

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25293410

研究課題名(和文) 流体音響解析を応用した各構音運動の音源解明と口蓋裂言語の病態解明

研究課題名(英文) Investigation of sound sources in articulatory movement and speech pathologies of cleft palate using a numerical acoustic analysis

研究代表者

三島 克章 (MISHIMA, Katsuaki)

山口大学・医学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60304317

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：/a/発音時におけるCT-DICOMデータから声道のサーフェスモデルを作成し、このサーフェスモデルに立体内視鏡から作成される鼻咽腔の距離画像を重ね合わせて、4次元情報を持つ声道モデルを作成した。この声道モデルに対して、声道が形成するフォルマント周波数を調べるため、数値音響解析プログラムを用いて声道内の音響周波数応答解析を実施した。種々の解析条件を調整してシミュレーションを実施した結果、音圧レベルの周波数応答線図を算出することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：A surface model of the vocal tract was produced from CT-DICOM data during phonation of Japanese vowel /a/. Range images for the velopharynx produced using a three-dimensional endoscope and the surface model were superimposed, and the surface model of the vocal tract having four dimensional information of the velopharynx was then made. Using the vocal tract model, we performed a frequency response analysis in the vocal tract with a numerical acoustic analysis program to examine formant frequencies created in the vocal tract. As a result of simulation by adjusting various kinds of the conditions in the analysis, we could calculate a frequency response diagram of the sound pressure level.

研究分野：医歯薬学

キーワード：音響解析 声道モデル 口蓋裂 構音運動 鼻咽腔運動

1. 研究開始当初の背景

口蓋裂患者に行われる口蓋形成術において、言語成績を向上させるべく種々術式が考案されてきているが、依然、鼻咽腔閉鎖不全やこれに起因する構音障害が見られる。このような言語に対して、種々の音響分析的研究、周波数解析やフォルマント解析等のいわゆる古典的解析方法や非線形力学解析(カオス解析)が用いられているが、口蓋裂言語の特徴を十分には抽出できない。さらに、その言語障害の病態生理、あるいは発せられる音の産生機序は依然、不明のままである。

2. 研究の目的

CT から構築される 3 次元画像に、立体内視鏡を用いて得られる鼻咽腔の 4 次元情報を統合させて運動情報を持った声道モデルとして完成させ、さらに、このモデルに対して音響解析を応用することにより、産出される音のシミュレーションを可能にすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究は倫理委員会承認のもと実施された。また、以下の研究はワークステーション DELL Precision T3610、インテル Xenon プロセッサ E5-1650 v2 (6 コア HT、3.50GHz ターボ、12MB)、グラフィックス NVIDIA Quadro K4000 3GB(2DP & 1DVI-I) X 2DP-DVI & 1DVI-VGA アダプタ)を用いた。

(1) CT サーフェスモデルの作成

サーフェスモデルの作成には、3D 可視化解析システム Amira(ver.5、(株)マックスネット、東京)を用いた。

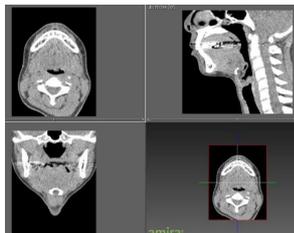


図 1. 空気の CT 値を示す Voxel の抽出

CT-DICOM データは Voxel データであるため、体内空気の表面形状を作成するために空気の値の Voxel を抽出し(図 1) 必要な領域の空気の値の領域を抽出して、気道のサーフェスデータを生成した(図 2)。



図 2. 気道のサーフェスデータの作成

(2) CT サーフェスモデルの立体内視鏡距離画像による変形機能の開発

CT から生成されたサーフェスモデルに対し、立体内視鏡から得られる軟口蓋の 3 次元的な動きを反映した形状へ変形させる機能を開発した。CT サーフェスモデルと内視鏡動画画像上で 4 点の対応点を指定し、対応点に相当する 4 点を内視鏡距離画像上で求めた。両画像間の位置・姿勢を合わせることで、CT サーフェスモデルの座標系と内視鏡距離画像の座標系に変換する変換行列を算出し、そして、4 次元情報を有する軟口蓋を含む声道サーフェスモデルとして作成した(図 3)。

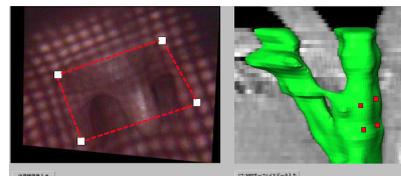


図 3. CT サーフェスモデルと内視鏡動画画像間で対応点を指定

(3) 声道共鳴のシミュレーション

声道が形成するフォルマント周波数を調べるため、声道内の音響周波数応答解析を実施した。

健常女性ボランティアを被験者として、/a/発音下の CT を撮影した。前述の如く、CT から得られる DICOM データからサーフェスモデルを生成した後、STL データを生成した。CAD データの修正には、3 次元ダイレクトモ

デラー SpaceClaim (株)サイバネット、東京) を用い、音響解析には数値音響解析プログラム WAON (株)サイバネット、東京) を用いた。STL データに存在する不連続な空間に対しては (図 4) SpaceClaim を用いて形状全体を包み込む平滑化された表面データを生成した。新たに作成する三角形パッチのサイズはおよそ 2mm とした。この三角形パッチは、10kHz 以下の周波数を十分な精度にて解析できる境界要素サイズであったため、そのまま境界要素として音響解析に使用した (図 5)。

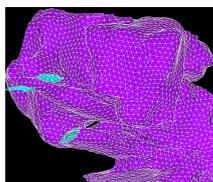


図 4 . STL データに残る欠損値 (穴の開いた部分、青色)

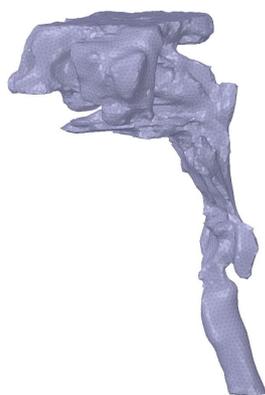


図 5 . 解析用のメッシングデータ (約 2mm の三角形パッチ)

今回作成したサーフェスモデルでは、鼻咽腔部での鼻腔への交通を認めるモデルであった。一般に、/a/発音時には鼻咽腔は閉鎖されていることが多いが、逆に閉鎖されていないこともある。われわれの過去の研究結果でも、成人女性のナゾランス値は $26.6 \pm 11.5\%$ であったことから、鼻腔への開放状態は種々の程度想定される。そこで、生成されたままの開放状態と、鼻咽腔部分で鼻腔への交通を閉鎖 (同部位を蓋) した状態の二通りのモデルに対して解析を行った。

解析条件は以下の通りとした。

- 音響媒質 ; 音速 : 340m/s、密度 : 1.225 kg/m³

- 音源 ; 声帯部分に 1mm/s の振動速度
- 吸音面 ; 内表面全体に、1%程度の吸音率として、実部のみのインピーダンス 165700 を付与
- 結果評価点 ; 口腔の開口部前方に 1 点、 $(X, Y, Z) = (0.0, -0.1, -0.1)$ (図 6)
- 解析周波数 ; 10Hz から 2000Hz まで 10Hz 刻みの 200step

WAONにおける音圧の計算は、波動方程式の時間変動成分を調和振動と仮定して得られるヘルムホルツ方程式を、3次元境界要素法で解析されている。以下の連立1次方程式 (表裏独立型 : Double Layer Form (DLF)) を解くことにより、最終的に薄層境界各面の音圧が算出される (WAON理論マニュアルより抜粋)。

$$\begin{pmatrix} E+B+C^+ & E-B+C^- \\ G+H^++J^+ & -G+H^-+J^- \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} p^+ \\ p^- \end{pmatrix} = j\omega\rho \begin{pmatrix} A & A \\ F+I & F-I \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v^+ \\ v^- \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f \\ g \end{pmatrix}$$

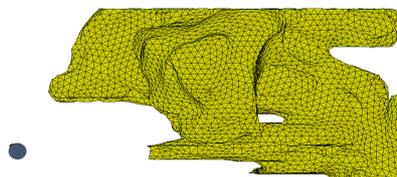


図 6 . 口唇前方部に設定した結果評価点 (黒丸部)

4 . 研究成果

(1) 音圧レベルの周波数応答線図

結果評価点、すなわち口腔の開口部前方に設けた点 $(X, Y, Z) = (0.0, -0.1, -0.1)$ における音圧レベルの周波数応答解析を行った結果を図 7 に示す。

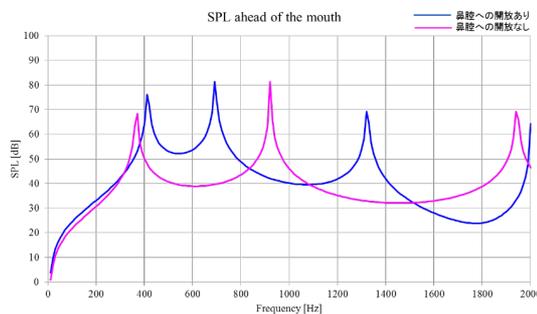


図 7 . 結果評価点における音圧レベルの周波数応答線図

(2) フォルマント周波数における声道内部音圧分布

鼻腔への開放ありのモデルにおいて、音響

周波数応答解析により算出された各フォルマント周波数 410Hz、690Hz、1320Hz における声道内部音圧分布を求めた (図 8)。

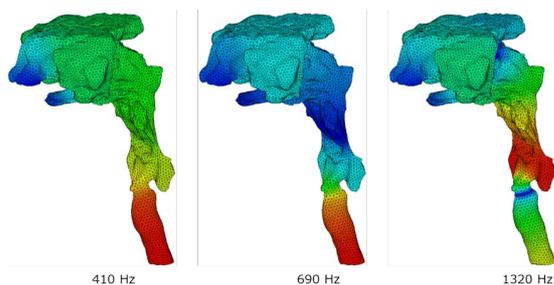


図 8 . フォルマント周波数における声道内部音圧分布 (鼻腔への開放ありのモデル)

鼻腔への開放なしのモデルにおいて、音響周波数応答解析により算出された各フォルマント周波数 370Hz、920Hz における声道内部音圧分布を求めた (図 9)。

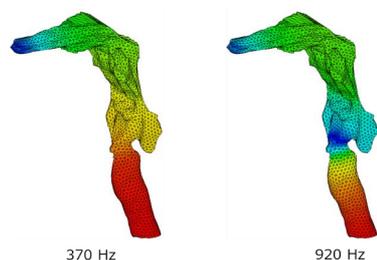


図 9 . フォルマント周波数における声道内部音圧分布 (鼻腔への開放なしのモデル)

以上の如く、声道モデルに対して音響周波数応答解析を実施し、声道が形成するフォルマント周波数をシミュレーションすることが可能となった。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

Nakajima Y., Nakano H., Sumida T., Yamada T., Inoue K., Sugiyama G., Mishima K., Mori Y., High Le Fort I osteotomy for correction of mid-face deformity in Crouzon syndrome, Congenit Anom (Kyoto), 査読あり, 2016, 印刷中, DOI:10.1111/cga.12168
Mishima K., 他 4 名, 1 番目, Frenum like oral synechiae of the lip and vestibule, Oral Maxillofac Surg, 査読あり, 20(2),

2016, 219-222,

DOI:10.1007/s10006-015-0544-z

Harada K., Ferdous T., Horinaga D., Uchida K., Mano T., Mishima K., 他 9 名, 6 番目, Efficacy of elemental diet on prevention for chemoradiotherapy-induced oral mucositis in patients with oral squamous cell carcinoma, Support Care Cancer, 査読あり, 24(2), 2016, 953-959,

DOI:10.1007/s00520-015-2866-7

Nakano A., Mishima K., 他 2 名, 2 番目, Quantitative analysis of velopharyngeal movement using a stereoscopic endoscope: accuracy and reliability of range images, Comput Aided Surg, 査読あり, 20(1), 2015, 29-33,

DOI:10.3109/10929088.2015.1076041

Inoue K., Nakano H., Sumida T., Yamada T., Otawa T., Fukuda N., Nakajima Y., Kumamaru W., Mishima K., 他 3 名, 2 番目, A novel measurement method for the morphology of the mandibular ramus using homologous modelling, Dento-maxillofac Radiol, 査読あり, 44, 2015, 20150062,

DOI:10.1259/dmfr.20150062

Mishima K., Nakano A., Umeda H., 他 2 名, 1 番目, Gender differences in posed smiles using principal component analysis, J Cranio-Maxillofac Surg, 査読あり, 43(1), 2015, 144-148, DOI:10.1016/j.jcms.2014.10.026

Nakano H., Mishima K., 他 8 名, 2 番目, Relationships between airway morphology and sleep breathing indices in jaw deformity patients, J Sleep Disord Ther, 査読あり, 4(1), 2015, 1000187, DOI:10.4172/2167-0277.1000187

Nakano A., Mishima K., 他 2 名, 1 番目,

A case of squamous cell carcinoma arising from branchial cleft cyst, J Oral Maxillofac Surg, 査読あり, 72(4), 2015, 781-785,

DOI:10.1016/j.joms.2014.10.036

Mishima K., Umeda H., 他 4 名, 1 番目, Three-dimensional intra-rater and inter-rater reliability during a posed smile using a videobased motion analyzing system, J Cranio-Maxillofac Surg, 査読あり, 42(5), 2014, 428-431,

DOI:10.1016/j.jcms.2013.05.035

Suga H., Mishima K., Nakano H., 他 5 名, 2 番目, Different therapeutic mechanisms of rigid and semi-rigid mandibular repositioning devices in obstructive sleep apnea syndrome, J Cranio-Maxillofac Surg, 査読あり, 42(8), 2014, 1650-1654,

DOI:10.1016/j.jcms.2014.05.007

Mishima K., 他 3 名, 1 番目, Range image of the velopharynx produced using a 3D endoscope with pattern projection, Laryngoscope, 査読あり, 123, 2013, e122-e126,

DOI:10.1002/lary.24253

[学会発表](計 17 件)

内田堅一郎、原田耕志、真野隆充、三島克章、他 1 名：切除不可能な転移再発口腔癌症例に対する Cetuximab を併用した化学療法の検討、第 34 回日本口腔腫瘍学会総会、2016/1/21、横浜市開港記念会館（神奈川県・横浜市）

真野隆充、原田耕志、内田堅一郎、梅田浩嗣、三島克章、他 1 名：口腔扁平上皮癌におけるセンチネルリンパ節生検施行症例の予後に関する臨床的検討、第 34 回日本口腔腫瘍学会総会、2016/1/21、横浜市開港記念会館（神奈川県・横浜市）

三島克章、中野明日香、白石麻美、梅田浩嗣、他 1 名：主成分分析を応用したスマイル時の口唇運動における性差、第 60 回日本口腔外科学会総会、2015/10/17、名古屋国際会議場（愛知県・名古屋市）
白石麻美、三島克章、梅田浩嗣、他 2 名：Hypoglossia-hypodactylia syndrome の 1 例、第 60 回日本口腔外科学会総会、2015/10/17、名古屋国際会議場（愛知県・名古屋市）

白石麻美、真野隆充、内田堅一郎、堀永大樹、梅田浩嗣、武居宏樹、三島克章、他 1 名：下顎枝垂直骨切り術後の下唇・オトガイ部皮膚知覚異常の変化について - 下顎矢状分割術後との比較 -、第 69 回日本口腔科学会総会、2015/5/15、大阪国際会議場（大阪府・大阪市）

三島克章、他 3 名：Zimmermann-Laban 症候群の一例、第 62 回日本口腔科学会中国・四国地方部会、2014/10/25、徳島大学歯学部大講義室（徳島県・徳島市）

Nakano A., Mishima K., Nakano H., 他 3 名：A case of squamous cell carcinoma arising from branchial cleft cyst. 96th AAOMS Annual Meeting, Scientific Sessions and Exhibition in conjunction with the Japanese Society of Oral and Maxillofacial Surgeons and the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons, 2014/9/11, Hawaii (USA)

三島克章：立体内視鏡を用いた鼻咽腔運動の計測技術、第 1 回医療福祉機器技術事業化交流会、2014/7/18、ホテルセンチュリー21 広島（広島県・広島市）

中野明日香、三島克章、梅田浩嗣、他 4 名：スマイル時の口唇運動における検者内および検者間信頼性について、第 24 回日本顎変形症学会総会、2014/6/10、アクロス福岡（福岡県・福岡市）

三島克章：立体内視鏡を用いた鼻咽腔運

動の計測技術、Bio tech 2014、2014/5/16、東京ビッグサイト（東京都・江東区）

三島克章：頭頸部放射線治療の患者の歯科治療・口腔ケア、山口大学医学部附属病院と山口県歯科医師会による医科歯科連携講習会-癌講習会 2-、2013/11/10、山口県歯科医師会館（山口県・山口市）

内田堅一郎、真野隆充、弘中雅史、堀永大樹、原田耕志、三島克章、他 1 名：超高齢者の口腔癌症例における臨床的検討、第 58 回日本口腔外科学会総会、2013/10/12、福岡国際会議場（福岡県・福岡市）

三島克章、他 5 名：立体内視鏡を用いた鼻咽腔三次元データ構築システムの開発、第 58 回日本口腔外科学会総会、2013/10/11、福岡国際会議場（福岡県・福岡市）

中野明日香、三島克章、白石瑠里子、堀さやか、梅田浩嗣、他 1 名：立体内視鏡を用いた鼻咽腔運動の定量解析法の開発 - 鼻咽腔距離画像の精度と信頼性 -、第 58 回日本口腔外科学会総会、2013/10/11、マリンメッセ福岡（福岡県・福岡市）

松村真由美、三島克章、中野旬之、他 2 名：睡眠時無呼吸症候群の治療に対して用いられる口腔内装置の作用機序について、第 67 回日本口腔科学会総会、2013/5/22、栃木県総合文化センター（栃木県・宇都宮市）

菅北斗、三島克章、中野旬之、他 2 名：数値流体力学を用いた口腔内装置の作用機序についての検討、第 67 回日本口腔科学会総会、2013/5/22、栃木県総合文化センター（栃木県・宇都宮市）

中村健吾、原田耕志、堀永大樹、真野隆充、三島克章、他 1 名：シスプラチンを含む化学療法を受ける口腔扁平上皮癌に対するアプレピタント、ホスアプレピタントメグルミンの制吐効果の比較検討、

第 42 回日本口腔外科学会中国四国支部学術集会、2013/4/27、隠岐島文化会館（島根県・隠岐郡）

〔図書〕(計 3 件)

Mishima K., Ueyama Y., Nova Science Publishers, Advances in medicine and biology. In: Dental considerations for acromegaly: a review, 2015, 224(149-158)

三島克章、医学書院、今日の治療指針：口腔金属アレルギー、2014、2192(1412)

Mishima K., Nova Science Publishers, Cleft lip and palate: etiology, surgery & repair and sociopsychological consequences. In: effects of presurgical infant orthopedics in patients with cleft lip and palate: a review, 2013, 172(93-110)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三島 克章 (MISHIMA, Katsuaki)

山口大学・大学院医学系研究科・准教授
研究者番号：60304317

(2) 研究分担者

中野 旬之 (NAKANO, Hiroyuki)

九州大学・大学病院・講師
研究者番号：60511730

梅田 浩嗣 (UMEDA, Hirotsugu)

山口大学・医学部附属病院・診療助教
研究者番号：90610618

上田 克彦 (UEDA, Katsuhiko)

山口大学・医学部附属病院・診療放射線技師長
研究者番号：40569315