

Univerzita Palackého v Olomouci

Filozofická fakulta

Katedra psychologie

# **Aktivita mozku při poslechu a představě hudby**

Brain activity during listening to and imagining music



**Magisterská diplomová práce**

Autor: Bc. Jana Mišelnická

Vedoucí práce: PhDr. Mgr. Roman Procházka, PhD.

Olomouc

2018

### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala PhDr. Mgr. Romanovi Procházkovi, Ph.D za vstřícnost, vedení a cenné odborné rady poskytnuté při zpracování diplomové práce. Děkuji také Mgr. Tomáši Dominikovi za cenné rady a komentáře, trpělivost a podporu jak při realizaci experimentu, tak při psaní diplomové práce.

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem magisterskou diplomovou práci na téma: „Aktivita mozku při poslechu a představě hudby“ vypracovala samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V ..... dne ..... Podpis .....

# Obsah

---

Úvod .....	3
Teoretická část .....	4
1 Sluch, mozek a hudba .....	4
1.1 Základní pojmy .....	4
1.2 Sluch a sluchová dráha .....	5
1.3 Sluchový nerv a sluchové oblasti v mozku.....	6
1.4 Teorie slyšení.....	7
1.5 Neurofyzologie mozku hudebníka.....	8
2 Elektroencefalografie.....	11
2.1 Princip EEG .....	12
2.2 Frekvenční pásma .....	12
2.3 Mezinárodní systém 10-20 .....	13
3 Hudba a hudebníci na EEG a dalších zobrazovacích metodách.....	14
3.1 Vnímání a představa hudby na EEG.....	15
3.2 Rozdíly v EEG mezi hudebníky a nehudebníky.....	18
3.3 Poslech a představa hudby u hudebníků a nehudebníků .....	20
Empirická část .....	24
4 Výzkumné cíle, otázky a hypotézy .....	24
4.1 Proměnné .....	24
4.2 Výzkumné otázky .....	25
4.3 Výzkumné hypotézy .....	25
5 Výzkumný design .....	27
5.1 Výzkumné paradigma a typ výzkumu .....	27
5.2 Výzkumný soubor.....	27
5.2 Příprava experimentu.....	28
5.3 Měření EEG .....	31
5.5 Průběh experimentu .....	32
5.6 Analýza dat .....	34
6 Výsledky .....	35
6.1 Výsledky dotazníků .....	35
6.2 Výsledky experimentu .....	37
6.3 Odpovědi na výzkumné otázky a testování hypotéz.....	41
7 Diskuze .....	43
Závěr .....	48
Souhrn.....	49
Literatura.....	52
Seznam příloh	
Abstrakt diplomové práce	
Abstract of Thesis	
Příloha 1: Úvodní dopis	
Příloha 2: Checklist měření	

# Úvod

---

Zkoumání aktivity mozku při představě patří v dnešní době k častým námětům různých výzkumů. Při zkoumání aktivity mozku při představě pomocí funkční magnetické rezonance se ukazuje, že při představě skladby dochází k aktivaci sluchových oblastí, stejně jako při poslechu. Pomocí elektroencefalografu se nejčastěji zkoumá aktivita mozku při poslechu a představě v různých frekvenčních pásmech.

Výzkumy zkoumající aktivitu mozku u hudebníků a nehudebníků byly oblíbené zejména v 60. a 70. letech minulého století. Nejčastěji se zkoumal rozdíl mezi mozkovou aktivitou při hraní na hudební nástroje (nejčastěji na kytaru či piano), zpěvu, recitování aj. u hudebníků a nehudebníků. Na přelomu století se změnila metoda výzkumu a elektroencefalografie byla vystřídána funkční magnetickou rezonancí. Měření rozdílů v aktivitě mozku u hudebníků a nehudebníků pomocí elektroencefalografie tak v psychologii hudby mizí z popředí zájmu. Funkční magnetická rezonance pak výzkumníkům umožňovala objevovat aktivní oblasti například při hraní na hudební nástroj. S postupným zdokonalováním přístrojů se začaly zkoumat různé strukturální a funkční změny v určitých oblastech mozku hudebníků.

Cílem této diplomové práce je zmapovat aktivitu mozku pomocí elektroencefalografu při poslechu a představě skladby z klasického žánru. Následně tuto aktivitu porovnáme mezi skupinou hudebníků a nehudebníků, abychom zjistili případný vliv hudebního vzdělání na aktivitu mozku při představě skladby. Záznam z elektroencefalografu budeme filtrovat a zaměříme se pouze na aktivitu v alfa pásmu (8–13 Hz).

Toto téma jsem si zvolila z důvodu dlouhodobého zájmu o hudbu, její vliv na psychiku člověka a vlastní zkušeností s hrou na hudební nástroje.

# Teoretická část

---

## 1 Sluch, mozek a hudba

Někteří autoři vyvozovali důležitost sluchu v lidském životě z toho, že je anatomicko-funkčně spojen se smyslem pro rovnováhu, zřejmě odtud i se smyslem pro čas, prostor a číselné řady. Tím, že je sluch s těmito smysly spojen ho mnozí autoři řadí přímo do centra lidského bytí. Sluch také bývá někdy označován za nejjemnější organizovaný analyzátor. O důležitosti sluchu svědčí také ranost dětských reakcí na zvukové podněty, kdy dítě reaguje na sluchové podněty během prvních dnů po narození. U dítěte dochází zhruba od třetího nebo čtvrtého měsíce k aktivnímu slyšení, kdy se snaží hledat zdroj zvuku a bezděčný poslech je vystřídán poslechem záměrným. Udává se, že zrak člověku poskytuje cca 90 % informace o světě, sluch 5 %, nicméně v případě sluchu se jedná mnohdy o životně důležité informace (například informace o možném nebezpečí či pohybu a změnách v okolí). Sluch je také důležitým předpokladem k osvojení si řeči, která se stala prostředkem mezilidské komunikace. Význam sluchu v životě člověka by se dal také popsat skrze různé důsledky (nejčastěji sociální) při jeho ztrátě (Poledňák, 1984).

### 1.1 Základní pojmy

Lidé používají ke komunikaci zrak a sluch, který navíc patří mezi nejcitlivější smysly (Kuthan, 2003). Zvuk by se dal charakterizovat jako *podélné kmitání částic prostředí, které je charakterizováno zhušťováním a zředováním vzduchových částic* (Mysliveček, Pretl, & Hrabovská, 2009, str. 208). Zvuky se dají dělit na hudební a nehudební, což se označuje jako periodické dělení. Nehudební zvuky, například šelest, vrzání, rány apod., se kterými se můžeme setkávat i v hudebním díle, vznikají jako složité, nepravidelné kmitání různých těles. Hudební zvuky, tzv. tóny, se rozlišují na jednoduché (sinusový tón) a komplexní. Tyto zvuky vznikají pravidelným chvěním struny, hlasivek či vzduchového sloupce. Komplexní zvuky vznikají propojením frekvence základního tónu s celým spektrem frekvencí alikvotních tónů. Alikvótními tóny rozumíme celistvé násobky kmitočtu základního tónu. V rámci hudebního vjemu vnímáme nejen výšku základního tónu, ale i celé spektrum alikvotních tónů, které tvoří dohromady jeden tónový komplex s určitou barvou tónu. Tóny s nižším počtem slyšitelných alikvotních tónů zní měkce až dutě, s vysokým počtem alikvót je výsledný tón plný a ostrý. Liché alikvótní tóny, které se nachází u žesťových nástrojů, jim dodávají lesk a ostrost, sudé (převládají u dechových nástrojů) pak měkkost a zastřenost.

Existenci alikvótních tónů lze ověřit pomocí rezonátorů nebo varhanních mixtur. K těmž však lze použít také Fourierovu poučku o tom, že každý periodický tón lze rozložit na řadu harmonických tónů (Sedlák & Váňová, 2013).

Základní schopností potřebnou k poslechu hudby je hudební sluch, který umožňuje člověku vnímat a zpracovávat akustické veličiny a jejich vzájemné vztahy. Vztahy mohou být výškové, dynamické, časové a barevné (témbrové). Akustickým veličinám se přiřazují odrazy veličin v mozkové kůře. Intenzitě odpovídá pojem hlasitost, frekvenci výška tónu, trvání délka tónu a skladbě alikvotních tónů barva tónů. Jako jádrovou komponentu hudebního sluchu můžeme označit sluchově percepční schopnosti, které umožňují vnímat hudbu, identifikovat známé skladby a hodnotit pěvecké či instrumentální provedení (Sedlák & Váňová, 2013).

Lidské ucho vnímá frekvence 16 Hz – 20 000 Hz, což je počet zhuštění a zředění vzduchu za jednotku času (Mysliveček et al., 2009). Výška tónu se dá přesně fixovat pomocí notového zápisu a reprodukovat. Horní hranice 20 000 Hz je téměř neslyšitelný ultrazvuk, který slyší některá zvířata. Dolní hranice 16 Hz, infrazvuk, lidské ucho vnímá jako mechanické chvění, dunění či oddělené rázy. V hudební praxi se používá oktávový princip hudebních stupnic, kde nejmenší vzdálenosti mezi tóny jsou půltónové a intervalové vztahy se v dalších oktávách opakují. Vnímání výšky tónů má subjektivní charakter, proto se používá jednotka mel. U vyšších tónů se vzdálenosti mezi tóny zdají větší než u nižších tónů. Svou roli v celkovém vjemu hraje i hlasitost. Hudební nástroje se pohybují v rozsahu od 16 do 8 000 Hz. Absolutní výška tónu je dána jeho frekvencí (Sedlák & Váňová, 2013).

Pro rozlišení hlasitosti se využívá amplituda. Jedná se o rozdíl tlaku mezi největším a nejnižším bodem vlny, narůstá podle logaritmické stupnice a udává se v decibelech (Nolen-Hoeksema, Fredrickson, Loftus, & Wagenaar, 2012).

## **1.2 Sluch a sluchová dráha**

Sluchový systém lze dělit na zevní ucho, které je tvořeno boltcem, zvukovodem a bubínkem, a střední ucho, které tvoří sluchové kůstky, oválné a kruhové okénko. Následuje vnitřní ucho, kde patří kostěný a blanitý hlemýžď. Dále následuje sluchová dráha (jedná se o multisynaptickou dráhu, v jejíchž strukturách dochází k modulaci, integraci a zpracování informací) a zakončení je v centrální části sluchového analyzátoru, který zahrnuje sluchový nerv a příslušné oblasti v mozku (Mysliveček et al., 2009).

Ušní boltec a jeho záhyby slouží k modifikaci zvuku, které probíhají na základě vzdálenosti zdroje zvuku. Zvuková vlna se dále šíří zvukovodem, což je trubice o délce asi 2,5 cm, do bubínku, který se nachází na konci zvukovodu (Franěk, 2005).

Zvukové vlny rozechvívají bubínek, poté dochází k přenosu na sluchové kůstky (kladívko, kovádlínku a třmínek) a nakonec se přesunují na oválné okénko (Myslivoček et al., 2009).

Kromě tzv. kůstkového převodu (vedení zvuku středoušní dutinou, viz výše) se může zvuk přenášet do vnitřního ucha také tzv. kostním vedením. Hlavní princip spočívá v rozkmitání kosti lebky, která chvění přenáší přímo na blanitý hlemýžď (Myslivoček et al., 2009).

Oválné okénko slouží jako vstup do hlemýždě, kde dochází k transformaci mechanického kmitání do podoby nervového výboje. Hlemýžď je vyplněný kapalinou, která obsahuje vláskové buňky, jejichž pohyby vytvářejí nervové výboje. Bližší část hlemýždě ke střednímu uchu se nazývá báze, konec hlemýždě pak apex. Hlemýžď rozdělují dvě membrány. Na spodní membráně, tzv. basilární, se nacházejí vláskové buňky. Samotný převod mechanického kmitání na nervový výboj probíhá v Cortiho orgánu, který leží na basilární membráně. Cortiho orgán je receptorový orgán sluchu. Vláskové buňky se dělí na vnitřní a vnější, ukončené jsou malými štětinkami zvanými cilie. Vnitřních vláskových buněk je početně méně, nicméně se na ně napojuje 90 až 95 % sluchového nervu. Nad vláskovými buňkami se nachází krycí membrána, která se pohybuje nezávisle na basilární membráně. Tento pohyb vede k ohybu cilií a to následně k elektrické změně na vláskových buňkách, díky čemuž se uvolňují transmitery. Tyto transmitery jsou registrovány zakončeními nervových buněk, jejichž axony tvoří sluchový nerv, který nese signál do centrální nervové soustavy (Franěk, 2005). Je zajímavé, že ve sluchovém analyzátoru dochází ke zkreslení a transformaci, což bylo zjištěno s pomocí elektroakustických metod (Sedlák & Váňová, 2013).

### **1.3 Sluchový nerv a sluchové oblasti v mozku**

Vlákna sluchového nervu odcházející z kochleárního ganglia reagují odlišně na různé tóny (dle výšky) podle toho, ze kterého místa v závitě hlemýždě vycházejí. U komplikovaných zvuků je důležité, jak rychlý mají začátek, jaká je jejich délka trvání, případné opakování, směr amplitudy nebo frekvence. Podle těchto ukazatelů můžeme posuzovat pohyb a rychlost zdroje vzhledem k člověku. Signální význam komplikovaných zvuků je většinou vyšší než u zvuku čistého (Kuthan, 2003).

Vlákna se následně rozdělují do ventrálního a dorzálního kochleárního jádra. Dráha ventrálního kochleárního jádra vede do horního olivárního komplexu a slouží především k analýze zvuku v této oblasti. Také je zde poprvé možná binaurální interakce sloužící k prostorové lokalizaci zvuku (Kuthan, 2003). Členění této části je tonotopické, což je základní uspořádání znázorňující zvukovou frekvenci, na kterou jsou neurony nejvíce citlivé. Toto uspořádání vzniká z kódování frekvence podél sluchového čidla hlemýždě vnitřního ucha, Cortiho orgánu a topografických organizací sluchových cest (Kandler, Clause, & Noh, 2009). Hlavní princip tonopie spočívá v tom, že čím je tón vyšší, tím blíže k bázi hlemýždě (tj. k třmínku) dochází k vyrovnávání tlaku přes basilární membránu. Na této membráně vznikají tzv. postupující vlny, které se šíří od oválného okénka k helikotrematu, kde na charakteristickém místě v závislosti na frekvenci dosahují maxima (Trojan et al., 2003). Dolní kolikulum slouží jako sluchové reflexní centrum, jelikož při natrénovaných úkolech, které jsou signalizované zvukovým podnětem se vzruchová aktivita zvýší. Corpus geniculatum mediale slouží jako centrum pro specifické reakce na komplikované podněty, například hlasové (Kuthan, 2003).

Schopnost lidí slyšet je dána oblastí mozku zvanou primární sluchová kůra, jejímž úkolem je zpracovávat zvuky. Tato oblast se nachází v temporálním laloku a odpovídá za základní charakteristiky slyšení – výšku tónu a hlasitost. Toto centrum se nachází v oblasti 41 a 42 dle Brodmannovy cytoarchitektonické mapy. Primární sluchový kortex informace z uší a nižších oblastí mozku nejen přijímá, ale také je tam posílá (Trans Cranial Technologies Ltd., 2012). Primární sluchová kůra kryje zadní a vnitřní plochu Heschlových závitů. Na zevních ploše Heschlových závitů se nachází sekundární sluchová kůra, která navazuje na primární (Koukolík, 2012).

V Brodmannově mapě kortikálních oblastí dále najdeme střední a superiorní temporální gyrus označené jako oblast 21 a 22 (Trans Cranial Technologies Ltd., 2012). Oblast 22 pokrývá planum temporale a zevní plochu spánkového závitu (Koukolík, 2012). Tyto oblasti se společně podílejí na zpracování komplexních zvuků. Superiorní temporální gyrus se nachází nad vnějším uchem a zapojuje se do vnímání emocí při obličejových stimulech. Při zvuku se aktivují oblasti z obou hemisfér, nicméně pravá superiorní temporální oblast má základní roli při zpracování neverbálních zvuků (Trans Cranial Technologies Ltd., 2012).

## **1.4 Teorie slyšení**

Uši člověka jsou citlivější na střední frekvence, což znamená, že na tóny v této frekvenci lidé reagují více než na příliš nízké nebo příliš vysoké frekvence. Co se týče posuzování



výšky, tak platí, že čím vyšší frekvence, tím větší posuzovaná výška tónů (Nolen-Hoeksema et al., 2012).

První teorii o převodu frekvence tónů na vnímání výšky popsal v roce 1886 Rutherford (in Nolen-Hoeksema et al., 2012). Domníval se, že aktivní je celá basilární membrána, a že frekvence je dána počtem kmitů za sekundu. Brzy na to bylo objeveno, že nervová vlákna mohou vyslat pouze tisíc vzruchů za sekundu, což by znemožňovalo vnímat zvuky vyšší než 1 000 Hz. Tzv. frekvenční teorie byly různě modifikovány, nicméně nevysvětlují, jak je možné, že lidé vnímají tóny o frekvenci vyšší než 4 000 Hz. Druhá skupina teorií se zabývala spíše mechanickým procesem rezonance. S tímto předpokladem přišel v roce 1683 anatom Joseph Guichard Duverney (in Nolen-Hoeksema et al., 2012). Podle jeho teorie je lidské ucho rozděleno na části, které jsou naladěny na určité frekvence. Pokud zazní určitá frekvence, následně se rozezná příslušná část struktury, kterou je basilární membrána.

Hermann von Helmholtz v 19. století rozpracoval teorii do tzv. místní teorie vnímání výšky tónů (Nolen-Hoeksema et al., 2012). Podle této teorie existují na basilární membráně specifická místa, která vedou k vnímání tónů určité výšky. Výsledná výška tónů je pak dána nervovými vlákny, kterým odpovídají nejvíce vibrující místa na membráně. Jak funguje membrána bylo objeveno až ve čtyřicátých letech, kdy von Békésy prováděl pokusy na morčatech a mrtvých lidech. Když měřil pohyby membrány zjistil, že se při většině frekvencí pohybuje celá. Vysoké frekvence vyvolávají největší vibrace na konci basilární membrány. Pokud pak dochází k zvyšování frekvencí, vibrace se přesouvají na oválné okénko (Nolen-Hoeksema et al., 2012).

Ani místní teorie nestačí k interpretaci sluchu. Podle této teorie by člověk nemohl slyšet nic pod frekvenci 50 Hz, jelikož všechny receptory jsou aktivovány přibližně stejně. Tyto výsledky vedly k domněnce, že frekvenční teorie vysvětlují vnímání nízkých tónů a místní vysokých. Mechanismus toho, kdy jedna teorie končí a začíná platit druhá, nicméně není doposud znám (Nolen-Hoeksema et al., 2012).

## **1.5 Neurofyzologie mozku hudebníka**

Tato diplomová práce se zabývá také otázkou rozdílů mezi hudebníky a nehudebníky při vnímání a zpracování hudby, proto se v této kapitole zaměříme na popis rozdílů v mozku u hudebníků.

Rozdíly v mozku hudebníků a nehudebníků hledaly různé psychologické směry už od 19. století, jedním z nich byla například i frenologie. Někteří vědci se v té době domnívali, že mozek hudebníka by měl být větší ve spánkové oblasti. Tento předpoklad vysvětlovali

tím, že hudební nadání má svůj strukturální protějšek ve zvětšení příslušné oblasti ve spánkovém laloku. Zkoumání lebky Haydna, Helmholtze, Mahlera, Bacha či Beethovena tyto předpoklady údajně potvrzovaly (Franěk, 2005).

Pokud dítě začne trénovat motorickou a sluchovou oblast v kritickém období jeho vývoje, může docházet k funkčním a strukturálním změnám v jeho mozku. Mozek je vysoce plastický, schopný nejen funkčních změn v mozkových sítích, ale i strukturálních komponent. Na druhou stranu je ovšem otázka, jestli v mozku není už dán nějaký předpoklad pro hudební dovednosti. Jako kritický věk se udává věk 7 let (Schlaug, 2003). Pomocí magnetoencefalografu byla měřena míra nárůstu somatosenzorických kortikálních reprezentací u levé ruky (konkrétně u palce a malíčku) při hře na hudební nástroj. Kortikální odpověď na stimulaci byla na malíčku vyšší u těch hudebníků, kteří začali na svůj nástroj hrát dříve. U těch, kteří začali hrát na housle nebo violoncello po třináctém roku, byla odpověď menší, stále ale vyšší v porovnání s nehudebníky (Pantev, Engelien, Candia, & Elbert, 2003).

Podle teorie o určité vrozenosti by mozek hudebníka musel být rozvinut už brzy po narození, jelikož vývoj spánkových laloků probíhá krátce po narození. Čili by to bylo nezávislé na vzdělání hudebníka. S rozvojem neurofyziologických metod rostl zájem o výzkum rozdílů mozku mezi hudebníky a nehudebníky. V současné době se zmiňuje především rozdíl v corpus callosum a mozečku (Franěk, 2005).

Rozdíl v corpus callosum se srovnával pomocí magnetické rezonance, kdy výzkumný soubor tvořilo 30 profesionálních hudebníků a 30 lidí bez hudebního vzdělání. Corpus callosum hudebníků se lišilo v přední polovině, která byla výrazně větší, zejména pokud hudebníci začali s hraním před 7. rokem života. Autoři jako možné vysvětlení nabízí skutečnost, že hudebníci provádějí (mnohdy) odlišné pohyby prstů na rukou. K jejich provedení je nutná dobrá komunikace mezi hemisférami. Autoři se také zabývali otázkou rychlejšího a zvýšeného mezihemisférového transferu potřebného k výkonu postupných obouručných sérii motorických úkolů (Schlaug, Jäncke, Huang, Staiger, & Steinmetz, 1995).

Z výzkumů prováděných na krysách (Schlaug, 2003) vyplývá, že dlouhodobá motorická aktivita a rozvoj motorických dovedností vede k mikrostrukturálním změnám, jako například zvýšení počtu synapsí, vyššímu počtu a objemu gliových buněk, vyšší hustotě kapilár. Schlaug dodává, že u lidí se podobné mikrostrukturální změny zjistily pouze u řidičů londýnských taxi, u kterých je velké zatížení vizuo-prostorové oblasti. Z databáze anatomických MR (magnetická rezonance) obrázků vybral Schlaug 56 profesionálních hudebníků a k tomu odpovídající kontrolní skupinu (vyvážil pohlaví, věk, laterální).

K odstranění individuálních rozdílů v objemu mozečku použil normalizaci, kterou vypočítal jako procento z totálního objemu mozku. Jeho výsledky ukazují signifikantní rozdíly v pohlaví. Muži hudebníci měli oproti svým nehudebním kolegům signifikantně větší průměrný relativní objem mozečku. Výsledky u mužů mohou napovídat o mikrostrukturálních změnách díky dlouhodobé a komplexní sekvenci pohybů prstů na obou rukou hudebníků. U žen se žádný rozdíl neprojevil, nicméně u žen hudebnic se objevoval větší absolutní objem mozku. Možné vysvětlení neobjevení trendu může být dle autora díky rozdílné době dozrání mozečku žen a mužů, kdy ženský dozrává dříve.

Schlaug (2003) se ve své práci zabýval také funkčními změnami v mozku hudebníků a nehudebníků. Konkrétně hypotézou o rozdílné hemisférové dominanci. Zjistil, že hudebníci se opravdu liší, pouze však ti s tzv. absolutním sluchem. Hudebníci s absolutním sluchem měli větší levostrannou asymetrii v planum temporale.

Zhruba od 60. let minulého století byla velmi diskutovaným tématem cerebrální dominance. Podle tohoto předpokladu by měl být rozdíl ve zpracování v mozkových hemisférách. Řada výzkumníků přinesla důkazy o dominanci pravé hemisféry při zpracování hudby. Výzkumy zkoumaly většinou dichotomické slyšení, kdy se do každého ucha pouští jiná melodie. K podobným výsledkům, dominanci levého ucha (pravé hemisféry), došli výzkumníci zkoumající pacienty s částečným poškozením mozku (Franěk, 2005).

K opačnému zjištění vedla práce Bevera a Chiarella z roku 1974. Zkoumali dvě skupiny osob rozdělených na hudebníky (22 hudebníků, kteří měli minimálně 4 roky hudebního vzdělání a aktuálně hráli na hudební nástroj nebo zpívali) a nehudebníky (14 osob, kteří měli maximálně 3 roky hudebního vzdělání, které proběhlo minimálně 5 let před studií). Výsledky jejich experimentu byly takové, že hudebníci lépe zpracovávali jednoduché melodie, pokud byly pouštěny do pravého ucha (levá hemisféra). Jako možné vysvětlení nabízí teorii o dominanci levé hemisféry při zpracování analytických funkcí. Hudebníci při poslechu analyzují jednotlivé části melodie. Nehudebníci, u kterých je dominantní pravá hemisféra (levé ucho) vnímají melodii holisticky (Bever & Chiarello, 1974).

O čtyři roky později se výzkumný tým pod vedením Hirshkowitz z Massachusetts rozhodl otestovat hypotézu o specializaci hemisfér za použití EEG měření. Dvaceti mužům (10 hudebníků a 10 nehudebníků) a dvaceti ženám (10 hudebnic a 10 nehudebnic) pouštěli dvouminutové segmenty rádiových zpráv (verbální stimul), ticha (baseline), elektronické kytary (beztónový bezmelodický zvuk vytvořený přes hudební magnetické přístroje) a známé písně (zpívaná skladba se slovy). Ve výsledcích se ukázal rozdíl pouze v případě

hudebního stimulu a rozdělení do skupiny hudebník/nehudebník. Výsledky ukazují, že pokud nehudebníci poslouchají hudbu, mají vyšší aktivaci pravé hemisféry. Jejich výsledky jsou v souladu s teorií, že hemisférová asymetrie souvisí se zpracováním informací, nikoli pouze s akustickými a fonetickými vlastnostmi stimulů. Hudebníci mají rozvinutou kognitivní symboliku, ve které může docházet ke zpracování hudebního akustického stimulu podobným způsobem jako například při jazykovém kódování (Hirshkowitz, Earle, & Paley, 1978).

V současné době se pod vlivem modernějších zobrazovacích metod opouští od cerebrální dominance při zpracování hudby. Ukazuje se, že jednotlivé hemisféry zpracovávají různé části hudby. Levá hemisféra je dominantnější při zpracování například rytmické stránky, pravá pak ve vnímání melodické linky (Franěk, 2005). Tyto výsledky podpořil výzkum používající pozitronovou emisní tomografii. Při hraní na piano dochází k aktivaci sekundárních asociačních oblastí, které v Broadmannově mapě najdeme pod čísly 20, 21 a 22. Při hraní stupnice se aktivuje střední bilaterální oblast se silnější aktivitou v levé části než v pravé. Hraní Bachovy skladby (z paměti) aktivuje superiorní, střední a inferiorní temporální oblast bilaterálně se silnější odezvou v pravé části oproti levé (Parsons, 2003).

Podobně nejednoznačné je to také s hledáním „hudebního centra“ v mozku. Většina mozkových struktur, které se podílejí na zpracování hudby slouží i k jiným kognitivním činnostem. Lze tedy říci, že jednotlivé části hudby se zpracovávají v různých, mnohdy překrývajících se neuronových sítích obou hemisfér (Franěk, 2005).

## **2 Elektroencefalografie**

Elektroencefalografie (zkráceně EEG) patří spolu s funkční magnetickou rezonancí a pozitronovou emisní tomografií k funkčním zobrazovacím metodám. Měření se provádí z elektrod umístěných na skalpu, peroperačně na povrchu mozku (elektrokortikogram) nebo elektrod implantovaných stereotakticky do mozkové tkáně (stereoencefalogram) (Hynek, 2001). Mezi nejznámější indikaci patří diagnostika epileptických syndromů, obecně se EEG nejvíce používá v neurologii a psychiatrii. Záznam neboli elektroencefalogram se měří pomocí elektroencefalografu. V dnešní době převládá zpracování záznamu pomocí přístrojů (Penhaker, Imramovský, Tiefenbach, & Kobza, 2004).

Za zakladatele klinického využití EEG je považován německý psychiatr Hans Berger, který popsal dva základní rytmy, alfa a beta rytmus (Hynek, 2001), ale také popsal patologické obrazy při různých duševních poruchách. V letech 1929 až 1938 publikoval svých patnáct prací, ve kterých se zabýval materiálním doprovodem duševních procesů. Ze

začátku práce s elektroencefalografií nevzbuzovaly zájem, nicméně po II. světové válce díky zlepšování technických podmínek se tato metoda rychle rozvíjela (Šimek & Stein, 1969).

## 2.1 Princip EEG

Při EEG dochází ke snímání elektrické aktivity z povrchu lebky. Při klinickém využití tohoto přístroje se většinou jedná o neinvazivní metodu měření (Penhaker et al., 2004). Při měření se zaznamenávají změny potenciálových rozdílů mezi dvěma body na povrchu lebky (tzv. bipolární měření), nebo na jednom bodě vzhledem k tzv. indiferentnímu bodu na těle (např. ušní lalůček, brada, aj.). Tento druh měření se označuje jako unipolární (Syslová & Sysel, 2012). Při záznamu elektroencefalografie rozlišujeme aktivitu spontánní, která se provádí v klidu, bez působení vnějších podnětů, a aktivitu evokovanou. K této aktivitě používáme metodu měření evokovaných potenciálů; jedná se o odpověď organismu na vnější smyslové podněty. Rozlišujeme evokované potenciály zrakové, sluchové a somatosenzorické a kognitivní. K měření evokovaných potenciálů se používá speciálně upravený elektroencefalograf. Jako nejmenší vizuálně hodnotitelná jednotka v EEG záznamu se označuje tzv. grafoelement, u kterého rozlišujeme dva základní typy, vlna a hrot (Penhaker et al., 2004). Základní aktivita mozku je pak tvořena sledem po sobě jdoucích vln, což se označuje jako rytmus. Při měření rozlišujeme základní rytmy alfa, beta, gamma a delta, která se rozlišují podle frekvenčního obsahu (Penhaker et al., 2004). Nejrozšířenější metodou vyhodnocování naměřeného záznamu (spontánní aktivita) EEG je Fourierova analýza, která provádí transformaci zvoleného úseku grafu z časové do frekvenční domény (Rozman et al., 2006).

## 2.2 Frekvenční pásma

Základním rytmem je alfa aktivita, která je nejsilnější v zadní části lebky, roste směrem okcipito-parieto-temporálně. Frekvence je uváděna v pásmu 8–13 Hz s amplitudou 30–80  $\mu\text{V}$ , má sinusový tvar a většinou je rytmická (Faber, 2001). Při otevření očí dochází k blokaci alfa aktivity (RB), neboli reakci zástavy (RZ), nebo také podle objevitele Bergerově reakci, která se projevuje snížením amplitudy vln. K tomuto jevu dochází díky desynchronizaci v thalamokortikálních okruzích (Faber, 2001). Alfa rytmus se objevuje při relaxaci, v klidovém stavu a při zavřených víčkách (Šimek & Stein, 1969).

Pásmo beta se objevuje s frekvencí 13–30 Hz a její amplituda je 2–20  $\mu\text{V}$ . Beta aktivita je dominantní v precentrální a čelní části mozku. Tento druh aktivity nalezneme při mentální a fyzické činnosti (Procházka & Sedláčková, 2015).

Pásmo gamma se vyskytuje s frekvencí 30-50 Hz při amplitudě 2–10  $\mu\text{V}$  a nachází se při bdělém stavu (Procházka & Sedláčková, 2015).

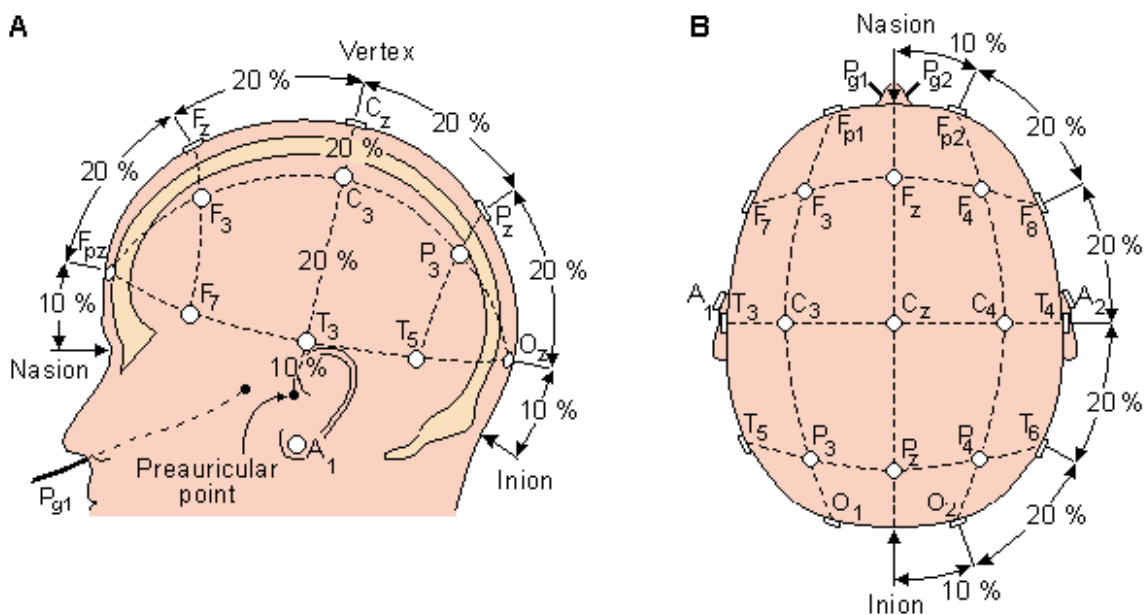
Pásmo delta je mozková aktivita s frekvencí 0,5–4 Hz při amplitudě 20–200  $\mu\text{V}$ . (Procházka & Sedláčková, 2015). Delta aktivita je vždy patologickým jevem u zdravého bdělého člověka. Nepatologická je pouze v hlubších stádiích spánku a u malých dětí (Šimek & Stein, 1969).

Pásmo théta se má frekvenci 5–7 Hz a amplitudu 5–100  $\mu\text{V}$ . Za dominantní část mozku při tomto pásmu se považuje čelní a temenní část (Procházka & Sedláčková, 2015). Pokud se tato vlna objevuje ve spontánním EEG záznamu s nízkou amplitudou a souměrně, nelze ji zejména u mladých lidí považovat za patologickou. Patologickou se stává, pokud její amplituda dosáhne dvojnásobné hodnoty amplitudy alfa aktivity, případně nad 30  $\mu\text{V}$  v záznamech, kde alfa aktivita chybí (tzv. ploché EEG záznamy) (Šimek & Stein, 1969).

### **2.3 Mezinárodní systém 10-20**

V roce 1958 byl mezinárodně schválen systém 10-20, který se používá pro standardizaci umístění elektrod při klinickém snímání EEG. Jeho autorem byl H. Jasper. Jak název napovídá, vzdálenosti mezi elektrodami jsou rozděleny do části po 10 % a 20 %. Počet elektrod na čepici je 21; 19 z nich je na povrchu lebky, zbylé dvě se umísťují na ušní lalůčky a nesou název referenční. Na přední straně hlavy se nachází bod nasion, což je prohlubeň u kořene nosu v rovině očí, zadní bod se označuje jako inion a jedná se o výstupek uprostřed na týlní kosti. Elektrody jsou označovány písmeny a čísla jako dolními indexy. Písmena značí jednotlivé lebeční oblasti, kdy F = frontální, Fp = frontopolární, C = centrální, P = parietální, T = temporální a O = okcipitální. Sudá čísla v indexech ukazují na pravou a lichá na levou hemisféru. Referenční elektrody se označují jako A<sub>1</sub> pro levý ušní lalůček a A<sub>2</sub> pro pravý, někdy se také může použít reference na nose nebo zátylku (Penhaker et al., 2004).

Elektrody pro snímání EEG jsou vyrobeny ze směsi stříbra a chloridu stříbrného (Ag/AgCl). Pro správné rozmístění se používá gumová čepice nebo síťka, která vychází ze systému 10-20. V čepici jsou elektrody umístěny v krátkých trubičkách z umělé hmoty, která se před snímáním napustí vodivým gelem. Všechny přívody jsou z čepice vedeny jedním kabelem (Penhaker et al., 2004).



Obr. 1: Mezinárodní systém 10/20. Převzato z [https://brmlab.cz/project/brain\\_hacking/eeeg](https://brmlab.cz/project/brain_hacking/eeeg)

### 3 Hudba a hudebníci na EEG a dalších zobrazovacích metodách

Psychologie hudby zkoumá proces utváření jednotlivých hudebních schopností a dovedností. K hlavním cílům psychologie hudby patří zkoumání vztahu lidské psychiky k hudbě a hudební kultuře jako celku (Holas, 2013).

První zmínky o hledání vztahu mezi hudbou a lidskou psychikou nalezneme v antice. Hudební psychologie jako samostatná věda pak vznikla v druhé polovině devatenáctého století. Do první etapy, tzv. psychofyziologické, bychom mohli zařadit práce H. Helmholtze, který se jako první pokusil o inventarizaci teorií hudebního sluchu a otázek hudební psychologie (Holas, 2013). Na práci Helmholtze navázala tónová psychologie s C. Stumpfem jako hlavním představitelem, který zkoumal jednotlivé hudební vjemy, jako tón, interval, akord aj. (Holas, 2013). Postupně se oblast zájmu přesunula z fyziologických na otázky psychologické. Ve své práci se představitelé tónové psychologie věnují výzkumu jednotlivých zvukových jevů, jejich psychickou funkcí a formou odrazu. Celostní psychologie následně upravila chápání hudební skladby jako komplexního estetického celku vytvořeného na základě určitých zákonitostí. V současné době bychom mohli rozdělit dva hlavní proudy hudební psychologie. V tom prvním se jedná o výzkum zaměřený na otázky percepce hudebního materiálu. Druhý proud tvoří aplikovaná psychologie hudby, která se zaměřuje především na učení a vývoj hudebních schopností. K hlavním tématům této oblasti patří vývojová hudební psychologie, psychologie emocí v hudbě nebo využití počítačové techniky v psychologii hudby. Poslední z oblastí je hudebněpsychologické poradenství, které je známé především v Polsku (Holas, 2013).

Hudebníci se od dětství učí, jak převádět zrakové hudební symboly do pohybů prstů, improvizovat, jak určovat tón bez referenčního a spoustu dalších dovedností. Ze studií používajících PET (pozitronovou emisní tomografii) a strukturální korelace MR (magnetické rezonance) vyplývají tři zjištění, které popisuje Koukolík (2012). Za první, při poslechu hudebních tónů v porovnání s nehudebními dochází k aktivaci pravého horního spánkového laloku a pravé týlní kůry. Za druhé, při určování výšky tónů v porovnání s pasivním poslechem dochází k aktivaci neuronální sítě, která se nachází u pravého čelního laloku. Zároveň dochází k utlumení činnosti primární sluchové kůry na levé straně. Za třetí, při zapamatování si melodie (v porovnání s pasivním poslechem) dochází k aktivaci většího počtu korových a podkorových oblastí, zejména pak pravého čelního, spánkového, kůry temenního laloku a insuly.

### **3.1 Vnímání a představa hudby na EEG**

Hlavním předmětem zkoumání u vnímání hudby je oblast fyziologie hudebního sluchu, kvalitativní i kvantitativní rozdíly při vnímání izolovaných hudebních prvků i celých komplexních skladeb. Při výzkumech se pozornost zaměřuje na proces subjektivní analýzy a prožívání hudby. V odborné literatuře se můžeme setkat s pojmy vnímání hudby a hudební vnímání. První termín vyjadřuje vztah mezi člověkem se zdravým sluchem, na kterého působí akustické signály. Druhý termín vyjadřuje hudbu jako umělecké dílo, jako estetický umělecký fenomén (Holas, 2013).

Výzkum (Potes, Brunner, Gunduz, Knight, & Schalk, 2014) ukázal, že aktivita v alfa a gamma pásmu souvisí se zpracováním hudby v porovnání s aktivitou naměřenou v klidu. V tomto případě deset participantů poslouchalo píseň „Another Brick in the Wall — Part 1” od skupiny Pink Floyd. K měření byl použit elektrokortikograf. Během poslechu bylo nalezeno 80 signifikantních oblastí s alfa pásmem, které byly primárně umístěny blízko primárnímu sluchovému kortexu. Navíc bylo objeveno dalších 412 oblastí s gamma frekvencí, která nebyla nalezena pouze blízko sluchového kortexu, ale také u sluchových asociačních oblastí a premotorického kortexu. Naproti tomu během klidového stavu se s pomocí elektrokortikografu neukázala žádná oblast aktivní se signifikantním alfa nebo gamma pásmem. Z výsledků výzkumu také vyplývá, že zvýšení gamma aktivity ve sluchových kortikálních oblastí vede k potlačení alfa aktivity. Co se týče intenzity zvuku, autoři našli pozitivní korelaci mezi vysokou gamma aktivitou a intenzitou zvuku a negativní korelaci mezi alfa aktivitou a intenzitou zvuku. Zapojením premotorického kortexu do zpracování hudby se zabývali také (Maess, Koelsch, Gunter, & Friederici, 2001),



který s použitím magnetoencefalografu zjistili, že premotorický kortex se účastní zpracování akordů.

Pokud jedinec poslouchá skladbu, která se mu líbí, aktivuje se hippokampus a inferiorní frontální kortex. Pokud člověk hraje na hudební nástroj, zpívá nebo diriguje, aktivují se oblasti frontálních laloků, motorická a sensorická kůra. Frontální laloky slouží k naplánování pohybu, motorická a sensorická kůra slouží k pohybu a vyhodnocení správnosti daného pohybu. Poslech nebo vybavování textů evokuje jazyková centra, včetně Brockovy a Wernickeovy oblasti (Levitin, 2006).

Schmidt & Trainor (2001) poukázali na skutečnost hudebního náboje a zpracování v jiných částech mozku. Ve svém výzkumu se zaměřili na frontální alfa asymetrii. Jedná se o koeficient laterality mozkové polokoule, který popisuje poměr síly mezi stejnou elektrodou na levé a pravé straně mozku. Pokud participanti poslouchali hudbu s pozitivním nábojem (radost a štěstí, z angl. joy and happy), projevovali větší relativní levostrannou frontální EEG aktivitu. Pro hudbu představující strach a smutek (z angl. fear and sadness) naopak větší relativní pravou frontální aktivitu. Co se intenzity a pozitivní valence týče, tak u těch intenzivnějších (fear and joy) úryvků byla síla EEG nižší (větší aktivita) oproti negativní valenci a nižší intenzitě. Čím byla intenzita vyšší, tím vyvolala nižší celkovou EEG sílu.

Při poslechu příjemné hudby dochází také ke změně théta rytmu, konkrétně théty aktivity na frontální části podélné brázdy (z anglického „frontal midline theta“). Název získal především díky topografii. Tento rytmus bývá pozorován u mentálního počítání, zpracovávání chyb a při meditaci. Fm (frontal midline) théta rytmus bývá dáván do souvislosti s vysokým mentálním úsilím a nepřetržitou pozorností během mnoha operací. Jako příjemnou hudbu autoři zvolili minutovou skladbu složenou z deseti úryvků radostné instrumentální hudby dostupné na CD, například hudba A. Dvořáka, J. S. Bacha aj. Nepříjemná hudba vznikla elektronickým upravením úryvků, kdy výsledný efekt budil dojem nesouladu. Théta síla na frontálních elektrodách se zvyšuje, pokud člověk poslouchá hudbu, která je mu příjemná. Autoři výzkumu se zaměřovali také na srdeční rytmus. Ten klesal, pokud člověk poslouchal nepříjemnou hudbu (Sammler, Grigutsch, Fritz, & Koelsch, 2007).

Podle psychiatra Anthonyho Storra má spontánní představování si hudby blahodárný a biologicky adaptivní efekt. Hudba slouží k odstranění nudy, odklonu myšlenek, pozvednutí nálady a mnohdy také k zmírnění únavy (Sacks, 2009).

Aktivita mozku při představě se zkoumala pomocí různých metod, někteří výzkumníci používali magnetoencefalograf, funkční magnetickou rezonanci či pozitronovou emisní

tomografii. Jejich výsledky se shodují v tom, že k neurální aktivitě ve sluchovém kortexu nepotřebuje člověk reálně slyšet tón. Při hudebních představách dochází k aktivaci sekundárního sluchového kortexu. Co se týče aktivace primární nebo korové sluchové oblasti, někteří autoři uvádějí aktivaci při představě, nicméně přesná lokalizace je obtížná kvůli intersubjektivní variabilitě. Pokud si má jedinec představit skladbu, která má slova, dochází k bilaterální aktivaci (Zatorre & Halpern, 2005). Samotná řeč má funkční hierarchické zpracování, kdy za začátku dochází k bilaterální aktivaci, vyšší mechanismy dekodování probíhají v levé hemisféře. Levá hemisféra je dominantnější při zpracování slov v hudbě, pravá naopak při zpracovávání hudebních tónů a jejich výšky (Zatorre, Belin, & Penhune, 2002).

Představování si zvuku vyvolává signifikantně silnější alfa aktivitu oproti vnímání. Schaefer, Vlek, & Desain (2011) se zaměřili na poslech a následnou představu dvou známých skladeb. Známé skladby vybrali ke zmírnění vlivu pracovní paměti. Hudební vzdělání v této studii nebylo zohledňováno, ale si šest účastníků ve výzkumu mělo hudební vzdělání nebo hráli na hudební nástroj, zbytek ne. Předpoklad silnější alfa aktivity při představě oproti poslechu hudby zde prokázali. Z jejich výsledků vyplývá, že parieto-okcipitální alfa byla nalezena pro všechny úkoly a stimuly. Co se týkalo efektu stimulu, výsledky ukazovaly na značné interindividuální rozdíly. Tyto rozdíly si autoři vysvětlovali rozdílným zájmem o danou skladbu. Ačkoliv se snažili mít dvě ekvivalentní skladby, část participantů preferovala skladbu druhou.

Výzkumný tým Cooper, Croft, Dominey, Burgess, & Gruzelier (2003) zkoumal několik různých sekvencí stimulů. Při představě si měli participanté představovat předchozí sekvence. Autoři stimulaci rozdělovali na externí – akustické (tóny), haptické a vizuální – a interní (představa), se kterou se účastníci výzkumu seznámili během školení. Během školení si účastníci opakovaně představovali prezentace různých podnětů, dokud neměli pocit, že si tyto předměty dokáží dokonale představit. Průměrná alfa amplituda byla vyšší při interních úkolech oproti externím. Ve sluchových a vizuálních modalitách byla průměrná alfa aktivita vyšší v anteriorních a posteriorních oblastech oproti centrálním místům. Každý úkol byl rozdělen na tři úkoly se vzrůstající obtížností. Například u interních stimulů se jednalo o představu náhodně uspořádané sekvence šesti stimulů, úroveň dva zahrnovala stejnou představu stimulů a zároveň byla probandovi položena jednoduchá otázka vztahující se k stimulům. Poslední úroveň zahrnovala opět představu sekvence a odpověď na složitější otázku. Otázky byly stejné jako u externí stimulace. Otázky měly dle autorů také

informativní charakter, jestli si účastník výzkumu představuje správný stimul. Z výsledků vyplývá, že alfa aktivita stoupala se vzrůstající obtížností.

Další výzkum Kraemer, Macrae, Green, & Kelly (2005) zkoumal pomocí funkční magnetické rezonance zapojení sluchového kortexu do spontánního představování si úryvků známých skladeb. Participanti poslouchali dva druhy skladeb. První byly známé skladby s textem (například Satisfaction od Rolling Stones), druhá byla instrumentální bez slov. Skladby byly následně upraveny tak, aby vznikly 2–5sekundové úseky ticha, na které výzkumníci cílili. Při výzkumu se zaměřili na primární a asociační sluchové oblasti a zjistili, že se při mezerách ticha u známých skladeb aktivovala více sluchová asociační kůra oproti tichu u neznámé skladby. Co se týče známé skladby, tak pokud neobsahovala slova, aktivita mozku se objevila v levém primárním sluchovém kortexu. Na konci bylo s participanty uděláno interview a zjistilo se, že u známých skladeb si nevšimli žádných mezer ticha, u neznámých naopak vnímali neplynulost.

Poslechu a následnému představování se ve své práci věnovala také Halpernová s kolegy (2012). V první studii ve spolupráci se Schubertem zkoumali emocionální náboj při poslechu a následné představě skladby. V druhém výzkumu se jednalo o poslech a následnou představu Beethovenovy symfonie číslo 5 v C moll, Tchaikovského „Waltz of the flowers“ z Nutcracker Suite a skladby Allergo z Mozartovy Serenády v G dur. Participanti měli pohybovat myší na displeji na ose od negativní po pozitivní emoce při poslechu a následné představě skladby. V druhém experimentu měli probandi za úkol poslouchat skladbu a následně si ji představit. Před představou jim výzkumníci pustili prvních pár tónů z dané skladby. Pomocí fMRI sledovali aktivitu mozkových center během poslechu a představy hudby. Opět měli hodnotit emoce při poslechu a představě. Z výsledků vyplývá shoda mezi pozorovanými a subjektivními daty, kdy subjektivními daty je myšleno vlastní hodnocení živosti či emocionálního náboje ve skladbách, objektivními pak data z funkční magnetické rezonance. Autoři zjistili, že pokud jedinec sám hodnotil sluchovou představu na škále, dochází k predikci odpovědi ve sluchovém kortexu a intraparietálního sulcu během mentální hudební transformace.

### **3.2 Rozdíly v EEG mezi hudebníky a nehudebníky**

Hudebníci a nehudebníci se liší v mozkové aktivitě při hře na hudební nástroj. V jednom výzkumu (Wright, Holmes, Di Russo, Loporto, & Smith, 2012) měli nehudebníci hrát 100krát sedm tónů stupnice G dur na elektrickou kytaru (napřed prošli krátkým úvodem na hru na kytaru). Po celou dobu měření byl nastaven metronom, participanti měli volnou

ruku v tom, kdy začít hrát. Měli pouze hrát v rytmu. Jejich výsledky byly srovnány se skupinou hudebníků (z nichž nikdo nebyl profesionální hudebník, ale každý prošel určitým vzděláním hry na hudební nástroj). Výsledky ukazují u skupiny hudebníků na pozdější začátek a nižší amplitudu evokovaného potenciálu NS' (gradient negativity, který roste 400–500 ms před začátkem pohybu). Tento výsledek napovídá nižšímu úsilí zapojenému do kortikální motorické přípravy. Nižší úsilí bylo doplněno o signifikantně menší chybovost při hraní a lepší dodržování tempa. Další z věcí, kterou se odlišovali hudebníci od nehudebníků byla amplituda MP (motorický potenciál), která se vypočítala jako maximální negativní vrchol bezprostředně před začátkem pohybu. Amplituda byla signifikantně nižší u hudebníků a lišila se také v závislosti na elektrodách, přičemž vyšší byla na C<sub>z</sub> oproti FC<sub>z</sub>.

Rozdíly v mozkové aktivitě jsou zřejmé také při zpívání, pískání nebo recitování slov známé skladby. V tomto experimentu (Davidson & Schwartz, 1977) se měřila alfa aktivita (pásmo 8-13 Hz) na elektrodách O<sub>1</sub> a O<sub>2</sub>, a také na P<sub>3</sub> a P<sub>4</sub>. U nehudebníků se objevovala větší aktivita pravé hemisféry při pískání melodie oproti recitování slov písně.

Hudebníci vykazují signifikantně vyšší alfa aktivitu v levém temporálním laloku oproti pravému. U skupiny nehudebníků je naproti tomu vyšší alfa aktivita na pravém temporálním laloku. K těmto výsledkům došla McElwain v roce 1979, kdy zkoumala skupinu 50 hudebníků a stejný počet nehudebníků. V jejím výzkumu poslouchali probandi Bachův „Koncert pro tři housle a orchestr v D“. V prvním úkolu měli poslouchat skladbu a identifikovat hlavní téma, ve druhém se jednalo o spontánní poslech. Autorka se zaměřila na temporální lalok, měřeny byly elektrody T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> a T<sub>6</sub>.

V jiném výzkumu (Sluming et al., 2002) se u hudebníků v orchestru objevilo zvýšení hustoty šedé hmoty v Brockově oblasti, což naznačuje význam hudebního tréninku pro frontotemporální plasticitu mozku. Co se týče obecně šedé a bílé hmoty, nebyl prokázán žádný rozdíl mezi hudebníky a nehudebníky. Tento výzkum byl realizován v Britském symfonickém orchestru a celkem se účastnilo 26 hudebníků a stejný počet nehudebníků.

Spojením kreativity a hudebního vzdělání se ve svém výzkumu zabývali Lopata, Nowicki a Joannis (2017). Předpokládali, že během kreativnějších úloh budou hudebníci vykazovat zvýšenou alfa aktivitu v horní části pásma (10–12 Hz), a že efekt bude zvýrazněn u té skupiny, která projde předchozím formálně institucionalizovaným tréninkem v improvizaci. Během experimentu měli účastníci poslouchat melodii bez vlastního hraní, aktivně se snažit melodii nacvičit, představovat si melodii co nejpřesněji původnímu poslechu, přehrát melodii co nejpřesněji podle původního poslechu, představovat si improvizaci a zahrát volnou improvizaci nad akordy skladby. Pomocí elektroencefalografu

autoři měřili elektrody Fp<sub>1</sub>, F<sub>3</sub> a F<sub>7</sub> na levé straně a Fp<sub>2</sub>, F<sub>4</sub> a F<sub>8</sub> na straně pravé. Z jejich výsledků vyplývá, že není rozdíl mezi skupinou s tréninkem v improvizaci a bez ní. Nicméně se ukázalo, že ve skupině bez tréninku v improvizaci byla frontální horní alfa synchronizace v levé hemisféře nízká během poslechu, hraní a improvizace, zatímco v pravé byla frontální horní alfa synchronizace vysoká při poslechu a nižší u zbývajících dvou podmínek, zatímco ve skupině s tréninkem v improvizaci byla alfa synchronizace nízká během poslechu a postupně se zvyšovala u hraní a improvizace. V pravé hemisféře byla frontální horní alfa synchronizace vysoká a postupně se zvyšovala u hraní a následně ještě u improvizace. Zvýšenou frontální horní alfa synchronizaci u hudebníků při improvizaci autoři interpretují jako důkaz základního kreativního mentálního stavu, který je charakteristický ponořením se do režimu spontánního zpracování.

Obecně by se dalo říci, že hudební trénink vede ke zlepšení kognitivních funkcí, konkrétně pak verbální a vizuální paměti. Hudebníci vykazují signifikantně více vybavených slov v testu The Hong Kong List Learning Test – Form One (HKLLT), což je úprava testu verbální fluence. Hudebníci si dokázali vybavit více slov ve všech třech pokusech i v oddálené reprodukci po deseti a třiceti minutách. Celkově měli hudebníci vyšší skóre jak v bezprostřední, tak v oddálené reprodukci, nicméně výsledky nejsou statisticky významné. U hudebníků byla výrazně vyšší intrahemisférová théta koherence při procesu kódování během varianty delšího rozmezí. Koherence je definována jako spektrální vzájemná korelace mezi dvěma signály normalizovanými podle jejich spektrální síly. Delší rozmezí koherence bylo měřeno jako vzdálenost oddělena minimálně jednou elektrodou (F<sub>1</sub>-C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>-P<sub>3</sub>, F<sub>5</sub>-P<sub>5</sub> pro levou stranu versus F<sub>2</sub>-C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>-P<sub>4</sub>, F<sub>6</sub>-P<sub>6</sub> pro pravou stranu). U jednotlivých stran se ukázala levá intrahemisférová théta koherence jako signifikantně vyšší oproti pravé. Lepší výsledky ve fázi kódování u verbální paměti si autoři článku dávají do souvislosti s možným vztahem mezi hudebním tréninkem a mozkovou plasticitou (Cheung, Chan, Liu, Law, & Wong, 2017).

### **3.3 Poslech a představa hudby u hudebníků a nehudebníků**

Hudební představa by se dala charakterizovat jako hudební zkušenost, zážitek či dílo, které si jedinec uchovává ve vědomí nebo si ho vybaví znovu, bez přímé sensorické percepce (Mareš, 2014). Očekává se, že právě hudebníci nebo například skladatelé budou mít schopnost hudební představivosti vysokou. K nejvýznamnějším příkladům bychom mohli zařadit Beethovena, který ztratil sluch, nicméně jeho pozdější práce měly stále vyšší kvalitu (Sacks, 2009). U hudebníků se tento jev často pojí také se zkušeností hmatovou, protože

hudebník si „v duchu“ danou skladbu přehrává na daný hudební nástroj. Existuje dvojitá podoba hudebních představ, kdy při prvním typu se jedná o záměrné používání představ, u druhého jde o nezáměrnou, často nechtěnou představu (Mareš, 2014). U hudebníků je většinou vybavování skladby záměrné a vědomé. Nehudebníkům často mimovolně naskočí nějaká skladba, která jim hraje v mysli (Sacks, 2009).

K hlavním zkoumaným rozdílům mezi hudebníky a nehudebníky patří předpoklad o rozdílném zpracování melodie. U hudebníků se mluví o tzv. analytickém vnímání, kdyžto u nehudebníků o holistickém (Franěk, 2005). K dalším rozdílům dochází při aktivaci mozkové hemisféry. Čím je hudební vzdělávání delší, tím je aktivace levé hemisféry vyšší. Rozdíly ve vnímání hudby jsou pozorovány u vnímání výšky tónů (Franěk, 2005). Zatorre, Perry, Beckett, Westbury, & Evans (1998) prováděli výzkum s pozitronovou emisní tomografií a zjišťovali průtok krve v mozku při poslechu tónů u jedinců s absolutním sluchem a bez něho. U obou skupin při poslechu docházelo ke zvýšení průtoku krve ve sluchových kortikálních oblastech. U skupiny hudebníků s absolutním sluchem navíc zjistili větší levostrannou asymetrii ve spánkové oblasti, která se dává do souvislosti s podmíněným učením. Podobná aktivita byla zjištěna u kontrolní skupiny, pokud měli jedinci posuzovat výšku intervalů. U jedinců s absolutním sluchem bylo navíc zjištěno, že jejich levé planum temporale je větší.

Za použití transkraniální Dopplerovy sonografie bylo zjištěno, že u nehudebníků dochází k větší pravostranné aktivaci sluchové kůry pro rozlišování melodie než u hudebníků, u kterých dochází naopak k větší aktivitě v levé sluchové korové oblasti. Ukázal se zde také vliv pohlaví, kdy u žen se efekt ukázal zřetelnější (Koukolík, 2012).

Schopnost představovat si hudbu se kromě dosaženého vzdělání mění také s věkem. Práce s hudebními představami pomáhá reálnému, fyzickému provádění hudby, v dnešní době se používá jako doplněk k fyzickému nacvičování hudebního díla (Mareš, 2014).

Výzkumu studentů a jejich učitelů ohledně mentálního představování jako součásti cvičení se věnoval ve své práci (Haddon, 2007). Jako definici pojmu hudební mentální představa pedagogové nejčastěji zmiňovali: přehrávání si skladby v duchu (92,9 %), představa hraní vlastní skladby bez vědomého ovládnutí (64 %), nácvik interpretačních možností (57 %). Na otázku, jestli používají učitelé představování jako součást tréninku uvedlo 53,8 % respondentů, že někdy ano, 30,8 % vždy a 15,4 % nikdy. Další otázka se týkala používání představování před hraním nového díla. Na tuto otázku odpovědělo 63,6 % učitelů, že tuto metodu používají někdy, 27,3 % učitelů nikdy a 9,1 % učitelů tuto metodu používá vždy. U studentů se definice pojmu hudební mentální představa týkala: přehrávání

si skladby v duchu (100 %), 81,8 % studentů si představuje úspěšný výkon a na třetím místě umístila představa hraní vlastní skladby bez vědomého ovládní (72,7 %). Na otázku, jestli používají představování jako součást tréninku odpovědělo 81,8 % studentů, že někdy ano, a 9,1 % studentů nikdy a stejný počet studentů vždy. Na otázku, jestli používají představování před hraním nového díla odpovědělo 63,6 % studentů, že někdy ano, 27,3 % nikdy a 9,1 % vždy.

Hudebníci tráví značnou část dětství přípravováním se na profesionální dráhu tím, že pracují s koordinací horních končetin spojených se sluchovou a senzomotorickou zpětnou vazbou. Právě hudební trénink vede k adaptivním funkčním a strukturálním změnám v motorickém systému. Při hudební představě se aktivuje sluchová kůra, stejně jako motorická. Během motorického pozorování dochází k aktivaci fronto-parieto-okcipitálních sítí. Pianisté v této studii pozorovali pohyby prstů související s hrou na klavír ve srovnání s pohyby prstů nesouvisejícími s hraním. Kontrast mezi hudebníky a nehudebníky se projevil v pozorování pohybů pravé a levé ruky. U klavírních pohybů pravé ruky hudebníci vykazovali oproti nehudebníkům větší aktivaci kortikální fronto-parieto-temporální sítě. Pokud měli hudebníci pozorovat ruku, která nedělala žádné pohyby, vykazovali oproti skupině nehudebníků větší aktivaci v levém inferiorním frontálním gyru, pravém inferiorním frontálním gyru a pravém dPMC (dorsální část laterální premotorické kůry). Pohyby levé ruky se lišily vzhledem k aktivaci vPMC (ventrální část laterální premotorické kůry), která byla silnější u hudebníků v pravé hemisféře. Dále bylo u hudebníků nalezeno silnější fronto-parietální zapojení (Haslinger, et al., 2005).

Haueisen & Knösche (2001) si položili otázku, jestli pouhé vnímání klavírní hudby může u pianistů vyvolat aktivitu v motorickém kortexu bez skutečných pohybů. Z jejich výsledků vyplývá, že u pianistů dochází k mimovolní aktivaci prstů při poslechu klavírních skladeb. Při měření magnetoencefalografem můžeme pozorovat zvýšenou aktivitu nad oblastí kontralaterální k motorickému komplexu. Měřeno bylo 5 oblastí hlavy, konkrétně pravá a levá temporální část, pravá a levá rolandická oblast a střední rolandická oblast. Jediný statisticky významný rozdíl mezi pianisty a nepianisty se ukázal nad oblastí zahrnující levou rolandickou oblast.

Po letech tréninku dochází u pianistů k aktivaci kortikální sluchové a senzomotorické ruční oblasti nejen v případě poslechu hudby, ale i během tichého motorického úkolu, kde mají pianisté hrát slyšenou melodii na tiché piano. S delším časem tréninku roste aktivita v pravém bočním frontálním laloku. Na začátku experimentu byl u nehudebníků značný

rozdíl mezi pasivním poslechem melodie a tichým hraním na klávesy, v průběhu tréninku se rozdíl zmenšoval (Bangert, Haeusler, & Altenmüller, 2001).



# Empirická část

---

## 4 Výzkumné cíle, otázky a hypotézy

K hlavnímu cíli mé diplomové práce patří ověřit hypotézu o rozdílné spektrální síle v alfa pásmu při poslechu a představě hudby nezávisle na hudebním vzdělání. Posouzení případného vlivu hudebního vzdělání na spektrální sílu alfa pásma patří k dalšímu cíli mé diplomové práce, a to proto, že tento konkrétní problém nebyl přímo adresován v žádném z výzkumu, které jsem prostudovala (výzkumníci se zaměřují buďto na rozdíly hudebníků a nehudebníků nebo na rozdíly mezi poslechem a představou hudby, ale nikdy na obojí najednou).

Existují práce, využívající zejména funkční magnetickou rezonanci, které zjistily, že při představě hudby vykazuje mozek stejnou aktivitu jako při reálném poslechu, tedy že dochází k aktivaci sluchových oblastí. K aktivaci motorických oblastí dochází zejména u hudebníků, pokud si mají představit přehrání dříve slyšené melodie na jejich nástroji (například Haueisen & Knösche, (2001); Zatorre & Halpern, (2005); aj). V případě, že rozdíl mezi poslechem a představou hudby pomocí elektroencefalografie v našem experimentu nenalezneme, mohly by výsledky sloužit k podpoře výsledků z fMRI a k podpoře využívání technik pracujících s představami, které nalezneme například u aktivní imaginace, při nácvičku relaxace a meditace nebo u Schultzova autogenního tréninku – vyššího stupně.

Zdokonalování poznatků ohledně aktivity mozku při představě může pomoci k pochopení fungování mozku během tohoto procesu. Naší snahou je doplnit výsledky z funkční magnetické rezonance o výsledky z elektroencefalografie a ty následně srovnat.

### 4.1 Proměnné

V našem designu pracujeme s obvyklou terminologií používanou během experimentů. Jako závisle proměnou označujeme hodnoty spektrální síly alfa aktivity získané ze záznamu elektroencefalografu. Jedná se o metrickou proměnnou, která udává amplitudu vlny v závislosti na frekvenci (jednotkou, kterou budeme používat, je  $\mu V^2/Hz$ ).

V našem experimentu máme čtyři nezávislé proměnné. První označuje podmínku (baseline 1, poslech, imaginace, baseline 2), druhá zařazení do skupiny (hudebník/nehudebník). Třetí proměnná jsou jednotlivé elektrody (celkem osm). V případech nezávislých proměnných se v prvním případě jedná o dichotomickou proměnnou, v druhém a ve třetím o polytomickou. Pro účely třetí hypotézy (viz kapitola 4.2)

jsme definovali ještě proměnnou horní a dolní pásmo alfa aktivity. V tomto případě se jedná o dichotomickou proměnnou.

## 4.2 Výzkumné otázky

V našem experimentu se pokusíme zodpovědět následující výzkumné otázky:

- I. *Liší se spektrální síla alfa aktivity při poslechu a představě hudby?*
- II. *Existuje rozdíl mezi spektrální silou alfa aktivity mezi skupinou hudebníků a nehudebníků?*
- III. *Existuje interakce mezi horním a dolním pásmem při baseline 1, 2, poslechu a imaginaci mezi skupinou hudebníků a nehudebníků?*
- IV. *Existuje rozdíl mezi spektrální silou alfa aktivity při poslechu hudby na jednotlivých elektrodách mezi skupinou hudebníků a nehudebníků?*

## 4.3 Výzkumné hypotézy

Na základě výzkumných otázek definujeme čtyři hypotézy:

*H1. Spektrální síla alfa aktivity při poslechu a představě hudby se významně liší.*

Z výsledků výzkumu (Schaefer et al., 2011) vyplývá, že alfa aktivita při představě je významně vyšší než u poslechu. Na základě tohoto výzkumu formulujeme naši hypotézu o rozdílu mezi spektrální silou alfa aktivity při poslechu a představě hudby. Domníváme se, v souladu s autory článku, že spektrální síla alfa aktivity bude silnější u představy než u poslechu.

*H2. Spektrální síla alfa aktivity při představě hudby mezi skupinou hudebníků a nehudebníků se významně liší.*

Tuto hypotézu jsme formulovali na základě výzkumu kolektivu autorů (Wright et al., 2012), kteří poukázali na nižší zapojení neuronů u hudebníků, pokud prováděli činnost, kterou znali a byla pro ně tudíž snadná. Haddon (2007) ve svém výzkumu dospěl k závěru, že hudebníci používají představu skladby jako součást jejich tréninku. Na základě těchto výzkumů předpokládáme vyšší spektrální sílu v alfa pásmu u hudebníků. Představa skladby by pro ně měla být snazší, měli by být více uvolnění a spektrální síla alfa aktivity by měla být tudíž výraznější než u skupiny nehudebníků.

*H3. Při představě hudby existuje významná interakce mezi dolním/horním pásmem alfa aktivity a hudebníky/nehudebníky.*

*H3a. Spektrální síla dolního pásma alfa aktivity při představě hudby se významně liší mezi hudebníky a nehudebníky.*

*H3b. Spektrální síla horního pásma alfa aktivity při představě hudby se významně liší mezi hudebníky a nehudebníky*

*H3c. Rozdíl spektrální síly mezi horním a dolním pásmem alfa aktivity u hudebníků při představě se významně liší.*

*H3d. Rozdíl spektrální síly mezi horním a dolním pásmem alfa aktivity u nehudebníků při představě se významně liší.*

Pro potřeby 3. hypotézy jsme data rozdělili na dvě poloviny. První obsahovala frekvence od 8 Hz do 10,5 Hz, druhá polovina byla od 10,5 do 13 Hz. Toto dělení jsme navrhli na základě výzkumu (Lopata, Nowicki, & Joannisse, 2017), kteří prováděli výzkum se zvýšením frontální alfa synchronizace v souvislosti s kreativními úkoly. Hodnota 10,5 Hz spadala do první skupiny. V souladu s druhou hypotézou očekáváme, že představa skladby bude pro hudebníky snadnější, budou uvolněnější a jejich frekvence alfa pásma se bude pohybovat ve spodní polovině. Pro skupinu nehudebníků bude tento úkol složitější, budou potřebovat větší kognitivní úsilí, proto se bude jejich aktivita pohybovat v horní polovině, kde se bude blížit hranici s beta pásmem, které se objevuje při mentálním úsilí. Očekáváme, že u skupiny hudebníků bude rozdíl mezi horním a dolním pásmem, jejich aktivita bude převažovat ve spodní polovině alfa pásma. Naopak u skupiny nehudebníků předpokládáme menší zastoupení spodních hodnot a více aktivity v horní polovině.

*H4: Spektrální síla alfa aktivity při poslechu hudby se významně liší na jednotlivých elektrodách mezi skupinou hudebníků a nehudebníků.*

V pracích (Schlaug et al., 1995; Sluming et al., 2002; Schlaug, 2003) nalezneme zkoumání strukturálních rozdílů mezi mozkem hudebníků a nehudebníků. V pracích ze sedmdesátých let (Bever & Chiarello, 1974; Hirshkowitz et al., 1978; McElwain, 1979) nalezneme také hledání rozdílů ve zpracování melodie u hudebníků a nehudebníků. Výsledky z těchto výzkumů jsou rozporuplné, a i když se v dnešní době se od jejich hypotéz upouští, rozhodli jsme se otestovat hypotézu o rozdílném zpracování melodie mezi skupinou hudebníků a nehudebníků na jednotlivých elektrodách při poslechu skladby.

## 5 Výzkumný design

### 5.1 Výzkumné paradigma a typ výzkumu

Výzkumný záměr této diplomové práce je založený na kvantitativní metodologii, konkrétně experimentálním designu, kdy zjišťujeme vliv proměnných, kterými jsou poslech a představa hudby a hudební vzdělání, na alfa aktivitu mozku. Jelikož nemůžeme rozdělovat jedince náhodně do skupiny hudebník/nehudebník, jedná se konkrétně o kvaziexperiment, pro který je tento rys charakteristický (Ferjenčík, 2000).

### 5.2 Výzkumný soubor

Výzkumný soubor je tvořen 22 jedinci ve věku od 19 do 30 let. Skupina je rozdělena do dvou skupin po deseti. Prvních deset tvoří jedinci s hudebním vzděláním, druhá skupina je tvořena jedinci bez hudebního vzdělání. Pilotní měření bylo provedeno s hudebníkem. Jeden nehudebník byl z experimentu vyřazen na základě nekvalitního EEG záznamu a nesplnění podmínek. Při analýze dat byl ze souboru nehudebníků vyřazen ještě jeden proband, který vykazoval extrémní hodnoty spektrální síly alfa aktivity, což způsobovalo zkreslení výsledků. Při analýzách se pracuje se skupinou 10 hudebníků a 9 nehudebníků.

Probandi s hudebním vzděláním byli vybráni na základě minimálně sedmi let hry v Základní umělecké škole na nějaký hudební nástroj. Délka sedmi let odpovídá uzavření tzv. prvního neboli základního cyklu hry na hudební nástroj. Věkový průměr této skupiny je 23,3 let ( $SD = 1,35$ ).

Naopak druhá skupina byla vybírána na základě nulové zkušenosti s hrou na hudební nástroj. Dále byli jedinci dotazováni na zkušenosti spojené s hudbou, jako je tanec, zpěv, divadlo či jiné aktivity. Skupina nehudebníků byla tvořena jedinci, kteří neměli dlouhodobé zkušenosti ani s těmito aktivitami. U této skupiny je věkový průměr 23,6 ( $SD = 3,07$ ).

Výběr výzkumného souboru probíhal pomocí nepravděpodobnostních metod výběru. Skupina hudebníků byla převážně získána pomocí metody sněhové koule, kdy tzv. nultou vlnu tvořili studenti z Katedry psychologie (viz Miovský, 2006). Tato první generace následně oslovila své známé z hudební oblasti. Skupina nehudebníků byla získána především díky nabídce s možností účasti ve výzkumu zveřejněné na facebookových stránkách Univerzity Palackého, facebookových stránkách některých ročníků z Filozofické a Přírodovědecké fakulty, kde se každý, kdo chtěl, mohl přihlásit. Jedná se tedy o metodu výběru pomocí samovýběru. Tato metoda je založena na prvku dobrovolnosti, kdy

potenciální účastníci jsou vyzváni k účasti, musejí ale projevít určitou vlastní aktivitu, nejen souhlasit s výzkumem (Mioviský, 2006).

Znění inzerátu na facebookových stránkách bylo: Nehrál/a jste nikdy na žádný hudební nástroj, ani nechodil/a do kroužku spojeného s hudbou (divadlo, tanec aj.) a chcete si nechat změřit EEG aktivitu mozku? Jsem studentka 5. ročníku psychologie a ráda bych Vás poprosila o pomoc s mojí diplomovou prací. Pokud máte zájem o bližší informace, piště prosím do zpráv na FB nebo na e-mail. Samotný výzkum spočívá v poslechu a následné představě části skladby, kterou Vám pustím. Za odměnu za Vaši účast si můžete vyzkoušet v naší laboratoři virtuální realitu. Výzkum probíhá v Olomouci na Katedře psychologie (Vodární 6).

Výzkumný soubor hudebníků je tvořen osmi ženami a dvěma muži, z toho jedna žena a jeden muž jsou leváci, zbytek praváci. U nehudebníků je šest žen a pět mužů, všichni praváci. V obou skupinách byla čtyři měření provedena dopoledne a šest odpoledne.

Každému zájemci o účast byl zaslán „Úvodní dopis“, ve kterém mu byly sděleny základní informace o experimentu, průběhu měření a odměně za účast. Znění tohoto dokumentu uvádíme v příloze 3.

Jako motivace k výzkumu byla účastníkům nabídnuta možnost vyzkoušet si v laboratoři na Katedře psychologie virtuální realitu.

## 5.2 Příprava experimentu

V zimě v roce 2017 byl sepsán výzkumný záměr, od kterého se odvíjelo studium odborné literatury z oblasti psychologie hudby a psychofyziologie.

V létě 2017 byly vytvořeny krátké dotazníky pro skupinu hudebníků a nehudebníků. Dotazníky byly vytvořeny v Google Forms a obsahovaly jedenáct otázek pro skupinu hudebníků a sedm pro skupinu nehudebníků. První dvě otázky byly stejné pro obě skupiny a týkaly se demografických údajů (věk a pohlaví). U skupiny hudebníků se jednalo o tyto otázky:

- 1) Hudební nástroj, na který hraje? (dechový, smyčcový, strunný, samozvučný, blanozvučný)
- 2) Počet let hry na hudební nástroj?
- 3) Nejvyšší ukončené vzdělání na Základní umělecké škole? (Nedokončený základní cyklus, ukončený 1. cyklus, neukončený 2. cyklus, ukončený 2. cyklus)
- 4) Jiné aktivity související s hudbou? (Zpěv, tanec, skládání hudby, orchestr, divadlo, lidová hudba)

- 5) Další hudební nástroje? (Vypsát)
- 6) Jak jste se dostal/a ke hře na hudební nástroj? (Vlastní rozhodnutí, rozhodnutí rodičů, na základě Vašeho hudebního idola)
- 7) Posloucháte hudbu mimo cvičení? (Ano, ne)
- 8) Jak často posloucháte hudbu? (Každý den, alespoň jednou týdně, alespoň jednou měsíčně)
- 9) Praktikujete pravidelně meditaci nebo relaxaci? (Ano, ne párkrát jsem to zkoušel/a, v minulosti ano)

Poslední otázka byla mířená na meditaci a relaxaci. Tuto otázku jsme zařadili z důvodu možného zvýraznění alfa aktivity při dlouhodobém praktikování meditace a relaxace (DeLosAngeles et al., 2016). U nehudebníků byly otázky podobné. První dvě se týkaly věku a pohlaví. Následovaly:

- 1) Posloucháte hudbu? (Ano, ne)
- 2) Jak často posloucháte hudbu? (Každý den, alespoň jednou týdně, alespoň jednou měsíčně)
- 3) Při jakých příležitostech posloucháte hudbu? (Relaxace, cvičení, cestování, doma/v práci, jiná)
- 4) Děláte nějaké aktivity související s hudbou? (Zpěv, tanec, skládání hudby, divadlo, jiná)
- 5) Praktikujete pravidelně meditaci nebo relaxaci? (Ano, ne párkrát jsem to zkoušel/a, v minulosti ano)

Tyto dotazníky měly pouze informativní charakter, slouží k třídění hudebníků podle typu hudebního nástroje, délky hraní na hudební nástroj. U skupiny nehudebníků dotazníky informují o tom, jestli je jedinec zvyklý na poslech hudby, či jak dlouhou dobu touto činností tráví.

V létě 2017 probíhal také výběr skladeb určených k poslechu a představě. Při výběru jsme se zaměřili na skladby, které nemají text a zároveň jsou známé, čímž se snížila případná činnost pracovní paměti při poslechu. Skladba beze slov byla vybrána z důvodu eliminace aktivace řečových center při poslechu. Nakonec jsme vybrali dvě skladby: zácvičnou a experimentální. Jako zácvičnou jsme vybrali část skladby Richarda Wagnera z jeho opery Lohengrin, známou jako „Wedding March“, která zazní ve třetím dějství (Lohengrin (opera), nedat.). Pomocí programu Adobe Audition jsme skladbu nastříhali tak, aby na začátku bylo devět vteřin ticha, a pak následovalo pípnutí, které značilo začátek přehrávání skladby.

Skladba trvala 23,5 vteřin, po kterých následovalo opět pípnutí. Po 2,1 vteřinách ticha se ozvalo opět pípnutí, což byl signál pro začátek představování melodie skladby. Čas byl nastaven na 34,2 vteřiny, po kterém se opět ozvalo pípnutí. Čas na představu byl zvolen delší než samotná skladba, protože je možné, že participanti by při představě nemuseli dodržet tempo skladby a pípnutí by je vyrušilo.

Jako experimentální byla zvolena skladba Óda na radost, kterou zhudebnil Ludwig van Beethoven. Jedná se o závěrečnou skladbu jeho Deváté symfonie (Óda na radost, nedat.). Délka skladby byla 36,9 vteřin, následné ticho trvalo 2,6 vteřiny. Pauza pro představu byla dlouhá 49,8 vteřin. Jednotlivé signály (pípnutí) byly nastaveny stejně jako u zácvičné skladby. Úprava skladby probíhala ve stejném programu (Adobe Audition).

Délka i výběr skladeb byly několikrát testovány různými zástupci ze skupiny hudebníků i nehudebníků. Vždy se testovala známost/neznámost skladby, snadnost představy a vybraná délka skladby.

Poslední revize vybraných skladeb proběhla v září 2017, kdy si zástupci z obou skupin měli poslechnout a následně představit upravené části skladeb. Hodnocena byla snadnost představování, délka skladby a případné motorické pohyby, například hlavou, prsty či klepání nohou do rytmu. Tyto pohyby bylo potřeba zaznamenat a před samotným měřením požádat probandy, aby tyto pohyby eliminovaly, jelikož by způsobovaly artefakty v EEG záznamu. Během této revize došlo také k finální úpravě instrukce po konzultaci s probandkami. Znění instrukce uvádíme v kapitole 5.5.

Pro zachování standardního postupu během každého měření byl vytvořen „checklist“, jehož přesné znění uvádíme v příloze 4. Jedná se o dokument v MS Word, který obsahuje detailní popis všech kroků od příchodu do laboratoře do odchodu z ní. Zahrnuje zapnutí počítačů, přepojení reproduktorů, uvítání probanda, nastavení měření, vypnutí počítačů a zkontrolování laboratoře před odchodem.

V „Checklistu“ označujeme jako „PC\_Acq“ počítač, který nahrává měření pro software AcqKnowledge. Výsledná data jsou zaznamenána ve formátu „.acq“. Jako „PC s Oculem“ označujeme počítač, který je napojen na reproduktory, které jsme používali pro pouštění skladeb (toto zvláštní označení vyplývá z toho, že počítač slouží převážně pro expozice ve virtuální realitě, což pro tento experiment nemá žádný význam; jde tedy pouze o pracovní název).

Veškerá data získaná od probandů jsou anonymní. Spárování dat naměřených pomocí EEG a dotazníku proběhlo na základě zařazení do skupin hudebník/nehudebník a přiřazení čísla 1-10 u skupiny hudebníků a 1-11 u nehudebníků. Každému probandovi byla v úvodním

dopise sdělena povaha a cíl výzkumného záměru, před začátkem měření každý z nich vyslovil ústní souhlas s účastí ve výzkumu a souhlas se zpracováním jeho dat. Kvůli anonymitě dat nebylo možné probandům zpětně poskytnout výsledky z jejich konkrétního měření, nicméně zájemcům byla nabídnuta možnost zaslat souhrnné výsledky po ukončení zpracování všech analýz.

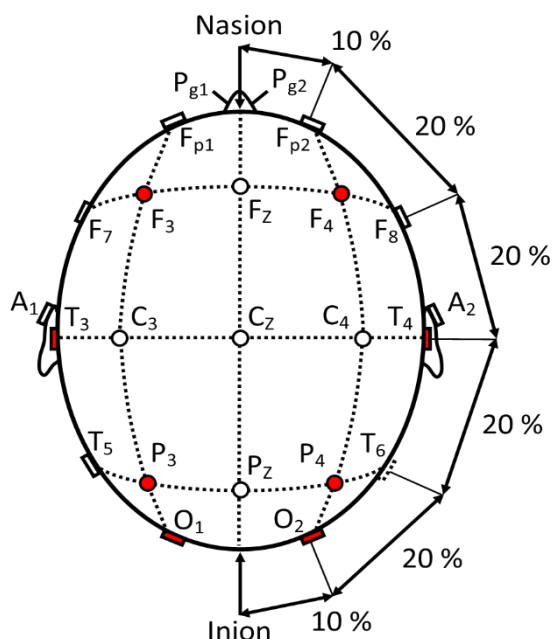
U pilotního měření, hudebníků 1–7 a 9–10 a nehudebníků 1–4, 8–9 a 11 byl jako odborný dohled přítomen Mgr. Tomáš Dominik. U ostatních měření byla přítomna pouze autorka práce.

### **5.3 Měření EEG**

EEG aktivita byla měřena pomocí čepice s 19 elektrodami umístěnými na hlavě. Tato čepice vychází z mezinárodního systému 10-20 a slouží k usnadnění standardního měření u každého participanta. Přesnější popis měření pomocí elektroencefalografu uvádíme v kapitole 2.3. Měřeno bylo celkem osm elektrod plus jedna zemnicí, která se nachází na EEG čepici mimo systém 10-20 ve frontální oblasti. Na základě dříve citované literatury (Davidson & Schwartz, 1977; McElwain, 1979; Schmidt & Trainor, 2001; Cheung et al., 2017) jsme se rozhodli pro měření frontálních oblastí F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>, temporálních oblastí T<sub>3</sub> a T<sub>4</sub>, parietálních oblastí P<sub>3</sub> a P<sub>4</sub> a okcipitálních oblastí O<sub>1</sub> a O<sub>2</sub>. Oblasti temporální jsme vybrali pro centrum sluchu, které se v této oblasti nachází. Oblasti parietální a okcipitální proto, že se při měření soustředíme zejména na alfa aktivitu, která roste směrem dozadu, tudíž v těchto oblastech očekáváme nejvyšší hodnoty. Frontální oblast se pojí s exekutivními funkcemi, tudíž očekáváme, že právě tyto funkce budou regulovat (tudíž dojde k aktivaci) proces aktivní imaginace.

V programu AcqKnowledge byly nastaveny filtry: high-pass na 0,1 Hz a low-pass na 35 Hz. K potlačení zásuvky byl nastaven notch-filter (tzv. zářezový) filtr na 50 Hz. High pass filtr slouží k potlačení frekvence nižší než 0,1 Hz a low pass k potlačení frekvence vyšší než 35 Hz.





Obr. 2: Měřené elektrody (znázorněné červeně) v systému 10/20.

## 5.5 Průběh experimentu

Celý experiment byl měřen na počítači „PC\_Acq“, který je napojen na řídicí jednotku MP 150 od společnosti BIOPAC.

Celkem proběhla dvě pilotní měření. První pilotní měření proběhlo s nehuděbníkem a bylo rozděleno na tři samostatná setkání. První setkání mělo za cíl seznámit autorku s technickým vybavením laboratoře. Na druhém setkání se učila správně nasazovat EEG čepici. Poslední setkání bylo věnované testování technické stránky pilotního měření, kde byl kladen důraz zejména na správné nasazení čepice, výběr hlasitosti pro poslech hudby, umístění probanda tak, aby mohl mít položený prst na klávesnici a celkové rozmístění monitorů na stole. Pro poslech hudby jsme zvažovali pustit hudbu do sluchátek, nakonec jsme od této metody ustoupili, protože by to znemožňovalo označit přesný začátek skladby. Hlasitost byla na počítači nastavena na maximum, na reproduktorech na hodnotu 45. Proband byl umístěn na kardio křeslo naproti experimentátorce a s měřicí aparaturou po pravé straně ve vzdálenosti asi 50 cm. Toto umístění bylo zvoleno jako maximální dosah kabelů z ušních elektrod. Na opěradlech křesla byla umístěna dřevěná deska, na kterou jsme umístili klávesnici od počítače. Na tuto klávesnici si dal proband prst, konkrétně na klávesu ESCAPE, kterou měl stisknout, jakmile skončil s představou skladby. Osvětlení v místnosti bylo ztlumené, vypnuté byly zářivky, používaly se pouze halogenové žárovky. Pro odstranění hluku byla vypnutá klimatizace a odvětrávání místnosti v průběhu měření.

Druhé pilotní měření proběhlo na začátku října s probandem ze skupiny hudebník. Cílem tohoto měření bylo ověřit technické nastavení a vyzkoušet si průběh měření od začátku do konce.

Domlouvání si konkrétních termínů s probandy probíhalo po e-mailové konverzaci či po facebookových stránkách.

Po příchodu do laboratoře byl každý účastník požádán, aby si vypnul svůj mobilní telefon (popř. jej přepnul do letového režimu) a snažil si veškeré kovové předměty (kovové věci, které by byly v kontaktu s kůží, by mohly vést k artefaktům v záznamu EEG, stejně jako radiové vlny vysílané mobilním telefonem).

Poté byl participant usazen na kovovou židli, na opěradla křesla byla položena dřevěná deska s klávesnicí. Po nasazení EEG čepice proband seděl prvních pět minut v klidu, během této doby jsme s ním udělali krátký rozhovor podle dotazníku, viz kapitola 5.2. Po pěti minutách byl záznam opět zkontrolován kvůli případným artefaktům a následovalo dvouminutové měření baseline (měření klidového stavu) při zavřených očích. Po naměření baseline byl proband požádán, aby měl nadále zavřené oči a byla mu sdělena instrukce, která zněla:

1. Až se ozve tón, pustí se skladba o délce 36 vteřin (u zácvičné skladby 25 vteřin, pozn. autorka), Vaším úkolem je pouze skladbu poslouchat.
2. Po ukončení skladby se ozve znovu stejný tón, který jste slyšel/-a na začátku. (Tón slouží k ohraničení začátku a konce skladby).
3. Pár vteřin bude ticho, pak se ozve znovu ten stejný tón, což je signál pro Vás, abyste si začal/-a představovat tu část skladby, kterou jste před chvílí slyšel/-a.
4. Poté, co si v duchu znovu představíte (přehrajete) tuto část skladby, zmáčknete prstem klávesu ESCAPE jako signál, že jste skončil/-a.
5. Zůstanete sedět a počkáte, dokud se neozve naposledy signál pro ukončení celého měření.
6. Po celou dobu poslechu i představy mějte oči zavřené. Oči neotevírejte ani v případě, že s představováním skladby skončíte dřív. Počkejte do posledního signálu.
7. Pak můžete znovu otevřít oči.

Následovala zácvičná skladba, poté experimentální. Po skončení experimentální skladby byla znovu naměřena baseline, která trvala opět dvě minuty. Po celou dobu měření byl proband požádán, aby měl zavřené oči a nehýbal se.

Během měření jsme ručně zaznamenávali tzv. eventy, jak označujeme začátky a konce jednotlivých částí experimentu. Používali jsme seznam klávesových zkratk, který jsme si k tomuto účelu sestavili. Klávesa F12 označovala začátek a konec baseline, F11 znamenala začátek a konec instrukce a případné otázky probanda. Začátek poslechu jsme označili

klávesou F9, konec imaginace pak F8. Klávesu ESCAPE zmáčkl proband sám při konci vlastní představy skladby. F5 byl pak celkový konec měření. Klávesy F12, F11, F9 a F8 se mačkaly vždy při pípnutí.

Po skončení experimentu byla probandovi nabídnuta voda k pití a poskytnut prostor pro případné otázky. Po skončení měření si mohli probandi vyzkoušet virtuální realitu.

## 5.6 Analýza dat

Data z dotazníků byla využita pro získání popisné statistiky týkající se demografických údajů, vztahu participantů k hudbě a u hudebníků také k získání historie hudebního vzdělání.

EEG záznam z měření byl nejprve v programu AcqKnowledge 4.4 rozdělen na jednotlivé úseky (baseline 1, poslech, představa, baseline 2) následujícím postupem. Základní eventy byly značeny během měření, zpětně jsme dopočítali čas konce poslechu a začátku imaginace participanta. K času značky „začátek poslechu“ jsme přičetli délku skladby (36,9 s.) a v záznamu ručně vytvořili značku konce. Následně jsme přičetli dobu pauzy (2,6 s.) a označili začátek imaginace. Pro analýzu používáme výseky začínající jednu sekundu po značce „začátek poslechu“ a končící jednu sekundu před značkou „konec poslechu“. Stejný princip byl uplatněn i v úkolu imaginace. Popsanou úpravu jsme zvolili, abychom eliminovali úseky záznamu, ve kterých mohl být participant rušen pípnutím či pohybem experimentátorky směrem ke klávesnici, na které se eventy zaznamenávaly. Dalším důvodem pro tuto úpravu byla možná latence mezi pípnutím a zmáčknutím klávesy. Celý záznam jsme pomocí nástrojů v programu AcqKnowledge rozdělili na čtyři kratší úseky, jak bylo uvedeno výše – jeden pro baseline 1 (měřeno na začátku), jeden pro poslech, jeden pro imaginaci ostré skladby a jeden pro baseline 2 (měřeno na konci).

V každém označeném úseku jsme vypočítali Power spectral density pro jednotlivé elektrody (celkem 8 elektrod) v programu AcqKnowledge. Tato metoda umožňuje u zvoleného úseku grafu říci, která frekvenční pásma či frekvence jsou v záznamu nejčastější (Rozman et al., 2006). Grafy spektrální síly (= spektrogramy) pro jednotlivé elektrody jsme pomocí funkce „Merge graphs“ spojili do jedné soustavy 8 grafů, kterou jsme exportovali do formátu „.xlsx“. Tímto krokem jsme v programu MS Excel získali jeden soubor pro každou podmínku se všemi elektrodami v jedné tabulce.

V programu MS Excel jsme dále pro každou podmínku a pro každou elektrodu vypočítali průměrnou spektrální sílu alfa aktivity v horním a dolním pásmu. Nakonec jsme tabulku převedli z formátu wide do formátu long. Tuto výslednou tabulku jsme vložili do programu Statistica 13 EN, kde jsme pokračovali aplikací tzv. lineární mixed-effect modelů.

K testování hypotéz jsme používali statistickou metodu zvanou Variance components mixed-model. Jedná se o model využívající prvky obecných lineárních modelů s prvky analýzy rozptylu. Tento model jsme zvolili na základě doporučení manuálu programu Statistica 13 EN. Vzniklý model má podobu lineárního modelu, kde závislé proměnná (tzv. fixed effects) jsou naměřené hodnoty *spektrální síly alfa aktivity* a nezávislé proměnné jsou *skupina*, *podmínka*, *elektroda* a *polovina alfa pásma*. V našem případě pocházelo více pozorování v datové matici od téhož participanta, čímž byl porušen předpoklad nezávislosti měření. Tento problém byl vyřešen vložení další nezávislé proměnné, kterou je *proband*. Tato proměnná se v případě Variance components mixed-model označuje jako náhodný faktor, což znamená, že v případě analýz model zohledňuje, že v populaci hudebníků a nehudebníků se nachází více jedinců než námi vybraný vzorek. Náhodný faktor vychází z předpokladu normálního rozložení spektrální síly alfa aktivity v populaci (TIBCO Software Inc., 2018). Pro potřeby testování hypotéz jsme definovali následující interakce: *podmínka\*elektroda*, *skupina\*podmínka\*elektroda* a *skupina\*podmínka\*polovina alfy\*elektroda*.

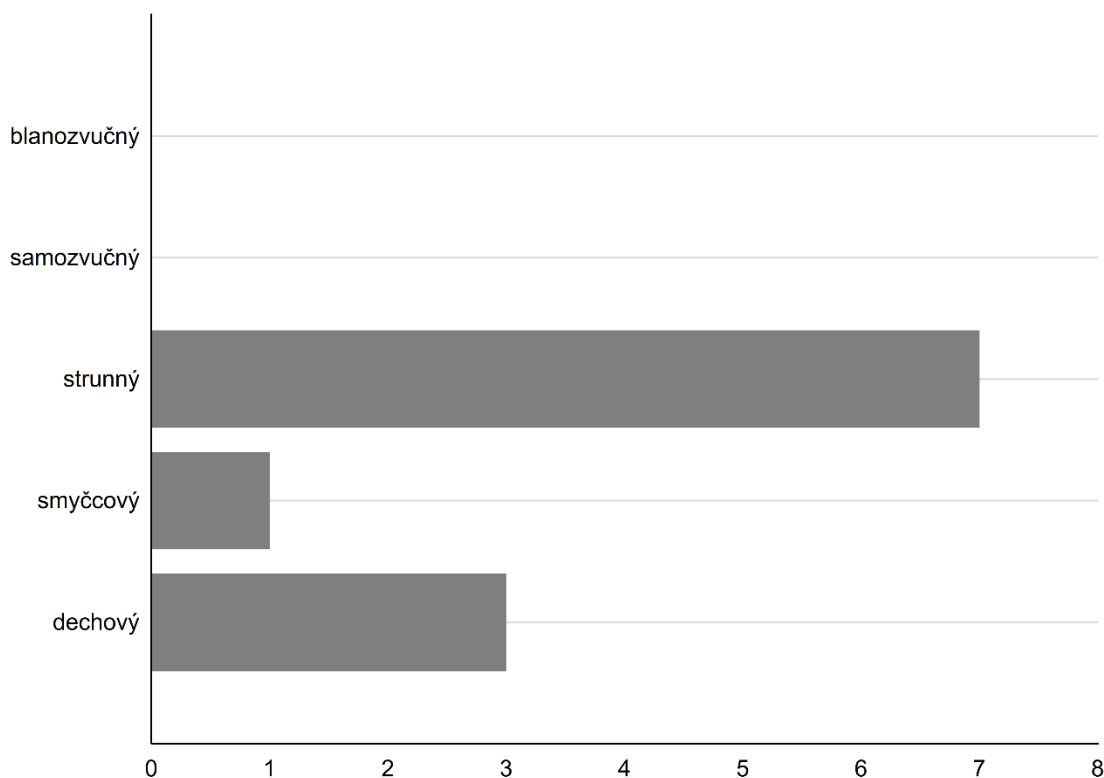
Pro aplikaci našeho modelu by měly být splněné stejné podmínky jako u jiných lineárních modelů. Naše data neměla normální rozdělení reziduí, ani nevykazovala homoskedasticitu, proto jsme data transformovali přirozeným logaritmem  $\ln(x)$ . Touto úpravou jsme naplnili obě podmínky a model mohl být aplikován.

## 6 Výsledky

### 6.1 Výsledky dotazníků

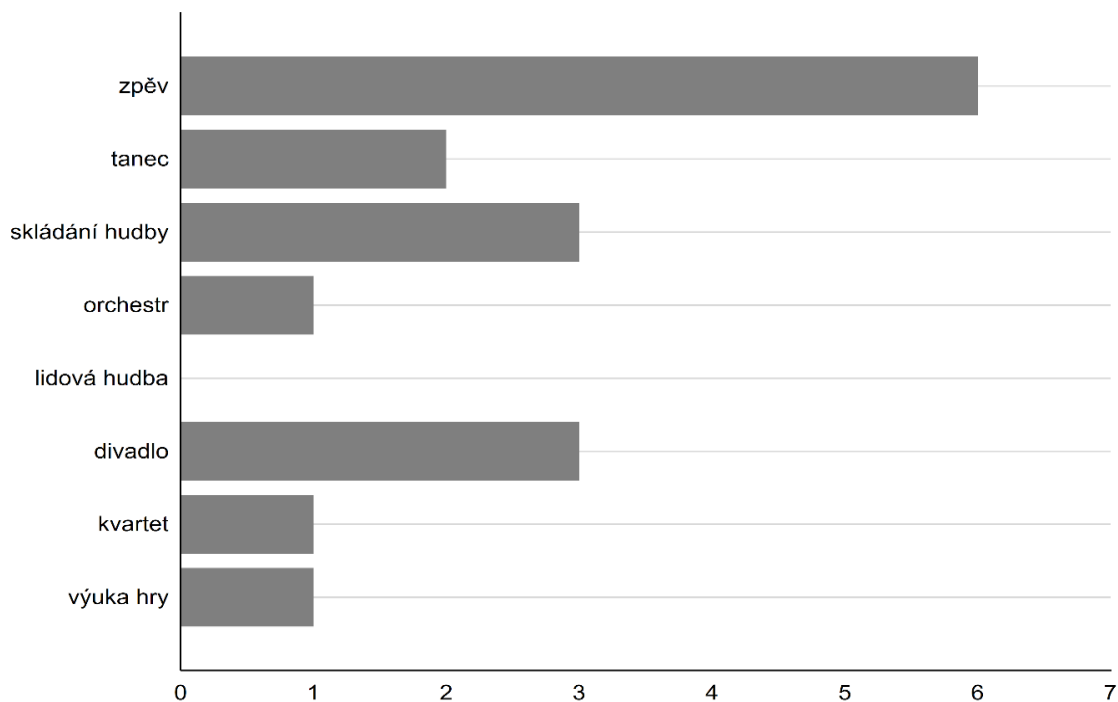
Z výsledků z dotazníků pro hudebníky vyplývá, že nejčastější hudební nástroj byl ze skupiny strunných nástrojů, následovaly dechové a poslední byly smyčcové nástroje. Sedm hudebníků uvedlo ukončený 2. cyklus hry na hudební nástroj v Základní umělecké škole (sedm let základní cyklus plus čtyři roky navíc), zbylí tři tento cyklus začali, ale neukončili. Z aktivit souvisejících s hudbou hudebníci nejvíce udávali zpěv, divadlo a skládání hudby. Devět hudebníků vypovědělo, že ke hře na hudební nástroj byli vedeni ze strany rodičů. Všichni poslouchají hudbu, sedm probandů v této skupině uvedlo, že ji poslouchají každý den, dva alespoň jednou týdně a jeden z hudebníků uvedl, že alespoň jednou měsíčně. Sedm hudebníků nepraktikuje pravidelně meditaci či relaxaci, dva používají určité techniky zklidnění a jeden to zkoušel v minulosti.

Hudební nástroje používané hudebníky ve vzorku a jejich četnost



Obrázek 3: Odpovědi na 3. otázku u skupiny hudebníků. Nejčastější nástroj, na který skupina hudebníků hrála, patřil do skupiny strunných nástrojů. Konkrétně 7 lidí uvedlo hru na klavír, z dechových nástrojů to byla flétna a smyčcové housle a violoncello.

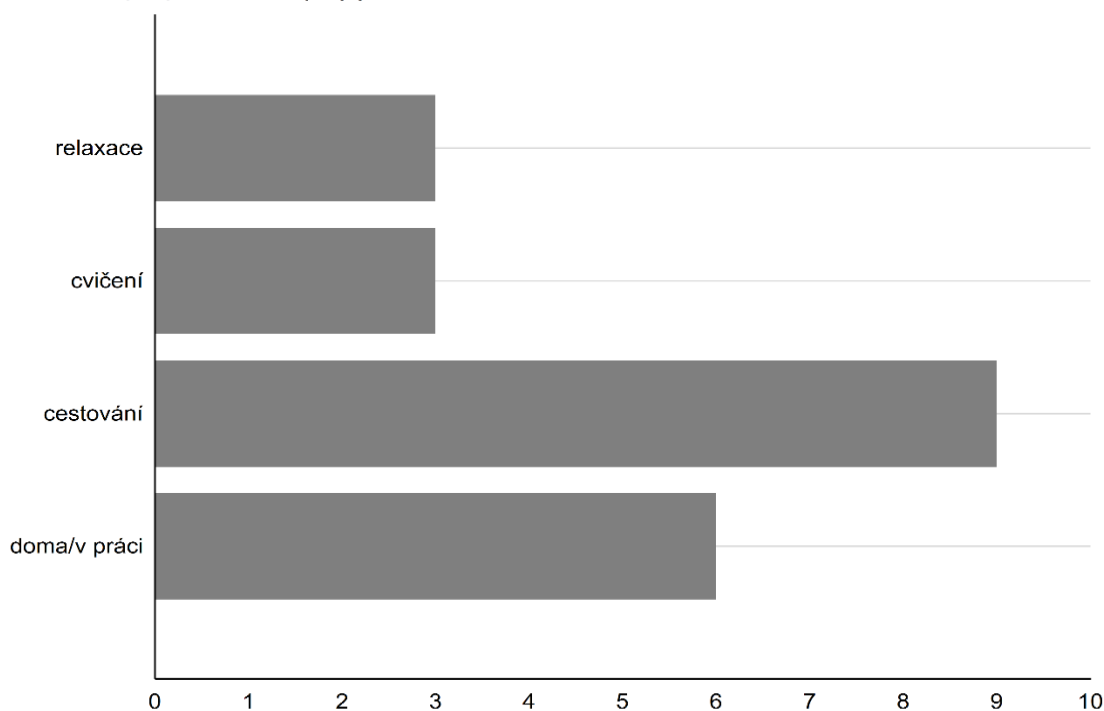
Aktivity hudebníků ve vzorku spojené s hudbou a jejich četnost



Obrázek 4: Odpovědi na 6. otázku u skupiny hudebníků. Nejčastější aktivita, která se pojí s hudebním vzděláním v našem experimentu byl zpěv, který uvedlo 6 lidí z 10. Na dalším místě se umístilo divadlo a skládání hudby.

I ve skupině nehudebníků všichni uvedli, že poslouchají hudbu, konkrétně pak pět každý den a pět alespoň jednou týdně. Nejvíce hudbu poslouchají při cestování, doma nebo v práci. Šest nehudebníků uvedlo, že meditaci nepraktikuje vůbec, dva mají zkušenosti z minulosti, a jeden praktikuje meditaci nebo relaxaci pravidelně. Jeden nehudebník uvedl, že praktikuje jógu jedenkrát týdně.

Příležitosti pro poslech hudby a jejich četnost

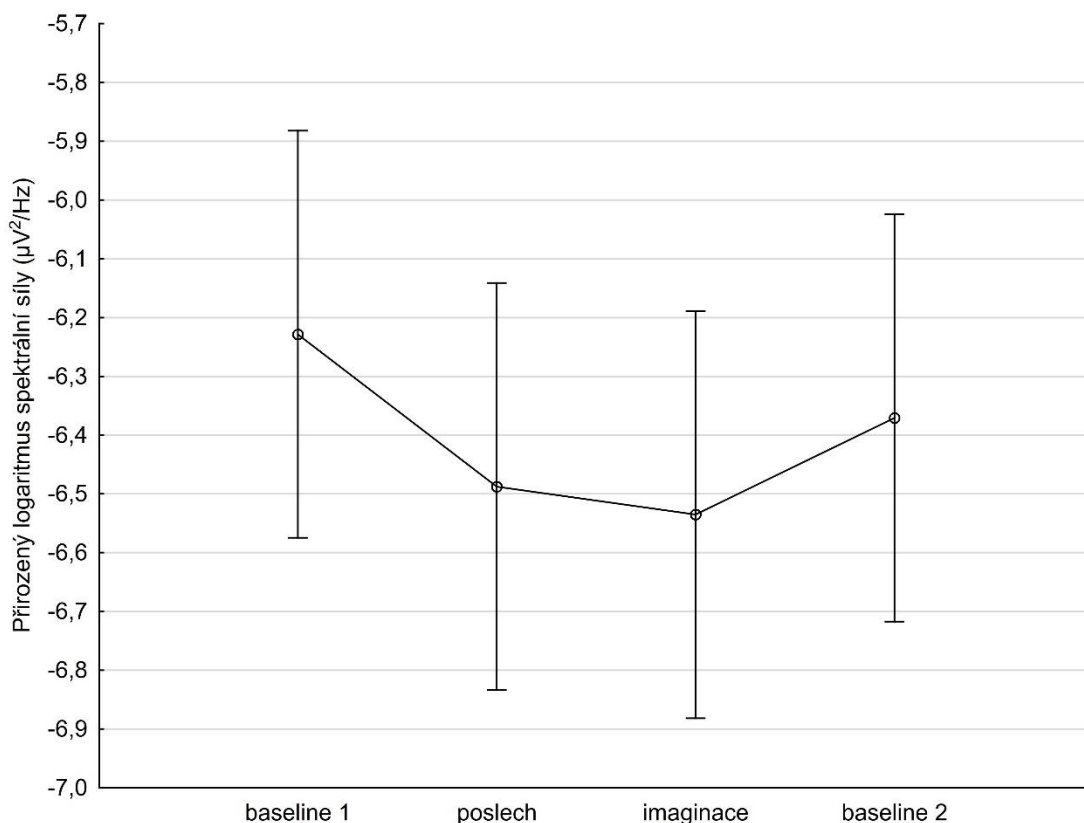


Obr. 5: Odpovědi na 5. otázku u nehudebníků. V tomto grafu můžeme vidět, že nejvíce nehudebníků poslouchá hudbu během cestování (9) nebo doma/v práci (6). V této otázce mohli probandi vybírat více možností.

## 6.2 Výsledky experimentu

H1 předpokládá rozdíl ve spektrální síle alfa aktivity mezi poslechem a představou hudby. Očekáváme, že u představy bude vyšší spektrální síla alfa aktivity než u poslechu, nehledě na rozdělení do skupiny. Statistický model ukázal statisticky významný rozdíl jednotlivými podmínkami (baseline 1, poslech, imaginace a baseline 2); [ $F(3, 1071) = 15,699, p < 0,001$ ]. Pro srovnání pouze poslechu a imaginace jsme použili test LSD (least significant difference), který používá variantu standardních t-testů pro různé páry středních hodnot. Tento test neobjevil statisticky významný rozdíl mezi aktivitou mozku při poslechu a představě hudby ( $p = 0,331$ ). Následně jsme také porovnali pomocí LSD testu rozdíl mezi baseline 1 a baseline 2. Očekáváme, že zde nebude rozdíl mezi klidovým stavem naměřeným na začátku měření a na konci. Předpokládáme, že snížení alfa aktivity bude u poslechu a představy, u baseline 2 se vrátí k hodnotám naměřených na začátku. Statistický test však

odhalil signifikantní rozdíl mezi první a druhou baseline ( $p = 0,004$ ). Výsledky znázorňuje Obr. 6.

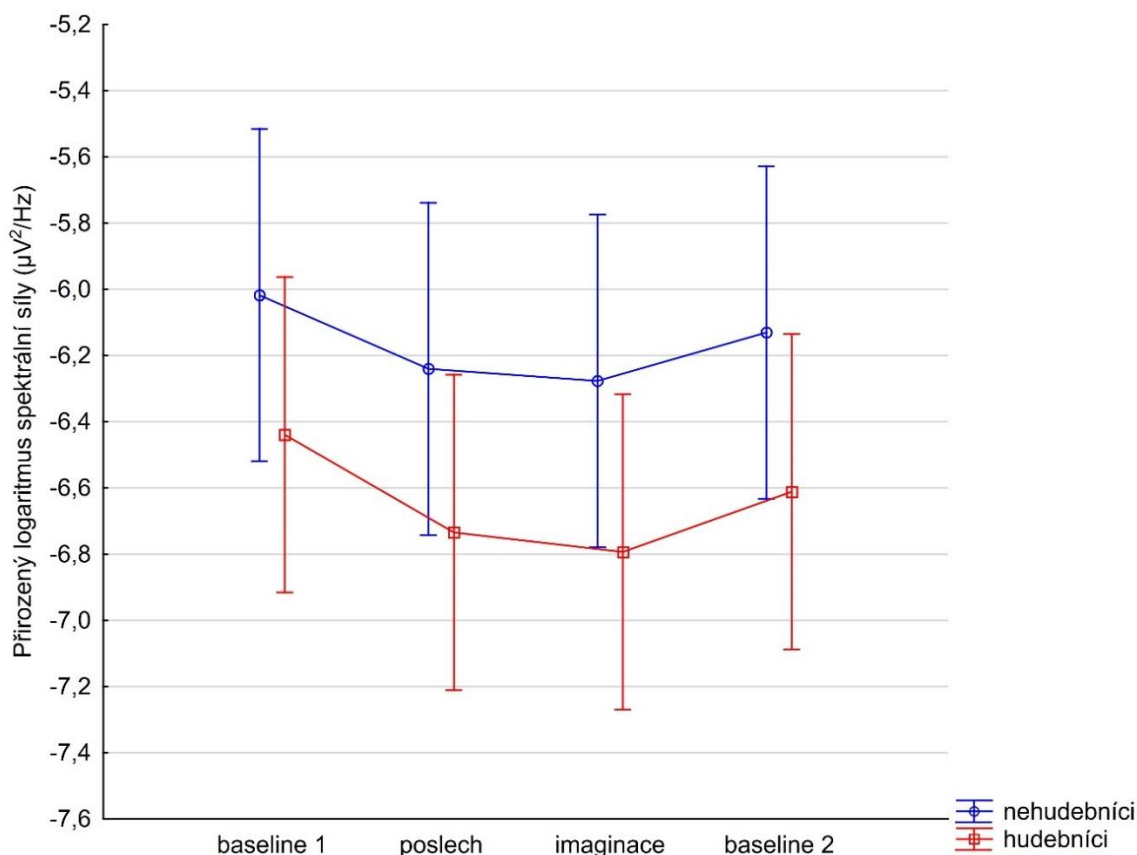


Obr. 6: Odhady průměrů logaritmu spektrální síly alfa aktivity (vypočítané metodou nejmenších čtverců) pro jednotlivé podmínky bez ohledu na hudební vzdělání pro všechny elektrody dohromady. Vertikální úsečky znázorňují 95% konfidenční interval.

Hypotéza H2 předpokládá vztah mezi skupinou hudebníků a nehudebníků v představě hudby. Očekáváme, že u skupiny hudebníků bude spektrální síla alfa aktivity vyšší než u skupiny nehudebníků. Statistický model neprokázal statistickou významnost interakce mezi podmínkou a skupinou [ $F(3, 1176) = 0,36, p = 0,781$ ]. Pomocí testu LSD jsme opět porovnali pouze představu u hudebníků a nehudebníků. Rozdíl v představě nevyšel signifikantní ( $p = 0,144$ ). Pomocí LSD testu jsme porovnávali také skupinu hudebníků a nehudebníků při baseline 1, jestli mezi nimi není rozdíl v klidové aktivitě. Výsledek neodhalil statisticky významný rozdíl mezi skupinami na začátku ( $p = 0,233$ ). Výsledný graf uvádíme na obrázku 7.

Hypotéza H3 předpokládá rozdíl spektrální síly alfa aktivity při jednotlivých podmínkách, mezi horní a dolní polovinou alfa pásma a mezi hudebníky a nehudebníky. V tomto případě statistický test odhalil signifikantní interakci mezi těmito třemi proměnnými [ $F(7, 1176) = 5,672; p < 0,001$ ]. Třetí hypotézu jsme rozdělili do variant a-d.

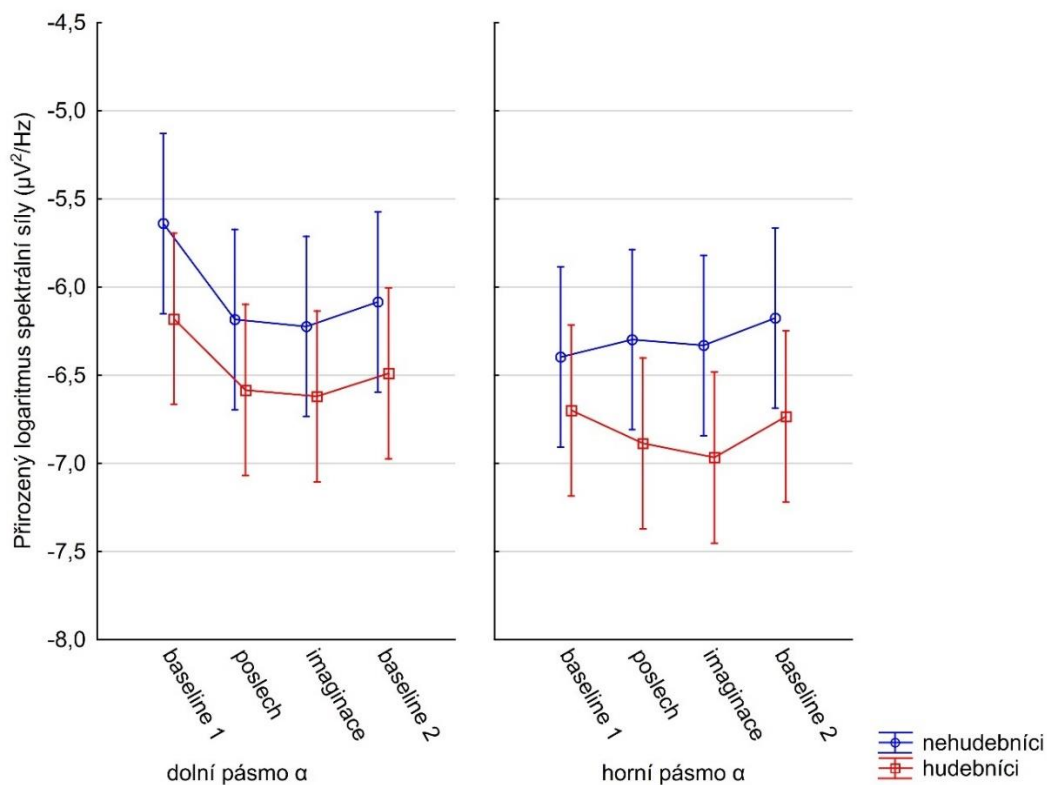
První varianta předpokládá při představě rozdíl mezi hudebníky a nehudebníky v dolním pásmu alfa aktivity. Tento předpoklad nebyl testem potvrzen ( $p = 0,27$ ).



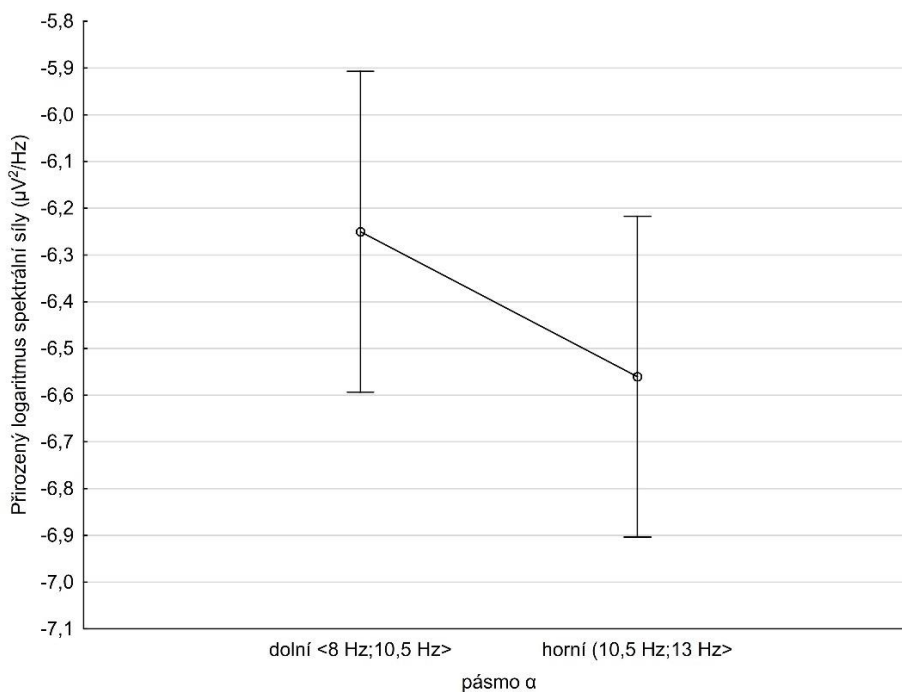
Obr. 7: Odhady průměrů logaritmu spektrální síly alfa aktivity (vypočítané metodou nejmenších čtverců) pro jednotlivé podmínky s ohledem na hudební vzdělání pro všechny elektrody dohromady. Vertikální úsečky znázorňují 95% konfidenční interval.

Varianta b předpokládala při představě rozdíl ve spektrální síle alfa aktivity v horním pásmu mezi hudebníky a nehudebníky. Ani tento předpoklad nebyl potvrzen ( $p = 0,077$ ). Následující dvě varianty se věnovaly rozdílům mezi horním a dolním pásmem alfa aktivity při imaginaci. Varianta c se týká hudebníků, kde byl při představě nalezen statisticky významný rozdíl mezi spektrální silou v horní a dolní polovině alfa pásma ( $p < 0,001$ ). U nehudebníků (varianta d) se tento předpoklad nepotvrdil ( $p = 0,276$ ). Dalo by se tedy říci, že skupina nehudebníků má aktivitu při představě rovnoměrně rozdělenou mezi horní a dolní pásmo, kdežto u hudebníků převládá jedna polovina, konkrétně mají více spektrální síly alfa aktivity v dolním pásmu. Všechny čtyři varianty H3 jsou znázorněny na obrázku 8. Bez ohledu na podmínku či skupinu vyšel rozdíl spektrální síly mezi dolní a horní polovinou alfa pásma statisticky významný [ $F(1, 1071) = 80,653, p < 0,001$ ], viz obrázek 9.



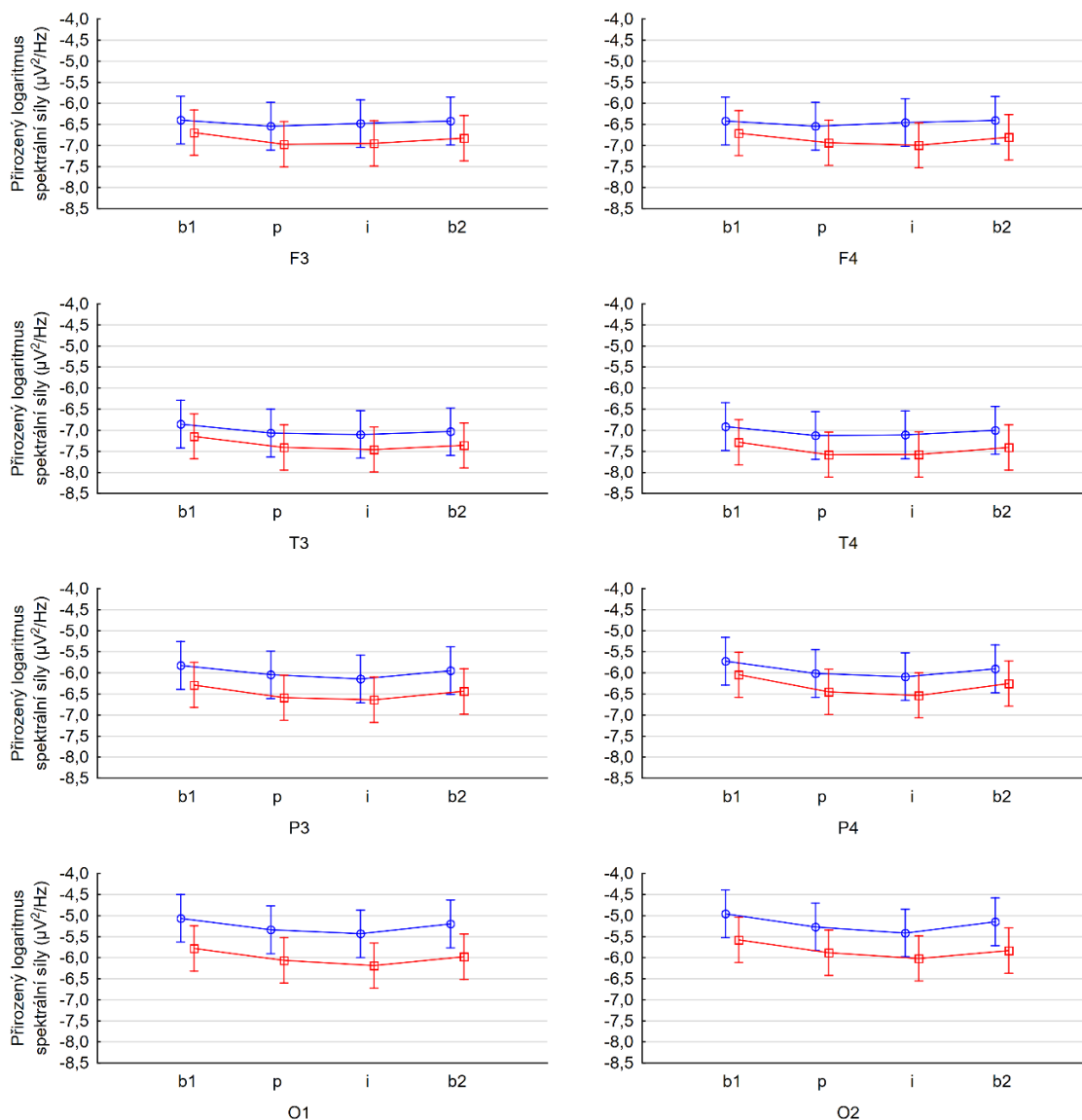


Obr. 8: Odhady průměrů logaritmu spektrální síly alfa aktivity (vypočítané metodou nejmenších čtverců) pro horní a dolní pásmo, pro všechny podmínky s rozdělením na skupinu hudebníků a nehudebníků pro všechny elektrody dohromady. Vertikální úsečky znázorňují 95% konfidenční interval.



Obr. 9: Odhady průměrů logaritmu spektrální síly alfa aktivity (vypočítané metodou nejmenších čtverců) pro horní a dolní pásmo nezávisle na hudebním vzdělání, jednotlivých podmínkách, pro všechny elektrody dohromady. Vertikální úsečky znázorňují 95% konfidenční interval.

Poslední hypotéza H4 předpokládala rozdíl spektrální síly alfa aktivity při poslechu hudby na jednotlivých elektrodách u skupiny nehudebníků a hudebníků. Tento předpoklad nebyl potvrzen, interakce mezi uvedenými proměnnými není signifikantní [ $F(31, 1071) = 0,535, p = 0,983$ ]. Tento výsledek znázorňuje obrázek 10.



Obr. 10: Odhady průměrů logaritmu spektrální síly alfa aktivity (vypočítané metodou nejmenších čtverců) pro jednotlivé podmínky. Červenou čarou je označena skupina hudebníků, modrou skupina nehudebníků. Graf uvádí hodnoty pro jednotlivé elektrody zvlášť. Vertikální úsečky znázorňují 95% konfidenční interval.

### 6.3 Odpovědi na výzkumné otázky a testování hypotéz

Výzkumné otázky:

1. *Liší se spektrální síla alfa aktivity při poslechu a představě hudby?*

Naměřené hodnoty spektrální síly alfa aktivity při poslechu a při imaginaci se od sebe navzájem statisticky významně nelišily.

*II. Existuje rozdíl mezi spektrální silou alfa aktivity mezi skupinou hudebníků a nehudebníků?*

Při statistickém testování hodnot získaných od zkoumaných skupin nebyl mezi nimi nalezen statisticky významný rozdíl.

*III. Existuje interakce mezi horním a dolním pásmem při baseline 1, 2, poslechu a imaginaci mezi skupinou hudebníků a nehudebníků?*

Podle výsledků z našich analýz je rozdíl mezi horním a dolním pásmem v jednotlivých podmínkách mezi skupinou hudebníků a nehudebníků.

*IV. Existuje rozdíl mezi spektrální silou alfa aktivity při poslechu hudby na jednotlivých elektrodách mezi skupinou hudebníků a nehudebníků?*

Podle námi naměřených dat neexistuje rozdíl mezi spektrální silou alfa aktivity při poslechu hudby na jednotlivých elektrodách mezi skupinou hudebníků a nehudebníků.

Výzkumné hypotézy:

*Hypotéza 1. Spektrální síla alfa aktivity při poslechu a představě hudby se významně liší.*

Statistický model nenalezl rozdíl mezi spektrální silou alfa aktivity při poslechu a při představě hudby.

*Hypotéza 2. Spektrální síla alfa aktivity při představě hudby mezi skupinou hudebníků a nehudebníků se významně liší.*

Statistický model nenalezl rozdíl mezi spektrální silou alfa aktivity mezi hudebníky a nehudebníky.

*Hypotéza 3. Při představě hudby existuje významná interakce mezi dolním/horním pásmem alfa aktivity a hudebníky/nehudebníky.*

Statistický model prokázal statistickou významnost interakce při jednotlivých podmínkách, mezi horní a dolní polovinou alfa pásma a mezi hudebníky a nehudebníky

*Hypotéza 3a. Spektrální síla dolního pásma alfa aktivity při představě hudby se významně liší mezi hudebníky a nehudebníky.*

Statistický model nenalezl rozdíl mezi spektrální silou alfa aktivity dolního pásma alfa aktivity při představě hudby mezi skupinou hudebníků a nehudebníků.

*Hypotéza 3b. Spektrální síla horního pásma alfa aktivity při představě hudby se významně liší mezi hudebníky a nehudebníky*

Statistický model nenalezl rozdíl mezi spektrální silou alfa aktivity horního pásma alfa aktivity při představě hudby mezi skupinou hudebníků a nehudebníků.

*Hypotéza 3c. Rozdíl spektrální síly mezi horním a dolním pásmem alfa aktivity u hudebníků při představě se významně liší.*

Statistický model odhalil rozdíl mezi horním a dolním pásmem alfa aktivity při imaginaci u hudebníků.

*Hypotéza 3d. Rozdíl spektrální síly mezi horním a dolním pásmem alfa aktivity u nehudebníků při představě se významně liší.*

Statistický model neodhalil rozdíl mezi horním a dolním pásmem alfa aktivity při imaginaci u nehudebníků.

*Hypotéza 4: Spektrální síla alfa aktivity při poslechu hudby se významně liší na jednotlivých elektrodách mezi skupinou hudebníků a nehudebníků.*

Statistický model neodhalil rozdíl spektrální síly alfa aktivity při poslechu hudby na jednotlivých elektrodách u skupiny nehudebníků a hudebníků.

## **7 Diskuze**

Výzkumy, které se zabývají rozdílem mezi hudebníky a nehudebníky v dnešní době zkoumají hlavně funkční změny v mozku. K tomu používají funkční magnetickou rezonanci nebo pozitronovou emisní tomografii. Naším cílem bylo spojit výzkumy srovnávající hudebníky a nehudebníky s výzkumem Schaefer et al. (2011), kteří se zabývali poslechem a představou. Z jejich výsledků vyplynulo, že u představy by měla být alfa aktivita silnější než u poslechu. Oproti tomu skupina výzkumů (Zatorre & Halpern, 2005; Haslinger, et al., 2005; Kraemer et al., 2005 a další), používající převážně funkční magnetickou rezonanci, zjistila, že mezi poslechem hudby a představou není rozdíl v mozkové aktivitě. Výzkumníci došli k závěru, že při představě se aktivují stejné oblasti mozku jako při poslechu, tedy sluchová, popřípadě motorická kůra. Výsledky z našeho experimentu naznačují, že tomu tak je nejen na úrovni lokalizace aktivity, ale také v rovině naměřené mozkové aktivity během těchto

dvou procesů. Předpokládali jsme, že nebude rozdíl mezi baseline 1 a 2, protože očekáváme, že snížení spektrální síly alfa aktivity je způsobené úkolem a ne časem. V našem případě rozdíl vyšel statisticky významný. Důvodem může být krátký čas mezi poslechem, imaginací a začátkem měření baseline 2. Po konci měření někteří probandi udávali, že během baseline 2 jim v duchu hrály předchozí skladby, čili probandi nebyli stejně uvolnění jako na začátku měření.

Domnívali jsme se, že by bylo vhodné zvážit případný vliv hudebního vzdělání na poslech a představu hudby. Napřed jsme porovnali skupinu hudebníků a nehudebníků v podmínce baseline 1, abychom se ujistili, že se od sebe výrazně neliší. Dle našich výsledků není mezi skupinami signifikantní rozdíl. Můžeme tedy říci, že skupina hudebníků a nehudebníků se od sebe v klidovém stavu signifikantně neliší. Z výzkumů Sluming et al. (2002); Parsons (2003); Schlaug (2003); Haddon (2007) aj. vyplývá, že vlivem dlouhodobého hudebního vzdělání dochází k funkčním a strukturálním změnám v mozku hudebníka. U hudebníků dochází při představě melodie k aktivaci primární, sekundární i asociačních sluchových oblastí. Navíc u hudebníků dochází také k aktivaci motorických oblastí, protože si danou skladbu v duchu přehrávají. Protože hudebníci jsou zvyklí na představování si skladby, měli by podle našeho předpokladu být při představě více uvolnění (výraznější alfa aktivita) v porovnání s nehudebníky. Naše výsledky neukázaly statisticky významný rozdíl mezi hudebníky a nehudebníky. V porovnání s nehudebníky však mají hudebníci nesignifikantně nižší spektrální sílu alfa aktivity. Tento výsledek naznačuje, že představa skladby byla pro skupinu hudebníků jednodušší než pro nehudebníky. Ve skupině nehudebníků se autorka setkala s tím, že někteří nehudebníci si během představy skladby nebyli jistí, jestli si vybraný úsek představovali správně. Při snaze o správnou reprodukci v duchu tudíž nebyli uvolnění a jejich alfa aktivita byla méně výrazná. Možným vysvětlením, proč nebyl objeven signifikantní rozdíl, může být i odlišnost v úkolech oproti předchozím výzkumům, na jejichž základě byla hypotéza postavena. V dříve citovaných výzkumech s hudebníky a nehudebníky se zkoumala aktivita mozku pomocí funkční magnetické rezonance při poslechu hudby a následném hraní na nějaký hudební nástroj (nejčastěji piano).

K hlavním přínosům našeho experimentu patří objevení rozdílu mezi aktivitou v horní a dolní polovině spektrální síly alfa aktivity naměřené nezávisle na podmínce či hudebním vzděláním. Ukázalo se, že většina spektrální síly alfa aktivity spadala do spodní poloviny, tj. 8 až 10,5 Hz. Naše výsledky tudíž naznačují, že probandi byli během měření uvolnění, úkoly pro ně nebyli extrémně složité. Při porovnání rozdílů mezi hudebníky a nehudebníky

a jejich aktivitou v dolním pásmu se neukázal významný rozdíl, stejně jako v porovnání v aktivitě v horním pásmu. Z obrázku 8 je však patrné, že v horním pásmu při představě je u hudebníků výrazně nižší alfa aktivita než u nehudebníků. Tento výsledek může ukazovat na skutečnost, že pro nehudebníky byla představa složitější než pro hudebníky. Z výsledků Cooper et al., (2003) vyplývá, že alfa aktivita se zvyšuje se zvyšující se obtížností úkolů. Naše výsledky naznačují, že pro skupinu nehudebníků byla představa složitější, tudíž mají vyšší spektrální sílu alfa aktivity v horním pásmu. Vyšší aktivita v horním pásmu také dle našeho předpokladu souvisím s úsilím, protože naměřená frekvence se přibližuje spíše k beta pásmu, které naměříme při mentální nebo fyzické aktivitě. Při porovnání rozdílu mezi horním a dolním pásmem v závislosti na hudebním vzdělání se ukázalo, že u hudebníků je signifikantní rozdíl mezi horním a dolním pásmem s tím, že mají více aktivity ve spodní pásmu. Jsou tudíž uvolněnější, což odpovídá výsledkům Haddon (2007), že pro hudebníky je představa skladby něco, co používají během let tréninku často, a tudíž jsou více uvolnění. Ve skupině nehudebníků tento rozdíl nalezen nebyl.

Vzhledem k tomu, že síla alfa aktivity roste směrem k zadní části lebky, očekávali jsme, že nejsilnější spektrální sílu alfa aktivity naměříme v okcipitální oblasti (elektroda  $O_1$  a  $O_2$ ). Z obrázku 10 je patrné, že spektrální síla alfa aktivity je na těchto elektrodách největší, nicméně statisticky významný rozdíl oproti jiným zde není. Není zde ani rozdíl mezi aktivitou na levé nebo pravé straně, který bychom očekávali na základě výsledků z výzkumů Davidson & Schwartz (1977); Bever & Chiarello (1974); McElwain (1979). Také bychom očekávali výraznější aktivitu na pravé straně u nehudebníků. Překvapujícím zjištěním je fakt, že spektrální síla alfa aktivity naměřená v našem experimentu na temporálních lalocích ( $T_3$  a  $T_4$ ) je velmi malá. V těchto místech jsme očekávali výraznější aktivitu vzhledem k tomu, že se v těchto místech nachází sluchová centra, která byla aktivní při poslechu hudby. Možným vysvětlením může být nesprávně zvolené frekvenční pásmo, jelikož alfa aktivita dosahuje maxima v parieto-okcipitálních oblastech, nikoli na temporálních lalocích. Na obrázku 10 je patrné, že spektrální síla alfa aktivity při imaginaci je nepatrně nižší na elektrodách  $F_3$  a  $F_4$  v porovnání s  $O_1$  a  $O_2$ . Očekávali jsme, že v podmínce imaginace bude výsledek opačný, díky zapojení exekutivních funkcí při imaginaci. Důvodem může být opět nesprávně zvolené frekvenční pásmo. Vyhodnocovali jsme pouze aktivitu v alfa pásmu, která se nachází při relaxaci, při zavřených očích. Pokud bychom se při imaginaci zaměřili i na jiná frekvenční pásma, například beta, která je dominantní v precentrální a čelní části mozku a je charakteristická pro mentální a fyzické činnosti, mohli bychom potenciálně nalézt rozdíl.

Je potřeba zmínit několik limitů našeho experimentu. Zaprvé jsme nasbírali nedostatečný vzorek. Náš vzorek byl vhodný pro testování hypotéz o rozdílu mezi aktivitou mozku při poslechu a představě, nicméně u rozdělení na skupinu hudebníků a nehudebníků nemůžeme naše výsledky zobecňovat na celou populaci. Z výsledků je patrné, že mezi skupinou hudebníků a nehudebníků byl rozdíl v podmínkách poslech a představa. Možná díky malému vzorku žádný z těchto rozdílů není statisticky významný. Patrný, ale nesignifikantní je rozdíl také v baseline 1 u skupiny hudebníků a nehudebníků. V našem souboru hudebníků začali všichni hrát na hudební nástroj v dětství, což mohlo vést k funkčním a strukturálním změnám v jejich mozku (Schlaug, 2003; Pantev et al., 2003; Schlaug, 1995 aj.), díky čemuž mohou mít hudebníci obecně nižší spektrální sílu alfa pásma. Pro objasnění doporučujeme další výzkum věnující se bazální spektrální síle alfa aktivity u hudebníků a nehudebníků.

V našem výzkumném souboru ve skupině hudebníků jsme měli dva leváky (muž a žena), zbytek participantů byli praváci. Ve skupině nehudebníků nebyl žádný levák. V našem konkrétním případě se domníváme, že zde lateralita osob nemá vliv na výsledky, jelikož jsme analyzovali spektrální sílu alfa aktivity ze všech elektrod dohromady, nezaměřovali jsme se na jednotlivé mozkové hemisféry. V našem případě nemáme dost dat pro zjištění rozdílů mezi zpracováním hudby u leváků a praváků, proto doporučujeme další výzkum.

K dalším významným limitům patří výběr skladeb. Ačkoli jsme se snažili o výběr skladby, která bude známá a snadno představitelná, nemůžeme zaručit, že to platilo pro všechny probandy. Svou roli mohlo hrát také pořadí skladeb, kdy zácvičnou lidé hodnotili jako snadnější. Experimentální skladba mohla být v porovnání se zácvičnou těžší.

I když jsme se snažili vybrat skladby, které si lze jednoduše představit, během měření jsme neměli žádnou kontrolu imaginace u jednotlivých probandů kromě otázky po skončení měření, jestli si skladbu dokázali představit a jestli si ji pamatovali celou.

Vliv poslechu hudby na lidskou psychiku se zkoumá v oblasti léčby mírných poruch nálad, mírných kognitivních deficitů, v redukci stresu či v hudební psychologii. Například výzkum Fachmer, Gold, & Erkkilä (2013) kombinoval muzikoterapii a standardní léčbu při léčbě deprese s přidruženou úzkostí. Jednalo se o improvizální psychodynamickou hudební terapii využívající verbální a hudební reflexe emocí a obrazů. Po třech měsících léčby došlo u pacientů k trvalé změně v klidovém EEG, došlo také ke změnám v alfa a theta pásmu ve fronto-temporálních oblastech. Vliv příjemné hudby se používá také u dětí s kochleárními implantáty. U těch dětí, které měly dva implantáty, byla topografická distribuce EEG

spektrální síly v alfa pásmu podobná jako u dětí, které nemají vadu sluchu (Marsella et al., 2014). Léčebný vliv poslehu hudby se zkoumal i v rámci léčby osteopatie, konkrétně účinek synchronizovaného a desynchronizovaného poslehu a ticha. Byl odhalen účinek synchronizovaného poslehu oproti desynchronizovanému. Hudba tedy může mít schopnost modulovat empatii mezi pacientem a terapeutem. Obecně hudba vytváří lepší podmínky pro empatii ve srovnání s tichem (Mercadié, Caballe, Aucouturier, & Bigand, 2014).

Naše závěry naznačují, že mozek vykazuje podobnou aktivitu při poslechu i při představě skladby. V našem případě se nepodařilo prokázat vliv hudebního vzdělání na aktivitu mozku při představě. Zkušenost s hudbou má vliv na mozek v případě porovnání rozdílů mezi aktivitou při představě mezi dolním a horním pásmem spektrální síly alfa aktivity. U hudebníků je nalezen statisticky významný rozdíl v této aktivitě.



# Závěr

---

Cílem našeho experimentu bylo provést podobný experiment, jako provedl výzkumný tým ve složení Schaefer et al. (2011) s tím rozdílem, že budeme zohledňovat vliv hudebního vzdělání. Závěr z jejich výzkumu byl ten, že při představě skladby je vyšší alfa aktivita než při poslechu, v jejich výzkumném souboru byli jedinci s hudebním vzděláním i bez něho. V našem případě se neukázal rozdíl mezi poslechem skladby z klasického žánru a představou ve spektrální síle alfa aktivity, což ukazuje na podporu výsledků výzkumů využívající funkční magnetickou rezonanci, ze kterých vyplývá, že při představě dochází k aktivaci sluchové kůry stejně jako při poslechu, tudíž zde není rozdíl. Vliv hudebního vzdělání na aktivitu mozku při představě se nám nepodařilo prokázat. Rozdíl mezi hudebníky a nehudebníky byl patrný ve všech podmínkách (baseline 1, poslech, představa, baseline 2), rozdíl se ale neukázal jako statisticky významný. U osob s hudebním vzděláním byla ve všech testovaných hypotézách zjištěna nižší spektrální síla alfa aktivity než u nehudebníků. Při porovnání spektrální síly alfa aktivity mezi horní a dolní polovinou alfa pásma statistický test odhalil rozdíl, přičemž většina naměřené aktivity se vyskytovala v dolním pásmu (8–10,5 Hz). Tento test byl proveden nezávisle na jednotlivých podmínkách a hudebním vzděláním. Výsledek ukazuje na skutečnost, že během experimentu byli účastníci uvolnění a úkoly pro ně nebyly příliš složité. Nepodařilo se nám prokázat preferenci levé hemisféry u hudebníků a pravé u nehudebníků, protože statistický test neodhalil rozdíl ve spektrální síle alfa aktivity při poslechu hudby na jednotlivých elektrodách ve skupině hudebníků i nehudebníků.

# Souhrn

---

Tato práce se ve své teoretické části zabývá popisem sluchového ústrojí, zpracováním zvuků v mozku a rozdílem mezi hudebníky a nehudebníky. V praktické části se následně zabýváme provedeným experimentem zkoumajícím rozdíl mezi poslechem a představou hudby mezi hudebníky a nehudebníky.

Zvuky můžeme rozdělovat na hudební, tzv. tóny, a nehudební (šelest, vrzání, rány apod.). Tóny vznikají pravidelným chvěním struny, hlasivek či vzduchového sloupce. Lidské ucho vnímá frekvence od 16 Hz (infrazvuk) do 20 000 Hz (ultrazvuk). Sluchový systém rozdělujeme na zevní ucho (boltec, zvukovod, bubínek), střední ucho (sluchové kůstky, oválné a kruhové okénko) a vnitřní ucho (kostěný a blanitý hlemýžď). Následuje sluchová dráha, která je zakončená v centrální části sluchového analyzátoru, který zahrnuje sluchový nerv a příslušné oblasti v mozku (Mysliveček et al., 2009). Primární sluchová kůra se nachází v temporálních lalocích (Trans Cranial Technologies Ltd., 2012). Dalšími důležitými oblastmi jsou planum temporale a zevní plocha spánkového závitu (Koukolík, 2012).

Hledáním a popisováním rozdílů v mozku hudebníků a nehudebníků se vědci věnují zhruba od 19. století. Mezi mozky hudebníků a nehudebníků se našel rozdíl v corpus callosum, právě díky dlouhodobé motorické aktivitě, která vedla k mikrostrukturálním změnám (Schlaug et al., 1995). Také se u hudebníků v orchestru objevilo zvýšení hustoty šedé hmoty v Brockově oblasti, což naznačuje význam hudebního tréninku pro frontotemporální plasticitu mozku (Sluming et al., 2002).

Zhruba od 60. let minulého století se velmi diskutovaným tématem stala cerebrální dominance. Řada výzkumníků v té době uvažovala o dominanci pravé hemisféry při zpracování hudby (Franěk, 2005). K opačným výsledkům vedla práce Bevera a Chiarella z roku 1974. Ve svém výzkumu zjistili, že hudebníci lépe zpracovávali jednoduché melodie, pokud byly pouštěny do pravého ucha (levá hemisféra). Předpokládali, že hudebníci při poslechu analyzují jednotlivé části melodie čili se jedná o tzv. analytické zpracování. Nehudebníci, u kterých byla dominantní pravá hemisféra, vnímají melodii holisticky. Tento předpoklad dokládá řada výzkumů, ve kterých se ukázala u skupiny hudebníků dominantnější levá hemisféra při zpracování hudby. Obecně by se dalo říci, že čím je hudební vzdělání delší, tím je aktivace levé hemisféry vyšší. V současné době se ukazuje, že

levá hemisféra je dominantnější při zpracování například rytmické stránky, pravá pak ve vnímání melodické linky (Franěk, 2005).

Při měření EEG dochází ke snímání aktivity mozku (Hynek, 2001). Záznam neboli elektroencefalogram se měří pomocí elektroencefalografu. Při měření rozlišujeme aktivitu spontánní (měřená v klidu) nebo evokovanou (odpověď organismu na vnější smyslové podněty) (Penhaker et al., 2004). Alfa rytmus (8-13 Hz) nalezneme v záznamu při relaxaci a při zavřených víčkách (Šimek & Stein, 1969). Beta pásmo pak nalezneme při frekvenci 13-30 Hz při mentální a fyzické činnosti člověka (Procházka & Sedláčková, 2015). Pro měření se používá speciálně upravená čepice s 19 elektrodami (plus 2 elektrody na ušní lalůčky). Těchto 19 elektrod je umístěných podle mezinárodního systému 10-20, kdy vzdálenosti mezi elektrodami jsou rozděleny do částí po 10 % a 20 %. Elektrody pro snímání EEG jsou vyrobeny ze směsi stříbra a chloridu stříbrného (Penhaker et al., 2004).

Pokud jedinec poslouchá skladbu, která se mu líbí, aktivuje se hippokampus a inferiorní frontální kortex. Pokud člověk hraje na hudební nástroj, zpívá nebo diriguje, aktivují se oblasti frontálních laloků, motorická a senzorická kůra (Levitin, 2006). Výsledky z funkčních zobrazovacích metod ukazují, že k neurální aktivitě ve sluchovém kortexu nepotřebuje člověk reálně slyšet tón. Při hudebních představách dochází k aktivaci sekundárního sluchového kortexu (Zatorre & Halpern, 2005). Pomocí EEG bylo zjištěno, že představování si zvuku vyvolává signifikantně silnější alfa aktivitu oproti vnímání skladby (Schaefer et al., 2011). Pokud se úkoly s představou ztěžují, dochází ke zvyšování alfa aktivity (Cooper et al., 2003).

U hudebníků dochází při hře na hudební nástroj k nižšímu zapojení kortikální motorické přípravy oproti nehudebníkům (Wright et al., 2012). U hudebníků dochází k aktivaci sluchových, ale i motorických oblastí při poslechu skladby. Tento jev je pravděpodobně způsoben vlivem tréninku, jak ukazuje výzkum Bangert et al. (2001).

Cílem mé diplomové práce bylo ověřit hypotézu o rozdílné spektrální síle alfa pásma při poslechu a představě hudby nezávisle na hudebním vzdělání. Skladba byla vybrána z klasického žánru. K dalšímu cíli pak patřilo posoudit případný vliv hudebního vzdělání na spektrální sílu alfa pásma při představě. Naše první dvě hypotézy se týkaly spektrální síly alfa aktivity při poslechu a představě hudby a případného rozdílu mezi hudebníky a nehudebníky. Třetí hypotéza se týkala rozdílu spektrální síly alfa aktivity při jednotlivých podmínkách (baseline 1, poslech, představa, baseline 2), mezi horní (10,5 – 13 Hz) a dolní (8 – 10,5 Hz) polovinou spektrální síly alfa pásma a mezi hudebníky a nehudebníky. Poslední hypotéza předpokládala rozdíl spektrální síly alfa aktivity při poslechu hudby na

jednotlivých měřených elektrodách u skupiny nehudebníků a hudebníků. Výzkumný soubor tvořilo 10 hudebníků s minimálně sedmiletou zkušeností s hrou na hudební nástroj a 9 nehudebníků. Nehudebníci byli vybíráni na základě nulové zkušenosti s hrou na hudební nástroj a s jinými aktivitami souvisejícími s hudbou (zpěv, tanec, divadlo, skládání hudby).

Statistický model neodhalil signifikantní rozdíl ve spektrální síle alfa aktivity při poslechu a představě hudby, a to dokonce ani při rozdělení na hudebníky a nehudebníky. Statisticky významný rozdíl byl nalezen v rozdílu mezi spektrální silou alfa aktivity mezi dolním a horním pásmem alfa aktivity u hudebníků. U nehudebníků se tento jev nevyskytoval. Nezávisle na podmínce a hudebním vzděláním byla většina aktivity nalezena v dolním pásmu alfa aktivity. Nejvíce spektrální síla alfa aktivity bylo naměřeno na okcipitálních lalocích, nejméně pak na temporálních lalocích. Nebyl zde prokázán žádný rozdíl mezi hudebníky a nehudebníky.

Sluming et al. (2002); Parsons (2003); Schlaug (2003); Haddon (2007) aj. naznačují, že hudební vzdělání vede ke strukturálním a funkčním změnám v mozku, a tudíž jsme předpokládali nižší spektrální sílu alfa aktivity u hudebníků při představě. Rozdíl v očekávaném směru jsme našli, ale nebyl statisticky významný. Z analýz vyplývá, že u hudebníků při představě je spektrální síla alfa aktivity více ve spodní polovině, což naznačuje, že je pro ně představa jednodušší; to odpovídá výsledkům Haddon (2007), který tvrdil, že pro hudebníky je běžné si melodie představovat. V souladu s obecnou definicí alfa aktivity byla její spektrální síla nejvyšší v okcipitálních lalocích. Na rozdíl od výzkumů Davidson & Schwartz (1977); Bever & Chiarello (1974); McElwain (1979) jsme však nenalezli důkazy o rozdílném zpracování hudby v levé a pravé hemisféře. Mezi limity patří nedostatečný vzorek, výběr skladby (její známost a snadnost představy) a nemožnost kontroly představy.

# Literatura

---

- Bangert, M., Haeusler, U., & Altenmüller, E. (2001). On practice: How the brain connects piano keys and piano sounds. *Annals New York Academy of Sciences*, 425-428.
- Bever, T., & Chiarello, R. (1974). Cerebral dominance in musicians and non-musicians. *Science*, 537-539.
- Cooper, N. R., Croft, R. J., Dominey, S. J., Burgess, A. P., & Gruzelier, J. H. (2003). Paradox lost? Exploring the role of alpha oscillation during externally vs. internally directed attention and the implications for idling and inhibition hypotheses. *International Journal of Psychophysiology*, 65-74.
- Davidson, R. J., & Schwartz, G. E. (1977). The influence of musical training on patterns of EEG asymmetry during musical and non-musical self-generation tasks. *Psychophysiology*, 58-63.
- DeLosAngeles, D., Williams, G., Burston, J., Fitzgibbon, S. P., Lewis, T. W., Grummett, T. S., . . . Willoughby, J. O. (2016). Electroencephalographic correlates of states of concentrative meditation. *International Journal of Psychophysiology*, 27-39.
- Faber, J. (2001). *Elektroencefalografie a psychofyziologie*. Praha: ISV nakladatelství.
- Fachmer, J., Gold, C., & Erkkilä, J. (2013). Music therapy modulates fronto-temporal activity in rest-EEG in depressed clients. *Brain Topography*, 338-354.
- Ferjenčík, J. (2000). *Úvod do metodologie psychologického výzkumu*. Praha : Portál.
- Franěk, M. (2005). *Hudební psychologie*. Praha: Karolinum.
- Haddon, E. (2007). What does mental imagery mean to university music students and their professors? *Proceeding of the International Symposium on Performance Science 2007* (stránky 301-306). Utrecht: European Association of Conservatoires.
- Halpern, A. R. (2012). Dynamic aspects of musical imagery. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 200-205.
- Haslinger, B., Erhard, P., Altenmüller, E., Schroeder, U., Boecker, H., & Ceballos-Baumann, A. O. (2005). Transmodal Sensorimotor Networks during Action Observation in Professional Pianists. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 282-293.
- Haueisen, J., & Knösche, T. R. (2001). Involuntary Motor Activity in Pianists Evoked by Music Perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 786-792.

- Hirshkowitz, M., Earle, J., & Paley, B. (1978). EEG alpha asymetry in musicians and non-musicians: A study of hemispheric specialization. *Neuropsychologia*, 125-128.
- Holas, M. (2013). *Psychologie hudby v profesionální hudební výchově*. Praha: Akademie múzických umění.
- Hynek, K. (2001). Elektroencefalografie. V J. Raboch, & P. Zvolský, *Psychiatrie* (stránky 82-86). Praha: Galén a Karolinum.
- Cheung, M.-c., Chan, A. S., Liu, Y., Law, D., & Wong, C. W. (2017). Music training is associated with cortical synchronization reflected in EEG coherence during verbal memory encoding. *PLOS ONE*, 1-21.
- Kandler, K., Clause, A., & Noh, J. (26. May 2009). Tonotopic reorganization of developing auditory brainstem circuits. *Nature Neuroscience*, stránky 711-717.
- Koukolík, F. (2012). *Lidský mozek*. Praha: Galén.
- Kraemer, D. J., Macrae, N. C., Green, A. E., & Kelly, W. M. (10. March 2005). Music imagery: Sound of silence activates auditory cortex. *Nature*, str. 158.
- Kuthan, V. (2003). Senzorické funkce. V S. Trojan, & M. Langmeier, *Lékařská fyziologie* (stránky 555-608). Praha: Grada Publishing, a.s.
- Levitin, D. (2006). *This is your brain on music*. New York: Dutton.
- Lopata, J. A., Nowicki, E. A., & Joanisse, M. F. (2017). Creativity as a distinct trainable mental state: An EEG study of musical improvisation. *Neuropsychologia*, 246-258.
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C., & Friederici, A. D. (5. May 2001). Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. *Nature Neuroscience*, stránky 540-545.
- Mareš, J. (2014). Hudební představy, hudební představivost a mentální reprezentace hudby. *Živá hudba*, 92-116.
- Marsella, P., Scorpecci, A., Vecchiato, G., Colosimo, A., Maglione, A. G., & Babiloni, F. (2014). Neuroelectrical imaging study of music perception by children with unilateral and bilateral cochlear implantants. *Cochlear implantants international*, 68-71.
- McElwain, J. (1979). The effect of spontaneous and analytical listening on the evoked cortical activity in the left and right hemispheres of musicians and nonmusicians. *Journal of Music Therapy*, 180-189.
- Mercadié, L., Caballe, J., Aucouturier, J.-J., & Bigand, E. (2014). Effect of synchronized or desynchronized music listening during osteopathic treatment: An EEG study. *Psychophysiology*, 52-59.

- Miovský, M. (2006). *Kvalitativní přístup a metody v psychologickém výzkumu*. Praha: Grada Publishing, a.s.
- Myslivoček, J., Pretl, M., & Hrabovská, A. (2009). *Základy neurověd*. Praha: Triton.
- Nolen-Hoeksema, S., Fredrickson, B. L., Loftus, G. R., & Wagenaar, W. A. (2012). *Psychologie Atkinsonové a Hilgarda*. Praha: Portál.
- Pantev, C., Engelien, A., Candia, V., & Elbert, T. (2003). Representational cortex in musicians. V I. Peretz, & R. J. Zatorre, *The cognitive neuroscience of music* (stránky 382-395). New York: Oxford University Press.
- Parsons, L. M. (2003). Exploring the functional neuroanatomy of music performance, perception, and comprehension. V I. Peretz, & R. J. Zatorre, *The cognitive neuroscience of music* (stránky 247-268). New York: Oxford University Press.
- Penhaker, M., Imramovský, M., Tiefenbach, P., & Kobza, F. (2004). *Lékařské diagnostické přístroje - učební texty*. Ostrava: Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava.
- Poledňák, I. (1984). *ABC stručný slovník hudební psychologie*. Praha: Supraphon.
- Potes, C., Brunner, P., Gunduz, A., Knight, R. T., & Schalk, G. (2014). Spatial and temporal relationships of electrocorticographic alpha and gamma activity during auditory processing. *NeuroImage*, 188-195.
- Procházka, R., & Sedláčková, Z. (2015). *Vybrané kapitoly z psychofyziologie*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Rozman, J., Burian, J., Gross, M., Holčík, J., Kavan, P., Krajča, V., . . . Vopálka, R. Z. (2006). *Elektroické přístroje v lékařství*. Praha: Academia.
- Sacks, O. (2009). *Musicophilia*. Praha: Dybbuk.
- Sammler, D., Grigutsch, M., Fritz, T., & Koelsch, S. (2007). Music and emotion: Electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music. *Psychophysiology*, 293-304.
- Sedlák, F., & Váňová, H. (2013). *Hudební psychologie pro učitele*. Praha: Karolinum.
- Schaefer, R. S., Vlek, R. J., & Desain, P. (2011). Music perception and imagery in EEG: Alpha band effects of task and stimulus. *International Journal of Psychophysiology*, 254-259.
- Schlaug, G. (2003). The brain of music. V I. Peretz, & R. Zatorre, *The cognitive neuroscience of music*. New York: Oxford University Press Inc.
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., Staiger, J., & Steinmetz, H. (1995). Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, 1047-1055.

- Schmidt, L. A., & Trainor, L. J. (2001). Frontal brain electrical (EEG) distinguishes valence and intensity of musical emotions. *Cognition and emotion*, 487-500.
- Sluming, V., Barrick, T., Howard, M., Cezayrli, E., Mayes, A., & Roberts, N. (2002). Voxel-base morphometry reveals increased gray matter density in Broca's area in male symphony orchestra musicians. *NeuroImage*, 1613-1622.
- Syslová, Z., & Sysel, D. (2012). *Elektroencefalografie v praxi*. Brno: Tribun EU.
- Šimek, J., & Stein, J. (1969). *Jak číst elektroencefalogram*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství.
- TIBCO Software Inc. (2018). *Variance Components and Mixed Model ANOVA/ANCOVA*. Získáno 24. února 2018, z TIBCO® Statistica™: <http://www.statsoft.com/Textbook/Variance-Components-Mixed-Model-ANOVA-ANCOVA>
- Trans Cranial Technologies Ltd. (2012). *Cortical Functions*. Získáno 10. prosince 2018, z Clinically validated tDCS technology: [https://www.transcranial.com/local/manuals/cortical\\_functions\\_ref\\_v1\\_0\\_pdf.pdf](https://www.transcranial.com/local/manuals/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf)
- Trojan, S., Langmeier, M., Hrachovina, V., Kittnar, O., Koudelová, J., Kuthan, V., . . . Wünsch, Z. (2003). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada Publishing, a.s.
- Wright, D. J., Holmes, P. S., Di Russo, F., Loporto, M., & Smith, D. (2012). Differences in cortical activity related to motor planning between experienced guitarists and non-musicians during guitar playing. *Human Movement Science*, 567-577.
- Zatorre, R. J., & Halpern, A. R. (7. July 2005). Mental Concerts: Musical Imagery and Auditory Cortex. *Neuron*, stránky 9-12.
- Zatorre, R. J., Belin, P., & Penhune, V. B. (January 2002). Structure and function of auditory cortex: music and speech. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 37-46.
- Zatorre, R. J., Perry, D. W., Beckett, C. A., Westbury, C. F., & Evans, A. C. (1998). Functional anatomy of musical processing in listeners with absolute pitch and relative pitch. *Neurobiology*, 3172-3177.



# Seznam příloh

---

1. Abstrakt v českém jazyce
2. Abstrakt v anglickém jazyce
3. Úvodní dopis
4. Checklist měření

## **Abstrakt diplomové práce**

Název práce: Aktivita mozku při poslechu a představě hudby

Autor práce: Bc. Jana Mišelnická

Vedoucí práce: PhDr. Mgr. Roman Procházka, PhD.

Počet stran a znaků: 56 stran, 115 194 znaků

Počet příloh: 4

Počet titulů použité literatury: 55

Abstrakt (800–1200 zn.):

Tato diplomová práce je zaměřena na měření aktivity mozku pomocí elektroencefalografie při poslechu a představě skladby. Výzkumný soubor byl rozdělen na jedince s hudebním vzděláním a bez něho. V teoretické části se práce zaměřuje na kapitoly o zpracování tónů v mozku, elektroencefalografií a rozdílem mezi hudebníky a nehudebníky na různých zobrazovacích metodách včetně EEG. Současné výzkumy ukazují na skutečnost, že při představě hudby se v mozku aktivují stejné oblasti jako při reálném poslechu dané skladby. Z výzkumů také vyplývá, že vlivem dlouhodobého hudebního tréninku dochází v mozku hudebníka k drobným strukturálním a funkčním změnám. Podle našeho výzkumu se aktivita mozku při poslechu neliší od aktivity při představě hudby nezávisle na hudebním vzděláním. Ani mezi hudebníky a nehudebníky nebyl nalezen rozdíl. Hudebníci a nehudebníci se liší v rozdílu mezi aktivitou v dolním (8 – 10,5 Hz) a horním (10,5 – 13 Hz) pásmu spektrální síla alfa aktivity. Statistický test odhalil rozdíl ve skupině hudebníků, u nehudebníků se tento jev nepotvrdil.

Klíčová slova: mozek, elektroencefalografie, hudba, alfa pásmo

## **Abstract of Thesis**

Title: Brain activity during listening to and imagining music

Author: Bc. Jana Mišelnická

Supervisor: PhDr. Mgr. Roman Procházka, PhD.

Number of pages and characters: 56 pages, 115 194 characters

Number of appendices: 4

Number of references: 55

Abstract (800–1200 characters):

This thesis is focused on the measurement of brain activity by electroencephalography during listening to and imagining music. The research group was divided into participants with or without music education. In the theoretical part, the thesis focuses on chapters on processing of tones in brain, electroencephalography and the difference between musicians and non-musicians on various imaging methods, including EEG. Current research shows that in the music imagery, the same areas are activated in the brain as in real-world listening to the song. Research also shows that long-term musical training in the musician's brain lead to minor structural and functional changes. According to our research, brain activity in listening is no different from activity when imagining music independently of music education. Also, there is no difference between musicians and non-musicians. Musicians and non-musicians differ in the ratio of activity in the lower (8–10.5 Hz) and upper (10.5–13 Hz) bands of spectral power of alpha activity. The statistical test revealed a difference in the group of musicians, but the non-musicians did not confirm this phenomenon.

Key words: brain, electroencephalography, music, alpha band

## Příloha 3: Úvodní dopis

Dobrý den,

jmenuji se Jana Mišelnická a pod vedením PhDr. Mgr. Romana Procházky, Ph.D. provádím výzkum na téma: AKTIVITA MOZKU PŘI POSLECHU A PŘEDSTAVĚ HUDBY. Cílem diplomové práce je ověřit hypotézu, jestli aktivita mozku při poslechu a představě skladby je stejná. Kromě toho mě zajímá také rozdíl v poslechu a představě osob s hudebním vzděláním a bez hudebního vzdělání.

Samotný výzkum spočívá v poslechu skladby, kterou si následně budete představovat. Během toho se bude nahrávat Váš EEG záznam. Měření zabere **přibližně hodinu až hodinu a půl**. Za odměnu si po skončení měření můžete vyzkoušet virtuální realitu v naší laboratoři. Výzkum probíhá na Katedře psychologie, v ulici Vodární 6.

Pokud jste **absolventi minimálně 1. stupně Základní umělecké školy** hry na nějaký **hudební nástroj** nebo naopak jste **nikdy na žádný hudební nástroj nehráli** (ani nechodili do tanečního kroužku, divadla či neprovozovali jiné aktivity spojené s hudbou) a rádi byste se účastnili výzkumu, prosím piště na e-mail.

Pokud byste se chtěli výzkumu zúčastnit, tady jsou další informace k průběhu:

1. Pro lepší kontakt elektrody s pokožkou se používá gel, proto po skončení budete mít trochu gelu ve vlasech. Gel se dá velmi dobře odstranit kapesníky.
2. Před nasazením EEG čepice probíhá očištění kůže na čele. Pokud jste tedy žena, prosím abyste si nemalovala čelo (žádný make-up ani různé krémy). Zbytek obličeje si namalovat můžete.
3. Pokud nosíte dioptrické brýle, na měření bych Vás požádala o jejich sundání. Při měření budete mít zavřené oči. Pokud ale nosíte i kontaktní čočky, klidně si je můžete vzít, pokud to bude pro Vás příjemnější.

## Příloha 4: Checklist měření

### Protokol z měření

Identifikace probanda: \_\_\_\_\_

Jména přítomných experimentátorů: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Čas: \_\_\_\_:\_\_\_\_ - \_\_\_\_:\_\_\_\_

**Obor:**

**Lateralita:**

Poznámky:

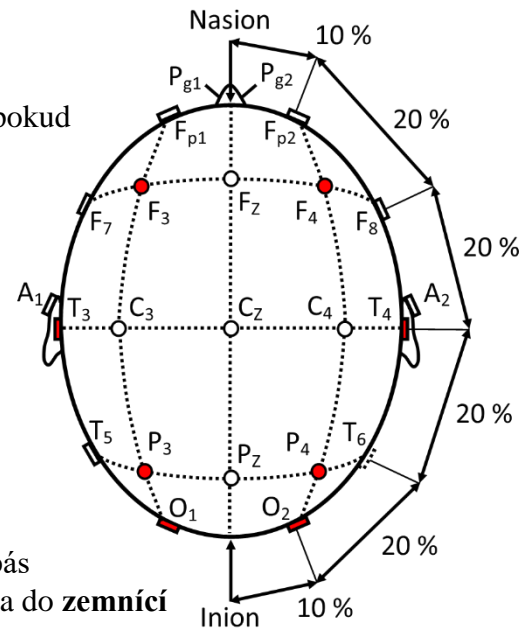
---

### Při příchodu do laboratoře:

- rozsvítit světlo (hned na začátku, ať se zahřeje zářivka)
- umístit cedulku NERUŠIT na dveře
- zapnout odvětrávání a, pokud je třeba, i klimatizaci
- zapnout 2 zásuvky pod stolem
- zapnout PC\_Acq a zapojit reproduktory (přepnout na AUX 1 a nastavit hlasitost na 45, hlasitost na PC je naplno) – zelený kabel dole uprostřed u PC s Oculem a dát do zelené dírky v Pc\_Acp
- zkontrolovat, že otvory na čepici jsou průchodné, popř. vyčistit
- nachystat věci na měření
  - hrudní pás
  - injekční jehlu
  - gel do jehly
  - čisticí houbička
  - abrazivní maska na očištění
  - kolečka na Fp1 a Fp2
  - metr
- položit dřevěnou desku na opěrky křesla
- sejmout probandovi veškeré šperky
- vypnout své telefony a telefon probanda
- usadit probanda na kovovou židli k PC\_acq (z boku)
- dát klávesnici na dřevěnou desku k probandovi

## Nastavení měření:

- BIOPAC vypnutý!
- připojit kabely EEG do racku (+ zkontrolovat barvy pokud nejsou)
  - červená, žlutá, fialová, zelená (konce bílý – červený)
- odpojit plochý konektor EEG kabelů uprostřed
- nasadit probandovi referenční elektrody na uši (modrá na pravé ucho)
- napustit do referenčních elektrod vodivý gel
- změřit probandovi polohu Fp1 a Fp2 (10 % horním polokruhem; 10 % polokruhu po obvodu hlavy)
- očistit Fp1 a Fp2 abrazivní pastou a nalepit polštářky
- zapnout probandovi hrudní pás
- nasadit probandovi EEG čepici a zapnout na hrudní pás
- napustit do elektrod F3, F4, T3, T4, P3, P4, O1 a O2 a do **zemnicí elektrody** vodivý gel
- vypnout odvětrávání a klimatizaci
- zapnout BIOPAC
- Na ploše zapnout „aplikaci“ Acqknowledge
- na PC\_Acq otevřít složku s názvem „Jana Mišelnická – DP“ (na ploše) a zvolit template "Template.gtl" (v pravém dolním rohu přepnout z grafu na \*)
- připojit plochý konektor EEG kabelů uprostřed
- v Acq ověřit, že impedance EEG nepřekračuje absolutní hodnotu 10 mV (záložka MP150/Show Input Values)
- spustit měření v templatu Acq a otestovat správnost měření EEG
- pokud je vše v pořádku, **vypnout měření** a nechat probanda v klidu sedět **alespoň 5 minut** (dát dotazník) – říct, aby se nehýbal
- zapnout měření na PC\_Acq (předtím označit vše a edit – clear all)
- začít měřit baseline (2 minuty)
- sdělit probandovi instrukci a zodpovědět případné otázky
- spustit na PC\_acq zácvičnou skladbu (Svatební pochod) + **po spuštění kliknout zpátky na měření BIOPAC** a nechat probanda poslouchat a pak si představovat skladbu
- zodpovědět případné otázky
- spustit na PC\_acq ostrou skladbu (Óda na radost) + **po spuštění kliknout zpátky na měření BIOPAC** a nechat probanda poslouchat a pak si představovat skladbu
- změřit baseline na konci
- ukončit a uložit měření v Acq jako "Hudebník/nehudebník - [Číslo probanda].acq"
- zavřít template v Acq



## Po skončení měření:

- odpojit plochý konektor EEG kabelů uprostřed
- vypnout BIOPAC
- odpojit probandovi EEG
- poskytnout probandovi vodu k pití, odpovědi na otázky a kapesníky pro vytření gelu z vlasů

- přepojit reproduktory zpět do počítače s Oculem
- uklidit vybavení, dát laboratoř do původního stavu
- vypnout 2 zásuvky pod stolem
- zhasnout
- zamknout