

音響分析を用いた新たな舌機能評価に関する研究

日本大学大学院松戸歯学研究科歯学専攻

山下 公子

(指導：葛西 一貴教授)

## Abstract

Objectives: Patients who attend orthodontic departments with oral habits have a relationship between malocclusion, particularly open bite. In general, myo-functional therapy (MFT) is the choice of treatment for the oral habits. The assessment of MFT intervention, however, has been subjectively and visually evaluated by the practitioners. And pronunciation has never been assessed during the therapy.

The objective of this study was to discriminate patients with or without tongue habits by analyzing acoustic features of zero-crossing counts and mel-frequency cepstrum coefficients [MFCCs].

Method: In study1, the sample composed of 1) 20 normal adult (10 male and 10 females with experience in voice training: normal adult group). 2) 15 tongue thrust adult patients (5 male and 10 female) with over bite less than 0 mm indication of MFT. 3) 20 normal children (10 male and 10 female) who displayed no tongue thrust during swallowing and 20 tongue thrust child group (9 male 11 female) with tongue thrust during swallowing (tongue thrust child group). In accordance with Nakayama et al. test sounds were analyzed for zero-crossing rates and MFCCs between the groups. In study2, subjects grouped into 1) 24 MFT subjects who were diagnosed to require MFT (MFT group) and 2) 17 CONTROL subjects with no history of MFT and displayed no tongue thrust during the swallowing. At baseline, the presence of tongue thrust during the speech was assessed by using a video recording before (T1) and after (T2). Those who showed no tongue thrust during the speech at T2 were allocated to the improvement group, while those who showed tongue thrust at T2 were allocated into non- improvement group.

In accordance with Nakayama et al., test sounds were analyzed for zero-crossing rates and MFCCs.

Results: From the study 1, the numbers of zero crossings and MFCC 1 to 10, and also, the numbers of zero crossings and MFCC 1 to 9. Showed significance level in the female, indicating the usefulness to discriminate tongue thrust habit. Comparison between T1 and T2 revealed significant differences in MFCC-8 values within the same subjects. When MFCC-8 values at T2 were

compared between the tongue-habit and control group, no difference was observed even when normal swallowing was achieved after MFT. These findings suggest that MFCC-8 values could be the markers of the acoustic properties of patients with tongue thrust when swallowing and enable to identify identification of tongue thrust in acoustic analysis. MFCC-8 values differed significantly between the improvement and no- improvement groups.

MFT leads to recovery from tongue thrust when swallowing, along with associated changes in pronunciation. The presence or absence of tongue thrust during swallowing or speech can be evaluated using MFCC-8.

## 【緒言】

矯正歯科を受診する不正咬合患者の中には舌突出癖および口呼吸などの口腔習癖を伴う者がみられる<sup>1,2)</sup>。これらの口腔習癖は開咬や前歯部反対咬合などの不正咬合の要因<sup>3-8)</sup>となり、また矯正治療後の後戻りの原因ともなっている。Kyddら<sup>4)</sup>は、開咬では嚙下時の前歯部への舌の接触時間が長く舌圧も大きいと述べ、舌の習癖が前歯部の被蓋に影響していることを明らかにした。Sahadら<sup>5)</sup>は、開咬は発音時のリスピング（舌たらずな話し方、幼児音）や舌突出と関係があると述べている。特に舌癖は開咬の一因となるが、開咬に伴って生じる発音時の舌位が不適切なことによる発音の不明瞭さの一因ともなっている。

口腔習癖の改善のために口腔筋機能療法<sup>9,10)</sup> (Myofunctional therapy; 以下, MFT) が行われており、歯の動的治療とともに重要な矯正治療の一環となっている。従来、MFTは術者の視診によって評価が行われてきたが、その際、嚙下時の舌位のみが評価されてきた。そこで、我々は嚙下と同じく機能時であり不正咬合に起因するとされる、発音時における舌位に着目し発音時の舌位に着目した。

近年、フォルマント周波数を用いて発音時舌位の定性的解析を行う研究<sup>11,12)</sup>が行われている。音声分析は短時間で行うことができ、患者の負担も少なく、非侵襲的に舌の生理的機能を客観的に評価できる利点がある。石井ら<sup>13)</sup>は舌突出癖者に特徴的な/f/に着目し、舌位を客観的に評価する方法としてフォルマント周波数のF1, F2を用いた音声分析を行った。

しかしながら、フォルマント周波数を用いた音声分析では舌尖の位置評価に限定されており、音声分析による詳細な舌の位置評価や実際に聞こえる発音音声の客観的な聴覚的評価は難しい。特にヒトの耳に入る音声は聞こえ方に個人差が大きく、特に舌癖患者の発音音声に関して定量的な評価は、現在に至るまでにまだ確立されていない。

臨床において、嚙下時舌突出に伴い開咬や上下顎切歯の著しい唇側傾斜を呈する患者では発音に何らかの違和感を覚える。このような発音音声には個人差が大きく音声の評価は言語聴覚士などの聴取による判断に頼らざるを得ない面がある。

そこで、研究1として医科分野において応用がほとんどなされていない新たな音声解析

方法として発音時舌突出を認める者の発音音声に対して聴覚的評価を行うために音響特徴量である零交差数およびメル周波数ケプストラム係数 (Mel-Frequency Cepstrum Coefficients 以下, MFCC) を用いて舌癖識別に有用な指標を検討した。また, 研究 2 では舌突出患者に特徴的な子音に着目し, 研究 1 の新たな音声解析方法である零交差数および MFCC を用いて, 発音時舌突出の残存する者に対し MFT 終了時の音声分析による発音時の舌の突出の有無を評価した。

## 【資料および方法】

### 1. 対象

#### 1) 音響特徴量を用いた舌癖識別システム (研究 1)

研究 1 では, 舌癖の識別に有用なパラメータを検討するため, 正常な発音ができ舌癖の無い被験者 (正常群) と舌癖があり, 正常な発音ができない患者 (舌癖群) を比較した。被験者は, ナレータ養成所にて 2 年以上の発声・発音トレーニングを受けている男性 10 名, 女性 10 名 (平均年齢  $26.3 \pm 3.8$  歳; 成人正常群), 日本大学松戸歯学部付属病院を受診した者の中で, 発音時および嚙下時に舌突出を認め, overbite 0mm 以下の男性 5 名, 女性 10 名 (平均年齢  $29.4 \pm 4.6$  歳; 成人舌癖群), 発音音声に違和感を認めず, 発音時および嚙下時に舌を突出しない男児 10 名, 女児 10 名 (平均年齢  $9.7 \pm 0.6$  歳; 小児正常群) 発音音声に違和感を認め, 発音時および嚙下時に舌を突出する男児 9 名, 女児 11 名 (平均年齢  $9.6 \pm 0.4$  歳; 小児舌癖群) とした。

なお, 小児の被験者は, 小児矯正治療を開始するに時期に相当する 9 歳前後の者, 成人の被験者は矯正治療を終え, 後戻りをおこす可能性のある 20 歳以上の者とした。

#### 2) MFT 前後の発音時舌位の評価 (研究 2)

研究 2 では MFT 治療の効果と発音音声との関連性を明らかにするため, 被験者は日本大学松戸歯学部付属病院矯正歯科に来院した患者の中で, 嚙下時に舌が上下顎前歯部に接触し歯間の隙間から舌突出が認められ, 歯科医師によって MFT が必要であると診断された女

児 24 名（平均年齢 9.2±1.7 歳）とした。対象には前歯部開咬の者と、非開咬の者を含めた。除外基準は、前歯部の永久歯が未萌出の者、口腔内に矯正装置を装着している者、顎変形症の者とした。

嚥下時舌突出の有無は霧吹きで口腔内に 10cc の水を注入し口唇を閉鎖させない状態で水嚥下時の舌の動きを観察して診断した<sup>13)</sup>。MFT は MFT ワークブック<sup>14)</sup>に従い訓練を行った。MFT 開始前を T1 とし、嚥下時の舌癖の改善が確認された MFT 終了時を T2 とした。

MFT の治療目的は口腔習癖や口唇閉鎖不全から生まれた摂食、嚥下時の舌突出などの口腔悪習癖を機能訓練により改善するものである<sup>15)</sup>。MFT 後である T2 ではすべての被験者が嚥下時舌突出を改善していたが、発音時の舌突出は改善していない者も含まれる。T2 に撮影したビデオより、発音時に上顎中切歯切縁を舌突出の基準とし、視診にて発音時舌突出の有無を判定した。発音時舌突出

が認められない者を T2 改善群とし、嚥下時舌突出の改善は認めるが発音時舌突出が残存した者を T2 非改善群とした。対照群は MFT の既往が無く嚥下時に舌を突出しない女児 17 名（平均年齢 9.71±0.6 歳）とした。

各被験者には本研究の趣旨を十分説明し、音声収録の協力と同意を得た。なお、研究 1 および研究 2 は日本大学松戸歯学部倫理委員会の承認（EC17-16-15-007-2）を受けている。

## 2. 音声分析

### 1) 被験音の音声収録装置および分析装置

口唇から約 20cm 前方で呼気流の影響を受けない位置に単一指向性のコンデンサマイクロホン（ATM31a, (株)オーディオテクニカ, 東京）を設置して音声を収録した。音声収録は座位にて行った。被験音には無声後部歯茎摩擦音 / $\int$ / の前後が母音 /i/ で挟まれた、母音ー子音ー母音で構成される VCV 音節 /i $\int$ i/ を用い、被験者に 9 回ずつ発声させ録音した。音声はオーディオテクニカインターフェース（EDIROL UA-25EX, (株) ローランド, 静岡）を通して標本周波数 22.05kHz, 精度 16bit でデジタル化した。パーソナルコンピュータ（Vostro, (株)デル, 神奈川）に保存された音声データ音声波形分析・編集ソフト（Acoustic

Core, (株)アルカディア, 大阪) を用いて子音部の抽出を行った。

零交差数は、音声認識において母音域と子音域の検出に用いており、音声信号における単位時間あたりに0を交差する回数のことである<sup>16)</sup>。正常発声者と舌突出癖者との子音域に異なる周波数の特徴を有する場合、得られる単位時間あたりの零交差数も異なることが推測され、舌機能の評価において零交差数の有用性が期待できる。

音声認識において発声した音声の調音フィルタの音響的特徴を捉えるために、ヒトの聴覚を模擬した分析であるMFCCを発音音声評価に用いた。音声認証や音声模倣の分野で応用されてきたが<sup>17)</sup>、医科の分野においては応用した例は見当たらない。MFCCは一つの音声に対して、n個のMFCCを持つような複数フレームで構成され、口腔形状を元にした音響特性のみを抽出したものである。また、nが13程度あれば音声認識は可能である<sup>18,19)</sup>。MFCCは音声波形上で等間隔に配置された帯域フィルタバンクの出力からスペクトル推定値を求め、得られたスペクトルからケプストラム係数に変換したパラメータである。

中山ら<sup>20)</sup>の方法に従い、被験者の子音部における零交差数とMFCC解析を行った。解析方法として、フーリエ変換を用いたスペクトログラムが用いられる。その得られた係数をメル・フィルタ・バンクにかけ離散コサイン変換し、値を得ることができる。計算および変換を行った係数であるため、MFCCには単位は存在しない。音声解析ソフト(Matlab R2016b, Mathworks, USA)を用いて零交差数の算出およびMFCCの値を抽出し。音声サンプル毎にフレーム単位で解析して得られる時系列の各音響特徴量の平均値を求めて用いた。研究1では零交差数およびMFCC1~13の計14のパラメータとし、研究2では女性における舌癖の識別に有用とされた零交差数とMFCC1~9を用いた。

## 5. 統計解析

### 1) 音声分析

研究1において、音声は性別によって異なっているため、男女は別個に分散分析を行った。年齢(成人/小児)と舌癖(あり/なし)の二要因による一元配置を行った。本研究はスクリーニング検査のために広く舌癖に有用なパラメータを検討するため、年齢と舌癖の

交互作用は考慮せず、舌癖の要因によって差があらわれるパラメータの抽出を試みた。

研究2において、全ての対象群に対し正規分布していることを確認し、正規順位プロットの分布が直線状に分布していたため、パラメトリック検定を用いた。研究2では、研究1において舌癖の識別に有用とされた全パラメータを用いて、T1およびT2を比較し、paired *t*-testを用い有意差検定を行った。その結果から識別に有用とされたパラメータについて、対照群を基準とし、Dunnettの検定を用いて、T1およびT2との比較を行った。また舌癖の識別に有用とされた全パラメータについて、T2改善群およびT2の比較を、*t*-testを用い有意差検定を行った。更に、識別に有用とされたパラメータについて、対照群、T2改善群ならびT2非改善群における独立した3群のTukey-KramerのHSDを行った。統計解析にはJMP(SAS Inc. JMP, 2012)を用いた。

## 【結果】

### 1. 音響特徴分析の結果

舌癖発声で生じる舌尖を起因とする乱流の音響的特徴をとらえるために成人男性、成人女性、小児男性ならびに小児女性の零交差数、MFCC1~13を比較した。零交差数において、31.44~38.36で分布した。零交差数では成人と比較し、小児において大きい値となった。MFCC1では-16.26~-13.21で分布しており、MFCC2では-4.76~-2.68、MFCC3では-1.02~-0.44、MFCC4では-0.70~-0.03であり、MFCCが増えていくごとに値は0に近づいていく。MFCC8においては、成人男女・小児男女ともに舌癖群が小さい傾向を示した。MFCCは、成人男女および小児男女の正常群・舌癖群間における値の大小が各パラメータで異なることが示された (Table 1-a, b)。

男性では、零交差数およびMFCC1~10において複数のパラメータで有意差を認めた ( $p < 0.05$ ) (Table 2-a)。女性において零交差数およびMFCC1~9において複数のパラメータで有意差を認めた ( $p < 0.05$ ) (Table 2-b)。

### 2. MFT 前後における零交差数および MFCC の結果

音響特徴量を用いて MFT 前後の T1 および T2 を比較した結果、零交差数および MFCC 1～7 においては有意差がみられず、MFCC8 ではそれぞれ平均が-0.15, -0.32 と有意差を認めた ( $p < 0.05$ ) (Table 3)。また、嚙下時の舌突出のない対照群との関連を明らかにするため MFCC8 に着目し、対照群と T1 ならびに T2 の MFCC8 を比較した。その結果、対照群の MFCC8 は-0.51 であり、T1 では有意差を認め、T2 と対照群には有意差を認めなかった ( $p < 0.05$ ) (Table 4)。

次に、発音時舌突出に対して特徴的なパラメータの検討を行うために、T2 改善群と T2 非改善群を比較した。その結果、零交差数および MFCC 1～7 において有意差は認められず、MFCC 8 がそれぞれ-0.45, -0.11 であり有意差を認めた ( $p < 0.05$ ) (Table 5)。また、T2 改善群および T2 非改善群ならびに対照群において MFCC8 の比較を行った。対照群、T2 改善群ならびに T2 非改善群の独立した 3 群の MFCC8 の多重比較検定を行った。その結果、T2 非改善群と対照群に有意差を認め、T2 改善群と対照群間に有意差を認めなかった (Fig. 1)。すなわち、発音時舌突出の有無は MFCC8 で評価されることが示された。

## 【考察】

### 1. 音響特徴量の抽出による舌癖識別

研究1では母音と子音を識別することが可能な零交差数と、ヒトの聴覚フィルタを模擬した音響分析である MFCC を用いた舌癖識別に有用なパラメータの検討を行った。

零交差数において、31.44～38.66の間で分布し、零交差数では成人正常群と比較し、小児正常群において大きい値となった。MFCC1では -16～ -13程度で分布しており、MFCC2では -4～ -2程度、MFCC3では -1～ -0.4程度、MFCC4では -0.7～ -0.03程度であり、MFCCが増えていくごとに値は0に近づいていくと考えられる。MFCCでは成人男女および小児男女の正常群、舌癖群間におけるパラメータの大小に共通点が認められなかった。舌癖患者における音声に焦点を当てた研究はまだ少なく、今後被験者を増やし、MFCCにおける数値の特性を検討していく必要があると考えられる。

男性および女性の零交差数およびMFCC1～13の一元配置分散分析を行ったところ、年齢と舌癖の2要因を条件に検定を行ったため交互作用のある可能性が考えられるが、本研究の目的としてはスクリーニング検査の要因を検討する必要があるため舌癖の有無において有意差を認めるパラメータは、舌癖識別に有用なパラメータであると考えた。

男性において零交差数およびMFCCの1～10の間で有意水準が得られることが示された。男性において、いくつかのMFCCでは有意な差を認めなかった。男性では成長過程に変声期があり、女性に比較して年齢における発音音声の違いが大きい。性差によって有用なパラメータの数に差が出たのは、男性は女性と比較して年齢による発音音声の差が大きいことによる可能性が示唆された。しかしながら、MFCCは1つの発音音声に対し、周波数が低い方から順に番号が定められており、連続性のあるパラメータであることから有意差を認めないパラメータにおいても含めて評価をしていく必要があると考えた。女性において零交差数およびMFCCの1～9の間で有意水準が得られることが示された。つまり、男性においては零交差数およびMFCC1～10、女性においては零交差数およびMFCC1～9を用いることで発音音声を用いた舌癖識別に有用であることが考えられる。有用であるパラメータ数の差から、男性と比較して女性の方が零交差数およびMFCCを用いた音声解析は識別感度が高い可能性が示唆された。

## 2. MFT 前後における零交差数および MFCC

MFTの治療目的は口腔習癖や口唇閉鎖不全、低位舌などの非生理的な姿勢あるいは口腔周囲器官の非協調性から生まれた摂食、嚥下時の舌突出などの非生理的な運動パターンを機能訓練により改善するものである<sup>15)</sup>。T1およびT2での2群間比較の結果、同一話者間においてMFCC8に有意差を認めたことから舌突出癖の改善に伴い、発音時音声の音響学的変化を認めたことが考えられる。また、T1、T2および対照群のMFCC8を比較した結果、MFT後の正常嚥下を獲得した者と対照群との間に

有意差を認めないことが示されている。これはMFCC8が嚥下時舌突出癖を有する者の音響特性をとらえており、発音音声を用いた音声解析における舌突出癖の識別において特徴的

なパラメータあると考えられる。

MFT 治療の目的は正常嚥下の獲得である。それに付随し発音の向上も認められる。しかしながら、正常嚥下は獲得できたが、発音時の舌突出は改善しない者もいた。T2 改善群、T2 非改善群および対照群において MFCC8 を比較した結果、T2 改善群と対照群間に有意差を認めなかった。すなわち、MFCC8 は発音時舌突出に起因したパラメータであることが考えられ、この結果より T2 改善群の発音音声は対照群と同一のレベルまでほぼ改善していることが示された。母音と比較し、子音は高周波数に分布している<sup>17)</sup>。つまり、本論文で着目した MFCC8 は比較的高音域に値するパラメータであるので、無声後部歯茎摩擦音 /ʃ/ 発音時の舌突出を評価していると考えられることができる。各パラメータの差は発音の明瞭度や滑舌の変化を示しておらず、発音時のリスピングや舌突出に伴う子音域における変化を示すものと考えられる。

視診による舌突出の判定では、客観性や統一性において不十分な部分があった。そこで術者が発音時音声の評価を併用することにより、より客観的な舌癖評価が可能になることが考えられる。MFT 前後において音声分析を行い舌機能の変化について客観的に評価することは患者および術者にとって有益であり、音声の録音は患者への侵襲が少ないという点で優れていることから、発音音声の定量的分析は舌癖の識別における臨床応用に適している。MFT の治療効果の評価において、現行では視診により術者の前で行われ、目の前の術者を意識した状態での評価となるが、発音時という日常生活で行われる機能状態での評価は、より自然体の状態で舌癖の識別ができると考えられる。

## 【結 論】

1. 音響分析を用いた新しい舌機能評価法として、男性は零交差数および MFCC1~10, 女性では零交差数および MFCC1~9 が有効なパラメータであると示された。
2. MFT による嚥下時舌突出改善にともない音響特徴量に変化が認められ、特に発音時舌突出を特異的に識別するパラメータは高周波である子音域を示す MFCC8 であると示唆された。

3. MFT による嚙下時舌突出改善後の発音時舌突出改善群および非改善群ならびに対照群において音響特徴量の比較を行った結果，発音時舌突出の有無は MFCC8 により評価できることが示唆された。

**【参考文献】**

- 1) 大野肅英, 吉田康子, 高見佐代子, 入江牧子. マイオファンクショナル・セラピーの臨

- 床: 舌癖と指しゃぶりの指導. 第1版. 東京: 日本歯科出版, 1986; 18-38.
- 2) 榎 恵, 本橋康助, 中村祐藏. 舌の形態と機能の異常の矯正学的意義について. 日矯歯誌 1955; 14: 13-19.
- 3) Hanson ML, Andrianopoulos MV. Tongue thrust and malocclusion: a longitudinal study. *Int J Orofacial Myology* 1981; 7: 6-11.
- 4) Kydd WL, Akamine JS, Mendel RA, Kraus BS. Tongue and lip forces exerted during deblutition in subjects with and without an anterior open bite. *J Dent Res* 1963; 42: 858-866.
- 5) Sahad M G, Nahás ACR, Scavone-Junior H, Junior HS, Jabur LB, Pinto EG. Vertical interincisal trespass assessment in children with speech disorders. *Braz Oral Res* 2008; 22: 247-251.
- 6) Melsen B, Stengaard K, Pedersen J. Sucking habits and their influence on swallowing pattern and prevalence of malocclusion. *Eur J Orthod* 1979; 1: 271-280.
- 7) Cayley AS, Tindall AP, Sampson WJ, Butcher AR. Electropalatographic and cephalometric assessment of tongue function in open bite and non-open bite subjects. *Eur J Orthod* 2000; 22: 463-474.
- 8) 石川雅章, 岡村航也, 高橋昌司, 工藤みふね, 五十嵐伸崇, 高木祐三. 安静時舌位の前歯部咬合関係への影響. *小児歯誌* 2006; 44: 534-540.
- 9) Hanson ML. Oral myofunctional therapy. *Am J Orthod* 1978; 73: 59-67.
- 10) 石野由美子. 口腔リハビリテーションとしてのMFTとフェイスニングの役割. *日本成人矯正歯科学会雑誌* 2006; 13: 124-135.
- 11) 浜 雄一郎, 井上貴一朗, 田村隆彦, 林 実, 松永諭勲, 内山啓子, 納村晋吉. Open Bite傾向の診断に対する構音分析法の応用とその有用性に関する研究. *日大歯学* 1990; 64: 412-420.
- 12) 工藤みふね, 高橋昌司, 五十川伸崇, 佐藤智子, 矢野直人, 石川雅章, 高木祐三. 舌突

出癖を有する小児の構音特性(第一報): 歯茎音/s/の音声音響分析. 小児歯誌 2005; 43: 79-84.

13) 石井かおり, 斎藤勝彦, 葛西一貴. 舌突出癖を有する成人の顎顔面骨格と咽頭気道の形態学および音響学的特徴. *Orthod Waves-Jpn Ed* 2012; 71: 33-41.

14) 高橋未哉子, 高橋治. 新版 したのくせ MFT(口腔筋機能療法)ワークブック クインテッセンス出版 2012; 1-18.

15) 高橋未哉子, 高橋治. 新版 MFT の実際. クインテッセンス出版 2012; 12-16

16) Gouyon F, Pachet F. and Delerue O. On the use of zero-crossing rate for an application of classification of percussive sounds, *Proceedings of the COST G-6 Conference on Digital Audio Effects 2000; DAFX-1-6.*

17) 緒方 淳, 有木康雄. 日本語話し言葉音声認識のための音節に基づく音響モデリング. *電子情報通信学会論文誌 D* 2003; Vol. J86-D2 No.11: 1523-1530.

18) Furui S. Comparison of speaker recognition methods using statistical features and dynamic features. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 1981; 29: 342-350.

19) Jashmin KS, Ananth NL. Robust Voiced/ unvoiced classification using novel features and Gaussian mixture model. *IEEE ICASSP' 04*, 2004.

20) 中山仁史, 石光俊介, 山下公子, 石井かおり, 葛西一貴, 堀畑 聡. 口腔習癖改善のための音響特徴量を用いた舌癖識別システム. *電気学会論文誌 C (電子・情報システム部門誌)* 2018; Vol. 138 No.3 掲載予定.

## 【図および表】

Table 1-a 男性における零交差数および MFCC の結果

	成人				小児			
	正常群 (N=10)		舌癖群 (N=5)		正常群 (N=10)		舌癖群 (N=9)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
零交差数	31.44	2.22	34.54	4.48	37.14	2.56	33.73	3.62
MFCC1	-16.15	1.16	-14.23	1.11	-13.91	0.61	-14.84	1.23
MFCC2	-4.76	0.61	-4.16	0.44	-3.67	0.55	-3.17	0.71
MFCC3	1.02	0.30	0.52	0.19	0.88	0.32	0.47	0.42
MFCC4	-0.38	0.33	-0.03	0.31	-0.48	0.28	-0.25	0.43
MFCC5	-0.31	0.17	-0.40	0.28	-0.54	0.29	-0.48	0.28
MFCC6	0.06	0.17	0.24	0.24	-0.01	0.32	-0.04	0.22
MFCC7	-0.06	0.14	-0.18	0.21	-0.40	0.27	-0.40	0.21
MFCC8	0.03	0.14	0.14	0.23	-0.03	0.21	-0.02	0.30
MFCC9	-0.14	0.10	-0.19	0.17	-0.39	0.21	-0.30	0.21
MFCC10	0.07	0.07	0.02	0.14	0.16	0.17	0.01	0.25
MFCC11	-0.03	0.10	-0.16	0.12	-0.14	0.16	-0.08	0.15
MFCC12	0.04	0.09	0.07	0.11	0.03	0.14	0.06	0.15
MFCC13	-0.05	0.08	-0.11	0.19	0.00	0.14	-0.06	0.18

Table 1-b 女性における零交差数および MFCC の結果

	成人				小児			
	正常群 (N=10)		舌癖群 (N=10)		正常群 (N=10)		舌癖群 (N=11)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
零交差数	36.15	2.51	35.02	4.20	38.36	3.94	34.05	4.75
MFCC1	-16.26	1.27	-15.21	0.91	-13.21	1.01	-14.05	1.02
MFCC2	-4.07	0.48	-3.15	0.49	-2.81	0.48	-2.68	0.56
MFCC3	0.88	0.42	0.45	0.52	0.71	0.33	0.46	0.34
MFCC4	-0.70	0.19	-0.29	0.44	-0.82	0.46	-0.48	0.32
MFCC5	-0.09	0.19	-0.41	0.42	-0.55	0.36	-0.53	0.27
MFCC6	-0.21	0.10	-0.02	0.20	-0.30	0.23	-0.11	0.24
MFCC7	0.18	0.14	-0.03	0.26	-0.16	0.30	-0.29	0.28
MFCC8	-0.27	0.13	-0.15	0.20	-0.32	0.21	-0.14	0.27
MFCC9	-0.08	0.15	-0.26	0.21	-0.29	0.17	-0.28	0.24
MFCC10	0.08	0.10	0.08	0.19	0.04	0.20	-0.02	0.19
MFCC11	-0.02	0.08	-0.08	0.22	-0.14	0.21	-0.15	0.15
MFCC12	-0.07	0.09	-0.11	0.21	0.00	0.13	-0.04	0.17
MFCC13	0.06	0.06	0.01	0.13	-0.02	0.18	-0.05	0.15

Table 2-a 男性における一元配置分散分析

指標	年齢	舌癖
零交差数	**	N.S.
MFCC1	**	**
MFCC2	**	**
MFCC3	N.S.	**
MFCC4	N.S.	**
MFCC5	**	N.S.
MFCC6	**	N.S.
MFCC7	**	**
MFCC8	**	N.S.
MFCC9	**	N.S.
MFCC10	*	**
MFCC11	N.S.	N.S.
MFCC12	N.S.	N.S.
MFCC13	N.S.	N.S.

\*\* :  $p < 0.01$ , \* :  $p < 0.05$ , NS : not significant

Table 2-b 女性における一元配置分散分析

指標	年齢	舌癖
零交差数	N.S.	**
MFCC1	**	**
MFCC2	**	**
MFCC3	N.S.	**
MFCC4	*	**
MFCC5	**	*
MFCC6	*	**
MFCC7	**	**
MFCC8	N.S.	**
MFCC9	**	*
MFCC10	*	N.S.
MFCC11	**	N.S.
MFCC12	*	N.S.
MFCC13	*	N.S.

\*\* :  $p < 0.01$ , \* :  $p < 0.05$ , NS : not significant

Table 3 T1 および T2 における零交差数および MFCC1~9 の統計量

	T1		T2		t-test
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	
零交差数	29.53	4.75	31.01	5.61	N.S.
MFCC1	-14.98	1.33	-14.94	1.65	N.S.
MFCC2	-2.90	1.09	-2.95	0.74	N.S.
MFCC3	0.91	0.52	0.91	0.41	N.S.
MFCC4	-0.26	0.41	-0.24	0.28	N.S.
MFCC5	-0.37	0.30	-0.37	0.15	N.S.
MFCC6	-0.16	0.35	-0.08	0.26	N.S.
MFCC7	-0.18	0.26	-0.08	0.27	N.S.
MFCC8	-0.15	0.25	-0.29	0.19	**
MFCC9	-0.19	0.20	-0.08	0.17	N.S.

\*\* :  $p < 0.01$ , NS : not significant

Table 4 対照群, T1 ならびに T2 の MFCC8 の統計量

		MFCC8		
		平均	標準偏差	
対照群	(N=17)	-0.51	0.24	} **
T1	(N=24)	-0.15	0.25	
T2		-0.32	0.19	

\*\* :  $p < 0.01$  (Dunnett の検定)

Table 5 T2 改善群と T2 非改善群の零交差数および MFCC1~9 の統計量

	改善群( N=17 )		非改善群( N=7 )		t-test
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
零交差数	31.60	5.68	29.21	5.29	N.S.
MFCC1	-15.29	1.70	-13.88	0.89	N.S.
MFCC2	-3.00	0.72	-2.79	0.80	N.S.
MFCC3	0.89	0.42	0.95	0.38	N.S.
MFCC4	-0.30	0.23	-0.08	0.34	N.S.
MFCC5	-0.35	0.16	-0.43	0.11	N.S.
MFCC6	-0.10	0.26	-0.04	0.26	N.S.
MFCC7	-0.07	0.29	-0.11	0.22	N.S.
MFCC8	-0.33	0.19	-0.17	0.12	**
MFCC9	-0.07	0.17	-0.12	0.11	N.S.

\*\* :  $p < 0.01$ , NS : not significant

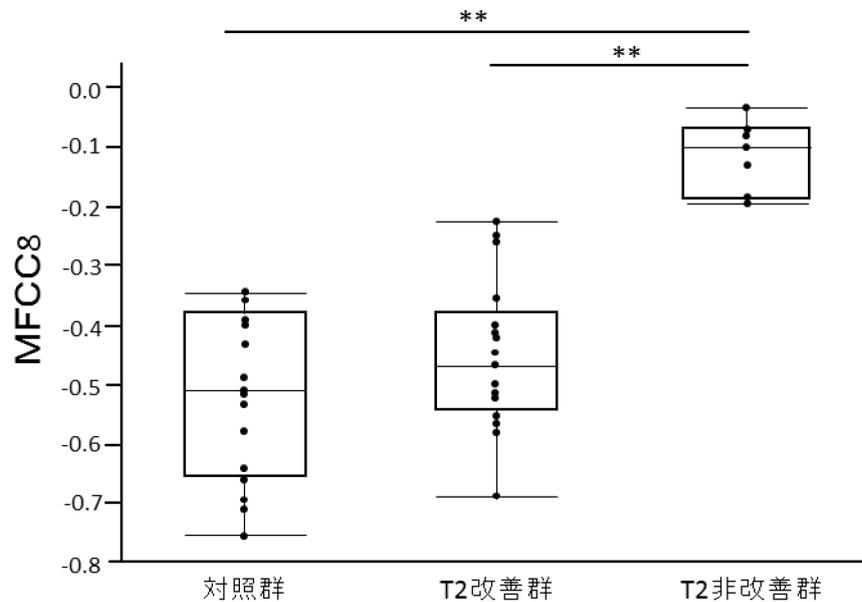


Fig. 1 対照群, T2 改善群ならびに T2 非改善群の MFCC8 の分布

\*\* :  $p < 0.01$  (Tukey-Kramer の HSD)