

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra zoologie a ornitologická laboratoř

& Katedra botaniky

DIPLOMOVÁ PRÁCE



Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra zoologie a ornitologická laboratoř

& Katedra botaniky

NASTAVENÍ VOKÁLNÍHO TRAKTU PŘI OPERNÍM ZPĚVU

Vocal Tract Configuration for Operatic Singing

Diplomová práce

Autor:	Renata Píšťková
Studijní program:	Chemie
Studijní obor:	Učitelství chemie pro střední školy – Učitelství biologie pro střední školy (N1407)
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	RNDr. Vlasta Lungová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem celou tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s využitím uvedených zdrojů, pramenů a literatury, s využitím vlastních poznatků a po konzultacích s vedoucí práce RNDr. Vlastou Lungovou, Ph.D.

Obrázky obsažené v práci jsou přepracovány nebo převzaty z uvedených zdrojů v bibliografii a v závorkách u popisku obrázků jsou uvedeny zdroje.

V Olomouci, prosinec 2012

.....
Bc. Renata Pištková

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych na tomto místě poděkovat vedoucí práce RNDr. Vlastě Lungové, Ph.D. za odborné vedení a konzultace, které mi poskytla během zpracování této diplomové práce, za rady, připomínky, trpělivost a čas, které mi věnovala.

Dále bych chtěla poděkovat RNDr. Janu Švecovi, Ph.D., za rady a připomínky při zpracování výsledků a konzultace v oblasti zpěvu.

BIBLIOGRAFICKÁ IDENTIFIKACE

<i>Jméno a příjmení autora:</i>	Bc. Renata Píšítková
<i>Název práce:</i>	Nastavení vokálního traktu při operním zpěvu
<i>Typ práce:</i>	Diplomová práce
<i>Pracoviště:</i>	Katedra zoologie a ornitologická laboratoř
<i>Vedoucí práce:</i>	RNDr. Vlasta Lungová, Ph.D.
<i>Rok obhajoby práce:</i>	2013

Abstrakt

Je známo, že velikost a tvar rezonančních dutin vokálního traktu jsou velmi důležité v klasickém operním zpěvu. Správné nastavení vokálního traktu a naladění pěveckého formantu jsou velice podstatné pro profesionální zpěváky, jelikož umožňují zesílení a zvýraznění zpěvu a hlasu na pozadí orchestru, který je doprovází.

Tato diplomová práce se zabývá analýzou nastavení vokálního traktu při operním versus běžném zpěvu u souboru sedmi zpěváků při fonaci hlásek [a:] a [e:]. Na základě snímků z magnetické resonance bylo vytypováno pět oblastí, které mění svoji pozici nejčastěji. Jsou to (1) pozice páteře, (2) pozice brady, (3) poloha hrtanu spolu s jazykou, (4) pozice měkkého patra a (5) tvar a poloha jazyka. Fakta zjištěná při zkoumání naznačila, že neexistuje univerzální nastavení vokálního traktu pro operní zpěv s použitím pěveckého formantu, protože studované oblasti se pohybují různými směry, respektive mění různě svůj tvar.

Klíčová slova: vokální trakt, hlasové akustické ústrojí, formant, pěvecký formant, hlasivky, MRI snímky, páteř, brada, hrtan a jazyk, měkké patro, jazyk, zdroj a filtr, rezonanční dutiny

Počet stran: 81

Počet příloh: 1 (strana 62 – 75)

Jazyk: čeština

BIBLIOGRAPHICAL IDENTIFICATION

<i>Author's first name and surname:</i>	Bc. Renata Píšťková
<i>Title:</i>	Vocal Tract Configuration for Operatic Singing
<i>Type of thesis:</i>	Thesis
<i>Department:</i>	Department of Zoology and Laboratory of Ornithology
<i>Supervisor:</i>	RNDr. Vlasta Lungová, Ph.D.
<i>The year of presentation:</i>	2013

Abstract

It is well known that a size and shape of vocal tract's resonant cavities are very important in the field of classical opera singing. The correct position of vocal tract and voice formant tuning are of a great significance to professional singers because they enable to strengthen and emphasize singers' voice on the accompanying orchestra background.

This thesis dealt with the analysis of the vocal tract's position in opera singing as distinct from naive singing within the group of seven singers by analyzing their phonation of the [a:] and [e:] vocals. On the basis of magnetic resonance screening we selected five distinct areas which were of the most frequent change of their position. These are as follows: (1) position of the spine, (2) position of the chin, (3) position of the larynx together with the hyoid bone, (4) position of the soft palate and (5) position and shape of the tongue. The data gained from this research imply that there is no universal vocal tract position for opera singing employing formant for the studied areas move in different directions, or more precisely they change their shapes differently.

Keywords: vocal tract, voice, sound system, formant, singer's formant, vocal cords, MRI images, spine, jaw, larynx and hyoid bone, soft palate, tongue, and the source filter, resonant cavity

Number of pages: 81

Number of appendices: 1 (pages 62 – 75)

Language: Czech

Obsah

OBSAH	7
1 ÚVOD	9
2 SPECIFICKÉ CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	10
3 REŠERŠNÍ ČÁST	11
3.1 HLASOVÉ ÚSTROJÍ	11
3.2 ANATOMIE HLASOVÉHO ÚSTROJÍ	12
3.2.1 RESPIRAČNÍ ÚSTROJÍ	12
3.2.2 FONAČNÍ ÚSTROJÍ	12
3.2.2.1 Hrtan (larynx)	13
3.2.2.2 Hlasivka (glottis)	15
3.2.3 MODIFIKAČNÍ ÚSTROJÍ	16
3.2.3.1 Hltan (pharynx)	16
3.2.3.2 Dutina nosní (nasální)	17
3.2.3.3 Dutina ústní (orální)	18
3.3 HLASOVÝ AKUSTICKÝ SYSTÉM	20
3.3.1 TEORIE ZDROJE A FILTRU	20
3.3.2 TVORBA HLASU	21
3.3.2.1 Teorie tvorby hlasu	21
3.3.3 FORMANT	22
3.3.4 TVORBA ŘEČI	24
3.3.5 TVORBA SAMOHLÁSEK - ARTIKULACE A FONACE VOKÁLŮ [A:] A [E:]	24
3.3.5.1 Vokál [a:]	25
3.3.5.2 Vokál [e:]	26
3.4 PĚVECKÝ FORMANT	27
3.5 ZPĚVNÍ HLAS	28
3.5.1 VZNIK HLASU A ZÁKLADNÍ TÓN	28
3.5.2 ROZSAH A POLOHA LIDSKÉHO HLASU	28
3.5.3 HLAS ZPĚVNÍ	29
4 PRAKTICKÁ ČÁST	33
4.1 CÍL VÝZKUMU	33
4.2 METODA & MATERIÁL VÝZKUMU	34
4.2.1 METODA	34
4.2.2 MATERIÁL	35
5 VÝSLEDKY	36
5.1 SUBJEKT 1	36
5.1.1 VOKÁL [A:]	36
5.1.2 VOKÁL [E:]	37
5.2 SUBJEKT 2	38

5.2.1	VOKÁL [A:]	38
5.2.2	VOKÁL [E:]	39
5.3	SUBJEKT 3	40
5.3.1	VOKÁL [A:]	40
5.3.2	VOKÁL [E:]	41
5.4	SUBJEKT 4	42
5.4.1	VOKÁL [A:]	42
5.4.2	VOKÁL [E:]	43
5.5	SUBJEKT 5	44
5.5.1	VOKÁL [A:]	44
5.5.2	VOKÁL [E:]	45
5.6	SUBJEKT 6	46
5.6.1	VOKÁL [A:]	46
5.6.2	VOKÁL [E:]	47
5.7	SUBJEKT 7	48
5.7.1	VOKÁL [A:]	48
5.7.2	VOKÁL [E:]	49
6	<u>DISKUSE</u>	50
6.1	ANALÝZA OBLASTÍ VOKÁLNÍHO TRAKTU PŘI FONACI VOKÁLU [A:]	50
6.2	ANALÝZA OBLASTÍ VOKÁLNÍHO TRAKTU PŘI FONACI VOKÁLU [E:]	54
6.3	OBLASTI NEJČASTĚJI SE MĚNÍCÍ	58
7	<u>ZÁVĚR</u>	61
8	<u>PŘÍLOHA</u>	62
8.1	ORIGINÁLNÍ SNÍMKY JEDNOTLIVÝCH SUBJEKTŮ	62
8.1.1	SUBJEKT 1	62
8.1.2	SUBJEKT 2	64
8.1.3	SUBJEKT 3	66
8.1.4	SUBJEKT 4	68
8.1.5	SUBJEKT 5	70
8.1.6	SUBJEKT 6	72
8.1.7	SUBJEKT 7	74
9	<u>SEZNAM OBRÁZKŮ</u>	76
10	<u>SEZNAM TABULEK</u>	77
11	<u>BIBLIOGRAFIE</u>	78

1 Úvod

Pěvecký formant je využíván především v oblasti zpěvu pro profesionální zpěváky. K tomu, aby ho umělci mohli využívat, je třeba, aby zvládali techniku nastavení vokálního traktu, který má velkou souvislost s vytvořením a uplatněním pěveckého formantu.

Otázkou zůstává, zda platí principy nastavení vokálního traktu pro všechny operní zpěváky stejné nebo jestli se jedná o individuální záležitost každého zpěváka. Pokud by platila stejná pravidla v nastavení vokálního traktu u každého zpěváka stejně, dalo by se toho využít pro naučení se nastavení vokálního traktu k vytvoření pěveckého formantu a lidé by se po určité době trénování mohli naučit zpívat operně, tedy s pěveckým formantem. Proč? Odpověď je jednoduchá – normální člověk, který neumí zpívat s pěveckým formantem, totiž není dostatečně slyšet s orchestrem, který by jej doprovázel při koncertu, kdežto profesionální zpěvák, který pěvecký formant využívá, ano. Je to způsobeno již zmíněnými formanty, kdy pěvecký formant, který umožňuje zesílení, zvýraznění hlasu a zpěvu, vzniká okolo 3 000 Hz, kdežto nejvyšší energie orchestru a neškoleného zpěváka je ve frekvenční oblasti kolem 500 – 1 000 Hz.

Cílem této diplomové práce bylo tedy prozkoumat anatomické nastavení vokálního traktu sedmi vybraných dobrovolníků, kteří se zpěvem živí a umí využívat pěvecký formant. K posouzení změn bylo zvoleno porovnání snímků z magnetické resonance zachycujících běžný zpěv (bez pěveckého formantu) a zpěv operní (s pěveckým formantem). Pro analýzu byly použity dva vokály od každého zpěváka a tato data byla následně využita pro srovnání u jednotlivých zpěváků, kde bylo zjišťováno, jestli zpěvák mění stejně nastavení vokálního traktu při fonaci různých vokálů, či ne.

Práce byla rozdělena na kapitoly, kdy první část byla věnována rešerši na téma anatomie vokálního traktu zahrnující hlasové ústrojí, dále hlas a jeho vznik, a také jak vzniká formant. Druhá část byla věnována praktickému úkolu – analýze MRI snímků sedmi zpěváků při fonaci vokálu [a:] a vokálu [e:]. Tato část byla zaměřena na změny konfigurace v nastavení pěti vtypovaných oblastí, které byly předmětem dřívějšího výzkumu. Snahou analýzy bylo odpovědět v diskusi – třetí část práce – na otázky, zda lze nastavení pěveckého formantu ovlivnit, jestli jsou zde univerzální pravidla nastavení pěveckého formantu, nebo zda se jedná o individuální záležitost. Zda se toho dá využít pro laiky, nebo začínající zpěváky. A také, které oblasti zkoumání se mění nejčastěji.

2 Specifické cíle diplomové práce

Tato práce se zabývá popisem změn v anatomickém nastavení vokálního traktu u operních zpěváků.

Cílem bylo provést rešerši dostupné literatury zabývající se anatomíí hlasového ústrojí se zaměřením na vokální trakt a popsat známé anatomické konfigurace artikulačních orgánů včetně pozice hrtanu a měkkého patra.

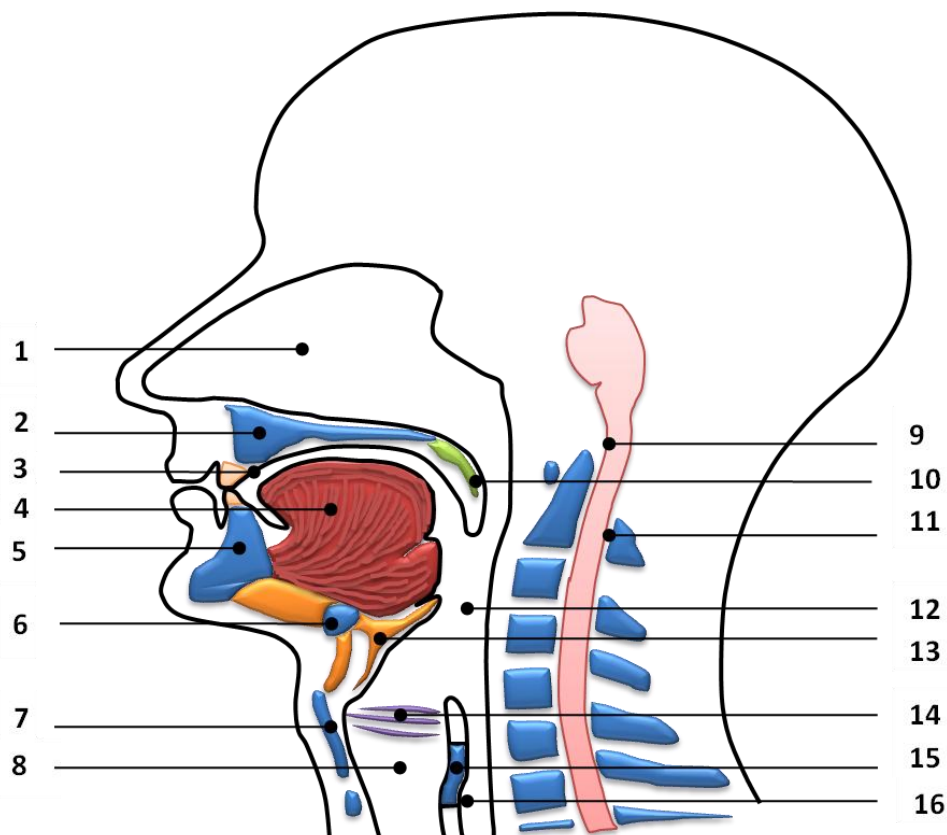
Praktická část byla zaměřena na analýzu snímků z magnetické resonance (MR) souboru sedmi zpěváků s cílem zjistit:

1. Jak se tyto konfigurace mění u zpěváků různých pěveckých kategorií a kvalit při běžném a operním zpěvu u vokálu [a:].
2. Jak se tyto konfigurace mění u zpěváků různých pěveckých kategorií a kvalit při běžném a operním zpěvu u vokálu [e:].
3. Které z vytypovaných oblastí mění svoji pozici nejčastěji.
4. Které z vytypovaných oblastí naopak mění svoji pozici nejméně.

3 Rešeršní část

3.1 Hlasové ústrojí

Lidský hlas je tvořen v dýchací soustavě (obr. 1). V souvislosti s tvorbou hlasu mluvíme o dýchacím ústrojí jako o hlasovém akustickém ústrojí, které lze z anatomického hlediska rozdělit na tři hlavní složky: **respirační** (dýchací), **fonační** a **modifikační** (artikulační) ústrojí (Matug, 2008; Hála, a další, 1962).



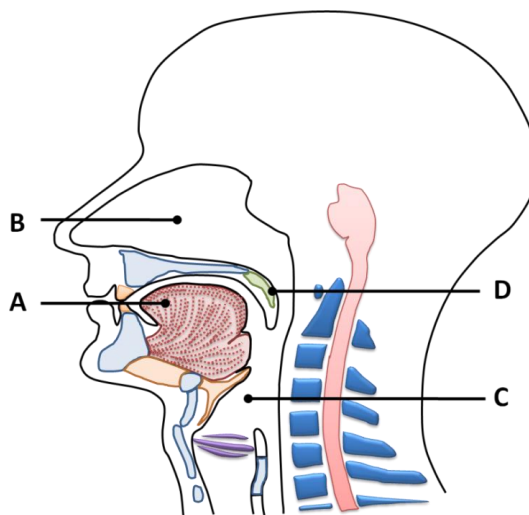
Obrázek 1 Schéma sagitálního řezu kraniofaciální oblasti (upraveno podle Hály, 1962)

1 – nosní dutina (cavum nasi), 2 – tvrdé patro s horní čelistí (palatum durum et maxilla), 3 – ústní dutina (cavum oris), 4 – jazyk (lingua), 5 – dolní čelist (mandibula), 6 – jazyk (os hyoideum), 7, 15 – chrupavka (cartilago), 8 – hrtan (larynx), 9 – mícha (medulla spinalis), 10 – měkké patro s patrovým čípkem (palatum molle et uvula palatina), 11 – páteř (columna vertebralis), 12 – hltan (pharynx), 13 – příklopka hrtanová (epiglottis), 14 – hlasivky (glottis), 16 – jícen (oesophagus)

Z akustického hlediska se dělí hlasový akustický systém na subglotický (pod hlasivkami) a supraglotický (nad hlasivkami) prostor (Švec, 1996). Subglotický trakt zahrnuje především části dýchacího neboli respiračního ústrojí, které je popsáno v následující kapitole. Do supraglotického traktu pojímá prostor nad hlasivkami (včetně), hrtan, hltan a ústní a nosní dutinu. Následující kapitoly jsou rozděleny především podle třech výše uvedených složek, tj. respirační, fonační

a artikulační ústrojí, kde jsou popsány nejdůležitější složky, které se fonace, respektive tvorby hlasu účastní.

Je vhodné uvést ještě pojem „resonanční nadhrtanové dutiny“ (obr. 2), který souvisí s resonancemi dýchacího traktu. Je to pojem, ze kterého vycházel Hála (Hála, a další, 1962) a za nejdůležitější resonanční prostor se považuje z hlediska hlasového akustického systému část zvaná vokální trakt, která je dále označována jako již zmíněný supraglotický prostor, tj. prostor mezi hlasivkami a ústním otvorem (Švec, 1996).



Obrázek 2 Resonanční dutiny (upraveno dle Hály, 1962)

A – dutina ústní (orální), B – dutina nosní (nasální), C – dutina hrdelní, D – měkké patro (palatum molle)

3.2 Anatomie hlasového ústrojí

3.2.1 Respirační ústrojí

Dýchací ústrojí slouží primárně k základní životní funkci, kterou je fyziologické dýchání, tj. výměna plynů mezi krví a vzduchem. Dýchací ústrojí zahrnuje hrudní koš a v něm uložené plíce, průdušky, průdušnici, mezižeberní svaly a bránici (Hála, a další, 1962).

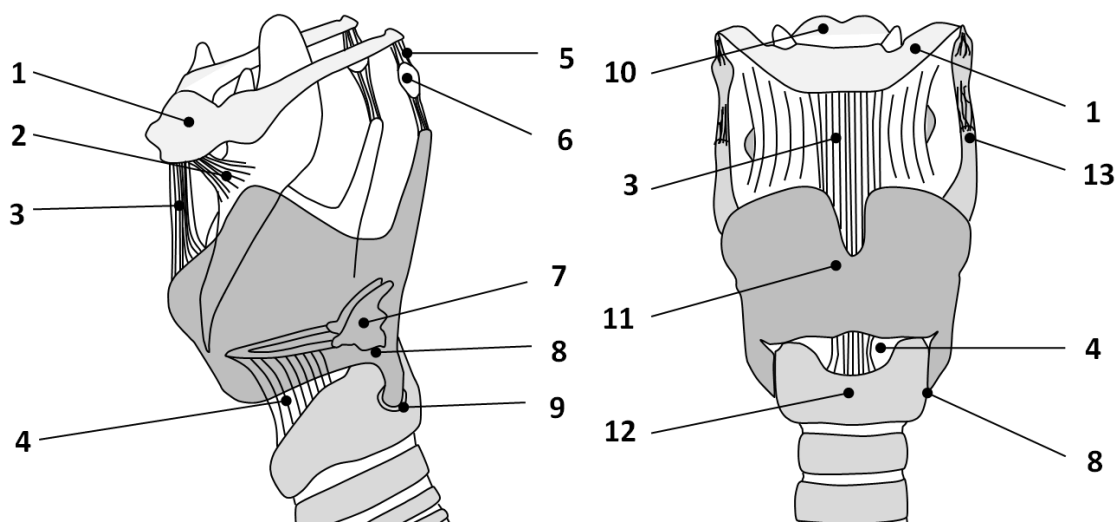
Při normálním dýchání je vydechovaný vzduch vyháněn z plic expiračními svaly a volně odchází ústy nebo nosem. Při fonaci je vydechovaný vzduch komprimován v průdušnici pod uzavřenou hlasovou štěrbinou (Soukup, 1972). Při řeči se fyziologické dýchání mění. Poměr vdechu a výdechu je při běžném dýchání asi 2:3 (16-20x za minutu), kdy se najednou v klidu vdechne a vydechne přibližně asi jen 0,5 litru vzduchu. Při fonaci se vdech nápadně zkracuje a výdech se prodlužuje na poměr 1:7 až 1:12 a zvětšuje se objem vdechnutého vzduchu na zhruba 1,5 litru. Množství nadechnutého vzduchu i rytmus dýchání se při řeči řídí zčásti i vědomě, zatímco fyziologické dýchání je reflexivní, i když jej dokážeme ovládat (Matug, 2008).

3.2.2 Fonační ústrojí

Fonační ústrojí je typickým lidským orgánem a jeho funkcí je vytvářet zdrojový hlas, jehož dalšími úpravami vzniká vlastní řeč. Zdrojový hlas neboli primární akustický signál se tvoří hlasivkami, které jsou uloženy v hrtanu.

3.2.2.1 Hrtan (*larynx*)

Hrtan (obr. 3) je první část dolních dýchacích cest. Je to nepárový, trubicovitý, dutý orgán, který vpředu navazuje na *laryngopharynx* a dolní částí je spojen s průdušnicí. Vazivovou blanou je hrtan zavěšen na jazylce, a ta je pomocí *ligamentum stylohyoideum* připevněna k bázi lebeční. Kostru hrtanu tvoří soubor hrtanových chrupavek, pohyblivě spojených klouby, vazy a svaly tak, že vzniká charakteristicky uzavřená trubice se slizniční výstelkou (Čihák, 1986). Pomocí svalů a vazů upnutých na chrupavkách je umožněna jejich pohyblivost, a tím změna velikosti hrtanové dutiny při řeči a dýchání (Dylevský, a další, 1990).



Obrázek 3 Hrtan (*larynx*) –pohled z boku – vlevo, a pohled zepředu – vpravo (upraveno dle Čiháka, 1986)

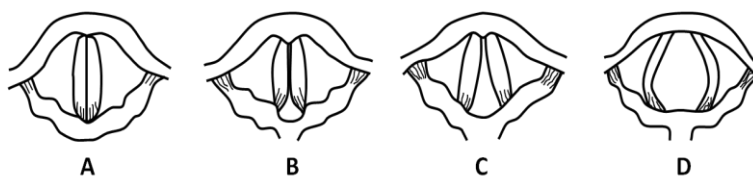
1 – jazylka (os hyoideum), 2 – ligamentum hyoepiglotticum, 3 – ligamentum thyrohyoideum medianum, 4 – conus elasticus, 5 – ligamentum thyrohyoideum laterale, 6 – cartilago triticea, 7 – cartilago arytenoidea, 8 – articulario cricoarytaenoidea, 9 – articulario cricothyroidea, 10 – cartilago epiglottica, 11 – cartilago thyroidea, 12 – cartilago cricoidea, 13 – roh štítné chrupavky

Hrtanové chrupavky a jejich spojení

Chrupavka štítná (*cartilago thyroidea*) je ze všech největší. Tvoří ji pravá a levá ploténka, které se stýkají v hrtanovém výčnělku, tzv. ohryzku (*prominentia laryngea*). Je nepárová a je nápadná především u mužů („Adamovo jablko“). Hrtanová příklopka (*epiglottis, cartilago epiglottica*) je nepárová a má tvar lžice či listu, je stopkou připojena k chrupavce štítné. Během polykání překrývá vchod do hrtanu. Na chrupavce jsou drobné jamky, ve kterých jsou zanořeny slizniční žlázy. Prstencová chrupavka (*cartilago cricoidea*) má tvar prstenu, je kloubně spojena se štítnou chrupavkou a s hlasovými chrupavkami a je nepárová. Z párových chrupavek je nutno zmínit hlasivkovou chrupavku (*cartilago arytenoidea*), která má tvar trojbokého jehlanu. V hrtanu jsou přítomné také drobné chrupavky, např. chrupavka klínovitá, atd. (Čihák, 1986; Dylevský, a další, 1990).

Chrupavky hrtanu jsou spojeny klouby a syndesmosami. *Articulatio cricothyroidea* spojuje chrupavku štítnou (hlavice kloubu) s kloubní jamkou chrupavky prstencové. Kloub umožňuje kývavý pohyb štítné a prstencové chrupavky a ovlivňuje tak napětí hlasivek. *Articulatio cricoarytaenoidea* je párový kloub a spojuje vyklenutou pravou a levou plošku prstencové chrupavky s jamkou chrupavky hlasivkové. Umožňuje především abdukci a addukci hlasových vazů při fonaci a dýchání (obr. 3) (Čihák, 1986).

Hlavní funkce hrtanu a spoluúčasti hlasivek jsou dýchání a tvorba hlasu. Dýchání je spojeno s otevíráním *rima glottidis*, která je při fonaci sevřená, při klidném dýchání a šepotu je uzavřená do úzkého trojúhelníku, při středně intenzivním dýchání se štěrbina rovnoměrně mírně otvírá a při usilovném dýchání se štěrbina otvírá doširoka (obr. 4) (Čihák, 1986).



Obrázek 4 Postavení hlasových vazů za různých okolností (upraveno dle Čiháka, 1986)

A – při tvorbě hlasu, B – při klidovém dýchání a šepotu, C – při středně intenzivním dýchání, D – při usilovném dýchání

Svalstvo hrtanu a jeho funkce

Svaly hrtanu jsou příčně pruhované a všechny vlastní svaly hrtanu jsou párové, ovládající pohyby chrupavek hrtanu. Určují napětí hlasových vazů a šířku štěrbiny mezi nimi (Čihák, 1986). Pozici hrtanu udávají svaly vnější, které spolupracují se svaly hyoidními. Ty kontrolují pozici hrtanu vůči sternu a jazylce.

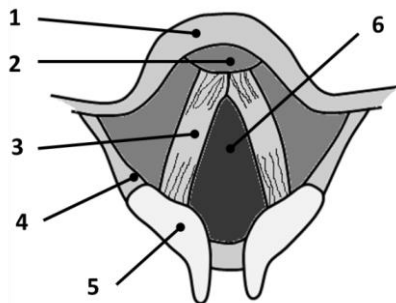
Vlastní svaly jsou uloženy ve třech skupinách: vpředu – *m. cricothyroideus*, který sklání štítnou chrupavku dopředu a napíná hlasové vazy; po stranách – *m. cricoarytaenoideus lateralis*, rotující s hlasivkovou chrupavkou, *m. thyroarytaenoideus*, jenž spolupůsobí při sevření hlasových vazů, *m. thyroepiglotticus*, tahající za okraj epiglottis a rozšiřující tak vchod do hrtanu; svaly uložené vzadu – *m. cricoarytaenoideus posterior* – uklání hlasivkovou chrupavku laterálně a rotuje jí zevně a tím rozevívá štěrbinu mezi hlasovými vazy a vazy současně napíná, při každém vdechu se sval smršťuje. Obrna tohoto svalu znamená značné poškození fonace i volného průchodu vzduchu při dýchání. *M. arytaenoideus* – spojuje na zadní straně hlasivkové chrupavky a *m. aryepiglotticus* – sklání epiglottis dozadu ke vchodu do hrtanu, který současně zmenšuje (Čihák, 1986).

Hrtanová dutina (cavitas laryngis)

Hrtanová dutina (obr. 5) je vystlána sliznicí, nachází se uvnitř hrtanu a dělí se na hrtanovou předsíň (*vestibulum laryngis*), jež se nálevkovitě zužuje shora dolů a hrtanovou komoru (*ventriculus laryngis*). Mezi těmito částmi je zúžená partie, kde je umístěna hlasivka (Hajn, 1998). Nad hlasivkami se nacházejí dvě slizniční, vestibulární řasy (*plicae vestibulares*), kterým se jinak říká „falešné hlasivky“ (Machová, 2008).

3.2.2.2 Hlasivka (*glottis*)

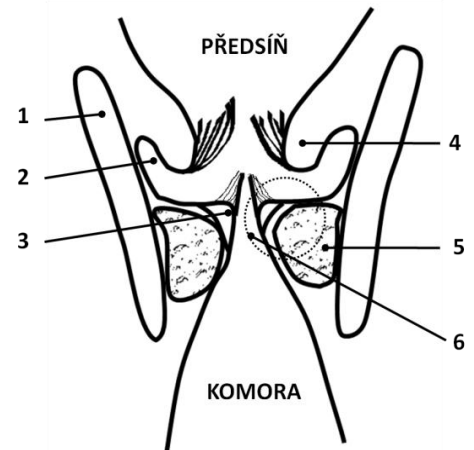
Hlasivka (obr. 6) neboli hlasivková řasa (*plicae vocales*) je umístěna mezi hrtanovou předsíní a hrtanovou komorou, tedy mezi subglotickým a supraglotickým prostorem.



Obrázek 6 Schéma hlasivky (upraveno dle Hály, 1962)

1 – cartilago thyroidea, 2 – zadní plocha epliglottis, 3 – hlasivková řasa, 4 – cartilago cricoidea, 5 – cartilago arytenoidea, 6 – hlasivková štěrbina

a elastických vláken. Střední vrstva laminy propria se skládá především z vláken elastických a třetí, hluboká vrstva je tvořena zejména kolagenními vlákny. Poslední vrstva hlasivek je hlasivkový sval (*musculus vocalis*) (Šlapák, a další, 2009).

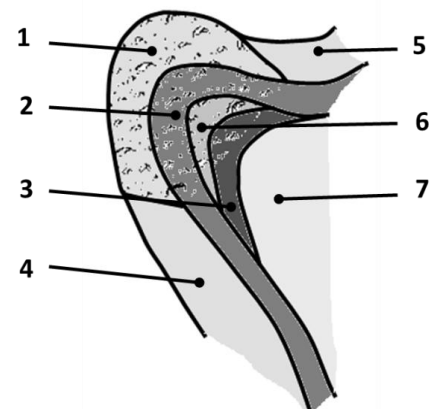


Obrázek 5 Svislý průřez hlasivkami v čelní rovině (upraveno dle Hály, 1962)

1 – destička chrupavky štítné, 2 – hrtanový výchlípek, 3 – vaz hlasivkový a hlasivka, 4 – vestibulární řasa, 5 – hlasový sval, 6 – detailní zobrazení hlasivky je zobrazeno na obr. 7

Podklad pro hlasivkové řasy tvoří hlasivkový vaz (*ligamentum vocale*) a *musculus thyroarytaenoideus*, jenž je rozpjatý po vnější straně vazů od štítné chrupavky na *processus vocalis* a anterolaterální plochu hlasivkové chrupavky (Čihák, 1986).

Struktura hlasivek (obr. 7) popsaná Hiranem (1974) je vícevrstevná. Na povrchu se nachází vrstevnatý dlaždicový epitel. Dále se hlasivka skládá ze subepiteliální tkáně – lamina propria, která má tři vrstvy. Na epitel navazuje Reinckeho prostor, což je řídká tkáň obsahující malé množství fibroblastů, kolagenních



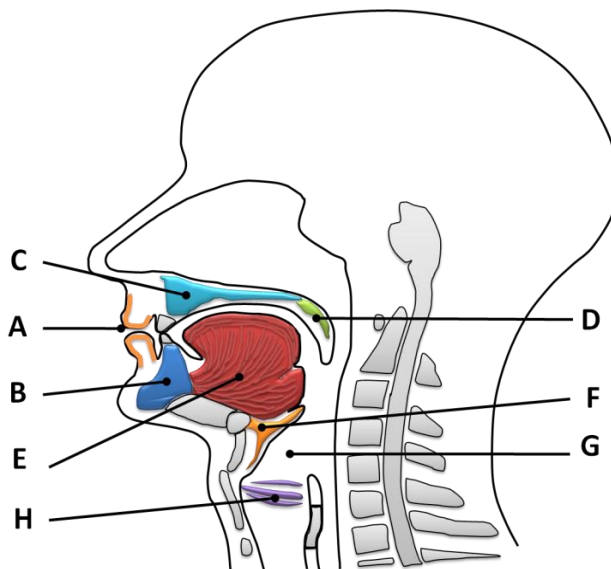
Obrázek 7 Detailní zobrazení hlasivky (upraveno dle Zemlina, 1988) ↗

1 – vrstevnatý dlaždicový epitel, 2 – střední vrstva laminy propria, 3 – řasinkový cylindrický epitel, 4 – slizniční epitel složený z 1 a 3, 5 – povrchová vrstva laminy propria, 6 – spodní, hluboká vrstva laminy propria, 7 – hlasivkový sval

Rozechvěním *plicae vocales* proudem vzduchu za výdechu vzniká ve štěrbině zvuk, získávající individuální zabarvení lidského hlasu resonancí v dutinách, které jsou uloženy výše, tzn. hrtan, hltan, ústní dutina, nosní dutina a vedlejší dutiny nosní.

3.2.3 Modifikační ústrojí

Modifikační neboli artikulační ústrojí je uloženo nad hrtanem a označuje se také jako vokální trakt. Skládá se ze supraglottické dutiny zahrnující hltan, dutiny nosní a dutiny ústní (rty, jazyk, zuby, tvrdé a měkké patro). Funkcí artikulačního ústrojí je tvorba řeči (Hála, a další, 1962; Matug, 2008). Významné části supraglottického traktu nazýváme aktivní vokální artikulátory („mluvidla“) (obr.8).



Obrázek 8 Aktivní vokální artikulátory (upraveno dle Hály, 1962)

A – rty (labia), B – dolní čelist (mandibula), C – tvrdé patro (palatum durum), D – měkké patro (palatum molle), E – jazyk (lingua), F – příklopka hrtanová (epiglottis), G – hrtan (larynx), H – hlasivky (glottis)

Je to především dolní čelist (*mandibula*) jejímž pohybem se mění velikost čelistního úhlu, uvnitř ústní dutiny je to *velum*, zejména jeho nejzadnější část čípek (*uvula*), další nejdůležitější artikulační orgány jazyk (*lingua*) a rty (*labia*). Mimo ústní dutinu jsou aktivním orgánem hlasivky (*glottis*). Při tvoření souhlásek jsou měkké patro a rty pasivními orgány (Matug, 2008).

3.2.3.1 Hltan (*pharynx*)

Jedná se o trubicovitý útvar (obr. 9) dlouhý cca 12 – 14 cm, který je tvořen třemi částmi – nosní (*pars nasalis, nasopharynx*), ústní (*pars oralis, oropharynx*) a hrtanová část (*pars laryngea, laryngopharynx*) a je zavěšen na spodině lebeční (Fleischmann, a další, 1964). Kraniálně je hltan slepě zakončen klenbou – *fornix pharyngis*. Kaudálně se hltan mírně zužuje a sahá do výše krčního obratle C₆, kde v úrovni prstenčité chrupavky přechází do trubicovitého jícnu (Dylevský, a další, 1990).

Svalovina je příčně pruhovaná uspořádaná jako svěrače – *mm. constrictores pharyngis*, které probíhají cirkulárně – a zdvihače hltanu – *mm. levatores pharyngis*, které jsou orientovány podélně (Čihák, 1986).

Svěrače, tzv. konstriktory, začínají na pevných útvarech po obou stranách otvorů z nosu, z úst a z hrtanu. Upínají se na zadní stěně hltanu ve střední čáře do vazivového švu. Tyto svěrače jsou tři a každý z nich má ještě své typické části. První z konstriktorů je *musculus constrictor pharyngis superior*. Při stahu vyklenuje horní svěrač zadní stěnu hltanu dopředu proti měkkému patru a za současného zdvižení měkkého patra uzavírá při polykání prostor nosohltanu před vniknutím potravy nebo tekutiny. Ostatní svěrače – *musculus constrictor pharyngis medius* a *musculus constrictor pharyngis inferior* kontrolují průměr hltanu a účastní se tak na pohybu stravy (Čihák, 1986).

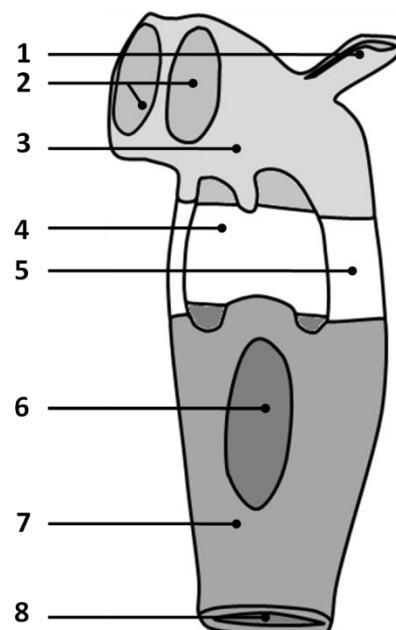
Zdvihače hltanu, tzv. levátory, sestupují ke stěně tvořené svěrači a přikládají se k nim zvenčí a zevnitř. Jejich funkcí je zdvihát hltan při polykání, stahovat patro, zužovat vchod do hltanu (Čihák, 1986).

Hltan s měkkým patrem spolupracují při dýchání, při polykání a při fonaci. Při fonaci se podle jednotlivých hlásek zdvihá měkké patro a spolu s hltanem uzavírá nebo otevírá cestu resonanci hlásek v nosohltanu a v dutině nosní (Čihák, 1986).

3.2.3.2 Dutina nosní (nasální)

Další resonanční prostor (obr. 2, B), který se však využívá jen při výslovnosti nosových hlásek (nasál). V češtině to jsou zejména souhlásky [m:] a [n:]. Při většině hlásek je průchod do nosní dutiny uzavřen tím, že se měkké patro (*velum* či *palatum molle*) zvedá a přitiskuje k zadní stěně dutiny ústní. *Velum* je orgán, jehož primární funkcí je zavírat vstup do nosní dutiny při polykání potravy. Při dýchání je naopak spuštěno a vzduch tak volně prochází mezi plícemi a chřípím nosu. Při artikulaci je v měkkém patru vždy určité napětí.

V některých jazycích se vytvořily i nasální samohlásky, tzv. nosovky, a to například v polštině nebo francouzštině, u nichž je resonance uplatněna v celém průběhu trvání hlásky, nebo jen částečně. České samohlásky mohou být pouze „nazalizovány“, tzn., že při méně pečlivé výslovnosti mohou získat nosní přídech v sousedství nazál (Matug, 2008).



Obrázek 9 Hltan (pharynx) a jeho části (upraveno podle Čiháka, 1986)

1 – Eustachova trubice, 2 – průchod do dutiny nosní, 3 – nosohltan, 4 - průchod do dutiny ústní, 5 – ústní část hltanu, 6 - průchod do hrtanu (dýchání), 7 - hrtanová část hltanu, 8 – průchod do jícnu

3.2.3.3 Dutina ústní (orální)

Vpředu je dutina ústní ohraničena rty a vzadu přechází do dutiny hrtanové (obr. 2, A). Uplatňuje se při řeči jako rezonanční prostor, který je přítomen u realizace každé hlásky. Objem dutiny ústní je proměnlivý a pozměňuje se jak pohybem jazyka, tak pohybem rtů a čelistí. Těchto změn spolu se změnami dutiny hrtanové se využívá pro vytváření samohlásek. Taktéž spolupracují i při tvorbě souhlásek. Přehrada v dutině ústní, kterou se souhláska tvoří, člení prostor úst a důsledkem je pak charakteristická výška šumu. Velký význam dutiny ústní pro výslovnost je především v tom, že v ní probíhá diferenciací většiny zvuků řeči. Jsou v ní nebo na jejím okraji uloženy aktivní i pasivní vokální orgány. Aktivní orgány jsou pohyblivé, jako pasivní orgány označujeme místa, na nichž se vytváří překážky nutné pro vytvoření souhlásek (Matug, 2008; Hajn, 1998).

Patro (*palatum*)

Patro (*palatum*) je horizontální přepážka, která odděluje dutinu ústní od dutiny nosní a nosohltanu. Je rozděleno na dvě části, a to patro tvrdé a patro měkké. Přední část *palata* je *palatum durum*, tedy tvrdé patro, které je kostěného původu. V zadní části na něj navazuje patro měkké (*palatum molle*). Sliznice tvrdého patra srůstá s periostem (Čihák, 1986).

Měkké patro (*palatum molle*)

Je to pohyblivá ploténka navazující vzadu na tvrdé patro. Podkladem měkkého patra je patrová šlachová blána (*aponeuris palatina*). Povrch je kryt sliznicí. V klidu se od tvrdého patra sklání šikmo dozadu a dolů. Uprostřed zadního okraje vyčnívá čípek (*uvula palatina*) (Čihák, 1986).

Svaly patra se upínají do vazivové blány a umožňují pohyby měkkého patra, především zdvihač měkkého patra a napínač měkkého patra (Fleischmann, a další, 1964). Činností tohoto svalstva se může *palatum molle* zdvihat vzhůru a vytvářet tak patrohltanový uzávěr, který odděluje dutinu nosní a nosohltan od dutiny ústní při polykání a většině mluvních pohybů (Machová, 2008). Svým pohybem mění tvar a velikost přechodu ústní dutiny do hltanu, tzv. hltanové úžiny. Taktéž se účastní tvorby patrových hlásek [h, ch, k, g] a svým tahem vytvářejí v ústní dutině podtlak nutný pro sání (Dylevský, a další, 1990).

Funkce při artikulaci a fonaci:

Měkké patro může mít při artikulaci jak funkci pasivní, tak aktivní. Pasivně slouží jako protějšek při artikulaci zadní části jazyka, jeho aktivní činnost spočívá v uzavírání dutiny nosní proti hltanu tvorbou patrohltanového uzávěru. Tento závěr je vytvářen u většiny hlásek,

kromě tzv. nosovek. Měkké patro je během řeči velmi aktivním orgánem. Čípek je pouze pasivně rozkmitán pohyby měkkého patra a není často využívaným orgánem při tvorbě řeči (Palková, 1994).

Rty (labis oris)

Rty jsou dvě silné řasy kryté kůží zvenčí a sliznicí na straně dutiny ústní. Člověk má horní (*labium superius*) a dolní ret (*labium inferius*), které uzavírají svými volnými okraji horizontální štěrbinu ústní (*rima oris*). Na jejich zevních okrajích se oba rty stýkají jako koutky ústní (*anguli oris*). Patří mezi aktivní artikulátory (Čihák, 1986).

Funkce při artikulaci a fonaci:

Rty se na tvorbě řeči podílí dvojnásobným způsobem. Změna tvaru retní štěrbiny ovlivňuje zvuk tvořený v nadhrtanových dutinách a postavení rtů může být neutrální, zaokrouhlování a zaostřování (obr. 10). Pomocí rtů se vytváří samostatné zvuky šumové povahy, tzv. hlásky retné (Palková, 1994).



Obrázek 10 Základní varianty retní štěrbiny (upraveno dle Hály, 1962)

A – neutrální, B – zaokrouhlování, C – zaostřování

Jazyk (lingua)

Jazyk je svalový orgán krytý sliznicí. Je spojen s dolní čelistí, jazykou, měkkým patrem, bodcovitým výběžkem (*processus styloideus*) a se stěnou hltanu. Je tvořen příčně pruhovaným svalstvem, krytým sliznicí. Na jazyku jsou rozeznávány tři hlavní části: kořen jazyka (*radix linguae*) – což je zadní část obrácená dozadu do hltanu, směrem dopředu pokračuje jako tělo neboli hřbet jazyka (*corpus linguae*) – tj. hlavní část opřená při zavřených ústech o patro. Tělo jazyka přechází v zúženou, volně pohyblivou část, která se nazývá hrot či špička jazyka (*apex linguae*) (Čihák, 1986; Hajn, 1998).

Svalstvo jazyka:

Při artikulaci mění jazyk svůj tvar i pozici, což je zapříčiněno dvěma typy svalstva. Vlastní tzv. intraglosální svaly jazyka mění jeho tvar. Začínají a končí přímo v jazyku a jsou uspořádány ve třech navzájem kolmých směrech. Jsou to: *musculus longitudinalis superior* a *musculus longitudinalis inferior*, které jazyk zkracují, dále *musculus transversus linguae*, který jazyk zkracuje a funkci zužování má *musculus verticalis linguae*.

Vnější tzv. extraglosální svalstvo přichází do jazyka z okolních kostních útvarů (jazyčky, dolní čelisti, bodcovitého výběžku kosti spánkové) a pohybuje jazykem jako celkem, tj. mění jeho pozici. *Musculus genioglossus* přitahuje jazyk ke spodině úst, *musculus hyoglossus* táhne jazyk dozadu a dolů. *Musculus styloglossus* má za hlavní funkci pohybovat hrotem jazyka dozadu, tělem a kořenem pak vzhůru (Čihák, 1986).

To je důvod, proč je jazyk tak nesmírně pohyblivý a lze se jím dotknout všech míst dutiny ústní. Pohyblivost jazyka se uplatňuje nejen při formování sousta a jeho vpravení do hltanu, ale podílí se i na tvorbě některých hlásek (Fleischmann, a další, 1964).

Zuby (dentes)

Zuby jsou důležité především pro mechanické zpracování potravy, při jejich ztrátě však dochází k nedostatečnému rozmělnění stravy, k nedokonalému trávení, a tím k poruchám ve výživě. Také se pasivně účastní řeči. Zuby, především řezáky, slouží při artikulaci jako pasivní protějšek rtů a hrotu jazyka. Alveolární výstupek je pasivní protějšek při artikulaci horní části těla jazyka (Palková, 1994).

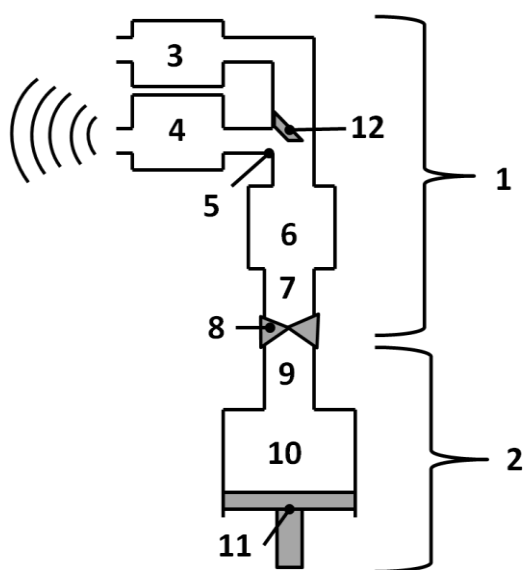
3.3 Hlasový akustický systém

Hlas se vytváří v dýchacím ústrojí. Anatomicky toto ústrojí zahrnuje plíce, průdušky, průdušnici, hrtan, hltan a ústní a nosní dutinu. V souvislosti s vytvářením hlasu se hovoří o dýchacím ústrojí jako o hlasovém akustickém systému (obr. 11) (Švec, 1996).

Nejdůležitějším rezonančním prostorem hlasového akustického systému je část supraglotického prostoru zvaná vokální trakt, který se v největší míře podílí na artikulaci a zaujímá prostor mezi hlasivkami a ústním otvorem (Gilániová, 2009; Švec, 1996).

3.3.1 Teorie zdroje a filtru

Tvorba hlasu probíhá ve dvou fázích (obr. 12). Nejprve je původně statický vzdušný tlak, který vzniká kompresí plic, transformován



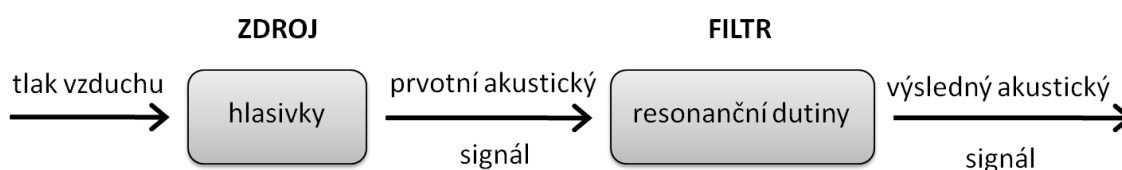
Obrázek 11 Schéma hlasového akustického systému (podle Flanagana, 1965)

1 – supraglotický trakt (horní cesty dýchací), 2 – subglotický trakt (dolní cesty dýchací), 3 – nosní dutina, 4 – ústní dutina, 5 – jazyk, 6 – hltan, 7 – hrtan, 8 – hlasivky, 9 – průdušnice a průdušky, 10 – plíce, 11 – dýchací svaly, 12 – patrohltanový uzávěr

kmitáním hlasivek na tlak akustický. Vzniká tak prvotní akustický signál. Poté je tento akustický signál převeden v supraglotických rezonančních dutinách do výsledného akustického signálu. Tato cesta přes dva stupně k vytvoření hlasu se nazývá teorií zdroje a filtru (z anglického source-filter theory) (Švec, 1996; Gilániová, 2009).

Filtr – funkce rezonančních dutin

Kmity hlasivek vytváří akustický signál, který se šíří rezonančními dutinami supraglotického traktu. Dochází k jeho transformaci a zvuk získává typickou barvu lidského hlasu.



Obrázek 12 Dva stupně tvoření hlasu (upraveno podle Švece, 1996)

3.3.2 Tvorba hlasu

Vytváření hlasu se děje pomocí glottis, jejíž okraje, které jsou podloženy hlasovými vazami, se pomocí pohybů hrtanových svalů (pohyby chrupavek) napínají a vzájemně sblíží nebo oddalují. Napjaté hlasové vazy při úzké štěrbině se proudem vzduchu při výdechu rozechvívají a vzniká tón, jehož výška – tedy kmitočet – závisí na délce, napětí a tloušťce *pliae vocales*, a jehož intenzita – tedy amplituda kmitů – závisí na síle vzdušného proudu. Tón je sám o sobě slabý a řezavý, ale rezonancí v dutinách nad hrtanem (hltan, ústní a nosní dutina a vedlejší dutiny nosní) je formován do barvy lidského hlasu (Čihák, 1986; Machová, 2008).

3.3.2.1 Teorie tvorby hlasu

Teorie tvorby hlasu byla definována Van den Bergem v roce 1958. Byla nazvána jako „myoelasticko-aerodynamická teorie“, která vysvětluje vznik hlasu činností hlasivkových svalů a vlivem tlaku vydechaného vzduchu. Její platnost je všeobecně uznávaná odbornou veřejností, která na tuto teorii pak navazovala a dosud stále navazuje převážná část světových odborníků, zabývajících se tvorbou lidského hlasu a především tvorbou zdrojového hlasu, který generují hlasivky (Matug, 2008; Gilániová, 2009; Švec, 1996).

Podle této teorie vydechaný vzduch vytváří pod uzavřenými hlasivkami přetlak. Vlivem tohoto přetlaku dochází na krátký okamžik k oddálení hlasivkových řas, které jsou ve fonační poloze spojené ve středové čáře, a rozevření hlasivkové štěrbin, kterou unikne určité kvantum vzduchu. Tím se zmenší tlak vydechaného vzduchu a hlasivkové řasy se díky pružnosti

opět sblíží. Střídavým rozevíráním a zavíráním hlasivkové štěrby dochází k periodickému zředování a zhušťování vzduchu nad hlasivkami a tím ke tvorbě hlasu. Hlasová štěrbina má v průběhu fonace eliptický tvar (Chmelíčková, 2011).

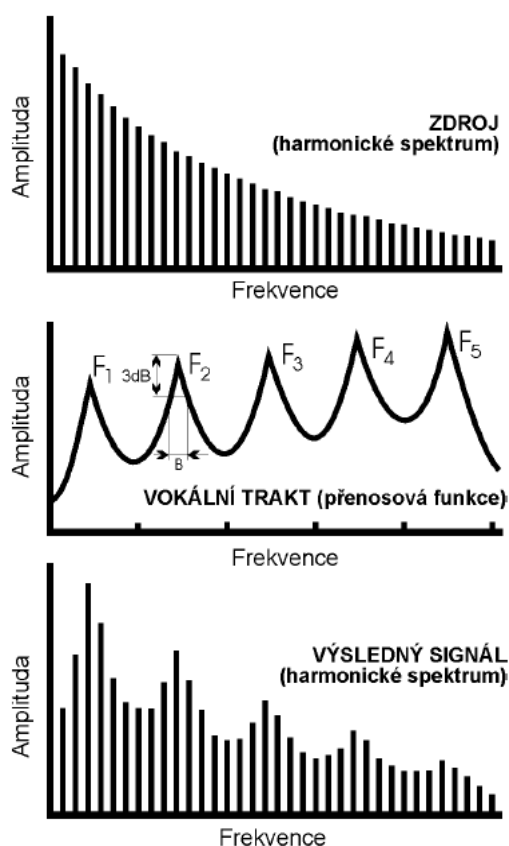
Hlavními silami, působícími na hlasivky při fonaci jsou subglotický tlak pod hlasivkami a v celé trachei. Tento přetlak působí na poměrně velkou vnitřní plochu subglotické oblasti hlasivek, takže poměrně značná síla rozevírá hlasivky. Dále zde působí pružné síly hlasivkových svalů, které působí proti rozevírání hlasivek a setrvačné síly hlasivek. (Matug, 2008; Gilániová, 2009).

3.3.3 Formant

Než se dostaneme k tomu, jak se tvoří řeč, je třeba zmínit důležitý pojem, který provází celou akustiku - jedná se o formant.

Formanty jsou definovány, jak v akustice, tak fonetice, jako píky (maxima) v obálce frekvenčního spektra, které korespondují s rezonančními frekvencemi vokálního traktu. Frekvence rezonancí charakterizují kvalitu samohlásky (Harrison, 2004).

Formanty vznikají rezonancí jak v dutinách hudebních nástrojů, tak - a to nás především zajímá - v dutinách hlasového ústrojí. Pro tónové zvuky, které vznikají rezonancí v nadhrtanových dutinách, se používá termín *formanty*. Jedná se o různé oblasti s nahromaděnou akustickou energií a základní tón bývá označován ve spektru jako formant „nulový“ F0. V pořadí první (nejhlubší) maximum v obálce frekvenčního spektra nad základním tónem je formant první, tedy F1, poté následuje druhý formant F2, atd. Oblasti s potlačenou energií se nazývají antiformanty (Kučera, a další, 2010; Palková, 1994; Hála, a další, 1962).



Obrázek 13 Formování frekvenčního spektra hlasu (převzato od Švece, 1996)

Spektrum zdroje je modifikováno rezonancemi vokálního traktu do výsledného signálu. Resonanční oblasti vokálního traktu se nazývají formanty (na obr. uprostřed značeny jako F1 až F5). Resonanční šířka formantu B určuje velikost tlumení rezonančních oscilací.

Vlastnosti formantů v závislosti na tvaru vokálního traktu jsou (1) délka vokálního traktu¹, (2) zaokrouhlení rtů či otevření čelisti², (3) poloha jazyka³, (4) pharyngální zúžení⁴ a (5) nazalizace⁵ (Kučera, a další, 2010).

Formování frekvenčního spektra

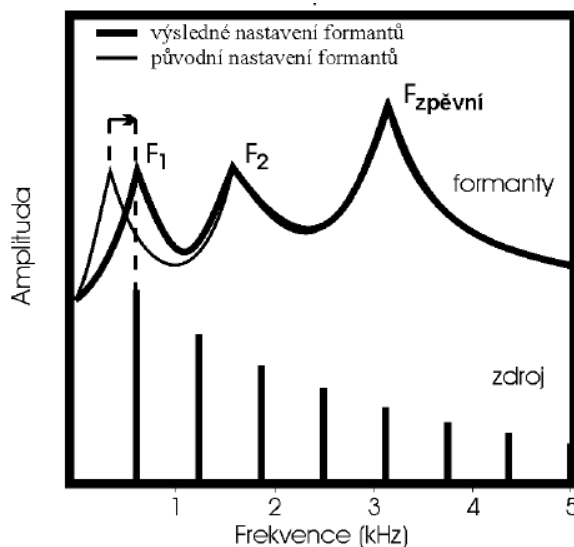
Formování frekvenčního spektra samohlásek je znázorněno na obr. 13. Harmonické spektrum primárního akustického signálu je zobrazeno na obrázku jako první graf. Harmonické složky zdroje jsou charakterizovány monotónně klesající amplitudou ve směru k vyšším frekvencím. Prostřední graf tohoto obrázku zobrazuje přenosovou funkci vokálního traktu, podle které se modifikuje spektrum primárního tónu. Jako rezonanční maxima se zde objevují formantové oblasti na přenosové funkci. Na grafu lze rozeznat pět rezonančních maxim – formantů označovaných F1 – F5 rezonanční minima zvané antiformanty. Třetí, poslední, graf na obr. 13 vykazuje výsledný signál, kdy je zdrojové spektrum modulováno přenosovou funkcí vokálního traktu. Je to tedy kombinace příspěvků jak od zdroje, tak od rezonančních dutin (Kučera, a další, 2010; Švec, 1996).

Ladění formantu

Ladění formantu (obr. 14) spočívá ve změně tvaru rezonanční dutiny. Tím se frekvence formantu naladí na frekvenci některého harmonického tónu a dochází k výraznému posílení dané frekvence. Využívá se toho především v ladění oblasti F1, vzácněji formantu F2, a také při zpěvu (Kučera, a další, 2010).

Funkce formantů u zpěvního hlasu

Hlasivky se starají o výšku tónu, o jeho intenzitu a vytváří základ pro výslednou barvu hlasu. Ta se dotváří nastavením vokálního traktu a při tom,



Obrázek 14 Ladění formantu F1 na frekvenci hlasivek (převzato od Švece, 1996)

¹ se zvyšující se délkou vokálního traktu se prohlubují polohy všech formantů

² zúžení rtů snižuje polohu všech formantů, otevřením čelisti se zvyšuje poloha F1

³ poloha jazyka vytváří zúžení v dutině ústní – přední zúžení (elevace přední části jazyka snižuje polohu F1 a zvyšuje polohu F2), zadní zúžení (zvýšení zadní části jazyka snižuje F2)

⁴ zúžení hltanu zvyšuje F1

⁵ otevření měkkého patra a připojení nosové dutiny k vokálnímu traktu, která ovlivní vytvoření tzv. antiformantů (část spekter s potlačenou energií)

z fonetického hlediska, určuje hlásku. Bylo zjištěno, že při zpěvním hlasu, zejména při zpěvu operním, lze využít formantových frekvencí pro zesílení intenzity hlasu a „zkvalitnění“ jeho barvy. Spočívá to ve dvou možných mechanismech využívání formantových frekvencí při zpěvu, a to mechanismus vytváření tzv. „pěveckého formantu“ (z anglického singer's formant) a metoda „ladění formantů“ (z anglického formant tuning) (Švec, 1996).

3.3.4 Tvorba řeči

Vznik řeči – jejích samohlásek a souhlásek – probíhá v rezonančních dutinách v dutině ústní a hltanu. Při řeči má každá hláska (jak souhláska, tak samohláska) své charakteristické formanty, podle kterých je akusticky rozpoznatelná od jiných hlásek. U samohlásek (vokálů) je transformován pouze původní hlasivkový akustický signál, u souhlásek (konzonant) se na výsledném zvuku mohou podílet i jiné akustické zdroje, jako jazyk či rty (Hála, a další, 1962).

Samohlásky vznikají resonancí, kdy v každé z nich odpovídá určitý tvar dutiny ústní podle polohy jazyka a postavení rtů. Pro vznik samohlásek je potřeba těsného sblížení a kmitů hlasivkových řas (Krčmová, 2007; Dylevský, 2000).

Souhlásky vznikají za současné funkce zvuku z hrtanu při průchodu vzduchu zúženými místy: mezi zuby (písmena [s], [z], [t]), při určitém postavení jazyka vůči patru ([l], [r]), nárazem vzduchu mezi rty ([b], [p], [v]), náhlým otevřením závěru mezi hřbetem jazyka a měkkým patrem ([k]), nárazem vzduchu na uzavřené rty a únikem vzduchu kolem uvolněného měkkého patra do dutiny nosní ([m]), nebo nárazem vzduchu na přední část jazyka přitisknutého k patru a obdobným únikem vzduchu kolem měkkého patra do nosní dutiny ([n]) (Čihák, 1986). Při tvorbě souhlásek ([f], [s], [š], [ch]) jsou hlasivky klidně rozevřeny jako při dýchání. Znělé souhlásky jsou vytvářeny kmity při lehkém přiblížení hlasivkových řas. Při jejich těsném sblížení bez kmitů vzniká vzduchový proud při výslovnosti písmen ([p], [t], [c], [ť], [k]) (Dylevský, 2000; Krčmová, 2007).

3.3.5 Tvorba samohlásek - artikulace a fonace vokálů [a:] a [e:]

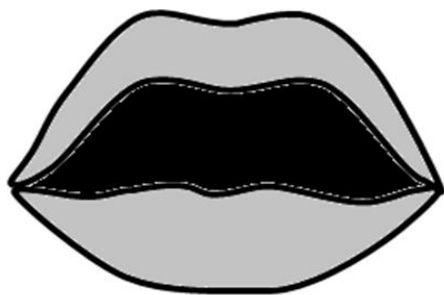
Při tvorbě samohlásek, tzv. vokálů, se vokální trakt nastavuje do určitého typického tvaru. Tyto různé tvary vedou k různým polohám formantů. Bylo zjištěno, že pro percepci samohlásek hrají hlavní roli dva nejnižší formanty vokálního traktu, které jsou závislé na rozměrech dutiny ústní a hrtanové dutiny (Švec, 1996; Hála, a další, 1962; Fant, 1960).

Artikulací se obecně rozumí časově koordinovaná činnost dýchací, fonační a artikulační složky hlasového ústrojí. V užším slova smyslu je artikulace myšlena jako spolupráce orgánů uložených v dutině ústní na tvorbě hlásek (Hála, a další, 1962).

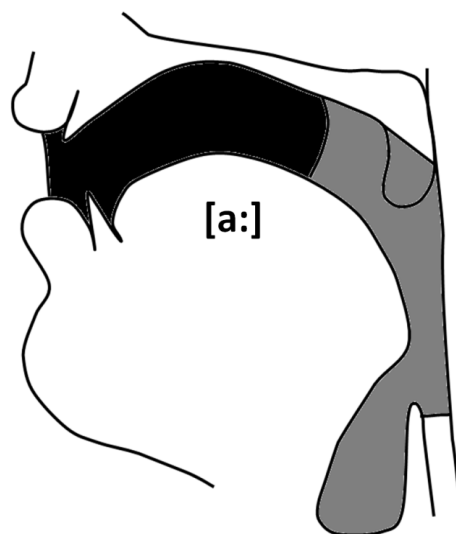
3.3.5.1 Vokál [a:]

Při fonaci vokálu [a:] je dutina ústní celkem volná, ústa jsou otevřena nejvíce a jazyk se patra vůbec nedotkne (Hála, a další, 1962). Podoba ústního otvoru je zobrazena na obr. 15. Samohláska neboli vokál [a:] patří dle postavení rtů mezi samohlásky nezaokrouhlené (Palková, 1994).

Podle fyziologicko-artikulačních i akustických vlastností se řadí vokál [a:] do samohlásek *středních*. Jazyk se nesune ani dopředu, ani dozadu, a je uložen mezi dolními zuby. Na obr. 14 lze vidět, že dutina ústní (vyznačena černě) je zešíroka otevřená a dlouhá, dutina hrdelní (šedě; z anatomického hlediska se jedná o dutiny nosohltanovou a hltanovou) je dlouhá a široká (Hála, a další, 1962). Čelistní úhel se zřetelně výrazně otevírá, retní štěrbinu je v důsledku toho taktéž zřetelně otevřena. Měkké patro je zdviženo, čípek směřuje šikmo do dutiny ústní (Palková, 1994). Charakteristický tón středních samohlásek je hlubší při předních vokálech (tj. [e:] a [i:]), ale ne zas tak hluboký jako při zadních ([o:] a [u:]). Z hlediska artikulace patří [a:] mezi střední a nízké samohlásky (Hála, a další, 1962).



Obrázek 15 Podoba ústního otvoru při vokálu [a:]
(upraveno dle Hály, 1962) ↑

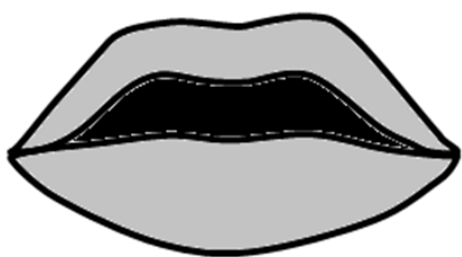


Obrázek 16 Nákres nastavení mluvidel při vokálu [a:] (upraveno dle Hály, 1962) ↗

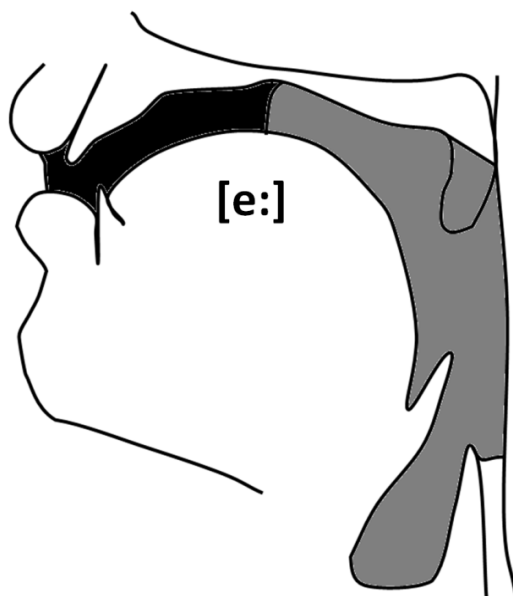
Podle fonetického dělení vyznačuje černá oblast obrázku dutinu ústní a šedá oblast dutinu hrdelní (více v publikacích prof. Bohuslava Hály). V této práci se však tímto dělením nezabýváme, proto černá část je z anatomického hlediska dutina ústní a šedě dutina hltanová a nosohltanová.

3.3.5.2 Vokál [e:]

Podle postavení rtů se řadí vokál [e:] do skupiny neutrální až zaokrouhlené (obr. 17). Z fyziologicko-artikulačních i akustických vlastností se řadí samohláska [e:] do skupiny přední, palatální (zvané podle artikulace pod tvrdým patrem). Jazyk se sune kupředu a zároveň vzhůru. Přední část hřbetu jazyka je zdvižena proti paterní klenbě v oblasti přední části tvrdého patra (obr. 18). Při artikulaci samohlásky [e:] je špička jazyka nasměrována za dolní řezáky. Čelistní úhel je pak mírně rozevřen a retní štěrbina je úzká. Vzniká mírný pohyb do stran a poloha měkkého patra je vyzdvižena. Ústa se postupně přivírají, retní štěrbina se zužuje. Dutina ústní se postupně zmenšuje a tón zvyšuje. Souhlasně s pohybem jazyka dopředu se rozšiřuje dutina hrdelní (z anatomického hlediska se jedná o dutiny nosohltanovou a hltanovou) (Hála, a další, 1962; Palková, 1994).



Obrázek 17 Podoba ústního otvoru při vokálu [e:]
(upraveno dle Hály, 1962) ↑



Obrázek 18 Náskres nastavení mluvidel při vokálu [e:] (upraveno dle Hály, 1962) ↗

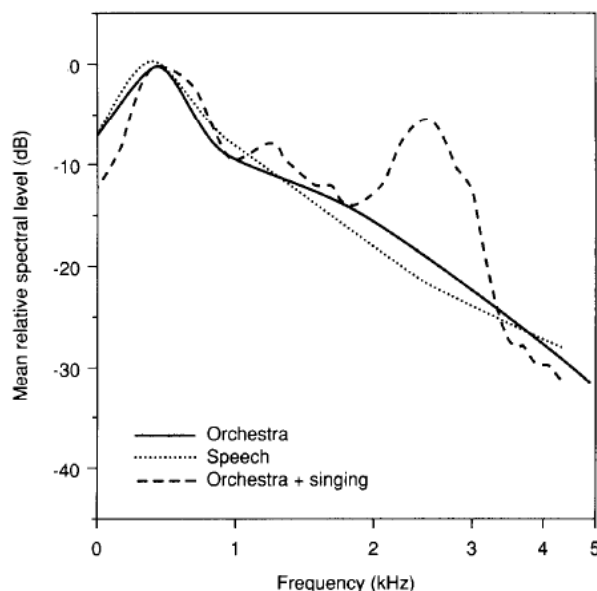
Dle fonetického členění je černě označena oblast dutiny ústní, šedě pak dutina hrdelní (více v publikacích prof. Bohuslava Hály), avšak v práci je zmiňováno anatomické dělení, kde černě je zobrazena dutina ústní, šedou barvou je vyznačena dutina nosohltanová a hltanová.

3.4 Pěvecký formant

Porovná-li se barva hlasu řeči operního zpěváka a zpěváka neoperního, je patrný rozdíl již na první poslech. Při studování spekter bylo zjištěno, že u operního zpěváka bývá většinou výrazný rezonanční vrchol v oblasti okolo 3000 Hz (různí autoři udávají hodnoty 2100 – 3500 Hz). Tato ustálená resonance zní stále během zpěvu a je typická pro vyškolený hlas operního zpěvu a je označována jako „pěvecký formant“ (z angl. singer's formant). Přiblížením formantů F3 a F4 (tedy oblast kolem 3000 Hz) dochází k vytvoření pěveckého formantu. K těmto formantům bývá ještě připojen zvláštní formant – artikulačně vytvořený modifikací hrtanového prostoru nad hlasivkami. Spoluprací těchto tří formantů se pak vytváří jeden výrazný rezonanční vrchol (Sundberg, 1974; Švec, 1996; Kučera, a další, 2010).

Zajímavostí je, že se dosud spekuluje, zdali mají pěvecký formant jen mužské hlasy, nebo i ženské. Pochybnosti o přítomnosti pěveckého formantu u žen jsou podmiňovány výškou základního tónu a prolínáním znějících vyšších harmonických tónů s frekvencí definovanou jako pěvecký formant (Kučera, a další, 2010).

Pěvecký formant je žádoucí kvalitou u školených hlasů v klasickém zpěvu. Umožňuje zesílení, zvýraznění hlasu a zpěvu na pozadí orchestru. V dřívějších letech byl srovnán formant orchestru a operního zpěváka (obr. 19) a bylo zjištěno, že pěvecký formant operního zpěváka v oblasti 3000 Hz se liší od formantu orchestru a běžného zpěvu či řeči především v síle zjišťovaných decibelů. Tak se odliší hlas zpěváka od orchestru a zlepší se jeho slyšitelnost⁶ (Sundberg, 1977; Švec, 1996; Kučera, a další, 2010). Při „neprofesionálním“ (běžném) mluvním hlasu pěvecký formant není patrný, u profesionálních mluvčích vzniká obdoba v podobě řečnického formantu („actor's“ nebo „speaker's“ formant) (Kučera, a další, 2010).



Obrázek 19 Porovnání sumárních spekter (převzato od Švece, 1996)

Porovnání sumárních spekter řeči (tečkovaně), operního orchestru (plná čára) a operního zpěváka (přerušovaně). U operního zpěváka je výrazná oblast frekvencí v pásmu mezi 2 – 3 kHz, která bývá nazývána pěveckým formantem.

⁶ lidský hlas má tónové spektrum obdobné jako nástroje v orchestru, kdežto pěvecký formant se pohybuje mimo toto spektrum (Kučera, a další, 2010)

3.5.3 Hlas zpěvní

Rozsah zpěvního hlasu

Podle tónového rozsahu i zvláštního hlasového zabarvení rozeznáváme tyto druhy zpěvního hlasu: bas ($E - e'$), baryton ($C - g'$), tenor ($H - h'$), alt ($e - e'$), mezzosoprán ($g - g''$), soprán ($h - h''$).⁷ Průměrný rozsah hlasu využívaného při zpěvu jsou tedy zhruba dvě oktávy. Do tohoto rozsahu jsou pojaty pouze ty tóny, které znějí úplně čistě i v píánu a mohou mít tedy umělecký význam. Svým omezením se hlas zpěvní liší od hlasu vůbec. Ten obsahuje i tóny, kterých se ve zpěvu nevyužívá ($2^{1/2}$ až $3^{3/4}$ oktávy). Celkový rozsah možností lidského hlasu bez ohledu na hlas zpěvní bývá odhadován na $C - g'''$ (Hála, a další, 1962).

S přibýváním tělesné výšky přibývá hlasové hloubky (hrtan je větší). U basů to bývá délka hlasivek 24 – 25 mm, u barytonů 21 – 22 mm, u tenorů asi 18 – 22 mm. Alt se vyznačuje délkou 18 – 19 mm a soprán 14 -19 mm (Hála, a další, 1962).

⁷ Údaj uvedený autorem Spiesse-Stockhausenem (převzato od Hály, kde není uveden rok publikace Spiesse-Stockhausena), o rozsahu zpěvního hlasu, zobrazeno na obr. 20. Často se autor od autora liší.

Taxonomie zpěváků

Mnohým lidem způsobovala taxonomie, kategorizace a definice zpěváků velké problémy – jak při výzkumných projektech, tak při lektorských činnostech. V návaznosti na tyto nedostatky byl spuštěn výzkum, jehož výstupem bylo rozdělení zpěváků do kategorií, které jsou v této kapitole ve zkratce zmíněny. Celá tato podkapitola je založena na taxonomii Meribeth Bunch a Janice Chapman (Bunch M., 2000), kteří získali podklady pro toto rozdělení.

Zpěváci, kteří byli předmětem zkoumání, byli rozděleni do devíti kategorií na základě dosažení jejich osvědčené výkonnosti. Jsou to:

1. Superstar – zpěvák celosvětové slávy a uznání, který dosahuje nejvyšších kvalit; je podporován silným marketingem a osobním doprovodem; není z dosahu očí veřejnosti a médií

1.1 *Opera*

1.2 *Současné muzikálové divadlo*

1.3 *Hudební divadlo*

1.4 *Koncert / oratorium / recitál*

1.5 *Primárně studiový umělec*

1.6 *Pop*

1.7 *Rock*

1.8 *Rap*

1.9 *Kabaret a klubová hudba*

1.10 *Jazz*

1.11 *Folk, lidová hudba*

1.12 *Gospelová a duchovní hudba*

1.13 *Country a westernová hudba*

pozn.: „studiový“ znamená, že umělec nebo zpěvák zaznamenává svůj hlas, zpěv na nahrávky v nahrávacím či jiném studiu

2. Mezinárodní – zpěvák, který hraje na mezinárodní scéně; drží se specifického žánru nebo stylu kategorie; má vysoké honoráře, agenturu a dosahuje vysoké úrovně odborné přípravy a podpory

2.1 *Opera*

2.2 *Současné muzikálové divadlo*

2.3 *Hudební divadlo*

2.4 *Koncert / oratorium / recitál*

2.5 *Přednostní umělci*

2.6 *Pop*

2.7 *Rock*

2.8 *Rap*

2.9 *Kabaret a klubová hudba*

2.10 *Jazz*

2.11 *Folk, lidová hudba*

2.12 *Gospelová a duchovní hudba*

2.13 *Country a westernová hudba*

2.14 *World music*

2.15 *Vokální skupiny*

pozn.: Termín *World music* se používá také v češtině, proto český překlad zde není.

3. Národní / velkoměstský – zpěvák uznávaný v daném státě či velkoměstě, který obvykle zpívá v příslušném jazyce či nářečí; dobré platové ohodnocení, agentura, přípravy a podpora je aktuální dle žadanosti

3.1 Opera

3.1a Hlavní role

3.1b Vedlejší role

3.1c Sbor

3.2 Současné muzikálové divadlo

3.2a Hlavní role

3.2b Vedlejší role

3.2c Soubor

3.3 Hudební divadlo

3.3a Hlavní role

3.3b Vedlejší role

3.3c Sbor

3.4 Koncert / oratorium / recitál

3.5 Přednostní umělci

3.6 Pop

3.7 Rock

3.8 Rap

3.9 Kabaret a klubová hudba

3.10 Jazz

3.11 Folk, lidová hudba

3.12 Gospelová a duchovní hudba

3.13 Country a westernová hudba

3.14 Hospodská hudba a karaoke

3.15 Kostel / katedrála

3.15a Sólista

3.15b Profesionální chóristé

3.15b1 Dospělý

3.15b2 Dítě

3.16 World music

3.17 Vokální skupiny

3.18 Sezónní zpěváci

3.19 Pouliční muzikanti / pouliční zpěváci

4. Regionální / turné (často sezónní) – obvykle zde spadá zpěvák mladý, získávající zkušenosti; může ještě studovat, může mít agenta a vzácně se propracuje na trh

4.1 Opera

4.1a Hlavní role

4.1b Vedlejší role

4.1c Sbor, náhradní sólista

4.2 Současné muzikálové divadlo

4.2a Hlavní role

4.2b Vedlejší role

4.2c Sbor, náhradní sólista

4.3 Hudební divadlo

4.3a Hlavní role

4.3b Vedlejší role

4.3c Soubor, náhradní sólista

4.4 Sezónní hudební divadlo / potulné společnosti / letní repertoárové divadlo / pantomima

4.5 Koncert / oratorium / recitál

4.6 Pop

4.7 Rock

4.8 Rap

4.9 Kabaret a klubová hudba

4.10 Jazz

4.11 Folk, lidová hudba

4.12 Gospelová a duchovní hudba

4.13 Country a westernová hudba

4.14 World music

4.15 Vokální skupiny

5. Místní komunita (často poloprofesionálové) – placení sólisté a zpěváci pro sporadické představení; placení za výkon, školenost je různorodá

5.1 *Opera (pouze hlavní role)*

5.2 *Současné muzikálové divadlo (pouze hlavní role)*

5.3 *Hudební divadlo (pouze hlavní role)*

5.4 *Koncert / oratorium / recitál*

5.5 *Kostelní sólista*

5.6 *Pop*

5.7 *Rock*

5.8 *Rap*

5.9 *Kabaret a klubová hudba*

5.10 *Jazz*

5.11 *Folk, lidová hudba*

5.12 *Gospelová a duchovní hudba*

5.13 *Country a westernová hudba*

5.14 *Hospodská hudba a karaoke*

5.15 *World music*

5.16 *Vokální skupiny*

5.17 *Pouliční muzikanti / pouliční zpěváci*

6. Učitelé zpěvu

6.1 *Univerzity / vysoké školy / střední školy / lidové školy*

6.2 *Soukromý učitel*

7. „Full-time“ studenti zpěvu (na plný úvazek, věk 18 – 25 let) v terciárních kurzech odborného školení, na vysokých školách, školy zaměřené na drama a hudbu

7.1 *Postgraduální speciální kurzy (firemní, univerzitní, konzervatorní)*

7.2 *Univerzity a vysoké a střední školy*

7.3 *Hudební a dramatické školy*

8. Amatér – zpívá pro radost (neplacené, ale ne neodměněné)

9. Dítě – předpubertální hlas

9.1 *Sólista opery*

9.2 *Muzikálový sólista*

9.3 *Sólista hudebního divadla*

9.4 *Sólista oratoria*

9.5 *Studioví umělci*

9.6 *Pop*

9.7 *Rock*

9.8 *Rap*

9.9 *Dětský sbor*

4 Praktická část

4.1 Cíl výzkumu

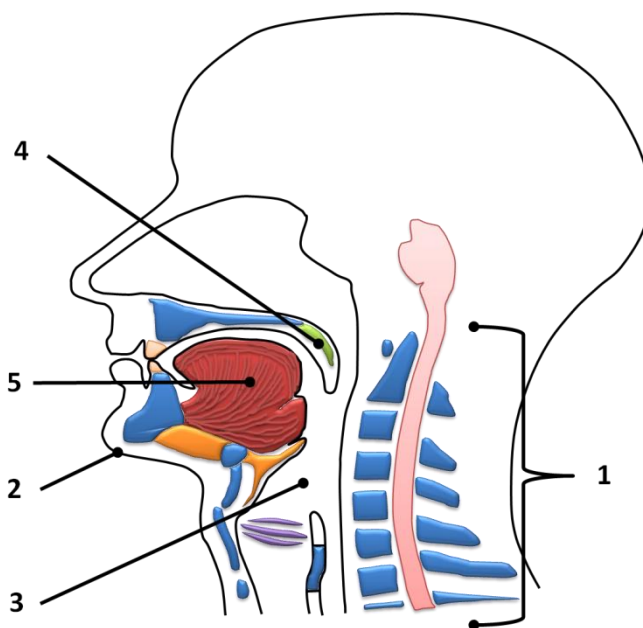
Praktická část práce byla zaměřena na analýzu anatomických struktur v oblasti vokálního traktu u souboru sedmi zpěváků při běžném a operním zpěvu u vokálů [a:] a [e:] v přirozené hlasitosti. Na základě předběžných publikovaných výsledků u dvou zpěváků (subjekt 1 a 2) bylo vybráno pět oblastí, které mění při operním zpěvu svoji pozici a tvar (Švec, a další, 2008).

Mezi vybrané oblasti patří (obr. 21):

- (1) postavení páteře,
- (2) pozice brady spolu s otevřením dutiny ústní,
- (3) pozice a tvar měkkého patra,
- (4) poloha a postavení hrtanu a jazyky,
- (5) pozice a tvar jazyka.

Těchto pět vytyčených oblastí bylo zkoumáno u každého subjektu a zvlášť analyzováno na snímcích pořízených z magnetické resonance. V diskusi pak byly tyto výsledky navzájem porovnány.

Cílem práce bylo zjistit, zda existuje universální způsob nastavení vokálního traktu při operním zpěvu, nebo zda je nastavení vokálního traktu individuální záležitost u jednotlivých zpěváků. A dále, které z oblastí mění při operním zpěvu svoji pozici či tvar nejčastěji a nejvíce a které naopak zůstávají beze změny.



Obrázek 21 Schéma sagitálního řezu kraniofaciálních oblastí (upraveno dle Hály, 1962)

1 – pozice páteře, 2 – pozice brady, 3 – pozice hrtanu a jazyky, 4 – pozice a tvar měkkého patra, 5 – pozice a tvar jazyka a otevření dutiny ústní

4.2 Metoda & materiál výzkumu

4.2.1 Metoda

Pro analýzu anatomických změn vybraných struktur byly použity snímky z MR. Sběr dat probíhal v letech 2008 – 2010 ve Fakultní nemocnici u Sv. Anny v Brně. MRI⁸ data byla získána pomocí zařízení Symphony Magnetom Siemens, jehož parametry nastavení jsou uvedeny v tab. 1.

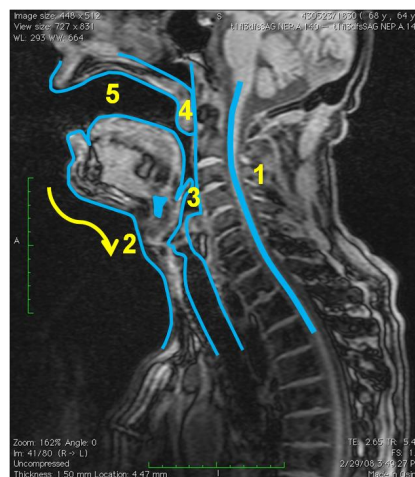
System	Symphony Magnetom Siemens – 1,5 Tesla
FoV	350 mm x 350 mm
Slice	1.5 mm
Time	33 s
Averages	1
Slab	1
Sagittal	L --> R, A – P (Anterior – Posterior)
No of layers	80
Pixel size	0.684 mm

Tabulka 1 Nastavení MR měření

Data, která jsou použita v této diplomové práci, byla získána za pomoci Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého, která je uchovává pro další účely zpracování a výzkumu. Pomocí programu Osirix byly vyjmuty snímky (typ: tiff), které se nacházely v co nejvíce mediálním zachycení, a uloženy pro zpracování MRI snímků do této diplomové práce (typ: jpg).

Na MRI snímcích (obr. 22) jsou vyznačeny hlavní sledované oblasti, a to linie páteře (1), linie ohraničení brady (2) s částí krku, hranice vokálního traktu zahrnujícího především hrtan (3), měkké patro s čípkem (4), kde linie pokračuje přes tvrdé patro až ke spodní části nosu, kde začínají nozdry, a také oblast okrajů jazyka (5).

Pro správné zaznamenání změn při přechodu ze zpěvu bez pěveckého formantu do zpěvu s pěveckým formantem byly zkonstruovány animace gif-formátů⁹ (respektive animace snímků) jednotlivých snímků, kde jsou zaznamenány dané linie zkoumaných oblastí.



Obrázek 22 Snímek (subjekt 1 při běžné technice zpěvu bez pěveckého formantu) zobrazující zkoumané linie

⁸ MRI – z anglického „magnetic resonance imaging“, totéž jako MR, tedy magnetická resonance.

⁹ Videá snímků jsou jako příloha na DVD u této diplomové práce.

4.2.2 Materiál

Pro tuto diplomovou práci byly použity snímky z MR u souboru sedmi zpěváků při fonaci dvou vokálů [a:] a [e:] v přirozené hlasitosti ve dvou pěveckých technikách: při neoperním zpěvu (bez pěveckého formantu) a při zpěvu operním (s pěveckým formantem).

Oblasti, které byly předmětem zkoumání, jsou změna pozice páteře, polohy brady a otevření dutiny ústní, postavení hrtanu a jazyky, poloha a tvar měkkého patra, a pozice a tvar jazyka. Pozorované struktury byly na snímcích jednotlivých subjektů označeny čísly 1-5. Originální snímky, které byly získány MR, jsou součástí přílohy na konci této diplomové práce.

Základní informace o subjektech

Subjekt 1 a 2 byly předmětem již dříve publikovaného článku (Švec, a další, 2008). U těchto zpěváků byly zjištěny změny struktur vokálního traktu, které se staly podnětem pro rozšíření článku a předmětem zkoumání této diplomové práce.

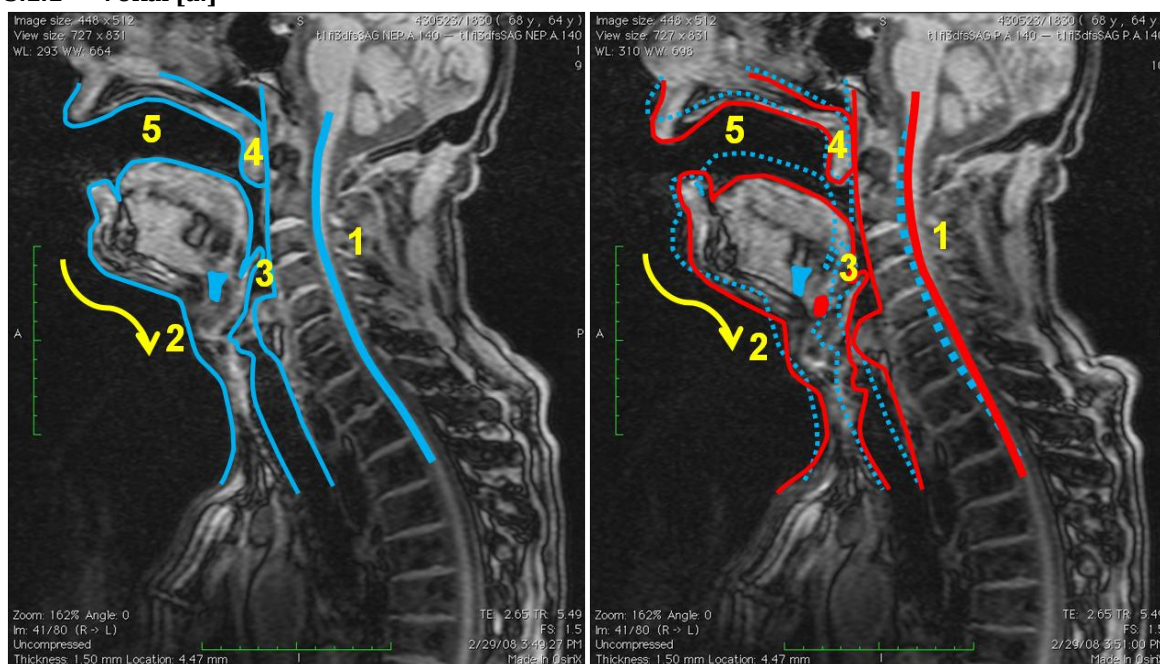
- **Subjekt 1** byl muž, 75 let, basbaryton, kategorie 6.2 (soukromý učitel zpěvu). U zpěváka byl vybrán tón D3 při 140 Hz. Měření fonace proběhlo dne 29. 2. 2008.
- **Subjekt 2** byl muž, 65 let, baryton, kategorie 6.2 (soukromý učitel zpěvu). Byl u něj vybrán tón Ab3 při 210 Hz. Měření fonace proběhlo dne 14. 3. 2008.
- **Subjekt 3** byl muž, 36 let, basbaryton, kategorie 3.1a (národní sólista, hlavní role). Tón E3 při 165 Hz. Měření fonace v MR proběhlo dne 9. 4. 2010.
- **Subjekt 4** byl opět muž, 22 let, bas, kategorie 3.1b (národní sólista, vedlejší role). Byl vybrán tón G2 při frekvenci 98 Hz. Měření fonace v MR proběhlo dne 29. 1. 2010.
- **Subjekt 5** byl muž, 36 let, basbaryton, kategorie 3.1a (národní sólista, hlavní role), tón Ab2 při frekvenci 117 Hz. Měření fonace proběhlo dne 22. 1. 2010.
- **Subjekt 6** byl muž, 47 let, tenor, kategorie 3.1b (národní sólista, vedlejší role). Byl u něj vybrán tón A3, frekvence 220 Hz a měření fonace proběhlo dne 23. 4. 2010.
- **Subjekt 7** byl muž, 32 let, tenor, kategorie 3.1a (národní sólista, hlavní role), tón G3 při frekvenci 196 Hz. Měření fonace posledního zpěváka proběhlo dne 28. 5. 2010.

5 Výsledky

Analýza změn nastavení anatomických struktur vybraných pěti oblastí vokálního traktu byla postupně provedena u všech sedmi zpěváků. U každého zpěváka byly hodnoceny nejprve vokál [a:] při běžném a operním zpěvu, a poté vokál [e:]. Výsledky u prvních dvou subjektů již byly publikovány (Švec, a další, 2008), proto hodnocení postavení sledovaných struktur u ostatních zpěváků bylo s těmito výsledky navzájem porovnáno.

5.1 Subjekt 1

5.1.1 Vokál [a:]

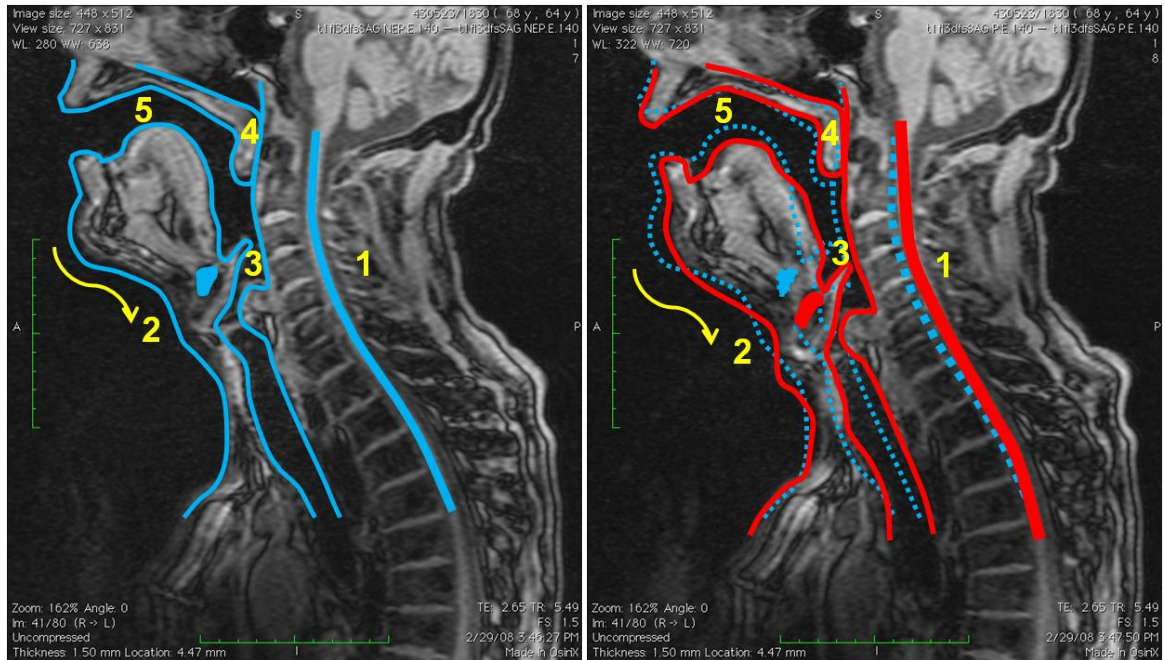


Obrázek 23 MRI subjektu 1, vokál [a:], vlevo nepěvecky, vpravo pěvecky - subjekt 1 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

U subjektu 1 při přechodu z běžné neoperní techniky zpěvu bez použití pěveckého formantu do operního stylu s pěveckým formantem u vokálu [a:] se napřímila páteř (1) dorsálně. Stejným směrem jako páteř se pohybovala i hlava. Zároveň došlo k retroflexi¹⁰ brady (2) a s tímto pohybem souvisí změna polohy hrtanu a jazyky (3). Ty klesly kaudálně a zároveň se mírně posunuly dorsálně vlivem napřímění páteře. Z animovaných snímků je patrné, že došlo k mírnému kraniálnímu pohybu měkkého patra a přitisknutí čípku (*uvuly*) ke stěně nosohltanu (4). Kořen jazyka se zploštil a pohybem jazyky a hrtanu se posunul dolů (5).

¹⁰ retroflexe – z latiny, zahnutí dozadu (kaudálně a zároveň dorsálně)

5.1.2 Vokál [e:]

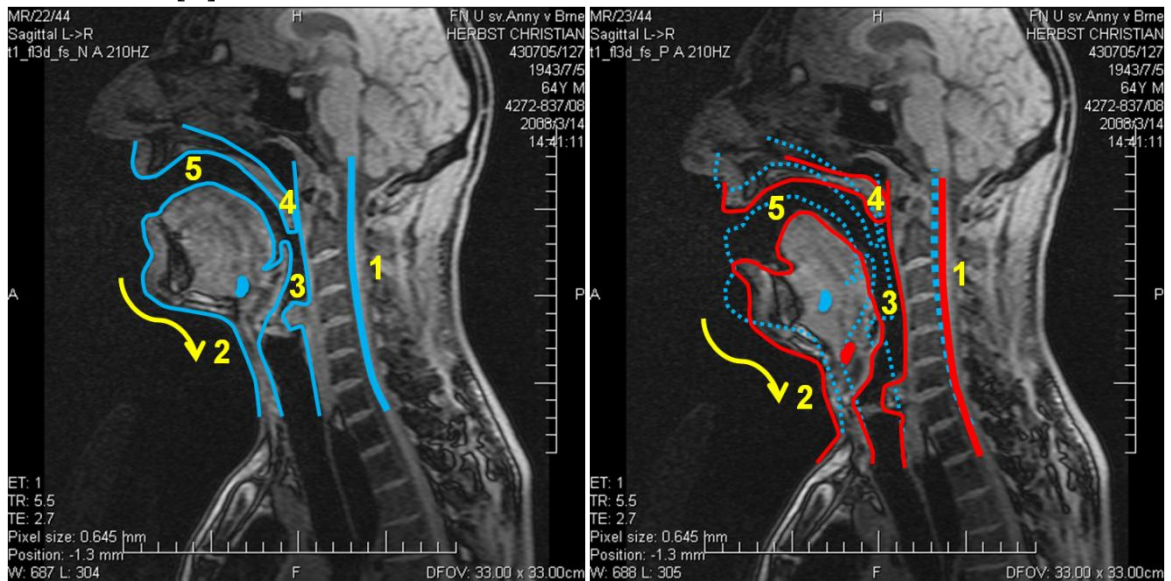


Obrázek 24 MRI subjektu 1, vokál [e:], vlevo nepěvecky, vpravo pěvecky - subjekt 1 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

Při fonaci vokálu [e:] lze pozorovat dorsální narovnění páteře (1) a k fixaci pohybu hlavy. I zde proběhla retroflexe brady (2) a hrtan s jazyčkou se posunul kaudálně s mírným posunem dozadu (3). Měkké patro bylo vyzdviženo kraniálně oproti běžné technice zpěvu a čípek (4) se více přitiskl k nosohltanové stěně. Jazyk se zploštil (5) a společně s dolní čelistí, jazyčkou a hrtanem se posunul kaudálně.

5.2 Subjekt 2

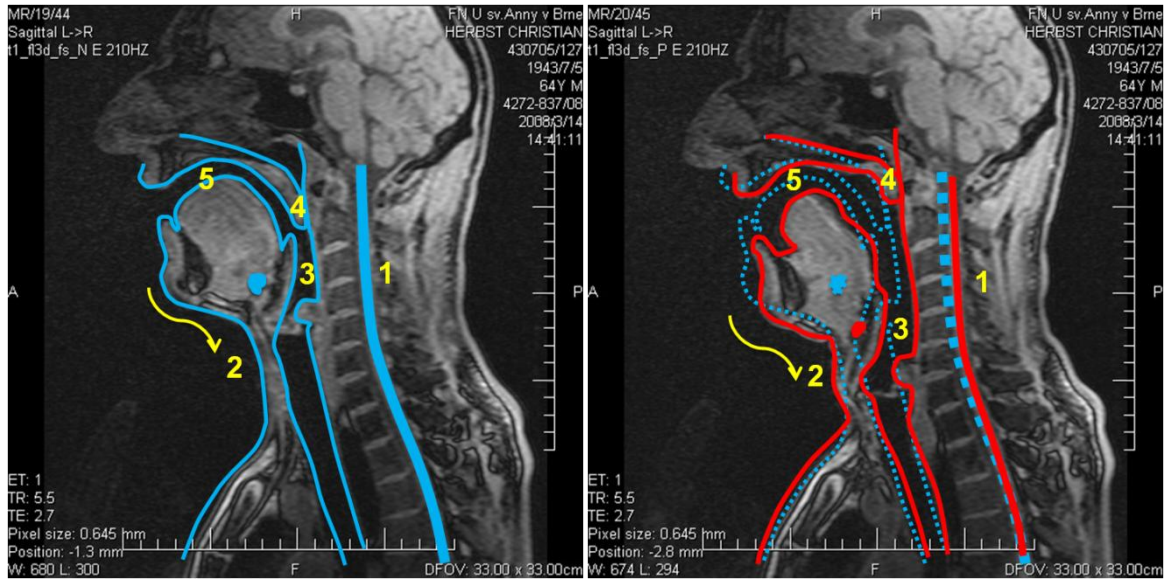
5.2.1 Vokál [a:]



Obrázek 25 MRI subjektu 2, vokál [a:], vlevo nepěvecky, vpravo pěvecky - subjekt 2 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

U subjektu 2 při fonaci vokálu [a:] při změně techniky zpěvu došlo k napřímění krčních obratlů páteře (1), zároveň i hlavy a k retroflexi brady (2). Snížení hrtanu (3) bylo velmi výrazné, pouhým okem lze vyzorovat, že posun byl uskutečněn o dva až dva a půl krčních obratlů. I jazyk se posunula kaudálním směrem o výraznou vzdálenost. Změna polohy měkkého patra se uskutečnila kraniálním směrem a čípek (4) se přitiskl k nosohltanové dutině. Jazyk (5) se jako celek zploštil a opět se společně s pohybem hrtanu a jazyky posunul směrem dolů.

5.2.2 Vokál [e:]

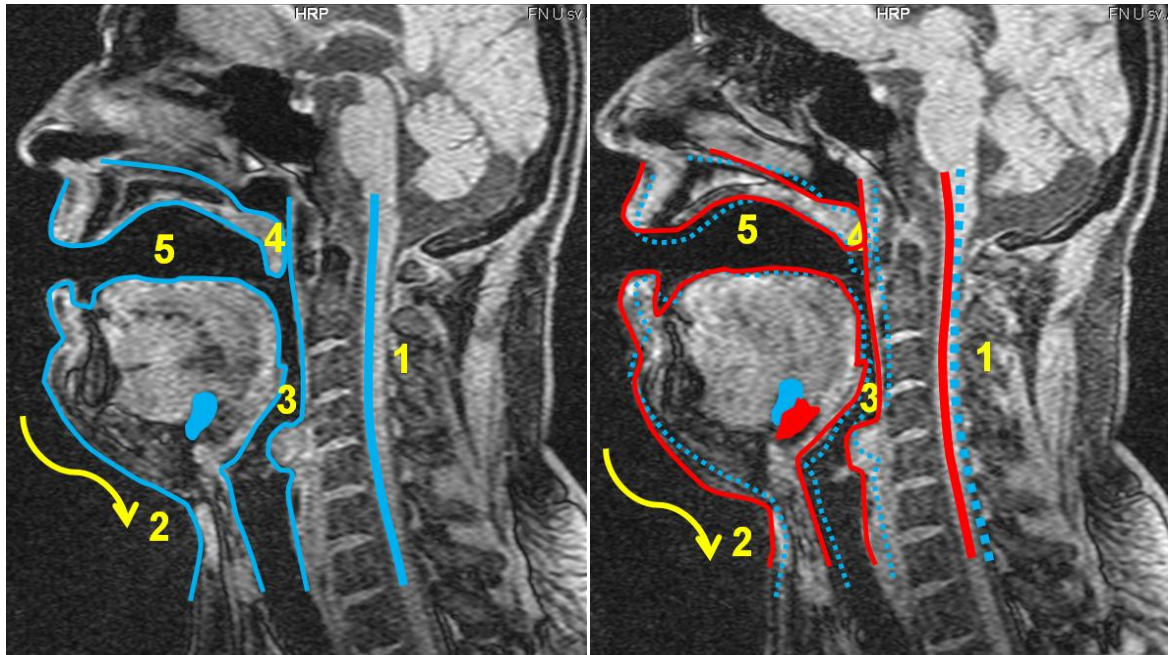


Obrázek 26 MRI subjektu 2, vokál [e:], vlevo nepěvecký, vpravo pěvecký - subjekt 2 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

Při přechodu zpěváka z nepěvecké do pěvecké techniky je ze snímků zřejmé, že opět došlo k dorsálnímu narovnání páteře (1), a to v oblasti krčních obratlů. Hlava byla zafixovaná ve vzpřímené poloze – nastala retroflexe brady (2) a s tímto pohybem souvisel i kaudální pohyb jazyky. Hrtan (3) se výrazně snížil, opět jako u vokálu [a:], nejméně o dva krční obratle. Měkké patro bylo kraniálně vyzdviženo a *uvula* (4) více, kraniálně přitisknuta k nosohltanové stěně. Jazyk (5) se u subjektu 2 jako celek zploštil a díky pohybu brady, jazyky a hrtanu se posunul kaudálně.

5.3 Subjekt 3

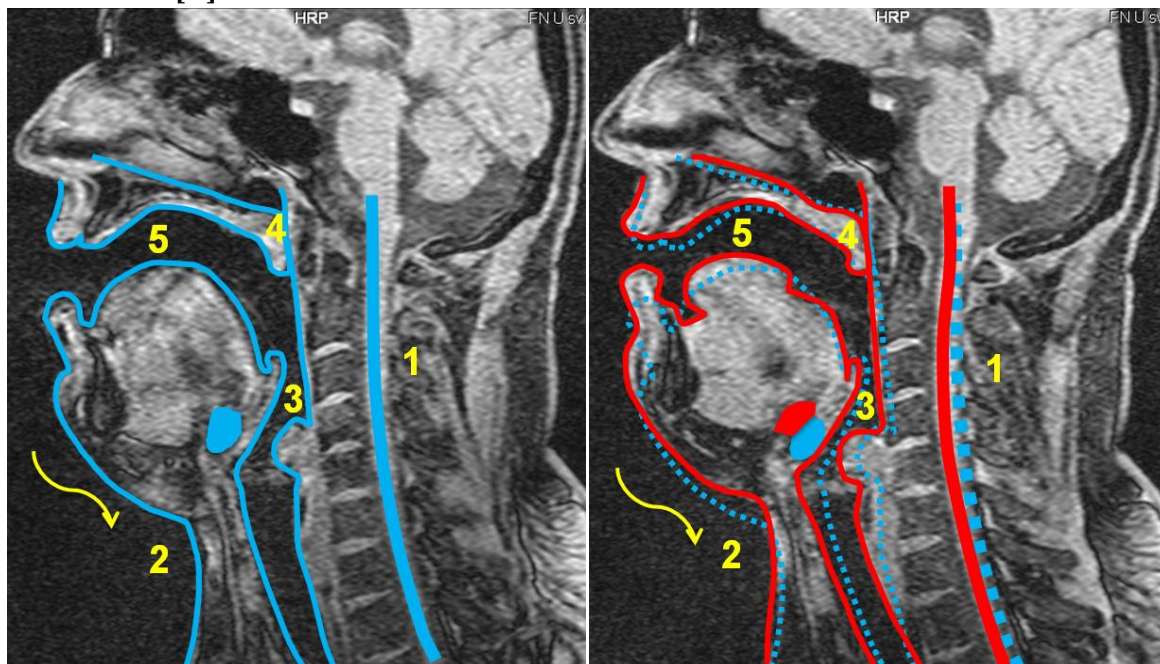
5.3.1 Vokál [a:]



Obrázek 27 MRI subjektu 3, vokál [a:], vlevo nepěvecký, vpravo pěvecký - subjekt 3 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

U subjektu 3 došlo k mírnému ventrálnímu prohnutí páteře (1), současně však i k mírnému záklonu hlavy. U brady (2) nastala mírná retroflexe, spíše se posunula kaudálním směrem. Výrazný není ani posun jazyky a hrtanu (3). Nastalo nepatrné snížení u obou struktur. Použitím pěveckého formantu se měkké patro (4) mírně kraniálně posunulo a čípek se přitiskl k nosohltanové dutině. Změna polohy a tvaru jazyka (5) je nepatrná. Hrot jazyka se jemně zatáhl a jeho tělo mírně vyklenulo.

5.3.2 Vokál [e:]

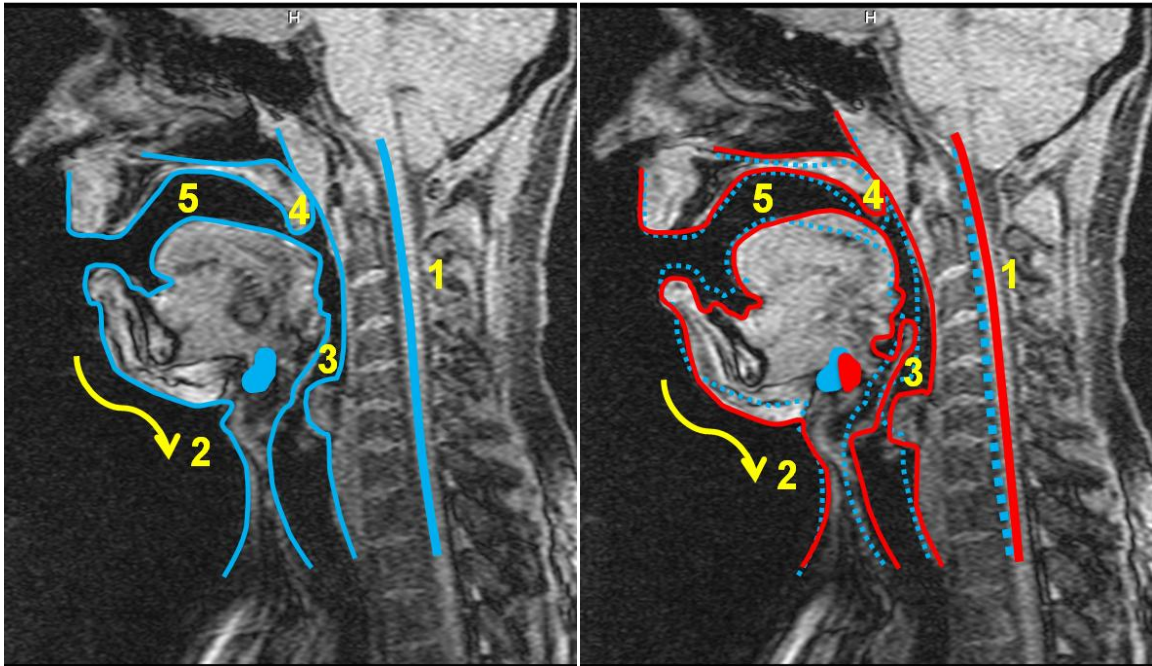


Obrázek 28 MRI subjektu 3, vokál [e:], vlevo nepěvecky, vpravo pěvecky - subjekt 3 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

Při přechodu z běžné techniky neoperního zpěvu do operního při fonaci vokálu [e:] se páteř (1) pohnula směrem ventrálním v oblasti krčních obratlů a v animaci se jeví mírné zaklonění hlavy. Brada (2) se pohnula spíše nahoru a dopředu. S pohybem brady souvisí postavení hrtanu a jazyky (3). Hrtan se pohyboval mírně kaudálně, kdežto jazyka se posunula mírně kranálně a ventrálně. Čípek se při pohybu měkkého patra kontrakcí svalů (4) přitiskl blíže ke stěně nosohltanu, tělo měkkého patra se na rozdíl od ostatních zpěváků od stěny nosohltanu oddálilo. Kořen jazyka (5) se zploštil a posunul mírně dorsálně do hltanové dutiny vlivem pohybu brady, jazyky a hltanu.

5.4 Subjekt 4

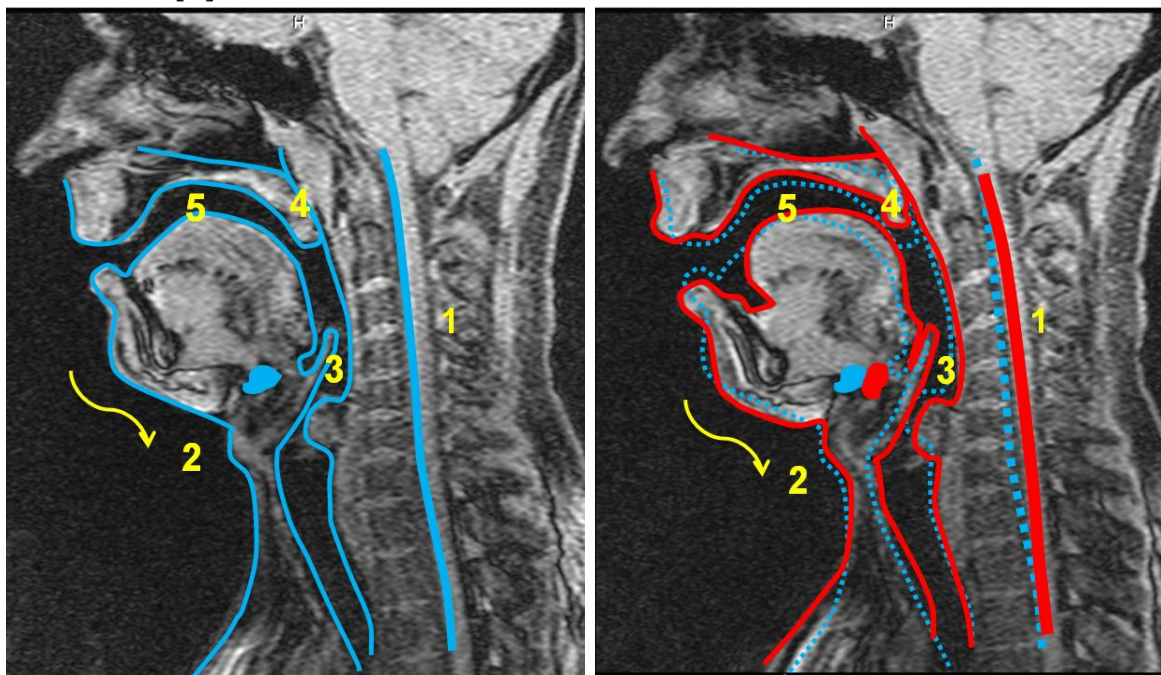
5.4.1 Vokál [a:]



Obrázek 29 MRI subjektu 4, vokál [a:], vlevo nepěvecký, vpravo pěvecký - subjekt 3 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

U subjektu 4 při fonaci vokálu [a:] při změně technik zpěvu se napřímila páteř (1). U brady došlo k retroflexi (2), kdy se výrazněji posunula dolů. S tímto pohybem se snížil hrtan i jazyk (3) a zároveň se tyto struktury posunuly dorsálně. Měkké patro i čípek (4) se činností svalstva stáhly a zvedly kraniálně. Jazyk (5) se mírně vyklenul do dutiny ústní.

5.4.2 Vokál [e:]

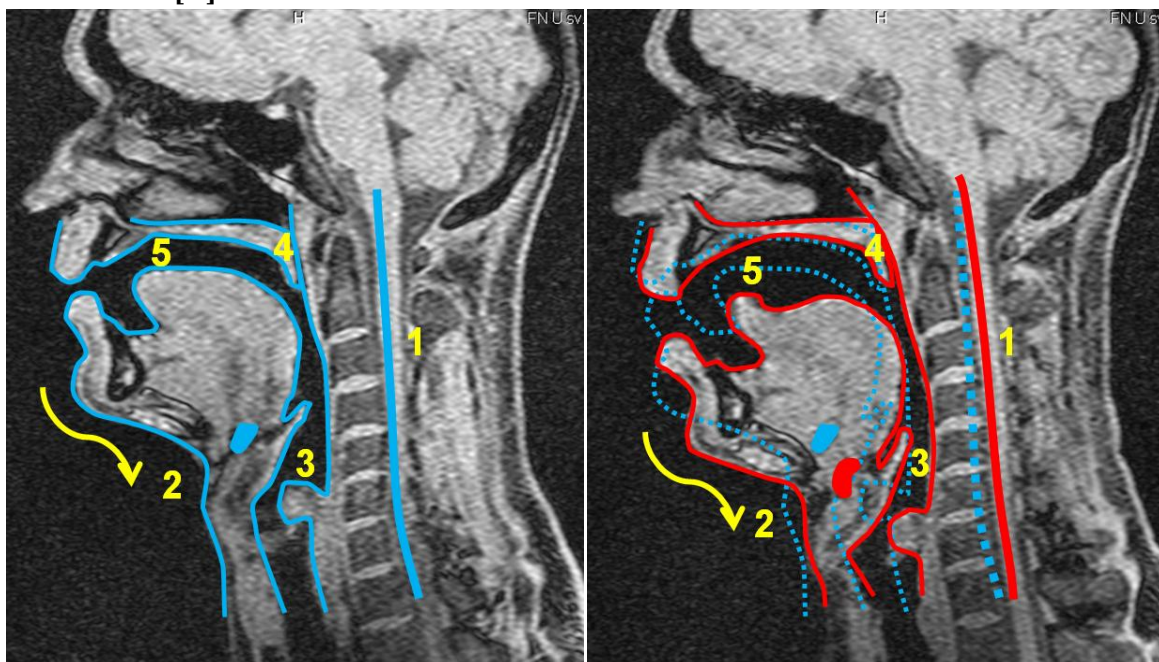


Obrázek 30 MRI subjektu 4, vokál [e:], vlevo nepěvecký, vpravo pěvecký - subjekt 3 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

Došlo k narovnání páteře (1) a fixaci hlavy ve vzpřímené poloze. Při fonaci vokálu [e:] u subjektu 4 došlo k retroflexi brady (2) kaudálním a dorsálním směrem při přechodu z běžného zpěvu bez pěveckého formantu do techniky operního zpěvu s pěveckým formantem. Hrtan (3) se snížil kaudálním směrem, ale asi jen o půl obratle, a jazyka se posunula dorsálně. Nastalo kraniální zvýšení měkkého patra a čípek (4) se nedotknul stěny nosohltanu. Jazyk (5) se jako celek posunul kraniálně dorsálním směrem, tedy se zatáhnul a vyklenul.

5.5 Subjekt 5

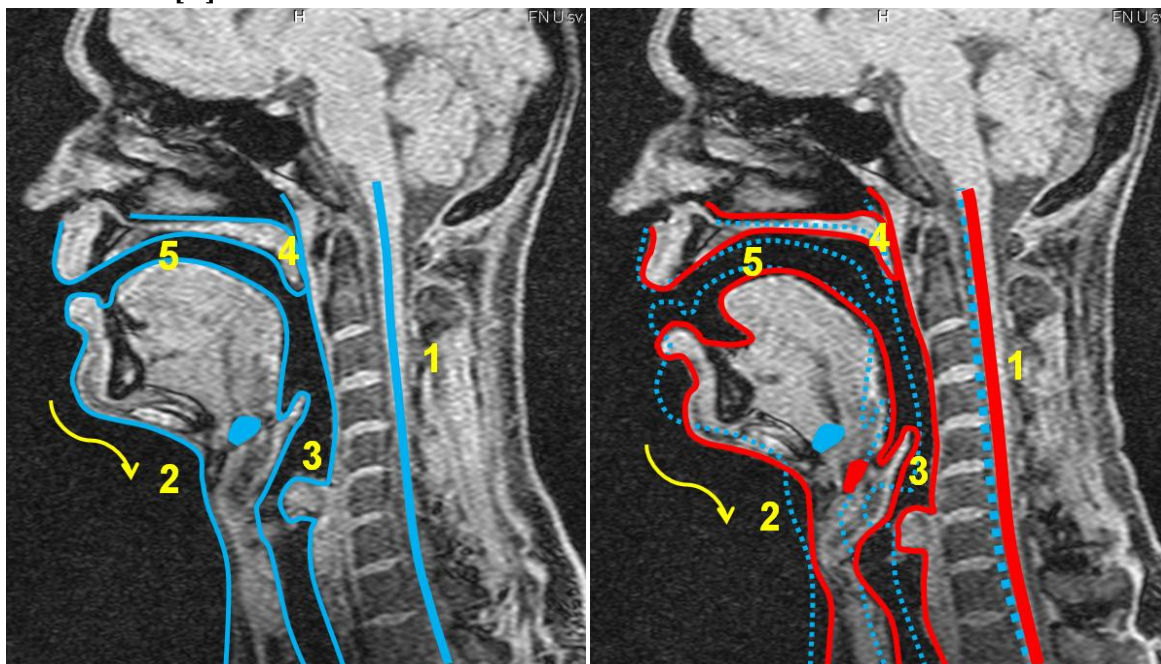
5.5.1 Vokál [a:]



Obrázek 31 MRI subjektu 5, vokál [a:], vlevo nepěvecký, vpravo pěvecký - subjekt 3 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

U subjektu 5 při fonaci vokálu [a:] při přechodu z nepěveckého formantu u běžné techniky zpěvu do techniky operního zpěvu s pěveckým formantem se napřímila páteř (1) i hlava. Dále došlo k retroflexi brady (2) a snížení hrtanu (3) asi o jeden krční obratel. Posunem brady se snížila i poloha jazyky – hlavně kaudálním směrem, ale částečně i dorsálně. Změnou techniky se zvýšilo měkké patro a přitisklo se k nosohltanové stěně, čípek (4) visel volně do dutiny ústní. Změna tvaru jazyka (5) nastala především v oblasti špičky. Mezi hrotem a tělem jazyka došlo ke kaudálnímu prolomení, zploštění.

5.5.2 Vokál [e:]

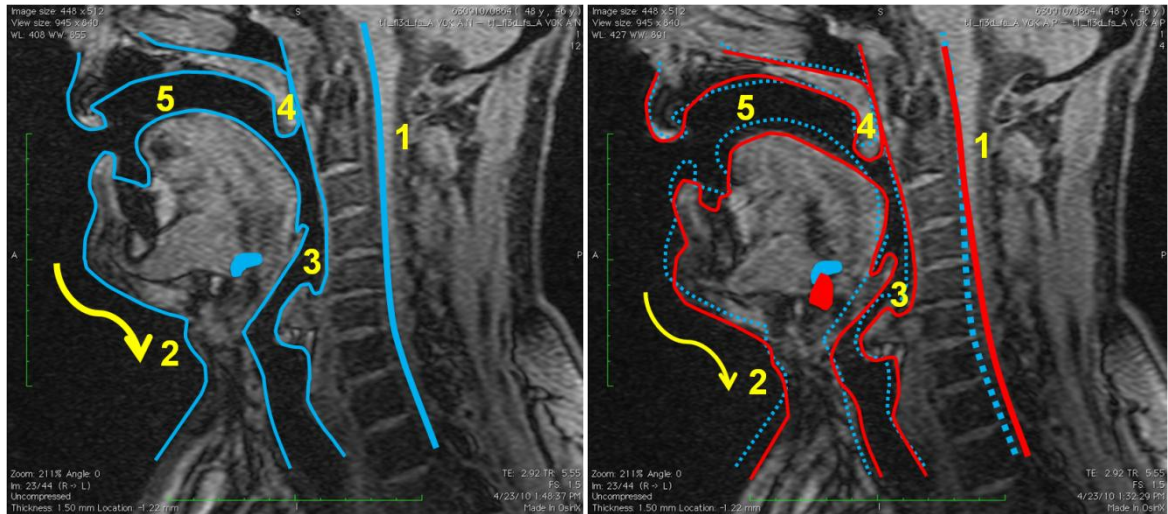


Obrázek 32 MRI subjektu 5, vokál [e:], vlevo nepěvecký, vpravo pěvecký - subjekt 3 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

Snímky MR subjektu 5 zachytily změny v narovnání páteře (1) i hlavy při přechodu z techniky běžného zpěvu do operního s použitím pěveckého formantu. Došlo k retroflexi brady (2), hrtan (3) se snížil až o jeden krční obratel. Jazyk se posunula kaudálně dorsálním směrem a měkké patro (4) i čípek se pohybovaly kraniálně, ale nedotkly se stěny nosohltanu. Jazyk (5) se zploštil v oblasti kořene a díky pohybu brady, hrtanu a jazyky se posunul kaudálně a částečně dorsálně.

5.6 Subjekt 6

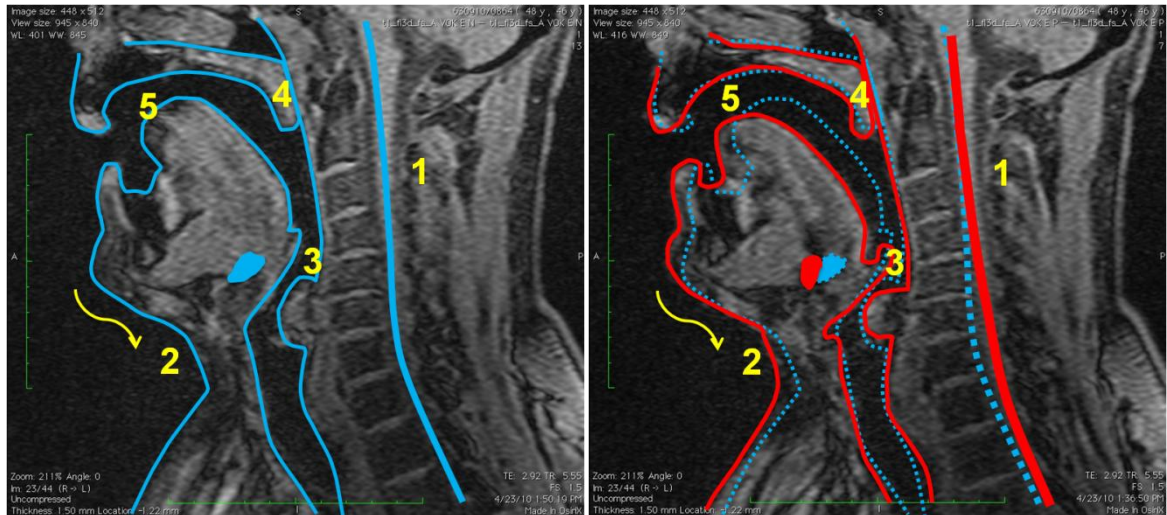
5.6.1 Vokál [a:]



Obrázek 33 MRI subjektu 6, vokál [a:], vlevo nepěvecký, vpravo pěvecký - subjekt 3 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

Ze snímku při fonaci vokálu [a:] u subjektu 5 lze vyčíst, že v oblasti krčních obratlů došlo k dorsálnímu napřimění páteře (1) a k mírné retroflexi brady (2). Z animace snímků lze usoudit, že při přechodu do pěvecké techniky došlo k předklonění hlavy. Nastalo mírné snížení hrtanu a malý pokles jazyky (3). Měkké patro s čípkem (4) poklesly a odpojily se od nosohltanu. Tělo jazyka (5) se zploštilo.

5.6.2 Vokál [e:]

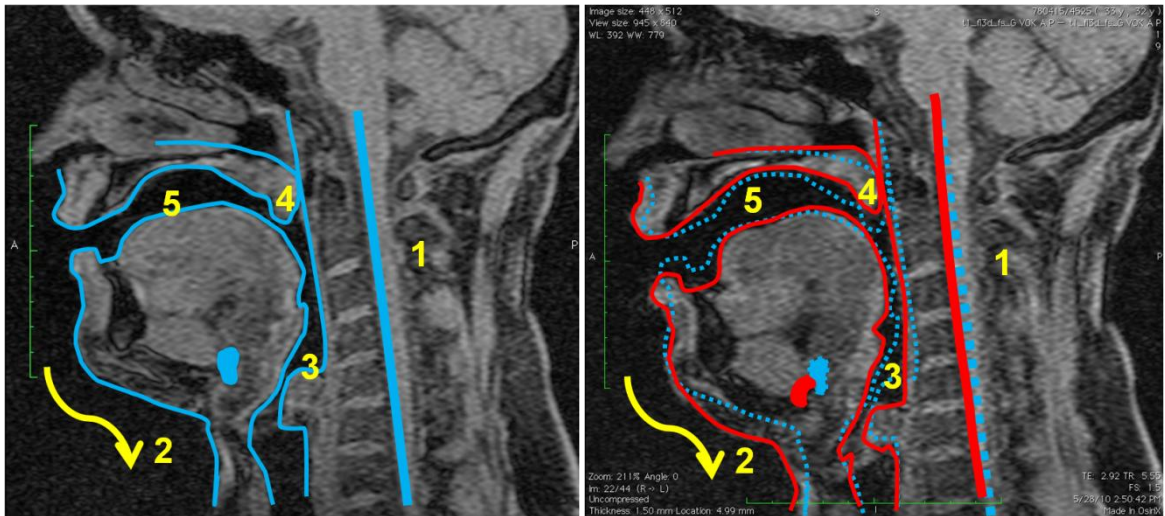


Obrázek 34 MRI subjektu 6, vokál [e:], vlevo nepěvecký, vpravo pěvecký - subjekt 3 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

U zpěváka, subjektu 6, se dorsálně napřímila páteř (1). Brada (2), při změně techniky zpěvu, se předsunula ventrálním směrem a v animaci snímků se jeví mírné překlonožení hlavy. Došlo k mírnému snížení hrtanu i jazyky (3). Pohyb těchto struktur byl odlišný – zatímco jazyk se pohybovala mírně dolů a ventrálně díky pohybu brady, hrtan díky kontrakci svalů se posunul dolů a dorsálně. Měkké patro i čípek (4) mírně ochabnuly, a proto se jejich poloha mírně snížila. Čípek se nepřitiskl k nosohltanu. Tělo a kořen jazyka (5) se zploštily.

5.7 Subjekt 7

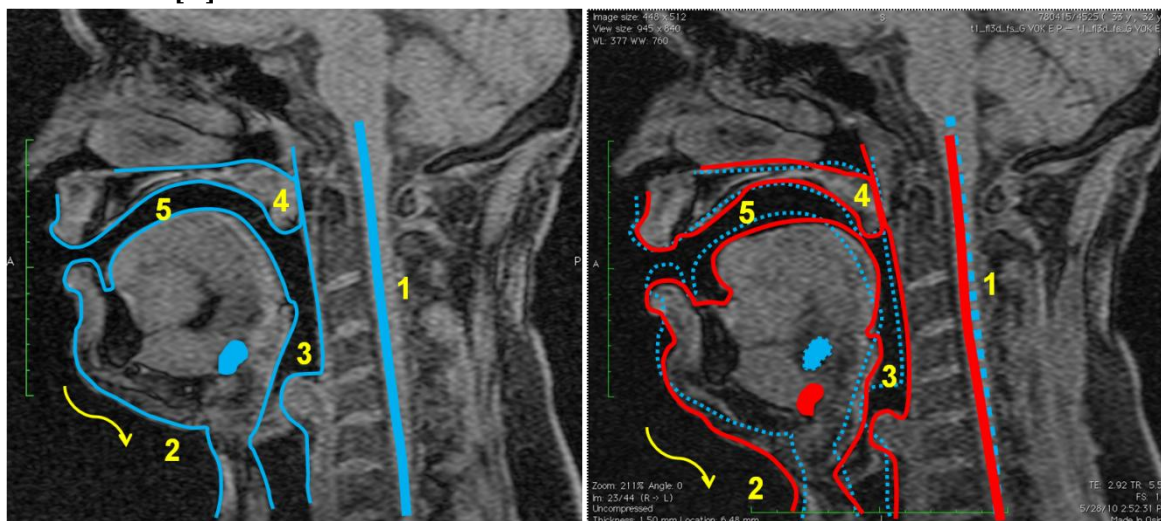
5.7.1 Vokál [a:]



Obrázek 35 MRI subjektu 7, vokál [a:], vlevo nepěvecký, vpravo pěvecký - subjekt 3 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

Subjekt 7 je na snímcích zachycen při fonaci vokálu [a:] a při přechodu do operního zpěvu s pěveckým formantem se u tohoto zpěváka mírně posunuly hlava i páteř (1) ventrálně. Došlo u něj k retroflexi brady (2), především se jednalo kaudální pohyb. Poloha hrtanu (3) se snížila až o jeden obratel a jazyka se posunula ventrálně a mírně kaudálním směrem. Kraniálně se vyvýšilo měkké patro a čípek (4) se přitiskl k nosohltanové dutině. Tělo jazyka (5) se vyklenulo a hrot jazyka se zasunul.

5.7.2 Vokál [e:]



Obrázek 36 MRI subjektu 7, vokál [e:], vlevo nepěvecký, vpravo pěvecký - subjekt 3 je zachycen jak při technice neoperní, tak operní. Sledované oblasti jsou vyznačeny barevně – modře bez pěveckého formantu, červeně s pěveckým formantem.

Při fonaci vokálu [e:] u subjektu 7 byl pohyb hlavy a páteře (1) zanedbatelný, v malé míře se projevil ventrálně posun. U brady (2) nastala retroflexe. Přechod do zpěvu s pěveckým formantem zapříčinil kaudální snížení hrtanu (3) až o jeden obratel, jazyka se posunula tímž směrem, tedy dolů. Čípek se přitisknul ke stěně nosohltanu, ale vlastní část měkkého patra (4) lehce ochabla, klesla a oddálila se od stěny. Retroflexí brady se jazyk (5) zatáhl do hrtanové dutiny, kořen se sice zploštil, ale tělo jazyka se mírně vyklenul do dutiny ústní.

6 Diskuse

Práce vychází z předběžné studie zaměřené na techniku nastavení pěveckého formantu u operního zpěvu, která byla publikována v roce 2008 panem RNDr. Janem Švecem, Ph.D. a kolektivem¹¹, který se na tomto výzkumu podílel. Tato studie analyzovala tvar a velikost rezonančních dutin vokálního traktu u dvou subjektů (v této práci to jsou subjekt 1 a subjekt 2). Tato diplomová práce zmíněnou studii rozšiřuje, zabývá se analýzou nastavení vokálního traktu u sedmi subjektů, při fonaci vokálů [a:] a [e:] při operním a naivním zpěvu.

6.1 Analýza oblastí vokálního traktu při fonaci vokálu [a:]

Jak lze vyčíst z výsledků této diplomové práce, tak všech pět oblastí, které jsou předmětem zkoumání, se mění individuálně (směr či velikost pohybu oblasti) u každého subjektu. Srovnáním jednotlivých partií vokálního traktu lze usuzovat, že pro nastavení pěveckého formantu při operním zpěvu neplatí jednotné podmínky vytvoření. Nastavení vokálního traktu je osobní záležitostí každého subjektu, a proto je porovnáván subjekt z hlediska běžného a operního zpěvu, kde lze zjistit, které oblasti a struktury se u něj mění. Nelze srovnávat subjekty mezi sebou z hlediska pěveckého, a poté nepěveckého formantu, jelikož každý člověk je individuum, které má určité odchylky od ideálního modelu nastavení vokálního traktu. Pro větší přehlednost je na konci této kapitoly uvedena tabulka konkrétních subjektů s jejich schémata (tab. 2) a jejich přehlednými změnami poloh oblastí (tab. 3).

Oblast pozice páteře

K napřímení páteře dorsálním směrem dochází u subjektů 1, 2, 4, 5 a 6. Jejich poloha se mění především v oblasti krčních obratlů, u některých subjektů i u obratlů hrudních. Stejným směrem se pohybuje i hlava, kromě subjektu 6, kde se páteř i s hlavou mírně předklání. U subjektů 3 a 7 dochází k ventrálnímu prohnutí páteře a k mírnému záklonu hlavy.

Oblast polohy brady

U brady je zjištěna retroflexe, tj. pohyb kaudálně-dorsální. Tento pohyb je zaznamenán u všech subjektů, tedy 1 – 7. U každého zpěváka se však brada pohybuje v různém rozsahu, velmi mírně se retroflexe projevuje při fonaci u subjektů 3 a 6, což může být zapříčiněno pohybem hlavy, který lze zjistit z animací snímků přiložených k této diplomové práci – u subjektu 3 se jedná o záklon hlavy, u subjektu 6 pak o předklon.

¹¹ Švec, J. G., Herbst, C., Havlík, R., Horáček, J., Krupa, P., Lejska, M., a další. (2008). Singer's Formant: Preliminary Results of MRI and Acoustic Evaluations of Singers. Interaction and Feedbacks (Prague: Institute of Thermomechanics AS CR), 99 - 108. Praha: I. Zolotarev.

Oblast polohy hrtanu a jazyky

U většiny subjektů je zaznamenán kaudální pohyb s mírným dorsálním posunem jak u hrtanu, tak u jazyky. Přesun hrtanu směrem dolů se objevuje u subjektů 1, 2, 3, 4, 5, 6 i 7. U subjektů 3 a 6 se hrtan posouvá jen o malou vzdálenost, u ostatních subjektů – tedy 1, 2, 4, 5 a 7 je to vzdálenost lépe rozeznatelná pouhým okem.

Pohyb jazyky velmi úzce souvisí s pohybem brady, respektive dolní čelisti. Kaudálním směrem se posouvá u všech subjektů. U zpěváků 1, 2, 3 a 6 se jedná o výraznější posun. U subjektů 4, 5 a 7 se pohybuje velmi mírně. U subjektů 1, 2, 4 a 5 se navíc posouvá dorsálně, u subjektu 7 naopak ventrálně.

Oblast pozice měkkého patra a čípku

Palatum molle má ve většině případů díky kontrakci svalů měkkého patra tendenci kraniálního pohybu s přitisknutím čípku k zadní stěně nosohltanové dutiny. Pohyb měkkého patra vzhůru nastal u subjektů 1, 2, 3, 4, 5 a 7. U subjektu 3 se jedná o mírný pohyb a subjekt 6 je specifický tím, že měkké patro a čípek mírně ochabuje a posouvá se dolů.

Uvula je u všech subjektů, kromě subjektu 5 a 6, přitištěna k nosohltanové dutině. U zpěváka 3 a 6 je čípek odpojený od dutiny nebo do ní visí volně.

Oblast tvaru a pozice jazyka

Jazyk je svalový orgán, se kterým daný subjekt může hýbat a jeho pozici každý subjekt volí tak, aby mu co nejlépe vyhovovala. Ve většině případů dochází ke zploštění jazyka, ať už jako celku či některé jeho části (hrotu, těla či kořene). Tomu se tak děje u subjektů 1, 2, 5 a 6. Kraniální vystoupení apexu jazyka nastává u subjektu 5, kde mezi hrotem a tělem jazyka došlo ke zploštění. K vyklenutí těla jazyka dochází u subjektů 3, 4 a 7, kde u zpěváka 3 a 7 se zasunul i hrot jazyka.

Výraznější kaudální pohyb lze pozorovat u subjektů 1, 2 a 5, méně výrazný až nepatrný pohyb u ostatních, tedy u zpěváků 3, 4, 6 a 7.

[a:]	SUBJEKT 1	SUBJEKT 2	SUBJEKT 3	SUBJEKT 4	SUBJEKT 5	SUBJEKT 6	SUBJEKT 7
N							
P							

Tabulka 2 Schémata vokálního traktu jednotlivých subjektů při fonaci vokálu [a:]

Vysvětlivky: N – nepěvecká technika zpěvu, bez pěveckého formantu, P – pěvecká, operní technika zpěvu, s pěveckým formantem

[a:]	POZICE PÁTEŘE	POZICE BRADY	POZICE HRTANU A JAZYKY	POZICE MĚKKÉHO PATRA A ČÍPKU	POZICE A TVAR JAZYKA
SUBJEKT 1	dorsální napřímení	retroflexe	hrtan kaudálně a dorsálně, jazyka kaudálně a dorsálně	kraniální pohyb, přitisknutí čípku	jazyk zploštěn (kořen), posun kaudálně
SUBJEKT 2	dorsální napřímení	retroflexe	hrtan kaudálně a dorsálně, jazyka kaudálně a dorsálně	kraniálně, přitisknutí čípku	jazyk zploštěný, posun kaudálně
SUBJEKT 3*	ventrální prohnutí	mírná retroflexe, spíše kaudálně	hrtan mírně kaudálně, jazyka mírně kaudálně	mírně kraniálně, čípek přitištěn	mírné zatažení hrotu, tělo mírně vyklenuto, pohyb nepatrný
SUBJEKT 4	dorsální napřímení	retroflexe	hrtan kaudálně a dorsálně, jazyka dorsálně, mírně kaudálně	kraniálně, čípek přitištěn	tělo vyklenuto
SUBJEKT 5	dorsální napřímení	retroflexe	hrtan kaudálně a dorsálně, jazyka kaudálně a mírně dorsálně	kraniálně, čípek visí volně	mezi hrotem a tělem zploštění, kaudální posun
SUBJEKT 6**	dorsální napřímení	mírná retroflexe	hrtan mírně kaudálně, jazyka mírně kaudálně	mírně kaudálně, čípek odpojený	zploštění těla
SUBJEKT 7	mírně ventrální prohnutí	retroflexe	hrtan kaudálně, jazyka ventrálně a mírně kaudálně	kraniální pohyb, čípek přitištěn	hrot zasunutý, tělo vyklenuto

Tabulka 3 Přehled pohybů jednotlivých oblastí u subjektů při fonaci vokálu [a:]

Vysvětlivky: * v animaci snímků subjektu 3e jeví mírný záklon hlavy; ** v animaci snímků subjektu 6 se jeví mírný předklon hlavy

6.2 Analýza oblastí vokálního traktu při fonaci vokálu [e:]

Tatáž analýza byla provedena při fonaci vokálu [e:] u těch samých sedmi subjektů. Jejich pořadí je zachováno. Podle výsledků tohoto výzkumu jsou shrnuty změny poloh a pozic do přehledné tabulky, která je uvedena dále (tab. 5). Srovnáním nepěvecké a pěvecké formy zpěvu je zjištěno, které oblasti se jak a nejčastěji mění a které naopak ne. Opět výsledky napovídají, že nastavení vokálního traktu je individuální záležitost. Pro rychlejší přehled jsou v tab. 4 uvedena schémata jednotlivých zpěváků, kde lze pouhým okem rychle říci, zda např. jazyk mění svůj tvar, či ne.

Oblast pozice páteře

Páteř se u jednotlivých subjektů mění dvojnásobným způsobem. Tím častějším dochází k dorsálnímu napřimění páteře u subjektů 1, 2, 4, 5 a 6, a to především v oblasti krčních obratlů a hrudních obratlů. Hlava se pohybuje u těchto subjektů stejně, ale u subjektu 6 se hlava s páteří částečně předklání. U subjektů 3 a 7 naopak dochází k mírnému ventrálnímu prohnutí páteře a malému záklonu hlavy.

Oblast polohy brady

V případě fonace vokálu [e:] nedochází u všech subjektů k retroflexi brady jako je tomu u vokálu [a:]. K retroflexi brady dochází u subjektů 1, 2, 4, 5 a 7. U subjektu 3 se naopak brada pohybuje mírně kraniálně a ventrálně a u subjektu 6 je posun ventrálním směrem. U subjektů 3 a 6 jsou patrné pohyby hlavou, a to u zpěváka 3 je to záklon, u subjektu 6 se jedná o předklonění hlavy.

Oblast polohy hrtanu a jazyky

Poloha hrtanu a jazyky se mění především s pohybem brady a dolní čelisti. Ke kaudálnímu pohybu *laryngu* s dorsální odchylkou dochází u všech subjektů. Posun hrtanu je rozdílný – u subjektů 3 a 6 je to o minimum.

Jazyk se pohybuje kaudálně u subjektů 1, 2, 5, 6 a 7 (posun je různý), naopak kraniální pohyb lze pozorovat u subjektu 3. Dorsálně se jazyk posunuje u subjektů 1, 2, 4 a 5, ventrálně u subjektu 3 a 6.

Oblast pozice měkkého patra

Měkké patro spolu se pohybuje především kraniálním směrem – subjekt 1, 2, 3, 4, 5 a 7. Zpěvák 6 je charakteristický kaudálním posunem měkkého patra. U zpěváků 3, 5 a 7 se měkké patro nedotýká při fonaci nosohltanové dutiny, v ostatních případech ano.

K přitištění čípku dochází u subjektů 1, 2, 3 a 7. Naopak u zpěváků 4, 5 a 6 čípek visí volně do dutiny ústní.

Oblast tvaru a pozice jazyka

Jazyk, jakožto svalový orgán, mění svůj tvar i svou polohu velice snadno. Ke zploštění jazyka (celého, hrotu, těla či kořene) dochází u subjektů 1, 2, 3, 5 a 6. Hrot jazyka u subjektu 4 je zatažený a jeho tělo vyklenuté, u zpěváka 7 je tělo mírně vyklenuto, kořen zploštěn.

Pohyb jazyka je ovlivněn pohybem brady a dolní čelisti, a proto v případě retroflexe brady dochází u většiny subjektů ke kaudálnímu pohybu jazyky. Je tomu tak u subjektu 1, 2, 4, 5 a 7. U zpěváka 3 je posun dorsální a u subjektu 6 je pohyb nepatrný.

[e:]	SUBJEKT 1	SUBJEKT 2	SUBJEKT 3	SUBJEKT 4	SUBJEKT 5	SUBJEKT 6	SUBJEKT 7
N							
P							

Tabulka 4 Schémata vokálního traktu jednotlivých subjektů při fonaci vokálu [e:]

Vysvětlivky: N – nepěvecká technika běžného zpěvu, bez pěveckého formantu, P – pěvecká technika operního zpěvu, s pěveckým formantem

[e:]	POZICE PÁTEŘE	POZICE BRADY	POZICE HRTANU A JAZYKY	POZICE MĚKKÉHO PATRA A ČÍPKU	POZICE A TVAR JAZYKA
SUBJEKT 1	dorsální napřímení	retroflexe	hrtan kaudálně a dorsálně, jazyka kaudálně a dorsálně	kraniální pohyb, přitíštění <i>uvuly</i>	zploštění, posun kaudálně
SUBJEKT 2	dorsální napřímení	retroflexe	hrtan kaudálně a dorsálně, jazyka kaudálně a dorsálně	kraniálně, přitisknutí čípku	zploštění, pohyb kaudálně
SUBJEKT 3*	ventrální prohnutí	brada kraniálně a ventrálně	hrtan mírně kaudálně, jazyka mírně kraniálně a ventrálně	tělo měkkého patra nepřitisknuto, čípek přitisknut	kořen zploštěn, posun mírně dorsálně
SUBJEKT 4	dorsální napřímení	retroflexe	hrtan kaudálně a dorsálně, jazyka dorsálně	kraniálně, čípek odpojený	hrot zatažený a tělo vyklenuto, kaudální pohyb
SUBJEKT 5	dorsální napřímení	retroflexe	hrtan kaudálně a dorsálně, jazyka kaudálně a dorsálně	měkké patro s čípkem kraniálně, bez přitisknutí	kořen zploštěn, pohyb kaudálně a dorsálně
SUBJEKT 6**	dorsální napřímení	brada ventrálně	hrtan mírně kaudálně a dorsálně, jazyka ventrálně a mírně kaudálně	mírně kaudálně, čípek nepřitíštěn	tělo a kořen zploštěny
SUBJEKT 7	mírné ventrální prohnutí	retroflexe	hrtan kaudálně a mírně dorsálně, jazyka kaudálně	tělo měkkého patra nepřitisknuto, čípek přitíštěn	tělo mírně vyklenuto, kořen zploštěn, kaudální pohyb

Tabulka 5 Přehled pohybů jednotlivých oblastí u subjektů při fonaci vokálu [e:]

Vysvětlivky: * v animaci snímků subjektu 3 se jeví mírný záklon hlavy, ** v animaci snímků subjektu 6 se jeví mírný předklon hlavy

6.3 Oblasti nejčastěji se měnící

V této podkapitole diskuse se zabývám tím, která ze zkoumaných oblastí se nejčastěji mění u jednotlivých subjektů, a to tím způsobem, že se mění u všech zpěváků. Na konci každého shrnutí oblasti je spočítaná četnost ovlivnění. V úvahu jsou brány oba vokály, tedy vokál [a:] i [e:], a nejčastěji se vyskytující změna sledované oblasti. Např. retroflexe brady se vyskytuje u 12 z 14 případů (7 zpěváků po dvou vokálech), a proto je četnost výskytu tohoto ovlivnění v nastavení pěveckého formantu při operní technice asi 85%.

Ze shrnutí předchozích podkapitol diskuse jsme došli k závěru, že ne všechny oblasti zkoumání se stejně mění. Lze usuzovat, že každý subjekt využívá jiné nastavení vokálního traktu, a to tak, aby on sám si mohl co nejpoohodlněji nastavit pěvecký formant pro operní techniku zpěvu.

Oblast pozice páteře:

U subjektů 1, 2, 4, 5 a 6 se páteř v obou případech fonace samohlásek (vokálů [a:] a [e:]) pohybuje do napřímenější polohy, tedy dorsálním směrem. U subjektů 3 a 7 se pozice páteře vychyluje ventrálním směrem. V průměru lze ale shrnout, že pozice páteře, respektive její dorsální posun, ovlivňuje nastavení pěveckého formantu, jelikož se tato změna oblasti vyskytuje u většiny zpěváků.

V oblasti páteře dochází nejčastěji k dorsálnímu napřímení. Četnost ovlivnění v nastavení pěveckého formantu touto technikou je 71,4 %.

Oblast pozice brady:

U subjektů 1, 2, 4, 5 a 7 je zachována retroflexe jak při fonaci vokálu [a:], tak samohlásky [e:]. U zpěváka 3 je využita jiná technika nastavení polohy brady, a to při fonaci vokálu [a:] je mírná retroflexe a při fonaci vokálu [e:] se brada pohybuje kraniálně ventrálně. Zpěvák 6 projevuje mírnou retroflexi při fonaci [a:] a při fonaci vokálu [e:] se brada ventrálně předsune. Pravděpodobnou příčinou jiného pohybu než retroflexe může u subjektů 3 a 6 být zaklonění či předklonění hlavy.

Změna pozice brady je nejčastěji u těchto sedmi subjektů ovlivněna retroflexí. 85,7% pravděpodobnost četnosti výskytu retroflexe v nastavení pěveckého formantu.

Oblast polohy hrtanu a jazylky:

Kaudální pohyb hrtanu nastává u všech subjektů, a to jak při fonaci vokálu [a:] i [e:]. U subjektů 3 a 6 se jedná o mírný posun.

Pohyb jazylky je ovlivněn pohybem brady a dolní čelisti. Jazyk se kaudálně až kaudálně dorsálním směrem u obou vokálů pohybuje u subjektů 1, 2, 5, 6 a 7. Poté se výsledky liší –

subjekt 3 – vokál [a:] kaudálně, vokál [e:] kraniálně, u subjektu 4 při fonaci samohlásky [a:] i [e:] dorsálně.

Pokles hrtanu byl registrován u všech subjektů u operní techniky zpěvu, při fonaci obou vokálů. Jedná se o 100% četnost výskytu, že kaudální snížení má vliv na nastavení pěveckého formantu. Jazyka na MRI snímcích byla špatně viditelná, proto výsledky mohou být zkreslené, ale po analýze lze říct, že četnost výskytu pohybu jazyky kaudálně či kaudálně dorsálním směrem je 78,6 %.

Oblast měkkého patra:

U subjektů 1, 2, 3, 4, 5 a 7 se měkké patro pohybuje kraniálním směrem při fonaci obou vokálů. Zpěvák 6 je charakterizován mírným kaudálním snížením měkkého patra při fonaci jak vokálu [a:], tak [e:].

Přitištění *uvuly* k nosohltanové dutině se děje při fonaci obou vokálů – u subjektů 1, 2 a 7. Při fonaci vokálu [a:] je tomu tak ještě u subjektu 4, u vokálu [e:] u zpěváka 3. V ostatních případech je čípek odchlípnutý od nosohltanové dutiny a visí do dutiny ústní.

Ve většině případů se měkké patro pohybuje kraniálním směrem. Četnost výskytu kraniálního pohybu měkkého patra je 85,7 %. K přitištění čípku dochází z 57,1 %.

Oblast pozice a tvaru jazyka:

Změny tvaru a pozice jazyka jsou jiné u vokálu [a:] než u vokálu [e:]. Toto vyplývá z anatomie nastavení a artikulace různých samohlásek. Avšak při závěrečném shrnutí lze říct, že ve většině případů při fonaci vokálů [a:] i [e:] dochází ke zploštění jazyka (ať už celku či některé jeho části – hrot, tělo nebo kořen). Je tomu tak u subjektů 1, 2, 5 a 6. Při fonaci vokálu [e:] také u subjektu 3. V ostatních případech dochází k vyklenutí jazyka.

U změny tvaru jazyka nastává problém už od základního nastavení (viz. kapitola 3.3.5). Avšak lze shrnout, že nejčastěji dochází ke zploštění tvaru jazyka a to v 64,3 %.

Ve studii z roku 2008 byly zjištěné tyto změny v anatomickém nastavení vokálního traktu: narovnání páteře, snížení hrtanu, zvýšení měkkého patra a zploštění jazyka. V diskuzi jsem se zaměřila na spočítání četnosti výskytu těchto změn a došla jsem k závěru, že u sedmi zkoumaných zpěváků při fonaci vokálu [a:] a [e:] se tyto změny vyskytují přibližně v 80 % případů. Do tohoto průměru jsou započítané již zmíněné oblasti dřívějšího zkoumání. Četnost výskytu změn, do kterých jsou započítány, včetně již zmíněných oblastí, i retroflexe brady, kaudální posun jazyky a přitisknutí čípku měkkého patra činí cca 77,5 %.

Výsledky analýzy anatomického nastavení vokálního traktu ukazují, že podmínky a strategie pro nastavení pěveckého formantu pro dosažení operní kvality hlasu se u jednotlivých subjektů liší. Již dřívější publikace naznačovaly, jak by mělo vypadat ideální nastavení vokálního traktu pro optimální vznik pěveckého formantu (Sundberg, 1974; Sundberg, 1977; Takemoto, 2006). Avšak rozdíly v anatomických strukturách jednotlivých osob poskytují různé akustické podmínky pro zpěváky a jsou pravděpodobně nezbytné pro dosažení optimální kvality svého hlasu (Švec, a další, 2008). Výsledky práce částečně potvrdily některá zjištění z předběžné studie pana RNDr. Švece, Ph.D. z roku 2008. Při přechodu do operní techniky za použití pěveckého formantu nastává změna v páteři, jež se napřimuje u většiny studovaných subjektů. Snížení hrtanu, které bylo již dříve zjištěno, se potvrzuje u všech subjektů při fonaci obou vokálů (samohlásky [a:],[e:]). Měkké patro se s vysokou četností pohybuje kraniálně a prezentované zploštění jazyka (ať už celku či některé jeho části) se ve větší míře také projevuje.

Nové poznatky této práce: **(1)** U většiny subjektu sice dochází k retroflexi brady a k poklesu hrtanu a jazyčky, u některých zpěváků je však tento pohyb zanedbatelný, což je v rozporu s daty publikovanými v literatuře (Sundberg, 1977; Švec, a další, 2008). Navíc u subjektu 6 při fonaci vokálu [e:] se brada pohybuje dokonce mírně ventrálně a nahoru. **(2)** Rovněž pohyb měkkého patra a čípku není u jednotlivých subjektů jednotný. Data publikovaná v literatuře většinou odkazují na kraniální pohyb měkkého patra a *uvuly* za současného uzavření patrohltanového uzávěru. Tímto způsobem získává operní zpěv čistý a jasný zvuk (Sundberg, 1977; Sundberg, 1974). Výsledky této práce však naznačují, že pěveckého formantu lze docílit i při snížení měkkého patra a *uvuly* za současného otevření spojení mezi dutinou ústní a nosní. **(3)** Z výuky operního zpěvu je známo, že operní technika vyžaduje správné držení těla, s čímž souvisí i postavení páteře a hlavy. S publikovaných výsledků vyplývá, že nejefektivnější způsob pro naladění pěveckého formantu je napřímení páteře a hlavy. U subjektů 3 a 7 se však páteř i hlava pohybují spíše ventrálně.

Závěrem lze říci, že největší variability v různosti nastavení u těchto subjektů jsou u změny polohy páteře, protože někteří zpěváci využívají napřímení, jiní prohnutí, dále u měkkého patra, kde dochází buď ke kraniálnímu, nebo kaudálnímu posunu, a nejvíce u tvaru jazyka, neboť se v některých případech zplošťuje, v jiných vyklenuje nebo se tvar výrazně nemění. U čípku a měkkého patra dochází buď k přitíštění k nosohltanové dutině, nebo odpojení od ní a také ke kraniálnímu či kaudálnímu posunu. I retroflexe neplatí u každého subjektu – u některých se brada pohybuje ventrálním směrem. Opačným případem je snížení hrtanu, které se objevuje u všech, ať už ve větší či menší míře a je tedy považováno za univerzální pohyb při nastavení pěveckého formantu. Přínosem této práce jsou zjištění, že neexistuje univerzální nastavení vokálního traktu pro operní zpěv s pěveckým formantem, a jestli lze využít faktů zjištěných v této diplomové práci při výuce operního zpěvu či v hlasové terapii, je otázkou dalších zkoumání.

7 Závěr

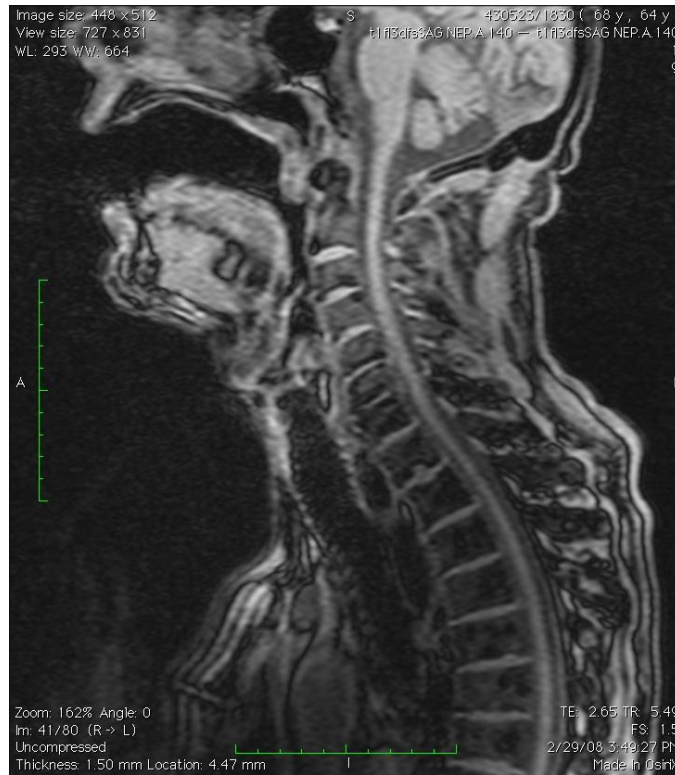
Úkolem této diplomové práce byla analýza snímků MRI souboru sedmi subjektů s cílem zjistit, jak se mění anatomické konfigurace vybraných pěti oblastí u zpěváků různých pěveckých kategorií a kvalit. Hlavním cílem této práce bylo zhodnotit a porovnat anatomické změny v nastavení vokálního traktu při operním zpěvu u souboru sedmi zpěváků, kdy na základě publikovaných výsledků u dvou zpěváků (subjekt 1 a 2) bylo vybráno pět oblastí, které mění při operním zpěvu oproti zpěvu běžnému svou pozici a tvar (Švec, a další, 2008). Tyto oblasti zahrnovaly: (1) postavení páteře, (2) pozice brady, (3) poloha hrtanu a jazyky, (4) pozice a tvar měkkého patra s čípkem a (5) poloha a tvar jazyka.

Analýzou snímků z MR u každého subjektu byly změny vybraných struktur navzájem porovnány s cílem zodpovědět na otázky, které mají praktické využití při zlepšení resonancí vokálního traktu při výuce operního zpěvu i hlasové terapii. Při analýze snímku MRI bylo zjištěno, že je velmi pravděpodobné, že se jednotlivé subjekty naučily používat techniku nastavení vokálního traktu, která je, ve většině případů, si velmi podobná. Samozřejmě, výjimka potvrzuje pravidlo a i zde se výjimky vyskytují. Obecně lze z výsledků četnosti výskytu nejčastěji se měnících struktur shrnout, že pokud by se lidé chtěli naučit opernímu zpěvu s použitím pěveckého formantu, aby byli schopni zesílit svůj hlas na pozadí orchestru, museli by se naučit ovládat určité techniky, jak nastavovat jejich vokální trakt. Je to však jen teorie a ani to není záruka, protože je to velice složitý proces, který naráží na jiné složité překážky jako je např. velikost vokálního traktu, velikosti a odchylky od ideálních struktur, které nastavení pěveckého formantu ovlivňují. Rozpoznání těchto skutečností a porozumění různým strategiím zapojených do zpěvu jsou důležitým úkolem při výuce operního zpěvu v budoucnosti a nyní lze shrnout, že tímto výzkumem jsem došla k novým poznatkům, a to, že neexistuje univerzální nastavení pěveckého formantu.

8 Příloha

8.1 Originální snímky jednotlivých subjektů

8.1.1 Subjekt 1



Obrázek 37 vokál [a:] nepěvecky



Obrázek 38 vokál [a:] pěvecky



Obrázek 39 vokál [e:] nepěvecky



Obrázek 40 vokál [e:] pěvecky

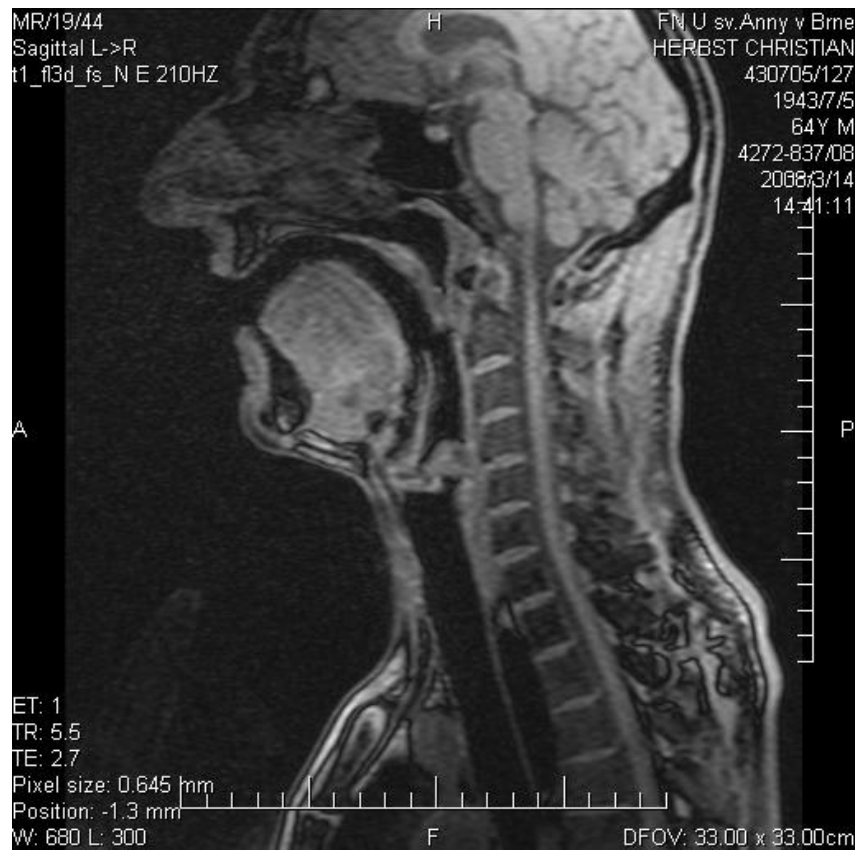
8.1.2 Subjekt 2



Obrázek 41 vokál [a:] nepěvecky



Obrázek 42 vokál [a:] pěvecky



Obrázek 43 vokál [e:] nepěvecky



Obrázek 44 vokál [e:] pěvecky

8.1.3 Subjekt 3



Obrázek 45 vokál [a:] nepěvecky



Obrázek 46 vokál [a:] pěvecky



Obrázek 47 vokál [e:] nepěvecky



Obrázek 48 vokál [e:] pěvecky

8.1.4 Subjekt 4



Obrázek 49 vokál [a:] nepřevčky



Obrázek 50 vokál [a:] převčky



Obrázek 51 vokál [e:] nepěvecky



Obrázek 52 vokál [e:] pěvecky

8.1.5 Subjekt 5



Obrázek 53 vokál [a:] nepěvecky



Obrázek 54 vokál [a:] pěvecky



Obrázek 55 vokál [e:] nepěvecky



Obrázek 56 vokál [e:] pěvecky

8.1.6 Subjekt 6



Obrázek 57 vokál [a:] nepěvecky



Obrázek 58 vokál [a:] pěvecky



Obrázek 59 vokál [e:] nepěvecky



Obrázek 60 vokál [e:] pěvecky

8.1.7 Subjekt 7



Obrázek 61 vokál [a:] nepěvecky



Obrázek 62 vokál [a:] pěvecky



Obrázek 63 vokál [e:] nepěvecky



Obrázek 64 vokál [e:] pěvecky

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma sagitálního řezu kraniofaciální oblasti (upraveno podle Hály, 1962)	11
Obrázek 2 Resonanční dutiny (upraveno dle Hály, 1962)	12
Obrázek 3 Hrtan (larynx) –pohled z boku – vlevo, a pohled zepředu – vpravo (upraveno dle Čiháka, 1986)	13
Obrázek 4 Postavení hlasových vazů za různých okolností (upraveno dle Čiháka, 1986)	14
Obrázek 5 Svislý průřez hlasivkami v čelní rovině (upraveno dle Hály, 1962)	15
Obrázek 6 Schéma hlasivky (upraveno dle Hály, 1962)	15
Obrázek 7 Detailní zobrazení hlasivky (upraveno dle Zemlina, 1988) ↗	15
Obrázek 8 Aktivní vokální artikulátory (upraveno dle Hály, 1962)	16
Obrázek 9 Hltan (pharynx) a jeho části (upraveno podle Čiháka, 1986).....	17
Obrázek 10 Základní varianty retní štěrbiny (upraveno dle Hály, 1962)	19
Obrázek 11 Schéma hlasového akustického systému (podle Flanagan, 1965).....	20
Obrázek 12 Dva stupně tvoření hlasu (upraveno podle Švece, 1996)	21
Obrázek 13 Formování frekvenčního spektra hlasu (převzato od Švece, 1996).....	22
Obrázek 14 Ladění formantu F1 na frekvenci hlasivek (převzato od Švece, 1996)	23
Obrázek 15 Podoba ústního otvoru při vokálu [a:] (upraveno dle Hály, 1962) ↑	25
Obrázek 16 Nákres nastavení mluvidel při vokálu [a:] (upraveno dle Hály, 1962) ↗	25
Obrázek 17 Podoba ústního otvoru při vokálu [e:] (upraveno dle Hály, 1962) ↑	26
Obrázek 18 Nákres nastavení mluvidel při vokálu [e:] (upraveno dle Hály, 1962) ↗	26
Obrázek 19 Porovnání sumárních spekter (převzato od Švece, 1996)	27
Obrázek 20 Schéma průměrného rozsahu zpěvního hlasu dospělých osob (převzato od Hály, 1962)	28
Obrázek 21 Schéma sagitálního řezu kraniofaciálních oblastí (upraveno dle Hály, 1962)	33
Obrázek 22 Snímek zobrazující zkoumané linie	34
Obrázek 23 MRI subjektu 1, vokál [a:]	36
Obrázek 24 MRI subjektu 1, vokál [e:]	37
Obrázek 25 MRI subjektu 2, vokál [a:]	38
Obrázek 26 MRI subjektu 2, vokál [e:]	39
Obrázek 27 MRI subjektu 3, vokál [a:]	40
Obrázek 28 MRI subjektu 3, vokál [e:]	41
Obrázek 29 MRI subjektu 4, vokál [a:]	42
Obrázek 30 MRI subjektu 4, vokál [e:]	43
Obrázek 31 MRI subjektu 5, vokál [a:]	44
Obrázek 32 MRI subjektu 5, vokál [e:]	45
Obrázek 33 MRI subjektu 6, vokál [a:]	46
Obrázek 34 MRI subjektu 6, vokál [e:]	47
Obrázek 35 MRI subjektu 7, vokál [a:]	48
Obrázek 36 MRI subjektu 7, vokál [e:]	49
Obrázek 37 vokál [a:] nepěvecky	62
Obrázek 38 vokál [a:] pěvecky	62
Obrázek 39 vokál [e:] nepěvecky	63
Obrázek 40 vokál [e:] pěvecky	63
Obrázek 41 vokál [a:] nepěvecky	64
Obrázek 42 vokál [a:] pěvecky	64

Obrázek 43 vokál [e:] nepěvecky	65
Obrázek 44 vokál [e:] pěvecky	65
Obrázek 45 vokál [a:] nepěvecky	66
Obrázek 46 vokál [a:] pěvecky	66
Obrázek 47 vokál [e:] nepěvecky	67
Obrázek 48 vokál [e:] pěvecky	67
Obrázek 49 vokál [a:] nepěvecky	68
Obrázek 50 vokál [a:] pěvecky	68
Obrázek 51 vokál [e:] nepěvecky	69
Obrázek 52 vokál [e:] pěvecky	69
Obrázek 53 vokál [a:] nepěvecky	70
Obrázek 54 vokál [a:] pěvecky	70
Obrázek 55 vokál [e:] nepěvecky	71
Obrázek 56 vokál [e:] pěvecky	71
Obrázek 57 vokál [a:] nepěvecky	72
Obrázek 58 vokál [a:] pěvecky	72
Obrázek 59 vokál [e:] nepěvecky	73
Obrázek 60 vokál [e:] pěvecky	73
Obrázek 61 vokál [a:] nepěvecky	74
Obrázek 62 vokál [a:] pěvecky	74
Obrázek 63 vokál [e:] nepěvecky	75
Obrázek 64 vokál [e:] pěvecky	75

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 Nastavení MR měření	34
Tabulka 2 Schémata vokálního traktu jednotlivých subjektů při fonaci vokálu [a:]	52
Tabulka 3 Přehled pohybů jednotlivých oblastí u subjektů při fonaci vokálu [a:]	53
Tabulka 4 Schémata vokálního traktu jednotlivých subjektů při fonaci vokálu [e:]	56
Tabulka 5 Přehled pohybů jednotlivých oblastí u subjektů při fonaci vokálu [e:]	57

11 Bibliografie

Björkner, E. a Sundberg, J. 2003. MR and Areafunction Study of Throaty Voice Quality. *Voice quality: Functions, Analysis and Synthesis. Genève, 27-29 August 2003. ISCA tutorial and research workshop porceedings.* [In VOQUAL'03]. Paris, France : autor neznámý, 2003. stránky 25 - 28. LIMSI-CNRS.

Björkner, E. 2006. Why so different? Aspects of voice characteristics in operatic and musical theatre singing. Stockholm : KTH School of Computer Science and Communication, 2006.

Bresch, E. a Narayanan, S. 2010. Real-time Magnetic Resonance Imagigng Investigation of Resonance Tuning in Soprano Singing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 128. 2010. stránky EL335 - EL341.

Bunch M., Chapman J. 2000. Taxonomy of Singers Used as Subjects in Scientific Research. místo neznámé : J. Voice 14 (3), 2000. stránky 363 - 369.

Campbell, N. A. a Reece, J. B. 2006. Biologie. Brno : Computer Press, a.s., 2006. Sv. 1. vydání. ISBN 80-251-1178-4.

Čihák, R. 1986. *Anatomie 2.* Praha : autor neznámý, 1986.

Detweiler, R. F. 1994. An Investigation of the Laryngeal System as the Resonance Source of the Singer's Formant. *Journal of Voice*, 8. 1994. stránky 303 - 313.

Dylevský, I. a Trojan, S. 1990. Somatologie I. Praha : Avicenum, 1990. ISBN 80-201-0026-1.

Dylevský, I. a Trojan, S. 1990. Somatologie II. Praha : Avicenum, 1990. ISBN 80-201-0063-6.

Dylevský, I. 2000. Somatologie. Olomouc : Epava, 2000. ISBN 80-86297-05-5.

Echternach, M., a další. 2010. Professional Opera Tenors' Vocal Tract Configurations in Registers. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 62. 2010. stránky 278 - 287.

Echternach, M., a další. 2008. Vocal Tract and Register Changes Analysed by Real-time MRI in Male Professional Singers - a Pilot Study. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 33. 2008. stránky 67 - 73.

Echternach, M., a další. 2010. Vocal Tract in Female Registers - A Dynamic Real-time MRI Study. *Journal of Voice*, 24. 2010. stránky 133 - 139.

Fant, G. M. 1960. Acoustic theory of speech production. místo neznámé : 's-Gravenhage: Mouton and Co., 1960.

Fleischmann, J. a Linc, R. 1964. Anatomie člověka I. Praha : Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1964. Sv. 4. vydání.

Fleischmann, J. a Linc, R. 1964. Anatomie člověka II. Praha : Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1964. Sv. 3. vydání.

- Gilániová, T. 2009.** Analýza náhradních zdrojových hlasů po laryngektomii (po odstranění hlasivek). Brno : vysoké učení technické v Brně, 2009.
- Gullaer, I., a další. 2006.** Image, Imagination, and Reality: On Effectiveness of Introductory Work with Vocalists. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 31. 2006. stránky 89 - 96.
- Hajn, V. 1998.** *Antropologie I.* Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, 1998. ISBN 80-7067-901-8.
- Hála, B. a Sovák, M. 1962.** Hlas, řeč, sluch: základy fonetiky a logopedie. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1962. Sv. 4. vydání.
- Harrison, P. 2004.** Variability of Formant Measurements. York : Language and Linguistic Science, 2004.
- Honda, K., a další. 2004.** Exploring Human Speech Production Mechanisms by MRI. *IEICE Transactions on Information and Systems*, ED87-D. 2004. stránky 1050 - 1058.
- Honda, K., a další.** Resonance Characteristics of Hypopharyngeal Cavities. [editor] Abstract. *International Conference on Voice Physiology and Biomechanics*. Marseille, August 18-20, 2004 : autor neznámý. stránky 81-82. <http://icv2004.free.fr>.
- Chmelíčková, Z. 2011.** Zívání: anatomie a fyziologie. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2011.
- Imagawa, H., a další. 2003.** The Effect of the Hypopharyngeal and Supra-glottic Shapes for the Singing Voice. 2. *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference 2003*. [Smac 03]. místo neznámé : R. Bresin, 2003. Sv. Volume II, Stockholm: The Music Acoustics Group, Department of Speech, Music and Hearing, KTH, stránky 471 -474.
- Kiml, J. 1978.** Základy foniatrie. Praha : Avicenum, 1978. Sv. 1. vydání.
- Klementa, J., Machová, J. a Malá, H. 1981.** Somatologie a antropologie. Praha : Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1981. Sv. 1. vydání.
- Krčmová, M. 2007.** Úvod do fonetiky a fonologie pro bohemisty. Ostrava : Ostravská univerzita, 2007. Sv. 2. vydání.
- Kučera, M., Frič, M a Halíř, M. 2010.** Praktický kurz hlasové rehabilitace a reedukace. Opočno : autor neznámý, 2010. ISBN 978-80-254-8244-5.
- Love, R. J. a Webb, W. G. 2009.** Mozek a řeč: neurologie nejen pro logopedy. Praha : Portál, s.r.o., 2009. Sv. 1. vydání. ISBN 978-80-7367-464-9.
- Mader, S. S. 2000.** Human Biology. [editor] printed in the United States of America. místo neznámé : McGraw Hill, 2000. Sv. 6. vydání. ISBN 0-07-290584-0.
- Machová, J. 2008.** Biologie člověka pro učitele. [editor] Univerzita Karlova v Praze. Praha : Karolinum, 2008. ISBN 978-80-7184-867-7.

- Matug, M. 2008.** Analýza formantů českých samohlásek generovaných nahlas a šepem. [Online] 2008. http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6629.
- Ondráčková, J. 1964.** Rentgenologický výzkum artikulace českých vokálů. Praha : Nakladatelství československé akademie věd, 1964.
- Palková, Z. 1994.** Fonetika a folologie češtiny. Praha : Karolinum, 1994. 2. vydání 1997.
- Soukup, J. 1972.** Hlas, zpěv, pěvecké umění. Praha : Supraphon, 1972. 2.
- Sundberg, J. 1974.** Articulatory Interpretation of the "Singing Formant". *Journal of the Acoustical Society of America*, 55. 1974. stránky 838 - 844.
- Sundberg, J. 2003.** Research on the Singing Voice in Retrospect. *Royal Institute of Technology - Speech, Music and Hearing Quarterly Progress and Status Report (Stockholm)*, 45 . Stockholm : autor neznámý, 2003. stránky 11 - 22.
- Sungberg, J. 1977.** The Acoustics of the Singing Voice. *Scientific American*, 236. 1977. Sv. 82 - 91.
- Sundberg, J., a další. 2007.** Experimental Findings on the Nasal Tract Resonator in Singing. *Journal of Voice*, 21. 2007. stránky 127 - 137.
- Sundberg, J., Gramming, P. a LoVetri, J. 1993.** Comparisons of Pharynx, Source, Formant, and Pressure Characteristics in Operatic and Musical Theatre Singing. *Journal of Voice*, 7. New York : autor neznámý, 1993. stránky 301 - 310.
- Šlapák, I., Janeček, D. a Javička, L. 2009.** Základy otorinolaryngologie a foniatrie. [Online] 2009. <http://is.muni.cz/do/1499/el/estud/pdf/js09/orl/web/index.html>.
- Švec, J. G. 2000.** Fyziologická akustika zpěvního hlasu: Nový pohled na starý problém. *60. akustický seminář & 36. akustická konference, Kouty, 22. - 26. 5. 2000 (Sborník)* . místo neznámé : O. Jiříček, 2000. Praha: ČVUT & Česká akustická společnost, stránky 219 - 226.
- Švec, J. G. 2006.** Tajemství hlasu. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 25. duben 2006. 1. ISBN 80-244-1318-3.
- Švec, J. G., a další. 2008.** Singer's Formant: Preliminary Results of MRI and Acoustic Evaluations of Singers. *Interaction and Feedbacks*. Praha : I. Zolotarev, 2008. Prague: Institute of Thermomechanics AS CR, stránky 99 - 108.
- Švec, J. 1996.** Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu (Dizertační práce). Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 1996.
- T., Gilániová. 2009.** Analýza náhradních zdrojových hlasů po laryngektomii (po odstranění hlasivek). Brno : vysoké učení technické v Brně, 2009.
- Takemoto, H., Adachi, S., Kitamura, T., Mokhtari, O., Honda K. 2006.** Acoustic Roles of the Laryngeal Cavity in Vocal Tract Resonance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 120. 2006. stránky 2228 - 2238.

Takemoto, H., Kitamura, T., Honda, K., Masaki, S. 2008. Deformation of the Hypopharyngeal Cavities due to F0 Changes and its Acoustic Effects. *Acoustical Science and Technology*, 29. 2008. stránky 300 - 303.

Tichý, S., a další. 1983. Otorinolaryngologie. Praha : Avicenum, 1983. Sv. 1. vydání.

Titze, I. R. 2005. Space in the Throat and Associated Vocal Qualities. květen/červen 2005. stránky 499 - 501.

Titze, I. R. 2008. The Human Instrument. *Scientific American*, 298. leden 2008. stránky 94 - 101.

Vampola, T. a Horáček, J. 2009. Analysis of Human Vocal Tract for Ordinary and Singing Voice by FE Modelling. *AVFA'09, 3rd Advanced Voice Function Assessment International Workshop, 18th - 20th May 2009*. Madrid, Spain : J. I. Godino-Llorente, P. Gómez Vilda, & R. Fraile (Eds.), 2009. Madrid, Spain: Universidad Politécnica de Madrid, stránky 5 - 8.

Vampola, T., a další. 2008. FE Model of Acoustic Spaces and Analysis of Human Vocal Tract for Ordinary and Singing Voice - a Preliminary Study. [editor] I. Zolotarev. 2008. Prague: Institute of Thermomechanics AS CR, stránky 115 - 124. ISBN: 978-80-87012-15-4.

Zemlin, W. R. 1988. *Speech and Hearing Science - Anatomy and Physiology*. New Jersey : Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1988. Sv. 3rd, ISBN 0-13-827429-0.