骨格性下顎前突症患者における口唇周囲軟組織の 三次元運動解析

松 原 大 樹 寺 田 員 人* 中 村 康 雄**
林 豊 彦** 森 嶋 繁 生*** 齋 藤 功

Three-Dimensional Motion Analysis of Lip Movement in Patients with Mandibular Prognathism

TAIKI MATSUBARA, KAZUTO TERADA*, YASUO NAKAMURA**,
TOYOHICO HAYASHI**, SHIGEO MORISHIMA*** and ISAO SAITO

Abstract

Aim: The purpose of this study was to introduce our newly developed three-dimensional system of analyzing the lip movement synchronized with mandibular movement and to analyze the relationships between lip movement and mandibular movement before and after orthognathic surgery in skeletal Class III patients using this system.

Materials and Methods: The subjects comprised 8 skeletal Class III patients who had undergone bilateral sagittal splitting mandibular ramus osteotomy and 8 persons with individual normal occlusion. Materials consisted of three-dimensional movement values obtained by a motion capture system equipped with two infrared CCD cameras, and three-dimensional static values measured by the three-dimensional optical laser scanner. Four landmarks affixed on the soft tissue around the mouth and four other landmarks to estimate the lower incisor movement were measured for 30 seconds during habitual mouth opening and closing movement. The relationships between lip movement and the lower incisor movement were compared between the pre- and post-opera-

tion and the normal groups.

Results: The system developed in this study enabled three-dimensional measurement of lip and lower incisor movements during habitual mouth opening and closing at the same time. The landmarks on the lower lip, the right and left angles of the mouth and the chin point moved further in the pre-operation group than those in the post-operation and normal groups during habitual mouth opening and closing. Three-dimensional movement values after surgery showed a tendency to be close to those in the normal group.

Conclusion: The present system may be useful for accurately measuring the movement of the lip synchronized with the lower incisor movement. Post-operative smooth movement of the soft tissue around the mouth suggests that tension of the muscles between the hard and soft tissues observed before surgery might decrease after surgery.

Key words: Motion capture system (モーションキャプチャシステム), Soft tissue around the mouth (口唇周囲軟組織), skeletal Class III patients (骨格性下顎前突症患者)

[Received Mar. 15, 2007]

新潟大学大学院医歯学総合研究科歯科矯正学分野 (主任: 齋藤 功教授)

* 日本歯科大学新潟生命歯学部歯科矯正学講座 (主任: 寺田員人教授)

** 新潟大学工学部福祉生体工学講座 (主任: 林 豊彦教授)

*** 早稲田大学理工学部応用物理学科 (主任: 森嶋繁生教授)

Division of Orthodontics, Department of Oral Biological Science, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences (Chief: Prof. Isao SAITO)

* *Department of Orthodontics, The Nippon Dental University, School of Life Dentistry at Niigata* (Chief: Prof. Kazuto TERADA)

** *Department of Biocybernetics, Faculty of Engineering, Niigata University* (Chief: Prof. Toyohiko HAYASHI)

*** *Department of Applied Physics, School of Science and Engineering, Waseda University* (Chief: Prof. Shigeo MORISHIMA)

緒 言

顎変形症に対する外科的矯正治療の目標は、顔貌の改善、咬合の安定および硬組織と軟組織との調和の確立にある。正常咬合という状態が最も咀嚼効率の高い状態であるとするれば、それを取り巻く口腔周囲筋もまた最も効率の高い状態にあり、かつ硬組織と調和のとれた状態が最善である¹⁾。したがって、外科的矯正治療の目標設定にあたっては、硬組織と口腔周囲軟組織のバランスが重視される。外科的矯正治療前後における軟組織の形態変化の分析については過去において多数の報告^{2,3)}がある。しかし、これらのほとんどはセファログラムあるいは顔面写真を用いて静的な状態で計測を行った研究である。骨格性下顎前突症患者における軟組織の特徴として、下顎骨の前下方への過成長による、上唇高径の短小化、下唇高径の過大、オトガイ部の緊張感ならびに、下唇からオトガイ部にかけての非薄化が挙げられる²⁻⁴⁾。一方、顎矯正手術により、上唇の後退と上唇高径の増大、口唇の下方移動、下唇高径の減少と翻転度の増加、バランスの取れたオトガイ唇溝などの改善を認めたことが北村ら²⁾、本吉ら⁴⁾、土屋ら⁵⁾、によって報告されている。また、三次元計測装置を用いた顎矯正手術後の口唇、オトガイ部の変化について、稲見ら³⁾、比地岡ら⁶⁾、は下顎の後方移動術によって正中オトガイ部を中心とした変化が上唇から subnasale まで生じていたと報告している。これらの報告から、骨格性下顎前突症患者では、硬組織の形態異常が軟組織の形態にも影響を及ぼして軟組織に歪みを生じているが、顎矯正手術によりその歪みが開放され、それによって機能時の軟組織の動きにも変化が生じてくると推察される。そのため、口唇周囲筋の機能を評価するには軟組織の動きに関する研究も必要である。

近年、モーションキャプチャシステムの進歩により、動きを精度よくかつ効率よく三次元分析できるようになり、歩行動作⁷⁾や肩関節の動き⁸⁾、投球動作⁹⁾などの全身運動の解析に用いられるようになった。また、MRI を用いて表面に設置したマーカーと骨格の位置関係を計測して骨格の動きを推測した研究が報告された¹⁰⁾。顔面領域では1982年以降、顎運動、調音運動あるいは咀嚼運動時の軟組織の動き¹¹⁻¹⁵⁾、表情表出時の軟組織の動き¹⁶⁻¹⁸⁾、顔面神経麻痺症例における口腔周囲軟組織の動き¹⁹⁻²¹⁾を扱った報告がなされている。さらに、奥平ら²²⁾は、顎変形症患者を対象とした症例報告で、発音時における口唇周囲軟組織の運動軌跡が手術後に Angle I 級健康成人のパターンに近似した動きとなることを報告した。しかしながら、これらの研究はいずれも下顎の動きを含めた口唇の動きを計測したもので、下顎の動きと口唇周囲軟組織の動きとの関連性、あるいは口唇単独の動きについて調べた報告はない。

そこで今回の研究では、高速度カメラを用いて下顎切歯

運動と口唇周囲軟組織とを同時計測する三次元口唇周囲軟組織運動解析システムの開発、および骨格性下顎前突症患者の顎矯正手術前後における習慣性開閉口運動時の口唇周囲軟組織の動きを三次元分析し、口唇周囲軟組織の動きと下顎運動との関連性について、健康咬合者と下顎前突症患者の動きの違い、手術前後での動きの違いを比較、分析することを目的とした。

研究方法

1. 研究対象と計測時期

対象は、新潟大学医歯学総合病院矯正歯科診療室に来院し、骨格性下顎前突症と診断され、下顎枝矢状分割術を施行した患者のうち、本研究の趣旨を理解し、承諾の得られた8名(男性5名、女性3名、手術時年齢16歳2か月～24歳7か月:平均年齢19歳7か月。手術による下顎骨後方移動量 4 mm～12 mm:平均移動量 6.5 mm)と、顎口腔機能に異常の認められない個性健康咬合者8名(男性6名、女性2名、平均年齢26歳1か月)とし、前者を実験群、後者を対照群とした。

後述する2台の赤外線 MCU (Motion Capture Unit) カメラからなる三次元モーションキャプチャシステムを用いた三次元動作計測および非接触型レーザー三次元計測システムを用いた三次元静的計測を行った。対照群では1回、実験群については手術直前(手術2～3日前)および術後6か月以上経過後(平均7.3か月後)の2回計測を行った。

2. 計測点の設定

被験者に同一平面にない直径8 mmの赤外線反射マーカー(以下、マーカーと記す)4個を貼付した眼鏡を装着させ、眼鏡が動揺しないように鼻根部に親水性付加重合型ビニルシリコン印象材(エグザファイン GC社製)を圧接し、眼鏡バンドにて固定した(Fig. 1a)。この眼鏡に貼付したマーカーを用いて、動作計測時の計測誤差の算出、頭部動揺の補正、動作計測値と静的計測値とのデータの統合を行った。

軟組織上の左右口角、左右口角の中線上と下赤唇部下縁との交点、オトガイ点に両面テープにて直径4 mmのマーカーを貼付し計測点とした(それぞれ左右口角点、下唇点、オトガイ点と記す)。また、下顎切歯運動を解析するために、下顎左右側犬歯にブラケットを装着し、各ブラケットから口腔外へワイヤーを2本延長し、口腔外で枝分かれさせたワイヤーの先端に2個ずつ貼付した直径8 mmのマーカーを設置した(Fig. 1a, b)。

3. 動作計測

1) 三次元動作計測システム(モーションキャプチャシステム)の概要

動作計測のための三次元計測システムは、2台の赤外線 MCU カメラからなる光学式モーションキャプチャ装置

Fig. 1 Markers used for the measurement of movement values.

- a. Whole image
- b. Markers around the mouth
arrows: 8 mm in diameter
arrows-heads: 4 mm in diameter
- c. Markers set to glasses
Numbers were arbitrarily given for the distance measurement shown in Table 1.

(ProReflex, QUALISYS 社製 Sweden), 計測装置を制御するコンピュータ (windows XP, Dell Precision 360), 計測および編集用ソフトウェア (Qualisys Track Manager, QUALISYS 社製 Sweden) から構成されている。

2) 記録方法

左右ほぼ対称に約 30 度開いた 2 台の MCU カメラを被験者の前方約 150cm に配置し、キャリブレーションを行った計測空間に被験者を座らせた。計測値は、頭部を固定せずに FH 平面を床面とほぼ平行にし、メトロノーム (40 回/分) を聞かせた状態で、習慣性開閉口運動を 30 秒間行わせ、その動作を毎秒 100 フレームで自動追跡させたときの各マーカーの座標値とした。(Fig. 2)

4. 静的計測

下顎切歯と口腔外へ延長したマーカーの位置関係を測定するため、術前術後を重ね合わせるための座標系の設定をするために静的計測を行った。静的計測のためのシステムは、非接触型三次元計測装置 (VIVID910, コニカミノルタ社製), 顔面の非接触型三次元計測を行うために製作した頭部固定装置, 計測装置を制御するコンピュータ (windows NT, HEWLETT PACKARD 社製), および三次元解析ソフト (3D-Rugle, メディックエンジニアリング社

Fig. 2 Motion capture system consisting of 2 infrared CCD cameras.

製) から構成されている。

被験者にヘッドキャップをかぶらせ、トリキオン (正中矢状面上で前額の頭髪のはえぎわの点) が判断できるように髪をヘッドキャップに入れた状態で椅子に座らせた。非接触型三次元計測装置とイヤールッドとの距離が約 120cm となるように左右の耳孔に頭部固定装置用イヤールッドを

Fig. 3 Three-dimensional measurement system using optical laser scanner.

Fig. 4 The determination procedure of the three-dimensional coordinate system.

軽く挿入した状態で計測装置を直視させ、できるだけFH平面が床面と平行になるように頭位を設定した。また、口角鉤にて口腔内が広範囲に見える状態にし、下顎切歯が容易に判断できるように口腔内を補助ライトで照らした。座標系を設定するために使用する中心に穴のあいた直径50mmの発泡スチロール球をイヤード先端にはめ込み計測を行った (Fig. 3)。

5. 座標系の設定

本研究で用いた座標系は、静的計測時に頭部を固定した左右イヤードの先端についた直径50mm球の中心を結んだ線をX軸、トリキオンを通りX軸と直交する線をZ軸とし、X軸とZ軸の両方に直交する線をY軸とした (Fig. 4)。

6. 解析項目

1) 誤差の算出

動作中の計測点の位置を毎秒100フレームで自動追跡し、その値を抽出した。抽出速度が口唇の動きに適しているか、また計測精度が本研究の目的に適しているかを判断するために、不変の長さを持つ計測点間距離について、動作計測中における変化を調べ、動作計測中の計測精度を評価した。すなわち、すべての被験者について、動作計測中の眼鏡上に設置したマーカー間距離を測定し、その間の変動係数を動作中の計測誤差と定義し、検討した。

2) 各計測点 (下顎切歯点, 下唇点, 左右口角点, オトガイ点) の動作解析

頭部の動きと一体になっている眼鏡上のマーカー4個の動きから頭部動揺を補正した後、以下のことを行った。

(1) 各計測点の動きの算出

静的計測によるワイヤーの先端に設置した4個のマーカーと下顎切歯との位置関係を三次元計測ソフトを用いて算出した。この位置関係が開閉口運動時も同じであると仮定し、ワイヤーの先端に設置した4個のマーカーの動作か

ら下顎切歯点の動きを算出した。また、開閉口運動に伴う下顎切歯点の動きに同期した下唇点, 左右口角点, オトガイ点の動きを算出した。

(2) 閉口時から開口時までの各計測点の最大移動量の算出

実験群における術前と術後, および対照群について, 習慣性開閉口運動時の閉口時から開口時における各計測点の最大移動量をそれぞれ算出した。左右口角点については, 平均を算出して口角点の計測値とした。また, 一元配置分散分析, t検定を用いて, 実験群の術前と術後, 術前と対照群, 術後と対照群それぞれについて差の検定を行った。

(3) 下顎切歯の移動量に対する各計測点の移動量について

習慣性開閉口運動における下顎切歯の動作と軟組織の動作との関連性を解析するために, 閉口時を基準とした下顎切歯の移動量に同期した各計測点の移動量を算出し, 回帰直線 $y = a + bx$ (y : 各計測点の移動量; x : 切歯点の移動量) を求めた。算出するにあたっては, 左右の口角点を一括して行い, これらの係数 b について検討した。また, 実験群の術前と術後, 術前と対照群, 術後と対照群それぞれについて統計学的に検討した。

結 果

1. 計測システムの精度

動作計測時において2点間が不変である眼鏡上のマーカー間距離を測定して計測誤差を算出した。この際, 計測誤差を計測するためのマーカーは全部で4個あることから (Fig. 1c), 6箇所の距離を全被験者について計測し, 平均値, 標準偏差, 変動係数をそれぞれ算出した (Table 1)。その結果, 計測誤差とした変動係数は0.13%~0.39%であった。距離が長い③-④間距離では平均値が145.2mm, 標準偏差が0.19mm, 変動係数は0.13%であった。距離が

Table 1 Measurement errors

	*①-②	①-③	①-④	②-③	②-④	③-④
Mean distance (mm)	33.15	90.92	90.12	80.36	80.92	145.24
SD (mm)	0.13	0.21	0.19	0.20	0.22	0.19
Coefficient of variation (%)	0.39	0.24	0.21	0.24	0.27	0.13

*: The figures show the numbers on the markers set to glasses (See Fig. 1c).

Fig. 5 Movements of measurement points during habitual mouth opening and closing movement.

短い①-②間距離では平均値が33.2mm, 標準偏差が0.13mm, 変動係数は0.39%であった。

2. 各計測点の動作解析

1) 各計測点の動きの算出

習慣性開閉口運動の4点のマーカーの動きから求めた下顎切歯点の動きならびに軟組織上の各計測点の動きの結果の一例をFig. 5に示した。

被験運動は30秒間で8から9回行われていた。そのうち、下顎切歯点の動きで判断した開口量が一定であること、また、ほぼ同じ大きさと同じリズムで安定していることを判断基準として用い、7回から9回の動作時の座標値を計測値として用いた。

各軟組織上に設定した計測点は、下顎切歯点の動きと同期した動きと形を示していた。下唇点、オトガイ点の動きは、下顎切歯点の動きの約80%~120%の大きさで同じような変化を示した。また、左右口角点は、下顎切歯点の動きの約33%~50%の大きさで、下顎切歯点と同じような変化を示した。

2) 各計測点の閉口時から開口時までの最大移動量

各計測点について、実験群の術前と術後、ならびに対照群、それぞれの場合における習慣性開閉口運動時における閉口時から開口時までの最大移動量(以下最大移動量)を算出した結果をTable 2に示した。

実験群の術前における各計測点の最大移動量は、下唇点(平均36.7mm)、オトガイ点(平均34.9mm)、下顎切歯点(平均31.9mm)、口角点(平均16.2mm)の順に大きかった。

実験群の術後、対照群については下唇点(術後:平均33.0mm, 対照群:平均33.1mm)、下顎切歯点(術後:平均31.1mm, 対照群:平均32.3mm)、オトガイ点(術後:平均30.4mm, 対照群:平均29.7mm)、口角点(術後:平均13.6mm, 対照群:平均12.7mm)の順に大きかった。

下顎切歯点における最大移動量は、実験群における術前と術後、対照群について、一元配置分散分析を行ったが、有意差を認めなかった。

これに対して下唇点とオトガイ点における最大移動量

Table 2 The amount of the habitual movement of each measurement point from mouth opening to closing

	Pre-operation	Post-operation	Normal
Lower incisor (mm)	31.9 ± 4.86	31.1 ± 2.95	32.3 ± 7.13
Lower lip (mm)	36.7 ± 4.57	33.0 ± 2.88	33.1 ± 6.11
Angles of mouth (mm)	16.2 ± 2.23	13.6 ± 1.67	12.7 ± 1.78
Chin point (mm)	34.9 ± 4.98	30.4 ± 3.11	29.7 ± 5.49

*: p < 0.01

Fig. 6 The relations between the amount of movement of each marker and that of lower incisor movement before surgery.

は、共に実験群の術前の値が術後の値に比較して大きく危険率1%未満で有意差を認めた。また、実験群の術前の値は、対照群の値よりも大きく、危険率1%未満で有意差を認めたが、実験群の術後と対照群との間では有意差を認めなかった。

さらに、口角点における最大移動量は、実験群の術前と術後、対照群の順で大きく、それぞれ危険率1%で有意差を認めた。

したがって、実験群では術前における軟組織上の各計測点の最大移動量は、術後小さくなり、対照群に近づく傾向

Fig. 7 The relations between the amount of movement of each marker and that of lower incisor movement after surgery.

を示した。

3) 下顎切歯点の移動量を基準としたときの軟組織上の各計測点の移動量

各被験者において、習慣性開閉口運動時における閉口時を基準とした下顎切歯点の移動量と同時期の軟組織上の各計測点の移動量との関係について調べた。実験群の術前、術後で得られた結果の一例を Fig. 6 と Fig. 7 に示した。

実験群の術前と術後、対照群について、閉口時を基準とした下顎切歯点の移動量に対して同期した各計測点の移動量を算出し、回帰直線 $y = a + bx$ (y : 各計測点の移動量; x : 切歯点の移動量) を求めた。その結果、回帰係数 a はほぼ 0 となった。また、回帰係数 b (軟組織上の計測点移動量/切歯点移動量) を算出し、回帰の有意性を検定したところ、危険率 1% 未満ですべての回帰直線において有意差を認め、それらの決定係数が 0.97 ~ 0.99 の適合度を示した (Fig. 8 ~ 10)。

回帰係数 b について、口唇点、口角点、オトガイ点とも実験群の術前と術後と比較すると、術前より術後の方が小さく危険率 5% 未満で有意差を認めた。

また、実験群の術前と対照群を比較すると、術前より対照群の方が小さく危険率 5% 未満で有意差を認めたが、実験群の術後と対照群の間には有意差を認めなかった。

考 察

1. 三次元計測システムについて

1) 動作中の計測誤差について

動作中の物体の位置を計測する場合、一般に静止している物体を計測する場合より誤差が大きくなりやすい。例えば、写真において動いている物体を撮影する際、シャッター速度が遅い場合には像が大きく変形する。これと同様に、計測カメラに入光し判定する精度が計測の精度に影響することになる。また、判定する物体の動きを計測する際のマーカーが大きい場合には、それだけ計測器の判定が良くなるが、精度、あるいは細かい部分の動きが計測できないという問題を有する。すなわち、動作計測の精度は、計測機器の精度、マーカーの大きさ、物体の動きの速さに影響される。

物体の運動速度とカメラのコマ数の組み合わせについ

Fig. 8 The ratio of the movement of the lower lip to that of the lower incisor.

Fig. 9 The ratio of the movement of the angles of mouth to that of the lower incisor.

て、村岡ら²³⁾は毎秒 90 フレームで撮影すれば人体の動きの速さの範囲では測定値への影響はないと報告している。そこで、本研究では毎秒 100 フレームに設定して自動追跡させた。その結果、各計測点の運動がほとんど滑らかな軌跡を描くことから追跡速度は適切であると判断された。

また、計測機器の精度、マーカーの大きさと物体の速さ、相互に関連する計測誤差について検討するために、全被験者で、2 点間が不変である眼鏡上に設定した直径 8 mm のマーカー間距離を動作計測中すべての時間で計測し、変動係数を算出した。過去の報告^{18, 22, 23)}では、静止時の計測誤差を測定しているものがほとんどであるが、その計測誤差を三次元に換算すると 30mm の長さの計測に対して約 0.53mm 程度であった。本研究で計測誤差とした変動係数は 0.13 ~ 0.39% であり、33.2mm の変化を計測した

ときの誤差は 0.12mm となった。これらの結果から本研究で用いた計測システムは計測精度が高く、臨床应用到有効であることが示された。

2) 下顎切歯点の運動計測について

開閉口運動時において、口唇の動きと下顎切歯の動きを同時にかつ直接計測することができないため、下顎切歯の運動を間接的に計測する必要がある。これまでにも、下顎切歯から口腔外へワイヤーを 1 本延ばし、切歯運動を同時計測した報告がある¹¹⁾が、この方法では、ワイヤー自身のたわみとワイヤーが口唇に触れた時に生じるワイヤーの変形を判断することができない。また、ワイヤーに設定したマーカーと下顎切歯の正確な位置関係を測定していないため正確な切歯運動が測定されていない可能性が高い。そこで本研究では、切歯運動を正確に計測するために、下顎左

Fig. 10 The ratio of the movement of the chin point to that of the lower incisor.

右側犬歯からワイヤーを口腔外へ2本延ばし、口腔外で枝分かれさせ、そのワイヤーを開閉口運動の妨げにならないように屈曲し、その先に4個のマーカを任意に設定した。次に、動作計測とは別に静的計測を行い、4個のマーカと下顎切歯との位置関係を正確に測定した。この際、3個のマーカから下顎切歯点の位置を算出できることになる。また、同一平面にない4個のマーカを設定したことで、計測中のワイヤーの変形の有無を判断でき、ワイヤーが口唇に触れたときの変形やワイヤー自身のたわみも判定することが可能で、4個のマーカの位置関係を確認して下顎切歯の計測値を算出することができた。したがって、これまでの方法と比較して精度の高い下顎切歯運動を計測することができたと考えられる。

3) 動作計測値と静的計測値との統合と頭部動揺の補正について

開閉口運動時における下顎切歯の動きを直接計測できないため、口腔外に4個のマーカを設定し、これらのマーカと下顎切歯との位置関係について静的計測を行った。また、動作計測値と静的計測値とを統合するにあたっては、再現性が高く、各計測で位置変化が少ない基準点を用いることが重要なことから、本研究では、眼鏡上の4点のマーカを使用して動作計測値と静的計測値との統合を行った。

習慣性開閉口運動時などの動作時の頭部動揺の補正として、ヘッドギアを装着する方法^{14,15)}、マーカを皮膚上に直接貼付する方法¹⁸⁾が報告されている。本研究では、眼鏡に貼付した4個のマーカの動きから頭部動揺を計測した。今回用いた方法では、習慣性開閉口運動時に眼鏡が動く危険性があるため、各被験者の鼻根部に個別のエグザファインを圧接した状態で、眼鏡を鼻根部に密接させ、さらに眼鏡バンドをきつく閉めた状態で動作計測と静的計測

を行った。マーカを貼付した眼鏡を利用したことにより、新たなマーカを増やすことなく、効率よく計測できたと考えられる。

2. 開閉口運動時の計測点移動量について

1) 計測条件について

開閉口運動時の口唇周囲軟組織の動きを計測する際には、顔面筋の不随意運動による変化を排除するため、習慣性の運動を繰り返して行わせ、運動により生じる各計測点の規則性のある安定した計測値を得ることが必要である。斎藤ら¹⁷⁾は、発声時、一定間隔で録音されたテープに合わせて繰り返し発声させることで規則性のある安定した動きが得られたと報告している。本研究ではこの報告を参考にし、一定のリズムのメトロノームを聞かせた状態で習慣性開閉口運動を繰り返し行わせることとした。その結果、リズム、開口量、波形などが被験者内でほぼ一定となり、安定した運動が得られたと考えられる。

2) 開閉口運動時における下顎切歯移動量

骨格性下顎前突症患者では、下顎切歯部で計測した術後の最大開口量が術前と比べて有意に減少する²⁴⁾と報告されている。その原因として、下顎骨の形態変化、下顎切歯点の後退による見かけ上の運動距離の減少、手術による下顎枝前縁部における癒着形成、顎間固定による開口制限などが挙げられている²⁴⁻²⁷⁾。そのため、顎矯正手術後の顎運動を計測する場合、術後に生じる一過性の開口制限を考慮して計測時期を設定する必要がある。過去における報告で、顎間固定除去後12か月では顎関節の可動範囲が回復し、最大開口量に有意差がない²⁴⁻²⁷⁾とされている。本研究では、測定の時期が術後平均7.3か月後と比較的早い時期に計測を行ったが、一過性の開口制限の主な原因とされる顎間固定期間は本研究の全被験者において10日前後であり、過去の報告²⁴⁻²⁷⁾で用いられている症例の顎間固定期間に比

べて短かった。また、術前、術後、対照群について、下顎切歯点での習慣性開閉口運動の平均移動量を比較した結果に有意差を認めなかったことから、一過性の開口制限は改善された時期であったと考えられる。

さらに、術後の軟組織変化の評価を行った本吉ら⁴⁾は2か月、土屋ら³⁾、比地岡ら⁵⁾、稲見ら⁶⁾は3か月、北村ら²⁾は5か月、山崎ら²⁸⁾は9か月経過後の資料を使用していることから、皮膚の炎症や腫脹に関する影響も少なかったものと考えられる。

3) 開閉口運動時における軟組織の移動について

本研究において、習慣性開閉口運動時における軟組織上の計測点の最大移動量について、実験群の術前の値が、実験群の術後、および対照群に比較して大きかった。これは、顎矯正手術により顎態が変化することで軟組織の動きに差が生じたものと推察される。そこで、下顎切歯の移動量を基準として軟組織の移動量の割合を算出し、下顎骨の運動と軟組織上の運動との関連性について調べた。その結果、下顎切歯点での開口量が一定であるにもかかわらず、術前における下顎切歯点の移動量に対する下唇点、口角点、オトガイ点の移動量の割合（各計測点の移動量／下顎切歯点の移動量）は術後に小さくなり、対照群に近づく傾向にあったことから、軟組織の運動様相の変化は下顎骨形態の影響を受けていることが示唆された。

顎変形症患者では多くの場合、術前軟組織に緊張感が認められる。顎矯正手術前、下唇からオトガイ部にかけて不均一の厚みであった軟組織が、術後に適度の陥凹を持つことが報告されている⁴⁾。また、顎矯正手術前に伸展、緊張していた軟組織が、顎矯正手術による硬組織の移動に伴い、軟組織が弛緩して厚みが増加したという報告もある²⁸⁾。本研究においても、顎矯正手術に伴う同様な変化が起こり、術前、硬組織との不調和によりに緊張していた軟組織が、術後には下顎骨が後退することで口唇周囲軟組織の緊張が改善したと考えられる。以上のことから、対照群においては軟組織に顕著な緊張感を認めた被験者がいなかったことから、顎矯正手術により軟組織が緊張の緩和したことで口唇周囲の動きにも影響を与えたと推測される。

本研究では、習慣性開閉口運動時における下顎切歯部の動きと口唇周囲軟組織の動きとの関連性について言及した。しかし、口唇周囲軟組織の機能をより正確に評価するためには、開閉口運動のみならず、発音時や表情表出時の動きも評価する必要がある。今後は、このような観点から、外科的矯正治療に伴う機能の向上を総合的に評価していく必要があると考える。

結 語

今回の研究では、下顎切歯運動と口唇周囲軟組織とを同時計測する三次元口唇周囲軟組織運動解析システムの開

発、および骨格性下顎前突症患者の顎矯正手術前後における習慣性開閉口運動時の口唇周囲軟組織の動きを三次元分析し、口唇周囲軟組織の動きと下顎運動との関連性を調べることを目的として分析、検討を行い、以下のことが示された。

1) 下顎切歯点の運動と口唇周囲軟組織の運動を解析するために、新たに光学式モーションキャプチャシステムを応用し、システムを開発した。

2) システムの精度の検証結果と臨床応用への妥当性が認められた。

3) 下顎切歯運動と口唇周囲軟組織の動きを高精度で計測できるシステムと認められた。

4) 骨格性下顎前突症患者の術前後へ応用し健常者と比較したところ、術前における習慣性開閉口運動時の口唇周囲軟組織の動きは術後に減少し、対照者の値に近づいた。これは、術後、口唇周囲軟組織の緊張感が軽減したことで軟組織の動きに余裕ができ、硬組織に追従した軟組織の移動が減少したと示唆された。

稿を終えるに臨み、本研究の遂行に際しご協力を頂いた新潟大学工学部の藤田直氏に感謝の意を表すとともに、本研究のご理解、ご協力くださいました教員の方々に感謝いたします。

文 献

- 1) 与五沢文夫：矯正による軟組織側貌の変化について，*Monog. Clin. Orthod.*, 7: 1-22, 1985.
- 2) 北村 敦，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*, 13: 74-82, 2003.
- 3) 稲見佳大，他：骨格性下顎前突症例における術前後の顔貌変化，*甲北信越矯歯誌*, 9: 43-50, 2001.
- 4) 本吉 満，他：外科的矯正治療に伴う顔面軟組織の三次元的変化一側貌頭部 X 線規格写真上の硬組織移動量との関係について，*日矯歯誌*, 50: 271-281, 1991.
- 5) 土屋雅文，他：骨格性下顎前突症に対する外科的矯正治療前後の軟組織側貌変化について一手術前後の変化を中心として，*日矯歯誌*, 42: 168-177, 1983.
- 6) 比地岡浩志：下顎前突症患者の下顎後方移動術前後における顔面形態の三次元的分析，*日顎変形誌*, 8: 157-169, 1998.
- 7) Y. Ehara, et al.: Comparison of the performance of 3D camera systems, *Gait & Posture*, 3: 166-169, 1995.
- 8) 中村康雄，他：モーションキャプチャ・システムを用いた上肢運動推定，*日本臨床バイオメカニクス学会誌*, 26: 175-180, 2005.
- 9) 中村康雄，他：投球ホームとボール・リリース時の肩関節負荷，*バイオメカニクス学会編*, *バイオメカニズム*, 17: 123-131, 2004.
- 10) 小島 潔，他：モーションキャプチャを用いた内部骨格の動作再現，*信学技法*, 102: 19-24, 2003.
- 11) Jemt, T., et al.: The relative movements of the chin and mandible during chewing. *J Oral Rehabil*, 9: 253-258, 1982.

- 12) 山縣徹哉, 他: モーションキャプチャーによる調音運動の三次元解析—健常有歯顎者について—, 補綴誌, 43: 54-66, 1999.
- 13) 斉藤 啓, 他: 自然発声による口唇周囲の動きの定量的評価, Facial Nerve Research, 19: 61-63, 1999.
- 14) 平野恭吉: 有歯顎者における咀嚼時口唇の動き, 補綴誌, 39: 1142-1153, 1995.
- 15) 熊谷 宏, 他: 咀嚼時におけるオトガイ部皮膚表面の動き, 補綴誌, 39: 1132-1141, 1995.
- 16) 坂口 究, 他: 咀嚼時における口唇軟組織の動きに関する空間的構造分析—主成分分析の応用—, 顎機能誌, 5: 101-111, 1999.
- 17) 斉藤 啓, 他: 顔面表情運動の三次元的解析, Facial Nerve Research, 20: 74-76, 2000.
- 18) Trotman, C-A., et al.: Sensitivity of a Method for the Analysis of Facial Mobility. Cleft Palate-Craniofacial Journal, 35: 132-141, 1998.
- 19) Weeden, J.C., et al.: Three Dimensional Analysis of Facial Movement in Normal Adults. Angle Orthod, 71: 32-140, 2001.
- 20) 斉藤 啓, 他: 発声時の口唇周囲の運動の評価, Facial Nerve Research, 18: 77-79, 1998.
- 21) 斉藤 啓, 他: 赤外線カメラを用いた頬部, 口輪部の動きの評価, Facial Nerve Research, 22: 92-95, 2002.
- 22) 奥平真理子, 他: 口唇運動の三次元解析システム, 日顎変形誌, 15: 114-125, 2005.
- 23) 村岡史麻, 他: 高速度カメラを用いた口唇の発語運動解析, 日矯歯誌, 65: 87-100, 2006.
- 24) 柴田考典: 下顎前突症患者における顎運動機能に関する研究, 歯科学報, 81: 241-265, 1981.
- 25) 安光千昭: 下顎枝矢状分割法を施行した下顎前突症患者の術後評価—顎運動機能について—, 九州歯誌, 44: 959-975, 1990.
- 26) 野口信宏, 他: 下顎枝矢状分割術前後における最大開閉口距離, 咬筋活動性, 顎関節雑音の評価, 日顎変形誌, 8: 222-228, 1998.
- 27) 韭澤 敏: 骨格性下顎前突症患者の外科的矯正治療前後における下顎運動の分析, 補綴誌, 39: 47-57, 1995.
- 28) 山崎幸一, 他: 顔面非対称を伴う骨格性下顎前突症患者における顎矯正手術後の硬組織変化に対する軟組織変化の三次元分析, 日顎変形誌, 15: 87-94, 2005.