

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**

**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**

KATEDRA BIOFYZIKY

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Variabilita vzdálenosti mikrofonu od úst připevněného k laryngoskopu při  
laryngoskopickém vyšetření**



Vypracovala: Dominika Valášková

Studijní obor: Biofyzika

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Švec, Ph.D. et Ph.D.

**OLOMOUČ 2018**

Autor: Dominika Valášková

Název: Variabilita vzdálenosti mikrofonu od úst připevněného k laryngoskopu při laryngoskopickém vyšetření

Typ práce: Bakalářská práce

Pracoviště: Katedra Biofyziky

Vedoucí práce: RNDr. Jan Švec, Ph.D. et Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2018

Abstrakt: Cílem této práce je zjistit, jaká je variabilita vzdálenosti mikrofonu připevněného k laryngoskopu od úst při laryngoskopickém vyšetření a odpovídající hloubka vsunutí laryngoskopu do úst u různých pacientů. Rovněž je cílem určit, jak tato variabilita může ovlivnit přesnost určení hladiny akustického tlaku při vyšetření. Pro měření byly použity fotografie 20 dospělých mužů a 20 dospělých žen pořízené během jejich laryngoskopického vyšetření v Hlasovém a sluchovém centru Praha. Při měření byla zjištěna průměrná hloubka vsunutí laryngoskopu do úst od hranice horního rtu u mužů  $a_2 = (9,3 \pm 0,7)$  cm a u žen  $a_1 = (8,5 \pm 0,7)$  cm. Rozdíl mezi muži a ženami byl statisticky velmi významný ( $p = 0,0004$ ). Průměrná vzdálenost mikrofonu od hranice horního rtu byla, dohromady pro muže i ženy 8,4 cm se směrodatnou odchylkou  $\pm 0,8$  cm. Z této směrodatné odchylky vyplývá inter-individuální vzdálenosti mikrofonu od horního rtu v rozsahu  $\pm 1,6$  cm ( $2\sigma$ , pro 95,45% interval spolehlivosti) či  $\pm 2,4$  cm ( $3\sigma$ , pro 99,73% interval spolehlivosti). Tyto variability kolem vzdálenosti 8,4 cm mohou způsobit teoretickou variabilitu hladin akustického tlaku v rozsahu  $2\sigma_{FM} = <-1,76; + 1,46>$  dB ( $2\sigma$ , pro 95,45% interval spolehlivosti) a  $3\sigma_{FM} = <-2,80; + 2,11>$  dB ( $3\sigma$ , pro 99,73% interval spolehlivosti). Zjištěné hodnoty umožňují vztáhnout změřené hladiny akustického tlaku hlasu pacienta při laryngoskopii k specifické vzdálenosti a poskytují základní informaci o možných nejistotách tohoto měření.

Klíčová slova: vzdálenost mikrofonu od úst, laryngoskopie, hladina akustického tlaku

Počet stran: 40

Jazyk: Čeština

Author: Dominika Valášková

Title of thesis: Variability of a distance of a laryngoscope-attached microphone from the mouth in laryngoscopic examinations

Type of thesis: Bachelor thesis

Department: Department of biophysics

Supervisor: RNDr. Jan Švec, Ph.D. et Ph.D.

The year of defence: 2018

Abstract: The aim of this thesis was to find out the variability of mouth-to-microphone distance of a laryngoscope-attached microphone in laryngoscopic examinations and the corresponding depth of insertion of the laryngoscope in the mouth across different patients. An additional aim was to determine how the variability can influence the accuracy of the sound pressure level measurement during examinations. Photographs taken at the Voice and Hearing Center in Prague were used for the measurements. The results reveal the average depth of laryngoscope insertion from the upper-lip borderline to be  $a_2 = (9,3 \pm 0,7)$  cm in men and  $a_1 = (8,5 \pm 0,7)$  cm in women. The male-to-female difference was found to be highly statistically significant ( $p = 0,0004$ ). The average microphone distance from the upper lip was 8,4 cm for the men and women, pooled together, with the standard deviation of  $\pm 0,8$  cm. This standard deviation reveals on the inter-individual variability of the microphone distance within the range of  $\pm 1,6$  cm ( $2\sigma$ , 95,45% confidence interval) or  $\pm 2,4$  cm ( $3\sigma$ , 99,73% confidence interval) from the upper lip. These distance variabilities can cause theoretical variability of the measured sound pressure levels in the range of  $2\sigma_{FM} = \langle -1,76; +1,46 \rangle$  dB ( $2\sigma$ , 95,45% confidence interval) and  $3\sigma_{FM} = \langle -2,80; +2,11 \rangle$  dB ( $3\sigma$ , 99,73% confidence interval). The measured data make it possible to relate the measured sound pressure levels of voice in laryngoscopically examined patients to specific microphone distances and provide basic information about the possible uncertainties of these measurements.

Key words: mouth-to-microphone distance, laryngoscopy, sound pressure level

Number of pages: 40

Language: Czech

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením RNDr. Jana Švece, Ph.D. et Ph.D a za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne.....

Děkuji vedoucímu bakalářské práce RNDr. Janu Švecovi, Ph.D. et Ph.D. za cenné rady, odborné vedení, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích k vypracování bakalářské práce. Dále děkuji Hlasovému a sluchovému centru Praha zejména prim. MUDR. Jitce Vydrové za možnost pořídit fotografie při laryngoskopickém vyšetření. V neposlední řadě děkuji i svým rodičům, sestře a příteli za podporu při zpracování mé bakalářské práce.

Práce souvisí s řešením projektů GAČR č. GA16-01246S „Počítačové a experimentální modelování samobuzených kmitů hlasivek a vliv jejich poškození na lidský hlas“ a grantu TAČR č. TA04010877 "Automatické hodnocení videokymografických záznamů pro časnou diagnostiku a prevenci nádorových onemocnění hlasivek".

## SEZNAM ZKRATEK

SPL – hladina akustického tlaku (*sound pressure level*)

SIL – hladina akustické intenzity (*sound intensity level*)

CT – počítačová tomografie (*computed tomography*)

F – žena (*female*)

M – muž (*male*)

# OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	PŘEHLED PROBLEMATIKY.....	2
2.1	HLAS .....	2
2.1.1	HLASOTVORNÉ ÚSTROJÍ .....	2
2.1.1.1	ÚSTROJÍ RESPIRAČNÍ (DÝCHACÍ) .....	2
2.1.1.2	ÚSTROJÍ FONAČNÍ (HLASOTVORNÉ).....	2
2.1.1.3	ÚSTROJÍ REZONANČNÍ.....	3
2.1.2	VZNIK HLASU .....	3
2.2	LARYNGOSKOPIE .....	4
2.2.1	HISTORIE LARYNGOSKOPIE A VÝVOJ ZOBRAZENÍ HRTANU.....	4
2.2.1.1	DĚLENÍ LARYNGOSKOPIE .....	8
2.2.1.2	DĚLENÍ A VLASTNOSTI LARYNGOSKOPŮ.....	9
2.2.2	VYŠETŘENÍ PŘI RIGIDNÍ LARYNGOSKOPII.....	10
2.3	HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU .....	11
2.3.1	ZÁKON VZDÁLENOSTI.....	12
2.3.2	ZMĚNY HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU PŘI VYŠETŘENÍ .....	13
3	CÍL PRÁCE.....	15
4	MATERIÁL A METODY .....	16
5	VÝSLEDKY .....	24
5.1	DĚLKA LARYNGOSKOPU POUŽÍVANÉHO PŘI VYŠETŘENÍ.....	24
5.2	VNĚJŠÍ DĚLKA TUBUSU PŘI LARYNGOSKOPII.....	24
5.3	HLOUBKA VSUNUTÍ LARYNGOSKOPU DO ÚST.....	26
5.4	HLOUBKA RTŮ .....	27
5.5	NORMALITA DAT .....	28
5.6	ROZDÍL MEZI MUŽI A ŽENAMI .....	28
6	DISKUSE.....	31
7	ZÁVĚR .....	37
	SEZNAM LITERATURY .....	38
	INTERNETOVÉ ZDROJE .....	40

# 1 ÚVOD

Každý z nás denně používá hlas, nejčastěji ke komunikaci, a bereme ho jako samozřejmost. Denně vystavujeme své hlasivky velké námaze a neuvědomujeme si jejich důležitost. Hlas každého z nás je naší součástí po celou dobu života a nelze jej změnit. Provází nás od narození až do smrti. Od prvních slov až po ty poslední. Pomocí hlasu vzniká řeč, slova, vyjadřujeme pomocí něj své myšlenky, názory a popisujeme své emoce. Bez hlasu se člověk zkrátka cítí bezmocný a měl by při příznacích onemocnění navštívit lékaře. Z počátku nevinný chrapot se při přehlížení může změnit ve vážnější onemocnění, a proto by se neměl podceňovat.

Pokud i přesto dojde k poruše hlasivek a návštěvě odborníka, neměli by se pacienti bát vyšetření laryngoskopem. A právě tímto vyšetřením se bude zabývat tato bakalářská práce. Jejím cílem bude konkrétně zjistit variabilitu vzdálenosti mikrofonu od úst při laryngoskopickém vyšetření a změnu hladiny akustického tlaku.

Hladina akustického tlaku je používána pro zjištění, jak hlasitě člověk mluví a jaký akustický výkon se vyzařuje z úst. Je známo, že hladina akustického tlaku se mění se vzdáleností, a protože jsou v ordinaci používány laryngoskopy s mikrofonem připevněným k laryngoskopu, je potřeba vědět, v jaké vzdálenosti je mikrofon umístěn a jak se tato vzdálenost může měnit u jednotlivých pacientů.

Doposud žádná publikace se nezabývá variabilitou vzdáleností mikrofonu od úst ani změnou hladiny akustického tlaku při vyšetření a jak by tyto změny mohly ovlivnit dané vyšetření a výsledky. V této práci, za pomoci snímků pořízenými během laryngoskopického vyšetření v Hlasovém Centru Praha, určíme hloubku vsunutí laryngoskopu do úst z vybraných fotografií. Zaměříme se hlavně na to, jak moc se může hloubka vsunutí laryngoskopu do úst lišit mezi různými pacienty a jak následně může ovlivnit hladinu akustického tlaku.



## 2 PŘEHLED PROBLEMATIKY

### 2.1 HLAS

Hlas je zvuk vznikající při průchodu proudu vzduchu hlasivkovou šterbinou, kde rozechvěje hlasivky, a následným průchodem tónu rezonančními dutinami (Veldová 2007). Zvuk není pak nic jiného než rychlé změny tlaku vzduchu šířící se prostředím, které je schopno naše ucho vnímat.

#### 2.1.1 HLASOTVORNÉ ÚSTROJÍ

Pojmem hlasotvorné ústrojí označujeme anatomické struktury podílející se na tvorbě hlasu. Skládá se ze tří částí – respirační (dýchací) ústrojí, fonační (hlasotvorné) ústrojí a rezonanční ústrojí (Kejklíčková 2011).

##### 2.1.1.1 ÚSTROJÍ RESPIRAČNÍ (DÝCHACÍ)

Slouží především jako zásobárna vzduchu pro tvorbu hlasu, ačkoliv je především určeno k dýchání. Dýchání je proces, kdy dochází ke vtahování vzduchu do plic a jeho následnému vypouštění z plic ven. Pro hlas je nejdůležitější část, kdy dochází k výdechu. Vzduch, který vychází z plic, proudí kolem hlasivek a tlak v plicích působící na povrch hlasivek, hlasivky rozkmitá (Kejklíčková 2011).

Respirační ústrojí (nebo také dýchací cesty) rozdělujeme na horní a dolní. Do horních dutin patří zevní nos, dutina nosní a nosohltan. Do dolních cest dýchacích patří hrtan, průdušnice, průdušky, průdušinky a plicní sklípky (Slavíková a Švíglerová 2012).

##### 2.1.1.2 ÚSTROJÍ FONAČNÍ (HLASOTVORNÉ)

Hlasové ústrojí se skládá z hrtanu a hlasivek, kdy hlasivky jsou zúžená část hrtanu, a svalstvem, které je spojuje. Hrtan je krátký trubicový nepárový orgán, umístěný ve vnitřní části krku mezi hltanem a průdušnicí (Čihák 1988, Kejklíčková 2011). U dospělého muže asi 7 cm vysoký a dospělé ženy asi 5 cm (Špačková 2015).

Stavbu hrtanu můžeme rozdělit na měkkou tkáň (svaly, vazy a sliznice) a tvrdou tkáň (chrupavky). Chrupavky hrtanu jsou chrupavka štítná, chrupavka prstencová, chrupavky hlasivkové a hrtanová příklopka. Měkkou tkáň můžeme dále rozdělit na vnější (spojuje hrtan s ostatními částmi) a vnitřní (propojuje chrupavky) (Čihák 1988).

Hlasivky v hrtanu jsou oddělené od sebe hlasivkovou štěrbinou (glottis). Její šířka se mění při dýchání, kdy během vdechu se rozšiřuje a při výdechu zužuje. Svaly kontrolující šířku hlasivkové štěrbině jsou inervovány větví X. hlavového nervu (Slavíková a Švíglerová 2012).

### 2.1.1.3 ÚSTROJÍ REZONANČNÍ

Rezonanční dutiny jsou oblasti těla, ovlivňující rozhodujícím způsobem barvu hlasu a formantovou strukturu. Těmito prostory jsou dutiny hrtanu, hltanu, ústní a nosní. Výsledná rezonance každé této dutiny je určena jejím objemem, tvarem, hmotností vzduchu obsaženého v rezonančním prostoru a rozměrem vstupního a výstupního otvoru (Chrobok a kol. 2011).

Pro určení hloubky vsunutí laryngoskopu je důležité vědět průměrnou horizontální délku vokálního traktu.

Podle měření Guzmána a kol. (2013) z CT snímků jedné ženské osoby je horizontální délka vokálního traktu 91,9 mm (Obrázek 1). Horizontální délka vokálního traktu zde byla měřena jako vzdálenost nejnižšího bodu prvního obratle páteře – atlas, a nejužšího bodu mezi rty.



**Obrázek 1:** Vzdálenost v mm měřená ze snímků pořízených pomocí CT: (1) vertikální délka vokálního traktu, (2) horizontální délka vokálního traktu. Upraveno (Guzman a kol. 2013).

### 2.1.2 VZNIK HLASU

Počátek cesty a vznik hlasu začíná již v samotné mozkové kůře. Představa vzniku hlasu se přenáší do precentrálního záhybu v motorickém centru mozku. Následně je předána do motorických jader mozkového kmene a míchy, kde se vytváří instrukce pro

aktivitu hrtanu, artikulátorů a dýchacích svalů. Výsledné instrukce se kombinují s informacemi z extrapyramidového a autonomního nervového systému. Výsledkem je zvuk. Ten je dále sluchem vyhodnocován a vysílán zpětnou vazbou do mozkové kůry přes mozkový kmen. Dochází zde ke korekci vyslovení hlásky tak, aby výsledný zvuk odpovídal původní představě (Sataloff 1992).

Můžeme tak vidět, že na řeči se kromě mozku podílejí i další centra, která jsou uložena v prodloužené míše, mozečku a mezimozku.

Pokud klidně dýcháme je hlasivková štěrbina široká a nachází se v tzv. respirační poloze. Chvilí před začátkem mluvení zaujmou vazy fonační postavení, kdy dojde k uzavření hlasivkové štěrbiny. Výdechem dochází k rozechvění hlasivek, a tak dojde k otevírání a zavírání hlasivkové štěrbiny. Vzniká tak zvuk, který je důsledkem periodického chvění sloupce vzduchu nad hlasivkami. Nejedná se však ještě o finální zvuk hlasu, nýbrž o primární zvuk, který zní relativně slabě a řezavě. Teprve až po průchodu nadhrtanovými rezonančními dutinami se zesílí a získá charakter lidského hlasu (Špačková 2015).

Hlas je ovlivňován a upravován dutinami vokálního traktu. Každá dutina, ve které se šíří zvuk, má svou vlastní akustickou rezonanci. Na tvorbě hlasu se nepřímo podílí i svalstvo (Chrobok a kol. 2011).

## **2.2 LARYNGOSKOPIE**

Pro pohled do hrtanu a posouzení jeho hybnosti a stavby se používají různé druhy laryngoskopů v kombinaci s videokamerami. Tyto videokamery mohou být standardní nebo speciální pro metody, jako je například videokymografie nebo vysokofrekvenční videolaryngoskopie.

### **2.2.1 HISTORIE LARYNGOSKOPIE A VÝVOJ ZOBRAZENÍ HRTANU**

Laryngoskopie se v dnešní době zabývá především možnostmi vyšetřovat hrtan u pacientů v bdělém stavu i v celkové anestezii. Schopnost zobrazit hrtan se postupně vyvíjela i s metodami vyšetření.

Podle Tjoa a Verma (2016) poprvé použil slovo hrtan Aristoteles ve své knize *Historia Animalium*. V římské době fyzik, filozof a anatom Aelius Galenus jako první diskutoval o funkci hrtanu. Domníval se, že zvířecí anatomie je podobná lidské a pro své výzkumy nejčastěji používal mrtvá zvířata, nejčastěji prasata. Zároveň popsal tři

chrupavky hrtanu a vysvětlil jejich funkce při dýchání a hlasových projevech. Byl první, kdo dokázal, že hrtan se podílí na produkci hlasu (Galen 1968, podle Tjoa a Verma 2016).

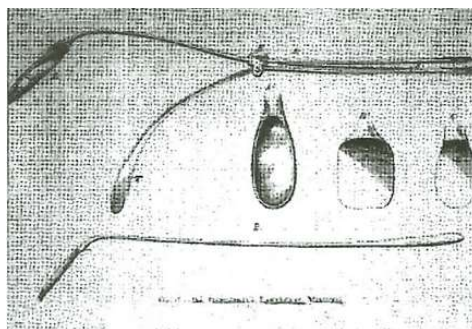
Jeho práce nebyla překonána až do 16. století, kdy na jeho práci navázal Andreas Vesalius, který detailně popsal hrtan. Na Vesaliuse následně navazoval italský anatom Giovanni Battista Morgagni, který se rovněž zabýval popisem hrtanu (Morgagni 1741, podle Tjoa a Verma 2016). Avšak termín hlasivky poprvé použili v 18. století Ferrein a Bertin (Karmody 1988, podle Tjoa a Verma 2016).

Philip Bozzini z Frankfurtu byl první, kdo navrhl a sestavil nástroj se zdrojem světla a schopností posvítit do vnitřních dutin. Pojmenoval jej Lichtleiter nebo-li světlovod. Bohužel jeho vynález nebyl oceněn a není známo, zda-li pomocí tohoto nástroje vyšetřoval hrtan. I tak se jednalo se o základní kámen laryngoskopu (Tjoa a Verma 2016, Zeitels a Alarcon 2001).



**Obrázek 2:** Bozziniho vynález pojmenovaný jako Lichtleiter s vlastním zdrojem světla (svíčkou) a možností pozorovat vnitřní dutiny (Tjoa a Verma 2016).

Další, kdo se pokusil zobrazit hrtan a hlasivky, byl Benjamin Guy Babington. Ten vynalezl trojčepelový nástroj, které by se dal považovat za první úspěšný laryngoskop. Pojmenoval jej glotiskop (Tjoa a Verma 2016).



**Obrázek 3:** Babingtonův vynález pojmenovaný glotiskop skládající se ze tří čepelí (Tjoa a Verma 2016).

V roce 1837 Robert Liston přišel s nápadem využití v dnešní době známého zubařského zrcátka, které by se nahřálo na vyšší teplotu, aby se předešlo zamlžení (Liston 1837, podle Tjoa a Verma 2016).

První náhlavní zrcadlo použil v roce 1844 John Avery. Za použití hladkého zaobleného povrchu vytvořil zrcátko připevněné k hlavě tak, aby docházelo k odrazu světla od zdroje do hrtanu, který by byl vyšetřován Babingtonovým glotiskopem (Tjoa a Verma 2016).

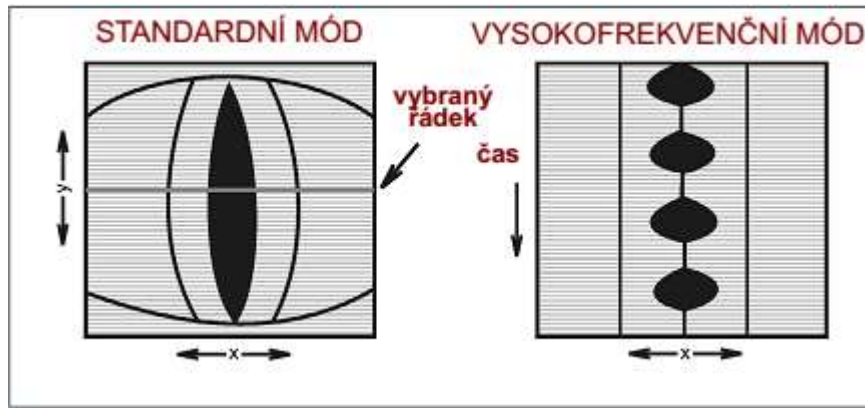
Horace Greenovi je připisována první přímá laryngoskopie, kterou provedl v roce 1852 (Green 1852, Green 1855, podle Tjoa a Verma 2016). Ve stejném čase španělský učitel zpěvu Manuel Garcia vyvíjel novou metodu zobrazení hrtanu. Ve své knize jako první popsal autolaryngoskopii, kdy využíval odraz slunečního světla k osvětlení vlastního hrtanu. Rovněž detailně popsal pohyb hlasivek (Alberti 1996, Garcia 1855, podle Tjoa a Verma 2016).

Roku 1857 Ludwig Türck experimentoval s Garciovou metodou, ale nebyl schopen získat stále výsledky, kvůli závislosti na denním světle jako světelném zdroji (Türck 1858, podle Tjoa a Verma 2016). Jeho kolega Dr. Johann Nepomuk Czermak si vypůjčil zrcadla, která Türck přestal pro svůj výzkum používat. Následně zdokonalil techniku za použití umělého světla a design zrcadel, což vedlo k lepší používací metodě a lepšímu zobrazení. Úspěch předvedl v roce 1858 ve Vídni a označil se za prvního lékaře, kterému se podařilo zobrazit živý hrtan. Toto prohlášení vedlo k následnému sporu mezi Türckem a Czermakem. Morrelu Mackenziemu, jednomu z Czermakových studentů, je připisováno první použití slova laryngoskop (Czermak 1860, Mackenzie 1865, Majer 1985, podle Tjoa a Verma 2016, Zeitels a Alarcon 2001).

Pohyb hlasivek byl popsán Oertelem v roce 1878, který využil stroboskopické světlo pro zviditelnění jejich kmitů. Tato metoda se nazývá strobolaryngoskopie (Oertel 1878, podle Zeitels a Alarcon 2001, Wendler 1992).

První přímá laryngoskopie za použití elektrického zdroje světla proběhla v roce 1895 pod vedením Alfreda Kirsteina (Kirstein 1895, Kirstein 1897, podle Zeitels a Alarcon 2001).

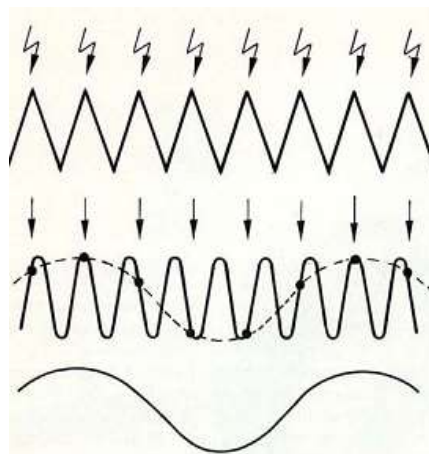
Moderní rozvoj laryngoskopie však nastal až v posledních desetiletích 20.století, kdy laryngoskopická zrcátka nahradily moderní laryngoskopy a začaly se k nim používat videozařízení. V roce 1994 byla v Groningenu (Švec, Schutte, Šram) vyvinuta videokymografie. Jedná se o levnější metodu vysokofrekvenčního videa využívající princip kymografického zobrazení, kdy jsou kmity hlasivek ukázány v jednom obrázku. Videokymografie nám poskytuje dva typy obrazů – obraz standardního videa a vysokofrekvenční video, které je snímáno pouze z jednoho vybraného řádku (Kastner a kol. 2009).



**Obrázek 4:** Popis metody videokymografie. Při měření získáme dva typy obrazů – standardní video (vlevo) a vysokofrekvenční video (vpravo) snímané pouze z jednoho vybraného řádku standardního videa. Kmity hlasivek jsou zobrazeny v jednom obrázku (vpravo) (Švec a kol. 1999).

Videokymografie využívá vysokorychlostní kameru pomocí které můžeme zaznamenat velké množství (7200) snímků za sekundu. Díky tomu dokáže zachytit jednotlivé kmity hlasivek při fonaci. Následně tak můžeme diagnostikovat odchylky od harmonického kmitání hlasivek. Digitální kymografií nazýváme metodu, kdy je digitální záznam analyzován až poté. Avšak většinou se termín digitální kymografie zjednodušuje na kymografie (Kastner a kol. 2009, Tigges a kol. 1999, podle Patel a Bless 2006).

V současné době je nejpoužívanější klinická metoda ke sledování kmitů hlasivek strobolaryngoskopie. Tato metoda je založena na vizuálním zpomalení pohybu hlasivek, díky kterému můžeme lépe sledovat změnu. Jelikož nejsme schopni okem vnímat rychlé pohyby, osvětlujeme hrtan zábleskovým světlem, jehož frekvence je podobná frekvenci hlasivek. Následně se nám jejich pohyb jeví jako zpomalený. Pokud však hlasivky kmitají nepravidelně, nelze stroboskop synchronizovat s kmity hlasivek. V takovém případě se použije jiná metoda např. videokymografie.

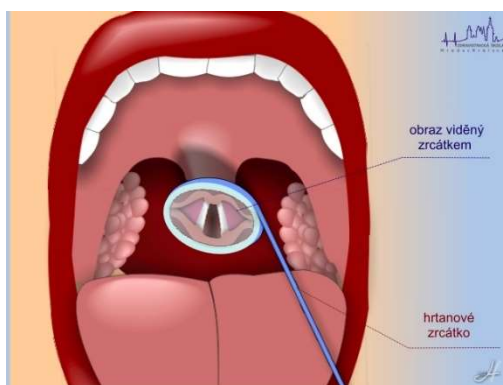


**Obrázek 5:** Schéma průběhu strobolaryngoskopie. Hlasivky jsou osvětlovány záblesky, které mají podobnou frekvenci jako hlasivky. Záblesk proběhne pokaždé v jiné fázi kmitu hlasivek. Výsledný obraz se nám jeví jako zpomalená (Barth 1982).

### 2.2.1.1 DĚLENÍ LARYNGOSKOPIE

Podle práce Švec a kol. (2011) dělíme laryngoskopii na nepřímou, přímou, zvětšovací a flexibilní.

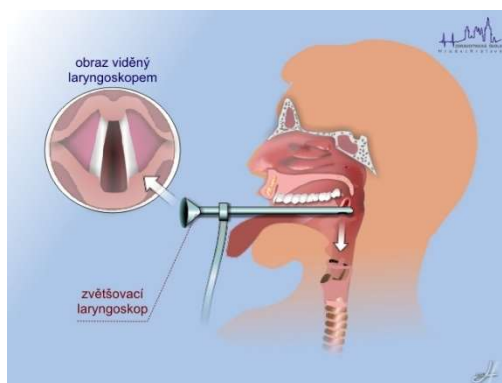
Nepřímá laryngoskopie je základní vyšetření hrtanu a pomocí ní lze zhodnotit stavbu a pohyblivost hrtanu. Metoda je jednoduchá a dostupná. Provádí se pomocí zvláštního zrcátka, jehož kulatá zobrazovací plocha svírá určitý úhel s držadlem. K tomuto vyšetření je potřeba zdroj světla, které lékař směřuje pomocí náhlavního zrcadla na zobrazovací plochu hrtanového zrcátka. Tím se osvítlí hlasivky (Kastner a kol. 2016, Švec a kol. 2011).



**Obrázek 6:** Ukázka nepřímé laryngoskopie. Převzato z (1).

Oproti tomu přímá laryngoskopie je operační technika s nevýhodou celkové anestézie pacienta. Optickým přístrojem se přímo pozoruje hrtan (Švec 2013).

Zvětšovací laryngoskopie (nepřímá) se využívá při vyšetření ve foniatrii. Jedná se v podstatě metodu nepřímé laryngoskopie, kde se místo zrcátka používá laryngoskop s pevným tubusem. Její alternativou je flexibilní laryngoskopie uvedená v roce 1968 Sawashim a Hirosem. Uvnitř flexibilního laryngoskopu je velké množství přesně srovnaných skleněných optických vláken, která jsou ohebná a dobře vedou světlo. Využívá se hlavně při vyšetření malých dětí, nepohyblivých pacientů nebo pacientů se silným dávicím reflexem. V poslední době dochází k většímu rozšíření flexibilní laryngoskopie v klinické praxi díky technologii umístění miniaturní kamery přímo na konci laryngoskopu (Best a Akst 2016, Kastner a kol. 2009, Sulica 2013, Švec 2013).



**Obrázek 7:** Ukázka zvětšovací laryngoskopie. Převzato z (1).

### 2.2.1.2 DĚLENÍ A VLASTNOSTI LARYNGOSKOPŮ

Laryngoskop je druh endoskopu, což jsou obecně přístroje pro vizuální vyšetření tělesných dutin. Podle složitosti je rozlišujeme na endoskopická zrcadla, endoskopy s pevnými tubusy a fibroskopy. Laryngoskop může být tedy ve formě laryngoskopického zrcadla, laryngoskopu s pevným tubusem (telarlaryngoskop) nebo flexibilního laryngoskopu (Woo 2010 b).

Mezi přední výrobce laryngoskopů se řadí např. firmy Olympus, Storz, Wolf, Xion, Pentax a Machida.

V tabulce 1 je uvedeno srovnání vybraných rigidních laryngoskopů od firem Storz, Olympus a Xion.

**Tabulka 1:** Srovnání vybraných laryngoskopů od různých firem – Storz, Olympus a Xion.

FIRMA	OZNAČENÍ PRODUKTU	NÁZEV PRODUKTU	ÚHEL [°]	DĚLKA LARYNGOSKOPU [CM]
STORZ	8700 DKA	TELE-LARYNGO-PHARYNGOSCOPE	90	20
	8707 DA	TELE-LARYNGO-PHARYNGOSCOPE	90	15
	8700 CKA	BENJAMIN TELE-LARYNGOSCOPE	70	19
	8705 CKA	BENJAMIN SLIMLINE TELE-LARYNGOSCOPE	70	18
	8706 CA	STROBO-LARYNGOSCOPE	70	17
OLYMPUS	WA96105A	HIGH DEFINITON LARYNGOSCOPE	90	16,7
	WA96100A	HIGH DEFINITON LARYNGOSCOPE	70	16,7
XION	130 310 329	LARYNGOSCOPE	90	19,5
	130 307 327	LARYNGOSCOPE	70	18

Z tabulky 1 je vidět, že různé laryngoskopy od jednotlivých výrobců mají různé délky, jelikož délky laryngoskopů nejsou nijak standardizovány. U jednotlivých vyšetření se tak může lišit vzdálenost mikrofону od úst, v případě jeho umístění přímo na laryngoskop či na hlavu kamery připojenou k laryngoskopu.



Kromě druhu laryngoskopu rovněž záleží na tom, jaké vybavení lékař používá. Schopnost zobrazit hrtan na nejvyšší rozlišení a měření s vysokou přesností nám dovolí lépe chápat anatomii i funkci hrtanu. Zároveň nám pomáhá určit abnormality. Konečná kvalita výsledku měření závisí na tom, jak je dobrý nejslabší článek celého systému. Například výborný laryngoskop nebude zobrazovat hlasivky dokonale, pokud nebudou dostatečně osvětleny atd. (Woo 2010b).

Kromě samotné kvality kamery a laryngoskopu záleží i na míře osvětlení hlasivek. Pokud je intenzita světla příliš nízká, mohou být při vyšetření přehlédnuty důležité detaily. Naopak, když je intenzita světla příliš vysoká bude obraz vybledlý (Woo 2010b).

### 2.2.2 VYŠETŘENÍ PŘI RIGIDNÍ LARYNGOSKOPII

Proces vyšetření je pacientovi srozumitelně vysvětlen a trvá zhruba pět minut. Pacient je instruován, aby se posadil, naklonil se vpřed s koleny a chodidly u sebe. Hlava a ramena by měla směřovat vpřed a měla by být ve stejné ose s koleny. Následně pacient otevře ústa a vyplázne jazyk. Lékař použitím gázy uchopí pacientův jazyk a povytáhne jej. Dále vloží laryngoskop pacientovi do úst a nedotýká se žádné z částí hrtanu. Vyšetření kmitání hlasivek je prováděno při vyslovení samohlásky [i] či [e]. Celé vyšetření je zaznamenáno (Woo 2010b). Během vyšetření se provádí záznam hlasu, kdy je mikrofon připevněn na laryngoskop, a je často monitorována i hladina akustického tlaku. Jedná se o základní charakteristiku hlasu, která je základem pro vnímanou hlasitost. Kmitání hlasivek se mění s touto hlasitostí. Hladina akustického tlaku rovněž závisí na vzdálenosti od úst, a proto je důležité vědět, jak daleko je mikrofon od úst během vyšetření.



Obrázek 8: Pozice pacienta při vyšetření (Woo 2010 b).

## 2.3 HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU

Hladina akustického tlaku se značí jako SPL (z anglického pojmu *sound pressure level*). Jedná se o jednu ze základních a důležitých charakteristik hlasu. Používá se pro vyjádření energetické hladiny zvuku, jak hlasitě člověk mluví a jaký akustický výkon se vyzářuje z úst. Hladinu akustického tlaku měříme v decibelech (dB). Decibely udávají intenzitu zvuku vzhledem k základní vztažné jednotce odpovídající prahu sluchu člověka pro tón 1000 Hz odpovídající tlaku 20  $\mu\text{Pa}$ . Člověk vnímá hladinu akustického tlaku subjektivně jako hlasitost. Hlasitost různých tónů odlišných frekvencí se stejnou hladinou akustického tlaku vnímáme subjektivně různě (Pekárková a Rokyla 2015).

Pro určení hladiny akustického tlaku je využívána logaritmická závislost akustického tlaku určená jako

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \frac{p}{p_0}, \quad (1)$$

kde  $p_0$  je akustický tlak odpovídající hodnotě 20  $\mu\text{Pa}$  a  $p$  je akustický tlak, pro který chceme určit hladinu akustického tlaku. Akustický tlak  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$  přibližně odpovídá nejmenší hodnotě jakou může člověk slyšet a odpovídá hladině akustického tlaku  $L_p = 0 \text{ dB}$  tzv. prahu sluchu nebo prahu slyšitelnosti (Pekárková a Rokyla 2015, Titze 2013).

Ze vzorce (1) vyplývá, že například desetinásobné zvětšení akustického tlaku způsobí zvýšení hladiny akustického tlaku o 20 dB.

Při standardní fonaci s přirozenou hlasitostí je hladina akustického tlaku u muže kolem 60 dB ve vzdálenosti 1 m od mikrofону (ČSN 9921:2003).

Vzorec (1) vychází z Weber-Fechnerova psychofyzikálního zákona, kdy změna fyziologického vjemu  $v$  je úměrná relativní změně fyzikální příčiny  $f_p$ . Platí tedy, že

$$dv = \text{konst.} \frac{df_p}{f_p}, \quad (2)$$

odkud určíme, že

$$v = \text{konst.} \log_{10} \frac{f_p}{f_{p0}}, \quad (3)$$

kde  $f_{p0}$  je referenční hodnota veličiny hodnotící příčiny vjemu. Díky tomu můžeme Weber-Fechnerův psychofyzikální zákon vyjádřit logaritmicky tak, že míra fyziologického vjemu, je úměrná logaritmu míry jeho fyzikální příčiny (Heller 2013).

Hladina akustického tlaku je pro praktické účely měření hlasu a řeči stejná s hladinou akustické intenzity  $L_I$ . Hladinu akustické intenzity (SIL – *sound intensity level*) můžeme určit jako

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ [dB]}, \quad (4)$$

kde  $I_0$  je nejnižší efektivní hodnota akustické intenzity odpovídající hodnotě 0 dB.

Hladinu akustického tlaku a hladinu akustické intenzity lze zaměnit, protože platí, že  $I \sim p^2$  (Heller 2013).

### 2.3.1 ZÁKON VZDÁLENOSTI

S rostoucí vzdáleností od zdroje (úst) klesá hladina akustického tlaku. V ideálním prostředí bez odrazů můžeme vztah mezi hladinou akustického tlaku a vzdáleností zjednodušeně popsat jako

$$L_{p@d_2} = L_{p@d_1} - 20 \log_{10} \frac{d_2}{d_1}, \quad (5)$$

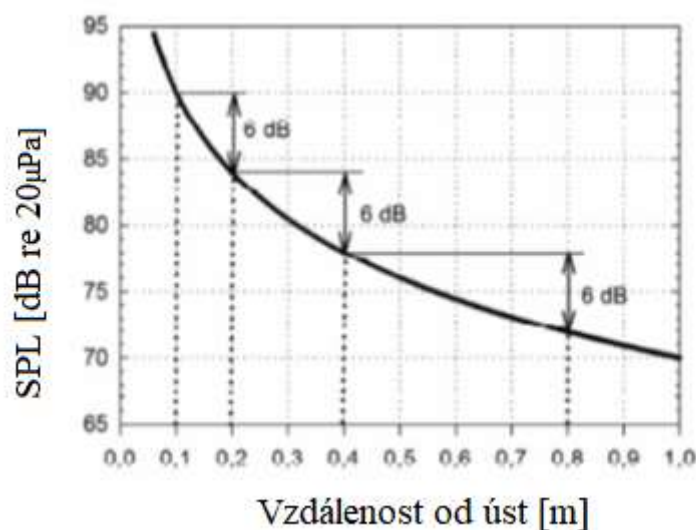
kde  $L_{p@d_2}$  je hladina akustického tlaku měřena ve vzdálenosti  $d_2$  a  $L_{p@d_1}$  je hladina akustického tlaku měřena ve vzdálenosti  $d_1$ . Tento vzorec (4) můžeme použít i pro přepočítání hladiny akustického tlaku pro různé vzdálenosti (Švec a Granqvist 2018).

Pokud se vzdálenost mezi ústy a mikrofonem například zdvojnásobí, tedy

$$L_{p@d_2} = L_{p@d_1} - 20 \log_{10} \frac{1}{2}, \quad (6)$$

$$L_{p@d_2} = L_{p@d_1} - 6 \text{ [dB]} \quad (7)$$

změní se i hladina akustického tlaku  $L_{p@d_2}$  oproti původní hladině  $L_{p@d_1}$  o 6 dB (Obrázek 9).



Obrázek 9: Závislost hladiny akustického tlaku na vzdálenosti mikrofonu od úst. Upraveno (Švec a Granqvist 2018).

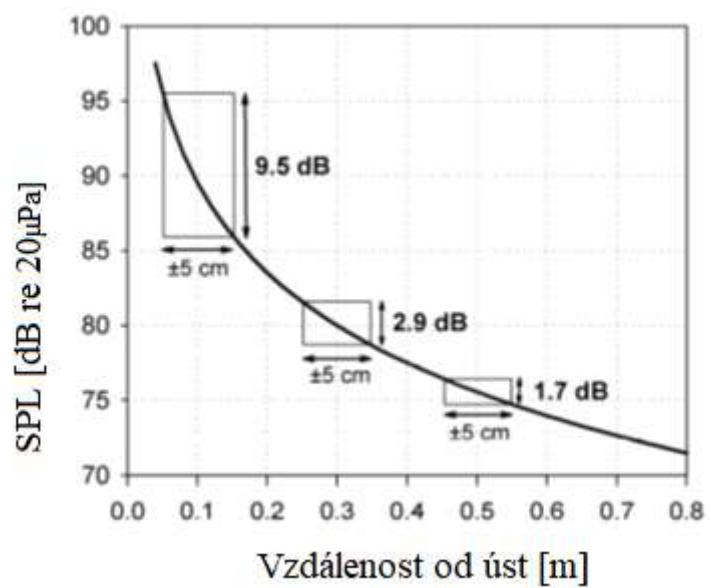
Přepočítání na jiné vzdálenosti podle vzorce (6) je však omezeno na vzdálenosti, které jsou větší než velikost otevření úst. Tedy vzdálenosti menší než přibližně 5 cm je problematické přepočítat (Švec a Granqvist 2018).

### **2.3.2 ZMĚNY HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU PŘI VYŠETŘENÍ**

Hladina akustického tlaku se primárně mění podle toho, s jakou intenzitou vydává vyšetřovaná osoba hlas. V této práci nás však spíše zajímá nepřesnost měření hladiny akustického tlaku vlivem variability pozice mikrofону při vyšetření. Jak už bylo výše zmíněno, hladina akustického tlaku se mění se vzdáleností, a protože jsou v ordinaci používány laryngoskopy s mikrofónem připevněným k laryngoskopu, je potřeba vědět, v jaké vzdálenosti je mikrofón umístěn a jak se vzdálenost může měnit u jednotlivých pacientů.

V roce 1967 Wendler zdůraznil důležitost podmínek, za kterých laryngoskopické měření probíhá. Jelikož obě veličiny – frekvence a hladina akustického tlaku jsou silně ovlivněny kmitáním hlasivek; je určení frekvence a hladiny akustického tlaku hlasu důležité při vyšetření. Měření by se podle Wendlera mělo provádět ve vzdálenosti 15 cm (Wendler 1992).

Pro malé vzdálenosti mezi ústy a mikrofónem je měření hladiny akustického tlaku citlivější i na menší změny pohybu (Obrázek 10). Pokud chceme nepřesnosti v měření udržet kolem hodnot  $\pm 1$  dB, mělo by se při měření dbát na to, aby změna vzdálenosti mikrofónu od úst byla  $\pm 12$  % ze vzdálenosti mikrofónu od úst (Švec a Granqvist 2018). Proto při měření hladiny akustického tlaku např. ve vzdálenosti 10 cm, by měla být změna menší než  $\pm 1,2$  cm.



**Obrázek 10:** Graf závislost změn hladin akustického tlaku na různé vzdálenosti. Graf ukazuje změnu hladiny akustického tlaku při posunutí zdroje vůči mikrofonu o  $\pm 5$  cm v závislosti na vzdálenosti zdroje od mikrofonu. Upraveno (Švec a Granquist 2018).

### 3 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem této bakalářské práce je zjistit, jaká je průměrná hloubka vsunutí laryngoskopu do úst a její variabilita při laryngoskopickém vyšetření. Znalost této hloubky a její variability u různých pacientů je důležité pro správnou interpretaci měření hladiny akustického tlaku (SPL) hlasu pacienta, která je závislá na vzdálenosti mikrofonu od úst. Tento mikrofon bývá upevněn na konci laryngoskopu. Dalším cílem této bakalářské práce je tedy odvodit teoretické nepřesnosti měření SPL při laryngoskopickém vyšetření vlivem variability vzdálenosti mikrofonu připevněného k tubusu laryngoskopu od úst.

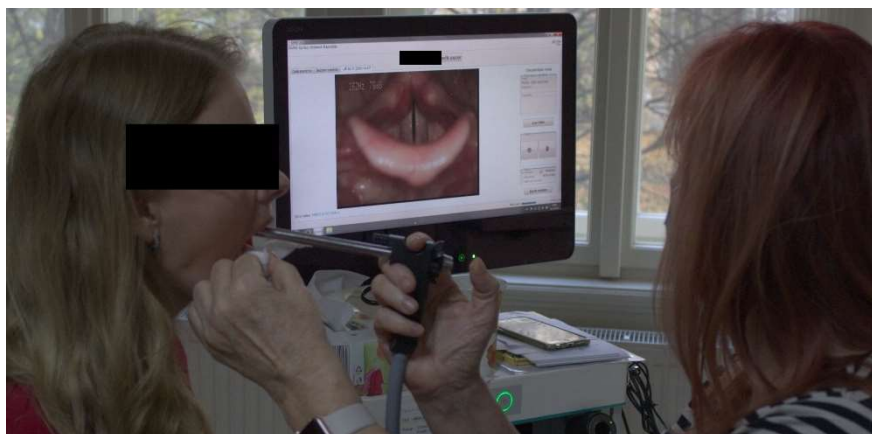
Pro toto měření byly použity fotografie 20 mužů a 20 žen, vyšetřovaných rigidním laryngoskopem stroboskopickou metodou.

## 4 MATERIÁL A METODY

Měření bylo provedeno na souboru dvaceti mužů a dvaceti žen, kteří byli označeni jako F (pro ženy) a M (pro muže) s pořadovou číslovkou, tj. F1, F2, F3... či M1, M2, M3 atd. Pro účel této práce byly použity pouze dospělé osoby starší 18 let, které přišly do Hlasového centra Praha na vyšetření hrtanu. Všechny osoby byly vyšetřeny rigidním laryngoskopem německé firmy Xion (zoom laryngoskop, typ 130 310 629 Ø 10 mm, směr pohledu 90°, s integrovaným mikrofonem). Vyšetření probíhalo standardním způsobem, který je popsán v kapitole 2.2.2. *Vyšetření při rigidní laryngoskopii.*

Pro měření byly využity fotografie z vyšetření pořízené autorkou práce a jejím školitelem ve spolupráci s Hlasovým centrem Praha. Fotografie byly pořízeny se svolením lékaře a vyšetřované osoby během laryngoskopického vyšetření pomocí fotoaparátu značky Nikon D3100 s rozlišením fotografií 4608 x 3072 (L).

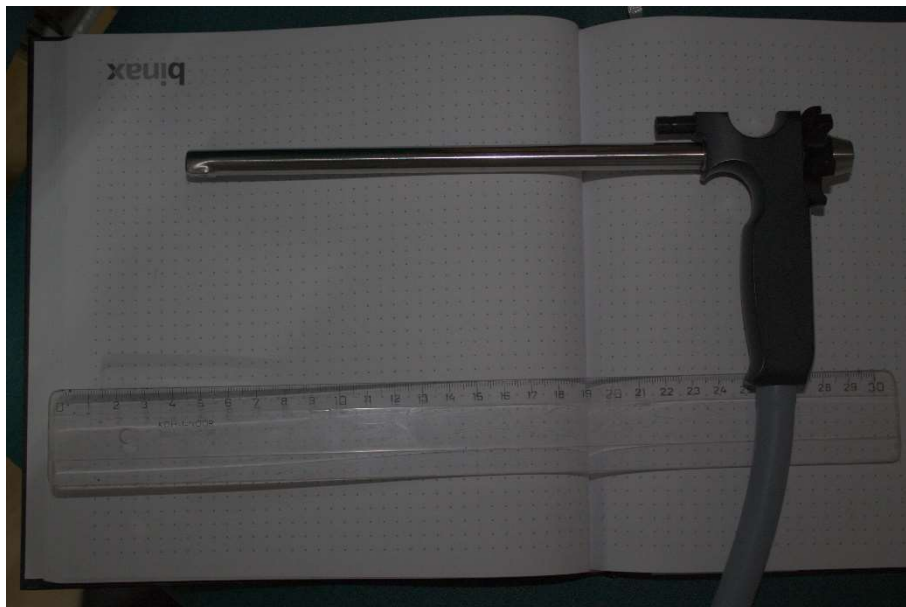
Bylo důležité vybrat vhodné fotografie k změření hloubky vsunutí laryngoskopu a dostatečný počet souboru osob. Vybrané fotografie musely obsahovat viditelné hlasivky na monitoru počítače (Obrázek 11).



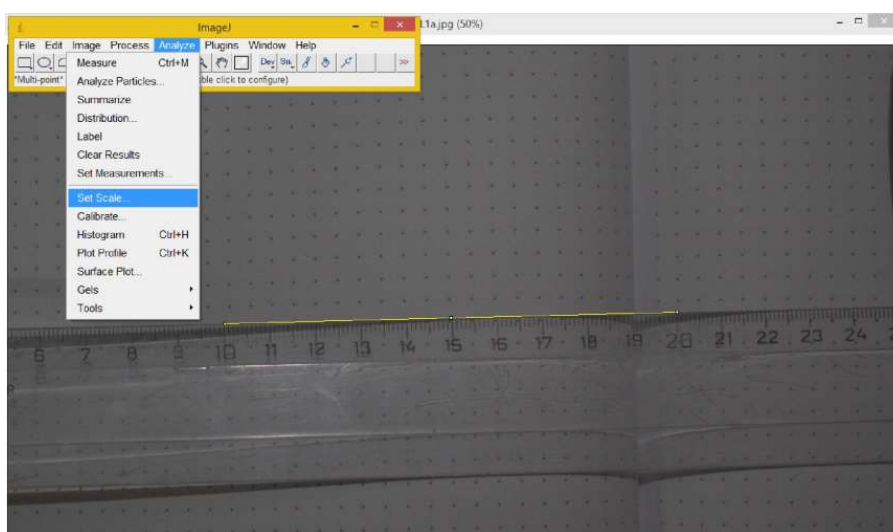
**Obrázek 11:** Fotografie vhodná k měření. V pozadí jsou jasně zřetelně vidět hlasivky. Kromě toho můžeme vidět i začátek úst a místa, kde laryngoskop vstupuje do úst.

Pro měření byl použit program ImageJ, který je volně dostupný na webových stránkách (2). Pomocí tohoto programu byla nejprve určena délka laryngoskopu a jeho referenčních částí – viz. dále. Rozměry laryngoskopu byly určeny z kalibračních fotografií (celkem 5 fotografií). Znalost těchto rozměrů byla poté použita pro kalibraci snímků pacientů s laryngoskopem vsunutým do úst. Na měření hloubky vsunutí laryngoskopu bylo použito celkem 168 fotografií (103 fotografií mužů, 65 fotografií žen).

Pro změření rozměrů laryngoskopu byla v programu ImageJ otevřena fotografie laryngoskopu s pravítkem (Obrázek 12). Pomocí pravítka umístěného vedle laryngoskopu byl program zkalibrován pro následující měření délky laryngoskopu na dané fotografii (Obrázek 13).



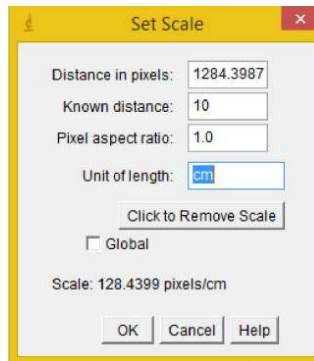
**Obrázek 12:** Původní kalibrační fotografie laryngoskopu a pravítka.



**Obrázek 13:** Ukázka kalibrace na přiblížené fotografii. Označená délka na pravítku odpovídá 10 cm, které nastavíme v programu.

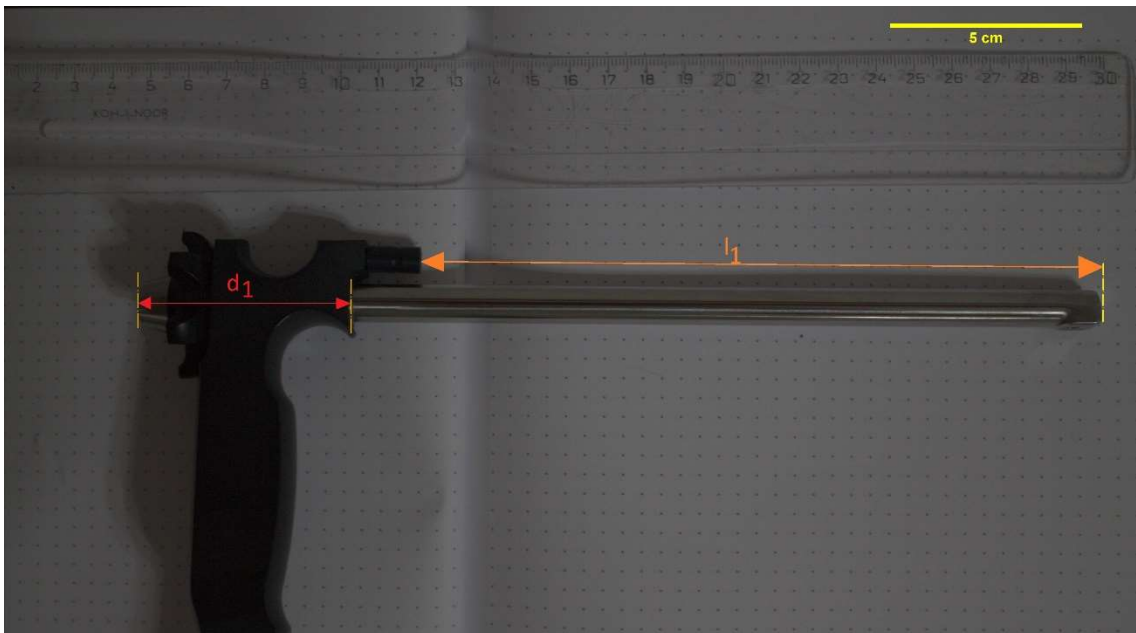
Pro každou kalibrační fotografii zvlášť byla určena hodnota počtu pixelů na 10 cm (Obrázek 14).





**Obrázek 14:** Ukázka nastavení programu a odečítání počtu pixelů pro vzdálenost 10 cm. Hodnota v okně u distance in pixels byla zapsána jako počet pixelů na dané vzdálenosti 10 cm.

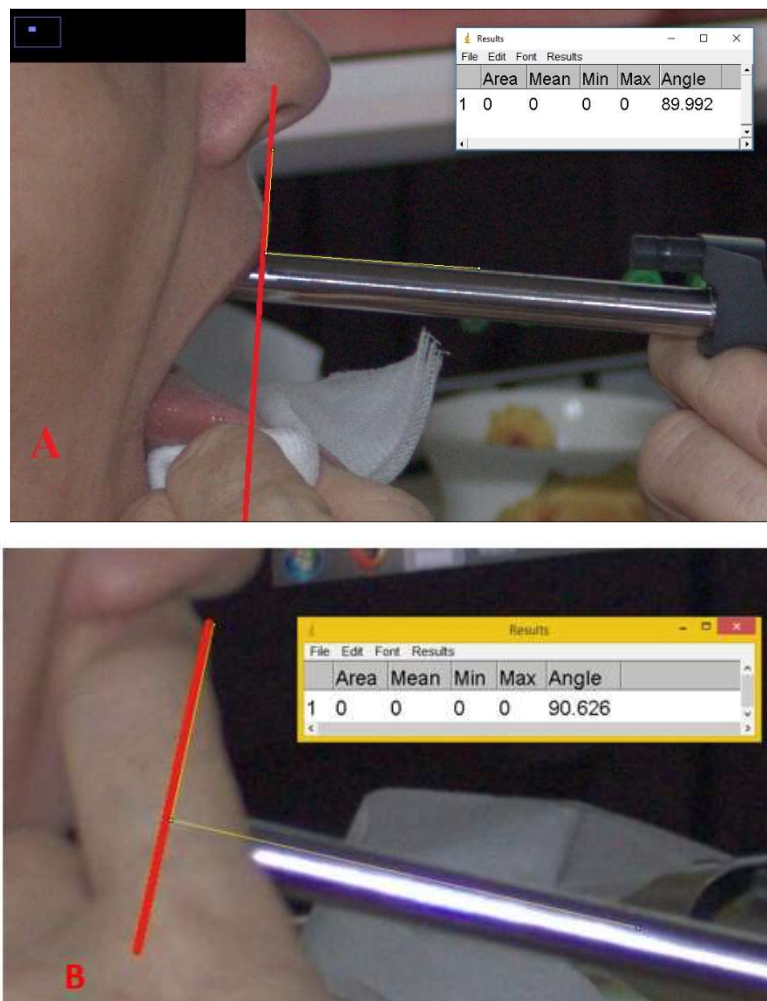
Z kalibračních fotografií, díky známé hodnotě počtu pixelů, byla desetkrát opakovaně změřena délka laryngoskopu použitého při vyšetření (Obrázek 15, Tabulka 2) a další vhodné referenční části, v tomto případě držadla laryngoskopu. Z daných hodnot byla vypočtena průměrná hodnota i s průměrnou chybou.



**Obrázek 15:** Ukázka měřených míst na laryngoskopu. Délka  $d_1$  označuje vzdálenost od konce laryngoskopu až po konec držadla. Délka  $l_1$  označuje začátek laryngoskopu až po samotný mikrofon.

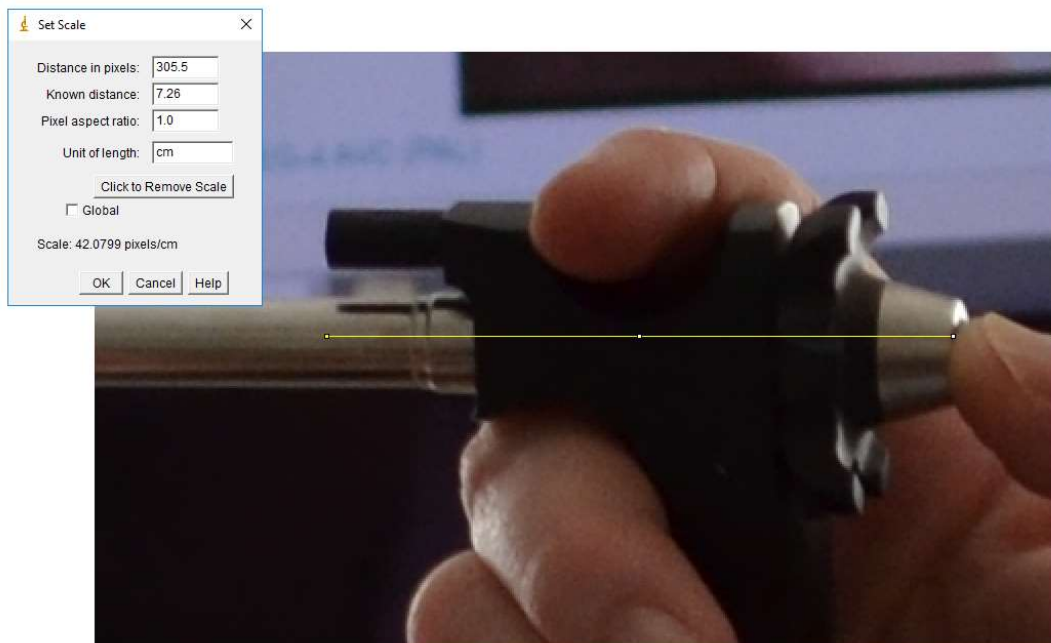
Poté byly určeny dva referenční body na fotografiích pacientů, pro které byla měřena vzdálenost. K měření byl využit konec horního rtu, ze kterého byla vedena čára kolmo na laryngoskop.

V programu ImageJ byla ověřena kolmost spuštěné čáry (Obrázek 16 A, B). Jako maximální přípustná odchylka od pravého úhlu byla zvolena hodnota  $\pm 1^\circ$ .



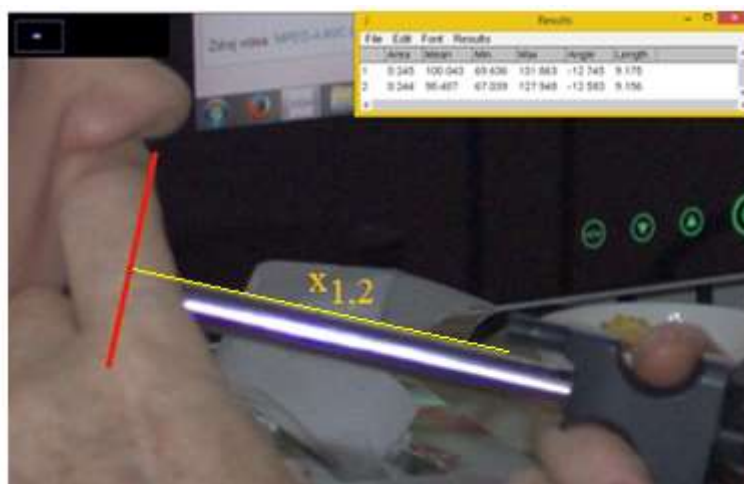
**Obrázek 16:** *Ověření kolmosti čáry vedoucí z konce úst kolmo na laryngoskop (A) na zřetelné fotografii (B) na fotografii, kde jsou části úst skryty.*

Z průměrné známé délky držadla laryngoskopu  $d_1$  (Tabulka 2) byl program zkalibrován pro měření vzdálenosti u fotografií s pacienty (Obrázek 17 A). V okně *Set scale* byla nastavena hodnota *know distance* pro laryngoskop a *unit of length* jako centimetry.



**Obrázek 17:** Ukázka kalibrace laryngoskopu podle držadla při měření.

Následně byla desetkrát opakovaně u každé fotografie měřena vnější délka tubusu od hranice horního rtu  $x_1$  u žen a  $x_2$  u mužů (Obrázek 18). Získané hodnoty byly zapsány do Tabulky 3.



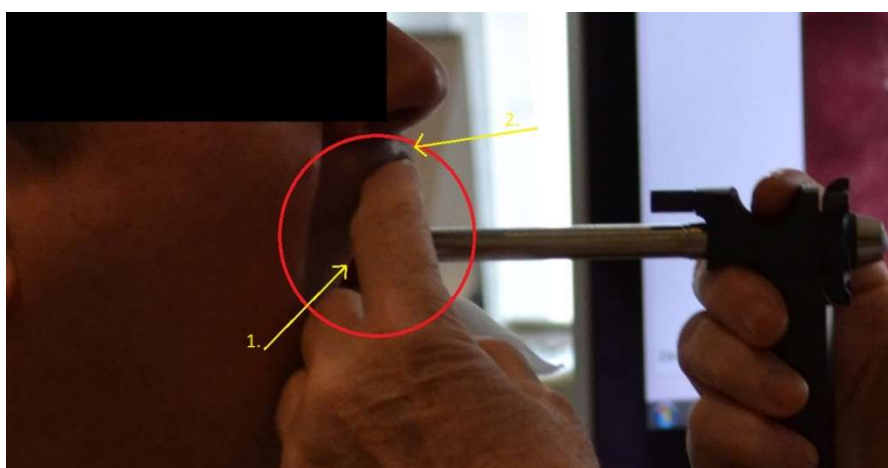
**Obrázek 18:** Ukázka měření vzdálenosti od hranice horního rtu k mikrofonu  $x_1$  u žen a  $x_2$  u mužů.

Jako druhý referenční bod byla zvolena nejvzdálenější část laryngoskopu, kde laryngoskop končil v ústech pacienta (Obrázek 19). Opět byla pro minimalizaci chyb opakovaně změřena viditelná vnější délka tubusu  $y_1$  pro ženy  $y_2$  pro muže. Tyto délky byly následně odečteny od celkové délky tubusu laryngoskopu  $l_1$  pro získání hloubky vsunutí laryngoskopu do úst (Tabulka 4).



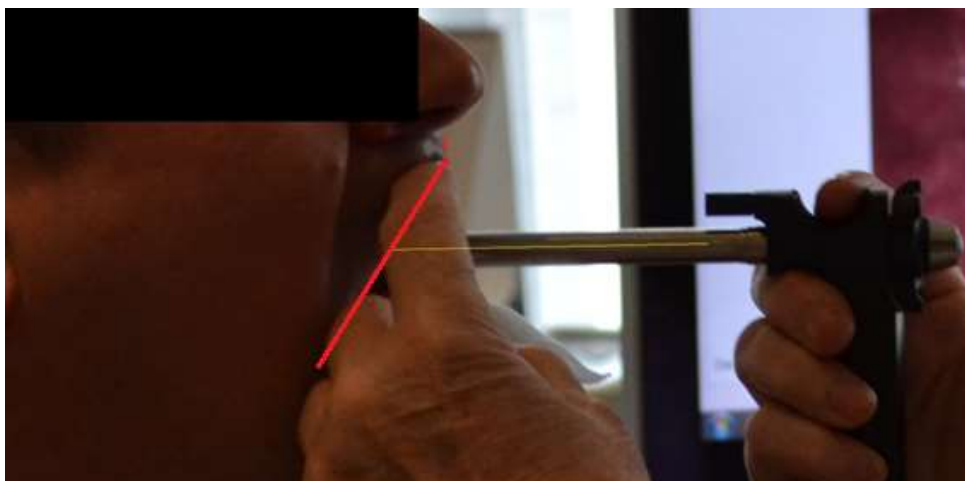
**Obrázek 19:** Ukázka měření vnější délky laryngoskopu  $y_1$  u žen a  $y_2$  u mužů.

U některých fotografií byla u koutku úst zachycena ruka vyšetřujícího lékaře (Obrázek 20), která znemožňovala přesné určení vnější délky laryngoskopu při měření středu tubusu.



**Obrázek 20:** Ukázka měření vnější délky laryngoskopu, kdy nebylo přesně určeno, kde končí laryngoskop v ústech pacienta. Červené kolečko označuje místo, na které bylo měření zaměřeno. Žlutá šipka č.1 označuje jinou viditelnou část úst a žlutá šipka č.2 označuje horní ret. Pomocí těchto viditelných částí bylo odhadnuto místo, kde laryngoskop končil v ústech pacienta.

Proto byl odhadnut tvar úst z viditelné mezery, která vznikla mezi prsty vyšetřujícího lékaře a ústy pacienta. Podle viditelných částí úst byla fotografie proložena přímkou pro lepší určení délky vnější části tubusu (Obrázek 21).



**Obrázek 21:** Ukázka měření vnější délky tubusu při zakrytém průsečíku tubusu se rty. Červená čára vyznačuje předpokládaný tvar úst pacienta.

Pro určení možné nepřesnosti stanovení hloubky vsunutí laryngoskopu do úst jsme se rozhodli použít horizontální vzdálenost mezi dvěma referenčními body. Konkrétně mezi bodem, který vzniknul po spuštění kolmice na laryngoskop ke rtům a koutkem úst pacienta (Obrázek 22). Označená měřená vzdálenost musela být rovnoběžná s tubusem laryngoskopu.



**Obrázek 22:** Ukázka určení vzdálenost  $k_1$  u žen a  $k_2$  u mužů mezi koutkem úst pacienta a spuštěnou kolmicí z horního rtu na laryngoskop.

Získaná data byla zpracovávána v programech MS Excel a Wolfram Alpha.

Program Wolfram Alpha byl použit pro zjištění normality rozdělení získaných dat. Zápis dat do programu probíhá pomocí příkazových řádků.

Hodnoty zapíšeme s označením např.  $kolmiceF=\{\}$ , kde do složené závorky zapisujeme desetinná čísla s tečkou. Jednotlivé hodnoty oddělujeme čárkou. Po zapsání použijeme funkci

$\mathcal{H}=\text{DistributionFitTest}[kolmiceF, \text{Automatic}, \text{"HypothesisTestData"}];$

$\mathcal{A}$ ["HypothesisTestData", All]

Wolfram vytvoří tabulku se všemi testy včetně Kolmogorova-Smirnova a vypočtenou p-hodnotou. Pro tuto práci byl důležitý Kolmogorovův-Smirnovův test. Jedná se o jednovýběrový test, který ověřuje, jestli se rozdělení náhodné veličiny v populaci liší od určitého teoretického rozdělení. Nulová hypotéza předpokládá, že daný testovaný výběr odpovídá vybranému teoretickému rozložení, v našem případě normálnímu.

MS Excel byl využit k dvouvýběrovému t-testu dat. Dvouvýběrový t-test pro různé rozptyly je doplněk k základnímu MS Excel a musí být doinstalován z internetu. V MS Excel otevřeme kartu *Možnosti* a zvolíme *Doplňky*. Ve správě doplňků rozklikneme *Přejít...* a v nově otevřeném okně označíme *Analytické nástroje*. Vše potvrdíme. Po stažení v kartě *Data* vybereme *Analýzu dat* a dvouvýběrový t-test, kam zadáme naše získané hodnoty. Tento test používáme v případě, že je rozložení obou veličin normální. Testujeme shodu středních hodnot naměřených dat a předpokládáme různý rozptyl.

K vyhodnocení dvouvýběrového t-testu s nerovností rozptylů porovnááme absolutní hodnotu  $t_{stat}$  a  $t_{krit}(2)$ . Musí platit, že

$$|t_{stat}| < t_{krit}(2), \quad (8)$$

pokud tato nerovnost platí, nemůžeme hypotézu  $H_0$  zamítnout. To stejné nám potvrdí i p-hodnota, kdy musí platit, že

$$P(T \leq t)(2) > \alpha, \quad (9)$$

kde  $\alpha = 0,05$ .

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 DÉLKA LARYNGOSKOPU POUŽÍVANÉHO PŘI VYŠETŘENÍ

Tabulka 2 uvádí výsledky měření délky tubusu laryngoskopu  $l_1$  a držadel  $d_1$  (Obrázek 15).

**Tabulka 2:** *Určení délky tubusu laryngoskopu z kalibračních fotografií.*

Označení obrázku	Průměrný počet pixelů na 1 cm	$l_1$ [cm]		$d_1$ [cm]	
A	$130,4 \pm 0,2$	17,156	$\pm 0,008$	7,181	$\pm 0,007$
B	$128,41 \pm 0,16$	17,09	$\pm 0,01$	7,131	$\pm 0,007$
C	$106,19 \pm 0,06$	17,371	$\pm 0,009$	7,267	$\pm 0,007$
D	$144,79 \pm 0,09$	17,357	$\pm 0,012$	7,411	$\pm 0,009$
E	$119,05 \pm 0,11$	17,354	$\pm 0,009$	7,285	$\pm 0,004$
<b>Průměr</b>		<b><math>17,27 \pm 0,09</math></b>		<b><math>7,26 \pm 0,07</math></b>	

Průměrná celková délka tubusu laryngoskopu, která odpovídá vzdálenosti mikrofonu od konce tubusu, byla  $l_1 = (17,27 \pm 0,09)$  cm a průměrná celková délka držadla  $d_1 = (7,26 \pm 0,07)$  cm.

### 5.2 VNĚJŠÍ DÉLKA TUBUSU PŘI LARYNGOSKOPII

Po určení délek jednotlivých částí laryngoskopu jsme měřili vnější délku tubusu od hranice horního rtu ( $x_1$  pro ženy a  $x_2$  pro muže) (Obrázek 18) a vnější vzdálenost od průsečíku středu tubusu se rty ( $y_1$  pro ženy a  $y_2$  pro muže) (Obrázek 19). Tyto získané hodnoty popisuje Tabulka 3.

**Tabulka 3:** Průměrná vnější délka tubusu při laryngoskopii. Tato vzdálenost odpovídá i vzdálenosti mikrofonu od úst. Ženy jsou označeny F a muži M.

		hranice horního rtu	průsečík středu tubusu se rty	rozdíl			hranice horního rtu	průsečík středu tubusu se rty	rozdíl
Označení ženy	Věk	$x_1$ [cm]	$y_1$ [cm]	$\Delta_{xy1}$ [cm]	Označení muže	Věk	$x_2$ [cm]	$y_2$ [cm]	$\Delta_{xy2}$ [cm]
F1	18	8,98	10,32	1,34	M1	45	7,11	7,72	0,61
F2	57	8,94	10,95	2,01	M2	68	8,29	9,41	1,13
F3	49	7,70	8,08	0,38	M3	68	7,89	9,76	1,87
F4	38	9,33	10,70	1,37	M4	47	7,91	10,27	2,36
F5	30	8,19	9,14	0,95	M5	41	7,69	9,37	1,69
F6	38	8,35	9,26	0,91	M6	52	9,56	10,33	0,77
F7	35	9,40	10,80	1,39	M7	38	8,50	9,89	1,39
F8	40	8,26	10,74	2,48	M8	53	7,57	9,09	1,52
F9	40	9,05	10,09	1,04	M9	24	8,63	10,88	2,25
F10	68	8,91	9,88	0,97	M10	63	6,84	10,05	3,22
F11	62	7,91	9,93	2,02	M11	73	8,17	9,14	0,97
F12	62	9,87	11,27	1,40	M12	33	8,65	10,59	1,94
F13	39	10,37	11,27	0,90	M13	79	8,32	9,86	1,54
F14	54	9,58	11,16	1,58	M14	72	7,72	10,64	2,92
F15	37	8,62	10,01	1,39	M15	31	8,27	10,26	1,99
F16	52	8,74	9,68	0,94	M16	37	8,31	10,74	2,44
F17	19	8,84	10,27	1,43	M17	32	8,16	10,75	2,59
F18	54	7,78	9,75	1,97	M18	74	7,25	9,42	2,17
F19	19	8,87	10,75	1,89	M19	38	7,36	9,11	1,74
F20	64	8,42	9,12	0,71	M20	38	7,46	9,25	1,79
<b>Průměr</b>		<b>8,80</b>	<b>10,16</b>	<b>1,35</b>	<b>Průměr</b>		<b>7,98</b>	<b>9,83</b>	<b>1,84</b>
<b>Směrodatná odchylka</b>		<b>0,69</b>	<b>0,84</b>	<b>0,52</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>		<b>0,64</b>	<b>0,78</b>	<b>0,69</b>

Pro ženy byla průměrná vnější délka tubusu od hranice horního rtu  $x_1 = (8,8 \pm 0,7)$  cm a od průsečíku středu tubusu se rty  $y_1 = (10,2 \pm 0,9)$  cm. Pro muže byla průměrná vnější délka tubusu od hranice horního rtu  $x_2 = (8,0 \pm 0,7)$  cm a od průsečíku středu tubusu se rty  $y_2 = (9,8 \pm 0,8)$  cm. V případě nerozlišování mužů a žen vyšla průměrná vzdálenost mikrofonu od hranice horního rtu  $z_1 = (8,4 \pm 0,8)$  cm a od průsečíku středu tubusu se rty  $z_2 = (10,0 \pm 0,8)$  cm.



### 5.3 HLOUBKA VSUNUTÍ LARYNGOSKOPU DO ÚST

Z hodnot v Tabulce 3 mohla být určena hloubka vsunutí laryngoskopu, kterou jsme určili tak, že jsme od celkové délky daného laryngoskopu ( $l_1$ ) odečetli změřenou vnější délku tubusu ( $x,y$ ).

Tabulka 4 srovnává naměřenou hloubku vsunutí laryngoskopu do úst podle vnější délky tubusu od hranice horního rtu  $a_1$  pro ženy  $a_2$  pro muže a hloubku vsunutí od průsečíku středu tubusu se rty  $b_1$  pro ženy a  $b_2$  pro muže.

Tabulka 4: Průměrná hloubka vsunutí laryngoskopu do úst. Ženy jsou označeny F a muži M.

		hranice horního rtu	průsečík středu tubusu se rty	Rozdíl			hranice horního rtu	průsečík středu tubusu se rty	Rozdíl
Označení ženy	Věk	$a_1$ [cm]	$b_1$ [cm]	$\Delta_{ab1}$ [cm]	Označení muže	Věk	$a_2$ [cm]	$b_2$ [cm]	$\Delta_{ab2}$ [cm]
F1	18	8,29	6,95	1,34	M1	45	10,16	9,55	0,61
F2	57	8,33	6,33	2,01	M2	68	8,98	7,86	1,13
F3	49	9,58	9,20	0,38	M3	68	9,38	7,51	1,87
F4	38	7,94	6,57	1,37	M4	47	9,36	7,00	2,36
F5	30	9,08	8,13	0,95	M5	41	9,58	7,90	1,69
F6	38	8,93	8,01	0,91	M6	52	7,71	6,94	0,77
F7	35	7,87	6,47	1,39	M7	38	8,77	7,38	1,39
F8	40	9,01	6,53	2,48	M8	53	9,70	8,18	1,52
F9	40	8,22	7,18	1,04	M9	24	8,64	6,39	2,25
F10	68	8,37	7,39	0,97	M10	63	10,43	7,22	3,22
F11	62	9,36	7,34	2,02	M11	73	9,10	8,13	0,97
F12	62	7,40	6,01	1,40	M12	33	8,62	6,68	1,94
F13	39	6,90	6,00	0,90	M13	79	8,95	7,41	1,54
F14	54	7,69	6,12	1,58	M14	72	9,55	6,63	2,92
F15	37	8,65	7,27	1,39	M15	31	9,00	7,01	1,99
F16	52	8,53	7,59	0,94	M16	37	8,96	6,53	2,44
F17	19	8,44	7,00	1,43	M17	32	9,11	6,52	2,59
F18	54	9,49	7,53	1,97	M18	74	10,02	7,85	2,17
F19	19	8,40	6,52	1,89	M19	38	9,91	8,17	1,74
F20	64	8,86	8,15	0,71	M20	38	9,81	8,02	1,79
<b>Průměr</b>		<b>8,47</b>	<b>7,11</b>	<b>1,35</b>	<b>Průměr</b>		<b>9,29</b>	<b>7,44</b>	<b>1,84</b>
<b>Směrodatná odchylka</b>		<b>0,69</b>	<b>0,84</b>	<b>0,52</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>		<b>0,64</b>	<b>0,78</b>	<b>0,69</b>

Průměrná hloubka vsunutí laryngoskopu do úst od hranice horního rtu při měření prvním laryngoskopem je pro ženy  $a_1 = (8,5 \pm 0,7)$  cm a od průsečíku středu tubusu se

rti  $b_1 = (7,1 \pm 0,9)$  cm. Pro muže jsou tyto hodnoty  $a_2 = (9,3 \pm 0,7)$  cm a  $b_2 = (7,4 \pm 0,8)$  cm. Průměrná hloubka vsunutí laryngoskopu do úst podle hranice horního rtu pro muže i ženy je  $c_1 = (8,9 \pm 0,8)$  cm a od průsečíku středu tubusu se rty  $c_2 = (7,3 \pm 0,8)$  cm.

## 5.4 HLOUBKA RTŮ

Následně byla určena hloubka rtů od konce horního rtu ke koutku úst (Obrázek 22, Tabulka 5).

**Tabulka 5:** Vzdálenost mezi koutkem úst a hranicí horního rtu pro ženy  $k_1$  a pro muže  $k_2$ .

		Koutek- hranice horního rtu			Koutek- hranice horního rtu
Označení ženy	Věk	$k_1$ [cm]	Označení muže	Věk	$k_2$ [cm]
F1	18	2,12	M1	45	3,53
F2	57	2,16	M2	68	1,22
F3	49	2,20	M3	68	2,34
F4	38	1,66	M4	47	2,63
F5	30	2,09	M5	41	1,91
F6	38	2,40	M6	52	1,75
F7	35	2,98	M7	38	1,28
F8	40	2,34	M8	53	1,61
F9	40	2,17	M9	24	2,19
F10	68	1,96	M10	63	3,55
F11	62	2,80	M11	73	2,16
F12	62	2,53	M12	33	2,57
F13	39	1,76	M13	79	1,55
F14	54	1,81	M14	72	3,19
F15	37	1,47	M15	31	1,84
F16	52	1,49	M16	37	2,56
F17	19	1,47	M17	32	3,63
F18	54	2,58	M18	74	2,49
F19	19	2,28	M19	38	2,35
F20	64	1,57	M20	38	2,34
<b>Průměr</b>		<b>2,09</b>	<b>Průměr</b>		<b>2,33</b>
<b>Směrodatná odchylka</b>		<b>0,44</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>		<b>0,72</b>

Z Tabulky 5 tedy vyplývá, že průměrná velikost hloubky rtů, která určuje nejednoznačnost určení hloubky vložení mikrofonu od úst a vzdálenosti mikrofonu od úst pro ženy je  $k_1 = (2,1 \pm 0,5)$  cm a pro muže  $k_2 = (2,3 \pm 0,8)$  cm.

## 5.5 NORMALITA DAT

Pro ověření normality rozdělení byl použit jednovýběrový Kolmogorovův-Smirnovův test. Tento test se používá pro počet hodnot  $< 40$ . Nulová hypotéza  $H_0$  předpokládá, že testovaný výběr odpovídá danému normálnímu rozdělení při hladině testu  $\alpha = 0,05$  (Tabulka 6).

Tabulka 6: Výsledky Kolmogorova-Smirnova testu.

označení	p-hodnota
vnější délka tubusu od hranice horního rtu ženy	0,818916
vnější vzdálenost od průsečíku středu tubusu se rty ženy	0,299349
vnější délka tubusu od hranice horního rtu muži	0,762218
vnější vzdálenost od průsečíku středu tubusu se rty muži	0,598253

Je zřejmé, že pro všechny data vyšla p-hodnota  $> \alpha$ , a tedy nelze v žádném případě zamítnout nulovou hypotézu  $H_0$ , že testovaný výběr odpovídá normálnímu rozdělení. V takovém případě můžeme uvažovat, že se získaná data řídí normálním Gaussovým rozdělením.

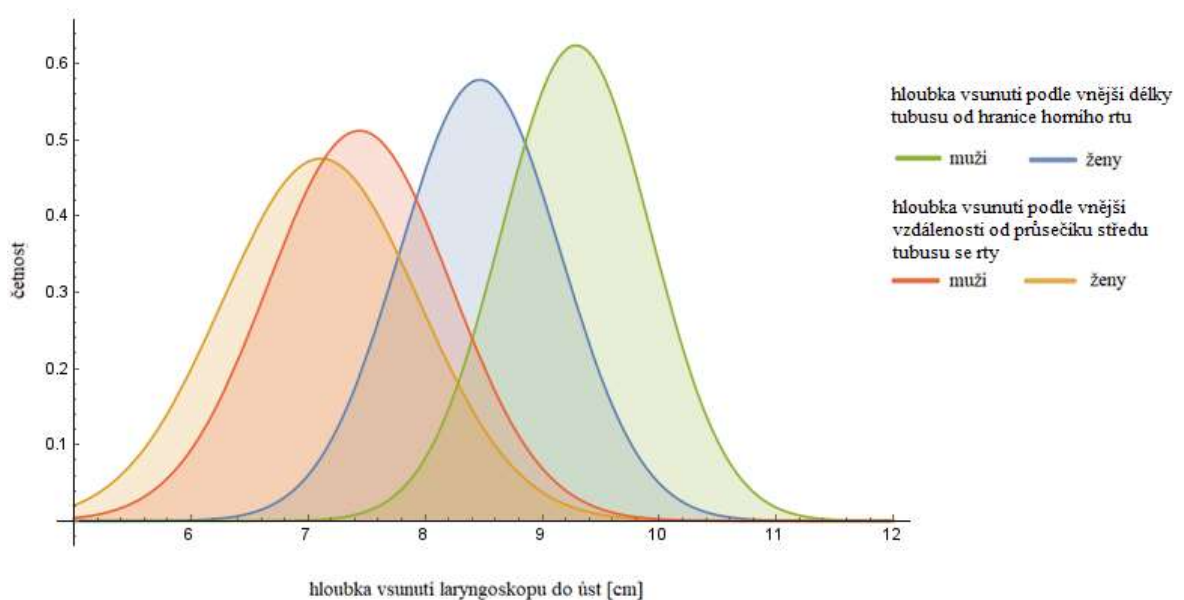
## 5.6 ROZDÍL MEZI MUŽI A ŽENAMI

Při měření souboru 20 mužů a 20 žen byl zjištěn rozdíl v hodnotách hloubky vsunutí laryngoskop do úst. Z těchto hodnot bylo vykresleno normální Gaussovo rozdělení pravděpodobností (Obrázek 23) podle souhrnných dat z Tabulky 7.

**Tabulka 7:** Souhrn průměrných hodnot hloubky vsunutí, jejich směrodatných odchylek a  $2\sigma$  (95,45%) interval spolehlivosti pro naměřená data.

Označení	Hloubka vsunutí	Průměr	Směrodatná odchylka	$2\sigma$ (95,45% interval spolehlivosti)
<i>F</i>	od hranice horního rtu	8,47	0,69	(7,11; 9,82)
	od průsečíku středu tubusu se rty	7,11	0,84	(5,47; 8,76)
<i>M</i>	od hranice horního rtu	9,29	0,64	(8,04; 10,54)
	od průsečíku středu tubusu se rty	7,44	0,78	(5,91; 8,97)

Rozdělení pravděpodobnosti hloubky vsunutí laryngoskopu do úst podle vnější délky tubusu od hranice horního rtu a vnější vzdálenosti od průsečíku středu tubusu se rty



**Obrázek 23:** Gaussovo rozdělení pravděpodobností hloubky vsunutí laryngoskopu podle vnější délky tubusu a podle vnější vzdálenosti od průsečíku středu tubusu se rty pro muže a ženy.

Pro určení shody středních hodnot využijeme t-test (Tabulka 8) a porovnáme hodnoty ve sloupečcích  $|tStat|$  s hodnotou  $t_{krit}(2)$ , kdy musí platit nerovnost (Vzorec 8). Mimo jiné musí platit i Vzorec 9 pro p-hodnotu, kdy  $P(T \leq t)(2) > \alpha$ , pro zvolenou hladinu významnosti testu, v našem případě  $\alpha = 0,05$ .

**Tabulka 8:** Výsledky statistického t-testu při porovnávání mužů a žen.

<i>Skupina</i>	<i>hloubka vsunutí laryngoskopu</i>	<i>Test</i>	<i> tStat </i>	<i>tkrit(2)</i>	<i>p-hodnota (P (T&lt;=t)(2))</i>	<i>Výsledek H<sub>0</sub></i>	<i>významnost</i>
<i>Muži</i>	od průsečíku středu tubusu se rty	T-test	1,287	2,024	0,2058	nelze zamítnout	nevýznamný
<i>Ženy</i>	od hranice horního rtu	T-test	3,905	2,024	0,0004	zamítá se	vysoce významný

## 6 DISKUSE

Typický problém biofyzikálních měření jsou složité tvary objektů, a proto je třeba vzít v úvahu inherentní nejistotu měření. Tvar úst z boku dává více možností hranic konce úst. Při použití dvou definic (hranice horního rtu a průsečík středu tubusu se rty), jak to bylo v této práci, se výsledky vnější délky tubusu a potažmo i hloubky vsunutí laryngoskopu liší v průměru o  $\Delta_{ab1} = (1,4 \pm 0,6)$  cm pro ženy a o  $\Delta_{ab2} = (1,8 \pm 0,7)$  cm pro muže.

Vzhledem k tomu, že poloha tubusu v ústech může být proměnlivá a někdy nemusí být viditelná, použili jsme v práci měření od hranice horního rtu, které částečně eliminuje variabilitu umístění tubusu v průřezu ústní dutiny a dává tak poněkud lepší představu o hloubce zasunutí tubusu do úst.

Porovnáme-li muže a ženy tak výsledky ukazují, že hloubka vsunutí tubusu laryngoskopu je větší u mužů než u žen (Tabulka 4). Statistický test ukázal, že tyto rozdíly jsou statisticky velmi významné nejen na úrovni hladiny testu  $\alpha = 0,05$  ale i na hladině 0,01 a 0,001 ( $p = 0,0004$ , Tabulka 8) pro vnější délku tubusu od hranice horního rtu. Tento výsledek se dá předpokládat vzhledem k anatomickým rozdílům mezi muži a ženami.

Naopak při měření podle vnější vzdálenosti od průsečíku středu tubusu se rty je rozdíl statisticky nevýznamný a nulovou hypotézu o rovnosti středních hodnot pro muže a ženy nelze zamítnout. Nevýznamnost rozdílu mezi muži a ženami u těchto výsledků můžeme přičíst zejména větší variabilitě vzdálenosti měřené od průsečíku rtů se středem laryngoskopu (Obrázek 19, Tabulka 3).

Hloubka vsunutí laryngoskopu do úst může být ovlivněna tvarem úst, a ne vždy jejich přesně definované hranici. Nejistota měření se pohybuje v rozsahu vyklenutí rtů od hranice horního rtu po koutek úst, která je změřena v Tabulce 5. Průměrné boční vyklenutí rtů od koutku úst po hranice horního rtu je pro ženy je  $k_1 = (2,1 \pm 0,5)$  cm a pro muže  $k_2 = (2,3 \pm 0,8)$  cm. Tento rozměr lze porovnat s rozdílem vzdálenosti podle dvou definic hranice úst z Tabulky 3, která vychází  $\Delta_{ab1} = (1,4 \pm 0,6)$  cm pro ženy a  $\Delta_{ab2} = (1,8 \pm 0,7)$  cm pro muže. Rozdíl mezi vzdálenostmi měřeními podle námi dvou použitých definic vychází menší, což lze vysvětlit tím, že laryngoskop při vsunutí do úst nezasahoval až ke koutku úst (např. Obrázek 19).

Průměrná hloubka vsunutí laryngoskopu do úst podle horní hranice rtu je, podle měření z Tabulky 4, pro ženy  $a_1 = (8,5 \pm 0,7)$  cm a pro muže  $a_2 = (9,3 \pm 0,7)$  cm. Tuto hloubku lze porovnat s měřením Guzmána a kol. (2013), kteří dokumentují horizontální délku vokálního traktu (9,19 cm) na jedné ženské osobě (Obrázek 1). Měřené hodnoty se liší pouze v řádech desetinných míst, což vzhledem k tomu, že naše hodnota  $a_1$  je průměr z měření různých osob různého věku dává velmi dobrou shodu. Naše změřená hodnota je menší, což může být způsobena faktem, že měření v této práci se zabývalo průměrnou hloubkou vsunutí laryngoskopu, který se při vyšetření nedotýká zadní stěny dutiny ústní, zatímco Guzmanova hodnota je vzdálenost od středu rtů až ke krční páteři.

Vnější délka tubusu při vyšetření je důležitým faktorem pro měření hladiny akustického tlaku, protože mikrofon bývá výrobcem připevňován přímo k tubusu. V případě laryngoskopu značky Xion byla průměrná vzdálenost mikrofonu od hranice horního rtu  $x_2 = (8,0 \pm 0,7)$  cm u mužů a  $x_1 = (8,8 \pm 0,7)$  cm u žen.

Variabilitu vzdálenosti mikrofonu od úst pro různé osoby lze využít pro odhad nejistoty v měření hladiny akustického tlaku hlasu. Pomocí upraveného vzorce pro zákon vzdálenosti (Vzorec 1) můžeme určit její změnu jako

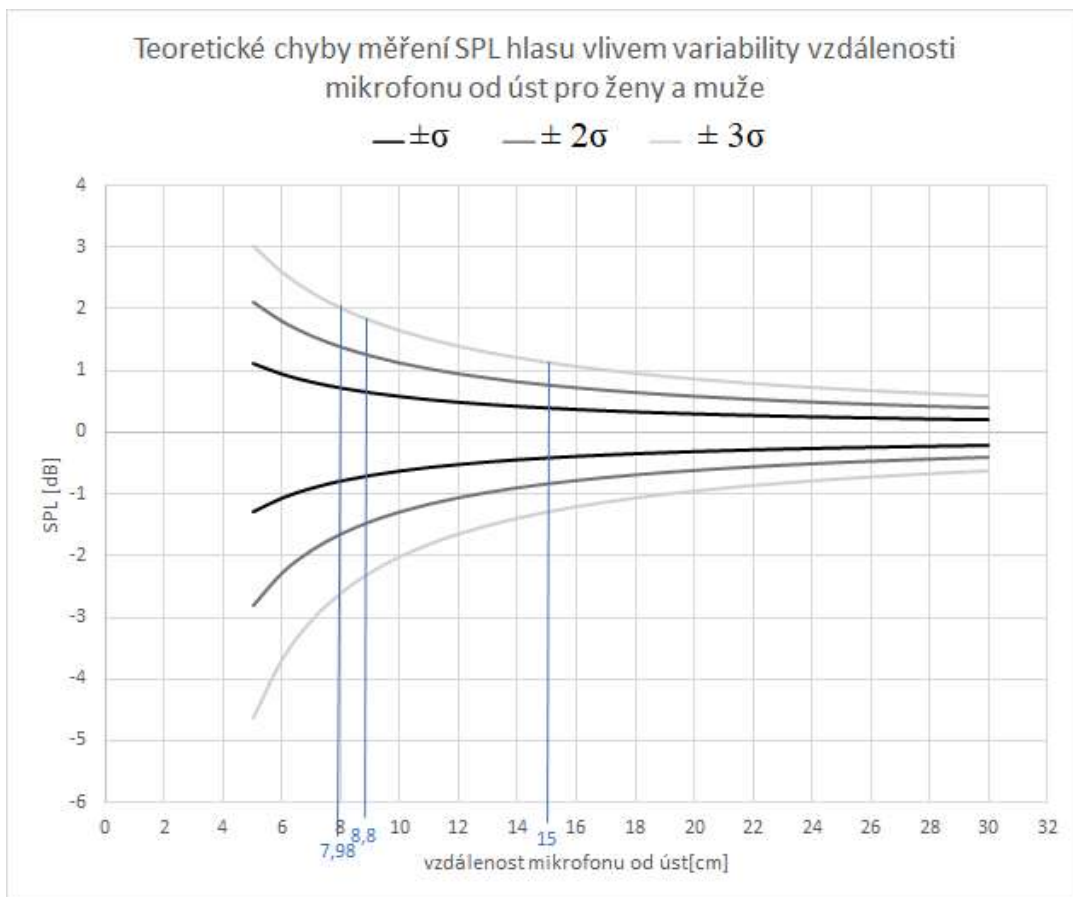
$$\Delta L = 20 \log \frac{R \pm \Delta R}{R}, \quad (10)$$

kde  $R$  je průměrná vzdálenost mikrofonu od úst a  $\Delta R$  je variabilita této vzdálenosti. Jako variabilita byly použity směrodatné odchylky zjištěné v Tabulce 3 a jejich dvoj- a trojnásobek, které v případě Gaussova rozložení odpovídají 68,27%, 95,45% a 99,73% intervalu spolehlivosti.

Takto odvozené teoretické nejistoty měření SPL hlasu vlivem variability vzdálenosti mikrofonu od úst jsou popsány v Tabulce 9 pro průměrnou vzdálenost mikrofonu od úst pro muže, ženy a pro muže i ženy dohromady. Teoretické chyby v dalších vzdálenostech byly vypočteny podle Vzorce 10 a jsou dále vykresleny v grafech na Obrázcích 24 a Obrázcích 25.

**Tabulka 9:** Teoretické chyby hladiny akustického tlaku při měření ve zjištěných průměrných vzdálenostech mikrofonu od hranice horního rtu pro muže a ženy.

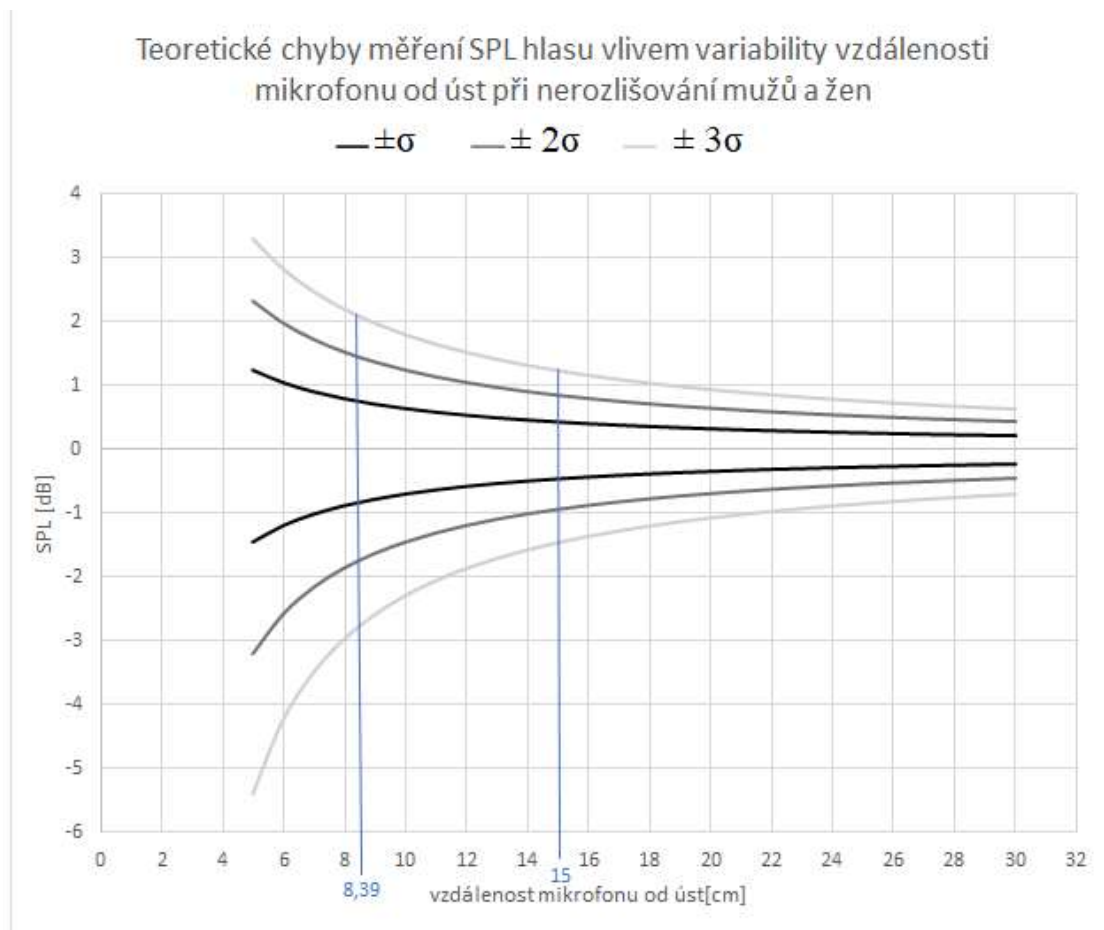
	$\sigma$		$2\sigma$		$3\sigma$	
	+ $\Delta$ [dB]	- $\Delta$ [dB]	+ $\Delta$ [dB]	- $\Delta$ [dB]	+ $\Delta$ [dB]	- $\Delta$ [dB]
<i>Ženy <math>R = 8,8</math> cm</i>	+0,66	-0,71	+1,27	-1,48	+1,83	-2,33
<i>Muži <math>R = 7,98</math> cm</i>	+0,67	-0,73	+1,29	-1,52	+1,87	-2,39
<i>Ženy i muži <math>R = 8,39</math> cm</i>	+0,76	-0,84	+1,46	-1,76	+2,11	-2,80



**Obrázek 24:** Teoretické chyby měření hladiny akustického tlaku vlivem variability vzdálenosti mikrofonu od úst pro ženy a muže. Vertikálními čarami jsou označeny zjištěné průměrné vzdálenosti mikrofonu od úst u žen a mužů v této práci a doporučená vzdálenost 15 cm podle Wendlera (1992)

Pro muže a ženy jsou teoretické chyby měření SPL hlasu vlivem inter-individuální variability vzdálenosti mikrofonu od úst téměř stejné, což si můžeme povšimnout v Tabulce 9, kdy rozdíly mezi muži a ženami při daných průměrných vzdálenostech mikrofonu od úst jsou pouze v setinách dB. Z tohoto důvodu můžeme muže a ženy vykreslit prakticky stejným grafem (Obrázek 24). Pokud nebudeme rozlišovat muže a ženy, budou teoretické chyby měření SPL vlivem inter-individuální variability vzdálenosti odpovídat následujícímu grafu (Obrázek 25).





**Obrázek 25:** Teoretické chyby měření hladiny akustického tlaku vlivem variability vzdálenosti mikrofonu od úst při nerozlišování mužů a žen. Vertikálními čarami jsou indikovány 1) průměrná vzdálenost mikrofonu od hranice horního rtu změřená v této práci a 2) vzdálenost podle Wendlera (1992).

V případě používaného laryngoskopu Xion není dodržena doporučená vzdálenost 15 cm od úst (Wendler 1992). Pokud tedy měření hladiny akustického tlaku bude probíhat v průměrné vzdálenosti mikrofonu od úst pro ženy  $x_1 = (8,8 \pm 0,7)$  cm a pro muže  $x_2 = (8,0 \pm 0,7)$  cm zjištěné v této práci pro laryngoskop Xion, bude nejistota měření SPL odpovídat změnám v intervalu  $2\sigma_F = \langle -1,48; +1,27 \rangle$  dB pro ženy a  $2\sigma_M = \langle -1,52; +1,29 \rangle$  dB pro muže při uvažování 95,45% intervalu spolehlivosti ( $2\sigma$ ) (Tabulka 9). Vzhledem k variabilitě rozměrů laryngoskopů lze očekávat různé vzdálenosti mikrofonu od úst pro různé laryngoskopy. Pokud uvažujeme stejnou inter-individuální variabilitu hloubky vložení laryngoskopu do úst jaká byla zjištěna v této práci, nejistoty měření SPL pro muže a ženy se budou lišit podle různé průměrné vzdálenosti mikrofonu od úst - tyto změny teoretických chyb měření SPL hlasu ukazují grafy na Obrázku 24 a Obrázku 25.

Z obou grafů vidíme, že hodnoty variability SPL jsou větší u menších vzdáleností a klesají s rostoucí vzdáleností mikrofonu od úst. Z Obrázku 25 je rovněž patrné, že při

měření v průměrné vzdálenosti mikrofonu od úst pro muže a ženy  $z_1 = (8,4 \pm 0,8)$  cm jsou očekávané teoretické změny hladiny akustického tlaku větší než běžně tolerovaná maximální chyba  $\pm 1$  dB při intervalu spolehlivosti 95,45% ( $2\sigma$ ) a 99,73% ( $3\sigma$ ).

Z teorie je známo, že abychom udrželi změny SPL v hodnotách  $\pm 1$  dB, musí být změna vzdálenosti mikrofonu od úst menší než  $\pm 12$  % z celkové vzdálenosti mikrofonu od úst (Švec a Granqvist 2018). V našem případě při nerozlišování mužů a žen je vzdálenost mikrofonu od úst  $z_1 = (8,4 \pm 0,8)$  cm s variabilitou  $\Delta R_{2\sigma} = 1,6$  cm změna  $\pm 18,33$  %, což je větší než maximální změna  $\pm 12$  %. I z tohoto důvodu je variabilita hladiny akustického tlaku  $2\sigma_{FM} = \langle -1,76; +1,46 \rangle$  dB ve větším než maximálním tolerovaném dosahu  $\pm 1$  dB (Tabulka 9, Obrázek 25).

Při námi odvozené inter-individuální variabilitě pro muže a ženy, kdy  $\Delta R_{2\sigma} = 1,6$  cm ( $2\sigma$ , 95,45% interval spolehlivosti) a  $\Delta R_{3\sigma} = 2,4$  cm ( $3\sigma$ , 99,73% interval spolehlivosti) by podle vzorce (10) muselo být pro udržení změny hladiny akustického tlaku  $\pm 1$  dB měření prováděno ve vzdálenosti  $x_{2\sigma} = 12,83$  cm a  $x_{3\sigma} = 19,25$  cm mikrofonu od horní hranice rtu. V těchto vzdálenostech bude dodržena změna hladiny akustického tlaku  $\pm 1$  dB tím, že variabilita vzdálenosti mikrofonu od úst bude menší než  $\pm 12$  % z celkové vzdálenosti mikrofonu od úst. Můžeme si povšimnout, že tyto vzdálenosti odpovídají v grafu (Obrázek 25) hodnotám menším než  $\pm 1$  dB.

Podle doporučení Wendlera (1992) by mikrofon na laryngoskopu měl být umístěn tak, aby jeho vzdálenost od konce rtů k mikrofonu byla 15 cm. Z měření zjištěných v této práci je průměrná hloubka vsunutí laryngoskopu do úst pro muže a ženy dohromady  $c_1 = (8,9 \pm 0,8)$  cm. Pokud chceme, aby při této hloubce vsunutí, byl mikrofon umístěn ve vzdálenosti 15 cm od rtů, musel by být ve vzdálenosti  $m = 23,9$  cm od konce tubusu laryngoskopu. Pokud by byl tubus příliš krátký, lze mikrofon umístit na hlavu kamery, která je také připevňována k laryngoskopu.

Zákon vzdálenosti, ze kterého naše hodnoty vycházejí, bere v úvahu volné šíření zvuku prostorem. Při laryngoskopickém vyšetření nicméně je laryngoskop držen rukou lékaře a od této ruky se zvuk může odrážet a způsobit další chyby měření. Tyto chyby nebyly v této práci uvažovány, bylo by je však dobré vzít v úvahu v budoucích pracích. Nepřesnost určení hladiny akustického tlaku může být vlivem odrazů ještě větší než teoretická změna  $2\sigma_{FM} = \langle -1,76; +1,46 \rangle$  dB určená v této práci (Tabulka 9). Protože jsou hodnoty větší než tolerovaná hranice  $\pm 1$  dB je dobré tyto změny vzít v úvahu.

Pro měření hladiny akustického tlaku by bylo vhodné ověřit měření i pro další laryngoskopy. V této práci se variabilita určovala pouze z jednoho laryngoskopu, který používá úhel pohledu  $90^\circ$ . Lékaři však používají i laryngoskopy s úhlem pohledu  $70^\circ$ , a proto by pro laryngoskopy s jiným úhlem pohledu mohly být hloubky vsunutí jiné. Tyto faktory je třeba vzít v úvahu pro další výzkum v této oblasti.

## 7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit inter-individuální variabilitu vzdálenosti mikrofonu připevněného k tubusu laryngoskopu od úst během laryngoskopického vyšetření. Následným cílem bylo určit, jak tato variabilita může ovlivnit hladinu akustického tlaku při vyšetřování laryngoskopem německého renomovaného výrobce Xion, který má integrovaný mikrofon ve vzdálenosti 17,3 cm od konce tubusu který je běžně používán pro vyšetřování v Hlasovém a sluchovém centru Praha.

Byl zjištěn rozdíl ve vzdálenosti mikrofonu od úst od horní hranice rtu mezi muži  $x_2 = (8,0 \pm 0,7)$  cm a ženami  $x_1 = (8,8 \pm 0,7)$  cm. Tento rozdíl jsme vzhledem k anatomickým rozdílům očekávali. Při nerozlišování mužů a žen je průměrná vzdálenost mikrofonu od úst  $z_1 = (8,4 \pm 0,8)$  cm. Zjištěná směrodatná odchylka dává inter-individuální variabilitu  $\Delta R_{2\sigma} = \pm 1,6$  cm (při  $2\sigma$ ) a  $\Delta R_{3\sigma} = \pm 2,4$  cm (při  $3\sigma$ ).

Hloubka vsunutí laryngoskopu do úst od hranice horního rtu byla rovněž rozdílná mezi muži  $a_2 = (9,3 \pm 0,7)$  cm a ženami  $a_1 = (8,5 \pm 0,7)$  cm. Tento rozdíl se ukázal být jako statisticky velmi významný, kdy zjištěná p-hodnota t-testu  $p = 0,0004$  je menší než  $\alpha = 0,001$ . Možná nejistota určení hloubky vsunutí laryngoskopu do úst se pohybuje v rozsahu vyklenutí rtů, které bylo zjištěné v rozsahu  $k_1 = (2,1 \pm 0,5)$  cm u žen a  $k_2 = (2,3 \pm 0,8)$  cm u mužů.

Vlivem námi zjištěné inter-individuální variability  $\Delta R_{2\sigma} = 1,6$  cm při vzdálenosti mikrofonu od úst 8,4 cm se směrodatnou odchylkou  $\pm 0,8$  cm pro muže a ženy dohromady, je změna hladiny akustického tlaku pro muže a ženy dohromady v rozsahu  $2\sigma_{FM} = \langle -1,76; +1,46 \rangle$  dB.

Při měření v doporučené vzdálenosti 15 cm mikrofonu od úst můžeme při nerozlišování mužů a žen vlivem inter-individuální variability vzdálenosti mikrofonu od úst  $\Delta R_{2\sigma} = 1,6$  cm, očekávat změnu hladiny akustického tlaku v rozsahu  $2\sigma_{FM15cm} = \langle -0,94; +0,85 \rangle$  dB. Aby byl mikrofon umístěn ve vzdálenosti 15 cm od úst měl by být umístěn v celkové vzdálenosti  $m = 23,9$  cm, která byla určena jako průměrná hloubka vsunutí laryngoskopu do úst pro muže a ženy  $c_1 = 8,9$  cm plus doporučená vzdálenost 15 cm.

Zjištěné rozdíly a postup měření v této práci bude přínosem pro další výzkum v této oblasti.

## SEZNAM LITERATURY

- Alberti P. (1996) The history of laryngology: a centennial celebration. In: *Otolaryngology – Head and Neck Surgery* **114**, 345-354. (podle Tjoa a Verma 2016)
- Barth V. (1982) *Die Lupenstroboskopie al Möglichkeit der Funktionsdiagnostik von Stimmstörungen und Stimmklappenprozessen*. Richard Wolf GmbH Knittlingen, Německo, 33 stran.
- Best S.R.A. a Akst L.M. (2016) Visualizing the larynx. In: *Sataloff's Comprehensive Textbook of Otolaryngology, Head & Neck Surgery*, JP Medical Ltd, Londýn, Velká Británie, 181-191.
- Czermak J. (1860) *Du laryngoscope et de son emploi en physiologie et en médecine*. J-B Baillière et fils, Paříž, Francie, 112 stran. (podle Tjoa a Verma 2016)
- Čihák R. (1988) Systema respiratorium – systém dýchací. In: *Anatomie 2*. Vol. 3, Avicenum, Praha, Česká republika, 180-260.
- ČSN P ISO/TC 9921 (2003) Ergonomics – Assessment of speech communication., 1. vydání, Český normalizační institut, Praha, Česká republika, 28 stran.
- Galen (1968) *On the usefulness of the parts of the body*. Cornell University Press, New York, Spojené státy americké, 340-372. (podle Tjoa a Verma 2016)
- Garcia M. (1855) *Observations on the human voice*. Proceedings of the Royal Society of London **7**, 397-410. (podle Tjoa a Verma 2016)
- Green H. (1852) Morbid growths within the larynx. In: *On the Surgical Treatment of Polyps of the Larynx and Oedema of the Glottis*. GP Putnam, New York, Spojené státy americké, 56-65. (podle Tjoa a Verma 2016)
- Green H. (1855) *Observations of the human voice*. Proceedings of the Royal Society of London **7**, 397-410. (podle Tjoa a Verma 2016)
- Guzman M., Laukkanen A.M., Krupa P., Horáček J., Švec J.G., Geneid A. (2013) *Vocal tract and glottal function during and after vocal exercising with resonance tube and straw*. Journal of Voice **27**, 19-34.
- Heller E.J. (2013) Loudness. In: *Why you hear what you hear*, Vol. 1, Princeton University Press, Spojené státy americké, 431-435.
- Chrobok V., Kučera M., Frič M. (2011) Anatomie hlasotvorného ústrojí. In: *Foniatrie – hlas*. Vol. 1, (Chrobok V. ed.), Tobiáš, Havlíčkův Brod, Česká republika, 39-40.
- Karmody C.S. (1988) The history of laryngology. In: *The Larynx: A Multidisciplinary Approach*. (Fried M.E. ed.), Little, Brown, Velká Británie, 3-11. (podle Tjoa a Verma 2016)
- Kastner J., Zábrodský M., Astl J., Zvěřina E., Lukeš P., Betka P. (2009) *Videokymografie a digitální kymografické nálezy u pacientů po thyreodektomii*. Endoskopie **2**, 64-66.
- Kejklíčková I. (2011) Hlas a jeho poruchy. In: *Logopedie a ošetřovatelství v praxi*. Vol. 1, Grada, Praha, Česká republika, 91-96.
- Kirstein A. (1895) *Autoskopie des larynx und der trachea*, Archiv fur Laryngologie und Rhinologie **3**: 156-164. (podle Zeitels a Alarcond 2001)
- Kirstein A. (1897) *Autoscopy of the Larynx and Trachea (direct examination without mirror)*. F.A.Davis, Spojené Státy Americké, 68 stran. (podle Zeitels a Alarcon 2001)
- Liston R. (1837) *Practical Surgery*. Churchill, Londýn, Velká Británie, 350 stran. (podle Tjoa a Verma 2016)
- Mackenzie M. (1865) *The Use of the Laryngoscope in Diseases of the Throat: with an appendix and rhinoscopy*. Lindsay and Blakiston, 21-37. (podle Tjoa a Verma 2016)
- Majer E., Skopec M. (1985) *Zur Geschichte der Otorhinolaryngologie in Osterreich*. Brandstätter, Vídeň, Rakousko, 143 stran. (podle Tjoa a Verma 2016)
- Morgagni G. (1741) *Adversia Anatomica Prima*. Apud Johann Arnoldum Langerak, Madrid, Španělsko, 53 stran. (podle Tjoa a Verma 2016)
- Oertel M. (1878) *Ueber eine neues laryngostroboskopische untersuchungsmethode des Kehlkopfes*. Centralblatt Medizinischen Wiss **16**: 81-82. (podle Zeitels a Alarcond 2001)
- Patel R., Bless D.M. (2006) Laryngeal high-speed digital imaging and kymography. In: *Textbook of Laryngology*. Plural Publishing, 85-95.

- Pekárková I., Rokyla R. (2015) Fyziologie a patofyziologie sluchového systému. In: *Fyziologie a patologická fyziologie*. Grada, Praha, Česká republika, 588.
- Sataloff R.T. (1992) *The Human Voice*. Scientific American, Spojené státy americké, 64-71.
- Slavíková J., Šviglerová J. (2012) Anatomie a funkce dýchacích cest. In: *Fyziologie dýchání*. Vol. 1, Karolinum, Praha, Česká republika, 11-13.
- Sulica L. (2013) *Laryngoscopy, stroboscopy and other tools for the evaluation of voice disorders*. Otolaryngologic Clinics of North America **46**, 21-30.
- Špačková A. (2015) Tvoření hlasu. In: *Trénink techniky řeči – naučte se mluvit barevně*. Grada, Praha, Česká republika, 115-119.
- Švec J.G., Dršata J., Holý R. (2011) Optická vyšetření. In: *Foniatrie – hlas*. Vol. 1, (Chrobok V. ed.), Tobiáš, Havlíčkův Brod, Česká republika, 64-69.
- Švec J.G., Granqvist S. (2018) *Tutorial and guidelines on measurement of sound pressure level (SPL) in voice and speech*. Journal of Speech Language and Hearing Research. V tisku.
- Švec J.G., Šram F., Schutte H.K. (1999) *Videokymografie: nová vysokofrekvenční metoda vyšetřování kmitu hlasivek*. Otorinolaryngologie a Foniatrie **48**, 155-162.
- Tigges M., Wittenberg T., Mergell P., Eysholdt U. (1999) *Imaging of vocal fold vibration by digital multi-plane kymography*. Computerized Medical Imaging and Graphics **23**, 323-330. (podle Patel a Bless 2006)
- Titze I.R. (2013) *A short tutorial on sound level and loudness for voice*. Journal of Singing **70**, 191-192.
- Tjoa T. a Verma S.P. (2016) History of laryngology. In: *Sataloff's Comprehensive Textbook of Otolaryngology: Head & Neck Surgery*. JP Medical Ltd, Londýn, Velká Británie, 15-22.
- Türk L. (1858) *On the laryngel mirror and its mode of employment, with engravings on wood*. Zeitschrift der Gesellschaft der Aertze ze Wein **26**, 401-409. (podle Tjoa a Verma 2016)
- Veldová Z. (2007) Foniatrie. In: *Otorinolaryngologie a foniatrie v současné praxi*. Grada, Praha, Česká republika, 339-371.
- Wendler J. (1992) *Stroboscopy*. Journal of Voice **6**, 149-154.
- Woo P. (2010a) The clinical examination and the stroboscopy laboratory. In: *Stroboscopy*. Paramount, Hong Kong, Čína, 115-128.
- Woo P. (2010b) Stroboscopy Setup and Recording. In: *Stroboscopy*. Paramount, Hong Kong, Čína, 129-141.
- Zeitels S.M., Alarcond de A. (2001) The origin of endoscopic surgery of the larynx. In: *Atlas of Phonomicrosurgery and Other Endolaryngeal Procedures for Benign and Malignant Disease*. Singular, San Diego, Spojené státy americké, 3-17.

## INTERNETOVÉ ZDROJE

- (1) VOŠ ZDRAVOTNICKÁ A STŘEDNÍ ZDRAVOTNICKÁ ŠKOLA, HRADEC KRÁLOVÉ. Diagnostika (Vyšetřovací metody) [online]. [cit. 24.4.2018]. Dostupný na WWW: <https://ose.zshk.cz/vyuka/diagnostika.aspx?id=243>
- (2) ImageJ. [online]. [cit. 27.4.2018]. Dostupné z: <https://imagej.net/Welcome>