

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Katedra fyzioterapie

**Komparativní studie využití vysokovýkonné a nízkovýkonné  
laseroterapie při léčbě tinnitu**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

**PhDr. Jitka Malá, PhD.**

Vypracovala:

**Bc. Tereza Farská**

Praha, duben 2023

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla a řádně citovala všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Podpis autora práce

## **Evidenční list**

Souhlasím se zapůjčením své diplomové práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto diplomovou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:

Fakulta/katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

---

## **Poděkování**

V první řadě bych chtěla poděkovat PhDr. Jitce Malé, PhD. za vedení této diplomové práce, cenné rady a vstřícný přístup po celou dobu výzkumu. Mé díky patří také klinickému zařízení za poskytnutí technického a prostorového zázemí. V neposlední řadě chci poděkovat všem probandům, kteří se výzkumu účastnili zodpovědně a s nadšením. Můj velký dík patří také rodině a přátelům, již mi po dobu studia a zpracovávání diplomové práce byly obrovskou oporou.

## **Abstrakt**

**Název:** Komparativní studie využití vysokovýkonné a nízkovýkonné laseroterapie při léčbě tinnitu

**Cíle:** Zjišťování účinnosti vysokovýkonné a nízkovýkonné laseroterapie na snížení hlasitosti chronického tinnitu a zlepšení kvality života u pacientů trpících chronickým tinnitem. Dále vzájemné porovnání efektu obou typů laserů.

**Metody:** Do experimentu bylo zařazeno celkem 18 probandů, kteří podstoupili vyšetření otorinolaryngologem, neurologem a kineziologické vyšetření fyzioterapeutem. Ke sběru dat bylo využito dotazníku TSCHQ, v rámci kterého bylo zahrnuto škálové hodnocení hlasitosti tinnitu. Hodnocení kvality života bylo šetřeno pomocí dotazníku THI. Pro zjištění efektu laseroterapie byla porovnána data získaná z obou dotazníků před a po intervenci. Ke statistickému zpracování bylo využito metod deskriptivní statistiky a nonparametrických testů. Homogenita skupin byla porovnána pomocí Mann-Whitneyho testu, Wilcoxonův test byl použit pro porovnání efektu laseru v rámci jedné skupiny. Kvalitativní data byla vyhodnocena pomocí Chi-kvadrát testu. Hladina významnosti byla stanovena na 5 % ( $\alpha = 0,05$ ).

**Výsledky:** Prokázalo se, že HILT má statisticky významný pozitivní efekt na snížení intenzity chronického tinnitu, LLLT nikoliv. Vysokovýkonný laser je tudíž efektivnější v léčbě chronického tinnitu než nízkovýkonný laser. Účinnost na zlepšení vnímání kvality života u pacientů s chronickým tinnitem se po statistickém zpracování neprojevila ani u jednoho typu laserů. Navíc se statisticky významně prokázalo zlepšení sluchu po intervenci u LLLT skupiny. Skupina podstupující terapii HILT zaznamenala statisticky významné přechodné zhoršení intenzity tinnitu na dobu maximálně 48 hodin po aplikaci laseru.

**Klíčová slova:** vysokovýkonný laser, nízkovýkonný laser, HILT, LLLT, fotobiomodulace, tinnitus, THI, TSCHQ

## **Abstract**

**Title:** Comparative study of high-power and low-power laser therapy in the treatment of tinnitus

**Objectives:** To determine the efficacy of high-power and low-power laser therapy in reducing the loudness of chronic tinnitus and improving the quality of life in patients suffering from chronic tinnitus. Additionally, to compare the effects of both types of lasers.

**Methods:** A total of 18 subjects were included in the experiment, who underwent an otorhinolaryngological, neurological, and kinesiological examination by a physiotherapist. The TSCHQ questionnaire was used to collect data, including the scaling of tinnitus loudness. Quality of life was assessed using the THI questionnaire. To determine the effect, data obtained from the questionnaires before and after intervention were compared. Descriptive statistics and non-parametric tests were used for statistical analysis. The homogeneity of groups was compared using the Mann-Whitney test, the Wilcoxon test was used to compare the effect of the laser within one group. The Chi-square test was used to evaluate qualitative data. The level of significance was set at 5 % ( $\alpha = 0.05$ ).

**Results:** It was found that HILT had a statistically significant positive effect on reducing the intensity of chronic tinnitus, while LLLT did not. Therefore, high-power laser is more effective in treating chronic tinnitus than low-power laser. The effectiveness in improving the perception of quality of life in patients with chronic tinnitus was not observed after statistical processing for either type of laser. Furthermore, a statistically significant improvement in hearing after intervention was demonstrated in the LLLT group. The HILT therapy group experienced statistically significant transient worsening of tinnitus intensity for up to 48 hours after laser application.

**Keywords:** High intensity laser, Low level laser, HILT, LLLT, Photobiomodulation, Tinnitus, THI, TSCHQ

# OBSAH

|  |    |
|--|----|
| Seznam zkratk .....  | 9  |
| 1 Úvod.....  | 11 |
| 2 Teoretická východiska práce .....                            | 12 |
| 2.1 Fyziologie zvukové percepce .....                          | 12 |
| 2.2 Fotobiomodulace a laser .....                              | 16 |
| 2.2.1 Laser .....  | 16 |
| 2.2.2 Mechanismus působení a účinky laseru .....               | 18 |
| 2.2.3 Infračervené záření .....                                | 21 |
| 2.2.4 Nízkovýkonový laser .....                                | 24 |
| 2.2.5 Vysokovýkonový laser .....                               | 25 |
| 2.2.6 Indikace a kontraindikace .....                          | 26 |
| 2.3 Tinnitus .....   | 27 |
| 2.3.1 Periferní mechanismus .....                              | 29 |
| 2.3.2 Centrální mechanismus .....                              | 30 |
| 2.3.3 Extra-auditoriální příčiny .....                         | 30 |
| 2.3.4 Diagnostika a léčba .....                                | 32 |
| 3 Cíle a úkoly práce, hypotézy .....                           | 35 |
| 3.1 Úkoly práce .....  | 35 |
| 3.2 Výzkumné otázky .....                                      | 35 |
| 3.3 Hypotézy .....   | 36 |
| 4 Metodika Práce .....   | 37 |
| 4.1 Sběr dat .....   | 37 |
| 4.2 Popis výzkumného souboru .....                             | 38 |
| 4.3 Diagnostické metody .....                                  | 39 |
| 4.3.1 Tinnitus sample case history questionnaire (TSCHQ) ..... | 39 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.3.2 | Tinnitus handicap inventory (THI) .....            | 40 |
| 4.3.3 | Kineziologické vyšetření.....                      | 40 |
| 4.4   | Terapeutické experimentální metody.....            | 40 |
| 4.4.1 | Laseroterapie .....                                | 40 |
| 4.5   | Analýza dat – statistické zpracování .....         | 43 |
| 5     | Výsledky .....                                     | 44 |
| 5.1   | Vyhodnocení kvantitativních dat – TSCHQ .....      | 45 |
| 5.1.1 | Vyhodnocení hypotézy H1.....                       | 46 |
| 5.1.2 | Vyhodnocení hypotézy H2 .....                      | 47 |
| 5.1.3 | Vyhodnocení hypotéz H3, H4, H5.....                | 47 |
| 5.1.4 | Další kvantitativní parametry mezi skupinami ..... | 49 |
| 5.2   | Vyhodnocení TSCHQ kvalitativní.....                | 51 |
| 5.3   | Vyhodnocení THI dotazníku.....                     | 54 |
| 6     | Diskuze.....                                       | 57 |
| 7     | Závěr .....  | 65 |
| 8     | Zdroje.....  | 66 |
| 9     | Seznam použitých obrázků .....                     | 85 |
| 10    | Seznam použitých grafů.....                        | 86 |
| 11    | Seznam použitých tabulek .....                     | 87 |
| 12    | Přílohy.....                                       | 88 |



## SEZNAM ZKRATEK

AP – akční potenciál

AMP – adenosinmonofosfát

ATP – adenosintrifosfát

CCO – cytochrom c oxidáza

CI – colliculus inferior

CNS – centrální nervový systém

Cp – krční páteř

CST – cervikosomatický tinnitus

DNA – deoxyribonukleová kyselina

EEG – elektroencefalografie

EP – endokochleární potenciál

HILT – high intensity laser therapy

IR – infračervené záření

KI – kontraindikace

LASER – light amplification by stimulated emission of radiation

LED – light-emitting diode

LLLT – low level laser therapy

m. – musculus

MTT – m. tensor tympanii

MS – m. stapedius

Ncl. - nukleus

NDC – ncl. dorsalis cochlearis

NMDAr – N-methyl-D-aspartátový receptor

NPVC – ncl. posteroventralis cochlearis

ORL – otorinolaryngologie

PBMT – photobiomodulation therapy

RŘ – respirační řetězec

SD – směrodatná odchylka

THI – tinnitus handicap inventory

TMK – temporomandibulární kloub

TRI – tinnitus research initiative

TRT – tinnitus retraining therapy

TSCHQ – tinnitus sample case history questionnaire)

UV – ultrafialové záření

VAS – vizuální analogová škála

VVB – vnitřní vláskové buňky

ZVB – zevní vláskové buňky

# 1 ÚVOD

Tinnitus je charakterizován vnímáním zvuku, který nepochází z vnějšího prostředí. Někteří autoři dokonce uvádějí, že se jedná o fantomový fenomén [1, 2]. Když je postižená určitá část kochley, je přerušeno nebo sníženo vedení vzruchů do sluchové kůry a při této absenci vzruchů vydávají korové buňky kompenzační signály popisované právě jako tinnitus, který může být doprovázen hyperakuzí [1,2,3].

V dospělé populaci je jeho prevalence přibližně 10-15 % a spolu s incidencí narůstá s věkem. Mezi rizikové faktory jeho vzniku se řadí věk, vystavení se příliš hlasitému zvuku, dlouhodobá expozice hluku, ztráta sluchu, hypertenze a zranění v oblasti hlavy. Kromě sluchového projevu je doprovázen i dalšími nesluchovémi symptomy, jako je frustrace, neschopnost relaxace, deprese, úzkostné stavy, nespavost či porucha koncentrace. Jednotlivé symptomy tinnitu se navzájem ovlivňují a zesiluje se propojení mezi sluchovými, nesluchovémi a psychickými potížemi. Vnímání tinnitu jednotlivci závisí zejména na míře aktivace limbického systému, který se výrazně podílí právě na negativních emocích spojených s tinnitem [4].

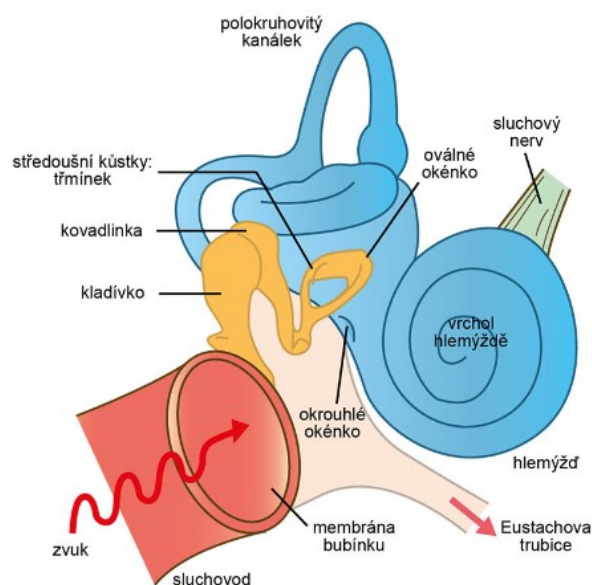
V posledních dvou dekadách proběhlo mnoho experimentů, kdy byl nízkovýkonový laser využíván ke snížení závažnosti tinnitu a několik studií dokonce prokázalo jeho pozitivní efekt u pacientů s chronickým tinnitem [5, 6, 7, 8], byť vzhledem k rozličným metodickým přístupům zůstává jeho úloha nejasná [5]. Naproti tomu doposud neexistují studie, ve kterých by byl pro léčbu tinnitu využit laser vysokovýkonový.

Proto se tato diplomová práce v první části zabývá teoretickou rešerší na téma tinnitu, tzn. jeho patofyziologie vzniku a jeho léčby a charakterizuje oba typy laserů. V experimentální části se studie zaměřuje zejména na porovnání vlivu vysokovýkonového a nízkovýkonového laseru v léčbě chronického tinnitu.

## 2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

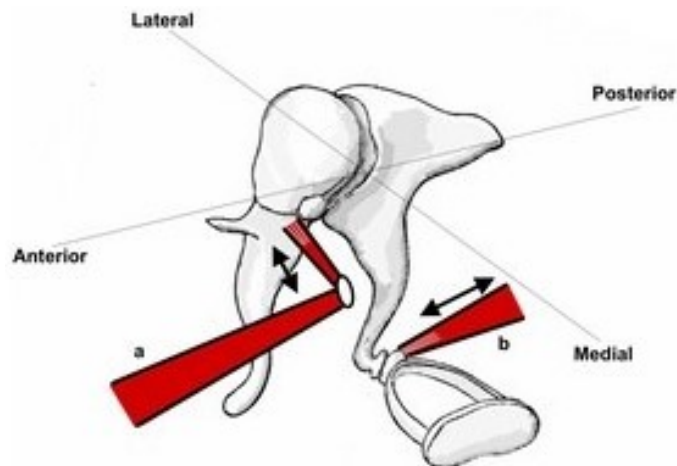
### 2.1 Fyziologie zvukové percepce

„Zvuk je přenášen v podobě zvukových vln, které jsou zachycovány ušním boltcem, vedeny zevním zvukovodem a dopadají na membránu bubínku [9, str. 625].“ Rozkmitání membrány bubínku způsobené mechanickým vlněním je postupně dále přenášeno přes kladívko, kovádlínku a třmínek. Třmínek je svou bází připevněn k *foramen ovale* (oválné okénko), kde rozkmitá perilymfu. Tento systém brání zpětnému odrazu zvuku [10].



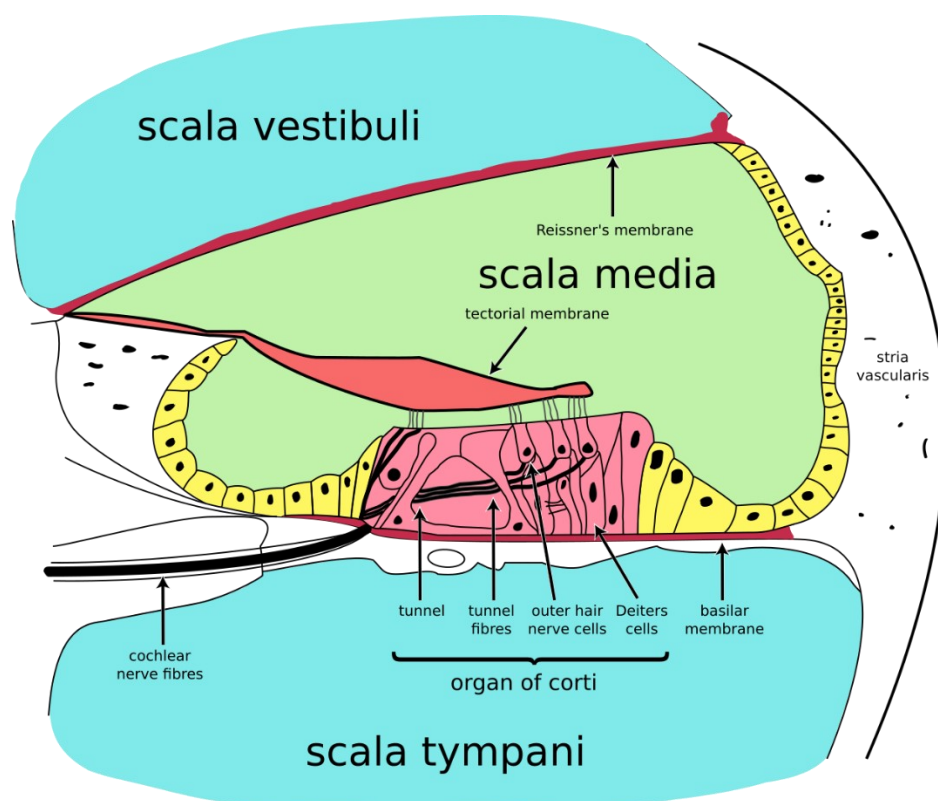
Obrázek č. 1 - Sluchový aparát [9, str. 651]

Středoušní kůstky jsou drženy vazy a dvěma krátkými kosterními svaly – *m. stapedius* (MS) upínající se na třmínek a *m. tensor tympanii* (MTT) jdoucí od stěny Eustachovy trubice na *manubrium mallei* (rukojeť kladívka). Kontrakce *m. stapedius* pohybuje s membránou bubínku ven, kontrakce MTT naopak dovnitř [11]. Tyto svaly se podílejí na akustickém reflexu, na jevu vyvolaném vysoce intenzivním zvukem, který má za úkol chránit aparát vnitřního ucha před poškozením. Při jeho vyvolání dojde ke zastabilizování kůstek a tím pádem k omezení přenosu vibrací [10,12, 13]. U MTT se dále předpokládá, že snižuje intenzitu zvuku při žvýkání a polykání [10,12].



Obrázek č. 2 - Středoušní svaly a) *m. tensor tympani* b) *m. stapedius* [14]

Vnitřní ucho obsahuje krom vestibulárního aparátu také kochleu, rozdělenou třemi dutinami, mezi nimiž se nachází bazilární membrána, Reissnerova (vestibulární) a od ní oddělená tektonální membrána. Mezi Reissnerovou a bazilární membránou leží Cortiho orgán obsahující sluchové receptory – vláskové buňky. Ty se svými stereocíliemi dotýkají tektonální membrány a jsou omývány endolymfou s vysokým obsahem  $K^+$  iontů (ostatní extracelulární tekutiny obsahují zejména  $Na^+$ ) [9, 10, 15]. Perilymfa je tekutina vyplňující prostory kostěného labyrintu a skrze *canaliculus cochlae* je spojena s mozkomíšním mokem, se kterým má stejné složení [15]. Rozdílná koncentrace iontů mezi perilymfou a endolymfou a tím vzniklé napětí se nazývá endokochlerání potenciál (EP), který je předpokladem pro přenos zvukového signálu [1]. Postupné rozechvění membrán způsobí vznik akčního potenciálu (AP). Zvýšení EP způsobí následnou depolarizaci VVB viz níže. Zevní vláskové buňky dokáží EP regulovat skrze pohyb stereocílií [10].

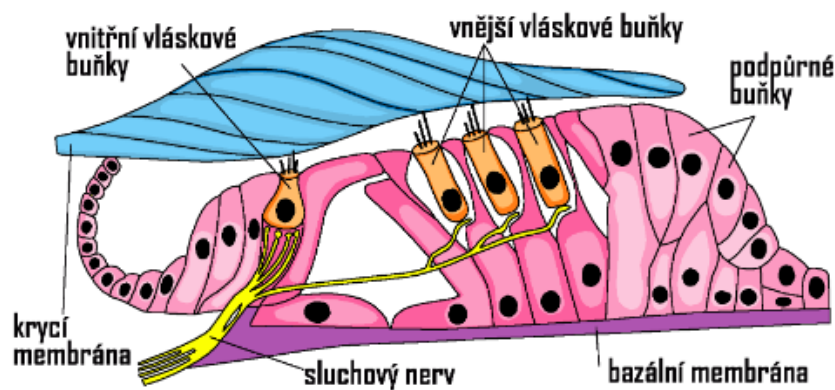


Obrázek č. 3 - Průřez kochleou [16]

Vláskové buňky jsou vnitřní a zevní. Vnitřní (VVB) zajišťují až 95 % aferentního nervového spojení se spirálním gangliem, gangliem tvořícím předěl mezi periferními procesy v Cortiho orgánu a centrálními procesy v CNS [13, 15, 17]. Jsou to právě vnitřní vláskové buňky, které zaznamenávají zvuk, zatímco ty zevní (ZVB) jsou propojeny hlavně s eferentními vlákny (olivokochleárním svazkem) a zvuk regulují na základě podnětů z regulačních center mozku [13].

Mechanické vlnění rozechvěje sluchové kůstky. Přes třmínek spojený s oválným okénkem se toto vlnění přenese přes perilymfu na vestibulární membránu, dojde k rozproudění endolymfy, rozvibrování bazilární membrány, rozpohybování stereocilií vláskových buněk, které začnou klouzat proti tektoriální membráně (na obrázku níže jako krycí membrána). Tyto pohyby stereocilií způsobí otevření iontových kanálů, skrze které do vláskových buněk začne proudit  $K^+$  a  $Ca^{2+}$  z endolymfy, což způsobí depolarizaci (při opačném pohybu stereocilií dojde naopak hyperpolarizaci). Kalcium otevře vezikuly s glutamátém uložené na bázi vnitřních vláskových buněk, glutamát se dostane do synaptické štěrbině, aktivuje periferní procesy na postsynaptické membráně a umožní šíření akčního potenciálu směrem ke *ganglion spirale cochleare* a dále do CNS [1, 10, 17].

Při zaznamenání hlasitého zvukového podnětu zvění dojde k aktivaci eferentních vláken a k vylíčení acetylcholinu na kanály uložené na bázi ZVB, což způsobí transport  $K^+$  ven z buňky a její hyperpolarizaci. V tomto případě se ZVB prodlouží, díky množství právě relaxovaných kontraktálních bílkovin (prestiny), způsobí oddálení bazilární membrány od tektoriální a sníží vibrace bazilární membrány, čímž se zmenší i aktivita vláskových buněk. Zevní vláskové buňky navíc posunem bazilární membrány vzhůru, díky kontrakci bílkoviny prestinu (opačný mechanismus k výše uvedenému) zvýší aktivaci vláskových buněk a Cortiho orgán se tak stane citlivějším pro určitou frekvenci [17].



Obrázek č. 4 - Cortiho orgán [18]

Přenos zvuku jakožto nervového vzruchu, je veden osmým hlavovým nervem – *n. vestibulocochlearis*, respektive jeho částí *n. cochlearis*. Jde o čtyř neuronovou sluchovou dráhou, která obsahuje i další vmezeřené synapse. Prvním neuronem dráhy je bipolární buňka, která je v kontaktu s buňkami vláskovými. Ta se přepojuje v *ganglion spirale cochleare*, dále vstupuje do kaudální části *pons Varoli*. Druhý neuron končí v *colliculi inferiores* tekta, třetí pokračuje do *thalamu (corpus geniculatum mediale)* a poslední, čtvrtý neuron převádí informace až do primární sluchové korové oblasti – *area 41, 42*. Díky existujícím kolaterálám v jednotlivých etážích má každé ucho bilaterální projekci [10, 15]. „*Jednostranná léze tedy nezpůsobí vážnou poruchu sluchu, pouze ztěžuje diskriminaci místa zdroje zvuku [10].*“

Primární sluchová kůra a celý průběh dráhy je organizován tonotopicky. To znamená, že je určitá frekvence vedena příslušnými vlákny do příslušné oblasti primární sluchové kůry, kde následně „*probíhá identifikace jednotlivých tónů, analýza fonémů a konečně také přibližné určení místa zdroje zvuku [10].*“

## 2.2 Fotobiomodulace a laser

Fotobiomodulace (PBM – *photobiomodulation*) je mechanismus, kdy je neionizující optické záření, ve spektru viditelného a krátkovlnného infračerveného světla, absorbováno endogenními chromoforami, což vyvolává fotofyzikální a fotochemické změny v různých biologických měřítkách bez vyvolání tepelného poškození [19]. Fotobiomodulační terapie (PBMT – *photobiomodulation therapy*) je založena na principech fotobiomodulace a využívá aplikace koherentního světla v podobě laserů, nekoherentního světla, např. LED (*light-emitting diodes*), případně kombinace obou forem [19, 20]. Fotobiomodulační terapie, kterou provádějí lasery III. i IV. třídy (viz níže), je definována účinnou dávkou, kterou je zařízení schopné dodat do cílové tkáně [19].

### 2.2.1 Laser

LASER = *light amplification by stimulated emission of radiation*

Jedná se o specifický zdroj světla, využívající elektromagnetického vlnění, jehož energie je soustředěna do úzkého světelného paprsku [21]. Světlo vyzařované laserem je koherentní, polarizované a monochromatické s malou divergencí [22, 23, 24]. Koherentnost značí kmitání se stejnou frekvencí, ve stejném směru a se stejnou fází [23, 25]. Zároveň se dá vlnění skládat, což způsobí, že z laseru vychází vlnění o vysoké hustotě přenášeného výkonu. Polarizované světlo označuje kmitání v jedné rovině a je kolmé na směr působení vektoru energie [25, 26]. To znamená, že laser má vlny dokonale orientované v čase a v prostoru [27]. Monochromaticnost je označením pro kmitání na jediné vlnové délce elektromagnetického záření [24, 27, 28]. Tyto, pro laser charakteristické, vlastnosti z něj dělají zdroj světla, který je schopný rychlého přenosu velkého množství energie, s až o několik řádů vyšší spektrální hustotou energie, než jakýkoliv jiný známý zdroj světla [21].

Jak z názvu vypovídá princip laseru spočívá v přeměnění dodané energie na elektromagnetické vlnění o vysoké intenzitě pomocí procesu stimulované emise [23, 28]. Ke stimulované emisi dochází v aktivním prostředí laseru, které mohou tvořit plyny, kapaliny nebo pevné látky a jehož typ určuje vlnovou délku laseru [22, 23, 25]. Typ aktivního prostředí rozhoduje o názvu laseru [25, 28]. Dodaná energie (buzení), jejímž zdrojem může být jak koherentní, tak nekoherentní



elektromagnetické vlnění, způsobí excitaci elektronů, které se nejprve vrací na metastabilní hladinu nezářivým přechodem a po nahromadění jejich určitého množství v této hladině dojde k jejich zářivému návratu do nižší energetické hladiny, doprovázenému emisí fotonů, která následně vyvolá stimulovanou emisi sloužící k zesilování světla [22, 23]. Aby měl laser svůj efekt, musí být světlo absorbováno v cílové tkáni [22].

Každý laser obsahuje 3 základní části viz obrázek č. 5 [28]



Obrázek č. 5 - Schéma funkce laseru [28]

Optický rezonátor je nejčastěji tvořen zcela odrazivým zrcadlem a druhým, polopropustným zrcadlem. V rezonátoru se optické záření udržuje tak dlouho, dokud nenabyde dostatečné energie pro překonání polopropustného zrcadla, aby vznikl výstupní laserový paprsek [23, 25].

Existují 4 hygienické třídy laserů [19, 23, 25, 27]

- **Třída I** zahrnuje lasery s velmi malým výkonem nebo s uzavřeným paprskem, absolutně nehrozí interakce paprsku s organismem, (tiskárny, čtečky CD...) [23, 27], dle Haleyho [25] tuto třídu dělíme na podtypy 1M a 1C
- **Třída II** taktéž zahrnuje lasery s velmi nízkým výkonem, ale při dlouhodobém ozáření sítnice mohou poškodit zrak [25, 27]
- **Třída III** se dělí do dvou skupin na lasery tř. IIIa a lasery tř. IIIb (nízkoenergetické) do kterých spadaly veškeré lasery využívané v rehabilitační medicíně
- **Třída IV** byly do nedávna považovány za invazivní (používané např. v chirurgii), řadíme sem vysokovýkonné lasery, které se v terapii nesmí aplikovat kontinuálně [19, 23, 25, 27].

Lasery využívané ve fyzioterapii jsou pouze stimulační, tzn. nepoškozují živou tkáň, mají výrazně menší zářivý výkon a jejich rozbíhavost záření se pohybuje v intervalu 10-30° [23].

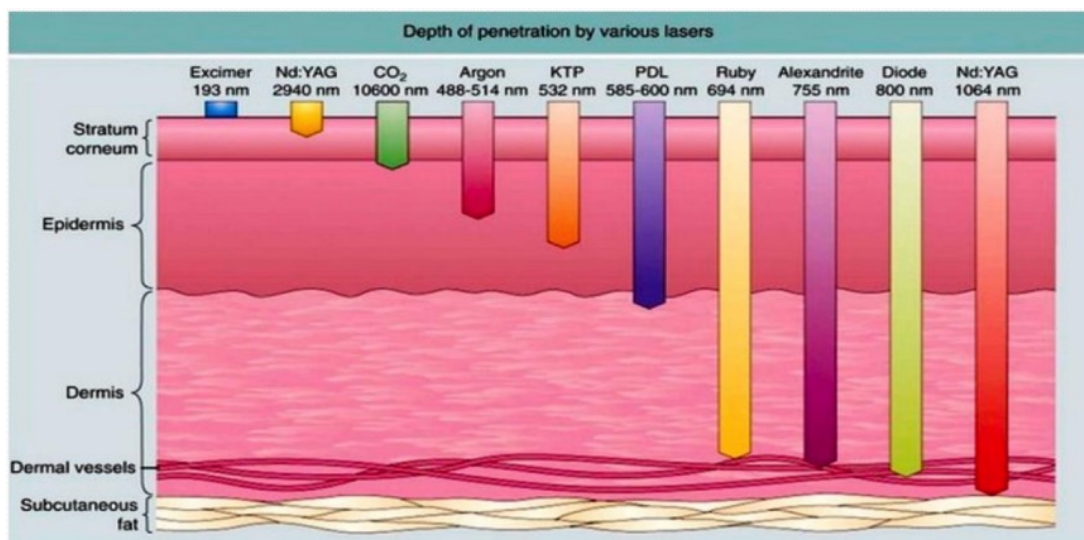
Dle výkonu, který se vyjadřuje v mW nebo W, se dělí na nízkovýkonné a vysokovýkonné. Z fyzikálního vztahu výpočtu energie ( $E = \frac{P \cdot t}{S}$ ) vyplývá, že při využití laseru o nízkém výkonu musíme prodloužit dobu aplikace, stejně tak při aplikaci laserového paprsku na velkou plochu prodloužíme dobu aplikace [23, 27].

Aplikuje se z co možná nejmenší vzdálenosti od povrchu těla, ale bez přímého kontaktu, aby nedošlo k porušení sondy [27]. Pokud se parametry laseru v čase nemění mluvíme o laseru kontinuálním, která dá garanci nejvyšší vyzářené energie za nejkratší dobu [23, 27]. Při pravidelných a opakovaných impulzech mluvíme o laseru pulzním a o impulzním v případě jednoho osamocenému impulzu [27, 28]. Využívají se frekvence do 50 Hz [23]. Po aplikaci laseru lze očekávat mírnou akcelerací potíží, což je známka toho, že pacient na laser skutečně reaguje [27].

### **2.2.2 Mechanismus působení a účinky laseru**

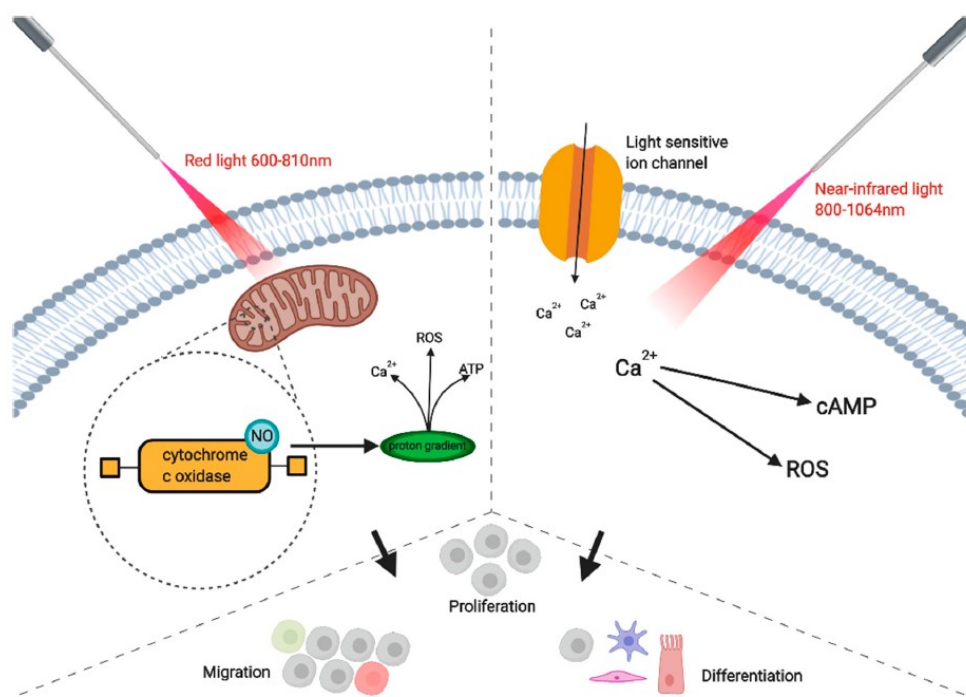
Předpokladem pro pozitivní terapeutické výsledky je schopnost laserového světla pronikat tkáněmi [29, 30] a dosáhnout konkrétní patologické oblasti [30]. Při kontaktu laserového paprsku s kůží dochází k jeho odrazu, lomu, přenosu či absorpci vodou, melaninem, hemoglobinem a oxyhemoglobinem [21, 22, 24, 30, 31].

Laserový přenos světla a hloubka penetrace závisí na struktuře cílové tkáně, jejích optických vlastnostech a v neposlední řadě na vlnové délce paprsku [20, 24, 32]. Ta rozhoduje o hloubce biologického účinku ve tkáni [23, 24, 27]. Mezi nejúčinnější vlnové délky patří interval mezi 600 nm a 1350 nm, protože dochází k minimálnímu oslabení světelné energie díky nízké absorpci a rozptylu hlavními složkami tkáně [32]. Kratší nebo naopak delší vlnové délky mimo uvedený interval jsou ve tkáňových komponentách absorbovány úplně [33].



Obrázek č. 6 - Hloubka průniku různých vlnových délek [34]

**Stimulační účinek** laseru spočívá v ovlivnění respiračního řetězce (RŘ) v mitochondriích, kde zvyšuje aktivitu enzymu cytochrom C oxidázy, ATP a syntézu DNA [23]. Důležitou roli u eukaryotických buněk hraje zejména poslední článek RŘ, enzym cytochrom C oxidáza (CCO), která patří mezi mitochondriální chromofory, tudíž má schopnost být regulována světlem [23, 35, 36]. Po absorpci fotonů molekulami v mitochondriích je vytěsněn oxid dusnatý, který CCO aktivuje, dojde k protonovému gradientu a ke zvýšení produkce  $\text{Ca}^{2+}$ , reaktivních forem kyslíku (ROS) a k produkci ATP [37, 38]. Vysoké hladiny ROS jsou cytotoxické a vedou k narušení několika signalizačních kaskád. Naproti tomu nízké hladiny reaktivních forem kyslíku mají potenciál generovat syntézu ATP a regulovat proteiny ovlivněné redoxními reakcemi, které se podílejí na proliferaci a diferenciaci buňky. Společně s růstovými faktory a cytokiny, mohou reaktivní formy kyslíku pomoci regeneraci poškozené tkáně, protože podporují transport myogenních prekursorových buněk k místu poškození. Má se za to, že aplikace vlnových délek v intervalu 600-810 nm ovlivňuje cytochrom c oxidázu právě podle výše zmíněného mechanismu. Naproti tomu vlnové délky 810-1064 nm aktivují na světlo citlivé iontové kanály a zvyšují hladiny  $\text{Ca}^{2+}$ , se kterými vzápětí reagují reaktivní formy kyslíku a cyklické AMP [37]. Dochází k ovlivnění buněčné aktivity v procesu hojení, proliferace a imunitních funkcí včetně cytoprotektivního efektu [39], podporuje hojení ran a pozitivně ovlivňuje jak fibroblasty, tak kostní buňky [23].



Obrázek č. 7 - Mechanismus působení IR na buňku [37]

**Analgetický efekt** má několik možných vysvětlení [40, 41]. Jedním z principů zejména vysokovýkonného laseru je ovlivnění volných nervových zakončení vláken typu A, což prostřednictvím vrátkového mechanismu výrazně ovlivňuje bolestivý vjem a lokálně podporuje sekreci endogenních opioidů [21, 23, 27]. Další teorií vztahující se spíše na nízkovýkonný laser je, že moduluje hladinu acetylcholinu zvýšením aktivity acetylcholinesterázy a tím způsobuje snížení hypertonu ve svalech a redukuje případnou nocicepci. Dále laser moduluje hladinu serotoninu, který podporuje cévní permeabilitu a snižuje nociceptivní dráždění. Další vysvětlení se zakládá na názoru, že po aplikaci laseru na akupunkturní body dochází k uvolnění endorfinů, které jsou zodpovědné za redukci bolesti [23, 40]. I zánět způsobuje bolest [41].

**Protizánětlivý účinek** laseru spočívá ve snížení hladin prostaglandinu-E2 (PGE2), C-reaktivního proteinu a několika typů cytokinu [23, 42] a inhibuje cyklooxygenázu-2 [41, 43]. Zvyšuje prokrvení tkáně, které přes příznivé ovlivnění lokálního metabolismu způsobí redukci nocicepce [23].

### 2.2.3 Infračervené záření

Vlnové délky infračerveného záření (IR) se pohybují od 760 nm až do 1 mm a jsou rozděleny na IR-A, IR-B a IR-C [44]. Krátkovlnné IR-A (760-1400 nm) jako jediné prostupuje povrchovou vrstvou kůže, kde ovlivňuje specifické endogenní či exogenní (tetováž) chromofory a dermální fibroblasty [45], nedráždí nociceptory a je tedy lépe snášeno [28, 44]. Velice rychle ovšem ztrácí na své intenzitě a „už v hloubce 1 cm je oslabeno na  $3 \times 10^{-4}$  původní intenzity [28, str. 198].“ Jde o neionizující záření, které nemá dostatečnou energii na odtržení elektronů z atomového obalu, tedy nejde o radiaci [44].

Mezi hlavní účinky IR – A patří stimulace produkce kolagenních vláken typu I a III a elastinu tudíž nachází využití i v dermatologickém průmyslu [28, 45]. Mezi další účinky řadíme „*snížení ztuhlosti kloubních spojení, analgezie, uvolnění svalových spasmů příčně pruhovaných svalů, zlepšení vstřebávání chronických výpotků a edémů* [28, str. 199].“ Při aplikaci suchého tepla dochází v hlouběji uložených tkáních ke zlepšení prokrvení, tím urychlení metabolických dějů a následně k celkovému zintenzivnění reparačních procesů. Teplota se ovšem nezvyšuje pouze lokálně, ale díky cirkulaci v krevním řečišti a kondukcí dochází k reflexnímu prohřátí i vzdálenějších oblastí, např. celého svalu [28].

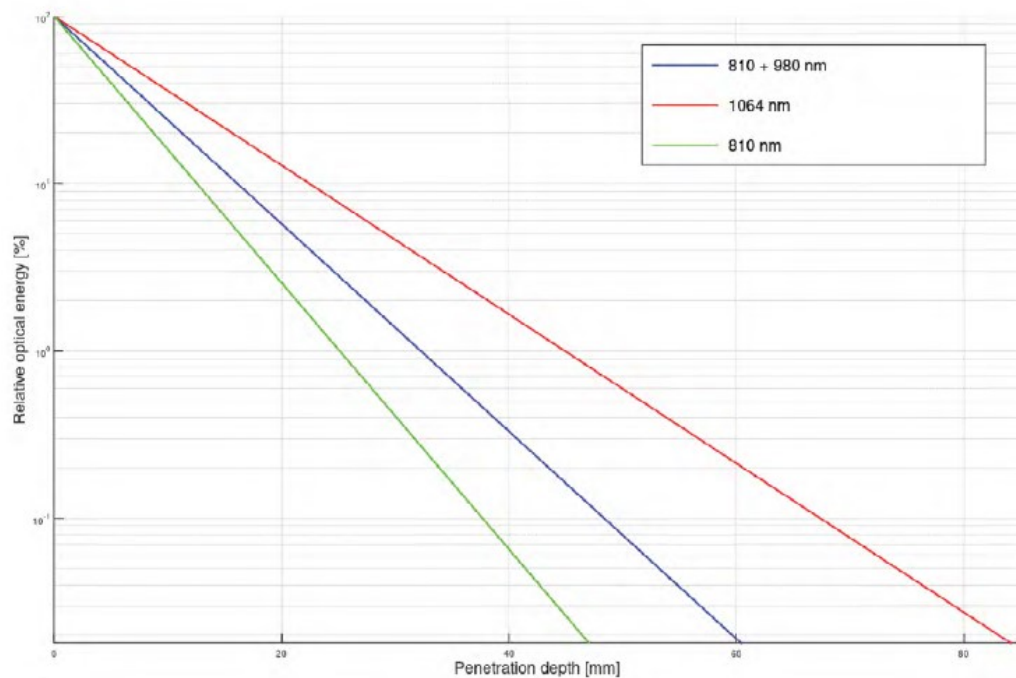
IR – A má ovšem i potenciál k poškození zraku [25, 28] či kůže [25, 28, 45] v případě dlouhodobé nechráněné expozice vysokým dávkám [28].

Pro účely fotobiomodulace je efektivnější využívat vlnové délky, které vykazují co nejmenší absorpční koeficient. Absorpce vede ke ztrátě energie dodané do cílové tkáně, způsobuje nežádoucí zvýšení tepla a omezuje hloubku penetrace. Hlavními absorbenty ve tkáni jsou melanin, hemoglobin a voda. Světlo, které se neodrazí nebo neabsorbuje daným médiem, pokračuje až do hlouběji uložených struktur [24, 30].

**Melanin** je světlo-absorbující chromoforou nacházející se v epidermis v různém procentuálním zastoupení podle fototypu jedince a je zodpovědná za prvotní absorpci energie světla. Míra absorpce s rostoucí koncentrací melaninu v kůži roste [24], zároveň ale klesá s rostoucí vlnovou délkou [22]. Prvotní teplo generované absorpcí paprsku melaninem je dominantním faktorem omezujícím horní tolerovatelnou mez výkonu laseru, zejména u tmavě pigmentovaných jedinců [22, 30].

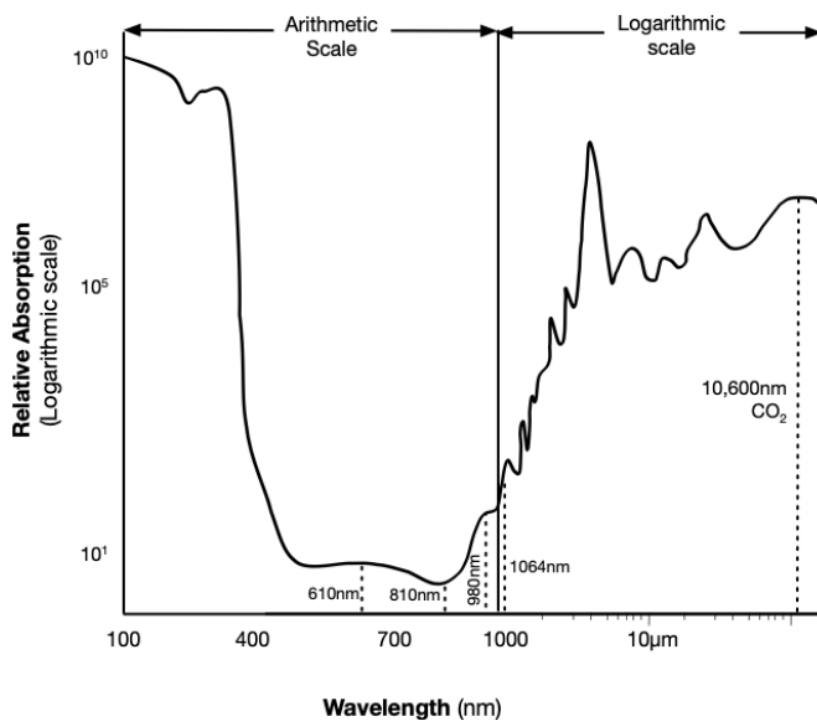
V roce 2020 byla publikována studie [24], jejímž hlavním cílem bylo změřit relativní absorpci 3 vlnových délek – 810 nm, 980 nm a 1064 nm. Kvůli lomu, který nastane na jednotlivých částicích tkáně, se paprsek rozdělí do několika směrů a tím se sníží jeho celková energie. Pravděpodobnost interakce mezi světlem a jednotlivými částicemi závisí na velikosti částice a vlnové délce. Výzkum ukázal, že index lomu byl 3x menší pro 1064 nm než pro 810 nm, což znamená nejvyšší hloubku průniku. Zároveň se ukázalo, že se zvyšující se vlnovou délkou dochází ke snížení absorpčního indexu a že je vlnová délka 1064 nm melaninem vstřebávána zanedbatelně a tím pádem dochází k nejmenším ztrátám energie v hloubce, viz následující graf [24].

*Graf č. 1 - Maximální hloubka průniku u různých vlnových délek [24]*



Nejméně jsou ve vodě absorbovány vlnové délky 810-830 nm jak ukazuje následující graf [30].

Graf č. 2 - absorpce vlnových délek ve vodě [30]



**Hemoglobin** je hlavní krevní komponentou zodpovědnou za absorpci a rozptyl paprsku, v případě deoxyhemoglobinu absorpce výrazně klesá ve vlnových délkách nad 900 nm, největší absorpční index mají oba typy hemoglobinu (oxy- a deoxy-hemoglobin) ve vlnových délkách okolo 600 nm, tzn. ve spektru blízkého infračerveného záření [24].

#### 2.2.4 Nízkovýkonný laser

LLLT = *low level laser therapy*

Jde o lasery, které řadíme do třídy IIIb s výkonem do 1000mW [19, 23, 27]. Mohou být buď jednokanálové, zářivý tok se pohybuje do 0,5 W s max dávkou do 10 J/cm<sup>2</sup> nebo 2-10 kanálové („světelné sprchy“) u nichž se dávka v sumě pohybuje nad 10 J/cm<sup>2</sup>. Obecně lze tedy říci, že energetická dávka u nízkého výkonu výrazně nepřekročí 10 J/cm<sup>2</sup> [26, 27]. Původně název *low-level* neoznačoval míru výkonu zařízení, nýbrž dávku světla, která byla pod úrovní prahu poškození a způsobovala buněčnou fotoaktivaci [19, 46].

LLLT se využívá ke snížení akutní a chronické bolesti, podporuje hojení porušené nervové tkáně a zároveň má antiedematózní efekt. Jeho účinky jsou fotochemické nikoliv termické [47]. Zvyšuje mikrocirkulaci krve skrze inhibici sympatiku, stimuluje a zvyšuje buněčnou proliferaci a podporuje syntézu ATP v mitochondriích, čímž zrychluje reparaci a snižuje poškození buněk a tkání [5], redukuje otok a *in vitro* působí baktericidně [28]. Zároveň má takzvaný celkový účinek na organismus, tedy nepůsobí pouze lokálně, ale dokáže např. stimulovat růst ochlupení a vlasů [27].

V posledních dvou dekáдах několik studií [5, 6, 7, 8] prokázalo pozitivní efekt nízkovýkonnového laseru u pacientů s chronickým tinnitem. Dle jedné ze studií [8] se projevilo pouze několik nezávažných a krátce trvajících nežádoucích účinků mezi něž patřilo svědění či erytém v místě aplikace, mírný otok stěny zevního zvukovodu a mírná alergická reakce. Přechodně se objevilo zvýšení tinnitu a hyperakuze [8]. Jiné studie vedlejší účinky negují [6, 7]. Úloha LLLT však zůstává stále nejasná kvůli malému vzorku pacientů a kvůli rozličnosti metodických přístupů [5].



### 2.2.5 Vysokovýkonný laser

HILT/HLLT/HPLT = *high intensity/level/power laser therapy*

U HILT se výkon pohybuje od 1 do 30 W, v závislosti na typu zařízení. V běžné rehabilitační praxi se nejčastěji využívá výkon v intervalu od 4 do 12 W [27]. Hustota energie se u tohoto typu laseru pohybuje v intervalu od 400 do 600 J/cm<sup>2</sup> [23]. Vzhledem k vyššímu výkonu a delším vlnovým délkám proniká hlouběji, než LLLT a zkracuje celkovou dobu aplikace, čímž i snižuje počet terapií [23, 47]. Aplikace je buď statická, zejména u terapie trigger pointů, plošná s pohybem sondy, plošná s pohybem kloubu nebo při změnách svalového napětí [23]. Při kontinuální aplikaci by způsoboval pocit pálení, proto se aplikuje pulzně „s krátkými trvajícím pulzy do 150 μs, o vysoké energii a s delšími intervaly mezi jednotlivými pulzy [23, str. 65].“ Mají především analgetický efekt [27, 43].

Jak bylo již výše zmíněno, během průniku paprsku tkáněmi dochází k jeho lomu, odrazu a absorpci. Hloubka průniku laseru je závislá na několika nastavitelných parametrech jako jsou objemový výkon (W/cm<sup>3</sup>) a vlnová délka záření. V několika randomizovaných kontrolních studiích [47-49] byla porovnávána nízkovýkonná (<0,5 W) a vysokovýkonná (>0,5 W) laserová terapie a prokázalo se, že vysoký výkon vede k pomalejší absorpci světla chromofory [50], zlepšuje průnik paprsku do hloubky a tím zvyšuje účinnost laserového záření [30]. Světlo absorbované chromofory vyvolá fotochemickou reakci a je přeměněno na energii tepelnou či mechanickou, které se dále šíří vedením do okolních tkání [22, 28]. Zvyšuje se mitochondriální oxidativní reakce, tím i koncentrace ATP, produkce RNA nebo DNA a zároveň tento děj způsobí zpomalení vedení nociceptivních stimulů [50].

Vysoký výkon může způsobit generování přílišného tepla ve tkáni, jež může vést k poškození kůže, které závisí na několika faktorech [30, 51]. Jedním z faktorů jsou barva a pigmentace kůže, množství keratinu, dále vlnová délka a výkon laseru [51]. K určení fototypu využíváme nejrozličnější modifikace Fitzpatrickovy škály, která pleť rozlišuje do 6 stupňů na základě reakcí na sluneční záření. Fototyp a barva kůže ovšem nejsou synonyma. Barva kůže je dána několika pigmenty jako je melanin, hemoglobin, bilirubin nebo karotenoidy, ale pouze melanin chrání před UV zářením. Fototyp tedy určuje hlavně geneticky dané množství epidermálního melaninu [52]. Snížení rizika poškození kůže lze

docílit např. rychlejšími pohyby aplikátoru, podáváním záření v pulzním režimu, které umožňuje zejména ochlazení epidermis a tím snižuje nebezpečí jejího poranění [22], dále se dá riziko redukovat využitím vhodného výběru vlnové délky a aplikováním negativní termoterapie či kryoterapie před laserovým ošetřením [22, 30, 51].

### **2.2.6 Indikace a kontraindikace**

Mezi indikace laseru při léčbě pohybového aparátu patří vertebrogenní algický syndrom, Morbus Bechtěrev při akutních bolestech, artrózy, distorze a svalové kontuze, achillodynie, entezopatie, humeroskapulární periartropatie, syndrom zmrzlého ramene, chondropatie pately, syndrom karpálního tunelu, dupuytrenova kontraktura, jizvy včetně keloidních, chronické kožní defekty [23]. Využití nacházejí v dermatologii [53], stomatologii [54], otoneurologii [6, 55] i estetické medicíně [23, 27].

Mezi kontraindikace (KI) se řadí přímé ozáření oka, proto při aplikaci pacient i terapeut nosí ochranné brýle. Další kontraindikací jsou tumory, prekancerózy, epilepsie v anamnéze, oblast štítné žlázy, gravidita i přes to, že dosud nebyl prokázán negativní účinek laseru na plod, fotosensibilní medikace – antikoagulancia s výjimkou kyseliny acetylsalicylové, lokální nesteroidní antirevmatika, u laserů s vyšším výkonem se sem řadí i tetováž či vyšší pigmentace [23, 27].

Nepatří sem běžné KI fyzikálních léčebných metod jako jsou kovy v těle ani kardiostimulátor [23, 27].

## 2.3 Tinnitus

Tinnitus je definován jako vnímání zvuku, který nepochází z vnějšího prostředí. Někteří autoři dokonce uvádějí, že se jedná o fantomový fenomén [1, 2], kdy je postižena určitá část kochley, je přerušeno nebo sníženo vedení vzruchů do sluchové kůry a při této absenci vzruchů vydávají korové buňky kompenzační signály popisované jako tinnitus, případně doprovázený hyperakuzí [1, 2, 3]. Kromě sluchových drah je tinnitus přenášen i dráhami podobnými těm, co vedou chronickou bolest, jejichž funkce může být zachována i bez přítomnosti primárního spouštěče tinnitu [1, 56, 57]. Dalším názorem je, že primární příčina tinnitu se nachází v oblasti centrálního nervového systému [2, 58].

Existuje termín či hypotéza „*final common pathway* [58],“ která objasňuje „*převod a následný přenos vzruchů přídatného akustického systému, který má za následek tinitus* [2, str. 117].“ Dále je v hypotéze zahrnuta myšlenka, že tinnitus může způsobit emocionálně behaviorální konflikt a naopak [2, 58]. Patofyziologie tinnitu je komplexní. Zahrnuje sluchové i nesluchové systémy a jde o složitou interakci mezi periferním a centrálním mechanismem. K projevu tinnitu jsou většinou potřeba alespoň dva spouštěče [1].

V dospělé populaci je jeho prevalence přibližně 10-15 % a spolu s incidencí narůstá s věkem [4, 59]. Mezi rizikové faktory jeho vzniku se řadí věk, vystavení se příliš hlasitému zvuku, dlouhodobá expozice hluku, ztráta sluchu, hypertenze, zranění v oblasti hlavy a další. Kromě sluchového projevu je doprovázen i dalšími nesluchoвыми symptomy, jako je frustrace, neschopnost relaxace, nespavost či porucha koncentrace a dále mohou být přítomny i deprese a úzkostné stavy. Jednotlivé symptomy tinnitu se navzájem ovlivňují a zesilují se konexe mezi sluchovými, nesluchoвыми a psychickými potížemi. Vnímání tinnitu jednotlivci závisí zejména na míře aktivace limbického systému, který se výrazně podílí právě na negativních emocích spojených s tinnitem [4].

Přestože prevalence tinnitu přímo nesouvisí s prevalencí ztráty sluchu, chronická forma je často doprovázena ztrátou sluchu [4, 60]. Až 60 % normálně slyšících lidí (určeno audiometrií) mají tinnitus [1, 61, 62]. Pacienti se ztrátou sluchu trpí hlasitějším tinnitem než pacienti s normálním audiogramem [4, 63]. Pokud se příčina tinnitu nachází

mimo sluchové ústrojí (svalová dysbalance krční páteře, Costenův syndrom aj.) nebo je příčinou porucha ZVB, pak tinnitus nemusí být doprovázen nedoslýchavostí [2].

Dělí se dle několika kritérií, která zahrnují jeho příčiny, komorbidity, charakteristiku symptomů a psychologickou zátěž [1, 64]. Tinnitus subjektivní je vnímaný pouze pacientem, zatímco tinnitus objektivní může slyšet i vyšetřující [2, 12]. „*Objektivní tinnitus je zpravidla způsoben cévní malformací v oblasti středního nebo vnitřního ucha a jeho typickým rysem je jeho konstantnost a pravidelnost* [2, str. 117], jeho příčinu lze většinou operativně odstranit [2]. „*Postižený udává, že je synchronní s tepem nebo s polykáním* [2, str. 117].“ Objektivním tinnitem může být i myoklonus středoušních svalů viz dále [13].

Somatosenzorický tinnitus je podtypem subjektivního tinnitu, při kterém je jeho vnímání způsobeno změnou somatosenzorické aference z krční páteře (Cp) nebo z temporomandibulární oblasti [1, 65, 66]. Podle místa původu popisujeme tinnitus centrální a periferní [1, 67]. Další klasifikace je založena na popisu slyšeného zvuku, tzn. zda je kontinuální nebo intermitentní, pulzující nebo nepulzující [1]. Pulzující typ je běžně způsobený vaskulárními abnormalitami, např. aterosklerózou, hypertenzí nebo benigní intrakraniální hypertenzí. Typ nepulzující je zapříčiněn sensorineurální ztrátou sluchu, otosklerózou nebo akustickými neuromy [12]. Rozlišení dle doby trvání je značně variabilní a záleží na postoji jednotlivých autorů, nicméně doba přechodu z akutního stadia se pohybuje v časovém rozmezí 3 až 12 měsíců [1, 61, 68, 69].

Na základě několika možných vysvětlení patofyziologie tinnitu byly navrženy tři odlišné subtypy: kochleární tinnitus, na periférii závislý centrální tinnitus a na periférii nezávislý centrální tinnitus. Kochleární tinnitus označuje tinnitus vyvolaný změněnou aktivitou ve vnitřním uchu, která se šíří přes *n. cochlearis* a centrální sluchovou dráhu, což může vést, v závislosti na rychlosti přenosu vzruchu a eferentní modulaci, ke sluchovému vjemu. Na periférii závislý centrální tinnitus souvisí se spontánní kochleární aktivitou, zatímco na periférii nezávislý centrální tinnitus s ní nijak nesouvisí [1, 70].

Z výše uvedeného vyplývá, že příčiny tinnitu mohou být různé (otologické, neurologické, infekce a toxické příčiny, systemické poruchy...), statistika hovoří o 20 %

tinnitu způsobeném akustickým traumatem, o 9 % způsobených kraniotraumatem, okolo 7 % způsobuje Menierova choroba, přibližně 2 % jsou způsobena konzumací ototoxických látek a zbylých 60 % případů spadá do kategorie s nejasnou příčinou [71].

### 2.3.1 Periferní mechanismus

Poruchu kochleárních funkcí může zahrnovat snížení elektromotility ZVB, ztrátu synapsí mezi VVB a neurony spirálního ganglionu, buněčnou smrt VVB nebo ZVB nebo rupturu bazilární membrány. Tyto mechanismy mohou vést ke snížení nervového výstupu z kochley do mozkové kůry a lze je považovat za potenciální spouštěče kompenzačních mechanismů v mozku [1, 72].

Příčinou akutního tinnitu může být změna pozice tektoriální membrány způsobená intenzivním zvukem/hlukem [1, 72]. Po vystavení se extrémním zvukovým podmínkám může dojít nejprve k poškození stereocílií ZVB, zvýšením intracelulární koncentrace kalcia a biochemickými změnami strukturálních proteinů a potom dojde i k poruše VVB [1]. Bylo zjištěno, že další strukturou, která hraje roli ve hlukem podmíněném tinnitu jsou N-methyl-D-aspartátové receptory (NMDAr) uložené na VVB. Pokud se zvýší koncentrace glutamátu, dojde k aktivaci těchto receptorů, které způsobí nadměrné uvolnění  $Ca^{2+}$  v dendritech *ganglionu spirale cochleare*, dojde k nadměrné excitaci NMDAr a k dalšímu uvolnění  $Ca^{2+}$  [1, 73]. Zvýšení hladiny  $Ca^{2+}$  může nastartovat postupné metabolické děje jako je produkce reaktivního kyslíku nebo vodíku nebo dokonce zánik neuronů spirálního ganglionu [1, 74]. Jak bylo uvedeno výše, ZVB regulují endokochleární potenciál skrze mechano-elektrické kanály, jejichž otevření závisí na směru pohybu stereocílií. Zdá se, že tento proces je vyvolán akutním zvukovým traumatem, což snižuje pravděpodobnost otevření těchto kanálů, a to způsobí zvýšení endokochleárního potenciálu [75].

Další periferní příčinou může být myoklonus středoušních svalů jinak označovaný také jako syndrom *m. tensor tympanii* (MTT) [11]. „*Myoklonus je definován jako náhlý, rychlý mimovolní pohyb svalu, způsobený svalovou kontrakcí, nebo svalovou inhibicí, který lze klasifikovat podle klinických charakteristik, anatomického původu nebo etiologie* [76].“ Mezi nejčastější doprovodné symptomy myoklonu jsou popisovány plnost ucha, pulzující tinnitus, dysakuzie s různými abnormálními akustickými vjemy a bolesti v postiženém uchu. Může být vyvolán i násilným uzavřením očních víček. Dále

ho spouští velké množství zvuků s nízkou a vysokou frekvencí včetně zpěvu ptáků či různých hudebních skladeb. Pokud je MTT v hypertonu, v důsledku akustického šoku nebo např. hypoxie, stává se hypersenzitivním k široké škále stimulace jako je zvuková stimulace, změna tlaku nebo emoční šok [11]. Myoklonus je měřitelný v utěsněném zevním zvukovodu [77].

### 2.3.2 Centrální mechanismus

Centrálním mechanismem tinnitu je tzv. homeostatická plasticita. Jde o fenomén, kdy sluchové neurony v mozku adaptují své synaptické konexe v zájmu udržet neuronální síť na podobné funkci jako byla před poškozením periferie [78, 79]. Pravděpodobně jde o neuronální hyperaktivitu v *ncl. posteroventralis cochlearis* (NPVC), *colliculus inferior* (CI), *ncl. dorsalis cochlearis* (NDC) a v *lobus paraflocculus mozečku* [1, 78].

U pacientů s normálním prahem slyšitelnosti se mluví o zvýšené reakci na zvuk v subkortikálních oblastech, zejména v *colliculus inferior* [1, 79]. Mnoho dat [80, 81, 82] se shoduje, že právě NDC je důležitým místem maladaptivní sluchově somatosenzorické plasticity, proto může být induktorem tinnitu, ze kterého se šíří do vyšších etáží. Jiná hypotéza předpokládá hyperaktivitu v *ncl. cochlearis*, CI a talamu [1]. Zdá se ale, že všechny kompenzační mechanismy jsou spojeny se ztrátou GABAergní inhibice a snížením aktivity specifických draslíkových kanálů [1, 83].

U pacientů s tinnitem se prokázala hyperaktivita v gamma frekvenčním rozsahu v temporálním laloku [1, 84] a v alfa i gama frekvenčním rozsahu ve frontálním laloku [1, 85].

### 2.3.3 Extra-auditoriální příčiny

V tomto případě mluvíme o somatosenzorickém tinnitu. Jde o subjektivní tinnitus, který může být modulován pohybem hlavy, krční páteře anebo čelisti [71, 86].

Do této kategorie lze zařadit tinnitus související s poruchou temporomandibulárního kloubu (TMK). Už v roce 1934 přišel americký otorinolaryngolog JB Costen s teorií, že poruchy TMK a tinnitus jsou úzce spjaté [71, 87]. Postupem času se pro dysfunkci TMK ustanovil termín Costenův syndrom [71].

Existuje studie z roku 2014 [88], která z 951 stomatologických pacientů univerzity v Regensburgu vyselektovala 82 pacientů s poruchou TMK. Z toho 30 pacientů trpělo tinnitem a z nich 25 souhlasilo s následující intervencí. Pacienti podstoupily několik vyšetření před experimentem a 3-5 měsíců po jeho ukončení. Ošetřujícím stomatologem jim byly indikovány různé typy stabilizačních dlah a dále podstoupily fyzioterapeutickou léčbu. Byla zjištěna až 8krát vyšší prevalence tinnitu (30/82) u pacientů s poruchami TMK než u pacientů bez těchto poruch (38/869) [88].

V roce 2017 byla provedena další studie [71] na vzorku 200 pacientů obou pohlaví, u nichž byla vyloučena otologická příčina tinnitu. Každý z pacientů prošel detailním klinickým vyšetřením zaměřujícím se konkrétně na TMK. Byla od nich odebrána anamnestická data a byla provedena magnetická rezonance hlavy při otevřených i zavřených ústech pro určení případné patologie disku. Hodnocen byl jak tinnitus pomocí dotazníku *Tinnitus handicap inventory*, tak poruchy rovnováhy dle dotazníku *Dizziness handicap inventory* [71]. Výsledky potvrdily spojitost mezi poruchou TMK a tinnitem. Ukázalo se, že výskyt tinnitu byl častější u vážnějších poruch TMK (stupeň poruchy 1-5, přičemž 5 značí nejzávažnější stav poruchy). Tinnitus spjatý s TMK se dá považovat za specifický typ, který je méně vázaný na rizikové faktory jako je starší věk a mužské pohlaví, vzhledem k tomu, že poruchy TMK se vyskytují převážně u žen okolo 50. roku věku, a to až ve 2/3 případů [71, 88].

Dále s tinnitem mohou souviset poruchy krční páteře – cervikogenní somatický tinnitus (CST). I přes to, že dle studie z roku 2014 [65] byla dysfunkce Cp výrazně vyšší u pacientů s CST, podobná dysfunkce byla nalezena i u pacientů bez CST. Z toho vyplývá, že je potřeba větší množství relevantních studií, které by prokázaly výraznější spojitost tinnitu a dysfunkce Cp [65].

### 2.3.4 Diagnostika a léčba

Na diagnostice tinnitu se podílí otorinolaryngolog a neurolog, kteří vyšetření doplní o některé objektivizační metody jako je audiometrie či magnetická rezonance a dále rehabilitační lékař či fyzioterapeut. Pacient zpravidla vyplňuje dotazníky objektivizující závažnost tinnitu, jako je např. VAS nebo TSCHQ (*tinnitus sample case history questionnaire*) a je požádán, aby si vedl deník. Po sledu několika vyšetření a vyhodnocení dotazníku lze navrhnout individuální terapii [2].

Encefalografické výzkumy [89, 90, 91] na pacientech s tinnitem odhalily několik změn v oscilaci frekvenčních pásem v mozku. Snížená síla alfa vln ve sluchové kůře byla nahrazena zvýšením frekvence theta a zvýšením frekvence gama v kontralaterálním kortexu [92]. Výsledky ve studii z roku 2010 [93] odhalily synchronizovanější alfa aktivitu u pacientů s tinnitem, přičemž vrcholy této aktivity byly lokalizovány v rozličných oblastech souvisejících s emocemi, jako např. v předním cingulárním kortexu, v insule, parahippokampální oblasti a v amygdale. V zadní cingulární kůře a dorsolaterálním prefrontálním kortexu naopak zjistily méně synchronizované alfa aktivity [93]. Jedna ze studií [94] zároveň prokázala korelaci mezi elektrickou aktivitou v neuronální síti spojené s distresem a množstvím distresu vyhodnoceným pomocí *Tinnitus Questionnaire* [92, 94]. Studie publikovaná v roce 2019 [92] se snažila najít spojitost mezi *Tinnitus Handicap Inventory* dotazníkem a získanými EEG daty na pacientech s tinnitem. Získaná data prokázala významnou pozitivní korelaci mezi skóre dotazníku a mozkovou aktivitou v neuronální síti spojované s distresem, zejména v předním cirkulárním kortexu, v prefrontálním kortexu a parahipokampu [92].

Léčba akutního tinnitu z pohledu lékaře začíná zejména jednorázovým podáním kortikoidů v kombinaci s vazodilatancii/reologiky případně doplněním terapií v hyperbarické komoře. Chronický tinnitus se léčí obtížněji a jde o multioborovou spolupráci [2]. Farmakologická léčba chronického tinnitu spočívá zejména v léčbě komorbidit jako jsou deprese, úzkosti a nespavost [95].



V rámci fyzikální terapie nachází využití kromě laseroterapie i hyperbarická komora [2] hlavně u akutního tinnitu. Za předpokladu neporušené funkce Eustachovy trubice ji lze využít i u případů chronických [2].

Další z možností je tzv. *tinnitus retraining therapy* (TRT), která spočívá nejprve v určení výšky tónu tinnitu a následně je pacientovi vydán přístroj generující tóny o stejné frekvenci, který pacient nosí dvě hodiny denně po dobu čtyř až osmi měsíců [2]. Princip spočívá v adaptaci na intenzitu a frekvenci uměle generovaného zvuku [2, 96].

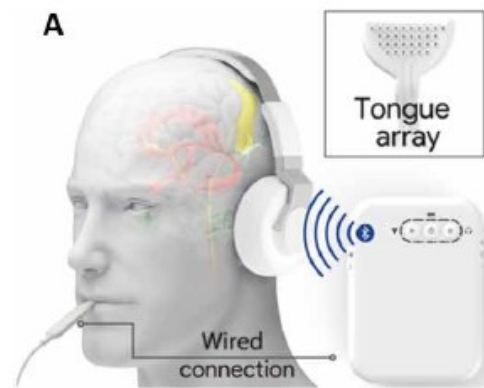
Své místo nachází i rehabilitační péče zahrnující techniky měkkých tkání v oblasti Cp a žvýkacích svalů a mobilizační techniky Cp, žeber a v neposlední řadě temporomandibulárního kloubu [2, 86, 97]. Akupunktura je další alternativou léčby chronického tinnitu za předpokladu, že ji aplikuje zkušený a erudovaný odborník, zatím ale neexistuje dostatečný počet klinických studií, který by potvrdil její dlouhodobý pozitivní efekt [2, 98].

Ve studii z roku 2022 [99] byl zkoumán vliv hladiny mikronutrientů – zinku, vitamínu B12 a manganu na vývoj a závažnost tinnitu. Neprokázalo se, že by nízká hladina zinku či vitamínu B12 významně souvisela s výskytem tinnitu, avšak nízká hladina manganu v krvi byla výrazně spojena s pravidelností a rušivostí tinnitu. Dalo by se tedy předpokládat, že udržování fyziologické hladiny manganu v krvi by mohlo pozitivně přispět ke snížení závažnosti tinnitu, nicméně tato hypotéza vyžaduje podrobnější výzkum [99].

Jedním z přístupů může být i kognitivně behaviorální terapie (KBT), která neeliminuje intenzitu zvukového vjemu, ale má za cíl snížit nebo upravit negativní smýšlení spjaté s tinnem a snaží se zapracovat na pozitivnějších a realističtějších myšlenkách, které by pacientovi umožnili zlepšit kvalitu života navzdory přetrvávajícímu tinnitu [95, 96, 100].

Jednou z novějších technik pro léčbu tinnitu je terapeutická mozková stimulace, která byla zkoumána pro svůj potenciál normalizovat abnormální neuronální aktivitu spjatou s tinnitem [95, 96]. Využívala se repetitivní transkraniální magnetická stimulace [101, 102, 103] nebo např. stimulace *nervus vagus* spolu se stimulací sluchového centra [95, 96, 104].

V posledních letech se v rámci stimulace nejvíce využívá bimodální neuromodulace s marketingovým názvem *Lenire* vyvinutá v Irsku, která kombinuje zvuk pouštěný do sluchátek a elektrostimulaci jazyka [105]. Její pozitivní účinek byl prokázán klinickou randomizovanou studií publikovanou v roce 2020, do níž se zapojilo celkem 326 osob s chronickým subjektivním tinnitem [106].



Obrázek č. 8 - *Lenire* – bimodální neuromodulace [106]

### **3 CÍLE A ÚKOLY PRÁCE, HYPOTÉZY**

Cílem teoretických východisek práce je popsat fyziologii percepce zvuku, možné příčiny vzniku tinnitu a v neposlední řadě zahrnout i teoretické informace o laseroterapii a dosavadních možnostech léčby tinnitu. V praktické části je porovnána efektivita vysokovýkonného a nízkovýkonného laseru v léčbě chronického tinnitu. Metodická část popisuje kritéria pro výběr a zařazení probandů.

#### **3.1 Úkoly práce**

1. Zpracování literární rešerše na dané téma zahrnující informace o fyziologii percepce zvuku, o tinnitu a jeho dosavadních možnostech léčby a v neposlední řadě o samotné laseroterapii
2. Stanovit hypotézy studie
3. Zajištění technického vybavení pro studii
4. Výběr vhodných probandů pro studii na základě vyplněného dotazníku
5. Seznámení probandů se studií
6. Provedení samotné experimentální části
7. Zpracování a analýza získaných dat
8. Porovnání výsledků s hypotézami
9. Vypracování diskuze

#### **3.2 Výzkumné otázky**

1. Vnímají pacienti s chronickým tinnitem zhoršenou kvalitu života?
2. Je terapie HILT více účinná než LLLT pro snížení intenzity tinnitu?
3. Dojde u pacientů s chronickým tinnitem ke snížení intenzity tinnitu po sérii aplikací laseroterapie?

### 3.3 Hypotézy

H1: Využití vysokovýkonné laseroterapie má prokazatelný pozitivní vliv na zmírnění subjektivně vnímané hlasitosti chronického tinnitu testované v rámci dotazníku TSCHQ na hladině statistické významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H2: Využití nízkovýkonné laseroterapie má prokazatelný pozitivní vliv na zmírnění subjektivně vnímané hlasitosti chronického tinnitu testované v rámci dotazníku TSCHQ na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H3: Využití vysokovýkonné laseroterapie je klinicky účinnější pro zmírnění subjektivně hlasitosti chronického tinnitu zjišťované pomocí TSCHQ, než využití nízkovýkonné laseroterapie na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H4: Využití nízkovýkonné laseroterapie je klinicky účinnější pro zmírnění subjektivně hlasitosti chronického tinnitu zjišťované pomocí TSCHQ, než využití vysokovýkonné laseroterapie na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H5: Využití obou typů laserů má pozitivní vliv na snížení subjektivně vnímané hlasitosti tinnitu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H6: Aplikace laseroterapie nízkovýkonné laseroterapie zlepšila vnímání kvality života u pacientů s chronickým tinnitem při hodnocení pomocí dotazníku THI na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H7: Aplikace laseroterapie vysokovýkonné laseroterapie zlepšila vnímání kvality života u pacientů s chronickým tinnitem při hodnocení pomocí dotazníku THI na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

## 4 METODIKA PRÁCE

Diplomová práce má formu komparativní, experimentální, intervenční studie, a je rozdělena na část teoretickou a experimentální. Část teoretická je vypracována formou rešerše z dostupných tuzemských i zahraničních knižních či elektronických zdrojů souvisejících s tematikou tinnitu, laseroterapie a přenosu sluchu. Literární internetové zdroje pro vypracování studie byly vyhledávány pomocí těchto internetových databází: Google Scholar, PubMed, Elsevier, ResearchGate a vyhledávání bylo omezeno jazykově (čeština, angličtina) a byly nalezeny zdroje ke zpracované problematice od roku 1989 do současnosti, přičemž většina zdrojů není starší roku 2010. V této práci je využita citační norma ČSN ISO 690. Experimentální část byla zpracována na UK FTVS na katedře fyzioterapie pod vedením PhDr. Jitky Malé, PhD. Práce byla zpracována se souhlasem EK UK FTVS pod číslem 056/2022 a byla registrována jako výzkum prováděný na živých objektech, No. CT-NCT05667168. Žádost Etické komisi je k nalezení v Příloze č. 1, v Příloze č. 2. je přiložen vzor informovaného souhlasu. Všechna získaná osobní data byla zpracována v souladu s GDPR.

### 4.1 Sběr dat

Pro oslovení co největšího množství potenciálních probandů byl vyvěšen inzerát prezentující záměr studie na několika anonymizovaných rehabilitačních pracovištích ve Středočeském kraji a Praze a dále byla využita inzerce na sociálních sítích. Celkem se přihlásilo na 70 zájemců z nichž bylo vybráno 20 probandů, kteří splňovali podmínky pro zařazení do studie a zároveň jim jejich časové možnosti dovolili se studie zúčastnit.

Každý z probandů historicky podstoupil vyšetření na ORL, kde byla vyloučena ztráta sluchu, dále bezprostředně před experimentem podstoupili vyšetření neurologem, včetně natočení EEG. Na počátku experimentu všichni zájemci o zařazení do studie vyplnili anamnestický dotazník *Tinnitus sample case history questionnaire* (TSCHQ) (Příloha č. 3), který sloužil zejména jako síto pro výběr vhodných probandů a dále podstoupili kineziologické vyšetření fyzioterapeutem (Příloha č. 4 a 5), na jehož základě byli zařazení nebo vyloučeni ze studie. V případě zařazení podepsali informovaný souhlas (Příloha č. 2), vyplnili *Tinnitus handicap inventory* (THI) dotazník (Příloha č. 6)

a byli podrobeni neurologickému vyšetření. Poté byli rozděleni do dvou skupin po 10, z nichž jedna absolvovala terapii HILT a druhá LLLT.

## **4.2 Popis výzkumného souboru**

Bylo vybráno celkem 20 probandů, 11 žen a 9 mužů, ve věku od 24 do 52 let, kterým byl neurologem a otorinolaryngologem diagnostikovaný tinnitus v chronické fázi, tedy přetrvávající déle jak 3 měsíce. Průměrná doba trvání tinnitu činila 4,9 let. Průměrný věk žen činil 31 let, v mužské skupině byl průměrný věk 37 let. Účast ve studii byla dobrovolná.

Byli rozděleni do dvou skupin po 10, tak aby byly genderově vyvážené. Jedna skupina absolvovala léčbu nízkovýkonným (6 žen a 4 muži) a druhá vysokovýkonným laserem (5 mužů a 5 žen). Během výzkumu se ze studie ze zdravotních a časových důvodů odhlásili dva probandí, studie tedy byla dokončena v počtu 18 probandů, po 9 v každé skupině (HILT – 5 mužů, 4 ženy; LLLT – 5 žen, 4 muži).

### **Vylučující kritéria**

- věk nad 60 let
- akutní i chronická onemocnění vyžadující medikaci
- traumata hlavy a krční páteře v anamnéze
- užívání ototoxických léků
- revmatoidní onemocnění
- somatická porucha v oblasti hlavy a krční páteře
- otoskleróza
- Menierova choroba
- vestibulární schwanom nebo stav po operaci
- Costenův syndrom
- jakákoliv kontraindikace pro aplikaci laseru

## 4.3 Diagnostické metody

### 4.3.1 Tinnitus sample case history questionnaire (TSCHQ)

Jde o dotazník dostupný v několika evropských jazycích, včetně češtiny, na stránkách neziskové organizace *Tinnitus research initiative (TRI)*, která provádí vědecké studie s cílem najít účinný způsob léčby všech typů tinnitu, tak aby došlo ke zlepšení kvality života u pacientů s tinnitem případně u pacientů s poruchami souvisejícími s tinnitem. Její aktivita je zároveň založena na přesvědčení, že pro pochopení tinnitu a pro vývoj jeho léčby je mezioborová spolupráce nezbytná [107].

Dotazník obsahuje celkem 35 otázek, které zahrnují demografické údaje, historii vzniku tinnitu a jeho charakteristiku, komorbiditu a další (viz Příloha č.3) [108].

Probandi dotazník vyplnili před začátkem experimentu a týden po jeho ukončení. Z dotazníku bylo vybráno celkem 5 otázek ke kvantitativnímu zhodnocení a 8 otázek ke kvalitativnímu zhodnocení. (Příloha č. 3)

#### **Kvantitativní zhodnocení:**

1. Věk – otázka č. 1
2. Doba trvání tinnitu – otázka č. 5
3. Hlasitost tinnitu na škále od 1 do 100 – otázka č. 12
4. Kolik procent z bdělosti tinnitus probanda obtěžuje, způsobuje mu úzkost či podráždění – otázka č. 17
5. Na kolik procent si proband uvědomuje tinnitus v bdělosti v % - otázka č. 18

#### **Kvalitativní zhodnocení:**

1. Lokalizace tinnitu – otázka č. 9
2. Změna hlasitosti tinnitu den ode dne – otázka č. 11
3. Charakter tinnitu – otázka č. 14
4. Výška tinnitu – otázka č. 15
5. Zhoršení tinnitu hlasitými zvuky – otázka č. 20
6. Souvislost kvality spánku a tinnitu – otázka č. 23
7. Tolerance hlasitých zvuků – otázka č. 28
8. Způsobují zvuky fyzickou nepohodu – otázka č. 29

### 4.3.2 Tinnitus handicap inventory (THI)

*Tinnitus handicap inventory* zahrnuje 25 otázek (Příloha č. 6). Byl vyvinut jako diagnostický nástroj s cílem hodnotit úroveň závažnosti tinnitu a zaměřuje se zejména na dopad tinnitu na běžný život. Skóre se pohybuje od 0 do 100, přičemž vyšší bodový zisk reprezentuje závažnější tinnitus [108]. Na otázky se odpovídá „ano“ za 4 body, „někdy“ za 2 body, „ne“ za 0 bodů. Podle celkového bodového zisku rozděluje tinnitus do 5 úrovní podle závažnosti (viz Příloha č. 7) [109].

Probandi dotazník vyplnili před začátkem experimentu a týden po jeho ukončení.

### 4.3.3 Kineziologické vyšetření

Kineziologické myoskeletální vyšetření fyzioterapeutem probíhalo před začátkem experimentu a zahrnovalo aspekční hodnocení postury, funkční testy dle dynamické neuromuskulární stabilizace profesora Koláře, vyšetření temporomandibulárního kloubu, krční páteře a žeber (Příloha č. 4 a 5).

## 4.4 Terapeutické experimentální metody

### 4.4.1 Laseroterapie

Laseroterapie byla aplikována celkem 15x s četností aplikací 2-3x týdně s víkendovou pauzou. Vysokovýkonovým laserem byla osvětlována oblast *processus mastoideus* (1 cm<sup>2</sup>), zevní zvukovod (1 cm<sup>2</sup>) a krátké extenzory šíje (3 cm<sup>2</sup>) bilaterálně. Nízkovýkonovým laserem bylo svíceno pouze do oblasti zevního zvukovodu a oblasti krátkých extenzorů šíje. Během aplikace proband ležel na lehátku na břicho s hlavou odloženou v obličejovém otvoru. Terapeut i každý z probandů měl po dobu aplikace nasazené ochranné brýle.





*Obrázek č. 9 - Ochranné brýle vlevo k LLLT, vpravo k HILT [vlastní zdroj]*

Pro LLLT bylo použito zařízení CCM MAESTRO MediCom (firma MediCom a.s.) spadající do hygienické třídy IIIB a pro aplikaci byla zvolena hloubková infračervená sonda v následujících parametrech: 830 nm, 300 mW, 6 Hz a energetickou hustotou 30 J/cm<sup>2</sup>, doba aplikace činila 26 minut – po 13 minutách na každou stranu.



*Obrázek č. 10 - LLLT: CCM MAESTRO MediCom [vlastní zdroj]*



Obrázek č. 11 - Hlubková infračervená sonda k LLLT [vlastní zdroj]

Pro HILT byl zvolen přístroj BTL-6000 high intensity laser 7 W spadající do třídy IV, s kombinací vlnových délek 810+980 nm a s maximálním výkonem 7 W, v pulzním režimu s frekvencí 25 Hz, s dávkou 40 J do vnitřního ucha, 100 J na *processus mastoideus* a 200 J na oblast krátkých extenzorů šíje bilaterálně. Doba aplikace se lišila podle tolerovaného výkonu laseru jednotlivými probandy. V oblasti zevního zvukovodu se výkon pohyboval v rozmezí od 0,7 W do 1,2 W a na ostatních oblastech se hodnoty výkonu pohybovaly v intervalu od 4,5 W do 6 W.



*Obrázek č. 12 - BTL-6000 high intensity laser [vlastní zdroj]*



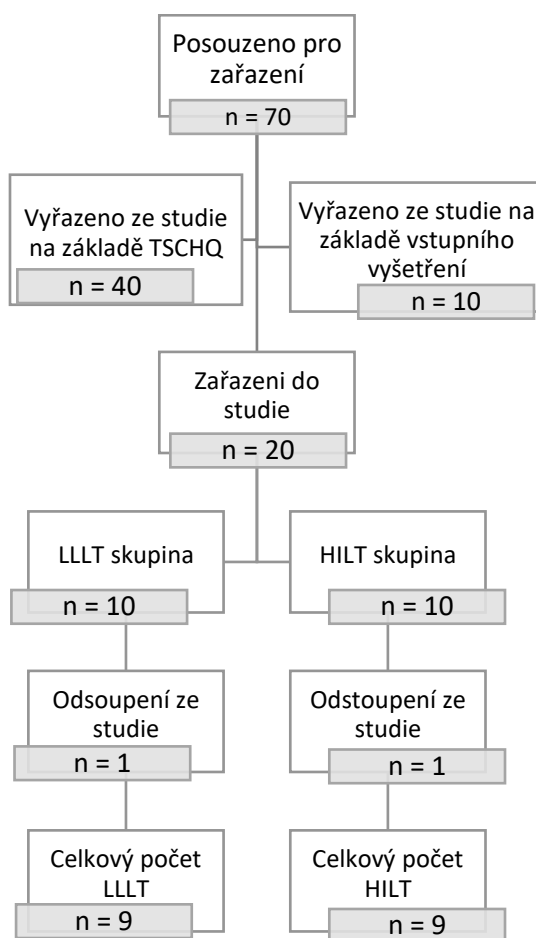
*Obrázek č. 13 – Laserová sonda HILT [vlastní zdroj]*

#### **4.5 Analýza dat – statistické zpracování**

Získaná data z obou dotazníků byla přenesena do tabulek v programu Microsoft Excel 2016 (32bitová verze), kde po statistickém zpracování byly vytvořeny i příslušné tabulky a grafy. Statistické zpracování provedl pověřený odborník na statistiku v softwaru IBM SPSS verze 29. Bylo využito metod deskriptivní statistiky a nonparametrických testů. Homogenita obou skupin v rámci kvantitativních znaků před a po intervenci byla zjišťována pomocí Mann-Whitneyho testu. Wilcoxonův test byl využit pro porovnání efektu laseru v rámci jedné experimentální skupině před a po intervenci. Pro vyhodnocení THI testu a kvalitativních hodnot získaných z TSCHQ dotazníku byl využit Chi kvadrát test. Hladina významnosti byla stanovena na 5 %. Efekt terapie byl zhodnocen na základě využitých statistických testů u obou skupin a následně byla data porovnána mezi oběma skupinami pro akceptování alternativních hypotéz.

## 5 VÝSLEDKY

Celkem se na vyvěšené inzeráty přihlásilo 70 zájemců z nichž bylo na základě TSCHQ a vylučujících faktorů vyřazeno 40 probandů, dalších 10 potenciálních probandů bylo vyloučeno po vstupním kineziologickém vyšetření. Celkem bylo zahrnuto 20 probandů, kteří splňovali podmínky pro zařazení do studie a zároveň jim jejich časové možnosti dovolili se studii zúčastnit. V průběhu terapie z každé skupiny odstoupil jeden proband, tudíž výsledný počet v obou skupinách se rovnal 9 probandům. Celý postup a třídění probandů je zaznamenán na organizačním diagramu na obrázku č. 14.



Obrázek č. 14 - Diagram zařazení probandů

Tabulka č. 1 - Průměrný věk probandů a průměrná doba trvání tinnitu ve skupinách

| Proměnná            | HILT         | LLLT         | P hodnota |
|---------------------|--------------|--------------|-----------|
| Věk probandů        | 36,44 ± 8,78 | 31,67 ± 5,10 | 0,137     |
| Doba trvání tinnitu | 5,44 ± 9,26  | 4,5 ± 4,5    | 0,403     |

\*Data jsou prezentována jako průměr ± směrodatná odchylka (SD).

Věkové rozmezí probandů bez ohledu na pohlaví se v rámci experimentální HILT skupiny pohybovalo od 24 do 52 let, u LLLT skupiny bylo rozmezí od 25 do 40 let, mezi skupinami nebyla prokázána odlišnost na stanovené hladině významnosti 5 % ( $p > 0,05$ ). Totéž platí pro dobu trvání tinnitu, tudíž obě skupiny můžeme považovat za homogenní.

## 5.1 Vyhodnocení kvantitativních dat – TSCHQ

V následující tabulce č. 2 je zobrazeno porovnání obou skupin před intervencí ve třech kvantitativních ukazatelích. Neprokázala se statisticky významná odlišnost hodnot mezi skupinami ( $p > 0,05$ ), můžeme je tedy považovat za skupiny homogenní.

Tabulka č. 2 - Porovnání skupin před intervencí

| Proměnná                            | HILT          | LLLT          | P hodnota |
|-------------------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Hlasitost tinnitu [body 1-100]      | 38,89 ± 11,67 | 32,56 ± 17,14 | 0,373     |
| Uvědomění si tinnitu v bdělosti [%] | 31,67 ± 9,01  | 50,0 ± 33,82  | 0,136     |
| Úzkost z tinnitu [%]                | 18,11 ± 20,18 | 25,0 ± 29,58  | 0,572     |

\*Data jsou prezentována jako průměr ± směrodatná odchylka (SD).

K testování předem stanovených hypotéz sloužila z kvantitativního výběru dat pouze hlasitost tinnitu. Ostatní data byla zahrnuta pouze pro zajímavost efektu laseroterapie. Mimo oblast dotazníku byly navíc vyhodnoceny 2 kvalitativní faktory, a to přechodné zhoršení subjektivně vnímané hlasitosti tinnitu po aplikaci laseroterapie na max 48 h a subjektivně vnímané zlepšení sluchu po aplikaci laseroterapie, která budou uvedena níže v kapitole č. 5.2.

### 5.1.1 Vyhodnocení hypotézy H1

H<sub>10</sub>: Využití vysokovýkonné laseroterapie nemá prokazatelný pozitivní vliv na zmírnění subjektivně vnímané hlasitosti chronického tinnitu testované v rámci dotazníku TSCHQ na hladině statistické významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H<sub>1A</sub>: Využití vysokovýkonné laseroterapie má prokazatelný pozitivní vliv na zmírnění subjektivně vnímané hlasitosti chronického tinnitu testované v rámci dotazníku TSCHQ na hladině statistické významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Tabulka č. 3 – Porovnání HILT skupiny před a po intervenci

| Proměnná                            | HILT před     | HILT po       | P hodnota |
|-------------------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Hlasitost tinnitu [body 1-100]      | 38,89 ± 11,67 | 31,33 ± 15,56 | 0,039     |
| Uvědomění si tinnitu v bdělosti [%] | 31,67 ± 9,01  | 28,11 ± 11,87 | 0,444     |
| Úzkost z tinnitu [%]                | 18,11 ± 20,18 | 7,22 ± 7,05   | 0,050     |

\*Data jsou prezentována jako průměr ± směrodatná odchylka (SD).

Výše uvedená tabulka č. 3 uvádí porovnání jednotlivých kvantitativních ukazatelů v rámci HILT experimentální skupiny před a po intervenci. Statisticky významný rozdíl se prokázal pouze mezi hlasitostí před intervencí a hlasitostí po ní ( $p = 0,039 < 0,05$ ) z čehož můžeme usuzovat na statisticky významný účinek HILT pro snížení subjektivně vnímané hlasitosti tinnitu. Na hladině významnosti 5 % tudíž zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme alternativní hypotézu H<sub>1</sub>.

Při statistickém zhodnocení rozdílu před a po intervenci v rámci hodnocení úzkosti z tinnitu se prokázala statisticky hraniční hodnota  $p = 0,050$ , z čehož nelze jednoznačně potvrdit účinnost HILT pro snížení subjektivně vnímané úzkosti na tak malém experimentálním vzorku probandů. Dle statistického vyhodnocení HILT nemá vliv na snížení uvědomění si tinnitu v bdělosti.

### 5.1.2 Vyhodnocení hypotézy H2

H2<sub>0</sub>: Využití nízkovýkonné laseroterapie nemá prokazatelný pozitivní vliv na zmírnění subjektivně vnímané hlasitosti chronického tinnitu testované v rámci dotazníku TSCHQ na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H2<sub>A</sub>: Využití nízkovýkonné laseroterapie má prokazatelný pozitivní vliv na zmírnění subjektivně vnímané hlasitosti chronického tinnitu testované v rámci dotazníku TSCHQ na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Tabulka č. 4 - Porovnání LLLT skupiny před a po intervenci

| Proměnná                            | LLLT před     | LLLT po       | P hodnota |
|-------------------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Hlasitost tinnitu [%]               | 32,56 ± 17,14 | 32,11 ± 16,92 | 0,916     |
| Uvědomění si tinnitu v bdělosti [%] | 50,0 ± 33,82  | 34,22 ± 23,73 | 0,138     |
| Úzkost z tinnitu [%]                | 25,0 ± 29,58  | 12,67 ± 25,41 | 0,026     |

\*Data jsou prezentována jako průměr ± směrodatná odchylka (SD).

V tabulce č. 4 jsou zaznamenána data před a po intervenci v rámci skupiny LLLT. Statisticky významná účinnost LLLT se prokázala pouze ve snížení subjektivně vnímané úzkosti z tinnitu ( $p = 0,026$ ). Na ostatní proměnné LLLT v prezentované studii nemá statisticky významný vliv.

Vzhledem k neprokázané účinnosti LLLT na hladině významnosti 5 % zamítáme alternativní hypotézu a v platnosti zůstává hypotéza nulová, která tvrdí, že využití LLLT nemá prokazatelný pozitivní vliv na zmírnění hlasitosti chronického tinnitu.

### 5.1.3 Vyhodnocení hypotéz H3, H4, H5

H3<sub>0</sub>: Využití vysokovýkonné laseroterapie není klinicky účinnější pro zmírnění subjektivně vnímané hlasitosti chronického tinnitu zjišťované pomocí TSCHQ, než využití nízkovýkonné laseroterapie na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H3<sub>A</sub>: Využití vysokovýkonné laseroterapie je klinicky účinnější pro zmírnění subjektivně hlasitosti chronického tinnitu zjišťované pomocí TSCHQ, než využití nízkovýkonné laseroterapie na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

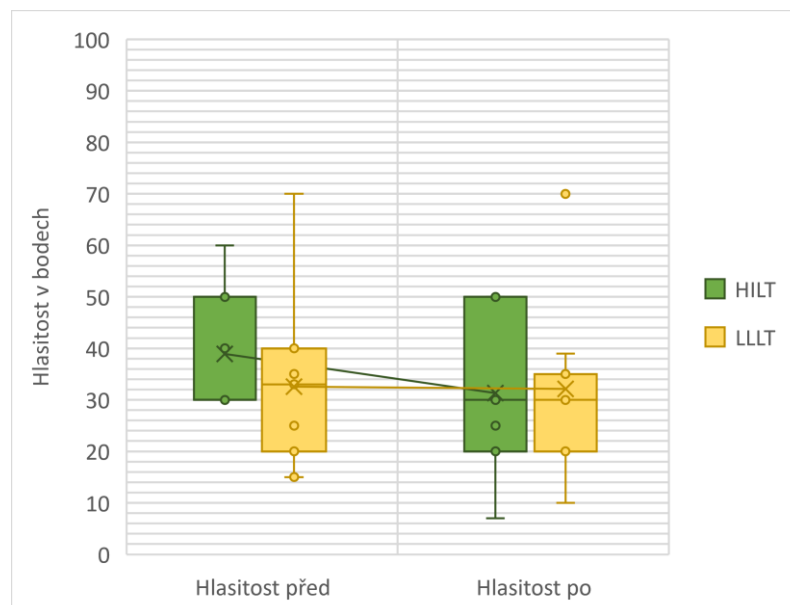
H4<sub>0</sub>: Využití nízkovýkonné laseroterapie není klinicky účinnější pro zmírnění subjektivně vnímané hlasitosti chronického tinnitu zjišťované pomocí TSCHQ, než využití vysokovýkonné laseroterapie na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H4<sub>A</sub>: Využití nízkovýkonné laseroterapie je klinicky účinnější pro zmírnění subjektivně hlasitosti chronického tinnitu zjišťované pomocí TSCHQ, než využití vysokovýkonné laseroterapie na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H5<sub>0</sub>: Využití obou typů laserů nemá pozitivní vliv na snížení subjektivně vnímané hlasitosti tinnitu zjišťované pomocí TSCHQ na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

H5<sub>A</sub>: Využití obou typů laserů má pozitivní vliv na snížení subjektivně vnímané hlasitosti tinnitu zjišťované pomocí TSCHQ na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Graf č. 3 - Hlasitost tinnitu ve skupinách před a po



Graf č. 3 zobrazuje porovnání hlasitosti tinnitu před a po mezi oběma skupinami. Z grafu lze vyčíst, že v případě HILT skupiny došlo po intervenci ke snížení průměrné hodnoty i dolního kvantilu, tendence ke snížení hlasitosti po jeho aplikaci se prokázala



i na základě p-hodnoty v tabulce č. 3 ( $p=0,039$ ). Totéž ovšem nelze říci o LLLT skupině, u níž došlo pouze ke snížení horního kvantilu, avšak průměrná hodnota i medián zůstaly po intervenci téměř totožné se stavem před ní, což potvrzuje i p-hodnota v tabulce č. 4 ( $p=0,916$ ).

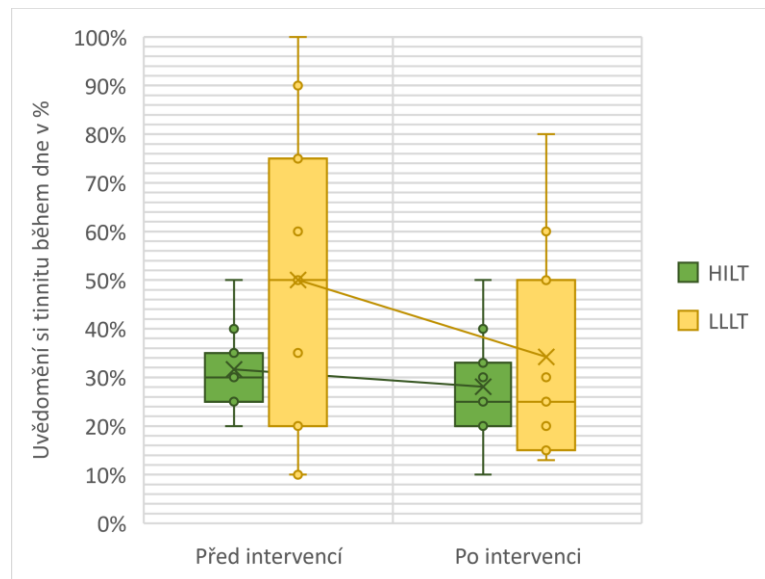
Na hladině významnosti 5 % tak zamítáme nulovou hypotézu  $H_{30}$  a přijímáme hypotézu alternativní  $H_{3A}$ , která je v souladu s pozitivním účinkem vysokovýkonného laseru ve snížení subjektivně vnímané hlasitosti tinnitu. Zároveň porovnání p-hodnot mezi oběma skupinami ukazuje, že jsou získaná data v souladu s nulovou hypotézou  $H_{40}$ , a to že LLLT není klinicky účinnější než HILT. V platnosti zůstává i nulová hypotéza  $H_{50}$ , která říká, že využití obou typů laserů nemá pozitivní vliv na snížení subjektivně vnímané hlasitosti tinnitu. Na stanovené hladině významnosti zamítáme obě alternativní hypotézy  $H_{4A}$  i  $H_{5A}$ .

P-hodnota ( $p=0,373$ ) z tabulky č. 3 o hlasitosti tinnitu ukázala, že se skupiny před intervencí dají prezentovat jako homogenní, nicméně grafické zobrazení skupin na grafu č. 3 ukazuje výraznější rozdíly mezi hodnotami hlasitosti před intervencí, tudíž homogenita skupin v rámci tohoto parametru není jednoznačná, byť se tento rozdíl na hladině významnosti 5 % neprokázal jako signifikantní.

#### **5.1.4 Další kvantitativní parametry mezi skupinami**

Hodnoty do následujících grafů (graf č. 4 a graf č. 5) byly získány z dotazníku TSCHQ, konkrétně z otázky č. 17 (graf č. 4) a otázky č. 18 (graf č. 5) a nejsou využity k testování předem stanovených hypotéz, v práci jsou uvedeny pouze pro zajímavost. Být p-hodnoty v tabulce č. 2 neprokázaly statisticky významný rozdíl mezi skupinami před intervencí, tudíž byly považovány za homogenní, na grafech znovu vidíme výrazné rozdíly mezi všemi statistickými parametry čitelnými z krabicového grafu.

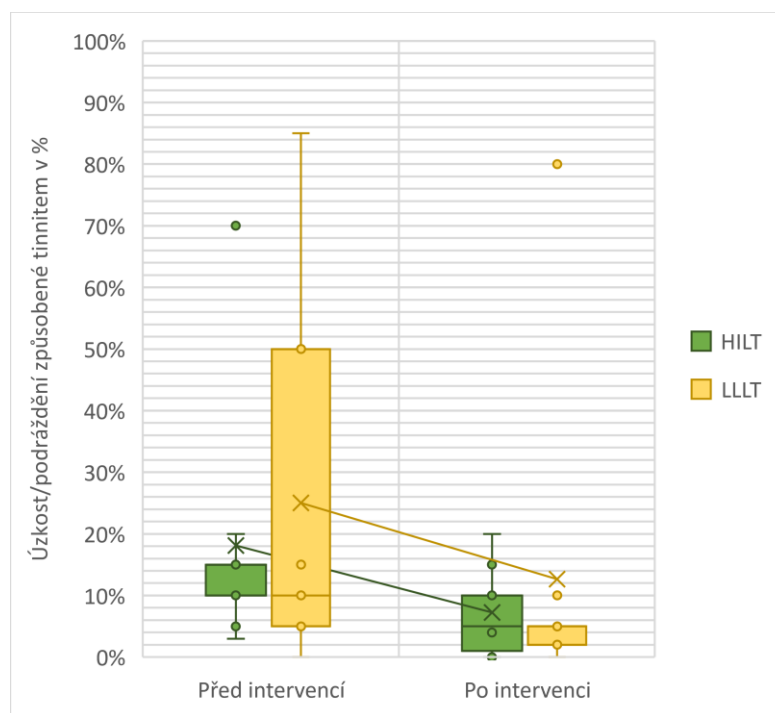
Graf č. 4 - Uvědomění si tinnitu v bdělosti ve skupinách



Jak je patrné z p-hodnot uvedených v tabulkách č. 3 a č. 4, statistické vyhodnocení dat neprokázalo na stanovené hladině významnosti účinnost ani jednoho z typů laseru ve snížení uvědomění si tinnitu, byť lze z grafu č. 4 vyčíst klesající tendence. Pro její ověření by bylo potřeba většího výzkumného vzorku.

Klesající trend u obou typů laserů vidíme i na grafu č. 5, který porovnává vnímání úzkosti či podráždění plynoucích z přítomnosti tinnitu u probandů před a po intervenci oběma typy laserů. Statistická významnost snížení těchto skutečností se ovšem prokázala pouze u skupiny absolvující terapii nízkovýkonným laserem ( $p=0,026$ ), jak popisuje tabulka č. 4.

Graf č. 5 – Úzkost/podráždění z tinnitu ve skupinách



## 5.2 Vyhodnocení TSCHQ kvalitativní

Byly vybrány 3 parametry ve kterých došlo ke změnám, byť statisticky nevýznamným, ostatní kvalitativní parametry určených ke zhodnocení, uvedených v kapitole č. 4.3.1. zůstaly po intervenci nezměněny, proto jim zde není věnována pozornost.

Následující tabulka č. 5 hodnotí kvalitativní změny u HILT skupiny po intervenci. Tabulka č. 6 hodnotí tytéž změny u LLLT skupiny.

V případě změny charakteru tinnitu jde o kvalitativní znak, který nesleduje polaritu efektu, tedy zda je změna pozitivní či negativní. Pouze popisuje, u jakého počtu probandů došlo ke změně, např. tón se změnil na šum. Na hladině významnosti 5 % se neprokázala účinnost ani jednoho z typů laserů na tuto modalitu. Možnosti výběru popisující změnu charakteru tinnitu v dotazníku TSCHQ jsou k nalezení v Příloze č. 3 v otázce č. 14.

Dále je v tabulkách č. 5 a 6 zkráceně zaznamenána otázka č. 28: „Dělá Vám potíže tolerovat zvuky, protože se Vám často zdají příliš hlasité? ...“ Možnosti výběru jsou k nalezení v Příloze č. 3 u příslušné otázky. V rámci této otázky sledujeme, jak často má proband problém zvuky o určité hlasitosti nebo frekvenci tolerovat. V případě,

že po intervenci dochází ke snížení četnosti zhoršené tolerance těchto zvuků, pak můžeme mluvit o pozitivním efektu laseroterapie. Statistické vyhodnocení prokázalo pozitivní vliv ( $p=0,023$ ) HILT na toleranci hlasitých zvuků na stanovené hladině významnosti 5 %.

Hodnocení fyzické bolesti či nepohody z určitých zvuků je vyhodnoceno na základě otázky č. 29 (Příloha č. 3) a proband mohl odpovědět pouze ANO, v případě, že mu zvuky způsobují fyzickou nepohodu či bolest, anebo NE v případě opačném. Jak je patrné z tabulek č. 5 a 6 můžeme vyvrátit, že by jeden nebo druhý typ laseru měl na hladině významnosti 5 % pozitivní efekt na změnu této kvality.

*Tabulka č. 5 - Změna kvalitativních znaků po intervenci v rámci HILT skupiny*

| Sledovaná kvalita                   | HILT před | HILT po | P-hodnota |
|-------------------------------------|-----------|---------|-----------|
| Změna charakteru tinnitu            |           | 1/9     | 0,303     |
| Tolerance zvuků                     |           | 4/9     | 0,023     |
| Fyzická bolest či nepohoda ze zvuků | 2/9       | 3/9     | 0,599     |

\*Data jsou uvedena jako počet probandů, u nichž nastala změna/celkový počet probandů ve skupině

*Tabulka č. 6 - Změna kvalitativních znaků po intervenci v rámci LLLT skupiny*

| Sledovaná kvalita                   | LLLT před | LLLT po | P-hodnota |
|-------------------------------------|-----------|---------|-----------|
| Změna charakteru tinnitu            |           | 2/9     | 0,134     |
| Tolerance zvuků                     |           | 2/9     | 0,134     |
| Fyzická bolest či nepohoda ze zvuků | 3/9       | 1/9     | 0,257     |

\*Data jsou uvedena jako počet probandů, u nichž nastala změna/celkový počet probandů ve skupině

Během průběhu experimentální části několik probandů v obou skupinách zaznamenalo přechodné zhoršení subjektivně vnímané hlasitosti tinnitu netrvající déle jak 48 h a nezávisle na tomto jevu několik probandů poukázalo na zlepšení kvality sluchu po intervenci. Byť tyto modalitty nebyly předmětem primárního zkoumání, byly zaznamenány do tabulek a pro zajímavost statisticky zpracovány, jak je patrné v tabulce č. 7.

*Tabulka č. 7 - Další kvalitativní znaky mimo dotazník TSCHQ*

| <b>Zhoršení tinnitu po aplikaci na dobu max 48 h</b> |     | <b>P-hodnota</b> |
|--|-----|------------------|
| <b>HILT</b>  | 5/9 | 0,009            |
| <b>LLLT</b>  | 3/9 | 0,058            |
| <b>Zlepšení sluchu po intervenci</b>                 |     | <b>P-hodnota</b> |
| <b>HILT</b>  | 1/9 | 0,303            |
| <b>LLLT</b>  | 4/9 | 0,023            |

*\*Data jsou uvedena jako počet probandů, u nichž nastala změna/celkový počet probandů ve skupině*

Na hladině významnosti 5 % bylo prokázáno, že aplikace HILT vede ke zhoršení tinnitu na dobu maximálně 48 h, u LLLT tento fenomén statisticky signifikantně prokázán nebyl. Ve skupině LLLT se po intervenci prokázal statisticky významný pozitivní efekt na subjektivně vnímaném zlepšení sluchu, naopak p-hodnota tento pozitivní efekt u HILT neprokázala.

### 5.3 Vyhodnocení THI dotazníku

H5<sub>0</sub>: Aplikace nízkovýkonné laseroterapie nezlepšila vnímání kvality života u pacientů s chronickým tinnitem při hodnocení pomocí dotazníku THI.

H5<sub>A</sub>: Aplikace nízkovýkonné laseroterapie zlepšila vnímání kvality života u pacientů s chronickým tinnitem při hodnocení pomocí dotazníku THI.

H6<sub>0</sub>: Aplikace vysokovýkonné laseroterapie nezlepšila vnímání kvality života u pacientů s chronickým tinnitem při hodnocení pomocí dotazníku THI.

H6<sub>A</sub>: Aplikace vysokovýkonné laseroterapie zlepšila vnímání kvality života u pacientů s chronickým tinnitem při hodnocení pomocí dotazníku THI.

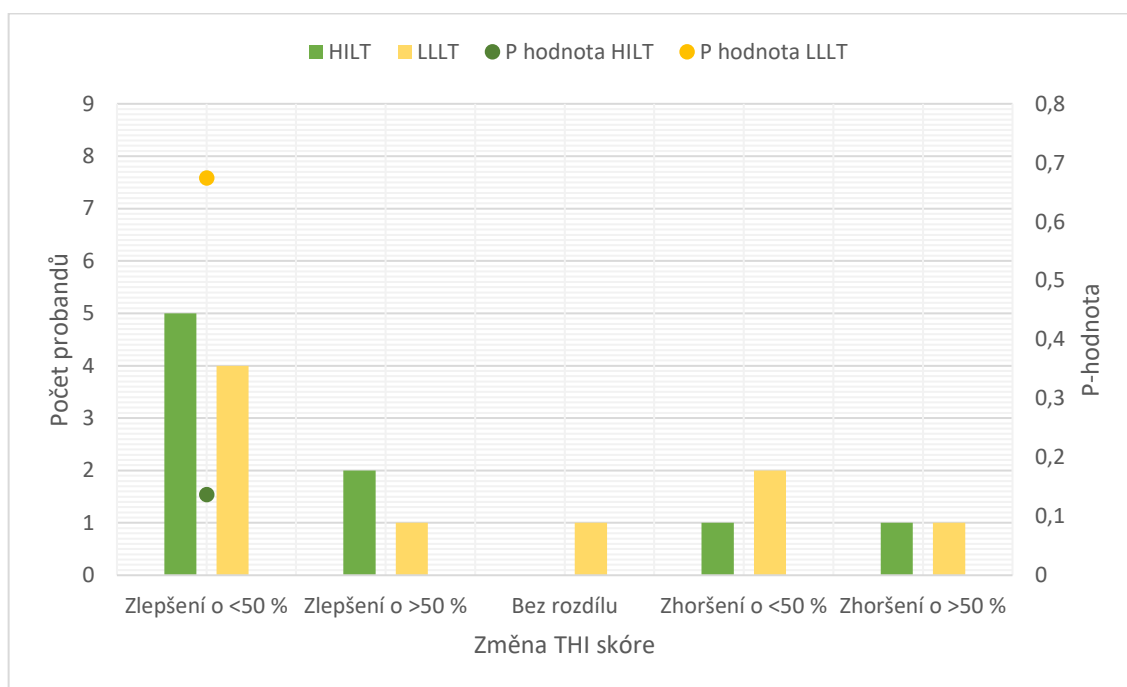
*Tabulka č. 8 - Tabulkové porovnání změny THI skóre ve skupinách*

| <b>Typ laseru</b>                              | <b>Před</b>   | <b>Po</b>     | <b>P-hodnota</b><br>(porovnání v jedné skupině) |
|--|---------------|---------------|---|
| <b>HILT</b>                                    | 28,67 ± 11,83 | 23,11 ± 11,75 | 0,137   |
| <b>LLLT</b>                                    | 31,11 ± 24,96 | 28,44 ± 21,14 | 0,674   |
| <b>P-hodnota</b><br>(porovnání mezi skupinami) | 0,757         | 0,825         |   |

\*Data jsou prezentována jako průměr ± směrodatná odchylka (SD).

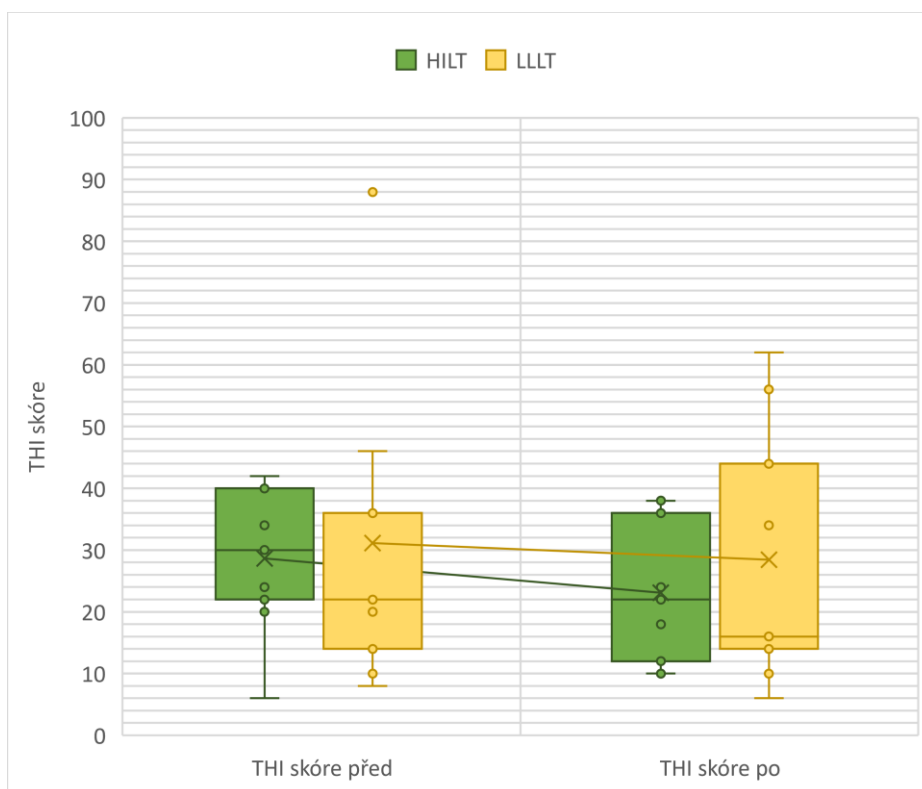
Tabulka č. 8 zahrnuje porovnání průměrné změny THI skóre před a po aplikaci laseru v rámci jedné skupiny (p-hodnota vpravo) a zároveň porovnána rozdílnost THI skóre mezi oběma skupinami (p-hodnota dole). Statisticky významný efekt laseru na snížení skóre, hodnocený v rámci jedné laserové skupiny (p-hodnota vpravo), se neprokázal ani u jednoho typu laseru.

Graf č. 6 - Porovnání změny THI skóre po intervenci v rámci jedné experimentální skupiny



Graf č. 6 navíc od tabulky č. 8 zobrazuje charakter změny skóre v rámci jedné skupiny, která nastala po intervenci. P-hodnota je vypočtena pro každou skupinu samostatně a říká, zda nastala signifikantní změna mezi stavem před a stavem po intervenci v rámci snížení THI skóre, které by znamenalo zlepšení kvality života u pacientů s tinnitem. Jak již z tabulky č. 8 vyplývá, ani u jedné skupiny se na stanovené hladině významnosti 5 % neprokázala statisticky významná účinnost laseroterapie pro zlepšení kvality života posouzené THI dotazníkem ( $p > 0,05$ ). Tudíž v platnosti zůstávají obě nulové hypotézy  $H_{50}$  i  $H_{60}$  a na hladině významnosti zamítáme obě alternativní hypotézy  $H_{5A}$  i  $H_{6A}$ . Laseroterapie ani jednoho druhu z výše uvedených dat nemá pozitivní vliv na zlepšení vnímání kvality života u pacientů s chronickým tinnitem hodnocené pomocí dotazníku THI.

Graf č. 7 - Porovnání THI skóre mezi skupinami před a po intervenci



Na grafu č. 7 je zaznamenáno porovnání THI skóre v rámci jedné skupiny (HILT či LLLT) a současně graficky porovnává skupiny mezi sebou. Byť se statistickou analýzou nepotvrdil pozitivní efekt laseroterapie na snížení THI skóre ( $p > 0,05$ ), klesající trend je z grafu patrný zejména u vysokovýkonné laseroterapie a k ověření tohoto fenoménu bude potřeba do studie zahrnout větší vzorek probandů.



## 6 DISKUZE

Tinnitus neboli vnímání zvuku, které nepochází z vnějšího prostředí [1], postihuje ve světě včetně Evropy až 15 % populace [59, 112]. Jeho prevalence se zvyšuje se stoupajícím věkem a se zhoršujícím se sluchem [112]. Tinnitus je diagnostikován otorinolaryngologem, případně neurologem pomocí klinického vyšetření doplněného o objektivizační metody [2]. Mezi rizikové faktory vzniku tinnitu patří vystavování se hluku, ztráta sluchu nebo psychický distress [4, 113]. Vzhledem k rozličnosti typů tinnitu, a to i přes kvalitní diagnostiku, však neexistuje jednotný a ucelený léčebný přístup, který by popisoval pozitivní efekt pro snížení intenzity či pro jeho úplné vyléčení.

Akutní tinnitus se z pohledu lékaře řeší především jednorázovým podáním kortikoidů v kombinaci s vazodilatancii, případně se zařazuje terapie v hyperbarické komoře [2]. Pokud tato léčba nezabere a tinnitus u pacienta přetrvá po dobu delší tří měsíců, pak tinnitus přechází do chronické fáze, což bývá pro lékaře a zdravotnické odborníky složitá diagnóza, k níž je potřeba přistupovat multidisciplinárně [2].

I přes to, že se většina postižené populace s tinnitem naučí žít [120], až 2 % pacientů vnímají tinnitus jako vážnou chorobu způsobující diskomfort a zhoršenou kvalitu života [120, 121]. Mezi nesluchové, přidružené projevy tinnitu způsobující zhoršené vnímání kvality života dle studie z roku 2022 [113] patří poruchy nálad (37 %), úzkostné poruchy (32 %) a somatoformní poruchy (27 %), zbylá procenta náleží dalším psychosomatickým či psychiatrickým poruchám (např. PTSD) [113]. Jiné obtíže plynoucí z přítomnosti chronického tinnitu zahrnují dysfunkci systému kognitivně-emocionální odezvy (poruchy koncentrace, rezignace, dysfunkční myšlenky, porucha sebevědomí a další), narušení systému behaviorální odpovědi (nеспavost, vyhýbavé chování...), komunikační poruchy (dysakuze, hyperakuze a další) a poruchu dalších systémů (myofasciální dysbalance Cp, kraniomandibulární napětí a dysfunkce, cefalgie a další). Jedná se ovšem o začarovaný kruh, jelikož všechny tyto doprovodné mentální komorbidity vedou ke zhoršené toleranci tinnitu, který vede ke zhoršení psychického stavu pacienta [113, 121].

Distres, způsobený tinnitem a doprovodnými příznaky, je často objektivizován pomocí nejrůznějších dotazníků jako například TSCHQ, THI, *Tinnitus Questionnaire* (TQ), *Tinnitus functional index* (TFI) a další [2, 113, 114]. THI dotazník zahrnuje 25 otázek a zaměřuje se převážně na dopad tinnitu na kvalitu běžného života. Na základě bodového skóre řadí pacienti do 5 stupňů dle závažnosti [108] viz Příloha č. 7. V roce 2013 byla publikována studie [121], jejímž cílem bylo prozkoumat prediktivní sílu THI dotazníku ve vztahu k psychiatrickým poruchám. Bylo zahrnuto celkem 156 probandů trpících chronickým tinnitem, kteří podstoupili vyšetření psychiatrem a vyplnili THI dotazník. Ve 43,59 % (68 probandů) byla pomocí dotazníku odhalena psychiatrická porucha a na základě stanovené ROC křivky ( $p > 0,001$ ) je dle této studie THI považován za středně přesný test pro odhalení psychiatrického postižení. Jako mezní skóre výskytu poruchy se ukázalo 36 bodů. Pokud pacient uvede skóre vyšší, než je tato hodnota, pak by měl svůj stav navíc konzultovat s psychiatrem [121]. Kromě zásahu lékaře v léčbě tinnitu z výše uvedeného vyplývá, že je v některých případech nutné zvážit i psychoterapeutickou intervenci, zejména kognitivně behaviorální terapii [113].

Jedním z nástrojů, který dále objektivizuje distres způsobený tinnitem může být i EEG měření změn v oscilaci frekvenčních pásem v mozku [89, 90, 91]. U dotazníku TQ a THI se dokonce prokázala významná pozitivní korelace mezi skóre dotazníku a získanými encefalografickými daty o mozkové aktivitě v oblastech spojovaných s distresem [92, 94].

V této studii byl THI dotazník využit ke zjištění, zda má laseroterapie vliv na zlepšení kvality života u pacientů s chronickým tinnitem. Průměrná hodnota skóre před intervencí se u HILT skupiny rovnala 28,67 bodům (SD 11,83) a v LLLT skupině 31,11 bodům (SD 24,96). Průměrně by tedy všichni probandi v rámci vyhodnocení THI dotazníku spadali do stupně dva, tedy do pásma mírného tinnitu (Příloha č. 7), nicméně na hodnotách směrodatné odchylky je vidět, že se rozptyl skóre pohyboval napříč všemi pěti stupni závažnosti. Z tohoto rozptylu dále můžeme usuzovat na odlišné vnímání tinnitu jednotlivci, na němž bude určitou roli hrát i psychický stav. Ten ovšem v rámci studie vyšetřován nebyl. Pokud budeme brát v potaz tato data před intervencí, pak se dá říci, že i v této studii se prokázala zhoršená kvalita života u pacientů s tinnitem.

Všichni probandi navíc před zahájením experimentu podstoupili EEG vyšetření, které zde sloužilo pouze jako diagnostická metoda neurologa, zda byl proband vhodný do zařazení do studie či nikoliv. Do budoucna by bylo minimálně zajímavé porovnat a statisticky vyhodnotit získaná data z elektroencefalografu a z dotazníku THI a zjistit, zda by se korelace výsledků EEG a skóre THI potvrdila i v této studii, tak jako tomu bylo ve studiích výše zmiňovaných [92, 94]. V naší studii se vliv laseroterapie na zlepšení vnímání života u pacientů s tinnitem neprokázal ( $p > 0,05$ ), byť je z grafu č. 7 patrná klesající tendence THI skóre po intervenci HILT. Pokud by se v budoucnu v rámci většího výzkumného vzorku efekt laseru na změně THI skóre prokázal, pak by se EEG měření dalo využít k další objektivizaci těchto výsledků a výzkum by tak nabyl na relevantnosti. U několika pacientů navíc došlo ke zhoršení THI skóre po intervenci, jak uvádí graf č. 6. Jestliže uvážíme, že na intenzitu tinnitu má vliv stres a psychické rozpoložení (viz výše), nezaručíme že po dobu výzkumu psychický distres nebude kolísat a tím pádem teoreticky může docházet i ke kolísání intenzity tinnitu.

Výše zmíněné dotazníky často obsahují škálové hodnocení hlasitosti tinnitu. K hodnocení hlasitosti tinnitu na škále 1-10 se dá využít i numerická či vizuální analogová škála [2, 55, 114]. Úskalím škálových hodnocení je fakt, že nepopisují hlasitost tinnitu fyzikálními veličinami, tudíž se nedají považovat za stoprocentně objektivní. Spíše hodnotí subjektivní dojem pacienta z hlasitosti či závažnosti tinnitu [115].

Měřením hlasitosti tinnitu se vědecká společnost zabývá už od poloviny minulého století [115]. Jednou z možností, jak hlasitost tinnitu objektivizovat je tzv. *loudness matching* spočívající v puštění určitého sluchového podnětu, obvykle tónu, do ucha a jednotlivec má referovat, zda je stimul hlasitější nebo slabší než tinnitus. Vyšetřující upravuje výšku prezentovaného tónu, dokud se frekvence tónu a tinnitu neshodují [115]. Několik studií z druhé poloviny 20. století [115, 117] prokázalo, že hlasitost tinnitu se pohybovala pouze v jednotkách dB nad prahovou hodnotou slyšitelnosti, což je u člověka s neporušeným sluchem sotva vnímatelná hlasitost a je proto s podivem, že by takto tichý tinnitus způsoboval zhoršené vnímání kvality života a psychický distres [115, 116, 117]. V hodnocení vnímání závažnosti tinnitu je proto třeba vnímat souvislost mezi psychickým nastavením člověka, spíše než se upínat pouze na audiometrické parametry [121]. Další možností objektivizace je určení výšky tónu (*pitch matching*), tedy frekvence v Hz. Ukázalo se [115, 118], že tón tinnitu má tendenci se vyskytovat v oblastech na okraji

nebo uprostřed hladiny poruchy sluchu. Nevýhodou tohoto měření je, že tinnitus většinou není pouze jedním tónem, nýbrž spektrem zvuků, raději se proto využívá tzv. měření spektra [115]. Existují další možnosti zjišťování hlasitosti tinnitu, které přesahují náplň této práce a lze se o nich dočíst v citovaných zdrojích [115-119]. V jistém rozporu s výše prezentovaným názorem ze studie z roku 2016 [115] je studie publikovaná v roce 2018 [119], která prezentovala vztah mezi VAS, THI a objektivizací hlasitosti pomocí výše uvedených metod. Závěrem se v tomto výzkumu prokázala signifikantní korelace ( $p < 0,05$ ) mezi hodnotami získanými z THI skóre, VAS a *loudness* a *pitch matching* [119].

V této práci sloužila škálová klasifikace hlasitosti k vyhodnocení účinnosti laseroterapie. Je patrné, že byt' se skupiny před intervencí, v rámci porovnání hlasitosti tinnitu, zdály být homogenní, jak uvádí tabulka č. 2 ( $p > 0,05$ ), rozptyl hodnot v HILT skupině byl téměř o polovinu menší, než rozptyl v LLLT skupině. Jedním z důvodů může být právě subjektivní vnímání hlasitosti i v závislosti na psychickém rozpoložení každého probanda. Pokud bychom chtěli objektivizovat pozitivní vliv na snížení hlasitosti tinnitu, bylo by třeba ke škálovému hodnocení zařadit ještě alespoň jeden ze způsobů měření hlasitosti fyzikální veličinou, jak je uvedeno výše v textu.

Náš experiment potvrdil statisticky významnou účinnost vysokovýkonného laseru na snížení subjektivně vnímané hlasitosti tinnitu ( $p = 0,039$ ) na rozdíl od efektu LLLT, u něhož se signifikantně pozitivní účinek neprokázal. Můžeme tedy, že HILT je účinnější než LLLT v léčbě tinnitu. I přes to, že se na hladině významnosti 5 % efekt potvrdil, je potřeba mít na paměti, že výzkumný vzorek čítal pouze 9 osob v rámci jedné skupiny a pro potvrzení pozitivního účinku laseru je třeba do studie zařadit větší množství probandů. Z výše uvedeného lze navíc usuzovat, že při využití pouze škálového hodnocení hlasitosti tinnitu na tak malém výzkumném vzorku a bez kontrolní placebo skupiny nejsme schopni určit, zda se v případě pozitivního efektu jednalo o placebo či nikoliv.

V dostupných vědeckých databázích využitých ke zpracování teoretické části této práce nelze dohledat žádný výzkum zabývající se využitím HILT ke snižování intenzity tinnitu, což z tohoto výzkumu dělá pilotní studii ve využití vysokovýkonné laseroterapie na tinnitus. Doposud byl zkoumán pouze efekt LLLT. V roce 2020 vyšel systematický přehled s metaanalýzou, jehož cílem bylo hodnotit účinnost nízkovýkonné laseroterapie

u dospělých pacientů trpících chronickým tinnitem. Do analýzy bylo zařazeno celkem 11 studií zahrnujících 670 pacientů. Vždy část pacientů absolvovala léčbu LLLT a část placebo aplikaci. K vyhodnocení efektu terapie bylo ve všech případech využito THI skóre a škálové hodnocení hlasitosti či tolerance tinnitu. Žádná ze statistických analýz podskupin neprokázala významné rozdíly mezi experimentálními a placebo skupinami, bez ohledu na přítomnost ztráty sluchu, počtu terapeutických jednotek či využití vlnové délky [5].

Efekt obou typů laserů na léčbu tinnitu tak stále zůstává nedostatečně prozkoumaným tématem. Nutno ale říci, že pokud by aplikace laseru zlepšila vnímání kvality života alespoň jednomu pacientovi s chronickým tinnitem, pak sice nemůžeme usuzovat na statisticky významný efekt, nicméně klinickou hodnotu pro právě tohoto jednoho pacienta léčba efekt měla.

Existuje obecně jen omezené množství publikovaných studií o vlivu vysokovýkonného laseru. Nejčastěji se využívá k redukci bolesti na pohybovém aparátu [21, 42, 43, 47]. Mezi další efekty laseru patří stimulační účinek, který se dá využít např. pro podporu hojení ran [23] a díky zvýšenému prokrvení tkáně má laser i účinek protizánětlivý [23, 42].

V rámci této studie se kromě pozitivního efektu HILT prokázalo i statisticky významné přechodné zhoršení intenzity tinnitu trvající maximálně 48 hodin ( $p = 0,009$ ). Jedním z možných vysvětlení tohoto zhoršení u HILT, nikoliv u LLLT je větší invazivnost vysokovýkonného laseru ve smyslu větší akumulace energie dodané za kratší jednotku času, s čímž je spojen i hloubkový termický účinek ve tkáni. Na druhou stranu je nutné zmínit, že byť se u LLLT tento efekt na hladině významnosti 5 % neprokázal,  $p$ -hodnota převyšovala jen o několik tisíců jednotek hladinu významnosti  $\alpha=0,05$  ( $p=0,058$ ), proto nemůžeme na tak malém vzorku usuzovat na menší invazivnost LLLT. Obecně se uvádí, že fotobiomodulace (PBM) má jen slabé, krátce trvající vedlejší účinky, mezi něž patří podráždění pokožky, svědění či zčervenání [37]. Mezi probandy referované pocity po terapii se řadil mírný tlak, teplo či pocity šimrání v uších.

Dále statistická analýza tohoto experimentu prokázala, že na stanovené hladině významnosti 5 % má LLLT pozitivní vliv na zlepšení sluchu ( $p=0,023$ ).

Jako jedno z možných vysvětlení zlepšení sluchu se nabízí působení infračerveného záření přímo na vláskové buňky v Cortiho orgánu (kapitola 2.1). Vláskové buňky jsou produkovány během embryogeneze a v případě zániku po narození nejsou schopné regenerace [126, 127, 128]. Nevratné poškození vláskových buněk vede k ireverzibilní poruše sluchu [126].

Kompletní či parciální ztrátu sluchu může způsobit akustické trauma, aminoglykosidová antibiotika anebo chemoterapeutika [124, 126]. Všechny tyto příčiny vedou k metabolickým změnám v senzoryckých buňkách kochley a posléze tyto změny metabolismu způsobí jejich buněčnou smrt. Zvyšuje se produkce NO a reaktivních forem kyslíku (ROS), které přispívají ke zvýšení hodnot oxidativního stresu nad fyziologickou mez [124]. Akustické trauma může vést k permanentnímu nebo přechodnému posunu prahu slyšitelnosti v závislosti na velikosti akustického tlaku a době expozice hluku [126]. V rámci studie z roku 2016, která probíhala *in vitro* na vláskových buňkách, jež byly uměle přivedeny do stavu oxidativního stresu, se prokázalo snížení koncentrace zánětlivých cytokinů, mitochondriálního superoxidu, ROS a NO. Další experiment [125] byl publikován taktéž v roce 2016 a proběhl na Sprague-Dawleyho potkanech, které byly vystavované hluku (4 kHz, 121 dB) po dobu 5 h. Po expozici byl experimentální skupině do pravého ucha aplikován LLLT a výsledky taktéž prokázaly, že fotobiomodulace má protektivní účinek proti indukovanému oxidativnímu stresu, spuštěnému syntézou NO a proti apoptóze způsobené kaspázou-3, ke kterým dochází po ztrátě sluchu indukované hlukem [125].

Vysvětlení přechodného posunu prahu slyšitelnosti vychází z hypotézy, že po expozici hluku dojde k narušení synaptických spojení mezi vnitřními vláskovými buňkami (VVB) a vlákny sluchového nervu. Určitý stupeň poškození synaptických spojení nemá za následek změnu prahu slyšitelnosti, ale má vliv na kvalitu vnímání zvuku, což se prezentuje jako skrytá ztráta sluchu. Jedním z deficitů synaptického poškození vyvolaného akustickým traumatem je abnormální časové zpracování zvuku. Jde o schopnost rozlišovat komplexní zvuky na synaptické úrovni. Poškození na

synaptické úrovni způsobí snížení signálů na kochleárním výstupu do sluchové oblasti mozku a pravděpodobně změní další aspekty zpracování kochleárních signálů [126].

V rámci několika dalších studií publikovaných v letech 2009 [129] a 2013 [130] bylo dokázáno, že aplikace PBM zvyšuje membránový potenciál mitochondrií a produkci ATP po oxidativním stresu. V těchto studiích se prokázalo zlepšení funkce VVB, ačkoliv se histologický nález po aplikaci laseru jevil beze změny. Z toho vyplývá, že by se protektivní účinek PBM mohl uplatňovat na subcelulární úrovni, tedy ovlivňovat synaptická spojení a VVB [126].

Svůj podíl na zhoršení sluchu může mít i *m. tensor tympani* (MTT). V kapitole 2.3.1. je popsáno jeho působení a jeho možný vliv na vznik tinnitu. MTT je sval podílející se na řadě diagnóz včetně tinnitu, dysakuze, otalgii, respektive otologických symptomech u myofasciálního dysfunkce a syndromu bolesti, dále se může podílet na Meniérově chorobě a vertigu či může souviset s tenzními bolestmi hlavy. Na rozdíl od *m. stapedius*, MTT není aktivován zvukem, ale reflexně, a to taktilní stimulací obličeje, elektrickou stimulací jazyka nebo polykáním. Nejčastěji je ale aktivován při úlekové reakci nebo při prudkém závanu vzduchu do oka [122]. V experimentu publikovaném v roce 2013 [122] na 20 probandech zjišťovali nejúčinnější podnět ke stahu MTT, kterým se ve výsledku ukázal právě prudký závan vzduchu do oka a dále zkoumali vliv hypertonu či spasmu MTT na otologická onemocnění. Ukázalo se, že spasmus MTT snižuje impedanci středního ucha a vede ke ztrátě sluchu v nízkofrekvenčním pásmu [122]. V souladu s tímto výsledkem je i studie z roku 2017 [123]. Vysvětlení pro zlepšení sluchu po laserové intervenci může být tedy následující. Vlivem působení fotobiomodulace mohlo dojít ke zvýšenému prokrvení MTT, k jeho myorelaxaci čímž došlo ke zvýšení citlivosti středouší na zvukové podněty o nízké frekvenci, což v konečném důsledku vedlo právě ke zlepšení sluchu.

Z výše uvedeného vyplývá, že existuje několik možných hypotéz pro vysvětlení principu působení laseru, zejména LLLT, na zlepšení sluchu. U HILT se tento pozitivní efekt neprojevil a bohužel doposud neexistuje žádný výzkum, kde by byl právě HILT v tomto kontextu testován. Pro objektivizaci zlepšení sluchu by do budoucna bylo vhodné zařadit navíc audiometrické vyšetření před a po intervenci.

Jak je již v průběhu tohoto textu zmíněno, jednou z hlavních limitací výzkumu je velikost vzorku. I na statisticky významné výsledky této práce je třeba pohlížet spíše jako na sporadické a vyvozování platných, paušalizovatelných závěrů není na místě. Studie spíše poukazuje na jisté trendy a fenomény a dává inspiraci a prostor dalšímu, podrobnějšímu zkoumání.

Další limitací může být i nedostatečná objektivizace hodnocení hlasitosti tinnitu, která proběhla pouze na bázi škálového hodnocení v rámci TSCHQ dotazníku. Současně dotazníkové šetření efektu laseroterapie proběhlo pouze týden po ukončení intervence, tudíž tato studie nevyovídá nic o dlouhodobějším přetrvání pozitivních efektů laserů. Do budoucna by bylo vhodné zhodnotit efekt laseroterapie i v delším časovém úseku po intervenci a zjistit, zda má pozitivní efekt laseru potenciál přetrvat i v rámci měsíců. Vzhledem k objektivizaci, která proběhla pouze pomocí dotazníků TSCHQ a THI, nemůžeme zaručit, že se na pozitivním účinku částečně nepodílel placebo efekt. V potaz je tedy potřeba brát i limitaci v podobě chybějící placebo skupiny, která by právě na placebo efekt poukázala, či by ho vyloučila.



## 7 ZÁVĚR

Předmětem zkoumání diplomové práce byla komparace účinnosti vysokovýkonného a nízkovýkonného laseru na snížení hlasitosti tinnitu a na zlepšení vnímání kvality života. Celkem 18 probandů rozdělených do genderově vyvážených skupin po 9, vyplnilo dotazníky THI a TSCHQ a podstoupilo laserovou intervenci o celkem 15 aplikacích s četností 2-3 aplikací týdně s víkendovou pauzou. Došlo k naplnění předem stanovených cílů práce. Testované hypotézy byly v rámci statistické analýzy potvrzeny či zamítnuty a získaná data mohou posloužit jako inspirace pro další výzkum.

Výsledky poukázaly na pozitivní efekt HILT pro snížení hlasitosti tinnitu. U LLLT tento účinek na stanovené hladině významnosti 5 % prokázán nebyl, z čehož vyplývá, že HILT je ve snižování intenzity chronického tinnitu účinnějším laserem. V rámci hodnocení vlivu laseru na zlepšení kvality života, zjišťované THI dotazníkem, se neprokázal statisticky významný pozitivní účinek ani u jednoho typu laseru, tudíž HILT ani LLLT neovlivňují kvalitu života u pacientů trpících chronickým tinnitem. Mimo původně testované oblasti se navíc projevil statisticky významný pozitivní efekt LLLT ve zlepšení sluchu a statistická analýza u HILT poukázala na statisticky signifikantní zhoršení intenzity tinnitu bezprostředně po aplikaci laseru na dobu maximálně 48 h.

Hlavní limitací práce je malý výzkumný vzorek, který znemožňuje k prezentovaným výsledkům přistupovat jinak než sporadicky a vyvozovat jednoznačné závěry. Prozatím výsledky práce nelze zobecnit. Pro průkaznost efektu laserů by bylo v budoucnu vhodné do experimentu zahrnout větší množství probandů a zařadit kontrolní placebo skupinu.

## 8 ZDROJE

1. HAIDER, Haúla Faruk, Tijana BOJIĆ, Sara F. RIBEIRO, João PAÇO, Deborah A. HALL a Agnieszka J. SZCZEPEK. Pathophysiology of Subjective Tinnitus: Triggers and Maintenance. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 2018, 12 [cit. 2022-07-23]. ISSN 1662-453X. Dostupné z: doi:10.3389/fnins.2018.00866
2. HAHN, Aleš. *Otoneurologie a tinitologie. 2.*, doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-4345-5.
3. AUERBACH, Benjamin D., Paulo V. RODRIGUES a Richard J. SALVI. Central Gain Control in Tinnitus and Hyperacusis. *Frontiers in Neurology* [online]. 2014, 5 [cit. 2022-07-24]. ISSN 1664-2295. Dostupné z: doi:10.3389/fneur.2014.00206
4. JAFARI, Zahra et al. Tinnitus, sound intolerance, and mental health: the role of long-term occupational noise exposure. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* [online]. 2022, [cit. 20Jafari-04-09]. ISSN 0937-4477. Dostupné z: doi:10.1007/s00405-0Jafari-07362-2
5. CHEN, Chih-Hao, Chii-Yuan HUANG, Chun-Yu CHANG a Yen-Fu CHENG. Efficacy of Low-Level Laser Therapy for Tinnitus: A Systematic Review with Meta-Analysis and Trial Sequential Analysis. *Brain Sciences* [online]. 2020, 10(12) [cit. 2022-07-25]. ISSN 2076-3425. Dostupné z: doi:10.3390/brainsci10120931
6. DEMIRKOL, Nermin, Aslihan USUMEZ, Mehmet DEMIRKOL, Fatih SARI a Cihan AKCABOY. Efficacy of Low-Level Laser Therapy in Subjective Tinnitus Patients with Temporomandibular Disorders. *Photomedicine and Laser Surgery* [online]. 2017, 35(8), 427-431 [cit. 2023-01-07]. ISSN 1557-8550. Dostupné z: doi:10.1089/pho.2016.4240
7. OKHOVAT, Ahmadreza, Nezamoddin BERJIS, Hoda OKHOVAT a et al. Low-level laser for treatment of tinnitus: a self-controlled clinical trial. *Journal of Research in Medical Sciences* [online]. 2011, Jan 2011, 16(1), 33-38 [cit. 2023-01-

07]. PMID: 21448380. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3063436/>

8. SALAHALDIN, Ahmed H., Khalid ABDULHADI, Nihal NAJJAR a Abdulbari BENER. Low-Level Laser Therapy in Patients with Complaints of Tinnitus: A Clinical Study. *ISRN Otolaryngology* [online]. 2012, 1-5 [cit. 2022-09-08]. ISSN 2090-5750. Dostupné z: doi:10.5402/2012/132060
9. KITTNAR, Otomar. *Lékařská fyziologie. 2.*, přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-1963-4.
10. SKRIPTA: Sluchový a rovnovážný systém. *Funkce buněk a lidského těla* [online]. [cit. 2022-07-22]. Dostupné z: <http://fbt.cz/skripta/xiii-smysly/2-sluchovy-a-rovnovazny-jak/>
11. FOURNIER, Philippe, Dany PALERESSOMPOULLE, Marie-José ESTEVE FRAYSSE, et al. Exploring the middle ear function in patients with a cluster of symptoms including tinnitus, hyperacusis, ear fullness and/or pain. *Hearing Research* [online]. 2022, 422 [cit. 2022-06-26]. ISSN 03785955. Dostupné z: doi: 10.1016/j.heares.2022.108519
12. KEIDAR, Eytan, Russell DE JONG a Gary KWARTOWITZ. *Tensor Tympani Syndrome* [online]. 8.8.2018 [cit.2022-06-26]. PMID: 30085597. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519055/#article-32957.s5>
13. HYBÁŠEK, Ivan. *eOtorinolaryngologie* [online]. 2019 [cit. 2022-07-23]. ISSN 1803-280X. Dostupné z: <https://www.eorl.cz/kniha/01-ORL-ANATOMIE-FYZIOLOGIE-PATOLOGIE.pdf>
14. HOFMEYER, Louis. 3D-Printed Titanium Ossicular Chain Reconstruction – Hype or Reality?. In: *Dr. Louis Hofmeyr* [online]. [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: <https://lmhofmeyr.co.za/3d-printed-titanium-ossicular-chain-reconstruction-hype-or-reality/>

15. ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 3*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5636-3.
16. Průřez kochleou. In: *WikiSkripta* [online]. Praha: MEFANET, 2023 [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Ucho#/media/Soubor:Cochlea-crosssection.svg>
17. Cochlea – Spiral Organ of Corti. *Ninja Nerd* [online]. Ninja Nerd [cit. 2022-07-23]. Dostupné z: <https://www.ninjanerd.org/lecture/cochlea-spiral-organ-of-corti>
18. Sluchový hlemýžď – Cortiho orgán. In: Pinterest [online]. [cit. 2022-07-23]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/301319031325248642/>
19. ANDERS, Juanita J., Praveen R. ARANY, G. David BAXTER a Raymond J. LANZAFAME. Light-Emitting Diode Therapy and Low-Level Light Therapy Are Photobiomodulation Therapy. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery* [online]. 2019, 37(2), 63-65 [cit. 2023-01-01]. ISSN 2578-5478. Dostupné z: doi:10.1089/photob.2018.4600
20. YADAV, Anju a Asheesh GUPTA. Noninvasive red and near-infrared wavelength-induced photobiomodulation: promoting impaired cutaneous wound healing. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine* [online]. 2017, 33(1), 4-13 [cit. 2022-12-31]. ISSN 09054383. Dostupné z: doi:10.1111/phpp.12282
21. PLAGHKI, L a A MOURAUX. How do we selectively activate skin nociceptors with a high power infrared laser? Physiology and biophysics of laser stimulation. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology* [online]. 2003, 33(6), 269-277 [cit. 2022-12-31]. ISSN 09877053. Dostupné z: doi:10.1016/j.neucli.2003.10.003
22. BATTLE, Eliot F a Lori M HOBBS. Laser therapy on darker ethnic skin. *Dermatologic Clinics* [online]. 2003, 21(4), 713-723 [cit. 2023-01-05]. ISSN 07338635. Dostupné z: doi:10.1016/S0733-8635(03)00086-X

23. NAVRÁTIL, Leoš. *Nové pohledy na neinvazivní laser*. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-1651-0.
24. RP, Marshall a Vlková K. Spectral Dependence of Laser Light on Light tissue Interactions and its Influence on Laser Therapy: An Experimental Study. *Insights in Biomedicine* [online]. 2020, 5(1) [cit. 2022-11-12]. Dostupné z: doi:10.36648/2572-5610.4.4.66
25. HALEY, Daniel. Basic principles of lasers. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine* [online]. 2021, 22(3), 194-196 [cit. 2023-01-06]. ISSN 14720299. Dostupné z: doi:10.1016/j.mpaic.2021.01.004
26. NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA. *Medicínská biofyzika. 2., zcela přepracované a doplněné vydání*. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-0209-9.
27. PROCHÁZKA, Miroslav. Neinvazivní laserová terapie [odborný kurz]. Praha: CKP Roseta Plus s.r.o., 29.4.2022.
28. ROSINA, Jozef. *Základy lékařské biofyziky: pro studenty lékařských fakult*. Praha: Grada Publishing, 2022. ISBN 978-80-271-2574-6.
29. JACQUES, Steven L. Optical properties of biological tissues: a review. *Physics in Medicine and Biology* [online]. 2013, 58(11), R37-R61 [cit. 2022-12-31]. ISSN 0031-9155. Dostupné z: doi:10.1088/0031-9155/58/11/R37
30. PENBERTHY, William Todd a Charles E. VORWALLER. Utilization of the 1064 nm Wavelength in Photobiomodulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Lasers in Medical Sciences* [online]. 2021, 12(1), e86-e86 [cit. 2022-11-12]. ISSN 2008-9783. Dostupné z: doi:10.34172/jlms.2021.86
31. ROSSI, Anthony M. a Maritza I. PEREZ. Laser Therapy in Latino Skin. *Facial Plastic Surgery Clinics of North America* [online]. 2011, 19(2), 389-403 [cit. 2023-01-02]. ISSN 10647406. Dostupné z: doi:10.1016/j.fsc.2011.05.002

32. SABINO, Caetano P., et al. The optical properties of mouse skin in the visible and near infrared spectral regions. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* [online]. 2016, 160, 72-78 [cit. 2022-12-31]. ISSN 10111344. Dostupné z: doi:10.1016/j.jphotobiol.2016.03.047
33. TSAI, Cheng-Lun, et al. Near-infrared absorption property of biological soft tissue constituents. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 2001, 21.1: 7-14.
34. MEESTERS, Arne A., et al. Transcutaneous laser treatment of leg veins. *Lasers in Medical Science* [online]. 2014, 29(2), 481-492 [cit. 2023-04-16]. ISSN 0268-8921. Dostupné z: doi:10.1007/s10103-013-1483-2
35. KARU, T.I. a S.F. KOLYAKOV. Exact Action Spectra for Cellular Responses Relevant to Phototherapy. *Photomedicine and Laser Surgery* [online]. 2005, 23(4), 355-361 [cit. 2022-12-31]. ISSN 1549-5418. Dostupné z: doi:10.1089/pho.2005.23.355
36. WONG-RILEY, Margaret T.T., et al. Photobiomodulation Directly Benefits Primary Neurons Functionally Inactivated by Toxins. *Journal of Biological Chemistry* [online]. 2005, 280(6), 4761-4771 [cit. 2022-12-31]. ISSN 00219258. Dostupné z: doi:10.1074/jbc.M409650200
37. DOMPE, Claudia, Lisa MONCRIEFF, Jacek MATYS, et al. Photobiomodulation—Underlying Mechanism and Clinical Applications. *Journal of Clinical Medicine* [online]. 2020, 9(6) [cit. 2023-01-04]. ISSN 2077-0383. Dostupné z: doi:10.3390/jcm9061724
38. HAMBLIN, Michael R., Tanupriya AGRAWAL a Marcelo DE SOUSA. *Handbook of Low-Level Laser Therapy* [online]. Jenny Stanford Publishing, 2016 [cit. 2022-12-21]. ISBN 9789814669603. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=TEtnDwAAQBAJ&hl=cs&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.cz/books?id=TEtnDwAAQBAJ&hl=cs&source=gbs_navlinks_s)

39. MINEROFF, Jessica, Evan AUSTIN a Jared JAGDEO. Cutaneous effects of photobiomodulation with 1072 nm light. *Archives of Dermatological Research* [online]. 2022, 314(10), 2-3 [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: doi:10.1007/s00403-022-02480-7
40. REDDY, G. Kesava. Photobiological Basis and Clinical Role of Low-Intensity Lasers in Biology and Medicine. *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery* [online]. 2004, 22(2), 141-150 [cit. 2023-01-07]. ISSN 1044-5471. Dostupné z: doi:10.1089/104454704774076208
41. TAM, Giuseppe. The Hypoalgesic Effects of Low Intensity Infrared Laser Therapy: A Study on 555 Cases. *Laser Florence 2003: A Window on the Laser Medicine World* [online]. Florence, Italy, 2003, 5610, 284-285 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: doi:10.1117/12.584428
42. YESIL, Hilal, Umit DUNDAR, Hasan TOKTAS, Nuran EYVAZ a Murat YEŞİL. The effect of high intensity laser therapy in the management of painful calcaneal spur: a double blind, placebo-controlled study. *Lasers in Medical Science* [online]. 2020, 35(4), 841-852 [cit. 2023-01-07]. ISSN 0268-8921. Dostupné z: doi:10.1007/s10103-019-02870-w
43. ASHOUR, Ahmed Atteya et al. Effectiveness of high intensity laser therapy on pain, grip strength and median nerve conductivity in pregnant women with carpal tunnel syndrome: A randomized controlled trial. *Journal of Hand Therapy* [online]. 2022 [cit. 2022-11-10]. ISSN 08941130. Dostupné z: doi:10.1016/j.jht.2022.03.005
44. BAROLET, Daniel, François CHRISTIAENS a Michael R. HAMBLIN. Infrared and skin: Friend or foe. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* [online]. 2016, **155**, 78-85 [cit. 2022-12-31]. ISSN 10111344. Dostupné z: doi:10.1016/j.jphotobiol.2015.12.014
45. HOLZER, Aton M., Mohammad ATHAR a Craig A. ELMETS. The Other End of the Rainbow: Infrared and Skin. *Journal of Investigative Dermatology* [online].

2010, 130(6), 1496-1499 [cit. 2023-01-01]. ISSN 0022202X. Dostupné z: doi:10.1038/jid.2010.79

46. CALDERHEAD, R. Glen. Watts a joule: on the importance of accurate and correct reporting of laser parameters in low reactive-level laser therapy and photobioactivation research. *Laser therapy* [online]. 1991, 3(4), 177-182 [cit. 2023-01-01]. ISSN 0898-5901. Dostupné z: doi:10.5978/islsm.91-OR-24
47. EZZATI, Kamran et al. The Beneficial Effects of High-Intensity Laser Therapy and Co-Interventions on Musculoskeletal Pain Management: A Systematic Review. *Journal of Lasers in Medical Sciences* [online]. 2020, 11(1), 81-90 [cit. 2022-11-12]. ISSN 2008-9783. Dostupné z: doi:10.15171/jlms.2020.14
48. KAYDOK, Ercan. Short-Term Efficacy Comparison of High-Intensity and Low-Intensity Laser Therapy in the Treatment of Lateral Epicondylitis: A Randomized Double-Blind Clinical Study. *Archives of Rheumatology* [online]. 2020, 35(1), 60-67 [cit. 2022-11-12]. ISSN 21485046. Dostupné z: doi:10.5606/ArchRheumatol.2020.7347
49. ORDAHAN, Banu, Ali Yavuz KARAHAN a Ercan KAYDOK. The effect of high-intensity versus low-level laser therapy in the management of plantar fasciitis: a randomized clinical trial. *Lasers in Medical Science* [online]. 2018, 33(6), 1363-1369 [cit. 2022-11-12]. ISSN 0268-8921. Dostupné z: doi:10.1007/s10103-018-2497-6
50. KARACA, Burcu. Effectiveness of High-Intensity Laser Therapy in Subacromial Impingement Syndrome. *Photomedicine and Laser Surgery* [online]. 2016, 34(6), 223-228 [cit. 2022-11-10]. ISSN 1549-5418. Dostupné z: doi:10.1089/pho.2015.4005
51. READY, John. Laser Effects on the Skin. In: *Effects of High-Power Laser Radiation* [online]. 1. USA: © Academic Press, 1971, s. 336-342 [cit. 2023-01-05]. ISBN 978-0-323-14991-4. Dostupné z: <https://books.google.cz>



52. GUPTA, Vishal a Vinod Kumar SHARMA. Skin typing: Fitzpatrick grading and others. *Clinics in Dermatology* [online]. 2019, 37(5), 430-436 [cit. 2023-01-04]. ISSN 0738081X. Dostupné z: doi:10.1016/j.clindermatol.2019.07.010
53. YU, Sebastian, et al. Mechanisms of repigmentation induced by photobiomodulation therapy in vitiligo. *Experimental Dermatology* [online]. 2019, 28, 10-14 [cit. 2023-01-07]. ISSN 09066705. Dostupné z: doi:10.1111/exd.13823
54. PANDESHWAR, Padma, et al. Photobiomodulation in oral medicine: a review. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry* [online]. 2016, 7(2), 114-126 [cit. 2023-01-07]. ISSN 20411618. Dostupné z: doi:10.1111/jicd.12148
55. MOLLASADEGHI, Abolfazl, Seyyed Jalil MIRMOHAMMADI, Amir Houshang MEHRPARVAR a et al. Efficacy of Low-Level Laser Therapy in the Management of Tinnitus due to Noise-Induced Hearing Loss: A Double-Blind Randomized Clinical Trial. *The Scientific World Journal* [online]. 2013, 1-7 [cit. 2023-01-07]. ISSN 1537-744X. Dostupné z: doi:10.1155/2013/596076
56. DE RIDDER, Dirk, Ana Belen ELGOYHEN, Ranulfo ROMO et al. Phantom percepts: Tinnitus and pain as persisting aversive memory networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2011, 108(20), 8075-8080 [cit. 2022-07-24]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.1018466108
57. RAUSCHECKER, Josef P., Elisabeth S. MAY, Audrey MAUDOUX a Markus PLONER. Frontostriatal Gating of Tinnitus and Chronic Pain. *Trends in Cognitive Sciences* [online]. 2015, 19(10), 567-578 [cit. 2022-07-24]. ISSN 13646613. Dostupné z: doi: 10.1016/j.tics.2015.08.002
58. SHULMAN, A. A Final Common Pathway for Tinnitus – The Medial Temporal Lobe Jak: The Medial Temporal Lobe Jak. *Int Tinnitus J* [online]. 1995, 1(2), 115-126 [cit. 2022-07-23]. Dostupné z: PMDI: 10753332

59. BAGULEY, David, Don MCFERRAN a Deborah HALL. Tinnitus. *The Lancet* [online]. 2013, 382(9904), 1600-1607 [cit. 2022-12-24]. ISSN 01406736. Dostupné z: doi:10.1016/S0140-6736(13)60142-7
60. KÖNIG, Ovidiu, Roland SCHAETTE, Richard KEMPTER et al. Course of hearing loss and occurrence of tinnitus. *Hearing Research* [online]. 2006, 221(1-2), 59-64 [cit. 2022-07-23]. ISSN 03785955. Dostupné z: doi:10.1016/j.heares.2006.07.007
61. TUNKEL, David E., Carol A. BAUER, Gordon H. SUN, et al. Clinical Practice Guideline. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery* [online]. 2014, 151(2\_suppl), S1-S40 [cit. 2022-07-23]. ISSN 0194-5998. Dostupné z: doi:10.1177/0194599814545325
62. HELLER, Morris F. a Moe BERGMAN. VII Tinnitus Aurium in Normally Hearing Persons. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology* [online]. 1953, 62(1), 73-83 [cit. 2022-07-24]. ISSN 0003-4894. Dostupné z: doi:10.1177/000348945306200107
63. CHEN, Yu-Chen, Jian ZHANG, Xiao-Wei LI, et al. Aberrant spontaneous brain activity in chronic tinnitus patients revealed by resting-state functional MRI. *NeuroImage: Clinical* [online]. 2014, 6, 222-228 [cit. 2022-07-23]. ISSN 22131582. Dostupné z: doi:10.1016/j.nicl.2014.09.011
64. SCHLEE, Winfried, Martin SCHECKLMANN, Astrid LEHNER, et al. Reduced Variability of Auditory Alpha Activity in Chronic Tinnitus. *Neural Plasticity* [online]. 2014, 1-9 [cit. 2022-07-23]. ISSN 2090-5904. Dostupné z: doi:10.1155/2014/436146
65. MICHIELS, Sarah, Willem DE HERTOIGH, Steven TRUIJEN et al. Cervical Spine Dysfunctions in Patients With Chronic Subjective Tinnitus. *Otology & Neurotology* [online]. 2015, 36(4), 741-745 [cit. 2022-07-25]. ISSN 1531-7129. Dostupné z: doi:10.1097/MAO.0000000000000670

66. MICHIELS, Sarah, Tanit GANZ SANCHEZ, Yahav ORON, et al. Diagnostic Criteria for Somatosensory Tinnitus: A Delphi Process and Face-to-Face Meeting to Establish Consensus. *Trends in Hearing* [online]. 2018, 22 [cit. 2022-07-23]. ISSN 2331-2165. Dostupné z: doi:10.1177/2331216518796403
67. HENRY, James A., Larry E. ROBERTS, Donald M. CASPARY, Sarah M. THEODOROFF a Richard J. SALVI. Underlying Mechanisms of Tinnitus: Review and Clinical Implications. *Journal of the American Academy of Audiology* [online]. 2020, 25(01), 005-022 [cit. 2022-07-23]. ISSN 1050-0545. Dostupné z: doi:10.3766/jaaa.25.1.2
68. RABAU, Sarah, Tony COX, Andrea Kleine PUNTE, et al. Changes over time of psychoacoustic outcome measurements are not a substitute for subjective outcome measurements in acute tinnitus. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* [online]. 2015, 272(3), 573-581 [cit. 2022-07-23]. ISSN 0937-4477. Dostupné z: doi:10.1007/s00405-013-2876-3
69. HALL, Deborah A, Miguel JA LÁINEZ, Craig W NEWMAN, et al. Treatment options for subjective tinnitus: Self reports from a sample of general practitioners and ENT physicians within Europe and the USA. *BMC Health Services Research* [online]. 2011, 11(1) [cit. 2022-07-23]. ISSN 1472-6963. Dostupné z: doi:10.1186/1472-6963-11-302
70. NOREÑA, Arnaud J. Revisiting the Cochlear and Central Mechanisms of Tinnitus and Therapeutic Approaches. *Audiology and Neurotology* [online]. 2015, 20(Suppl. 1), 53-59 [cit. 2022-07-23]. ISSN 1420-3030. Dostupné z: doi:10.1159/000380749
71. ALGIERI, G. M. A., Alessandra LEONARDI, Paolo ARANGIO, et al. Tinnitus in Temporomandibular Joint Disorders: Is it a Specific Somatosensory Tinnitus Subtype?. *The International Tinnitus Journal* [online]. 2016, 20(2) [cit. 2022-07-25]. ISSN 0946-5448. Dostupné z: doi:10.5935/0946-5448.20160016

72. CHEN, G. D., FECHTER, L. D.. The relationship between noise-induced hearing loss and hair cell loss in rats. *Hear Res* [online]. 2003, Mar, 177(1-2), 81-90 [cit. 2022-07-23]. Dostupné z: doi:10.1016/s0378-5955(02)00802-x
73. SANCHEZ, J.T., S. GHELANI a S. OTTO-MEYER. From development to disease: Diverse functions of NMDA-type glutamate receptors in the lower auditory pathway. *Neuroscience* [online]. 2015, 285, 248-259 [cit. 2022-07-24]. ISSN 03064522. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neuroscience.2014.11.027
74. PARSONS, Matthew P. a Lynn A. RAYMOND. Extrasynaptic NMDA Receptor Involvement in Central Nervous Jak Disorders. *Neuron* [online]. 2014, 82(2), 279-293 [cit. 2022-07-24]. ISSN 08966273. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neuron.2014.03.030
75. PATUZZI, Robert. Non-Linear Aspects of Outer Hair Cell Transduction and the Temporary Threshold Shifts after Acoustic Trauma. *Audiology and Neurotology* [online]. 2002, 7(1), 17-20 [cit. 2022-07-24]. ISSN 1420-3030. Dostupné z: doi:10.1159/000046857
76. BALÁŽ, Marek a Martina BOČKOVÁ. Myoklonus. *Neurologie pro praxi* [online]. 2011, 12(1) [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.neurologiepropraxi.cz/pdfs/neu/2011/01/07.pdf>
77. PHILLIPPS, J. J., A. REID, R. J. MARCHBANKS a R. F. JARRAR. Objective tinnitus and tympanic membrane displacement. *The Journal of Laryngology & Otology* [online]. 1989, 103(9), 872-873 [cit. 2022-07-24]. ISSN 0022-2151. Dostupné z: doi:10.1017/S0022215100110357
78. CACACE, Anthony T., Tom BROZOSKI, Bruce BERKOWITZ, et al. Manganese enhanced magnetic resonance imaging (MEMRI): A powerful new imaging method to study tinnitus. *Hearing Research* [online]. 2014, 311, 49-62 [cit. 2022-07-23]. ISSN 03785955. Dostupné z: doi: 10.1016/j.heares.2014.02.003
79. MELCHER, Jennifer R., Robert A. LEVINE, Christopher BERGEVIN a Barbara NORRIS. The auditory midbrain of people with tinnitus: Abnormal sound-evoked

- aktivita revidovaná. *Hearing Research* [online]. 2009, 257(1-2), 63-74 [cit. 2022-07-23]. ISSN 03785955. Dostupné z: doi: 10.1016/j.heares.2009.08.005
80. BROZOSKI, Thomas Jeffrey, Kurt W. WISNER, et al. Bilateral Dorsal Cochlear Nucleus Lesions Prevent Acoustic-Trauma Induced Tinnitus in an Animal Model. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology* [online]. 2012, 13(1), 55-66 [cit. 2023-01-07]. ISSN 1525-3961. Dostupné z: doi:10.1007/s10162-011-0290-3
81. DEHMEL, S., S. PRADHAN, S. KOEHLER, S. BLEDSOE a S. SHORE. Noise Overexposure Alters Long-Term Somatosensory-Auditory Processing in the Dorsal Cochlear Nucleus--Possible Basis for Tinnitus-Related Hyperactivity?. *Journal of Neuroscience* [online]. 2012, 32(5), 1660-1671 [cit. 2023-01-07]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi:10.1523/JNEUROSCI.4608-11.2012
82. WU, Calvin, et al. Tinnitus: Maladaptive auditory-somatosensory plasticity. *Hearing Research* [online]. 2016, 334, 20-29 [cit. 2023-01-07]. ISSN 03785955. Dostupné z: doi:10.1016/j.heares.2015.06.005
83. YANG, Sungchil, Benjamin D. WEINER, Li S. ZHANG, Sung-Jin CHO a Shaowen BAO. Homeostatic plasticity drives tinnitus perception in an animal model. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2011, 108(36), 14974-14979 [cit. 2022-07-24]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.1107998108
84. SCHLEE, Winfried, Nadia MUELLER, Thomas HARTMANN, Julian KEIL, Isabel LORENZ a Nathan WEISZ. Mapping cortical hubs in tinnitus. *BMC Biology* [online]. 2009, 7(1) [cit. 2022-07-24]. ISSN 1741-7007. Dostupné z: doi:10.1186/1741-7007-7-80
85. MÜLLER, Nadia, Isabel LORENZ, Berthold LANGGUTH, Nathan WEISZ a André MOURAUX. RTMS Induced Tinnitus Relief Is Related to an Increase in

- Auditory Cortical Alpha Activity. *PLoS ONE* [online]. 2013, **8**(2) [cit. 2023-02-06]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0055557
86. RALLI, Massimo, Antonio GRECO, Rosaria TURCHETTA et al. Somatosensory tinnitus: Current evidence and future perspectives. *Journal of International Medical Research* [online]. 2017, 45(3), 933-947 [cit. 2022-12-26]. ISSN 0300-0605. Dostupné z: doi:10.1177/0300060517707673
87. COSTEN JB. A syndrome of ear and sinus symptoms dependent upon disturbed function of the temporomandibular joint.1934 *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1997;106:805-19.
88. BUERGERS, Ralf, Tobias KLEINJUNG, Michael BEHR a Veronika VIELSMEIER. Is there a link between tinnitus and temporomandibular disorders?. *The Journal of Prosthetic Dentistry* [online]. 2014, 111(3), 222-227 [cit. 2022-07-25]. ISSN 00223913. Dostupné z: doi: 10.1016/j.prosdent.2013.10.001
89. LLINÁS, Rodolfo R., et al. Thalamocortical dysrhythmia: A neurological and neuropsychiatric syndrome characterized by magnetoencephalography. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 1999, 96(26), 15222-15227 [cit. 2023-01-07]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.96.26.15222
90. LORENZ, Isabel, et al. Loss of alpha power is related to increased gamma synchronization—A marker of reduced inhibition in tinnitus?. *Neuroscience Letters* [online]. 2009, 453(3), 225-228 [cit. 2023-01-07]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi:10.1016/j.neulet.2009.02.028
91. WEISZ, N., S. MULLER, W. SCHLEE, K. DOHRMANN, T. HARTMANN a T. ELBERT. The Neural Code of Auditory Phantom Perception. *Journal of Neuroscience* [online]. 2007, 27(6), 1479-1484 [cit. 2023-01-07]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi:10.1523/JNEUROSCI.3711-06.2007

92. MOHSEN, Samer, et al. Correlation Analysis of the Tinnitus Handicap Inventory and Distress Network in Chronic Tinnitus: An EEG Study. *Basic and Clinical Neuroscience Journal* [online]. 2019, 499-514 [cit. 2023-01-07]. ISSN 22287442. Dostupné z: doi:10.32598/bcn.9.10.215
93. VANNESTE, Sven, Mark PLAZIER, Elsa van DER LOO, et al. The neural correlates of tinnitus-related distress. *NeuroImage* [online]. 2010, **52**(2), 470-480 [cit. 2023-01-07]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroimage.2010.04.029
94. SONG, Jae-Jin, et al. “Distressed aging”: the differences in brain activity between early- and late-onset tinnitus. *Neurobiology of Aging* [online]. 2013, **34**(7), 1853-1863 [cit. 2023-01-07]. ISSN 01974580. Dostupné z: doi:10.1016/j.neurobiolaging.2013.01.014
95. LANGGUTH, Berthold, Ana Belen ELGOYHEN a Christopher R. CEDERROTH. Therapeutic Approaches to the Treatment of Tinnitus. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology* [online]. 2019, 59(1), 291-313 [cit. 2022-07-23]. ISSN 0362-1642. Dostupné z: doi:10.1146/annurev-pharmtox-010818-021556
96. LANGGUTH, Berthold. Treatment of tinnitus. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery* [online]. 2015, 23(5), 361-368 [cit. 2022-12-24]. ISSN 1068-9508. Dostupné z: doi:10.1097/MOO.0000000000000185
97. BOUSEMA, E. J., E. A. KOOPS, P. VAN DIJK et al. Association Between Subjective Tinnitus and Cervical Spine or Temporomandibular Disorders: A Systematic Review. *Trends in Hearing* [online]. 2018, 22 [cit. 2022-07-25]. ISSN 2331-2165. Dostupné z: doi:10.1177/2331216518800640
98. LIN, Luxue, Tingting LIN, Lijuan FAN, Ke SHEN, Hantong HU a Hong GAO. Acupuncture for chronic tinnitus: A CARE-compliant case

report. *EXPLORE* [online]. 2022 [cit. 2022-12-26]. ISSN 15508307. Dostupné z: doi:10.1016/j.explore.2022.06.002

99. NARAYANAN, Srivats S., Madhavi MURALI, Jacob C. LUCAS et al. Micronutrients in tinnitus: A National Health and Nutrition Examination Survey analysis. *American Journal of Otolaryngology* [online]. 2022, 43(3) [cit. 2022-07-23]. ISSN 01960709. Dostupné z: doi:10.1016/j.amjoto.2022.103460
100. JUN, Hyung Jin a Moo Kyun PARK. Cognitive Behavioral Therapy for Tinnitus: Evidence and Efficacy. *Korean Journal of Audiology* [online]. 2013, 17(3) [cit. 2022-07-25]. ISSN 2092-9862. Dostupné z: doi:10.7874/jak.2013.17.3.101
101. MENG, Zhaoli, Shixi LIU, Yun ZHENG a John S PHILLIPS. Repetitive transcranial magnetic stimulation for tinnitus. *Cochrane Database of Systematic Reviews* [online]. [cit. 2022-12-24]. ISSN 14651858. Dostupné z: doi:10.1002/14651858.CD007946.pub2
102. PENG, Zhe, Xiu-Qi CHEN a Shu-Sheng GONG. Effectiveness of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Chronic Tinnitus. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery* [online]. 2012, 147(5), 817-825 [cit. 2022-12-24]. ISSN 0194-5998. Dostupné z: doi:10.1177/0194599812458771
103. LEFAUCHEUR, Jean-Pascal, Nathalie ANDRÉ-OBADIA, Andrea ANTAL, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). *Clinical Neurophysiology* [online]. 2014, 125(11), 2150-2206 [cit. 2022-12-24]. ISSN 13882457. Dostupné z: doi:10.1016/j.clinph.2014.05.021
104. DE RIDDER, Dirk et al. Safety and Efficacy of Vagus Nerve Stimulation Paired With Tones for the Treatment of Tinnitus: A Case Series. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface* [online]. 2014, 17(2), 170-179 [cit. 2022-12-24]. ISSN 10947159. Dostupné z: doi:10.1111/ner.12127



105. CONLON, Brendan, Caroline HAMILTON, Emma MEADE, et al. Different bimodal neuromodulation settings reduce tinnitus symptoms in a large randomized trial. *Scientific Reports* [online]. 2022, 12(1) [cit. 2022-12-26]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-022-13875-x
106. CONLON, Brendan, Berthold LANGGUTH, Caroline HAMILTON, et al. Bimodal neuromodulation combining sound and tongue stimulation reduces tinnitus symptoms in a large randomized clinical study. *Science Translational Medicine* [online]. 2020, 12(564) [cit. 2022-12-26]. ISSN 1946-6234. Dostupné z: doi:10.1126/scitranslmed.abb2830
107. *Tinnitus Research Initiative* [online]. Německo, 2006 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://tinnitusresearch.net/>
108. WEBER, Francizska C., Winfried SCHLEE, Berthold LANGGUTH, et al. Low Sleep Satisfaction Is Related to High Disease Burden in Tinnitus. *Int. J. Environ. Res. Public Health* [online]. 2022, 19(17), 11005, 2-3 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph191711005
109. VAN HOOFF, Lauren, Tobias KLEINJUNG, Emilie CARDON, et al. The correlation between tinnitus-specific and quality of life questionnaires to assess the impact on the quality of life in tinnitus patients. *Frontiers in Neurology* [online]. 2022, 13 [cit. 2023-01-07]. ISSN 1664-2295. Dostupné z: doi:10.3389/fneur.2022.969978
110. ADAMCHIC, Ilya, Berthold LANGGUTH, Christian HAUPTMANN a Peter ALEXANDER TASS. Psychometric Evaluation of Visual Analog Scale for the Assessment of Chronic Tinnitus. *American Journal of Audiology* [online]. 2012, 21(2), 215-225 [cit. 2023-01-07]. ISSN 1059-0889. Dostupné z: doi:10.1044/1059-0889(2012/12-0010)
111. TO, Wing Ting, Jae-Jin SONG, Anusha MOHAN, et al. Thalamocortical dysrhythmia underpin the log-dynamics in phantom sounds. In: *Tinnitus – An Interdisciplinary Approach Towards Individualized Treatment: Towards*

- understanding the complexity of tinnitus* [online]. Elsevier, 2021, 2021, s. 511-526 [cit. 2023-01-07]. Progress in Brain Research. ISBN 9780128223758. Dostupné z: doi: 10.1016/bs.pbr.2021.04.001
112. BISWAS, R., et al. Tinnitus prevalence in Europe: a multi-country cross-sectional population study. *The Lancet Regional Health – Europe* [online]. 2022, 12 [cit. 2023-04-10]. ISSN 26667762. Dostupné z: doi:10.1016/j.lanep.2021.100250
113. MAZUREK, Birgit, et al. Clinical practice guideline: Chronic tinnitus—diagnosis and treatment. *Deutsches Ärzteblatt international* [online]. 2022 [cit. 2023-04-10]. ISSN 1866-0452. Dostupné z: doi:10.3238/arztebl.m2022.0135
114. RAJ-KOZIAK, Danuta, Elżbieta GOS, Weronika ŚWIERNIAK, et al. Relationship Between Tinnitus Loudness Measure by Visual Analogue Scale and Psychoacoustic Matching of Tinnitus Loudness. *Otology & Neurotology* [online]. 2019, 40(1), 16-21 [cit. 2023-04-10]. ISSN 1531-7129. Dostupné z: doi:10.1097/MAO.0000000000002070
115. HENRY, James A. “Measurement” of Tinnitus. *Otology & Neurotology* [online]. 2016, 37(8), e276-e285 [cit. 2023-04-10]. ISSN 1531-7129. Dostupné z: doi:10.1097/MAO.0000000000001070
116. REED, G. F. An Audiometric Study of Two Hundred Cases of Subjective Tinnitus. *Archives of Otolaryngology – Head and Neck Surgery* [online]. 1960, 71(1), 84-94 [cit. 2023-04-10]. ISSN 0886-4470. Dostupné z: doi:10.1001/archotol.1960.03770010088009
117. MEIKLE, Mary a E. TAYLOR-WALSH. Characteristics of tinnitus and related observations in over 1800 tinnitus clinic patients. *The Journal of Laryngology & Otology* [online]. 1984, 98(S9), 17-21 [cit. 2023-04-10]. ISSN 0022-2151. Dostupné z: doi:10.1017/S1755146300090053
118. Henry JA, Meikle MB. Psychoacoustic measures of tinnitus. *J Am Acad Audiol* 2000;11:138–55, Dostupné z PIMD: 10755810

119. NASCIMENTO, Islan da Penha, et al. Tinnitus evaluation: relationship between pitch matching and loudness, visual analog scale and tinnitus handicap inventory. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology* [online]. 2019, 85(5), 611-616 [cit. 2023-04-10]. ISSN 18088694. Dostupné z: doi:10.1016/j.bjorl.2018.05.006
120. KROG, Norun Hjertager, Bo ENGDAHL a Kristian TAMBS. The association between tinnitus and mental health in a general population sample: Results from the HUNT Study. *Journal of Psychosomatic Research* [online]. 2010, 69(3), 289-298 [cit. 2023-04-14]. ISSN 00223999. Dostupné z: doi:10.1016/j.jpsychores.2010.03.008
121. SALVIATI, Massimo, et al. The Tinnitus Handicap Inventory as a Screening Test for Psychiatric Comorbidity in Patients with Tinnitus. *Psychosomatics* [online]. 2013, 54(3), 248-256 [cit. 2023-04-14]. ISSN 00333182. Dostupné z: doi:10.1016/j.psym.2012.05.007
122. BANCE, Manohar, et al. Effects of tensor tympani muscle contraction on the middle ear and markers of a contracted muscle. *The Laryngoscope* [online]. 2013, 123(4), 1021-1027 [cit. 2023-04-15]. ISSN 0023852X. Dostupné z: doi:10.1002/lary.23711
123. WICKENS, Brandon, Duncan FLOYD a Manohar BANCE. Audiometric findings with voluntary tensor tympani contraction. *Journal of Otolaryngology - Head & Neck Surgery* [online]. 2017, 46(1) [cit. 2023-04-15]. ISSN 1916-0216. Dostupné z: doi:10.1186/s40463-016-0182-y
124. BARTOS, Adam, et al. Pre-conditioning with near infrared photobiomodulation reduces inflammatory cytokines and markers of oxidative stress in cochlear hair cells. *Journal of Biophotonics* [online]. 2016, 9(11-12), 1125-1135 [cit. 2023-04-15]. ISSN 1864-063X. Dostupné z: doi:10.1002/jbio.201500209
125. TAMURA, Atsushi, et al. Photobiomodulation rescues the cochlea from noise-induced hearing loss via upregulating nuclear factor  $\kappa$ B expression in rats. *Brain Research* [online]. 2016, 1646, 467-474 [cit. 2023-04-15]. ISSN 00068993. Dostupné z: doi:10.1016/j.brainres.2016.06.031
126. LEE, Jae-Hun, Min Young LEE, Phil-Sang CHUNG a Jae Yun JUNG. Photobiomodulation using low-level 808 nm diode laser rescues cochlear synaptopathy after acoustic overexposure in rat. *Journal of Biophotonics* [online].

- 2019, 12(11) [cit. 2023-04-16]. ISSN 1864-063X. Dostupné z: doi:10.1002/jbio.201900145
127. RUBEL, Edwin W., Stephanie A. FURRER a Jennifer S. STONE. A brief history of hair cell regeneration research and speculations on the future. *Hearing Research* [online]. 2013, 297, 42-51 [cit. 2023-04-16]. ISSN 03785955. Dostupné z: doi:10.1016/j.heares.2012.12.014
128. ATKINSON, Patrick J., Elvis HUARCAYA NAJARRO, Zahra N. SAYYID a Alan G. CHENG. Sensory hair cell development and regeneration: similarities and differences. *Development* [online]. 2015, 142(9), 1561-1571 [cit. 2023-04-16]. ISSN 1477-9129. Dostupné z: doi:10.1242/dev.114926
129. GIULIANI, Alessandro, Luca LORENZINI, Michele GALLAMINI, Alessandro MASSELLA, Luciana GIARDINO a Laura CALZÀ. Low infra red laser light irradiation on cultured neural cells: effects on mitochondria and cell viability after oxidative stress. *BMC Complementary and Alternative Medicine* [online]. 2009, 9(1) [cit. 2023-04-16]. ISSN 1472-6882. Dostupné z: doi:10.1186/1472-6882-9-8
130. HUANG, Ying-Ying, Kazuya NAGATA, Clark E. TEDFORD, Thomas MCCARTHY a Michael R. HAMBLIN. Low-level laser therapy (LLLT) reduces oxidative stress in primary cortical neurons in vitro. *Journal of Biophotonics* [online]. 2012, n/a-n/a [cit. 2023-04-16]. ISSN 1864063X. Dostupné z: doi:10.1002/jbio.201200157

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| Obrázek č. 1 - Sluchový aparát [9, str. 651] .....                              | 12 |
| Obrázek č. 2 - Středoušní svaly a) m. tensor tympani b) m. stapedius [14] ..... | 13 |
| Obrázek č. 3 - Průřez kochleou [16] .....                                       | 14 |
| Obrázek č. 4 - Cortiho orgán [18] .....   | 15 |
| Obrázek č. 5 - Schéma funkce laseru [28] .....                                  | 17 |
| Obrázek č. 6 - Hloubka průniku různých vlnových délek [34] .....                | 19 |
| Obrázek č. 7 - Mechanismus působení IR na buňku [37] .....                      | 20 |
| Obrázek č. 8 - Lenire – bimodální neuromodulace [106] .....                     | 34 |
| Obrázek č. 9 - Ochranné brýle vlevo k LLLT, vpravo k HILT [vlastní zdroj] ..... | 41 |
| Obrázek č. 10 - LLLT: CCM MAESTRO MediCom [vlastní zdroj] .....                 | 41 |
| Obrázek č. 11 - Hloubková infračervená sonda k LLLT [vlastní zdroj] .....       | 42 |
| Obrázek č. 12 - BTL-6000 high intensity laser [vlastní zdroj] .....             | 43 |
| Obrázek č. 13 – Laserová sonda HILT [vlastní zdroj] .....                       | 43 |
| Obrázek č. 14 - Diagram zařazení probandů .....                                 | 44 |

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ

|  |    |
|--|----|
| Graf č. 1 - Maximální hloubka průniku u různých vlnových délek [24] .....                      | 22 |
| Graf č. 2 - absorpce vlnových délek ve vodě [30] .....   | 23 |
| Graf č. 3 - Hlasitost tinnitu ve skupinách před a po .....                                     | 48 |
| Graf č. 4 - Uvědomění si tinnitu v bdělosti ve skupinách .....                                 | 50 |
| Graf č. 5 – Úzkost/podráždění z tinnitu ve skupinách .....                                     | 51 |
| Graf č. 6 - Porovnání změny THI skóre po intervenci v rámci jedné experimentální skupiny ..... | 55 |
| Graf č. 7 - Porovnání THI skóre mezi skupinami před a po intervenci .....                      | 56 |

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

|  |    |
|--|----|
| Tabulka č. 1 - Průměrný věk probandů a průměrná doba trvání tinnitu ve skupinách   | 45 |
| Tabulka č. 2 - Porovnání skupin před intervencí.....                               | 45 |
| Tabulka č. 3 – Porovnání HILT skupiny před a po intervencí.....                    | 46 |
| Tabulka č. 4 - Porovnání LLLT skupiny před a po intervencí .....                   | 47 |
| Tabulka č. 5 - Změna kvalitativních znaků po intervencí v rámci HILT skupiny.....  | 52 |
| Tabulka č. 6 - Změna kvalitativních znaků po intervencí v rámci LLLT skupiny ..... | 52 |
| Tabulka č. 7 - Další kvalitativní znaky mimo dotazník TSCHQ.....                   | 53 |
| Tabulka č. 8 - Tabulkové porovnání změny THI skóre ve skupinách .....              | 54 |

## 12 PŘÍLOHY

### Příloha č. 1 - Vyjádření a souhlas etické komise

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

#### Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, kvalifikační či seminární práce zahrnující lidské účastníky

**Název projektu:** Fyzioterapeutická diagnostika a terapie tinnitu

**Forma projektu:** výzkumná práce

**Období realizace:** 03/2022 – 06/2026

Výzkum bude realizován v souladu s platnými epidemiologickými opatřeními Ministerstva zdravotnictví ČR.

**Předkladatel:** PhDr. Jitka Malá, Ph.D. (UK FTVS, katedra fyzioterapie)

**Hlavní řešitel:** PhDr. Jitka Malá, Ph.D. (UK FTVS, katedra fyzioterapie)

**Místo výzkumu (pracoviště):** 2 pracoviště (obě jsou anonymizována)

**Spoluřešitel(é):** Bc. Michal Neurwith, Bc. Aleš Jiskra, Bc. Tereza Farská, další budou zavzati do výzkumu v průběhu dalších dvou let, celkem je plánována participace cca 10ti studentů FTVS UK navazujícího magisterského studia, katedra fyzioterapie

**Finanční podpora:** je předpokládána podpora z programu Cooperatio a předložení žádosti grantu u GAUK

**Popis projektu:** Jde o výzkumný projekt zaměřený na fyzioterapeutický přístup k diagnostice a terapii tinnitu. Jeho cílem je intervenční experiment objasňující typologii tinnitu, vliv manuální terapie na tinnitus, vliv fyzikální terapie na tinnitus a vliv interborového přístupu na léčbu tinnitu. Výzkum bude rozdělen do několika (cca 8) dílčích částí, přičemž každá bude zpracována individuálně jednotlivými spoluřešiteli, konkrétně studenty magisterského studia fyzioterapie v rámci jejich diplomních specializací a prací. Půjde o longitudinální studii prováděnou na klientech (pracoviště anonymizována), první kontakt a výběr klienta do studie bude provádět neurolog MUDr. David Pánek, Ph.D.

Klienti budou rozděleni do jednotlivých (8) terapeutických skupin. Vytvořené skupiny probandů budou dle obdobné metodiky řešeny jednotlivými výzkumníky, přičemž každý bude mít odlišnou terapeutickou intervenci na tinnitus. Hlavními sledovanými dominantami bude intenzita tinnitu hodnocená na vizuální numerické škále od 0-10 a kvalita života sledovaná pomocí různých dotazníků (jaké dotazníky budou použity, bude řešeno v rámci rešeršního zpracování v průběhu výzkumu, neboť v regionu ČR není toto šetření u tinnitu standardně využíváno). Použité dotazníky budou zjišťovat kvalitu života a intenzitu tinnitu probandů na počátku a v závěru experimentu, a to bez ohledu na jejich rasové, politické, společenské, náboženské, filozofické názory a zařazení. Nijak nebude dotazována a řešena problematika sexuální orientace a trestních deliktů. V rámci dotazníků klienti budou podrobeni diagnostice pohybového aparátu kineziologickým rozbohem, diagnostice tinnitu na základě dotazování a dále budou zařazeni do příslušných terapeutických sekcí (8). Dotazníky budou probandům předávány v tištěné podobě při vstupním vyšetření, během kterého jej proband vyplní a odevzdá. Výstupní šetření dotazníkem bude prováděno obdobně při výstupním vyšetření, tedy poslední návštěvě probanda u výzkumného týmu.

Vybrané terapeutické intervence v jednotlivých sekcích budou: nízkovýkonový laser, vysokovýkonový laser, TRT neboli radiofrekvenční terapie, manuální terapie temporomandibulárního kloubu, manuální terapie krční a přilehlé hrudní páteře, práce s myofasciálními řetězci v kontextu uzavřených a otevřených kinematických vzorů, psychologické vedení zprostředkované lékařem psychosomatikem, řešení otázek zdravé životosprávy. Terapie bude probíhat 2-3x týdně, terapeutická jednotka bude čítat 45 min a bude orientována na jeden terapeutický přístup z výše uvedeného výčtu. Celkový počet terapií bude ohraničen 3 měsíci (tedy 3 měsíce, 2-3x týdně). Terapie bude probíhat na klinickém pracovišti (anonymizováno). Po ukončení 3 měsíční terapie bude opětovně provedeno kontrolní vyšetření kineziologickým rozbohem, dotazováním na intenzitu tinnitu dle numerické škály a kvalitu života vybraným dotazníkem.

**Charakteristika účastníků výzkumu:** Předpokládaný počet probandů je cca 200 – 400 ve věku přibližně 20-80 let. Bude se jednat o klienty (pracoviště anonymizováno) MUDr. Davida Pánka, Ph.D., kterým bude diagnostikován tinnitus. Do výzkumu budou zařazeni na základě dobrovolnosti. Zařazující kritéria: neurologem diagnostikovaný tinnitus, dobrovolná účast ve studii, věk 20-80 let, tinnitus jakékoliv povahy přetrvávající déle jak 3 měsíce.

Vylučující kritéria: akutní i chronická onemocnění vyžadující medikaci, trauma hlavy a krční páteře v anamnéze, probíhající psychologická nebo psychiatrická léčba.

Proband bude podroben vstupnímu vyšetření (kin. rozbor, dotazování, dotazník), dle kterého bude zařazen do příslušné terapeutické sourodne skupiny. Každá skupina bude čítat cca 25-50 probandů.



Celkový počet bude dosažen v průběhu let 2022 až 2026. Vyšetření a rozřazení do skupin bude provádět hlavní řešitel, Dr. Jitka Malá, taktéž i výstupní vyšetření bude provedeno hlavním, stejným řešitelem.

Intervence bude prováděna spoluřešiteli, konkrétně Bc. Michalem Neurwithem, který bude intervenci řešit formou terapie dysfunkcí krční páteře, dále Bc. Alešem Jiskrou, jehož experimentální skupina bude řešena terapií dysfunkcí temporomandibulárního kloubu a Bc. Terezou Farskou, která bude posuzovat vliv intervence vysokovýkonným a nízkovýkonným laserem. Další spolupracovníci budou zavzati do výzkumu v průběhu dalších dvou let, celkem je plánována participace cca 10ti studentů FTVS UK. Spoluřešitelé budou své probandy získávat na základě vstupního vyšetření provedeného hlavním řešitelem. Spoluřešitelé-studenti budou pracovat pod vedením hlavní řešitelky. Pacienti budou instruováni o průběhu terapie příslušným spoluřešitelem. Hlavní instrukci k výzkumu je provedení terapie daného klienta v časovém harmonogramu 2x týdně, po dobu 45 min. Skupiny probandů, jež budou léčeny manuálními přístupy, např. temporomandibulární dysfunkce, dysfunkce krční páteře apod. budou využívat jen standardní konvenční postupy patřící mezi základní vyučované postupy na FTVS UK. Přístupy řešící využití fyzikální terapie budou dodržovat doporučení výrobce pro ošetření daného regionu.

**Zajištění bezpečnosti:** Minimalizace rizik plynoucích z popsaného výzkumu bude zajištěna dohledem hlavního řešitele nad celým průběhem výzkumu, zvláště nad spoluřešiteli v dílčích výzkumech. Všichni řešitelé mají odpovídající zdravotnické vzdělání a budou dodržovat pravidla bezpečnosti práce na klinickém pracovišti. Při práci s fyzikální terapií, konkrétně nízkovýkonným, vysokovýkonným laserem, radiofrekvenční terapií budou dodržována všechna legislativně předepsaná hygienická pravidla, např. použití ochranných brýlí, uzavření místnosti při aplikaci, označení místnosti s laserovým paprskem, apod. Při práci manuálního typu, např. terapie TMK nebo krční a hrudní páteře nebo práce s myofasciálními řetězci budou respektovány indikace a kontraindikace použití jednotlivých fyzioterapeutických technik vzhledem k aktuálnímu zdravotnímu stavu probanda. Všechny použité metody budou neinvazivního typu. Pokud proband bude chtít přítomnost ve výzkumu ukončit z jakéhokoliv důvodu, bude toto respektováno. Výzkum bude prakticky probíhat na (pracoviště jsou anonymizována), kde bude permanentní dohled hlavního řešitele nad zajišťovanou péčí pro každého pacienta. Terapeutická péče bude zajišťována dílčími výzkumníky, studenty fyzioterapie magisterského programu v rámci jejich diplomních prací. Rizika prováděného průzkumu nebudou vyšší než rizika běžně očekávaná u tohoto typu výzkumu.

**Etické aspekty výzkumu:** Výzkum v oblasti fyzioterapeutického přístupu k tinnitu je tématem dosud neřešeným nebo jen minimálně. Doposud chybí jasná doporučení pro diagnostický i terapeutický postup fyzioterapie při léčbě pacientů s tinnitem. V našem výzkumu nebudou oslovení probandi jakékoli vulnerabilní skupiny, probandi vůči sobě nebudou nijak ne/zvýhodňováni.

Jelikož jde o diagnózu chronického typu, je nutný i dlouhodobý přístup k terapii. Pakliže se prokáže alespoň minimální změna intenzity tinnitu probanda nebo zlepšení kvality života probanda, znamená to významný terapeutický posun v oblasti aplikované fyzioterapie při léčbě tinnitu. Tato léčba pak může vést ke snížení nutné medikace pacientů trpících tinnitem.

**Potenciální střet zájmů:** Výzkum bude probíhat pod záštitou FTVS UK, přičemž klinická pracoviště uvedená v záhlaví jsou sekundárními pracovišti řešitelů. Snahou všech výzkumníků je prokázat vliv fyzioterapeutické péče na tinnitus, přičemž všechny využitě terapeutické zásahy patří mezi standardně využívané metody a techniky. Neexistuje potenciální střet zájmů mezi pracovišti ani mezi všemi účastníky výzkumu, výsledky výzkumu budou prezentovány dle reálně zjištěných údajů výzkumu. Já ani nikdo z řešitelského týmu nemáme soukromý zájem na výsledku výzkumu a ani výzkum nevede k osobnímu prospěchu nikoho z uvedených. Jedná se o čistě vědeckou práci, která nemá žádného zadavatele.

**Ochrana osobních dat:** Data budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Data potřebná pro realizaci výzkumu, tj. číselné označení jednotlivých probandů, ročník jejich narození a data (zjištěné nálezy, postupy a výstupy) ze všech vyšetření budou uchovávány v anonymizované podobě po celou dobu výzkumu. Všechna data budou uchovávána u dotčených řešitelů, zajištěna heslem chráněným softwarem v PC řešitelů v uzamčeném prostoru. Z důvodu longitudinálního výzkumu budou vstupní a výstupní data uchovávána pouze v PC hlavního řešitele. Případná neanonymizovaná data nebudou nikomu dalším předávána a budou co nejdříve po pořízení budou anonymizována, a to do 1 dne po posledním testování.

Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby – budu dbát na to, aby jednotliví účastníci nebyli rozpoznatelní v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou do 1 dne po posledním testování anonymizována. Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v diplomových pracích řešitelů, v odborných časopisech, prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešleslavin

**Pořizování fotografií/videí/audio nahrávek účastníků:** Během výzkumu nebudou pořizovány žádné audionahrávky ani videozáznam. Budou pořizovány dokumentační fotografie. K neanonymizovaným fotografiím bude mít přístup hlavní řešitel, budou uloženy v zahaslovaném počítači řešitele v uzavřené místnosti. Do 1 týdne po pořízení fotografií budou fotografie anonymizovány. Fotografie, určené k publikaci budou co nejdříve po jejich pořízení anonymizovány rozmazáním obličejů či částí těla, znaků, které by mohly vést k identifikaci jedince.

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

**Text informovaného souhlasu (IS):** příložen

Povinnosti všech účastníků výzkumu na straně řešitele je chránit život, zdraví, důstojnost, integritu, právo na sebeurčení, soukromí a osobní data zkoumaných subjektů, a podniknout k tomu veškerá preventivní opatření.

Odpovědnost za ochranu zkoumaných subjektů leží vždy na účastnících výzkumu na straně řešitele, nikdy na zkoumaných, byť dali svůj souhlas k účasti na výzkumu. Všichni účastníci výzkumu na straně řešitele musí brát v potaz etické, právní a regulační normy a standardy výzkumu na lidských subjektech, které platí v České republice, stejně jako ty, jež platí mezinárodně.

Potvrzuji, že tento popis projektu odpovídá návrhu realizace projektu a že při jakékoli změně projektu, zejména použitých metod, zašlu Etické komisi UK FTVS revidovanou žádost.

V Praze dne: 7. 3. 2022

Podpis předkladatele: *Favela*

Datum a podpis odpovědného pracovníka z místa výzkumu:

### Vyjádření Etické komise UK FTVS

**Složení komise: Předsedkyně:** doc. PhDr. Irena Parry Martínková, Ph.D.

**Členové:** prof. MUDr. Jan Heller, CSc.

prof. PhDr. Pavel Slepíčka, DrSc.

PhDr. Pavel Hráský, Ph.D.

Mgr. Eva Prokešová, Ph.D.

Mgr. Tomáš Ruda, Ph.D.

MUDr. Simona Majorová

Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: *056/2022*

dne: *16. 3. 2022*

Etická komise UK FTVS zhodnotila předložený projekt a **neshledala rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směnicemi pro provádění výzkumu zahrnujícího lidské účastníky.

**Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu Etické komise UK FTVS.**

UNIVERZITA KARLOVA  
Fakulta tělesné výchovy a sportu  
Josef Martího 31, 162 52, Praha 6  
razítko UK FTVS

- 20 -

*PPa*  
podpis předsedkyně EK UK FTVS

## Příloha č. 2 - Vzor informovaného souhlasu

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

### INFORMOVANÝ SOUHLAS k žádosti 56/2022

Vážený pane, vážená paní,

v souladu se Všeobecnou deklarací lidských práv, nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů a dalšími obecně závaznými právními předpisy (jakož jsou zejména Helsinská deklarace, přijatá 18. Světovým zdravotnickým shromážděním v roce 1964 ve znění pozdějších změn (Fortaleza, Brazílie, 2013); Zákon o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zejména ustanovení § 28 odst. 1 zákona č. 372/2011 Sb.) a Úmluva o lidských právech a biomedicině č. 96/2001, jsou-li aplikovatelné), Vás žádám o souhlas s Vaší účastí ve výzkumném projektu na UK FTVS v rámci zpracování výzkumného projektu s názvem „Fyzioterapeutická diagnostika a terapie tinnitu“, prováděné na FTVS UK v Praze. Vstupní a výstupní vyšetření a intervence bude probíhat v ..... a intervence bude probíhat v .....

1. Projekt bude probíhat v období: březen 2022 – červen 2026
2. Cílem výzkumného projektu je objasnit vliv fyzioterapeutické léčby na tinnitus.
3. Způsob zásahu bude neinvazivní. V rámci výzkumu se budete účastnit lékařské prohlídky u neurologa, dále u fyzioterapeuta, budete dotazován/a na intenzitu tinnitu a budete vyplňovat dotazník kvality života (zabere cca 15 min). Na základě vyšetření u fyzioterapeuta (hlavního řešitele) budete zařazen/a do vhodné terapeutické sekce a dále budete léčen/a dle předem připraveného schématu dle konkrétnosti vašeho typu tinnitu. Terapie bude probíhat po dobu 3 měsíců, cca 2-3 x týdně, každá terapie po dobu 45 minut. Terapie bude vedena individuálně vždy jedním terapeutem, zodpovědným za danou intervenční skupinu, přičemž půjde o fyzioterapeuta (studenta, spoluřešitele této práce). V rámci terapie budou prováděny pouze standardní fyzioterapeutické postupy, neinvazivní povahy. Po provedeném vyšetření (hlavním řešitelem) bude pacient zařazen do jedné z intervenčních skupin, a to dle nálezu ve vyšetření. Jednotlivé skupiny jsou:

- o skupina léčená nízkovýkonným laserem
- o skupina léčená vysokovýkonným laserem
- o skupina léčená TRT neboli radiofrekvenční terapií
- o skupina léčená manuální terapií temporomandibulárního kloubu
- o skupina léčená manuální terapií krční a přilehlé hrudní páteře
- o skupina léčená pomocí reciproční inhibice v rámci práce s myofasciálními řetězci v kontextu uzavřených a otevřených kinematických vzorů
- o skupina léčená psychologickým vedením zprostředkované lékařem psychosomatikem
- o skupina řešena změnou životosprávy

Budete zařazen/a do jedné skupiny a budete léčen/a pouze jedním zvoleným přístupem. Budou využívány měkké techniky, techniky manuální medicíny, terapie temporomandibulárního kloubu, prostředky fyzikální terapie jako je nízkovýkonný a vysokovýkonný laser, radiofrekvenční terapie. Bude snahou vás naučit korekci pohybu a ovlivnit případné vadné držení těla. Po ukončení intervence budete znovu vyšetřen/a fyzioterapeutem, obdobně jako při vstupním vyšetření. Během výzkumu se můžete kdykoliv zeptat na cokoli co souvisí s terapií a výzkumem a bude Vám to vysvětleno.

4. Rizika výzkumného projektu budou pouze v neúspěšnosti terapie, případná možná rizika plynoucí z nevhodného zacházení s terapeutickými přístroji budou minimalizována optimální vzdělaností příslušného terapeuta, metody manuální medicíny rovněž budou aplikovány osobou vzdělanou v dané problematice. Hlavní řešitelka bude dbát na bezpečnost při výzkumu. Není očekávána žádná bolestivost nebo nepříjemné pocity během léčby. Výzkum bude realizován v souladu s platnými epidemiologickými opatřeními Ministerstva zdravotnictví ČR.

5. Projekt se nemohou účastnit osoby netrpící tinnitem nebo trpící tinnitem při současných strukturálních změnách organismu nebo momentálně probíhající akutní či chronické chorobě vyžadující medikaci. Vylučující kritéria: akutní i chronická onemocnění vyžadující medikaci, trauma hlavy a krční páteře v anamnéze, probíhající psychologická nebo psychiatrická léčba.
6. Přínosem tohoto výzkumného projektu pro Vás bude součinnost na hledání výzkumné cesty vhodného terapeutického procesu pro pacienty trpících tinnitem.
7. Vaše účast v projektu je čistě dobrovolná a nebude nijak finančně odměněna.
8. Data budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Data potřebná pro realizaci výzkumu, tj. číselné označení jednotlivých probandů a data ze všech vyšetření budou uchovávána v anonymizované podobě po celou dobu výzkumu. Všechna data budou uchovávána u dotčených řešitelů, zajištěna heslem chráněným softwarem v PC řešitelů v uzamčeném prostoru. Z důvodu longitudinálního výzkumu budou vstupní a výstupní data uchovávána pouze v PC hlavního řešitele. Případná neanonymizovaná data nebudou nikomu dalšímu předávána a budou co nejdříve po pořízení budou anonymizována, a to do 1 dne po posledním testování. Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby – budu dbát na to, aby jednotliví účastníci nebyli rozpoznatelní v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou do 1 dne po posledním testování anonymizována. Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v diplomových pracích řešitelů, v odborných časopisech, prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.
9. Pořizování fotografií/videí/audíu nahrávek účastníků: Během výzkumu nebudou pořizovány žádné audionahrávky ani videozáznamy. Budou pořizovány dokumentační fotografie. K neanonymizovaným fotografiím bude mít přístup hlavní řešitel, budou uloženy v zaheslovaném počítači řešitele v uzavřené místnosti. Do 1 týdne po pořízení fotografií budou fotografie anonymizovány. Fotografie určené k publikaci budou co nejdříve po jejich pořízení anonymizovány rozmazáním obličejů či částí těla, znaků, které by mohly vést k identifikaci jedince.
10. S celkovými výsledky a závěry výzkumného projektu se můžete seznámit prostřednictvím komunikace s hlavními řešiteli, např. Dr. J. Malou, na e-mailové adrese: [jmala@ftvs.cuni.cz](mailto:jmala@ftvs.cuni.cz).
11. V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Jméno a příjmení předkladatele projektu Dr. Jitka Malá..... Podpis: .....

Jméno a příjmení hlavního řešitele a spoluřešitelů PhDr. Jitka Malá, Ph.D., MUDr. David Pánek, Ph.D., Bc. Aleš Jiskra, Bc. Michal Neuwirth, Bc. Tereza Farská.....

Prohlašuji a svým níže uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že dobrovolně souhlasím s účastí ve výše uvedeném projektu a že jsem měl(a) možnost si řádně a v dostatečném čase zvážit všechny relevantní informace o výzkumu, zeptat se na vše podstatné týkající se účasti ve výzkumu a že jsem dostal(a) jasné a srozumitelné odpovědi na své dotazy. Byl(a) jsem poučen(a) o právu odmítnout účast ve výzkumném projektu nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi UK FTVS, která bude následně informovat předkladatele projektu. Dále potvrzuji, že mi byl předán jeden originál vyhotovení tohoto informovaného souhlasu.

Místo, datum .....

Jméno a příjmení účastníka ..... Podpis: .....

Příloha č. 3 - Tinnitus sample case history questionnaire (česká verze)

| TINNITUS - ANAMNESTICKÝ DOTAZNÍK (TSCHQ) |        |
|--|--------|
| JMÉNO:                                   | DATUM: |
| DATUM NAROZENÍ:                          |        |

|                                 |                                 |                                 |   |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|
| 1. Věk:                         |                                 |                                 |   |
|                                 |                                 |                                 |   |
| 2. Pohlaví:                     | <input type="checkbox"/> Muž    | <input type="checkbox"/> Žena   |   |
|                                 |                                 |                                 |   |
| 3. Pravo/levorukost:            | <input type="checkbox"/> Pravák | <input type="checkbox"/> Levák  | <input type="checkbox"/> Obě ruce   |
|                                 |                                 |                                 |   |
| 4. Tinnitus v rodinné anamnéze: |                                 |                                 |   |
| <input type="checkbox"/> ANO    | pokud ANO:                      | <input type="checkbox"/> rodiče | <input type="checkbox"/> sourozenci <input type="checkbox"/> děti <input type="checkbox"/> NE |

|  |  |   |                                |
|--|--|---|--------------------------------|
| 5. Začátek obtíží: Kdy se Vám poprvé objevil tinnitus? _____         |  |   |                                |
|  |  |   |                                |
| 6. Začátek tinnitu jste vnímal jako:                                 | <input type="checkbox"/> Postupný <input type="checkbox"/> Náhlý |   |                                |
|  |  |   |                                |
| 7. Souvisel začátek Vašeho tinnitu s některým z následujících stavů: |  |   |                                |
| <input type="checkbox"/> akustické trauma                            | <input type="checkbox"/> whiplash                                | <input type="checkbox"/> porucha sluchu | <input type="checkbox"/> stres |
| <input type="checkbox"/> trauma hlavy                                | <input type="checkbox"/> další _____                             |   |                                |
|  |  |   |                                |
| 8. Zdá se Vám Váš tinnitus PULSUJÍCÍ ?                               |  |   |                                |
| <input type="checkbox"/> ANO, synchronní s tepem                     | <input type="checkbox"/> ANO, ale není synchronní s tepem        | <input type="checkbox"/> NE             |                                |

9. Kde vnímáte tinnitus?

- pravé ucho    levé ucho    obě uši, více vlevo    obě uši, více vpravo  
 obě uši stejně    v hlavě    někde jinde

10. Jak se Váš tinnitus projevuje v průběhu času?

- přerušovaný    stálý, konstantní

11. Mění se HLASITOST Vašeho tinnitu den ode dne?

- ANO    NE

12. Popište HLASITOST svého tinnitu na škále od 1 do 100.

(1 = VELMI SLABÝ; 100 = VELMI HLASITÝ)

\_\_\_\_\_ ( 1 – 100 )

13. Prosím popište svými vlastními slovy, jaký je obvykle Váš tinnitus:

\_\_\_\_\_

V následujícím seznamu naleznete příklady některých možných vjemů, avšak můžete volně použít i jiné výrazy: šumění, syčení, zvonění, pískání, pulsace, bzučení, cvakání, praskání, tón (například oznamovací tón nebo jiné druhy tónů), hučení, třaskání, chrčení, atd.

14. Zní Váš tinnitus více jako tón nebo více jako hluk:

- tón    hluk    cvrčci    jinak

15. Prosím popište VÝŠKU (frekvenci) svého tinnitu:

- velmi vysoký       vysoký       střední       nízká

16. Kolik procent z celkové doby, kdy jste bdělý/á, jste si v posledním měsíci svůj tinnitus uvědomoval/a? Např. 100% vyjadřuje, že si tinnitus uvědomujete stále, 25 % znamená, že si tinnitus uvědomujete ¼ celkové doby.

\_\_\_\_\_ % (Prosím napište číslo mezi 1 a 100)

17. Kolik procent z celkové doby, kdy jste bdělý/á, Vás v posledním měsíci tinnitus obtěžoval, způsoboval úzkost, strach či podráždění?

\_\_\_\_\_ % (Prosím napište číslo mezi 1 a 100)

18. Kolik různých možností léčby jste kvůli svému tinnitu již podstoupil/a?

- žádnou       jednu       několik       mnoho

19. Je Váš tinnitus zeslaben hudbou nebo určitými typy zvuků v okolním prostředí, jako například zvuk vodopádu nebo zvuk tekoucí vody ve sprše?

- ANO       NE       NEVÍM

20. Zhoršuje přítomnost hlasitých zvuků Váš tinnitus?

- ANO       NE       NEVÍM

21. Má na Váš tinnitus vliv určitý pohyb či dotek v oblasti hlavy a krku (např. zatnutí zubů)?

- ANO       NE

22. Pokud si přes den zdřímnete, ovlivní to Váš tinnitus?

zhoršuje to můj tinnitus    zeslabuje to můj tinnitus    nemá to žádný vliv

23. Je nějaká souvislost mezi kvalitou nočního spánku a Vaším tinnitem během dne?

ANO    NE    NEVÍM

24. Ovlivňuje stres Váš tinnitus?

zhoršuje můj tinnitus    zeslabuje můj tinnitus    nemá na něj vliv

25. Má užívání léků nějaký vliv na Váš tinnitus?

| lék | účinek / detaily |
|-----|------------------|
|     |                  |
|     |                  |
|     |                  |
|     |                  |

26. Máte obtíže se sluchem?

ANO    NE

27. Používáte sluchadlo?

vpravo    vlevo    oboustranně    ne

28. Dělá Vám potíže tolerovat zvuky, protože se Vám často zdají příliš hlasité? Jinak řečeno - zdají se Vám příliš hlasité nebo nepříjemné zvuky, které ostatní lidé vnímají jako docela příjemné?

nikdy    výjimečně    někdy    obvykle    vždy



29. Způsobují Vám zvuky bolest nebo fyzickou nepohodu?

ANO     NE     NEVÍM

30. Trpíte na bolesti hlavy?

ANO     NE

31. Trpíte na závratě?

ANO     NE

32. Trpíte poruchou čelistního kloubu?

ANO     NE

33. Trpíte bolestmi krční páteře?

ANO     NE

34. Trpíte jinou bolestí?

ANO     NE

35. Jste v současné době léčen s psychiatrickými problémy?

ANO     NE

Příloha č. 4 - Kineziologické vyšetření

| Myoskeletální vyšetření  |          |
|--|----------|
| Postura a funkční testy  | Poznámka |
| <i>Dojem, globální stručné zhodnocení (stoje, chůze, ladění)</i>   |          |
| <i>„deep line“ staticky - plochonoží, TMD</i>  |          |
| <i>„deep line“ dynamicky (hastasana - ve pažené truce v hoře, mediální kolaps - poskok na 1DK (při nárazu a doskoku vidím že chodí do pronace, VR KOK I ADD a VR KYK, anteverze pánye; VHI/II, plochonoží)</i> |          |
| <i>„deep line“ dynamicky na HK - pozice na 4, střecha, kočka, vysoká kobra, medvěď, DNS testy - brániční test, test flexe kyk, test flexe hlavy a trupu</i>  |          |
| <i>Dechové stereotypy</i>  |          |
| <b>Palpce + joint play</b>   |          |
| <i>Komplet šíjový a Th region</i>  |          |
| <i>Zřetěžené vazny dle Mojžišové pro O1, O2, I, II, III. Žebra</i>   |          |
| <i>AO segment + KEŠ + fascie skalpu</i>  |          |
| <b>TMK dysfunkce</b>   |          |
| <i>Test 3 prstů, kvalita cesty</i>   |          |
| <i>Trigonum mandibulare (citlivost, symetrie, velikost)</i>  |          |
| <i>Jazykka (úhel mezi jazyčkou a mastoidem, poloha, citlivost, posuvlivost, úpony suprahyalinních svalů)</i>   |          |
| <i>m. digastricus a jazykové svaly – mm. pterygoideí, masseter, temporalis</i>   |          |

*Příloha č. 5 – Vyšetření dle DNS*

| DNS testy  | Kvalita provedení |
|--|-------------------|
| Test nitrobřišního tlaku   |                   |
| Brániční test  |                   |
| Test flexe v kyčli   |                   |
| Test flexe trupu   |                   |
| Extenční test - HKK podél těla<br>nebo ve 3M pron                      |                   |
| Test extenze v kyčli (proti odporu<br>ne max silou)                    |                   |
| Test polohy na čtyřech + náklon nad<br>HKK pro zvýraznění insuficience |                   |
| Test polohy na čtyřech + nadlehčení<br>končetin                        |                   |
| Test hlubokého dřepu   |                   |

*Příloha č. 6 - Tinnitus handicap inventory dotazník*

| Tinnitus handicap inventory |   | ANO | NĚKDY | NE |
|-----------------------------|---|-----|-------|----|
| 1.                          | Máte kvůli tinnitu problémy se soustředěním?  |     |       |    |
| 2.                          | Máte kvůli tinnitus zhoršenou schopnost rozumět/slyšet ostatní lidi?                                      |     |       |    |
| 3.                          | Rozčlíte se někdy kvůli svému tinnitu?  |     |       |    |
| 4.                          | Jste někdy kvůli tinnitu zmatený?   |     |       |    |
| 5.                          | Cítíte se kvůli svému tinnitu zoufalý?  |     |       |    |
| 6.                          | Stěžujete si hodně na svůj tinnitus?  |     |       |    |
| 7.                          | Máte kvůli tinnitu problém s usínáním?  |     |       |    |
| 8.                          | Cítíte se jakoby se svému tinnitu nemohl uniknout?  |     |       |    |
| 9.                          | Omezuje Vás tinnitus v účasti na společenských událostech (večeře v restauraci, kino, tanec nebo zábava)? |     |       |    |
| 10.                         | Cítíte se být tinnitem frustrován?  |     |       |    |
| 11.                         | Považujete tinnitus za těžkou chorobu/onemocnění?   |     |       |    |
| 12.                         | Omezuje Vás tinnitus v užívání si života?   |     |       |    |
| 13.                         | Omezuje Vás tinnitus v práci nebo při domácích pracích?   |     |       |    |
| 14.                         | Máte pocit, že jste díky tinnitu často popudlivý?   |     |       |    |
| 15.                         | Je pro Vás kvůli tinnitu obtížné číst?  |     |       |    |
| 16.                         | Jste kvůli tinnitu rozrušený?   |     |       |    |
| 17.                         | Máte pocit, že se zhoršily Vaše vztahy se členy rodiny a přáteli?   |     |       |    |
| 18.                         | Je pro Vás složité koncentrovat se na jiné věci, než na tinnitus?   |     |       |    |
| 19.                         | Cítíte, že nad tinnitem nemáte kontrolu?  |     |       |    |
| 20.                         | Cítíte se často unavený kvůli tinnitu?  |     |       |    |
| 21.                         | Máte kvůli tinnitu depresi?   |     |       |    |
| 22.                         | Způsobuje Vám tinnitus úzkost?  |     |       |    |
| 23.                         | Cítíte, že už se se svým tinnem nemůžete vypořádat?   |     |       |    |
| 24.                         | Zhoršuje se Váš tinnitus ve stresu?   |     |       |    |
| 25.                         | Jste kvůli tinnitu nejistý?   |     |       |    |

*Příloha č. 7 - Vyhodnocení THI dotazníku*

|        | Vyhodnocení THI   | Stupeň |
|--------|---|--------|
| 0-16   | <b>Nepatrný:</b> slyšitelný pouze v tichém prostředí, snadno upozaděn. Neruší spánek ani denní aktivity.  | 1      |
| 18-36  | <b>Mírný:</b> Snadno upozaděný zvuky/hluky prostředí a snadno zapomenut při jiných činnostech. Občas může narušit spánek, ale nikdy nenarušuje denní aktivity.  | 2      |
| 38-56  | <b>Střední:</b> Vnímaný i přes hluk z okolního prostředí nebo i přes zvuk na pozadí, i tak ale mohou být vykonávány denní aktivity.   | 3      |
| 58-76  | <b>Závažný:</b> Slyšitelný téměř vždy, zřídka pokud vůbec někdy je upozaděn. Vede k narušení struktury spánku a může narušovat schopnost provádět denní aktivity. Tiché aktivity narušuje výrazně nepříznivě. | 4      |
| 78-100 | <b>Katastrofický:</b> Slyšitelný vždy, narušuje strukturu spánku, znesnadňuje jakékoliv aktivity.   | 5      |