顔面非対称を伴う不正咬合症例における下顎頭の三次元形態学的特徴

笹本 さ え ら 上 地 潤
今 野 正 裕 溝 口 到

Three-dimensional Morphological Characteristics of the Mandibular Condyles in Cases of Facial Asymmetry

SAERA SASAMOTO, JUN UECHI,
MASAHIRO KONNO and ITARU MIZOGUCHI

Abstract

The aim of the present study was to clarify morphological differences in mandibular condyles between deviated and non-deviated sides and the spatial position of the mandible on craniomaxillary complex in a three-dimensional manner in facial asymmetry cases. A virtual reality model reconstructed from 30 patients with facial asymmetry was used in this study. The virtual reality model was segmented into two components, craniomaxillary complex and mandible, and two coordinate systems, global and local, were established in two segmented components for each of the two components. As geometric features of these virtualized models, the position and attitude of the mandible relative to the craniomaxillary complex, which represent the degree of facial asymmetry, and the angle and length of the condylar long axis, which represent the condylar morphology, were extracted. Condylar morphology was compared between the deviated and non-deviated sides. Furthermore, correlations between degrees of facial

asymmetry and differences in condylar morphology between the deviated and non-deviated sides were examined. The results were as follows: (1) the length of the condylar long axis on the deviated side was significantly smaller than that on the non-deviated side; (2) the difference in the length of the condylar long axis increased with an increase of lateral deviation of the mandible; (3) the angle of the condylar axis on a Md axial plane on the deviated side was significantly larger than that on the non-deviated side; and (4) the difference in angle of the condylar long axis tended to increase with an increase of relative attitude of the mandible toward craniomaxillary complex on the axial plane. The results obtained from the 3D analysis method for which a reference coordinate system was established in the mandible itself indicated close relationships between bilateral morphological differences in the condyles and facial asymmetry.

Key words: condylar long axis (下顎頭長軸), facial asymmetry (顔面非対称), three-dimensional morphological characteristics (三次元形態学的特徴)

[Received Mar. 16, 2016]

緒 言

顔面非対称は、先天性異常¹⁾や咬合・顎関節の機能障害^{2,3)}、外傷^{4,5)}などの様々な原因により、顎顔面骨格の形態形成に左右差が生じて発現する。下顎骨は顎顔面形態

に多様性をもたらす主要な立体構造物の一つであり、解剖学的には下歯槽神経を包む中心(コア)部と機能性突起から構成されている。さらに機能性突起は、歯を支持する歯槽突起部、関節機能を営む関節突起部および筋付着突起部に分けることができる⁶⁾。中でも関節突起の先端に位置する下顎頭には下顎頭軟骨が存在し、その活発な軟骨内骨化

により下顎骨で最も旺盛な成長を示す。その成長方向は後上方で、下顎頭の成長に伴って下顎骨自体は、前下方へと移動する⁷⁻⁹⁾。このような成長現象は、下顎骨の posterior growth-anterior displacement と称され、下顎頭の成長様相が顎顔面骨格の形態や咬合様式に大きな影響を及ぼすことが分かっている¹⁰⁾。そのため顎顔面骨格に非対称が存在する個体においては、左右両側に存在する下顎頭の成長様相に差異が生じ、下顎骨体の位置や姿勢の対称性に影響を及ぼしている可能性は十分に考えられる。

このように顔面非対称を伴う不正咬合症例（以下、顔面非対称症例）と下顎頭形態の関連について知ることは矯正歯科臨床において重要な課題の一つと考えられており、正面頭部 X 線規格写真（以下、正面セファロ）やオトガイ頭頂方向 X 線規格写真（以下、軸位セファロ）などの二次元セファロを用いた研究が数多く行われてきた。顔面非対称症例の下顎頭形態を評価した研究では、非偏位側と比較して偏位側の下顎頭の内外径（幅径）と前後径が小さいこと^{11, 12)}、内外径と垂直径が小さいこと¹¹⁾、あるいは前後径には差がないこと^{12, 13)}、偏位側の下顎頭長軸角が小さいこと¹⁴⁾、あるいは差がないこと¹⁵⁾、偏位側の下顎頭の位置は後上方に位置すること^{14, 16, 17)} など様々な報告がなされている。しかし、これらの分析手法の多くは、左右の外耳道と眼窩下縁点で頭位を規定して撮影した二次元セファロに対して脳頭蓋上顎複合体にある解剖学的点を基に正中線を設定し、下顎頭形態の左右差を評価したものであった。従来からセファロ分析は矯正診断に有益な情報をもたらしてくれる簡便な方法として広く用いられている。しかし頭部の固定条件の違いにより、X 線像の変化量が大きいこと、基準平面の設定が困難であること、得られる形態的情報が少ないこと、さらには頭蓋構造の重なり合いによる輪郭線が不鮮明となることなどの欠点があり¹⁸⁾、顔面非対称症例の形態的特徴を正確に分析するためには不十分な方法であることが指摘されている¹⁹⁻²¹⁾。

顔面非対称症例では、脳頭蓋上顎複合体に対して下顎骨が側方に偏位した左右的顎間関係の不調和、水平面上で回転した前後の顎間関係の左右差および前頭面上で回転した垂直的顎間関係の左右差などが生じたものなどが混在しており、これらの組合せや程度に応じて多様な表現をみせる²⁰⁻²²⁾。また本質的に顎顔面骨格は、三次元で複雑さに富んだ立体構造物の集合体であり、とりわけ顔面非対称症例においては、その多様性と複雑性が正確な診断や治療を困難にしていると考えられている^{23, 24)}。そのため、最近では X 線 CT から構築した立体画像を用いて顔面非対称症例の下顎頭形態を検討した報告が散見されるようになった²⁵⁻²⁷⁾。下顎頭形態を三次元で評価した研究では、非偏位側に比較して偏位側の下顎頭の内外径と前後径は、有意に小さく、下顎頭長軸角は有意に大きいと報告している²⁵⁾。また下顎

頭の位置を三次元で評価した研究においては、正中矢状平面から下顎頭までの水平的距離は偏位側で小さいと報告している²⁷⁾。しかしながら、三次元で行ったこれらの分析もまた脳頭蓋上顎複合体に存在する左右の外耳道および眼窩下縁点を基準にしたものであった。顔面非対称の原因は脳頭蓋上顎複合体のみならず下顎骨にも存在していることが少なくない²⁴⁾。したがって下顎骨とそれに含まれる部位・領域の対称性を評価するためには、下顎骨自体に基準を設定し、偏位側と非偏位側の形態の差異を定量する必要がある。

本研究の目的は、顔面非対称症例の偏位側と非偏位側における下顎頭形態の差異と脳頭蓋上顎複合体に対する下顎骨の位置・姿勢との関連性について、三次元で明らかにすることである。

対象と方法

1. 研究対象

研究対象には、北海道医療大学歯科クリニック顎変形症外来で顎変形症と診断され、初診時の診断に使用した X 線 CT の DICOM データと頭部 X 線規格写真、歯列模型を対象とし、住所や氏名等の個人情報を含まない状態で複製し、保存されていた資料を用いた。このうち、正面セファロ分析においてオトガイ正中最下点 (Me) が正中基準線に対して 3.0mm 以上の側方偏位を認め、思春期性成長が終了したと判断された 30 名 (男性 10 名、女性 20 名: Me の側方偏位量の平均 7.3mm, 平均年齢 21 歳 7 か月) のデータを選択した (Table 1)。対象の選択に使用した正中基準線には、篩骨鶏冠 (CG) を通り、左右眼窩外側縁と左右蝶形骨大翼の外側縁 (oblique line) の交点を結んだ直線 (Lo-Lo' line) に対して直交する直線を用いた²⁸⁾。思春期後期における成長量の予測に用いた指標は、初診時に撮影された手根部 X 線写真における橈骨の骨端核の手根成熟度が stage IJ 以上のものとした^{9, 29-31)}。顎顔面形成異常を伴う症候群や先天異常、顎顔面における外傷の既往歴、矯正治療の既往歴を伴う症例は除外した。

2. 研究方法

1) コンピュータ支援診断・治療計画立案システムの構成

顔面非対称を伴う不正咬合患者を仮想化した仮想現実モデル (virtual reality model; 以下 VR モデル) の生成とその三次元分析には、本学顎変形症外来のコンピュータ支援診断・治療計画立案システムを用いた³²⁾。本システムは、X 線 CT 装置 (ProSpeed F II[®]; GE Medical Systems, Milwaukee, Wis) およびサーフェススキャナ (VIVID910[®]; コニカミノルタ, 東京) などのハードウェアとそれらを制御し三次元データの加工や編集、解析など

Table 1 Summary of subjects used in this study (n = 30)

Case	Gender	Age (y)	Distance from Me (mm)	Sift side	skeletal
1	Female	22y0m	6.0	Left	Class I
2	Female	18y2m	9.0	Left	Class III
3	Male	21y11m	15.0	Left	Class III
4	Female	21y5m	3.0	Right	Class I
5	Male	17y7m	8.0	Left	Class III
6	Female	27y1m	11.0	Right	Class I
7	Male	19y1m	12.5	Left	Class III
8	Male	20y6m	3.0	Left	Class III
9	Female	15y7m	3.0	Left	Class III
10	Female	18y5m	5.0	Left	Class III
11	Female	23y1m	6.0	Left	Class III
12	Male	22y6m	4.0	Left	Class III
13	Male	21y6m	6.0	Left	Class III
14	Male	24y10m	10.5	Left	Class III
15	Female	25y5m	6.0	Right	Class II
16	Female	18y3m	5.5	Left	Class III
17	Female	31y3m	7.0	Right	Class I
18	Female	22y11m	7.5	Right	Class III
19	Female	20y7m	4.0	Left	Class III
20	Female	20y1m	4.0	Right	Class III
21	Male	29y5m	3.5	Left	Class III
22	Female	15y9m	10.0	Left	Class III
23	Female	18y9m	7.0	Right	Class III
24	Male	32y10m	15.5	Left	Class III
25	Female	26y10m	6.5	Right	Class III
26	Female	20y8m	5.0	Right	Class III
27	Male	17y8m	17.0	Left	Class III
28	Female	20y2m	5.0	Right	Class III
29	Female	19y5m	6.0	Right	Class III
30	Female	20y6m	7.5	Left	Class I
Average		21y7m	7.3		

を行うソフトウェアから構成される。

2) VR モデルの生成と基準座標系の設定

本研究に用いる VR モデルの生成には, modified multimodal image fusion technique を適用し³³⁾, 脳頭蓋顔面骨格形態の情報は X 線 CT 装置, また歯列形態の情報はサーフェススキャナから取得した。CT の撮像条件は, スライス厚 1.0mm, スライス間隔 1.0mm, 再構成間隔 0.5mm, field of view 256×256mm ならびに matrix 512×512 と設定した。CT 撮像の際の患者の体位は仰臥位とし, 口腔内に装着した較正用スプリントと床とが垂直となるように頭位を固定し, 眼窩上縁からオトガイ下までの範囲を撮像した。骨表面のデータ抽出には, DICOM 編集ソフトウェア (V-works4.0[®]; CyberMed, Seoul, Korea) を使用し, 骨条件の閾値 (CT 値: 320-3072) を用いた。また VR モデルの生成過程においては三次元ポリゴン編集・

解析ソフト (RapidForm2006[®]; Inus Technology, Seoul, Korea) を用いて, 顎関節の関節円板を境に VR モデルを脳頭蓋上顎複合体と下顎骨の 2 つの要素に細分化した (Fig. 1a, b)。

この 2 つの要素への基準座標系の設定にあたっては, 先ず Surface-based method³⁴⁾ に改変を加えた表面形状基準法²¹⁾ を適用して正中矢状平面をそれぞれ抽出し, 得られた平面を脳頭蓋上顎複合体の正中矢状平面 (以下, CMC 正中面), 下顎骨の正中矢状平面 (以下, Md 正中面) とした。CMC 正中面を YZ 平面, 左側の外耳道上縁点 (Po-L) から CMC 正中面に下した垂線を X 軸, 正中面と X 軸との交点を原点, 左側眼窩下縁点 (Or-L), Po-L および原点を含む脳頭蓋上顎複合体の体軸面 (以下, CMC 体軸面) を XY 平面, 原点を通る XY 平面の法線を Z 軸, X 軸と Z 軸と直交する直線を Y 軸, X 軸と Z 軸からなる脳頭蓋上顎複合体の前頭面 (以下, CMC 前頭面) を XZ 平面と

Fig. 1 Segmentation of virtual reality model

a: Virtual reality model before segmentation

b: Virtual reality model after segmentation

Light gray; Cranio-maxillary complex

Dark gray; Mandible

する XYZ 直交座標系を設定し, これを脳頭蓋上顎複合体座標系 (以下, CMC 座標系) とした。また Md 正中面を YZ 平面, 左側のオトガイ孔最下縁点 (Mf-L) から Md 正中面に下した垂線を X 軸, 正中面と X 軸との交点を原点, 左側アンチゴニアルノッチの最高点 (Ag-L), Mf-L および原点を含む下顎骨の体軸面 (以下, Md 体軸面) を XY 平面, 原点を通る XY 平面の法線を Z 軸, X 軸と Z 軸と直交する直線を Y 軸, X 軸と Z 軸からなる下顎骨の前頭面 (以下, Md 前頭面) を XZ 平面とする XYZ 直交座標系を設定し, これを下顎骨座標系 (以下, Md 座標系) とした。

Fig. 2 Quantification of relative attitude and position

a: Relative attitude of mandible for the cranio-maxillary complex on the CMC frontal plane (rolling)

b: Relative attitude of mandible for the cranio-maxillary complex on the CMC axial plane (yawing)

c: Relative position of mandible for the cranio-maxillary on the CMC frontal plane (swaying)

Fig. 3 Setting of condylar long axis

a: Reference coordinate of mandible

b: Shape selection of condyle

c: Calculation of approximate sphere

d: Straight line L passing through the center coordinates of the sphere

e: Extraction of the medial and lateral poles

f: Setting of condylar long axis

Fig. 4 Quantification of length of the condylar long axis
 a: Length of condylar long axis on the deviated side
 b: Length of condylar long axis on the non-deviated side
 c: Reference coordinate of the mandible

Fig. 5 Quantification of angle of condylar long axis
 a, b: Projection of the condylar long axis (dashed line) on the Md axial plane
 c, d: Angle of the condylar long axis on the Md axial plane (thick line)
 e, f: Projection of the condylar long axis (dashed line) on the Md frontal plane
 g, h: Angle of the condylar long axis on the Md frontal plane (thick line)

3) 脳頭蓋上顎複合体に対する下顎骨の位置・姿勢の定量

脳頭蓋上顎複合体に対する下顎骨の位置・姿勢については、CMC 座標系に Md 座標系を読み込み、Md 座標系の X 軸と原点を CMC 前頭面に、Md 座標系の X 軸を CMC 体軸面に各々投影し、CMC 前頭面における X 軸の相対

姿勢を下顎骨の前頭面での傾斜度（以下、rolling）（Fig. 2a）、CMC 体軸面における X 軸の相対姿勢を下顎骨の体軸面での傾斜度（以下、yawing）（Fig. 2b）、CMC 前頭面における Md 座標系の原点の左右的相対位置を下顎骨の側方への偏位量（以下、swaying）（Fig. 2c）とし、計測し

定量化した²⁰⁾。

4) 下顎頭形態の定量

(1) 下顎頭長軸の設定

Md 座標系において (Fig. 3a), 下顎頭の外側と内側において最も突出していると予想される領域を任意に選択して (Fig. 3b) 近似球を算出し (Fig. 3c), 得られた2つの球の中心を通る直線 L を求めた (Fig. 3d)。また, 下顎頭の三次元形状を構成する点群の中から直線 L に沿って最も内側, 外側に位置する点を内側極, 外側極とし (Fig. 3e), これらを結んだ線分を下顎頭長軸とした (Fig. 3f)。

(2) 下顎頭長軸長の定量

下顎頭長軸の外側極と内側極間の距離を下顎頭長軸長とした (Fig. 4a, b, c)。偏位側から非偏位側を引いた値を下顎頭長軸長差とした。

(3) 下顎頭長軸角の定量

Md 座標系上で, 下顎頭長軸を Md 体軸面に投影し (Fig. 5a, b, c), Md 前頭面との成す角度を, Md 体軸面における下顎頭長軸角とした (Fig. 5d)。下顎頭長軸を Md 前頭面に投影し (Fig. 5e, f, g), Md 体軸面と成す角度を, Md 前頭面における下顎頭長軸角とした (Fig. 5h)。各々の偏位側から非偏位側を引いた値を Md 体軸面における下顎頭長軸角差, Md 前頭面における下顎頭長軸角差とした。

5) 分析方法および統計処理

(1) 測定誤差

本法の精度を検証するために測定誤差と標準偏差を得た。測定誤差を求めるために, 30 名の VR モデルから 10 名を, 無作為に選択し, 2 週間以上間隔をあけて 2 回測定した。測定誤差は角度および距離計測値について Dahlberg の式を用いてそれぞれ算出した³⁵⁾。

(2) 偏位側と非偏位側における下顎頭形態の差異

偏位側と非偏位側における下顎頭長軸長, 下顎頭長軸角を比較した。統計処理ソフト (SPSS 22.0; IBM, Armonk, NY) を用い, Kolmogorov-Smirnov test により量的変数の正規性を確認したのち, Paired t-test を行った。なお, 危険率 5% を有意性の判定基準とした。

(3) 偏位側と非偏位側における下顎頭形態の差異と脳頭蓋上顎複合体に対する下顎骨の位置・姿勢との関係

下顎頭長軸長差, Md 体軸面における下顎頭長軸角差, Md 前頭面における下顎頭長軸角差, 各々と rolling, yawing, swaying 各々の間で相関分析を行った。統計処理ソフトを用い, Kolmogorov-Smirnov test により量的

Table 2 Difference in condylar morphology on the deviated and non-deviated sides

a Difference in length of condylar long axis		
Group	Deviation side	Non-Deviation side
Mean	19.25	20.45
(SD)	(2.90)	(2.59)
(mm)		
b Difference in angle of condylar long axis on the Md axial plane		
Group	Deviation side	Non-Deviation side
Mean	21.69	10.88
(SD)	(5.96)	(6.53)
(degrees)		
c Difference in angle of condylar long axis on the Md frontal plane		
Group	Deviation side	Non-Deviation side
Mean	11.14	9.12
(SD)	(16.29)	(11.22)
(degrees)		

* : significant (P < 0.05)

変数の正規性を確認したのち, Spearman の順位相関係数を行った。なお, 危険率 5% を相関性の判定基準とした。

結 果

1. 測定誤差

下顎頭長軸長の距離計測では平均 0.08mm (0.00mm–1.16mm), Md 体軸面における下顎頭長軸角と Md 前頭面における下顎頭長軸角の角度計測の平均が 0.27° (0.00°–2.05°) であった。

2. 偏位側と非偏位側における下顎頭形態の差異

量的変数は正規性を示した。偏位側が非偏位側に比べ, 下顎頭長軸長は, 有意に小さく ($p = 0.003$) (Table 2a), Md 体軸面における下顎頭長軸角は有意に大きかった ($p < 0.001$) (Table 2b)。しかし, Md 前頭面における下顎頭長軸角では 2 群間に有意差は認められなかった (Table 2c)。

3. 偏位側と非偏位側における下顎頭形態の差異と下顎骨の位置・姿勢との関係

量的変数は正規性を示さなかった。下顎頭長軸長差と

Fig. 6 Relative difference of condylar morphology and attitude and position of Md in the deviated side and non-deviated side

- a : Difference in length of condylar long axis and rolling
- b : Difference in length of condylar long axis and yawing
- c : Difference in length of condylar long axis and swaying
- d : Difference in angle of condylar long axis on the Md axial plane and rolling
- e : Difference in angle of condylar long axis on the Md axial plane and yawing
- f : Difference in angle of condylar long axis on the Md axial plane and swaying
- g : Difference in angle of condylar long axis on the Md frontal plane and rolling
- h : Difference in angle of condylar long axis on the Md frontal plane and yawing
- i : Difference in angle of condylar long axis on the Md frontal plane and swaying

swaying の間に有意な負の相関を認めた ($r = -0.44$) (Fig. 6c)。Md 体軸面における下顎頭長軸角差と yawing の間に有意な正の相関を認めた ($r = 0.41$) (Fig. 6e)。しかし、その他の項目では 2 群間に有意な相関を認めなかった (Fig. 6a, b, d, f, g, h, i)。

考 察

1. 研究手法について

顔面非対称症例の顎顔面骨格を構成する何れの要素に非対称が存在するかを知るためには、各要素に固有の座標系を設定し、各々の座標系を基準に各々の対称性を評価すると理解しやすい²⁰⁾。頭蓋顎顔面骨格は、脳頭蓋上顎複合体と下顎骨の 2 つの要素に大別できる²⁰⁾。したがって、下顎骨の非対称の存在の有無を知ることと、非対称が存在している場合、どの部位、どの領域に非対称が存在しているかを特定するためには、下顎骨自体に基準座標系を設定して分析する必要がある。本研究では、顔面非対称症例の下顎骨に基準座標系を設定し、偏位側と非偏位側の下顎頭形態を比較した。

下顎骨は下歯槽神経と脈管の束を取り囲むコアとよばれる部分と機能性突起から構成されている。機能性突起は、歯を支持する歯槽突起、咀嚼筋の付着部位である筋性突起、そして側頭骨の関節窩とともに顎関節を作る関節突起からなる構造体として表すことができる。“Functional matrix”の成長理論によれば、咀嚼筋を含む周囲軟組織の成長に伴って生じるコアの移動は、機能性突起の適応変化を引き起こす³⁶⁾。さらに、この理論は正常な成長にも異常な成長にも適用できるとしている。すなわち、機能性突起は、筋機能や咬合力などによる顎骨に対する力学的環境により、その形態形成に大きな影響を受けていると解釈できる。そのため本研究では、Md 基準座標系を設定するにあたり、Md 正中面の抽出に用いる領域としては、機能性突起から離れ、安定した骨組織と考えられるコアの部分（オトガイ孔周囲の骨表面：下顎骨体部）の表面形状を採用した。また、座標系の設定に用いたランドマークは、Mf-L と Ag-L の 2 点とした。この理由としては、これらのランドマークは前述の通りに安定した骨構造であると考えられる下顎骨体部に存在していること、および共に強い変曲点を有する曲面を呈する骨面上に位置するため、同定する際の再現性が高いと考えられていること³⁷⁾ などがあげられるからである。そのため従来の側面セファロや正面セファロにおいても用いられてきた^{35, 38, 39)}。

本研究では顔面非対称症例の顎間関係を定量するために、脳頭蓋上顎複合体に対する下顎骨の位置・姿勢を計測した。物体間の相対位置・姿勢は X, Y, Z 軸に沿った相対距離と、X, Y, Z 軸周りの相対角度の計 6 つの変量で

表現される。本研究では左右対称性に影響して値が変化すると推定できる前頭面での相対姿勢、体軸面の相対姿勢、また左右的相対位置の 3 つの変量を対象とした。生体工学やロボット工学などの工学系論文においては、三次元空間における物体の相対的關係や状態を表現する際、「relative position and attitude」が使用されるのが一般的であり、日本語においても「相対的位置・姿勢」という用語が使用されている⁴⁰⁻⁴²⁾。また、医科系論文においても膝関節における大腿骨と脛骨の位置関係や、大腿骨に設定した座標系における位置関係の表現の仕方として同様の言葉が使用されている^{43, 44)}。そのため本研究においても同様に、脳頭蓋上顎複合体との相対距離を「下顎骨の位置」、相対角度を「下顎骨の姿勢」と表現した。

下顎頭形態の評価を行った研究は、正面セファロや軸位セファロなどを用いて過去に数多く行われてきた。しかし、下顎頭は三次元的に複雑な形状と姿勢を示し、基準平面の決定が難しい例もある。さらに X 線像の再現性とそれに付随した測定誤差が問題となっている⁴⁵⁾。下顎頭は、個体ごとに多様性に富んだ立体構造物であり、その形態を詳細に分析するためには、三次元情報が有用である。下顎頭長軸を設定する際に必要となるのは、下顎頭において最も内側と外側に位置する点の同定である。しかし、それらの位置は三次元空間上の検者の視点の位置により変化するため、同定の再現性を確保するのは困難である^{26, 37)}。また、下顎頭長軸の設定方法について明確な定義を記述しているものは少ない⁴⁶⁾。そのため本研究では、視点の位置による同定誤差を最小にするために、まず、下顎頭の外側と内側の最も突出していると予想される領域を、Md 座標系において任意に選択して近似球を算出し、2 つの球の中心を通る直線 L、すなわち内側極と外側極を同定するための軸を設定した。次いで、直線 L に沿って最も内側に位置する点を内側極、外側に位置する点を外側極とし、これらを結んだ直線を下顎頭長軸と定義した。これらの過程を踏むことで、検者の視点の位置に影響されることなく、下顎頭自体の形態から外側極と内側極を抽出することが出来たと考える。近似球を算出して解剖学的基準点を設定するこの手法は、下顎頭と同様に曲面の立体形状を成している大腿骨に解剖学的座標系を構築する方法としても利用されている⁴³⁾。したがって本法は、従来の方法と比較して、検者の主観に左右されることなく高い再現性で下顎頭長軸を設定することが可能となった。その結果、計測誤差は距離計測で平均 0.08mm、角度計測で平均 0.27°であった。頭部 X 線規格写真では、角度と距離の測定誤差が 3.0°以内、3.0mm 以下の範囲内と報告されている³⁵⁾ ことから、本研究の分析値の信頼性が示された。

本研究における顔面非対称症例のスクリーニングの基準には、正面セファロ分析において Me が正中基準線に対し

て3.0mm以上側方偏位した症例を用いており、咬合平面傾斜などの歯系の形態的情報を含めていなかった。しかしながら最近の研究では、下顎側方偏位患者の中には下顎偏位側方向に咬合平面が上方偏位している一般的な患者と下顎偏位側と相反する方向への咬合平面が傾斜している患者が存在し、顔面非対称患者の形態学的特徴には下顎の側方偏位のみならず上顎の咬合平面傾斜が影響していることが報告されている⁴⁷⁾。そのため顔面非対称患者の偏位側と非偏位側における下顎頭形態の差異がもたらす顎顔面形態への影響をより詳細に知るためには、スクリーニングの基準に歯系の形態情報を含めた更なる検討が必要である。

2. 結果について

1) 骨格性顔面非対称における下顎頭形態の左右差

本研究では、非偏位側に比べて偏位側で下顎頭長軸長が小さく、逆にMd体軸面における下顎頭長軸角が大きいという結果であった。これらの研究結果を過去に報告された結果と比較してみると、骨格性顔面非対称における下顎頭長軸長に関しては、非偏位側に比べて偏位側で小さいという報告^{12, 25)}があり、本研究結果と一致した結果であった。一方、本研究では扱っていない下顎頭短軸長（下顎頭前後径）に関しては、偏位側で小さいという報告²⁵⁾と有意差が無いという報告¹²⁾の結果の異なる2つの報告があった。さらに、ヒト乾燥頭蓋を用いて下顎頭の形態形成と応力との関係を調査した形態計測学的研究¹³⁾からは、生後から成人までの期間で下顎頭幅径が2.5倍に増加するのに対し、下顎頭前後径は加齢に伴う変化は見られなかったとの報告がなされている。

次に、下顎頭の大きさの左右差を生じる要因について考察する。咀嚼筋の筋機能が下顎頭形態と密接な関連性を有していることが多くの臨床研究によって明らかにされている^{48, 49-51)}。最大咬合力の高い群と低い群を比較した研究では、後者の下顎下縁平面が急傾斜であり、下顎頭長軸径が小さく、下顎頭短軸径は有意差がなかったと報告している⁵¹⁾。さらに、下顎頭の成長発育・形態に関しては、咀嚼筋切除を利用した動物実験においても、臨床研究を支持する報告⁵²⁻⁵⁵⁾がある。ラットの両側閉口筋群切除によって筋機能減退を人為的に引き起こした研究では⁵²⁻⁵⁴⁾、下顎頭部での前後方向と左右方向への骨形成量が減少し、下顎頭幅径と前後径が小さくなると示されている。下顎頭長軸角に関しては、前頭面における左右差はみられなかったが、体軸面では偏位側での下顎頭長軸の傾斜が急という結果であった。この結果は、軸位セファロを用いて偏位側と非偏位側の下顎頭長軸角を比較した偏位側で下顎頭長軸角が小さいという報告¹⁴⁾や、有意差は無かったという報告¹⁵⁾とは一致しなかった。しかし、X線CTを用いて比較した報告²⁵⁾とは一致していた。歯系の非対称症例（片

側性臼歯部交叉咬合）では、最大開閉口運動、前方限界運動、左右滑走運動において、下顎頭の運動範囲は偏位側で大きいことが報告されている⁵⁶⁾。前述したように、これは咀嚼筋や咬合が下顎頭形態に影響を及ぼした結果であると考えられる。

本研究では、対称群の顎関節症状の調査は行っていないが、一般的に顔面非対称症例では偏位側に顎関節障害が生じやすく関節円板前方転位がみられることが多く^{2, 57)}、また健常者に比べて顎関節症患者群はMd体軸面における下顎頭長軸角の左右差が著しいとの報告がある^{58, 59)}。さらに、関節円板の病態が進行するほど下顎頭長軸角が大きくなるとの報告がある⁶⁰⁻⁶²⁾。これらの理由としては、何らかの原因で咀嚼筋の非対称性および等尺性収縮作用が長時間続き下顎頭が垂直軸に対して内側へ回転したため⁶³⁾、外側翼突筋の病的な収縮作用によって下顎頭内側が前方に牽引されて起こるためとしている⁵⁸⁾。以上より、顔面非対称症例の非偏位側に比べ顎関節症状の生じやすい偏位側の体軸面下顎頭長軸角は、大きくなるものと考えられており、本研究の結果との関連性が示唆された。

2) 下顎頭形態の左右差と脳頭蓋上顎複合体に対する下顎骨の位置・姿勢の関係

本研究では、下顎頭形態で左右差を認めた下顎頭長軸長、Md体軸面における下顎頭長軸角がどの程度下顎骨の三次元的位置に影響しているかを検討した。その結果、下顎頭長軸長の左右差はswayingのみと正の相関がみられた。前述したように、顔面非対称症例は顎関節症状が生じやすい。顎関節症患者グループは正常グループに比べ、下顎頭長径、短径、高さの左右差が大きいとの報告があり⁶⁴⁾、下顎頭長軸長差は下顎骨の水平方向への偏位量が大きくなったという本研究の結果との関連性が示唆された。また、Md体軸面における下顎頭長軸角差はyawingのみと正の相関を認めた。Enlowの成長均衡理論（growth equivalent theory）⁶⁵⁾によると、顎顔面頭蓋に存在するそれぞれの成長の場は相互に直接的、間接的に関連性を有しているとしている。本研究では下顎骨自体の形態に主眼を置いて検討しているため、頭蓋底を基準とした下顎頭あるいは関節窩の三次元的位置に関しては、不明のままである。下顎骨形態の非対称を呈する症例において他の頭蓋構成要素で下顎骨の非対称を補償する成長がみられるのか、あるいは逆に下顎骨の非対称を強調する成長がみられるのかについては、今後検討する必要がある課題である。

結 語

本研究では、従来では解明することが困難とされていた顔面非対称と下顎頭形態の左右差との関連性について、三

次元分析で下顎骨に基準座標系を設定することにより検討した。その結果, 下顎頭長軸長は偏位側が非偏位側に比べ有意に小さく, 下顎骨の水平方向への偏位量が大きくなるほど, その差は大きくなった。また, Md 体軸面における下顎頭長軸角は偏位側が非偏位側に比べ有意に大きく, 下顎骨の体軸面での傾斜度が大きくなるほど, その差は大きくなった。以上より, 偏位側と非偏位側における下顎頭の三次元形態に差異が存在すること, およびその差異は下顎骨の位置・姿勢と関連性を有することが明らかとなった。

著者全員および所属講座に本研究に関し開示すべき利益相反(COI)はない。

文 献

- 1) Pirttiniemi, P.M.: Association of mandibular and facial asymmetries—a review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 106 : 191-200, 1994.
- 2) 不島健持, 他: 下顎側方偏位症例の形態的特長および顎関節症状の発現—正貌頭部 X 線規格写真による分析—. *日矯歯*, 48 : 322-328, 1989.
- 3) Thilander, B., et al.: Posterior crossbite and temporomandibular disorders (TMDs): need for orthodontic treatment?. *Eur J Orthod*, 34 : 667-673, 2012.
- 4) Engel, M.B., et al.: Condylar growth and mandibular deformities. *Surgery*, 22 : 976-992, 1947.
- 5) Proffit, W.R., et al.: Dentofacial asymmetry. Proffit W.R., et al.: Contemporary treatment of dentofacial deformity, 1st ed., C.V. Mosby, St. Louis, 2002, p574-644.
- 6) Proffit, W.R.: The development of orthodontic problems. Proffit W.R.: Contemporary Orthodontics, 5th ed., Mosby, St. Louis, 2013, p19-146.
- 7) Coben, S.E.: The biology of Class II treatment. *Am J Orthod*, 59 : 70-87, 1971.
- 8) Enlow, D.H.: Handbook of facial growth. W.B. Saunders Co., Philadelphia, London, Tronto, 1975, p10-146.
- 9) Bjork, A., et al.: Facial growth and tooth eruption, An implant study at the age of puberty. *Am J Orthod*, 64 : 339-383, 1972.
- 10) 溝口 到: 下顎骨の成長現象と下顎頭軟骨の生物学的特徴. *東北大歯誌*, 18 : 1-21, 1999.
- 11) Akahane, Y., et al.: Morphology of the temporomandibular joint in skeletal class III symmetrical and asymmetrical cases: a study by cephalometric laminography. *J Orthod*, 28 : 119-128, 2001.
- 12) Goto, T.K., 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*, 100 : 743-749, 2005.
- 13) Nickel, J.C., et al.: Effect of the physical environment on growth of the temporomandibular joint. In: McNeill C. Science and practice of occlusion, Chicago, Quintessence, 1997, p115-124.
- 14) 佐藤勇資, 他: 下顎の偏位度と下顎頭の形態・位置ならびに下顎頭運動の関連性について. *日顎誌*, 5 : 404-414, 1993.
- 15) 矢野圭介, 他: 顎の非対称を伴う骨格性下顎前突症における下顎頭長軸角と習慣性咀嚼との関連性について. *日顎変形誌*, 10 : 110-116, 2000.
- 16) O'Byrn, B.L., et al.: An evaluation of mandibular asymmetry in adults with unilateral posterior crossbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 107 : 394-400, 1995.
- 17) Yamamoto, T., et al.: Titanium screw anchorage for correction of canted occlusal plane in patients with facial asymmetry. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 132 : 337-342, 2007.
- 18) 宮下邦彦: 頭部 X 線企画写真法の基礎. クインテッセンス出版, 東京, 1999.
- 19) Uechi, J., et al.: A novel method for the 3-dimensional simulation of orthognathic surgery by using a multimodal image-fusion technique. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 130 : 786-798, 2006.
- 20) 今野正裕, 他: 顔面非対称を伴う不正咬合症例におけるデンタルコンペンセーションの三次元形態分析. *日顎変形誌*, 24 : 37-45, 2014.
- 21) 辻 祥之, 他: 表面形状基準法を用いた頭蓋顔面硬・軟組織の正中矢状平面の抽出とその一致度. *日顎変形誌*, 22 : 200-207, 2012.
- 22) Severt, T.R., et al.: The prevalence of facial asymmetry in the dentofacial deformities population at the University of North Carolina. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg*, 12 : 171-176, 1997.
- 23) 相川 弦, 他: 顎変形症患者の顎関節症状と顎顔面形態との関連. *日口外誌*, 57 : 441-451, 2011.
- 24) 齋藤 功, 他: 顔面非対称と顎・咬合の偏位. *Niigata Dent J*, 4 : 1-13, 2010.
- 25) 小林廣之, 他: 顎変形症患者における下顎頭形態の左右差に関する研究. *昭歯誌*, 21 : 443-449, 2001.
- 26) Lee, H.Y., et al.: Mandibular dimensions of subjects with asymmetric skeletal Class III malocclusion and normal occlusion compared with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 142 : 179-185, 2012.
- 27) Shibazaki, R., et al.: Three-dimensional longitudinal changes in craniofacial growth in untreated hemifacial microsomia patients with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 145 : 579-594, 2014.
- 28) Sassouni, V.: Diagnosis and treatment planning via roentgenographic cephalometry. *Am J Orthod*, 44 : 433-463, 1958.
- 29) Helm, S., et al.: Skeletal maturation of the hand in relation to maximum puberal growth in body height. *Tandlaegebladet*, 75 : 1223-1234, 1971.
- 30) Magnússon, T.E.: Skeletal maturation of the hand in Iceland. *Acta Odontol Scand*, 37 : 21-28, 1979.
- 31) Hägg, U., et al.: Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt, In: Taylor & Francis, *Acta Odontol Scand*, 1980, p187-200.
- 32) 上地 潤, 他: コンピュータ支援診断・手術 (CAD/CAS) のための仮想患者モデルの生成: 一画像位置

- 合わせの検証一. 北医療大歯誌, 29 : 73-80, 2010.
- 33) Uechi, J., et al.: Generation of virtual models for planning orthognathic surgery using a modified multimodal image fusion technique. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 44 : 462-469, 2015.
- 34) De momi E., et al.: Automatic extraction of the mid-facial plane for cranio-maxillofacial surgery planning. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 35 : 636-642, 2006.
- 35) Baumrind, S., et al.: The reliability of head film measurements. 1. Landmark identification. *Am J Orthod*, 60 : 111-127, 1971.
- 36) Moss, M.L., et al.: The role of the functional matrix in mandibular growth. *Angle Orthod*, 38 : 95-103, 1968.
- 37) Williamson, P.C., et al.: Landmark identification error in submentovertex cephalometrics. A computerized method for determining the condylar long axis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 86 : 360-369, 1998.
- 38) Paul, W.M., et al.: Landmark identification error in posterior anterior cephalometrics. *The Angle Orthodontist*, 64 : 447-454, 1994.
- 39) Ludlow, J.B., et al.: Precision of cephalometric landmark identification: cone-beam computed tomography vs conventional cephalometric views. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 136 : 312.e1-312.e10, 2009.
- 40) 岩田宗之, 他: LED 灯台を用いた移動ロボット用位置姿勢検出システム. 精密工学会誌, 61 : 1579-1583, 1995.
- 41) 薄 充孝, 他: ランドマークデータベースに基づく静止画像からのカメラ位置・姿勢推定. 日本バーチャルリアリティ学会, 13, 2008.
- 42) 小野木真哉, 他: MRI による術具の位置・姿勢計測に関する研究. 生体医工学, 47 : 582-587, 2009.
- 43) 石谷周一, 他: 大腿骨 MR モデルにおける再現性の高い解剖学的座標系の構築法. 電子情報通信学会技術研究報告. 信学技報, 107 : 37-40, 2007.
- 44) Higashijima, K., et al.: Kinematic analysis of mobile-bearing and fixed-bearing knee prostheses by simulation. *Med Biol Eng Comput*, 40 : 22-28, 2002.
- 45) Lysell, L., et al.: The submentovertex projection in radiography of the temporomandibular joint. *Dentomaxillofac Radiol*, 9 : 11-17, 1980.
- 46) 新井一仁, 他: 軸方向頭部 X 線規格写真による下顎頭長軸角の計測方法に関する研究. 日顎変形誌, 7 : 1-9, 1997.
- 47) 上杉俊輔, 他: 上顎咬合平面の傾斜と下顎側方偏位方向が相反する顔面非対称患者の形態学的特徴. 日顎変形誌, 24 : 27-36, 2014.
- 48) Sassouni, V.: Clacification of skeletal facial types. *Am J Orthod*, 55 : 109-123, 1969.
- 49) Farella, M., et al.: Masseter thickness, endurance and exercise-induced pain in subjects with different vertical craniofacial morphology. *Eur J Oral Sci*, 111 : 183-188, 2003.
- 50) Boom, H.P., et al.: A comparison of human jaw muscle cross-sectional area and volume in long- and short-face subjects, using MRI. *Arch Oral Biol*, 53 : 273-281, 2008.
- 51) Kurusu A., et al.: Relationship between occlusal force and mandibular condyle morphology. *Angle Orthod*, 79 : 1063-1069, 2009.
- 52) 深沢裕文, 他: 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, 41 : 521-530, 1982.
- 53) 深沢裕文: ラット下顎頭の成長発育に対する筋機能の影響. 日矯歯誌, 43 : 478-496, 1984.
- 54) 深沢裕文, 他: 筋機能減退後の幼若ラット下顎骨形態形成変化の特異性. 日矯歯誌, 44 : 339-350, 1985.
- 55) Yonemitsu, I., et al.: The influence of masseter activity on rat mandibular growth. *Arch Oral Biol*, 52 : 487-493, 2007.
- 56) Hashimoto, T., et al.: Correlation between craniofacial and condylar path asymmetry. *J Oral Maxillofac Surg*, 66 : 2020-2027, 2008.
- 57) 上木耕一郎: 顎変形症における顎関節の重要性—外科矯正手術における顎関節における顎関節に関する議論—. 山梨医科学誌, 28 : 1-15, 2013.
- 58) 筒井重行, 他: オトガイ下-頭頂方向撮影法による顎関節の X 線学的研究—下顎頭長軸角について—. 日口外誌, 31 : 402-407, 1985.
- 59) 筒井重行: オトガイ下-頭頂方向撮影法による顎関節の X 線学的研究—下顎頭形態の分析—. 日口外誌, 32 : 1975-1984, 1988.
- 60) Westesson, P.L., et al.: Horizontal condylar angle in relation to internal derangement of the temporomandibular joint. *Oral Surg*, 64 : 391-394, 1987.
- 61) Westesson, P.L., et al.: Increased horizontal angle of the mandibular condyle in abnormal temporomandibular joints: A magnetic resonance imaging study. *Oral Surg*, 72 : 359-363, 1991.
- 62) 重田浩樹: 咬合支持域や下顎頭長軸角の変化が顎関節部負荷に及ぼす影響に関する力学的研究. 小児歯科学雑誌, 39 : 1048-1058, 2001.
- 63) Hüls, A., et al.: Neue Aspekteder Myoarthropathien durch die Computertomographie. *Dtsch Zahnärztl Z*, 36 : 776-786, 1981.
- 64) Rosa, M., et al.: Association between condylar asymmetry and temporomandibular disorders using 3D-CT. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 17 : 852-858, 2012.
- 65) Enlow, D.H., et al.: Growth of the face in relation to the cranial base. *Rep cmg, Eur Orthod Soc*, 44 : 321-335, 1968.