

歯列咬合面圧分布と咀嚼筋筋活動および顎顔面形態 の関係

上原, 美智也
Graduate School of Dental Science, Kyushu University

<https://doi.org/10.11501/3180215>

出版情報 : 九州大学, 2000, 博士 (歯学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

歯列咬合面圧分布と咀嚼筋筋活動
および顎顔面形態の関係

上原 美智也

①

歯列咬合面圧分布と咀嚼筋筋活動

および顎顔面形態の関係

上原 美智也

九州大学大学院歯学研究科歯学臨床系

歯科矯正学講座

(九州大学大学院歯学府 口腔保健推進学講座)

(指導：中島 昭彦 教授)

本研究の一部は下記の論文にて報告した。

対象論文：

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

日橋歯誌 59:98-110,2000

目 次

緒 言	P.1
第 I 章 歯列咬合面圧分布計測システムの開発	P.3
1. 計測システムの構成	
2. センサ特性	
3. 測定方法	
4. 測定値の再現性	
5. 考察	
6. 小括	
第 II 章	
分析 I 歯列咬合面圧分布と咀嚼筋活動の関係	P.18
I-1. 資料および方法	
1) 資料	
2) 筋電図の採得と分析法	
I-2. 結 果	
I-3. 考 察	
I-4. 小 括	
分析 II 歯列咬合面圧分布と顎顔面形態の関係	P.36
II-1. 資料および方法	
1) 資料	
2) 顎顔面形態の計測および分析方法	
II-2. 結 果	
II-3. 考 察	
II-4. 小 括	
総 括	P.60
謝 辞	P.63
参 考 文 献	P.64

緒 言

顎顔面形態と咬合力との間には密接な関係があるといわれている。Sassouni¹⁾ や Proffit ら²⁾ は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 syndrome³⁾ (長顔型) では咬合力が小さいと報告しており、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。さらに Bakke ら⁷⁾ は咬合状態により咀嚼筋活動が影響を受け、とくに臼歯部における咬合が良好であればかみしめや咀嚼時における挙上筋が高度に活性化され、筋の収縮率や咀嚼能力が向上すると述べている。

このように咀嚼筋の強さが形態を決定するのか、あるいは咬合を含めた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なように思われる。

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、その力の分布が顎顔面構造にどのように加わっているかを知ることが、咬合力と顎顔面形態とのつながりをより詳細に知る上で不可欠である。

本研究の目的は、咀嚼筋活動およびそれより発揮される歯列咬合面圧分布と顎顔面形態との関係を知ることである。第Ⅰ章では本研究目的に合わせて歯列に加わる圧分布測定システムを製作したのでその概要を述べる。第Ⅱ章の分析Ⅰでは歯列咬合面圧分布データと同時記録により咬筋および側頭筋筋電図採得し、両筋の積分値対数比より筋活動量の平衡性を調べた。さらに、筋は構成する線維の割合によりその収縮特性が異なり、速筋線維を含む割合の高い筋では、その周波数分析において主周波数帯が高周波へ移行することが考えられる。そこで両被験筋の収縮特性の平衡性を知るために、周波数帯のずれを図形的に表示するリサージュ図形⁸⁾を作成した。そしてこれら筋電図より得られたデータと咬合面圧分布データとの関係を解析した。

分析Ⅱでは側方頭部X線規格写真より得られた顎顔面形態計測値と咬合面圧分布データとの関係を解析した。

第 I 章 歯列咬合面圧分布計測システムの開発

咬合状態を客観的に診査するために、古くより咬合紙⁹⁾、ワックス¹⁰⁾、occlusal wafer^{11,12)}などを用いて対合歯との咬合接触点を数える方法が使用されてきた。これらは簡単ではあるがたとえ良好な咬合状態を持っていても、歯の摩耗によって数値が減少するなどの問題があった。そこで咬合印象の透過光量で評価する add 画像法¹³⁾や咬合紙の圧印発色濃度を光学的に測定するプレスケール法^{14,15)}などが登場したが、咬合の動的解析はできなかった。本研究のように筋活動との関係を調べようとするならば、筋電図と一定時間同時記録ができる圧分布測定法が望ましい。咬合接触の時間的推移を調べる機能を持ったシステム^{16~18)}も開発されたが、データの記録保存や重心位置の測定などに難点があり、歯列咬合面圧分布と顎顔面形態との位置関係を調べるには不適當であった。したがって本研究のために独自の歯列咬合面圧分布測定システムを作ることにした。

本章では、その測定システムの概要と、測定値の再現性について述べる。

1. 計測システムの構成

一般工業用に用いられている感圧導電ゴムを用いた圧分布測定器（PXH-128, イナバゴム, (株), 大阪）のセンサー部を歯列咬合面圧測定用として新しく設計し、さらに顎顔面頭蓋と歯列との関係を再現できる機能を付与して歯列咬合面圧測定用システムとして構築した。完成したシステムはセンサー部、電子制御部、演算部（図 1、2）に分けられ、センサー部はさらにセンサシート、センサホルダ、顔弓、顎頭杆および切歯ガイドにより構成されている。

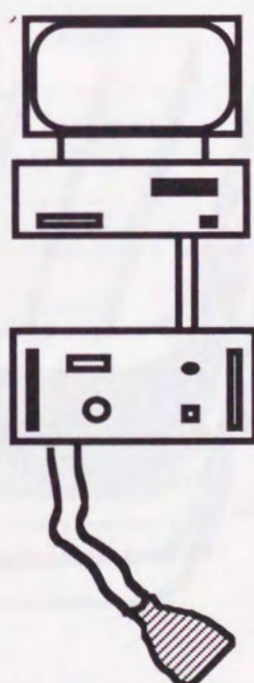
センサシート（図 3）は中心に厚さ 0.46 mm の感圧導電ゴム、その上下にそれぞれ厚さ $25\mu\text{m}$ の基板に $35\mu\text{m}$ の銅ハクを導出電極として、0.8 mm 間隔で上部に 95 本、下部に 79 本導出電極を直交するように成人の平均歯列に合わせて配置した（図 4）。

センサホルダには咬合圧データを電子制御部へ送るコネクタを内蔵させ、さらに歯列と頭蓋との位置関係を知ることができるよう切歯ガイドと顔弓とを連結させる機能を与えた。すなわち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した。

感圧導電ゴムの測定原理は図 5 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した。

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を行った。



コンピュータ部
PC-H98 model 80

電子制御部
INASTOMER-PXH 128

センサ部

図 1 圧分布測定システム

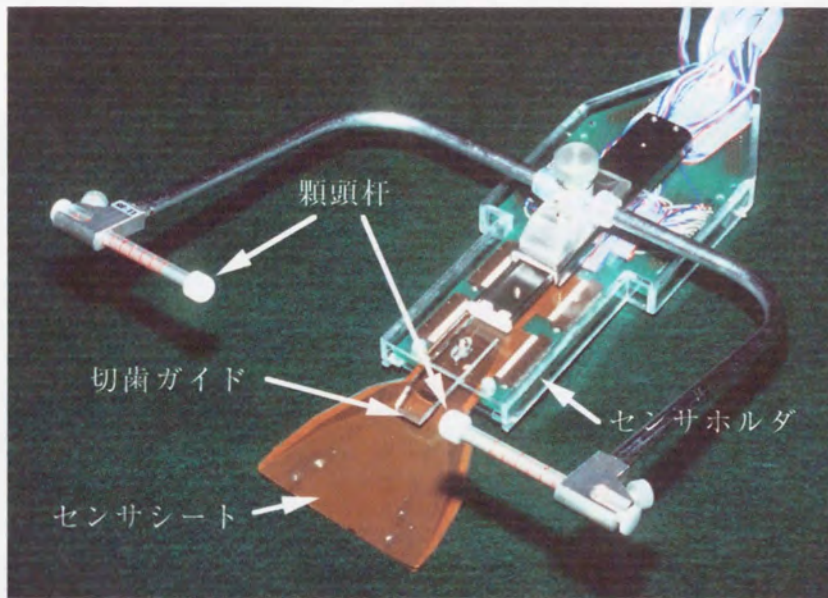


図 2 圧分布測定システム (センサ部)

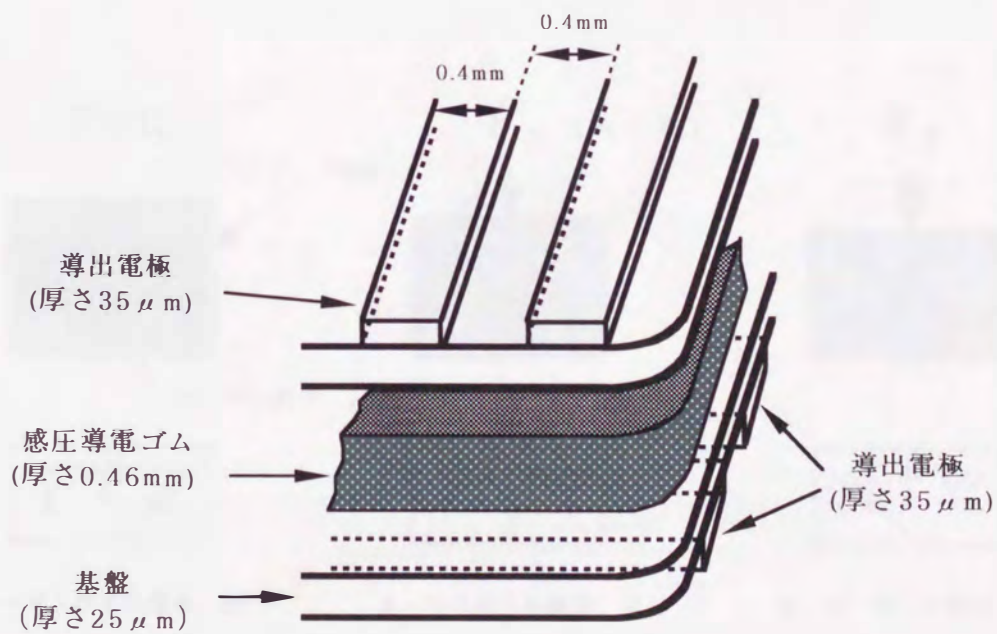


図 3 センサシートの構造

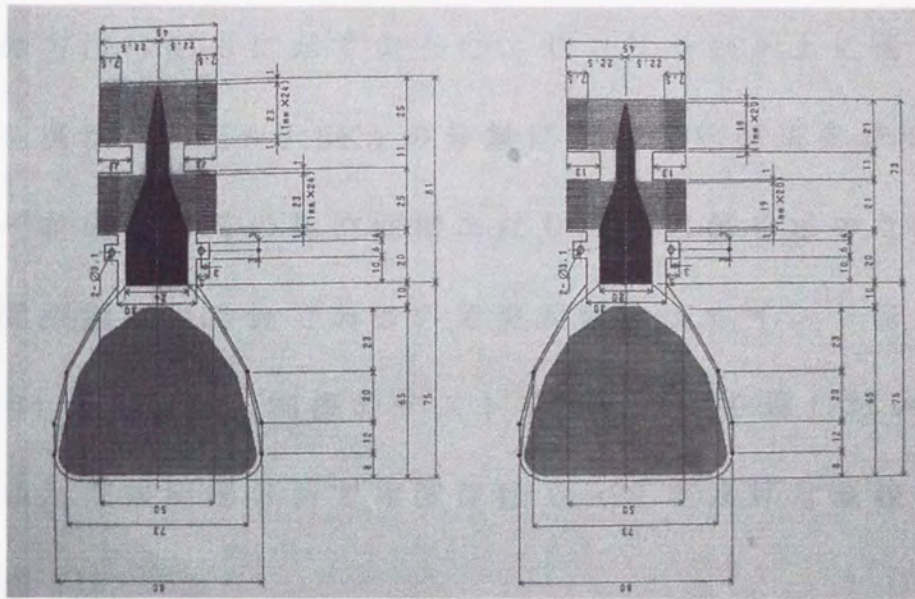


図 4 導出電極の構造

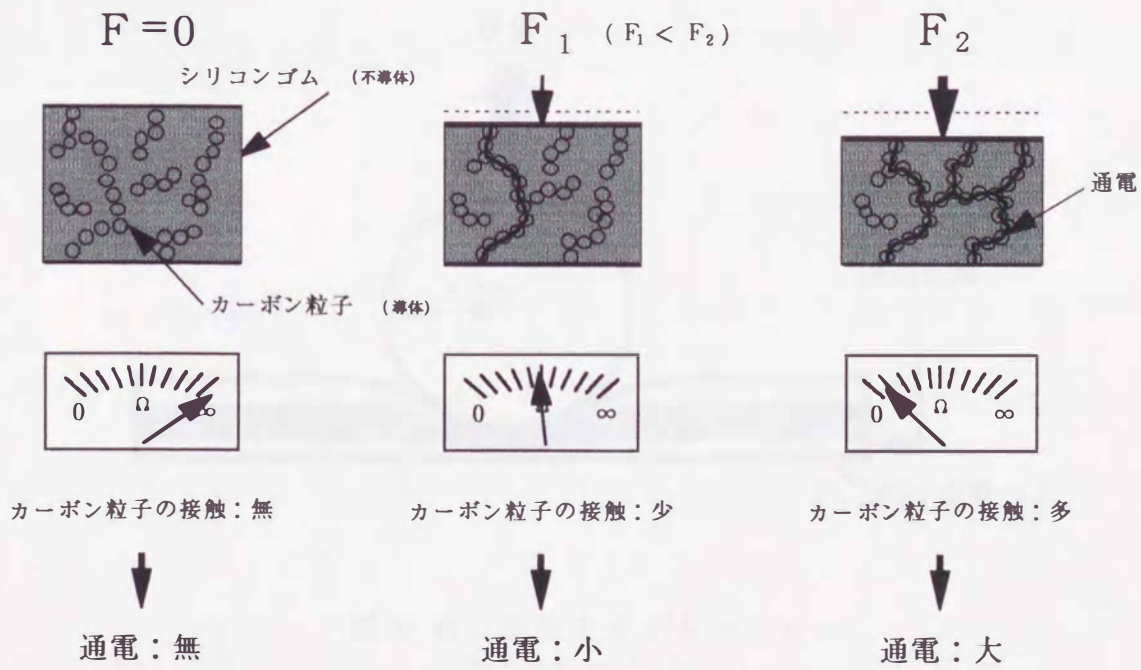


図 5 感圧導電ゴムの測定原理

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 6 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 0.5~3.5Kg 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あたりの出力値を求めた。なお、電極中心間距離が 0.8 mm であるので交差電極 1 ポイント当たりの面積は 0.64 mm²とした。同様のテストを 30 回繰り返して、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 7)。

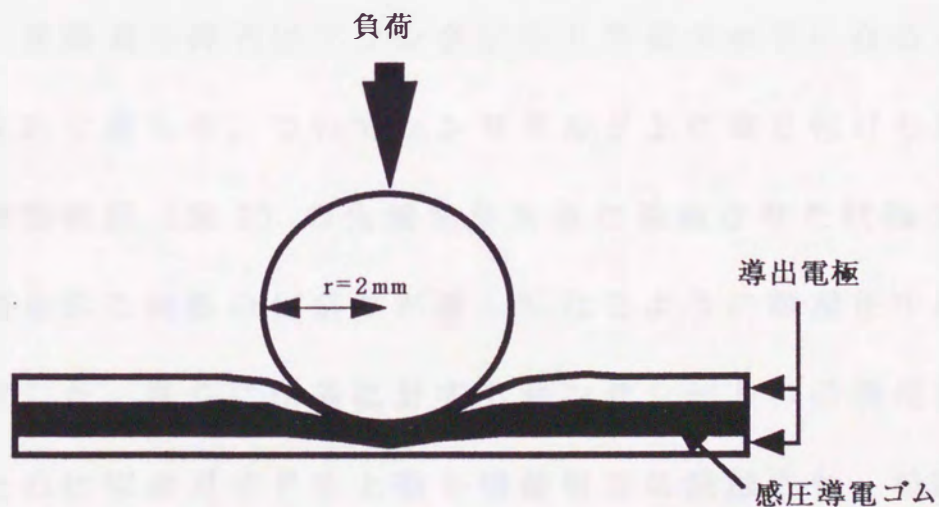


図 6 センサキャリブレーション

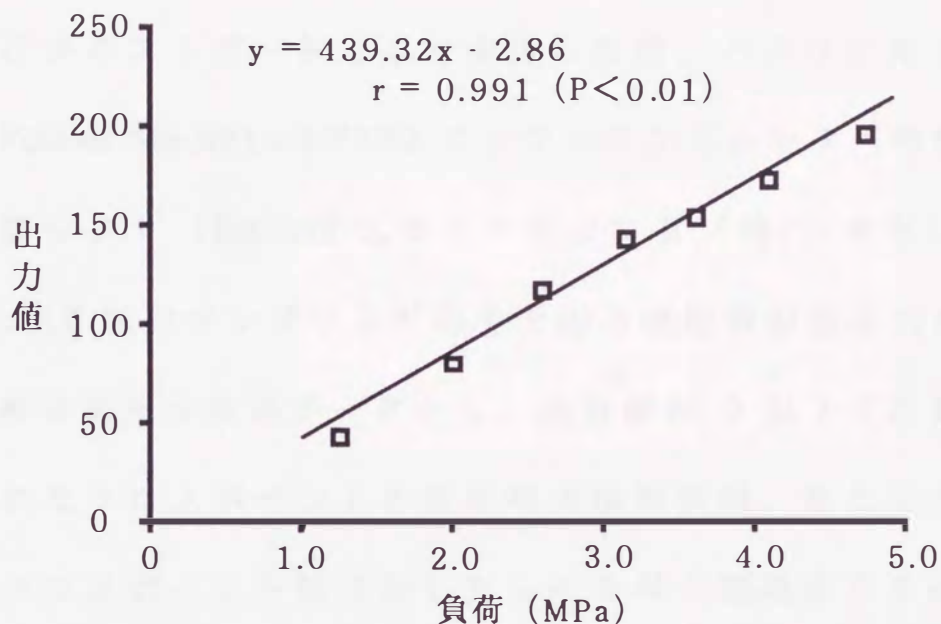


図 7 センサキャリブレーション結果

3. 測定方法

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-K10C, 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 Macintosh7300, アップルコンピュータ (株)、東京) の表計算ソフト (Excel5.0, 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。

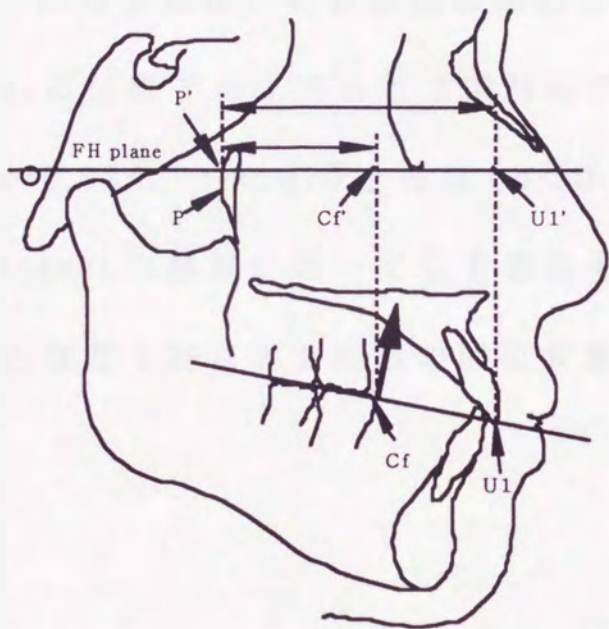
さらに、加圧されたセンサシートの上下電極の交点における座標 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ と、その部の出力値 (f_1, f_2, \dots, f_n) より咬合面圧重心の座標 (X, Y) を求めた。X および Y は以下の式で示される。

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

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

このセンサシート上の座標 Y を用いて、被験者上顎中切歯唇面から重心までの前後的距離を求め、その距離に頭部 X 線規格写真の拡大率 1.1 を乗じた距離 L を、咬合平面上へ移し換え、これを側方頭部 X 線規格写真上での重心の位置 Cf とした。この重心の位置 Cf、翼口蓋窩後縁 P、上顎中切歯点 U1 のフランクフルト平面上への垂直

投影点を Cf'、P'、U1'とした。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'-U1'に対する比 (%) を求め、これを顎顔面骨格における咬合面圧重心の前後的位置とした (図 8)。



- P : 翼口蓋窩後縁
- Cf : 咬合平面上における重心の位置
- U1 : 咬合平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

FH平面上における
咬合面圧重心の位置

$$= \frac{P' - Cf'}{P' - U1'}$$

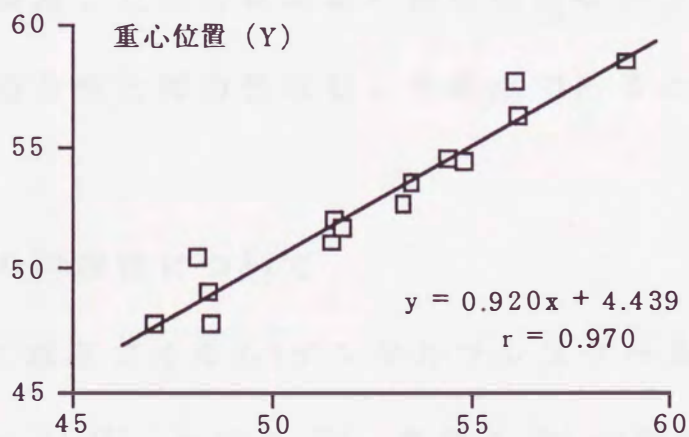
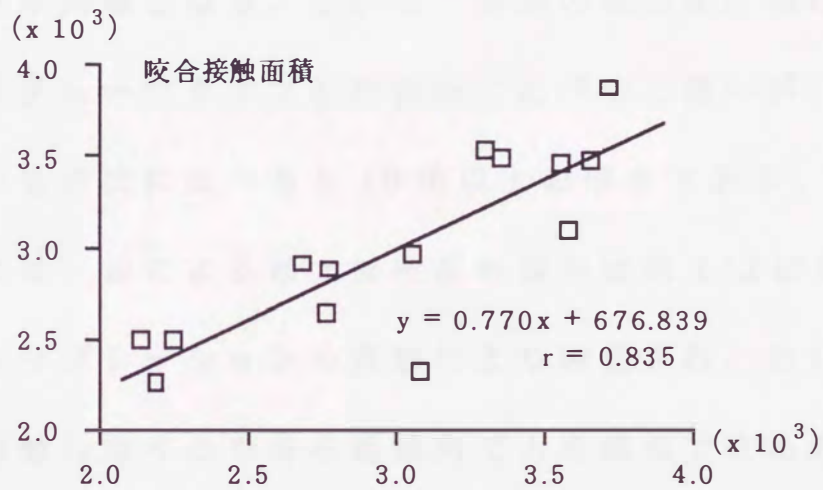
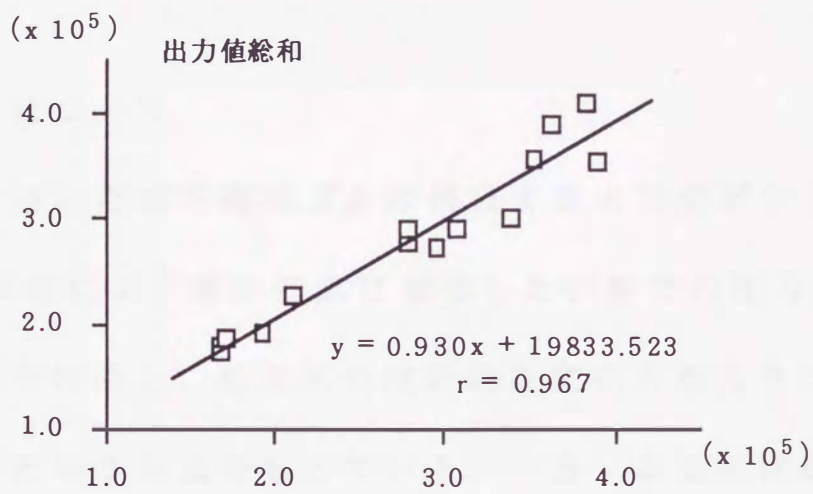
図 8 咬合面圧重心の計測法

4. 測定値の再現性

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 14 人（男性 8 人、女性 6 人）を対象に、出力値総和、
咬合接触面積および咬合面圧重心の位置について測定日を変えて 2 回データ
を採得し、1 回目と 2 回目のデータについて直線回帰分析および Paired t-
test を用いて再現性を検討した。結果を図 9 に示す。

出力値総和、咬合接触面積およびセンサシート上の咬合面圧重
心の位置 Y の 1 回目と 2 回目のデータは、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。





横軸：1回目計測値 縦軸：2回目計測値

図 9 再現性の検定

5. 考察

センサ特性について

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¹⁹⁾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²⁰⁾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ですが、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、むしろ上下歯が緊密に接触しなくともある範囲内で力を感知できるので、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本センサの形態適合性と弾力性はむしろ利点であると考えられる。

測定法とその再現性について

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²¹⁾、Hassan ら²²⁾、丸山ら²³⁾、高橋ら²⁴⁾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变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 10 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。

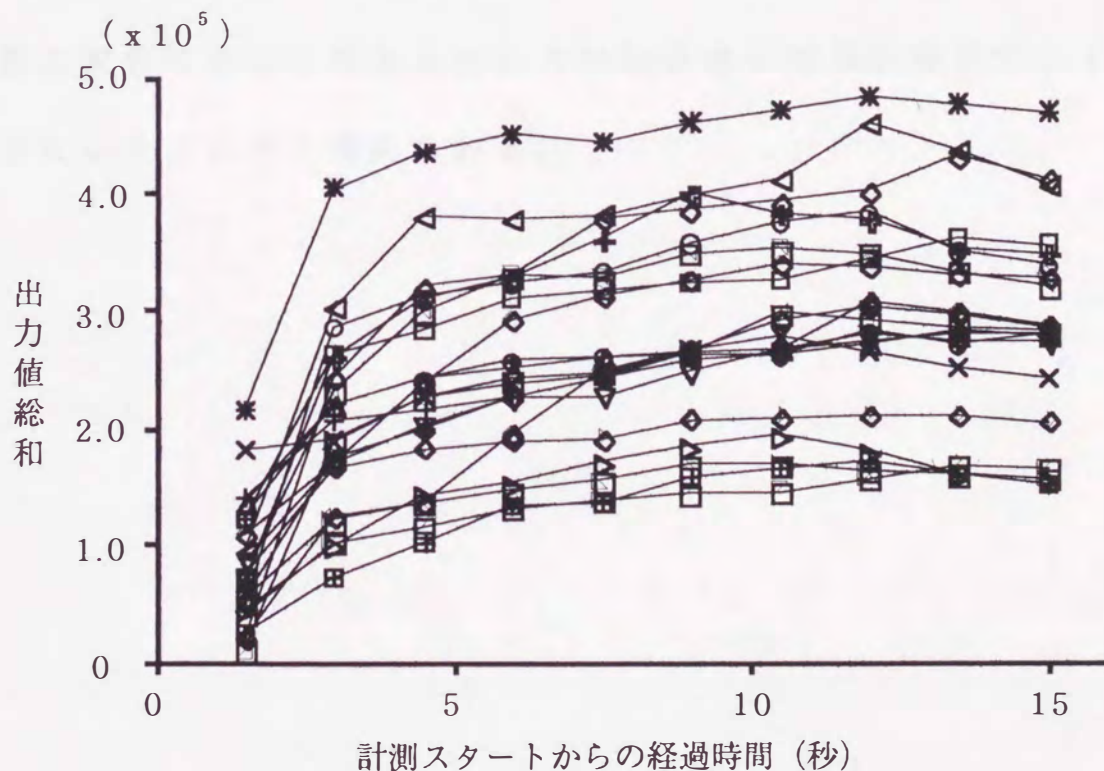


図 10 全被験者の測定時における
 咬合面圧出力値総和の経時的变化

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に有用なシステムだと考えられる。

6. 小括

感圧導電ゴムを感圧素子とする圧分布測定装置を用いて歯列の圧分布を測定できる装置を作製し、さらに得られた圧分布と顎顔面形態との関係が再現できる歯列咬合面圧計測システムを開発した。このシステムの特性和計測時における再現性を検定した結果、以下のことが分かった。

- 1) 感圧導電ゴムを感圧素子に用いたセンサはキャリブレーションの結果、咬合力を想定した約 1.0~5.0Mpa で良好な直線関係を示した。
- 2) 出力値総和、咬合接触面積および咬合面圧重心の位置について測定日を変えて2回データを採得してその再現性を検討した結果、いずれの項目においても良好な再現性を確認できた。
- 3) 咬合圧の経時的変化を捉えることが可能である本システムの特性を利用し、筋電図などと同期したデータのサンプリングが可能となった。
- 4) 歯列に加わる力と咀嚼筋筋活動や顎顔面頭蓋形態との関係を知るうえで、本圧力分布計測システムは有効であることがわかった。

第Ⅱ章 分析Ⅰ 歯列咬合面圧分布と咀嚼筋筋活動の関係

I-1. 資料および方法

1) 資料

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、筋電図の採得、頭部 X 線規格写真撮影を行い解析資料とした。

被験者の条件は矯正治療の既往が無く、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して配慮しなかった。

歯列咬合面圧分布の測定は第Ⅰ章で述べた方法にしたがって被験者に測定用センサをセットし 15 秒間の最大かみしめを行わせ、1.5 秒間隔の歯列咬合面圧分布の 10 回のデータサンプリングを行った。

2) 筋電図の採得と分析法

歯列咬合面圧分布と表面筋電図を同時記録した。

筋電図は表面電極にてデータの採得が容易な左右 2 つの閉口筋、すなわち左右側の咬筋中央部、側頭筋前部を被験筋とし、表面筋電図を電極間距離 12

mmで双極に誘導した。得られた波形を増幅した後（日本電気三栄社製 Polygraph 360）、PCM データレコーダー（TEAC 社製 RD-200T）に格納した。

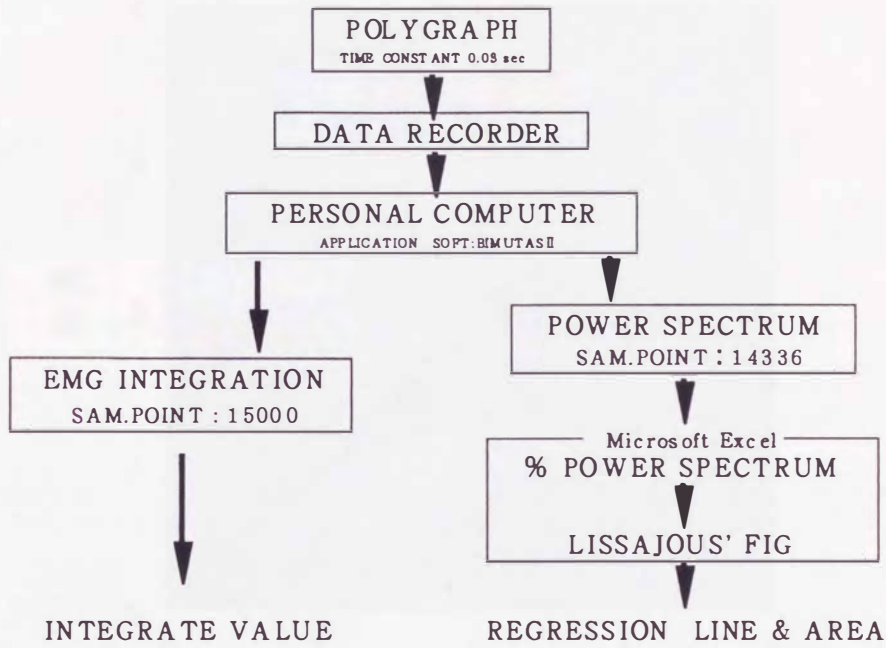
周波数分析をはじめとする筋電図データの解析には 1.5 秒以上の筋電図波形を必要とする²⁵⁾。したがって 1.5 秒間隔の歯列咬合面圧分布の 10 回のサンプリングで得られた 10 フレームのなかで、最大出力値を示すフレームとその前のフレームの咬合接触面積、咬合圧およびセンサシート上における咬合面圧重心の座標のそれぞれの平均を求め、被験者個人の咬合面圧分布データとした。また、センサシート上の座標の Y のみを用い、第 I 章で説明した方法で咬合面圧重心の頭蓋に対する前後的位置を求めた。

筋電図データに関しては上記 2 フレームに相当する 3 秒間の筋電図データについて波形処理ソフト（BIMUTAS II）を用いて以下の処理を行った。まず、被験筋 4 筋についてそれぞれを全波整流した後、その積分値を求めた。さらに得られた左右合計 4 筋の積分値より左右側側頭筋の平均積分値に対する同咬筋の平均積分値の対数比を求め、咬筋と側頭筋の筋活動量平衡性の指標とした。次に、各被験筋についてその波形を高速フーリエ変換（FFT）しパワースペクトラムを求め、得られたパワースペクトラムの総パワー値に対する各周波数帯の占める割合を表したパーセントパワースペクトラムを算出した後、両筋のパーセントパワースペクトラムを直行座標上で合成しリサージュ図形を作成した（図 11）。座標の X 軸は側頭筋、Y 軸は咬

筋のパワースペクトラムを表し、この図形の傾きおよび大きさを両閉口筋の筋収縮特性平衡性の指標とした。すなわちこの図形の傾きが大きい場合、側頭筋のパワースペクトラムが相対的に高周波に分布し、小さい場合は咬筋のそれが高周波に分布することを示す。また図形の大きさは両筋のパワースペクトラムの拡がりおよび周波数帯域の差を表しており、咬筋と側頭筋のパワースペクトラムが完全に一致していれば、それを合成して得られたリサージュ図形は、傾きが 45° の直線となる。本研究被験者の中から、図 12-a に傾きが 0.916、大きさが 181 で両筋のパワースペクトラムが比較的一致した 1 例、図 12-b に傾きが 0.697、面積が 1282 で咬筋が相対的に高周波に分布した 1 例のリサージュ図形を示した。

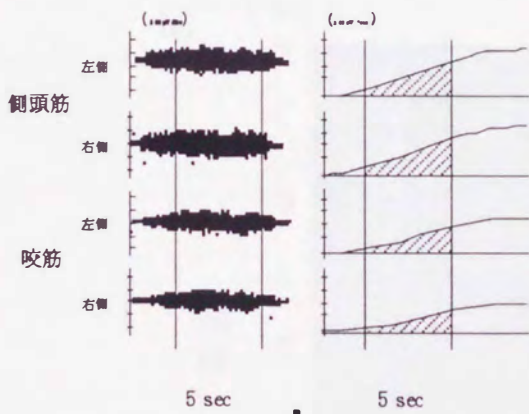
得られた測定値の性差は Student t-test を用いて検定し、各被験者の咬合圧、咬合面圧重心および咬合接触面積と筋機能に関する 3 つの変数、すなわち積分値対数比、リサージュ図形の傾きおよびその大きさとの関係については直線回帰分析を行った。

有意性の判定はいずれにおいても $P < 0.05$ とした。



積分値による分析

リサーチによる分析



$$\text{Log}_{10} \left(\frac{\text{左右側咬筋平均積分値}}{\text{左右側側頭筋平均積分値}} \right)$$

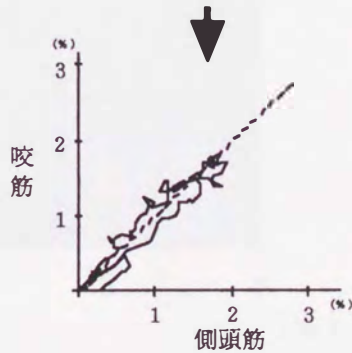
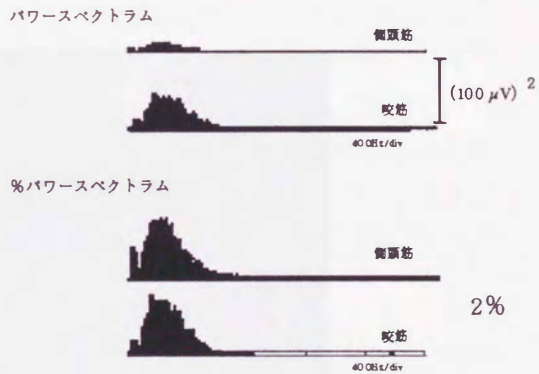


図11 筋電図の積分値およびリサーチ図形による分析手順

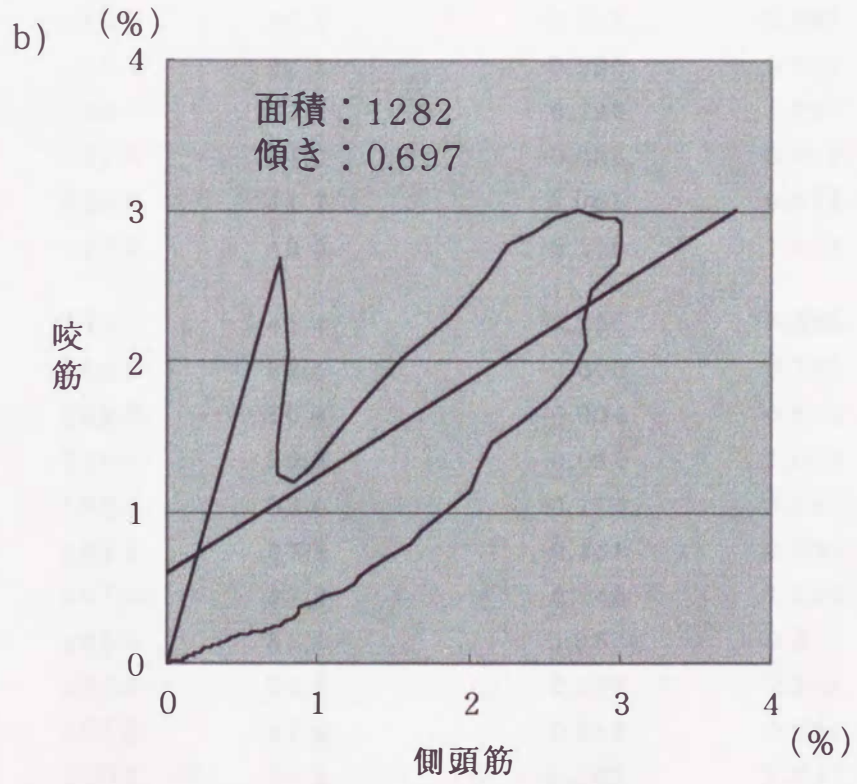
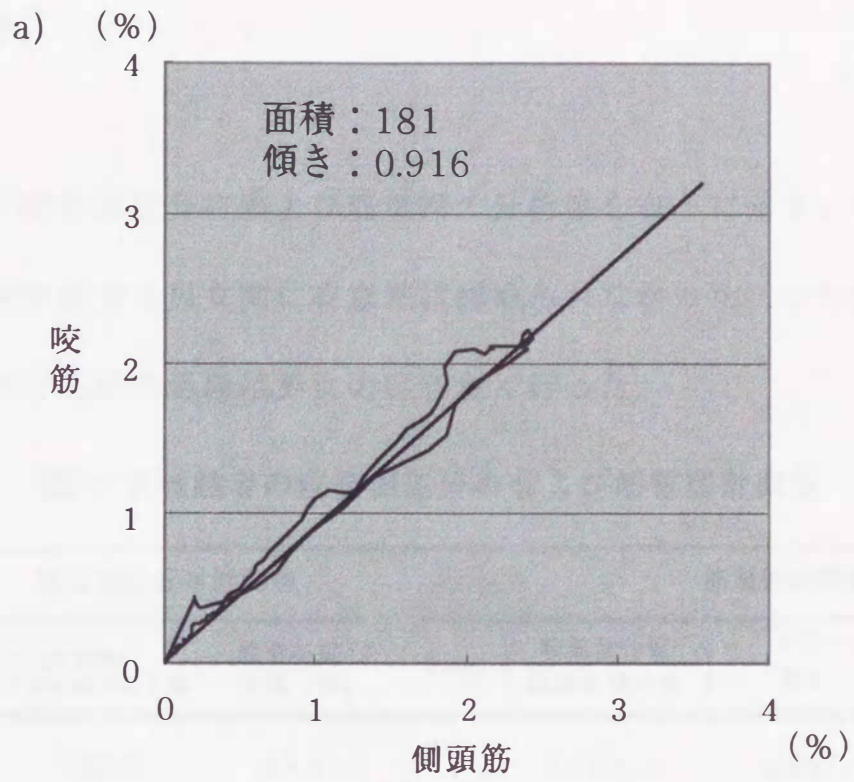


図 12 リサーチ図形

I-2. 結 果

性 差

各被験者の咬合面圧分布および筋電図の分析値を表1に示す。検定の結果いずれの分析値でも男女間に有意差は認められなかった。したがって以後の分析Iにおける統計処理は男女の区別なく行った。

表 1 各被験者の咬合面圧分布および筋電図計測値

被験者	咬合面圧分布計測値		筋電図計測値		
	出力値総和/ クロスポイント数	咬合圧重心 位置 (%)	$\text{Log} \left(\frac{\text{咬筋積分値}}{\text{側頭筋積分値}} \right)$	リサージュ図形 傾き	大きさ
f-1	159.7	49.0	0.099	0.697	1282
f-2	128.2	41.8	-0.299	0.471	762
f-3	112.5	40.5	-0.117	0.987	627
f-4	96.7	32.1	-0.293	0.661	494
f-5	112.1	37.8	-0.293	1.023	410
f-6	127.4	44.0	-0.065	0.916	181
f-7	132.1	41.7	0.061	0.973	462
f-8	140.3	40.3	-0.110	1.118	440
m-1	141.1	41.4	-0.295	0.988	215
m-2	160.5	38.5	-0.009	0.747	375
m-3	138.7	50.4	-0.004	0.913	268
m-4	129.1	29.8	-0.093	1.023	410
m-5	153.5	33.6	-0.114	0.943	332
m-6	133.2	37.9	-0.368	0.782	402
m-7	107.3	37.3	-0.145	1.152	493
m-8	185.3	51.4	0.057	0.873	493
m-9	137.7	33.3	-0.076	0.979	493
m-10	167.2	47.6	-0.048	0.624	442
m-11	150.7	44.4	0.067	1.047	666
m-12	116.2	30.1	-0.327	0.694	489
m-13	145.9	48.1	0.076	0.363	1060

f:女性 m:男性

咬合圧と筋活動の関係

両者の相関分析結果を表 2 に示した。咬合圧と積分値対数比で正の有意な相関 ($P < 0.01$) があり、側頭筋に対し咬筋の積分値が大きい個体では咬合圧も大きくなることが分かった(図 13-a)。しかし、リサージュ図形の傾きおよび面積の大きさに関してはいずれも咬合圧との間に有意な相関は認められなかった(図 13-b,c)。

表 2 筋電図計測値と咬合面圧計測値との相関係数

	積分値	リサージュ図形	
	Log_{10} (咬筋/側頭筋)	傾き	面積
咬合圧	0.555★★	-0.164	0.095
咬合面圧重心位置	0.563★★	-0.229	0.286

★★: ($P < 0.01$)

歯列咬合面圧重心位置と筋活動の関係

歯列咬合面圧重心位置と積分値対数比に関して正の有意相関 ($P < 0.01$) が認められ、側頭筋に対し咬筋の活動が活発な個体では歯列に加わる咬合面圧重心が前方に位置した(図 14-a)。

リサージュ図形の傾きおよびその面積の大きさに関しては咬合圧同様に一定の傾向は認められなかった(図 14-b,c)。

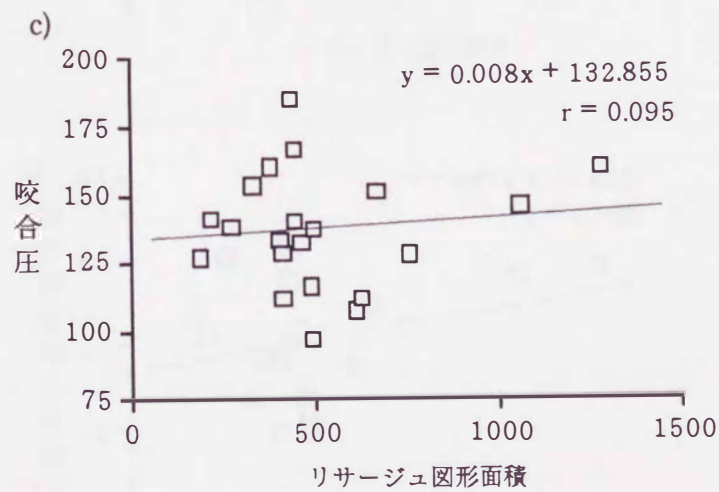
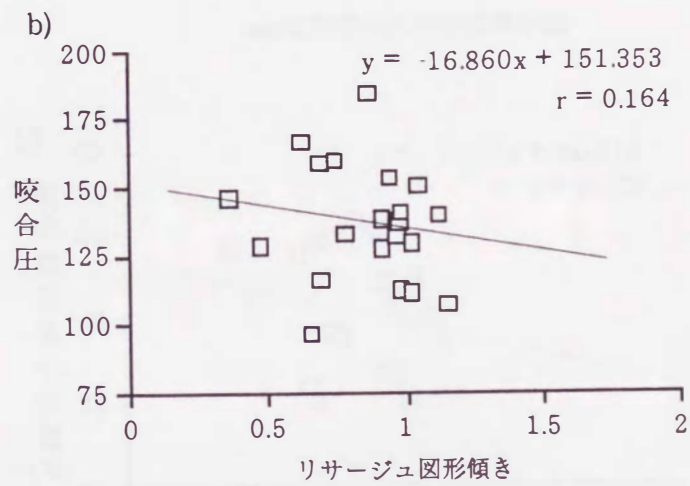
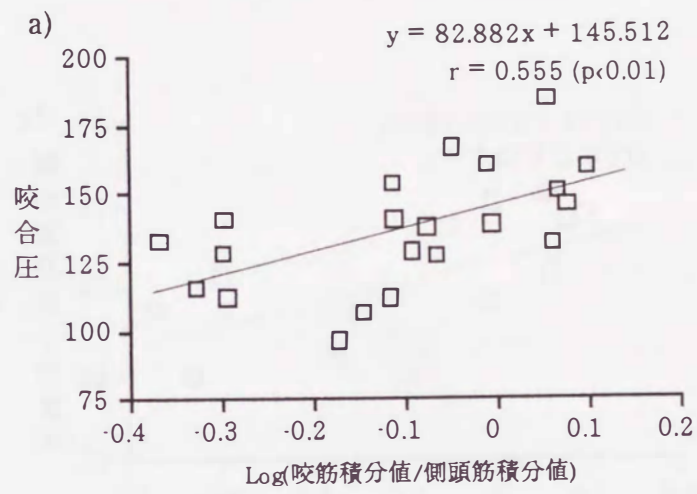


図13 咀嚼筋筋電図データと咬合圧の関係

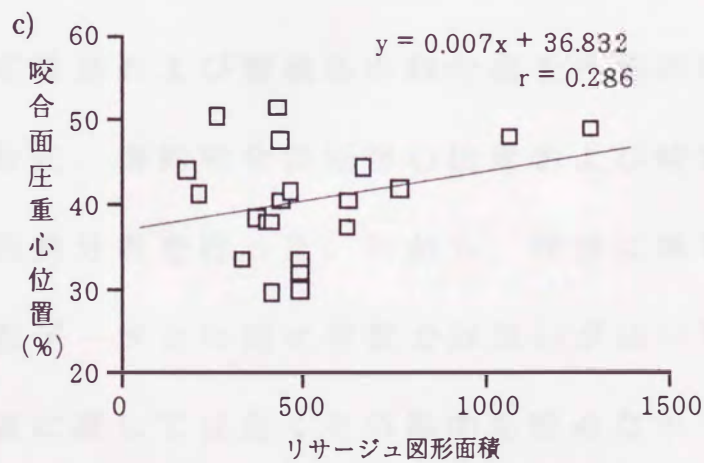
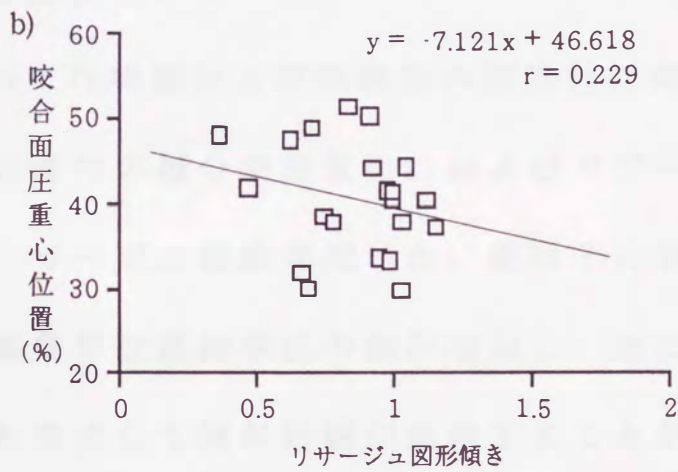
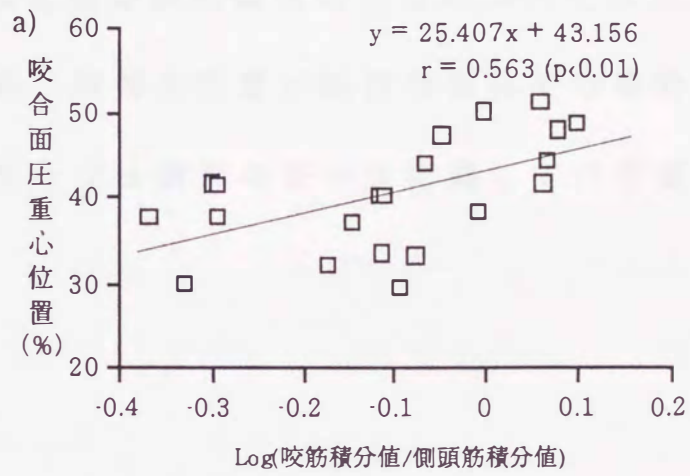


図14 咀嚼筋筋電図データと咬合面圧重心位置の関係

咬合接触面積と筋活動の関係

咬合接触面積と積分値対数比の関係については正の有意相関 ($P < 0.05$) を認め、咬筋の活動が活発な個体では咬合接触面積も大きかった。リサーチ図形のデータに関しては有意な相関を認めなかった。

I-3. 考 察

資料および方法について

本研究においては咬筋および側頭筋の筋活動に関する指標として両筋の筋電図波形の積分値対数比、およびパワースペクトラムより作成したリサーチ図形を用いた。筋はその張力が増すに従い、活動する運動単位運動単位の数が増加し、また個々の運動単位の発射頻度も増大して発射間隔が短縮することが知られている。また、その筋電図積分値は、筋の収縮力とほぼ比例の関係にある²⁶⁾。そこでまず咬筋および側頭筋の積分値を各筋の収縮力の指標として用い咬合圧、歯列咬合面圧重心位置および咬合接触面積のデータと直線回帰分析を行った。しかし、咬筋に関しては積分値と咬合面圧分布データとの間に有意ではないが弱い相関傾向を認めたが、側頭筋に関しては全くその傾向を認めなかった(図 15,16)。いずれの分析においても有意相関が認められなかった原因に、積

分値が表面電極下の脂肪によって抵抗値の影響を受けて個体間で差が生じることが考えられる²⁷⁾。さらに噛みしめという行動における各筋の担う機能的役割、つまり各筋の発揮する収縮力の大きさの程度が個体の大きさにより影響を受ける可能性が考えられた。そこで性差および個体差の影響を排除するため側頭筋と咬筋それぞれの左右平均積分値を求め、対数比を算出し、両筋の筋活動量平衡性の指標として用いることとした。

両筋のパワースペクトラムより作成されるリサージュ図形の傾きと大きさを筋活動状態、すなわち筋収縮特性の平衡性の指標として用いた。名方ら⁸⁾はこの2つの筋のパワースペクトラムより作成される図形の傾きは2つの筋の主周波数帯のずれにより変化し、図形の大きさは主周波数帯のずれによる影響を受けるものの、主としてパワースペクトラムの拡がりの差によって変化すると報告している。また仮に2つの筋のパワースペクトラムが一致していれば、これらを合成して得られるリサージュ図形は小さくなり、傾きは45度になると述べている。そこで本研究では側頭筋と咬筋のパワースペクトラムより作成されるリサージュ図形の傾きを両筋の主周波数帯のずれ、面積の大きさを周波数分布の拡がりの差を知る指標とした。

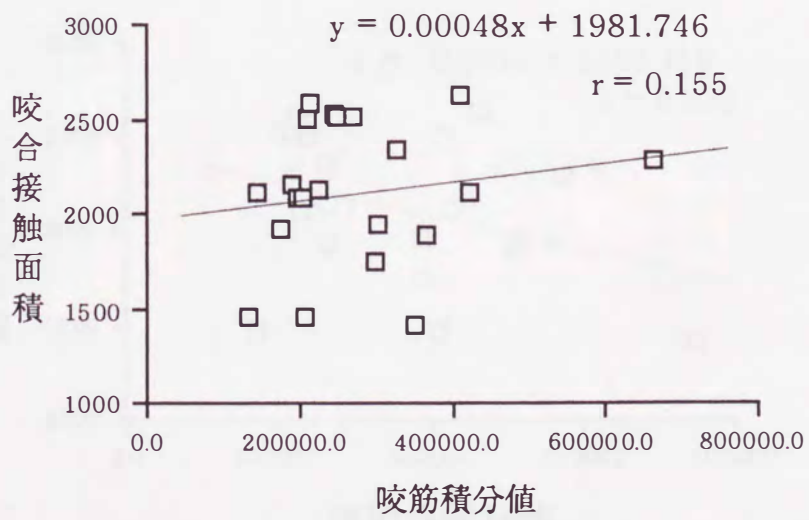
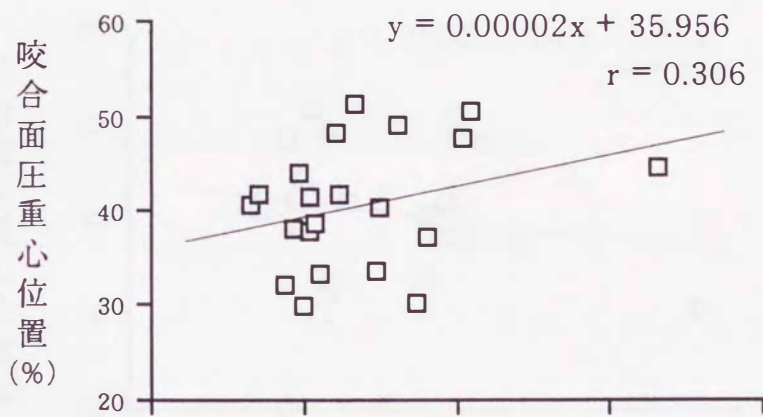
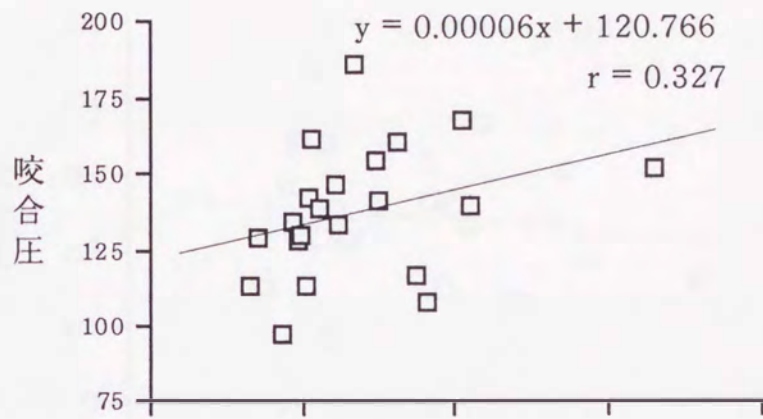


図15 咬筋積分値と咬合面圧分布データの関係

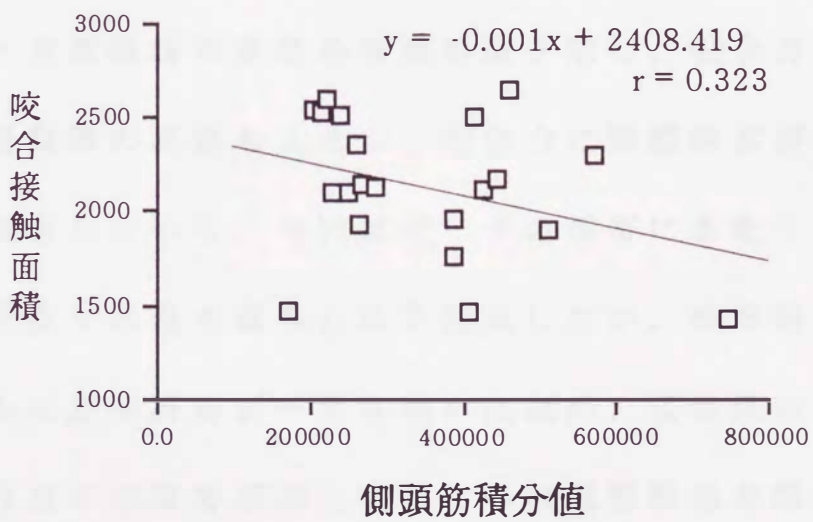
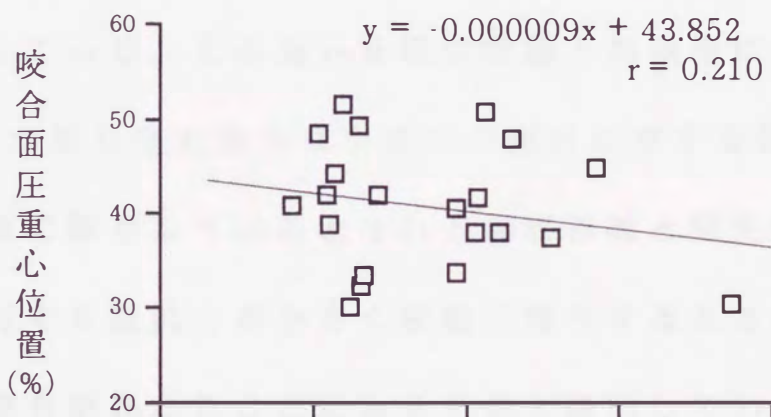
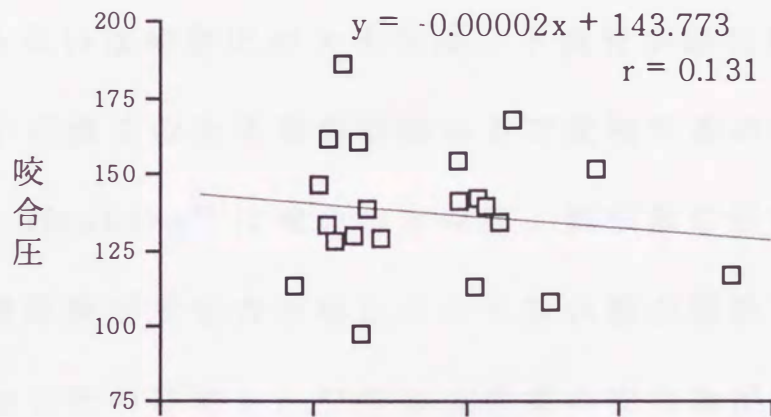


図16 側頭筋積分値と咬合面圧分布データの関係

咬合圧と筋電図データの関係について

咬合力あるいは咬合圧の大きさは、下顎骨が閉口筋により挙上され、いかに多くの上下の歯が強い力で接触するかで決まると考えられる。Hagberg²⁸⁾は咬合力と咬筋、側頭筋の活動電位の関係を調べ、側頭筋が咬合力の増加にともない筋の活動電位が一定の割合で増加したのに対し、咬筋は被験者の咬合力が最大咬合力の60%を越えたあたりより、筋の活動電位の急激な増加が認められたと報告している。この違いを彼は咬筋と側頭筋における構成線維の比率、つまり発生張力は小さいが疲労に対する抵抗が大きく、形態の保持に関与しているとされる遅筋線維と発生張力は大きい疲労に対する抵抗が小さく運動に関与するとされる速筋線維の占める割合が異なることによるものと説明している。また、Ringqvist²⁹⁾は咬合力と咬筋の筋線維の関係について調べ、咬合力の大きさと速筋線維の直径の有意相関を示し、咬合力の大きな個体では速筋線維の直径も大きく、咬合力に速筋線維が深く関わっていると報告している。今回はデータの採得にあたって被験者には中心咬合位での最大噛みしめを指示したが、波形処理には筋疲労が生じる以前の波形データを用いたため、咬合圧の大きな個体においては筋の収縮力が増大するにつれ速筋線維の機能も亢進し、側頭筋よりも速筋線維を含む割合が高い咬筋においてパワースペ

クトラムの主周波数帯がより高周波へ移行するのではないかと思われた。しかし、両筋の主周波数帯のずれを示すリサージュ図形のデータと咬合圧の間に一定の傾向を結果として見いだすことはできなかった。

筋活動量平衡性の指標として用いた咬筋と側頭筋の積分値比に関しては、咬合力と有意相関を認めた。咬筋、側頭筋、翼突筋の体積や断面積と顔面形態の関係を調べた報告^{30~34)}によると側頭筋については有意な関係を認めないが咬筋や翼突筋では咬合圧が大きいといわれる短顔型の顔面形態の個体においてその断面積が大きいと述べられている。さらに、Ahlgren³⁵⁾は側頭筋について、下顎の挙上も行うが主として下顎の位置と形態の安定に関わっていると報告している。一般的に、側頭筋に比べ咬筋において大きな収縮力を示す速筋線維の割合が高いことも考えあわせると、咬合圧の大きな個体では最大噛みしめにおいて下顎の挙上は主に咬筋の収縮により行われ、側頭筋に比べ咬筋の活動が活発となり相対的に積分値が大きくなったと思われる。

歯列咬合面圧重心位置と筋電図の関係について

側頭筋に対する咬筋の積分値が大きい個体では歯列に加わる咬合面圧の重心が前方に位置することが示された。重心の位置が咬

筋と側頭筋の収縮力の大きさに関わることは当然であるが、その力の支点と力点の距離、すなわち下顎頭から側頭筋の付着部位である下顎骨筋突起や咬筋の付着部位である顎角部までの距離とも大きく関係すると Throckmorton ら⁶⁾は述べている。また Proctor ら³⁶⁾は顎顔面に対する咬筋の付着部位の前後的位置が顎顔面形態、とくに下顎下縁平面の傾斜と深く関わっていると報告しており、重心の位置に関しては筋電図データのみでなく顎顔面形態との関連も含めた考察が必要と思われる。

咬合接触面積と筋活動の関係について

咬合接触面積とリサーチ図形の傾き、および面積との間に有意相関を認めなかった。Ringqvist³⁷⁾は咬筋における速筋線維と遅筋線維の分布割合と咬合状態の関係を調べ有意な相関を認めず、咀嚼筋の機能は咬合とは一定の関係がないと考察している。

今回のリサーチ図形も咬筋と側頭筋における速筋線維と遅筋線維の分布割合の影響を受けられるパワースペクトラムを合成したものである。Ringqvist³⁷⁾と分析手法は異なるものの、咬合接触状態と筋線維の分布割合に関連した筋機能の間に一定の関係が認められないとする結果では一致していると思われる。

積分値の対数比に関しては有意な正の相関を認め、Bakke ら⁷⁾

の咬合接触状態が筋の電氣的な活動量に影響を与えるとする報告と一致した。これは咬合接触面積の大きな個体、つまり多くの歯で強く咬むことのできる機能的に良好な個体においては、歯根膜受容体からのフィードバックなどを介して咀嚼筋の機能が亢進したものと考えられる。

I-4. 小 括

咀嚼筋の活動は咬合面圧分布を決定する因子として重要な役目を担うと考えられる。そこで被験者より同時記録で得られた咬合面圧分布と筋活動との関係を調べた。被験筋として咬筋、側頭筋前部を用い筋の表面筋電図積分値、および周波数特性を比較するためリサージュ図形について歯列咬合面圧測定値との相関分析を行った。

その結果を以下に示す。

- 1) 咬合圧と積分値対数比の間に正の有意相関を認め、側頭筋に対する咬筋の積分値が大きな個体において咬合圧も大きな値を示した。
- 2) 歯列咬合面圧重心位置と積分値対数比との間に正の有意相関を認め、咬筋の積分値が相対的に大きな個体において咬合面圧重心の位置は咬合平面上において前方に位置した。
- 3) 咬合接触面積は側頭筋に対する咬筋の積分値対数比と正の有意相関を認め、咬筋の積分値が相対的に大きな個体において咬合接触面積も大きな値を示した。
- 4) 側頭筋と咬筋のパワースペクトラムより構成したリサージュ図形の傾きと大きさは、歯列咬合面圧分布のいずれのデータとも有意な相関を認めなかった。

分析Ⅱ 歯列咬合面圧分布と顎顔面形態の関係

Ⅱ-1. 資料および方法

1) 資料

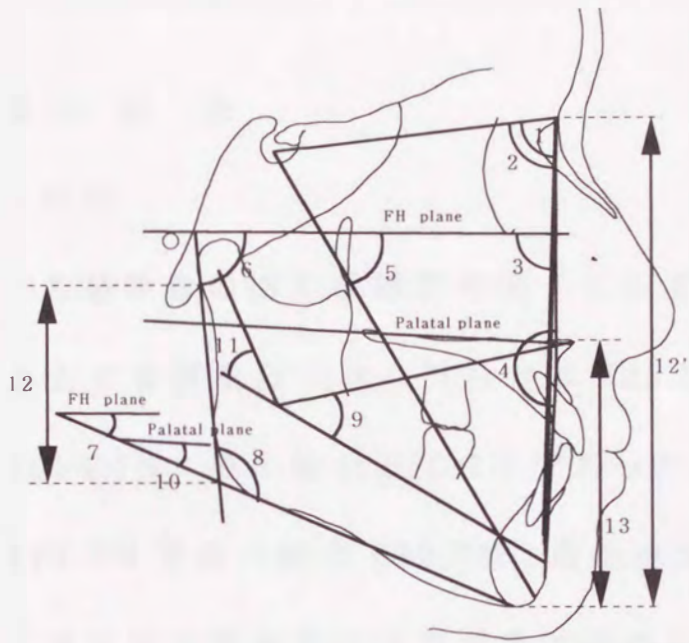
分析Ⅰと同様の成人21人を被験者として採得した歯列咬合面圧分布測定値と側方頭部X線規格写真を分析資料に用いた。歯列咬合面圧分布に関しては、1.5秒間隔の10回のサンプリングで得られた10フレームのなかで、最大出力値を示すフレームにおける咬合接触面積、咬合圧および咬合面圧重心の座標を被験者個人の咬合面圧分布データとした。さらに咬合面圧重心位置は、センサシート上の座標から顎顔面骨格における位置に変換した。

2) 顎顔面形態の計測および分析方法

顎顔面形態の計測は、側方頭部X線規格写真上に設定した20個の計測点をデジタイザ(KD3320,GRAPHTEC社,東京)で入力し、パーソナルコンピュータ(PC-9801ES,日本電気(株),東京)で骨格系13項目、歯牙歯槽系7項目総計20項目の角度および距離比を求めた(図17,18)。そして側方頭部X線規格写真の計測値と咬合圧および歯列咬合面圧重心の前後的位置、および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

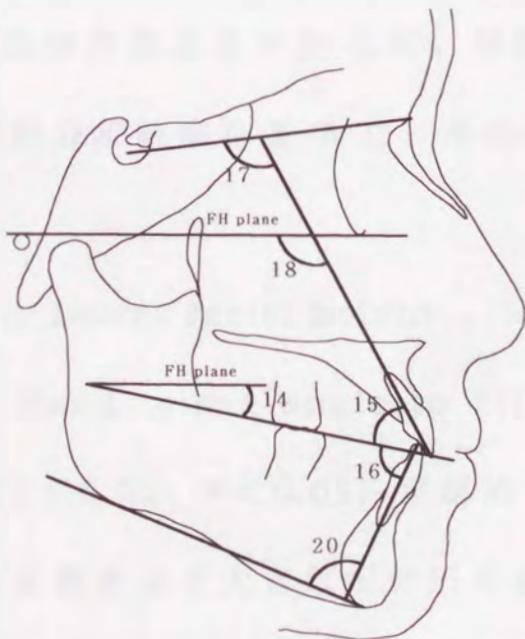
を前後に二等分して咬合接触面積および咬合圧における前方歯群の全歯列に対する測定値比率を求め、これらと重心位置との関係を調べた。

測定値の性差は Student t-test を用いて検定した。顎顔面形態と歯列咬合面圧分布測定の関係、咬合圧と咬合接触面積の関係、咬合圧と重心位置の関係は直線回帰分析を用いた。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については偏相関分析を用いた。有意性の判定はいずれにおいても $P < 0.05$ とした。



- 1.SNA (degree)
- 2.SNB (degree)
- 3.Facial angle (degree)
- 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)
- 11.Mand. Arc (degree)
- 12.Ar-Go/N-M (12/12') (%)
- 13.Ans-M/N-M (13/12') (%)

图 17 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)

图 18 齒槽系計測項目

II-2. 結 果

性 差

各被験者の出力値総和を図 7 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 $729.2 \pm 199.3\text{N}$ で最大値が 1034.7N 、最小値が 370.1N であった。一方、女性では $576.3 \pm 171.2\text{N}$ で最大値が 839.7N 、最小値が 371.4N であった。(表 3)

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

咬合面圧分布測定値を表 3 に、形態計測値を表 4 に示す。また両者の相関分析結果を表 5 に、その一部をグラフとして図 19 に示した。

咬合圧と Lower facial height、Mand. plane angle to palatal plane、Mand. plane angle to FH、Gonial angle で負の有意な相関 ($P < 0.01$ 、 $P < 0.05$) 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 5)。

また、咬合圧と Ar-Go/N-Me で有意な正の相関 ($P < 0.01$) があり(図 19-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 19-b)、Angle of convexity、SNB との間に正の有意相関 ($P < 0.01$, $P < 0.05$)、Y-axis angle との間に負の有意相関 ($P < 0.01$) 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。

歯牙齒槽系の計測項目では下顎下縁平面と同様に Occlusal plane angle と負の有意相関 ($P < 0.01$) 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 と有意な正の相関 ($P < 0.01$) 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。

表 3 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 4 被験者側方頭部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.U1 to Occlusal plane (degree)	61.7	46.1	53.1	4.5	53.9	5.4	51.8	2.1	ns
16.L1 to Occlusal plane (degree)	78.6	57.8	67.4	6.4	68.3	6.7	65.9	6.2	ns
17.U1 to SN (degree)	120.5	98.0	107.7	6.3	108.5	6.8	106.5	5.5	ns
18.U1 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.L1 to Mandibular plane (degree)	109.0	85.5	98.4	7.6	97.0	7.9	100.7	6.9	ns

表 5 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.Inter incisal angle(16+17)	-0.219	-0.101
20.L1 to Mandibular plane	0.277	0.029

★★ : (P<0.01) ★ : (P<0.05)

歯列咬合面圧重心と顎顔面形態の関係

咬合面圧重心位置と Facial angle との間で正の有意相関 ($P < 0.01$) が認められ (図 19-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 との間に負の有意相関 ($P < 0.05$)、Ar-Go/N-M 正の有意相関 ($P < 0.05$) (図 19-c)、Y-axis angle との間には負の有意相関 ($P < 0.01$) 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の重心が前方に位置した。

歯牙歯槽系計測項目では U1 to FH のみで正の有意相関 ($P < 0.05$) 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。

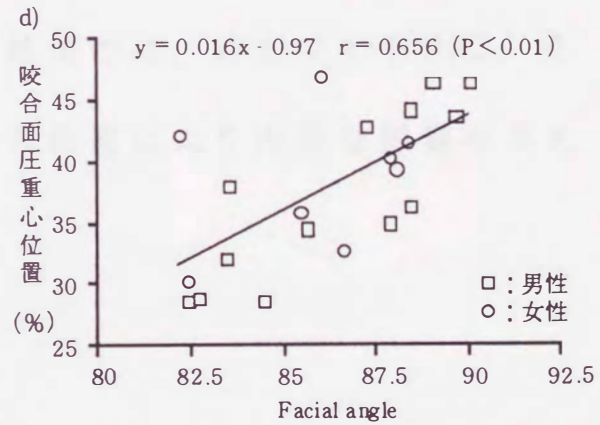
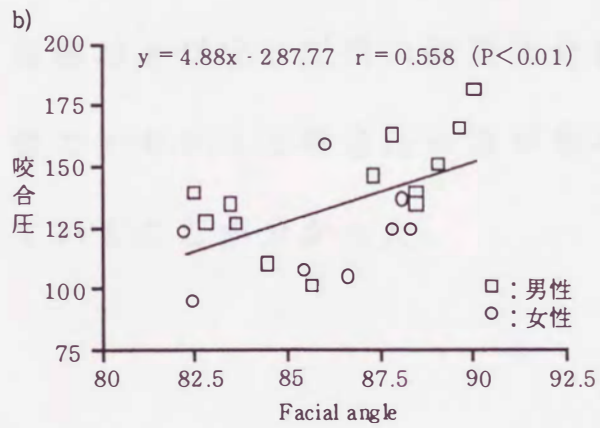
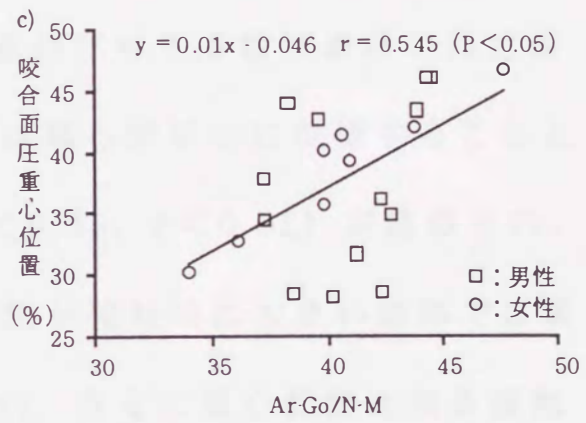
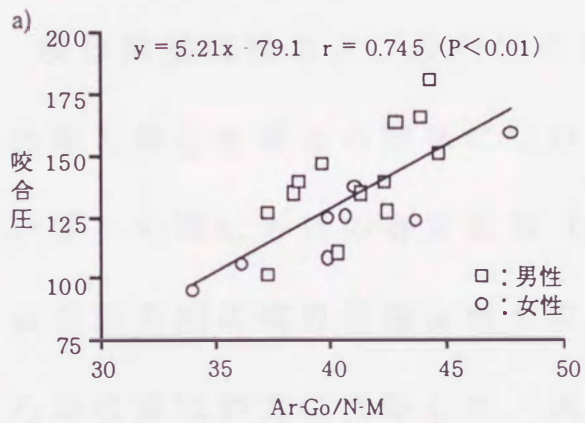


図 19 顔面形態と咬合圧および咬合面圧重心位置の関係

歯列咬合面圧重心と咬合接触面積および咬合圧の関係

全歯列における咬合圧の大小と重心位置の間に正の有意相関 ($P < 0.01$) が認められ、咬合圧の大きな個体ほどその重心が前方に位置した (図 20)。

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 21)。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。

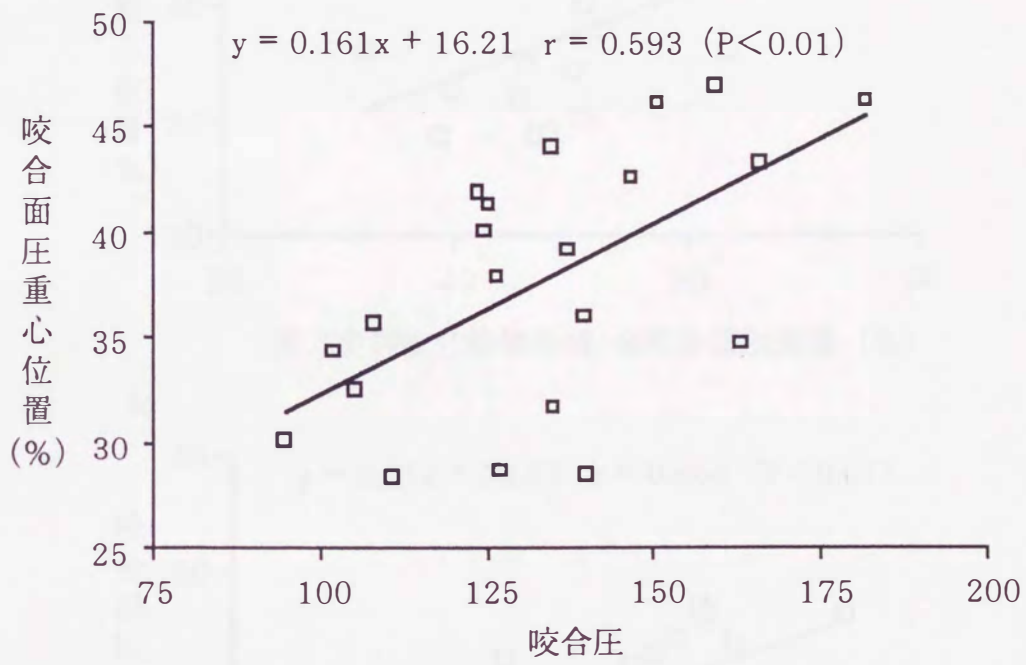


図 20 咬合圧の大きさと咬合面圧重心位置の関係

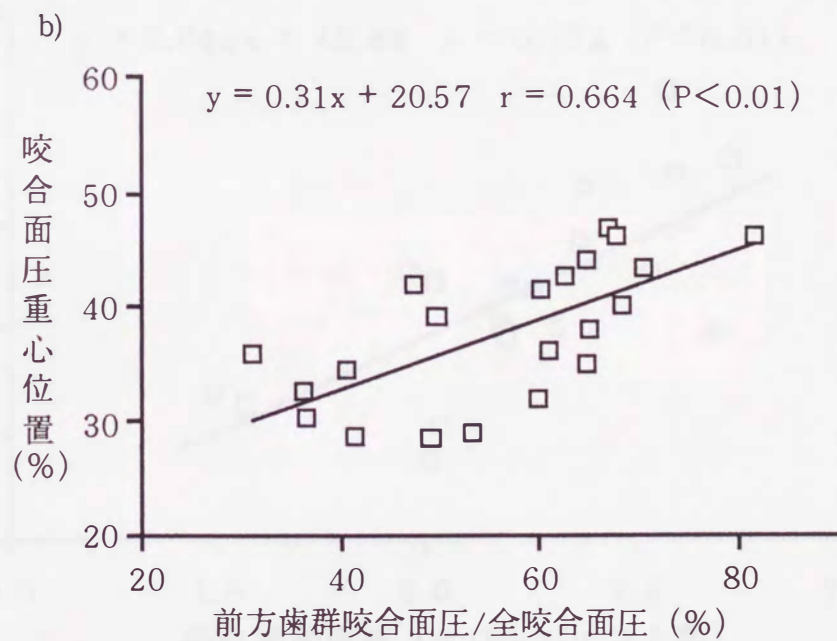
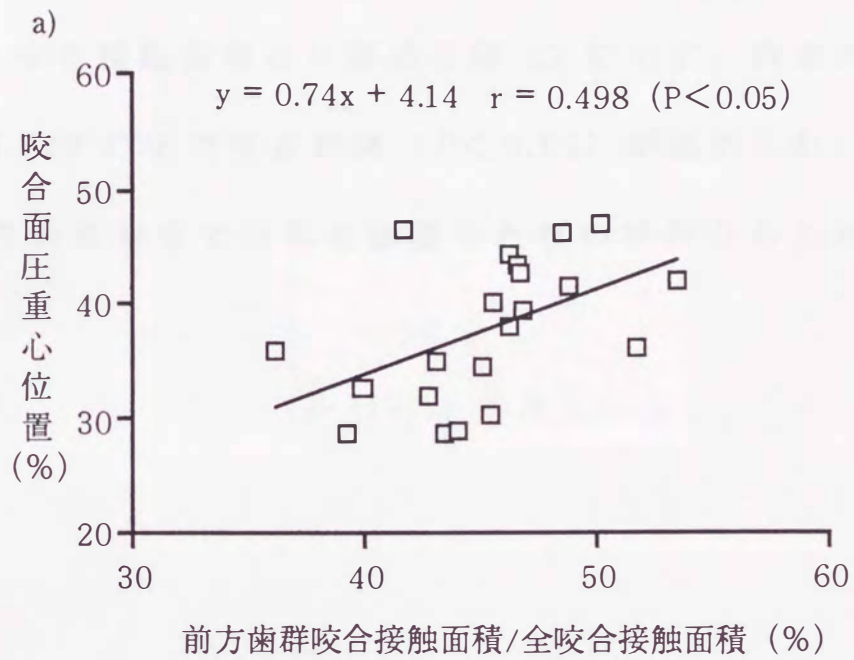


図 21 咬合面圧重心の位置と
前歯部における咬合接触面積および咬合圧比の関係

咬合圧と咬合接触面積の関係

咬合圧と咬合接触面積との関係を図 22 に示す。両者の間に相関係数 $r=0.722$ の正の有意相関 ($P<0.01$) 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。

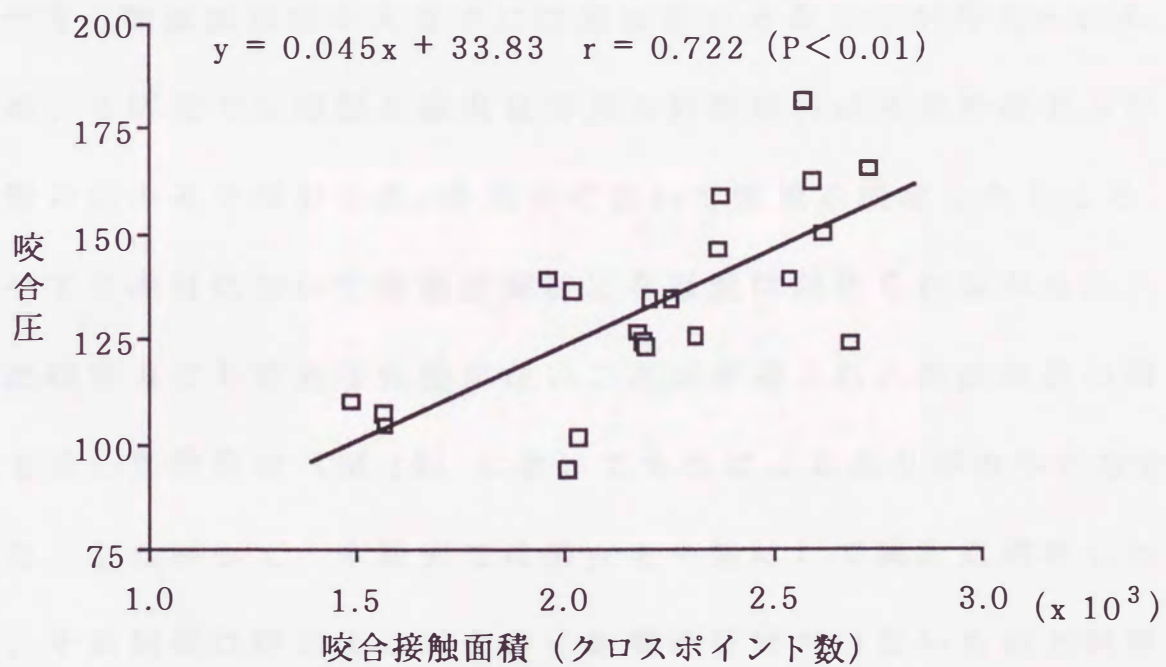


図 22 咬合接触面積と出力値平均の関係

II-3. 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4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 $\pm 1SD$ ～ $2SD$ 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 19）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いないものと判断している。

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ついて今回の結果では、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²²⁾、Braun ら³⁸⁾、Raddsheer ら³⁹⁾、稲葉ら⁴⁰⁾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³⁶⁾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、下顎骨への咬筋の附着部位に関して差は認めないが、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持つのかも知れない。

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³⁶⁾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たと考える Proffit ら⁴¹⁾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ないだけでなく、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⁴²⁾、Gazit ら⁴³⁾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³⁰⁾、VanSpronsenら^{31,32)}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U1toSN、U1toFH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²⁴⁾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后的位置の関係を U1toSN、U1toFH 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。

歯列咬合面圧重心位置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ともわかった。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考えられる。本研究は、小白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²²⁾ 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⁷⁾は筋の収縮力、疲労、痛みなどは上下歯牙、特に小白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 22 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 23 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 例ずつを選び、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。

subject:A



Mand. plane angle : 37.8°
Lower facial height : 55.7°
Mand. Arc : 26.0°

重心の位置 : 30.2%
咬合面圧総和 : 189733
咬合圧 : 94.6

subject:B



Mand. plane angle : 16.5°
Lower facial height : 44.0°
Mand. Arc : 38.3°

重心の位置 : 46.9%
咬合面圧総和 : 377653
咬合圧 : 159.4

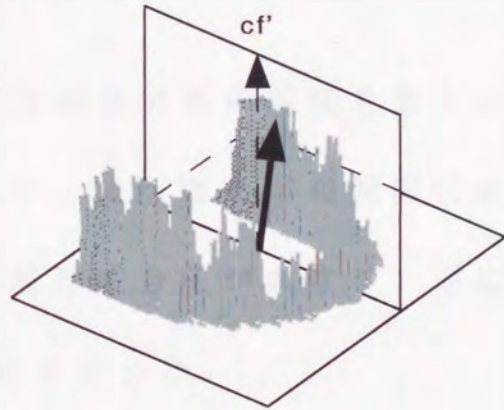
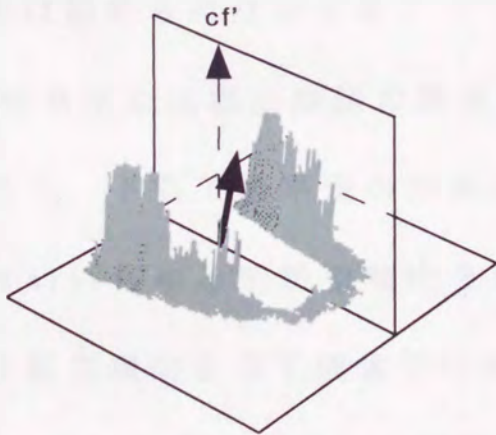


図 23 顎顔面形態と咬合面圧分布の関係 (長顔型傾向vs短顔型傾向)

(根津ら⁴⁴⁾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。)

II-4. 小 括

側方頭部 X線規格写真より得られた顎顔面形態データと咬合面圧分布データより得られた咬合圧、咬合面圧重心位置、咬合接触面積の関係について調べた。

結果を以下に示す。

- 1) 咬合力の大きさは男性では $729.2 \pm 199.3\text{N}$ で最大値が 1034.7N 、最小値が 370.1N であった。一方、女性では $576.3 \pm 171.2\text{N}$ で最大値が 839.7N 、最小値が 371.4N で男女間の咬合力には有意差は認められなかった。
- 2) 咬合圧と顎顔面形態の関係については相関分析の結果をまとめると、下顎下縁平面の傾斜が緩やかで、後顔面高が相対的に大きいいわゆる短顔型傾向を示す個体ほど咬合圧が大きく、逆に長顔型傾向を示す個体では咬合圧は小さかった。
- 3) 歯列咬合面圧重心の位置は Mand. plane angle to FH、Lower facial height、Ramus inclination、Ar-Go/N-M などの顎顔面計測項目と有意相関を示し、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の重心が前方に位置した。
- 4) 歯列咬合面圧重心と咬合接触面積および咬合圧の関係について調べた結果、咬合圧の大きな個体ほどその重心が前方に位置し

た。また、重心が前方に位置する個体において、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が大きく、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。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より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。

- 5) 咬合圧と咬合接触面積の関係について相関分析の結果、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な値を示した。

総 括

筋電図などを用いた多くの研究で、筋活動と顎顔面形態には密接な関係があることはよく知られている。咀嚼筋によって発揮する力は歯列を介して顎顔面構造に加わっており、その力の分布を正しく評価することは両者の関係を解析するには不可避だと思われる。本研究ではまず、感圧導電ゴムを内臓した咬合面圧とその重心位置が計測できるセンサー、さらにフェイスボウと合わせて顎顔面形態との関係を解析するための計測システムを開発した。これは想定される咬合力の範囲内で十分な感度と直線性を示し、良好な再現性をもっており、15秒間の経時的変化を測定できるなど、以後の分析に有用なシステムであることを確認した。

開発した装置を用いた計測値と、筋電図および頭部 X 線規格写真計測値との解析結果から、被験筋とした2つの閉口筋のうち側頭筋よりも咬筋の方が歯列咬合面圧分布や顎顔面形態とより大きく関わっていることが考えられた。すなわち、咬筋が発揮する力（積分値）が大きいほど咬合接触面積が増大するだけでなく単位面積あたりの力（咬合圧）は大きく、歯列に加わる重心は前方に位置して歯列から頭蓋に加わる力の方向はより垂直的となる。さらにこの傾向は大きな後顔面高と緩やかな下顎下縁平面角など

を特徴とするいわゆる短顔型顎顔面形態と関係していることが分かった。咀嚼筋筋電図と顎顔面形態の関係を調べた報告は多いため本研究の分析には含めなかったが、今回得られたデータを用いて側頭筋に対する咬筋の積分値比と側方頭部 X 線規格写真計測値との直接的な関係を調べたところ、Facial angle および Ar-Go/N-M との間に有意相関、有意レベルではないが下顎下縁平面角 や下顔面高との間に負の相関傾向を認め、これは上述の強い咬筋と短顔型顎顔面形態とのつながりを支持するものであった。

筋を構成する速筋線維と遅筋線維の分布割合は、その筋の活動様式に影響を受けるといわれている⁴⁵⁻⁴⁷⁾。この現象を閉口筋筋電図の周波数分析によって推定できると考え、側頭筋と咬筋の周波数パワースペクトラムからリサージュ図形を構成して咬合面圧の各測定値との関係を調べた。しかし有意な所見を見いだすことはできなかった。本研究では機能的にも形態的にも正常な範囲にある被験者を対象としており、閉口筋の特性と顎顔面形態との関係を知るには、外科矯正症例（顎変形症）などの典型的な長顔型を示す形態異常の被験者も含めたより広い範囲の資料を用いることが必要かもしれない。また本研究で調べた最大かみしめ時の筋活動は日常的運動時の筋活動とは異なるものである。顎顔面形態に対し大きな影響を与えるのはむしろ日常的な筋活動だと考えられ、

最大かみしめ時の評価だけでは限界があるものと思われる。

閉口筋によって発揮される力と、歯列咬合面圧分布、顎顔面形態が密接に関連していることが本解析により証明できた。しかしながら Björk ら⁴⁾や Proffit ら^{2,41)}が述べるように筋が先行するのか、Throckmorton ら⁶⁾や Proctor ら³⁶⁾が主張するように顎顔面形態の幾何学的構造が筋活動を左右するのか、について結論を導くことはできなかった。進行性筋ジストロフィー患者では、筋病変を起点として著しい長顔型顎顔面形態が発症する。また、顎変形症では長顔型顎顔面形態を手術によって短期間で改善することが行われる。これらの症例の筋機能分析や歯列咬合面圧分布などを通して、どちらの主張が妥当であるか、さらに検討を加えていく予定である。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜りました九州大学大学院歯学府口腔保健推進学講座の中島昭彦教授、本研究を行うにあたり多大な御助言を戴きました同講座の名方俊介助教授に謹んで感謝の意を表します。また、頭部X線規格写真撮影に関し御協力戴きました本学歯学府口腔顎顔面病態学講座の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御協力戴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。

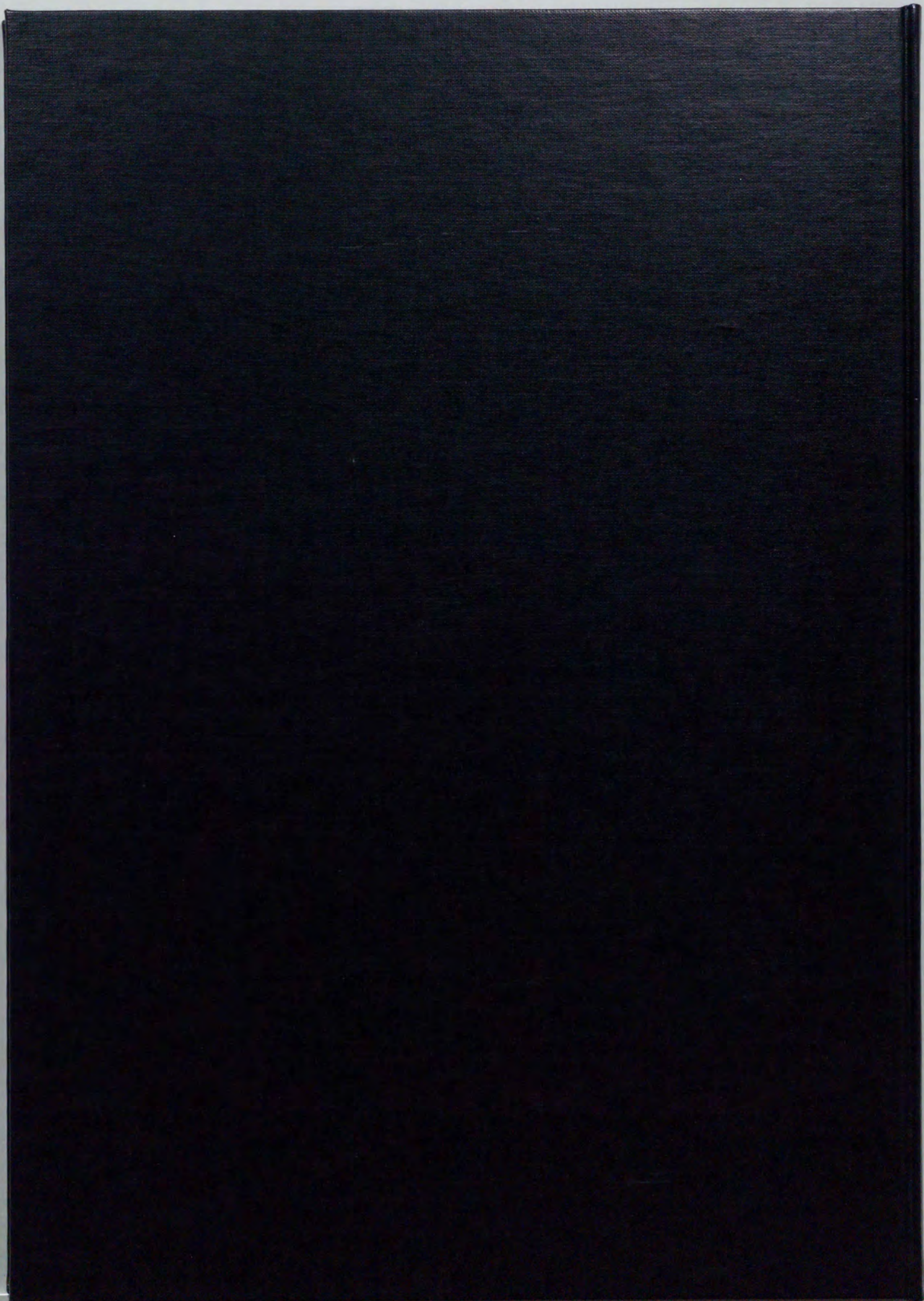
参 考 文 献

- 1) Sassouni, V.: A classification of skeletal facial types, *Am J Orthod Dentofac Orthop* 55: 109-123, 1969.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 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) Bakke, M.: Mandibular elevator muscles: physiology, action, and effect of dental occlusion, *Scand J Dent Res* 101: 314-331, 1993.
- 8) 名方俊介、渡辺美恵子、森下 格、他 : EMG power spectrum Lissajous による顎開閉筋機能の平衡性の分析法、*西日矯誌* 31 : 11-15, 1991.
- 9) Berry, D.C. and Singh, B.P.: Effect of electromyographic biofeedback therapy on occlusal contacts, *J Prosthet Dent* 51: 397-403, 1984.
- 10) Anderson, J.R. and Myers, G.E.: Nature of contacts in 32 adults, *J Dent Res* 50: 7-13, 1971.
- 11) Gazit, E. and Lieberman, M.A.: Occlusal contact following orthodontic treatment, *Angle Orthod* 55: 316-320, 1985.
- 12) Gazit, E. and Lieberman, M.A.: Reproducibility of occlusal marking techniques, *J Prosthet Dent* 55: 505-509, 1986.
- 13) 土佐淳一、田中昌博、村田洋一、他 : 咬合接触像のビジュアル化、*補綴誌* 31: 1553-1557, 1987.
- 14) 木下四郎、福田光男、田中章太、他 : プレスケールを用いた咬合接触面積および咬合圧の新しい測定法について、*日歯周誌* 21: 475- 484, 1979.

- 15) 福田光男：新しい咬合力測定システムについて -ニュープレスケールとその測定装置について-、日歯周誌 23: 397-414, 1981.
- 16) Maness, W.L.: Comparison of the duration of occlusal contacts during habitual closure using the digital occlusal sensor, J Dent Res 65: 185 (abstr. NO. 141), 1986.
- 17) Maness, W.L., Benjamin, M., Podoloff, R., et al.: Computerized occlusal analysis: a new technology, Quintessence International 18: 287-292, 1987.
- 18) 金田 隆、富山文信、鈴木宏巳、他：新しく開発されたコンピュータ咬合診査装置「T-Scan システム」について、日本歯科評論 556: 66-77, 1989.
- 19) 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.
- 20) 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氣的計測システムの開発に関する研究、日矯歯誌 49: 37-46, 1990.
- 21) 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.
- 22) Haassan, 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.
- 23) 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.
- 24) 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.
- 25) 小木和孝、袴田 忠：筋疲労時の表面筋電図の周波数分析、労働科学 38 (9): 519-528,1962.
- 26) Manns, A., Miralles, R. and Palazzi, C.: EMG, biteforce, and elongation of the masseter muscle under isometric voluntary contractions and variations of vertical dimensions, J Prosthet Dent 42: 674-682, 1979.
- 27) 河野正司：咬合と筋活動；石岡靖、小林義典、長谷川成男、他編 顎口腔機能分析の基礎と応用-ME 機器をいかに臨床にいかすか、初版、東京 1991、デンタルダイヤモンド社、208-217.
- 28) Hagberg, C., Agerberg, G. and Hagberg, M.: Regression analysis of electromyographic activity of masticatory muscles versus bite force, Scand J Dent Res 93: 396-402, 1985.

- 29) Ringqvist, M.: Fiber sizes of human masseter muscle in relation to bite force, *J Neurol Sci* 19: 297-305, 1973.
- 30) Weijjs, W.A. and Hillen, B.: Relationships between masticatory muscle cross-section and skull shape, *J Dent Res* 63:1154-1157, 1984.
- 31) Van Spronsen, P.H., Weijjs, 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.
- 32) Van Spronsen, P.H., Weijjs, 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.
- 33) Ginhaku, N. and Lowe, A.A.: Relationship between jaw muscle volume and craniofacial form, *J Dent Res* 68: 805-809, 1989.
- 34) Van Spronsen, P.H., Weijjs, W.A., Valk, J., et al.: Comparison of jaw-muscle bite-force cross-sections obtained by means of magnetic resonance imaging and high-resolution CT scanning, *J Dent Res* 68: 1765-1770, 1989.
- 35) Ahlgren, J., Sonesson, B. and Blitz, M.: An electromyographic analysis of the temporalis function of normal occlusion, *Am J Orthod* 87: 230-239, 1985.
- 36) Proctor, A.D. and DeVincenzo, J.P.: Masseter muscle position relative to dentofacial form, *Angle Orthod* 40: 37-44, 1970.
- 37) Ringqvist, M.: Size and distribution of histochemical fiber types in masseter muscle of adults with different states of occlusion, *J Neurol Sci* 22: 429-438, 1974.
- 38) 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.
- 39) 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.
- 40) 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.
- 41) Proffit, W.R. and Fields, H.W.: Occlusal forces in normal-and long-face children, *J Dent Res* 62: 571-574, 1983.

- 42) 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.
- 43) Gazit, E., Bornstein, N., Liberman, M., et al.: The stomatognathic system in myotonic dystrophy, *Eur J Orthod* 9:160-164, 1987.
- 44) 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.
- 45) Christensen, L.C.: Jaw muscle fatigue and pains induced by experimental tooth clenching: a review, *J Oral Rehabilitation* 8: 27-36, 1981.
- 46) Ringqvist, M.: Fiber types in masticatory muscles. Relation to function, *Scand J Dent Res* 82: 333-355, 1974.
- 47) Banard, R.J., Edgerton, V.R. and Peter, J.B.: Effect of exercise on skeletal muscle I. Biochemical and histochemical properties, *J Applied Physiology* 28: 762-766, 1970.



Inches 1 2 3 4 5 6 7 8
cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Kodak Color Control Patches

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black



Kodak Gray Scale

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



© Kodak, 2007 TM: Kodak