原 著 論 文

前方咬交の法則に関する定量的検討

佐藤 真二

A Quantitative Analysis of the Articulation Quint in Protrusive Movement

Shinji Satou

Abstract : The Articulation Quint proposed by R. Hanau has been used as a guiding principle of artificial teeth arrangement for providing complete dentures with full balanced occlusion. The quantitative relationship among its five factors, has yet to be clarified, however. Under full balanced occlusion, any facet of a given tooth has the same inclination as the gliding movement of its opposing member, suggesting that tooth movement is a main parameter for describing the afore-mentioned relations. We thus introduced an equation describing protrusive movement of the articulator, and then investigated the direction of this movement on the articulator, yielding the following results : 1) the direction of the movement changes in proportion to the horizontal position of the tooth ; 2) vertical changes in tooth position have little influence on movement direction. From these results, we derived a linear equation approximately describing the functional relationship among the five factors involved in the Articulation Quint, which can be considered to be a quantitative expression of Thielemann's formula.

Key words : articulation quint, artificial teeth arrangement, full balanced occlusion, complete denture, articulator

I. 緒 言

本論文は、全部床義歯の人工歯排列時に調節する5つの要素間の定量的関係について述べたものである。

5つの要素とは、Hanau が Articulation Quint で示した、① 顎路の傾斜度、② 切歯路の傾斜度、③ 咬合平面的傾斜度、④ 調節弯曲の程度、⑤ 咬頭の高さ、である¹⁾。それらの関係は「咬交の法則」として知られ、全面均衡

咬合 (full balanced occlusion) を得るための基本となっている^{2~8)}。この法則は、簡潔ではあるが定量的な具体性に欠けるという欠点がある。そこで Thielemann は、上記の5要素の関係を公式化した⁹⁾が、この公式も依然として概念的なもので、完全に定量的なものではない。

実際の人工歯排列では、これらの原則を基本としながら、中沢の排列法²⁾などを参考にして排列し、最終的には削合によって咬合平衡を得るという方法が採られている^{9,10)}。そのため、咬合平衡時に生じる咬合小面に関しては数多くの報告^{11~20)}があるが、咬合平衡を得るための人工歯排列法自身に関しては、中沢の排列法以来ほとんど報告されていない。そこで著者らは、できるだけ少な

新潟大学歯学部歯科補綴学第一講座 (指導 : 石岡 靖教授)
1st Department of Prosthetic Dentistry, School of Dentistry, Niigata University (Director : Prof. Kiyoshi Ishioka)
平成3年6月6日受付

い割合量で全面均衡咬合が得られる人工歯排列法を確立することを目的として、Articulation Quint の定量的関係について検討した。本論文では、前方滑走運動の場合について述べる。

II. 顎運動と咬合小面形態

全面均衡咬合では、滑走運動中常に対合する咬合小面が接触を保っていなければいけない。その状態としては、① 面と面が接触を保ちながら滑走する、② 下顎の咬合小面の端点が上顎の咬合小面に沿って接触滑走する、③ 上顎の咬合小面の端点が下顎の咬合小面に沿って接触滑走する、の3つの場合があることが知られている²⁰⁾ (図1)。ただし、咬合小面は平面であると仮定している。そのいずれになるかは、顎の回転運動の方向によって決まる。咬合器上では、それらは矢状切歯路傾斜度と矢状顎路傾斜度との大小関係で決まり、①は矢状切歯路傾斜度が矢状顎路傾斜度と等しいとき、②は矢状切歯路傾斜度が矢状顎路傾斜度よりも大きいとき、③は矢状切歯路傾斜度が矢状顎路傾斜度よりも小さいとき、に生じる(図1)。各場合の回転運動は、図1に示すように、①は回転せず並進運動だけとなり、②は開口運動時の回転方向、③は閉口運動時の回転方向となる。

上記の①～③の各場合、咬合小面は任意の傾斜をとれる訳ではなく、顎運動によって一意に決まる²⁰⁾。①では、並進運動だけであるから下顎運動路と相補下顎運動路の傾斜は等しく、咬合小面の傾斜はそれに一致しなければいけない。②では、上顎咬合小面は下顎咬合小面上の接触点の下顎運動路に一致しなければいけない。③では、下顎咬合小面は上顎咬合小面上の接触点の相補下顎運動路に一致しなければいけない。それ以外の傾斜を与えた場合、干渉か離開のいずれかが生じることになる。

本論文では、下顎運動路または相補下顎運動路の方向を、単に運動方向と称することにする。実際の人工歯排列では、一般に歯軸傾斜や調節弯曲を修正することによ

り、人工歯の咬頭斜面の方向を運動方向にできるだけ一致させる方法が採られている。しかし、この修正は排列位置を変化させることになるため、それによって運動方向もまた変化することになる。その変化が修正の効果を補うものであるならばよいが、逆に損なうこともありうる。したがって、修正効果を定量的に理解するためには、まず任意の排列位置における人工歯の運動方向が与えられている必要がある。そこで次章では、咬合器上の任意の点の運動方向を求める方法について述べる。

III. 咬合器上の任意点の運動方向の算出法

本章の1.では、運動方向を定義し、与えられるデータについて述べる。2.では、ある前方咬合位における咬合器の位置と姿勢を求める方法について述べる。3.では、任意点の運動方向の算出法について述べる。

1. 問題の定式化

咬合器のモデルはアルコン型半調節性咬合器とし、左右の矢状顎路傾斜度は等しいものとした。この場合、咬合器の前方滑走運動は常にその回転軸が矢状面と垂直になるため、矢状面内における2次元運動と考えることができる。

咬合器下弓上のある点の運動方向は、運動前の中心咬合位での位置Pからある前方咬合位での位置P'への方向とし、ベクトル $\vec{PP'}$ がカンペル平面と平行に設定された標準咬合平面となす角度 γ で表すことにする(図2-1)。同様に、上弓上のある点の運動方向は、位置QからQ'への方向とし、ベクトル $\vec{QQ'}$ が標準咬合平面となす角度 δ で表すことにする(図2-2)。

咬合器の運動は顎路指導板と切歯路指導板によって規制される。与えられるデータは、①咬合器の寸法(顎頭点と切歯指導釘の位置関係)、②矢状顎路傾斜度 α 、③矢状切歯路傾斜度 β 、④切歯指導釘先端によって規定される切歯指導板上の点(以後、切歯指導点と称する)の

1) 矢状切歯路傾斜度=矢状顎路傾斜度 2) 矢状切歯路傾斜度>矢状顎路傾斜度 3) 矢状切歯路傾斜度<矢状顎路傾斜度

図1 咬合器の運動と対合する咬合小面間の接触滑走運動との関係

図 2 咬合器の運動 ($\alpha < \beta$ の場合)

o-xy: 上顎弓に固定した座標系, O-XY: 下顎弓に固定した座標系

 α : 顎路傾斜度, β : 切歯路傾斜度, θ : 回転角 l_c : 顎頭点の移動距離, l_i : 切歯指導釘先端の移動距離

移動量 l_i の 4 つである (図 2). α と β は, 図 2 に示すように, カンペル平面に対する角度で表した. これらの変数が与えられれば, 咬合器のある前方咬合位における位置と姿勢が一意に定まる.

2. 前方咬合位における咬合器の位置と姿勢の求め方

中心咬合位における顎頭点と切歯指導点の位置を, それぞれ C, I とする (図 2). 切歯指導点の中心咬合位から前方咬合位までの移動距離は与えられているものとし, それを l_i とする. 前方咬合位における顎頭点の位置を C' とし, 中心咬合位で切歯指導点と一致していた切歯指導板上の点が前方咬合位でとる位置を I' とする (図 2). 中心咬合位から前方咬合位までの運動中に咬合器が回転した角度を θ とし, 顎頭点の移動量, すなわち C と C' との距離を l_c とする. θ と l_c は未知であり, これらを求めれば咬合器の位置と姿勢が求まる.

咬合器上弓に固定した座標系を o-xy とし, 原点 o と x 軸は, o が中心咬合位で顎頭点の位置 C に一致し, x 軸がカンペル平面と平行になるように設定する (図 2-1). 中心咬合位における切歯指導点の位置 I の o-xy 系に関する座標を (x_i, y_i) とし, C' と I' の座標をそれぞれ (x_c', y_c') , (x_i', y_i') とすれば, それらの関係は,

$$\left. \begin{aligned} x_c' &= -l_c \cos \alpha \\ y_c' &= -l_c \sin \alpha \\ x_i' &= x_i - l_i \cos (\beta - \theta) \\ y_i' &= y_i - l_i \sin (\beta - \theta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる. 次に咬合器下弓に固定された座標系を

O-XY とし, 原点 O と X 軸は, 中心咬合位で原点 O が顎頭点 C に一致し, X 軸がカンペル平面と平行になるように設定する (図 2-2). 中心咬合位における切歯指導点の位置 I の O-XY 系に関する座標を (X_i, Y_i) とし, C' と I' の座標をそれぞれ, (X_c', Y_c') , (X_i', Y_i') とすれば,

それらの関係は,

$$\left. \begin{aligned} X_c' &= l_c \cos (\alpha + \theta) \\ Y_c' &= l_c \sin (\alpha + \theta) \\ X_i' &= X_i + l_i \cos \beta \\ Y_i' &= Y_i + l_i \sin \beta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる. 顎頭点と切歯指導点との距離は運動の前後で不変であるから,

$$\left. \begin{aligned} x_i'^2 + y_i'^2 &= (x_c' - x_i')^2 + (y_c' - y_i')^2 \\ X_i'^2 + Y_i'^2 &= (X_c' - X_i')^2 + (Y_c' - Y_i')^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots (3)$$

が成立する. 式 (3) の右辺に式 (1), (2) を代入して整理すれば,

$$\left. \begin{aligned} x_i'^2 + y_i'^2 &= \{l_c \cos \alpha + (x_i - l_i \cos (\beta - \theta))\}^2 \\ &\quad + \{l_c \sin \alpha + (y_i - l_i \sin (\beta - \theta))\}^2 \\ X_i'^2 + Y_i'^2 &= \{l_c \cos (\alpha + \theta) - (X_i + l_i \cos \beta)\}^2 \\ &\quad + \{l_c \sin (\alpha + \theta) - (Y_i + l_i \sin \beta)\}^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

を得る. 式 (4) に運動前の切歯指導点の座標 (x_i, y_i) と (X_i, Y_i) , および顎路傾斜度 α , 切歯路傾斜度 β を代入すれば, この式は l_c と θ を未知数とする連立方程式となる. この方程式は次に述べる逐次近似法を用いて解くことができる.

関数 $f(l_c, \theta)$ と $g(l_c, \theta)$ をそれぞれ、

$$\left. \begin{aligned} f(l_c, \theta) &\equiv [l_c \cos \alpha + \{x_i - l_i \cos(\beta - \theta)\}^2 \\ &\quad + [l_c \sin \alpha + \{y_i - l_i \sin(\beta - \theta)\}^2 \\ &\quad - (x_i^2 + y_i^2)] \\ g(l_c, \theta) &\equiv [l_c \cos(\alpha + \theta) - \{X_i + l_i \cos \beta\}^2 \\ &\quad + [l_c \sin(\alpha + \theta) - \{Y_i + l_i \sin \beta\}^2 \\ &\quad - (X_i^2 + Y_i^2)] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

で定義すれば、式(4)は

$$\left. \begin{aligned} f(l_c, \theta) &= 0 \\ g(l_c, \theta) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

と表される。この方程式は非線形であるため、逐次近似を用いて数値解を求める。n 回反復時の未知数 l_c, θ をそれぞれ $l_c(n), \theta(n)$ とし、それらを要素とするベクトルを

$$\mathbf{a}(n) = (l_c(n), \theta(n))^T$$

とする。また、それらを代入した f と g を要素とする 2 次元ベクトルを、

$$\mathbf{h}(n) \equiv (f(l_c(n), \theta(n)), g(l_c(n), \theta(n)))^T$$

とする。Newton 法を用いた逐次近似式は、

$$\mathbf{a}(n+1) = \mathbf{a}(n) - \mathbf{H}(n)^{-1} \mathbf{h}(n) \dots\dots\dots (7)$$

で与えられる。ここで $\mathbf{H}(n)$ は、

$$\mathbf{H}(n) \equiv \begin{vmatrix} \partial f / \partial l_c & \partial f / \partial \theta \\ \partial g / \partial l_c & \partial g / \partial \theta \end{vmatrix}$$

で定義される 2×2 行列であり、 (n) は未知数 l_c と θ に、それぞれ n 回反復時の値 $l_c(n)$ と $\theta(n)$ を代入することを表す。

3. 運動方向の算出法

本節では、1. で定義した咬合器上の任意点の運動方向 r と δ を求める方法について述べる。

下弓上の任意点の O-XY 系に関する座標を (X, Y) とする。それは中心咬合位における o-xy 系に関する座標 (x, y) に一致する。前方咬合位における位置 P' の o-xy 系に関する座標を (x', y') とすると、座標 (x', y') は座標変換式

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{vmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} - \begin{vmatrix} l_c \cos \alpha \\ l_c \sin \alpha \end{vmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

から求まる。

上弓上の任意点の o-xy 系に関する座標を (x, y) とする。それは中心咬合位における o-xy 系に関する座標 (X, Y) に一致する。前方咬合位における位置 Q' の O-XY 系に関する座標を (X', Y') とすると、座標 (X', Y')

は座標変換式

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{vmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{vmatrix} l_c \cos(\alpha + \theta) \\ l_c \sin(\alpha + \theta) \end{vmatrix} \dots\dots\dots (9)$$

から求まる。

運動方向 r は、1. で定義したようにベクトル $\vec{PP'}$ が標準咬合平面となす角度であるから、

$$r = \tan^{-1} \{(Y - y') / (X - x')\} \dots\dots\dots (10)$$

から求めることができる。また、運動方向 δ は、ベクトル $\vec{QQ'}$ が標準咬合平面となす角度であるから、

$$\delta = \tan^{-1} \{(y - Y') / (x - X')\} \dots\dots\dots (11)$$

から求めることができる。

IV. 研究方法

前方滑走運動時に咬合平衡が得られるためには、II. で述べたような顎運動と咬合小面との関係が成立しなければいけない。なおかつ削合量をできるだけ少なくするためには、人工歯排列時に人工歯の咬頭斜面の方向を最終的に得られる咬合小面の方向とできるだけ一致させておく必要がある。そのためには、顎路の傾斜度、切歯路の傾斜度、人工歯、咬合平面など排列以外の要素がすべて与えられているとき、排列位置により運動方向がどのような値となるかを知る必要がある。また、それらの要素が運動方向にどの程度の影響を与えるのかを知る必要がある。

そこで本論文では、まず矢状顎路傾斜度 α と矢状切歯路傾斜度 β の、いくつかの組合せに対する排列位置と運動方向 r, δ との関係について調べた。条件は次のように設定した。III. に従い、咬合器のモデルはアルコン型とし、左右の矢状顎路傾斜度は等しいものとした。切歯指導点の位置は、中心咬合位で顎頭点の前方 120 mm、下方 77 mm とした。すなわち、 $x_i = X_i = -120$, $y_i = Y_i = -77$ とした。標準咬合平面はカンペル平面に平行とし、その位置は顎頭点の下方 34 mm とした。滑走運動量は、前章で述べた切歯指導点の移動距離 l_i で規定し、 $l_i = 1(\text{mm})$ とした。矢状顎路傾斜度 α と矢状切歯路傾斜度 β は、それぞれ 0 度から 60 度まで 10 度おきに 7 通りの値とし、 $\alpha = \beta$ の場合を除いた 42 組の組合せとした。

次に、いくつかの排列位置で運動方向 r, δ を一定の値とする矢状顎路傾斜度 α と矢状切歯路傾斜度 β の組合せを求めた。排列位置は、o-xy 系に関する x, y 座標を $(-30, -34)$, $(-60, -34)$, $(-90, -34)$ とする標準咬

表 1 標準咬合平面の midpoint とその点より 1 mm 変位した点との運動方向の差

表 1-1 上下方向に 1 mm 変位した点との運動方向の差

	矢状顎路傾斜度 α						
	0	10	20	30	40	50	60
矢状切歯路傾斜度 β							
0	—	0.01	0.03	0.06	0.10	0.16	0.24
10	0.01	—	0.02	0.05	0.09	0.15	0.23
20	0.03	0.03	—	0.03	0.08	0.13	0.22
30	0.06	0.06	0.04	—	0.04	0.10	0.18
40	0.11	0.10	0.08	0.05	—	0.07	0.13
50	0.17	0.15	0.12	0.10	0.07	—	0.08
60	0.23	0.21	0.19	0.15	0.11	0.08	—

単位：度

表 1-2 近遠心方向に 1 mm 変位した点との運動方向の差

	矢状顎路傾斜度 α						
	0	10	20	30	40	50	60
矢状切歯路傾斜度 β							
0	—	0.08	0.15	0.21	0.27	0.34	0.41
10	0.09	—	0.10	0.15	0.20	0.26	0.32
20	0.17	0.10	—	0.08	0.13	0.18	0.25
30	0.24	0.15	0.08	—	0.06	0.12	0.18
40	0.30	0.21	0.13	0.06	—	0.07	0.10
50	0.37	0.26	0.18	0.11	0.06	—	0.06
60	0.41	0.30	0.22	0.15	0.09	0.06	—

単位：度

3-1 運動方向 γ の分布 3-2 運動方向 δ の分布

図 3 咬合器上の任意の点の運動方向 (単位：度)

合平面上の 3 点 E, F, G とした。運動方向 γ, δ の例は 20 (度) と 30 (度) とした。

V. 結 果

1. 排列位置と運動方向との関係

図 3-1 に $\alpha=30$ (度)²¹⁾, $\beta=40$ (度) のときの運動方向 γ の 2 次元分布を、図 3-2 に $\alpha=30$ (度), $\beta=10$ (度)¹⁰⁾ のときの運動方向 δ の 2 次元分布を例示した。図中で上下に走る線は、運動方向の等しい点を連ねたものであり、同一線上の点、例えば図中の A, B, C の 3 点では運動方向が同じになる。この線を等運動方向線と称することにする。

等運動方向線は、ほぼ等間隔で分布していた (図 3)。また、カンペル平面と平行に咬合平面を設定した場合、等運動方向線の咬合平面に対する傾斜は急であった。この傾向は、矢状顎路傾斜度 α と矢状切歯路傾斜度 β のどの組合せにおいても同様であった。等運動方向線の間隔は、矢状顎路傾斜度 α と矢状切歯路傾斜度 β との差が

大きいほど密であった。

表 1 には、標準咬合平面の midpoint の運動方向と、その点から 1 mm 上下および近遠心方向に離れた点の運動方向との差を示した。表示値は、上下ないし近遠心方向それぞれ 2 つの差の絶対値の平均とした。この値は、排列位置を 1 mm 変位させると運動方向がどの程度変化するかを具体的に示すものである。両方向とも、矢状顎路傾斜度 α と矢状切歯路傾斜度 β との差が大きいほど運動方向の変動も大きかった。

2. 運動方向を一定にする矢状顎路傾斜度と矢状切歯路傾斜度の組合せ

図 4 に、標準咬合平面上の 3 点 E, F, G の運動方向 γ, δ が、20 (度) 30 (度) になる矢状顎路傾斜度 α と矢状切歯路傾斜度 β の組合せを示した。

運動方向 γ, δ が 20 (度) と 30 (度) それぞれの場合について、E, F, G の位置毎のデータ点に回歸直線を当てはめると、各データ点はほぼ回歸直線上に存在していた。このことから、運動方向を一定にする矢状顎路傾斜

度 α と矢状切歯路傾斜度 β の組合せの関係は、負の比例関係に近いことがわかった。また、位置毎に回帰直線の傾きを観察すると、運動方向 r, δ が 20 (度) と 30 (度) の場合では、ほぼ平行であった。したがって、回帰直線の傾きは排列位置により決まることがわかった。

VI. 考 察

1. 運動方程式について

咬合器の運動方程式としては、すでに野村ら²²⁾、舟久保^{23,24)}などの報告がある。これらの運動方程式は、運動量を顎頭点の移動量で与えているが、臨床的には切歯指導点の移動量で運動量を規定することの方が多い。そこで著者らは、運動量を切歯指導点の移動量で与える運動方程式を導いた。この方程式は、下顎運動と相補下顎運動の両方で定義されており、咬合器の回転量を直接求めることができる。

2. 排列位置と運動方向の関係について

1) 上下の排列位置と運動方向の関係

排列位置が上下に 1 mm 変位した場合の運動方向の変化は、表 1-1 に示したとおり、矢状顎路傾斜度 α と矢状切歯路傾斜度 β との差が著しく大きい場合を除いて、ほとんどが 0.2 (度/mm) 以下でたいへん少ない。咬合平面の傾斜と調節弯曲の付与による排列位置の上下の変位は、数 mm であると考えられるから、これらによる運動方向の変化も少ないことが予想される。例えば、矢状顎路傾斜度が $\alpha=30$ (度)、矢状切歯路傾斜度が $\beta=10$ (度) の場合、排列位置を上下に 5 mm 変位させても、運動方向は表 1-1 の約 5 倍、 ± 0.25 (度) 程度しか変化しない。秋山ら¹⁸⁾も、Gysi 咬合器で標準咬合平面とその上下 3 mm の位置の運動方向を調べ、同様の結果を報告している。したがって、咬合平面の傾斜と調節弯曲の程度の 2 要素は、運動方向にほとんど影響しないものと考えられる。

2) 近遠心的排列位置と運動方向の関係

図 3 の等運動方向線の分布から、運動方向は近遠心的排列位置にほぼ比例して増減することがわかる。またその増減率は、表 1-2 からわかるとおり、矢状顎路傾斜度 α と矢状切歯路傾斜度 β との差にほぼ比例していた。例えば、その差が 10 (度) のときは 0.06~0.1 (度/mm)、20 (度) のときは 0.09~0.17 (度/mm)、30 (度) のときは 0.15~0.24 (度/mm) の値を示した。

調節弯曲は、歯列の連続性を失うことなく、近遠心的

図 4 排列位置 E, F, G において運動方向 r, δ を 20 度と 30 度にする矢状顎路傾斜度 α と矢状切歯路傾斜度 β の関係

排列位置の違いによって変化する運動方向に人工歯咬頭斜面の方向を一致させるために生じるものである。そのため調節弯曲の程度は、近心側臼歯と遠心側臼歯との間の運動方向の差によって決まるものと考えられる。この差は、すでに述べたように、矢状顎路傾斜度 α と矢状切歯路傾斜度 β との差、および臼歯部近遠心径によってほとんど決まることになる。したがって、調節弯曲の程度は、臼歯部近遠心径を与えたなら、顎路の傾斜度と切歯路の傾斜度の 2 要素によって決まる要素であると考えられる。

3. 運動方向を一定にする矢状顎路傾斜度と矢状切歯路傾斜度の組合せについて

図 4 に示した排列位置ごとの回帰直線の傾き (K) は、E, F, G についてそれぞれ $K_E = -0.4$, $K_F = -1.1$, $K_G = -2.3$ となった。一方、各排列位置と顎頭点との距離を d_e 、切歯指導点との距離を d_i とすると、その比 $R = d_i / d_e$ は、E, F, G についてそれぞれ $R_E = 0.5$, $R_F = 1.1$, $R_G = 2.3$ となり、回帰直線の傾き K の絶対値にたいへん近い値を示した。

以上 2 つのことから、運動方向を一定に保つよう矢状顎路傾斜度 α と矢状切歯路傾斜度 β を変化させるためには、おのおのの変化量 $\Delta\alpha$ と $\Delta\beta$ の比を d_i/d_e に一致させ、

$$\Delta\alpha/\Delta\beta \approx d_i/d_e \quad \dots\dots\dots (12)$$

とすればよいことがわかる。したがって、運動方向 (r ,

図 5 咬頭斜面の方向を規定する要素

δ) を T とすれば, T, α, β の関係は,

$$\beta = T(1 + d_i/d_c) - (d_i/d_c)\alpha \quad \cdots (13)$$

で近似できることになる。これを T について解けば,

$$T = (d_i\alpha + d_c\beta)/(d_i + d_c) \quad \cdots (14)$$

となる。この式は、運動方向 T が α と β を $d_i : d_c$ に内分した値で近似できることを示している。人工歯の近遠心的排列範囲は、一般に位置 E から G の範囲内に含まれるため、式 (14) は実際の排列において、ある排列位置での運動方向を求める近似式として利用できるものと考えられる。

4. Articulation Quint の定量的検討

Articulation Quint¹⁾ に示された 5 要素の中で、運動方向に影響を与えるものは、① 顎路の傾斜度と ② 切歯路の傾斜度、および排列位置に影響を与える ③ 咬合平面の傾斜度と ④ 調節弯曲の程度、の 4 要素である。しかし実際には、考察 2-1) で述べたように、① 顎路の傾斜度と ② 切歯路の傾斜度の 2 要素以外はほとんど無視することができる。長谷川^{11), 15), 16)}、舟久保¹⁹⁾ も、前方咬合小面の形態に最も大きく影響するのはこの 2 要素であると報告している。また、考察 3 で述べたように、この 2 要素と運動方向の定量的関係は、式 (14) で近似することができる。

一方、排列される人工歯の咬頭斜面の方向に影響を与える要素は、③ 咬合平面の傾斜度、④ 調節弯曲の程度、⑤ 咬頭の高さ、の 3 要素である。③ 咬合平面の傾斜度はカンペル平面に対する傾斜度 (Op)、④ 調節弯曲の程度は咬合平面に対する傾斜度 (Oc)、⑤ 咬頭の高さは咬頭傾斜度 (Cu)、で表すことにする (図 5)。咬頭斜面の方向を H とすれば、 H, Op, Oc, Cu の関係は、

$$H = Op + Oc + Cu \quad \cdots (15)$$

で与えられる (図 5)。

咬合平衡状態では $T = H$ が成立する必要があるため、式 (14)、(15) から、5 要素 $\{\alpha, \beta, Op, Oc, Cu\}$ の関係は、

$$(d_i\alpha + d_c\beta)/(d_i + d_c) = Op + Oc + Cu \quad \cdots (16)$$

と表される。したがって、5 要素中 3 要素を固定した時、残る任意の 2 要素の相互関係は、すべて比例関係で近似できることがわかる。比例定数は、咬頭斜面の方向に関する要素 $\{Op, Oc, Cu\}$ どうしの組合せでは -1 となり、他の組合せでは排列位置 $\{d_i, d_c\}$ により決まる。この結果式 (16) は、今まで不明確であった「咬交の法則」を定量的に表したものになっている。

式 (16) を Oc について解くと、

$$Oc = (d_i\alpha + d_c\beta)/(d_i + d_c) - (Op + Cu) \quad \cdots (17)$$

となる。この式から Oc は、排列位置 $\{d_i, d_c\}$ によって連続的に増加もしくは減少することがわかる。このため、設定した咬合平面と一致するように人工歯を排列するには、 Oc を近心側から遠心側に向かって負から正または正から負へと変化させる必要がある。もし、運動方向 T と咬頭傾斜度 Cu の差が大きすぎると、 Oc は正だけか負だけの値しかとれないことになり、歯列があらかじめ設定した咬合平面から離れてしまう。したがって、④ 調節弯曲の程度と ⑤ 咬頭の高さは、① 顎路の傾斜度、② 切歯路の傾斜度、③ 咬合平面の傾斜度の 3 要素に従属した要素であり、術者が調節できる独立した要素ではないと考えられる。この点に関しては、Watt ら⁶⁾、秋山ら¹⁸⁾ も同じ意見を述べている。

① 顎路の傾斜度は患者固有のもので術者が調節することはできず、③ 咬合平面の傾斜度は咬合器にトランスファーされた段階ですでに決められている。このため、術者が調節できる要素は ② 切歯路の傾斜度、④ 調節弯曲の程度、⑤ 咬頭の高さの 3 要素であるとされてきた。しかし、これまで述べてきたように、④ 調節弯曲の程度、⑤ 咬頭の高さは他に従属した要素であるから、実際に術者が選択できる要素は、② 切歯路の傾斜度だけである。すなわち、適切な切歯路傾斜度を与えない限り、調節弯曲や咬頭の高さだけで咬合平衡を得ることはほとんど不可能である。

VII. 結 論

咬合器上の人工歯の前方滑走運動方向を求め、これを介して Articulation Quint の定量的関係について検討

し、以下の結論を得た。

1. 排列位置が上下方向に数 mm 以内の範囲で変化しても、運動方向の変化は少なかった。
2. ある排列位置の運動方向は、矢状顎路傾斜度と矢状切歯路傾斜度を、排列位置と顎頭点および切歯指導点との距離の比で内分した値とほぼ一致した(式(14))。
3. 前方滑走運動時に咬合平衡を得ようとした場合、Articulation Quint に示された5要素間の定量的関係は、式(16)の一次式で近似することができる。
4. 5要素の中の、④調節弯曲の程度、⑤咬頭の高さ、の2要素は、①顎路の傾斜度、②切歯路の傾斜度、③咬合平面の傾斜度、の3要素によりほぼ決定される。このため、術者が任意に調節できる要素は、②切歯路の傾斜度だけであると考えてよい。

稿を終るに臨み、ご指導ならびにご校閲の労を賜りました石岡 靖教授に謹んで感謝の意を表します。また、本研究に種々のご助言をいただきました新潟大学工学部情報工学科林 豊彦助教授に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) Hanau, R.L.: Articulation Defined, Analyzed and Formulated, J Am Dent Assoc, 13: 1694~1707, 1926.
- 2) 中沢 勇: 全部床義歯学, 361~383, 永末書店, 東京・京都, 1960.
- 3) 沖野節三: 総義歯学理論編, 17~128, 医歯薬出版, 東京, 1972.
- 4) 青木英夫, 森本克広: 排列の基本, 2. 咬合の法則, 補綴臨床, 6: 251~256, 1973.
- 5) Boucher, C.O., Hickey, J.C. and Zarb, G.A.: Prosthodontic Treatment for Edentulous Patients, 413~446, The C.V. Mosby Co., Saint Louis, 1975.
- 6) Watt, D.M. and Macgregor, A.R.: Designing Complete Dentures, 141~184, 370~396, W.B. Saunders Co., London, 1976.
- 7) Ortman, H.R.: Complete Denture Occlusion, edited by Winkler, S., Essentials of Complete Denture Prosthodontics, 301~341, W.B. Saunders Co., Phila., 1979.
- 8) 林都志夫, 平沼謙二, 根本一男ほか: 林都志夫編, 全部床義歯補綴学, 227~246, 医歯薬出版, 東京, 1982.
- 9) 平沼謙二, 長谷川成男: 全部床義歯の削合, 補綴誌, 8: 283~295, 1964.
- 10) 田村 武, 三木敏一, 田中久敏ほか: 津留宏道, 西浦 恂, 根本一男ほか編, コンプリートデンチャーテクニク, 75~90, 医歯薬出版, 東京, 1974.
- 11) 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.
- 12) 山縣健佑, 岡野 薫, 山田 巖: 自動削合(Gysi 簡易咬合器)による咬合面形態の観察, 第1報 医歯大型 Gysi 簡易咬合器の作図的検討, 補綴誌, 6: 201~206, 1962.
- 13) 長谷川成男: Gysi 咬合小面学説の再検討 その2 実験的検討, 補綴誌, 7: 1~25, 1963.
- 14) 山縣健佑, 岡野 薫, 山田 巖ほか: 自動削合(Gysi 簡易咬合器)による咬合面形態の観察, 第2報 医歯大型 Gysi 簡易咬合器による自動削合面の観察, 補綴誌, 7: 77~82, 1963.
- 15) 長谷川成男: Gysi 咬合小面学説の再検討 その3 統理論的検討, 補綴誌, 7: 206~224, 1963.
- 16) 長谷川成男: Gysi 咬合小面学説の再検討 その4 統々理論的検討, 補綴誌, 9: 203~216, 1965.
- 17) 舟久保太: 半調節性咬合器の運動経路に関する理論的研究, 第4報 咬合局面の解析, 補綴誌, 22: 727~737, 1978.
- 18) 秋山せいこ, 舟久保太, 根本一男: 大学型 Gysi 平均値咬合器における前方咬合局面の理論的研究, 補綴誌, 24: 345~358, 1980.
- 19) 舟久保太: 切歯指導板の調節が前方咬合局面に及ぼす影響, 下顎第1大臼歯近心頬側咬頭の前咬合局面について, 補綴誌, 26: 116~132, 1982.
- 20) 美馬さとみ: 顎運動に調和した咬合小面の形態, 補綴誌, 32: 624~638, 1988.
- 21) 中沢 勇: 下顎運動の補綴学的研究, 無歯顎者の運動, 口病誌, 14: 160~166, 1940.
- 22) 野村孝太郎, 長谷川成男, 坂東永一ほか: Arcon Type 咬合器と Condylar Type 咬合器について, 第1報 矢状面内運動における検討, 補綴誌, 14: 204~214, 1970.
- 23) 舟久保太: 半調節性咬合器の運動経路に関する理論的研究, 第1報 運動経路の式, 補綴誌, 21: 455~471, 1977.
- 24) 舟久保太: 半調節性咬合器の運動経路に関する理論的研究, 第2報 経路の式を用いた解析方法, 補綴誌, 22: 76~90, 1978.