

Title	口腔疾患に伴う構音障害の音響的特徴に関する研究
Author(s)	齋藤, 浩人; 赤木, 正人
Citation	Research report (School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology), IS-RR-98-0011P: 1-39
Issue Date	1998-03-26
Type	Technical Report
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/8382
Rights	
Description	リサーチレポート（北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）

口腔疾患に伴う構音障害の音響的特徴に関する研究

齋藤 浩人、赤木 正人

1998 年 3 月 26 日

IS-RR-98-0011P

北陸先端科学技術大学院大学

情報科学研究科 音情報処理学講座

〒923-1292 石川県能美郡辰口町旭台 1-1

hiro@hp.dent.showa-u.ac.jp, akagi@jaist.ac.jp

copyright(c) Hiroto Saito, Masato Akagi, 1998

ISSN 0918-7553

研究の概要

口腔領域疾患あるいはその術後後遺症によって、しばしば言語障害が生ずるが、それらの異常音の診断は医療従事者の聴覚印象に頼っているのが現状であり、歪音の音響評価は客観的、定量的評価に欠けることが多い。構音障害の客観的評価を試みた報告としては、構音運動を観察したものとしては、エレクトロパラトグラフィー、超音波診断装置、顎運動解析装置、MRI撮像などがあり、音響分析によるものとしてはサウンドスペクトログラフ、パワースペクトラムなどによるものなどがある。しかし口腔疾患による構音障害の音響的特徴と構音動態との関連の検討及び音響的な物理量と聴覚的な特徴との関連に関する検討は十分に行なわれていない。特に舌・口底悪性腫瘍切除後には舌・口底の欠損と運動障害による構音障害を生じりハビリテーションの一貫として舌接触補助床（Palatal Augmentation Prosthesis(以下 PAP)）および訓練によって機能の改善を図るが、本装置による構音動態および音響的な変化について検討した報告はほとんど見られない。

そこで、本研究では舌・口底切除 1 症例について、術後経過および、PAP 適用前後の構音動態および音響特性についてパラトグラフィー、発語明瞭度、音響分析、核磁気共鳴画像（MRI）による音響管モデルを用い検討を行なった。

その結果、母音では術後から現在に至る経時的な明瞭度の変化や PAP 装着による明瞭度の改善はわずかであったが音響分析ではフォルマントが健常人に近い位置へ移動することが確認された。特に[i]ではパラトグラム所見上で舌の口蓋前方方向への接触領域が増加し、音響的にも改善がみられた。

子音では主として歯音・歯茎音の PAP 装着による改善が著しく、パラトグラム所見でも PAP 装着によって舌の口蓋への接触の増加がみられ、明瞭度の著しい上昇がみられた。音響特性にも著しい変化がみられ、第一強調部の上昇及び音圧の増加が確認された。特に、子音[j]では舌による狭めの形成が健常人に近づき、明瞭度が、PAP 装着により、20%から 90%に改善されるという効果が確認された。音響分析において PAP 装着により歯音・歯茎音の第一強調部が上昇し音圧増加も見られた。この改善は健常人に近い方向への変化であり、PAP の有用性が示された。

また、[i]発音時に核磁気共鳴画像(MRI)撮影を行ない、声道音響管モデルを作製した音響デー

タと実音声とを比較したところ PAP 装着時には発音時の狭めの増加は音響的な変化を引き起こし、声道の狭めの重要性を示した。

以上より、PAP 装着による舌接触部位の増加は発語明瞭度と音響特性の改善に有効であることが示され、発音における狭めの位置の重要性が示唆された。すなわち、PAP 装着による適切な舌接触部位の増加は、発語明瞭度の改善に貢献し、特に音響特性改善に有効であり、自然性をもった音声発声にとって重要であるということが明らかとなった。

今後、これらフォルマント位置の定量化、切除部位や再建材料による違いといった他症例との比較検討を行う。それらは、口腔疾患による異常音の客観的な診断が可能となり、どの診療機関においても適切な治療を助ける手だてとなるであろう。

Abstract

Speech characteristics uttered by a patient after tongue and mouth floor resection are investigated using palatography, speech intelligibility test and acoustic analysis. Analyzing vowel [i], the contact area increases and the formant frequencies move to normal speech positions with Palatal Augmentation Prosthesis (PAP). In the utterances of [ɹ], since the vocal tract can be constricted with PAP, speech intelligibility improves, the lowest formant characterizing [ɹ] shifts to the higher frequency, and the power level of the higher frequency increases. Additionally, vocal tract shapes are measured using a magnetic resonance imaging(MRI) and formant frequencies are estimated from the measured vocal tract shapes using a vocal tract model, to investigate relations between estimated and analyzed formant frequencies. The findings lead to the following conclusions: (1) The position of the vocal tract constriction is important to utter natural speech with high intelligibility . (2) With PAP produces a wide constriction of the vocal tract was produced and high speech intelligibility score for the patient was obtained.

目次

研究の概要

第1章 序論

- 1.1 研究の背景
- 1.2 研究の目的

第2章 研究方法

- 2.1 症例
- 2.2 観察方法
- 2.3 聴覚的評価
 - 2.3.1 単音節発語明瞭度
 - 2.3.2 構音検査（音節復唱検査）
- 2.4 構音動態の観察
 - 2.4.1 エレクトロパラトグラフィー
 - 2.4.2 MRI 撮像法
- 2.5 音響分析
 - 2.5.1 サウンドスペクトログラム
 - 2.5.2 FFT パワースペクトラム
 - 2.5.3 不偏推定法によるケプストラム平滑化対数スペクトル
- 2.6 音響管モデルの構築
 - 2.6.1 音響管モデルについて
 - 2.6.2 声道伝達関数の近似

第3章 観察結果

- 3.1 単音節発語明瞭度
 - 3.1.1 構音点別発語明瞭度
 - 3.1.2 母音（Confusion matrix）
 - 3.1.3 子音（Confusion matrix）
- 3.2 エレクトロパラトグラフィーによる構音動態観察結果
 - 3.2.1 被検音
 - 3.2.2 母音
 - 3.2.3 子音

3.3 音響分析結果

3.3.1 被検音

3.3.2 母音

3.3.3 子音

3.4 音響管モデル構築結果

3.4.1 健常人における比較（[i] 発音時）

3.4.2 症例における PAP 装着前後の比較（[i] 発音時）

第 4 章 全体考察

4.1 観察結果のまとめ

4.2 考察

4.3 結論

4.4 今後の課題

謝辞

参考文献

第1章 序論

1.1 研究の背景

口腔領域疾患あるいはその術後後遺症によって、しばしば言語障害が生ずるが、それらの異常音の診断は医療従事者の聴覚印象に頼っているのが現状であり、歪音の音響評価は客観性、定量的評価に欠けることが多い。構音障害の客観的評価を試みた報告としては、構音運動を観察したものとして、エレクトロパラトグラフィー¹、超音波診断装置²、顎運動解析装置^{3 4}、MRI 撮像法⁵⁶によるものがあり、音響分析によるものとしてはサウンドスペクトログラフ⁷⁸、パワースペクトラム⁹などによるものなどがある。しかし口腔疾患による構音障害の音響的特徴と構音動態との関連の検討及び音響的な物理量と聴覚的な特徴との関連に関する検討は十分に行なわれていない。そこで歪音を客観的に分析しその特徴と動態の関連について検討を行う。

その結果、口蓋裂、腫瘍、変形症などの口腔疾患による異常音の客観的な診断が可能となり、どの診療機関でも適切な治療を行えるようになるので顎口腔機能障害のリハビリテーションにおける臨床的意義は大きい。さらに、21世紀においてはコンピュータネットワークが発達し医療機関の情報が相互に交換される時代が到来するものと予測されるので臨床および研究においても迅速なデータの交換に役立つという点でも極めて社会的意義が深いと考える。

1.2 研究の目的

近年、再建外科の進歩に伴って悪性腫瘍術後の機能障害は減少している。しかし、なお術後に言語障害を伴いリハビリテーションの対象となる症例が少なくない。

特に舌・口底切除後には舌・口底の欠損と運動の障害による構音障害が生じ、日常のコミュニケーションに支障をきたすことが多い。側方原発症例では舌の部分切除程度であれば単純縫縮でも軽度の発音障害が生ずるだけであるが、半側切除では、中等度の障害が発現する。さらに切除範囲が亜全摘になると日常生活に支障を生ずるほどの重度の発音障害を引き起こす。術後に発音障害が発現した場合は舌接触補助床(Palatal Augmentation Prosthesis) (以下 PAP¹⁰)によって機能の改善を図る。舌接触補助床の適用と有効性は切除範囲と再建の有無によるが、とくに改善が著しいのは単純縫縮例では舌半側切除まで、中間層植皮例では舌亜全摘ま

であり、前腕皮弁再建例では亜全摘例までである。しかし、発語明瞭度検査で著しい改善が見られない場合でも他覚的に音の響きが明瞭になったり、患者が発音しやすくなったと自覚的に満足することが多いので舌・口底切除例の多くが舌接触補助床の適用といえる。

しかし、舌・口底切除後症例における手術後の構音動態および音響的特徴について十分に解明されているとは言えない。また、PAP 装着による変化についても客観的に検討されていないのが現状である。そこで PAP の舌・口底切除症例の発音障害に及ぼす影響を究明することを目的として本報告では舌・口底切除後 PAP が適用された 1 症例に対し装着前後の構音動態と音響特性¹¹⁾¹²⁾¹³⁾についてパラトグラム、音響分析、MRI 撮像法、聴取実験の結果から検討を行った。

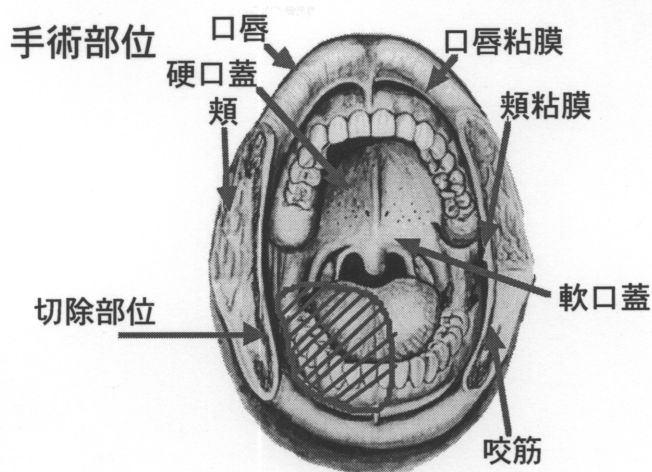
第2章 研究方法

2.1 症例

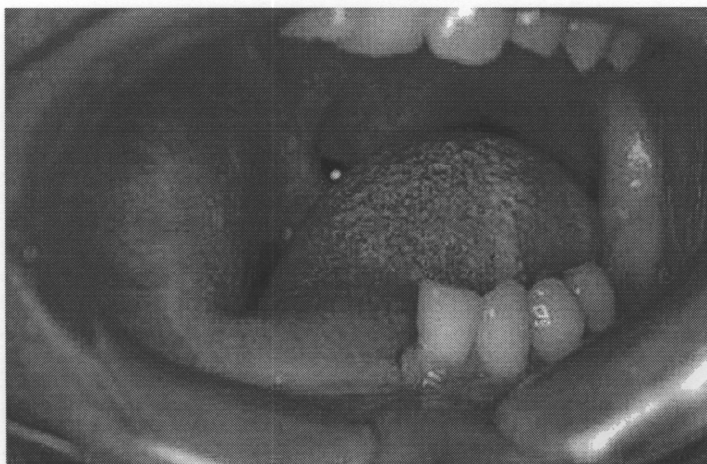
症例は37歳男性で発音障害を主訴として1991年5月昭和大学歯学部第一口腔外科受診。6ヶ月前に他院にて舌腫瘍(T3N0M0)との診断のもと舌垂全摘、右全頸部郭清術、左上頸部郭清術、下顎区域切除、肩甲骨皮弁による即時再建術が施行されていた。(図1、図2)

舌は、ボリュームが不足し、前方突出および舌尖の口角への接触、開口時の上顎前歯、口蓋への接触は不可能であり、舌前方から中央部の著しい運動障害が見られた。舌根部における開口時の軟口蓋への接触は問題なかった。

本症例に対し発音および嚥下時のパラトグラムを用いてPAPの調整¹⁴を行い適用した。(図3)



[図1 切除部位と病変部位]



[図2 症例口腔内写真]

調整方法

調整は薄いレジン口蓋床の上に調整剤としてのブラックコンパウンドを添加していき、舌音発音時に口蓋に舌が出来るだけ正常に近い状態で接触出来き、かつ嚥下障害も改善する形態をパトグラム採取を行ないながら決定した。

嚥下機能

嚥下は水のみテストを行ない、水を飲み終わるまでの時間は PAP なしでは顔を上向きにして約 2.5 秒。装着後は前をむいてうなずき嚥下で約 2.2 秒と正常範囲内であった。



[図 3 PAP(舌接触補助床)装着時]

2.2 観察方法

1) 聴覚的評価

- ・単音節発語明瞭度検査
- ・構音検査（音節復唱検査）

2) 構音動態の観察

- ・視診（ステンレス板）
- ・エレクトロパラトグラフィー
- ・MRI 撮像法

3) 音響分析

- ・フォルマント解析
- ・FFT パワースペクトラム
- ・不偏推定法によるケプストラム平滑化対数スペクトル

次節以後、各方法について詳細に説明する。

2.3 聴覚的評価

2.3.1 単音節発語明瞭度検査

降矢の方法¹⁵⁾に準じた 100 音節のものをいい、客観性があり、また、数値化出来るために、構音障害の程度を評価するのに有効な方法であるが、録音や聞き取りに時間がかかり、また、文脈の手がかりがないため、重度の症例では書き取りが難しいこと、1 音 1 音の明瞭性については評価出来るが、患者の話しことば全体については評価できないという短所がある。

方法はランダムに配列した日本語 100 音節（図 4）を 2 秒間隔で発音させ、DAT に録音した後日録音テープを言語治療士を含まない健常者に聴取させ、最も近い日本語音節を仮名表記、その結果から正しく聴取された音節数を平均回答率として表す。

録音環境 マイク : SONY 550 Ω ELECTRET CONDENSER MICROPHONE IMP

 DAT : DIGITAL AUDIO TAPE-CORDER TCD-DIO(SONY)

遮音室 : リオン、AT-30

聴取 採取時期: 術後 8 ヶ月後、1 年 11 ヶ月、3 年 4 ヶ月、5 年 2 ヶ月後、6 年 5 ヶ月後

被験者 : 患者に接したことのない健聴者 10 名

発語明瞭度検査										No. 6	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	び	ぽ	ど	あ	っ	そ	に	ま	に	み	よ
2	お	ぶ	て	り	き	と	さ	た	び	き	よ
3	に	ぬ	み	か	ひ	じ	り	ろ	わ	ち	ち
4	ち	け	び	に	あ	じ	ご	げ	す	ぎ	
5	し	せ	び	しゃ	び	い	ゆ	ふ	ひ	じ	ゃ
6	ぐ	で	き	え	は	ぺ	ふ	さ	び	へ	
7	きゃ	ば	の	び	み	が	ば	う	よ	き	
8	な	ら	い	ぎ	ね	び	し	り	ぼ	た	
9	ちゃ	や	ひ	し	じ	ぞ	る	み	り	ほ	
10	ち	ぎ	れ	べ	も	め	ず	ひ	く	せ	

[図4 使用した発語明瞭度検査表の例]

2.3.2 構音検査（音節復唱検査）

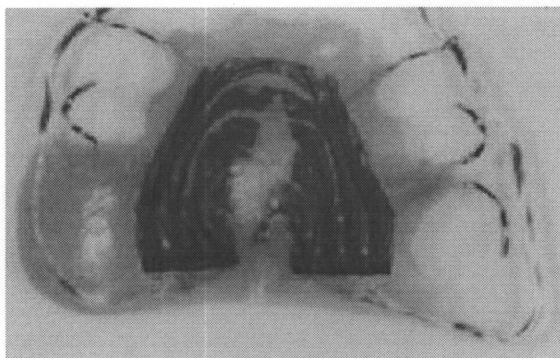
熟練した治療者が音声を耳で聴いたり、構音動作を直接観察して判定する方法である。構音検査として単音節レベル、単語レベル、文章レベル、会話レベルの構音能力を復唱、音読によって系統的に検査する。また、構音時の動作を直接観察すると同時にステンレス板を用いて呼気流を検出し、これらの結果を記録する。

2.4 構音動態の観察¹⁶

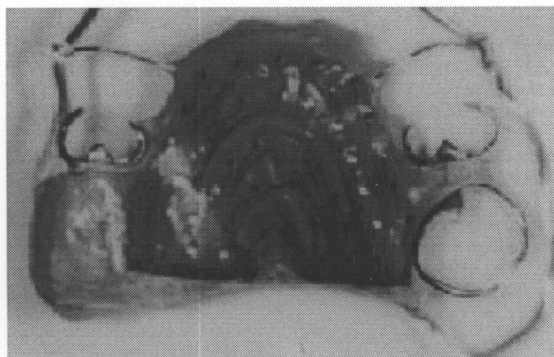
2.4.1 Electropalatography(EPG) 検査¹⁷

(a) 方法

Electropalatography とは舌と口蓋の接触を検出するもので、リオン社製モデル DP-20 エレクトロパタトグラフを用いて行なった。通常的人工口蓋（図 5）に加えて今回は舌と PAP の接触の動態を検索するために PAP の表面に電極を配置した特殊な人工口蓋を作製した。（図 6）口腔内に人工口蓋を装着して、日常行なっている構音運動が再現できるように十分慣れさせた後、検査を行なった。



〔図 5 通常的人工口蓋〕



〔図 6 PAP の表面に電極を設置した PAP 型人工口蓋〕

2.4.2 MRI (**magnetic resonance imaging**) 撮像法

口腔器官の形態情報を把握するために非侵襲性である核磁器共鳴画像 (MRI) を利用し、声道情報を抽出した。

(a) 計測方法

昭和大学病院放射線科にて撮影、シーメンス MPR 処理を行なった。

使用機器

シーメンス社 : ビジョン Version31B

シーケンス名 : Fisp3D

: TR 5msec

: TE 2msec

: FA15 度、FOV 25 cm

撮像領域 : 7.9 cm × 25 cm (32 分割隙間なし)

分解能 : 128 × 256 pixels

(1 pixel = 1.95 mm × 0.98 mm)

撮像時間 : 21 msec

加算回数 : 1 回

2.5 音響分析

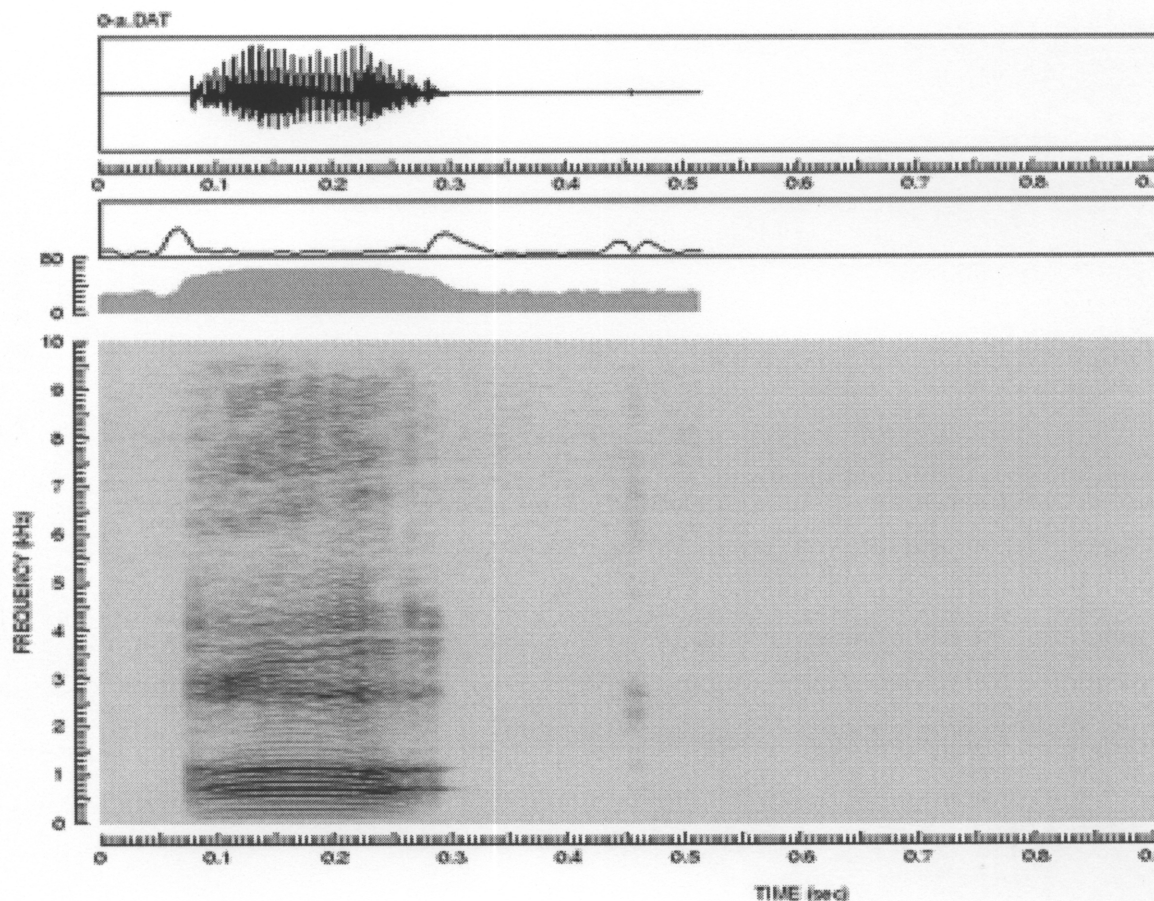
2.5.1 サウンドスペクトログラム *Sound spectrogram*

非定常な音響信号の特性を見やすく表現するために、横軸を時間軸、縦軸を周波数軸として、短時間周波数分析された結果のスペクトル成分の強度を濃淡で表現したものである。

遮音室にて DAT に録音したものを DAT-Link を使用し計算機に、20kHz にて downsampling を行い、スペクトラムムーブメントを算出しサウンドスペクトログラムを作成した。(図 7)

出力時の設定は次の通り。

Sampling frequency	:20.0kHz
Frame Period	:2.0msec
FFT Length	:1024



[図 7 [a]発音時スペクトログラム]

2.5.2 FFT パワースペクトラム *Fast fourier transform power spectrum*

離散的フーリエ変換の高速計算法のことであり、以下の設定にて行った。

Samplingfrequency	:20.0kHz
FFT Length	:256
Window type	:Hamming

2.5.3 不偏推定法によるケプストラム平滑化対数スペクトル¹⁸¹⁹

maximum likelihood spectrum estimation (以下 不偏推定法)

音声波形のスペクル包絡を、全極形有理スペクトルと仮定して、 N 個の波形標本値 $x=(x_1, x_2, \dots, x_N)$ の対数尤度 $L(x|\omega)$ を最大にするような、パラメータ $\omega(\sigma^2, a_1, a_2, \dots, a_p)$ を求めることによって、スペクトル包絡を推定する方法。従来の改良ケプストラム法は対数スペクトルを線形平滑化することにより、微細構造のピーク周辺を通るスペクトル包絡を得る方法であるが、問題点として対数スペクトルに対する平滑化の意味が明確でない、推定値に大きなバイアスがかかるといったことが挙げられる。不偏推定法では対数スペクトルの推定値にバイアスが生じないように非線形平滑化を行うことにより、改良ケプストラム法より得られる推定値よりも、微細構造を表現するスペクトル包絡を得ることができる。以下の設定にて行った。

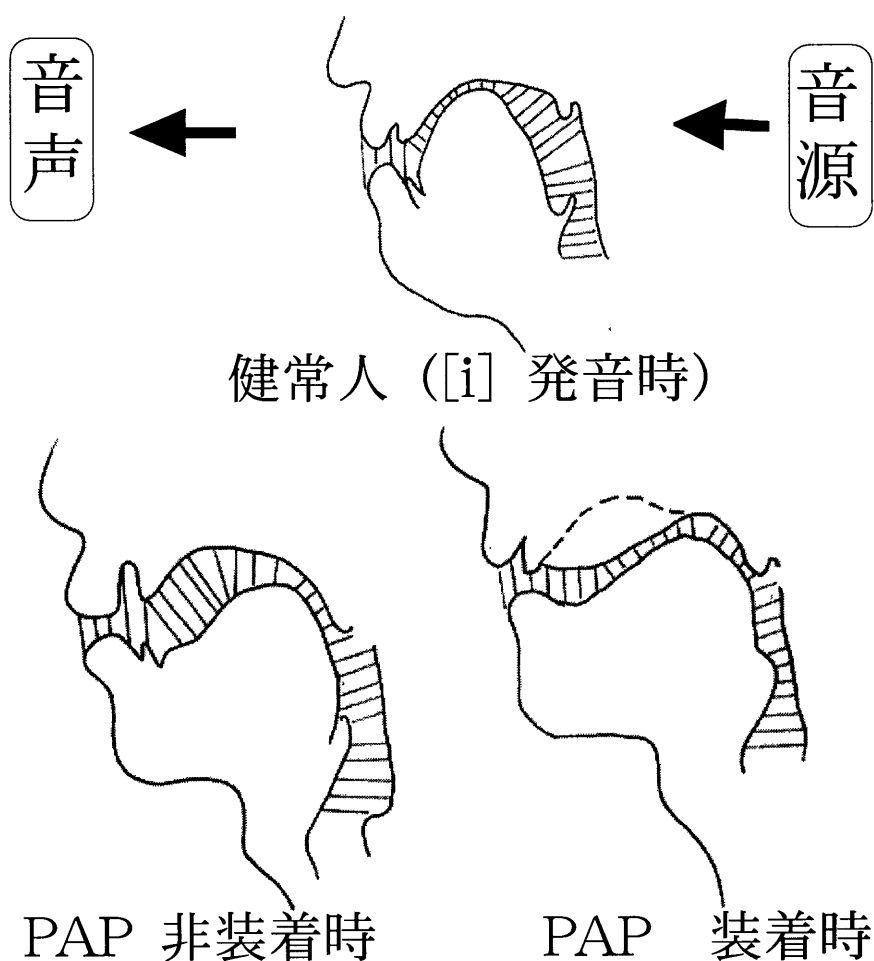
Samplingfrequency	:20.0kHz
Frame Period	:2.0msec
Frame Length	:25.6msec
FFT Length	:512
Window type	:Hamming
Cepstrum order	:40

2.6 音響管モデルの構築

従来の方法に加え、音響管モデルの構築により、声道の狭めの評価を行った。

声道は断面積の形と断面積が連続的に変わる一様の音響管であり、形状が変わることによって管の伝達特性が変わり、同時に種々の音源が与えられることによって種々の形のスペクトルや時間構造をもった言語音が作られる。

声道の面積を MRI 撮像法により計測し、音響管モデルにあてはめ、スペクトル形状の違いが声道のどの部分に起因するかの検討を行った。（図 10）以下に示す図は MRI 撮像法にてもとめた健常人[i]発音時と症例の PAP 装着、非装着時の[i]発音時の側方断面図である。



[図 10 音響管モデルのしくみ]

2.6.1 声道伝達関数の近似²⁰²¹²²

声道を断面積が声門から口唇までの各場所に従って連続的に変化する音響管とみなし以下のよ
うに表す。

$$\begin{pmatrix} P_{out} \\ U_{out} \end{pmatrix} = \prod_i \begin{pmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} P_{in} \\ U_{in} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{in} \\ U_{in} \end{pmatrix} \quad (a)$$

ただし、上記の式(a)は入力を声門での音圧 P_{in} と体積速度 U_{in} 、出力を口唇での音圧 P_{out} と体積速度 U_{out} とし、各パラメータを次式より表す。

マトリックスの要素 $A_i, B_i, C_i, D_i (i=1, 2, \dots, n)$ は第 i セクションの断面積 $area(i)$ [cm^2], セクション長 Δl [cm] を用いて以下(b)~(e)のように表す。なお、空気密度 ρ [$1.14 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$], 音速 c [35000 cm/s] であり、 γ 声道の抵抗、 σ マスコンプライアンスから計算される複素変数である。

$$A_i = \cosh(\sigma \Delta l / c) \quad (b)$$

$$B_i = -\frac{\rho c}{area(i)} \gamma \sinh(\sigma \Delta l / c) \quad (c)$$

$$C_i = -\frac{area(i)}{\rho c} \frac{\sinh(\sigma \Delta l / c)}{\gamma} \quad (d)$$

$$D_i = \cosh(\sigma \Delta l / c) \quad (e)$$

そして声道伝達関数 $H(\omega)$ を

$$H(\omega) = \frac{1}{A - CZ_L} \quad (f)$$

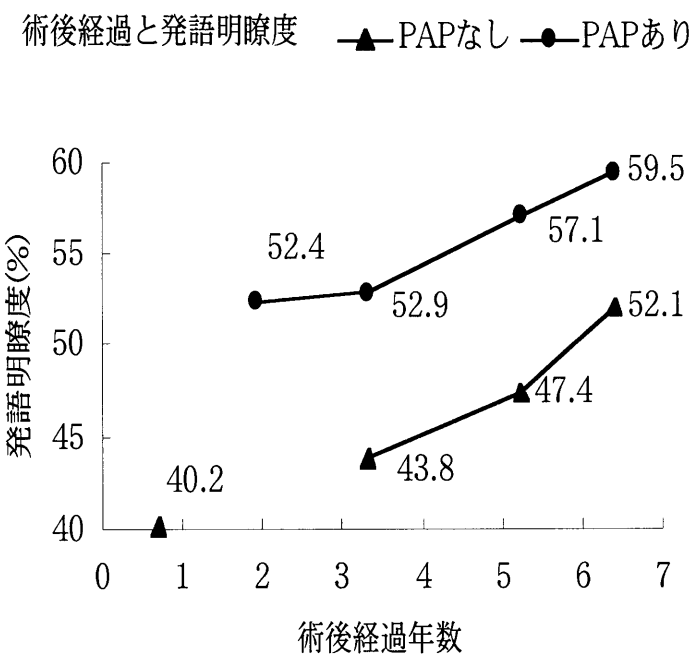
とする。ただし、 Z_L は口唇での放射インピーダンスである。

第 3 章 観察結果

3.1 単音節発語明瞭度

図 11 は術後経過と PAP 装着前後における単音節発語明瞭度の変化を示す。

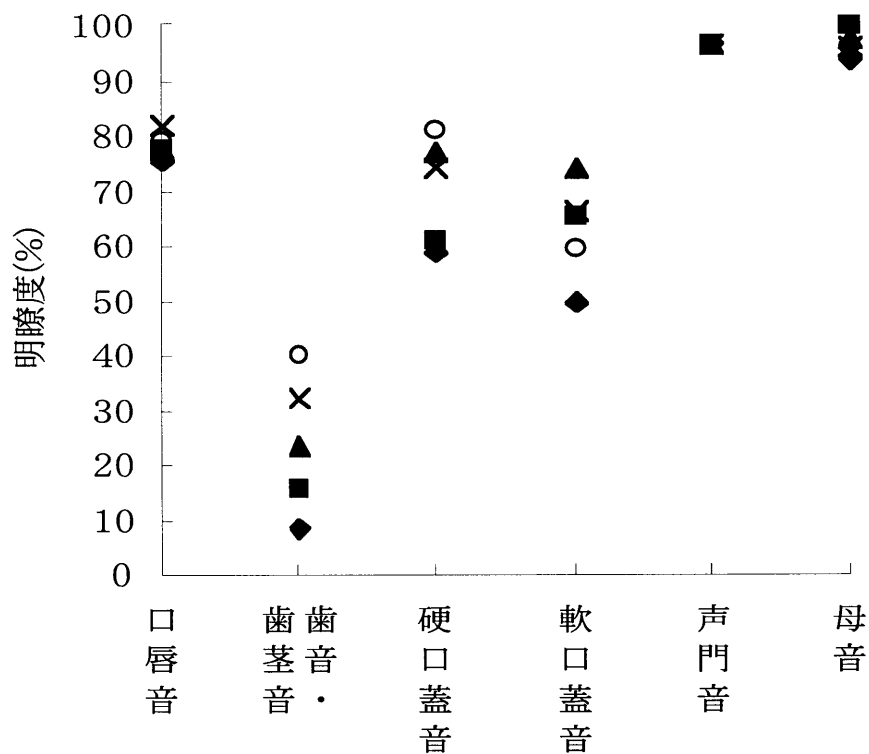
術後 8 ヶ月後の明瞭度は 40.2%で、その後 PAP の調整を重ね、1 年 11 ヶ月では 52.4%、術後 5 年 2 ヶ月で PAP 非装着で 47.4%が PAP を装着することにより 9.7%上昇、術後 6 年 5 ヶ月時には 52.1%が PAP 装着時には 59.5%へと明瞭度が上昇傾向を見せた。経時的に明瞭度が上昇を見せたのは術後の口腔機能の改善と PAP 装着による舌機能のリハビリ効果、舌機能訓練による効果が挙げられる。



[図 11 術後経過と発語明瞭度]

3.1.1 構音点別発語明瞭度

図 12,表 1 は術後 8 ヶ月、5 年 2 ヶ月、6 年 5 ヶ月時の構音点別発語明瞭度の分布図であり、歯音・歯茎音、硬口蓋音では術後経過、PAP 装着ともに明瞭度の上昇が見られた。また、図 13 は構音点別発語明瞭度の術後 6 年 5 ヶ月時の PAP 装着前後の比較の分布図である。舌と口蓋の接触によって音が産生される、歯音・歯茎音は 23.7%から 40.2%と改善し、硬口蓋音は 77.1%から 81.4%へと改善が得られた。他の音では改善が少ない結果であった。



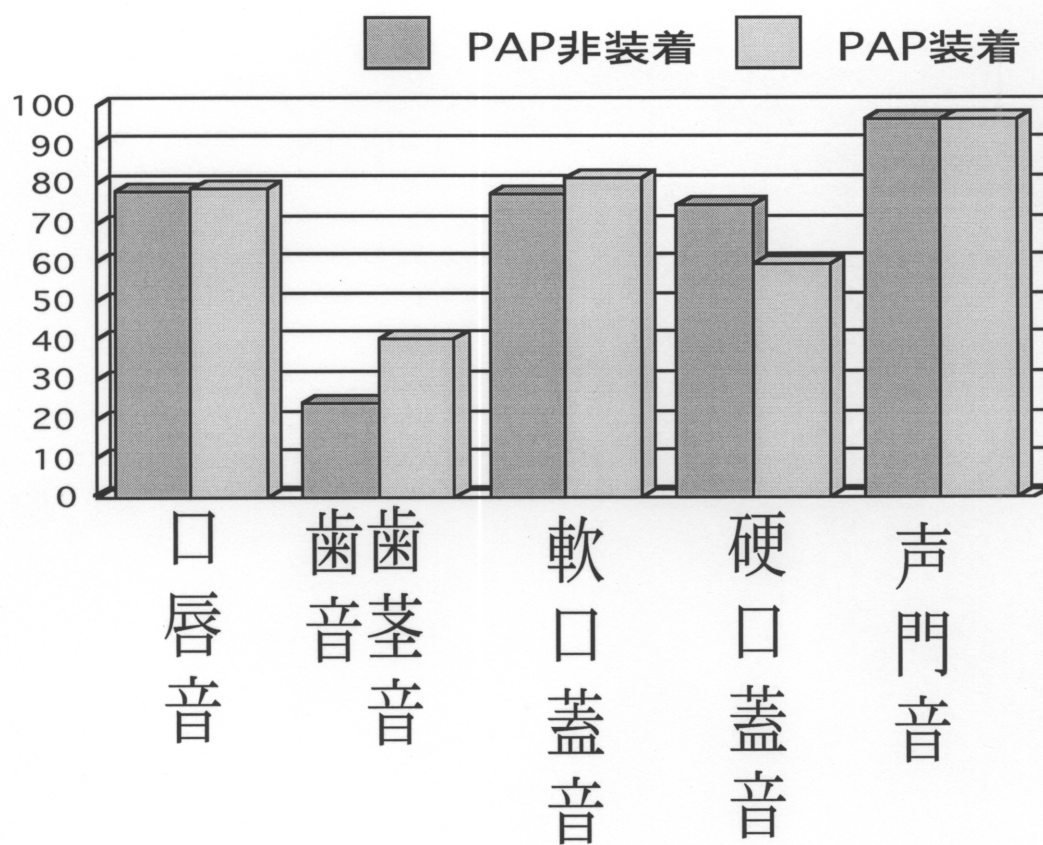
● PAP 非装着 術後 8 ヶ月
 ■ PAP 非装着 5 年 2 ヶ月 × PAP 装着 5 年 2 ヶ月
 ▲ PAP 非装着 6 年 5 ヶ月 ○ PAP 装着 6 年 5 ヶ月

[図 12 構音点別発語明瞭度]

構音点別発語明瞭度 (PAPなし)	術後8ヶ月	1年11ヶ月	3年4ヶ月	5年2ヶ月	6年5ヶ月
口唇音	71.5		90.8	78.5	67.7
歯音・歯茎音	9.8		14.9	14.9	25.6
硬口蓋音	62.9		54.3	68.6	85.7
軟口蓋音	43.8		57.5	50	63.8
声門音	100		100	100	100
母音	88		100	100	96

構音点別発語明瞭度 (PAPあり)	術後8ヶ月	1年11ヶ月	3年4ヶ月	5年2ヶ月	6年5ヶ月
口唇音		84.6	85.4	81.5	74.6
歯音・歯茎音		34.9	30.7	32.6	51.6
硬口蓋音		77.1	74.3	80	94.3
軟口蓋音		52.5	71.3	57.5	43.8
声門音		86.7	100	100	100
母音		92	88	96	92

[表 1 構音点別発語明瞭度(%)]



[図 13 構音点別発語明瞭度 (術後6年5ヶ月)]

3.1.2 母音 (Confusion matrix)

子音後続の音であり、声道の形状に大きく左右する母音について考察を行った。マトリックス(図 14)にあらわされている通り後続母音における舌前方で発音する、[i]の明瞭度は 59%と悪く、PAP 装着により、84%と上昇が得られていた。

一方、後方で発音を行う、[e]は[i]と比較し高い明瞭度を得ている。

被 検 音	PAP非装着			聴取音		(%)	
	a	o	e	ɯ	i	ソノタ	?
	a	100					
	o		100				
	e			90	10		
	ɯ				90	10	
	i				30	70	

被 検 音	PAP装着			聴取音		(%)	
	a	o	e	ɯ	i	ソノタ	?
	a	100					
	o		100				
	e			90	10		
	ɯ				80	20	
	i				20	80	

[図 14 Confusion matrix(母音)]

3.1.3 子音 (Confusion matrix)

改善の得られた子音のうちの歯音・歯茎音、硬口蓋音の各音の異聴傾向について考察を行った。音別(図 15) について見てみると破裂音、破擦音は装着前後によって改善がわずかであった。[s]は[h]に異聴する傾向がみられ[j]は[ç]に異聴する傾向があったが、20%から 80%へと改善、[ç]は明瞭度も高く、わずかに[j]への異聴傾向があるのみであった。[h]においては明瞭度も高く、異聴傾向もわずかであった。

これらのことより以下の節では摩擦音の[s],[ʃ],[ç],[h]についての構音動態および音響特性の関連について検討を行う。

装着 /非装着		聴取音																母音	その他	?
被検音	t	d	n	ɲ	r	ɾj	s	ʂ	dz	ʃ	ʈʂ	ɖʑ	ç	j	h					
t	7/20																93/	60/80		
d		13/																87/67		
n			24/20														8/	68/80		
ɲ				13/13													3/	83/87		
r					14/36	/4				/6					10/14		56/34	18/6		
ɾj						3/	3/10	7/3							50/80		23/3	13/3		
s			/3					60/85	3/				/3	/3	28/5			10/3		
ʂ								40/	60/70									/30		
dz								/3		53/75								49/24		
ʃ								18/5			20/80	/5		43/10				20		
ʈʂ		3/							/3			18/50	3/					79/48		
ɖʑ					3/5				10/		/13	13/28		10/5		/3	66/50			
ç										8/10			85/88					8/3		
j					3/7	7/7									67/73		7/3	17/10		
h																97/97		3/3		
母音					/2												98/96	2/2		

[図 15 Confusion matrix (術後 6 年 5 ヶ月)]

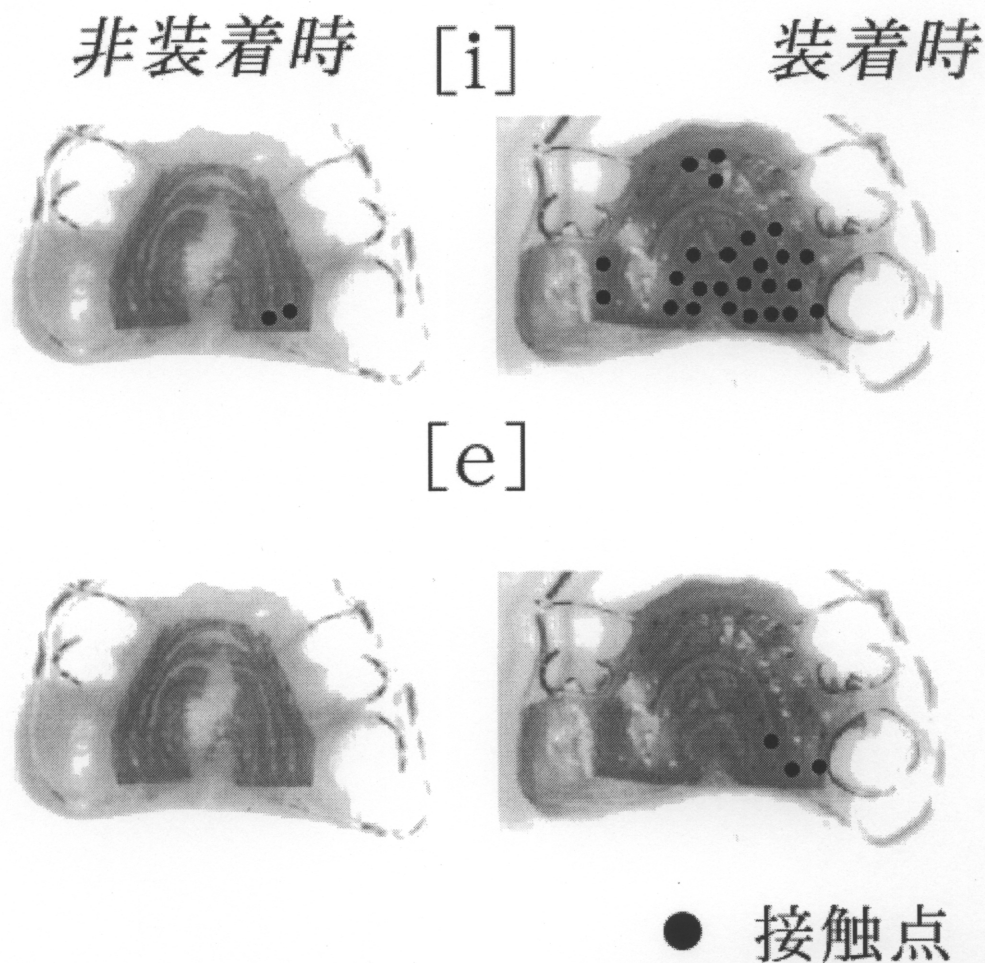
3.2 エレクトロパラトグラフィーによる構音動態観察結果

3.2.1 被検音

被検音は5母音、子音（摩擦音[s][ʃ][ç][h]）を用い検討を行った。

3.2.2 母音

術後6年5ヶ月時のパラトグラム所見において、母音[i]発音時の PAP 非装着時の最大接触は再建側の左側臼歯部のみしか舌の接触が見られなかった。しかし、装着後には後方部接触領域が前方部および切除側までひろがり、健常人により近い接触が観察された。一方、[e]発音時の PAP 非装着時では接触が見られず、装着後には後方部接触領域があらわれ、健常人に近い接触が観察された。（図16）



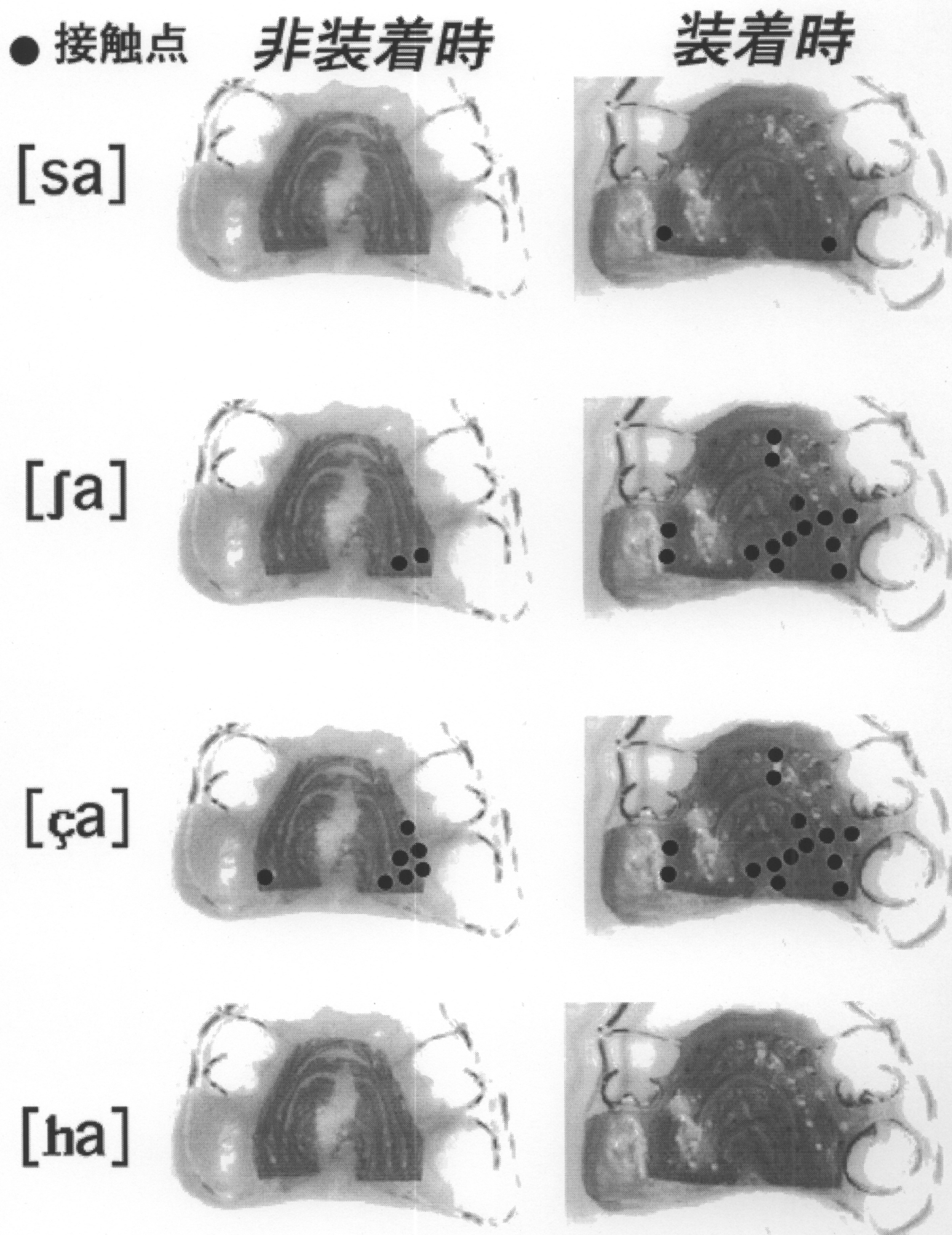
[図16 パラトグラム所見(母音)]

3.2.3 子音

子音（摩擦音）における構音動態をエレクトロパラトグラムを用い、検査を行った。（図 17）
[sa]においては発音時には下口唇を上顎前歯口蓋側に接触させるという代償性の構音を行っており、PAP 非装着時には舌の口蓋への接触はなく装着時には口蓋後方部にわずかにみられるのみであった。[ʃa]発音時では PAP 非装着時は舌接触がわずかであったが、装着後には健常人より後方である切除側大臼歯部相当部に舌による狭めが形成されていた。[ça]においては PAP 非装着時の接触は口腔内左側後方にわずかにみられるだけであったが装着時には [ʃa]同様、切除側大臼歯部相当部に舌による狭めを形成してゐる。

声門音の[ha]では健常人同様特に接触は観察されてなかった。

このように実際の正しい接触パターンとは異なるものの、舌によるせばめを形成し、発音を行っていた。



[図 17 パラトグラム所見 (術後6年5ヶ月)]

3.3 音響分析結果

3.3.1 被検音

被検音は5母音、子音（摩擦音[s][ʃ][ç][h]）を用い検討を行った。

3.3.2 母音

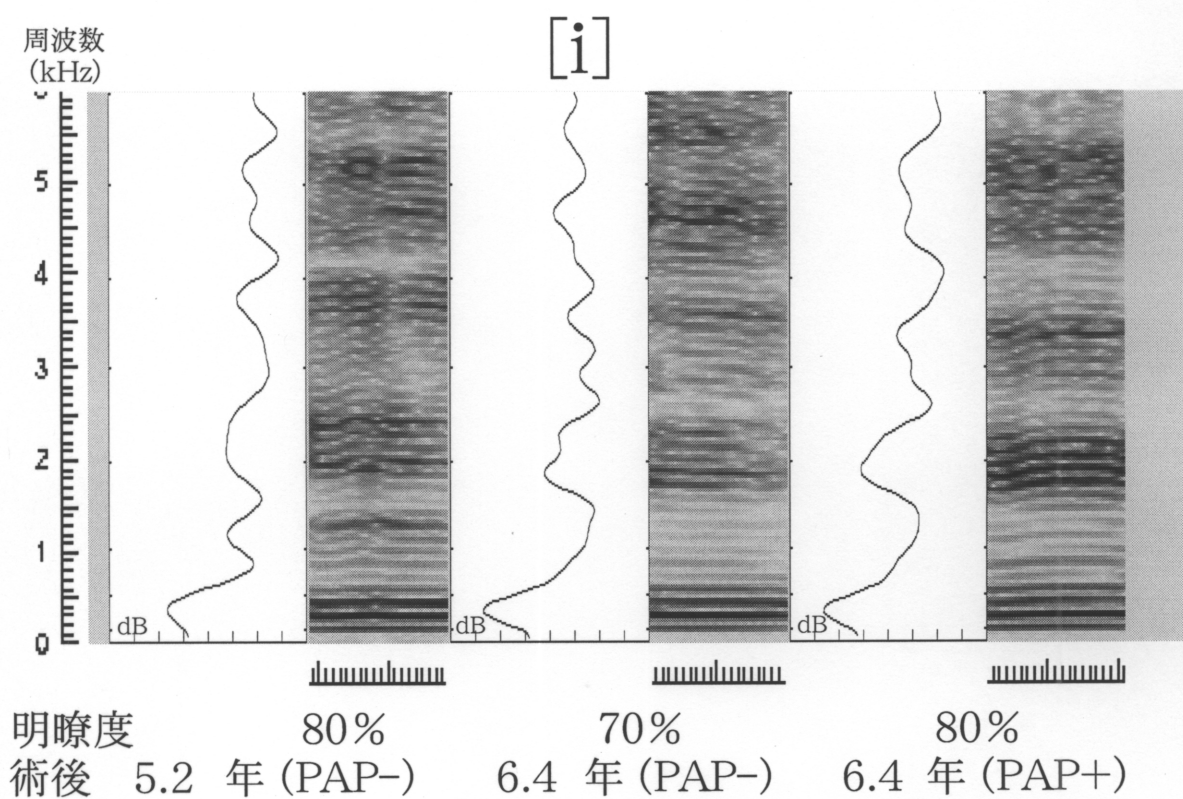
子音の後続母音であり、音発生の基本となる母音についての音響分析は以下の通りであった。以下に示すのは母音の PAP 非装着、装着における不偏推定法を用いたスペクトルとソナグラフ（図 18、19）であり、図 20～23 は各 3 回ずつ発話したものである。[a]（図 20）,[o]（図 21）,[e]（図 22）,[u]（図 23）では 3 回とも安定した発話を示している。

図 18 に示す通り、[i]では第 2 フォルマントが PAP 非装着時には分化し、PAP 装着することにより 1 本化し、ピークもはっきりとし、健常人に近づいていた。これはどの時期にも見られ、経時的には第 1 フォルマントの下降、第 2、3 フォルマントの上昇が見られた。ただし、健常人と比較すると第 1 フォルマントは高く、第 2、3 フォルマントは低い値を示している。明瞭度の変化は少ないので PAP 装着、非装着で質的な変化があるものと思われる。

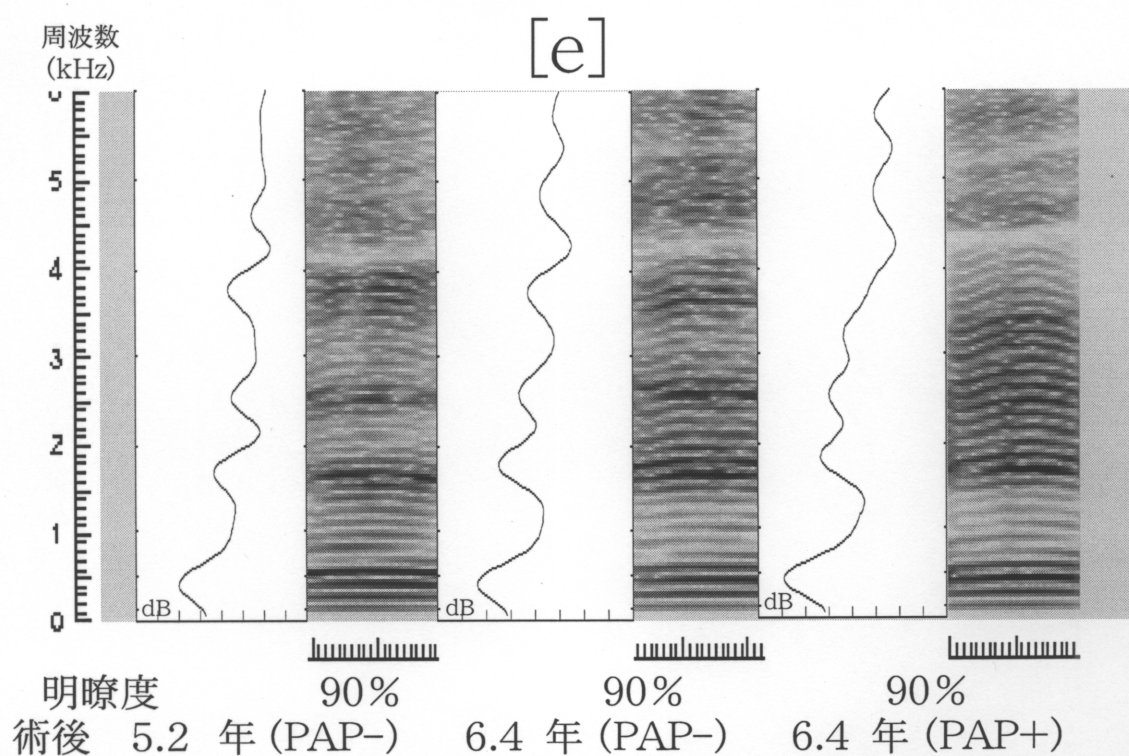
一方、図 19 は[i]発話時における PAP 装着、非装着で 3 回発話したものであり、PAP 非装着でいずれも第二フォルマントが違った値を示し、発音の不安定さが見受けられた。。また装着後には第一フォルマントの低下、第二フォルマントの上昇が見られ、ピークもはっきりとし、健常人に近づいていた。明瞭度の変化は少ないので PAP 装着、非装着で質的な変化があるものと思われる。

[e]（図 22）では PAP 装着によりわずかに第 3 フォルマントの下降が見られたが、明瞭度の変化は見られなかった。経時的にはわずかに第 1 フォルマントが下降、第 2 フォルマントが上昇し、正常な値に近づく傾向が見られた。

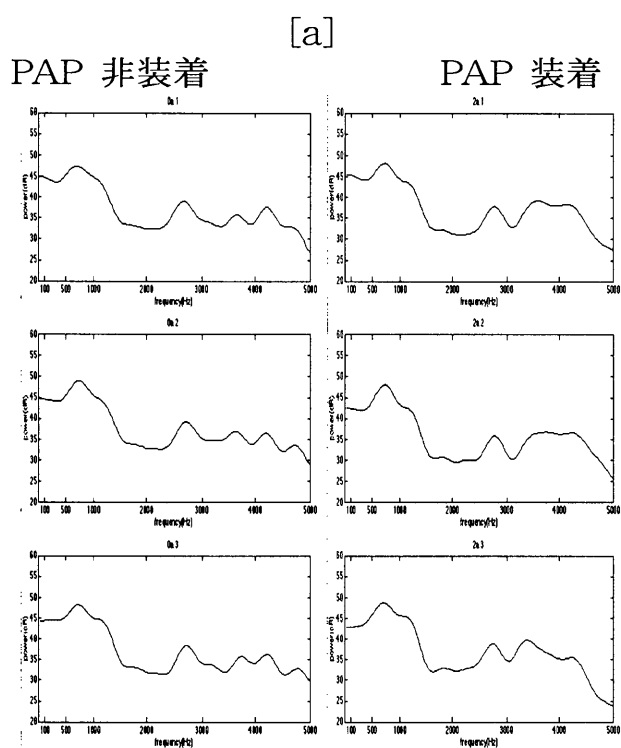
母音[a],[o],[e],[u]では装着前後とも高い明瞭度と健常人に近い音響特性が得られてたが舌前方で発音する[i]の明瞭度については明瞭度の変化はわずかでも装着前後において音響的に大きく改善が得られていた。



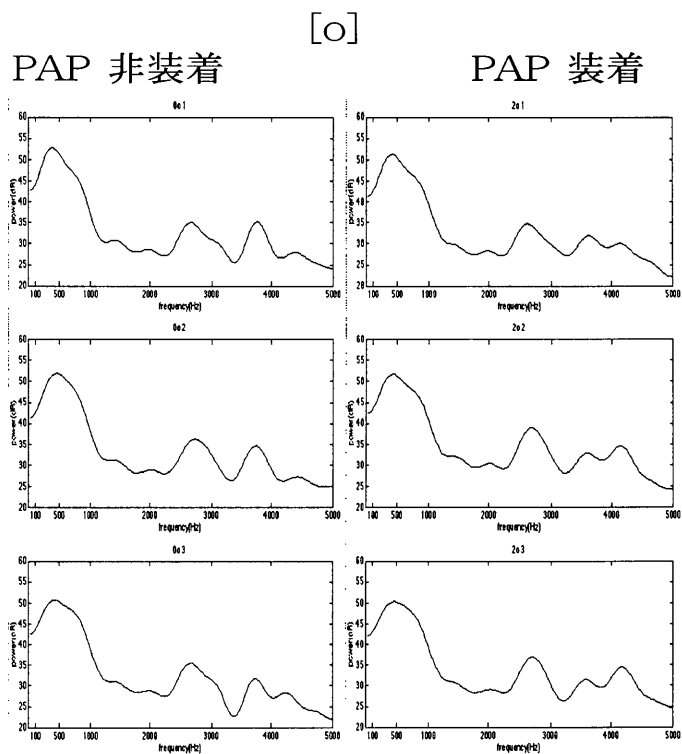
[図 18 [i] 不偏推定法とスペクトログラムによる所見]



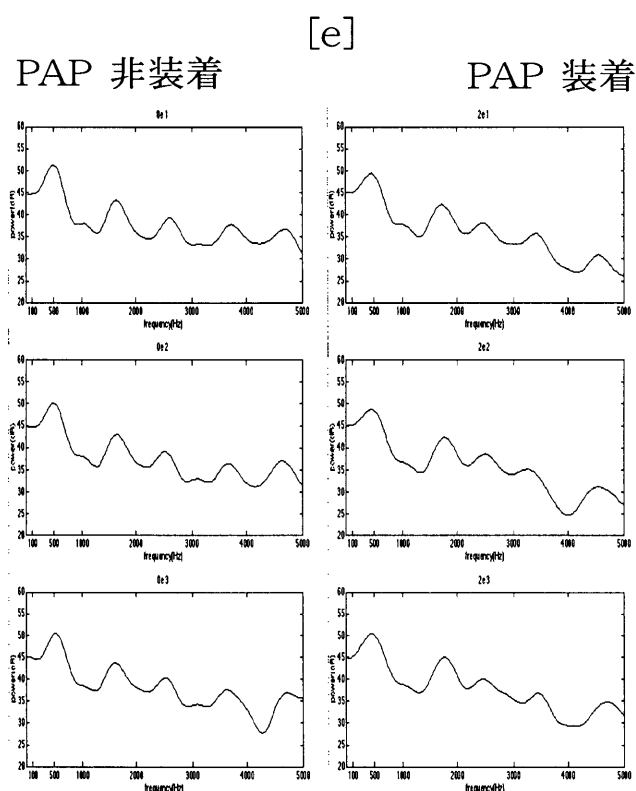
[図 19 [e] 不偏推定法とスペクトログラムによる所見]



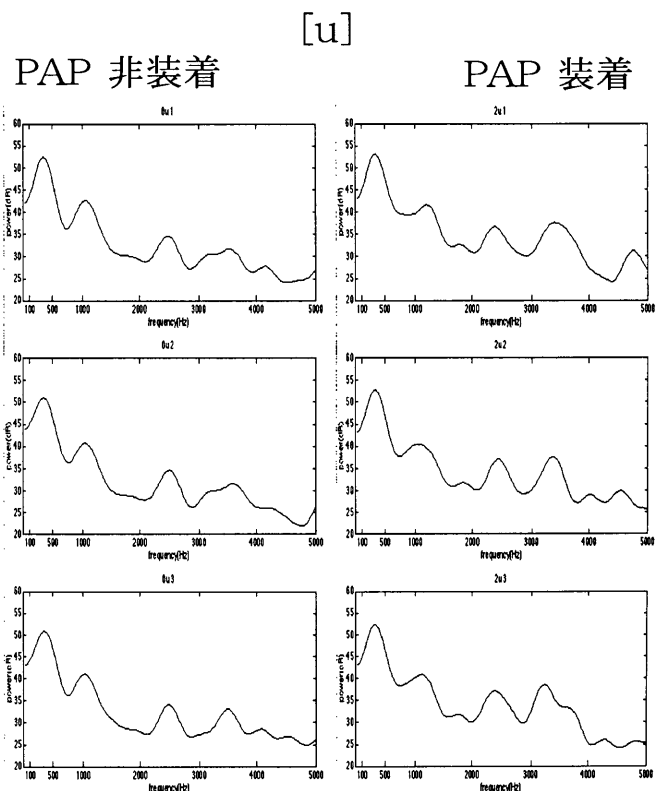
[図 20 不偏推定法による結果 [a]]



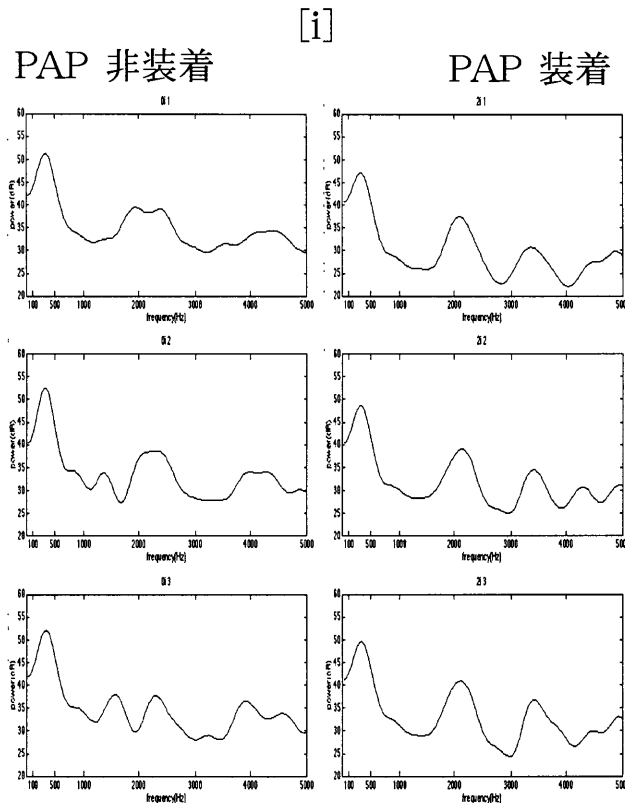
[図 21 不偏推定法による結果 [o]]



[図 22 不偏推定法による結果 [e]]



[図 23 不偏推定法による結果 [u]]



[図 24 不偏推定法による結果 [i]]

3.3.3 子音

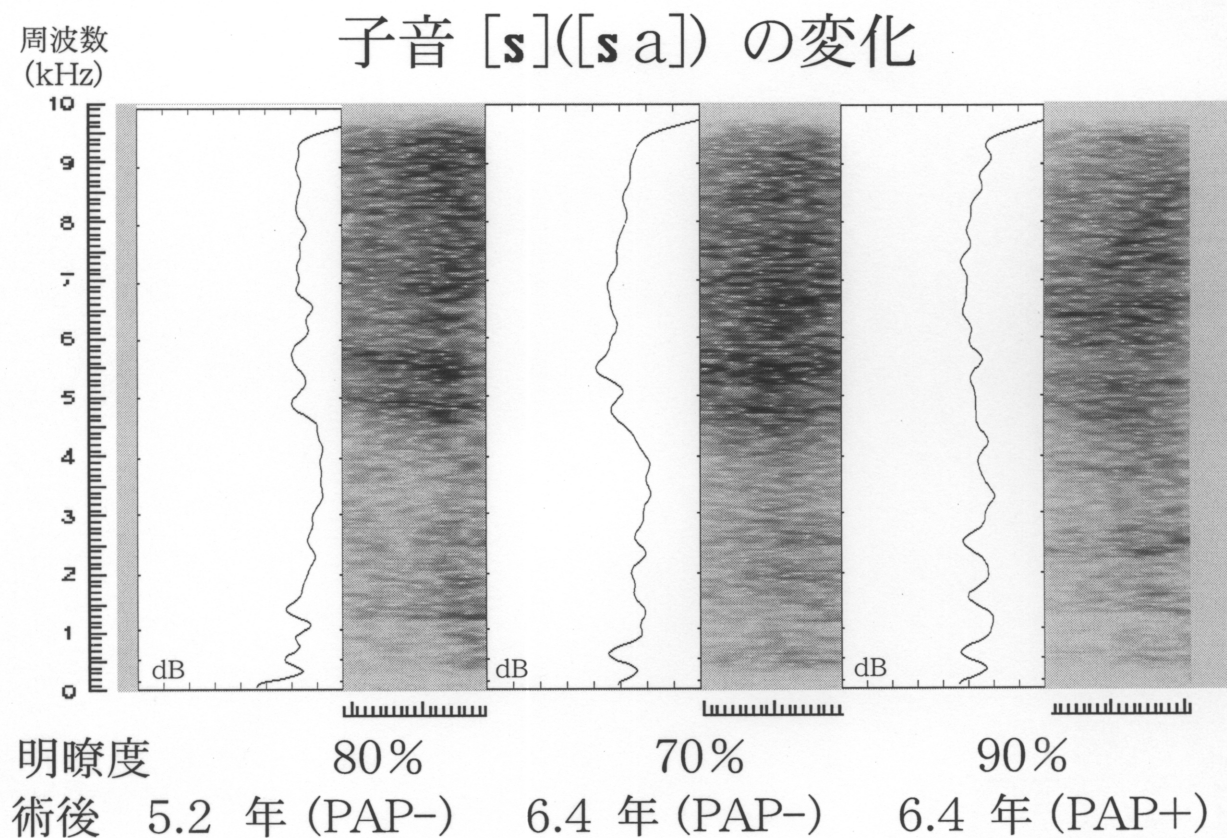
不偏推定法にて分析した結果では、[s] (図 25) においては第一強調部が約 700 Hz 前後と健常人と比較すると 5500 Hz 程低く、PAP を装着することにより、第一強調部の上昇がみられたが、健常人と比較するとまだ低い値を示していた。ただし、周波数成分が最も濃い部分は PAP 装着、非装着にかかわらず 7000Hz 付近であり、結果的に明瞭度が PAP 装着により 70% から 90% に上昇と高い値を示しているとおもわれる。経時的には 5000 Hz 付近の音圧の上昇が見られるようになってきた。

[r] (図 26) においては舌のボリュームおよび可動性の低下による狭めの形成が不十分なため、第一強調部の低下がみられたが PAP を装着することにより第一強調部の上昇が得られるようになった。また、音圧も上昇、明瞭度も PAP 装着により 20% から 90% へと著しい上昇を示した。経時的には 5500Hz 付近の音圧が上昇し正常な[r]の音響特性に近づいていた。

[ç] (図 27) においては舌の後方で音が產生されるため前者の音にくらべ、可動性があり、明

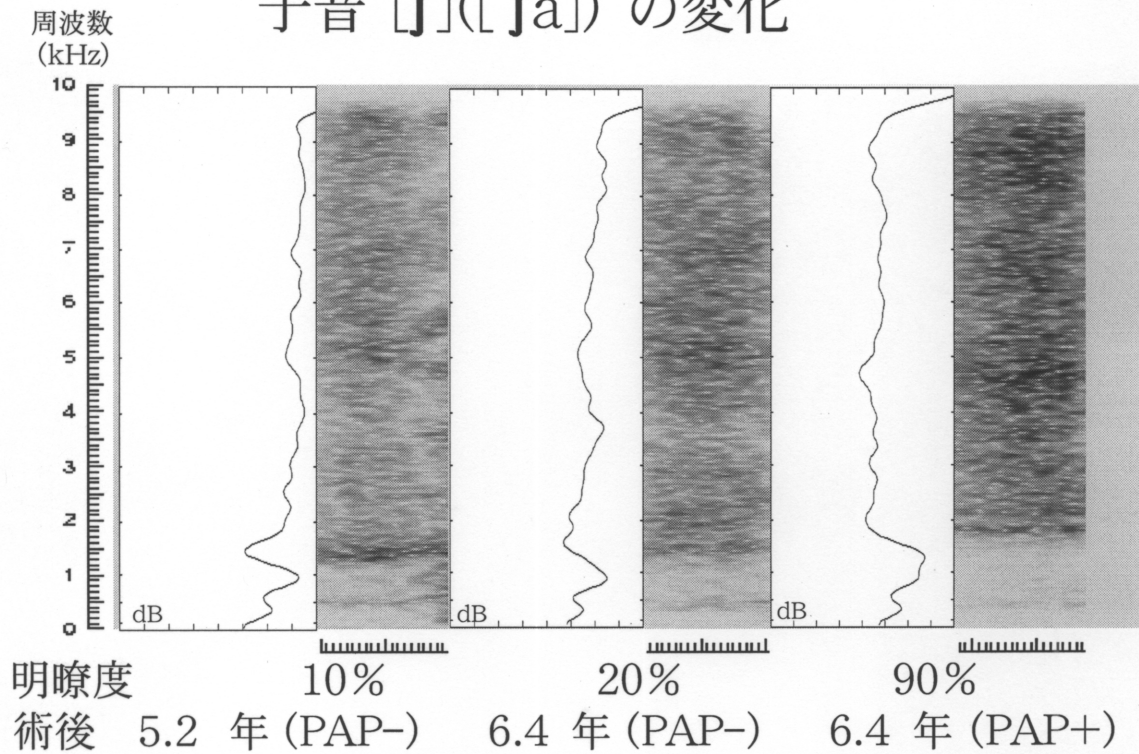
瞭度もたかく、h から後続母音へのわたり部分のホルマント遷移が健常人に近づき、音響的にも第一強調部の上昇がわずかにあるのみで、PAP の装着による変化はわずかであった。

[h] (図 28) は咽頭に構音点があるため、音響的な変化はなかった。



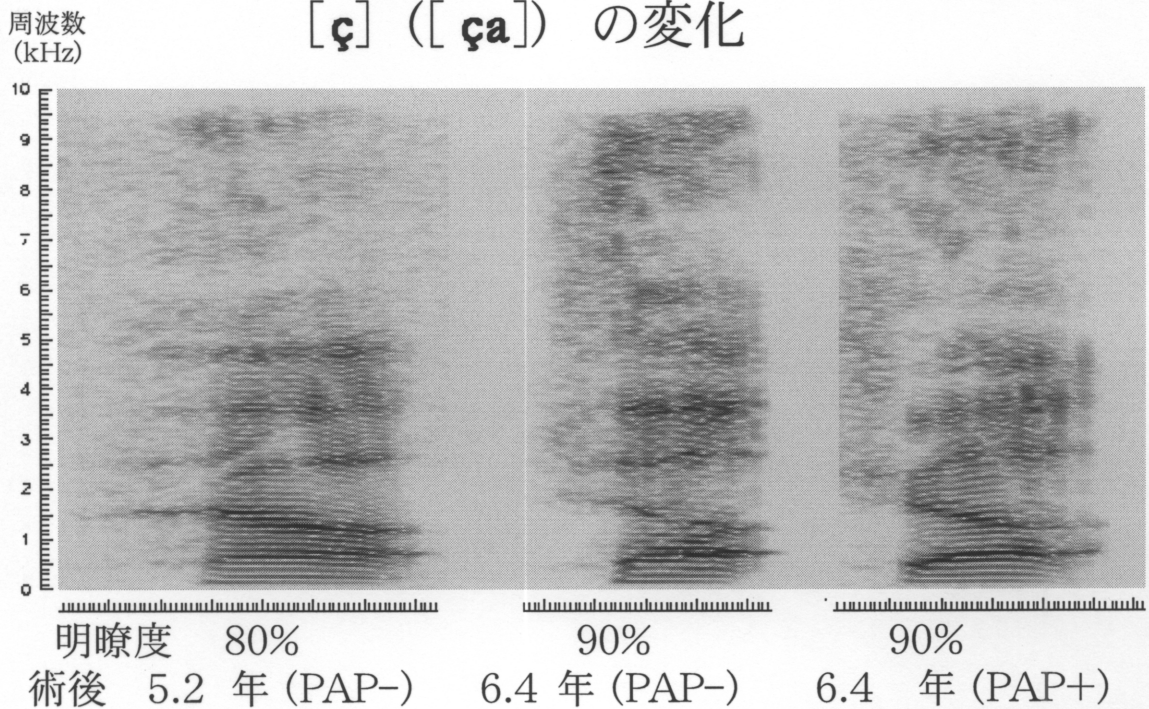
[図 25 [s] 不偏推定法とスペクトログラムによる所見]

子音 [ʃ]([ʃa]) の変化



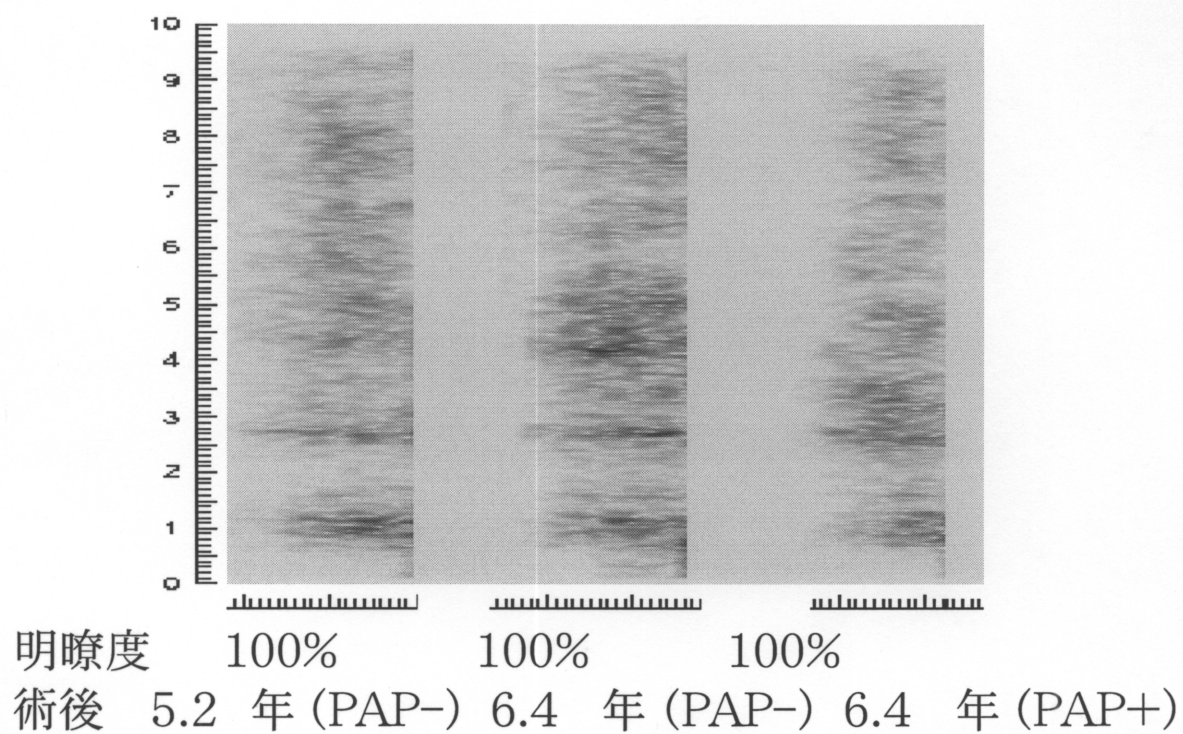
[図 26 [ʃ] 不偏推定法とスペクトログラムによる所見]

[ç] ([ça]) の変化



[図 27 [ç] 不偏推定法とスペクトログラムによる所見]

子音 [h]([ha]) の変化



[図 28 [ç] 不偏推定法とスペクトログラムによる所見]

3.4 音響管モデル構築結果

3.4.1 健常人における比較（[i] 発音時）

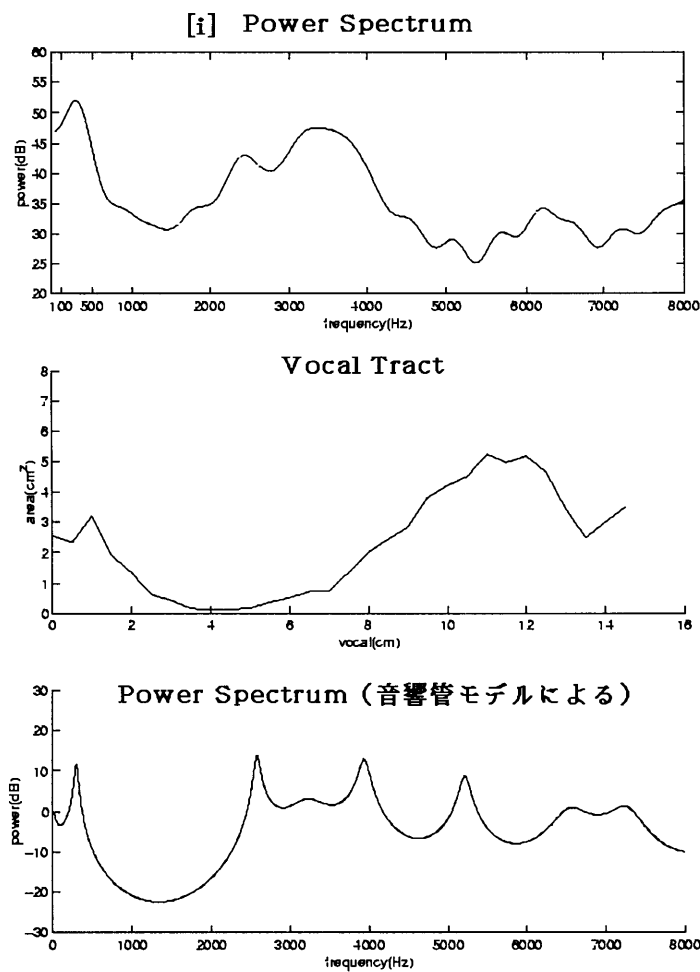
測定した断面積より、計算式にあてはめ実音声でのスペクトログラムとの比較を行い音響管モデルの誤差をもとめた。上段が実音声の不偏推定法によるスペクトルであり、中段は声道断面積、下段は計算式にあてはめ、計算したスペクトルである。（図 29） 結果、健常人[i]において F2,F3 の誤差は 5%以内であった。

音声データ:(健常人)

被験者 : 男性（34 歳）

Sampling Frequency : 48kHz

被検音 : 5 母音



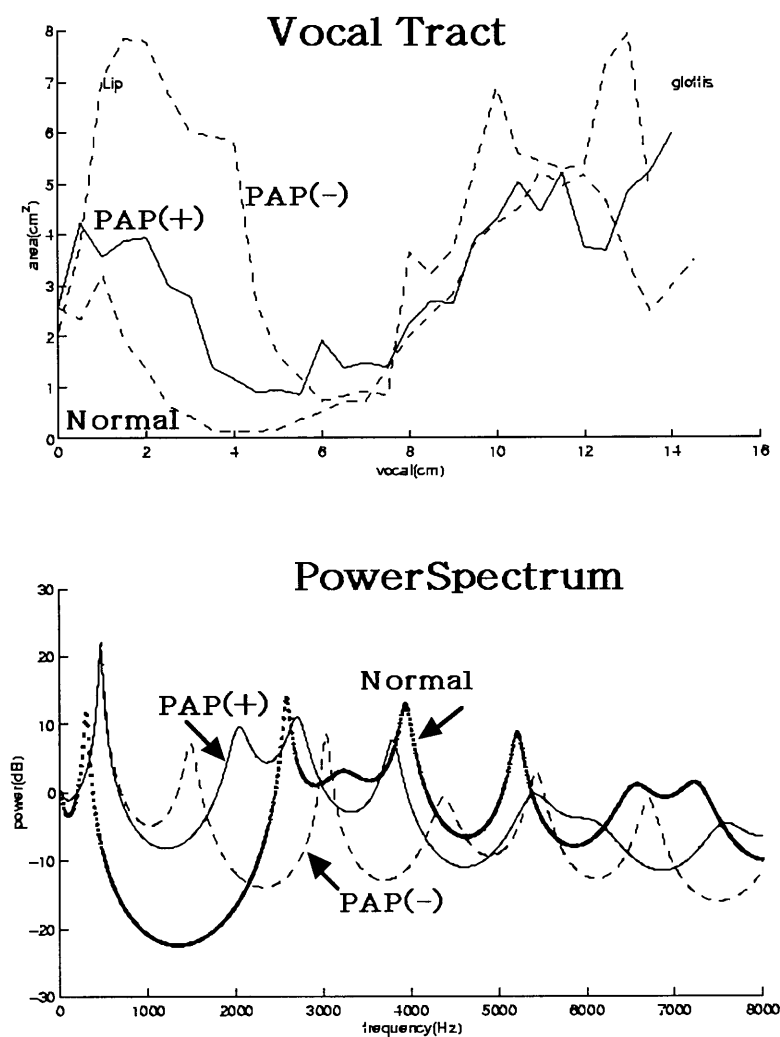
音響管モデルによるスペクトログラム
(健常例)

[図 29 音響管モデルによるスペクトラム（健常例）]

3.4.2 症例における PAP 装着前後の比較 ([i] 発音時)

MRI 撮像法によりもとめた症例における声道断面積から、もとめたスペクトルを以下に表す。
(図 30) 上段は MRI よりもとめた口唇から声道までの断面積、下段はもとめたフォルマントである。症例において、PAP 装着時の F2,F3 の誤差は 10%以内である一方、非装着時には F3 での誤差が大きくあらわれた。

これは PAP 装着時は実音声のフォルマントが 3 回発話のうちのすべて一定であったのに対し、PAP 非装着時には発声時の動きが一定でないことによるものと思われる。



〔図 30 音響管モデルによるスペクトラム (症例)〕

第4章 全体考察

4.1 観察結果のまとめ

第3章における観察結果をまとめると以下ようになる。

術後の経時的変化では PAP 非装着、装着時ともに手術直後から 6 年 5 か月時にかけて音の改善が見られていた。また、PAP 装着による効果については以下の通りであった。

1) 母音に対する PAP の効果

術後の経時的変化および PAP 装着による明瞭度の改善はわずかであったが音響分析からフォルマントが健常人に近い位置へ移動しており質的な改善が確認された。特に[i]では5母音中明瞭度が最も改善し、音響的にも質的な改善が見られた。

2) 歯音・歯茎音に対する PAP 装着の効果

子音の中でも特に歯音、歯茎音において明瞭度の著しい上昇がみられた。パラトグラム所見より PAP 装着によって舌の口蓋への接触が増加し、音響分析から第一強調部の上昇及び音圧の増加が確認され、異聴傾向が改善されるという結果がでた。特に、子音[j]に対しては、PAP 非装着時、舌接触がわずかでありかつ明瞭度は 20%であったが、装着後には、舌による狭めが形成されかつ明瞭度が、90%に改善されるという効果が確認された。

3) [i]発音時の MRI 撮像により得られたモデル化からの音響データと実音声から得られた音響データとの比較を行ったところ PAP 装着時にはモデル化から得られたデータは音響分析によって得られたデータと類似の傾向を示した。しかし、非装着時にはモデル化から得られたデータとは一致しなかった。

4.2 考察

本報告では舌・口底切除後1症例に対しPAPを適用し、術後の経過的变化および本装置装着前後の構音動態と音響特性についてパラトグラム、MRI撮像法、音響分析、聴取実験の結果から検討を行った。

その結果、術後の経時的変化はPAP非装着、装着時ともに手術直後から6年5か月時にかけて徐々にみられ、音の改善が見られることを示した。これらの改善の要因としては術後の口腔機能の賦活とPAP装着による舌の筋感覚のフィードバックによる機能のリハビリ効果、舌機能訓練による効果が挙げられた。舌機能の改善経過を明らかにするためには聴覚的および音響分析による評価のみでは不十分であり、構音動態と音響的变化との関連について検討する必要があると示された。また、6年5ヶ月時におけるPAP装着前後の変化を、パラトグラフィー、発語明瞭度、音響分析にて検討を行った。また、母音[i]についてのMRI撮像法により、音響管モデルの構築を試み6年5ヶ月の結果より、音響特性との関連が高いことが確認された。

今回適応されたPAPの作製基準としては形態機能の残存している舌（健側・左側）の盛り上げにより、健常人とは違う狭めを切除側に形成することとした。

本症例における発音障害は舌前方の機能障害により、前方で発音し高母音である[i]が音響的に障害されていた。また、子音の中でも持続性の強く、前方で発音する摩擦音[j]の障害が最も強く、このことは舌が口蓋に対し、狭めを形成出来ないことが原因であった。

これらを改善するために上記基準にしたがってPAPを作製し検討を行ったところ、前節1),2)に示すようにEPG所見では[i]、[j]構音時に健側の接触が増加しており、健常人とは異なる狭めの形成が観察された。しかし、明瞭度、音響分析結果の著しい改善が得られた。これらのことより本法によるPAPの作製は構音機能の改善に有効であることが、確認された。

今回、明瞭度の著しい改善が見られなくても音響的な改善が見られる音があった。このことは聴覚的評価として今回用いた単音節発語明瞭度検査は日本語音韻へのあてはめにより音歪みの程度を表現するものではない。そこで、今後、聴覚的な歪み度と音響分析結果を比較検討する必要があるであろう。

健常人における従来の方法にて音響管モデルを作製し、MRIデータより声道の特性について検討を行ったが、前節3)に示すように、口腔の著しい形態異常を伴う症例においては限界があることが示唆され、MRI撮像条件についてもより工夫が必要であることが示された。

4.3 結論

今回の舌・口底切除症例 1 例での検討の結果、PAP 装着による適切な舌接触部位の増加は、発語明瞭度の改善に貢献し、特に音響特性改善に有効であるということが明らかとなった。

このことは、狭めの位置が、高い明瞭度および歪みの少ない音の產生にとって重要であるということを示唆しているといえよう。

4.4 今後の課題

今後、発語明瞭度における歪み音の評価方法の検討、音響管モデルの使用方法、これらの結果の各音（母音、摩擦音）における定量化、他の音における特徴抽出と定量化、手術部位、再建材料、などをふまえた他症例との比較検討を行っていかなければならない。

謝辞

日頃ご指導いただき、貴重な御助言をいただきました岩城護助手をはじめとする北陸先端科学技術大学院大学の教官の皆様、熱心にご討論いただきました赤木研究室をはじめとする本学の学生の皆様に感謝いたします。本研究について御指導を下さった道健一教授、鈴木規子助教授をはじめとする昭和大学第一口腔外科学教室の先生方、ATR 人間情報通信研究所 和久本雅彦先生、党建武先生に感謝いたします。MRI 撮像に御協力いただきました昭和大学放射線部 高橋俊行技師、特殊な人工口蓋の作製に御協力いただきましたリオン株式会社の方々に感謝致します。また、本研究にあたって資料を提供していただきました癌研究会付属病院 川端一嘉先生にこころより感謝いたします。最後に、1年間の研究生活を支えて下さった全ての皆様に厚く感謝いたします。

参考文献

- ¹ 今井智子,他:舌・口底切除後前腕皮弁再建例のエレクトロパトグラム所見について,音声言語医学 32(3),1991
- ² 秋月弘道:超音波診断装置による舌切除患者の舌運動の観察,日口外誌, vol.37 No.1,1991
- ³ 松田千春:下顎切除症例における構音運動-舌口蓋接触様式と顎運動の同期解析,口科誌,39(3),1990
- ⁴ 吉田真由美:高速度 16mm 映画法とダイナミックパトグラフィーによる構音運動の同期解析-2.舌癌術後患者の 1 例-,口科誌,38-2,1989
- ⁵ 平井啓之,他:舌と喉頭との相互作用を考慮した発話器官の生理学的モデル,日本音響学会誌 51 巻 12 号(1995),pp.918-928
- ⁶ 和久本雅彦,他:造影プレートを利用した MRI による歯冠造影法とその構音への影響,日本音響学講演論文集,397-398,平成 9 年 9 月
- ⁷ 土師知行:舌・口底腫瘍切除後の母音のホルマントについて,音声言語医学,35:261-265,1994.
- ⁸ 渡辺宏,他:再建舌症例と単純舌切除症例の構音機能-サウンドスペクトログラフによる経時的観察-,音声言語医学,26:245-253,1985.
- ⁹ 和久本雅彦,他:マイクロコンピュータを用いた音響分析による構音機能の評価の試み-遊離前腕皮弁による舌口底再建の 1 症例について.,日口外誌,38:1343-1350,1992.
- ¹⁰ K.Thomas Robbins, et al:Postglossectomy Deglutitory and Articulatory Rehabilitation With Palatal Augmentation Prostheses,Arch Otolaryngol Head Neck Surg,Vol113,Nov 1987
- ¹¹ 齋藤浩人,他:“舌・口底切除症例の 1 例における舌接触補助床適用前後の構音動態および音響特性の変化”、第 21 回頭頸部腫瘍学会、97 年 6 月、九州大学
- ¹² 齋藤浩人,他:“舌・口底切除症例における構音動態及び音響特性”、音声・聴覚共催研究会、98 年 3 月、東京大学、電子情報通信学会技術研究報告書 Vol.97 ,No.586,SP97-122(1998-03),p41-48
- ¹³ 齋藤浩人,他:“舌・口底切除症例における舌接触補助床適用前後の音響特性の変化”、日本音響学会、98 年 3 月、慶応大学、日本音響学会講演論文集,平成 10 年 3 月,p261-262
- ¹⁴ 齋藤健一他:舌・口底切除患者に対する舌接触補助床装着前後の言語所見、頭頸部腫瘍 17:5 ~11、1991.
- ¹⁵ 降矢宜成:言語障害の語音発後明瞭度(語明度)に関する研究,日耳鼻,61,1923-1948、,1958.
- ¹⁶ 音響用語辞典、日本音響学会編、コロナ社 Ray D.Kent,Charles Read 著,荒井隆行、菅原勉監訳、音声の音響分析、海文堂
- ¹⁷ Noriko Suzuki:Clinical applications of EPG to Japanese cleft palate and glossectomy patients,Clinical linguistics & phonetics,1989,vol.3,no. 1,127-136
- ¹⁸ 今井聖,他:対数スペクトルの不偏推定,信学論,'87/3,J70-A,3,
- ¹⁹ 今井聖:音声信号処理,森北出版,138-168
- ²⁰ MAN MOHAN SONDHI,A Hybrid Time-Frequency Domain Articulatory Speech Synthesizer,IEEE Transaction Speech,VOL. ASSP-35,No.7 JULY 1987
- ²¹ M.M.Sondhi,Model for wave propagation in a lossy vocal tract,J.Acoust.Soc.Amer.,vol.55,no.5,pp.1070-1075,1974
- ²² Jouji Miwa,Interactive visualization and auralization of speech production,ASVA97 pp271-278