

## INFLUENCE OF TONSILLECTOMY ON VOICE AND 3D MATHEMATICAL MODELS

J. Vokřál\*, L. Černý\*, L. Lavička\*, P. Švancara\*\*, J. Horáček\*\*

**Summary:** *After the phoniatic examination the tape-recording of voice was carried out on 14 patients (6 male, 8 female, age from 16 to 39 years) in a studio. The second recording was performed approximately 1 month after tonsillectomy. Patients phonated five Czech vowels /a:/, /e:/, /i:/, /o:/, /u:/. The acoustic analysis was performed by Multi-Dimensional Voice Program and the position of the first four formants was evaluated. The finite element (FE) models of the acoustic spaces corresponding to the human vocal tract for the Czech vowels /a:/ and /i:/ were used in the mathematical modelling. The acoustic resonant characteristics of the FE models were studied by modal and transient analyses. The acoustic analyses were realised by the software code SYSNOISE.*

### 1. Úvod

Krční mandle (tonzily) jsou umístěny u vchodu do dýchacích cest. Jsou částí lymfatické tkáně, která zachycuje bakterie a viry způsobující infekci horních dýchacích cest. Produkují imunoglobulíny, které napomáhají tělu v boji s infekcemi (Becker et al., 1994).

Tonzilektomie (vyjmutí krčních mandlí) je prováděna především v následujících třech případech: 1) u pacientů, kteří trpí opakovanými infekčními záněty mandlí za rok (chronická tonzilitida) i přes adekvátní léčbu antibiotiky, 2) pokud se tonzily stávají tak velkými (hypertrofie mandlí), že pacient má např. obtíže s polykáním, bolestí krku a únavou, 3) ačkoliv krční mandle plní v těle roli obranou, mohou se také podílet na infekci. Pokud toto nastane, může být doporučeno jejich odstranění. Vyjmutí mandlí nemá za následek zvýšení počtu infekcí nebo ztráty imunitní funkce organismu, protože v těle jsou ještě další lymfatické uzliny, které mají obdobnou obrannou funkci.

Pravidelně, když hlasový profesionál stojí před rozhodnutím, zda by krční mandle měly či neměly být odstraněny, jednou z otázek je, jak by tonzilektomie mohla ovlivnit jejich hlas. Odpověď na tuto otázku není jednoduchá i když v zahraničí bylo provedeno několik podobných studií.

Efekt tonzilektomie na výslovnost byl zkoumán na 5 japonských vokálech u 40 pacientů (Hori et al., 1996). Pouze třetí formant (F3) snížil svou polohu a to především u vokálu /o:/. Čím větší tonzily byly, tím větší byl i frekvenční posun formantu. Na základě akustického hodnocení byly změny v artikulaci v důsledku operace považovány za zanedbatelné.

---

\* Dr.Ing. Jan Vokřál, MUDr. Libor Černý, MUDr. Lukáš Lavička: Foniatriká klinika 1. LF UK a VFN, Žitná 24, 120 00 Praha 2, tel.: 224 964 908, vokral@LF1.cuni.cz

\*\* Ing. Pavel Švancara, Ing. Jaromír Horáček, DrSc.: Ústav termomechaniky AV ČR, Dolejškova 5, 182 00 Praha 8

Saida et al. (1996) hodnotil 20 japonských pacientů před a po tonzilektomií. Pro akustická hodnocení bylo použito 5 japonských vokálů a několik japonských vět. Ačkoliv byla zjištěna tendence ve snižování formantu F3, tonzilektomie neovlivnila hlas podstatně.

Ilk et al. (2002) zkoumali vliv tonzilektomie na turecké vokály. Porovnávali polohu formantů, jejich šířku a parametry hodnotící nepravidelnost tvorby hlasu (jitter – nepravidelnost u základní frekvence hlasu, shimmer – amplitudová nepravidelnost jednotlivých hlasových period, příměs šumu ve hlase). Změny byly zjištěny v pozici formantu F3 a v jeho šíři B3 u vokálu /o:/ a mírné snížení šířky B2 a B3 u vokálu /a:/.

Nedostatkem podobných studií je, že pacienti nejsou schopni opakovat stejný způsob hlasové produkce před a po tonzilektomii. Výsledky mohou být hodnoceny pouze statisticky. V úvahu zde tedy přicházejí metody matematického modelování, které mohou dát přesnější teoretické výsledky.

## 2. Materiál a metodika

Po foniatrckém vyšetření byly provedeny záznamy hlasu 14 pacientů ve studiu foniatrcké kliniky (6 mužů, 8 žen, věk: 16 až 39 let) a byly získány fotografie jejich ústní dutiny před i po operaci. Druhé vyšetření bylo uskutečněno přibližně 1 měsíc po tonzilektomii. Věk pacientů byl vybrán tak, aby přibližně odpovídal matematickému modelu. Akustická analýza 5 českých vokálů /a:/, /e:/, /i:/, /o:/, /u:/ byla provedena programem Multi-Dimensional Voice Program (MDVP Advanced, Kay Elemetrics Corp.) a byla hodnocena pozice prvních 4 formantů. Statistické hodnocení změn poloh formantů před a po tonzilektomii bylo provedeno neparametrickým Wilcoxonovým t-testem. Velikost mandlí před operací byla odhadnuta z fotografií ve stupnici: 1- malé mandle (5 pacientů), 2 – střední mandle (6 pacientů), 3 – velké mandle (3 pacienti).

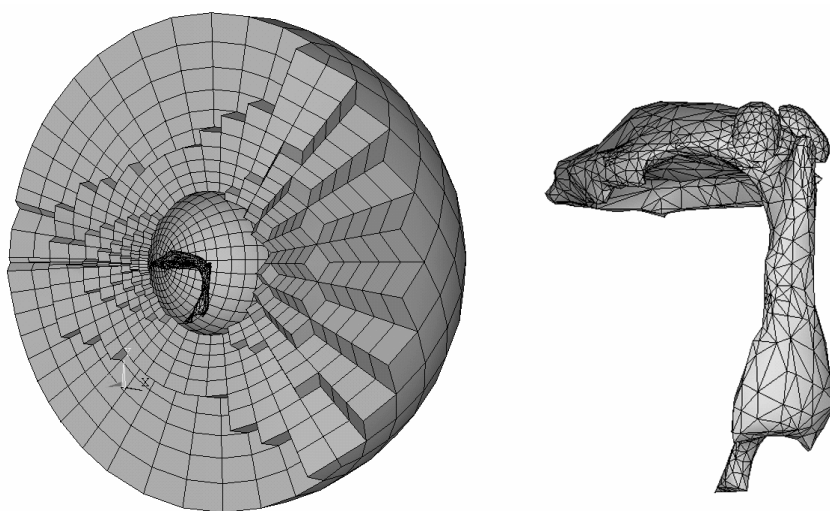


Obr. 1: Malé tonzily před operací



Obr. 2: Velké tonzily před operací

Matematické konečněprvkové modely akustických prostorů pro české vokály /a:/, /i:/ odpovídajících mužskému vokálnímu traktu byly vytvořeny na základě snímků magnetické rezonance pořízených během fonace subjektu (Dedouch et al., 2002). Modely byly vytvořeny pro dvě velikosti krčních mandlí  $1.6 \text{ cm}^3$  a  $0.8 \text{ cm}^3$  (viz obr. 3). Akustické rezonanční charakteristiky byly studovány modální analýzou a transientní analýzou při použití krátkého budícího pulsu. U transientní analýzy byl uvažován i akustický prostor okolo hlavy, kde poslední okrajová vrstva konečných prvků byla dokonale pohltivá (Švancara et al., 2004). Akustické analýzy byly provedeny softwarem SYSNOISE.



Obr. 3: Konečněprvkový model vokálního traktu pro vokál /a:/.

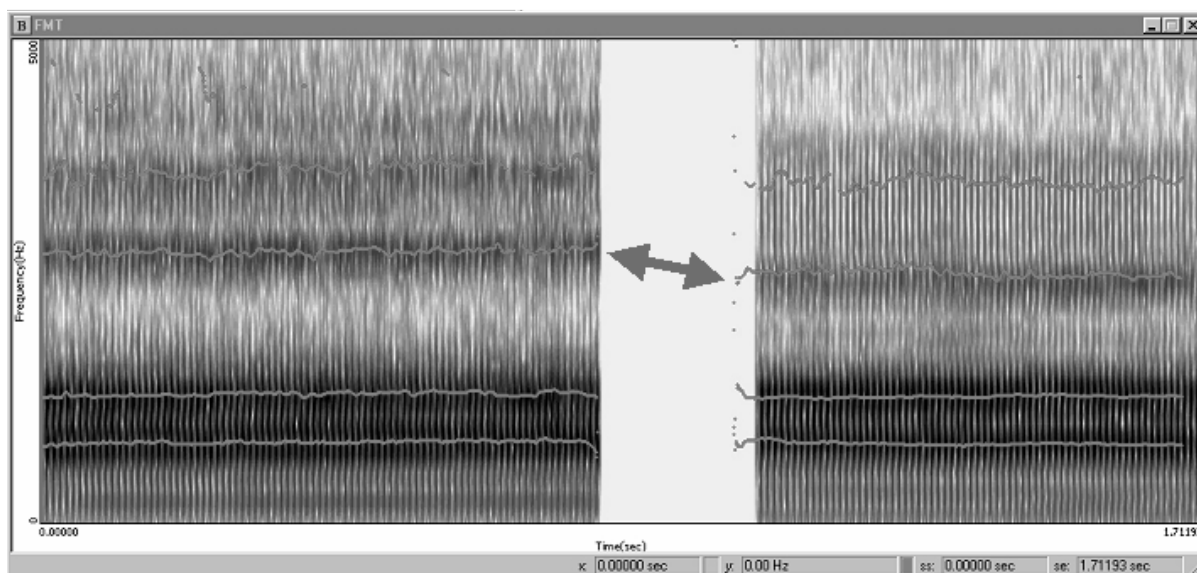
a) Model obklopený akustickým prostorem okolo hlavy, b) detail vokálního traktu s přidavnými prostory po tonzilektomii.

### 3. Výsledky

V experimentální studii na pacientech byly nalezeny statisticky signifikantní změny na 1% hladině významnosti u formantu F3, a to u vokálu /a:/ (průměrné snížení o 200 Hz), /e:/ (průměrné snížení o 150 Hz) a /o:/ (snížení o 240 Hz). Velikosti změn polohy formantů jsou závislé na velikosti mandlí (viz Tab. 1). Největší posun byl nalezen u formantu F3 obdobně jako v zahraničních studiích. Subjektivně je změna hlasu zachytitelná pouze tehdy pokud oba dva zvukové vzorky následují ihned po sobě.

Tab. 1: Průměrné změny polohy formantu F3 [Hz] pro české vokály před a po tonzilektomii

| velikost mandlí | počet pacientů | vokál /a:/ [Hz] | vokál /e:/ [Hz] | vokál /i:/ [Hz] | vokál /o:/ [Hz] | vokál /u:/ [Hz] |
|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 – malé        | 5              | -44             | -81             | -25             | -126            | -26             |
| 2 – střední     | 6              | -246            | -180            | -63             | -240            | -2              |
| 3 – velké       | 3              | -378            | -201            | -73             | -437            | -413            |



Obr. 4: Ukázka posunu formantu F3 u fonace vokálu /a:/ před a po tonzilektomii, posun formantu F3 je 230 Hz (MDVP Advanced, KAY Elemetrics).

U matematického modelování byly nejprve vypočteny rezonanční charakteristiky vlastního vokálního traktu modální analýzou bez okolního akustického prostoru kolem hlavy člověka. Stěny vokálního traktu byly považovány jako nepohltivé, u rtů byl definován nulový akustický tlak. U transientní analýzy bylo modelováno vyzařování zvuku do okolního prostoru kolem hlavy, výpočet byl realizován programem SYSNOISE s časovým krokem  $10^{-5}$  s. FE model byl buzen krátkým pulsem (doba trvání 0.25 ms) v oblasti hlasivek a z odezvy byla vypočtena spektra akustického tlaku u rtů. Odtud pak byly odečteny rezonanční frekvence odpovídající jednotlivým formantům. Porovnání výsledných vypočtených hodnot je v Tab. 2.

Rozdíly mezi polohami formantů získaných modální a transientní analýzou jsou malé. Vypočtené rezonanční frekvence odpovídají experimentálním výsledkům pro české vokály

/a:/ a /i:/. Tonzilektomie u vokálu /a:/ způsobila snížení formantu F3 o 180 Hz a snížení formantu F4 o 118 Hz. U vokálu /i:/ došlo ke snížení formantů F2, F4 a F5 asi o 100 Hz.

Tab. 2: Vlastní frekvence vokálního traktu FE modelů vypočtené modální a transientní analýzou před a po tonzilektomii. Poloviční objem mandlí způsobuje přibližně poloviční posun formantů.

| Vokál /a:/ |            |                |            |                |                   |                    |                          |                |                   |                    |
|------------|------------|----------------|------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| S mandlemi |            |                | Bez mandlí |                |                   |                    | Bez mandlí – menší objem |                |                   |                    |
| č.         | Modal [Hz] | Transient [Hz] | Modal [Hz] | Transient [Hz] | Rozdíl modal [Hz] | Rozdíl trans. [Hz] | Modal [Hz]               | Transient [Hz] | Rozdíl modal [Hz] | Rozdíl trans. [Hz] |
| 1          | 687        | 659            | 679        | 659            | -8                | 0                  | 684                      | 659            | -3                | 0                  |
| 2          | 1161       | 1074           | 1125       | 1050           | -36               | -24                | 1143                     | 1050           | -18               | -24                |
| 3          | 2951       | 2881           | 2771       | 2686           | -180              | -195               | 2875                     | 2808           | -76               | -73                |
| 4          | 4077       | 4004           | 3959       | 3882           | -118              | -122               | 4025                     | 3955           | -52               | -49                |
| 5          | 4499       | 4443           | 4499       | 4443           | 0                 | 0                  | 4500                     | 4443           | 1                 | 0                  |

| Vokál /i:/ |            |                |            |                |                   |                    |                          |                |                   |                    |
|------------|------------|----------------|------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| S mandlemi |            |                | Bez mandlí |                |                   |                    | Bez mandlí – menší objem |                |                   |                    |
| č.         | Modal [Hz] | Transient [Hz] | Modal [Hz] | Transient [Hz] | Rozdíl modal [Hz] | Rozdíl trans. [Hz] | Modal [Hz]               | Transient [Hz] | Rozdíl modal [Hz] | Rozdíl trans. [Hz] |
| 1          | 254        | 244            | 246        | 244            | -8                | 0                  | 250                      | 244            | -4                | 0                  |
| 2          | 2357       | 2343           | 2251       | 2246           | -106              | -97                | 2307                     | 2295           | -50               | -48                |
| 3          | 3210       | 2900           | 3204       | 2900           | -6                | 0                  | 3206                     | 2900           | -4                | 0                  |
| 4          | 3859       | 3784           | 3753       | 3711           | -106              | -73                | 3814                     | 3760           | -45               | -24                |
| 5          | 4784       | 4590           | 4670       | 4492           | -114              | -98                | 4740                     | 4540           | -44               | -50                |

#### 4. Závěr

Statistická analýza hodnocení experimentálních výsledků poloh formantů u pacientů před a jeden měsíc po tonzilektomii prokázala statisticky významné změny polohy formantu F3 u českých vokálů /a:/, /e:/ a /o:/. Největší snížení polohy formantu F3 bylo nalezeno u vokálu /o:/. Obdobný výsledek byl zjištěn v zahraničních studiích i u jiných jazyků. Velikost posunu formantu je závislá na velikosti zvětšených mandlí před operací.

Vypočtené vlastní frekvence FE modelů akustických dutin vokálního traktu odpovídají experimentálně zjištěným údajům publikovaným v literatuře pro české vokály /a:/ a /i:/ (Palková, 1994, Novák, 2000). Změny poloh formantů v důsledku tonzilektomie jsou v souladu s akustickým hodnocením hlasu pacientů před a po tonzilektomii.

#### 5. Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu GAČR 106/04/1025: Modelování vibroakustických systémů se zaměřením na vokální trakt člověka.

## 6. Literatura

- Becker W, Naumann HH, Pfaltz CR (1994) Ear, nose, and throat diseases. *New York: Georg Thieme Verlag*.
- Dedouch, K., Horáček, J., Vampola, T., Švec, J.G., Kršek, P., Havlík, R. (2002) Acoustic modal analysis of male vocal tract for Czech vowels. In *Interaction and Feedbacks 2002*, Prague, Nov. 26-27, 2002, IT ASCR, 13-20, ISBN 80-85918-75-7.
- Ilk, H. G., Eroul, O., Satarc, B., Özkaptan, Y. (2002) Effects of Tonsillectomy on Speech Spectrum, *Journal of Voice*, Volume 16, Issue 4, pp. 580-586.
- Hori, Y., Koike, Y., Ohyama, G., Otsu, S., Abe, K. (1996) Effects of tonsillectomy on articulation, *Acta Otolaryngol (Stockh)*, Suppl 523:248-251.
- Novák, A. (2000) Foniatrie a pedaudiologie. Poruchy hlasu u dětí a dospělých – základy anatomie a fyziologie hlasu, diagnostika, léčba, reedukace a rehabilitace poruch hlasu. 2. přepracované vydání, *Unitisk*, Praha.
- Palková, Z. (1994) Fonatika a fonologie českého jazyka. *Univerzita Karlova – Karolinum*, Praha.
- Švancara, P., Horáček, J., Pešek, L., (2004) Numerical Modelling of Production of Czech Vowel /a/ based on FE Model of the Vocal Tract, In: *Inter. Conference on Voice Physiology and Biomechanics*, ICVPB 2004, Marseille Aug. 18-20 2004, France, pp.163-166.
- Saida, H., Hirose, H. (1996) Acoustic changes in voice after tonsillectomy, *Acta Otolaryngol (Stockh)*, Suppl 523: 239-241.