

原 著

成人正常咬合者における歯列咬合面圧分布と
顎顔面形態との関係について

上原美智也 福田志穂 名方俊介 中島昭彦

九州大学歯学部歯科矯正学講座

Michiya UEHARA, Shiho FUKUDA, Shunsuke NAKATA and Akihiko NAKASIMA

Department of Orthodontics, Faculty of Dentistry, Kyushu University

キーワード：咬合面圧分布，咬合面圧分布重心，顎顔面形態

抄録：咬合面圧分布と顎顔面形態の関連性を検討することを目的として本研究を行った。

研究対象として成人の正常咬合者男女 21 名を用い、その側面頭部 X 線規格写真から形態計測を行った。一方、感圧導電ゴムを感圧素子とする圧分布測定装置イナストマーシステムを用いて、咬合面圧分布および咬合圧（単位面積あたりの咬合力）を測定した。そしてそれらの形態測定値との相関を調べた。

その結果、用いた圧分布測定装置は十分な再現性があることが分かった。顎顔面形態との関係は、下顎下縁平面や咬合平面の傾斜が緩やかで、後顔面高が相対的に大きい短顔型傾向を示す顎顔面形態では咬合圧が大きく、逆のパターンである長顔型傾向を示す顎顔面形態では咬合圧が低い傾向を示した。また、短顔型傾向を示す顎顔面形態では咬合面圧分布の重心は咬合平面上の前方に位置し、長顔型傾向を示す顎顔面形態では後方に位置する傾向がみられた。さらに、咬合接触面積が大きい被験者ほど大きな咬合圧を示した。

以上のことより歯列に加わる力学的条件と顎顔面形態とは密接に関わっていることが推察された。

(Orthodo. Waves 59(2) : 98~110, 2000)

**A study on the relationship between
occlusal pressure distribution and
maxillofacial morphology in adult
subjects with normal occlusion**

Abstract : The purpose of this study is to evaluate the relationship between maxillofacial morphology and occlusal pressure distribution.

Samples consisted of 21 subjects (13 males and 8 females) with normal occlusion. Lateral cephalograms and occlusal pressure distribution taken with Inas-tomer system were used for evaluation. Statistical analysis was carried out to evaluate the relation between cephalometric findings with both occlusal pressure, and anteroposterior position of the center of force calculated from occlusal pressure distribution.

Results were as follows :

Measurement reliability of this system was sufficient to use for further analysis. Occlusal pressure was strong in subjects with a short face tendency, which has small mandibular plane angle, small occlusal plane angle and high posterior facial height.

The position of the center of force correlated significantly with both the ratio of posterior facial height to anterior facial height and the position of chin. When the ratio of posterior facial height to anterior facial height increased or chin positioned anteriorly, the center of force was positioned anteriorly.

Furthermore, occlusal area increased significantly with the increase of occlusal pressure. These findings suggest that conditions (strength and distribution) of

occlusal force significantly related to facial morphology.

(Orthodo. Waves 59(2) : 98~110, 2000)

緒 言

顎顔面形態と咬合力の間には密接な関係があるといわれている。とくに、高い前顔面高と低い後顔面高、強い下顎下縁平面の傾斜、大きな下顎角などの特徴を示す long-face syndrome¹⁾ (長顔型) は歯科矯正治療では難症例に属するとされているために多くの研究がある。Sassouni²⁾ や Proffit ら³⁾ はこのような顔面型では咬合力が低いと報告しており、その原因について Björk ら⁴⁾ は、咀嚼筋の筋力そのものが弱いためだと考えた。また、Ingervall ら⁵⁾ は小児患者に咀嚼訓練を行って長顔型を改善する良好な方向の顎骨成長が生じたと報告している。これらの報告は咀嚼筋が顎顔面形態に影響を与えるという説を支持するものである。

一方、Throckmorton ら⁶⁾ は、長顔型にみられる咬合力が弱い傾向は顎顔面形態の幾何学的構造によるもので、(支点-力点間の距離)×力、すなわちモーメントが小さいために二次的に生じるものではないかと考察している。このように咀嚼筋の強さが形態を決定するのか、あるいは形態が筋の強さを決定するのかという点は明確ではないが、両者に密接な関係があることは確かのように思われる。

しかしながら、これらの研究のほとんどが力の要素を片側の臼歯部や切歯部における個歯咬合力でとらえている。咀嚼筋によって発揮される力は上下歯列の咬合面全体で受けており、その力が顎顔面構造のどの部分に加わっているかの位置的関係を知ることは、咬合

力と顎顔面形態とのつながりや両者の因果関係をより詳細に知る上には不可欠である。

本研究では、咬合に関与するすべての歯に加わる力すなわち咬合面圧分布を、センサと顎顔面の位置関係が再現できる方法で測定した。そして本測定システムの再現性を検討するとともに、顎顔面領域における力と形態の相関関係を調べ、咬合面圧およびその重心の位置が顎顔面形態や咬合接触面積とどのように関わっているのかについて解析することを目的とした。

咬合面圧分布計測システムの概要

本研究に用いた圧分布測定システム (PXH-128, イナバゴム, (株), 大阪) はセンサ部, 電子制御部, 演

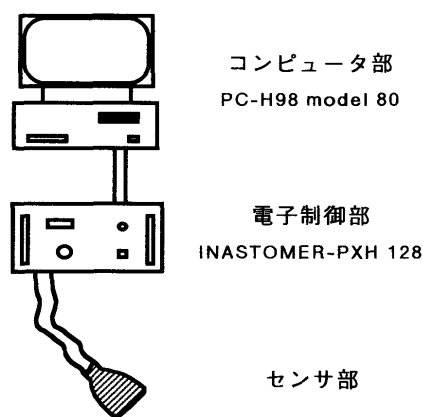
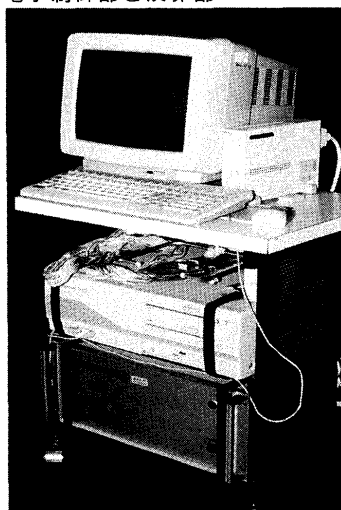


図 1 圧分布測定システム

電子制御部と演算部



センサ部

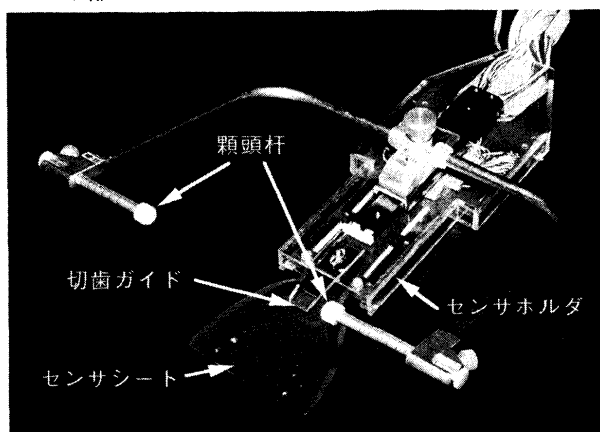


図 2 圧分布測定システム各部の全景

算部より構成される (図 1, 2)。

センサ部はさらにセンサシート、センサホルダ、顔弓、顎頭杆、切歯ガイドに分けられる。センサシート (図 3) は中心に厚さ 0.46 mm の感圧導電ゴム、その上下にそれぞれ厚さ 25 μm の基板に 35 μm の銅ハクを導出電極として、0.8 mm 間隔で上部に 95 本、下部に 79 本導出電極を直交するように配置したものである。センサホルダは咬合圧データを電子制御部へ送るコネクタを内蔵するとともに、歯列と頭蓋との位置関係を知ることができるように切歯ガイドと顔弓が連結されている。ホルダにセンサシートをセットすることで切歯ガイド中央は自動的にシート上のクロス電極の一定座標 (48, 9) に設定される構造となっている。

感圧導電ゴムの測定原理は図 4 に示すように、不導体であるシリコンゴムの中に三次元的に連鎖構造を形成した導体のカーボン粒子を散在させ、圧力が加わらない状態ではカーボン粒子の連鎖構造は互いに接触せず、抵抗は非常に大きく絶縁状態である。一方、ゴム表面に圧力が加わると連鎖構造は互いに接触し、圧力の増加とともに連鎖構造の接触比率が増して抵抗値が減少する特性を有している。この特性を利用して圧力

を電気量に変換するものである。

咬合によって加圧された上下電極の交点 (交叉電極) より導出された出力値を、電子制御部で増幅して演算部に導き、専用のソフトウェアによりデータ処理が行われる。

資料および方法

被験者について

本研究内容について説明を行ったうえで同意の得られた本学歯学部学生、歯科矯正学講座医局員 21 人 (男性 13 人、女性 8 人、平均年齢 22 歳 8 カ月) を被験者として歯列咬合面圧分布の測定および頭部 X 線規格写真による形態計測を行った。

被験者の条件は矯正治療の既往がなく、顎関節異常および顎周囲筋に痛みが認められない個性正常咬合者で智歯を除く全歯が存在し、歯冠形態を大きく変える修復物がない者とした。顔面型 (長顔型、短顔型など) については選択の基準とはしなかった。

歯列咬合面圧分布測定および形態計測について

咬合力の計測は、被験者を椅子にフランクフルト平面が水平になるように頭位を定めて座らせ、ついでセンサホルダ上に取り付けられた顔弓の両側顎頭杆 (図 2) の先端を外耳道に接触させた状態で顎頭杆上に刻まれた両側の目盛りが等しくなるように顔面正中に合わせて固定した。さらに頭蓋に対するセンサシートの前後位置を規定するために切歯ガイドを上顎中切歯唇面に接触させ、口腔内に設定した。そして各被験者にあらかじめ練習させた中心咬合位で 15 秒以上の最大噛みしめを指示し、その間に 10 回のデータサンプリングを行った。

得られた 10 個のデータを光ディスク (RMO-K 10

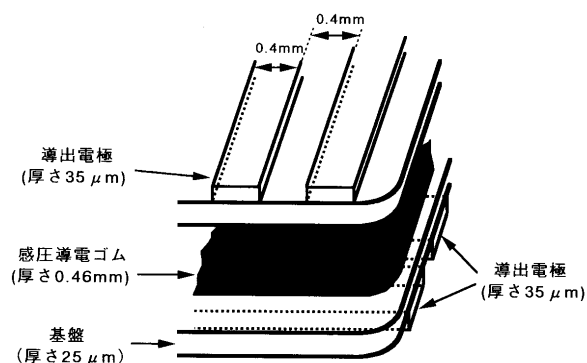


図 3 センサシートの構造

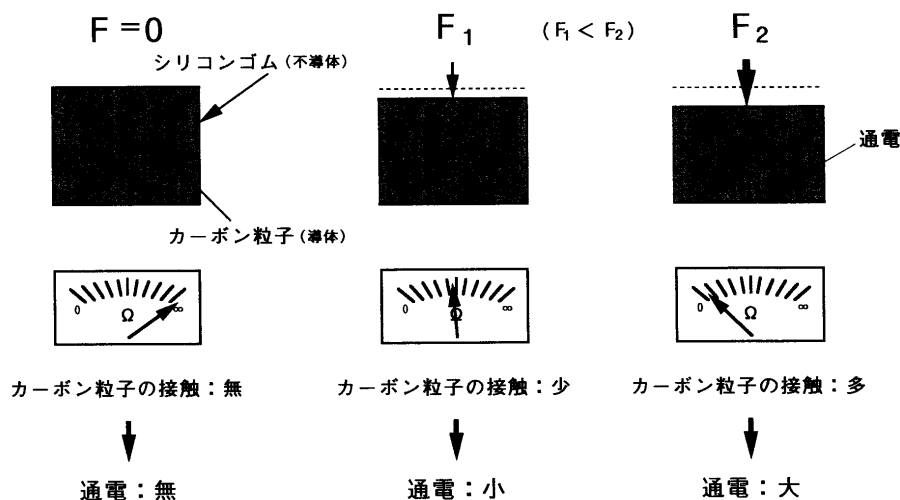
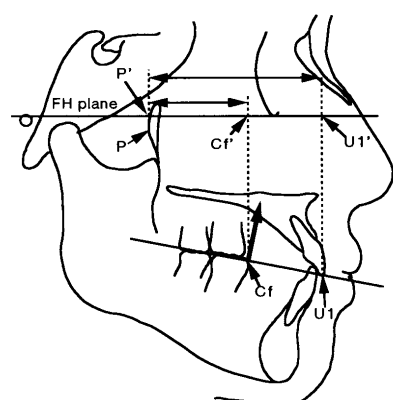


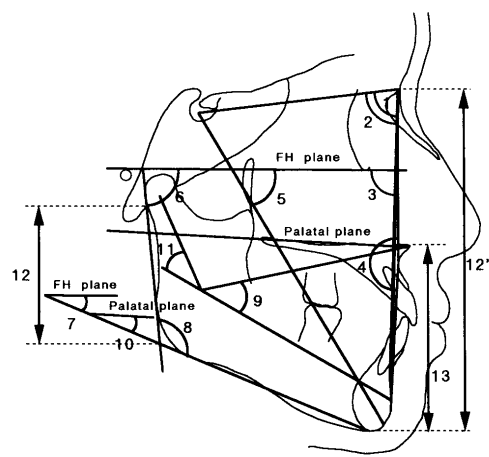
図 4 感圧導電ゴムの測定原理



- P : 翼口蓋窩後縁
 Cf : 咬合面上における重心の位置
 U1 : 咬合面上における上顎中切歯切端
 P' : PのFH平面への垂直投影点
 Cf' : CfのFH平面への垂直投影点
 U1' : U1のFH平面への垂直投影点

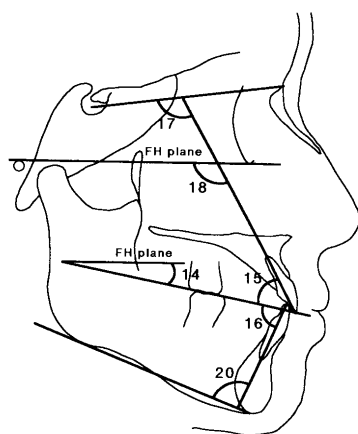
$$\text{FH平面上における重心の位置} = \frac{P' - Cf'}{P' - U1'}$$

図 5 重心の計測法



- | | |
|--|---------------------------|
| 1.SNA (degree) | 11.Mand. Arc (degree) |
| 2.SNB (degree) | 12.Ar-Go/N-M (12/12') (%) |
| 3.Facial angle (degree) | 13.Ans-M/N-M (13/12') (%) |
| 4.Angle of convexity (degree) | |
| 5.Y-axis angle (degree) | |
| 6.Ramus inclination (degree) | |
| 7.Mand. plane angle to FH (degree) | |
| 8.Gonial angle (degree) | |
| 9.Lower facial height (degree) | |
| 10.Mand. plane angle to palatal plane (degree) | |

図 6 骨格系計測項目



- | |
|---------------------------------------|
| 14.Occlusal plane angle (degree) |
| 15.U1 to Occlusal plane (degree) |
| 16.L1 to Occlusal plane (degree) |
| 17.U1 to SN (degree) |
| 18.U1 to FH (degree) |
| 19.Interincisal angle(15+16) (degree) |
| 20.L1 to Mand. plane (degree) |

図 7 歯槽系計測項目

C, ソニー (株), 東京) にテキストデータとして保存した後, パーソナルコンピュータ (Power Macintosh 7300, アップルコンピュータ (株), 東京)

の表計算ソフト (Excel 5.0, マイクロソフト (株), 東京) に取り込んだ。10回のサンプリングの中で出力値総和が最も大きなものを歯列咬合面圧分布のデータと

し、出力値が0以上すなわち力が検出されたクロスポイントの数を咬合接触面積、また出力値総和をそのクロスポイント数で除したものを単位面積あたりの力すなわち咬合圧とした。

さらに、加圧されたセンサシートの上下電極の交点における座標 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , $\dots (x_n, y_n)$ と、その部の出力値 $(f_1, f_2, \dots f_n)$ より咬合面圧分布重心の座標 (X, Y) を求めた。X および Y は以下の式で示される。

$$X = (f_1 x_1 + f_2 x_2 + \dots f_n x_n) / (f_1 + f_2 + \dots f_n)$$

$$Y = (f_1 y_1 + f_2 y_2 + \dots f_n y_n) / (f_1 + f_2 + \dots f_n)$$

この座標 (X, Y) を用いて被験者上顎中切歯唇面から重心までの前後の距離を求め、それに頭部 X 線規格写真の拡大率 1.1 を乗じた距離 L を、咬合平面上への上顎中切歯唇面投影点を基準に移し換え、これを側面頭部 X 線規格写真上での重心の位置 Cf とした (図 5)。

そして、この重心の位置 Cf, 翼口蓋窩後縁 P, 上顎中切歯点 U 1 のフランクフルト平面上への垂直投影点 Cf', P', U 1' をそれぞれ定めた。距離 L の大小は顎顔面頭蓋や歯列の大きさによって左右されるので、個体間の大きさの差を補償するために距離 P'-Cf' の P'-U 1' に対する比 (%) を求め、これを顎顔面骨格における重心の前後的位置とした。

形態計測は、側面頭部 X 線規格写真上に設定した 20 個の計測点をデジタイザ (KD 3320, GRAPHTEC 社, 東京) で入力し、パーソナルコンピュータ (PC-9801 ES, 日本電気 (株), 東京) で骨格系 13 項目、歯槽系 7 項目総計 20 項目の角度および距離比を求めた (図 6, 7)。

得られたデータをもとに、側面頭部 X 線規格写真の計測項目と咬合圧および歯列咬合面圧重心の前後的位置、さらに咬合圧と咬合接触面積の関係について調べた。また、重心位置を決める要因を知るため、咬合圧と重心位置との関係、さらに各被験者の歯列弓長を前後に二等分して咬合接触面積および咬合圧における前

方歯群の全歯列に対する測定値比率を求め、これらと重心位置との関係を調べた。

歯列咬合面圧分布測定の実現性について

被験者 21 人中協力の得られた 14 人 (男性 8 人, 女性 6 人) について測定日を変えて 2 回データを採得し、出力値総和、咬合接触面積および咬合面圧分布重心の位置について、1 回目と 2 回目の再現性を検討した。

統計処理について

測定システムの再現性に関しては、測定日を変えて得られた 2 組のデータの直線回帰分析および Paired t-test を用いた。

各被験者の咬合圧および咬合面圧分布重心の位置と顎顔面形態の関係、咬合圧と咬合接触面積の関係、接触面積および咬合圧と重心位置の関係については直線回帰分析を行った。さらに接触面積と咬合圧のどちらが重心位置の決定に強く関与しているかは偏相関分析を用いて調べた。測定値の性差の検定は Student t-test を用い、有意性の判定はいずれにおいても $P < 0.05$ とした。

結 果

センサ精度と再現性について

用いたセンサの精度を調べるために、センサキャリブレーションを行った。その方法は図 8 に示すように、センサシート上に置いた半径 2 mm の金属球に 0.5~3.5 Kg の分銅による一定荷重を垂直に加え、それぞれの荷重時の単位面積 (1 mm²) あたりの出力値を求めた。同様のテストを 30 回繰り返し行い、その平均を用いた直線回帰分析で相関係数 0.991 と良好な直線関係を示した (図 9)。

歯列咬合面圧分布測定の実現性についての検定結果を図 10 に示した。出力値総和、咬合接触面積および咬合面圧分布重心位置の 1 回目と 2 回目のデータは、そ

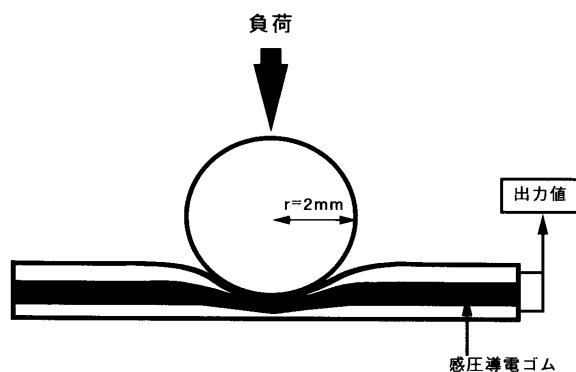


図 8 センサキャリブレーション

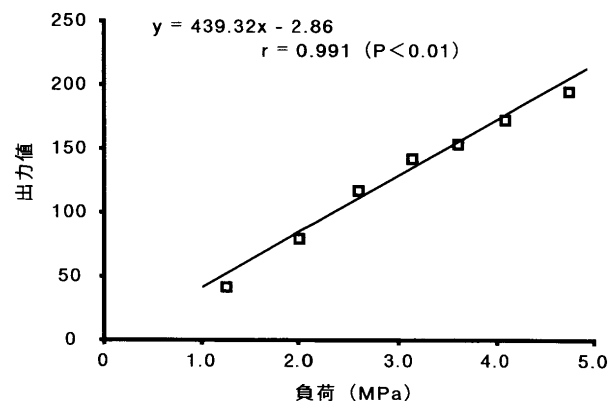


図 9 センサキャリブレーション結果

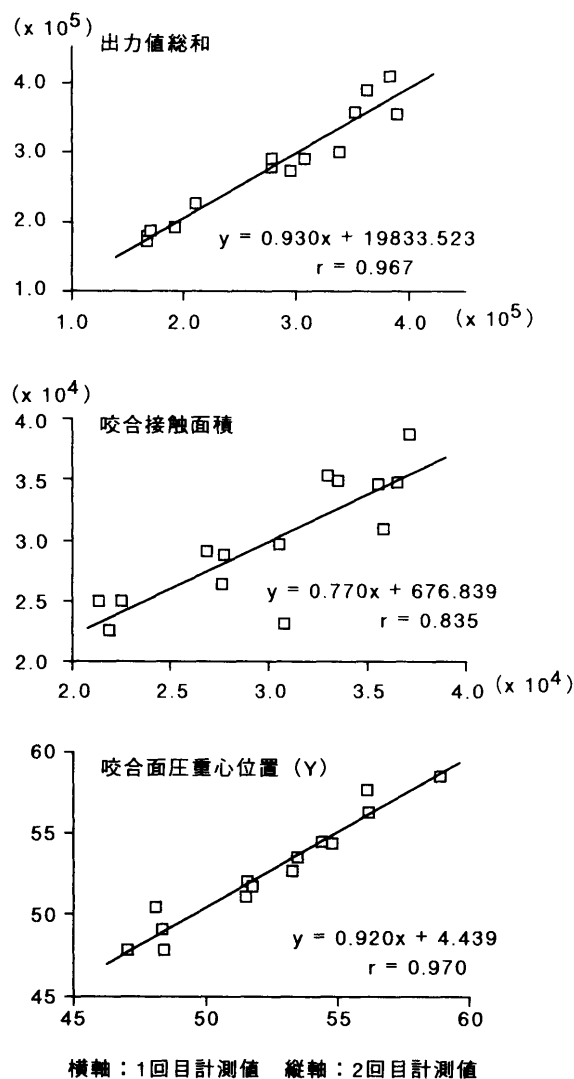


図 10 再現性の検定

それぞれ $r=0.967$, $r=0.835$, $r=0.970$ と有意 ($p<0.01$) な高い相関を認めた。Paired t-test の結果においても P 値はそれぞれ, 0.949, 0.854, 0.300 となり 1 回目と 2 回目の間に有意な差を認めなかった。

咬合力の大きさおよび性差について

各被験者の出力値総和を図 9 に示すキャリブレーション結果をもとに換算を行うと男性では 729.2 ± 199.3 N で最大値が 1034.7 N, 最小値が 370.1 N であった。一方, 女性では 576.3 ± 171.2 N で最大値が 839.7 N, 最小値が 371.4 N であった (表 1)。

男女間の咬合力には有意差は認められなかった。したがって以後の統計処理は男女の区別なく行った。

咬合圧と顎顔面形態の関係について

咬合面圧分布測定値を表 1 に, 形態計測値を表 2 に

示す。また両者の相関分析結果を表 3 に, その一部をグラフとして図 11 に示した。

咬合圧と Lower facial height, Mand. plane angle to palatal plane, Mand. plane angle to FH は 1% レベル, Gonial angle が 5% レベルで有意な負の相関が認められ, 下顎下縁平面の傾斜が緩やかな被験者ほど大きな咬合圧を示した (表 3)。

また, 咬合圧と Ar-Go/N-Me は 1% レベルにおいて有意な正の相関があり (図 11-a), 咬合圧が大きいことと後顔面高が相対的に大きいこととの間に関連があることが示された。さらに Facial angle (図 11-b), Angle of convexity との間に 1% レベル, SNB との間に 5% レベルでいずれも正の有意相関, Y-axis angle との間に 1% レベルで負の有意相関が認められ, 咬合圧が大きいこととオトガイ部あるいは下顎骨が突出する傾向との間に関連性があることがわかった。

歯槽系の計測項目では下顎下縁平面と同様に Occlusal plane angle が 1% レベルで負の有意相関を認め, 咬合平面の FH 平面に対する傾斜が緩やかな場合, 大きな咬合圧を示した。また U1 to SN および U1 to FH が 1% レベルで有意な正の相関を認め, 歯列に加わる圧が大きいほど頭蓋に対する上顎中切歯の唇側傾斜が大きい傾向を示した。しかし U1 to Occlusal plane angle, L1 to Occlusal plane angle, Interincisal angle, L1 to Mandibular plane angle との間には有意な相関は認められなかった。

歯列咬合面圧分布重心と顎顔面形態の関係について

咬合面圧分布重心位置と Facial angle との間に 1% レベルで正の有意相関が認められ (図 11-d), オトガイ部が頭蓋に対し前方に位置する被験者ほど重心がより前方に位置する傾向にあった。

Mand. plane angle to FH, Lower facial height, Ramus inclination との間には 5% レベルで負の有意相関, Ar-Go/N-M とは 5% レベルで正の有意相関 (図 11-c), Y-axis angle との間には 1% レベルの負の有意相関が認められた。すなわち前下顔面高が小さく, 後顔面高が大きい, いわゆる short-face type (短顔型) の傾向にある個体では歯列に加わる咬合面圧分布の重心が前方に位置した。

歯槽系計測項目では U1 to FH のみで 5% レベルの正の有意相関を示し, 上顎中切歯が唇側へ傾斜している個体において重心の位置が前方に位置する傾向がみられた。

歯列咬合面圧分布重心と咬合接触面積および咬合圧の関係について

全歯列における咬合圧の大小と重心位置の間に 1% レベルの正の有意相関が認められ, 咬合圧の大きな個

表 1 各被験者の咬合面圧分布計測値

被験者	咬合面圧分布計測値				
	出力値総和	クロス ポイント数	出力値総和/ クロスポイント数	咬合力 (N)	咬合圧重心 位置 (%)
f-1	377653	2370	159.3	839.7	46.9
f-2	270659	2190	123.6	607.8	42.0
f-3	167959	1557	107.9	379.6	35.8
f-4	189733	2005	94.6	431.9	30.2
f-5	164070	1565	104.8	371.4	32.6
f-6	273036	2185	125.0	612.9	41.4
f-7	334140	2683	124.5	750.2	40.1
f-8	275994	2015	137.0	617.1	39.2
m-1	353881	2536	139.5	790.7	36.1
m-2	422545	2594	162.9	938.8	34.8
m-3	302568	2248	134.6	677.0	44.1
m-4	275161	2168	126.9	617.2	28.7
m-5	273720	1957	139.9	611.6	28.5
m-6	291646	2311	126.2	654.4	37.9
m-7	206671	2030	101.8	468.5	34.4
m-8	467358	2572	181.7	1034.7	46.3
m-9	296071	2197	134.8	662.5	31.8
m-10	452072	2728	165.7	1003.8	43.4
m-11	346196	2364	146.4	772.1	42.7
m-12	163937	1482	110.6	370.1	28.4
m-13	394149	2615	150.7	878.1	46.2

f-:女性 m-:男性

表 2 被験者側面頭部 X 線規格写真計測結果

セファロ計測項目	Male & Female (n=21)				Male (n=13)		Female (n=8)		Male & Female Student t-test
	Max	Min	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
1. SNA (degree)	86.3	77.8	82.4	2.2	82.5	2.1	82.2	2.5	ns
2. SNB (degree)	83.3	72.3	78.5	2.8	79.2	2.4	77.4	3.1	ns
3. Facial angle (degree)	90.1	82.2	86.2	2.6	86.4	2.8	85.9	2.4	ns
4. Angle of convexity (degree)	181.4	162.8	173.4	4.9	175.0	3.5	170.7	5.9	ns
5. Y-axis angle (degree)	69.3	57.3	63.7	2.8	63.6	3.1	63.9	2.4	ns
6. Ramus inclination (degree)	96.6	77.7	85.9	5.3	86.2	5.8	85.4	4.7	ns
7. Mand. plane angle to FH (degree)	37.8	16.5	27.0	5.2	26.8	4.5	27.3	6.5	ns
8. Gonial angle (degree)	135.0	106.0	121.1	7.9	120.6	7.7	121.9	8.7	ns
9. Lower Facial Height (degree)	55.7	44.0	48.0	2.7	47.6	1.0	48.6	4.3	ns
10. Mand. plane angle to palatal plane (degree)	35.8	13.2	24.7	5.1	24.0	2.7	25.8	7.7	ns
11. Mand. Arc (degree)	45.5	23.5	35.0	5.4	35.5	5.8	34.2	5.0	ns
12. Ar-Go/N-M (%)	47.7	34.0	40.7	3.2	41.0	2.6	40.3	4.2	ns
13. Ans-M/N-M (%)	58.0	51.8	55.1	1.8	55.1	1.4	55.1	2.4	ns
14. Occlusal plane angle (degree)	29.1	14.0	21.3	3.5	21.9	3.4	20.2	3.6	ns
15. U 1 to Occlusal plane (degree)	61.7	46.1	53.1	4.5	53.9	5.4	51.8	2.1	ns
16. L 1 to Occlusal plane (degree)	78.6	57.8	67.4	6.4	68.3	6.7	65.9	6.2	ns
17. U 1 to SN (degree)	120.5	98.0	107.7	6.3	108.5	6.8	106.5	5.5	ns
18. U 1 to FH (degree)	128.3	104.0	114.7	6.3	114.8	7.4	114.6	4.6	ns
19. Interincisal angle (degree)	139.0	105.1	119.9	8.9	121.4	9.9	117.6	7.1	ns
20. L 1 to Mandibular plane (degree)	109.0	85.5	98.4	7.6	97.0	7.9	100.7	6.9	ns

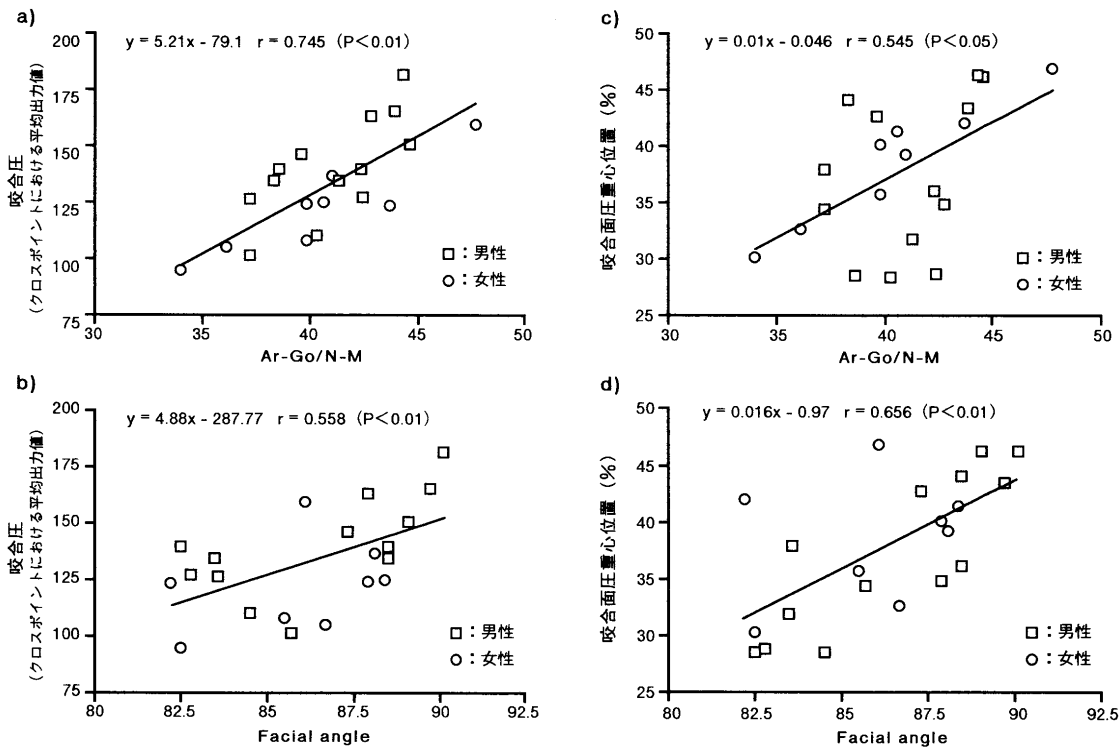


図 11 顔面形態と咬合圧および咬合面圧重心位置の関係

表 3 相関分析の結果

セファロ計測項目	咬合圧	重心の位置
1. SNA	0.007	0.067
2. SNB	0.454*	0.304
3. Facial angle	0.558**	0.656**
4. Angle of convexity	0.614**	0.289
5. Y-axis angle	-0.578**	-0.661**
6. Ramus inclination	-0.094	-0.440*
7. Mand. plane angle to FH	-0.742**	-0.465*
8. Gonial angle	-0.427*	-0.009
9. Lower Facial Height	-0.589**	-0.466*
10. Mand. plane angle to palatal plane	-0.665**	-0.403
11. Mand. Arc	0.291	-0.091
12. Ar-Go/N-M	0.745**	0.545*
13. Ans-M/N-M	-0.154	-0.274
14. Occlusal plane angle	-0.665**	-0.112
15. U1 to Occlusal plane	-0.224	-0.432
16. L1 to Occlusal plane	-0.091	0.163
17. U1 to SN	0.581**	0.362
18. U1 to FH	0.579**	0.496*
19. Interincisal angle	-0.219	-0.101
20. L1 to Mandibular plane	0.277	0.029

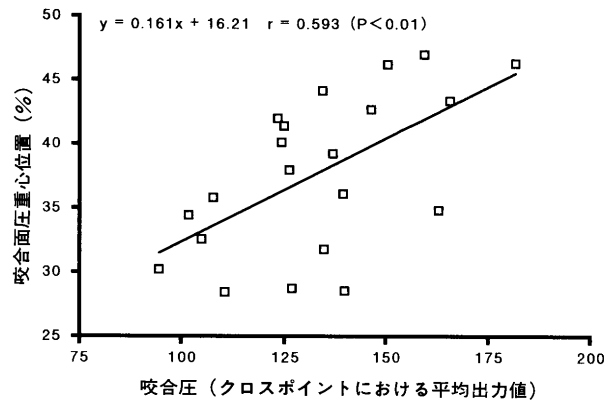
** : ($P < 0.01$) * : ($P < 0.05$)

図 12 咬合圧の大きさと咬合面圧重心位置の関係

体ほどその重心が前方に位置した (図 12)。

咬合接触面積および咬合圧の全歯列に対する前方歯群の測定値比率と重心位置との関係については重心が前方に位置することといずれの間にも正の有意相関 ($P < 0.05$, $P < 0.01$) が認められ、歯列前方部の咬合接触面積や咬合圧が相対的に大きい個体では重心の位置は前方に位置した (図 13)。さらに重心位置と咬合接触面積および咬合圧間の偏相関分析結果では、前者で $r = 0.302$, 後者で $r = 0.551$ と咬合圧の方が重心の位置により大きな影響を与えていることが分かった。

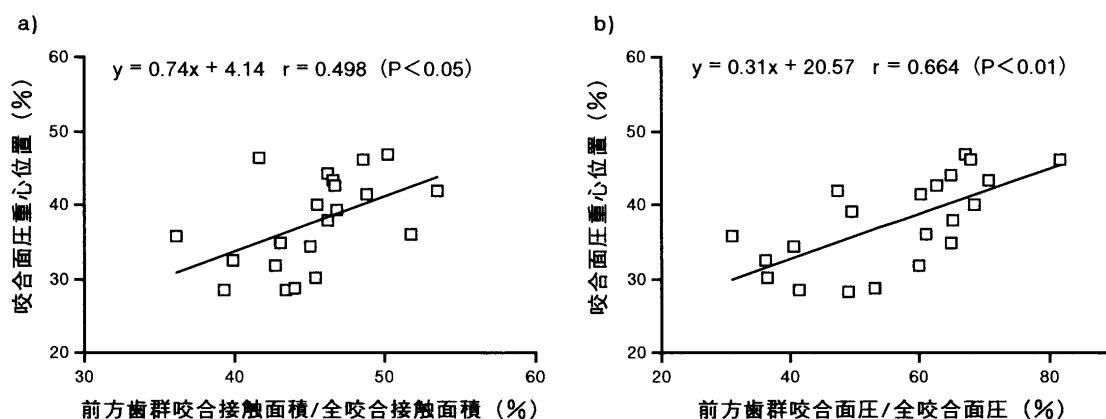


図 13 咬合面圧重心の位置と前歯部における咬合接触面積および咬合圧比の関係

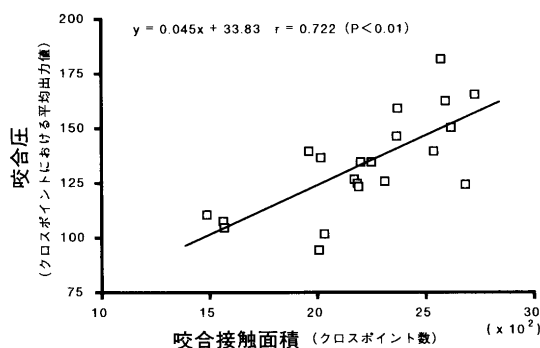


図 14 咬合接触面積と出力値平均の関係

咬合圧と咬合接触面積の関係について

咬合圧と咬合接触面積との関係を図 14 に示す。両者の間に相関係数 $r=0.722$ の 1% レベルの正の有意相関が認められ、咬合接触面積が大きい被験者では単位面積当たりの咬合力も大きい傾向を示した。

考 察

資料について

資料選択の条件を咬合に限定したので、本研究資料の中には表 2 に示したように種々の顎顔面骨格パターンの被験者が含まれている。たとえば Mand. plane angle は 16.5~37.8 度、Gonial angle は 106.0~135.0 度と、正常咬合者標準値の約 ± 1 SD~2 SD の範囲に広がっており、これは咬合圧と顎顔面形態との関係を調べる上で好都合だと考えられた。

一方、顎顔面形態の大きさには男女差があることが考えられるため、本研究では頭部 X 線規格写真の計測項目は角度計測および距離の比のみを採用した。各項目において性差を検定したところ、すべての項目において形態計測値に有意差は認められなかった。また咬合力にも有意な性差がないことが確認され、両計測値

の関係を示した散布図 (図 11) においても性による偏りがみられなかった。したがって、本研究では男女を一緒にして統計処理をしたが、その結果は性によって大きく影響を受けてはいないものと判断している。

測定法とその再現性について

感圧素子に用いた感圧導電ゴムは構成する大部分がシリコンのため、その弾性により歯の形態に適合した状態での圧力測定が行える⁷⁾という特長と、咬合圧の経時的な変化を捉えることが可能である⁸⁾という利点をもっている。一方、非加圧状態で約 1.5 mm という厚さが問題となる。これは、過去の咬合圧計測に用いられたトランスデューサタイプの計測器に比べると薄い、感圧フィルムを用いる方法に比べると 10 倍以上の厚さである。しかし噛みしめ時には、歯による最大加圧部の厚みは約 1/2 になることがセンサキャリブレーションの実験により確認され、むしろ上下の歯が緊密に接触しなくともある範囲内で力を感じできるので、食物の咀嚼時と関連した咬合終末期の機能的あるいは動的解析には、本センサの形態適合性と弾力性はかえって利点であると考えられる。

咬合圧測定に感圧フィルム (デンタルプレスケール) を用いた山田ら⁹⁾、Hassan ら¹⁰⁾、丸山ら¹¹⁾、高橋ら¹²⁾の研究においては測定時の噛みしめ時間は 2~5 秒間である。これはおそらく被験者の噛みしめ時の筋疲労を考慮した時間設定と考えられるが、今回の研究では咬合圧の経時的変化が捉えられるという本計測システムの特性を利用し、15 秒の最大噛みしめを指示した。その結果、図 15 に示すように出力値総和が噛みはじめからピークに達し、その後、疲労のため低下が生じる時間が被験者により大きく異なることが分かった。したがって、被験者の一時点での咬合圧測定ではなく、出力値総和が最大に達したデータを用いることが被験者の咬合圧を知る上で妥当だと考えた。このようにして

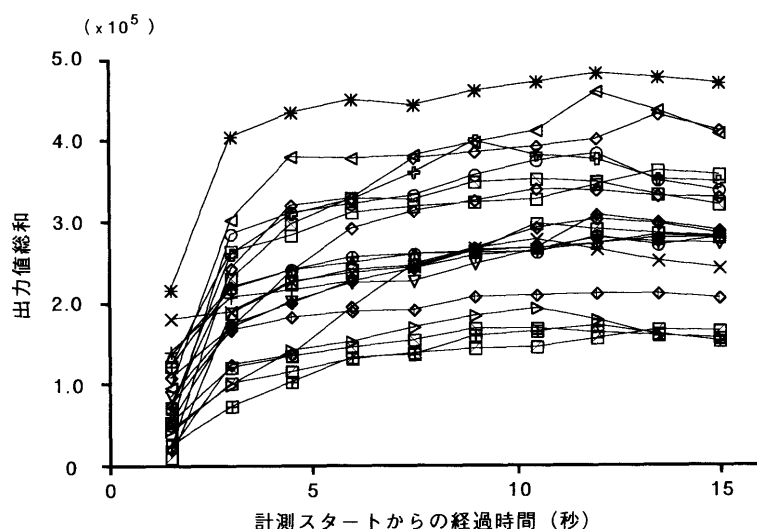


図 15 全被験者の測定時における咬合面圧出力値総和の経時的変化

得られた測定値は、日を変えても相関が $r=0.83\sim 0.97$ と高い良好な再現性があった。これは咬合力を調べた Braun ら¹³⁾の方法の再現性とほぼ同等の精度であった。

これまでの咬合圧分析システムにも重心の分布表示が可能なものが存在したが、センサの口腔内における設定が術者により異なり、歯列内での位置は評価できても頭蓋骨格との位置関係を知ることが困難であった。今回考案したセンサホルダは頭蓋に対する位置決めに顎頭杆と切歯ガイドを用いているため、セファロとの対応が可能である。とくに顎の偏位が認められるケースにおいても、センサの中心を顔面正中に合わせることによって頭蓋に対する歯列咬合面圧分布やその重心のずれを調べることができる。上述のように測定精度や再現性も含め、本測定装置は顎顔面領域の形態と咬合によって加えられる力学的環境の関係を解析する上で有用なシステムだと考えられる。

咬合圧と顎顔面形態の関係について

咬合圧と形態の関係に関して今回の結果では、下顎下縁平面の傾斜と咬合圧の間に負の有意相関が得られた。このことは下顎骨が下方回転傾向にある長顔型の形態をもつ個体では咬合圧が低いことを意味しており、同様の研究を行った Hassan ら¹⁰⁾、Braun ら¹³⁾、Raddsbeer ら¹⁴⁾、稲葉ら¹⁵⁾の結果と一致した。このようなことが生じる原因として、Throckmorton ら⁶⁾は下顎枝が直立し、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。

また、Proctor ら¹⁶⁾は骨格的に開咬傾向と過蓋咬合の傾向にある個体の咬筋の走行と顎顔面形態の比較を

行い、下顎骨への咬筋の付着部位については差は認めないが、Sella-Nasion 平面および下顎下縁平面と咬筋の走行のなす角については有意差を認めたと報告している。すなわち過蓋咬合傾向の個体は開咬傾向の個体に比べ、咬筋の走行と両平面のなす角がより 90 度に近づく傾向にあり、下顎を挙上するための咬筋の筋力の垂直成分が大きくなると述べている。今回の研究では下顎下縁平面や咬合平面の傾斜が緩やかであれば咬合圧は大きい傾向にあることが分かったが、Ramus inclination と咬合圧との間に有意な相関が認められないことを考慮すると、むしろ下顎下縁平面と閉口筋のなす角の方が重要な意味をもつのかかもしれない。今後閉口筋の走行と咬合圧、あるいは顎顔面形態との関係について更なる研究が必要だと考えられる。

SNB, Facial angle, Angle of convexity, Y-axis angle などオトガイ部の前後的位置を示す計測項目と咬合圧の間にも有意相関が認められた。これはオトガイ部が前方に位置する個体では咬合圧が大きいことを意味するが、仮に閉口筋が Proctor ら¹⁶⁾の報告にあるように下顎骨の一定部位に付着しているのであれば、支点としての下顎頭から筋の付着部である力点までの距離が長くなり、回転モーメントが大きくなって咬合力も大きくなると考えることが可能である。

これに対し筋の機能が顎顔面形態に影響をあたえると考えた Proffit ら¹⁷⁾は、成人と小児の被験者を長顔型群と正常群に分けて咬合力を比較した。それによると、成人では長顔型が有意に低い値を示すにもかかわらず小児においては差が認められただけでなく、成人の長顔型を示すものとの間にも差がみられなかったと報告している。彼は長顔型においては小児からの成長段階において何らかの原因により筋の成長が中断し、成人になっても筋の収縮力が弱く、顔貌は結果と

して長顔型になると考察している。筋が形態変化を起こす例として Kreiborg ら¹⁸⁾, Gazit ら¹⁹⁾は進行性の筋萎縮症の患者で頻繁に生じる開咬への変化について、下顎骨を挙上する閉口筋の機能が低下することにより下顎骨の後下方への回転の力が相対的に大きくなって開咬が生じ、続いて下顎枝前縁の骨吸収、後縁の骨添加が下顎の形態的变化を生じさせると説明している。

今回の被験者は筋の機能に問題はなく開咬例は含まれていなかったが、16.5~37.8度の広い範囲の下顎下縁平面角を示し、それと咬合圧との間に有意な負の相関を認めた。これは正常咬合者においても下顎骨を挙上する閉口筋群の力が大きければ下顎下縁平面角は小さくなることを示唆しているように思われる。また、下顎角部を計測点に含む後顔面高についても咬合圧と有意な相関が認められたが、Weijs ら²⁰⁾, VanSpronsen ら^{21,22)}は下顎角部に付着する咬筋や内側翼突筋が顔面形態に極めて大きな影響を与えると述べている。顎角部に加わる筋力の大小は骨の添加吸収と密接な関係があるものと思われ、咬合圧が弱い個体では後顔面高が低いという本研究結果は、筋機能が優先するという彼らの主張を支持しているのかもしれない。

上顎中切歯歯軸の傾斜を示す U1 to SN, U1 to FH と咬合圧の間にも有意相関が認められ同様の研究を感

圧フィルム（デンタルプレスケール）を用いて行った高橋ら¹²⁾の結果と一致した。歯軸は直立した方が垂直的な力を受ける構造としては好都合と思える。しかし今回の結果ではそれとは逆に強い咬合力をもった個体では前歯は唇側傾斜の傾向がみられた。そこで、上顎中切歯の歯軸と下顎オトガイ部の前後的位置の関係を U1 to SN, U1 to FH と SNB, Facial angle で調べると、いずれも有意な相関が認められ、下顎オトガイ部が前方に位置するほど上顎中切歯の傾斜が強くなることが分かった。これより歯軸の傾きは咬合圧に直接関連しているのではなく長顔型では前歯歯軸は直立し、短顔型では唇側傾斜傾向があるという一連の顔面型の特徴によるものと解釈することもできる。

歯列咬合面圧重心と顎顔面形態の関係について

前顔面高に対する後顔面高の比率が大きく、下顎オトガイ部が頭蓋に対し前方にある個体では咬合平面上での重心も前方に位置することが示された。

さらに重心の位置は、咬合接触面積とその部に加わる咬合圧の2つの要因によって影響を受けるが、本研究結果によると咬合圧の方が重心の位置により大きな影響を与えているものと考えられた。また、咬合圧の大きな個体ほどその重心が前方に位置するというこ

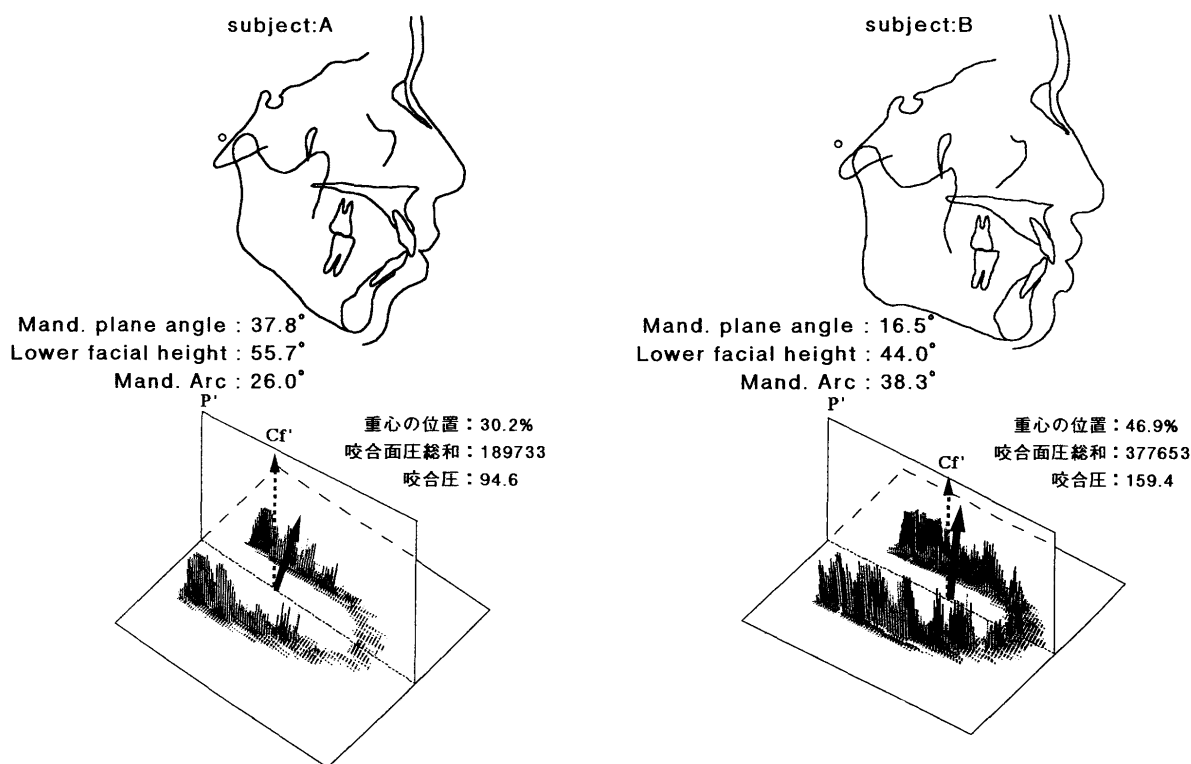


図 16 顎顔面形態と咬合面圧分布の関係（長顔型傾向 vs 短顔型傾向）

根津ら²⁴⁾の日本人基準値を用い Ricketts 分析法による顎顔面型を判定する 5 計測項目を用いて判定したところ subject : A は 4/5 で長顔型, subject : B は 3/5 で短顔型と判定された。

もわかった。言い換えれば、咬合面圧分布の前方成分が相対的に大きくなることに加えて、単位面積当たりの力、すなわち、咬合圧が大きい個体では前方歯群でより強く噛んでおり、その結果として、重心の前方移動が強調されるものとする。本研究は、小臼歯部の咬合力や咬合接触面積が相対的に大きい被験者では下顎下縁平面角や下顎角が小さい傾向にあるという Hassan ら¹⁰⁾の報告を支持しているが、同時にその傾向をもたらす要因として咬合圧自体の大きさやその分布（重心の位置）が大きく関わっていることを示唆しているものと思われる。

咬合圧と咬合接触面積の関係について

Bakke ら²³⁾は筋の収縮力、疲労、痛みなどは上下の歯、特に臼歯部における咬合接触状態が、筋の電気的な活動量や咬合力などに影響を与えると報告している。図 14 の咬合接触面積と単位面積あたりの咬合力（咬合圧）の関係を表すグラフより、両者には有意な正の相関が認められる。咬合接触面積の増大はそれに比例した咬合面圧総和の増大をもたらすのは当然であろうが、今回の結果においてはグラフから分かるように、それに加えて単位面積あたりの力も大きくしている。すなわち前方歯群を動員してより多くの歯で強く咬むことができる機能的に良好な環境は、咬合力に対する閾値の増加や歯根膜受容体からのフィードバックなどを介して、個々の歯の最大咬合圧をも増加させるものと考えられる。

図 16 は今回の資料の中から長顔型傾向と短顔型傾向の顎顔面形態の特徴をもった 1 例づつを選び、頭部 X 線規格写真トレースと咬合面圧分布から得られた計測値を表示したものである。被験者 A は下顎下縁平面角と下顎角が大きく前後顔面高比が小さい長顔型傾向を示し、一方、被験者 B はそれらの計測値が逆の傾向を呈した短顔型傾向をもっていると判断される。B は A と比較して咬合接触面積、咬合面圧総和ともに大きな値を示し、前方歯群による咬合力負担率が大きいとともに咬合面圧分布重心が前方位にある特徴を示している。これらはいずれも本研究の統計的な所見と一致し、歯列に加わる力学的条件と顎顔面形態が密接に関わっていることが推察される。また、図の中の咬合面圧分布重心から咬合平面に対し垂直に立ち上がる矢印は上顔面に加わる力の大きさ（比率）と方向すなわちベクトルを表している。咬合平面の傾斜が緩やかであれば前方位から垂直方向へ、傾斜が急であれば後方位から前上方へ力が働いており、力線（矢印の方向）は上顔面骨構造のある一定の領域に集中することも考えられる。力線と顎顔面形態の関係については今後被験者を増やして検討すべき興味あることと思われる。

なお、本論文の要旨は、第 56 回日本歯科矯正学会（1997 年 9 月、東京）において発表した。稿を終えるに臨み、頭部 X 線規格写真撮影に関しご協力いただいた本学歯学部歯科放射線学神田重信教授ならびに医局員の先生方に感謝の意を表すとともに、本研究に被験者としてご協力いただいた本学歯学部学生および矯正学医局員各位に感謝いたします。

文 献

- 1) Schendel, S. A., Eisenfeld, J., Bell, W. H., *et al.* : The long face syndrome : Vertical maxillary excess, *Am J Orthod Dentofac Orthop* 70 : 398-408, 1976.
- 2) Sassouni, V. : A classification of skeletal facial types, *Am J Orthod Dentofac Orthop* 55 : 109-123, 1969.
- 3) Proffit, W. R., Fields, H. W. and Nixon, W. L. : Occlusal forces in normal- and long-face adults, *J Dent Res* 62 : 566-571, 1983.
- 4) Bjork, A. : Prediction of mandibular growth rotation, *Am J Orthod Dentofac Orthop* 55 : 585-599, 1969.
- 5) Ingervall, B. and Bitsanis, E. : A pilot study of the effect of masticatory muscle training on facial growth in long-face children, *Eur J Orthod* 9 : 15-23, 1987.
- 6) Throckmorton, G. S., Finn, R. A. and Bell, W. H. : Biomechanics of differences in lower facial height, *Am J Orthod Dentofac Orthop* 77 : 410-420, 1980.
- 7) 篠崎直樹, 長谷 誠, 石田哲也, 他 : 感圧導電ゴムを用いた圧力センサの改良, *顎機能誌* 2 : 57-63, 1995.
- 8) 中島昭彦, 一ノ瀬元史, 高濱靖英, 他 : 咬合接触面積と咬合面圧分布の電気的計測システムの開発に関する研究, *日矯歯誌* 49 : 37-46, 1990.
- 9) 山田一尋, 福井忠雄, 森田修一, 他 : 顎関節症を伴う不正咬合患者の側面顎顔面形態と咬合力の関連に関する研究, *顎機能誌* 4 : 59-65, 1997.
- 10) Hassan, G. S., Yamada, K., Rakiba, S., *et al.* : Relationship between craniofacial morphology and occlusal force in adults with normal occlusion, *J Jpn Orthod Soc* 56 : 348-361, 1997.
- 11) 丸山陽市, 橋本文生, 小林和英 : 高圧用感圧フィルムを用いた咬合接触面積の評価法について, *日矯歯誌* 58 : 242-248, 1999.
- 12) 高橋正光, 浅野和己, 葛西一貴, 他 : 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 : 141-148, 1995.

- 13) Braun, S., Bantleon, H., Hnat, W. P., *et al.* : A study of bite force, part 2 : Relationship to various cephalometric measurements, *Angle Orthod* 65 : 373-377, 1995.
- 14) Raadsheer, M. C., van Eijden, T. M. G. J., van Ginkel, F. C., *et al.* : Contribution of jaw muscle size and craniofacial morphology to human bite force magnitude, *J Dent Res* 78 : 31-42, 1999.
- 15) 稲葉敬子 : 顎顔面形態と咬合力に関する研究, *歯科学報* 94 : 153-175, 1994.
- 16) Proctor, A. D. and DeVincenzo, J. P. : Masseter muscle position relative to dentofacial form, *Angle Orthod* 40 : 37-44, 1970.
- 17) Proffit, W. R. and Fields, H. W. : Occlusal forces in normal-and long-face children, *J Dent Res* 62 : 571-574, 1983.
- 18) Kreiborg, S., Jensen, B L., Moller. E., *et al.* : Craniofacial growth in a case of congenital muscular dystrophy, *Am J Orthod Dentofac Orthop* 74 : 207-215, 1978.
- 19) Gazit, E., Bornstein, N., Liberman, M., *et al.* : The stomatognathic system in myotonic dystrophy, *Eur J Orthod* 9 : 160-164, 1987.
- 20) Weijs, W. A. and Hillen, B. : Relationships between masticatory muscle cross-section and skull shape, *J Dent Res* 63 : 1154-1157, 1984.
- 21) Van Spronsen, P. H., Weijs, W. A., Valk, J., *et al.* : Relationships between jaw muscle cross-sections and craniofacial morphology in normal adults, studied with magnetic resonance imaging, *Eur J Orthod* 13 : 351-361, 1991.
- 22) Van Spronsen, P. H., Weijs, W. A., Valk, J., *et al.* : A comparison of jaw muscle cross-sections of long-face and normal adults, *J Dent Res* 71 : 1279-1285, 1992.
- 23) Bakke, M. : Mandibular elevator muscles : physiology, action, and effect of dental occlusion, *Scand J Dent Res* 101 : 314-331, 1993.
- 24) 根津 浩, 永田賢司, 吉田恭彦, 他 : 歯科矯正学—バイオプロレシブ診断学, 第一版, 東京, 1984, ロッキーマウンテンモリタ, 45-66.

主 任 : 中 島 昭 彦 教 授 1999 年 10 月 4 日 受 付

連絡先 : 上原美智也
 九州大学歯学部歯科矯正学講座
 〒 812-8582 福岡市東区馬出 3-1-1