

O tvorbě a produkci lidského hlasu

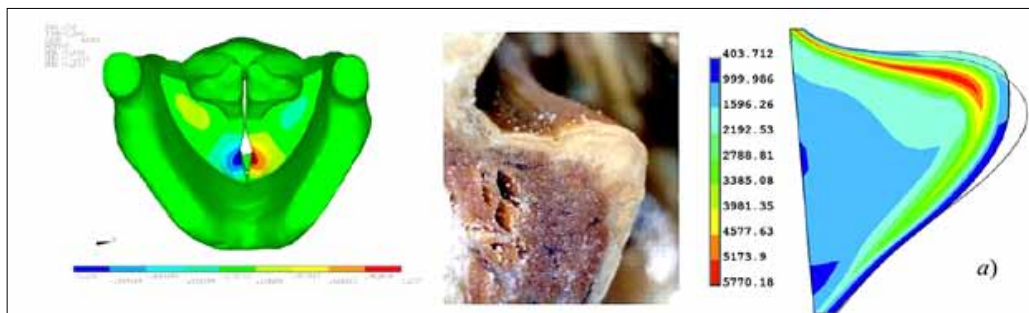
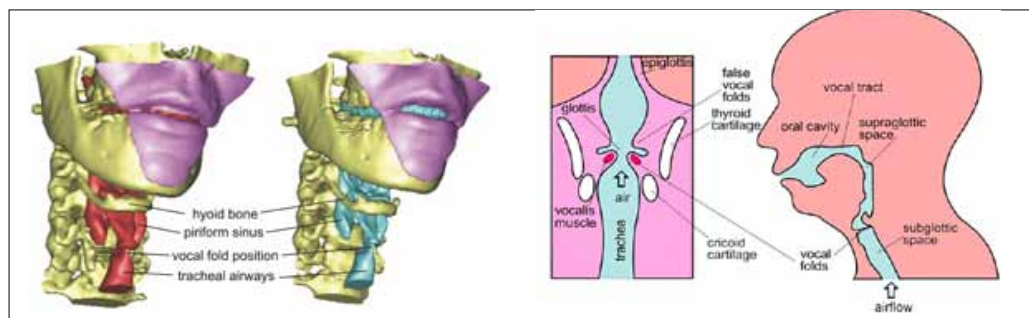
Vědní obor biomechanika hlasu se velmi dynamicky rozvíjí. **Analýza generace zvuku hlasivkami a jeho šíření** vokálním traktem, lebečními kostmi, měkkými tkáněmi lidské hlavy až k percepci zvuku příslušnými mozkovými centry představuje složitý komplexní problém.

Defekt některého z prvků systému vede k poruchám vnímání zvuku i vlastního hlasového projevu. Proto je nutné věnovat pozornost analýze reálných cest šíření zvuku. Výpočtové modely a numerické simulace fonace lze využít při studiu generace hlasu, k modelování vlivu vrozených vad v oblasti vokálního traktu a k simulacím pooperačních stavů po odstranění nádorů.

Vznik hlasu je komplexní biomechanický proces, zahrnující faktory od vlivu proudícího vzduchu z plic, kmitání hraničních tkání až po rezonance dutiny vokálního traktu. Hlasivky samobuzeně rozkmitávané vzduchem z plic generují tón, jehož frekvence odpovídá frekvenci kmitání hlasivek. V prostorech nad hlasivkami pak rezonanční děje mění spektrum základního tónu. Akustické rezonance vokálního traktu vytvářejí

na znalostech mechaniky a omezeních výpočetní techniky. Výpočetní a modelovací techniky už dosáhly úrovně umožňující přímou transformaci matematických modelů ve fyzické třeba pomocí číslicové řízených

S ohledem na podrobný geometrický popis akustických kavit vokálního traktu lze tvořit 3D MKP modely, efektivně simulující fonaci ve frekvenčním spektru do 20 kHz; to pomáhá porozumět relativně ši-

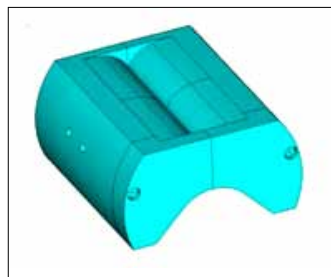


Maximální deformace hlasivkových tkání během fonace

tvz. formanty - vrcholy ve spektru hlasu. Jejich poloha ve frekvenčním spektru definuje samohlásky a způsobuje rozdíly v zabarvení hlasu. Formanty určují velikost a tvar dutiny vokálního traktu a mohou se během fonace měnit třeba změnou polohy jazyka či otevřením úst.

Pochopení interakce mezi prouděním vzduchu, kmitáním hraničních tkání vokálního traktu a jejich vlivem na akustické charakteristiky hlasu vyžadují znalost aerodynamiky, akustiky a materiálových vlastností tkání. Získání podrobnějších informací o proudění vzduchu v hlasivkách či jejich materiálových charakteristik měřením je vzhledem k nedostupnosti hlasivek komplikované. Kvůli rychlé degradaci vzorků nelze spolehat ani na zjištění informací in vitro. Zbývají jen nepřímá akustická měření a zobrazovací metody. Vhodný nástroj pro porozumění základním principům tvorby hlasu je použití obecných fyzikálních principů. Kvalitu hlasového projevu lze popsat pomocí matematických modelů, jež umožňují vytvářet řadu modelových situací. Přesnost modelů závisí

strojů. Matematické modely tak lze ověřit experimentálně na poměrně realistických fyzikálních modelech - toto prověření je o to důležitější, pokud se v matematickém modelu zanedbají některé vlivy či fyzikální parametry.



Model hlasivkové náhrady

Neustále se zvyšující kvalita zobrazovacích technik umožňuje sestavit realitě stále bližší biomechanické modely, což umožňuje studovat dříve opomíjené jevy.

rokým individuálním rozdíly v kvalitě hlasu.

Pro učitele, herce ap. jsou problémy s hlasem velmi limitující. Návrh modelu lidských hlasivek simulující patologické stavy je nezbytný pro návrh umělé hlasivky. Ide o komplikovaný problém, zahrnující řadu vědních disciplín. Je nutné získat poznatky o vzniku samobuzených kmitů hlasivky proudem vzduchu z plic, nalézt vhodný materiálový popis hlasivkových tkání a predikovat hodnoty impaktních napětostí během fonace.

Mechanické zatěžování hlasivky způsobuje kombinace aerodynamických, inerciálních a rázových sil. Hodnoty napětostí a zrychlení v důsledku nárazů hlasivky během fonace mohou poškodit tkáň. S ohledem na problematiku geometrickou a materiálovou konfiguraci hlasivkových tkání byl sestaven plně parametrický 3D objemový výpočtový model lidského hrtanu na bázi metody MKP, respektující fonační postavení hlasivek. Umožňuje snadno modifikovat jejich geometrickou konfiguraci a změnu podélného předpětí hlasivkových tkání, kte-

ré jsou popsány nelineárními materiálovými charakteristikami.

S ohledem na charakter použití modelu, kdy je nutné testovat řadu geometrických a materiálových konfigurací, je model zatěžován tlakovými charakteristikami předem napočítanými ze zjednodušeného aeroelastického modelu a následně je řešena interakce proudu vzduchu s poddajnou tkání hrtanu. Pro získání relevantních informací o charakteru kmitů lidské hlasivky je nutné sestavit modely odvozené ze snímků pořízených počítačovou tomografií, a ty konvertovat do 3D objemového modelu. V prostředí jazyka MATLAB vznikl interaktivní výpočto-

Rekonstrukce vokálního traktu člověka ze snímků CT

vý nástroj pro korekci, vyhlazení a konverzi objemového modelu do MKP popisu řešené struktury. Model respektuje třívrstvou strukturu hlasivky.

S ohledem na parametrizaci modelu lze změnou hodnoty předpětí hlasivkových tkání dosáhnout shody základní frekvence kmitání hlasivky s daty, získanými při fonaci pacienta. Implementace kontaktních elementů umožní vyhodnotit hodnoty napětostí na povrchu tkání i v těle hlasivky. Ambicí výpočtového modelu je s ohledem na data pořízená při vyšetření pacientů usuzovat z charakteru kmitů hlasivek na příslušný typ patologie a testovat navržené materiálové charakteristiky tkání s ohledem na vznik samobuzených kmitů.

Vývoj modelu a získané poznatky pro vybudování kmitů hlasivek vyústil v návrh materiálové struktury s proměnnou tuhostí tak, aby co nejlépe vyhovoval požadavkům klinické praxe pro návrh konstrukce umělé hlasivky. Prvotní experimentální výsledky na fyzických modelech prokazují uspokojivé charakteristiky odpovídající klinické praxi.

Poznatky z problematiky základního výzkumu tvorby a produkce lidského hlasu vedoucího k návrhu konstrukce umělé hlasivky vznikly ve spolupráci Fakulty strojní ČVUT s Ústavem termomechaniky AV ČR, v.v.i, Ústavem makromolekulární chemie AV ČR, v.v.i, První lékařskou fakultou Univerzity Karlovy v Praze a s Ústavem biofyziky, Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. ➔

Prof. Dr. Ing. Tomáš Vampola, ČVUT v Praze, Fakulta strojní