

口蓋裂患者における開鼻声の音響特徴と
鼻咽腔閉鎖不全の関連について
—MRI 画像による鼻咽腔開放面積計測と
Analysis-by-Synthesis 法による
アンチフォルマント周波数の推定から—

金野 吉晃, 三輪 譲二*

岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座

(主任: 石川 富士郎 教授)

岩手大学工学部情報工学科*

(主任: 高浪 五男 教授)

(受付: 1997年10月15日)

(受理: 1997年11月20日)

Abstract: We investigated the relationship between the acoustical characteristic of the nasalized vowels and the velopharyngeal incompetence (VPI) of cleft palate patients. Subjects were five male adult patients who had palatoplasty in their infancy. Cephalograms, digital recordings of Japanese vowels and magnetic resonance imaging (MRI) of head and neck were taken from subjects. MRI's were obtained while the patients pronounced single vowels normally. We employed the A-b-S (Analysis-by-Synthesis) method for the acoustical analysis of the /i/ sound with our original software in a work station . The velopharyngeal opening areas were measured with a personal computer by using MRI's of the velo- pharyngeal closure portion.

The results showed that the antiformant frequencies were related to the velopharyngeal opening area, and the antiformant frequencies will be a useful index to VPI case. The acoustical estimation of the velopharyngeal opening area will apply to the training of speech improvement.

However, to fully determine the relations between the antiformant frequencies and the velopharyngeal opening area, the followings are required, 1) measuring the entire area of the vocal tract including asymmetrical anomalous nasal passages and paranasal cavities, and 2) avoiding the artifact of MRI.

Key words : antiformant frequency, velopharyngeal incompetence, Analysis-by-Synthesis method, cleft palate, magnetic resonance imaging

A study on the relationship between the acoustical analysis characteristic of the nasalized vowels and the velopharyngeal incompetence of the cleft palate patients.

—On the magnetic resonance imagings of the velopharyngeal opening area and the estimation of antiformant frequencies by the Analysis-by-Synthesis method—

Yoshiaki KINNO, and Jouji MIWA*.

(Department of Orthodontics, School of Dentistry, Iwate Medical University, Morioka, 020 Japan,

*Department of Computer and Information Science, Faculty of Engineering, Iwate University, Morioka, 020 Japan.)

Table 1. Subjects.

Patient	Age	Type	Nasality
H. N.	29y11m	UCLP	-
H. M.	17y 9m	UCLP	±
R. U.	18y11m	BCLP	±
Y. H.	21y11m	BCLP	-
M. T.	23y 6m	UCLP	++

UCLP (Unilateral cleft lip and palate)

BCLP (Bilateral cleft lip and palate)

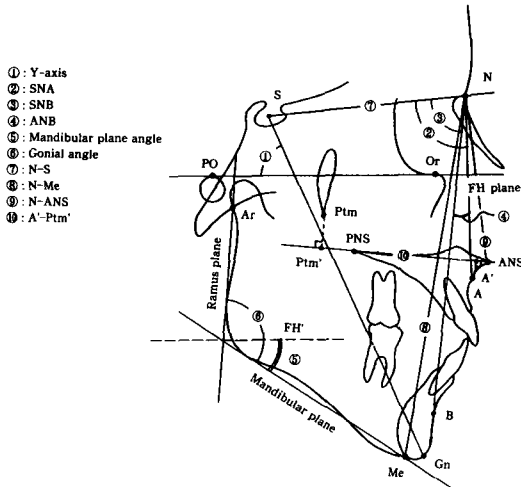


Fig. 1. Cephalometric analysis.

緒 言

口蓋裂に関連する異常構音には多数の種類があるが、主として軟口蓋の挙上不全により発声時の呼気が鼻腔に漏出する現象、鼻咽腔閉鎖不全 (Velopharyngeal Incompetence, VPI) による開鼻声の発現頻度が極めて高いことが知られている。また、開鼻声の音響特徴や VPI の評価についての研究は口蓋裂に関連する機能不全の問題の主流の一つである¹⁻⁵⁾。しかし、開鼻声や VPI の評価については統一的理解が得られていない。その理由の一つは音響学的に開鼻声の分析が極めて困難であり、その分析結果と鼻咽腔開放の度合いが定量的に関連づけられていないことによると考えられる⁶⁾。

我々は、既に開鼻声と顎顔面構造の関連から、上顔面の発育と音声分析上のフォルマント周波数の異常が関連していることを報告し

Table 2. Scanning parameters.

TR (ms)	33.0
TE (ms)	6.0
Nex	1
Orientation	Head and Neck. Colonial-Oblique-Axial
Slices	11~14/series
Thickness (cm)	0.5
View size (cm ²)	24×24=576
Matrix size	256×192<A-P×R-L>
Scan time (sec)	79sec/slice
Equipment	SIGNA advantage (1.5T)
Flip angle	60
Coil	A. Neck
Imaging method	Multi Oblique SPGR GRx

た⁷⁾。しかし、フォルマント異常が本来の母音音響の鼻腔、副鼻腔への反共振によるものであるため、その原因となるアンチフォルマント周波数を推定する必要性を指摘した。また、アンチフォルマント周波数は、鼻腔、副鼻腔を含む声道断面積に影響されるため、正確な分析をするためには声道断面積の連続的変化を知る必要もあった。

今回、極零型 A-b-S (Analysis-by-Synthesis) 法によるアンチフォルマント周波数の推定と MRI 画像による鼻咽腔開放面積の計測を行い、両者の関連から、開鼻声の音響分析のみから VPI の定量的評価を行いうる可能性について検討を行った。この方法を臨床診断に応用できれば、従来の検査よりも簡便に VPI の評価が可能で、この評価が構音改善訓練への一助となると思われる。

資 料

岩手医科大学歯学部附属病院矯正歯科に通院中の、口蓋形成術を幼児期に受けた成人男性の口蓋裂患者 5 名 (片側性 3 名, 両側性 2 名) と健常成人男性 1 名を対象者とし (Table 1), 以下の資料を採得した。

1. 側貌頭部 X 線規格写真 3 種類 (咬合位, /a/

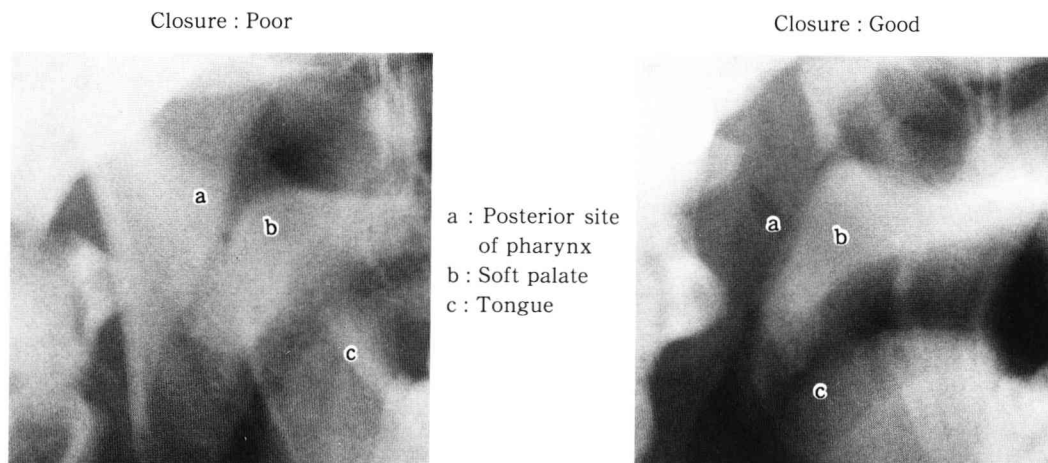


Fig. 2. The assessment of the velopharyngeal incompetence for vowels by cephalogram.

Fair closure cases were classified by the following conditions ; cases with different closures for each vowel, cases with clear nasality in spite of the roentgenographic closure figure, or cases with very slight contacts between the soft palate and the posterior site of pharynx.

発声時, /i/ 発声時)

2. 日本語 5 母音単音節発声の録音
3. VPI 評価のために撮像された母音発声時の頭頸部と咽頭部の MRI 画像

方 法

1. 側貌頭部 X 線規格写真の分析は通法に従った (Fig.1)。
2. 発声時側貌頭部 X 線規格写真より, 各対象者の VPI の程度を観察した (Fig. 2)。
3. 静かな, 同一の部屋で対象者に「通常の発声」を指示して, 母音を単音節発声させ, digital audio tape に録音した。これを 10kHz, 12bits AD 変換し, 10 ms のフレーム周期ごとに, 30 ms のハミング窓により切り出した後, 極零型 A-b-S 法を用いて極と零の周波数, その帯域幅を推定した (Fig. 3)。
4. 母音発声時の MRI 画像の撮像については楊⁹⁾の報告を参考に, Table 2 に示す条件で行った。

また, 健康成人男性 1 名には意識的に開鼻声母音を発声させ, 同様に撮像した。

5. 鼻咽腔閉鎖部位を声道の軸に垂直な面で切り出し (Fig. 4), この MRI 画像をパーソナル・コンピュータに取り込み, 画像解析ソフト NIH image により声道断面積を計測した。

6. Dang²²⁾の報告による健康者の連続的声道断面積のデータより得られた, 理論的なアンチフォルマント周波数の出現帯域 (Fig. 5) と比較して, 患者の鼻咽腔開放面積とアンチフォルマント周波数の実測値との差異について検討した。

7. MRI 撮像時には仰臥位で発声するため, 健康成人男性を対象として姿勢の差異による音声変化を音声分析した。

結 果

1. 側貌頭部 X 線規格写真の分析

Fig. 1 に基づく対象者の顎顔面の計測項目値を Table 3 に示した。

角度的計測では, Y 軸角 (Y-axis) は顔面の下前方への発育方向を表わしているが, すべての対象者で平均値より大きな値が示され, 下方への発育を示していた。SNA は上顎歯槽部の

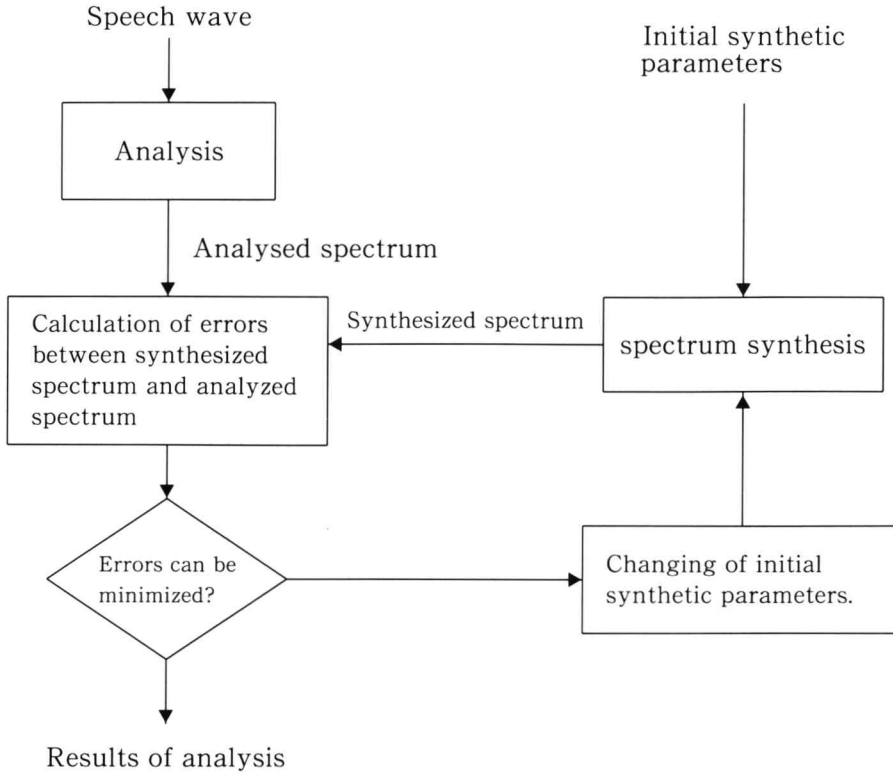


Fig. 3. The procees of the acounstical analysis using the pole-zero Analysis-by-Synthesis method.



Fig. 4. Slice of the ramified vocal tract on the magnetic resonance imaging.

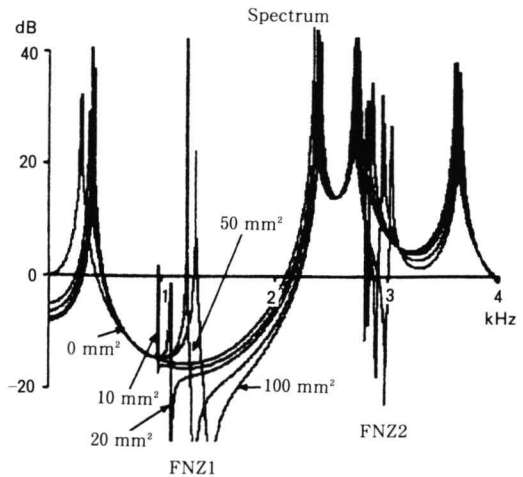


Fig. 5. The relationships of antiformant frequencies related to the velopharyngeal opening area.

FNZ1, means the 1st antiformant frequency ;
 FNZ2, the 2nd antiformant frequency

Table 3. Results of cephalometric analysis on each patient.

Parameters	Standard±SD	Patient				
		H. N.	H. M.	R. U.	Y. H.	M. T.
Y-axis (°)	65.7±3.3	70.9	67.3	71.0	69.3	68.0
SNA (°)	81.8±3.1	81.2	76.8	78.0	67.0	70.3
SNB (°)	78.6±3.1	77.2	73.4	74.0	69.1	73.5
ANB (°)	3.3±2.7	4.0	3.3	4.0	-2.0	-3.2
Mand. pl. angle (°)	26.3±6.3	32.9	25.0	38.8	23.9	43.1
Go. angle (°)	119.4±5.8	121.8	116.8	133.6	107.0	145.0
N-S (mm)	71.9±2.6	70.1	73.5	73.0	78.2	75.2
N-Me (mm)	136.1±5.7	132.4	122.1	139.1	140.4	149.8
N-ANS (mm)	60.0±2.6	61.2	57.7	63.0	66.7	59.8
A'-Ptm' (mm)	51.5±2.6	51.8	47.1	43.9	44.5	45.6

Table 4. Degrees of velopharyngeal incompetence of each patient.

patient	Nasality	Closure (VPI)
H. N.	-	good (-)
H. M.	±	fair (+)
R. U.	±	fair (+)
Y. H.	-	good (-)
M. T.	++	poor (+)

前方限界を表わすが、一例を除きすべての対象者が上顎劣成長の傾向を示した。SNBは下顎歯槽部の前方限界を示すが、すべての対象者が平均値を下回った。これは上下歯槽部の前後関係を表わすANBと併せて検討すると、下顎が後退している例の方が前後関係が悪化して骨格性反対咬合の傾向を示していた。下顎下縁平面角(Mandibular plane angle)は下顎の時計方向回転と顔面、下顎骨の形態的特徴に関与するが、同様の結果を示した。下顎角(Gonial angle)は下顎角部の発育によって変化するが、特定の傾向は認められなかった。

距離的計測では前頭蓋底の前後径(N-S)は一例を除いては、すべて平均値より大きい値を示した。前顔面高(N-Me)は骨格性反対咬合の傾向の認められる例で大きかった。上顔面高(N-ANS)は特定の傾向を認めなかった。口蓋の前後径を示す上顎骨長(A'-Ptm')は一例を除いてすべて小さく、発育不全を示していた。

2. 発声時側貌頭部X線規格写真より評価したVPIの程度 (Table 4)

開鼻声の程度とほぼ一致したVPIが観察された。特に骨格性反対咬合の傾向が著しい対象(M. T.)では軟口蓋の挙上も低く、開鼻声も顕著であったが、この例は歯列も狭窄しており、成人になるまで、矯正治療も構音訓練も受けたことがなかった。しかし、同じく成人まで矯正治療を受けたことの無い対象(H. N.)では、開鼻声を認めず、VPIも良好で反対咬合ではあるが骨格性要因を認めず、顎顔面の発育は良好だった。このように、VPIと顎顔面形態の間に特定の傾向を認めることはできなかった。

3. 開鼻声母音発声時の鼻咽腔閉鎖部位におけるMRI画像

面積計測はMRI画像(Fig. 6)をデータとしてサーバーからディスクに移し、パーソナル・コンピュータ上で処理しながら、声道部分を特定して行った。

口蓋裂患者の軟口蓋挙上は健常者(Control)よりも低いため、各症例とも本来の鼻咽腔閉鎖部位よりも低い位置で声道分岐部が存在することが分かった。

4. 極零型A-b-S法によって推定されたアンチフォルマント周波数と鼻咽腔開放面積の計測 (Table 5) 零周波数(FNZ)すなわちアンチフォルマント周波数は音声エネルギーのスペクトル分布に近似した包絡の谷として推定されるが、その決定については帯域幅が狭い谷を選択した。しかし、Fig. 7に示すように音声スペク

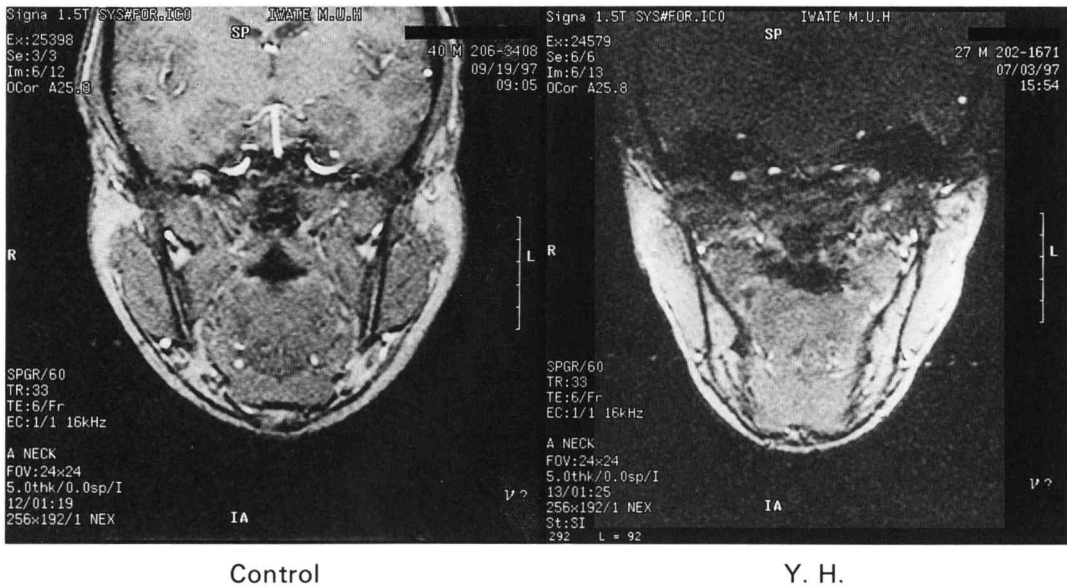


Fig. 6. The magnetic resonance imagings of each patient's velopharyngeal closure portion during nasalized vowel speech.

Table 5. Results of each patient's velopharyngeal opening area and the acoustical analysis with the Analysis-by-Synthesis method.

patient	Area (mm ²)	/i/FNZ1 (BNZ1) (Hz)	/i/FNZ2 (BNZ2) (Hz)
Control	173	1816 (198)	2602 (153)
H. N.	170	715 (98)	2682 (69)
H. M.	174	666 (505)	2688 (89)
R. U.	247	730 (380)	1880 (400)
Y. H.	248	740 (150)	2110 (100)
M. T.	274	1218 (214)	2612 (188)

FNZ1, means the 1st antiformant frequency ; FNZ2, the 2nd antiformant frequency ;
 BNZ1, means the 1st antiformant frequency's band ; BNZ2, the 2nd antiformant frequency's band ;
 Control's data were taken from a normal male adult's intentional nasalized speech.

トル上でアンチフォルマント周波数の存在が明瞭に分かる例 (R. U.) と、分かりにくい例 (Y. H.) があった。

Fig. 8 に示す鼻咽腔開放面積とアンチフォルマント周波数の関係は、第1零周波数との間に弱い相関があり、第2零周波数との間では相関を認めなかった。また、第1と第2の零周波数の間にも相関を認めなかった。

5. 健康成人男性の姿勢の差異による音声変化

仰臥位と座位の姿勢で、発声された /i/ 音の第1, 第2, 第3フォルマント周波数を推定し

たところ、母音の識別に関わる第2フォルマント周波数までの差異は無いと判断できる結果を得た (Table 6)。この結果より、二つの姿勢で発声された母音は音声としてはほぼ同質であり、声道断面積を仰臥位で計測し、座位での通常発声の母音を音声分析することは妥当であると判断できた。

考 察

1. 開鼻声とフォルマント異常

母音を聴覚的に識別する要素となるのは声道

Table 6. The acoustical differences in the same vowel (/i/) produced while sitting and in a supine position.

Position	1st formant (Hz)	2nd formant (Hz)	3rd formant (Hz)
Sitting	320	2150	3030
Supine	300	2200	3500

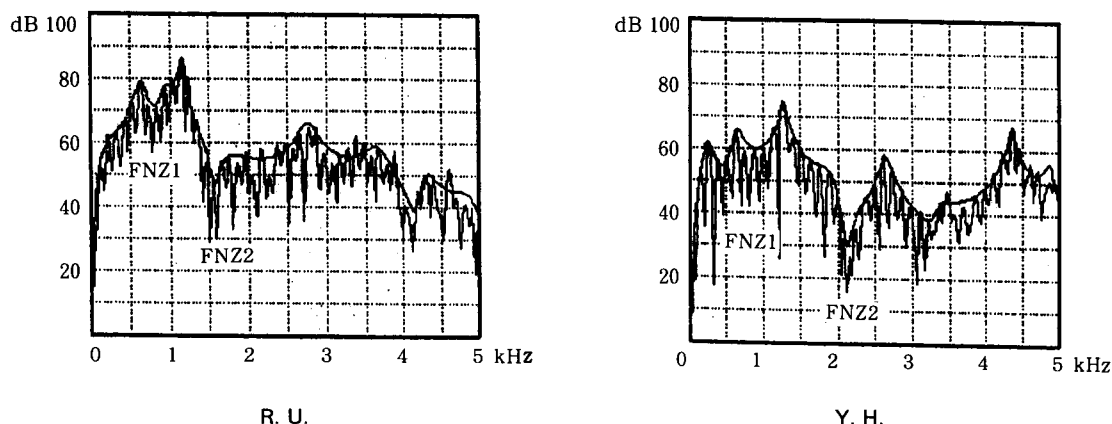


Fig. 7. Results of acoustical analysis by the pole-zero Analysis-by-Synthesis method.

FNZ1, means the 1st antiformalant frequency ; FNZ2, the 2nd antiformalant frequency

のパワースペクトル包絡上のピークの分布である。ピークの周波数を低い方から第1, 第2, 第nフォルマント周波数と呼ぶ。この中で第1, 第2フォルマント周波数をx軸, y軸にとったF1-F2平面における分布は, 母音ごとに特有の範囲を示す¹⁰⁾。身体的, 生理的, 地域的要因によってこの分布が変動すると, 聴覚的には標準的母音として識別できない¹¹⁾。

開鼻声は, 正常の構音過程における鼻音が, 病的原因により高頻度に出現する状態¹²⁻¹⁶⁾であり, 口蓋裂のみならず, 軟口蓋の運動不全などによるVPIで生じる。VPIによって固有鼻腔, 副鼻腔が声道に接続され, 鼻腔共鳴が口腔共鳴に影響して, 異常な共振と反共振を生じ, 特定の帯域での干渉による相殺が起こる^{11, 20-23)}。反共振と異常なフォルマントは関連があると思われるが, 従来の研究では異常フォルマントが, 本来のフォルマントから分離したのか, 何らかの原因で新たに出現したものか不明で

あった¹⁻⁷⁾。

本研究より, 開鼻声のフォルマント異常は, 反共振によって本来のフォルマントが影響を受けた現象であると考えられた。

2. 極零型 A-b-S 法, アンチフォルマント, 声道断面積

各母音のフォルマント周波数は, その母音発声時の声道の最も狭まった位置, すなわち調音点によって変化する。我々は以前の報告⁷⁾で線形予測法によって開鼻声のフォルマント異常を検討した。

今回の音声分析では極零型 A-b-S 法により, 反共振によって生じた極零対周波数を求め, 零周波数をアンチフォルマント周波数として推定した。零周波数の対である極周波数はフォルマント周波数ではなく, 零周波数とフォルマント周波数の差の大きいところに現われるスペクトル包絡の正方向へのスパイクである。極零型 A-b-S 法は Bell ら⁸⁾により, 音声の分析, 識別

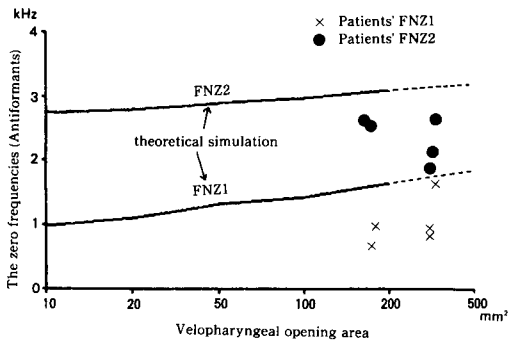


Fig. 8. The difference between the theoretical relation and the estimated relation of the velopharyngeal opening area and the zero frequencies (antiformants).

を通じた一般的なパターン情報処理方法として提案され、改良が加えられてきた。

極零型 A-b-S 法は、入力信号から抽出したスペクトルと合成スペクトル包絡の比較を行い、その誤差情報から合成パラメータを制御し、合成スペクトルを作り再び比較する。この過程を反復して入力音声スペクトルと合成スペクトルの整合を得る。この誤差情報が最適条件を満たすと、合成モデルの各パラメータが出力され、フォルマント周波数、アンチフォルマント周波数が得られる²⁴⁻²⁸⁾。

合成音による極零型 A-b-S 法の性能評価では、線形予測法よりも高精度にフォルマントを推定できることが報告されている²⁷⁾。

アンチフォルマント周波数と声道断面積の関係については、VPI によって声道が分岐すると、分岐した部位の面積、鼻咽腔開放面積が影響すると思われる。すなわち理論的には開放面積が大きければ鼻腔、副鼻腔への共鳴が大きくなり、反共振も強くなるからである。

3. 対象者と母音の選択

極零型 A-b-S 法も線形予測法と同様に基本周波数が高くなると誤差は大きくなる。今回、対象として成人男性を選択したのは、女性や小児に比較して基本周波数が低いことにより、アンチフォルマント周波数が高精度で推定できるためである。/i/ 音の単音節を精査したのは、

零周波数の存在帯域が、/i/ 音第 1 フォルマントや第 2 フォルマントと重なりにくいいため、フォルマント異常の影響を観察しやすいという理由からである。また、/i/ 音は最も開鼻声になりやすい母音であるため、MRI 画像でも開放面積を計測しやすいことも選択の理由の一つであった。

フリヤント²⁷⁾は、アナウンサーの発声による鼻声の自然音声 /m/, /n/ を検討した結果、1500 ~ 2500 Hz に帯域幅約 200 Hz の零周波数 (アンチフォルマント) を推定し、低い方から二番目のアンチフォルマントは、/i/ 音の第 1 と第 2 フォルマント周波数の中間にあるため、/i/ 音の鼻声化の原因として考えている。

4. MRI 撮像の条件、問題点

通常、録音は座位で行ったが MRI 撮像は横臥位なので、健常成人を被検者に座位、横臥位での音声分析の比較を行った。その結果、姿勢の違いによる同一母音のフォルマント周波数は無視できる差異であると判断した。

声道断面積の計測で問題となるのは、アーチファクトの影響で、頸動脈の拍動によるノイズが MRI 画像に生じたことだった。今回の MRI での撮像は一枚のスライスを得るために 10 秒以上必要なので、部位によっては MRI 画像が鮮明でなかった。このため今回は全声道の連続的断面積を計測することを避け、VPI によって声道が分岐する部位のみ断面積計測を行った。計測に用いたコンピュータ・ソフト NIH image は、MRI 画像上の指定された範囲を、画素子を単位として面積を計算する。声道は MRI 画像上ではスライスの中央部に明瞭な境界を示す空気の範囲として指定できるので、容易で正確に計測が可能であった。

5. 顎顔面構造の特徴と VPI の程度

口蓋裂患者の顎顔面構造については既に明瞭な傾向があることが知られている²⁹⁾。しかし、この特徴と VPI の程度および異常構音の音響特徴との関連についての研究は、我々の報告⁷⁾を除いてほとんどない。我々の研究では、口蓋裂患者の顎顔面構造と VPI の程度について関

連はないが、上顔面の発育が開鼻声の音質に影響を与えることを報告している。今回の対象者にも同様の傾向が観察されたが、上顔面高は差があまりないため、極端に声の質が異なる症例は含まれていないと思われた。

6. 理論値と計測値との差異

Dang ら²²⁾による健常成人の MRI 画像による鼻腔、副鼻腔の断面積の解析から、フリヤントニ²⁷⁾は声道が分岐した場合の零周波数 (FNZ) を理論的に算出し報告している。これによれば鼻咽腔開放面積が大きいほど FNZ は高い。今回の MRI 撮像で計測された鼻咽腔開放面積は、Fig. 8 のシミュレーションより大きい。我々が計測した開放面積が比較的小さい群は第 2 零周波数 (FNZ 2) が 2600 Hz 付近に集中し、それより約 100 mm² 大きい群は、開放面積と第 1 零周波数 (FNZ 1)、FNZ 2 が開放面積に比例して高い。シミュレーションでは開放面積が 100 mm² の時、FNZ 2 が約 3050 Hz なので我々の計測値より約 400 Hz 高い。開放面積と FNZ 1 の間には弱い相関関係を認めた。健常成人男性が意識的に発声した開鼻声では FNZ 1 が口蓋裂患者よりも高く、同じ開鼻声でも声質の差異があると考えられた。

シミュレーションと実際の計測値の間に差が生じた理由を考察する。声道のモデル化において種々のパラメータを健常成人男性のデータによって標準化した。口蓋裂患者の実際の声道上では、特に咽頭部から口唇まで正常と比較して様々な変形を認める。また、鼻腔も両側性、片側性を問わず唇顎口蓋裂症例は、鼻中隔の湾曲、下鼻甲介の変形などが顕著で、両者とも鼻閉が生じやすい。このため開鼻声だけでなく閉鼻声も起こる傾向、鼻腔口蓋瘻孔による口蓋前方部で鼻腔との交通、上顎歯列狭窄、上顎前歯および歯槽堤欠損、口唇形態不良による閉鎖不全等、個体差に富む。さらに慢性的鼻炎や、分泌物の性状も音声波伝達についての変数となる。これらの問題は声道全体に関連した変化をもたらし、声門部での基本振動にも影響を与えていると考えられる³⁰⁾。また、理論的に鼻声解

析に音響管モデルの結合、平面波伝搬仮定を用いることへの警告もある³¹⁾。

しかし、我々は現在のモデル以上に複雑化させるよりも、患者の鼻咽腔閉鎖部位における動態を正確に捉え、声道分岐部開放面積とアンチフォルマントの関係を追及した後に、他の可能性を考慮したいと考えた。そのために、MRI 画像における声道分岐部のスライス位置を正確にすること、次に拍動等によるアーチファクトの発生を極力回避することが課題である。

7. VPI の検査・評価法

開鼻声の原因である VPI の機能的検査として鼻息鏡、ナゾメーター、フローネイザリティグラフ、鼻腔アネモメトリ等があり、視覚的には内視鏡所見が決定的だが小児では困難である^{12,13,16)}。発声時頭部 X 線規格写真は側方からの観察だけなので不確実であり、開鼻声の聴覚的判断は主観に影響され数量化しにくい。発声させながらの MRI による検査は、小児には困難である。開鼻声の放置は患者の人格形成にも影響するので、治療早期から簡便かつ数量的に評価できる検査法の確立が必要である。

今回、我々が検討した音声学的分析による非接触的で非侵襲的な VPI 評価法により、精密検査の困難な小児、内視鏡を用いることが困難な症例の VPI 評価を定量的に行えることが示唆された。また、この方法を臨床的なシステムとして構築することで構音訓練にも応用することができると思われる。

ま と め

乳幼児期に口蓋形成術を受けた成人男子の口蓋裂患者における開鼻声の音響特徴と鼻咽腔閉鎖不全 (VPI) の関連について、MRI 画像による鼻咽腔閉鎖部位の観察と極零型 A-b-S 法による音声分析を中心に解析した。

1. 極零型 A-b-S 法による音声分析では、開鼻声 /i/ 音の音声スペクトルにおいて 600 ~ 1000 Hz 付近および 2000 ~ 2500 Hz 付近にアンチフォルマントと考えられる狭い帯域の零周波数が認められ、その影響で本来のフォルマント

周波数のピークが移動して開鼻声の異常なフォルマント分布が生じると考えられた。

2. 鼻咽腔閉鎖部位のMRI画像では、発声時側貌頭部X線規格写真より評価した閉鎖不全の程度に一致して、開放された声道分岐部が観察され、この開放面積の大きさが、音声分析における零周波数と関連があることが分かった。

3. これらのことより、開鼻声の音声分析のみで、侵襲を与えず非接触的に鼻咽腔閉鎖不全の開放面積の数量的表示により評価できる可能性が示唆され、さらに構音訓練にも用いることが考えられた。

4. 現段階では、成人男子での評価に留まり、理論値と計測値の間に開きがある。より正確な関係を把握するためには、拍動に伴うMRI画像のアーチファクトを排除したうえで、多くの臨床データを集めることが必要であると考えられる。

本論文の一部は第20回日本口蓋裂学会学術集会(平成8年6月,盛岡)にて発表した。

謝 辞

稿を終えるにあたり、ご指導、ご校閲を賜りました岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座石川富士郎教授に謹んで感謝の意を表します。また、本研究を進めるにあたり、ご指導いただきました岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座亀谷哲也客員教授に感謝いたします。さらに、ご協力いただきました、岩手医科大学歯学部歯科放射線学講座木村正助手と、岩手医科大学医学部中央放射線部、岩手大学工学部情報工学科三輪研究室の方々に深くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 平野 実, 竹内義夫: 鼻音化母音の音響学的特長について, 耳鼻臨床, 57: 77-82, 1964.
- 2) 菰口英夫: 母音の鼻音化に関する実験的研究, 日耳鼻, 75: 809-819, 1972.
- 3) 永井 巖, 佐藤弘喜, 吉田 稔他: 口蓋裂患者の母音および母音部分の未分化について, 科誌, 24: 33-48, 1975.
- 4) 渡辺 幸: 口蓋裂患者の開放鼻声に関する研究, 口科誌, 25: 361-386, 1976.
- 5) 今井 徹: 口蓋裂者発声音の鼻音化の解析, 日矯歯誌, 43: 185-199, 1984.
- 6) 片岡竜太: 開鼻声の定量的評価に関する研究—周波数特製と主観評価量との関連について—, 日口蓋誌, 13: 204-216, 1988.
- 7) 金野吉晃, 八木 實, 亀谷哲也, 石川富士郎, 湊祐廣, 奈良 卓, 三輪譲二: 口蓋裂患者の顎顔面構造と開鼻声の音響特徴の関連について, 岩医大歯誌, 22: 51-60, 1997.
- 8) Bell C. G., Fujisaki H., Meinz J., and Stevens K. N.: Reduction of speech spectra by Analysis-by-Synthesis techniques. *J. Acoust. Soc. Am.* 33: 1725-1736, 1961.
- 9) 楊 長盛: MRIによる声道形状の精密計測法の開発と母音の正規化への応用, 宇都宮大学大学院工学研究科博士論文, 1995.
- 10) 三輪譲二: パソコン音声処理, 第1版, 昭晃堂, 東京, 78-82 ページ, 1991.
- 11) 城戸健一: 音声の合成と認識, 第1版, オーム社, 東京, 10-27 ページ, 1991.
- 12) McWilliams, B. J., Morris, H., and Shelton, R.: 和田 建, 館村 卓 訳, 口蓋裂 言語障害の病理・診断・治療, 第1版, 医歯薬出版, 東京, 357-372 ページ, 1995: Cleft palate speech; 2nd ed., B. C. Decker Inc., Philadelphia, 1990.
- 13) Stengelhofen, J., ed.: 森 壽子, 中川皓文, 森口隆彦, 佐藤康守訳, チーム医療ですすめる口蓋裂の言語治療, 第1版, 医歯薬出版, 東京, 71-105 ページ, 1992: Cleft palate the nature and remediation of communication problems. Churchill Livingstone., Edinburgh London Melbourne and New York, 1989.
- 14) 鈴木規子: 口蓋裂・先天性鼻咽腔閉鎖不全症について, 歯科ジャーナル, 35: 241-248, 1992.
- 15) 吉岡博英: 音声言語障害の概念, 小児内科, 20: 1509-1513, 1988.
- 16) 宮崎 正 編集: 口蓋裂 その基礎と臨床, 第1版, 医歯薬出版, 東京, 390-399 ページ, 1982.
- 17) Watterson T. and Emanuel F.: Effects of oral-nasal coupling on whispered vowel spectra. *Cleft Palate J.* 18: 24-38, 1981.
- 18) Watterson T. and Emanuel F.: Observed effects of velopharyngeal orifice size on vowel identification and vowel nasality. *Cleft Palate J.* 18: 271-278, 1981.
- 19) Fletcher S. G.: Resonance and phonation. *Cleft Palate J.* 14: 313-320, 1977.
- 20) 竹内章司, 粕谷英樹, 城戸健一: 鼻音のスペクトルに及ぼす副鼻腔の影響, 日音響会誌, 33: 163-172, 1977.
- 21) 益田 慎: 共鳴腔としての上顎洞の役割に関する実験的研究, 日耳鼻, 5: 71-80, 1992.
- 22) Dang J., Honda K., and Suzuki K.: Morphological and acoustical analysis of the nasal and the paranasal cavities. *J. Acoust. Soc. Am.* 96: 2088-2100, 1994.

- 23) Krakow R.A., Beddor P. S., and Goldstein L.M. : Coarticulatory influences on the perceived height of nasal vowels. *J. Acoust. Soc. Am.* 83 : 1146-1158, 1988.
- 24) 土谷 孝, 三輪譲二: 階層型 A-b-S 法を用いた歌声の声道特性及び音源特性の計測, 信学技報, SP 94-93 (1995-02) : 15-22 1995.
- 25) ドリスザル・フリヤントニ, 土谷 孝, 三輪譲二, 金野吉晃: A-b-S 法を用いた口蓋裂患者音声の極零周波数の推定, 音学講論, 2-Q-2 : 299-300, 1995.
- 26) ドリスザル・フリヤントニ, 三輪譲二, 金野吉晃: 口蓋裂患者の単母音音声の極零周波数推定に関する一考察, 電気関係学会東北支部連合大会講演集: 20-20, 1995.
- 27) ドリスザル・フリヤントニ: A-b-S 法を用いた高精度極零型音声分析に関する研究, 岩手大学大学院工学研究科修士論文, 1996.
- 28) 三輪譲二, ドリスザル・フリヤントニ: 極零型 A-b-S 法を用いた鼻音のホルマントとアンチホルマントの高精度推定, 電子情報通信学会技術研究報告, 1996.
- 29) 林 薫: 片側性完全唇・顎・口蓋裂者の顎顔面頭蓋の成長-頭部 X 線規格写真法による研究, 日矯歯誌, 34 : 33-65, 1975.
- 30) 本多清志: 音声生成の生理学的背景, 日音響会誌, 48: 9-14, 1992.
- 31) 三木信弘: 音声生成過程の音響理論の最近の進歩, 日音響会誌, 48 : 15-19, 1992.