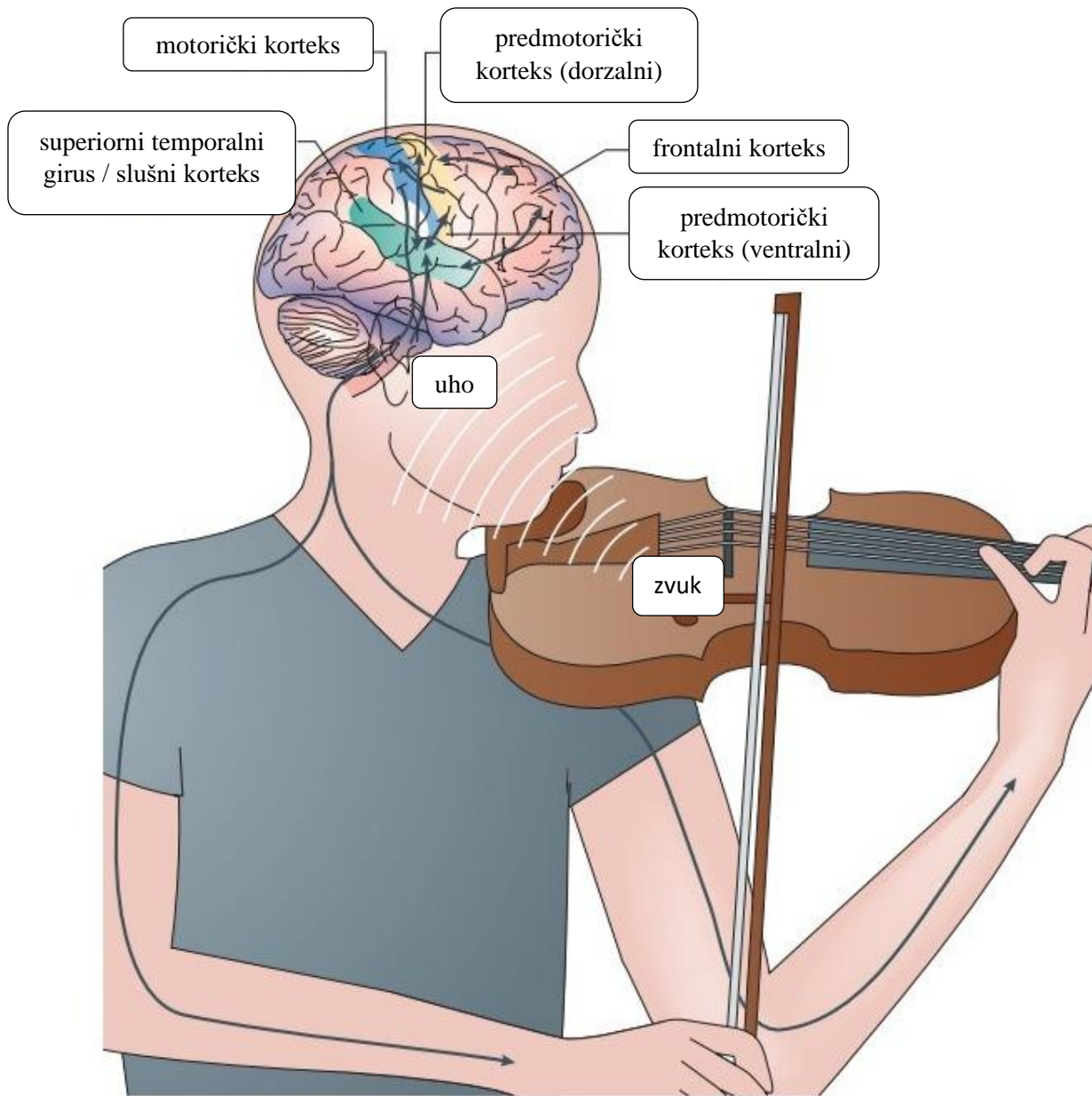
5. UČENJE I IZVOĐENJE GLAZBE

Osim užitka, glazba nam pruža i mnoge druge benefite. Učenje vezano uz glazbu je vrlo zahtjevan proces za živčani sustav (Vuust i sur. 2022). Izvođenje glazbe (primjerice sviranje instrumenta) zahtjeva aktivnost slušnog i motoričkog sustava te njihovu suradnju (Slika 3). Kada ovu senzorno-motoričku interakciju usporedimo primjerice s govorom, vidimo da je izvođenje glazbe kompleksnija i zahtjevnija aktivnost s obzirom na to da je potrebno konstantno održavanje ritma i preciznost pri proizvodnji zvukova određene visine kroz duži vremenski period. Upravo zbog kompleksnosti ove vještine možemo proučavati mozak osobe koja uči izvoditi glazbu i time dobiti uvid u promjene u mozgu koje se događaju s razvojem (Vuust i sur. 2022).

Mozak glazbenika može poslužiti kao idealan model neuroplastičnosti (Münte i sur. 2002). Pojam neuroplastičnosti označava sposobnost živčanih stanica (neurona) da promjene svoju organizaciju ili funkciju. Određeni se centri u mozgu nakon oštećenja ili traume mogu preseliti u drugi dio mozga (Levitin 2006). Rađena su mnoga istraživanja u kojima se uspoređivala anatomija mozga glazbenika s mozgom osobe koja se ne bavi glazbom. Pomoću modernih metoda oslikavanja mozga (poput magnetske rezonancije) primijećene su promjene u strukturi određenih dijelova mozga kao što su *planum temporale*, primarna motorička regija za pokrete ruku, *anteriorni corpus callosum* (žuljevito tijelo) i mali mozak. Ti se dijelovi razlikuju u veličini i građi kod ispitanika koji se bave, odnosno ne bave glazbom (Münte i sur. 2002). *Planum temporale* općenito u ljudskom mozgu pokazuje asimetriju (lijevo-desnu) u veličini, ovisno o tome je li pojedinac dešnjak ili lijevak

(Jäncke i sur. 1994). U mozgu ispitanika s apsolutnim sluhom (urođenom potpunom sposobnošću raspoznavanja i imenovanja tonova koje čuju) koji su dešnjaci primijećena je veća lijeva strana regije *planum temporale* od iste u mozgu ispitanika koji nisu glazbenici (Keenan i sur. 2001). Pri uspoređivanju glazbenika i ispitanika koji nisu glazbenici (od kojih su svi dešnjaci) primijećena je smanjena asimetrija u spretnosti lijeve i desne ruke, što se pokazalo kao posljedica smanjene asimetrije (lijevo-desne) u strukturi primarnog motoričkog korteksa koji kontrolira pokrete ruku u mozgu (Jäncke i sur. 1997). *Corpus callosum* je struktura koja spaja lijevu i desnu hemisferu mozga. Kod ispitanika koji su se počeli baviti glazbom u vrlo ranoj dobi (prije sedme godine života) je ta struktura veća u odnosu na istu kod ispitanika koji su se kasnije počeli baviti glazbom (Schlaug i sur. 1995). To ukazuje na bolju povezanost i interakciju između hemisfera mozga kod glazbenika koji su se ranije počeli baviti glazbom. Taj fenomen vjerojatno poboljšava koordinaciju prilikom korištenja obiju ruka istovremeno (kao primjerice prilikom sviranja instrumenta), s obzirom na to da se signal brže i lakše provodi iz jedne hemisfere mozga u drugu. Mali mozak ima ulogu u tempiranju pokreta te se njegov volumen također pokazao većim kod glazbenika nego kod pojedinaca koji nisu glazbenici (Münste i sur. 2002). Osim ovih anatomskih obilježja, kod glazbenika je zabilježena povećana masa sive tvari u motoričkim, slušnim i vizualnim regijama mozga (Gaser i Schlaug 2003). Te su navedene promjene u moždanim strukturama dugotrajne posljedice slušanja glazbe.

Smatra se da glazba ima i kratkotrajni učinak na moždane funkcije. Rauscher i suradnici su 1993. godine predstavili takozvani Mozartov efekt (eng. *the Mozart Effect*) koji govori o tome da kratkotrajno slušanje (10 minuta) Mozartove glazbe poboljšava rezultate na testu prostornih sposobnosti odmah nakon slušanja. Kasnija su istraživanja djelomično potvrdila ovu hipotezu. Ispostavilo se da te dvije pojave (slušanje Mozartove glazbe i bolji rezultati) nisu u direktnoj uzročno-posljedičnoj vezi, već da određeni glazbeni elementi (brz tempo i korištenje durske ljestvice) pozitivno utječu na raspoloženje ispitanika što na kraju dovodi do boljih rezultata u raznim testovima kognitivnih sposobnosti (Husain i sur. 2002). Iako postoje mnogi dokazi da glazbeni trening pridonosi obradi glazbe u mozgu, još se ne može sa sigurnošću tvrditi da pridonosi i drugim kognitivnim vještinama s obzirom na to da se radi o vrlo kompleksnim procesima na koje utječe mnoštvo faktora (Vuust i sur. 2022).



Slika 3: Grafički prikaz suradnje slušnog i motoričkog sustava prilikom izvođenja glazbe. Označene su neke od glavnih struktura u mozgu koji sudjeluju u ovoj interakciji (prilagođeno prema Zatorre i sur. 2007).

6. GLAZBA KAO TERAPIJA

Ne postoje jasni dokazi da glazba i posljedice koje ostavlja na strukturu mozga poboljšavaju sposobnosti u područjima koja nisu povezana s glazbom. No unatoč tome istraživanja su pokazala da zasigurno pomažu ljudima sa psihičkim i fizičkim poteškoćama u oporavku (Levitin 2006). Pokazalo se da glazba pomaže osobama koje boluju od Parkinsonove bolesti, demencije i onima koje su proživjele moždani udar (Sihvonen i sur. 2017). Terapija glazbom se također primjenjuje u oporavku pacijenata nakon operacija. U tom kontekstu glazba pomaže pri ublažavanju boli i tjeskobe, što smanjuje potrebu za lijekovima protiv bolova (Hole i sur. 2015). Druga su istraživanja pokazala da terapija plesom (koja također, naravno, uključuje glazbu) i ritmična slušna stimulacija (eng. *rhythmic auditory stimulation*) ima pozitivne učinke na ravnotežu, hod, i kardiorespiratornu kondiciju djece i odraslih pacijenata sa cerebralnom paralizom (López-Ortiz i sur. 2019). Sihvonen i suradnici (2017) predlažu modifikaciju terapije glazbom u budućnosti, tako da se glazba individualno prilagodi pacijentu pa bi na taj način imala intenzivniji učinak zbog snažne sposobnosti izazivanja emocija kod pacijenata. Iako ovakva vrsta terapije još nije potpuno integrirana u sustav klasične medicine i ostaje još mnoštvo neistraženih područja, sve je više dokaza koji ukazuju na benefite glazbe u liječenju i u općenitom poboljšanju kvalitete života ljudi.

7. ZAKLJUČAK

Procesiranje glazbe je jedan od neurološki najzahtjevnijih procesa kojima je ljudsko tijelo podvrgnuto. Iako nije nužna za život, glazba je gotovo neizbježna u ljudskim životima i čest je motiv raznih znanstvenih istraživanja. Zvuk ulazi u organizam kroz uho i slušnim živcem šalje signale prema mozgu. Mozak je podijeljen na brojne regije i centre, od kojih svaki ima različitu ulogu u obradi glazbe. Njihove se uloge preklapaju i svi dijelovi zajedno rade na tome da percipiramo zvuk koji čujemo i pretvorimo ga u smislenu cjelinu koju nazivamo glazbom. U ovom procesu može doći do poremećaja koje nazivamo amuzijama. Glazba kod ljudi izaziva čitav spektar emocija, što utječe na formiranje glazbenih preferencija kroz život pojedinca. Posljedice koje glazba ostavlja na pojedinca se očituju i u društvenom okupljanju koje ona potiče. Učenje i izvođenje glazbe ostavlja vidljive posljedice na strukturi mozga, koje pozitivno utječu na aktivnosti vezane uz procesiranje glazbe. U novije se vrijeme glazba počinje proučavati kao potencijalno sredstvo u mnogim vrstama medicinskog liječenja. S obzirom na to da su mnogi aspekti glazbenog utjecaja nedovoljno istraženi, smatram da su daljnja istraživanja utjecaja glazbe na čovjeka (i životinje) nužna za poboljšanje kvalitete života pojedinca i društva.

8. LITERATURA

Bendor D., Wang X. (2005): The Neuronal Representation of Pitch in Primate Auditory Cortex. *Nature* 436, 1161–1165 (2005).

Chanda M. L., Levitin D. J. (2013): The neurochemistry of music. *Trends in Cognitive Science*. 17(4):179-93.

Decety J., Sommerville J. A. (2003): Shared representations between self and other: a social cognitive neuroscience view. *Trends in Cognitive Sciences* 7(12):527-33.

di Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V., Rizzolatti G.. (1992): Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research* 91(1):176-80.

Gaser C, Schlaug G. (2003): Brain structures differ between musicians and non-musicians. *The Journal of Neuroscience* 23(27):9240-5.

Graves, F. C., Wallen K., Maestriperi D. (2002): Opioids and attachment in rhesus macaque (*Macaca mulatta*) abusive mothers. *Behavioral Neuroscience* 116(3), 489–493.

Guerrini R., Marini C. (2006): Genetic malformations of cortical development. *Experimental Brain Research* 173(2):322-33.

Halsband U., Ito N., Tanji J., Freund H. J. (1993): The role of premotor cortex and the supplementary motor area in the temporal control of movement in man. *Brain* 116 (Pt 1):243-66.

Hole J., Hirsch M., Ball E., Meads C. (2015): Music as an aid for postoperative recovery in adults: a systematic review and meta-analysis. *Lancet* 386: 1659–71.

Hunter P. G., Schellenberg E. G. (2011): Interactive effects of personality and frequency of exposure on liking for music. *Personality and Individual Differences* 50(2), 175–179.

Hunter, P. G., Schellenberg, E. G., i Stalinski, S. M. (2011): Liking and identifying emotionally expressive music: Age and gender differences. *Journal of Experimental Child Psychology* 110(1), 80–93.

- Hyde K. L., Lerch J. P., Zatorre R. J., Griffiths T. D., Evans A. C., Peretz I. (2007): Cortical thickness in congenital amusia: when less is better than more. *The Journal of Neuroscience* 21;27(47):13028-32.
- Ivry R. B., Keele S. W. (1989): Timing Functions of The Cerebellum. *Journal of Cognitive Neuroscience* 1 (2): 136–152.
- Jäncke, L., Schlaug, G., Steinmetz, H. (1997): Hand Skill Asymmetry in Professional Musicians. *Brain and Cognition* 34(3), 424–432.
- Jäncke, L., Schlaug G., Huang Y., Steinmetz H. (1994): Asymmetry of the planum parietale. *NeuroReport* 5(9), 1161–1163.
- Juslin P. N., Västfjäll D. (2008): Emotional responses to music: the need to consider underlying mechanisms. *The Behavioral and Brain Sciences* 31(5):559-75.
- Kalmus H., Fry D. B. (1980): On tune deafness (dysmelodia): frequency, development, genetics and musical background. *Annals of Human Genetics* 43(4):369–382.
- Keenan, J. P., Thangaraj, V., Halpern, A. R., & Schlaug, G. (2001): Absolute Pitch and Planum Temporale. *NeuroImage* 14(6), 1402–1408.
- Kohler E., Keysers C., Umiltà M. A., Fogassi L., Gallese V., Rizzolatti G. (2002): Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science* 2;297(5582):846-8.
- Levitin D. J. (2006): *This Is Your Brain on Music: The Science of a Human Obsession*. Dutton, New York.
- Levitin D. J., Tirovalas A. K. (2009): Current Advances in the Cognitive Neuroscience of Music. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1156:211-31.
- López-Ortiz, C. Gaebler-Spira D. J., Mckeeman, S. N., Mcnish, R. N., Green D. (2019) Dance and rehabilitation in cerebral palsy: A systematic search and review. *Developmental medicine and child neurology* 61, 393–398.

Madison, G., Schiölde, G. (2017): Repeated listening increases the liking for music regardless of its complexity: implications for the appreciation and aesthetics of music. *Frontiers in Neuroscience* 11:147.

Matthews, T. E., Witek, M. A. G., Lund, T., Vuust, P., Penhune, V. B. (2020): The sensation of groove engages motor and reward networks. *NeuroImage* 1;214:116768

Münte, T., Altenmüller, E., Jäncke, L. (2002): The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nature Reviews Neuroscience* 3, 473–478

Patel, A. D., Iversen, J. R., Bregman, M. R., Schulz I., Schulz, C. (2008): Investigating the human-specificity of synchronization to music. *Proceedings of the 10th International Conference on Music Perception and Cognition* (pp. 100-104). Sapporo. Adelaide: Hokkaido University. Casual Productions

Rauschecker J., Scott S. (2009): Maps and streams in the auditory cortex: nonhuman primates illuminate human speech processing. *Nature Neuroscience* 12, 718–724.

Rauscher, F. H., Shaw G. L., Ky. N. K. (1993): Music and spatial task performance. *Nature* 365:611.

Rizzolatti G., Craighero L. (2004): The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience* 27:169-92.

Schlaug G, Jäncke L, Huang Y, Staiger JF, Steinmetz H. (1995): Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia* 33(8):1047-55.

Sihvonen, A. J., Särkämö, T., Leo, V., Tervaniemi, M., Altenmüller, E., Soinila, S. (2017). Music-based interventions in neurological rehabilitation. *The Lancet Neurology* 16(8), 648–660.

Sloboda, J. A. (1989): Music as a language. U: F. R. Wilson, F. L. Roehmann (ur.) *Music and child development*. str. MMB Music, Inc., str. 28. – 43.

Tarr B., Launay J, Dunbar RI. (2014): Music and social bonding: "self-other" merging and neurohormonal mechanisms. *Frontiers in Psychology* 5:1096.

Toader C., Tataru C. P., Florian I.-A., Covache-Busuioc R.-A., Bratu B.-G., Glavan L. A., Bordeianu A., Dumitrascu D.-I, Ciurea A. V. (2023): Cognitive Crescendo: How Music Shapes the Brain's Structure and Function. *Brain sciences* 13, 1390.

Vuust P., Heggli O. A., Friston K.J., Kringelbach M. L. (2022): Music in the brain. *Nature Reviews Neuroscience* 23, 287–305.

Yasui T., Kaga K., Sakai K. L. (2009): Language and Music: Differential Hemispheric Dominance in Detecting Unexpected Errors in the Lyrics and Melody of Memorized Songs. *Human Brain Mapping* 30:588–601.

Zatorre R. J. (2015): Musical pleasure and reward: mechanisms and dysfunction. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1337:202-11.

Zatorre, R. J., Chen, J. L., Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: auditory–motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(7), 547–558.

How Do We Hear? National Institute on Deafness and Other Communication Disorders (2015, last updated 2022). <https://www.nidcd.nih.gov/health/how-do-we-hear> (pristupljeno 6.8.2024.)

Sugaya K., Yonetani A. Your Brain on Music. *Pegasus: The Magazine of the University of Central Florida*, University of Central Florida. <https://www.ucf.edu/pegasus/your-brain-on-music/> (pristupljeno 7.8.2024.)

9. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 20.11.2002. godine u Varaždinu. Završila sam V. osnovnu školu Varaždin, a nakon toga Prvu gimnaziju Varaždin, program prirodoslovno-matematička gimnazija, gdje je počela moja ljubav prema biologiji. Trenutno završavam 3. godinu prijediplomskog studija Biologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Sljedeće akademske godine planiram upisati diplomski studij Eksperimentalna biologija, smjer Fiziologija i imunobiologija, također na PMF-u u Zagrebu. Glazba je bitan dio moje svakodnevice, zbog čega sam odlučila izabrati percepciju glazbe na mozak kao temu svog seminarskog rada. U slobodno se vrijeme bavim sviranjem gitare i fotografijom. Voljela bih se posvetiti području neurofiziologije u budućem obrazovanju te odraditi praksu vezanu za isto ili srodno područje.