

FR3 を適用した III 級不正咬合者の
筋活動の変化と姿勢の関連性

奥羽大学大学院歯学研究科
顎顔面口腔矯正学専攻

三村 千春
(指導教員：福井 和徳)

Relationship between Posture and Muscle Activity Changes
in Class III Malocclusion with FR3

Department of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics,
Ohu University, Graduate School of Dentistry

Chiharu Mimura
(Director: Kazunori Fukui)

Abstract

The aim of this study was to understand changes in posture associated with orthodontic treatment in patients with malocclusion. Therefore, we examined the relationship between activity of the sternocleidomastoid muscles(SCM) and trapezius muscles(Trp) and posture control before and after tegmentum amelioration of Class III malocclusion with Function Regulator 3(FR3).

The subjects were as follows: 10 patients with Class III malocclusion(5boys and 5 girls; mean age, 9.4 ± 1.5 years), Class III group; and 10 patients with Class I malocclusion (6boys and 4girls; mean age, 9.5 ± 0.7 years), control group.

For both groups, lateral cephalogram findings were recorded at the initial examination. A motion capture system was used to analyze standing position and flexion of the head (anteflexion and retroflexion), lateral bending (left and right), and turning of the head(left and right), and electromyography was used to analyze the bilateral SCM and upper and lower Trp in the Class III group (T0 group: before anterior crossbite treatment; T1 group: after anterior crossbite treatment) and the control group.

A comparison of the results of the analysis of head movement and muscle activity using a motion capture system revealed that in comparison with the control group, activity of the SCM significantly decreased in the T0 group ($p<0.01$, $p<0.05$), and activity of the Trp significantly increased ($p<0.01$, $p<0.05$). Significant decrease in flexion of the head (anteflexion and retroflexion), lateral bending (left and right), and turning of the head(left and right) movement was noted ($p<0.05$). In comparison with

the T0 group, the T1 group experienced significant increases in the SCM($p < 0.05$), significant decreases in the upper Trp($p < 0.01$, $p < 0.05$), and significant increases in flexion of the head (anteflexion and retroflexion), lateral bending (left and right), and turning of the head(left and right) movement ($p < 0.01$, $p < 0.05$).

Because SCM activity and tension and release in the upper Trp were observed during head movements, and a change to a vertical direction standing position and increase in head movement were observed in the T1 group, the results of the present study suggest the utility of FR3.

Key words: Function Regulator, posture, motion capture, electromyography

抄 録

本研究は、矯正治療における不正咬合者の姿勢変化を知ることを目的としている。そこで、Ⅲ級不正咬合者に Function Regulator 3（以下 FR3）での治療の被蓋改善前後における胸鎖乳突筋、僧帽筋の筋活動変動と姿勢制御の関連性を検討した。

被験者は、Ⅲ級不正咬合者 10 名（男児 5 名，女児 5 名；平均年齢 9.4 ± 1.5 歳）をⅢ級群，Ⅰ級不正咬合者 10 名（男児 6 名，女児 4 名；平均年齢 9.5 ± 0.7 歳）を Control 群とした。

Ⅲ級群，Control 群いずれも初回検査時で，側面頭部 X 線規格写真を採得した。Ⅲ級群（T0 群：被蓋改善前，T1 群：被蓋改善後）と Control 群の，左右側胸鎖乳突筋，左右側僧帽筋上下部の筋電図，直立二足姿勢，頭部屈曲（前後），側屈（左右），回転（左右）運動をモーションキャプチャシステムによりそれぞれ採得し，分析した。

筋活動量とモーションキャプチャシステムによる頭部移動量を比較した結果，Control 群に比べて T0 群は胸鎖乳突筋活動量の有意な減少（ $p < 0.01$ ， $p < 0.05$ ），僧帽筋上部筋活動量の有意な増加（ $p < 0.01$ ， $p < 0.05$ ），頭部屈曲（前後），側屈（左右），回転（左右）運動において頭部移動量の有意な減少が認められた（ $p < 0.05$ ）。T1 群は T0 群に比べて胸鎖乳突筋活動量の有意な増加（ $p < 0.05$ ），僧帽筋上部筋活動量の有意な減少（ $p < 0.01$ ， $p < 0.05$ ），頭部屈曲（前後），側屈（左右），回転（左右）運動において頭部移動量の有意な増加（ $p < 0.01$ ， $p < 0.05$ ）が認められた。

本研究の結果から，T1 群は頭部運動時における胸鎖乳突筋の活性化と僧帽筋上部の緊張緩和がみられ，直立二足姿勢での直立方向への変化と頭部移動量の増加を示し，FR3 の有用性が示唆された。

緒 言

アングルⅢ級の前歯部反対咬合は咬合を動的にとらえ、下顎の動きを加味すると、根本的に異なる要因によって生じる骨格性Ⅲ級と機能性Ⅲ級の2つに区分される。咬合位においてアングルⅢ級を示す前歯部反対咬合症例では、骨格型のインバランスによる骨格性Ⅲ級の反対咬合なのか、下顎の前方変位による機能性Ⅲ級の反対咬合なのかを見極める必要がある¹⁾。

機能性Ⅲ級不正咬合は前歯部反対咬合や咬合干渉により、機能的に下顎が前方に誘導され、正常な顎骨成長が妨げられる。さらに上下顎骨の前後的な不調和や前歯部の不適切な歯軸により生じると言われ²⁾、それに伴い口腔周囲筋、軟組織、呼吸および嚥下機能に異常をきたす³⁾。

成長発育期の前歯部反対咬合は、より重度な骨格の変形を惹起する可能性がある²⁾。このような成長発育期における機能性Ⅲ級不正咬合者に対して、当科では、機能的顎矯正装置である Function Regulator 3 (以下 FR3) を用いて治療を行っている。FR3 は口腔周囲筋の機能を利用して、被蓋改善、上顎骨の前方成長誘導および下顎骨の成長抑制を促す効果がある^{4~6)}。

近年、不正咬合者と下顎の前後的な位置および異常姿勢との関連性についての研究が行われており、Solow⁷⁾、Lippold⁸⁾ は、下顎骨や頭頸部姿勢と咀嚼筋、頸筋群、僧帽筋は密接に関連していることを報告している。Budelman⁹⁾ は、成長発育期における頭頸部姿勢と頸椎運動可動域の関連性について、頸椎、胸椎、腰椎など身体の軸となる部位の骨成長が促され、そして収束していくこの時期に姿勢の健全な成長を促すことは重要であると報告している。

これまで，D'Attilioら¹⁰⁾は骨格系のⅠ級，Ⅱ級，およびⅢ級の被験者で側面頭部X線規格写真を用いて比較し，頸部姿勢との関連性について調査しているが，3次元的な頭頸部姿勢の定量化された評価と矯正治療との関連性については山野辺ら¹¹⁾のⅡ級不正咬合者での報告のみで，Ⅲ級不正咬合者での報告はない。

本研究は，FR3を用いた機能性Ⅲ級不正咬合者に対する矯正歯科治療での顎位変化と頭頸部姿勢をモーションキャプチャシステムで評価し，頭部運動時の胸鎖乳突筋，僧帽筋上下部における筋活動量を比較検討し，早期に開始した矯正歯科治療と姿勢制御の関連性を明らかにすることを目的とした。

対象ならびに方法

1. 対象

被験者は，奥羽大学歯学部附属病院矯正歯科に来科し，診断を受けた患者のうち機能性の前歯部反対咬合を伴うⅢ級不正咬合者で，FR3を適用した10名（男児5名，女児5名；平均年齢 9.4 ± 1.5 歳，以下Ⅲ級群）と，Ⅰ級不正咬合者10名（男児6名，女児4名；平均年齢 9.5 ± 0.7 歳，以下Control群）を対象とした。Ⅲ級不正咬合者を被蓋改善前（以下T0群）とFR3を適用した被蓋改善後（以下T1群：平均 8.6 ± 2.3 か月の装置使用）とした。被験者のRohrer index（標準値：115以上145未満）とBMI（標準値：18.5以上25.0未満以下）を算出し，標準体型であることを確認した（表1）。

被験者の選択基準は以下に示す。

[Ⅲ級群およびControl群の共通基準]

1; 歯列弓形態が左右対称で上下顎正中線の偏位が2.0mm

以内である。

- 2 ; 第三大臼歯を除いて欠損歯（先天性も含む）が認められない。
- 3 ; 過度の修復物が認められない。
- 4 ; 矯正歯科治療の経験がない。
- 5 ; 顎関節症の既往がない。
- 6 ; 叢生が軽度である。（ALD ; $-4.0\text{mm} \sim 0\text{mm}$ ）
- 7 ; 思春期成長ピーク前である。（手根骨から骨成熟度を判断した）
- 8 ; 頭頸部の形態的異常がない。
- 9 ; 外傷の既往がない。

[III 級群の基準]

- 1 ; 第一大臼歯の近遠心的関係が左右側ともアングル III 級である。
- 2 ; Overbite が 0mm 以上，overjet が 0mm 未満である。
- 3 ; FR3 の 1 日平均使用時間が 10 時間以上である。
- 4 ; 構成咬合が採得可能である。

[Control 群の基準]

- 1 ; 第一大臼歯の近遠心的関係が左右側ともアングル I 級である。
- 2 ; Overbite および overjet が共に $+2.0 \sim +4.0\text{mm}$ である。
- 3 ; 前方，後方頭位および円背がない。

以上の条件を全て満たす者を選択した。

なお，本研究は奥羽大学倫理審査委員会の承認（承認番号第 87 号）を得ており，被験者および保護者に十分な説明を行った上で同意を得て実施した。

2. 側面頭部 X 線規格写真分析

Control 群， T0 群および T1 群における骨格系， 歯系の評価には， 初回検査時と被蓋改善後の側面頭部 X 線規格写真を用いた。 各項目について分析を 3 回行い， 分析値として平均値を使用した。 分析は全て 1 名の術者が行った。

分析項目は以下の通りとした（図 1）。

- 1 ; \angle SNA
- 2 ; \angle SNB
- 3 ; \angle ANB
- 4 ; \angle Facial angle
- 5 ; \angle FH plane to mandibular plane
- 6 ; A to McNamara's line
- 7 ; Pogonion to McNamara's line
- 8 ; \angle U1 to FH plane
- 9 ; \angle L1 to mandibular plane
- 10 ; Overbite
- 11 ; Overjet
- 12 ; \angle OPT/CVT

3. FR3 装置の製作

1) 作製方法

FR3 作製の構成咬合は Projet（Great Lakes Orthodontics 社製， New York， USA）を用い， 垂直的には上下顎中切歯間距離を 2.0 mm， 下顎を強制しない程度に可能な限り後退させた咬合位で採得した。

Projet を介して上下顎の口腔模型を構成咬合器（FKO-Splint Fixator， Dentaurem 社製， Germany）へ附着し， FR3 の作製を行った。 装置の設計は McNamara ら¹²⁾の方法に準拠した。

2) 被験者への指示内容

FR3の使用は当科の装置使用プロトコールに従って実施した。要約すると、使用開始から1~2か月間は、1日平均使用時間を1~2時間とし、その後、徐々に使用時間を増加させ、常時（食事時、スポーツ時および歯磨時以外）を使用することを指示した。日中は、装置装着中に口唇閉鎖訓練と音読を指示した。FR3による治療の一例を図2に示す（図2）。

4. 測定方法

1) 筋活動分析

筋電図の記録には、Polygraph system（日本光電工業社製、Tokyo, Japan）を用いた。被験者は直立し、フランクフルト平面と床面が平行になるように頭部を安定させた。電極を貼付する部位の皮膚はアルコール綿で清拭し、完全に乾燥させた。筋活動の導出には被験者の衛生面を配慮し、ディスポーザブルタイプの二極式表面電極（Disposable 4-Disk Electrodes, Natus社製、USA）を用いた。

電極貼付部位はTeccoら¹³⁾の報告に従い、胸鎖乳突筋、僧帽筋上下部で、電極間距離を22mmと規定し、左右の筋の走行に沿って貼付した。不関電極は前額部に設定した。

筋電図の記録は全て1名の術者が行った。

2) 頭部移動量

Natural Point社製の光学式3次元モーションキャプチャシステム（図3）であるOptiTrackを用いて全身の動きを測定した。本研究では、頭頸部の動きに着目し、測定の対象とした。

計測は全て1名の術者が行った。

3) 実験手順

被験者には、山野辺ら¹¹⁾の報告に従い、後踵を床面に接しさせ、つま先を左右同じ程度に開かせ、上肢は体側に自然に接した楽な直立二足姿勢をとるよう口頭で指示した。直立二足姿勢の平衡保持においては、2.0m前方の目の高さに鏡を立てかけ水平注視をとらせ、深呼吸を2回させて撮影した。撮影は音や視刺激が少なく快適な室温(24℃)の部屋において全て午前中に行った。

頭部運動可動域と各種運動時の筋活動パターンをControl群、T0群およびT1群でそれぞれ調べるために、頭部・体幹の基準点を求めた上で、直立二足姿勢、頭部屈曲(前後)、側屈(左右)および回転(左右)運動¹⁴⁾をそれぞれ7回連続して行わせ、この行程をそれぞれ2回繰り返した。被験者1名の測定時間はモーションキャプチャシステムで約15分、その後十分な休憩をとった後に筋電図の記録で約20分を要した。

4) データ解析

光学式3次元モーションキャプチャシステムは、パーソナルコンピュータ(Precision 370, DELL社製, USA)と、それに接続された8台の赤外線カメラ、計測用の専用ソフトウェア(ARENA, Natural Point社製, USA)から構成される。計測時には赤外線カメラは計測対象を取り囲むように配置された。被験者は所定の位置に反射マーカーが取り付けられたフルボディースーツを着用して動作を行った。フルボディースーツはマーカー以外の反射を出来るだけ防ぐために黒地のものを用いた。マーカーは、頭頂、背部、腰部、左右上肢、左右下肢へキャプチャソ

フトの指示に従って取り付けた。動作は計測システムによって記録され、BVH形式ファイルとして出力した。

各赤外線カメラの位置と計測空間の座標系を決定するために一定距離で設定した立方格子状のキャリブレーションフレームを運動解析ルームの中央に設置し、各赤外線カメラで撮影した映像からキャリブレーションを行うことで、運動解析ルームの床中央が計測空間の原点と設定された。その後、原点を人体モデルの仙骨部に設定し、体軸のずれがないことを確認後に原点を第7頸椎部に移動し、基準姿勢となる関節可動域を撮影した。この際の補正した頭頂部マーカの移動距離を頭部移動量とし、頭頸部姿勢評価を行った。基準軸は前方向を正としたx軸、左方向を正としたy軸、上方向を正としたz軸とした。

各測定部位の3次元座標データは、データステーションに収集された。次にワークステーション上で34点のマーカにラベリングを行い、各マーカの3次元的位置を再現した。データ解析はソフトウェア(ARENA, Natural Point社製, USA)、およびパーソナルコンピュータ(Precision 370, DELL社製, USA)を使用した。

直立二足姿勢データは、頭部が安定する600フレーム付近から1200フレーム(120フレーム/秒)付近までとし、基準となる関節可動域の運動で補正した頭部移動量と頭部運動データを直立二足姿勢、頭部屈曲(前後)、側屈(左右)、回転(左右)運動でそれぞれ7回ずつ計2回における最大値および最小値を記録し、各測定部位のマーカについてx軸、y軸、z軸方向における平均移動距離を算出した。

筋活動は筋電計を用いて左右2筋3部位を同時誘導し、高域遮断フィルター3kHz、時定数0.01秒で導出、記録し

た。

各筋電図は増幅後，データ収録・解析システム（Powerlab, ADInstruments 社製，Australia）を用いてサンプリング周波数 2kHz で A/D 変換し，パーソナルコンピュータ（PC-VC5005D, NEC 社製，Japan）へ取り込み，付属の波形解析ソフト（Chart v5.0 for Windows）を用いて頭部運動時の筋活動量（RMS 値）の解析を行った。

5. 統計学的分析

統計学的検索には，統計解析ソフトウェア（SPSS 19.0J, IBM 社製，JAPAN）を使用した。

計測時年齢，側面頭部 X 線規格写真分析，筋活動量，および頭部移動量の群間比較には，Mann-Whitney U-test, T0 および T1 の群内比較には Wilcoxon signed-rank test を用い，有意水準は 5%以下とした。

結 果

1. 側面頭部 X 線規格写真分析

1) 初回検査時

T0 群の Control 群に対する比較では，T0 群が骨格系で $\angle ANB$ が $-1.2 \pm 2.2^\circ$ と有意に小さく ($P < 0.01$)， $\angle SNB$ が $80.3 \pm 2.9^\circ$ ， $\angle Facial\ angle$ が $88.0 \pm 2.9^\circ$ ，Pogonion to McNamara's line が $-1.8 \pm 3.4\text{mm}$ と有意に大きかった ($p < 0.01$)。歯系では T0 群で $\angle U1\ to\ FH\ plane$ が $108.0 \pm 3.7^\circ$ ，overjet が $-2.3 \pm 2.2\text{mm}$ と有意に小さかった ($p < 0.05$ ， $p < 0.01$) (表 2)。

2) 被蓋改善後

T1 群の T0 群に対する比較では，T1 群が骨格系で $\angle ANB$ が $1.4 \pm 1.4^\circ$ と有意に大きく ($P < 0.01$)， $\angle SNB$ が

78.4±1.5°, ∠ Facial angle が 86.1±1.9°, Pogonion to McNamara's line が -4.1±2.7mm と有意に小さかった (p<0.05, p<0.01)。歯系では T1 群で ∠ U1 to FH plane が 116.5±3.3°, overjet が 2.0±0.9mm と有意に大きかった (p<0.01) (表 2)。

2. 筋活動分析

1) 筋活動量について (図 4)

胸鎖乳突筋の活動量は、T0 群が直立二足姿勢で 2.3±1.4μV, 屈曲(前後)運動で 36.5±2.2μV, 側屈(左右)運動で 41.1±2.5μV, Control 群は直立二足姿勢で 4.8±2.7μV, 屈曲(前後)運動で 95.6±6.4μV, 側屈(左右)運動で 131.4±6.9μV となり, 回転(左右)運動以外のすべての運動で T0 群が有意に小さい値を示し (p<0.01, p<0.05), T1 群では直立二足姿勢で 3.8±1.7μV, 屈曲(前後)運動で 73.8±5.7μV, 側屈(左右)運動で 114.9±7.7μV となり, 回転(左右)運動以外のすべての運動で T0 群より有意に大きな値を示した (p<0.05)。

僧帽筋上部の活動量は T0 群が直立二足姿勢で 11.7±11.5μV, 屈曲(前後)運動で 120.9±7.8μV, 側屈(左右)運動で 201.1±8.1μV, 回転(左右)運動で 99.7±3.7μV, Control 群は直立二足姿勢で 4.1±2.6μV, 屈曲(前後)運動で 52.6±1.8μV, 側屈(左右)運動で 109.5±13.4μV, 回転(左右)運動で 61.0±1.4μV となり, すべての運動で T0 群が有意に大きな値を示し (p<0.01, p<0.05), T1 群では直立二足姿勢で 2.5±2.2μV, 屈曲(前後)運動で 38.2±2.5μV, 側屈(左右)運動で 110.4±7.2μV, 回転(左右)運動で 55.5±3.9μV となり, すべての運動で T0 群より有意に小さな値を示した (p<0.01, p<0.05)。僧帽筋下部におけるすべての運動と胸鎖乳突筋における回転(左

右) 運動では有意な差は認められなかった ($p>0.05$) (表 3)。

3. 頭部移動量

1) 直立二足姿勢

T0 群が $133.7\pm55.2\text{mm}$, Control 群は $91.2\pm41.2\text{mm}$ となり, T0 群が有意に大きな値を示し ($p<0.05$), T1 群では $103.8\pm85.5\text{mm}$ となり T0 群より有意に小さい値を示したが ($p<0.05$), Control 群と T1 群の比較では有意な差は認められなかった ($p>0.05$) (表 4)。

2) 屈曲 (前後), 側屈 (左右), 回転 (左右) 運動

T0 群では屈曲 (前後) 運動で $863.1\pm279.6\text{mm}$, 側屈 (左右) 運動で $410.3\pm202.1\text{mm}$, 回転 (左右) 運動で $1387.4\pm458.1\text{mm}$ となり, Control 群はそれぞれ $1151.9\pm174.6\text{mm}$, $553.7\pm202.1\text{mm}$, $2084.7\pm992.1\text{mm}$ となり, すべての運動で T0 群が有意に小さな値を示し ($p<0.05$), T1 群ではそれぞれ $1325.7\pm283.9\text{mm}$, $723.9\pm400.2\text{mm}$, $2293.0\pm1188.8\text{mm}$ となり, すべての運動で T0 群より有意に大きな値を示した ($p<0.01$)。Control 群と T1 群の比較では, すべての運動で有意な差は認められなかった ($p>0.05$) (表 4)。

考 察

1. 被験者の選択

本研究では, III 級不正咬合で機能性反対咬合を呈した者を III 級群, I 級不正咬合者を Control 群として被験者の選択を行った。いずれも, 初回検査時に採得した手部 X 線写真から, 骨成熟自動評価システム (CASMAS)¹⁵⁾ を用い, 思春期成長ピーク前であること, 身長と体重計

測から，BMI および Rohrer index を算出し，T0 群と Control 群の間に有意な差がない ($p>0.05$) ことを確認した (表 1)。

2. FR3 の治療効果について

側面頭部 X 線規格写真による顎顔面形態計測では，Ⅲ級群に初回検査時で Thompson 分析¹⁶⁾を行い，T0 群は Control 群に対し，骨格系で上下顎骨の前後的な不調和ならびにオトガイ部の前方位を示し，歯系で上顎前歯の歯軸において舌側傾斜を示したことから，FR3 を適用した。

FR3 は上顎の劣成長と下顎前突のいずれにも有効な機能的顎矯正装置で，口腔の機能空間の不調和および筋活動を改善する¹⁷⁾。口腔前庭部に設定したリップパッド，バッカルシールドを上顎歯列および歯槽突起に接触しないように装着することで，上唇圧や頬圧を排除する。これにより，上顎を囲む顎顔面被膜が拡大することで，口腔周囲筋の調節が図られる。特に装置装着時に指示した口唇閉鎖訓練は下顎を後方に移動させることを助長させ，良好な治療結果が得られると報告されている^{4, 17, 18)}。T1 群は，上顎前歯唇側傾斜，下顎前歯舌側傾斜，顔面角の減少による前歯部被蓋改善が認められた (表 2) ことから従来の報告と一致した治療効果が得られたと考えられる。

なお，構成咬合については，下顎を強制しない程度に後退させた咬合位で採得したが，McNamara ら¹⁹⁾の報告では，構成咬合の後方移動量について明らかにしていない。FR3 による治療では構成咬合を採得する方法の違いにより，下顎の後退量が変化するものと推測されるが，本研究では T0 群の overjet が平均 -2.3mm ，T1 群の $\angle U1$ to FH plane が平均 116.5° と過度な後方移動，上顎前歯唇側

傾斜を認めず，当科の診断結果ならびに FR3 の選択が適切であったことを示した。

本研究では，早期に被蓋改善が得られたが，歯列拡大や永久歯の萌出誘導に時間を要することや，軟組織および頭頸部の筋機能と姿勢の安定性を得るためには，FR3 の長期的な使用および咬合管理が重要であると考えられる。

3. 全身の姿勢

人体における良い姿勢とは，その評価法として，力学的に安定し，疲労が少なく，作業効率が良いものとされている²⁰⁾。また，Kendall²¹⁾ は姿勢を筋バランスであるとし，筋と正常なアライメント（重心線に対する身体の各部の配列）が最適に機能することが重要としており，本研究では，上下顎骨の位置関係がアライメントにあたると考える。

過去に，全身のアライメントに関する研究は，部位別のアライメントと筋力の関連性をみたもの^{22~25)} や，加齢による変化や男女差^{26, 27)} など多くの研究がなされているが，上下顎骨の位置と頭頸部の筋・姿勢・運動可動域の関連性をみた報告はない。本研究結果（表 3, 4）から，FR3 での口腔周囲筋の改善に伴う下顎位の変化は，関連する筋である頸筋群へ影響し，姿勢が変化したと考えられる。また，頭頸部でのアライメントの異常は，頸筋群が肩甲骨や胸郭とも連結していることから，胸椎，肩関節，肩甲帯へ運動連鎖が生じるとも言われている²⁰⁾。

以上のことから，頭頸部姿勢を評価する際には，アライメント，頭部運動可動域と筋活動を総合的に評価する必要がある。

4. 筋電図による評価

本研究は、頭位の変化および固定に大きく関与している筋として、僧帽筋と胸鎖乳突筋を筋電図の測定部位として選択した。これらの頸筋群をⅢ級不正咬合者の被蓋改善前後で比較し、評価したものはない。そこで本研究では、FR3を使用した被蓋改善前後の直立時（下顎安静位）と頭部運動時の活動量を筋電図により評価した。

本研究の結果からFR3の使用は、異常な口腔周囲筋の圧力を排除することで、上下顎骨の前後的な位置を修正し、胸鎖乳突筋の活性化と僧帽筋上部の緊張緩和に影響したと考えられる。Teccoら^{13, 28)}は骨格性Ⅲ級患者の下顎安静位で、僧帽筋上部は大きな値を示していたとしている。今回の結果からも顎位の修正により僧帽筋上部の活動は大幅に減少していた。この結果は下顎位が頸筋群の筋活動に影響を示すという報告を支持している。一方、Zunigaら²⁹⁾は下顎後退位での咬みしめに際して、胸鎖乳突筋と僧帽筋上部で有意に大きな値を示していたとしている。胸鎖乳突筋は頭位により筋の作用が異なるため、今回の結果において下顎位の変化で胸鎖乳突筋の活動量が増えたと考えられた。

さらに今回、胸鎖乳突筋での回転運動と僧帽筋下部での筋活動に有意な差がみられなかったのは、被験者に運動を指示する際、特に限界を設けなかったため最大張力付近までの筋の伸展がおこなわれなかったこと、僧帽筋下部が上部と比較し、脳からの運動指令が反映されにくいことによると考えられる。

5. モーションキャプチャシステム

モーションキャプチャシステムは、人物や物体の動きを3次元的に記録し、マーカーの装着部位各々の移動距

離を数値化する。モーションキャプチャシステムには光学式，機械式，磁気式などがあり，本研究では，小児が被験者であったこと，機敏な動きが求められること，計測精度の面から光学式システムを採用した。

直立二足姿勢では T0 群と比較し，T1 群で移動量が減少しており，頭部の安定がみられた。一方，屈曲（前後），側屈（左右），回転（左右）運動では，T0 群と比較し，T1 群で移動量が増加していた。これは，T0 群において上下顎骨の前後的な不調和が，周辺の筋に過緊張や抑制を引き起こし，頭頸部の可動性に影響している可能性が考えられた。

6. 本研究の臨床的意義

歯科矯正治療を行っていく上で，患者の口腔内や顔貌形態だけでなく，患者が習慣的にとっている自然な姿勢を観察し，評価することが非常に重要である。

長期的なアライメントの異常は，筋または骨格系への解剖学的変化が生じ，骨や関節疾患へ移行することが知られている^{20, 30)}。Ⅲ級不正咬合者は治療開始時年齢が高くなるに従い上下顎位置関係の不調和が顕著になる。

本研究では，頸椎，胸椎，腰椎などの骨が完成する成長発育期に FR3 による上下顎骨の前後的位置を改善し，それぞれの筋活動に作用することで頭頸部姿勢の補正，全身的な機能障害の予防に寄与すると考えられる。また，頸筋群が最適に機能することは，歯科矯正治療後における筋の不調和による咬合状態の後戻り防止にも関与することが伺える。

結 論

Ⅲ級群患者が FR3 を使用することで胸鎖乳突筋の活性

化，僧帽筋上部の緊張緩和，それによる頭部運動可動域の増加がみられ，FR3を使用する有用性ととともに，頸筋群が，前歯部被蓋改善後の頭頸部姿勢の補正に関与していることが示唆された。

謝 辞

株式会社 Eyes, JAPAN 山寺 純氏，綱藤 公一郎氏，会津大学 Michael Cohen 教授，奥羽大学成長発育歯学講座歯科矯正学分野の医局員各位に感謝致します。

本研究の要旨の一部は，第 60 回奥羽大学歯学会（平成 27 年 11 月 14 日，郡山）において発表した。

利益相反

本論文に関して，開示すべき利益相反は無い。

文 献

- 1) 須佐美隆三：反対咬合の分類．臨床 反対咬合；12-13 医歯薬出版 東京 1997.
- 2) Yamaguchi, H., Sueishi, K. : MALOCCLUSION ASSOCIATED WITH ABNORMAL POSTURE. Bull. Tokyo Dent. Coll. 44 ; 43-54 2003.
- 3) 安達理紗，大植一樹，福井和徳：Function Regulator 3 治療における顎顔面部の軟組織弾力性．東北矯歯誌 20 ; 5-14 2012.
- 4) Kilic, N., Celikoglu, M., Oktay, H. : Effects of the functional regulator III on profile changes in subjects with maxillary deficiency. Eur. J. Orthod. 32 ; 729-734 2010.

- 5) Levin, A. S., McNamara, Jr, J. A., Franchi, L., Baccetti, T., Fränkel, C.: Short-term and long-term treatment outcomes with the FR-3 appliance of Fränkel. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* **134** ; 513-524 2008.
- 6) Falck, F., Zimmermann-Menzel, K. : Cephalometric Changes in the Treatment of Class Using the Fränkel Appliance. *J. Orofac. Orthop.* **69** ; 99-109 2008.
- 7) Solow, B., Sonnesen, L. : Head posture and Malocclusion. *Eur. J. Orthod.* **20** ; 685-693 1998.
- 8) Lippold, C., Danesh, G., Hoppe, G., Drerup, B., Hackenberg, L.: Saggital Spinal Posture in Relation to Craniofacial Morphology. *Angle Orthod.* **76** ; 625-631 2006.
- 9) Budelmann, K., von Piekartz, H., Hall, T. : Is there a difference in head posture and cervical spine movement in children with and without pediatric headache? . *Eur. J. Pediatr.* **172** : 1349-1356 2013.
- 10) D'Attilio, M., Caputi, S., Epifania, E., Festa, F., Tecco, S.: Evaluation of Cervical Posture of Children in Skeletal Class I , II , and III . *Cranio.* **23** ; 219-228 2005.
- 11) 山野辺晋也, 西村幸恵, 宗形芳英, 福井和徳 : Twin Block療法によるⅡ級不正咬合者の筋活動の変化と姿勢の関連性. *東北矯歯誌* **22** ; 5-14 2014.

- 12) McNamara, Jr, J. A., Huges, S. A. : The functional regulator (FR-3) of Fränkel. Am. J. Orthod. **88** ; 409-424 1985.
- 13) Tecco, S., Caputi, S., Festa, F.: Electromyographic activity of masticatory, neck and trunk muscles of subjects with different skeletal facial morphology –a cross-sectional evaluation. J. Oral Rehabil. **34** ; 478-486 2007.
- 14) Miyaoka, S., Hirano, H., Ashida, I., Miyaoka, Y., Yamada, Y. : Analysis of head movements coupled with trunk drift in healthy subjects. Med. Biol. Eng. Comput. **43** ; 395-402 2005.
- 15) 骨成熟研究グループ : コンピュータ骨成熟度評価システム CASMAS に基づく日本人標準骨年齢アトラス ; 1-58 金原出版 東京 2003.
- 16) Thompson, J. R. : ORAL AND ENVIRONMENTAL AS ETIOLOGICAL FACTORS IN MALOCCLUSION OF THE TEETH. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. **35** ; 33-53 1949.
- 17) 根津 浩 , 吉田泰彦 , 永田賢司 , 菊池 哲 , 田辺俊昭 , 山口敏雄 : ファンクションレギュレーターについての解説と作用機序 . ファンクションレギュレーターによる機能的整形治療 ; 36-40 大阪書籍 東京 1998.
- 18) Kalavritinos, M., Papadopoulos, M. A., Nasiopoulos, A. : Dental Arch and Cephalometric Changes Following Treatment for Class III Malocclusion by Means of the Function Regulator(FR-3) Appliance. J. Orofac. Orthop. **66** ;

- 135-147 2005.
- 19) McNamara, Jr, J. A., Brudon, W. L., 宮島邦彰訳, 黒田敬之監訳: Function Regulator(FR-3) of Fränkel. Orthodontic and Orthopedic Treatment in the Mixed Dentition; 297-307 東京臨床出版 東京 1997.
- 20) 市川和奈, 竹井 仁, 松村将司, 宇佐英幸, 小川大輔, 見供 翔: 立位における頭部・頸胸椎・肩甲骨・上肢の姿勢分類-アライメント, 筋力, 関節可動域との関連について-. 日保学誌 15; 210-218 2013.
- 21) Kendall, F. P., 栢森良二監訳: 筋: 機能とテスト-姿勢と痛み-; 70-118 西村書店 東京 2006.
- 22) DiVeta, J., Walker, M., Sklblnski, B.: Relationship between performance of selected scapular muscle and scapular abduction in standing subjects. Physical Therapy 70; 470-479 1990.
- 23) Caneiro, J. P., Sullivan, P. O., Burnett, A., Barach, A., O'Neil, D., Tveit, O., Olafsdottir, K.: The influence of different sitting posture on head/neck posture and muscle activity. Manual Therapy 1554-60 2010.
- 24) 中丸宏二, 相澤純也, 小川貴之, 新田 収: 健常成人における頭蓋脊椎角と頸部屈筋群機能との関係. 理学療法科学 25; 837-841 2010.
- 25) Linda, M.: The effect of postural correction on muscle activation amplitude recorded from the cervicobrachial region. J. Electromyogr. Kinesiol. 15; 527-535 2005.

- 26) Yi-Liang, K., Elizabeth, A. T., Mary, P. G.: Video Analysis of sagittal spinal posture in healthy young and old adults. *J. Manipulative Physiol. Ther.* **32** ; 210-215 2009.
- 27) Raine, S., Twomey, L. T.: Head and shoulder posture variations in 160 asymptomatic women and men. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **78** ; 1215-1223 1997.
- 28) Tecco, S., Caputi, S., Tete, S., Orsini, G., Festa, F. : Electromyographic Activity of Masticatory, Neck and Trunk Muscles of Subjects with Different Mandibular Divergence. *Angle Orthod.* **77** ; 260-265 2007.
- 29) Zuniga, C., Miralles, R., Mena, B., Montt, R., Moran, D., Santander, H., Moya, H. : Influence of variation in jaw posture on sternocleidomastoid and trapezius electromyographic activity. *Cranio.* **13** ; 157-162 1995.
- 30) 松村将司，宇佐英幸，小川大輔，市川和奈，畠昌史，見供翔，竹井仁：若年健常者の骨盤と下肢の姿勢分類-アライメント・関節可動域・筋力との関連-。日保学誌 **16** ; 29-37 2013.

図・表の説明

図 1. 側面頭部 X 線規格写真分析項目

1: \angle SNA, 2: \angle SNB, 3: \angle ANB, 4: \angle Facial angle, 5: \angle FH plane to mandibular plane, 6: A to McNamara's line, 7: Pogonion to McNamara's line, 8: \angle U1 to FH plane, 9: \angle L1 to mandibular plane, 10: Overbite, 11: Overjet, 12: \angle OPT/CVT

図 2. FR3による機能性Ⅲ級不正咬合者の治療経過

図 3. モーションキャプチャシステム

図 4. 代表例の筋電図波形

表 1. 研究対象

表 2. Ⅲ級群および Control 群の側面頭部 X 線規格写真分析結果

表 3. Ⅲ級群および Control 群の筋活動量 (RMS 値)

表 4. Ⅲ級群および Control 群の頭部移動量 (mm)

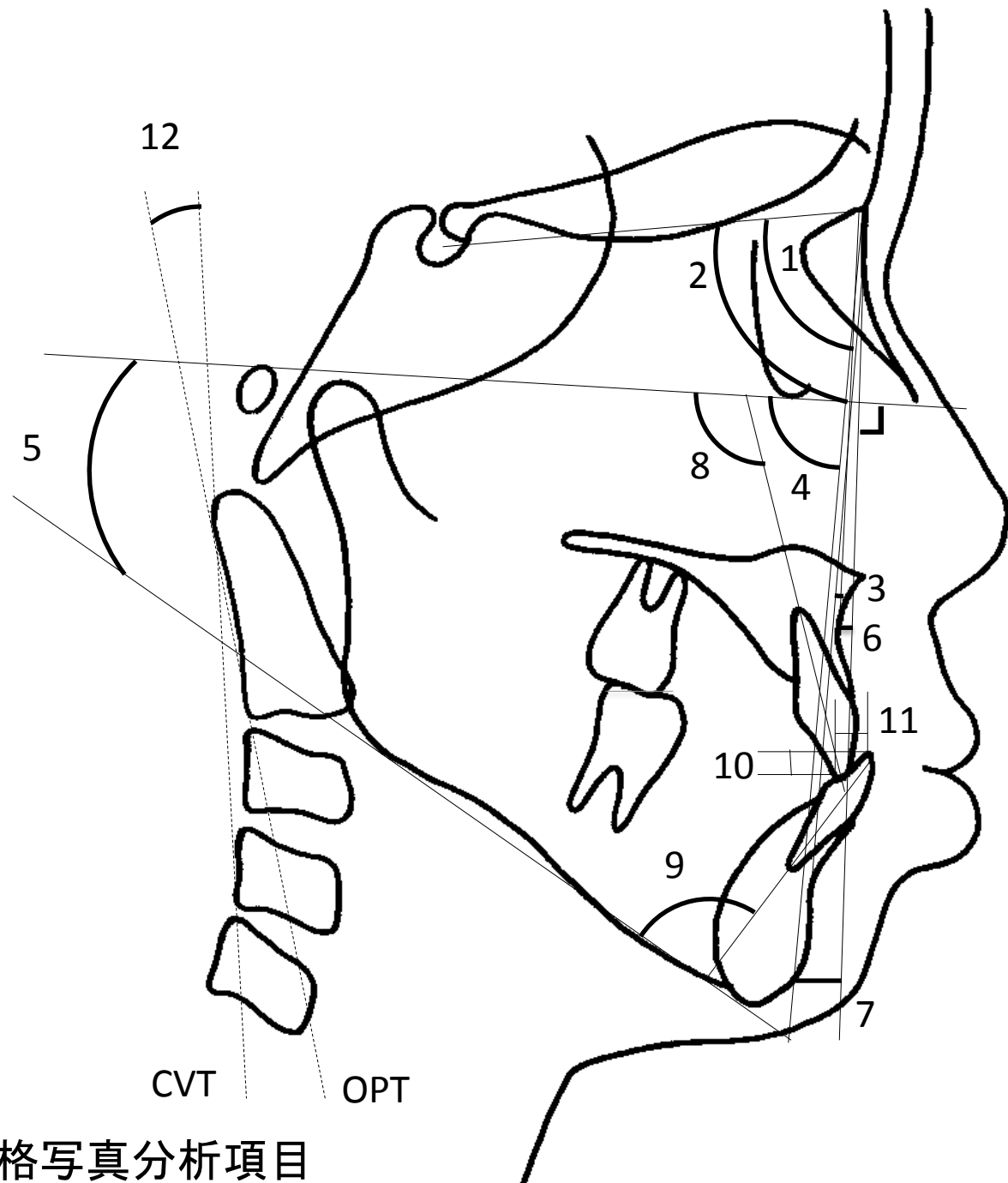
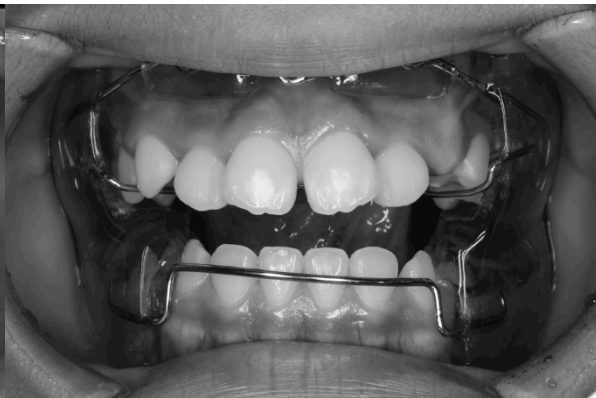


图1. 侧面头部X线规格写真分析项目

被蓋改善前



FR3装着時



被蓋改善後



図2. FR3による機能性Ⅲ級不正咬合者の治療経過

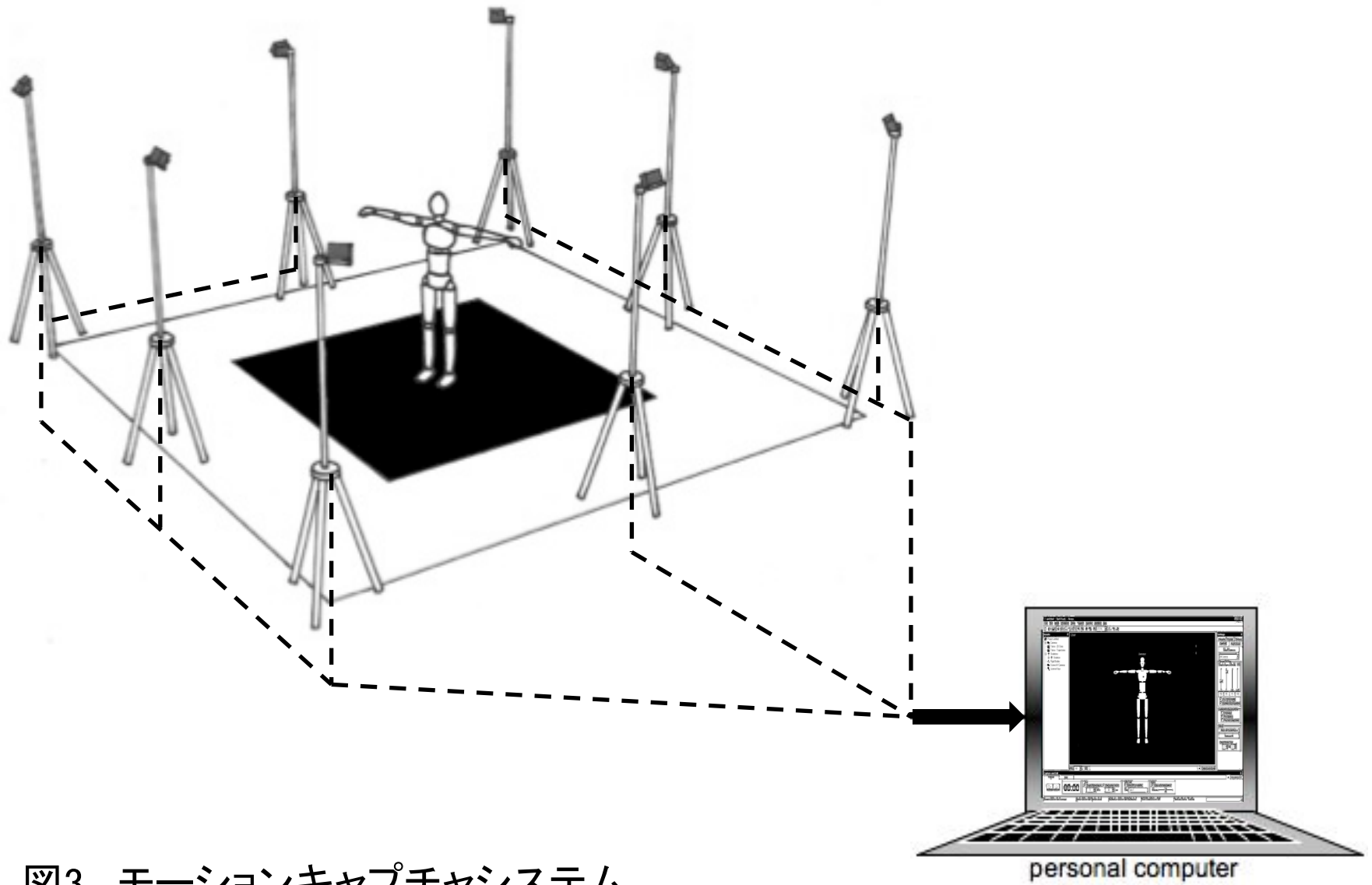


図3. モーションキャプチャシステム

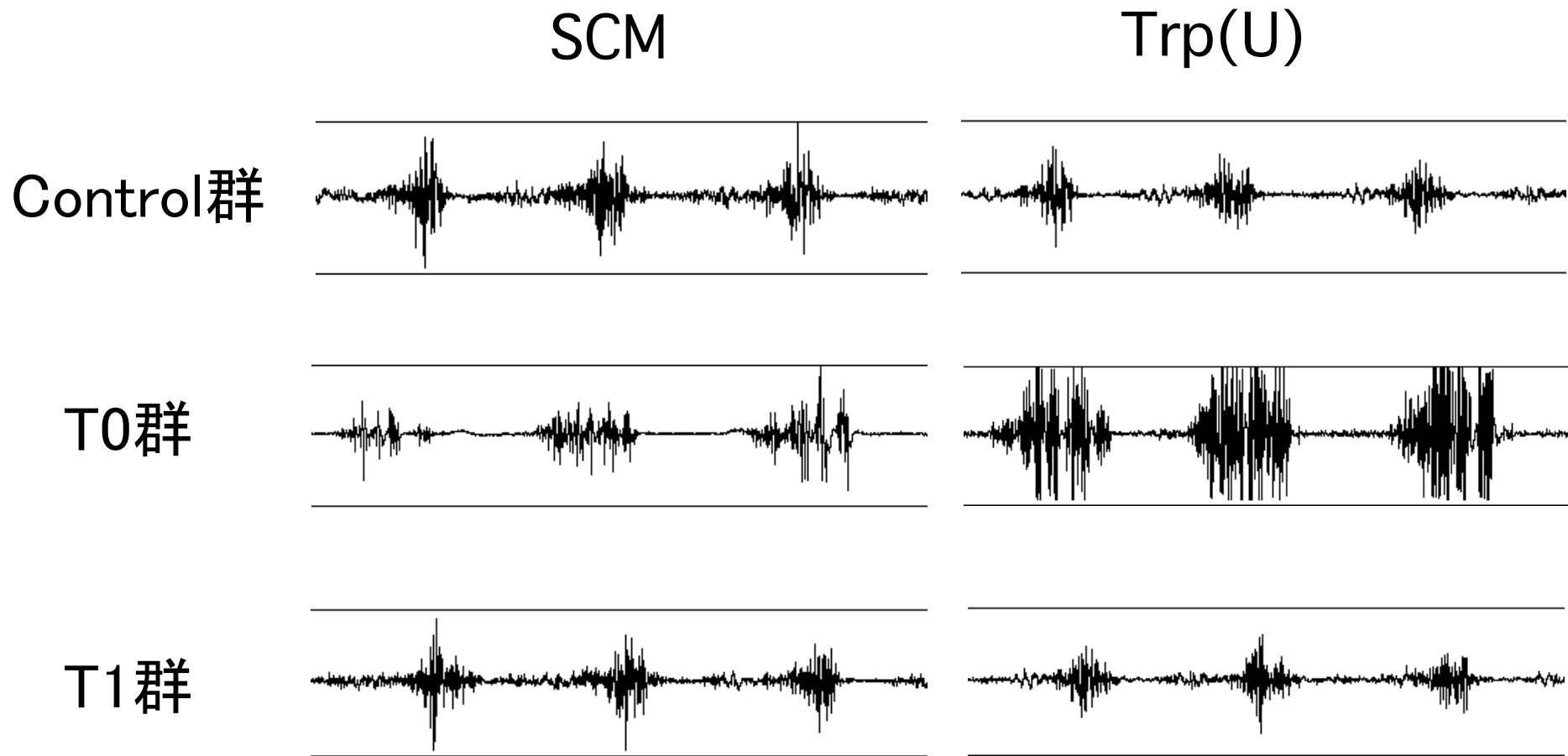


図4. 代表例の筋電図波形

SCM: sternocleidomastoid muscle, Trp(U): trapezius muscle(upper)

T0: 被蓋改善前, T1: 被蓋改善後

表1. 研究对象

年齡(歲)	n		n	男:女	年齡(歲)	身長(cm)	體重(kg)	Rohrer index	BMI	Significance
9.4±1.8	20	Ⅲ級群	10	5 : 5	9.4±1.5	134.3 ±4.7	30.6±4.1	124.8±6.9	17.2±1.3	NS
		Control	10	6 : 4	9.5±0.7	135.3±5.3	31.0±3.4	122.4±4.9	17.2±1.5	

NS : Not significant (Mann-Whitney U-test)

表2. III級群およびControl群の側面頭部X線規格写真分析結果

	Control (n=10)	T0 (n=10)	T1 (n=10)	p 値		
	平均値±SD	平均値±SD	平均値±SD	Control-T0	Control-T1	T0-T1
SNA(°)	80.3±2.6	79.1±2.3	80.0±1.7	NS	NS	NS
SNB(°)	76.8±2.5	80.3±2.9	78.4±1.5	**	*	†
ANB(°)	3.5±1.5	-1.2±2.2	1.4±1.4	**	**	††
Facial angle(°)	84.6±2.5	88.0±2.9	86.1±1.9	**	*	††
FH plane to mandibular plane(°)	27.4±2.4	26.9±2.4	28.1±2.7	NS	NS	NS
A to McNamara's line(mm)	-0.6±0.8	-0.9±0.8	-0.5±1.1	NS	NS	NS
Pogonion to McNamara's line(mm)	-7.1±1.3	-1.8±3.4	-4.1±2.7	**	**	††
U1 to FH plane(°)	111.8±2.6	108.0±3.7	116.5±3.3	*	**	††
L1 to mandibular plane(°)	94.0±4.7	92.7±5.2	87.1±6.9	NS	*	††
Overbite(mm)	2.4±0.5	2.3±1.5	1.8±0.8	NS	*	†
Overjet(mm)	2.7±0.7	-2.3±2.2	2.0±0.9	**	*	††
OPT/CVT(°)	0.8±1.5	4.4±2.3	2.8±0.9	**	**	††

* : p<0.05, ** : p<0.01 (Mann-Whitney U-test), † : p<0.05, †† : p<0.01 (Wilcoxon signed-rank test), NS : Not significant,

T0:被蓋改善前, T1:被蓋改善後

表3. III級群およびControl群の筋活動量 (RMS値)

		Control (n=10)	T0 (n=10)	T1 (n=10)	p 値		
		平均値±SD	平均値±SD	平均値±SD	Control-T0	Control-T1	T0-T1
SCM	直立	4.8±2.7	2.3±1.4	3.8±1.7	*	NS	†
	屈曲	95.6±6.4	36.5±2.2	73.8±5.7	*	NS	†
	側屈	131.4±6.9	41.1±2.5	114.9±7.7	**	NS	†
	回転	178.4±11.0	201.2±25.9	190.1±17.7	NS	NS	NS
RMS-EMG (μV)	Trp(U) 直立	4.1±2.6	11.7±11.5	2.5±2.2	*	NS	††
	Trp(U) 屈曲	52.6±1.8	120.9±7.8	38.2±2.5	*	NS	††
	Trp(U) 側屈	109.5±13.4	201.1±8.1	110.4±7.2	**	NS	††
	Trp(U) 回転	61.0±1.4	99.7±3.7	55.5±3.9	**	NS	†
Trp(L)	直立	7.1±5.7	6.7±6.1	8.8±4.3	NS	NS	NS
	屈曲	96.0±4.8	83.5±5.4	68.8±5.0	NS	NS	NS
	側屈	92.9±7.3	69.0±4.5	89.9±7.2	NS	NS	NS
	回転	172.6±10.3	121.9±5.2	118.3±8.6	NS	NS	NS

* : p<0.05, ** : p<0.01 (Mann-Whitney U-test), † : p<0.05, †† : p<0.01 (Wilcoxon signed-rank test), NS : Not significant,

T0:被蓋改善前, T1:被蓋改善後, SCM:sternocleidomastoid muscle, Trp(U):trapezius muscle(upper), Trp(L):trapezius muscle(lower)

表4. III級群およびControl群の頭部移動量 (mm)

(mm)	Control (n=10)	T0 (n=10)	T1 (n=10)	p 値		
	平均値±SD	平均値±SD	平均値±SD	Control-T0	Control-T1	T0-T1
直立	91.2 ±41.2	133.7 ±55.2	103.8 ±85.5	*	NS	†
屈曲	1151.9 ±174.6	863.1 ±279.6	1325.7 ±283.9	*	NS	† †
側屈	553.7 ±202.1	410.3 ±202.1	723.9 ±400.2	*	NS	† †
回転	2084.7 ±992.1	1387.4 ±458.1	2293.0 ±1188.8	*	NS	† †

* : p<0.05 (Mann-Whitney U-test), † : p<0.05, † † : p<0.01 (Wilcoxon signed-rank test), NS : Not significant,

T0: 被蓋改善前, T1: 被蓋改善後

[移動量 = $\sqrt{(x^1-x^2)^2+(y^1-y^2)^2+(z^1-z^2)^2}$](x: anteflexion and retroflexion; y: right and left direction; z: upward and downward direction)

x¹=フレームのx座標, y¹=フレームのy座標, z¹=フレームのz座標

x²=フレームから1つ前のフレームのx座標, y²=フレームから1つ前のフレームのy座標, z²=フレームから1つ前のフレームのz座標