

DIPLOFÓNIA – KOMPLEXNÉ KMITANIE HLASIVIEK PREZENTOVANÉ VO VIDEOKYMOGRAFII A VYSOKOFREKVENČNEJ LARYNGOSKOPII

Marek Frič^{a)}, František Šram^{b)}, Jan Švec^{b), c)}

^{a)} *Výzkumné centrum hudební akustiky, (MARC), Praha, Česká republika*

^{b)} *Centrum péče o nemocné s poruchami hlasu, řeči a vadami sluchu, Medical Healthcom, s.r.o., Praha, Česká republika*

^{c)} *Groningen Voice Research Lab., Department of Biomedical Engineering, Groningen, the Netherlands*
marekfric@centrum.cz

Abstract: Voice roughness is a perceptual category related to irregular vocal-fold vibrations. High-speed optical methods (videokymography and high-speed videolaryngoscopy) allow accurate characterization of the irregular vibration. In our experience, irregular vocal fold vibration presents itself in videokymography either as symmetrical vibration with a disrupted frequency component, or as asymmetrical or desynchronized vibrations. In case of alternation of two (or more) unequal oscillatory periods the phenomenon of diplophonia (multipliphonia) arises with subharmonic residuum in the spectrum of the acoustic signal. Biphonia arises from independently vibrating vocal folds at different frequencies. Periodic repetitions of multiple vibration cycles – multipliphonia - appear to be created by partial desynchronization of the vocal folds, or by complex vibration of the whole larynx (in horizontal and vertical directions). Cases of multipliphonic vibration are shown here using videokymography and high-speed videolaryngoscopy. These cases support the theory of higher-order modes of vocal-fold vibration.

1 Úvod

Hlasivky patria medzi špecifické štruktúry a materiály ktorých primárnou úlohou je kmitanie. Vzhľadom na ich biologickú podstatu a funkčnú previazanosť na iné orgány sa na ich štúdium využívajú špeciálne metódy. V prípade nepravidelného kmitania hlasiviek vzniká chrapot.

Príčina nepravidelného kmitania môže byť funkčná (nesprávne použitie hlasotvorných orgánov) alebo organicky podmienená patológiou hlasiviek [5]. Z fyzikálnych príčin nepravidelného kmitania hlasiviek sú to hlavne asymetria napätia a hmoty hlasiviek, insuficiencia glottis (nedomykavosť hlasiviek) a neprimeraný subglotický tlak [3]. K funkčným príčinám patrí rôznorodé použitie hlasu od patologických funkčných zmien až po špeciálne hlasové techniky niektorých umeleckých smerov a speváckych techník.

Za **nepravidelné kmitanie hlasiviek** sa v kruhoch hlasového výskumu považuje každé kmitanie hlasiviek, kde susedné kmity nemajú rovnakú kvantitu a kvalitu. Tieto nepravidelnosti sa všeobecne identifikujú ako nepravidelnosti vo frekvencii (jitter) a/alebo nepravidelnosti v amplitúde (shimmer) [3]. Z časového hľadiska môžu nastať prípady izolovanej poruchy; pravidelného opakovania nepravidelných kmitov; a zmeny kmitania hlasiviek pri prechodových javov ako je zmena hlasového registra. Všetky takéto časové zmeny kmitania sú percepčne hodnotené ako hlasová drsnosť alebo hrubosť, všeobecne popisované ako chrapľavosť [2].

V našom príspevku sa budeme venovať javu diplofónie, kde sa pri kmitaní hlasiviek striedajú dva nerovnaké kmity. V prípade, že sa strieda viacero kmitov, respektíve celý dej sa kvázi pravidelne opakuje po viacerých kmitoch dej sa označuje ako triplo-, quadruplo-, všeobecne multipli-fónia [1]. Takéto typy nepravidelného kmitania sa v spektre prejavujú objavením subharmonického prídavku oproti pôvodnému harmonickému základu so základnou

frekvenciou nižšou oproti pôvodnej základnej frekvencii v pomere malých celých čísel [7]. Na elektroglografickom zázname (popisujúcom funkciu elektrickej impedancie hlasiviek zodpovedajúcu kontaktnej ploche hlasiviek ako funkcii času) sa diplofónia prejavuje alternovaním dvoch kmitov s rôznou amplitúdou a rôznou dobou uzáveru hlasiviek.

Videokymografia zobrazuje diplofóniu buď ako striedanie dvoch symetrických kmitov s rôznou periódou a/alebo amplitúdou, alebo ako stranovo asymetrické kmitanie spôsobené desynchronizáciou (opakovanie dvoch kmitov spôsobených asymetrickým kmitaním) [2]. Vyššie rády komplexného kmitania väčšinou vykazujú stranovú asymetriu a desynchronizáciu s následnou synchronizáciou a opakovaním celého deja po viacerých hlasivkových kmitoch. V asymetrických prípadoch sa usudzuje o rôznom napätí, alebo rozložení hmoty hlasiviek ako príčine spôsobujúcej komplexné kmitanie. Tento fakt potvrdzuje vyššia klinická prevalencia takéhoto druhu nepravidelného kmitania u asymetrických postihnutí hrtana ako je napríklad jednostranná porucha inervácie [4].

Vysokofrekvenčná laryngoskopia umožňujúca sledovanie reálneho kmitania celého hrtana potvrdzuje účasť vyšších módov kmitania hlasiviek pri vzniku komplexného kmitania. Takéto kmitanie môže byť spôsobené stranovou asymetriou kmitania medzi pravou a ľavou hlasivkou (stranová desynchronizácia), ale aj desynchronizáciou kmitania v predozadnom smere, kde hlasivky môžu vykazovať rozdielne základne frekvencie, alebo nezávislosť v kmitaní v horizontálnom a vertikálnom smere [4].

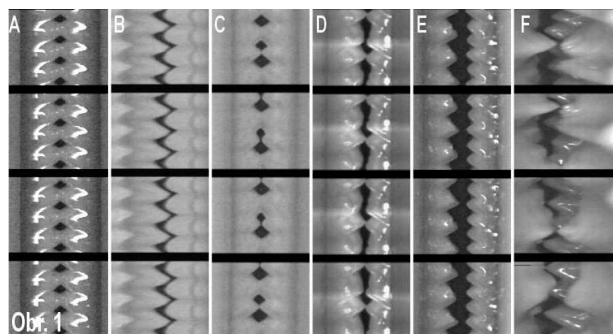
2 Materiál a metódy

V našom príspevku prezentujeme niekoľko príkladov nepravidelného kmitania hlasiviek vo forme diplofónie alebo multiplifónie zaznamenané videokymografiou alebo vysokofrekvenčnou videolaryngoskopiou súčasne s akustickým a elektroglografickým záznamom.

Videokymografia je vysokofrekvenčná optická záznamová metóda na vyšetrenie kmitania hlasiviek. Špeciálna kymografická kamera je schopná pracovať v dvoch módoch: štandardnom - celoplošnom zobrazení s frekvenciou 50 snímokov/s (plný PAL), alebo vysokorýchlostnom s frekvenciou snímania 8000 čiar/s. Vyšetrujúci môže pohybom endoskopu určiť ľubovoľné miesto hlasiviek pre vysokorýchlostný záznam [6].

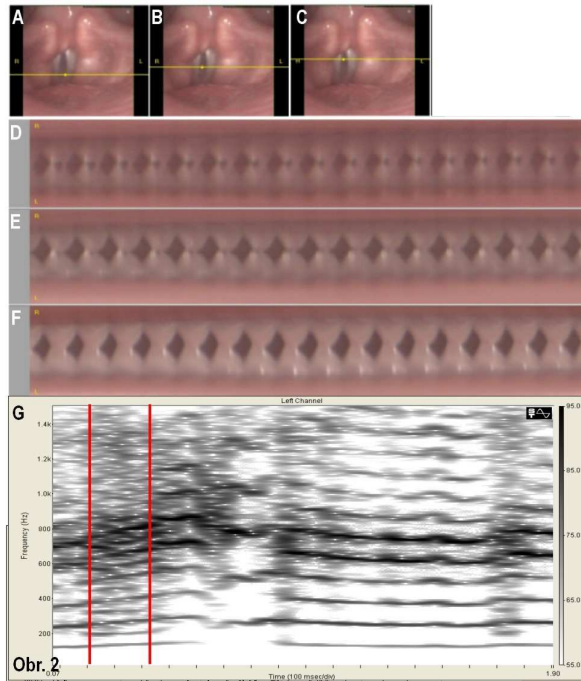
Vysokofrekvenčná videolaryngoskopia je celoplošná vysokofrekvenčná záznamová optická metóda. Frekvencia snímania je 2000 alebo 4000 obrázkov/s (rozlíšenie 256x256 bodov).

3 Výsledky

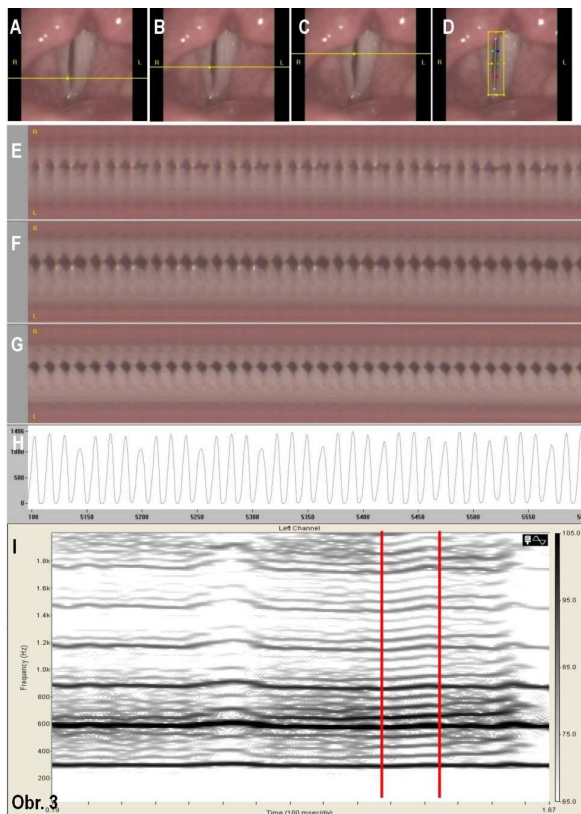


Obr. 1. Sekvencie videokymografických 80 ms dlhých zobrazení rôznych druhov nepravidelného kmitania hlasiviek: A – pravidelné (frekvenčne aj

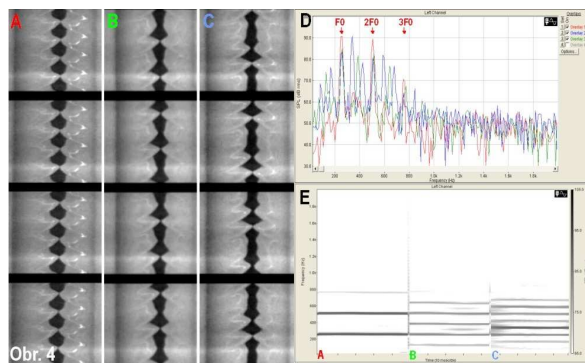
fázovo) symetrické kmitanie, B – stranovo asymetrické kmitanie, fázovo posunuté, C – symetrické kmitanie s nepravidelnou frekvenčnou zložkou (striedanie dvoch kmitov s menšou a väčšou amplitúdou a frekvenciou - diplofónia), D – asymetrické kmitanie (striedanie dvoch asymetrických kmitov s rôznou fázovou a frekvenčnou zložkou – stranová desynchronizácia - diplofónia), E – asymetrické kmitanie so stranovo rozdielnou frekvenčnou zložkou – stranová desynchronizácia - bifónia (ľavá a pravá hlasivka kmitajú nezávisle), F – chaotické, nepravidelné, asymetrické kmitanie rôznych štruktúr hrtanu.



Obr. 2. Zobrazenie diplofónie vo vysokofrekvenčnej laryngoskopii. A – C – zobrazenie fázy otvorenia hlasiviek a miesta pre kymografické zobrazenia (E-G) kmitania hlasiviek – žltá čiara, D – F – kymografické znázornenie kmitania prednej (D), strednej (E) a zadnej (F) tretiny blanitej časti hlasiviek, G – spektrogram 2 s dlhého akustického signálu, kde je medzi červenými čiarami naznačený úsek diplofónie so subharmonickým prídavkom k harmonickému spektru. Hlasivky počas diplofónie kmitajú spôsobom 1:2, kde na jeden vertikálny kmit pripadajú dva horizontálne (v predozadnom smere). Na kymograme E je zobrazené zdvojenie periódy hlasiviek (po jednom normálnom cykle prichádza ďalšie malé otvorenie hlasiviek). Na kymogramoch E,F tento efekt nie je vidno, takže hlasivky kmitajú tak, že sa dvojmo otvára len predná časť hlasiviek.



Obr. 3. Zobrazenie multiplifónie vo vysokofrekvenčnej laryngoskopii. A – C – zobrazenie fázy otvorenia hlasiviek a miesta pre kymografické zobrazenia kmitania hlasiviek (E-G). D – zobrazenie automatického výpočtu plochy glottis, E – G – kymografické znázornenie kmitania prednej (E), strednej (F) a zadnej (G) tretiny blanitej časti hlasiviek, H – vypočítaná plocha glottis (glottal area function), I – spektrogram 2 s dlhého akustického signálu. V spektrograme je znázornený subharmonický prídavok (3 interharmonické) k základnému harmonickému spektru. Hlasivky počas multiplifónie kmitajú v móde, kde sa pravidelne opakuje cyklus štvorice kmitov (quadruplofónia) zobrazený v glottal area function (H). Na kymogramoch E,F je zobrazené striedanie 3 pravidelných kmitov a následne jeden nepravidelný kmit. Na kymograme G tento efekt nie je vidno, takže nepravidelné kmitanie je sa kymograficky prejavuje len v prednej a strednej časti hlasiviek. Na spomalenom laryngoskopickom zobrazení sa však prejavuje spôsob kmitania hlasiviek 1:4, kde na 4 vertikálne kmity pripadá 1 horizontálny (v predozadnom smere).



Obr. 4. Videokymografické sekvencie (A-C), spektrum (D) a spektrogram (E) elektroglottografického signálu: A (červená) – pravidelného kmitania hlasiviek, B (zelená) – diplofónie – pravidelného striedania sa dvoch kmitov s rôznym tvarom kmitov, C (modrá) – triplofónie – pravidelného striedania troch nerovnakých kmitov. Všetky kmity vychádzajú zo základnej frekvencie kmitov cca 250 Hz, pri diplofónii sa v spektre objaví subharmonický frekvenčný prídavok so základnou frekvenciou $F_0/2$ cca 125 Hz, pri triplofónii sa pôvodné harmonické spektrum doplní o dvojicu subharmonických prídavkov so základnou frekvenciou cca $F_0/3$.

4 Diskusia a záver

Vysokofrekvenčné zobrazovanie metódy svojím princípom umožňujú sledovanie rýchlych a nepravidelných dejov. Videokymografia na základe možnosti sledovania len jedného úseku hlasiviek v danom čase umožnila rozdeliť spôsoby nepravidelného kmitania vo všeobecnosti na symetrické, asymetrické a desynchronne kmitania. Vysokofrekvenčná celoplošná laryngoskopia priniesla potvrdenie účasti komplexného kmitania celého hrtanu pri tvorbe diplofónie ako špeciálny prejav nepravidelného kmitania. V uvedenej štúdii boli zobrazené 2 druhy rôznych spôsobov kmitania hrtana 1:2 a 4:1 (vertikálne zdola- nahor : horizontálne kmitanie v predo-zadnom smere). V oboch prípadoch bol prejav nepravidelností najvýraznejší v prednej časti hlasiviek. Na spektrograme sa v prípade diplofónie zobrazoval interharmonický prídavok k základnému harmonickému spektru.

Pod'akovanie

Autori ďakujú firme Hospimed a Wolf za zapožičanie vysokorýchlostnej kamery typu HRES ENDOCAM 5562. Výskum bol podporený Ministerstvom školstva a mládeže Českej republiky projektmi EUREKA E! 2614 „NewVoice“ a projektom č.: 1M6138498401.

Literatúra

- [1] Cavalli L., Hirson A.(1999): Diplophonia reappraised. *J.Voice*, Vol. 13, No. 4, pp. 542-556.
- [2] Frič M. (2004): Biofyzikálne aspekty tvorby ľudského hlasu a metódy hodnotenia kvality hlasu, Rigorózná práca, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave.
- [3] Mergell P., Herzel H., Titze I.R.(2000): Irregular vocal-fold vibration - High-speed observation and modeling. *J. Acoust. Soc. Am.*, 108(6), pp. 2996-3002.
- [4] Neubauer J., Mergell P., Eyshold U., Herzel H.(2001): Spatio-temporal analysis of irregular vocal fold oscillations: Biphonation due to desynchronization of spatial modes, *J. Acoust. Soc. Am.*,110(6), pp. 3179-3192.
- [5] Šram F., Švec .J, Havlík R., Frič M.(2003): Poruchy hlasu. *Iatrike Techne* 1/2003:pp. LVI-LXII.
- [6] Švec JG, Schutte HK (1996): Videokymography: High-Speed Line Scanning of Vocal Fold Vibration, *Journal of Voice*, 10(2): 201-205.
- [7] Švec, J.G., Schutte, H.K., and Miller, D.G., (1996): A Subharmonic Vibratory Pattern in Normal Vocal Folds, *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 135-143.