

## 変形性顎関節症と顎顔面形態および咀嚼筋活動の関連性について

松本, 龍介  
九州大学大学院歯学府歯学専攻口腔保健推進学講座咬合再建制御学分野

<https://doi.org/10.15017/14243>

---

出版情報：九州大学, 2008, 博士（歯学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：

変形性顎関節症と顎顔面形態および咀嚼筋活動  
の関連性について

松本 龍介

九州大学大学院歯学府歯学専攻  
口腔保健推進学講座咬合再建制御学分野

(指導：名方 俊介 准教授)

## 目次

要旨 . . . . 1

緒言 . . . . 4

### 第 I 章 両側性変形性顎関節症と顎顔面形態の関連について

目的 . . . . 7

資料と方法

1) 対象 . . . . 7

2) セファロ分析 . . . . 10

3) 計測の再現性 . . . . 12

4) 統計分析 . . . . 12

結果 . . . . 12

考察 . . . . 15

小括 . . . . 19

第Ⅱ章 片側性変形性顎関節症と下顎骨側方偏位および咀嚼筋活動における平衡性の  
関連性について

目的	・・・20
資料と方法	
1) 対象	・・・20
2) セファロ分析	・・・21
3) EMG の記録	・・・24
4) 計測の再現性	・・・25
5) 統計分析	・・・25
結果	・・・25
考察	・・・30
小括	・・・33
総括	・・・34
謝辞	・・・35
引用文献	・・・36

本研究の一部は下記の雑誌にて報告している

対象論文：

TMJ osteoarthritis/osteoarthrosis and dentofacial morphology in Japanese females.

Ryusuke Matsumoto, Hideki Ioi, Masato Nishioka, Tazuko K. Goto, Shunsuke Nakata,

Akihiko Nakasima and Amy L. Counts.

Orthod Waves 2006;65(4):101-106 にて報告

## 要旨

目的：

今まで、変形性顎関節症と顎顔面骨格の形態変化の関係についての症例報告はいくつか発表されているが、健常群としてのコントロール群を設定し、変形性顎関節症

(osteoarthritis/osteoarthrosis(OA))患者と健常者の顎顔面形態について統計学的比較検討を行った研究は非常に少ない。また、下顎骨側方偏位と咀嚼筋電図に関する研究、あるいは片側性変形性顎関節症と下顎骨側方偏位の関係についての報告はいくつか発表されているが、片側性変形性顎関節症と下顎骨側方偏位および左右側咀嚼筋活動の平衡性の三者を包括的に評価した報告はない。よって、本研究の目的は、

- ①両側性変形性顎関節症を有する患者を OA 群、臨床的に顎関節症状に既往のないものをコントロール群として、両者の顎顔面形態を統計学的に比較検討することである。さらに、
- ②片側性変形性顎関節症、下顎骨側方偏位および左右側咀嚼筋活動の平衡性の間に関連性があるか調査することである。

資料と方法：

- ①九州大学病院矯正歯科を受診し、矯正治療を希望した女性患者のうち、パノラマ X 線写真、シューラー氏変法、眼窩下顎枝方向撮影法により両側下顎頭の骨変化を画像診断科医師により診断された成人女性患者 24 名（平均年齢：22.5±4.4 歳）を OA 群とした。コ

ントロール群は個性正常咬合を有し、顎関節症状および顔面痛などの既往や徴候が無く、顔面への外傷の既往の無いもので、X線写真において著明な下顎頭骨変化の認められない成人女性 24 名（平均年齢：23.6±1.3 歳）とした。両群に対し、側面頭部 X 線規格写真による形態計測を行った。両群の比較は、対応のない t-test を用いて行った。

②下顎骨側方偏位を主訴として九州大学病院矯正歯科を受診し、外科手術を併用した矯正治療を希望した患者のうち、CT および MRI における画像診断において、片側性変形性顎関節症であると診断された女性 22 名（平均年齢：23.2±5.4 歳）、男性 10 名（平均年齢：22.4±2.8 歳）を対象とした。

表面筋電図による筋機能計測および正面頭部 X 線規格写真による形態計測を行った。被験筋は、左右側側頭筋前部、側頭筋後部、咬筋とした。得られたデータから OA 側と非 OA 側における各被験筋の最大咬みしめ時の積分値を算出した。OA 側と非 OA 側における咀嚼筋活動量および形態計測の比較は、Wilcoxon signed rank test を用いて行った。

結果および考察：

①両側性変形性顎関節症患者では、下顎頭の退行性変化に伴い、骨格系においては下顎骨の矮小化および下顎骨の後方回転が生じ、歯牙齒槽系では下顎切歯の前方位が認められた。また、軟組織においては上下口唇の突出が認められた。

②片側性変形性顎関節症患者では、患側における下顎骨の垂直的な長さの減少およびそれに伴う患側への下顎骨側方偏位を認めた。側頭筋活動量は、OA 側と非 OA 側で有意な差

は認められなかったが、咬筋では、OA 側の筋活動量が非 OA 側と比較し、有意に大きかった。

結論：

①下顎頭における退行性変化と顎顔面形態には関連性があり、②下顎頭における退行性変化、顔面非対称および左右側咬筋活動の不調和との間には密接な関連性があることが示唆された。

## 緒言

関節炎とは関節表面の炎症であり、変形性顎関節症は顎関節において最も一般的な退行性変化の一つである<sup>1</sup>。osteoarthritisの病因は不明であるが、一般的に持続的な過負荷が原因であると考えられている<sup>2-4</sup>。外傷や、顎関節内障、炎症性疾患等原因が特定できるものは二次性退行性関節疾患と定義され、原因を特定できないものは一次性退行性関節疾患と定義される<sup>1</sup>。退行性変化の活動期にはしばしば疼痛を伴い、その後、機能的なりモデリングが起こると病態は沈静化するが、骨変化は残る。この状態はosteoarthrosisと定義されている。これは顎関節の機能的な適応変化であると考えられる<sup>1</sup>。

osteoarthritis/osteoarthrosis(OA)は画像診断上では同一の所見として観察される。また、OAは男性と比較して女性に多く認められ、ホルモンの関連性が示唆されている<sup>5-8</sup>。

特発性の下顎頭吸収と、顎顔面形態の関連はいくつか報告されている。Arnettら<sup>9</sup>は、両側性下顎頭吸収が下顎枝の長さの減少と下顎の後方回転を誘発すると報告した。特に成人においては下顎骨後方回転、成長期においては下顎枝成長量の減少が認められることを示唆している。さらに顎関節の退行性変化と顎顔面骨格の変形についての関連は、MRI<sup>10, 11</sup>やCT<sup>12</sup>を下顎頭吸収の診断に用いた研究においても確認されている。このように変形性顎関節症と顎顔面骨格の形態変化の関係についての症例報告はいくつか発表されているが<sup>13-18</sup>、健常群としてのコントロール群を設定し、OA患者と健常者について統計学的比較検討を行った研究は非常に少ない<sup>19</sup>。

下顎骨側方偏位と左右側咀嚼筋活動の平衡性について、筋電図を用いた研究はいくつか報告されている<sup>20-25</sup>。原口ら<sup>22</sup>、近藤<sup>23</sup>、廣瀬<sup>24</sup>らは、下顎骨側方偏位患者において偏位側の咬筋活動量が有意に大きいと報告した。しかしながら、非偏位側咬筋活動量の方が偏位側と比較し、大きいという報告もあり<sup>21</sup>、一貫した研究結果には至っていない。片側性変形性顎関節症患者と顎顔面形態の関連性を評価した Yamada ら<sup>26</sup>、小澤ら<sup>27</sup>は、多くの患者において、患側へ下顎骨が偏位していたと報告している。このように、下顎骨側方偏位と咀嚼筋筋電図に関する研究<sup>20-25</sup>あるいは片側性変形性顎関節症と下顎骨側方偏位の関係についての報告<sup>26-30</sup>はいくつか発表されているが、片側性変形性顎関節症と下顎骨側方偏位および左右側咀嚼筋活動の平衡性の三者を包括的に評価した報告はない。

これまで、変形性顎関節症に対する治療としては、主にスプリント等の保存療法、薬物療法、理学療法およびマニピュレーション等の対症療法が選択されてきている。しかしながら、変形性顎関節症に罹患した患者は、その後の変化として、顎顔面形態の変形にまで及ぶ形態異常が起こる可能性が考えられる。そこで、変形性顎関節症と顎顔面形態との関連性を解明することは、成長発育および予後を推定する上でも必須である。本研究では、変形性顎関節症による顎顔面形態への影響を調べることを主な目的とし、まず両側性変形性顎関節症と顎顔面形態との関連性について調査を行う。その後、片側性変形性顎関節症患者を対象とし、各個人における、両側性変形性顎関節症患者において比較することができない、健常側顎関節との筋活動の平衡性について調査することとした。また、両側性変形性顎関節症患者に認められる形態的特徴が片側性変形性顎関節症患者においても認め

られるか観察した。

本研究の目的は、①両側性変形性顎関節症を有する患者を OA 群、臨床的に顎関節症状に既往のないものをコントロール群として、両者の顎顔面形態を統計学的に比較検討することである。さらに、②片側性変形性顎関節症、下顎骨側方偏位および左右側咀嚼筋活動の平衡性の間に関連性があるか調査することである。

## 第 I 章 両側性変形性顎関節症と顎顔面形態の関連について

### 目的

本研究の目的は、両側性変形性顎関節症(OA)群と顎顔面形態の関連性を、コントロール群を設定し、統計学的に比較検討することである。

### 資料と方法

#### 1) 対象

1985年4月～2006年8月の21年4ヶ月間に九州大学病院矯正歯科を受診し、矯正治療を希望した女性患者のうち、それぞれの治療前の問診票（顎関節症状に関する記述も含む（顎関節部疼痛、顎関節雑音、開口障害））、顔面・口腔内写真、側面頭部 X 線規格写真、パノラマ X 線写真、歯列模型、診断および治療計画等の資料が揃っている患者を対象とした。パノラマ X 線写真、シューラー氏変法、眼窩下顎枝方向撮影法により両側下顎頭の骨変化（関節面の扁平化(flattening)、辺縁性骨増生像(osteophyte)、粗糙性骨変化(erosion)）を Muir & Goss<sup>31</sup> のスコアリングシステムを用いて評価した。画像診断科医師により、スコア“1”またはスコア“2”と評価され、明らかな両側性変形性顎関節症を有すると診断された成人女性患者 24 名（平均年齢：22.5±4.4 歳）を OA 群とした。典型的一症例を図

1に示す。対象者の選択に当たり、画像診断が困難な症例、矯正治療および外傷の既往がある患者、関節リウマチ、下顎関節突起肥大および先天異常を有する症例は除外した。

OA群における臨床的顎関節症状の罹患率を表1に示す。顎関節部疼痛を有する割合は41.7%、顎関節雑音を有する割合は37.5%、開口障害を有する割合は20.8%であった。コントロール群は、九州大学歯学部学生および矯正歯科に勤務する医局員のうち、個性正常咬合を有し、叢生がほとんど無いか軽度であり、第三大臼歯を除く全ての歯牙が存在し、補綴処置や矯正治療の既往が無いもので、かつ側面頭部X線規格写真を有するものから選択した。さらに、顎関節症状および顔面痛などの既往や徴候が無く、顔面への外傷の既往の無いもので、X線写真において著明な下顎頭骨変化の認められない成人女性24名(平均年齢：23.6±1.3歳)をコントロール群とした。Welch's t-testより、OA群とコントロール群間における対象者の年齢に有意差は認められなかった。

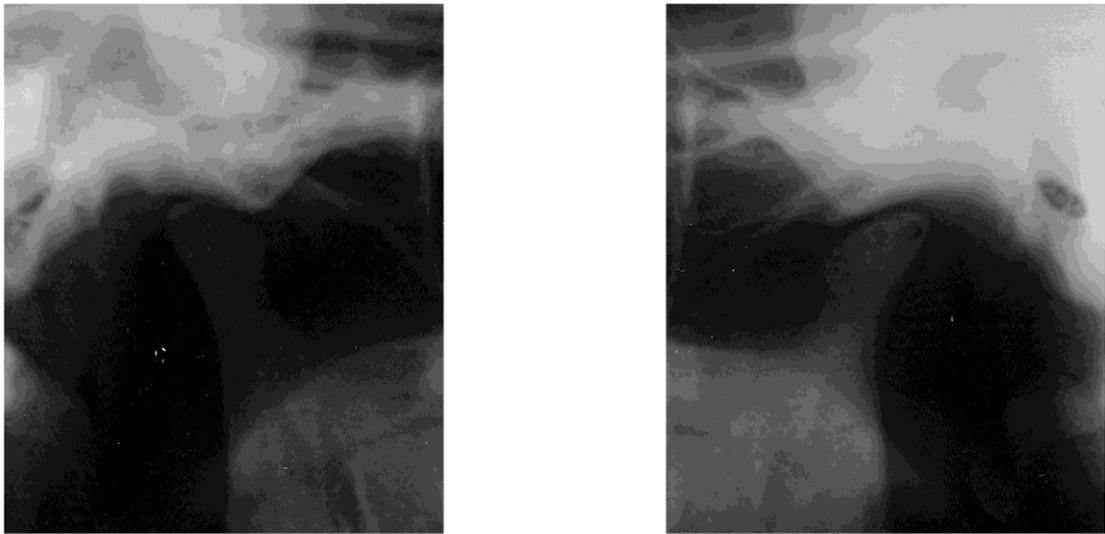


図1 パノラマ X線写真における両側性変形性顎関節症の典型像

表1 OA群における臨床的顎関節症状の罹患率

	OA 群
顎関節部疼痛 (%)	41.7
顎関節雑音 (%)	37.5
開口障害 (%)	20.8

## 2) セファロ分析

側面頭部 X線規格写真は、咬頭嵌合位にて、FH 平面が床面と平行になるように頭部をイヤードで固定し撮影した。管電圧 100kV、管電流 200mA、撮影時間 0.05 秒の条件の下、DR-155-23HC(SSR-2B)(日立メディコ(株))にて撮影した。各被験者の側面頭部 X線規格写真は、ケミカルトレーシングフィルム (ソマール(株)) にトレースし、パーソナルコンピュータにて分析した。セファロ分析は、セファロ分析ソフトウェアプログラム(Winceph 5.5, ライズ, 仙台)を用いた。骨格系硬組織計測として角度計測 9 項目および距離計測 5 項目 (図 2)、下顎骨の大きさに関する計測として距離計測 3 項目 (図 3)、歯牙歯槽系硬組織計測として角度計測 5 項目および距離計測 2 項目 (図 3)、軟組織計測として角度計測 2 項目および距離計測 2 項目 (図 3) を行い分析した。

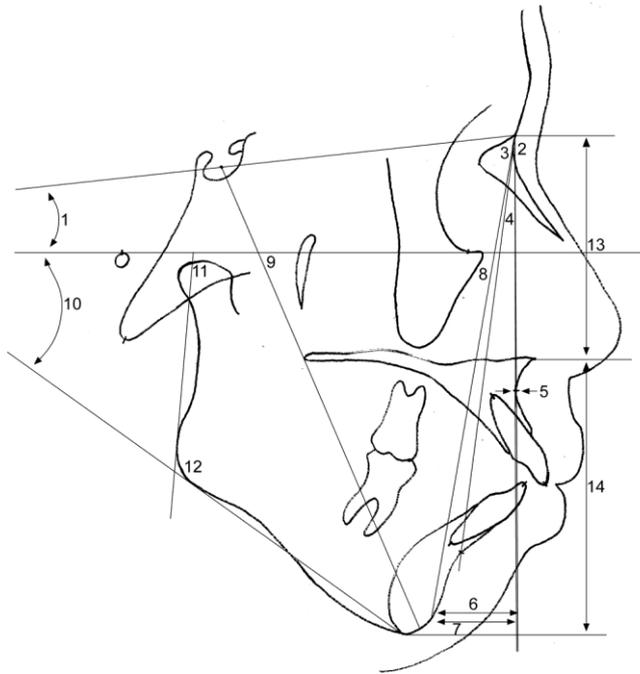


図 2

骨格系硬組織計測項目

1. FH to SN
2. SNA
3. SNB
4. ANB
5. Point A to N perpendicular
6. Pog to N perpendicular
7. Point A to Pog difference
8. Facial angle
9. Y-axis
10. FH to mandibular plane
11. FH to ramus plane
12. Gonial angle
13. Upper facial height (N-ANS)
14. Lower facial height (ANS-Me)

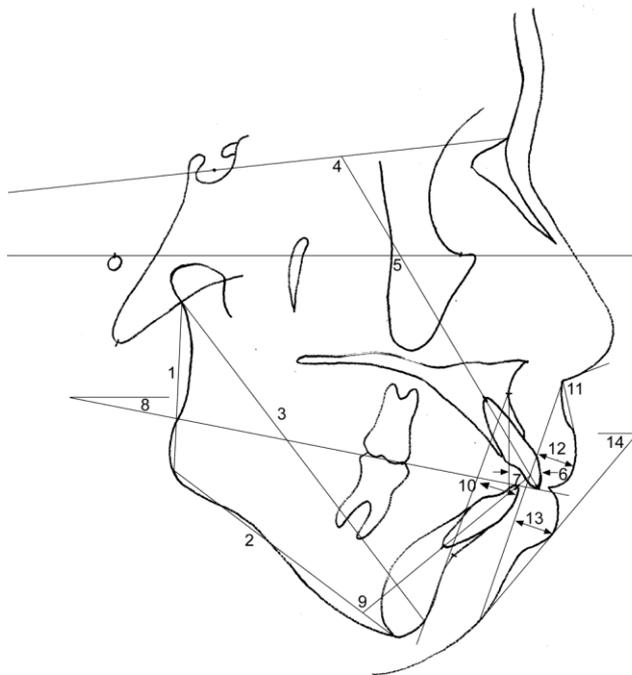


図 3

下顎骨の大きさに関する計測,  
歯牙歯槽系硬組織計測および  
軟組織計測項目

1. Ramus height (Ar-Go)
2. Mandibular body length (Go-Me)
3. Mandibular length
4. Upper incisor to SN
5. Upper incisor to FH
6. Upper incisor to point A vertical
7. Interincisal angle
8. Occlusal plane angle
9. Lower incisor to mandibular plane
10. Lower incisor to A-Pog line
11. Nasolabial angle
12. Upper lip protrusion (Ls to Sn-Pg')
13. Lower lip protrusion (Li to Sn-Pg')
14. Z-angle (Chin/lip line to FH plane)

### 3) 計測の再現性

セファロのトレースは、分析者間における計測誤差の混入を防ぐため、一人の分析者が行った。分析者内の計測誤差は、無作為に選び出された 10 症例を異なる日に 2 回トレースし、トレースおよび計測ポイントの設定による誤差を算出した。計測誤差の最大は、距離計測項目で 0.25mm、角度計測項目で 0.55° であり、計測値に対し十分小さな値であると考えられた。

### 4) 統計分析

OA 群とコントロール群間の顎顔面形態の比較検討は、まず Shapiro-Wilks W-test により正規性の検定を行い、F-test による等分散の検定後、対応のない t-test を用いて行った。解析には Stat View 5.0 ソフトウェア (SAS Institute., Cary, NC, USA) を使用した。危険率 5% を有意性の判定基準とした。

## 結果

表 2 より、28 の分析項目のうち 20 項目で OA 群とコントロール群との間で有意差が認められた。すなわち骨格系硬組織計測項目において、OA 群は、コントロール群と比較し、SNA ( $p=0.004$ )、SNB ( $p<0.0001$ )、Facial angle ( $p<0.0001$ )、Pog to N perpendicular ( $p < 0.0001$ ) が有意に小さく、また FH to SN ( $p = 0.008$ )、ANB ( $p < 0.0001$ )、Y-axis ( $p < 0.0001$ )、

FH to mandibular plane ( $p < 0.0001$ ), FH to ramus plane ( $p < 0.0001$ ), Gonial angle ( $p = 0.011$ ), point A to Pog difference ( $p < 0.0001$ )が有意に大きかった。下顎骨の大きさに関する計測項目において、OA 群はコントロール群と比較し、Ramus height ( $p < 0.0001$ ), Mandibular body length ( $p = 0.0098$ ), Mandibular length ( $p = 0.0001$ )が有意に小さかった。歯牙歯槽系硬組織計測項目において、OA 群はコントロール群と比較し、Interincisal angle ( $p = 0.049$ )が有意に小さく、Occlusal plane angle ( $p = 0.0003$ ), Lower incisor to A-Pog line ( $p = 0.046$ )が有意に大きかった。軟組織計測項目において、OA 群はコントロール群と比較し、Z-angle ( $p < 0.0001$ )が有意に小さく、Upper lip protrusion ( $p < 0.0001$ ), Lower lip protrusion ( $p < 0.0001$ )が有意に大きかった。

表 2 OA 群とコントロール群の各計測項目における平均値と標準偏差

計測項目	OA 群		コントロール群		P
	Mean	SD	Mean	SD	
骨格系硬組織計測項目					
FH to SN (°)	9.1	2.5	7.3	2.0	.008
SNA (°)	80.6	2.2	83.1	3.2	.004
SNB (°)	73.0	2.5	78.7	3.5	< .0001
ANB (°)	7.6	2.3	4.3	2.1	< .0001
Point A to N perpendicular (mm)	-0.3	3.3	0.7	3.1	.258
Pog to N perpendicular (mm)	-19.9	8.1	-7.3	6.7	< .0001
Point A to Pog difference (mm)	19.5	6.5	8.0	5.2	< .0001
Facial angle (°)	80.9	3.7	86.0	3.1	< .0001
Y-axis (°)	69.3	3.7	64.2	3.3	< .0001
FH to mandibular plane (°)	39.6	7.1	26.5	6.2	< .0001
FH to ramus plane (°)	93.5	4.2	86.5	5.5	< .0001
Gonial angle (°)	126.1	8.2	120.0	7.5	.011
Upper facial height (N-ANS) (mm)	57.7	3.2	57.3	3.2	.661
Lower facial height (ANS-Me) (mm)	70.7	5.4	71.0	4.6	.836
下顎骨の大きさに関する計測項目					
Ramus height (Ar-Go) (mm)	41.0	4.9	50.7	4.5	< .0001
Mandibular body length (Go-Me) (mm)	70.6	5.2	74.1	3.6	.0098
Mandibular length (Ar-Pog) (mm)	103.7	6.5	111.5	6.4	.0001
歯牙齒槽系硬組織計測項目					
Upper incisor to SN (°)	101.7	9.1	105.2	6.5	.128
Upper incisor to FH (°)	110.8	9.4	112.5	5.9	.453
Upper incisor to point A vertical (mm)	6.4	3.4	5.3	2.2	.165
Interincisal angle (°)	115.1	10.3	121.0	9.8	.049
Occlusal plane angle (°)	16.7	4.6	11.9	3.9	.0003
Lower incisor to mandibular plane (°)	94.5	9.2	98.2	5.7	.102
Lower incisor to A-Pog line (mm)	6.1	2.7	4.5	2.7	.046
軟組織計測項目					
Nasolabial angle (°)	104.9	11.2	99.0	9.0	.0528
Upper lip protrusion (Ls to Sn-Pg') (mm)	9.3	2.4	6.5	1.7	< .0001
Lower lip protrusion (Li to Sn-Pg') (mm)	9.3	2.8	6.1	1.8	< .0001
Z-angle (Chin/lip line to FH plane) (°)	50.8	8.5	67.5	7.0	< .0001

## 考察

これまで変形した下顎頭と顎顔面骨格の形態変化の関係についての症例報告はいくつか発表されているが、OA患者と健常者について統計的比較が可能なサンプルサイズをもとに行った研究はほとんどない。最もエビデンスとして質の高い研究は、ランダム化比較試験であるが、調査期間が長期化し、そのため多くの費用がかかる。本研究は、後ろ向きの研究ではあるが、症例群とコントロール群を設定する症例対照研究とすることにより、より質の高い研究デザインを用いることとした。

CTは骨組織の画像診断において最良の撮影法であると言われている<sup>32</sup>。CTを用いる最大の利点は、硬・軟組織両方の描出が可能なことである<sup>33</sup>。しかしながら、CTは撮影時間が長く、高価であり、被曝線量が多いという欠点もある。パノラマX線写真による顎関節の画像診断の有用性については未だ議論されているが<sup>34</sup>、パノラマX線写真は広く一般歯科医院でも顎関節のスクリーニング検査目的で利用されており有用性は高い<sup>35</sup>。パノラマX線写真における下顎頭の骨変化の正診率は、71～84%であると言われている<sup>36,37</sup>。本研究ではパノラマX線写真、シューラー氏変法、眼窩下顎枝方向撮影法により得られた画像から、Muir & Goss<sup>31</sup>の提唱したスコアリングシステムを用い、明らかな骨変化が認められたものをOA群に分類した。

関節リウマチは原因不明の慢性疾患であり、遺伝性の自己免疫性疾患と考えられている。関節リウマチもOAと同様に下顎枝の後方回転、下顎下縁平面の急傾斜、下顎骨の

矮小化を呈すると報告されている<sup>39</sup>。しかしながら、本研究においては、遺伝的要因を除く、OAによる顎顔面形態への影響を調査することを目的としたため、対象から除外した。

骨格系硬組織計測項目において、OA群はコントロール群と比較し、SNAが有意に小さかった。Gidakouら<sup>19</sup>は、両側性の顎関節の退行性変化が認められる患者においてSNAが小さくなると報告しており、本研究の結果は、彼らの報告と一致する。しかしながら、頭蓋に対する上顎骨の前後的位置を評価するPoint A to N perpendicularは、両群間で有意差を認めなかった。OA群のFH to SNはコントロール群と比較して有意に大きいことを考えると、OA群のSNAが有意に小さい値を示したのは、Nasionの位置がコントロール群と比較して高い位置にあるためかもしれない<sup>40</sup>。すなわち、上顎骨の位置は前後的にコントロール群と比較し、差が認められなくても、作図上SNAは小さい値として観察されたことが推察された。OA群において、SNB、Pog to N perpendicularは有意に小さく、ANB、FH to mandibular plane、FH to ramus plane、Point A to Pog differenceは有意に大きかった。これらの特徴は、下顎骨が後方に回転した骨格性Ⅱ級の形態的特徴を示している。また、Gonial angleが有意に大きい値を示したことは、骨格性開咬の傾向と関連していると考えられる。さらに、OA群では下顎骨の大きさを測定した計測項目、Ramus height、Mandibular body length、Mandibular lengthが有意に小さい値を示した。これら下顎骨の矮小化という特徴により、骨格性Ⅱ級の顎顔面形態は一層強調されていると思われる。動物実験において、Hatalaら<sup>41</sup>は外科的に関節円板転位を発症させたウサギにお

いて下顎枝の短小化を報告している。

また、歯牙歯槽系計測項目において、OA 群はコントロール群と比較し、有意に大きな Occlusal plane angle、Lower incisor to A-Pog line、有意に小さな Interincisal angle を示したが、Upper incisor to SN、Upper incisor to FH、Upper incisor to point A vertical、Lower incisor to mandibular plane について有意差は認められなかった。Yamada ら<sup>12</sup>、Gidarakou ら<sup>19</sup>は両側性変形性顎関節症患者では下顎切歯の舌側傾斜が認められたと報告した。本研究では、OA 群における下顎下縁平面に対する下顎切歯の角度は小さい傾向が認められたものの、A-Pog line からの下顎切歯の距離は有意に大きく、下顎切歯は唇側傾斜している所見も認められた。両側性変形性顎関節症患者において、下顎骨は後方回転し、下顎下縁平面は開大しているため、下顎下縁平面に対する下顎切歯の角度は小さい値を示す傾向が認められたと考えられる。

軟組織計測項目において OA 群はコントロール群と比較し、Upper lip protrusion、Lower lip protrusion は有意に大きな値を示し、Z-angle は有意に小さな値を示した。これは、下顎前歯の唇側傾斜により、上下口唇が前方へ突出する傾向を認めたためと考えられる。

本研究では OA と顎顔面形態の因果関係は明らかではない。しかしながら、下顎頭に吸収を引き起こすような、宿主の適応を超える持続したストレスが加わる場合、骨リモデリングの機能不全が引き起こされる。下顎頭のリモデリングの阻害により、下顎骨の成長は抑制されるという報告もあり<sup>42</sup>、下顎頭の退行性変化が下顎骨の後方回転および矮小化という顎顔面形態に影響を与えた可能性が示唆された。

本研究では、OA 群の罹患年齢を調査していないため、罹患年齢の顎顔面形態への影響については評価することができなかった。また、コントロール群を個性正常咬合者の中から選択したが、OA 群は不正咬合を有する患者群であることより、コントロール群も不正咬合を有する患者から選択した方が適切であったかもしれない。今後、罹患年齢の顎顔面形態への影響を検討し、不正咬合を有する矯正治療患者をコントロールとした研究デザインを通し、更なる検討を行いたいと考えている。

## 小括

コントロール群と比較した OA 群の顎顔面形態の特徴として、

- ・ 下顎枝、下顎骨体部が短小
- ・ 上顎骨に対して下顎骨が後方位
- ・ 下顎骨の後方回転
- ・ 下顎切歯の前方位
- ・ 上下口唇の突出

が示された。

## 第Ⅱ章 片側性変形性顎関節症と下顎骨側方偏位および咀嚼筋活動における平衡性の 関連性について

### 目的

本研究の目的は、片側性変形性顎関節症患者における左右側咀嚼筋活動の平衡性について検討することである。さらに、片側性変形性顎関節症が顎顔面複合体に及ぼす影響について検討し、これら三者の関連性について評価することである。

### 資料と方法

#### 1) 対象

1991年4月～2007年6月の16年2ヶ月間に下顎骨側方偏位を主訴として九州大学病院矯正歯科を受診し、外科手術を併用した矯正治療を希望した患者のうち、治療前の問診票（顎関節症状に関する記述も含む（顎関節部疼痛、顎関節雑音、開口障害）、顔面・口腔内写真、CTまたはMRI、正面頭部X線規格写真、パノラマX線写真、筋電図(EMG)記録、歯列模型、診断および治療計画等の資料が揃っている患者を対象とした。

本研究は九州大学大学院歯学研究科研究倫理委員会の承認のもとに実施した。

CT撮影は本大学附属病院のCT撮影装置 Acquilion（東芝メディカル社，東京）を用い、

撮影条件は管電圧 120kV、管電流 100mA、Field of view 240mm、スライス厚 1mm、スライス間隔 1mmとした。MRIの撮像は1.5テスラのMRI装置 (Gyrosan Intera, Philips Medical Systems, Best, The Netherlands) を用いて行った。両側の顎関節の外側に一对の flexible coil (Flex-S coil, Philips Medical Systems)を設置し、下顎頭長軸に垂直な顎関節の矢状断画像を、開閉口時それぞれにおいて撮影した。撮影条件は TR 2000 ms、TE 30 ms、Field of view 120 mm、3-mm section thickness とした。下顎頭の骨変化 (flattening、osteophyte、erosion) の診断は、CT においては Yamada ら<sup>43</sup>の、MRI においては Tasaki ら<sup>44</sup>の診断基準を参考とし、画像診断科医師により行われた。下顎頭骨変化の診断に際し、下顎骨側方偏位側および顎関節症状側は盲検化し、診断した。CT および MRI における画像診断において、片側性変形性顎関節症であると診断された女性 22 名 (平均年齢 : 23.2±5.4 歳)、男性 10 名 (平均年齢 : 22.4±2.8 歳) を対象とした。その内、CT にて診断されたものは 22 名、MRI にて診断されたものは 10 名である。対象者の選択に当たり、画像診断が困難な症例、16 歳未満、矯正治療および外傷の既往がある患者、関節リウマチ、下顎関節突起肥大および先天異常を有する症例は本研究から除外した。

## 2) セファロ分析

正面頭部 X 線規格写真は、咬頭嵌合位にて、FH 平面が床面と平行になるよう頭部をイヤードで固定し撮影した。管電圧 100kV、管電流 300mA、撮影時間 0.05 秒の条件下、DR-155-23HC(SSR-2B)(日立メディコ(株))にて撮影した。各被験者の正面頭部 X 線規格

写真はケミカルトレーシングフィルム（ソマール楸）にトレースし、パーソナルコンピュータにて分析した。セファロ分析はセファロ分析ソフトウェアプログラム(Winceph 5.5, ライズ, 仙台)を用いた。左右の頬骨前頭縫合を結ぶ線（ZR-ZL plane）を X 軸、鶏冠頸部の中点（NC）を通り、X 軸に対して直交する線を Y 軸とし、両基準線の交点を点 O とした。Y 軸と Me 間距離を下顎骨側方偏位量とし（図 4：①）、OA 側へ偏位している場合を（+）、非 OA 側へ偏位している場合を（-）とした。

また、角度計測 2 項目および距離計測 6 項目を計測した（図 4：②～⑨）。これら両側で計測される項目については下顎骨の非対称性の程度を評価するため、セファロ分析での計測値 cephalometric measurement value(CV)は CV ratio を用いて基準化した。

$$\text{OA 側における CV ratio} = \text{OA 側 CV} / (\text{OA 側 CV} + \text{非 OA 側 CV})$$

$$\text{非 OA 側における CV ratio} = \text{非 OA 側 CV} / (\text{OA 側 CV} + \text{非 OA 側 CV})$$

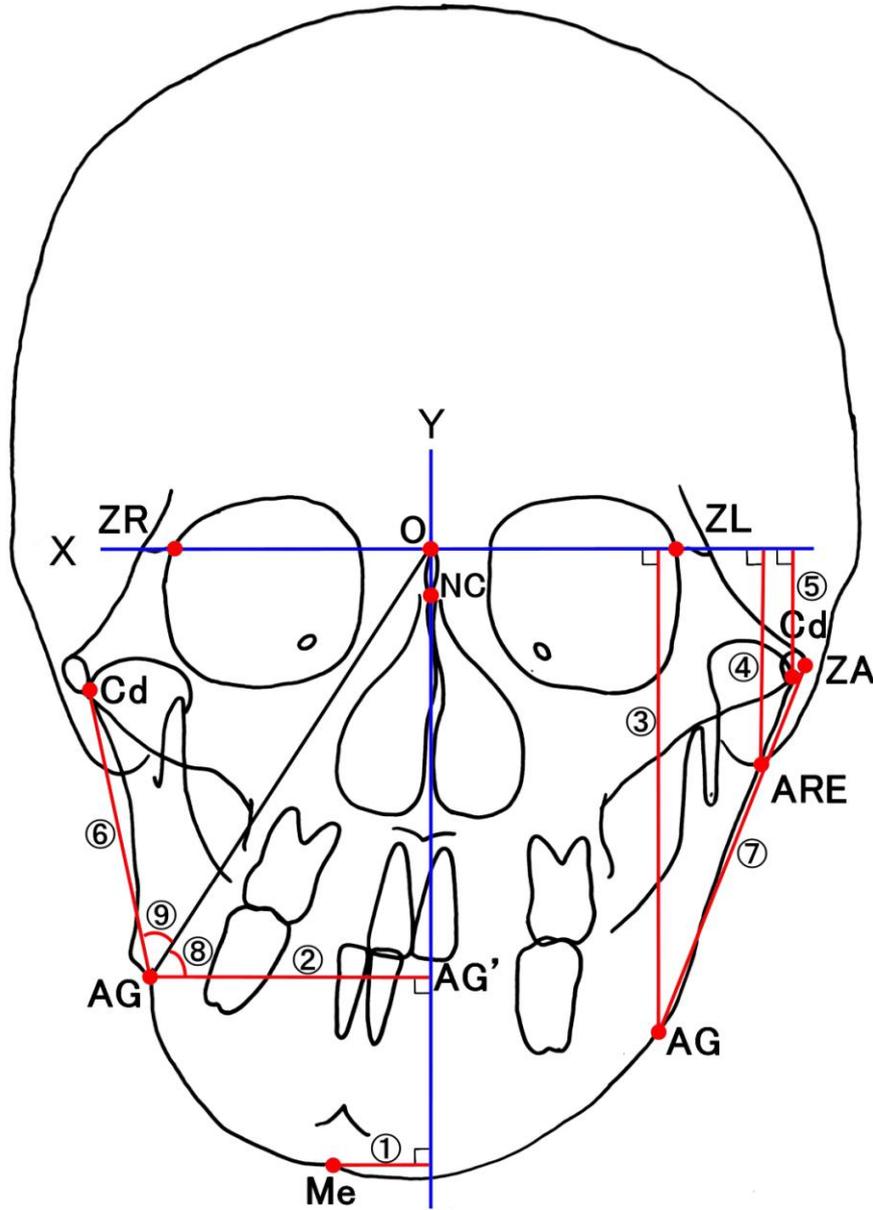


図4 正面頭部X線規格写真における計測点

ZR(ZL)：頬骨前頭縫合と眼窩外縁の交点(左右), NC：鶏冠頸部の中点

ZA：頬骨弓の起始部の最外方点, Cd：下顎頭最外方点

ARE：乳様突起の外縁と下顎骨上行枝の外側縁

AG：下顎枝下縁と三角隆起緻密骨外形像の交点

Me：頤輪郭の最下方点, AG'：AGを通るY軸への垂線の足

各計測点間の距離

①Me-Y軸 ②AG-AG' ③AG-X軸 ④ARE-X軸 ⑤Cd-X軸 ⑥Cd-AG ⑦ZA-AG

角度計測

⑧ $\angle$ O-AG-AG' ⑨ $\angle$ O-AG-Cd

### 3) EMG の記録

EMG の採得にあたり、被験者にはシールドルーム内にて座位をとらせ、FH 平面が床面と平行になるように頭部を按頭台に固定した。被験筋は、両側側頭筋前部、側頭筋後部、咬筋の計 6 筋とし、Ag-AgCl 双極表面電極を筋線維の走行とほぼ平行になるよう電極間距離 12mm にて貼付した。不関電極は、前額部に貼付した。なお、電極貼付の際にはアルコール綿を用いた清拭によりインピーダンスの低下を図り、皮膚と電極との接触抵抗が 10k $\Omega$  以下であることを確認した。

導出した筋電図の信号は生体信号用アンプ (POLYGRAPH, 日本電気三栄株, 東京) を用い増幅した。計測に際し 0.03sec の時定数、および 3.0kHz の高域遮断フィルタを用いて低周波および高周波ノイズを除去した。PCM データレコーダ (RD-200T, TEAC 社, 東京) に記録した後、0.2msec の sampling clock で A/D 変換し、多用途生体情報解析プログラム (BIMUTAS II, キッセイコムテック株, 長野) を用いて EMG 波形を解析した。自発性筋放電レベル 0.02mV を考慮し、活動電位がベースラインの 2 倍の 0.04mV を閾値として、10 秒間の最大咬みしめを 3 回行わせ、開始 2 秒後から 7 秒までの計 5 秒間を全波整流して積分値を求め、3 回の平均値を算出した。

咀嚼筋活動の OA 側および非 OA 側における平衡性を評価するため、EMG の積分値 (iEMG) は iEMG ratio を用いて基準化した。

$$\text{OA 側における iEMG ratio} = \text{OA 側 iEMG} / (\text{OA 側 iEMG} + \text{非 OA 側 iEMG})$$

$$\text{非 OA 側における iEMG ratio} = \text{非 OA 側 iEMG} / (\text{OA 側 iEMG} + \text{非 OA 側 iEMG})$$

#### 4) 計測の再現性

セファロのトレースは、分析者間における計測誤差の混入を防ぐために一人の分析者が行った。分析者内の計測誤差は、無作為に選び出された 10 症例を異なる日に 2 回トレースし、トレースおよび計測ポイントの設定誤差を Dahlberg's formula<sup>45</sup> ( $S^2 = \sum D^2 / 2N$ 、D : 2 回の測定値の差、N : 計測対象数) を用いて評価した。計測誤差の最大は、距離計測項目で 0.89mm、角度計測項目で 0.76° であり、計測値に対し十分小さな値であると考えられた。

#### 5) 統計分析

OA 側と非 OA 側間における CV ratio および iEMG ratio の比較は、Wilcoxon signed rank test を用いて行った。解析には JMP 6.0 ソフトウェア (SAS Institute., Cary, NC, USA) を使用した。

危険率 5% を有意性の判定基準とした。

### 結果

Me における下顎骨側方偏位量の中央値は OA 側へ 9.85mm であった (図 5)。

各計測項目における CV ratio の中央値とその範囲 (第 1 四分点、第 3 四分点、最小値および最大値) を図 6 に示す。OA 側の距離計測項目 AG-X 軸、Cd-AG、ZA-AG および角度

計測項目  $\angle O-AG-AG'$  は、非 OA 側と比較し有意に小さな値を示した。(p < 0.05)

各筋における iEMG ratio の中央値とその範囲（第 1 四分点、第 3 四分点、最小値および最大値）を図 7 に示す。OA 側における咬筋の iEMG は、非 OA 側と比較し有意に大きな値を示した。(p < 0.05)

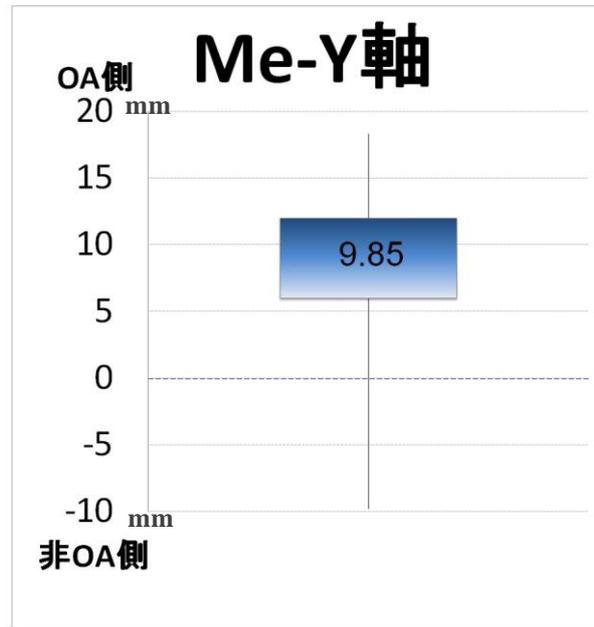


図 5 Me における下顎骨偏位量

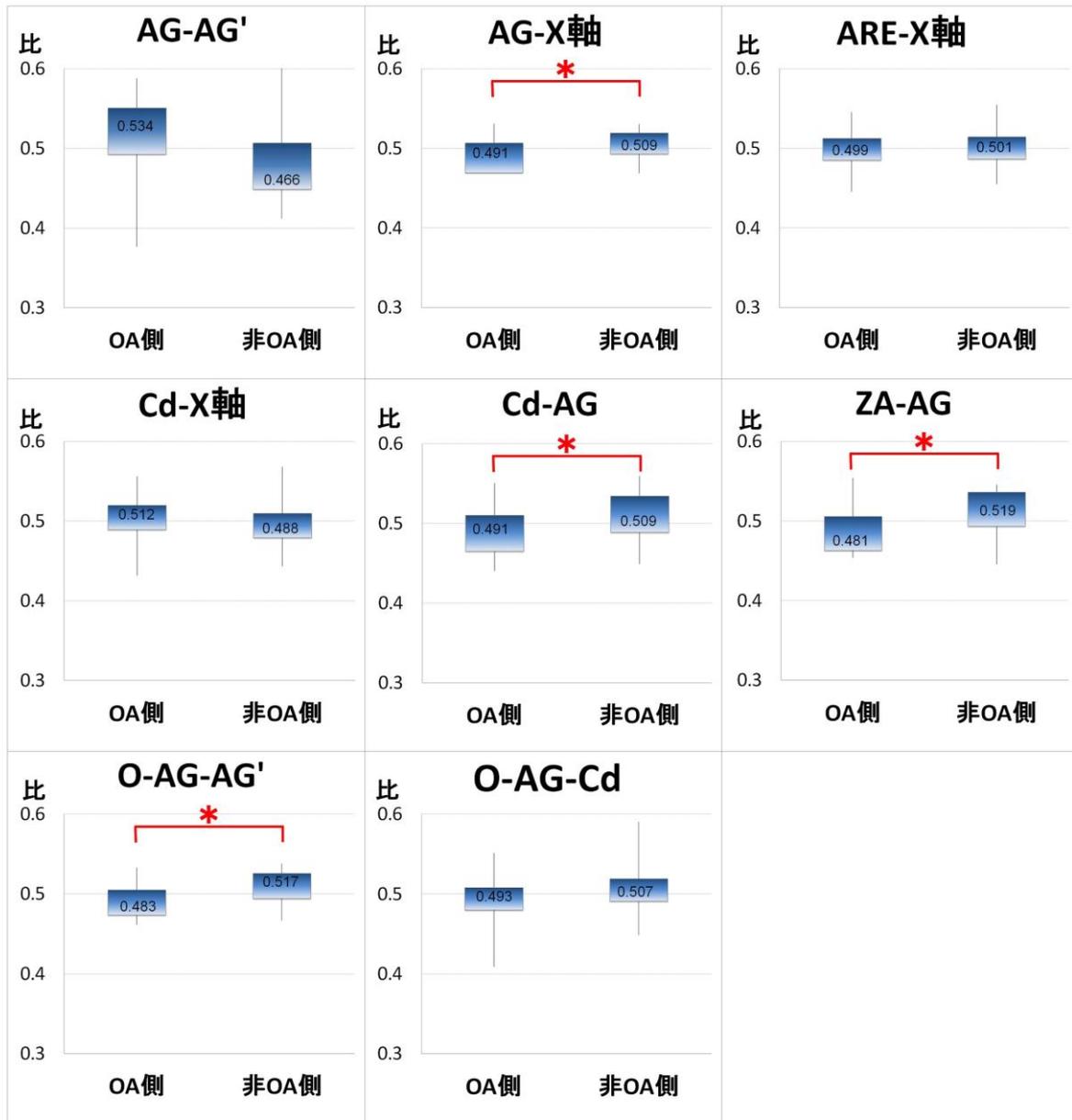


図 6 各計測項目における OA 側および非 OA 側の CV ratio

\*  $p < 0.05$

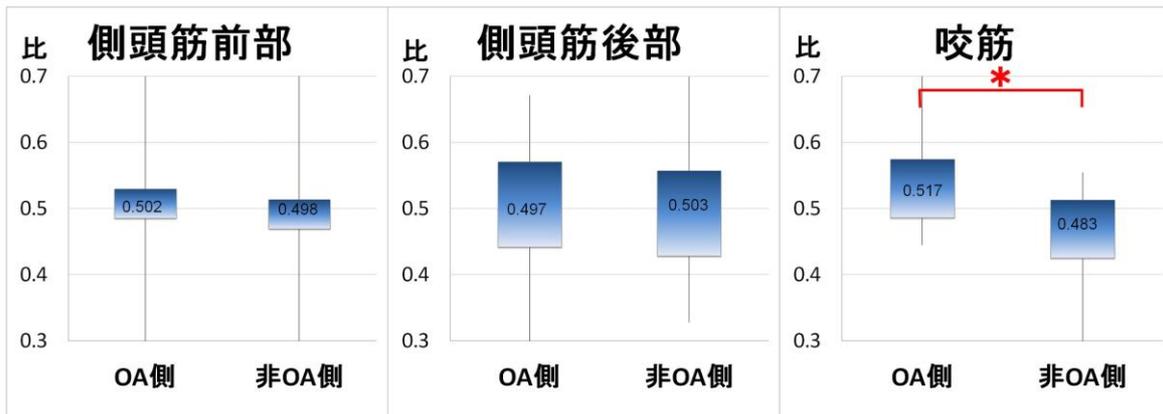


図7 各計測項目における OA 側および非 OA 側の iEMG ratio

\*  $p < 0.05$

## 考察

本研究は、下顎頭吸収の診断に、CTやMRIといった正診率の高い診断機器を用い、片側性変形性顎関節症、顔面非対称および咀嚼筋活動の平衡性、三者の関連性を包括的に調査した初めての研究である。

Meにおける下顎骨側方偏位量はOA側へ9.85mmであった。また、OA側のAG-X軸や下顎枝の長さは非OA側と比較して有意に短かった。片側性変形性顎関節症と顎顔面形態の関連性について検討したYamadaら<sup>26</sup>、小澤ら<sup>27</sup>は、多くの患者は患側へ下顎骨が偏位していたと報告し、Buranastidpornら<sup>46</sup>は下顎骨側方偏位のため咬合平面の傾斜が認められたと報告した。また、動物実験において、関節円板切除<sup>47,48</sup>や、下顎頭切除<sup>49</sup>により左右での成長の不均衡および下顎骨の患側への偏位が生じたという報告もある。これらの報告は、顎関節の退行性変化および侵襲が下顎頭における成長を抑制し、下顎枝の垂直的な長さの減少および顔面非対称を生じさせる可能性を示唆している。

本研究において、OA側の咬筋におけるiEMGは、非OA側と比較し有意に大きい値を示した。下顎骨側方偏位と筋電図積分値との関連を比較した原口ら<sup>22</sup>、近藤<sup>23</sup>、廣瀬<sup>24</sup>らは、咬筋に関しては偏位側の活動量が有意に大きく、また側頭筋に関しては、非偏位側の活動量が有意に大きかったと報告した。また、動物実験において、Nandaら<sup>50</sup>は、片側の咬筋切除により下顎骨の変形が起こり、下顎骨の切除側への偏位を引き起こしたと報告した。さらにAvis<sup>51</sup>、深沢、坂本ら<sup>52</sup>は、咀嚼筋の切除により、侵襲部位周辺の劣成長が

生じ、下顎骨の変形を認めたと報告している。一方、秋本ら<sup>21</sup>は、偏位側の咬筋活動量が非偏位側と比較し、有意に小さかったと報告した。OA側と非OA側を比較した本研究と、下顎骨偏位側と非偏位側を比較した研究とは対象群が異なるため、このような違いが生じたのかもしれない。また、側頭筋活動量は、OA側と非OA側間で統計学的有意差は認められなかった。側頭筋は下顎骨の位置を維持する筋肉であり、下顎の位置と形態の安定に関わっているという報告がある<sup>53</sup>。また側頭筋は、その容積からみると最大の咀嚼筋ではあるが、側頭骨に扇状に広がり、一般的に全ての筋線維が同時に収縮することは少ない<sup>54</sup>。つまり、外側翼突筋、咬筋など他の咀嚼筋と協調してバランスをとりながら部分的に機能する筋であると考えられる。さらに咬筋が下顎骨体部に停止するのと比較し、側頭筋は筋突起に停止するので、顎関節に与える影響は比較的少ないと考える。そのため、OA側と非OA側間で有意な差を認めなかったことが推察される。

片側性変形性顎関節症、顔面非対称および左右側咀嚼筋活動の平衡性の三者の因果関係については、咬筋が最大咬みしめ時における主導筋であることから、咀嚼筋活動の左右のバランスが崩れ、主に咬筋活動が高い側の顎関節がその機械的負荷に対し適応の限界を超えるか、または宿主要因による顎関節の適応力が低下した場合、まず微細な外傷によりリモデリングの機能不全が起こり、それにより下顎頭に退行性変化が引き起こされる可能性がある<sup>55</sup>。さらに、OAが片側性に起こる場合、患側の下顎頭における成長が阻害され、下顎枝の短小化、オトガイの患側への偏位が起こることが示唆された。しかしながら、下顎骨側方偏位の原因として、成長発育異常や、早期接触等の咬合異常に起因した

下顎位の変化による下顎頭の補償的な成長誘導による非偏位側下顎骨の過成長も考えられる。そのため偏位側顎関節に負荷が増大し、下顎頭吸収が進行した可能性もある。今後 OA の罹患年齢を調査することができる前向き研究のデザインを設定することにより、成長長期に OA に罹患した患者、成長終了後に OA に罹患した患者を分類し、片側性変形性顎関節症、顔面非対称および左右側咀嚼筋活動の平衡性、三者の因果関係について更なる検討を加えることを考えている。さらに、最大咬みしめ時における咀嚼筋活動の周波数分析を行い、OA 側、非 OA 側の収縮特性の違いについて検討する予定である。

## 小括

片側性変形性顎関節症患者における顎顔面形態および咀嚼筋活動の特徴として、

- ・ 下顎骨が OA 側へ偏位
- ・ OA 側の下顎角部は上方に位置する
- ・ OA 側の下顎枝は短小
- ・ OA 側の咬筋活動量は非 OA 側に対し、有意に大きい

が示された。

## 総括

両側性変形性顎関節症患者では、下顎頭の退行性変化に伴い、骨格系においては下顎骨の矮小化および下顎骨の後方回転が生じ、歯牙齒槽系では下顎切歯の前方位が認められた。また、軟組織においては上下口唇の突出が認められた。

片側性変形性顎関節症患者では、患側における下顎骨の垂直的な長さの減少およびそれに伴う患側への下顎骨側方偏位を認めた。側頭筋活動量は、OA側と非OA側で有意な差は認められなかったが、咬筋ではOA側の筋活動量が非OA側と比較し、有意に大きかった。

以上のことより、①下顎頭における退行性変化と顎顔面形態には関連性があり、②下顎頭における退行性変化、顔面非対称および左右側咬筋活動の不調和との間には密接な関連性があることが示唆された。

## 謝辞

稿を終えるにあたり、本研究に終始御懇切なる御指導、御校閲を賜りました九州大学大学院歯学研究院口腔保健推進学講座 中島昭彦名誉教授、名方俊介准教授に謹んで深甚なる謝意を表します。また、多くの御指導、御助言を頂きました九州大学病院口腔保健科 五百井秀樹先生、原淳先生、顎関節病態の診断に御協力頂きました九州大学大学院歯学研究院口腔顎顔面病態学講座 後藤多津子先生に謹んで感謝の意を表します。

第 I 章の内容の一部は第 1 回九州矯正歯科学会学術大会（平成 18 年 2 月、福岡）

第 II 章の内容の一部は第 66 回日本矯正歯科学会大会（平成 19 年 9 月、大阪）

において発表した。

## 引用文献

1. Okeson JP. Management of temporomandibular disorders and occlusion. 4th ed. St Louis: Mosby; 1998. p. 413-460.
2. Stegenga B, de Bont LG, Boering G, van Willigen JD. Tissue responses to degenerative changes in the temporomandibular joint: a review. *J Oral Maxillofac Surg* 1991;49:1079-1088.
3. de Bont LG, Stenaga B. Pathology of temporomandibular joint internal derangement and osteoarthritis. *International J Oral Maxillofac Surg* 1993;22:71-74.
4. Pereira FJ Jr, Lundh H, Westesson PL. Morphologic changes in the temporomandibular joint in different age groups. An autopsy investigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994;78:279-287.
5. Blackwood HJJ. Arthritis of the temporomandibular joint. *Br Dent J* 1963;115:317-326.
6. Oberg T, Carlsson GE, Fajers CM. The temporomandibular joint. A morphometric study on a human autopsy material. *Acta Odontol Scand* 1971;29:349-384.
7. Toller PA. Osteoarthritis of the mandibular condyle. *Br Dent J* 1973;134:223-231.
8. Kopp S. Subjective symptoms in temporomandibular joint osteoarthritis. *Acta Odontol Scand* 1977;35:207-215.
9. Arnett GW, Milam SB, Gottesman L. Progressive mandibular retrusion – idiopathic condylar

- resorption. Part I. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1996;110:8-15.
10. Schellhas KP, Pollei SR, Wilkes CH. Pediatric internal derangements of the temporomandibular joint: effect on facial development. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1993;104:51-59.
  11. Nebbe B, Major PW, Prasad NG, Grace M, Kamelchuk LS. TMJ internal derangement and adolescent craniofacial morphology: a pilot study. Angle Orthod 1997;67:407-414.
  12. Yamada K, Hiruma Y, Hanada K, Hayashi T, Koyama J, Ito J. Condylar bony changes and craniofacial morphology in orthodontic patients with TMD symptoms: a pilot study using helical computed tomography and magnetic resonance imaging. Clin Orthod Res 1999;2:133-142.
  13. Ricketts RM. Clinical implications of the temporomandibular joint. Am J Orthod 1966;52:416-439.
  14. Susami T, Kuroda T, Yano Y, Nakamura T. Growth changes and orthodontic treatment in a patient with condylolysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1992;102:295-301.
  15. 小澤奏, 末井良和, 丹根一夫. 歯科矯正治療中に下顎頭の著しい形態変化を呈した変形性関節症の1例. 日顎誌 1997;9:1-8.
  16. Wolford LM, Cardenas L. Idiopathic condylar resorption: Diagnosis, treatment protocol, and outcomes. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1999;116:667-677.
  17. Tanaka E, Kikuchi K, Sasaki A, Tanne K. An adult case of TMJ osteoarthritis treated with

- splint therapy and the subsequent orthodontic occlusal reconstruction: Adaptive change of the condyle during the treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;118:566-571.
18. Yamada K, Saito I, Hanada K, Hayashi T. Observation of three cases of temporomandibular joint osteoarthritis and mandibular morphology during adolescence using helical CT. *J Oral Rehabil* 2004;31:298-305.
19. Gidarakou IK, Tallents RH, Kyrkanides S, Stein S, Moss ME. Comparison of skeletal and dental morphology in asymptomatic volunteers and symptomatic patients with bilateral degenerative joint disease. *Angle Orthod* 2003;73:71-78.
20. 日高純子, 森下 格, 名方俊介, 中島昭彦. 顎顔面非対称性と咀嚼筋機能の平衡性について. *日矯歯誌* 1996;55:329-336.
21. 秋本 進, 不島健持, 佐藤貞雄, 鈴木祥井. 下顎側方偏位症例における咀嚼筋活動に関する研究—バイトブロックの位置を変えることによる影響—. *日矯歯誌* 1994;53:632-640.
22. 原口由美子, 名方俊介, 渡邊美恵子, 小宮智恵子. 顔面非対称が増悪した1症例の咀嚼筋機能分析. *日矯歯誌* 1994;53:183-191.
23. 近藤裕敏. 顔面非対称を伴う骨格性下顎前突症における咀嚼筋の形態と機能に関する研究—X線CTを利用して—. *歯学* 1991;78:1261-1279.
24. 廣瀬圭三. 骨格性下顎前突症における咀嚼筋活動と正貌形態との関連性に関する研究. *歯学* 1990;78:49-62.

25. Machida N, Yamada K, Takata Y, Yamada Y. Relationship between facial asymmetry and masseter reflex activity. *J Oral Maxillofac Surg* 2003;61:298-303.
26. Yamada K, Hiruma Y, Hanada K, Hayashi T, Koyama J, Ito J. Condylar bony change and craniofacial morphology in orthodontic patients with TMD symptoms: a pilot study using helical computed tomography and magnetic resonance imaging. *Clin Orthod Res* 1999;2:133-142.
27. 小澤奏, 京面伺吾, 小田義仁, 沖村昭信, 丹根一夫. 顎関節円板の非復位性前方転位を有する患者の顎顔面形態. *日顎誌* 1994;6:54-68.
28. Schellhas KP, Pollei SR, Wilkes CH. Pediatric internal derangements of the temporomandibular joint: Effect on facial development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;104:51-59.
29. Katzberg RW, Tallents RH, Hayakawa K, Miller TL, Goske MJ, Wood BP. Internal derangements of the temporomandibular joint: Findings in the pediatric age group. *Radiology* 1985;154:125-127.
30. Ahn SJ, Lee SP, Nahm DS. Relationship between temporomandibular joint internal derangement and facial asymmetry in women. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:583-591.
31. Muir CB, Goss AN. The radiographic morphology of asymptomatic temporomandibular joints. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990;70:349-354.

32. Brooks SL, Brand JW, Gibbs SJ, Hollender L, Lurie AG, Omnell KA, et al. Imaging of the temporomandibular joint: a position paper of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1997;83:609-618.
33. Westesson PL, Katzberg RW, Tallents RH, Sanchez-Woodworth RE, Svensson SA. CT and MR of the temporomandibular joint: comparison with autopsy specimens. *Am J Roentgenol* 1987;148:1165-1171.
34. Epstein JB, Caldwell J, Black G. The utility of panoramic imaging of the temporomandibular joint in patients with temporomandibular disorders. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 2001;92:236-239.
35. Kononen M, Kilpinen E. Comparison of three radiographic methods in screening of temporomandibular joint involvement in patients with psoriatic arthritis. *Acta Odontol Scand* 1990;48:271-277.
36. Kobayashi K, Kondoh T, Sawai K, Yamamoto A. Image diagnosis for internal derangements of the temporomandibular joint: The advantages and limitations of imaging techniques. *Oral Radiol* 1991;7:13-24.
37. 覚道健治. 顎関節症IV型におけるスクリーニング法としての回転パノラマX線撮影法の診断的価値とその問題点. *歯医学誌* 1995;14:43-47.
38. Goto TK, Nishida S, Nakayama E, Nakamura Y, Sakai S, Yabuuchi H, et al. Correlation of

- mandibular deviation with temporomandibular joint MR dimensions, MR disk position, and clinical symptoms. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005;100:743-749.
39. Turpin DL, West RA. Juvenile rheumatoid arthritis: A case report of surgical/orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1978;73:312-320.
40. Jacobson A. *Radiographic Cephalometry*. Chicago: Quintessence; 1995. p. 97-112.
41. Hatala MP, Tallents RH, Spoon M, Subtelny JD, Kyrkanides S. Effect of surgically created disk displacement on mandibular asymmetry in the growing rabbit. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996;82:625-633.
42. Sarnat BG. Facial and neurocranial growth after removal of the mandibular condyle in the *Macaca rhesus* monkey. *Am J Surg*. 1957;94:19-30.
43. Yamada K, Hiruma Y, Hanada K, Hayashi T, Koyama J, Ito J. Condylar bony change and craniofacial morphology in orthodontic patients with TMD symptoms: a pilot study using helical computed tomography and magnetic resonance imaging. *Clin Orthod Res*. 1999;2:133-142.
44. Tasaki MM, Westesson PL. Temporomandibular joint: Diagnostic accuracy with sagittal and coronal MR imaging. *Radiology* 1993;186:723-729.
45. Dahlberg AG. *Statistical Methods for Medical and Biological Students*. London: Bradford and Dickens; 1940:122-132.
46. Buranastidporn B, Hisano M, Soma K. Temporomandibular joint internal derangement in

- mandibular asymmetry. What is the relationship? *Eur J Orthod* 2006;28:83-88.
47. 中村 哲. 顎関節における関節円板切除の修復機転に関する実験的研究. *金医大誌* 1989;14:19-38.
48. 小野尊睦, 福井正義, 島原政司, 横矢 喬. *Meniscectomy* に関する実験的研究. *日口外誌* 1973;19:44-51.
49. 角野博俊. 下顎頭損傷の修復に関する実験病理学的研究—ラット顎関節損傷の顎顔面発育に及ぼす影響を中心にして—. *口科誌* 1983;32:69-109.
50. Nanda S, Merow WW, Sassouni V. Repositioning of the masseter muscle and its effect on skeletal form and structure. *Angle Orthod* 1967;37:304-308.
51. Avis V. The significance of the angle of the mandible: an experimental and comparative study. *Am J Phys Anthropol* 1961;19:55-61.
52. 深沢裕文, 坂本敏彦. 閉口運動に関与する筋群切除後のラット下顎骨の成長発育に関する形態学的研究. *日矯歯誌* 1982;41:521-530.
53. Ahrgren J, Sonesson B, Blitz M. An electromyographic analysis of the temporalis function of normal occlusion. *Am J Orthod* 1985;87:230-239.
54. 藤田勝治. 補綴臨床 別冊 チェアサイドで行う顎機能診査のための 基本 機能解剖. 東京: 医師薬出版(株); 2004. p. 28.
55. Tanaka E, Detamore MS, Mercuri LG. Degenerative disorders of the temporomandibular joint: etiology, diagnosis, and treatment. *J Dent Res* 2008;87:296-307.