原著論文

顎運動に調和した咬合小面の形態

美馬さとみ

Morphological Aspects of Occlusal Facets Appropriate for the Jaw Movement

Satomi Mima

Abstract : The purpose of this paper is to study the morphology of occlusal facets which suits a proper jaw movement. A theoretical base surface in order to determine the morphology of occlusal facets was designed with the assumption that occlusal contacts exist on both intercuspal position and eccentric position. The three-dimensional morphology of the occlusal facets in 3 subjects with normal dentition was recorded. The data of the three-dimensional morphology were compared with those of the theoretical base surface.

The results were as follows :

1. A occlusal reference surface was devised as the theoretical base surface. This surface consists of various paths of mandibular movements or complementary mandibular movements.
2. Occlusal facets with large area show a tendency of increasing number of occlusal facets which are in good accordance with the occlusal reference surface.

These data indicate that the idea of the occlusal reference surface is clinically applicable.

Key words : occlusal reference surface, occlusal facet, mandibular movement

I. 緒 言

正常な顎機能を営むためには、咬頭嵌合位ならびに各種滑走運動時に適切な咬合接触が存在しなければならない¹⁾。しかし、咬頭干渉を生ずることなく意図する咬合接触を与えることができるか否か、またできるとすれば咬合平面や各歯の咬合面形態はどのような基準に従って決定すべきかについては、明確になっていない。

咬合小面形態あるいは咬合接触についてのこれまでの研究のうち、咬合小面形態と顎運動の協調性を論じたものでは、Gysi²⁾、矢崎³⁾、Fischer⁴⁾、長谷川⁵⁾らの研究があげられる。Gysiは咬合小面学説で、咬頭嵌合位とすべての偏心位において接触する咬合小面を人工歯に設定することの重要性を提唱し、長谷川はGysiの咬合小面学説をさらに発展させ、理論的咬合小面形態を解析幾何学的に算出した。しかしこれらの研究では咬合小面部における下顎運動路を即咬合面の形態と考えており、上下顎歯の咬合面に実際に与えるべき咬合面形態の検討については不十分である。鈴木は上下顎の咬合面を等価に扱うことのできる顎間軸モデルを提唱した⁶⁾。これにより咬合面形態を定量的に研究する道が拓かれた。咬合小面を観察した研究では、尾花⁷⁾によって咬耗面としての咬合小

徳島大学大学院歯学研究科歯科補綴学第二講座（指導：坂東永一教授）

Department of Fixed Prosthodontics, Graduate School of Dentistry, The University of Tokushima (Director : Prof. Eiichi Bando)

昭和62年12月30日受付

面の分類が行われ、早川⁹⁾によって咬合小面の傾斜角度が測定された。また咬合接触の研究では、中尾がシリコーンブラック法を用いて咬頭嵌合位⁹⁾および偏心位¹⁰⁾における上下顎咬合小面の接触様式を明らかにした。しかし、これら多くの研究も、理想的な咬合平面や咬合面の形態またその設定基準を明確にしたとはいえない。

本研究の目的は、咬合接触において最も基本的な単位である咬合小面形態を作製するための基準面を理論的に求めるとともに、得られた理論的基準面と天然歯の咬合小面形態を比較検討することによって、望ましい咬合小面の形態を探究することである。

II. 研究方法

臨床術式を考慮すれば、咬合接触のある上下顎咬合面を削合して空隙を与えたり溝を形成することは容易であるので、咬合小面の理論的な基準面としてはできるだけ広い面積で咬合接触が存在するものを求め、それが無理な場合には、その状態にできるだけ近いものを求めることとした。解析を進めるための具体的な条件と結果については次章で述べる。

また天然歯咬合小面の3次元形態は以下に述べる方法により求め、理論的に求めた基準面と比較検討を行った。

1. 被験者

咬合小面の3次元形態を測定した被験者は、顎口腔機能に特に異常がなく健全な天然歯列を有し、小窩裂溝を越える修復処置がなされていない、年齢42, 28, 26歳の成年男子3名である。

2. 咬合小面の3次元形態の測定

1) 測定用模型の製作

3名の被験者について測定用模型を製作した(図1)。即時重合レジンにより個人トレーを製作しチオコール・ラバー印象材(G-C社製 Surfex F regular type, injection type)で印象採得を行った。歯型材はフジロック超硬石膏(G-C社製 ジーシーフブロック)を使用した。

上顎咬合小面の3次元座標と下顎咬合小面の3次元座標の対応を図るために、直径1.2mmのスチールボール3個を埋め込んだ石膏ブロック(G-C社製 ジーシーフブロック)を上下顎歯列模型の内側に固定した(図2)。上下顎歯列模型を咬頭嵌合位で嵌合させたとき、3つのスチールボールの中心が一致するように製作した(以

図1 測定用模型

図2 咬頭嵌合位決定治具

図3 咬合小面測定対象部位

表 1 6 軸変位校正器概要

	直線変位ステージ (X, Y, Z 軸)	回転ステージ ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$ 軸)
可動範囲	0~60mm	0~360 度×n
最小変位量	1 μ m/パルス	0.0025 度/パルス
変位速度	0.5~5.0 mm/sec	1.05~10.5 度/sec
制 御	手動 リモート (IEEE-488 interface bus)	

表 2 デジタルゲージ概要

測定範囲	0~10 mm
ゲージ精度	± 0.001 mm
測 定 圧	30 $\pm$ 10 g
重 量	0.4 kg

図 4 測定風景

図 5 針状測定子

図 6 球状測定子

下、咬頭嵌合位決定治具と呼ぶ)。

つぎにこの模型を斜光下で観察し、5 H の鉛筆で咬合小面の境界を印記し、測定対象部位を決定した(図 3)。

2) 測定方法

咬合小面の 3 次元座標の測定には、中央精器社製、6 軸変位校正器(表 1)とソニーマグネスケール社製、デジタルゲージ DG-810(表 2)を用いた(図 4)。6 軸変位校正器の本体にデジタルゲージを固定し、先端の直径 0.1 mm の測定子(図 5、尾崎製作所製 針状測定子)を装着した(以下、咬合小面測定装置とよぶ)。

測定子の先端が模型の咬合小面に接触するように 6 軸変位校正器を操作した。X, Y 軸方向の移動量により水平的位置が決まり、Z 軸方向の移動量とデジタルゲージの出力値より上下的位置がきまる。以上によりこの測定器の座標系において咬合小面の 3 次元座標値が得られる。なお、測定は、X, Y 軸方向に 500 μ m 間隔で行った。

つぎに咬合小面測定装置を用いて、咬頭嵌合位決定治具のスチールボールの 3 次元座標値を測定した。

最後に上顎模型では、咬合小面測定装置を用いて咬合平面を決定するための 3 つの標点の 3 次元座標値を測定した。この場合デジタルゲージの先端の測定子は、先の針状測定子の先端に直径 1.2 mm のスチールボールを装着した球状測定子(図 6)を用いた。

3. 顎運動の測定値

顎運動については、デジタル方式下顎運動測定器¹¹⁾を用いて測定した鈴木¹²⁾の 6 自由度顎運動データを使用した。また生体標点測定針を用いて得られた上顎歯列弓上の 3 つの標点の 3 次元座標値も使用した。解析に用いた顎運動は、① 咬頭嵌合位より接触滑走させながら前方運動を行い、前方限界咬合位へ至る運動(以下、前方滑走運動とよぶ)、② 咬頭嵌合位から接触滑走を行い左右の側方限界咬合位へ至る運動(以下、左右側方滑走運動と呼ぶ)である。

4. 各測定値間の対応

上顎咬合小面の 3 次元座標、下顎咬合小面の 3 次元座標、および 6 自由度の顎運動データは、測定ごとの座標系における値であり、各座標系の関係を明らかにし同一の座標系においてデータの解析を行う必要がある。

1) 座標系の設定

(1) 咬合小面測定座標系 (S_u, S_L)

咬合小面測定座標系は、模型の咬合小面を測定する時に任意に定めた座標系であり上顎模型測定時に定めた座標系を S_u 、下顎模型測定時に定めた座標系を S_L とした。原点は測定毎に任意に定め、X, Y, Z 軸の方向は 6 軸変

位校正器の直線変位ステージの方向と一致させた。

(2) 咬頭嵌合位決定治具座標系 (S_{IU} , S_{IL})

咬頭嵌合位決定治具座標系は、咬頭嵌合位決定治具の3つのスチールボールの中心でできる平面をXY平面、3つのスチールボールの中心の重心を原点、原点から前方のスチールボールの中心を通る直線をX軸、原点を通るXY平面の法線をZ軸、両軸に垂直な直線をY軸とする座標系と定めた。上顎模型に設定した咬頭嵌合位決定治具座標系を S_{IU} 、下顎模型に設定した同座標系を S_{IL} とした。

(3) 模型咬合平面座標系 (S_C)

模型咬合平面座標系 (S_C) は、球状測定子を咬合小面測定装置に装着し、それを用いて測定した上顎歯列模型上の標点、つまり上顎左右中切歯の近心切端隅角間の中点（以下切歯点）と、左右上顎第1大臼歯または第2大臼歯の中心窩でできる平面を咬合平面とし、この3点の重心を原点、原点と切歯点を結ぶ直線をX軸、原点を通る咬合平面の法線をZ軸、両軸に垂直な直線をY軸に持つ座標系と定めた。

(4) 生体咬合平面座標系 (S_B)

生体咬合平面座標系 (S_B) は、生体標点測定針で測定される上顎歯列弓の口腔内標点により、模型咬合平面座標系と同一の定義で規定される座標系と定めた。

2) 各座標系の関係

顎運動データは生体咬合平面座標系で示されている。したがって上下顎咬合小面の3次元座標データを生体咬合平面座標系で表現することによって、顎運動データ、上下顎咬合小面の3次元データを同一座標系で解析することができる。

以下に各座標系における位置ベクトルの関係を式で示す。ある点の上顎咬合小面測定座標系、下顎咬合小面測定座標系、上顎咬頭嵌合位決定治具座標系、下顎咬頭嵌合位決定治具座標系、模型咬合平面座標系、生体咬合平面座標系における位置ベクトルをそれぞれ W_U , W_L , W_{IU} , W_{IL} , W_C , W_B とし咬頭嵌合位における各ベクトル間の変換行列を F_1 , F_2 , F_3 , F_4 , F_5 とする (図7)と

$$W_B = F_5 \cdot F_1 \cdot W_U$$

$$W_B = F_5 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_4 \cdot F_3 \cdot W_L$$

となる。これらの式により上下顎咬合小面データを顎運動データと同一座標系に変換した。また変換行列 ($F_1 \sim F_5$) は以下のようにして求めた。

(1) 上顎咬合小面測定座標系と模型咬合平面座標系との対応 (F_1 の算出)

F_1 は、上顎模型上の咬合平面決定用標点を咬合小面測

図7 本研究で設定した種々の座標系における位置ベクトルとその相互関係

図8 天然歯の咬合接触状態の評価方法

U: 上顎咬合小面測定点
L₁, L₂, L₃: 下顎咬合小面上の点
d: 平面 α と U の距離

定装置を用いて上顎咬合小面測定時と同一の位置関係で測定した値より算出した。

(2) 上顎咬合小面測定座標系と上顎咬頭嵌合位決定治具座標系との対応 (F_2 の算出)

F_2 は、上顎咬合小面の測定と同一条件で上顎咬頭嵌合位決定治具の3つのスチールボールの座標値を測定した値より算出した。

(3) 下顎咬合小面測定座標系と下顎咬頭嵌合位決定治具座標系との対応 (F_3 の算出)

F_3 は、下顎咬合小面の測定と同一条件で、下顎咬頭嵌合位決定治具の3つのスチールボールの座標値を測定した値より算出した。

(4) 上顎咬頭嵌合位決定治具座標系と下顎咬頭嵌合位決定治具座標系との対応 (F_4 の算出)

F_4 は、上下顎の咬合小面測定データを咬頭嵌合させた状態が、上下顎の模型を咬頭嵌合させシリコンブラック法⁹⁾で確認した咬合接触状態と可及的に一致するように定めた。なお模型の変形や測定誤差がなければ F_4 は単位行列となる。

(5) 模型咬合平面座標系と生体咬合平面座標系との対応 (F_5 の算出)

F_5 は、咬合平面を規定する口腔内ならびに模型上の 3 標点がそれぞれ重なるように定めた。実際の計算は重心基準剛体化処理法¹³⁾に準じて行った。模型の変形や測定誤差がなければ F_5 は単位行列となる。

5. 天然歯の咬合接触状態の評価方法

上顎咬合小面の測定点と、下顎咬合小面の距離 d (図 8) が $100 \mu\text{m}$ 以下のとき、この咬合小面の測定点は下顎咬合小面と接触しているとみなし上顎咬合小面の接触点とした。また同様にして下顎咬合小面の接触点も決定した。

III. 咬合小面の理論的な基準面の探究

1. 咬合接触の条件

上下顎咬合小面が満たすべき咬合接触の条件は、咬合嵌合位ならびに偏心位で上顎咬合小面と下顎咬合小面に常に接触が存在していることとした。

2. 咬合接触の様式

上顎咬合小面と下顎咬合小面間の咬合接触様式としては、点接触と面接触がある。

1) 点接触

点接触とは、上顎咬合小面と下顎咬合小面が点状に接触しているものであり、折り返しをするような複雑な一部の顎運動を除けば咬頭嵌合位ならびに偏心位で咬合接触を与えることが可能である。

まず上顎咬合小面を、下顎咬合小面上のある点 P_L の下顎運動路に沿って設定すれば (図 9 左)、顎運動によって下顎の点 P_L は上顎の咬合小面に接触して滑走する。逆に、下顎咬合小面を、上顎のある点 P_U の相補下顎運動路に沿って設定すれば (図 9 右) は、顎運動によって上顎の点 P_U が下顎の咬合小面に接触して滑走する。ただし、点 P_L あるいは点 P_U の近くに咬頭干渉となるような形態は与えないものとする。

2) 面接触

面接触とは、上顎咬合小面と下顎咬合小面が面で接触しているものである。歯の動揺など生体の歪みを考慮に入れない場合、つまり剛体条件が成立しているときには、面接触は、顎運動が以下に述べるような特殊な条件を満たす場合にのみ可能である。

(1) 顎運動が平行運動である場合

上顎咬合小面を、下顎の点 P_L の下顎運動路に沿った形態、すなわち顎運動の方向と平行な平面とし、下顎咬

図 9 点接触

P_L : 下顎咬合小面上の点
: P_L の下顎運動路
 P_U : 上顎咬合小面上の点
: P_U の相補下顎運動路

図 10-a 面接触

顎運動が平行運動である場合
 P_L : 下顎咬合小面上の点
: P_L の下顎運動路
 P_U : 上顎咬合小面上の点
: P_U の相補下顎運動路

図 10-b 面接触

顎運動が回転運動である場合
 P_L : 下顎咬合小面上の点
: P_L の下顎運動路
 P_U : 上顎咬合小面上の点
: P_U の相補下顎運動路

図 10-c 面接触

顎運動が顎間軸のまわりの回転運動と顎間軸に沿った平行運動である場合

P_L : 下顎咬合小面上の点
: P_L の下顎運動路
 P_U : 上顎咬合小面上の点
: P_U の相補下顎運動路

合小面は咬頭嵌合位で上顎咬合小面と全面で接触させるか、あるいは下顎咬合小面を、上顎の点 P_U の相補下顎運動路に沿った咬合小面とし、上顎咬合小面を咬頭嵌合位で下顎咬合小面と全面で接触させれば、条件を満たす咬合小面が得られる (図 10-a)。つまり上下顎咬合小面は、任意の顎位で顎運動と平行な平面で接触している。

(2) 顎運動が回転運動である場合

条件を満たす咬合小面は、上顎咬合小面を下顎の点 P_L の下顎運動路に沿った咬合小面、すなわち顎運動と同一の中心軸をもち点 P_L を含む円柱の側面の一部とし、下顎咬合小面を咬頭嵌合位で上顎咬合小面と接触させるか、あるいは、逆に下顎咬合小面を、上顎の点 P_U の相補下顎運動路に沿った咬合小面とし、上顎咬合小面は咬頭嵌合位で下顎咬合小面と接触させることで得られる (図 10-b)。上下顎咬合小面は、任意の顎位で顎運動と同一の中心軸をもつ円柱の側面の一部で面接触している。

(3) 顎運動が顎間軸のまわりの回転運動と顎間軸に沿った平行運動である場合

求める咬合小面は、上顎咬合小面を下顎の点 P_L の下顎運動路に沿った咬合小面、すなわち顎間軸⁹⁾を中心軸にもち点 P_L を含む円柱の側面の一部とし、下顎咬合小面は咬頭嵌合位で上顎咬合小面と接触させるか、あるいは、下顎咬合小面を、上顎の点 P_U の相補下顎運動路に沿った咬合小面とし、上顎咬合小面は咬頭嵌合位で下顎咬合小面と接触させることで得られる (図 10-c)。上下顎咬合小面は、任意の顎位で顎間軸を中心軸にもつ円柱の側面の一部で面接触している。

3. 咬合小面の基準面の検索

咬合小面の基準面を求めるにあたっては、上顎咬合小面と下顎咬合小面が、最大面積で接触し、接触しない場合でも上顎咬合小面と下顎咬合小面の距離が最小になるような上下顎咬合小面形態を基準面として検索することとした。

初期条件として、上顎の点 P_U と下顎の点 P_L が咬頭嵌合位で接触しているとし、下顎の点 P_L の下顎運動路、上顎の点 P_U の相補下顎運動路を咬合小面の形態として与えた場合について検討する。

1) 下顎運動路に沿って咬合小面を決定する場合

まず上顎咬合小面は、点 P_L の下顎運動路に沿って決定し、下顎咬合小面は、咬頭嵌合位で上顎咬合小面と全面で接触させる。つぎに偏心位での上下顎咬合小面の接触状態を検索する。図 11 に示すように、咬合嵌合位とつぎの顎位である第 1 顎位で求められる顎間軸を顎間軸

図 11 咬合接触と顎間軸の関係

P_L, Q_L : 下顎咬合小面上の点
 : P_L の下顎運動路
 P_U, R_U : 上顎咬合小面上の点
 ----- : P_U の相補下顎運動路
 IA 1 : 顎間軸 I
 IA 2 : 顎間軸 II

I とし、第 1 顎位とそのつぎの第 2 顎位で求められる顎間軸を顎間軸 II とする。顎間軸 II が図 11 の B, C の領域に存在しているときには図 12 左に示すように、咬頭嵌合位で咬合接触させた下顎の点 Q_L は、第 1 顎位で点 P_L の下顎運動路より下方に移動し、点 Q_L は上顎咬合小面から離れる。これは点 P_L 以外の下顎咬合小面上の点すべてについて成り立つことである。つまりこの上下顎咬合小面は、偏心位で下顎咬合小面上の点 P_L が上顎咬合小面に接触し他の下顎咬合小面上の点は上顎咬合小面から離れる。このとき、上顎咬合小面を下顎の点 P_L の下顎運動路より上方に設定すれば、偏心位での接触が得られない。逆に、下顎運動路より下方に設定すれば、咬頭嵌合位以外では、咬頭干渉を生ずる。したがって、他に条件を満たしているものではなく、点 P_L の下顎運動路に沿った咬合小面が、条件を満たす唯一のものである。つぎに顎間軸 II が図 11 の A, D の領域に存在しているときは、図 12 右に示すように咬頭嵌合位で咬合接触させた下顎の点 Q_L は第 2 顎位で点 P_L の下顎運動路より上方に移動する。つまり点 Q_L は偏心位で咬頭干渉を生じる。これは点 P_L 以外の下顎の点すべてで成り立つ。このとき、上顎咬合小面を基準にして FGP 法で下顎咬合小面を作製すると、咬頭嵌合位では点 P_U と点 P_L が点接触し咬合小面の他の部位では接触がなくなる。限界咬合位

図 12 上下顎咬合小面の接触関係
下顎運動路に沿って咬合小面を決定する場合

P_U : 上顎咬合小面上の点
 P_L, Q_L : 下顎咬合小面上の点
-----: P_L の下顎運動路

図 13 上下顎咬合小面の接触関係
相補下顎運動路に沿って咬合小面を決定する場合

P_L : 下顎咬合小面上の点
 P_U, R_U : 上顎咬合小面上の点
-----: P_U の相補下顎運動路

において下顎咬合小面に全面で接触するように上顎の咬合小面をひろげてやることにより、必要に応じて限界咬合位では面接触を与えることが可能である。しかしこの咬合様式は、下顎咬合小面上の点 P_L 以外の点は上顎咬合小面との間隙が限界咬合位に近い顎位で小さく、咬頭嵌合位に近い顎位で大きくなる。咬頭嵌合位に近いほど緊密な咬合接触に近づく顎間軸Ⅱが領域 B, C にある場合に比較して、咬合接触の安定性という面では不利だと考えられる。

2) 相補下顎運動路に沿って咬合小面を決定する場合

まず点 P_U の相補下顎運動路に沿って下顎咬合小面を決定し、咬頭嵌合位で上顎咬合小面を下顎咬合小面と全面で接触させる。つぎに偏心位での上下顎咬合小面の接触状態を検索する。顎間軸Ⅱが図 11 の A, B の領域に存在しているとき、図 13 左に示すように咬頭嵌合位で咬合接触させた上顎の点 R_U は第 1 顎位で点 P_U の相補下顎運動路より上方に移動し、点 R_U は下顎咬合小面から離れる。これは点 P_U 以外の上顎咬合小面上の点すべてで成り立つ。つまりこの上下顎咬合小面は、偏心位で上顎咬合小面上の点 P_U が下顎咬合小面に接触し他の上顎咬合小面上の点は下顎咬合小面から離れる。このとき、下顎咬合小面を上顎の点 P_U の相補下顎運動路より下方

に設定すれば、偏心位での接触が得られないし、逆に、上方に設定すれば、咬頭嵌合位以外では、咬頭干渉を生ずる。したがって、他に条件を満たしているものではなく、上顎の点 P_U の相補下顎運動路に沿った咬合小面が条件を満たす唯一のものである。つぎに顎間軸Ⅱが図 11 の C, D の領域に存在しているときは、図 13 右に示すように、咬頭嵌合位で咬合接触させた上顎の点 R_U は第 1 顎位で点 P_U の相補下顎運動路より下方に移動する。つまり点 R_U は偏心位で咬頭干渉を生じる。これは点 P_U 以外の上顎の点すべてについて成り立つことである。咬頭嵌合位で点接触、限界咬合位で面接触となるように上下顎咬合小面を作製することは可能であるが、下顎運動路に沿って咬合小面を決定する場合で述べたのと同じ理由により、この咬合様式を臨床で用いることは望ましくないと考えられる。

3) まとめ

以上をまとめると、顎間軸Ⅱが図 11 の領域 A に存在する時は、上下顎咬合小面は点 P_U の相補下顎運動路に沿って点 P_L より後方に決定しなければならない。顎間軸Ⅱが領域 B に存在する時は、上下顎咬合小面は点 P_L の下顎運動路に沿って点 P_U より前方に決定するか点 P_U の相補下顎運動路に沿って点 P_L より後方に決定するかどちらでもよい。顎間軸Ⅱが領域 C に存在する時は、上下顎咬合小面は点 P_L の下顎運動路に沿って点 P_U より前方に決定しなければならない。顎間軸Ⅱが領域 D に存在する時は、安定な上下顎咬合小面を作製することは不可能である。

したがって顎間軸Ⅱが領域 A に存在する場合は、相補下顎運動路、領域 B に存在する場合は下顎運動路と相補下顎運動路、領域 C に存在する場合は下顎運動路がそれぞれ咬合小面を決定する基準面となる。

以上は顎運動が平面内の運動である場合の結果である。実際の顎運動は 6 自由度の運動であるので、顎間軸Ⅱの存在位置と基準面の関係は明らかでないが、立体運動についてもほぼ同様の条件が成立するものと考えられる。なお前方ならびに左右側方滑走運動に対して、咬頭嵌合位における接触点から前方に咬合小面を決定する場合は点 P_L の下顎運動路、後方に決定する場合は点 P_U の相補下顎運動路に沿った面が基準面となる。勿論いずれの場合にも第 3 顎位以後の顎運動路上のすべての顎位について図 11 で検討したのと同様の条件が成立している必要がある。

顎運動によってつぎつぎと異なる部位が咬合接触するような咬合様式も考えられるが、任意の顎位で咬合接触

している点は咬頭嵌合位でも咬合接触させることができるので、上下顎咬合小面の間隙を少なくするという条件により同じ基準面となる。さらに機能面の研究が進めば望ましい咬合接触を得るための顎運動の条件が限定されるものと考えられるが、この問題については今後の課題としたい。

これまでの検討に基づき、咬合接触のあるあらゆる方向に顎運動させたとき立体的に決まる点 P_L の下顎運動路に沿った面と点 P_U の相補下顎運動路に沿った面を基準面とし、これを咬合参照面 (occlusal reference surface) と呼ぶことにする。なお1つの顎運動経路に対し咬合小面の基準となる曲線が1つ定まるが、これを咬合参照面の要素 (element) と呼ぶ。

咬頭嵌合位において咬合参照面に一致させて上顎咬合小面と下顎咬合小面を設定すれば、咬頭嵌合位および偏心位で咬合接触が存在し、咬頭干渉がおこらず、上下顎咬合小面間の距離が最小となる咬合小面を作製することができる。

IV. 結 果

1. 天然歯咬合小面の測定結果

上下顎咬合小面の測定データを Case 1 について立体的に再構築したものを図 14-a, 図 14-b に示す。図 14-c, 図 14-d は同一方向からみた模型である。全症例とも咬合小面はすべての歯に形成されており、なめらかな曲面形態である。図 15-a, 図 15-b は上下顎咬合小面の水平面投影図である。図 14-a, 図 14-b, 図 15-a, 図 15-b とともに線の交点が測定点である。

1) 咬合小面の測定点数

歯種別の測定点数を表 3 に示す。なお左右同名歯はまとめて算出した。

2) 咬合小面の面積

歯種別の咬合小面の面積の大きさを表 4 に示す。咬合小面上の隣接した3つの測定点によりできる三角形の面積の和として咬合小面の面積を算出した。すべての歯の中で上顎第1大臼歯の面積が一番大きく、片顎の歯の中では第1大臼歯、第2大臼歯の順に大きい。また上顎の

図 14-a 上顎咬合小面 (Case 1)

図 14-b 下顎咬合小面 (Case 1)

図 14-c 上顎模型 (Case 1)

図 14-d 下顎模型 (Case 1)

表 3 咬合小面の測定点数

歯 種		1	2	3	4	5	6	7
上 顎	平 均	66.0	38.2	57.5	57.2	48.3	156.0	105.8
	S.D.	18.8	5.7	17.8	15.9	17.1	12.6	21.7
下 顎	平 均	24.7	26.3	42.5	37.2	39.7	121.8	95.5
	S.D.	9.9	7.3	10.6	17.7	17.3	15.0	28.4

表 4 咬合小面の面積 (mm²)

歯 種		1	2	3	4	5	6	7
上 顎	平 均	25.06	14.27	18.59	18.82	16.17	48.16	33.63
	S.D.	6.29	3.65	5.37	4.79	5.29	2.67	7.50
下 顎	平 均	8.85	9.74	14.61	12.48	12.92	37.48	29.42
	S.D.	3.73	2.69	3.70	6.07	5.98	4.91	9.85

表 5 咬頭嵌合位における接触点数

歯 種		1	2	3	4	5	6	7
上 顎	平 均	4.3	1.0	2.2	1.7	4.2	19.0	20.2
	S.D.	5.7	1.7	4.0	2.1	3.4	12.1	15.6
下 顎	平 均	3.2	2.2	1.5	1.7	3.3	21.3	16.5
	S.D.	4.3	1.5	3.2	2.7	3.9	11.5	10.2

歯の咬合小面の面積は下顎の同名歯の歯より大きい。

3) 咬頭嵌合位における咬合接触

咬頭嵌合位における歯種別の接触点数を表 5 に示す。
また接触点を咬合小面の水平面投影図に示す (図 16-a, 図 16-b)。

2. 天然歯咬合小面と咬合参照面

咬合小面形態の理論的な基準面として求めた咬合参照面と、実際の天然歯における咬合小面形態がどのような関係になっているか両者を比較検討した。咬合参照面は上下顎咬合小面の形態の基準であるが、咬頭嵌合位における接触点より前方に咬合小面を決定する場合は咬合参照面に一致した上顎咬合小面、後方に咬合小面を決定す

図 16-a 上顎咬合小面と咬頭嵌合位における接触点 (Case 1)

●：接触点

図 16-b 下顎咬合小面と咬頭嵌合位における接触点 (Case 1)

●：接触点

表 6 咬頭嵌合位における接触点数

	Case 1	Case 2	Case 3
上 顎	186	89	44
下 顎	167	84	47
合 計	353	173	91

る場合は咬合参照面に一致した下顎咬合小面が、それぞれ対顎の咬合小面の基準となる。ゆえに咬頭嵌合位における接触点より前方の上顎咬合小面と、後方の下顎咬合小面をそれぞれ咬合参照面と比較検討することにより、咬合参照面と咬合小面形態の一致度を検討した。

表6に示すように、上顎の接触点は Case 1 では186点, Case 2 では89点, Case 3 では44点であり、下顎の

図 17 咬合小面と咬合参照面の一致基準

P_U ：上顎咬合小面上の点

P_L ：下顎咬合小面上の点

.....：上顎咬合小面

————：咬合参照面 (P_L の下顎運動路)

接触点は Case 1 では167点, Case 2 では84点, Case 3 では47点である。つまり3名の被験者の3方向の滑走運動では合計1,851の咬合参照面の要素が決定できる。

1) 咬合小面と咬合参照面との一致基準

咬合小面と咬合参照面の位置関係の模式図を図17に示す。この場合、咬頭嵌合位における接触点より前方の咬合小面であるので、上顎咬合小面と咬合参照面との関係を検討する。ここで上顎咬合小面と咬合参照面の上下的距離が100 μm 以下の部分は、上顎咬合小面と咬合参照面は一致しているとみなし、その部分の咬合参照面を実線で示した。

2) 咬合参照面に対する咬合小面の存在様式

咬合参照面と咬合小面の一致基準を用いて咬合参照面と咬合小面の関係を検討すると、咬合小面は咬合参照面に対して3種類の存在様式があることが明らかになった。

Type 1 は、咬合小面が全長にわたり咬合参照面と一致しているものである。図18-a, 図18-bはその1例である。図18-aは水平面投影図で、図18-bは図18-aに矢印で示した接触点の下顎運動路に沿った断面図として表している。咬頭嵌合位における接触点より前方の上顎咬合小面は、下顎運動路、いいかえれば咬合参照面と全長にわたり一致している(実線部)。

Type 2 は、咬合小面の一部が咬合参照面に一致しているものである(図19-a, 図19-b)。咬頭嵌合位における接触点より後方の下顎咬合小面は、咬合参照面と実線部で一致している。

Type 3 は、咬合小面と咬合参照面が一致していないものである(図20-a, 図20-b)。

3名の被験者の3方向の滑走運動で、咬頭嵌合位で咬合接触のあるすべての測定点について咬合参照面と上下

図 18-a 上顎咬合小面 (17) と下顎運動路 (左側方滑走運動) (Case 1)

- : 上顎咬合小面
- : 咬頭嵌合位における接触点
- : 下顎運動路

図 18-b Type 1 咬合小面と咬合参照面

- : 上顎咬合小面
- : 下顎咬合小面
- : 咬合参照面 (下顎運動路)

顎咬合小面の存在様式について表 7 にまとめた。存在様式を検討した例数は 3 方向合計で Case 1 : 1,059, Case 2 : 519, Case 3 : 273 であった。Type 1 は, Case 1 が 297 で一番多く, Case 2 : 170, Case 3 : 67 の順である。Type 2 も同様 Case 1 : 529, Case 2 : 301, Case 3 : 55 の順である。咬合小面の測定点数も, Case 1 : 2,176 点, Case 2 : 1,717 点, Case 3 : 1,607 点の順である。

咬合小面の測定点数の大小は, 咬合小面の面積の大小を表しており, 咬合小面の面積が大きい被験者ほど, 咬合参照面に一致する咬合小面の数が増える傾向にあった。なお天然歯咬合小面のなかで咬合参照面より急傾斜のものは 1 例も存在していなかった。

図 19-a 下顎咬合小面 (16) と相補下顎運動路 (前方滑走運動) (Case 1)

- : 下顎咬合小面
- : 咬頭嵌合位における接触点
- : 相補下顎運動路

図 19-b Type 2 咬合小面と咬合参照面

- : 上顎咬合小面
- : 下顎咬合小面
- : 咬合参照面 (相補下顎運動路)

表 7 咬合小面の咬合参照面に対する存在様式と咬合小面の測定点数

	Case 1	Case 2	Case 3
Type 1	297	170	67
Type 2	529	301	55
Type 3	233	48	151
合 計	1,059	519	273
測定点数	2,176	1,717	1,607

図 20-a 上顎咬合小面 (7) と下顎運動路 (右側方滑走運動) (Case 3)

□: 上顎咬合小面
●: 咬頭嵌合位における接触点
---: 下顎運動路

図 20-b Type 3 咬合小面と咬合参照面

-----: 上顎咬合小面
.....: 下顎咬合小面
——: 咬合参照面 (下顎運動路)

V. 考 察

1. 研究方法について

1) 咬合小面の 3 次元形態の測定

(1) 測定用模型

個人トレーを用いてポリサルファイド・ラバーベース印象材で印象採得を行い超硬石膏を注入し模型を製作した。この場合の寸法変化は、これまでの研究^{14,15)}によると 60~100 μm である。また生体は剛体ではなく顎骨の歪み、歯根膜の被圧縮性など¹⁶⁻¹⁸⁾があり、実際の口腔内において機能時に歯は変位している。したがって生体における上下顎の接触状態を模型の接触状態が完全に再現しているとはいえない。しかしながら口腔内の歯の咬合

小面の形態を直接精密測定することは困難であり、また機能時の歯の変位を顎位ごとに 6 自由度で測定することも非常に困難が考えられ、本研究では前述の方法によって、

(2) 測定方法

測定は 6 軸変位校正器とデジタルゲージを用いて行った。6 軸変位校正器の最小変位量は 1 μm 、デジタルゲージの精度は 1 μm で、Z 軸方向の精度は $\pm 2 \mu\text{m}$ である。X, Y 軸方向に 500 μm 間隔で測定点を設定し測定した。1 歯に要する測定時間は大臼歯で約 3 時間、小臼歯で約 2.5 時間、前歯で 2 時間である。測定間隔はより小さい方が望ましいことはいうまでもないが、測定時間も考慮し、また咬合小面はなめらかな曲面形態であることから、測定間隔を 500 μm とした。なお 2 つの測定点からその中点の座標を推定して得られた値と実際にその部位を測定した値との誤差は 1 歯につき 3 点程度計約 250 点について確認したところ最大でも 40 μm 以下であり、許容できる測定間隔といえる。

2) 上顎咬合小面の 3 次元形態、下顎咬合小面の 3 次元形態および 6 自由度の顎運動データとの対応

上顎咬合小面と下顎咬合小面の対応は、咬合嵌合位決定治具と、模型でシリコンブラック法⁹⁾を施行した結果より行い、上顎咬合小面と顎運動データの対応は、模型と生体で同一の標点を測定する方法で行った。これらの方法により同一の系で上下顎咬合小面の形態情報と顎運動に関する情報を得ることが可能となった。上記のようにデータを対応させるときの誤差は、測定誤差がなければ単位行列となるべき変換行列 F_4 , F_5 からみると上顎模型と下顎模型の重ね合わせ (F_4) は最大で 1%、模型と生体の咬合平面の重ね合わせ (F_5) で最大 4% の誤差を有していたと考えられる。

2. 理論的基準面について

1) 点接触と面接触

生体にとって好ましい咬合接触が点接触であるか面接触であるかは、議論の別れるところである。上顎および下顎を剛体とみなした場合、任意の顎運動の任意の顎位に可能な咬合接触は理論的には点接触である。実際の生体では、顎骨の歪み、歯周組織の被圧縮性などが付随しているため、面接触も存在していると考えられる。中尾⁹⁾によると、咬頭嵌合位において前歯部の接触状態は点または線状接触であり、臼歯部の接触は多様で点、線、面状の接触であるが、顎運動が進み偏心位になると面状の接触は消失し、すべては点または線状の接触となる。

理論的検討でも咬頭嵌合位では面接触であるが、偏心位になるにつれ点または線状の接触部を残し、他の部位は対合歯咬合面とクリアランスが増大するような咬合接触様式が得られた。

2) 咬合参照面について

任意の顎位において、上下顎咬合小面間の距離が最小となるような基準面を理論的に求め咬合参照面とした。咬合参照面はすべての顎運動に求まるものではないが、この基準面が求まる顎運動において、この基準面に沿って上下顎咬合小面を設定すれば、咬頭嵌合位では上下顎咬合小面が全面接触し、偏心位では上顎あるいは下顎咬合小面の一定点が対顎の咬合小面と常に接触し、任意の顎位で上顎咬合小面と下顎咬合小面の距離が最小となる。咬合参照面より上下顎咬合小面の傾斜角度を急にすると偏心位で咬頭干渉となり、逆に緩くすると偏心位で接触がなくなる。また咬合参照面より傾斜の緩い咬合小面を持つ対合歯に対し、FGP 法¹⁹⁻²²⁾などの手法で対顎の咬合小面をつくると、咬頭嵌合位では面接触するが偏心位では接触がなくなり、咬合参照面より傾斜の急な咬合小面を基準に対顎の咬合小面をつくると、すべての顎位において点状接触となる。このことより適切な咬合接触の付与は片顎の咬合小面の形態の決定のみでは不可能であり、上顎咬合小面と下顎咬合小面の形態を同時に設定しなければならないといえる。臨床において補綴物で咬合の回復を図る場合でも、既存している対顎の咬合小面に従って補綴物の咬合小面の形態を決めるのでは、適切な咬合の回復は不可能な場合があり、咬合参照面を基準に上下顎咬合小面の形態を同時に設定することが望ましい。もちろん咬合接触を必要としない顎位において咬合小面をそのように修正することは容易である。

つぎに顎運動と咬合接触の関係について考察する。任意の顎運動すべてに咬頭嵌合位で安定な咬合接触を有し、偏心位でも咬合接触を有するような咬合小面形態が求まるわけではない。つまりある顎運動では安定な咬合接触を有する咬合小面をつくり得ないのである。ここで顎運動から咬合小面形態が決まるのか、あるいは咬合小面形態から顎運動が規定されるのかという疑問が生まれる。顎運動が変わればそれに調和する咬合小面の形態は変わり、逆に咬合小面の形態を変えれば、顎運動も変わるわけである。やはり顎口腔系に良好と思われる顎運動を知り、その顎運動に調和した咬合小面の形態を与えなければならないというのが結論であろう。しかし生体にとって良好な顎運動、あるいはそれを規定する生体にとって良好な咬合小面の形態の探究は生理学的な研究²³⁾を

待たなければならない。

3. 研究結果について

1) 咬合小面の面積

咬合小面の面積を測定した報告はなく、咬合接触部位の投影面積²⁴⁾、あるいはいわゆる固有咬合面の面積²⁵⁾を測定した報告があるだけである。咬合小面の面積を歯種別に検討すると、上顎第1大臼歯が最大であり、固有咬合面の大きさはほぼ同じである下顎第1大臼歯より16~50%大きかった。また上顎の歯の咬合小面の面積は下顎の同名歯よりも2~260%、全歯平均では39%大きかった。

上下顎咬合小面の接触関係は、下顎咬合小面上の1定点が上顎咬合小面に接触滑走する場合と、逆に上顎咬合小面上の1定点が下顎咬合小面に接触滑走する場合が考えられるが、この結果から生体では下顎咬合小面上の1定点が上顎咬合小面に接触滑走している場合が多いと考察される。

2) 天然歯の咬合接触状態の評価方法について

上顎咬合小面と下顎咬合小面の距離が100 μm 以下のとき接触しているとみなした。クラウンに与えるべき咬合面精度として臨床では、10 μm 程度を目標としている²⁶⁾。しかし顎骨の歪みや歯根膜の被圧縮性など¹⁶⁻¹⁸⁾を有する生体における咬合接触状態を剛体である模型に置き換えて測定していること、また測定系の精度を考慮して、100 μm という値を選び、偏心位においてもこの値で咬合接触状態を評価した。

鈴木²⁾の用いたデジタル方式下顎運動測定器の実用精度は150 μm と報告されているが²¹⁾、これはあらゆる運動をしたときに任意の点における空間的絶対精度としての値である。測定器の性格上メカニカルなバックラッシュによる誤差が最も大きいと推定されるので、本研究のように接触滑走運動の一部を1経路ごとに解析する場合には、誤差ははるかに小さくなると考えられ、咬合接触の評価基準、ならびに天然歯咬合小面と咬合参照面的一致基準として選んだ100 μm は妥当な値といえる。また解析の対象として選んだ顎運動は咬頭嵌合位から前方ならびに左右側方への3方向の接触滑走運動である。ほぼ同じような運動経路であっても、咬頭嵌合位から各方向へ運動する場合と、各方向から咬頭嵌合位へ向かって運動する場合を比較すると機能的には大いに意味が異なると考えられるが、本研究では鈴木²⁾の測定した顎運動データをそのまま解析に用いたのでデータがたくさん揃っていた咬頭嵌合位からの運動について解析した。

咬頭嵌合位における歯種別接触点数では、第1大臼歯、第2大臼歯で接触点が多く中尾⁹⁾の結果と一致していた。

3) 咬合参照面に対する咬合小面の存在様式について

咬合小面の面積が大きい被験者ほど、いい替えれば咬耗の程度の進んだ被験者ほど咬合参照面に一致する咬合小面の数が増える傾向にあることから以下のことが推定される。歯の萌出後生じる咬耗が生理的現象であり、咬合面が顎運動に調和していく過程である²⁰⁾ならば、その結果咬合小面に到達すると推定される咬合参照面は理論的のみならず臨床的にも有用な基準面となり得る。

VI. 結 論

1. 咬合小面の形態を決定するための基準面として、下顎運動路ならびに相補下顎運動路に沿った咬合参照面を考案した。

2. 安定な咬合接触を得るためには、顎運動もある条件を満たしていなければならない。

3. 咬頭嵌合位ならびに偏心位で咬合接触が存在するためには、上下顎咬合小面の少なくとも一部は咬合参照面に一致した形態でなくてはならない。つまり対合歯の咬合面形態によっては意図する咬合接触を補綴物に付与することが不可能な場合がある。

4. 顎口腔機能に特に異常がなく健全な天然歯列を有する被験者について咬合小面の3次元形態を測定した。

5. 咬合小面の咬合参照面に対する存在様式を明らかにした。

6. 咬合参照面の基準面としての意義を確認した。

7. 顎運動に調和した咬合小面形態についての研究方法を確立し、定量的な咬合診断への道を拓いた。

以上、咬合小面の形態的条件については、ある程度明らかにすることができたが、咬合接触をどこに部位で与えるか、つまり咬頭の位置をどこに定めればよいのか、また各歯をどのように配列すればよいのか、つまり咬合平面をどのように定めるべきかについてはさらに別の要件を考慮に入れるべきだと思われ、その解明については今後の課題としたい。

稿を終るに臨み、終始 ご懇篤なご指導とご校閲を賜りました坂東永一教授に深甚なる謝意を表します。また本研究にご協力下さいました第二歯科補綴学教室医局員各位ならびに被験者の方々に深謝いたします。

文 献

- 1) 中野雅徳, 近藤一雄, 池田隆志, 鈴木 温, 横山正秋, 久保吉廣, 坂東永一: 歯の Guide と顎機能, 下顎運動機能と EMG 論文集, 昭和 58 年度: 151~156, 1984.
- 2) Gysi, A.: Handbuch der Zahnheilkunde, IV, 1~171, Urban und Schwarzenberg, Berlin, 1929.
- 3) 矢崎正方: 下顎運動の解剖学的研究特に義歯の咀嚼能率に及ぼす関係に就いて, 歯科学報, 34: 103~161, 590~636, 707~721, 791~840, 1929.
- 4) Fischer, R.: Die Zahn-, Mund-und Kieferheilkunde, IV, 95~176, Urban und Schwarzenberg, Berlin, 1956.
- 5) 長谷川成男: Gysi 咬合小面学説の再検討, その 1 理論的検討, 補綴誌, 6: 128~156, 1962.
- 6) 鈴木 温: 顎位, 顎運動の表現方法について, 下顎運動機能と EMG 論文集, 昭和 59 年度: 127~134, 1985.
- 7) 尾花甚一: 歯牙咬合小面の傾斜角度について, 口病誌, 24: 40~59, 1957.
- 8) 早川淑子: 臼歯咬合小面に関する研究, 補綴誌, 15: 350~380, 1971.
- 9) 中尾勝彦: 正常天然歯列における咬合小面と歯牙接触に関する研究 (咬頭嵌合位), 補綴誌, 14: 1~21, 1970.
- 10) 中尾勝彦: 正常天然歯列における咬合小面と歯牙接触に関する研究 (後方歯牙接触位, 前方滑走運動, 側方滑走運動), 補綴誌, 16: 289~319, 1972.
- 11) 坂東永一, 藤村哲也, 鈴木 温, 池田隆志, 近藤一雄, 久保吉廣, 中野雅徳, 長谷川成男, 河野正司, 真柳昭弘, 栗山 實, 田端恒雄: デジタル方式による下顎運動測定, 下顎運動機能と EMG 論文集, 昭和 58 年度: 137~143, 1984.
- 12) 鈴木 温: デジタル方式下顎運動測定器による下顎限界運動の 6 自由度解析, 補綴誌, 31: 712~725, 1987.
- 13) 坂東永一, 栗山 實, 河野正司, 中野雅徳, 長谷川成男: 写真撮影による下顎運動測定法, 補綴誌, 23: 677~690, 1979.
- 14) 中尾勝彦, 田中伐平, 田中貴信: 石膏歯列模型の寸法精度, 補綴誌, 15: 178~185, 1971.
- 15) 森谷良彦, 金本愛道, 高木勝憲, 志田啓二, 桑田晋作: 間接模型の寸法精度 (第 1 報), 補綴誌, 17: 72~78, 1973.
- 16) 加藤 均: 歯周組織の機能状態に関する研究 第 2 報 臼歯の機能時の変位と安静時の脈動, 補綴誌, 26: 133~147, 1982.
- 17) 三浦宏之: 機能下にある歯牙の水平面内における変位に関する研究, 補綴誌, 29: 209~228, 1985.
- 18) 幸阪保雄: 歯の動態に関する研究—下顎歯の水平的変位—, 口病誌, 54: 156~174, 1987.
- 19) Meyer, F.S.: The generated path technic in reconstruc-

- tion dentistry, Part I & II, J Prosthet Dent, 9 : 354~366, 432~440, 1959.
- 20) Pankey, L.D. & Mann, A.W. : Oral rehabilitation, Part I & II, J Prosthet Dent, 10 : 135~150, 151~162, 1960.
- 21) McCracken, W.L. : Functional occlusion in removable partial denture construction, J Prosthet Dent, 8 : 955~963, 1958.
- 22) 田端恒雄, 菊池弥太郎, 大杉尚之 : F.G.P. の臨床のために, 補綴臨床, 4 (3) : 305~316, 1971.
- 23) 西川啓介, 近藤一雄, 清水俊也, 久保吉廣, 藤村哲也, 中野雅徳, 坂東永一 : 6 自由度顎運動と 8 ch 筋電図からみた顎口腔系, 補綴誌, 31 (特別号) : 71, 1987.
- 24) 平沼謙二 : 咬合面積並びにその咀嚼効率に及ぼす影響, 補綴誌, 1 : 17~36, 1957.
- 25) 栗木清勝 : 咀嚼能率に関与する因子の研究—咬合面形態・咬合力との関係—, 補綴誌, 22 : 166~183, 1978.
- 26) 坂東永一 : 冠・橋義歯学 (実習指針), 徳島大学歯学部歯科補綴学第 2 講座, 徳島, 1983.
- 27) Williams, C.H.M. : Correction of abnormalities of occlusion, J Am Dent Assoc, 44 : 748~756, 1952.