

# 原 著

## 正常咬合者および顎変形症患者のスマイル動作の三次元解析

石川 貴子 斉藤 陽子\* 村岡 史麻 北原 亨\*\*  
五百井 秀樹\*\* 中島 昭彦\*\*

九州大学大学院歯学府口腔保健推進学講座

\* 鹿児島大学医学部・歯学部附属病院麻酔全身管理センター・歯科麻酔科

\*\* 九州大学大学院歯学研究院口腔保健推進学講座

ISHIKAWA Takako, SAITO Yoko\*, MURAOKA Shima, KITAHARA Toru\*\*, IOI Hideki\*\*,  
NAKASIMA Akihiko\*\*

Division of Oral Health, Growth & Development, Graduate School of Dental Science, Kyushu University

\* Department of Dental Anesthesia, Anesthesia and Critical Care Center, Kagoshima University Medical and Dental Hospital

\*\* Division of Oral Health, Growth&Development, Faculty of Dental Science, Kyushu University

キーワード：スマイル動作，高速度カメラ，三次元直交座標系，顎変形症患者

抄録：本研究は，咬合あるいは顎顔面形態の異常がスマイル動作にどのような影響を与えるかについて調査することを目的とした。被験者として個性正常咬合者 20 名と顎変形症患者 10 名を対象とし，被験者の顔面上には運動計測点として上唇，下唇，左右口角，左右頬の 6 か所，基準点として上顔面の 3 か所にマーカーを貼付した。スマイル動作における各マーカーの動きを 3 台の高速度カメラで自動追尾し，三次元動作解析ソフトにて解析した。頭部の動きは基準点で構成される三角形を用いて補正し，頭部固定は行わなかった。計測はそれぞれの被験者で 3 回ずつ実施し，その平均を計測データとした。得られた結果は，正常咬合者群に比べて顎変形症患者群のスマイルは，下唇が下方，側方に大きく動き，後方への動きが小さかった。上唇，口角，頬部の動きは総じて小さく，特に上方および側方への動きが小さかった。顎変形症患者群では，スマイル動作が終って平常時に戻る動作が遅れる傾向がみられた。

以上の結果より，スマイル動作において，顎変形症患者では正常咬合者とは異なり，口唇や頬に異常な動きがみられ，形態異常が自然なスマイルを表出する妨げとなっていることが考えられた。

(Orthod Waves-Jpn Ed 2007; 66(2): 92-105)

### Three-dimensional analysis of smile movement using high speed cameras for the subjects with normal occlusions and jaw deformities

Abstract: We investigated the influences of malocclusions and jaw deformities on the smile motion. The subjects consisted of a control group of 20 subjects with normal occlusions and 10 orthodontic patients with jaw deformities. Six measuring markers on the face (upper lip, lower lip, right-and-left angulus oris, right-and-left cheeks) and 3 reference markers on the upper face were placed on the skin. The motion of the measuring markers was detected automatically by the 3 high-speed cameras during smiling phase and analyzed 3 dimensionally by means of the 3-dimension operation analysis software. The head was not stabilized during the measurements and the motion of the head was canceled by the movement of triangle comprised of three reference markers. Measurements were conducted 3 times for each subject and regarded the mean values as the representative values. The results showed that the lower lips for the jaw deformity patients showed larger displacements to the downward and lateral directions compared with the control subjects even though these showed small displacements to the backward. The upper lip, angulus oris, and cheeks showed small displacements as a whole, especially to the upward and lateral directions. The recovery movements after smiling phase for the jaw deformity patients tended to delay compared with the control subjects. Thus, the features of lower face for the jaw deformity patients showed different movements compared with those of the control group. These results suggest that the morphological abnormality might prevent to express the natural smile.

(Orthod Waves-Jpn Ed 2007; 66(2): 92-105)

## 緒 言

矯正治療の目的は、安定した良好な咬合状態を得ることによる機能的改善に加えて、顔貌全体の調和を図る審美的改善があり、顔貌の調和や魅力的な表情を獲得することは、患者の quality of life を高める面で大変重要なことだと考えられる。特に重度の不正咬合の患者や顎変形症患者では、顎顔面硬組織の形態異常はそれを覆う軟組織にも形態の変化を及ぼしており、特異的な顔表面の動きがみられることが推察される。しかしながらこれまでのところ、顔面軟組織に関して、側貌のバランス<sup>1,2)</sup>や正貌の対称性<sup>3)</sup>などの静的状態における評価はなされていても、その動的状態における評価がなされた報告は少ない。

近年、ビデオカメラを用いた顔面神経麻痺患者<sup>4-6)</sup>、口唇裂患者<sup>7,8)</sup>、有床義歯装着時の患者<sup>9-11)</sup>、不正咬合者<sup>12-14)</sup>を対象とした、スマイルをはじめとする顔面運動の三次元解析が散見されるようになってきた。しかしながら、スマイルに伴う顔面軟組織の動きは短時間できわめて微細かつ三次元的な動きをするため、これを正確に計測することは難しく、明瞭な所見を導く妨げの一つとなっていた。加えて、スマイルは感情を伴った動きであるため、その表出、再現性、定量評価の面で困難な点が多く<sup>15)</sup>、これまでに明確な手法が確立された報告は少ない。

矯正治療を行う患者の多くは、前歯の配置、上下歯列の位置や顎骨の位置などの異常をもった不正咬合者であり、口元の動きは正常咬合者とは異なる何らかのひずみがあるものと考えられる。そこで本研究は、スマイル動作の三次元動画撮影・解析システムを構築し、骨格性下顎前突を呈する顎変形症患者と正常咬合者を被験者として、スマイルの運動様相について比較を行い、咬合あるいは顎顔面硬組織の形態異常がスマイル動作にどのような影響を与えるのかを調べることを目的とした。

## 資料と方法

### I. スマイル動作計測システムの構成

新しく構築した表情解析システムのハードウェアの構成を図1に示す。撮影には3台の高速度カメラ(VFC300, 朋栄, 東京)を用い、左右のカメラの位置は被写体を中心として90度になるように設定し、同期撮影を行った。高速度カメラの画像解像度は512×512画素で、最大で1秒間に300コマまで撮影できるが、本研究では室内光でのマーカースの追従性に考慮して1秒間に90コマに設定した。動画データはHUBを介して制御用パーソナルコンピュータ(Dimension

XPS HT テクノロジインテル Pentium, DELL, 東京)に直接取り込んだ。計測する三次元空間のキャリブレーションは、200 mm × 200 mm × 200 mm の立方格子状のキャリブレーションフレームを撮影し、上記のパーソナルコンピュータに取り込んだ。そして相対的三次元座標値が知られた27個の立方格子点上に、術者がマウスを用いて、画像上で1点ずつ、手作業で座標値を合わせることで行った。パーソナルコンピュータに取り込んだ動画データは三次元動作解析ソフト(WINanalyze, Mikromak 社, ドイツ)を用いて、ステレオ計測の原理によりマーカースの三次元座標値を求めた。マーカースの動きは正規化相関法により自動追尾処理した。

本システムで得られた測定精度は村岡ら<sup>16)</sup>の検証の結果、2点間距離計測においてX軸、Y軸、Z軸とも標準誤差は0.022～0.030 mmの範囲であった。回転速度可変型円板を用いたマーカース移動の追従性の精度では標準誤差が0.32～0.44 mm/secであり、スマイル動作の口唇、頬の動きで想定される範囲(約10.0 mm/sec以下)において、十分に小さいと考える。

### II. 計測点および計測方法

運動計測点として、左右頬点、左右口角点、上下口唇点の6か所、顔面運動計測中の頭部の動きを補正するための基準点として、左右額に2か所と鼻尖部に1か所、合計9か所に直径約2 mmの発砲スチロール製マーカースを貼付した。

頬点は左右鼻翼下縁を結んだ線と、これに対し外眼角を通る垂線との交点とした。基準点として設定した左右額点および鼻尖部の3点を結んでできる基準三角

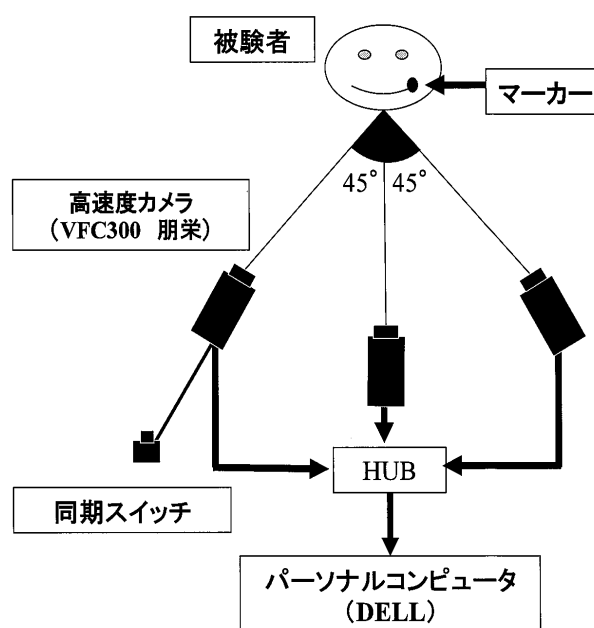


図1 表情解析システムの構成

形の重心を原点として、三次元直交座標系を構築した(図2)。すなわち、左右額点を結んだ辺に平行で基準三角形の重心を通る横方向の線をX軸とし、X軸に直行し原点を通る線で上下方向を示す直線をY軸、基準三角形に直行し、原点を通る線で前後方向を示す線をZ軸とした。被験者の正面顔面像において左側、上方、前方向がプラス、右側、下方、後方向をマイナス、の座標値とした。

スマイル動作記録方法は、各被験者に1秒間につき1回のリズムをとるメトロノームに合わせて、撮影開始から3秒間は平静を保ってもらい、4秒目に約2秒間のスマイルの動作を、その後は再び平静に戻る、という流れで約8秒間の撮影を行った。

### III. 基準点の検証

基準点がスマイル動作計測中に動揺すれば計測値が変動することになる。したがって基準点の選択とその安定性について検証するために、この研究について同意の得られた成人女性の被験者1名の顔面皮膚上に、スマイル動作中の皮膚の動きが少ないと想定される場所、すなわち額に6か所、鼻部に2か所のマーカーを計8個貼付し、自然なスマイル動作を30回撮影した。貼付した8個のマーカーの中から基準三角形の候補となる3点を額からは2点、鼻部からは1点選出してできる6つの3角形について、3辺の平均距離の変動を調べた。各マーカーは、図3に示すように、1、2は内眼角から60mm上方の点、3、4は外眼角から40mm上方の点、5、6は内眼角から40mm上方の点、7は左右内眼角中点よりフランクフルト平面上に下ろした垂線との交点、8は鼻尖点とし、基準三角形は1-2-7、1-2-8、3-4-7、3-4-8、5-6-7、5-6-8の組み合わせで検証した。

### IV. 被験運動の検証

スマイルの解析において常に問題となるのは、自然なスマイルの再現性である。写真撮影時には、スマイルを模倣して「cheese」の「chee」を発音させることがよく行なわれるが、もしその動作の再現性が高く、また自然なスマイルと相違がないならば、スマイル解析の被験運動としてより適切だと考えられる。そこで本研究の被験運動を決定するために、本研究の目的と内容を十分に説明し、協力の同意を得た個性正常咬合者成人女性の被験者1名に対して、個人の自然なスマイルと、スマイルを模倣した「cheese」の「chee」を発音させる動作(以下、「chee」スマイル)を行わせ、両スマイルの違いを調べた。

自然なスマイルについては、被験者に対して理想的なスマイル<sup>17-19)</sup>を模写した写真を提示した上で、各被験者が思う自然なスマイルの表出と定義し、「chee」

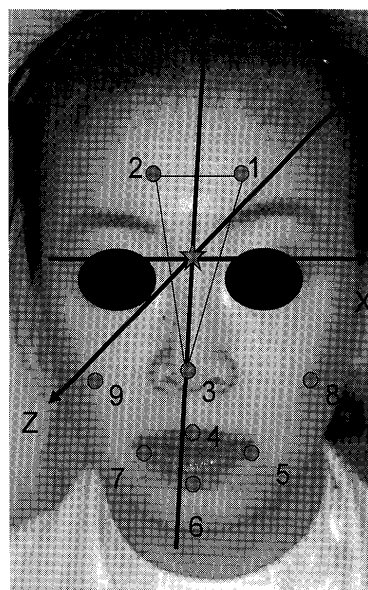


図2 計測点、基準点、および三次元直交座標系

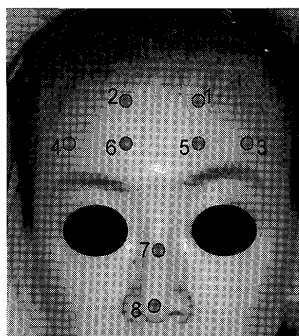


図3 基準点の検証

スマイルについては、スマイルを模倣した「cheese」の「chee」を発音させる動作を行わせた。いずれも計測前に鏡を持たせ反復練習させ、自然スマイルおよび「chee」スマイルの順序でそれぞれ30回繰り返して計測した。計測は、各運動計測点について安静時における原点からの三次元距離を0として、スマイル動作開始から0.5秒間隔における30回計測の距離変化の平均および標準偏差(SD)を算出し、両スマイルを比較した。スマイル動作開始の判定は、撮影開始から3秒間の平静時における各運動計測点の微小な動き(原点からの距離変動)の平均および標準偏差を算出し、移動距離がその3SDを越えた時点をスマイル動作開始と定義した。計測点のうち左右あるものはほぼ同じ動きをとったため、自然および「chee」スマイルの比較においては左側のみを解析した。各運動計測点のスマイル動作開始順序は、各計測ごとに最も早く動き始めた計測点の時間を0とし、その他の計測点の時間的なずれの平均と標準偏差を算出した。以上の測定値のばらつきおよび平均値の差の検定にはF検定、Student-t検定を用いた。

## V. 咬合とスマイルの関係・正常咬合者と顎変形症患者の比較

被験者は本学口腔保健推進学講座に所属し、顎口腔機能異常および顔面非対称を認めない個性正常咬合を有する成人女性 20 名（年齢 25 ～ 31 歳，平均年齢 28.5 歳）ならびに，骨格性下顎前突を呈する成人女性の顎変形症患者 10 名（年齢 17 ～ 27 歳，平均年齢 22 歳）である。患者群の側貌セファロ平均値および標準偏差は ANB； $-2.1 \pm 1.8^\circ$ ，オーバージェット（前歯部水平被蓋）； $-1.3 \pm 1.1$  mm であった。各群でスマイル動作開始時期を合わせ，安静時における原点からの距離を 0 としたときの三次元距離変化を平均化し，両スマイルを比較した。さらに計測点の動きの方向性を知るために，X，Y，Z 軸に分けて三次元座標値の経時的变化を測定した。各被験者に対してスマイル動作を 3 回計測しその平均値をデータとして用いた。本研究は九州大学倫理委員会の認可を得た上で，被験者に対してはこの研究に対する趣旨を説明した上で同意文書に署名していただいた。

## 結 果

### I. 基準点の検証

1 ～ 8 の計測点で組み合わされる各三角形それぞれの 3 辺平均距離の変動係数は，0.7 ～ 1.2 の値を示し有意差は認められなかったが，最も変動係数の値が小

さかったのは，計測点 5-6-8 で作り出される三角形であった（表 1）。以上の結果より，本測定法では左右顎点は内眼角から 40 mm 上方，および鼻尖点を基準点とした三角形 5-6-8 で直行座標系を構築した。計測中の頭部の動きはこの座標系を用いて補正することとした。

### II. 自然なスマイルと「chee」スマイルの比較

自然なスマイルと「chee」スマイルの 30 回繰り返し計測において，スマイル開始から 0.5 秒間隔における各運動計測点の三次元距離変化の平均，および標準偏差（SD）を表 2 に，また 90 コマ/秒の計測値から得られた原点-運動計測点間の平均距離変化をグラフにして図 4 に示す。グラフについては計測点座標の動き

表 1 基準点の検証

| 基準三角形 | 三辺平均距離 (mm)     | 変動係数 (%) |
|-------|-----------------|----------|
| 5-6-8 | $191.1 \pm 1.4$ | 0.7      |
| 5-6-7 | $135.9 \pm 1.1$ | 0.8      |
| 1-2-8 | $212.8 \pm 1.9$ | 0.9      |
| 1-2-7 | $157.1 \pm 1.6$ | 1.0      |
| 3-4-8 | $246.8 \pm 2.6$ | 1.1      |
| 3-4-7 | $200.5 \pm 2.4$ | 1.2      |

±以下は標準偏差 n=30

基準三角形の 3 辺の平均距離の変動 (30 回繰り返し計測)

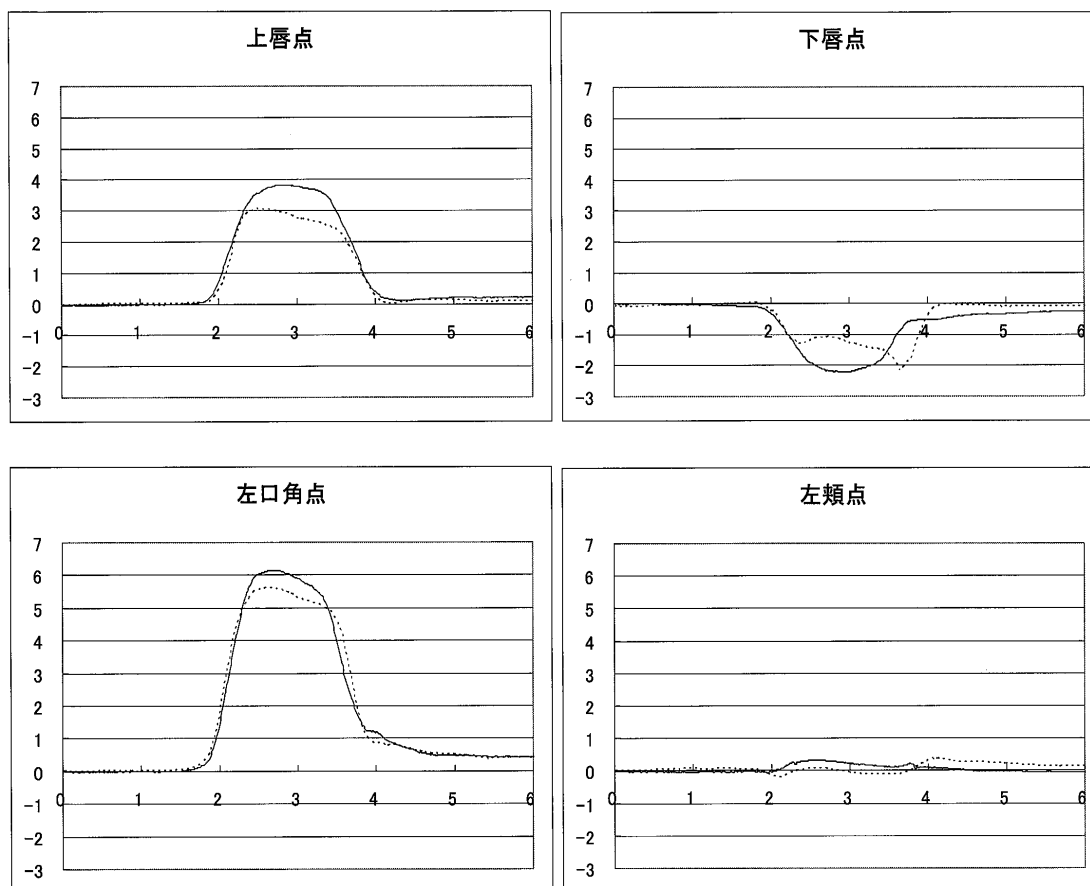
表 2 原点-運動計測点間距離の移動—自然なスマイルと「chee」スマイルの比較—

| スマイル開始からの時間 (秒) | 上唇点                 |                 | 下唇点                      |                      |
|-----------------|---------------------|-----------------|--------------------------|----------------------|
|                 | 自然なスマイル             | 「chee」スマイル      | 自然なスマイル                  | 「chee」スマイル           |
| 0.5             | $3.56 \pm 2.80$     | $3.06 \pm 2.79$ | $-1.93 \pm 3.28$ **      | $-1.19 \pm 2.91$     |
| 1.0             | $3.79 \pm 3.11$ *** | $2.75 \pm 2.50$ | $-2.21 \pm 3.98$ (a) *** | $-1.29 \pm 2.03$ (b) |
| 1.5             | $3.00 \pm 3.13$     | $2.39 \pm 2.50$ | $-1.69 \pm 3.85$         | $-1.44 \pm 2.81$     |
| 2.0             | $0.36 \pm 3.04$     | $0.18 \pm 2.19$ | $-0.50 \pm 3.05$         | $-0.41 \pm 3.06$     |
| スマイル開始からの時間 (秒) | 口角点                 |                 | 頬点                       |                      |
|                 | 自然なスマイル             | 「chee」スマイル      | 自然なスマイル                  | 「chee」スマイル           |
| 0.5             | $6.03 \pm 2.51$     | $5.56 \pm 1.72$ | $0.32 \pm 2.35$          | $0.06 \pm 2.05$      |
| 1.0             | $5.89 \pm 2.72$     | $5.30 \pm 2.07$ | $0.23 \pm 2.41$          | $0.08 \pm 2.39$      |
| 1.5             | $3.96 \pm 2.81$     | $4.58 \pm 1.73$ | $0.13 \pm 2.21$          | $0.11 \pm 2.15$      |
| 2.0             | $1.18 \pm 2.94$     | $0.85 \pm 2.49$ | $0.31 \pm 2.27$          | $0.08 \pm 1.94$      |

n=30 ±以下は標準偏差 単位: mm

平均の差: \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001 で有意差

ばらつきの差: (a)-(b) p<0.001 で有意差



縦軸：mm，横軸：秒  
— 自然なスマイル，--- 「chee」スマイル

図4 原点-運動計測点三次元距離の変化  
自然なスマイルと「chee」スマイルの比較

表3 運動計測点の動き出し開始時間

|      | 自然なスマイル     | 「chee」スマイル  | 有意差 |
|------|-------------|-------------|-----|
| 上唇点  | 0.07 ± 0.07 | 0.19 ± 0.08 | *** |
| 下唇点  | 0.14 ± 0.10 | 0.13 ± 0.07 |     |
| 左口角点 | 0.07 ± 0.06 | 0.05 ± 0.07 |     |
| 左頬点  | 0.07 ± 0.08 | 0.13 ± 0.08 | **  |

±以下は標準偏差 単位：秒 (S)

\*\* p<0.01

\*\*\* p<0.001

を理解しやすくするため、横軸（時間）は各運動計測点が始めた時間の2秒前をスタートとし、Y軸（距離）は、重心までの距離が短くなる場合をプラス、長くなる場合をマイナスと定義して表示した。

両スマイル動作の間で口角点、頬点は、0.5秒間隔で調べたいずれの時間も距離の平均およびばらつきに有意差はみられなかった。しかし上唇点についてはスマイル開始から1.0秒後、下唇点についてはスマイル開始から0.5秒後、1.0秒後の距離変化が「chee」スマイルで有意に小さく、下唇点の1.0秒後におけるばら

つきは「chee」スマイルで有意に小さかった。また下唇点は、自然なスマイルで滑らかな山型の波形を描き、一方「chee」スマイルでは後方の山がやや高い台形の波形を示すことがグラフより分かった。

運動計測点のスマイル動作開始順序について、動き始めた時間の平均とばらつきを表3に示す。自然なスマイルは口角点、頬点、上唇点、下唇点の順に動き、一方「chee」スマイルは口角点、頬点、下唇点、上唇点の順に動き始め、自然スマイルより下唇が早く動き始める傾向がみられた。口角点については動き始め時間の平均およびばらつきに有意差はみられなかったが、頬点および上唇点は「chee」スマイルで動き始め時間が有意に遅れた。下唇点の動き始め時間は「chee」スマイルでばらつきが有意に小さかった。

### Ⅲ. 正常咬合者群と顎変形症患者群のスマイル動作の比較

#### 1. 原点-運動計測点間距離の変化

正常咬合者群のスマイルと顎変形症患者群のスマイルを各運動計測点について、スマイル動作開始時期を

表4 原点-運動計測点間距離の変化—正常咬合者群と顎変形症患者群の比較—

| スマイル開始からの<br>時間 (秒) | 上唇点         |                 | 下唇点          |                  |
|---------------------|-------------|-----------------|--------------|------------------|
|                     | 正常咬合者群      | 顎変形症患者群         | 正常咬合者群       | 顎変形症患者群          |
| 0.5                 | 2.51 ± 1.15 | ** 1.64 ± 1.40  | -5.81 ± 2.52 | *** -4.51 ± 2.28 |
| 1.0                 | 3.12 ± 2.14 | 2.83 ± 2.24     | -5.32 ± 2.09 | ** -4.61 ± 2.35  |
| 1.5                 | 3.09 ± 1.48 | 3.03 ± 2.01     | -5.22 ± 1.98 | ** -4.52 ± 2.03  |
| 2.0                 | 0.62 ± 0.51 | *** 2.02 ± 1.28 | -2.64 ± 1.51 | ** -3.42 ± 1.85  |
| スマイル開始からの<br>時間 (秒) | 左口角点        |                 | 右口角点         |                  |
|                     | 正常咬合者群      | 顎変形症患者群         | 正常咬合者群       | 顎変形症患者群          |
| 0.5                 | 7.36 ± 2.58 | *** 5.22 ± 2.04 | 7.17 ± 2.34  | *** 5.11 ± 1.51  |
| 1.0                 | 9.09 ± 2.64 | *** 6.66 ± 2.53 | 8.75 ± 2.44  | *** 7.35 ± 2.21  |
| 1.5                 | 8.57 ± 2.54 | *** 6.62 ± 2.51 | 8.32 ± 2.47  | *** 7.21 ± 2.15  |
| 2.0                 | 2.79 ± 1.01 | *** 4.89 ± 1.79 | 3.47 ± 1.02  | *** 5.52 ± 1.94  |
| スマイル開始からの<br>時間 (秒) | 左頬点         |                 | 右頬点          |                  |
|                     | 正常咬合者群      | 顎変形症患者群         | 正常咬合者群       | 顎変形症患者群          |
| 0.5                 | 4.02 ± 2.21 | *** 2.93 ± 1.53 | 4.25 ± 2.43  | *** 2.93 ± 1.43  |
| 1.0                 | 4.78 ± 2.31 | *** 3.44 ± 2.15 | 4.99 ± 2.51  | *** 3.70 ± 2.23  |
| 1.5                 | 4.47 ± 2.19 | *** 3.33 ± 1.87 | 4.78 ± 2.13  | *** 3.62 ± 1.48  |
| 2.0                 | 2.23 ± 1.21 | 2.51 ± 1.34     | 2.25 ± 1.18  | 2.27 ± 1.19      |

±以下は標準偏差 単位: mm

平均の差: \*\* p&lt;0.01, \*\*\* p&lt;0.001 で有意差

合わせたときの三次元距離変化すなわち移動量の平均、および標準偏差の比較を表4に、また90コマ/秒の計測値から得られた原点-運動計測点間の平均距離変化の様相をグラフにして図5に示す。

両スマイル動作の間で、上唇点はスマイル動作開始から0.5秒後の距離変化(移動量)が顎変形症患者群で有意に小さな値を示し、2.0秒後においては逆に有意に大きな値を示した。下唇点については、0.5秒後、1.0秒後、1.5秒後において顎変形症患者群で有意に小さな動きがみられ、2.0秒後においては逆に有意に大きな動きがみられた。左右口角点についても、0.5秒後、1.0秒後、1.5秒後に顎変形症患者群で有意に小さな値を示し、2.0秒後においては有意に大きな値を示した。左右頬点については、0.5秒後、1.0秒後、1.5秒後の動きが顎変形症患者群で有意に小さな値を示した。グラフのパターンでは、正常咬合者群はいずれの運動計測点においても、グラフの波が対称性のある台形の形を示したが、顎変形症患者群はグラフの波が対

称性を持たない緩やかな山なりの形を示した。また、両群内において、口角点、頬点の動きはいずれにおいても左右に有意差を認められなかった。

## 2. 運動計測点三次元座標値の変化

各運動計測点の動きの方向性を知るために、三次元座標値の経時的変化を測定し表5に、グラフを図6に示す。

正常咬合者群および顎変形症患者群の動きの方向性はほぼ同一で、上唇点は後上方へ、下唇点は後下方へ、左口角点は左後上方へ、右口角点は右後上方へ、左頬点は左前上方へ、右頬点は右前上方への動きを示した。しかしながら上唇点ではスマイル動作開始から0.5秒後におけるY座標値が顎変形症患者群で有意に小さな値をとり、上方への動きが小さかったが、2.0秒後では逆にY座標は有意に大きく、上方への動きが大きかった。またZ座標の動きも顎変形症患者群で有意に大きく、後方への動きが大きかった。下唇点については0.5秒後から2.0秒後において、X座標、つまり

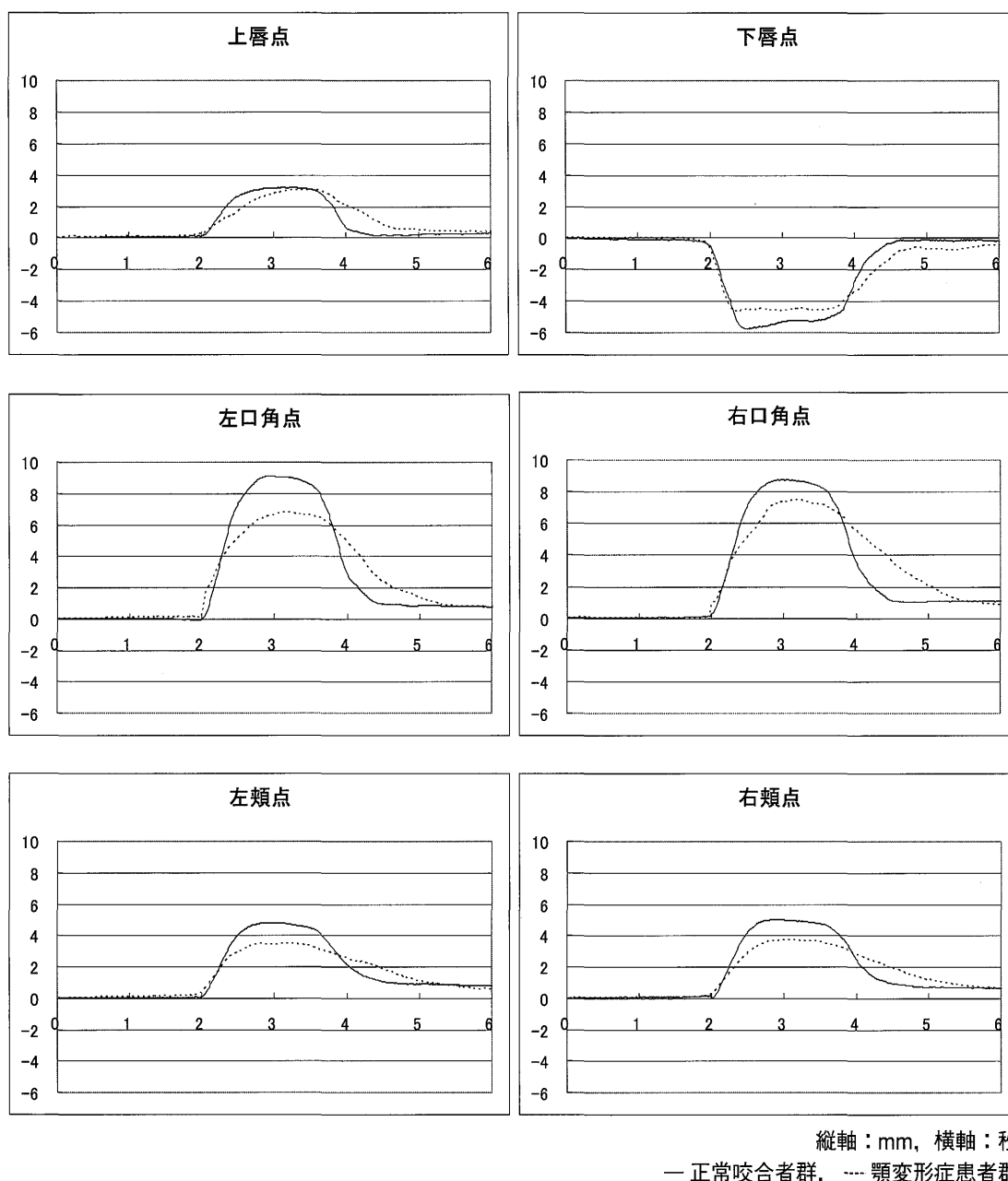


図5 原点-運動計測点三次元距離の変化  
正常咬合者群と顎変形症患者群のスマイルの比較

左右方向への動きに違いがみられ、正常咬合者群では若干左方への動きがみられるだけだが、顎変形症患者群では右方へ大きく動いていた。また、Y座標である下方への動きが顎変形症患者群で有意に大きく、Z座標の後方への動きは有意に小さかった。左右口角点については、スマイル動作開始0.5秒後から2.0秒後において、X座標である左右の動きと、Y座標である上方へ動きが顎変形症患者群で有意に小さな動きを示し、Z座標である後方の動きが有意に大きな動きを示した。左右頬点については、スマイル動作開始1.0秒後、1.5秒後のX座標である左右方向への動きと、0.5秒後から1.5秒後におけるY座標の上方動き、および

0.5秒後から1.5秒後におけるZ座標の前方への動きが顎変形症患者群で有意に小さかった。原点からの距離変化と同様に、三次元座標値の変化においても口角点、頬点の動きは両群ともに左右差を認めなかった。

正常咬合者群と顎変形症患者群について、スマイル開始から最大スマイル時までの時間を4分割し、口唇周囲の各運動計測点(上唇点、左右口角点、下唇点)の経時的な動きの変化を顔面皮膚上に設定した三次元直交座標系を用いて、三次元的に可視化し図7に表示した。正常咬合者群を実線、顎変形症患者群を点線で表示した。矢上面において左右口角点はほぼ同じ動きを示したため、左方の計測点のみを表示した。表5

表5 運動計測点の三次元座標値の変化—正常咬合者群と顎変形症患者群の比較—

| スマイル開始からの時間 (秒) | 上唇点              |              |                  |              |                  |              |
|-----------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
|                 | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      |
|                 | X                | X            | Y                | Y            | Z                | Z            |
| 0.5             | 0.37 ± 0.03      | 0.02 ± 0.05  | 2.41 ± 0.12 ***  | 1.24 ± 0.18  | -1.01 ± 0.05     | -1.12 ± 0.07 |
| 1.0             | 0.45 ± 0.05      | -0.15 ± 0.07 | 2.86 ± 0.21      | 2.17 ± 0.26  | -1.27 ± 0.08     | -1.78 ± 0.13 |
| 1.5             | 0.41 ± 0.04      | -0.18 ± 0.07 | 2.81 ± 0.25      | 2.43 ± 0.27  | -1.19 ± 0.16     | -1.81 ± 0.21 |
| 2.0             | 0.17 ± 0.03      | 0.01 ± 0.04  | 0.41 ± 0.12 ***  | 1.56 ± 0.23  | -0.21 ± 0.18 **  | -1.25 ± 0.17 |
| スマイル開始からの時間 (秒) | 下唇点              |              |                  |              |                  |              |
|                 | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      |
|                 | X                | X            | Y                | Y            | Z                | Z            |
| 0.5             | 0.32 ± 0.03 **   | -0.59 ± 0.05 | -0.31 ± 0.13 *** | -2.18 ± 0.25 | -5.74 ± 2.74 *** | -4.13 ± 2.52 |
| 1.0             | 0.31 ± 0.03 ***  | -1.11 ± 0.07 | -0.31 ± 0.19 *** | -1.86 ± 0.21 | -5.33 ± 2.63 *** | -4.33 ± 2.51 |
| 1.5             | 0.26 ± 0.02 ***  | -0.89 ± 0.06 | -0.25 ± 0.17 *** | -1.91 ± 0.19 | -5.21 ± 1.75 **  | -4.31 ± 1.79 |
| 2.0             | 0.15 ± 0.02 ***  | -0.99 ± 0.05 | -0.17 ± 0.12 **  | -1.01 ± 0.13 | -2.75 ± 1.65 *   | -3.31 ± 1.79 |
| スマイル開始からの時間 (秒) | 左口角点             |              |                  |              |                  |              |
|                 | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      |
|                 | X                | X            | Y                | Y            | Z                | Z            |
| 0.5             | 3.91 ± 0.43 ***  | 0.34 ± 0.27  | 5.91 ± 1.25 ***  | 2.63 ± 1.16  | -3.36 ± 1.57 *** | -4.51 ± 1.53 |
| 1.0             | 4.27 ± 1.26 ***  | 0.41 ± 0.39  | 7.35 ± 2.18 ***  | 3.47 ± 2.12  | -4.12 ± 2.06 *** | -5.67 ± 2.11 |
| 1.5             | 4.04 ± 1.29 ***  | 0.51 ± 0.58  | 6.89 ± 2.14 ***  | 3.35 ± 2.1   | -3.99 ± 1.68 *** | -5.64 ± 2.12 |
| 2.0             | 1.34 ± 0.38 **   | 0.52 ± 0.61  | 2.78 ± 1.27      | 2.51 ± 1.89  | -1.01 ± 0.12 *** | -4.17 ± 1.67 |
| スマイル開始からの時間 (秒) | 右口角点             |              |                  |              |                  |              |
|                 | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      |
|                 | X                | X            | Y                | Y            | Z                | Z            |
| 0.5             | -2.98 ± 0.46 *** | -0.87 ± 0.28 | 5.51 ± 1.34 ***  | 2.97 ± 1.84  | -3.48 ± 1.81     | -4.06 ± 1.67 |
| 1.0             | -3.56 ± 1.23 *** | -1.11 ± 0.37 | 6.84 ± 2.37 ***  | 4.26 ± 2.15  | -4.11 ± 2.67 *** | -5.91 ± 2.18 |
| 1.5             | -3.36 ± 1.73 *** | -0.78 ± 0.69 | 6.53 ± 2.19 ***  | 4.17 ± 2.94  | -3.87 ± 1.49 *** | -5.83 ± 2.42 |
| 2.0             | -1.62 ± 0.42 *** | -0.62 ± 0.48 | 2.82 ± 1.79      | 3.35 ± 1.94  | -1.61 ± 0.22 *** | -4.35 ± 1.84 |
| スマイル開始からの時間 (秒) | 左頬点              |              |                  |              |                  |              |
|                 | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      |
|                 | X                | X            | Y                | Y            | Z                | Z            |
| 0.5             | 2.33 ± 0.47      | 2.03 ± 0.49  | 2.35 ± 0.57 **   | 1.77 ± 0.68  | 2.36 ± 0.51 ***  | 1.23 ± 0.53  |
| 1.0             | 2.83 ± 0.54 **   | 2.21 ± 0.62  | 2.65 ± 0.84 **   | 2.06 ± 0.87  | 2.72 ± 0.62 **   | 1.65 ± 0.77  |
| 1.5             | 2.65 ± 0.53 **   | 2.05 ± 0.61  | 2.56 ± 0.73 **   | 1.92 ± 0.61  | 2.38 ± 0.57      | 1.72 ± 0.64  |
| 2.0             | 1.07 ± 0.18      | 1.50 ± 0.17  | 1.18 ± 0.87      | 1.51 ± 0.94  | 1.43 ± 0.55      | 1.52 ± 0.67  |
| スマイル開始からの時間 (秒) | 右頬点              |              |                  |              |                  |              |
|                 | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      | 正常咬合者群           | 顎変形症患者群      |
|                 | X                | X            | Y                | Y            | Z                | Z            |
| 0.5             | -2.32 ± 0.41     | -2.14 ± 0.54 | 2.52 ± 0.58 **   | 1.58 ± 0.52  | 2.53 ± 0.61 ***  | 1.21 ± 0.41  |
| 1.0             | -2.84 ± 0.72 *   | -2.48 ± 0.72 | 2.98 ± 1.12 **   | 2.07 ± 0.87  | 2.81 ± 0.74 ***  | 1.61 ± 0.69  |
| 1.5             | -2.75 ± 0.57 *   | -2.44 ± 0.71 | 2.82 ± 0.76 **   | 2.01 ± 0.81  | 2.62 ± 0.64 **   | 1.73 ± 0.67  |
| 2.0             | -1.46 ± 0.19     | -1.79 ± 0.17 | 1.43 ± 0.72      | 1.55 ± 0.76  | 1.45 ± 0.57      | 1.54 ± 0.66  |

±以下は標準偏差

平均の差：\* p&lt;0.05, \*\* p&lt;0.01, \*\*\* p&lt;0.001 で有意差

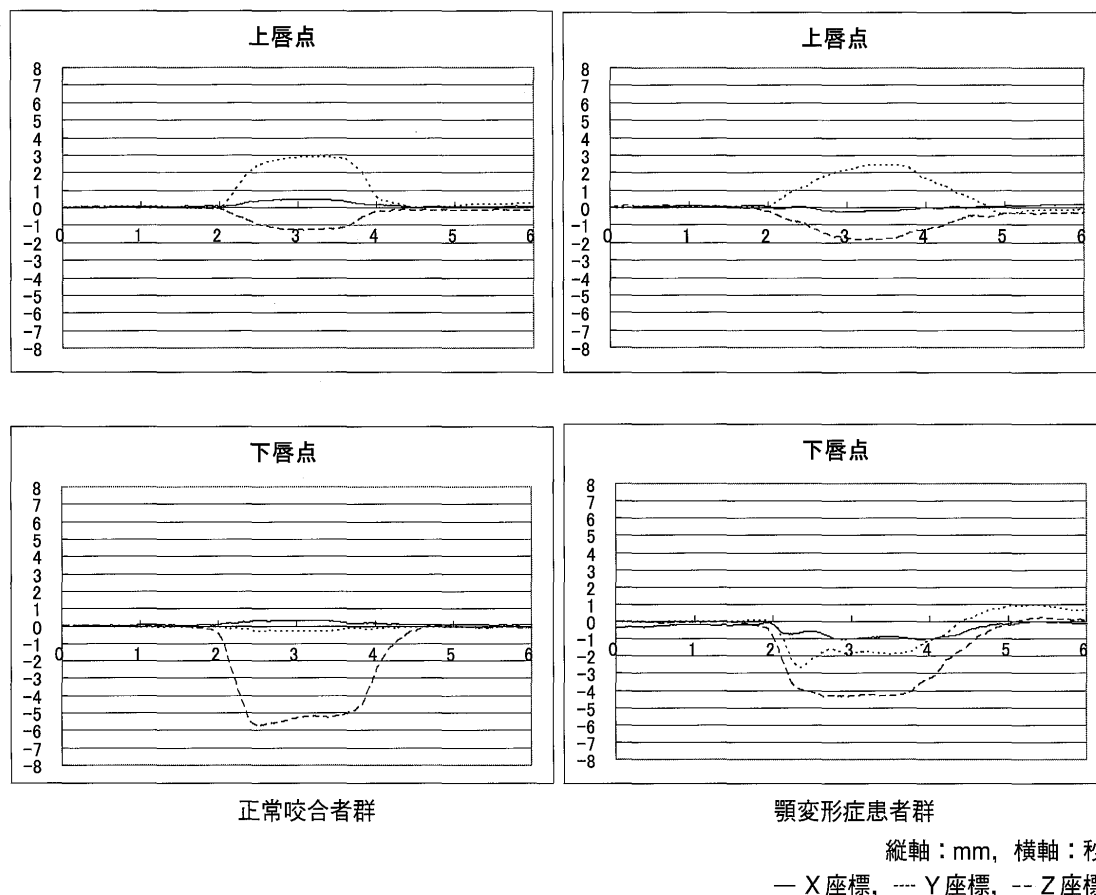


図 6-1 運動計測点三次元座標値の変化  
正常咬合者群と顎変形症患者群のスマイルの比較

にも示されるように、スマイル開始から最大スマイル時までの顎変形症患者群の上唇点、左右口角点の変化は、正常咬合者群と比較して上方および側方への動きが少なく、最大スマイル時では正常咬合者群の左右口角点は上唇点とほぼ水平な位置まで移動しているが、顎変形症患者群では左右口角点が上唇点より下方に位置し、口角の上方移動が小さいことが示唆された。また後方への動きは大きいことが表示された。一方、下唇点の変化は顎変形症患者群で下方へ大きく動いていることが表示され、右方への偏位も観察できた。

## 考 察

### I. スマイル動作の三次元解析システムについて

近年の高速度ビデオシステム、運動解析ソフトの進歩により、被験者に侵襲を与えない動画像の記録、簡便な分析を行うことが可能になり<sup>20-22)</sup>、頭部の固定や導線による拘束をせずに、生体に非接触で軟組織上のマーカーの動きを三次元的に計測することができるようになった。マーカーには反射テープを貼付してまぶしさを防ぐため特別な照明を用いたりする方法<sup>10,11)</sup>があるが、本システムでは顔面への貼付のしやすさ、患

者への負担などを考慮し、両面接着テープが付いた白色球状の発泡スチロール製の直径約2mmのマーカーを使用した。また撮影ごとに、マーカーを顔面皮膚上の同一か所に正確に貼付することは困難であるとされているが<sup>23)</sup>、マーカー貼付を同一術者が行うことにより、データ採取時における計測点の再現性の向上を図った。

三次元計測装置 WINalyze の測定精度は、距離計測における標準誤差が0.022～0.030 mm、マーカー移動の追従性における誤差が0.32～0.44 mm/secであり<sup>16)</sup>、スマイル動作の口唇の動きで想定される範囲（約10.0 mm/sec以下）において十分に小さく、表情計測装置としての精度は十分に高いと思われる。一方、計測中の頭部の動きの補正は、被験者の顔面上に設定した基準点を基に三次元座標系を構築し、運動計測データをその座標系に変換することで行った。補正のために設定する基準点については、表情変化に影響をされない点、設定が容易で再現性が高い点でなければならない<sup>24)</sup>。Coulson<sup>25)</sup>らは、顔面動作中に顔面皮膚上において完全に動かないポイントはないため、顔面運動の種類によって最も皮膚の動きが少ないか所に基準点を設けるべきであると述べている。われわれは基準点

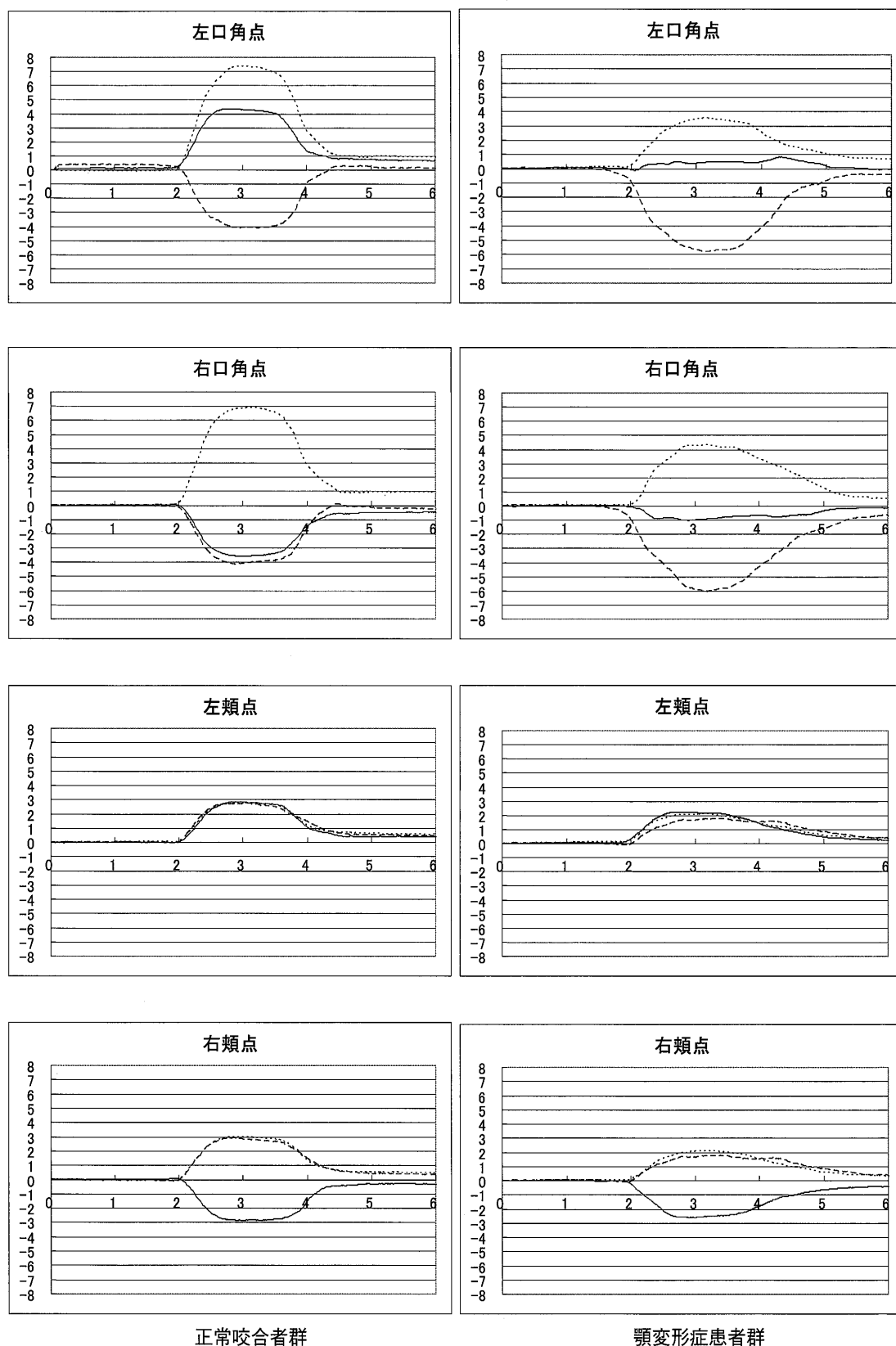


図6-2 運動計測点三次元座標値の変化  
正常咬合者群と顎変形症患者群のスマイルの比較

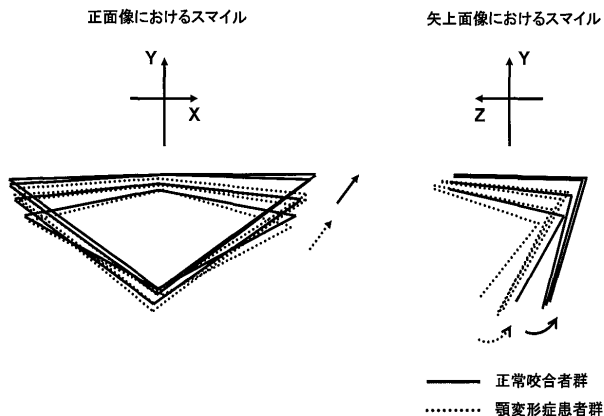


図7 正面像および矢上面像におけるスマイル動作の表示  
正常咬合者群と顎変形症患者群のスマイルの比較

として額と鼻部に計8個の候補点を設定した。計測方法の誤差あるいは安定性の検証は、ターゲットとする点の三次元的座標の変動を直接算出することが理想的である。しかしながら空間の三次元絶対座標を知ることは難しいため、今回われわれは候補点で構成される種々の3角形の辺の長さの変動が最も小さいものを基準三角形として選び、それを用いて基準座標系を設定することとした。その結果、採用した三角形5-6-8の3辺の平均距離の変動係数は0.7%，実測値で1.4 mm程度であり、それら3辺で構成される三角形の重心の変動は幾何学的にはそれより小さくなるものと推察される。被験者の頭部を装置で固定して被験運動を行わせる方法では基準点を設定する必要はないが、拘束のない自然なスマイル動作の計測法として不都合であるだけでなく、完全な頭部固定は難しい。本法はそれに比べ導線による拘束物もないため、被験者はリラックスした状態で表情表出を行うことができ、また術者側においても解析の際にモニター上で被験者の顔貌全体の視覚的印象を得ることができる。以上のことより、本法は操作も簡便で精度が高いと推察され、スマイル計測システムとして妥当であると考えられる。

## II. スマイル動作について

スマイルの研究において一番理想とされる被験運動は、各個人が表出する自然なスマイルであるが、自然なスマイルは感情を伴う動きであり、その表出、再現性、定量評価の面で困難な点が多い。これまでの研究では自然なスマイルに似た動きが代用されており、中でも写真撮影時のスマイルを模倣した「cheese」の「chee」を発音させる動きは日本人になじみが深く、よく用いられる動作の一つとしてあげられる。Johnston<sup>23)</sup>らは動きが規定されたスマイル動作は、自然なスマイルより再現性が高いと報告しており、Zachrisson<sup>26)</sup>は理想的な口唇と歯の位置関係を表すス

マイル動作として本研究の予備実験と同様に「cheese」と言わせる方法を報告している。しかし、Ackerman<sup>27)</sup>らは口唇の動きについて、「cheese」の「chee」と言わせる発語動作とスマイル動作とは著しい違いがあるとしているが、その検証では静止画における形態について評価したものであり、スマイルの動きについて解析したものではない。そこで今回、スマイル研究における被験運動の検証として、われわれの定義する自然なスマイルと「chee」発音時のスマイルの動きについてその経時的な変化を時間軸に分けて評価したところ、両スマイル動作の間で口角点、頬点については、再現性および運動パターンにおいてほぼ同様の動きを示したが、上唇点、下唇点については再現性、運動パターン、ともに異なっていた。

Ekman & Friesen<sup>17)</sup>は、表情の動きを「Facial Action Coding System (以下、FACS)」で客観的に記述している。「FACS」は解剖学的な知見を基に表情の動きを44個の顔面動作単位(以下、AU)に分類したもので、これによるとスマイルはAU6(頬を持ち上げる)・AU12(口角を上げる)・AU25(上下口唇を離す)の組み合わせで構成されているということである。本研究において、自然なスマイルにおける上唇点、下唇点は上下方向へ大きく動いていたが、「chee」スマイルの上唇点、下唇点の動きはそれに比較して小さかった。母音は口の形態により[i]は平口母音に分類され<sup>28)</sup>、「chee」スマイルの母音は[i]音であって口唇を外側に動かす動作が主体となる。「chee」を発音するために口角の外側への動きが必要になり、それを助けるために上下方向の動きが少なくなったものと推察された。また、「chee」スマイルは発音が動きを規定するためか、自然なスマイルより再現性は高いがグラフのパターンに小さな山型がみられるなど、なかなか波形を示す自然なスマイルとは異なる独特の波形を示した。

運動計測点のスマイル動作開始順序は、上記のように「chee」スマイルは口唇を外側に動かす動作が主体となるため、まず口角、次に口角を引き上げると同時に頬が盛り上がり口角の動きに連動して下唇、上唇が引き伸ばされる。一方自然なスマイルは口角、上唇、頬がほぼ同時に動き、最後に下唇が動くなど「chee」スマイルと比較して頬点、上唇点は動作開始時期が有意に早かった。

以上のことより、自然なスマイルと「chee」スマイルの動作は似てはいるものの、再現性、運動パターン、計測点の動作開始順序について異なる結果となった。また、今回の検証結果において、両スマイルの30回繰り返しの再現実性は必ずしも高いとはいえなかったが、川本ら<sup>29)</sup>は同一被験者の行った顔面表情筋の運動に関して、3回程度同じ運動をさせて平均をと

顎変形症患者

正常咬合者

上段：口腔内写真，中段：平静時，下段：最大スマイル時

図8 顎変形症患者と正常咬合者のスマイル

ればその再現性に関して問題がないと報告している。したがって本研究では、十分なトレーニングをした上でわれわれの定義した自然なスマイルを3回計測し、その平均を計測値として用いた。

### Ⅲ. 正常咬合者群と顎変形症患者群のスマイル動作の比較

#### 1. 原点-運動計測点間距離の変化

理想的なスマイルとは上下口唇が離れ、左右口角、左右頬が引き上がった状態とされている<sup>17-19)</sup>。一方、外科的手術を必要とする顎変形症患者のスマイルでは、左右口角、および下唇の動きに偏りがみられ、正常咬合者と比較してその移動量も少ないと報告されている<sup>19,24)</sup>。われわれの研究でも、原点からの三次元距離変化はいずれの運動計測点においても顎変形症患者群が有意に小さな動きを示し、その差は上下唇点、頬点では最大で約1mm、口角点においては最大で約2mmであった。しかしながらスマイル開始2.0秒後、すなわちスマイルから平常状態に戻る過程では頬点を除く全運動計測点において顎変形症患者群の方が有意に大きな動きを示し、正常咬合者群と比較して対称性のない緩やかな波形を示した(図5)。下顎が前方位にあるなどの骨格形態の異常は、口唇周囲にかかる口唇圧を変化させ口唇の動きに過度な緊張を与え、また骨格形態の異常を軟組織の動きで補償しようとする働

きから、口唇周囲軟組織を平静に戻す動きに遅れを生じさせるなど、正常咬合者とは違った動きを示したのではないかと推察された。

#### 2. 運動計測点三次元座標値の変化

正常咬合者群および顎変形症患者群における各運動計測点の動く方向は同一で、スマイルによって上唇点は後上方へ、下唇点は後下方へ、口角点は外後上方へ、頬点は外前上方へ動いた。しかしながら顎変形症患者群では上唇点、左右口角点、左右頬点の上方への動きは有意に小さく、横方向の動きも左右口角点、左右頬点で有意に小さいなど、総じて各部の上方および側方への動きが制限されていることが推察された。これは原点からの距離変化の所見と共通していた。一方、下唇点については顎変形症患者群で下方および横方向の動きが有意に大きいなど、正常咬合者群とは異なる不規則な山形の運動波形を示した(図6-1)。外科的治療を要する矯正患者では、下顎骨の形態異常が口唇周囲軟組織の状態に影響を及ぼす<sup>19,24)</sup>といわれており、顎変形症群では下顎骨の前下方への突出によって、下唇は後方への動きが小さくなるとともに上下左右方向への大きな動きが強いられ、これを補うために上唇、口角、頬は上方および側方への動きが制限されることが推察される。また、口角においても後方への特異的な動きが発生する。これらの動きの特徴が現れた顎変形症患者と正常咬合者のスマイルの1例を図8に示

す。顎変形症患者のスマイルは、下唇が下方への大きな動きを強いられるため、正常咬合者と比較して下顎歯列の露出が大きくなっているが、この動きを補うために上唇、口角、頬は上方および側方への動きが制限され、正常咬合者と比較して小さな動きとなっていることが表示された。すなわち形態異常（下顎骨の前突）は対応する部位（下唇）の軟組織に正常咬合者とは異なる動きを生じさせるだけでなく、隣接の部位にも連動した異常な動きをもたらす、これは自然なスマイルを表出する妨げとなることが示唆された。

両群におけるスマイル動作の三次元的表示では、スマイル動作における各計測点の連動した動きはもちろんのこと、両群の顔面軟組織上における平均的な計測点の位置関係も知ることができた。今回、顔面皮膚上に設定した三次元直交座標系の基準平面は、左右額点と鼻尖点を結んでできる平面であり、X軸は顔面の水平面に対して平行であるが、Y軸は顔面の水平面に対して垂直でなく若干傾斜する。よって、図7における両群のスマイル動作を真横からみた表示は、時計回りに少し回転した表示が現実の顔面形態の位置と一致することになる。今後、三次元座標系の設定を顔面の水平面、矢上面、前頭面に一致した座標軸となるよう改良していきたい。

骨格的な下顎の側方偏位が認められる場合には、硬組織の偏位を軟組織の動きで補償するとの報告がある<sup>16)</sup>。本研究では口角点、頬点いずれも、スマイル開始から終了まで有意な左右差はみられなかった。本研究の被験者とした顎変形症患者の中には下顎側方偏位を伴った患者も含まれていたが、統計的比較ができるように症例数を増やし、下顎側方偏位とスマイルの左右対称性について今後さらに検討する必要があると思われる。

## 結 論

高速度カメラ3台を使用し、運動計測点のXYZ方向での微細かつ経時的な変化を三次元的に定量評価するスマイル動作計測システムを開発した。そしてこのシステムを用いて正常咬合者と下顎前突を呈する顎変形症患者を対象に、自然スマイルにおける上唇、下唇、口角、頬に設定した計測点の動きを計測し、骨格的な顎顔面形態の異常がスマイル動作にどのような影響を与えるのかについて検討した。結果は以下の通りであった。

1. 導入した計測方法は比較的高い測定精度をもっており、頭部固定を行わない自由なスマイルの測定システムとして適当であると思われる。

2. スマイルを模倣した「chee」スマイルとわれわれの定義した自然なスマイルとでは、計測部位の動作開始順序や運動波形が異なっていた。

3. 正常咬合者群に比べて顎変形症患者群のスマイルは、下唇が下方、側方に大きく動き、後方への動きが小さかった。そのほかの上唇、口角、頬部の動きは総じて小さく、特に上方および側方への動きが制限されていた。

4. 顎変形症患者群では、スマイル動作のあと平常時に戻る動作が遅れる傾向がみられた。

5. 以上の結果より、スマイル動作において、顎変形症患者では下顎の前方位に伴い、正常咬合者とは異なる口唇や頬の異常な動きがみられ、形態異常が自然なスマイルを表出する妨げとなっていることが考えられた。

6. また、顔面皮膚上に設定した三次元直交座標系を用いて、正常咬合者群と顎変形症患者群のスマイル開始から最大スマイル時までの経時的な変化を三次元的に可視化し、表示することを試みた。これにより、スマイル運動における顔面軟組織の三次元的動態、および計測点の平均的な位置関係を評価することができた。

稿を終えるにあたり、本研究に際してご指導とご高閲を賜りました芝浦工業大学工学部情報工学科青木義満助教授に深甚なる感謝の意を表します。また被験者としてご協力いただいた九州大学大学院歯学府の大学院および医局の先生方をはじめ本研究の遂行にご協力いただきました方々全員に厚く御礼申し上げます。

本論文の要旨の一部は、第63回日本矯正歯科学会大会（2004年11月、福岡）において発表した。

なお、本研究の一部は、平成14、15年度文部科学省科学研究費（基盤研究B-2、研究課題番号13557185）の補助によるものである。

## 文 献

- 1) Epker BN, Stella JP, Fish LC, et al. Dentofacial deformities: integrated orthodontic and surgical correction. St Louis: CV Mosby, 1998: 29–33.
- 2) Alcalde RE, Jinno T, Orsini MG, et al. Soft tissue cephalometric norms in Japanese adults. Am J Orthod Detofacial Orthop 2000; 118: 84–89.
- 3) 北村 敦, 本橋信義, 平石 有, 他. 下顎枝矢状分割術を施行した下顎前突症患者の正貌軟組織変化. 日顎変形誌 2003; 13: 74–82.
- 4) 小澤哲夫, 杉田俊明, 中村光士郎, 柳原尚明. 軌跡撮影による顔面表情運動の客観的評価法. Facial N Res Jpn 1991; 11: 195–198.
- 5) 斉藤 啓, 磯野道夫, 田中久哉, 他. 発声時の口唇周囲の運動の評価. Facial N Res Jpn 1998; 18: 77–79.
- 6) 斉藤 啓, 磯野道夫, 川本 亮, 他. 自然な発声による口唇周囲の動きの定量的評価. Facial N Res Jpn

- 連絡先：石川 貴子  
九州大学大学院歯学府口腔保健推進学講座  
〒812-8582 福岡市東区馬出3-1-1  
E-mail: takako-k@dent.kyushu-u.ac.jp