

# ZVUK A MOZOG

## MECHANIZMY PSYCHOAKUSTICKEJ MEDICÍNY

Slávka Čepelová  
Dária Čepelová



# **ZVUK A MOZOG**

## **MECHANIZMY**

### **PSYCHOAKUSTICKEJ MEDICÍNY**

**Slávka Čepelová**

**Dária Čepelová**

Žiadna časť tejto knihy nemôže byť reprodukováaná, upravená, rozmnožovaná, šírená alebo prenesená do akejkoľvek podoby alebo akýmkoľvek spôsobom, elektronicky alebo mechanicky, vrátane fotokópií alebo audio nahrávok bez písomného povolenia autora.

Názov publikácie: ZVUK A MOZOG: MECHANIZMY  
PSYCHOAKUSTICKEJ MEDICÍNY

Katégoria: Vedecká publikácia

Autor: © doc. PhDr. Slávka Čepelová, PhD.  
© Bc. Dária Čepelová

Vydavateľ: doc. PhDr. Slávka Čepelová, PhD.

Vydanie: prvé

Rozsah: 1,35 AH

Počet strán: 41

Rok vydania: 2025

Počet výtlačkov: 30

ISBN 978-80-570-7421-2

---

# OBSAH

---

1. ABSTRAKT .....	10
2. ÚVOD .....	10
3. MOZOG A JEHO ŠTRUKTÚRA .....	11
4. MOZOG AKO EMOCIONÁLNE CENTRUM .....	13
5. POPLACHOVE REAKCIE A STRES .....	17
6. PSYCHOAKUSTIKA AKO VEDA .....	21
7. HISTÓRIA .....	22
8. PSYCHOAKUSTIKA: ZVUK AKO LIEK .....	23
9. BINAURÁLNE RYTMY AKO SÚČASŤ PSYCHOAKUSTIKY .....	25
10. VYUŽITIE BINAURÁLNYCH RYTMOV PRI LIEČBE ZDRAVOTNÝCH PROBLÉMOV .....	30
10.1. Binaurálne rytmy a kognícia .....	30
10.2. Binaurálne rytmy a pamäť .....	32
10.3. Binaurálne rytmy a traumaticke poškodenie mozgu .....	32
10.4. Binaurálne rytmy a ich vplyv na funkciu mozgu .....	35
10.5. Binaurálne rytmy a stav po CMP .....	35
10.6. Binaurálne rytmy a poruchy spánku .....	39
10.7. Binaurálne rytmy a psychické zdravie .....	39
11. ZÁVER .....	41
12. LITERÁRNE ZDROJE: .....	42

## **1. ABSTRAKT**

Psychoakustika je vedecký odbor zaoberajúci sa účinkom zvuku na psychiku, neurofyziológiu a emocionálne prežívanie človeka. Článok poskytuje prehľad štruktúr mozgu zodpovedných za spracovanie sluchových a emocionálnych podnetov, s dôrazom na limbický systém a stresovú odpoveď. Podrobne opisuje princíp fungovania binaurálnych rytmov a ich terapeutický potenciál v oblasti kognitívneho zlepšenia, obnovy po cievnej mozgovej príhode, porúch spánku, psychického zdravia a neuroplasticity. Vychádza z aktuálnych klinických a predklinických štúdií, ktoré podporujú využitie psychoakustickej stimulácie ako doplnkovej nefarmakologickej metódy v oblasti neurovedy a psychiatrie.

## **2. ÚVOD**

Ľudský mozog je fascinujúcim centrom našej psychiky, myslenia, emócií a vnímania. Jeho štruktúry a neurochemické mechanizmy neustále reagujú na podnety z vonkajšieho prostredia, pričom jedným z najmocnejších zmyslových kanálov je sluch. V posledných desaťročiach sa začala venovať zvýšená pozornosť oblasti psychoakustiky – interdisciplinárnemu odboru, ktorý skúma, ako zvuk a hudba ovplyvňujú činnosť mozgu, emocionálne stavy a fyziologické procesy v tele. Tento článok približuje najnovšie poznatky o vplyve zvuku na ľudský nervový systém, s dôrazom na limbický systém, stresové reakcie a využitie binaurálnych rytmov v terapii.

### 3. MOZOG A JEHO ŠTRUKTÚRA

Nervový systém sa delí na centrálny nervový systém (CNS) a periférny nervový systém. CNS zahŕňa mozog a miechu (Thau, Reddy, Singh, 2022). Medzi funkcie CNS patrí prijímanie, spracovanie a reagovanie na senzorické informácie z vonkajšieho prostredia (Thau, Reddy, Singh, 2022).

Mozog je orgán nervového tkaniva zodpovedný za reakcie, vnímanie, pohyb, emócie, komunikáciu, spracovanie myšlienok a pamäť. Ľudský mozog chráni lebka, mozgové blany a mozgovomiechový mok.

Mozog je rozdelený na 2 hemisféry, ľavú a pravú (Thau, Reddy, Singh, 2022). Ľavá hemisféra riadi reč a abstraktné myslenie (schopnosť premýšľať o veciach, ktoré nie sú prítomné) (Maldonado & Alsayouri, 2023). Je dominantnejšia v jazykových, logických a matematických schopnostiach (Thau, Reddy, Singh, 2022). Naproti tomu pravá hemisféra riadi priestorové myslenie (myslenie, ktoré nachádza význam v tvare, veľkosti, orientácii, umiestnení a javoch) (Maldonado & Alsayouri, 2023). Pravá hemisféra je kreatívnejšia a dominantnejšia v umeleckých a hudobných situáciách a intuícii (Thau, Reddy, Singh, 2022).

Mozog obklopuje mozgová kôra. Skladá sa zo sivej hmoty a je plná miliárd neurónov, ktoré vykonávajú výkonné funkcie na vysokej úrovni. Kôra sa rôznymi ryhami delí na 4 laloky: frontálny, parietálny, okcipitálny a temporálny.

Čelný lalok je zodpovedný za vôľové motorické funkcie, riešenie problémov, pozornosť, pamäť a jazyk. Obsahuje tiež motorickú kôru a Brocovu oblasť. Motorická kôra umožňuje presné vôľové pohyby našich kostrových svalov, zatiaľ čo Brocova oblasť riadi motorické funkcie zodpovedné za produkciu jazyka.

Parietálny lalok je zodpovedný za spracovanie senzorických informácií a obsahuje somatosenzorickú kôru. Neuróny v parietálnom laloku prijímajú informácie zo senzorických nervov a proprioceptorov v celom tele, spracovávajú ich a na základe predchádzajúcich vedomostí vytvárajú predstavu o tom, čoho sa dotýkame.

Tylový lalok, centrum spracovania zraku, obsahuje zrakovú kôru. Podobne ako parietálny lalok, prijíma informácie zo sietnice a potom využíva predchádzajúce vizuálne skúsenosti na interpretáciu a rozpoznávanie podnetov.

Spánkový lalok spracováva sluchové podnety prostredníctvom sluchovej kôry. Zvuková energia aktivuje mechanoreceptory nachádzajúce sa vo vláskových bunkách, ktoré vystielajú kochley, a vysielajú impulzy do sluchovej kôry. Impulz sa spracováva a ukladá na základe predchádzajúcich skúseností. Wernickeho oblasť sa nachádza v spánkovom laloku a slúži na porozumenie reči (Thau, Reddy, Singh, 2022). Spánkový lalok je tiež dôležitý pre sociálny mozog, pretože spracováva senzorické informácie na uchovanie spomienok, jazyka a emócií (Maldonado & Alsayouri, 2023).

Miecha je dôležitou súčasťou centrálného nervového systému (CNS), ktorá sa nachádza v chrbtici. Vytvára obojsmernú dráhu medzi mozgom a telom. Aferentné neuróny v dorzálnych koreňoch prenášajú impulzy zo senzorických receptorov tela do miechy, kde sa informácie začínajú spracovávať. Ventrálné rohy obsahujú eferentné motorické neuróny, ktoré riadia perifériu tela. Axóny motorických neurónov sa nachádzajú v kostrovom a hladkom svalstve tela a regulujú mimovoľné a dobrovoľné reflexy. Zjednodušene povedané, miecha posielajú motorické povelky z mozgu do periférnych orgánov a prenášajú senzorické informácie zo zmyslových orgánov do mozgu (Thau, Reddy, Singh, 2022).

#### 4. MOZOG AKO EMOCIONÁLNE CENTRUM

Mozog je zložitý orgán, ktorý riadi množstvo funkcií, od základných životných procesov až po komplexné kognitívne a emocionálne reakcie. Za spracovanie našich emócií je zodpovedná časť mozgu nazývaná limbický systém.

Limbický systém tvorí „anatómiu emócií“ (Meymandi, 2009). Predstavuje skupinu mozgových štruktúr, ktoré zohrávajú kľúčovú úlohu pri regulácii emócií, spracovaní pamäti a správania. Pôvodne bol označovaný ako „rhinencephalon“ kvôli svojej úlohe v čuchu, no neskôr sa ukázalo, že zahŕňa aj ďalšie funkcie. Limbický systém je základom pre spracovanie a reguláciu emócií, ako sú strach, radosť či agresia. Tiež zabezpečuje konsolidáciu pamäti a zohráva dôležitú úlohu v motivačných a odmeňovacích mechanizmoch mozgu (Donkelaar et al., 2020). Je tiež zodpovedný za autonómne alebo vegetatívne funkcie, ako je dýchanie, chuť do jedla, telesná teplota a nálady (napr. hnev, smútok, láska, nenávisť, násilie, súcit, smútok) (Meymandi, 2009).

Medzi najdôležitejšie časti limbického systému patria hippocampus, amygdala, cingulárna kôra, mamillárne telieska, septum, nucleus accumbens, fornix, talamus a hypothalamus. Tieto štruktúry spolupracujú na spracovaní emócií, pamäti a autonómnych funkcií. (Donkelaar et al., 2020)

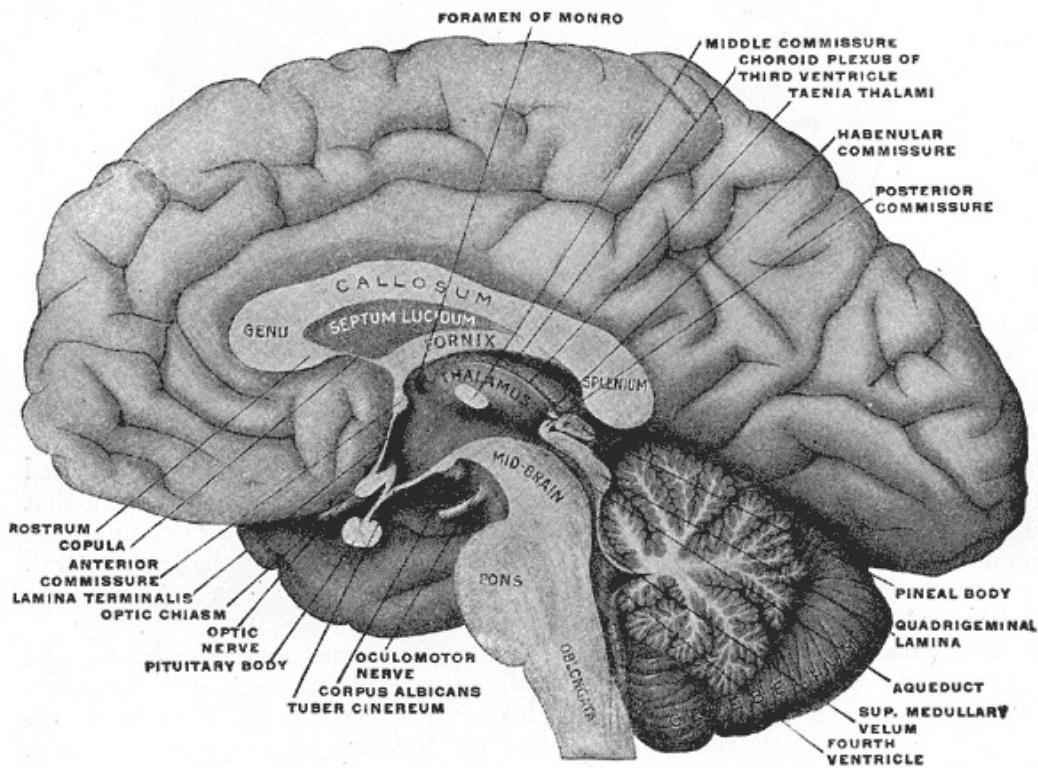
- **Hippocampus** – zodpovedný za konsolidáciu pamäti a orientáciu v priestore a úzkosti (Donkelaar et al., 2020). Prijíma informácie z mozgovej kôry a môže zohrávať úlohu pri Alzheimerovej chorobe (Johns Hopkins Medicine, n.d).

- **Amygdala** – kľúčová pre spracovanie emócií, najmä strachu a úzkosti (Donkelaar et al., 2020). Je spojená s mozgovým systémom odmeňovania, stresom a reakciou „bojaj alebo uteč“, keď niekto vníma hrozbu (Johns Hopkins Medicine, n.d).
- **Cingulárna kôra** – spája emocionálne a kognitívne procesy, podieľa sa na rozhodovaní a regulácii emócií (Donkelaar et al., 2020).
- **Mamillárne telieska** – spojené s pamäťovými okruhmi, najmä v Papezovom limbickom okruhu (Donkelaar et al., 2020).
- **Septum** – reguluje emocionálne správanie a odmeňovanie (Donkelaar et al., 2020).
- **Nucleus accumbens** – podieľa sa na systéme odmeňovania a motivácie (Donkelaar et al., 2020)
- **Fornix** – hlavná dráha vedúca z hippocampu do mamillárnych teliesok a talamu (Donkelaar et al., 2020).
- **Hypotalamus** – Hypotalamus spája CNS s endokrinným systémom. Je zodpovedný za srdcovú frekvenciu, krvný tlak, chuť do jedla, smäd, teplotu a uvoľňovanie rôznych hormónov (Thau, Reddy, Singh, 2022). Hypotalamus sa nachádza nad hypofýzou a posiela jej chemické signály, ktoré riadia jej funkciu (Johns Hopkins Medicine, n.d). S hypofýzou komunikuje, aby uvoľnil alebo inhiboval antidiuretický hormón, hormón uvoľňujúci kortikotropín, hormón uvoľňujúci gonadotropín, hormón uvoľňujúci rastový hormón, hormón inhibujúci prolaktín, hormón uvoľňujúci štítnu žľazu a oxytocín (Thau, Reddy, Singh, 2022).
- **Talamus** – „brána do vedomia“, je to prepojavací bod do centálneho nervového systému. Prijíma aferentné

impulzy zo senzorických receptorov v tele a spracováva informácie na distribúciu do príslušnej kortikálnej oblasti. Je tiež zodpovedný za reguláciu vedomia a spánku (Thau, Reddy, Singh, 2022).

Hypofýza- nie je súčasťou limbického systému, ale je s ním úzko spätá. Hypofýza nazývaná aj „hlavná žľaza“, je útvar veľkosti hrášku, ktorý sa nachádza hlboko v mozgu za koreňom nosa. Hypofýza riadi funkciu ostatných žliaz v tele a reguluje tok hormónov zo štítnej žľazy, nadobličiek, vaječníkov a semenníkov a pankreasu. Prijíma chemické signály z hypotalamu prostredníctvom svojej stopky a krvného zásobenia (Johns Hopkins Medicine, n.d).

Veľmi dôležitou súčasťou mozgu, ktorá zohráva významnú úlohu pri regulácii emócií z pohľadu bdenia a spánku je aj epifýza. Epifýza sa nachádza hlboko v mozgu a je stonkou pripojená k hornej časti tretej mozgovej komory. Epifýza reaguje na svetlo a tmu a vylučuje hormón melatonín, ktorý reguluje cirkadiánne rytmy a cyklus spánku a bdenia (Johns Hopkins Medicine, n.d).



**Obrázok 1:** Schematické znázornenie limbického systému, ktorý je centrom emócií, pamäti a motivácie

**Zdroj:** Maldonado & Alsayouri, 2023

## 5. POPLACHOVE REAKCIE A STRES

Stresujúca situácia môže spustiť kaskádu stresových hormónov, ktoré vyvolávajú dobre zorganizované fyziologické zmeny.

Spracovanie stresu začína v mozgu, kde sa vyhodnocuje stresor a dostupné zdroje na zvládnutie stresoru (Lazarus, 1993).

Dobeš (2005, s. 63) uvádza: „Systém zodpovedný za ľudské emócie možno rozdeliť na dve časti. Podkôrové centrá, najmä amygdala, sú zodpovedné za vonkajšie prejavy emócií, ako napríklad búšenie srdca či zrýchlené dýchanie.“ Ďalej Dobeš (2005, s. 63) pokračuje: „V centrách v kôre (hlavne v cingulárnej, parahipokampálnej a prefrontálnej) prebieha uvedomovanie a prežívanie emócií. Kôrové i podkôrové centrá majú početné vzájomné prepojenia a navzájom sa ovplyvňujú.“

Podľa Merkunová & Orel (2008) talamus, nazývaný aj ako bránou do vedomia, umožňuje vstup týchto informácií do mozgovej kôry teda do vedomia. Talamus je nervovými vláknami spojený s mnohými oblasťami mozgu - s hypotalamom, štruktúrami limbického systému, mozgovou kôrou, jadrami mozgového kmeňa a mozočkom (Merkunová & Orel, 2008).

Do amygdaly prichádzajú senzorické informácie rýchlou cestou z talamu a pomalou cestou z kôry. (Dobeš, 2005). Keď amygdala vníma nebezpečenstvo, okamžite posieľa signál núdze do hypothalamu. (Steckl & Ray, 2018)

Hypotalamus je časť medzimozgu, ktorá sprostredkúva dôležité spojenie medzi nervovým a endokrinným systémom, pričom sprostredkovateľom tohto spojenia je hypofýza. Spolu s hypofýzou tvorí hypotalamus tzv. hypotalamo-hypofyzárny systém. Hypotalamus tu funguje ako dôležitý producent hormónov

(Merkunová & Orel, 2008). Táto oblasť mozgu kontroluje také nevedomé telesné funkcie ako dýchanie, krvný tlak, tep srdca a rozširovanie alebo zúženie kľúčových krvných ciev a malých dýchacích ciest v pľúcach nazývaných bronchioly (Steckl & Ray, 2018).

Ak organizmus dospeje k záveru, že stresor predstavuje hrozbu, telo reaguje dvoma rôznymi fyziologickými stresovými reakciami. Prvú reakciu organizuje sympatická vetva autonómneho nervového systému. Laterálny hypotalamus a mozgový kmeň aktivujú sympatické pregangliové neuróny v mieche, ktoré inervujú chromafínne bunky v dreni nadobličiek, ktoré uvoľňujú adrenalin a norepinefrín do krvného obehu (Berretz et al., 2021). Aktivácia sympatického adrenomedulárneho systému typicky vedie k zvýšeniu srdcovej frekvencie, frekvencie dýchania a potenia, ako aj k pocitu stresu (Berretz et al., 2021).

Druhá stresová reakcia spočíva v aktivácii osi hypotalamus-hypofýza-kôra nadobličiek (HPA). Hormón uvoľňujúci kortikotropín a vazopresín z hypotalamu spúšťajú uvoľňovanie adrenokortikotropínového hormónu (ACTH) z hypofýzy. ACTH následne spôsobuje, že kôra nadobličiek uvoľňuje glukokortikoidy, u ľudí najmä kortizol, do krvného obehu, ktorý interaguje so všetkými bunkami tela (Berretz et al., 2021).

Hypotalamus má úlohu v autonómnom nervovom systéme (Dobeš, 2005). Autonómny nervový systém (ANS) je jednou z najdôležitejších dráh, ktoré sa aktivujú stresom. Sympatikus kontroluje stresové reakcie, zatiaľ čo parasympatikus relaxačné reakcie. Hoci majú protichodné účinky, fungujú kontinuálne (Drigas & Mitsea, 2021).

Sympatický nervový systém podporuje vzrušenie. Je dominantný v extrémnych podmienkach, ako sú situácie "boj alebo

utekaj". Keď amygdala rozpozná podnet vonkajšieho alebo vnútorného pôvodu ako stresujúci, štandardne aktivuje os hypotalamus-hypofýza-nadobličky a sympatický nervový systém (Drigas & Mitsea, 2021).

Stresory pôsobia na hypotalamus, prostredníctvom ktorého aktivujú sympatický nervový systém a spúšťajú produkciu kortikoliberínu, ktorý zabezpečuje potrebné uvoľňovanie glukokortikoidov. Aktivácia sympatického nervového systému je spojená so zvýšeným uvoľňovaním noradrenalínu na jeho zakončeníach a súčasnou stimuláciou uvoľňovania hormónov nadobličiek, najmä adrenalínu (Merkunová & Orel, 2008).

Keď je situácia vnímaná ako stresujúca, mozog aktivuje mnohé neurónové okruhy, aby sa prispôbil požiadavke. Dva neuropeptidy, kortikotropín uvoľňujúci hormón (CRH) a vazopresín (AVP), sú nevyhnutné na koordináciu behaviorálnych a metabolických reakcií na stres. Kortikotropín stimuluje kôru nadobličiek k vylučovaniu kortizolu (u ľudí). Hypotalamické uvoľňovanie CRH a vazopresínu riadi hypotalamická - hypofyzárna adrenokortikálna (HPA) os (De Kloet, Joels, Holsboer, 2005).

Podľa Merkunová & Orel (2005) hlavným glukokortikoidom je kortizol. Kortizol-hormón stresu, agresie a depresie je produkován kôrou nadobličiek (Drigas & Mitsea, 2021). Jeho tvorba je kontrolovaná kortikotropínom (ACTH), ktorý je hormónom hypofýzy (Steckl & Ray, 2018). V prítomnosti fyzickej alebo psychickej hrozby hladina kortizolu prudko stúpa, aby poskytla energiu na zvládnutie podnetov vyvolávajúcich stres (Drigas & Mitsea, 2021).

Kortizol reguluje rôzne základné funkcie, napríklad krvný tlak. Udržiava tiež hladinu glukózy v krvi a tlmí životne dôležité orgánové systémy, aby poskytol energiu aktívne fungujúcemu mozgu a nervovo- svalovému systému (Drigas & Mitsea, 2021).

Ďalším hormónom, ktorý sa produkuje pri strese je adrenalín. Adrenalin -hormón stresu a bdlosti je neurotransmitter a neurohormón uvoľňovaný z drene nadobličiek (noradrenalín sa mení na adrenalín), v krvnom obehu v reakcii na stres (Drigas & Mitsea, 2021). Ďalej Drigas & Mitsea (2021) uvádza: „Konkrétne sprostredkúva krátkodobé reakcie na stresory tým, že iniciuje behaviorálne a fyziologické zmeny, ktoré pomáhajú človeku vyrovnať sa so stresujúcim podnetom.” Drene nadobličiek uvoľňujú do krvi adrenalín a v menšej miere noradrenalín. Prostredníctvom rôznych inervácií mení funkciu orgánov a tkanív, aby sa do svalov dostala dobre okysličená krv bohatá na živiny. Konkrétne sa zvyšuje srdcová frekvencia a kontraktilita myokardu. Stimulácia hladkého svalstva ciev spôsobuje vazokonstrikciu v gastrointestinálnom systéme a obličkách. Brochodilatácia v pľúcach umožňuje maximalizáciu príjmu kyslíka a zníženie oxidu uhličitého. Pečeň zvyšuje hladinu glukózy v krvi, aby poskytla energiu mozgu. Tukové tkanivo prostredníctvom lipolýzy produkuje mastné kyseliny na metabolickú energiu. Nakoniec dochádza k nadmernému fungovaniu potných žliaz a očné zrenice sú prispôbené na videnie do diaľky (Drigas & Mitsea, 2021). Ako Merkunová & Orel (2008, s. 201) vo svojej knihe uvádzajú: „Počas rozvoja stresovej reakcie glukokortikoidy: zvyšujú glykémiu a zabezpečujú dostatok glukózy pre nervové bunky, ktorých aktivita sa počas stresu výrazne zvyšuje.”

Za normálnych podmienok, keď pocit nebezpečenstva ustupuje, sympatický systém predáva štafetu parasympatickému systému. Cieľom parasympatického nervového systému je obnoviť homeostázu. V dôsledku toho sa srdcová frekvencia vracia na normálnu úroveň, zvyšuje sa sekrécia slín, aktivuje sa žalúdočná aj črevná motilita, pankreas vylučuje enzýmy a uvoľňuje inzulín (Drigas & Mitsea, 2021).

Najdôležitejšou úlohou parasympatického systému však je, že stresové hormóny ustupujú a vracajú sa hormóny uvoľnenia (Drigas & Mitsea, 2021).

Všetky tieto zmeny sa dejú tak rýchlo, že si ich ľudia neuvedomujú. V skutočnosti je toto zapojenie také efektívne, že amygdala a hypotalamus spúšťajú túto kaskádu ešte predtým, ako vizuálne centrá mozgu stihnú plne spracovať, čo sa deje. Preto sú ľudia schopní uskočiť z dráhy prichádzajúceho auta ešte skôr, ako si premyslia, čo robia.

V priebehu rokov sa výskumníci nielen naučili, ako a prečo k týmto reakciám dochádza, ale získali aj prehľad o dlhodobých účinkoch chronického stresu na fyzické a psychické zdravie. Postupom času si opakovaná aktivácia stresovej reakcie vyberá svoju daň na tele. Výskum naznačuje, že chronický stres prispieva k vysokému krvnému tlaku, podporuje tvorbu usadenín upchávajúcich tepny, čím zvyšuje riziko vzniku infarktu alebo mŕtvice a spôsobuje zmeny v mozgu, ktoré môžu prispievať k úzkosti, depresii a závislosti (Harvard Health Publishing, 2024).

## **6. PSYCHOAKUSTIKA AKO VEDA**

Psychoakustika je štúdium zvuku a jeho vplyvu na ľudskú psychológiu a fyziológiu. Dnes sa tento jav študuje na vedeckom základe. Psychoakustika sa vyvinula na priesečníku akustiky, neurológie, psychológie a kognitívnych vied a študuje, ako ľudský mozog vníma, spracováva a reaguje na zvuky a ako tieto zvuky ovplyvňujú emocionálne, fyziologické a psychologické stavy. Psychoakustika poskytuje hĺbkovú analýzu toho, ako hudba ovplyvňuje mozgovú činnosť, emocionálne stavy a podvedomé procesy (Razatdinova, 2025).

## 7. HISTÓRIA

Zvuky sa používali na liečbu odnepamäti. Zvuk bol nástrojom na podporu fyzického a emocionálneho zdravia tela, odkedy si história pamätá. Bol hlboko zakorenený v dávnych kultúrach a civilizáciách. Gréci lekári používali flauty, lýry a citry na liečenie svojich pacientov. Vibrácie používali na podporu trávenia, liečbu duševných porúch a navodenie spánku. Aristoteles vo svojej slávnej knihe *De Anima* napísal, že flautová hudba dokáže vzbudiť silné emócie a očistiť dušu (Meymandi, 2009). Starovekí Egypťania využívali na liečbu nápevy so zvukom samohlások, lebo verili, že samohlásky sú posvätné. Tibetskí mnisi používali spievajúce misy, o ktorých verili, že sú „symbolom nepoznaného“, a ktorých „vibrácie boli opisované ako zvuk manifestujúceho sa vesmíru“ (Badatel.net, 2021).

Výskumníci začali systematicky študovať využitie hudby v medicíne a liečiteľstve koncom 19. storočia. Štúdie zaznamenávajúce vplyv hudby na fyziologické reakcie, ako je srdcový výdaj, frekvencia dýchania, pulz a krvný tlak (TK), pôvodne opísal Diogel (koncom 18. storočia) z nemocnice Salpêtrière v Paríži. Diogel používal bubny potiahnuté sadzami s dotykovým perom na meranie krvného tlaku a pulzovej frekvencie svojich pacientov. Diogel si do laboratória k lôžkam pacientov brával živých hudobníkov, aby vykonávali jeho experimenty a zaznamenávali jeho zistenia. Jeho prvý článok, zásadná vedecká práca, bol publikovaný v roku 1880. Diogel ukázal, že hudba znižuje krvný tlak, zvyšuje srdcový výdaj, znižuje pulzovú frekvenciu a vo všeobecnosti pomáha práci parasympatického systému. Túto prácu zopakoval Comring z Ameriky v roku 1880 a neskôr Tarchanov (1846 – 1908) z Ruska (Meymandi, 2009).

Po II. sv vojne sa opäť začínalo odznova pri budovaní muzikoterapie ako vedy. V Európe vedci išli cestou teórie a v Amerike

cestou klinických štúdií. Dodnes tu vnímať isté rozdelenie, ale aj vzájomné obohatenie. Základom bolo presvedčenie, že hudba môže prenikať do hlbších vrstiev psychiky (ako slovo). Jej ukotvenie tak bolo hlbinne psychologické. V Európe a hlavne vo Švédsku ako istom centre muzikoterapie to bol dôraz na odkaz Junga. V USA zas bola snaha vytvoriť niečo ako hudobnú farmakológiu – ak by sa to podarilo, na konkrétny problém by bolo možné predpísať konkrétnu skladbu či žáner (Gerlichová, 2014).

## **8. PSYCHOAKUSTIKA: ZVUK AKO LIEK**

Sluchový systém je náš biologický aparát pre sluch a je pozoruhodne zložitý. Zvukové vlny prechádzajú cez vonkajšie ucho a prechádzajú zvukovodom. Dosahujú bubienok a spôsobujú vibrácie, ktoré sú potom zosilnené tromi kostičkami v strednom uchu. Slimák vnútorného ucha transformuje tieto vibrácie na elektrické signály, ktoré sluchový nerv prenáša do mozgu. Tento neuveriteľný systém nám umožňuje vnímať širokú škálu zvukov (Sampayo, 2024).

Psychoakustika pracuje s vibráciami. Keď vezmeme do úvahy, že všetko je vibrácia, môžeme naladiť svoje telo ako ladíme nástroj. Rôzne nástroje, vokály alebo zvuky je možné nastaviť na určité frekvencie. Psychoakustika pracuje s princípmi rezonancie a strhávania, nachádza oblasti disonancie v tele a strháva telesné systémy do harmonickejšieho prejavu.

Frekvencia nasledujúca odozva naznačuje, že mozgové vlny sú priamo spojené s mentálnymi stavmi vedomia. Existujú rôzne typy mozgových vln: delta (od 0,5 do 3 Hz), theta (4 až 7 Hz), alfa (8 až 12 Hz) a beta vlny (13-30 Hz). Relatívne pomalé delta vlny sa vysielajú počas spánku, rýchlejšie theta vlny sa vysielajú počas meditácie, Alfa vlny sa vysielajú vtedy, keď mozog sníva počas dňa alebo vedome

vykonáva všíímavosť a beta vlny (najrýchlejšie) sa vysielajú, keď riešime problémy alebo sa sústreďíme na konkrétne úlohy (Scatoloni, n.d.).

Vyváženie ľavej a pravej hemisféry mozgu naznačuje, že ľavá a pravá strana mozgu sú veľmi odlišné. Ľavá strana mozgu je spojená s logikou a riešením problémov. Pravá strana mozgu je spojená s kreativitou. Psychoakustika pracuje na oboch stranách mozgu, aby rozvíjala oblasti, v ktorých môžeme byť slabí, a zlepšila komunikáciu medzi hemisférami (Scatoloni, n.d.).

Zvuk a emócie sú hlboko prepojené. Ľudský mozog nielen počuje zvuky, ale na ne aj reaguje (Razatdinova, 2025). Keď počujeme zvuk, nereagujú len naše uši – aktivujú sa aj naše emocionálne centrá. Z biologického hľadiska má zvuk priamy vplyv na funkciu mozgu. Keď počujeme hudbu, aktivujú sa rôzne oblasti mozgu, sluchová kôra spracováva zvuk, limbický systém riadi emocionálne reakcie, prefrontálna kôra je zodpovedná za vedomé myslenie a pamäť a nucleus accumbens je spojený s odmenou a potešením. Počúvanie hudby spúšťa uvoľňovanie neurotransmitterov, ako je dopamín, serotonín a oxytocín, ktoré zvyšujú náladu, znižujú stres a zlepšujú sústredenie a pamäť (Razatdinova, 2025).

Je to preto, že určité frekvencie a rytmy môžu spustiť takmer okamžitú emocionálnu reakciu. Napríklad náhly hlasný zvuk môže vyvolať strach, zatiaľ čo jemná, plynulá melódia môže podporiť upokojenie (Sampayo, 2024).

Psychoakustika skúma rôzne aspekty, ako zvuk ovplyvňuje emócie a pamäť, ako hudba zložená z alfa, beta, theta a delta vln môže zmeniť stav vedomia a ako možno zvuk použiť na prístup k podvedomiu a jeho ovplyvňovanie (Razatdinova, 2025).

Psychoakustika sa široko používa v klinickom prostredí a pozitívne výsledky sa pozorovali v nasledujúcich oblastiach: psychiatria - na liečbu depresie, úzkosti, posttraumatickej stresovej poruchy (PTSD) a bipolárnej poruchy, neurológia - rehabilitácia po cievnej mozgovej príhode a reaktivácia pamäte, pediatria - práca s deťmi s poruchami autistického spektra, zlepšenie kognitívnej schopnosti, geriatria (gerontológia) - psychologické problémy spojené so starnutím, atd. (Razatdinova, 2025). Okrem toho hudba zohráva kľúčovú úlohu vo vývoji reči, kreativite, v zlepšení spánkového cyklu a formovaní emocionálneho vyjadrovania u detí (Razatdinova, 2025).

## **9. BINAURÁLNE RYTMY AKO SÚČASŤ PSYCHOAKUSTIKY**

Ludský mozog má typicky rytmický vzorec. Našu fyzickú a emocionálnu pohodu zvuk výrazne ovplyvňuje. Jednou konkrétnou oblasťou vedy o zvuku je „binaurálny rytmus“. Výskum binaurálnych rytmov sa začal už v roku 1839, keď tento jav prvýkrát opísal Heinrich Wilhelm Dove. Vzhľadom na to, že ide o perцепčnú reakciu na podnety, ktoré sú umelo generované a nevyskytujú sa v prirodzenom prostredí, boli binaurálne rytmy viac ako storočie zavrhané ako obyčajná kuriozita (Ingendoh, Posny, & Heine, 2023). Vedecký záujem o binaurálne rytmy sa obnovil až oveľa neskôr, keď v roku 1973 Dr. Gerald Oster, lekár a biofyzik, systematicky integroval výsledky z ranných empirických štúdií a publikoval svoj objav vo výskumnej práci s názvom „Auditívne rytmy v mozgu“. Štúdia otvorila úplne novú oblasť vedy, pretože ukázala, ako zvuk ovplyvňuje spôsob a rýchlosť, ako sa mozog učí nové informácie, kontrolu nálady, spánkové vzorce a liečivé reakcie v tele, okrem mnohých ďalších faktorov (Schuttlera, 2017). Nielenže tento jav opísal podrobnejšie, ale znovu to vyvolalo novú vlnu aktivít nielen vo

vedeckej komunite, ale aj v určitých pseudovedeckých kontextoch na zlepšenie kognitívnych funkcií.

Existujú dve bežné formy stimulácie rytmov: monokulárna a binaurálna. Binaurálne rytmy sú sluchové ilúzie, ktoré vznikajú, keď sa dva zvuky s rovnakou intenzitou a frekvenčným rozsahom prenášajú samostatne do každého ucha (Askarpour et al., 2024). Binaurálne rytmy sú iluzórnym javom, čo znamená, že ich percepčným základom nie je interferencia dvoch zvukových vln, ale výsledok ich kombinovanej neurálnej aktivity vyvolanej v sluchovej dráhe (Ingendoh, Posny & Heine, 2023).

Keď sú ľuďom prezentované dva akustické signály s mierne odlišnými frekvenciami samostatne do každého ucha, vzniká vnímanie tretieho tónu kmitajúceho na rozdiel týchto dvoch frekvencií. Vnímanie tohto tretieho tónu sa opisuje ako lokalizované v hlave alebo medzi ušami (Ingendoh, Posny & Heine, 2023). Keď sa tón 440 Hz privádza do pravého ucha a tón 400 Hz do ľavého, vníma sa rytmus 40 Hz, ktorý sa považuje za rytmus „vo vnútri“ hlavy. Mozgové nervové štruktúry vrátane horného olivového jadra a mozgového kmeňa spolupracujú na vytváraní vnímania frekvencie, ktorá sa rovná rozdielu medzi nimi. To vytvára vnímanie tretieho tónu a úderu, ktorý dokáže meniť mozgové vlny poslucháča, ovplyvňuje mozgovú aktivitu a vyvoláva špecifické kognitívne alebo emocionálne stavy (Askarpour et al., 2024).

Pri binaurálnej stimulácii rytmov sa tóny zvyčajne prezentujú cez slúchadlá, aby sa zabezpečilo, že expozícia každej z dvoch frekvencií je obmedzená iba na jedno ucho. Táto technika vylučuje integráciu vonkajších zvukov, a tým umožňuje interpretáciu vnímaných frekvenčných rozdielov ako fázových rozdielov (Ingendoh, Posny, & Heine, 2023).

Elektrická aktivita neurónov v mozgu vytvára na povrchu kože malý napäťový signál, známy ako elektroencefalografické (EEG) signály alebo elektrické mozgové vlny. Binaurálne rytmy menia dráždivosť mozgu a možno ich merať pomocou EEG (Askarpour et al., 2024).

Binaurálne rytmy možno vnímať vo frekvenčnom rozsahu približne 1 – 30 Hz, čo je rozsah, ktorý sa zhoduje s hlavnými frekvenčnými pásmami ľudského EEG (Ingendoh, Posny, & Heine, 2023).

Monitorovanie mozgovej aktivity (EEG) ukazuje, že mozog produkuje zvýšenú aktivitu s rovnakou frekvenciou a amplitúdou vlnového tvaru v oboch hemisférach mozgu (ľavej a pravej hemisfére) (Schuttlera, 2017).

Výskum účinkov binaurálnej stimulácie na mozgovú aktivitu podporuje hypotéza strhávania mozgových vln, kde mozog synchronizuje svoju elektrickú aktivitu s frekvenciou sluchových podnetov. Táto synchronizácia prebieha vo frekvenčnom rozsahu ľudských EEG kmitov (približne 1 – 30 Hz), čo zodpovedá rôznym kognitívnym a emocionálnym stavom. Existujú štyri dominantné frekvenčné pásma mozgových vln, z ktorých každé súvisí s odlišnými mozgovými funkciami. Beta vlny sú spojené s myslením, koncentráciou a spracovaním informácií. Theta vlny sú spojené s pamäťou a snívaním, zatiaľ čo alfa vlny sú spojené so stavom bdlosti a pokoja. Delta vlny sú spojené s hlbokým spánkom (Askarpour et al., 2024).

Keďže mozgové vlny menia frekvencie na základe neurálnej aktivity v mozgu a keďže neurálna aktivita je elektrochemická, funkciu mozgu možno modifikovať pomocou zvuku a frekvencií. Určité frekvencie/zvuky/hudba teda stimulujú mozog k produkcii určitých neurotransmitterov a neurochemikálií ako napríklad: beta-

endorfíny, črevné peptidy, acetylcholín, vazopresín, serotonín (Schuttlera, 2017).

Mnoho odborníkov z oblasti vedy, výskumu a medicíny sa zaoberali psychoakustickou medicínou a dospeli k zaujímavým záverom.

Dr. Robert Cosgrove považuje binaurálne rytmy za účinný nástroj na zlepšenie nervových spojení a celkovej mozgovej výkonnosti. Tvrdil, že udržiavanie a zlepšovanie mozgovej výkonnosti počas celého života oddiaľuje o desaťročia zhoršovanie stavu mozgu, ktoré sa tradične spája so starnutím. Výskumy ukázali ich prínos aj pri učení, zvládaní stresu, závislostiach a regenerácii organizmu, najmä vďaka frekvenciám alfa, theta a delta (Schuttlera, 2017).

Dr. Margaret Pattersonová a Dr. Ifor Capel zistili, že každé mozgové centrum generuje impulzy na špecifickej frekvencii na základe prevládajúceho neurotransmitera, ktorý vylučuje. Inými slovami, vnútorný komunikačný systém mozgu – jeho jazyk, je založený na frekvencii. Napríklad binaurálne rytmy vo frekvenciách 10 Hz (alfa vlny) zvyšujú produkciu serotonínu, čo podporuje uvoľnenie a tlmi bolesť. Theta vlny (4 Hz), ktoré synchronizujú činnosť mozgových hemisfér, zas stimulujú tvorbu katecholamínov, dôležitých pre učenie a pamäť (Schuttlera, 2017).

Podobné zistenia priniesla aj Dr. Candace Pert, ktorá dokázala, že myšlienky a emócie ovplyvňujú fyziológiu tela. Inými slovami, dokázala, že pozitívne alebo negatívne myšlienky a emócie vždy buď zlepšujú, alebo zhoršujú naše zdravie na základe chemických látok, ktoré sa uvoľňujú a transportujú do každej bunky. Chemické látky sprostredkávajú tieto vplyvy až na bunkovej úrovni – receptory na bunkách reagujú na vibrácie iba vtedy, ak sú naladené na rovnakú frekvenciu ako príslušná látka (ligand) (Pert, 1997).

Výskum Dr. Penistona a Dr. Kulkoskeho ukázal, že terapia binaurálnymi rytmiami znižuje mieru recidívy u alkoholikov a pomáha pri depresii (Schuttlera, 2017).

Podľa Dr. Brockoppa môžu binaurálne rytmy a psychoakustická medicína dramaticky pomôcť ľuďom zmeniť naučené správanie. Brockopp tvrdí: „Ak dokážeme pomôcť človeku vedome prežívať rôzne stavy mozgových vln tým, že ho budeme viesť vonkajšou stimuláciou (binaurálnymi rytmiami), môžeme uľahčiť schopnosť jednotlivca povoliť viac variácií vo svojom fungovaní tak, že rozbijeme vzory na nervovej úrovni.“ To môže prispieť k zmene správania tým, že sa v mozgu „rozbijú“ staré vzorce správania, a tak sa môžu rozvíjať nové, flexibilnejšie formy myslenia (Schuttlera, 2017).

Binaurálne rytmy v delta frekvenciách (0,5–4 Hz) sú dôležité pre regeneráciu tela počas spánku, keď sa uvoľňuje rastový hormón. Možno ich využiť na rýchlejšie zaspávanie. Hlboký spánok v delta stave je kľúčový pre obnovu síl. Niektoré lieky ho narúšajú, pretože bránia mozgu v poklese do delta stavu (Schuttlera, 2017).

Základný vedecký výskum binaurálnych rytmov bol v desaťročiach po Osterovej publikácii do značnej miery zanedbávaný. Až v posledných dvoch desaťročiach systematický výskum binaurálnych rytmov opäť nadobudol na obrátkach.

V poslednej dobe sa výskum zameriava najmä na psychologické účinky stimulácie binaurálnymi rytmiami. V rámci tejto oblasti štúdia sa skúmajú účinky na kogníciu, emócie, ako aj určité sprievodné fyziologické zmeny (Ingendoh, Posny, & Heine, 2023).

Účinky binaurálnej stimulácie rytmov boli následne skúmané s ohľadom na rôzne psychologické javy spojené so špecifickými frekvenčnými pásmami EEG, ako sú aspekty kognitívneho

spracovania, afektívne stavy, nálada, vnímanie bolesti a kreativita, liečbu traumatického poranenia mozgu a liečbu poruchy pozornosti s hyperaktivitou a mnohých iných.

## **10. VYUŽITIE BINAURÁLNYCH RYTMOV PRI LIEČBE ZDRAVOTNÝCH PROBLÉMOV**

### **10.1. Binaurálne rytmy a kognícia**

Mentálna činnosť alebo proces učenia sa prostredníctvom skúseností, myslenia a zmyslov sa nazýva kognícia. Zahŕňa všetky aspekty kognitívnych schopností vrátane vnímania, pozornosti, myslenia, predstavivosti, inteligencie, formovania vedomostí, pamäte a pracovnej pamäte, úsudku a hodnotenia, uvažovania a výpočtov, riešenia problémov a rozhodovania, porozumenia a produkcie jazyka (Askarpour et al., 2024).

Psychoakustická medicína je spojená s kognitívnymi funkciami a široko sa používa na zlepšenie pamäte a výkonných funkcií. Prostredníctvom účinkov rytmu a upokojujúcich vlastností hudby na ľudské telo, uvoľňuje myseľ pacienta a nakoniec ovplyvňuje funkciu mozgu (Xue et al., 2023).

Rytmy podľa výskumníkov stimulujú viaceré oblasti mozgu vrátane tých, ktoré sú zodpovedné za emócie, pamäť a pozornosť. Aktivujú limbický systém a môžu podporovať tvorbu neurotrofických faktorov, ktoré zlepšujú funkčnosť nervových buniek (Xue et al., 2023).

Štúdia Sharpe *a kol.* ukázala, že binaurálne rytmy významne zlepšili kogníciu. Štúdia publikovaná v časopise *Brain Informatics* (Reedijk et al., 2020) skúmala vplyv binaurálneho rytmu o frekvencii

40 Hz (gamma) na kognitívne funkcie, pamäť a náladu u zdravých dospelých. Po štvrtýždňovej intervencii autori zistili štatisticky významné zlepšenie pamäťového výkonu, mierne zlepšenie kognitívnych schopností a výrazný pozitívny vplyv na náladu v skupine s 40 Hz stimuláciou (Askarpour et al., 2024).

Dôkazy ukazujú, že binaurálne rytmy s gama frekvenciou môžu zvýšiť kognitívnu flexibilitu a zlepšiť divergentné myslenie. Binaurálne rytmy s beta frekvenciou sú zase známe ako prostriedok na zlepšenie kognitívnej kontroly u dospelých (Askarpour et al., 2024).

Da Silva et al. (2015) publikovali štúdiu, ktorej cieľom bolo vykonať systematický prehľad publikovaných štúdií, ktoré využívali stimuláciu mozgu svetlom a zvukom ako prostriedok na optimalizáciu mozgových funkcií. Do kvalitatívnej syntézy boli zahrnuté štyri štúdie, z toho tri experimentálne a jedna kazuistická, pričom všetky sa zaoberali účinkami kombinovanej fototickej a sluchovej stimulácie v rôznych kontextoch. V experimentálnej štúdii sa venovali vplyvu alfa rytmov na motoricko-kognitívnu výkonnosť u futbalistov. Po dvojtyždňovom stimulačnom protokole zaznamenala experimentálna skupina významné zlepšenie reakčného času v úlohách vyžadujúcich rýchlu odozvu na vizuálne podnety, čo poukazuje na pozitívny efekt stimulácie na mentálne spracovanie a motorickú presnosť (Da Silva et al., 2015).

Sluchovú stimuláciu možno teda klasifikovať ako typ hlbokkej stimulácie, pretože jej účinky na kortikálnu úroveň sa prejavujú cez štruktúry mozgového kmeňa a talamu (da Silva et al., 2015).

## **10.2. Binaurálne rytmy a pamäť**

Pamäťové funkcie sú spojené s fluktuáciami elektrickej aktivity mozgu, konkrétne vo frekvenciách theta, alfa a gama, čo môže ovplyvniť rôzne aspekty pamäte. Zistilo sa, že binaurálne rytmy zlepšujú pracovnú pamäť, základnú funkciu centrálného nervového systému, ktorá dočasne ukladá informácie počas kognitívnych aktivít, ako je čítanie, porozumenie a učenie. Zlepšenie pracovnej pamäte pomocou binaurálnych rytmov môže pomôcť pri prenose informácií z aktívnej pamäte do dlhodobej pamäte, čo v konečnom dôsledku vedie k lepšiemu dlhodobému ukladaniu a vyhľadávaniu (Askarpour et al., 2024).

## **10.3. Binaurálne rytmy a traumaticke poškodenie mozgu**

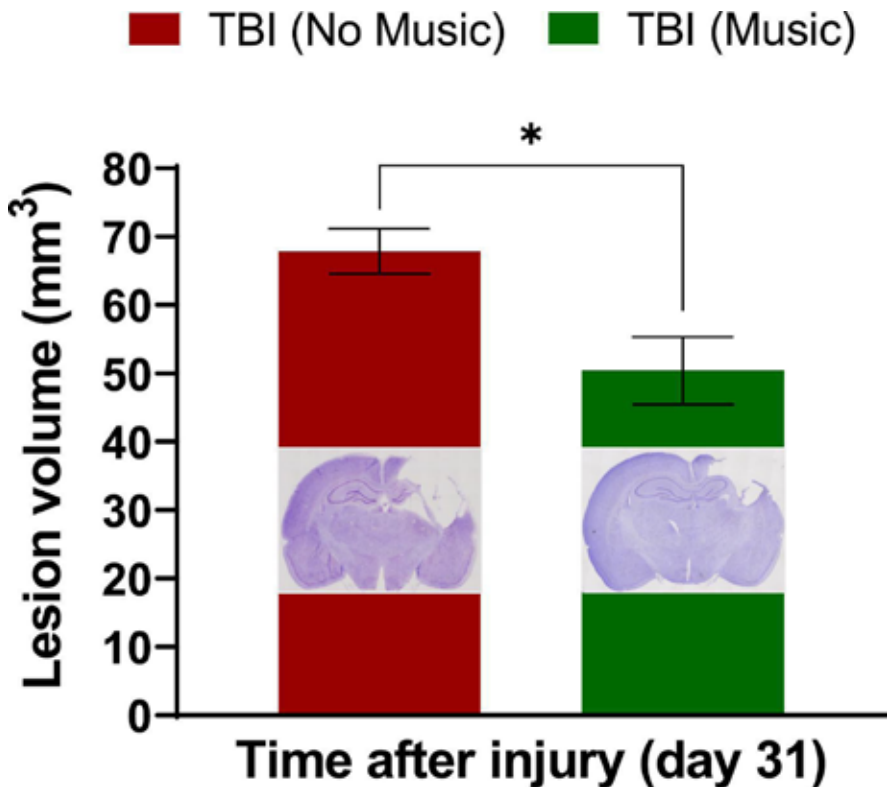
Väčšina ľudí, ktorí prežili stredne ťažké až ťažké traumatické poranenie mozgu (TBI), trpí pretrvávajúcimi poruchami v motorickej, kognitívnej a emocionálnej oblasti. Po traumatickom poranení mozgu, dlhodobý patologický neurozápal, vrátane mikrogliálnej dysregulácie a zvýšenej regulácie prozápalových molekúl, čiastočne prispieva k dlhodobej neurodegenerácii a neurobehaviorálnej dysfunkcii (Moschonas et al., 2023).

Na základe výsledkov výskumu Moschonas et al. (2023) sa zistilo, že skupina s TBI, ktorá podstúpila sluchovú stimuláciu, mala zmenšený objem lézie v porovnaní so skupinou s TBI (bez stimulácie), ktorá mala priemerný objem lézie. Väčšia veľkosť lézie v skupine s TBI (bez stimulácie) ovplyvnila aj hipokampus, čo by mohlo čiastočne vysvetliť pretrvávajúce deficity v kognícii (Moschonas et al., 2023). Ďalej Moschonas et al. (2023) spomína, že niekoľko experimentálnych štúdií ukázalo, že súbežne so zlepšenou kogníciou

hudobná stimulácia zvyšuje expresiu BDNF (neurotrofického faktora v hipokampe, čo je látka nevyhnutná pre tvorbu nových synaptických spojení) v behaviorálne relevantných oblastiach mozgu, ako je motorická kôra a hipokampus. Zvýšená expresia BDNF zistená v skupine s traumatickým poranením mozgu (so sluchovou stimuláciou) teda mohla slúžiť ako neuroprotektant, čo viedlo k zníženiu objemu kortikálnych lézií (Moschonas et al., 2023).

Údaje z klinických a predklinických štúdií naznačujú, že sluchová stimulácia má psychoneuroimunologické účinky. Výskumy na myších modeloch srdca ukázali, že sluchová stimulácia zlepšuje motorické, kognitívne a afektívne zotavenie prostredníctvom modulácie imunologických mechanizmov a chráni pred histologickým poškodením a to tak, že sa znížia hladiny cytokínov a histamínov, čo vedie k zvýšenej produkcii protizápalových cytokínov a regulačných T-buniek (Moschonas et al., 2023).

Tieto zistenia naznačujú, že sluchová stimulácia môže pôsobiť ako prirodzený, nefarmakologický nástroj podporujúci neuroplasticitu – schopnosť mozgu meniť sa a uzdravovať – a to viacerými cestami naraz: ovplyvňuje spracovanie emócií, redukuje zápal, podporuje rast nervových buniek a zároveň zlepšuje celkové správanie (Moschonas et al., 2023).



**Obrázok 2:** Výsledkom výskumu Moschonas et al. (2023) sa zistilo, že skupina s TBI, ktorá podstúpila sluchovú stimuláciu, mala zmenšený objem lézie v porovnaní so skupinou s TBI (bez stimulácie), ktorá mala priemerný objem lézie

**Zdroj:** Moschonas et al., 2023

#### **10.4. Binaurálne rytmy a ich vplyv na funkciu mozgu**

Vplyv hudby na funkciu mozgu a adaptabilitu sa primárne odráža v dvoch aspektoch: neurálna aktivácia a neuroplasticita. Neurálna aktivácia sa vzťahuje na zvýšenie neurálnej aktivity a prepojenia v rámci existujúcich neurónových sietí. Neuroplasticita sa vzťahuje na schopnosť mozgu meniť svoju štruktúru a funkciu v reakcii na zmeny prostredia alebo zážitkov jedincov (Le, Deng, & Le, 2025).

Rastúci počet dôkazov naznačuje, že sluchová stimulácia aktivuje komplexnú a rozsiahlu bilaterálnu sieť kortikálnych a subkortikálnych oblastí, ktoré riadia sluchové, kognitívne, senzorio-motorické a emocionálne funkcie u zdravých jedincov (Le, Deng, & Le, 2025).

Le, Deng, & Le (2025) uvádzajú, že potkany vystavené sluchovej stimulácii, majú zvýšené hladiny neurotrofického faktora odvodeného z mozgu (BDNF). BDNF hrá dôležitú úlohu pri podpore neurogenézy a neuroplasticity prostredníctvom hudby. Štúdie ukázali, že hladiny BDNF stúpajú po hudobnej stimulácii, čo môže podporovať tvorbu nových neurónov a posilňovať synaptické spojenia. U potkanov sa preukázalo, že vystavenie sluchovej stimulácii zvyšuje expresiu BDNF v hipokampe, kľúčovej oblasti pre učenie a pamäť, čo vedie k zlepšeniu výkonu pri úlohách učenia a pamäte (Le, Deng, & Le, 2025).

#### **10.5. Binaurálne rytmy a stav po CMP**

Prostredníctvom sluchovej stimulácie, môžeme účinne nacvičovať pohyb, čo sa prejavuje zlepšenou chôdzou a rovnováhou u pacientov s poruchami pohybu a v predklinických modeloch cievnej mozgovej príhody (Moschonas et al., 2023).

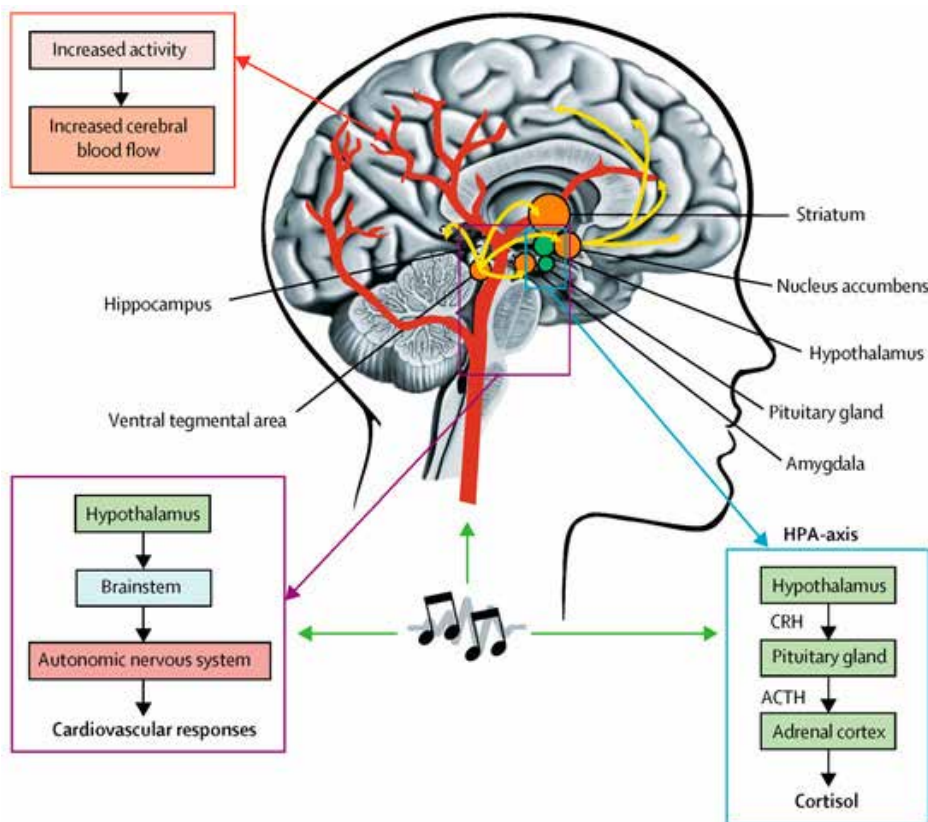
Štúdie funkčného neurozobrazovania u zdravých účastníkov ukázali, že sluchová stimulácia indukuje rozsiahlu aktiváciu v rôznych mozgových sieťach, čím zvyšuje prietok krvi do mediálnych artérií mozgu. U potkanov sa ukázalo, že sluchová stimulácia aktivuje oblasti ako nucleus accumbens, hipokampus a hypotalamus, čo vedie k zvýšenému prietoku krvi mozgom a potenciálne je prospešné pre zotavenie sa z neurologických ochorení (Le, Deng, & Le, 2025).

Jednou z kľúčových výhod sluchovej stimulácie v rehabilitácii po mozgovej príhode je jej schopnosť zvýšiť motorické zotavenie. Základným princípom je, že rytmické podnety môžu zlepšiť motorickú kontrolu tým, že stimulujú motorický systém prostredníctvom sluchových dráh. Keď pacient počúva zvukové signály, tieto zvukové signály spracováva zvuková kôra mozgu. Rytmické vzory sa potom prenášajú do motorickej kôry, ktorá je zodpovedná za plánovanie a vykonávanie pohybov. Tento proces je známy ako zvukovo-motorické prepojenie. Sluchovo-motorické prepojenie pomáha prispôsobiť motorické reakcie vonkajším rytmickým podnetom, čo vedie k zlepšeniu načasovania a koordinácie pohybov. U pacientov po mozgovej príhode, ktorých motorické funkcie sú narušené v dôsledku poškodenia neurónov, môže táto synchronizácia výrazne zlepšiť motorický výkon (Arsovski, 2024).

Arsovski (2024) vo svojej práci spomína jednu randomizovanú kontrolovanú štúdiu, ktorá skúmala účinky tréningu chôdze s bilaterálnou auditívnou stimuláciou na rehabilitáciu dolných končatín u pacientov po cievnej mozgovej príhode. Do tejto štúdie bolo zapojených 44 účastníkov, ktorí boli menej ako šesť mesiacov po cievnej mozgovej príhode. Účastníci boli rozdelení do dvoch skupín: skupina, ktorá absolvovala tréning chôdze s bilaterálnou auditívnou stimuláciou, a kontrolná skupina, ktorá absolvovala tréning chôdze bez bilaterálnej auditívnej stimulácie. Výsledky preukázali významné

zlepšenie symetrie chôdze u skupiny s bilaterálnou auditívnou stimuláciou. Toto zlepšenie nebolo pozorované v kontrolnej skupine (Arsovski, 2024).

Kazuistická štúdia, ktorú vo svojej práci uvádza Da Silva a kol. (2015), skúmala využitie kombinovanej stimulácie a mentálnej predstavivosti pri rehabilitácii motorických funkcií po cievnej mozgovej príhode. U štyroch pacientov sa po sérii dvanástich terapeutických sedení preukázalo zlepšenie motorického výkonu, čo naznačuje, že takáto forma stimulácie môže podporiť neuroplasticitu a funkčné zotavenie (Da Silva a kol., 2015).



**Obrázok 3:** Os HPA. Stresová odpoveď mozgu. Grafické znázornenie prepojenia medzi hypotalamom, hypofýzou a nadobličkami, ktoré spolu regulujú stresovú odpoveď a sekréciu kortizolu.

**Zdroj:** Le, Deng, & Le, 2025

## 10.6. Binaurálne rytmy a poruchy spánku

Spánok je kľúčový pre zdravie a pohodu človeka. Prerušenie spánku znižuje kvalitu života a spánku a zvyšuje riziko sekundárnych ochorení.

Podľa Askarpour et al. (2024) môžu binaurálne rytmy zlepšiť kvalitu spánku. Aby sme sa ráno cítili svieži, musí byť spánok v tretej fáze hlboký (Askarpour et al., 2024). V jednej štúdii boli binaurálne rytmy s delta frekvenciou použité na vyvolanie delta aktivity v mozgu. Binaurálne rytmy tým predĺžili tretiu fázu spánku (Askarpour et al., 2024).

Potenciálne výhody binaurálnych rytmov pri podpore zlepšenia spánku preukázali aj iné menšie výskumné štúdie. V jednej štúdii futbalisti, ktorí počúvali binaurálne rytmy, hlásili lepšiu kvalitu spánku, zníženú ospalosť a ľahšie prebúdzanie (Askarpour et al., 2024).

Zlepšenie cirkadiánnej stability bolo spojené so zlepšením funkčnej konektivity v mozgu a s lepšími kognitívnymi výsledkami (Chan et al., 2021).<sup>-</sup>

## 10.7. Binaurálne rytmy a psychické zdravie

WHO zaradila v roku 2008 závažnú depresívnu poruchu (MDD) na tretie miesto medzi najčastejšími príčinami chorobnosti na celom svete.

V randomizovanej kontrolovanej štúdii s pacientmi s miernou až stredne ťažkou akútnou fázou depresie sa zistilo, že počúvanie binaurálnych rytmov s alfa frekvenciou po dobu niekoľkých týždňov významne znížilo skóre depresie. Binaurálne rytmy môžu spôsobiť zmeny v elektrickej aktivite mozgovej kôry. Zvýšením alfa výkonu v

okcipitálnej oblasti a zvýšením gama v prefrontálnej oblasti môžu mať terapeutické účinky na kortikálnu aktivitu a zlepšenie depresie (Askarpour et al., 2024).

Zvieracie modely, najmä modely depresívnych potkanov, sa stali dôležitými nástrojmi na štúdium patologických mechanizmov depresie a vývoj nových terapeutických prístupov (Le, Deng, & Le, 2025).

Modely, ako napríklad model chronického nepredvídateľného stresu (CUMS) a model chronického sociálneho porážkového stresu (CSDS), sa bežne používajú na vyvolanie depresívneho správania u potkanov. Tieto modely majú behaviorálne charakteristiky podobné tým, ktoré sa pozorujú pri ľudskej depresii, ako je znížený záujem, znížená aktivita a úbytok hmotnosti. Pomocou týchto modelov výskumníci skúmali potenciálne účinky sluchovej stimulácie na depresiu so zameraním na jej vplyv na neurotransmitery, nervové obvody a imunitný systém (Le, Deng, & Le, 2025).

Ukázalo sa, že sluchová stimulácia významne zmierňuje behaviorálne abnormality u depresívnych potkanov, obnovuje sociálnu interakciu a exploračné správanie, podporuje neuroplasticitu, čiastočne reguluje hladinu neurotransmiterov (dopamínu a serotonínu) v mozgu a zlepšuje mozgové funkcie (Le, Deng, & Le, 2025).

Ďalej Le, Deng, & Le (2025) vo svojej štúdií ukázali, že sluchová stimulácia môže významne znížiť hladiny kortizolu u depresívnych potkanov, čo naznačuje, že hudba môže znižovať stresovú reakciu moduláciou aktivity osi HPA (Le, Deng, & Le, 2025). Okrem kortizolu a neurotransmiterov sa ukázalo, že sluchová stimulácia ovplyvňuje aj ďalšie biochemické markery spojené s depresiou u hlodavcov. Napríklad môže ovplyvniť hladiny zápalových

faktorov u hlodavcov, ktoré sú pri depresii často zvýšené a korelujú so závažnosťou stavu (Le, Deng, & Le, 2025).

Sluchová stimulácia môže tiež ovplyvniť hladiny neurotransmitterov, ako je dopamín a serotonín, ktoré úzko súvisia s reguláciou nálady, odmenou a kognitívnymi funkciami. Prostredníctvom týchto neurotransmitterov sa môže zvýšiť excitačná a inhibičná rovnováha mozgu, čím sa ovplyvní správanie a emocionálny stav (Le, Deng, & Le, 2025).

Zistilo sa tiež, že hudobná terapia je účinná pri regulácii srdcovej frekvencie a krvného tlaku u depresívnych pacientov. Tieto účinky možno dosiahnuť psychologickými aj fyziologickými cestami vrátane modulácie autonómneho nervového systému, redukcie negatívnych emócií a zlepšenia kvality spánku (Le, Deng, & Le, 2025).

## 11. ZÁVER

Psychoakustika predstavuje most medzi vedou o mozgu, emóciami a zvukmi. Výskumy dokazujú, že zvuk a sluchová stimulácia môžu mať významný vplyv na činnosť centrálného nervového systému, ovplyvniť emocionálne reakcie, zlepšiť kognitívne funkcie a urýchliť zotavenie po neurologických poruchách. Binaurálne rytmy ako forma cielenej zvukovej terapie majú potenciál ovplyvňovať mozgové vlny, neurochemické procesy a podporovať neuroplasticitu. Tieto poznatky otvárajú nové možnosti pre personalizovanú terapiu, kde sa zvuk stáva nielen komunikačným, ale aj liečebným nástrojom, ktorý podporuje zdravie.

## 12. LITERÁRNE ZDROJE:

1. Arsovski, D. (2024). The benefits of music therapy in stroke rehabilitation: A systematic literature review. *Multidisciplinarni pristupi u edukaciji i rehabilitaciji*, 6(7), 113–123. <https://doi.org/10.59519/mper6112>
2. Askarpour, H., Mirzaee, F., Habibi, F., & Pourfridoni, M. (2024). Binaural beats' effect on brain activity and psychiatric disorders: A literature review. *The Open Public Health Journal*, 17, Article e18749445332258. <https://openpublichealthjournal.com/VOLUME/17/ELOCATOR/e18749445332258/FULLTEXT/>
3. Berretz, G., Packheiser, J., Kumsta, R., Wolf, O. T., & Ocklenburg, S. (2021). *The brain under stress—a systematic review and activation likelihood estimation meta-analysis of changes in BOLD signal associated with acute stress exposure*. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 124, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.01.001>
4. Calomeni, M. R., Rocha, J., Silva, A. P., et al. (2013). Brain stimulation used as biofeedback training for recovery of motor functions deteriorated by stroke. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 71(3), 159–164. <https://doi.org/10.1590/s0004-282x2013000300006>
5. Cleveland Clinic. (n.d.). *Brain: Parts, Function, How it works & conditions*. Cleveland Clinic. Retrieved September 1, 2025, from <https://my.clevelandclinic.org/health/body/22638-brain>
6. da Silva, V. F., Ribeiro, A. P., Dos Santos, V. Â., Nardi, A. E., King, A. L. S., & Calomeni, M. R. (2015). Stimulation by light and sound: Therapeutic effects in humans. *Clinical Practice & Epidemiology in Mental Health*, 11, 150–154. <https://doi.org/10.2174/1745017901511010150>

7. de Kloet, E. R., Joëls, M., & Holsboer, F. (2005). Stress and the brain: From adaptation to disease. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(6), 463–475. <https://doi.org/10.1038/nrn1683>
8. Dobeš, Marek, 2005. *Základy neuropsychologie*. Košice: Spoločenskovedný ústav SAV.
9. Drigas, A., & Mitsea, E. (2021). Metacognition, stress–relaxation balance & related hormones. *International Journal of Recent Contributions from Engineering, Science & IT*, 9(1), 4. <https://doi.org/10.3991/ijes.v9i1.19623>
10. Gerlichová, M. (2014). *Muzikoterapie v praxi: Příběhy muzikoterapeutických cest*. Grada Publishing. ISBN: 978-80-247-4800-7
11. Harvard Health Publishing. (2024). *Understanding the stress response*. <https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/understanding-the-stress-response>
12. Chan, D., Suk, H.-J., Jackson, B., Milman, N. P., Stark, D., Klerman, E. B., Kitchener, E., Fernandez Avalos, V. S., Banerjee, A., Beach, S. D., Blanchard, J., Stearns, C., Boes, A., Uitermarkt, B., Gander, P., Howard, M. III, Sternberg, E. J., Nieto-Castanon, A., Anteraper, S., Whitfield-Gabrieli, S., Brown, E. N., Boyden, E. S., Dickerson, B., & Tsai, L.-H. (2021). 40Hz sensory stimulation induces gamma entrainment and affects biomarkers in a randomized controlled trial in mild Alzheimer's disease. *medRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2021.03.01.21252717>
13. Ingendoh, R. M., Posny, E. S., & Heine, A. (2023). Binaural beats to entrain the brain? A systematic review of the effects of binaural beat stimulation on brain oscillatory activity, and the implications for psychological research and intervention.

- PLOS ONE*, 18(5), e0286023.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286023>
14. Johns Hopkins Medicine. (2025). *Brain anatomy and how the brain works*.  
<https://www.hopkinsmedicine.org/health/conditions-and-diseases/anatomy-of-the-brain>
  15. Lazarus, R. S. (1993). *From psychological stress to the emotions: A history of changing outlooks*. In *Annual Review of Psychology* (Vol. 44, pp. 1–21). Annual Reviews.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.ps.44.020193.000245>
  16. Le, J., Deng, W., & Le, T. (2025). Music therapy in depression: Exploring mechanisms and efficacy in rat models. *Brain Sciences*, 15(4), 338.  
<https://doi.org/10.3390/brainsci15040338>
  17. ten Donkelaar, H. J., Insausti, R., van Domburg, P., Küsters, B., Hashizume, Y., & Hori, A. (2020). *The limbic system*. In *Clinical Neuroanatomy* (pp. 745–830). Springer Nature Switzerland AG. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41878-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41878-6_14)
  18. Maldonado, K. A., & Alsayouri, K. (2025). *Physiology, Brain*. In *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. [Updated March 17, 2023].  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551718/>
  19. Merkunová, Alena a Orel, Miroslav, 2008. *Anatomie a fyziologie člověka: Pro humanitní obory*. Praha: Grada Publishing a.s.
  20. Meymandi, A. (2009). *Music, medicine, healing, and the genome project*. *Psychiatry (Edgmont)*, 6(9), 43–45.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2766288/>
  21. Moschonas, E. H., Ranellone, T. S., Vozzella, V. J., Rennerfeldt, P. L., Bondi, C. O., Annas, E. M., Bittner, R. A.,

- Tamura, D. M., Reddy, R. I., Eleti, R. R., Cheng, J. P., Jarvis, J. M., Fink, E. L., & Kline, A. E. (2023). Efficacy of a music-based intervention in a preclinical model of traumatic brain injury: An initial foray into a novel and non-pharmacological rehabilitative therapy. *Experimental Neurology*, 369, 114544. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2023.114544>
22. Mullin, E. (2024). A new headset aims to treat Alzheimer's with light and sound. *WIRED*. <https://www.wired.com/story/cognito-wearable-device-light-sound-treatment-alzheimers-dementia/>
  23. Oisin, A. (2024). *The impact of psychoacoustics on medical diagnosis and technology*. News-Medical. <https://www.news-medical.net/health/The-Impact-of-Psychoacoustics-on-Medical-Diagnosis-and-Technology.aspx>
  24. Pert, C. B. (1997). *Molecules of emotion: The science behind mind-body medicine*. Scribner. ISBN 9780684831879
  25. Pleyades, B. (2017, June 8). *Psycho-acoustic medicine: The science of sound in producing health*. Biblioteca Pleyades. [https://www.bibliotecapleyades.net/ciencia2/ciencia\\_brain88.htm](https://www.bibliotecapleyades.net/ciencia2/ciencia_brain88.htm)
  26. Razatdinova, A. (2025). *Psychoacoustics and music: The effect of sound on brain activity*. *Академические исследования в современной науке*, 4(26), 184–186. <https://inlibrary.uz/index.php/arims/article/view/91696>
  27. Redakcia. (2021). *Psychoakustická medicína: Ako liečiť pomocou zvuku, čo tvorí serotonin*. Badatel.net. <https://www.badatel.net/psychoakusticka-medicina-ako-liecit-pomocou-zvuku-co-tvori-serotonin/>
  28. Reedijk SA, Bolders A, Colzato LS, Hommel B. Eliminating the attentional blink through binaural beats: A case for tailored cognitive enhancement. *Front Psychiatry* 2015; 6: 82.

29. Scatoloni, P. (n.d.). *Psychoacoustics: Sound as medicine*. Transformative Harmonics. <https://paulascatoloni.com/what-is-transformative-harmonics/psychoacoustics>
30. Sharpe R, Mahmud M. Effect of the gamma entrainment frequency in pertinence to mood, memory and cognition. 13th International Conference on Brain Informatics Padua, Italy. 2020; pp. 19 Sep, 2020; 2020; 50-61.
31. Steckl, A. J., & Ray, P. (2018). Stress biomarkers in biological fluids and their point-of-use detection. *ACS Sensors*, 3(10), 2025–2044. <https://doi.org/10.1021/acssensors.8b00726>
32. Thau, L., Reddy, V., & Singh, P. (2022, October 10). *Anatomy, central nervous system*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542179/>
33. Xue, B., Meng, X., Liu, Q., & Luo, X. (2023). *The effect of receptive music therapy on older adults with mild cognitive impairment and depression: A randomized controlled trial*. *Scientific Reports*, 13, 22159. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49162-6>



9 788057 074212