個性正常咬合者における咬合力と顎顔面形態との関係

井上 美香 永田 雄己 四井 資隆*

清水谷 公成* 川本 達雄

Relationship Between Bite Force and Maxillofacial Morphology in Normal Occlusion

MIKA INOUE, YUKI NAGATA, YORITAKA YOTSUI*,
KIMISHIGE SHIMIZUTANI* and TATSUO KAWAMOTO

Abstract

Bite force is considered to be related to maxillofacial morphology. We investigated relationships between bite force, volume and inclination of masseter muscle and maxillofacial morphology. Subjects comprised 19 males with normal occlusion. On the sagittal view, maximum bite force was measured and the mean volume and inclination of bilateral masseter muscles were calculated. Mandibular morphology was measured using lateral cephalogram. On the frontal view, differences between both sides in bite force and mandibular morphology de-

termined from postero-anterior cephalogram were measured. The volume and inclination of masseter muscle were measured using the difference between both sides. All data were used for multiple correlation analysis.

Bite force correlated with volume of masseter muscle, Ramus plane to FH, FMA and inclination of masseter muscle. Bite force correlated with difference in ramus length, and difference in Ag height of both sides.

Key words: Bite force (咬合力), Maxillofacial morphology (顎顔面形態), Masseter muscle (咬筋)

[Received Jul. 18, 2006]

緒 言

顎顔面の機能と形態とは、相互に影響を与え合っていることが数多くの研究により報告されてきた¹⁻⁴⁾。しかし、これらの因果関係が明らかにされているとはいえない。

また、咬合力についても、側面頭部X線規格写真を用いて顎顔面形態との関係を検討した報告が多くなされてきた⁵⁻⁹⁾が、咬合力と咀嚼筋との関係を調べた研究は少ない^{2,3)}。

Hannan ら²⁾や Sasaki ら³⁾は、咬合力と咬筋、内側翼突筋の体積および走行との関係をMRIを用いて検討した。その結果、Hannan らは咬筋、内側翼突筋の体積と咬合力との間に相関は認められなかったとしており、Sasaki ら³⁾は、咬合力と咬筋、内側翼突筋の断面積との間に高い関連性があるとしている。このように、咬合力と咀嚼筋形態との関係については、統一見解は得られていない。

一方、咬合力と正貌における顎顔面形態との関係について調べた研究は少ない¹⁰⁾。しかしながら、偏側咀嚼の程度と顔面非対称との増大が関連しているとの報告¹¹⁾があることや、偏側性咀嚼習慣を取り除くことによって成長期における不正咬合の発現を抑制し、矯正治療の予後または矯正治療後の保定にも役立つとの報告¹²⁾があることから、正貌における顎顔面形態の対称性と機能との関係を調べることは重要である。

本研究では、個性正常咬合者における咬合力と顎顔面形態との関係をデンタルプレスケール、正面および側面頭部X線規格写真、MRIを用いて検討した。

研究方法

1. 被験者

被験者は、大阪歯科大学附属病院の職員ならびに学生で、以下の条件を満たす個性正常咬合を有する成人男性

大阪歯科大学歯科矯正学講座（主任：川本達雄教授）

* 大阪歯科大学歯科放射線学講座（主任：清水谷公成教授）

Department of Orthodontics, Osaka Dental University (Chief: Prof. Tatsuo KAWAMOTO)

* Department of Oral Radiology, Osaka Dental University (Chief: Prof. Kimishige SHIMIZUTANI)

Fig. 1 Angular measurements of lateral cephalogram

① SNA ② SNB ③ ANB ④ palatal plane to FH
⑤ occlusal plane to FH ⑥ FH-SN ⑦ Saddle
angle ⑧ Facial angle ⑨ Y-axis ⑩ A-B plane
angle

⑪ FMA ⑫ palatal plane to mandibular plane
⑬ Gonial angle ⑭ Ramus plane to FH ⑮ Angle
of convexity ⑯ GoGn-SN

19 名 (25 ~ 34 歳, 平均年齢 28.0 歳) である。

1. 矯正治療の既往がない。
2. アンレー以上の広範囲な補綴処置を施されていない。
3. 第三大臼歯以外に喪失歯がない。
4. 上下顎第一大臼歯の咬合関係が Angle I 級である。
5. overbite, overjet が適正である。(2 mm ~ 3 mm)
6. 著しい顎の偏位を伴わない。(顔面の正中と Me の距離が 3 mm を超えない。)
7. 顎口腔機能に異常が認められない。(顎関節症の既往がない)

尚, 本研究では正常咬合者を被験者として用いるにあたって, 大阪歯科大学倫理審査委員会にて承認番号大歯医倫 050725 で承認を得ており, 各被験者には, 本研究の主旨を十分に説明した上で同意を得た。

2. 実験方法

1) 咬合力の測定

被験者を座位の状態にし, 被験者の FH 平面が床面と平行となる状態で, 上下顎歯列間に感圧フィルム (デンタルプレススケール専用フィルム 50H - R[®]: 富士フィルム株式会社製) を介し, 咬頭嵌合位における 3 秒間の最大咬みしめを行わせた。専用評価装置 (オクルーザー FPD707: GC 社製) にて分析を行い, 最大咬合力と左右の咬合力差を測定した。測定は 3 回行い, それらの平均値を個人の代表値とした。

2) 側面頭部 X 線規格写真撮影

被験者に咬頭嵌合位を保持させ, 被験者の FH 平面が床

Fig. 2 Linear measurements of lateral cephalogram

① N-Me ② S-Go

面と平行となるように側面頭部 X 線規格写真を撮影した。得られた側面頭部 X 線規格写真より以下の項目について計測を行った。(Fig. 1, 2)

(1) 角度計測

① SNA ② SNB ③ ANB ④ palatal plane to FH ⑤ occlusal plane to FH ⑥ FH-SN ⑦ Saddle angle ⑧ Facial angle ⑨ Y-axis ⑩ A-B plane angle ⑪ FMA ⑫ Palatal plane to mandibular plane ⑬ Gonial angle ⑭ Ramus

Fig. 3 Landmarks, reference planes and measurements lines of frontal cephalogram

(1) Reference points and planes

- ① Lo: Latero orbital
- ② Cg: Crista galli
- ③ Ag: Antegonion notch
- ④ Cd: Condylion
- ⑤ Zyg: Zygoma
- ⑥ Ag line: Line connecting the bilateral Ag
- ⑦ Cd line: Line connecting the bilateral Cd
- ⑧ Zyg line: Line connecting the bilateral Zyg
- ⑨ ORP: Line perpendicular to LOL through Cg
- ⑩ LOL: Line connecting the bilateral LO

plane to FH ⑮ Angle of convexity ⑯ GoGn-SN

(2) 距離計測

- ① N-Me ② S-Go

3) 正面頭部 X 線規格写真撮影

側面頭部 X 線規格写真撮影と同様に咬頭嵌合位を保持させ、被験者の FH 平面が床面と平行となるように正面頭部 X 線規格写真を撮影した。

(1) 計測点および基準線 (Fig. 3)

- ① Lo: 眼窩外側縁と Oblique line の交点
 - ② Cg: 鶏冠頭部、篩板の垂直板の最も狭窄した点の影
 - ③ Ag: 左右の抗下顎角隆起の側方下縁
 - ④ Cd: 顎頭の最上縁点
 - ⑤ Zyg: 頬骨弓の最上縁点
 - ⑥ Ag line: 左右の Ag を結んだ線
 - ⑦ Cd line: 左右の Cd を結んだ線
 - ⑧ Zyg line: 左右の Zyg を結んだ線
 - ⑨ ORP: 左右の Lo を結んだ線から Cg を通る垂線
 - ⑩ LOL: 左右の眼窩外側縁と Oblique の交点を結んだ線
- ORP を垂直基準線, LOL を水平基準線として以下の項目を計測した。

Fig. 4 Angular and linear measurements of postero-anterior cephalogram

(1) Angular measurements

- ① LOL-Ag line angle: Angle of Ag line to LOL line
- ② LOL-Cd line angle: Angle of Cd line to LOL line
- ③ LOL-Zyg line angle: Angle of Zyg line to LOL line

(2) Linear measurements

- ① Ag(r)-Ag(l)': perpendicular distance from ORP to Ag(r)
- ② Ag(l)-Ag(l)': perpendicular distance from ORP to Ag(l)
- ③ Cd(r)-Cd(l)': perpendicular distance from ORP to Cd(r)
- ④ Cd(l)-Cd(l)': perpendicular distance from ORP to Cd(l)
- ⑤ Zyg(r)-Zyg(l)': perpendicular distance from ORP to Zyg
- ⑥ Zyg(l)-Zyg(l)': perpendicular distance from ORP to Zyg
- ⑦ Cd(r)-Ag(r)': perpendicular distance from Cd(r) to Ag(r)
- ⑧ Cd(l)-Ag(l)': perpendicular distance from Cd(l) to Ag(l)
- ⑨ ORP-Me: perpendicular distance from Me to ORP

(2) 角度計測 (Fig. 4)

- ① LOL-Ag line angle: LOL line と Ag line のなす角度
 - ② LOL-Cd line angle: LOL line と Cd line のなす角度
 - ③ LOL-Zyg line angle: LOL line と Zyg line のなす角度
- LOL line に対し左上がりの角度を+, 右下がりの角度を-で表した。

(3) 距離計測

- ① Ag(r)-Ag(l)': 右側の Ag から ORP line におろした垂線の距離
- ② Ag(l)-Ag(l)': 左側の Ag から ORP line におろした

Fig. 5 Reference axis

X-axis: Line at right angle to the sagittal plane.
Y-axis: Line at right angle to the coronal plane.
Z-axis: Axis of the membrum.

垂線の距離

③ Cd(r)-Cd(r)': 右側の Cd から ORP line におろした垂線の距離

④ Cd(l)-Cd(l)': 左側の Cd から ORP line におろした垂線の距離

⑤ Zyg(r)-Zyg(r)': 右側の Zyg から ORP line におろした垂線の距離

⑥ Zyg(l)-Zyg(l)': 左側の Zyg から ORP line におろした垂線の距離

⑦ Cd(r)-Ag(r): 右側の Cd から右側の Ag におろした垂線の距離

⑧ Cd(l)-Ag(l): 左側の Cd から左側の Ag におろした垂線の距離

⑨ ORP-Me: Me から ORP line におろした垂線の距離
計測項目①～⑨の距離計測においては、個体差を除去するために、Asymmetry Index = 左の計測値 - 右の計測値 / 左の計測値 + 右の計測値 × 200 (以下 AI と略す。) とした。

Me は ORP に対する垂直距離を計測し、ORP に対し左側にあるものを +、右側にあるものを - とした。

4) MRI 撮像

(1) 撮像

MRI 撮像には、大阪歯科大学附属病院中央画像検査室所有の MRI 撮像装置 (GE 社製, Signa Horizon LX 1.5T) を用いた。被験者の左右眼窩下縁から外耳道上縁に紙テープを貼り、その上にサインペンで FH 平面を印記した。それを基準平面として頭部を固定し咬頭嵌合位を保持させた状態で、眼窩下縁から口底までを 3D-ファーストグラジエントエコー法で 1 mm 厚のスライスを一スラブ 50 ～ 70

Fig. 6 Cross sectional area of the left masseter muscle determined on the MRI images

枚で撮像した。

(2) 画像処理

MRI 撮像によって得られたすべての画像をハードウェアにパーソナルコンピュータ (TOSHIBA 社製), ソフトウェアに画像処理ソフト ExaVision LITE (ザイオソフトウェア社) を使用し、三次元構築した。

(3) 座標軸の設定

得られた画像を三次元座標値 (X,Y,Z) で表し、体軸方向を Z 軸、矢状面に垂直な線を X 軸、前頭面に垂直な線を Y 軸と設定し、XY 平面は FH 平面と平行に設定した (Fig. 5)。

Fig. 7 Definition of the inclination of the masseter muscle from frontal view

Fig. 8 Definition of the inclination of the masseter muscle from sagittal view

(4) 計測方法

①咬筋体積の計測方法

MRI 三次元構築画像の咬筋の断面をコンピューターソフト上でトレースし (Fig. 6), 咬筋の断面積を計測した。咬筋の断面積の総和を体積とし, 左右の咬筋の体積の平均値を求めた。測定は3回繰り返し, そのうち測定値が著しく異なるものは除外した。また, 左右の咬筋の体積の AI を求めた。

②咬筋走行軸の計測方法

咬筋の断面積の計測と同時にコンピューターソフト上でその中心を三次元座標値 (X, Y, Z) として求めた。各咬筋の断面積の中心を結んだ線からもっとも距離が小さくなるような直線を最小二乗法を用いて求め, 咬筋の走行軸を設定した。矢状面および前頭面における咬筋の FH 平面に対する走行軸を求め, 矢状面からみた咬筋の走行軸と前頭面からみた咬筋の走行軸を求めた (Fig. 7, 8)。

3. 解析方法

解析ソフト (SPSS6.1J SPSS 株式会社製) を用いて, すべてのパラメーターに対し重回帰分析を行った。多重共線性を示すために, 共線性を示すパラメーターのうち偏回帰係数の小さいものから順に省き, 説明変数をしぼり込んだ。

1) 矢状面における解析

最大咬合力, 側面頭部 X 線規格写真の計測項目および咬筋の体積・走行軸に対して重回帰分析を行った。

2) 前頭面における解析

最大咬合力の AI, 正面頭部 X 線規格写真の計測項目および咬筋の体積・走行軸の AI に対して重回帰分析を行った。

結 果

1) 矢状面 (Table 1)

重回帰分析の結果, 1% 以下の危険率で咬合力と咬筋の体積, Ramus plane to FH, FMA, 咬筋の走行軸の間に y を従属変数, x を説明変数とした以下のような重回帰式が得られた。

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_0$$

$$x_1 = \text{FMA} \quad x_2 = \text{Ramus plane to FH} \quad x_3 = \text{体積}$$

$$x_4 = \text{咬筋の走行軸}$$

偏回帰係数

$$a_0 = -394.9049$$

$$a_1 = -13.9388 \quad a_2 = 25.0308 \quad a_3 = 0.0183$$

$$a_4 = 13.8471$$

標準偏回帰係数

$$a_1' = -0.2185 \quad a_2' = 0.3297$$

$$a_3' = 0.4666 \quad a_4' = 0.1595$$

$$p = 0.0031$$

有意水準 1% の確率で重回帰式のあてはまりは有意であった。その結果, 咬筋の体積, Ramus plane to FH, FMA, 咬筋の走行軸の順で咬合力と関与していることがわかった。

2) 前頭面 (Table 2)

咬合力の左右差と Cd-Ag の AI, LOL-Ag line angle との間に次のような重回帰式が得られた。

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_0$$

$$x_1 = \text{Cd-Ag の AI}$$

$$x_2 = \text{LOL-Ag line angle}$$

偏回帰係数

Table 1 Means and standard deviations of maxillofacial variables

	Mean	S.D.	Max	Min
SNA (°)	83.55	3.56	91.00	78.00
SNB (°)	80.11	2.28	84.50	77.00
ANB (°)	3.45	2.29	8.50	0.50
FMA (°)	25.79	6.44	34.50	15.00
palatal plane to mandibular plane (°)	24.00	5.98	33.00	12.50
palatal plane to FH (°)	2.17	2.24	9.00	-1.00
Gonial angle (°)	119.62	8.20	129.00	99.50
Ramus plane to FH (°)	85.99	5.41	95.80	75.50
occlusal plane to FH (°)	9.97	5.46	22.00	3.00
FH-SN (°)	6.76	2.72	12.00	2.00
Saddle angle (°)	123.04	6.72	132.00	102.00
Angle of convex (°)	5.05	5.42	15.50	-2.50
Facial angle (°)	87.53	3.69	91.00	79.00
Y-axis (°)	64.63	3.89	72.00	60.00
A-B plane angle (°)	4.80	3.48	11.00	0.50
GoGn-SN (°)	31.81	6.50	40.00	15.00
N-Me (mm)	138.93	6.45	154.00	126.50
S-Go (mm)	96.68	7.02	108.00	85.00
volume (mm ³)	30480.58	10474.74	57136.38	15117.17
inclination (°)	-68.95	4.73	-61.06	-77.19
bite force (N)	1001.26	411.00	1850.50	195.20

Table 2 Means and standard deviations of postero-anterior cephalogram variables

	Mean	S.D.	Max	Min
LoL-Ag line angle (°)	-0.42	1.92	3.00	-6.00
LoL-Cd line angle (°)	0.27	1.26	3.00	-1.50
LoL-Zyg line angle (°)	0.08	1.32	3.00	-2.00
Ag-Ag' (AI)	0.01	0.06	0.16	-0.11
Cd-Cd' (AI)	0.00	0.06	0.23	-0.05
Zyg-Zyg' (AI)	-0.01	0.02	0.03	-0.03
Cd-Ag (AI)	-0.01	0.02	0.04	-0.05
ORP-Me (mm)	0.92	2.40	5.00	-4.00
volume (AI)	0.01	0.04	0.10	-0.06
bite force (AI)	0.05	0.09	0.26	-0.08
inclination (AI)	0.01	0.01	0.02	-0.02

$$a_0 = 0.0215 \quad a_1 = -1.7297 \quad a_2 = -0.0100$$

標準偏回帰係数

$$a_1' = -0.4192 \quad a_2' = -0.1955$$

$$p = 0.0453$$

有意水準5%の確率で重回帰式のあてはまりは有意であった。その結果, Cd-AgのAI, LoL-Ag line angleの順で咬合力の左右差に関与していることがわかった。

考 察

1) 咬合力の測定方法について

咬合力を測定する方法としては, T-Scan システム, 簡易型咬合力計 (オクルーザルフォースメーター), 咬合面圧分布システムなどを用いる方法がある。これらの中でもデンタルプレスケール 50H - R[®] タイプは, 操作が簡便であり, 上下顎歯列間に介在させるフィルムの厚さが

100 μ mm 以下と薄いため、測定装置の介在による影響が少なく、数歯に分散した咬合力を同時に測定することができる。そのため、筋力と密接に関連すると考えられる咬合力をほぼ生理的な状態において知ることができると考えられた⁶⁾。

2) 正面頭部 X 線規格写真について

正面頭部 X 線規格写真は、顎顔面形態の左右差を知るために臨床上よく用いられる。高濱ら¹³⁾は距離計測において、Zyg および Go は正貌セファロ上で設定しやすい計測点としている。さらに石井¹⁴⁾は咬筋走行方向について正貌セファロ上で頬骨弓最下点と AG を設定している。これらのことを参考に Ag, Cd, Zyg を計測点として用いた。

3) MRI の計測方法について

咬筋の体積は、各スライス面すべての咬筋の断面積の総和として計算した。咬筋の断面は Koolstra ら¹⁵⁾と同様に FH 平面に平行な断面でスライスし、コンピューター上でトレースした。FH 平面に平行な断面でスキャンする方法は、スキャン方向に左右されないため、筋肉の断面積の大小がでにくく安定していると考えられる。

4) 計測結果について

咬筋の体積、Ramus plane to FH, FMA, 咬筋の走行軸の順で咬合力と関連していることがわかった。咬合力と咬筋の体積を計測した Hannan ら²⁾は咬合力と咬筋・内側翼突筋の断面積との間に有意差は認められなかったと報告しており、本研究の結果とは異なっている。しかし、Weijs ら¹⁶⁾は、咬合力と咬筋の体積との関係において、筋力は筋線維の直径と相関があり、咬筋の断面積が増加するほど咬筋の収縮力も大きくなり、その結果下顎骨に加わる外力も大きくなることを示している。これは今回の実験結果と同様であった。

本研究の結果、Ramus plane to FH の増加、FMA の減少と咬合力の増加が関連していることが示唆された。

白井ら¹⁷⁾は咬合力と顎顔面形態との関連性を調べた研究で、下顎角が小さい特徴をもつ顎態が強い最大咬合力をもつ傾向にあると述べている。また Throckmorton ら¹⁸⁾は、Ramus plane to FH が大きくかつ下顎角が小さい傾向にあると下顎挙上筋の収縮力が最大限に発揮されて咬合力は大きくなり、逆に下顎角が開大すると本来もった筋力が同じでも発揮できる咬合力は小さくなる、と述べている。このことは、今回の実験結果と同様の傾向を示している。また、矢状面上における咬筋の走行軸の前方傾斜度と咬合力の増加が関連することがわかったが、その関連性は高くはなかった。田中ら¹⁹⁾は、力学的には咬筋の走行軸と FH 平面とのなす角度が 90 度に近づくほど、咬筋の収縮力は咬合平面に対する垂直成分が大きくなり大きな咬合力を発生させるのに有利であると述べている。しかし今回の研究では異なった結果となった。それは、本実験では咬筋のみ

を計測しており、他の咀嚼筋の影響を考慮していない。また咬筋の浅層及び深層の区別が困難であったため、それらを区別せずに走行軸の設定を行ったためであると考えられる。したがって、咬筋の走行軸と咬合力との関係については明確な結論を出すことはできない。

前頭面上においては、Cd-Ag の AI, LOL-Ag line angle の順で、咬合力の左右差に關与していることがわかった。つまり左右の下顎枝の長さが違う場合、下顎枝の短い側の咬合力が強いことが示唆された。このことにより、下顎骨の形態と筋の機能力との間に何らかの関連性があることが考えられる。同じ正面セファロを用いた顔面の対称性に関して不鳥ら¹¹⁾は、下顎側方偏位症例における顔面頭蓋の形態分析を行った結果、咬合平面および左右の Ag を結ぶ直線は、Me の偏位側に上向きとなり、Me の偏位度と有意な相関関係が得られたとし、下顎側方偏位の成立には咬合系あるいは顎機能の異常が関与している可能性が考えられると述べている。また北條²⁰⁾は、顔面の対称性を研究した結果、成人における顔面の非対称性は、咀嚼あるいは発音のための機能を発揮する部位に大きく現れるとしている。本研究でも、下顎枝の非対称性と咬合力の左右差に関連がみられたことから、左右の下顎骨形態の対称性と顎口腔機能の關係に大きな関連性があると考えられる。

今回の研究では咬合力の左右差と Me の左右側への偏位、咬筋の体積および走行軸の AI に有意差は認められなかった。これは、個性正常咬合者を対象としているため、大きく偏位としてでなかったと考えられることから、今後は下顎側方偏位症例を対象に検討する必要がある。

結 論

個性正常咬合者における咬合力と顎顔面形態との關係を、矢状面と前頭面において分析を行ったところ以下の結論を得た。

①矢状面の結果

咬筋の体積、Ramus plane to FH, FMA, 咬筋の走行軸の順で咬合力と関連していることがわかった。

②前頭面の結果

Cd-Ag の AI, LOL-Ag line angle の順で咬合力の左右差に關与していることがわかった。

参考文献

- 1) Weijs, W.A., et al.: Correlation Between the Cross-Sectional Area of the Jaw Muscle and Craniofacial Size and Shape, *Am J of Physical Anthropology*, 70 : 423-431, 1986.
- 2) Hannan, A.G., et al.: Relationship Between the Size and Spatial Morphology of Human Masseter and Medial Pterygoid Muscles, the Craniofacial Skeleton, and Jaw Biomechanics, *Am J of Physical Anthropology*, 80 : 429-445, 1989.

- 3) Sasaki, K., et al.: Relationships Between the Size, Position, and Angulation of Human Jaw Muscles and Unilateral First Molar Bite Force, *J Dent Res*, 68(3): 499-503, 1989.
- 4) Hassan, G.S., et al.: Relationship between craniofacial Morphology and occlusal force in adults with normal occlusion, *J Jpn Orthod Soc*, 56(6): 348-361, 1997.
- 5) 高橋正光: 感圧フィルムによる咬合力分布と顎顔面形態との関連について, *日大口腔科学*, 21(2): 141-148, 1995.
- 6) 久保寺篤: 咬合力および咬合接触面積と顎顔面形態との関係について, *日大歯学*, 69(1): 98-103, 1995.
- 7) 稲葉敬子: 顎顔面形態と咬合力に冠する研究, *歯科学報*, 94(3): 153-176, 1994.
- 8) 川手秋馬: 顎口腔系の機能と形態に関する研究, *日大口腔科学*, 30(1): 76-88, 2004.
- 9) 上原美智也, 他: 成人正常咬合者における歯列咬合面分圧と顎顔面形態との関係について, *Orthodontic Waves*, 59(2): 98-110, 2000.
- 10) 瀧澤朋章: 顎顔面形態が咬合力および咀嚼筋筋放電活動に及ぼす影響についてⅦ-1. 正貌顎顔面形態および顎機能の対称性分析, *日大歯学*, 69(6): 904-915, 1995.
- 11) 不島健持, 他: 下顎側方偏位症例の形態的特徴および顎関節症の発現—正貌頭部 X 線規格写真による分析—, *日矯歯誌*, 48(3): 322-328, 1989.
- 12) 荒川知久: 片側性咬合が下顎骨におよぼす影響に関する力学的検討—三次元有限要素法による解析—, *歯科学報*, 98(7): 685-703, 1998.
- 13) 高濱靖英: 歯と咬合と頭蓋との相互関係 方法論 第2篇正貌頭部 X 線規格写真による頭蓋計測, *日矯歯誌*, 28: 74-82, 1996.
- 14) 石井弘二: 顎口腔機能の左右不均衡と顎顔面形態および身体重心との関連性に関する研究, *阪大歯誌*, 35(2): 517-556, 1990.
- 15) Koolstra, J.H., et al.: Computer -Assisted estimation of lines of action of human masticatory muscles reconstructed in vivo by means of magnetic resonance imaging of parallel sections, *Arch Oral Biol*, 35: 549-556, 1990.
- 16) Weijjs, W.A., et al.: Relationships between masticatory muscle cross-section and skull shape, *J Dent Res*, 63: 1154-1157, 1984.
- 17) 臼井暁昭: 咬合力と顎顔面形態との関連性—簡易型咬合力計を用いて—, *松本歯学*, 29(3): 251-257, 2003.
- 18) Throckmorton, G.S., et al.: Biomechanics of differences in lower facial height, *Am J Orthod*, 77: 410-420, 1980.
- 19) 田中隆一: 下顎骨の形態と咬筋の走行・断面積との関係について, *西日矯歯誌*, 35(1): 30-35, 1990.
- 20) 北條健三: モアレ縞による顔面の対称性に関する研究, *歯科学報*, 81: 1203-1237, 1981.