

音声分析を用いた骨格性下顎前突症患者の発音時舌尖位の評価に関する研究

日本大学大学院松戸歯学研究科歯学専攻

西尾 泉美

(指導：葛西 一貴 教授)

## Abstract

Recently, various studies have applied speech analysis to evaluate the speech-tongue position. The purposes of this study were to examine the adaptation of speech analysis to mandibular prognathism and to investigate the relationship between the speech-tongue position using speech analysis and the maxillofacial morphologies in patients with mandibular prognathism at one year after orthognatic surgery. The frequency of the first formant (F1) and the second formant (F2) of the postalveolar fricative consonant /ʃ/ was analyzed. In order to standardize, F1 and F2 were divided by the fourth formant (F'4) of the vowel /i/,  $F1/F'4$  and  $F2/F'4$ .

In study of adaptability of speech analysis to mandibular prognathism, the subjects of 20 patients diagnosed with mandibular prognathism and 16 students in the school of dentistry with normal occlusion were prepared. The F'4 values of students defined as the standard value of F'4. The patients were classified into three groups using the standard values : group M ; within the standard range of F'4, group H ; values higher than the standard values, and group L ; values lower than the standard values. The measurements values of cephalometrics and values of speech analysis were compared among groups.

In the study of speech analysis after orthognatic surgery, the subjects were consist of the patients diagnosed with mandibular prognathism who had undergone sagittal split ramus osteotomy(SSRO). The formants were analyzed one month after the operation (AO1m) and one year after the operation (AO1y).The subjects were divided into two groups, those with standard formants of AO1y (improved group) and those without standard formants (non- improved group),and the  $F1/F'4$  and  $F2/F'4$  standard values and the values at the time of AO1y were compared. The results of cephalometric analysis of each group were also compared, in addition to the correlations between the formants and the cephalometric values.

The results were as follows:

1. The overjet of group H was significantly smaller than that of group L ( $p<0.05$ ).
2. The  $F1/F'4$  and  $F2/F'4$  values of group L was significantly larger than those of group H ( $p<0.05$ ).

3. F1/F'4 improved group had the standard range of F1/F'4 at AO1m. On the other hand, F1/F'4 non- improved group did not have the standard range of F1/F'4 at AO1m.
4. A significant positive correlation was found between the change in the F1/F'4 values and the vertical change in the hyoid bone from AO1m to AO1y in both groups ( $p < 0.01$ ) .

In conclusion, in the cases of mild mandibular prognathism and the standard range of F'4, it might be possible to perform speech analysis. However, it is necessary to be careful in the interpretation of formants. There was the significantly relationship between upward movement of the hyoid bone and upward changes in the speech-tongue position. If the speech- tongue position indicated as F1/F'4 and F2/ F'4 was evaluated at one month after surgery, it would be possible to predict that position at one year after surgery.

## 【緒 言】

骨格性下顎前突症などの顎変形症患者は低位舌や舌突出癖を有する傾向にあり<sup>1, 2)</sup>，外科的矯正治療後に舌位や舌運動の改善が認められない場合，治療後に後戻りを生ずると報告されている<sup>3, 4)</sup>．舌位を評価する方法として従来から，圧力センサー，エックス線映画法，パラトグラム，超音波診断装置ならびに磁気共鳴像（以下，MRI）などが用いられてきたが<sup>1, 5-8)</sup>，舌の生理的運動を妨げることなく短時間で安全に評価可能である音声分析が用いられるようになった<sup>9-11)</sup>．音声分析はフォルマント周波数を分析することにより発音時の舌位を評価することが可能で<sup>14)</sup>，石井ら<sup>12)</sup>は音声分析を用いて正常嚙下を行う者と舌突出癖を有する者の音声分析値の比較を行い，第1フォルマント周波数(以下，F1)と第2フォルマント周波数(以下，F2)が異なることを報告している．

音声分析では声帯から口唇までを声道とし，構音時に声道内に生じた狭めや閉鎖などにより，声道断面積が変化し形成されるフォルマント周波数を計測している．しかしながら，音声分析では正常骨格を対象としているが，骨格性下顎前突症では，下顎骨は前方に位置し，下唇も前方にあるため，声道の形態に異常をきたしている可能性が高く，音声分析による評価が可能か不明である．

また，石井ら<sup>13)</sup>は骨格性下顎前突症患者に対し，下顎後方移動術術後1か月および術後3か月の音声分析を行い発音時の舌尖位を評価し，舌機能の順応に個人差が認められたと述べている．しかし，術後6か月から術後1年にかけて発音時の舌運動が口腔内環境に順応するという報告を考慮すると<sup>9)</sup>，術後1年の発音時舌尖位の評価が必要であると考えられる．

以上のことから，骨格性下顎前突症患者と正常咬合者のフォルマント周波数の比較を行い，骨格性下顎前突症患者への音声分析の可能性を検討した．さらに，骨格性下顎前突症患者の下顎後方移動術術後1年の発音時舌尖位と顎顔面形態との関連について調査した．

## 【資料および方法】

### I 被験者

#### 1. 骨格性下顎前突症例における音声分析

被験者は本学付属病院矯正歯科に来院し骨格性下顎前突症と診断され、下顎後方移動術を行うことを前提とし矯正治療を行っている女性 20 名 (平均年齢  $26.5 \pm 7.4$  歳) とした。矯正装置はマルチブラケット装置を歯冠唇側面に装着し、舌運動を阻害する口蓋側および舌側の装置は装着していない症例を対象とした。

また対照者は正常咬合を有する本学 5, 6 年次女子学生 16 名 (平均年齢  $23.7 \pm 1.4$  歳) とした。なお正常咬合者の選択は石井ら<sup>12)</sup>の方法に従った。本研究は日本大学松戸歯学部倫理委員会の承認 (EC09-007) を受けている。

#### 2. 下顎後方移動術後症例における音声分析

被験者は本学付属病院矯正歯科に来院し骨格性下顎前突症と診断され、下顎枝矢状分割法 (sagittal split ramus osteotomy 以下, SSR0) を行った 21 名 (男性 7 名, 女性 14 名, 平均年齢  $26.1 \pm 6.1$  歳) とした。矯正装置は歯列矯正用のマルチブラケット装置を歯冠部唇側面に装着し、舌の運動を阻害する口蓋側および舌側の装置は装着していない症例を対象とした。

また対照者は正常咬合を有する本学 5, 6 年次生 36 名 (男性 20 名, 女性 16 名, 平均年齢  $23.8 \pm 1.6$  歳) とした。なお選択は石井ら<sup>12)</sup>の方法に従った。本研究は日本大学松戸歯学部倫理委員会の承認 (EC09-007) を受けている。

## II 資料採得時期

### 1. 骨格性下顎前突症例における音声分析

下顎後方移動術術前の入院 3 週間前 (before operation 以下, B0) に行った。

### 2. 下顎後方移動術後症例における音声分析

下顎後方移動術術後 1 か月 (after operation 1month 以下, A01m) および術後 1 年 (after operation 1year 以下, A01y) に行った。

## II 音声分析

### 1. 被験音の収録と分析装置

音声の録音は座位で行い、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 VCV 音節 /i $\int$ i/ を用い、被験者に 3 回ずつ発声させ録音した。音声はオーディオインターフェース (EDIROL UA-25EX, (株) ローランド, 静岡) を通して標準化周波数 22.05kHz, 精度 16bit で量子化した。パーソナルコンピュータ (Vostro1510, (株) デル, 神奈川) に保存された音声データを音声波形分析・編集ソフト (Acoustic Core, (株) アルカディア, 大阪) を用いて分析した。

### 2. 被験音の音声分析

本研究では子音 / $\int$ / および後続母音 /i/ のフォルマント周波数について分析を行った。まず音声波形とサウンドスペクトログラフを表示し (図 1), 母音部と子音部を抽出した後、聞き取りにより確認を行い子音部を特定した。工藤ら<sup>14)</sup>

の方法に準じてフォルマント分析を行い、子音部のフォルマントの第1フォルマント(以下、F1)および第2フォルマント(以下、F2)、後続母音部のフォルマントの第4フォルマント(以下F'4)を計測した。さらに F1 および F2 および F'4 の3回の平均値を算出した。F1 は発音時舌尖位の上下的位置を示し、F2 は発音時舌尖位の前后的位置を示している<sup>25)</sup>。声道長および形態の個人差を標準化するため、声帯を含む喉頭腔や声道の長さおよび形態に関係すると報告されている F'4<sup>18)</sup> を用いて、F1 および F2 を F'4 で除した平均値を百分率で表した<sup>14)</sup> (以下、F1/F'4、F2/F'4)。なお、F'4 は基準値範囲から外れる場合、喉頭腔および声道の形態に異常をきたしていると考えられる。F1/F'4 の値が大きい場合、発音時舌尖位は下方に位置し、F2/F'4 の値が大きい場合、発音時舌尖位は前方に位置する。

### Ⅲ フォルマント周波数基準値に基づく骨格性下顎前突症患者の分類

#### 1. 骨格性下顎前突症例における音声分析

正常咬合者の F'4 を計測しそれを基準値とし、骨格性下顎前突症患者の B0 の F'4 の値が基準値の範囲より低い群(以下、L 群)、基準値範囲内にある群(以下、M 群)、基準値の範囲より高い群(以下、H 群)の3群に分類した。

#### 2. 下顎後方移動術後症例における音声分析

正常咬合者の F1/F'4 および F2/F'4 を計測し基準値とし、A01y において F1/F'4 および F2/F'4 の基準値範囲内にある者を改善群、基準値の範囲外の者を非改善群とした。

## IV 側面頭部エックス線規格写真

### 1. 資料

側面頭部エックス線規格写真（以下，側面セファロ）は通法に従い頭部を固定し，咬頭嵌合位で舌を安静にした状態で撮影されたものである．骨格性下顎前突症例および下顎後方移動術後症例の側面セファロのトレースは通法により行い，トレースおよび計測は全て著者が行った．計測は日を改めて2回行い，36項目ごとに1回目と2回目の計測値を求め，paired *t*-test を用いて検定を行った．また，Dahlberg の double determination method により，総分散に対する誤差分散の百分率（error%）を求めた．

その結果，距離計測では1.0mm，角度計測では1.0°以下となり有意差はみられなかった．Error%はいずれも0.25～3.59%以下であった．

### 2. 計測項目

#### 1) 顔面硬組織の計測

顔面硬組織形態の計測項目はTweed, Ricketts およびCoben 分析より11項目を選択した（図2）．なお，N-Me, N-ANS, ANS-Me については，Coben 分析に準じ距離を比率に変換するためにN-ANS/N-Me, ANS-Me/N-Me を算出した．またフランクフルト平面（以下，FH平面）を基準平面とし下顎骨および舌骨の移動距離計測を行なった．FH平面をX軸とし，Sella（以下，S）を通りX軸と垂直に交わる線をY軸とした．

下顎骨および舌骨に関する計測は酒井ら<sup>24)</sup>の方法に準じて計測した．下顎骨の計測点は下顎中切歯歯槽突起の最前方上点（Infradentale 以下，Id）と設定し，Idを通りX軸と平行な線を引きY軸との交点からIdまでの距離をId-Xと



した。Id を通り Y 軸と平行な線を引き X 軸との交点から Id までの距離を Id-Y とした (図 3)。

舌骨の計測点は舌骨最上点 (以下, AH) と設定し, AH を通り X 軸と平行な線を引き Y 軸との交点から AH までの距離を AH-X とした。AH を通り Y 軸と平行な線を引き X 軸との交点から AH までの距離を AH-Y とした (図 3)。

## 2) 顔面軟組織の計測項目

顔面軟組織の計測項目は Ozbek ら<sup>26)</sup> および Saitoh ら<sup>16)</sup>の方法に準じ 17 項目を設定した。安静時舌背位の距離計測のため舌背—口蓋骨間の距離

(Tongue-to-palate distance 以下, TPD) を計測した (図 4)。N 点を通る X 軸の垂線から Y 軸の間を 9 等分し舌背に垂線を下ろし前方から 3 番目—8 番目までの交点から口蓋骨間の距離計測をおこない前方から TPD3-TPD8 とした (図 4)。

舌骨から舌背までの距離の変化量を算出するために舌骨—舌背間の距離

(AH-to-Tongue distance 以下, AHTD) を計測した。N 点を通る X 軸の垂線から Y 軸の間を 9 等分し垂線を下ろし舌背との交点の前方から 3 番目から 8 番目から AH までの距離を前方から AHTD3-AHTD8 とし距離計測を行った。舌骨から上顎前歯歯頸部の距離の変化量算出のため安静時舌背位と舌骨の距離の変化量算出のため舌骨—歯頸部間距離 (AH-to-Cervical lesions distance 以下, AHCD) を計測した。また咽頭気道形態の計測については軟口蓋の最後方点 (PSP), 舌後方と下顎骨との交点 (PTO) および喉頭蓋の最上方点 (E) を通る FH 平面に平行な線を引き, 各線が咽頭気道後壁と交わる点を PSP', PTO' および E' とし, PSP-PSP', PTO-PTO' および E-E' 間の距離を計測した。

#### IV 統計方法

##### 1. 骨格性下顎前突症例における音声分析

音声分析と側面セファロ分析値の各計測項目の平均値、標準偏差を算出した。分散分析を行った結果、水準間に差が認められ Tukey-Kramer を用いて有意差検定を行った。危険率 5%を有意性の判定基準とした。

##### 2. 下顎後方移動術後症例における音声分析

音声分析と側面セファロ分析値の各計測項目の平均値および標準偏差を算出するとともに paired *t*-testを用いて各群における A01m と A01y の平均値の比較を行なった。音声分析と側面セファロ分析値の変化量を Pearsonn の相関係数を用いて比較し、発音時舌尖位に関連する顎顔面形態について検討した。いずれにおいても危険率 5%を有意性の判定基準とした。

#### 【結 果】

##### 1. F'4, F1/F'4 ならびに F2/F'4 の基準値について(表 1)

F'4 の基準値は女性 4263.9~4754.0 Hz であり、男性は 3652.6~3998.2Hz であった。F1/F'4 の基準値は女性が 58.2~62.2%であり、男性が 52.1~57.9%であった。また、F2/F'4 の基準値は女性が 72.9~78.1%, 男性が 74.0~79.0%であった。

##### 2. 骨格性下顎前突症例のフォルマント周波数の群間比較(表 2)

F'4 基準値を基にした B0 の F'4 の分類の結果、F'4 において M 群は 9 症例、H

群は女性 5 症例, L 群は 6 症例であった. フォルマント周波数の群間比較では, F1 および F2 において群間に有意差は認められなかったが, L 群の F1/F'4 および F2/F'4 は H 群と比較して有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ ). これは F'4 に有意差があることが背景にあると考えられ, F1/F'4 および F2/F'4 を用いた発音時舌尖位の評価にはさらに音声の聞き取りなどを行う必要がある.

### 3. 骨格性下顎前突症例における顎顔面組織の群間比較 (表 3, 4)

H 群の overjet は M 群および L 群と比較して有意に小さい値を示し, L 群の ANB は M 群と比較して有意に小さい値を示した ( $p < 0.05$ ). すなわち, H 群の下顎前歯は M 群および L 群より前方に位置し, L 群の下顎骨は M 群より前方に位置することを示している.

以上のことから, 下顎前突症状が比較的軽度の M 群は発音時舌尖位の評価が可能であると考えられるものの, 骨格性下顎前突症例の音声分析については MRI による声道長の測定や喉頭腔ならびに声道の三次元的な形態の評価を行い音声分析の適応性についてさらに検討した上で, 下顎後方移動術の術前と術後の音声分析を行う必要がある.

### 4. 下顎骨後方移動術後症例における F1/F'4 の推移 (図 5, 6)

F1/F'4 において改善群は 8 症例 (女性 4 症例, 男性 4 症例) であり, 非改善群は 13 症例 (女性 10 症例, 男性 3 症例) であった. 改善群では A01m においても 8 症例中 5 症例で基準値内にあり, 非改善群では 13 症例中 12 症例で基準値範囲外にあった.

### 5. 下顎骨後方移動術後症例における F2/F'4 の推移 (図 7, 8)

F2/F'4 において改善群は 9 症例 (女性 5 症例, 男性 4 症例) であり, 非改善群は 12 症例 (女性 9 症例, 男性 3 症例) であった. 改善群では A01m においても 9

症例中 7 症例で基準値内にあり，非改善群では 12 症例中 10 症例が基準値範囲外にあった．

#### 6. F1/F'4 改善群および F1/F'4 非改善群の舌骨および顔面軟組織の推移 (表 5)

F1/F'4 非改善群では AH-Y が A01m と比較して A01y で有意に小さい値を示した ( $p < 0.05$ )．これは，舌骨の垂直的位置が術後 1 か月と比較して術後 1 年では上方に位置していることを示している．

#### 7. 各群におけるフォルマント周波数とセファロ分析値の変化量の相関分析 (表 6)

F1/F'4 改善群および F1/F'4 非改善群の F1/F'4 と AH-Y の変化量に有意な正の相関を認めた ( $p < 0.05$ )．すなわち，舌骨が上方へ変化すると発音時舌尖位も上方へ変化することを示す．

### 【考 察】

F1 および F2 を用いた音声分析は口腔内に装置を装着せず計測するため，患者への負担も少なく，舌の生理的な運動を妨げることなく発音時舌尖位を客観かつ定量的に評価するものとして有用である．しかしながら，F1 および F2 は声道長や声道の形態の違いに影響を受けるため，個人差によるばらつきが大きい．そのため，基準値を設けて比較することや他者との比較が困難である．そこで，声道の個人差を標準化するため，F1 および F2 を F'4 で除する方法が用いられている．音声分析を用いて基準値との比較を行うことで異常な発音時の舌尖位を早期に診断し，不正咬合や後戻りの原因となる舌位や舌運動を改善し予防することが可能となる．

骨格性下顎前突症例の音声分析の結果，F1 および F2 において群間に有意差は

認められなかったが、F'4で除したことによりF1/F'4およびF2/F'4においてL群とH群に有意差を認めた。これはF'4に有意差があることが背景にある。L群では上顎骨より下顎骨が大きく前方に位置し、H群では上顎前歯より下顎前歯の水平的被蓋が反対に大きいことが示された。

ヒトの発声機構は気柱の振動に例えられ<sup>19)</sup>、気柱の振動において気柱の長さは周波数と反比例の関係にあり、気柱が長いほど周波数は小さくなる<sup>18)</sup>。そのため、フォルマント周波数は声道の形態の違いから年齢や性差によっても変化する<sup>15, 20)</sup>。また、断面積の異なる気柱をつなげた場合、その境界面で周波数が変化する<sup>20)</sup>。これらのことから骨格性下顎前突症において上下顎骨の前後的位置関係、前歯部の被蓋ならびに声道の形態に著しく異常をきたすため、声道長と喉頭腔の形状に依存するF'4<sup>18)</sup>は基準値の範囲を外れる可能性がある。しかしながら、下顎骨および下顎前歯の突出が軽度の場合、F1/F'4およびF2/F'4を用いた発音時舌尖位の評価が可能であると考えられる。また、音声の聞き取りやMRIによる声道長の測定や喉頭腔および声道の三次元的な形態の計測などを行い音声分析の適応性について検討することによって、下顎後方移動術の術前と術後の評価を行うことが可能と考えられる。

下顎骨後方移動術後におけるF1/F'4およびF2/F'4の推移では、術後1か月の発音時舌尖位は術後1年においても発音時舌尖位に変化が認められない傾向があった。栗生田ら<sup>21)</sup>は骨格性下顎前突症において外科的矯正治療により発音機能が向上するものの発音時舌尖位は術後2年においても正常咬合の発音時舌尖位のレベルには達しないことを報告していることから、術後1か月の発音時舌尖位は長期間にわたり残存する可能性がある。本研究で用いた無声後部歯茎摩擦音/ʃ/は舌尖と上顎前歯の歯頸の後部で狭めをつくりそこを通る気流との間に摩擦させ構音する音である。骨格性下顎前突症において/ʃ/発音時に舌尖は後方に移動させる必要があるため<sup>22)</sup>、舌が低位にあり舌尖の機能異常が認められる場合、舌尖の後方への移動が困難となり本来の狭めの位置である上顎前歯の歯

顎の後部に加え前歯部切縁までも舌の接触があり接触面積が広くなる<sup>22, 23)</sup>。術後1か月で発音時舌尖位の状態を把握できることは、術後の後戻りの原因となる低位舌や発音時舌尖位が不良な者に早期に筋機能療法の導入が可能となる。

術後1か月から術後1年の発音時舌尖位に影響を与える要因を明らかにするため、各群におけるフォルマント周波数とセファロ分析値の変化量の相関分析を行った。その結果、F1/F'4改善群およびF1/F'4非改善群においてF1/F'4の変化量はAH-Yの変化量と有意な正の相関を認めた。このことから、術後1か月と比較して術後1年に舌骨が上方に変化すると発音時舌尖位もまた上方に変化することが示された。F1/F'4改善群およびF1/F'4非改善群の両群ともに舌骨は術後1か月と比較して術後1年で上方に位置する傾向が認められ、下顎骨の後方移動に伴い舌骨は術前と比較し術後1か月に後下方に変化するが、術後1年においては上方に変化するという酒井ら<sup>24)</sup>の報告と同様の結果であった。しかしながら、その変化量はわずかであるため、術後1か月および術後1年におけるF1/F'4の変化は基準値範囲内のものであったと考えられる。

## 【結 論】

骨格性下顎前突症例の音声分析では、下顎骨および下顎前歯の突出が軽度で、第4フォルマント周波数が基準値範囲内にある骨格性下顎前突症例の音声分析の可能性が示唆された。また、下顎後方移動術術後1年の発音時舌尖位の評価では、舌骨の垂直的变化と第1フォルマント周波数の変化に相関を認め、また術後1か月の発音時舌尖位の状態を把握することで術後1年の発音時舌尖位を推測することが可能であることが示唆された。

## 【文 献】

- 1) 鍋島呂実, 蓮舎寛樹, 山本昌宏, 他. 骨格性下顎前突症患者の上下顎前歯部および臼歯部における舌位について. 歯科医学 2004;67:98-102.
- 2) 瀬戸上康子, 庄村兼治, 伊藤学而. 下顎安静位の舌位と下顎位および顎顔面形態との関連. 西日矯歯誌 2000;44:193-200.
- 3) 富田滋, 高森等, 他:下顎後退術後の舌圧と後戻りについて. 日口外誌 1984;32:1173-1191.
- 4) Gianluca Gallerano , Giovanni Ruoppolo , Alessandro Silvestri .Myofunctional and speech rehabilitation after orthodontic-surgical treatment of dento-maxillofacial dysgnathia. Prog Orthod 2012;13:57-68
- 5) 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
- 6) 勢島 実, 板垣正樹, 菅原準二, 他. 成人反対咬合者の外科的矯正治療による口腔形態の変化と舌の調音との関係—電氣的パラトグラフィーによる観察—. 日矯歯誌 1983;42:273-287.
- 7) 板垣正樹, 菅原準二, 河内満彦, 他. 骨格型反対咬合者の舌の調音運動, 下顎運動および発声の同時観察—Long face・Open bite 群と Short face・Deep bite 群との比較—. 日矯歯誌 1986;45:237-249.
- 8) 石川雅章, 岡村航也, 高橋昌司, 他. 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) 松崎雅子. 外科的矯正治療前後の骨格性下顎前突症患者の音質評価. 口病誌 1998;65:14-24.
- 10) 浜雄一郎, 井上喜一郎, 田村隆彦, 他. 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.
- 11) 中野洋子. 下顎前突症患者における音声の分析. 歯科学報 1985;85:1-39.
- 12) 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顎的および音響学的特徴. Orthodontic Waves—Japanese Edition 2012;71(1):33-41.
- 13) 石井かおり, 斎藤勝彦, 葛西一貴. 舌機能評価における音声分析の臨床応用. Orthodontic Waves—Japanese Edition 2012;71(3):170-177.
- 14) 工藤みふね, 高橋昌司, 五十川伸崇, 他. 舌突出癖を有する小児の構音特性—第1報 歯茎音/s/の音声音響分析—. 小児歯誌 2005;43:79-84.
- 15) ピーター・ラディフォギット: 音声学概説. 大修館書店 1999:257.
- 16) Saitoh K: Long-term changes in pharyngeal airway morphology after mandibular setback surgery. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2004;125:556-61.
- 17) 竹本浩典, 足立整治, 北村達也, 他: 喉頭腔の音響特性. 信学技報 2005;5:13-17.
- 18) Johan Sundberg. 歌声の科学. 東京電機大学出版局, 2007:21, 24.
- 19) 赤野松太郎. 医歯系の物理学. 東京教学社, 1987:121.
- 20) 今泉敏. 言語聴覚士のための音響学. 医歯薬出版株式会社, 2007:51-53.
- 21) 粟生田佳奈子, 河内満彦, 菅原準二, 他. 成人骨格性反対咬合症の発音機能に対する外科的矯正治療の効果—舌接触パターン, 顎運動および発声音



- の解析一. 日矯歯誌 1996;55:387-396.
- 22) 山本隆昭, 今井 徹, 梅田和宏, 中村進治. 骨格性反対咬合者における無声摩擦音/ʃ/の音響的特徴と聴覚印象. 日顎変形誌 1995;5:156-163.
- 23) 河内満彦. デントパラトグラフィ発音機能検査システムの開発とそれを用いた骨格型下顎前突者の調音運動および発声音の解析. 日矯歯誌 1987;46:71-92.
- 24) 酒井 敬一, 島崎一夫, 小海暁, 他. 骨格性下顎前突症患者における顎矯正手術法の違いが上部気道形態に与える影響. 日顎変形誌 2012;22(4):239-243.
- 25) レイ・D・ケント, チャールズ・リード. 音声の音響分析 (荒井隆行, 菅原 勉監訳). 第1版. 東京: 海文堂出版, 1996:26, 27, 114.
- 26) Ozbek MM, Memikoglu UTT, Altug-Atac AT, Lowe AA. Stability of Maxillary Expansion and Tongue Posture. Angle Orthod. 2009;79:214-220.

## 図および表

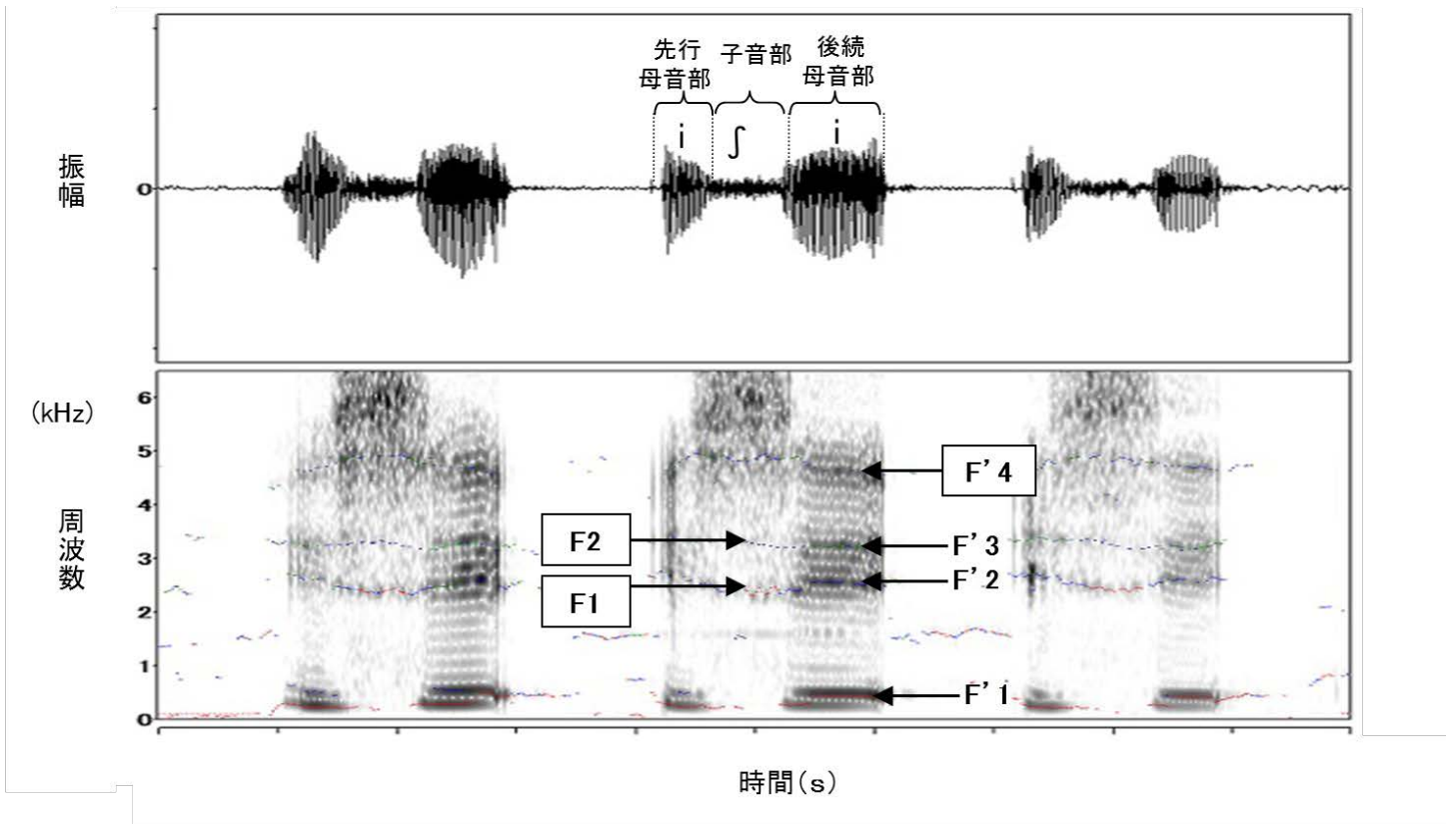


図1 音声波形(上段)およびサウンドスペクトログラフ(下段)

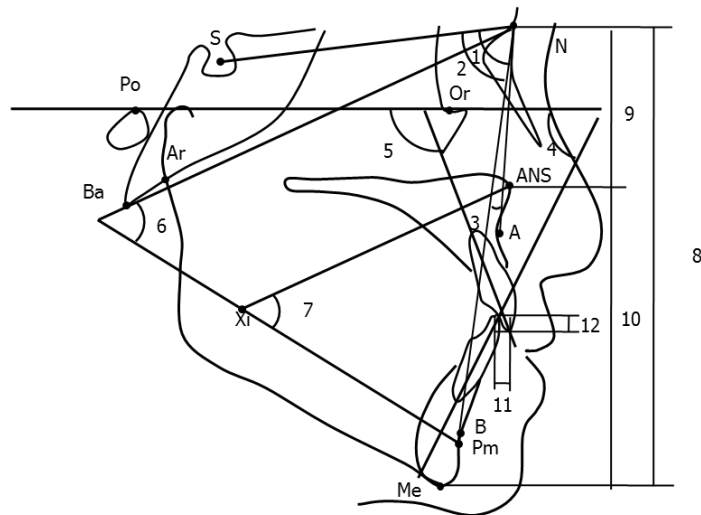


図2 顔面硬組織形態の分析

計測項目:

- 1. SNA 2. SNB 3. ANB 4. FMIA 5. FHtoU1 6. Total facial height
- 7. Lower facial height 8. N-Me 9. N-ANS 10. ANS-Me 11. overjet 12. overbite

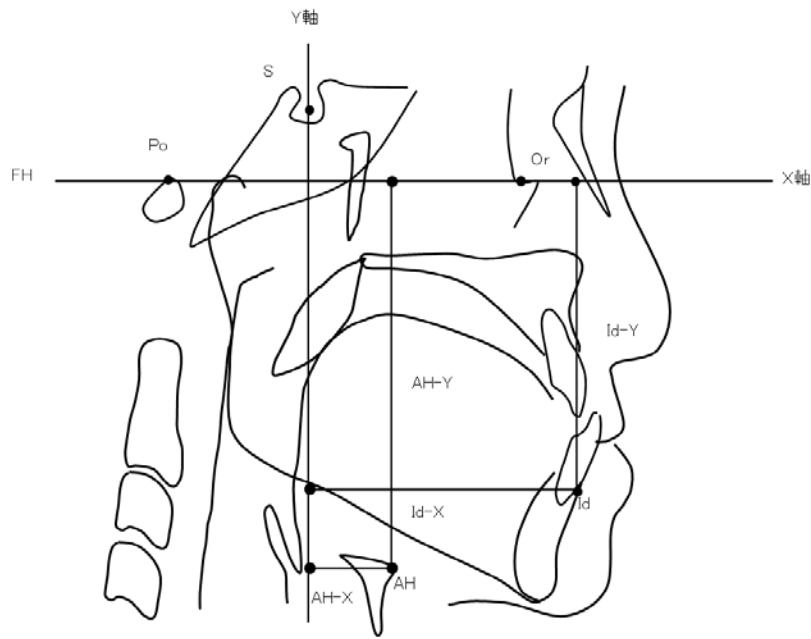


図3 下顎骨および舌骨移動量の計測法

計測項目:

Infradentale(Id) : 下顎の左右中切歯間の歯槽部前縁が正中矢状面によって切られる点

AH : 舌骨の最前上部

Id-X : 下顎骨の水平的距離 Id-Y : 下顎骨の垂直的距離

AH-X : 舌骨の水平的距離 AH-Y : 舌骨の垂直的距離

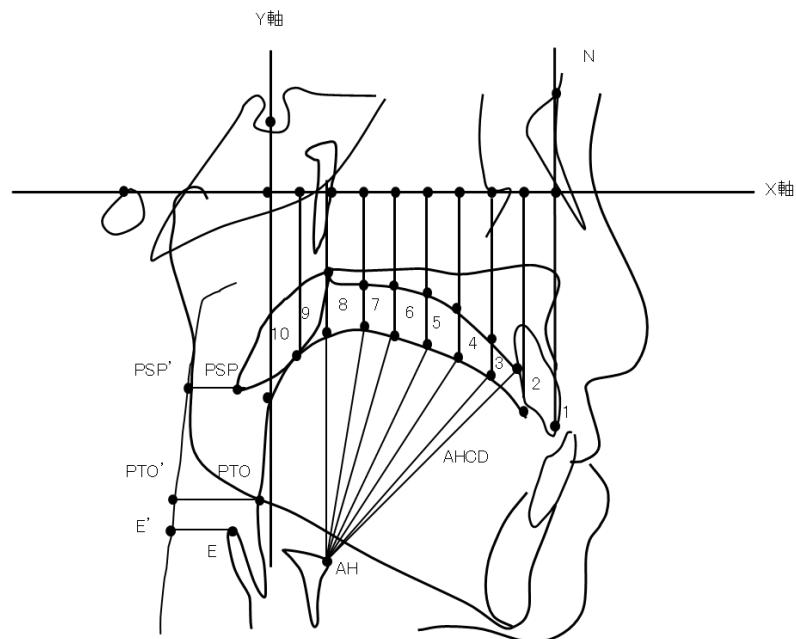


図4 顔面軟組織の分析

TPD : 舌背-口蓋骨間距離

3:TPD3 4:TPD4 5:TPD5 6:TPD6 7:TPD7 8:TPD8

AHTD : 舌骨-舌背間距離

3:AHTD3 4:AHTD4 5:AHTD5 6:AHTD6 7:AHTD7 8:AHTD8

AHCD : 舌骨-歯頸部間距離

PSP : 軟口蓋最後方点 PTO : 舌後方と下顎骨との交点 E : 喉頭蓋最上方点

図5 下顎骨後方移動術後症例におけるF1/F'4の推移 (改善群)

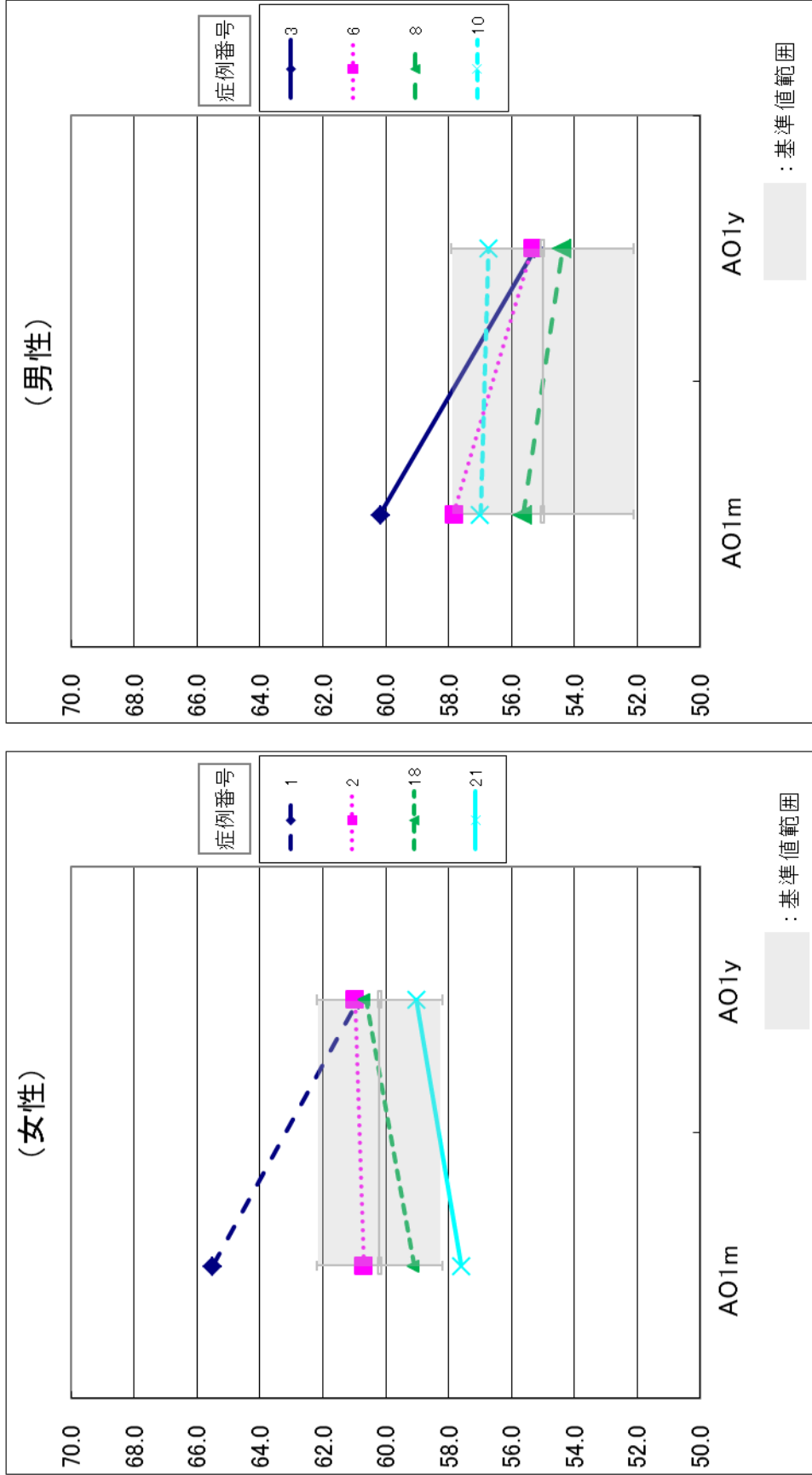


図6 下顎骨後方移動術後症例におけるF1/F'4の推移 (非改善群)

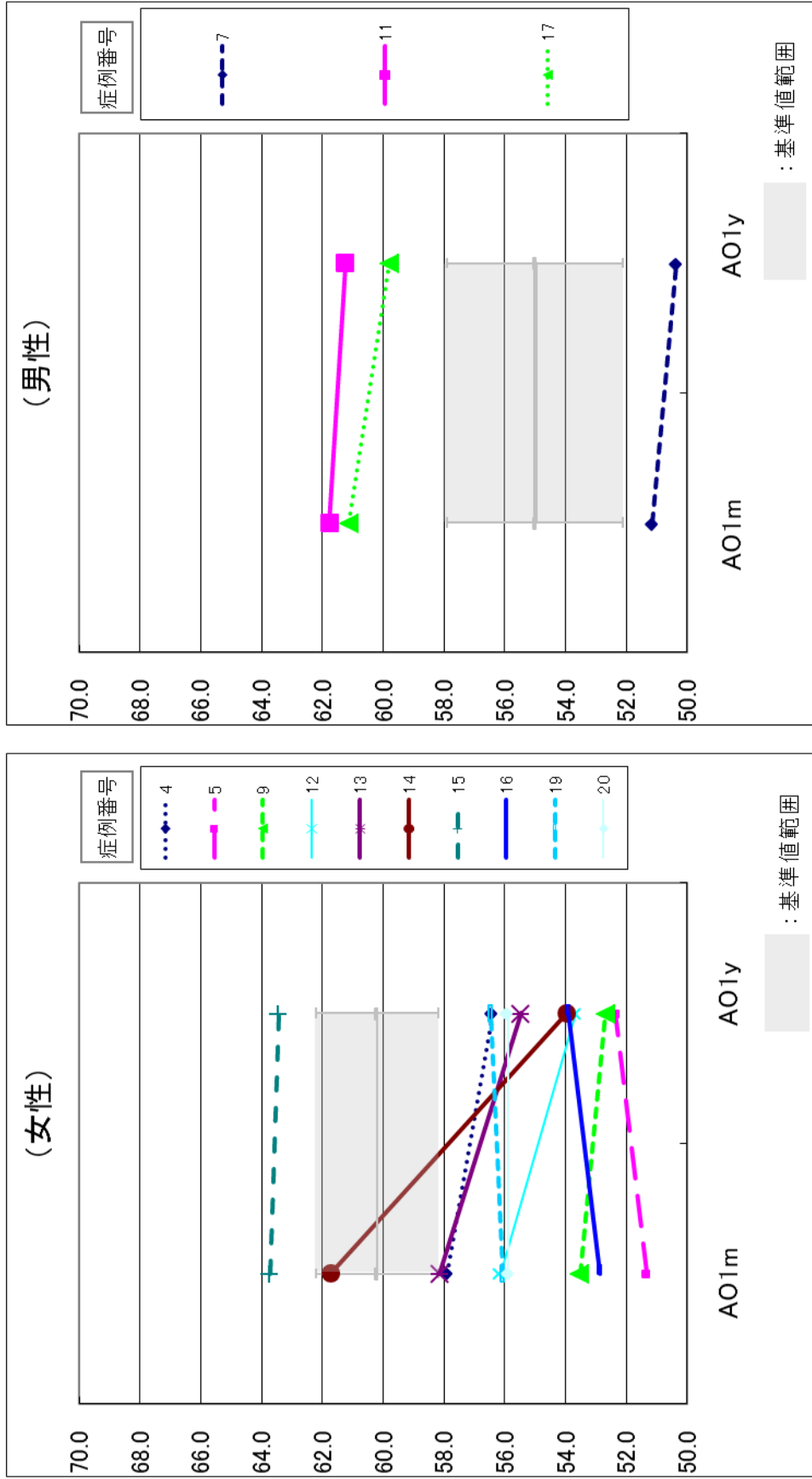


図7 下顎骨後方移動術後症例におけるF2/F'4の推移 (改善群)

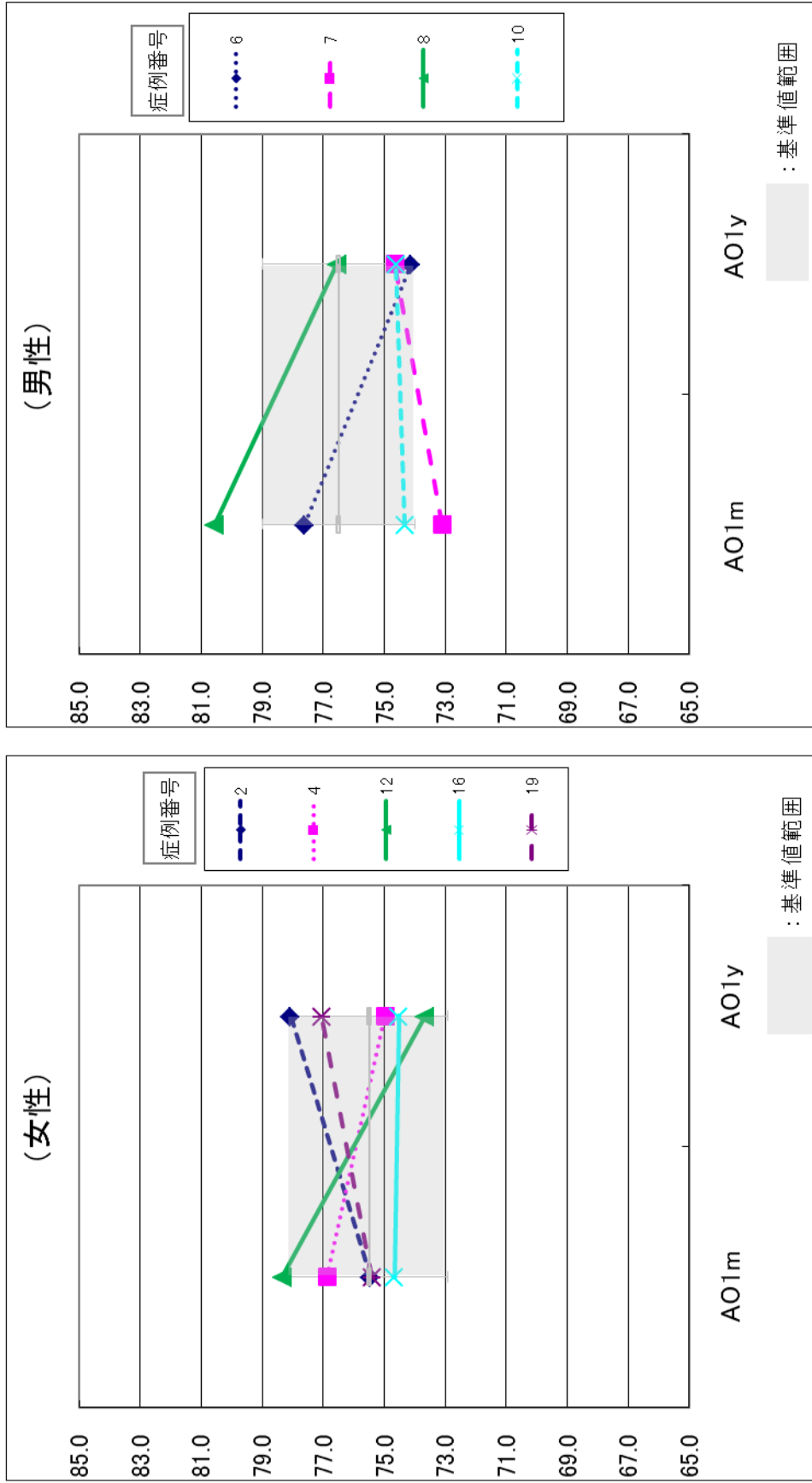


図8 下顎骨後方移動術後症例におけるF2/F'4の推移 (非改善群)

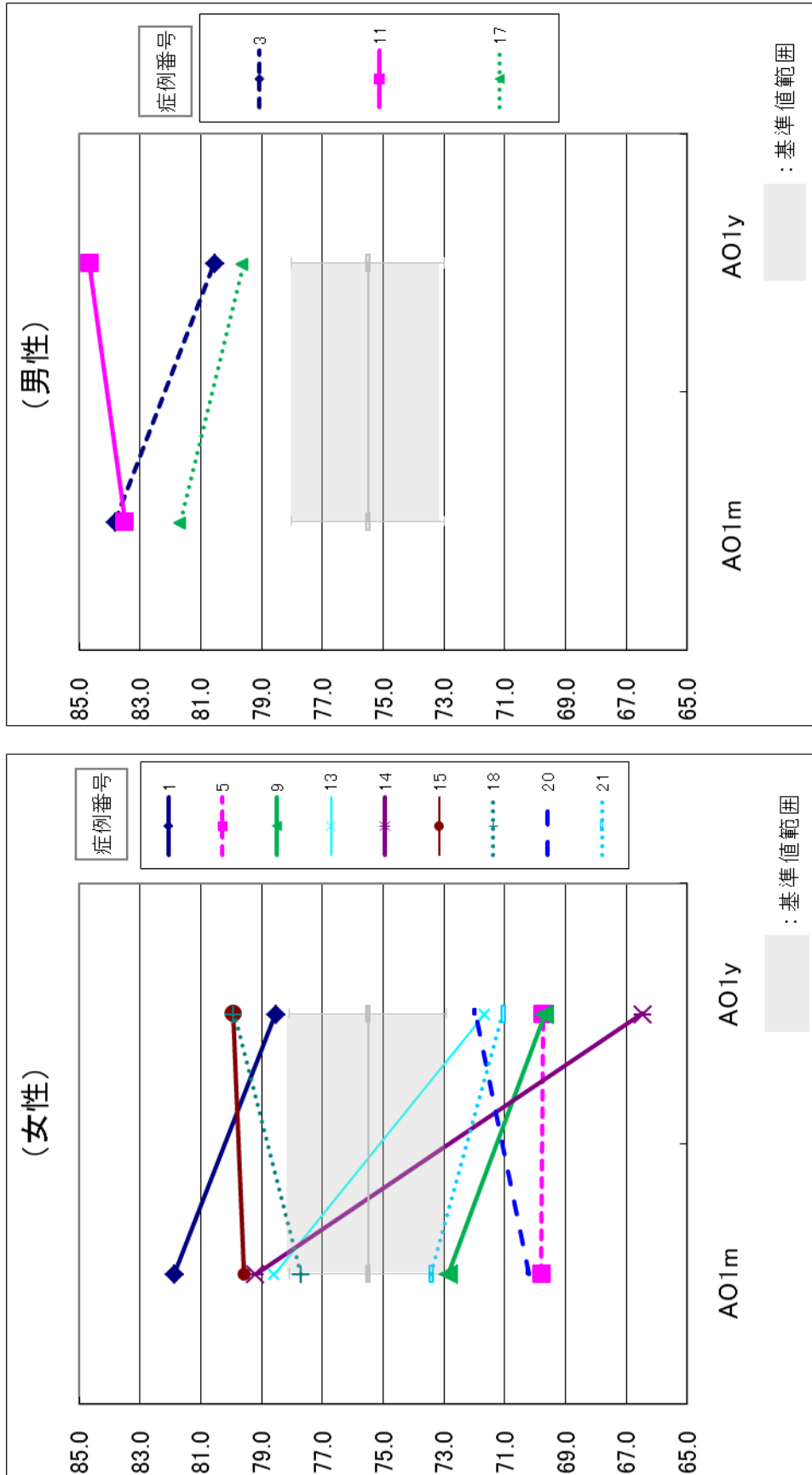




表1 F'4, F1/F'4ならびにF2/F'4の基準値

	女性	男性
F'4 (Hz)	4263.9~4754.0	3652.6~3998.2
F1/F'4 (%)	58.2~62.2	52.1~57.9
F2/F'4 (%)	72.9~78.1	74.0~79.0

表2 骨格性下顎前突症例のフォルマント周波数の群間比較

	L群(n=6)		M群(n=9)		H群(n=5)	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
F'4 (Hz)	4166.6	67.2	4462.9	94.5	4890.5	125.3
F1 (Hz)	2548.5	58.0	2557.6	105.9	2691.0	343.4
F2 (Hz)	3308.3	73.4	3363.1	131.1	3526.6	273.3
F1/F'4 (%)	61.2	1.8	57.4	3.1	55.0	6.2
F2/F'4 (%)	79.4	1.8	75.4	3.8	72.1	4.8

Tukey-Kramer \*p<0.05

表3 骨格性下顎前突症例の顎顔面組織の群間比較

	L群		M群		H群	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
SNA (°)	80.3	4.2	81.6	3.3	81.3	2.9
SNB (°)	83.9	3.1	83.0	3.6	83.2	2.4
ANB (°)	-3.7	2.0	-1.4	1.1	-1.9	0.7
FHto1 (°)	118.8	5.7	113.2	7.3	113.0	8.3
FMIA (°)	62.3	3.7	55.6	10.6	59.2	4.2
Total facial height (°)	60.8	2.5	61.0	6.1	64.4	5.3
Lower facial height (°)	51.5	5.8	49.6	5.1	50.0	2.7
N-ANS/N-Me (%)	49.8	8.1	53.1	6.3	55.3	4.9
ANS-Me/N-Me (%)	50.2	8.1	46.9	6.3	41.4	2.4
Id-X (mm)	76.8	5.1	77.8	5.0	72.6	2.3
Id-Y (mm)	73.2	6.1	70.8	7.3	74.9	3.8
AH-X (mm)	86.3	4.3	85.3	8.2	77.5	5.6
AH-Y (mm)	18.6	6.6	14.5	8.0	18.9	3.7
Overjet (mm)	-2.4	2.3	-1.4	1.8	-6.3	1.9
overbite (mm)	0.3	0.6	-0.3	1.4	-1.7	2.6

Tukey-Kramer \*p<0.05

表4 骨格性下顎前突症例の顎顔面組織の群間比較

単位=mm

	L群		M群		H群	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
AHTD3	56.1	3.3	60.7	4.4	53.2	4.4
AHTD4	54.7	3.9	57.2	5.2	51.0	2.8
AHTD5	52.7	3.8	54.7	6.0	50.1	3.6
AHTD6	50.3	3.9	52.2	5.1	47.2	2.9
AHTD7	46.8	3.1	48.7	4.9	43.4	3.9
AHTD8	39.7	3.9	45.3	4.9	37.6	3.7
AHCD	60.8	3.7	63.9	6.5	58.9	1.5
PTD3	5.7	3.2	4.9	3.4	5.2	1.7
PTD4	6.3	3.0	5.9	3.7	5.1	2.5
PTD5	6.8	3.0	5.8	3.2	4.9	2.4
PTD6	7.3	2.7	6.3	4.4	5.4	2.2
PTD7	8.8	2.4	7.7	5.1	6.8	1.4
PTD8	12.3	1.8	8.9	3.6	8.3	1.0
PSP-PSP'	15.0	3.2	12.2	3.4	11.5	2.5
PTO-PTO'	15.0	4.2	12.8	3.7	13.3	5.4
E-E'	8.1	2.8	8.5	3.8	7.6	2.9

Tukey-Kramer \*p<0.05

表5 F1/F'4改善群およびF1/F'4非改善群の舌骨および顔面軟組織の推移

F1/F'4 改善群	AO1m		AO1y		F1/F'4 非改善群	AO1m		AO1y	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		Mean	S.D.	Mean	S.D.
AH-Y	92.5	12.7	90.2	11.9	AH-Y	91.2	10.3	88.7	9.6
AH-X	17.4	8.4	16.4	9.5	AH-X	12.3	5.9*	12.8	7.4
AHTD3	65.6	8.4	63.4	6.5	AHTD3	65.6	6.1	63.4	6.3
AHTD4	63.4	8.6	60.9	6.7	AHTD4	63.9	6.4	61.3	6.7
AHTD5	61.6	8.5	59.0	6.6	AHTD5	60.4	6.8	59.3	7.1
AHTD6	59.2	8.5	56.4	6.5	AHTD6	58.1	7.1	55.9	7.9
AHTD7	56.4	7.5	53.3	6.9	AHTD7	54.3	6.5	52.5	8.0
AHTD8	49.1	8.3	46.6	7.5	AHTD8	48.8	6.6	47.4	8.3
TPD3	3.3	3.4	6.4	6.0	TPD3	5.3	4.1	4.2	2.9
TPD4	3.6	3.6	6.8	5.6	TPD4	6.3	4.6	5.2	2.8
TPD5	4.4	4.5	6.6	5.1	TPD5	7.0	5.2	5.8	2.7
TPD6	5.0	4.4	6.8	4.6	TPD6	7.0	5.1	6.0	2.6
TPD7	6.0	4.8	6.8	4.4	TPD7	7.5	4.3	6.6	2.6
TPD8	7.3	5.1	7.8	4.1	TPD8	8.4	3.7	7.7	2.8

Paired t-test \*p<0.05

Paired t-test \*p<0.05

表6 各群におけるフォルマント周波数とセファロ分析値の変化量の相関分析

	F1/F'4改善群	F1/F'4非改善群	F2/F'4改善群	F2/F'4非改善群
	F1/F'4	F1/F'4	F2/F'4	F2/F'4
AH-Y	0.71*	0.56*	0.23	0.32
AH-X	0.24	-0.37	0.46	-0.15
FHtoU1	0.13	-0.21	0.79	-0.32
FMIA	0.09	0.19	0.11	0.12
overjet	0.06	0.12	-0.08	0.03
overbite	0.45	0.16	0.58*	0.06
PTD3	-0.17	0.17	-0.20	0.05
PTD4	-0.12	0.18	-0.24	0.13
PTD5	0.04	0.18	-0.22	0.12
PTD6	0.14	0.25	-0.16	0.29
PTD7	0.16	0.32	-0.13	0.28
PTD8	0.40	0.43	-0.12	0.52
AHTD3	-0.18	0.25	-0.15	0.51
AHTD4	-0.11	0.23	0.24	0.43
AHTD5	-0.12	0.28	0.32	0.48
AHTD6	-0.23	0.20	0.34	0.34
AHTD7	-0.35	0.09	0.31	0.04
AHTD8	-0.25	0.21	0.37	0.35
AHCD	0.04	0.42	-0.43	0.66*
PSP-PSP'	0.16	-0.00	-0.10	0.29
PTO-PTO'	-0.42	-0.08	0.18	-0.17
E-E'	0.29	-0.26	0.15	-0.12

Pearsonの相関係数 \*p<0.05