口蓋扁桃摘出術が音声に及ぼす影響

堀 洋 二

Effects of Tonsillectomy on Articulation

Yohji Hori

(The University of Tokushima)

Changes in the articulation of 5 Japanese vowels after tonsillectomy were investigated using formants as indicators. Data from 40 patients were analyzed and those from 10 healthy volunteers were used as control. The comparison of formant frequencies before surgery and those 1 month after surgery revealed that F1, F2 and F4 remained within the range of intra-individual fluctuations in many cases. F3, however, exceedingly decreased in many cases, and the decrease was particularly marked for /o/. No evident change was observed as to the formant bandwidth. The larger the tonsill, the greater the changes in formant frequency.

Using Mackenzie's classification, evaluations were unsatisfactory. Observing the postoperative changes over time, it was suggested that the altered vocal tract compensated slowly using surrounding tissues.

From the acoustic evaluation, the changes in articulation due to surgery were considered negligible in clinical practice, although the problem for professional vocalists cannot be disregarded.

Key words : tonsillectomy, articulation, formant, Mackenzie's classification

はじめに

口蓋扁桃摘出術(以下「扁桃摘」)は、耳鼻咽喉科においても最も頻繁におこなわれる手術のひとつであるが、声道形態を変化させるため、術後に音声に変化する可能性が指摘されている。特に、職業的音声使用者にとって音声に変化することは、非常に大きな問題となる。そのため、これらの患者に対しては手術を避け、保存的な治療法が選択されることもあった。これまでに扁桃摘術前後で定量的な検討がほとんどおこなわれていないことが一因で、一定の見解が得られていないのが現状である。今回、日本語5母音のフォルマント周波数の術前後の経時的な変化を、健常人の個人内変動と比較し検討した。また、フォルマントバンド幅の変化の検討、聴覚的評価をあわせておこなった。

文献的考察

扁桃摘は、現在では確立された手術法であるが、確立されてまだ1世紀にすぎない。抗生物質が開発されるまでは扁桃炎といえども死に直結する病であり、扁桃摘の最も重要な手術適応となっていた¹⁾。しかし、扁桃は声道の一部を形成するため、それを取り除くことによる術後の音声変化も報告され、特に職業的音声使用者にとっては躊躇される手術でもあった²⁾。そのため、放射線療法や熱療法などの保存的な治療法が選択されることもあった。

1966年、堀口³⁾は扁桃摘が発声機構に影響を与える要因として、1)共鳴腔の変化、2)手術による瘢痕形成、3)軟口蓋の運動性の変化を考えた。また、術前後で声域の検査をおこない、90%の患者には悪影響を与えなかったと述べ、扁桃摘による音声の障害が必要以上に強調されている可能性を指摘した。1)の共鳴腔の指標として、母

音のフォルマント周波数がよく用いられる。喉頭から口唇ないし鼻孔にいたる声道は、一種の音響管となる。その周波数特性により、特定の音色を付与されて放射される。つまり、声道の周波数特性は声道形により決まり、1対1の関係がある。この周波数特性のピークになった部分をフォルマントと呼び、その部分の周波数(フォルマント周波数)と幅(フォルマントバンド幅)で特徴づけられる。特に母音は、声道の共鳴周波数であるフォルマント周波数によって特徴づけられ、そのほとんどが周波数の低いF1とF2で決定され、場合によってはF3も関与する。声道形と母音の関係はChibaら⁴⁾の研究によって初めて明確にされ、Fant⁵⁾によって音響理論的な定量化がおこなわれた。母音の声道形の概略は図1の如くで、この形から周波数特性が決まる。扁桃は中咽頭に存在し声道の一部を形成するため、これを摘出することにより、中咽頭の声道形を変化させると考えられ、その変化は音響学的にフォルマント周波数の変化でとらえられる。しかし、純粹に分析的な方法だけで正確なフォルマント周波数を知ることは困難であり、高速フーリエ変換と合成による分析(Analysis by Synthesis; AbS)法⁶⁾や、線形予測分析法が用いられる。線形予測分析法は声帯で作られた波が声道を通して口唇で発せられるまでの音声の生成過程を音声波形から求められ、主に音声の分析と合成として発達し⁷⁾、現在ではフォルマント周波数の推定⁸⁾⁹⁾や、発声時の声道の形である声道断面積を推定する手段¹⁰⁾¹¹⁾にまで応用されている。その精度について

も、十分信頼性のあることが明らかになっている¹²⁾。1984年、Curaら¹³⁾は14症例の扁桃摘術前と術後21日目の母音をソナグラムによって解析し、第1フォルマント周波数では平均3.65%~4.59%の変化、第2フォルマント周波数では2.24%~11.99%の変化を認めたと報告した。しかし、ソナグラムは主に音声波形の全体的特徴を観察する解析法であり、精密な数値計測には適さないと考えられる。また、1989年、Linら¹⁴⁾は15症例の扁桃摘術前と術後4週から5週の5母音を線形予測分析法で比較し、全母音ともF4が増加したと報告した。しかし、フォルマント周波数には、同一個人内においてもある程度の変動があり¹⁵⁾¹⁶⁾、一概に増加したとはいえない可能性もある。2)の手術における瘢痕については、扁桃摘のみでは喉頭に対する影響は考えられず、結局共鳴腔の問題としてとらえられる。3)の軟口蓋の運動性についても、鼻咽腔閉鎖不全による開鼻声にならなければ共鳴腔の変化の問題としてとらえられる。Gibb¹⁷⁾は、アデノイド切除と扁桃摘を同時におこなった2000症例のうち、術後開鼻声をおこしたのはわずか1症例であったと報告している。また、Charlesら¹⁸⁾は術後開鼻声をおこした120症例のうち60%は術前から開鼻声があったと報告しており、術前の発声や構音に異常のない患者に対しては、定型的な手術方法で慎重な操作をおこなえば術後の開鼻声は極めて稀なものであると考えられる。

以上、文献的な考察をおこなったが、扁桃摘が音声に及ぼす影響について十分な検討がなされているとはいえない

図1 5母音発声時の声道断面積(矢印は調音点を示す)

い。扁桃摘出により扁桃という mass を取り除くことで共鳴腔がどのように変化し、音声に対してどう影響するのかを今一度詳細に検討することが求められる。以下にこの問題に対する検討課題を挙げる。

1) フォルマントを検討する場合、安定した再現性のある音声を得ることが必須であるが、発声時の共鳴腔は常に変化しており、個人内の変動を考慮する必要がある。

2) 扁桃が大きいほど、摘出後の共鳴腔に対する影響が大きいと考えられるが、実際音声に対しどう関与するのか。

3) 術後、術創は経時的に変化するが、それに伴い音声はどう変化するのか。

4) 聴覚的にはどうなのか。

対象および方法

10歳以上の扁桃摘出をおこなった患者で、安定した音声記録できた40例(男性23例, 女性17例, 平均年齢26.3歳)を対象とした。全例、構音や発声機能に異常はなく、全身麻酔下に扁桃摘出のみをおこなった。音声の録音は術前、術後2, 4, 6日と手術創がおちついた1カ月に、原則として簡易防音室でおこない、術後の疼痛が著しい場合は検査前に鎮痛剤を服用させた。楽な高さで大きさで、「これは、××です。」のキャリアセンテンスに日本語の5母音を挿入して5回ずつ発声させ、DATに録音した。解析は、DEC社製ミニコンピュータPDP 11/73にて自作のプログラムおよびILSを用いておこなった。音声を6kHzのLPFで帯域制限した後、14kHzのサンプリング周波数、12ビットの精度でA/D変換し、計算機に取り込んだ。分析区間は、視察によって切りだした母音の定常部約200ミリ秒とし、自己相関領域で平均を求めた後、分析次数14次の線形予測分析を基にして、第1から第4のフォルマント周波数、およびフォルマントバンド幅を求めた。同様の方法で、健常者10名(男性6名, 女性4名, 平均年齢27.5歳)の1週の間隔をあけた音声から5母音のフォルマント周波数を求め、その各々の平均変動率を個人内変動とした。そして、術前と術後の落ちつく術後1カ月のフォルマント周波数の変化と個人内変動を比較した。また、声道の共鳴腔変化の大きな要因と考えられる扁桃の大きさが、フォルマント周波数にどう関与するのかを、術前の扁桃肥大度と摘出扁桃の体積を指標とし検討した。扁桃肥大度はマッケンジー分類にておこない、体積は摘出直後に測定した両側の合計とし

た。聴覚的評価は、4名の耳鼻咽喉科医と2名の言語学者が術前と術後1カ月の5母音を聴取し、音声学的に病的な変化を認めるかどうかを視点におこなった。

結 果

1. 術前と術後1カ月のフォルマント周波数の変化

フォルマント周波数の個人内変動(表1)は、第1フォルマント周波数(以下「F1」)では、2.5%から5.2%、第2フォルマント周波数(以下「F2」)では2.3%~5.1%、第3フォルマント周波数(以下「F3」)では1.7%~3.3%、第4フォルマント周波数(以下「F4」)では2.0%~4.0%であった。これをもとに、扁桃摘出術前と術後約1カ月のフォルマント周波数の変化を検討した(図2)。F3では個人内変動を越えて低下する症例が32.5%~65.0%と多く、特に/o/で顕著であった。しかし、F1では、60.0%~72.5%、F2では57.5%~67.5%、F4では62.5%~97.5%の症例が個人内変動の範囲内にとどまり、変化する症例は少なかった。

2. 扁桃の大きさとフォルマント周波数変化

術前と術後1カ月のフォルマント周波数変化で、変化する症例が多い/o/のF3と扁桃の大きさを検討した。マッケンジー分類では(図3)、肥大なしは個人内変動の範囲内にとどまる症例が多いものの、Ⅲ度肥大では全例が低下した。その低下した周波数の平均は、肥大なしで32 Hz、Ⅰ度肥大で52 Hz、Ⅱ度肥大で175 Hz、Ⅲ度肥大で179 Hzであった。摘出扁桃の体積では(図4)、平均体積7.0 cm³未満の症例では43%の症例が個人内変動内に留まり、平均41 Hzの低下だが、7.0 cm³以上の症例では全症例が低下し、平均160 Hzに達した。

表1 フォルマント周波数の個人内変動

各母音とも2回おこなわれた検査から求められた平均変動率を示す。

	F1	F2	F3	F4
/a/	2.7%	2.3%	1.9%	2.4%
/i/	2.5%	5.1%	2.3%	2.0%
/u/	2.8%	4.5%	1.7%	3.2%
/e/	5.2%	2.3%	3.3%	2.3%
/o/	3.4%	4.1%	2.5%	4.0%

図2 個人内変動と比較した術前と術後1カ月のフォルマント周波数の変化

図3 マッケンジー分類による術前と術後1カ月のフォルマント周波数の変化

3. フォルマント周波数の経時変化

F1, F2は, 5母音とも術前と術後2, 4, 6日, 1カ月で大きな変化を認めなかった. F3は, 術後2, 4日と低下する傾向にあり, 術後1カ月には体積の小さい症例

図4 摘出扁桃の体積でみた術前と術後1カ月のフォルマント周波数の変化

では術前の値に戻るものの, 大きい症例では, 低下したままであった. F4は, 術後2, 4日と一過性に低下する症例があるものの, 術後1カ月には術前の値に戻った. 図5に摘出扁桃の体積別にみた代表例の経時変化を/o/にて示す. 小さい症例では, 術前, 術後で周波数の変化を認めない. 大きい症例ではF1, F2は変化しないが, F3, F4は術後早期は低下するも, その後回復する傾向を示している. 巨大な症例でもF1, F2は変化しないが, F3, F4は術後早期に低下し, F4は回復傾向にあるが, F3は低下したままとなっている.

4. 術前と術後1カ月のフォルマントバンド幅の変化

図6に巨大な扁桃をもった症例の/o/のスペクトル包絡を示す. 術前に比べて術後1カ月のF3, F4のピークが鋭くなっている. 扁桃の大きい症例では, このようにどの母音でもバンド幅が狭くなる症例があったが, 一定した特徴的所見は得られなかった.

5. 聴覚的評価

耳鼻咽喉科医は巨大な扁桃の1症例で, こもっていた音声聞き取りやすくなったと指摘したが, それ以外の症例では明らかな変化を指摘しなかった. しかし, 言語学者は扁桃の体積の大きい症例で後舌母音/u/, /o/を中心に中舌母音化や調音点の移動, 音質の改善を指摘した症例があった.

考 察

1. 術前と術後1カ月のフォルマント周波数の変化

Fant⁵⁾は, 電気的アナログ装置を用いた検討をおこな

い、F1は後室(声門から、舌による狭めの位置)の容積に強く依存すること、F2とF3はいくつかの母音において前室(舌による狭めの位置から口唇)の容積に依存すること、F4は主に後室に依存することを示した。扁桃による声道形態の変化は、主に後室の容積の増加であり、前室はほとんど影響をうけないと考えられる。Fantに従えば、扁桃によりF1とF4が低下し、F2とF3は変化しないことになるが、今回の研究ではF3の低下という結果であった。口蓋扁桃の存在する中咽頭付近は、発声時にもっとも容積が変化するように、周囲の組織が非常にflexibleである。従って、電気的アナログ装置をそのまま生体に応用するのは無理であるかもしれない。

以下に、今回の結果が得られた原因について推察する。人間の聴覚は音声によって伝えられる極めて多種類の情報を、短い時間で取り込むことができ、自身の聴覚を通して聞き分けて発声や構音を調節する働きがある¹⁹⁾。つまり、扁桃により広くなった後室が、聴覚によるフィードバックのため、術前の状態を保つように調節される。特にもっとも可動性のある舌の後方への移動が重要と考えられる。この際、母音はほとんどF1とF2で決定されることから、これらのフォルマント周波数を中心に代償機転が働くものと推察され、その結果、相対的に前室にも影響が及びF3にもっとも変化をきたしたと考えら

れる。また、口唇の形態、下顎の開き具合もフォルマント周波数に影響を与える要素であり²⁰⁾²¹⁾舌の動きに付随して代償に寄与しているものと思われる。母音の種類では、後舌母音(/a/, /u/, /o/)を中心に変化を示し、特に/o/がもっとも顕著であった。これは、後舌母音の調音点(声道の狭めの位置)が、もともと口蓋扁桃の存在する部分に近いことから、この部分が声道の共鳴特性を決定するうえで、もっとも重要な部分となる²²⁾。そのため、前舌母音よりも声道の共鳴に影響を与える可能性が高いと考えられる。

2. 扁桃の大きさとフォルマント周波数の経時変化

共鳴腔の変化を考える場合、扁桃が大きいほど共鳴腔に対する影響が大きいと考えられる。一般的に扁桃の大きさの指標については、マッケンジー分類が広く用いられる。しかし、定性的なことや口蓋弓の外にでている部分だけで評価されるため、その問題点も指摘されており²³⁾、今回の研究では摘出扁桃の体積も考慮にいった。/o/のF3を例にとると、マッケンジー分類のⅢ度肥大では術後1カ月で全例低下するものの、症例の多いⅠ度肥大、Ⅱ度肥大では低下する症例の割合に明確な差はなく、マッケンジー分類の限界かと思われた。しかし、摘出扁桃の体積では7.0 cm³以上の症例では全例で低下し、より正確な共鳴腔の変化をとらえることができた。扁桃

図5 フォルマント周波数の経時変化
体積別に代表例を示す。

図6 巨大扁桃症例のスペクトル包絡

術前と比較して術後1カ月のF3, F4のピークが鋭くなっている。

の体積は、術後の構音変化を考慮に入れる場合、重要な要因になることが示唆されるが、これを術前に得ることは臨床的に大きな意義がある。原口²⁴⁾は、超音波検査でかなりの精度で口蓋扁桃の大きさを測定できると報告しており、今後検討したい。また、フォルマント周波数の変化を経時的にみると、摘出扁桃の小さい症例では、術後早期でもフォルマント周波数の変化は認められなかった。一方、大きい症例では術後早期は変化するものの、F3以外は日を追うごとに術前の値に戻る傾向が認められた。これは、体積の小さい症例では声道の代償機転が早期に完成するものの、大きい症例ほど代償されにくく、代償機転には限度があることが示唆される。ただ、今回は術後1カ月しか経過をみていないが、もっと長期にみる必要があるかもしれない。

3. 聴覚的評価

耳鼻咽喉科医は病的に扁桃が巨大な1例で、こもって

いた音声をはっきり聞き取れるようになったと指摘した以外は、明らかな変化を指摘しなかった。この症例は扁桃の体積が37 cm³ととびぬけて大きく、例外的な症例と考えられるが、術後早期でさえF1とF2に変化なく、術後1カ月ではF3の低下のみにとどまった。また、フォルマントバンド幅も狭くなり、音韻性が明確になったことを示している。母音は、大部分がF1とF2で決定され、F3は異音に関係するといわれている。今回の検討では、F3以外は個人の変動内である症例が多く、耳鼻咽喉科医のレベルでは、そこまでの変化を聴覚的变化として認識できなかったと考えられる。また、変化した1例も良い意味での変化であり、いいかえれば臨床的立場からは、聴力が正常で、発声や構音機能に異常の認められない患者であれば扁桃摘出をおこなっても、音声の変化は問題にならないことが示唆される。しかし、言語学者は、扁桃の大きい症例を中心に聴覚上の変化を指摘しており、音声学的な変化は完全には無視できないと考えられる。

まとめ

1. 口蓋扁桃摘出術前後の音声変化をフォルマントを指標に、健常者の個人内変動と比較した。また、聴覚的評価をあわせておこなった。

2. 術前と術後1カ月を比較すると、F3は個人内変動を越えて低下する症例が多くなり、特に/o/において顕著であった。しかし、F1, F2, F4は個人内変動の範囲内にとどまる症例が多かった。フォルマントバンド幅は、一定の変化傾向を認めなかった。

3. 扁桃の体積が大きいほど、フォルマント周波数の変化が顕著になった。

4. 術後の経時変化でみると、フォルマント周波数はもとに戻る傾向にあり、変化した声道形態が周囲の組織によって、徐々に代償されると推察された。

5. 聴覚的評価にて、臨床的には問題にならないものの、音声学的な変化は完全には無視できないことが示唆された。

本論文の要旨は第6回日本口腔咽喉頭科学会(札幌市)、第38回日本音声言語医学会(千葉市)、第39回日本音声言語医学会(金沢市)、Ⅲ INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TONSILS (北海道トマム)にて発表した。

謝 辞

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜りました徳島大学医学部耳鼻咽喉科学教室主任小池靖夫教授、ならびに御助言を頂いた大山 玄講師に深謝致します。また、実験の場を御提供頂いた小松島赤十字病院の金村 章部長をはじめ耳鼻咽喉科の皆様深く感謝致します。

参考文献

- 1) 山本常市, 野坂保次: 扁桃の歴史. 扁桃 [基礎編] (野坂保次, 猪 初男, 斎藤英雄編). 1~12頁, 日本医事新報社, 東京, 1985.
- 2) Zerffi WAC : Tonsillectomy and its effect on the singing voice. Arch Otolaryngol **36** : 915~917, 1942.
- 3) 堀口信夫: 扁桃摘出術の音声におよぼす影響. 耳展 **9** : 353~357, 1966.
- 4) Chiba T and Kajiyama M : The Vowel its Nature and Structure. Kaiseikan, Tokyo, 1942.
- 5) Fant G : Acoustic Theory of Speech Production. Mouton & Co. 1960.
- 6) Bell CG, Fujisaki H, Heintz JM, et al : Reduction of speech spectra by analysis-by-synthesis technique. J Acoust Soc Am **33** : 179, 1961.
- 7) 城戸健一: 音声の分析. 音声の合成と分析. 28~47頁, オーム社, 東京, 1981.
- 8) 板倉文忠, 斉藤収三: 統計的手法による音声スペクトル密度とホルマント周波数の推定. 信学論 (A) **53** : 35~42, 1970.
- 9) 板倉文忠, 斉藤収三: 最尤スペクトル推定法を用いた音声情報圧縮. 音響誌 **27** : 17~26, 1971.
- 10) Wakita H : Direct estimation of the vocal tract shape by inverse filtering of acoustic speech waveforms, IEEE trans. Audio Electro Acoust AU **21** : 417~427, 1973.
- 11) 中島隆之, 鈴木虎三, 大村 浩, 他: デコンボリューションによる声道形の推定と適応型音声分析システム. 音響誌 **34** : 157~166, 1978.
- 12) 幸田純治: 線形予測法による病的音声の解析. 四国医誌 **45** : 44~59, 1989.
- 13) Cura O, Ghunhan O, Palandoken M, et al : Speech disorders due to chronic hypertrophic tonsillitis and the sonographic and manophonic investigation of the effect of tonsillectomy. Revue de Laryngologie **105** : 425~428, 1984.
- 14) Lin P, Wilbur JG, Fukazawa T, et al : Acoustic analysis of voice in tonsillectomy. J Voice **3** : 81~86, 1989.
- 15) 粕谷英樹, 鈴木久喜, 城戸健一: 年齢, 性別による日本語5母音のピッチ周波数とホルマント周波数の変化. 音響誌 **24** : 355~364, 1968.
- 16) Perkell JS and Nelson WL : Variability in prouction of the vowel /i/ and /a/. J Acoust Soc Am **77** : 1889~1895, 1985.
- 17) Gibb AG : Hypernasality (rhinolalia aperta) following tonsil and adenoid removal. J Laryngol Otol **72** : 433~451, 1958.
- 18) Charles BC, Robert JS and Robert JR : Hypernasal speech following adenotonsillectomy. Otolaryngol Head Neck Surg **89** : 179~188, 1981.
- 19) Robert F and Donald E : Preoperative and postoperative voice analysis of uvulopalatopharyngoplasty. Arch Otolaryngol Head Neck Surg **117** : 1345~1349, 1991.
- 20) 比企静雄: 声の役割. 声の検査法 [基礎編] (日本音声言語医学会編). 1~18頁, 医歯薬出版, 東京, 1994.
- 21) Harshmann R, Ladefoged P and Goldstain L : Factor analysis of tongue shapes. J Acoust Soc Am **62** : 693~707, 1977.
- 22) 中井 健: 咽頭拡大術が構音に与える影響. 日耳鼻 **98** : 442~456, 1995.
- 23) 武市佳代子, 立花文寿, 武田直也, 他: 学校健康診断における Mackenzie 分類の再評価. 日扁桃誌 **29** : 237~248, 1990.
- 24) 原口兼明: 口蓋扁桃の超音波診断装置による観察. 耳鼻臨床 **82** : 1617~1635, 1989.

(原稿受付: 平成7年7月28日
原稿採択: 平成7年8月16日 急載
別刷請求先: 堀 洋二
〒770 徳島市蔵本町3-18-15
徳島大学医学部耳鼻咽喉科学教室)