顎路と切歯路の相関性に関する 3 次元的研究

第 1 報 運動学的解析

保母須弥也 高山 寿夫

Three Dimensional Study of Correlation between Condylar Path and Incisal Path

Part 1. Kinematical Analysis

Sumiya Hobo and Hisao Takayama

緒 言

下顎の偏心運動が、顎路と切歯路によってガイドされることは良く知られている。顎路と切歯路の調和は、理想的な咬合にとって欠かすことの出来ない要素であるが、もし両者のあるべき姿を浮き彫りにすることが出来れば、咬合異常と顎関節症の因果関係解明の一助となり、その予防と診断の術式の確立に寄与するはずである。しかし、顎路と切歯路の相関についてはまだ科学的なデータが十分でなく、切歯路は顎路に影響されることなく完全に、独立な経路をとるとするのが今日の咬合学の常識になっている¹⁾。

しかし、わが国の河野ら²⁾は前方運動において、矢状切歯路傾斜度と矢状顎路傾斜度との間に相関を認め、切端咬合位における回転角度 1° を境にして、前方運動を回転量の小さな I 型と回転量の大きな II 型に分類している。また中野³⁾は側方運動について、側方切歯路の Z 実角と非作業側顎路の Z 実角との間に有意水準 0.01 で有意の相関を認め、相関係数 0.58 を得たと報告している。さらに長谷川ら⁴⁾は解析幾何学的手法によって、各下顎運動要素から各歯牙の運動路を算出する方程式群を導出し、作業側顎路が臼歯部および切歯路の運動方向に及ぼす影響について算出例を示している。

これらの研究から、河野らは運動論的には矢状切歯路傾斜度の値は、矢状顎路傾斜度に等しい値からその値に

25° を加えた値までの範囲に限局できると述べ、また中野は側方切歯路の Z 実角と非作業側顎路の Z 実角の相関データから求めた回帰直線を用いることにより前歯誘導を決定できると報じている。さらに長谷川らは彼らの導出した各方程式に具体的な数値を代入することにより、下顎運動要素がどのように各歯牙の運動路を構成しているかを知ることが出来ると述べている。そしてそれぞれの研究データを基盤として、顎路から切歯路を算出するための方法論を確立するために意欲を燃やしていることがうかがえる。このほかにも切歯路について触れた論文は少くないが、臨床の場で切歯路を 3 次元的に設定する具体的な方法はいまだ明示されていない⁵⁻¹¹⁾。そのため今日前歯の補綴に際して、運動学的な配慮がほとんど払われていないのは周知のとおりである。

著者らは顎路と切歯路の相関に関する理論を構築するにあたり、従来のように解析幾何学的手法を用いたのでは演算に大型コンピュータが必要になり、仮に顎路と切歯路の相関が解明されたとしても、これを臨床の場で役立てることはできないと考えた。運動学の原理によれば、3 次元空間内における剛体の自由な運動は、剛体上に任意に設定した基準点の 3 次元変位と、その点の回りの 3 次元回転とによって表すことができる。この原理と微小回転を前提とすることにより、剛体上の任意の点の 3 次元変位は基準点の 3 つの変位成分と、その回りの 3 つの回転成分の 1 次式として、簡潔なかたちで十分な近似精度をもって表すことができる。

本研究は上記の考え方にもとづき運動学の一般理論から、下顎運動に最も適した形で、かつマイクロ・コンピュータを用いて演算可能な程度に簡潔な解析的表現を導

図1 上顎に固定した基準座標系と下顎上に設定した基準点

上顎基準座標系:

X軸: 前後(前を正), Y軸: 左右(右を正), Z軸: 上下(下を正)

下顎基準点(運動座標系原点):

前方運動: 顎頭間軸中点M

右側方運動: 右顎頭中心(右 Cross Point) C

左側方運動: 左顎頭中心(左 Cross Point) C'

3次元回転角: δ, γ, θ

出し, その近似演算精度が十分に高いことを確認した上で, 顎路と切歯路との間の理論相関式を導くことを目的としている。ちなみに本研究における前方運動の基準点は, 河野¹²⁾ が存在を実証した「全運動軸」上にとり, また側方運動の基準点は著者¹³⁾ が定義し, 保母¹⁴⁾ がその存在を検証した「Cross Point」上にとり, それぞれにおける下顎上の任意点の3次元変位を解析することとした。

研究方法

1. 下顎運動の解析的表現方法

3次元空間内の剛体に固定された運動座標系が, 運動開始時に基準座標系と平行であったとし, その位置から回転をともなう運動を行ったとする。運動開始後任意の時点で, 運動座標系の各軸が基準座標系のそれぞれの軸に対してもつ方向余弦が, $l_1, l_2, l_3: m_1, m_2, m_3; n_1, n_2, n_3$ になり, かつ運動座標系の原点の基準座標系に対する3次元変位が dx, dy, dz であったとする。そして運動座標系の回転を表すマトリクス R をつぎのように定義する。

$$R = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

これにより運動座標系の位置(A, B, C)にある剛体上の, 任意の一点の基準座標系に対する3次元変位 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ は, 運動学にもとずき(1)式の回転マトリクスと,

つぎの(2)式によって定義される単位マトリクス E を用いて(3)式のように表される。

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = (R - E) \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{pmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

(3)式の右辺の第1項は剛体の3次元回転による成分, 第2項は剛体の3次元平行移動による成分である。

下顎を剛体とみなして下顎運動を解析的に表現するために, 図1に示すように上顎に固定した基準座標系を設定し, 前後方向をX軸, 左右方向をY軸, 上下方向をZ軸とし, それぞれ前, 右, 下を正とした。その結果 X-Y 面は水平面, Y-Z 面は前頭面, Z-X 面は矢状面となる。本研究では運動座標系の原点を, 前方運動では顎頭間軸の中点, 左右の側方運動ではそれぞれ作業側の顎頭中心に設定したほか, 顎頭間軸として全運動軸を用い, 顎頭中心として Cross Point を使うことは前述した。

下顎に固定した運動座標系の各軸を x 軸, y 軸, z 軸とし, 下顎が運動開始位置すなわち中心位から回転を伴う運動を行って任意の位置に達したとする。図2上図に示すように運動座標系の y 軸が X-Y 面内で基準座標系の Y 軸となす角のラジアン表示(上からみて時計回りの向きを正)を δ , y 軸が Y-Z 面内で Y 軸となす角のラジアン表示(前からみて時計回りの向きを正)を γ , 図2下図に示すように回転 δ および γ が行われた後 z-x 面が y 軸の回りに回転する角のラジアン表示(右からみて時計回りの向きを正)を θ とすると, 3次元回転 δ, γ, θ , および前述の3次元変位 dx, dy, dz により下顎が任意の回転を伴う運動を行った後の位置および姿勢が決定される。

そこで上記3次元回転 δ, γ, θ により前述の回転マトリクス R を表現することにし, それを(3)式に代入すると下顎上の任意の一点の3次元変位 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ が3次元回転 δ, γ, θ および3次元変位 dx, dy, dz の6自由度で表現できることになる。

3次元回転 δ, γ, θ が微小量で2次以下の微小項が省略できる場合の1次近似式は, 運動学の一般理論でよく知られており, 上記のように δ, γ, θ を定義したときの回転マトリクス R はつぎようになる。

$$R = \begin{pmatrix} 1 & -\delta & -\theta \\ \delta & 1 & \gamma \\ \theta & -\gamma & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

図 2 運動座標系の 3 次元回転

上図：

X, Y, Z : 基準座標系の各軸

y : 運動座標系の y 軸

 δ : 運動座標系の y 軸が X-Y 面内で基準座標系の Y 軸となす角のラジアン表示 (上から見て時計回りの向きを正) γ : 運動座標系の y 軸が Y-Z 面内で基準座標系の Y 軸となす角のラジアン表示 (前から見て時計回りの向きを正)

太い実線 : Y 軸上の単位ベクトル

下図：

x, y, z : 運動座標系の各軸

 θ : 回転 δ および γ が行われた後 z-x 面が y 軸の回りに回転する角のラジアン表示 (右から見て時計回りの向きを正)

したがって(4)式を(2)式に代入することにより、下顎上の任意の一点の 3 次元変位を表す 1 次元近似式はつぎのように表せる。

表 1 下顎上の任意の点の 3 次元変位

$$\begin{aligned}\Delta X &= -B \times \delta - C \times \theta + \Delta x \\ \Delta Y &= C \times \gamma + A \times \delta + \Delta y \\ \Delta Z &= A \times \theta - B \times \gamma + \Delta z\end{aligned}\quad (6)$$

(A, B, C) : 下顎上の任意点の座標

 $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$: 点 (A, B, C) の 3 次元変位 $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$: 運動座標系の原点の基準座標系に対する 3 次元変位 δ, γ, θ : 原点の回りの 3 次元回転角

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\delta & -\theta \\ \delta & 0 & \gamma \\ \theta & -\gamma & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} \quad \cdots \cdots (5)$$

(5)式のマトリクス表示を、通常の式のかたちには書き直すと表 1 (6)式ようになる。

本研究では表 1 の 1 次近似式により解析を行うが、その近似精度を点検するために、別に 2 次の微小項まで含む 2 次近似式を導出することとした。それにはまず回転マトリクス R を近似演算なしで 3 次元回転 δ, γ, θ により表現することから始めなければならない。

回転 R を回転 δ , 回転 γ , 回転 θ に分解して考え、それぞれの回転マトリクスを $R_\delta, R_\gamma, R_\theta$ とすると、回転マトリクスはつぎのように表せる。

$$R = R_\theta R_\gamma R_\delta \quad \cdots \cdots (7)$$

しかし厳密には図 2 に示すように回転 δ を先に行った場合、つぎに行うべき回転は γ' であり、回転 γ を先に行った場合、つぎに行うべき回転は δ' となる。そして運動学の教えるところにより $R_\gamma R_\delta$ と $R_\delta R_\gamma$ は必ずしも一致しない。本研究では、この難点を積分手法により解決することとした。すなわち回転 δ と回転 γ を限りなく小さい回転に分割し、両者を交互に行って実際の顎路に沿った積分演算を実行すれば上記のジレンマが解消できる。以上のような方法で、下顎上の任意の一点の 3 次元変位を表す 2 次近似式を導出することができ、それによって運動学で既知の 1 次近似式表 1 (6)式の近似精度を点検することができる。

2. 限界運動の一般式の導出方法

つぎに表 1 (6)式を下顎の各種限界運動に適合するように書き換えることとする。具体的には表 1 (6)式を運動座標系の y 軸 (顎頭間軸) 上の特定点に適用し、式中の各項と顎路の各ガイド要素とを比較することにより、以下に方法を示すように、下顎の各種限界運動の解析に適したかたちに変形することが出来る。

(1) 前方および開閉運動

図3 前方運動における顎頭間軸中点の矢状面内運動軌跡

太い実線：矢状前方類路の左右平均

Ω_p ：矢状前方類路傾斜度の左右平均

Δ_p ：前方類路長の左右平均

Δ_x ：前方運動における下顎の平行移動の前後成分

Δ_z ：前方運動における下顎の平行移動の上下成分

前方および開閉運動では、運動座標系の原点を全運動軸の中点に設定した。この点においては $A=B=C=0$ となる。この点の矢状面内運動軌跡では、矢状類路傾斜度は矢状前方類路傾斜度の左右平均 (Ω_p とする) に等しく、軌跡の長さは前方類路長の左右平均 (Δ_p とする) に等しくなる。したがって図3に示すように表1(6)式における Δx と Δz を定めることができる。

実際の前方および開閉運動では左右のぶれを生ずるが、このぶれは再現性のないものであり、かつ側方運動が混入したもののみなせるので、解析上では除外しても全く支障がないはずである。このことは ΔY が常に零であるとする条件と等価だから、前方および開閉運動においては表1(6)式で δ , r , および Δy を零とおいてよいことになる。なお θ は定義により、運動座標系の y 軸すなわち顎頭間軸の回りの回転で蝶番運動回転角を表している。以上のような方法で、表1(6)式から前方および開閉運動の一般式を導出することができる。

(2) 左右の側方運動

左右の側方運動では、運動座標系の原点を作業側の顎頭中心に設定した。この点では $A=B=C=0$ となる。そして顎頭中心は全運動軸上の「Cross Point」においた。作業側の Cross Point の平均軌跡は、顎頭間軸上を外側方に向かうことが検証されているので、表1(6)式における2つの矢状面成分 Δx と Δz を零とみなし、この

図4 側方運動における非作業側顎頭中心の水平面内運動軌跡

太い実線：水平側方類路

Δ_l ：側方類路長（水平面投影を図示）

β ：水平側方類路上の一点と運動開始点（中心位）を結ぶ線が矢状面となす角（一般化された定義による Bennett 角）

S_c ：Immediate Sideshift

P ：Progressive Sideshift

ΔX_c ：非作業側顎頭中心の前後移動距離

ΔY_c ：非作業側顎頭中心の上下移動距離

前提のもとに側方運動の一般式を導出することができる。なおこのように前提することの意義と、この前提が成り立たない場合の補正法については考察でふれることとする。

つぎに非作業側の顎頭中心は、運動座標系の y 軸上で原点から顎頭間距離 (L とする) だけ離れた距離にあるので、 $A=0$, $B=-L$ (符号は右側方運動の場合), $C=0$ となる。したがって非作業側の顎頭中心に、表1(6)式を適用して求められる ΔX , ΔY , ΔZ (ΔX_c , ΔY_c , ΔZ_c とする) と類路ガイド要素とを比較することにより、つぎのような関係式が求められる。まず矢状面では矢状側方類路傾斜度を Ω_l として、つぎの関係がある。 $\Delta X_c = L \times \tan \delta = L \times \delta$, $\Delta Z_c = L \times \tan r = L \times r$ でありかつ Ω_l の定義を用いて、

$$\tan \Omega_l = \frac{\Delta Z_c}{\Delta X_c} = \frac{r}{\delta} \quad \text{.....(8)}$$

また水平面では図4に示すような Bennett 角を β とすると、 $\Delta X_c = L \times \delta$, $\Delta Y_c = \Delta y$ を用い、

$$\tan \beta = \frac{\Delta Y_c}{\Delta X_c} = \frac{\Delta y}{L \times \delta} \quad \text{.....(9)}$$

図 5 前方切歯路のガイド要素の定義

という関係が求められる。ここで(9)式における β は、図 4 に示すように水平側方顆路上の一点と運動開始点(中心位)を結ぶ線が矢状面となす角で、一般化された定義による Bennett 角(または水平側方顆路角)を表し、これは顆路長によって変化する。さらに Immediate Sideshift (S_c) と Progressive Sideshift (P) の計測値が得られている場合には、図 4 に示すように $\Delta y = S_c + \Delta X_c \times \tan P$ とおけるので、 $\Delta X_c = L \times \delta$ を用いて(9)式の代りにつぎのように表せる。

$$\Delta y = S_c + L \times \tan P \times \delta \quad (10)$$

または

$$\tan \beta = \frac{S_c}{L \times \delta} + \tan P$$

なお θ は定義により運動座標系の y 軸、すなわち顆頭間軸の回りの蝶番運動回転角を表している。また δ は定義により、側方運動回転角の水平面投影を表している(以下水平側方運動回転角とよぶこととする、図 2 参照)。以上のような方法で、表 1 (6)式から左右の側方運動における一般式を導出することができる。

3. 顆路と切歯路の相関式の導出方法

前項で導出した下顎の、各種限界運動の一般式により、下顎に固定した運動座標系上の位置(A, B, C)にある任意の一点の 3 次元変位 ΔX , ΔY , ΔZ を求めることができる。そして上記任意の一点を切歯点とし、その点における ΔX , ΔY , ΔZ (ΔX_i , ΔY_i , ΔZ_i とする)を用いて切歯路の各ガイド要素を表現することにより、顆路ガイド要素と切歯路ガイド要素の間の相関式を導出することができる。

図 5 および 6 は著者らの用いている切歯路ガイド要素の定義図で、前方切歯路の矢状面投影が水平基準面となす角を矢状前方切歯路傾斜度 Ω_{ip} 、側方切歯路の矢状面投影が水平基準面となす角を矢状側方切歯路傾斜度

図 6 側方切歯路のガイド要素の定義

Ω_{il} 、側方切歯路の前頭面投影が水平基準面となす角を前頭側方切歯路傾斜度 Φ_{il} 、側方切歯路の水平面投影が正中面となす角を水平側方切歯路角 Ψ_{il} とよんでいる。

図 5 および 6 に示すように上記 Ω_{ip} , Ω_{il} , Φ_{il} , Ψ_{il} と切歯点における ΔX_i , ΔY_i , ΔZ_i との間にはつぎのような関係式が成立する。

(1) 前方運動

$$\tan \Omega_{ip} = \frac{\Delta Z_i}{\Delta X_i} \quad (11)$$

(2) 左右の側方運動

$$\tan \Omega_{il} = \frac{\Delta Z_i}{\Delta X_i} \quad (12)$$

$$\tan \Phi_{il} = \frac{\Delta Z_i}{\Delta Y_i} \quad (13)$$

$$\tan \Psi_{il} = \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} \quad (14)$$

(11)~(14)式において ΔX_i , ΔY_i , ΔZ_i は、前方運動または左右それぞれの側方運動における値を用いるものとする。そして切歯路に現れる Immediate Sideshift (横ずれ)を S_i とし、顆路における(10)式に対応して切歯路を表すと、(13)式および(14)式における ΔY_i を $\Delta Y_i - S_i$ で置き換えればよいことになる。正常な有歯顎では $S_c \approx S_i$ であるべきことが推定されるが、 $S_c = S_i$ である場合は側方運動の初期に、下顎全体が Immediate Sideshift に相当する側方平行移動を行うことになるので、この部分の運動を分離して取り扱うのが賢明である。以上のような方法で、顆路ガイド要素と切歯路ガイド要素の間の相関式を導出することができる。

研究結果

1. 2 次の微小項を含む近似式

下顎運動を 1 次近似で解析的に表現した表 1 (6)式の近似精度をチェックするために、研究方法 1. の末尾にのべた方法により、回転マトリクス R の近似演算を含まない表現から出発して 2 次の微小項を含む近似式を導出

表 2 任意の 3 次元回転の回転マトリクス R の各成分

$$R_{\delta} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2 \delta}} & \frac{-\tan \delta}{\sqrt{1+\tan^2 \delta}} & 0 \\ \frac{\tan \delta}{\sqrt{1+\tan^2 \delta}} & \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2 \delta}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$R_{\gamma} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2 \gamma}} & \frac{\tan \gamma}{\sqrt{1+\tan^2 \gamma}} \\ 0 & \frac{-\tan \gamma}{\sqrt{1+\tan^2 \gamma}} & \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2 \gamma}} \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$R_{\delta'} = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{1+\tan^2 \gamma}}{\sqrt{1+\tan^2 \delta + \tan^2 \gamma}} & \frac{\tan \delta}{\sqrt{1+\tan^2 \delta + \tan^2 \gamma}} & 0 \\ \frac{-\tan \delta}{\sqrt{1+\tan^2 \delta + \tan^2 \gamma}} & \frac{\sqrt{1+\tan^2 \gamma}}{\sqrt{1+\tan^2 \delta + \tan^2 \gamma}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

$$R_{\gamma'} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sqrt{1+\tan^2 \delta}}{\sqrt{1+\tan^2 \delta + \tan^2 \gamma}} & \frac{\tan \gamma}{\sqrt{1+\tan^2 \delta + \tan^2 \gamma}} \\ 0 & \frac{-\tan \gamma}{\sqrt{1+\tan^2 \delta + \tan^2 \gamma}} & \frac{\sqrt{1+\tan^2 \delta}}{\sqrt{1+\tan^2 \delta + \tan^2 \gamma}} \end{pmatrix} \quad (18)$$

$$R_{\theta} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (19)$$

δ : 側方運動回転角の水平面投影
 γ : 側方運動回転角の前頭面投影
 θ : 蝶番運動回転角
 δ' : γ, δ の順に回転した場合の δ 値
 γ' : δ, γ の順に回転した場合の γ 値
 R_{δ} : 回転 δ の回転マトリクス
 R_{γ} : 回転 γ の回転マトリクス
 $R_{\delta'}$: 回転 δ' の回転マトリクス
 $R_{\gamma'}$: 回転 γ' の回転マトリクス
 R_{θ} : 回転 θ の回転マトリクス

した。

表 2 に示した (15)~(18) 式は研究方法 1. でのべた回転マトリクス R の回転運動成分 $R_{\delta}, R_{\gamma}, R_{\delta'}, R_{\gamma'}$ を図 2 上図にもとずいて算出した結果であり, (19) 式は回転マトリクス R の蝶番回転運動成分 R_{θ} を図 2 下図にもとずいて算出した結果である。これらの式は近似演算を含

表 3 任意の 3 次元微小回転の回転マトリクス R の各成分 (2 次近似)

$$R_{\gamma'} R_{\delta} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{\delta^2}{2} & -\delta & -\delta\gamma \\ \delta & 1 - \frac{(\delta^2 + \gamma^2)}{2} & \gamma \\ 0 & -\gamma & 1 - \frac{\gamma^2}{2} \end{pmatrix} \quad (20)$$

$$R_{\delta'} R_{\gamma} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{\delta^2}{2} & -\delta & 0 \\ \delta & 1 - \frac{(\delta^2 + \gamma^2)}{2} & \gamma \\ -\delta\gamma & -\gamma & 1 - \frac{\gamma^2}{2} \end{pmatrix} \quad (21)$$

$$R_{\gamma} R_{\delta} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{\delta^2}{2} & -\delta & -\frac{\delta\gamma}{2} \\ \delta & 1 - \frac{(\delta^2 + \gamma^2)}{2} & \gamma \\ -\frac{\delta\gamma}{2} & -\gamma & 1 - \frac{\gamma^2}{2} \end{pmatrix} \quad (22)$$

$$R_{\theta} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{\theta^2}{2} & 0 & -\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \theta & 0 & 1 - \frac{\theta^2}{2} \end{pmatrix} \quad (23)$$

δ : 側方運動回転角の水平面投影
 γ : 側方運動回転角の前頭面投影
 θ : 蝶番運動回転角

$R_{\gamma'} R_{\delta}$: δ, γ の順に回転した場合の中間合成回転マトリクス (2 次近似)
 $R_{\delta'} R_{\gamma}$: γ, δ の順に回転した場合の中間合成回転マトリクス (2 次近似)
 $R_{\delta} R_{\gamma}$: 限りなく小さい回転を交互に繰返した場合の δ と γ の合成回転マトリクス (2 次近似)
 R_{θ} : 回転 θ の回転マトリクス (2 次近似)

んでいない。

表 3 (20), (21) 式は回転 δ と回転 γ の合成を求める際に, 順序を逆にして演算した $R_{\gamma} R_{\delta}$ と $R_{\delta} R_{\gamma}$ の算出結果である。(20), (21) の算出においては δ と γ が微小量であることを前提に, Taylor 展開を用いて 2 次の微小項まで求め, 3 次以上の微小項を省略した。研究方

表 4 回転 δ, γ, θ を合成した回転マトリクス R と R-E

$$R = R_\theta R_\gamma R_\delta = \begin{pmatrix} 1 - \frac{(\delta^2 + \theta^2)}{2} & -\delta & -\theta - \frac{\delta\gamma}{2} \\ \delta + \gamma\theta & 1 - \frac{(\delta^2 + \gamma^2)}{2} & \gamma - \delta\theta \\ \theta - \frac{\delta\gamma}{2} & -\gamma & 1 - \frac{(\gamma^2 + \theta^2)}{2} \end{pmatrix} \quad (24)$$

$$R-E = \begin{pmatrix} -\frac{(\delta^2 + \theta^2)}{2} & -\delta & -\theta - \frac{\delta\gamma}{2} \\ \delta + \gamma\theta & -\frac{(\delta^2 + \gamma^2)}{2} & \gamma - \delta\theta \\ \theta - \frac{\delta\gamma}{2} & -\gamma & -\frac{(\gamma^2 + \theta^2)}{2} \end{pmatrix} \quad (25)$$

δ : 側方運動回転角の水平面投影
 γ : 側方運動回転角の前頭面投影
 θ : 蝶番運動回転角
R: 任意の 3 次元微小回転の回転マトリクス (2 次近似)
E: 単位マトリクス

法 1. で予測したように $R_\gamma R_\delta$ と $R_\delta R_\gamma$ は完全には一致せず、行列の第 1 行第 3 列の要素と第 3 行第 1 列の要素が入れ換ったかたちになっている。そこで研究方法 1. で述べたように、積分手法を用いて実際の顎路に沿って演算した結果を $R_\gamma R_\delta$ として表 3 (22) 式に示した。表 3 (23) 式は (19) 式に示した R_θ を、 θ が微小量であることを前提に Taylor 展開し 3 次以上の微小項を省略したものである。

表 4 (24) 式は、表 3 (22) 式と (23) 式を掛け合せた回転マトリクス R から、乗算により生じた 3 次以上の微小項を省略したもので、(25) 式は (24) 式から単位マトリクス E を差し引いたものである。また表 5 (27) 式は (25) 式を研究方法 1. に示した (3) 式に代入したマトリクス表示を通常の式のかたち書き直したものである。(27) 式により 2 次の微小項まで含む下顎運動の解析的表現が導出された。表 5 (27) の各式の右辺から表 1 (6) の各式の右辺を差し引いたものをそれぞれ $\Delta\Delta X$, $\Delta\Delta Y$, $\Delta\Delta Z$ と表すことにすると表 5 (28) 式のようになる。(28) 式は 2 次の微小項のすべてを含んでいるので、 $\Delta\Delta X$, $\Delta\Delta Y$, $\Delta\Delta Z$ は表 1 (6) 式にもとづく本研究における下顎運動の解析の近似精度を表すことになる。

以上を要約すると、下顎上の任意の一点の 3 次元変位を表す 2 次近似式が導出され、これにより運動学で既知の 1 次近似式表 1 (6) 式を下顎運動に適用した場合の近似精度を点検することができる。

2. 下顎限界運動の一般式

下顎運動を 1 次近似で解析的に表現した表 1 (6) 式にもとずき、研究方法 2. で述べた方法を用い、下顎の前方および開閉運動と左右の側方運動にそれぞれ適合させた一般式を導出した。

(1) 前方および開閉運動

矢状前方顎路傾斜度の左右平均を Ω_p 、前方および開閉運動における左右平均顎路長を Λ_p とすると、研究方法 2. の図 3 により表 1 (6) 式の Δx と Δz はそれぞれつぎのように求められる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= \cos \Omega_p \times \Lambda_p \\ \Delta z &= \sin \Omega_p \times \Lambda_p \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (29)$$

表 6 (30) 式は (29) 式を表 1 (6) 式に代入し、 ΔY は不確定な横ぶれであるとして除き、かつ δ と γ を零とおいて求めた前方および開閉運動における一般式である。そのさい表 1 (6) 式における θ の代りに、前方および開閉運動における蝶番運動回転角を Θ_p と表示した。

(2) 左右の側方運動

非作業側顎路の矢状側方顎路傾斜度を Ω_l 、一般化された定義による Bennett 角を β とすると、研究方法 2. の (8) 式から $\gamma = \tan \Omega_l \times \delta$ が求められる。また (9) 式により $\Delta y = L \times \tan \beta \times \delta$ となる。表 7 (31) 式はこれらの γ と Δy を表 1 (6) 式に代入し、研究方法 2. で述べたように矢状面成分 Δx と Δz を零とおき、式の表現を整理することによって求めた左右側方運動における一般式である。

表 5 2次の微小項まで含む下顎運動の解析的表現

$$\begin{aligned}\Delta X &= -B \times \delta - C \times \theta + \Delta x \\ &\quad - A \times \frac{(\delta \times \delta + \theta \times \theta)}{2} - C \times \frac{\delta \times r}{2} \\ \Delta Y &= C \times r + A \times \delta + \Delta y \\ &\quad - B \times \frac{(\delta \times \delta + r \times r)}{2} + (A \times r - C \times \delta) \times \theta \\ \Delta Z &= A \times \theta - B \times r + \Delta z \\ &\quad - C \times \frac{(r \times r + \theta \times \theta)}{2} - A \times \frac{\delta \times r}{2}\end{aligned}\quad (27)$$

$$\begin{aligned}\Delta \Delta X &= -A \times \frac{(\delta \times \delta + \theta \times \theta)}{2} - C \times \frac{\delta \times r}{2} \\ \Delta \Delta Y &= -B \times \frac{(\delta \times \delta + r \times r)}{2} + (A \times r - C \times \delta) \times \theta \\ \Delta \Delta Z &= -C \times \frac{(r \times r + \theta \times \theta)}{2} - A \times \frac{\delta \times r}{2}\end{aligned}\quad (28)$$

(A, B, C): 下顎上の任意点の座標
($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$): 点 (A, B, C) の3次元変位
($\Delta x, \Delta y, \Delta z$): 運動座標系の原点の基準座標系に対する3次元変位
 δ : 側方運動回転角の水平面投影
 r : 側方運動回転角の前頭面投影
 θ : 蝶番運動回転角
 $\Delta \Delta X, \Delta \Delta Y, \Delta \Delta Z$: 点 (A, B, C) の3次元変位の2次微小項(側方運動)
(27) 式: 通常のかたちの式(2次近似)
(28) 式: 2次微小項

表 6 前方および開閉運動における一般式

$$\begin{aligned}\Delta X &= \cos \Omega_p \times \Lambda_p - C \times \oplus_p \\ \Delta Z &= \sin \Omega_p \times \Lambda_p + A \times \oplus_p\end{aligned}\quad (30)$$

(A, C): 下顎上の任意点の矢状面座標
($\Delta X, \Delta Y$): 点 (A, B, C) の矢状面内変位
 Ω_p : 矢状前方顎路傾斜度
 Λ_p : 前方顎路長
 $\oplus_p$: 前方蝶番運動回転角

そのさい実用の便宜上 B および δ の値が常に正の値をとり、かつ左右側方運動のいずれの場合にも同じ形の式が適用できるように符号を調整した。また表 1 (6) 式における θ の代りに左右側方運動における蝶番運動回転角を Θ_i と表示した。 δ は前述のように水平側方運動回転角である。

以上を要約すると、下顎の前方・開閉運動および左右の側方運動において、下顎上の任意の1点の3次元変位

表 7 左右の側方運動における一般式

$$\begin{aligned}\Delta X &= B \times \delta - C \times \oplus_i \\ \Delta Y &= (C \tan \Omega_i + A + L \tan \beta) \times \delta \\ \Delta Z &= A \times \oplus_i + B \tan \Omega_i \times \delta \\ S_c &= S_i (=S) \text{ のとき,} \\ L \tan \beta \times \delta &= S + L \tan P \times \delta\end{aligned}\quad (31)$$

(A, B, C): 下顎上の任意点の座標
($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$): 点 (A, B, C) の3次元変位
 δ : 水平側方運動回転角
 $\oplus_i$: 側方蝶番運動回転角
 Ω_i : 矢状側方顎路傾斜度
 L : 顎頭間距離
 β : 一般化された定義による Bennett 角
 S_c, S_i, S : 顎路, 切歯路, および下顎全体の Immediate Sideshift
 P : Progressive Sideshift

を表す一般式(表 6 (30) 式および表 7 (31) 式)が導出された。これらの式は下顎運動中の切歯路や、臼歯路の解析に一般的に適用することができる。

3. 顎路と切歯路の相関式

前項で導出した下顎運動の一般式(30)および(31)は、下顎上の任意の一点の3次元変位に適用して一般的に成り立つ解析的表現であるが、これを限界運動中の切歯路に適用し、かつ研究方法 3. のべた方法を用いて、顎路ガイド要素と切歯路ガイド要素の相関式を導出した。そのさい下顎上の標点 (A, B, C) として切歯点をとることを示すため suffix i をつけて (A_i, B_i, C_i) とし、かつ B_i の値は顎頭間距離 L の2分の1とした。

(1) 前方運動

矢状前方切歯路傾斜度を Ω_{ip} とし、研究方法 3. の(11)式に表 6 (30) 式を代入することにより、前方顎路と前方切歯路の相関式を導出した結果を表 8 (32) 式に示す。(32) 式は矢状前方顎路傾斜度 Ω_p が既知であり、かつ一定の前方顎路長 Λ_p 当りの前方蝶番運動回転角 Θ_p が与えられれば、矢状前方切歯路傾斜度が算出できることを示している。表 8 (33) 式は(32)式を Θ_p について解いた結果である。

(2) 左右の側方運動

矢状側方切歯路傾斜度を Ω_{il} 、前頭側方切歯路傾斜度を Φ_{il} 、水平側方切歯路角を Ψ_{il} とし、研究方法 3. の(12)~(14)式に表 7 (31) 式を代入することにより側方顎路と側方切歯路の相関式を導出し、その結果を表 9 (34) 式に示す。(34) 式は左右それぞれの矢状側方顎路

表 8 前方切歯路と前方顎路の相関式

$$\tan \Omega_{ip} = \frac{\sin \Omega_p \times \Delta_p + A_i \times \Theta_p}{\cos \Omega_p \times \Delta_p - C_i \times \Theta_p} \quad (32)$$

$$\Theta_p = \frac{(\cos \Omega_p \times \tan \Omega_{ip} - \sin \Omega_p) \times \Delta_p}{A_i + C_i \tan \Omega_{ip}} \quad (33)$$

Ω_{ip} : 矢状前方切歯路傾斜度
 (A_i, C_i) : 切歯点の矢状面座標
 Ω_p : 矢状前方顎路傾斜度
 Δ_p : 前方顎路長
 Θ_p : 前方蝶番運動回転角

傾斜度 Ω_i と、一般化された定義による Bennett 角 β が既知であり、かつ一定の水平側方運動回転角 δ 当りの蝶番運動回転角 Θ_i が与えられれば、側方切歯路の各ガイド要素が算出できることを示している。表 9 (35) 式は (34) 式を Θ_i について解いた結果である。上記水平側方運動回転角 δ と、側方運動における非作業側顎路長 (Λ_i とする) との間にはつぎのような関係式がある。

$$\delta \div \sin \delta = \frac{\cos \Omega_i \times \Lambda_i}{L \times \sqrt{1 + \cos^2 \Omega_i \times \tan^2 \beta}} \quad \cdots \cdots (36)$$

そこで上記水平側方運動回転角 δ の代りに、非作業側側方顎路長 Λ_i を用いることができ、一定の側方顎路長 Λ_i 当りの蝶番運動回転角が与えられれば、側方切歯路の各ガイド要素が求められることになる。

以上を要約すると、一定の顎路長当りの蝶番運動回転角を介在パラメータとして、顎路のガイド要素と切歯路のガイド要素との相関を表す演算式 (表 8 (32) 式および表 9 (34) 式) が導出された。これらの式を用いて下顎の限界運動における顎路と切歯路の相関の解析が可能になった。

4. 数値例による試算結果

研究結果 1~3 項において導出した下顎運動に関する演算式に、実際の数値例を代入して切歯点における近似精度および切歯路の各ガイド要素を試算した。

(1) 近似精度

表 1 (6) 式の近似精度の詳細な試算を行うに先立って、概算による見積りを行った。表 1 (6) の各式の右辺の第 1 項および第 2 項を表 5 (28) の各式の右辺と比較したところ、前者は δ, r, θ に関する 1 次式であり後者は 2 次式であって、それぞれの係数は A, B, C から成ることがわかった。そこで後者は前者に δ, r または θ を乗じた程度の大きさであると推定された。 δ, r, θ の大きさは臼歯の咬合関係が問題となる顎路長 3 mm までの範囲内においてはいずれも 1.5° 以下であり、ラジアン表示に

表 9 側方切歯路と側方顎路の相関式

$$\begin{aligned} \tan \Omega_{il} &= \frac{\frac{L}{2} \tan \Omega_i \times \delta + A_i \times \Theta_i}{\frac{L}{2} \times \delta - C_i \times \Theta_i} \\ \tan \Phi_{il} &= \frac{\frac{L}{2} \tan \Omega_i \times \delta + A_i \times \Theta_i}{(C_i \tan \Omega_i + A_i + L \tan \beta) \times \delta} \\ \tan \Psi_{il} &= \frac{(C_i \tan \Omega_i + A_i + L \tan \beta) \times \delta}{\frac{L}{2} \times \delta - C_i \times \Theta_i} \end{aligned} \quad (34)$$

$$\Theta_i = \frac{\frac{L}{2} (\tan \Omega_{il} - \tan \Omega_i) \times \delta}{A_i + C_i \tan \Omega_{il}} \quad \text{または}$$

$$\Theta_i = \frac{\{(C_i \tan \Omega_i + A_i + L \tan \beta) \times \tan \Phi_{il} - \frac{L}{2} \tan \Omega_i\} \times \delta}{A_i} \quad (35)$$

Ω_{il} : 矢状側方切歯路傾斜度
 Φ_{il} : 前頭側方切歯路傾斜度
 Ψ_{il} : 水平側方切歯路角

$(A_i, \frac{L}{2}, C_i)$: 切歯点の 3 次元座標

δ : 水平側方運動回転角
 Θ_i : 側方蝶番運動回転角
 Ω_i : 矢状側方顎路傾斜度
 L : 顎頭間距離
 β : 一般化された定義による Bennett 角

換算すると 0.03 以下である。したがって表 5 (28) の各式は表 1 (6) の各式に比し、2 桁程度小さな値になるということが推察された。

つぎに表 5 (28) 式に実際の数値例を代入して $\Delta \Delta X$, $\Delta \Delta Y$, $\Delta \Delta Z$ の値を数値的に試算した。表 10 はその試算結果である。そのさい標準的な数値例として、顎頭間距離 110 mm, 下顎切歯点と顎頭間軸の前後距離 85 mm, 上下距離 40 mm, 側方顎路長 3 mm における側方蝶番運動回転角 0.6° などの値を用い、矢状顎路傾斜度は $20 \sim 60^\circ$, 側方顎路長 3 mm における Bennett 角は $0 \sim 30^\circ$ の間に变化するものとし、それらの値を表 5 (28) 式に代入した。その結果を表 10 に示すが、表 1 (6) 式または表 7 (31) 式における近似誤差の絶対値の大きさは、切歯点において最大 0.033 mm の程度であることがわかった。

(2) 前方切歯路

図 7 は前方顎路長 3 mm における前方蝶番運動回転角を、 $0 \sim 1.0^\circ$ まで 0.2° 刻みに変化させ、その他の条件は (1) 項と同じとしたときの矢状前方切歯路傾斜度を、表 8 (32) 式により試算した結果のグラフ表示である。図 7

から前方顎路長 3 mm における前方蝶番運動回転角を $0.5 \sim 1.0^\circ$ の範囲としたとき、矢状傾斜度は切歯路の方が顎路よりも $11 \sim 30^\circ$ 大になり、蝶番回転運動なしの場合に $20 \sim 60^\circ$ であった分布範囲が $36 \sim 79^\circ$ に移行することがわかった。

表 11 は表 8 (32) 式の右辺における 4 つの変化要因を標準的な値に設定した上で、そのうちのいずれかを变化させたときの矢状前方切歯路傾斜度への影響度合を示したものである。表 11 に示すように、蝶番運動回転角の影響度合を 100% としたとき、その他の要因の影響度合

は矢状前方顎路傾斜度、下顎切歯点と顎頭間軸の前後距離、および上下距離の順にそれぞれ 137, 16, 4% であることがわかった。なお表 8 (32) 式は、近似演算を含んでいないので近似誤差を生ずるおそれはない。

(3) 側方切歯路

図 8~10 はそれぞれ側方顎路長 3 mm における Bennett 角の値を標準的に 12° とし、側方顎路長 3 mm における側方蝶番運動回転角を $0 \sim 1.2^\circ$ まで 0.2° 刻みに変化させ、その他の条件を(1)項と同じにしたときの矢状側方切歯路傾斜度、前頭側方切歯路傾斜度、水平側方切歯路角を表 9 (34) 式により試算した結果をグラフ表示したものである。図 11~13 はそれぞれ側方顎路長 3 mm における側方蝶番運動回転角を標準的な 0.6° とし、側方顎路長 3 mm における Bennett 角を $0 \sim 30^\circ$ に

表 10 切歯点における近似精度

矢状側方 顎路傾斜度 (deg)	Bennett 角 (deg)	$\Delta\Delta X$ (mm)	$\Delta\Delta Y$ (mm)	$\Delta\Delta Z$ (mm)
20	0	-0.033	0.001	-0.006
	10	-0.033	0.001	-0.006
	20	-0.030	0.001	-0.005
	30	-0.027	0.001	-0.005
30	0	-0.030	0.008	-0.010
	10	-0.030	0.008	-0.010
	20	-0.028	0.007	-0.009
	30	-0.025	0.006	-0.008
40	0	-0.026	0.014	-0.015
	10	-0.026	0.014	-0.015
	20	-0.025	0.014	-0.014
	30	-0.023	0.012	-0.013
50	0	-0.022	0.021	-0.020
	10	-0.022	0.020	-0.020
	20	-0.021	0.020	-0.019
	30	-0.020	0.019	-0.018
60	0	-0.018	0.026	-0.025
	10	-0.018	0.026	-0.025
	20	-0.018	0.026	-0.024
	30	-0.017	0.025	-0.023

$\Delta\Delta X, \Delta\Delta Y, \Delta\Delta Z$: 切歯点の 3 次元変位の近似誤差
(2 次微小項)

図 7 一定の前方顎路長における前方蝶番運動回転角を変化させたときの矢状前方切歯路傾斜度と矢状前方顎路傾斜度の理論相関グラフ

Δp : 前方顎路長

Θ_p : 前方蝶番運動回転角

表 11 変化要因の前方切歯路に対する影響度合

変 化 要 因	変化範囲	矢状切歯路 傾斜度変化量	影響度合 (%)
矢状顎路傾斜度 Ω_p	$20 \sim 60^\circ$	34.2°	137
一定顎路長 (3mm) における 蝶番運動回転角 Θ_p	$0 \sim 1.0^\circ$	24.9°	100
下顎切歯点—顎頭間軸間 前後距離 A_i	$65 \sim 105\text{mm}$	4.0°	16
下顎切歯点—顎頭間軸間 上下距離 C_i	$37 \sim 43\text{mm}$	0.9°	4

図 8 一定の側方顆路長における側方蝶番運動回転角を変化させたときの矢状側方切歯路傾斜度と矢状側方顆路傾斜度の理論相關グラフ

Δl : 側方顆路長
 β : Bennett 角
 Θ_l : 側方蝶番運動回転角

図 10 一定の側方顆路長における側方蝶番運動回転角を変化させたときの水平側方切歯路角と矢状側方顆路傾斜度の理論相關グラフ

Δl : 側方顆路長
 β : Bennett 角
 Θ_l : 側方蝶番運動回転角

図 9 一定の側方顆路長における側方蝶番運動回転角を変化させたときの前頭側方切歯路傾斜度と矢状側方顆路傾斜度の理論相關グラフ

Δl : 側方顆路長
 β : Bennett 角
 Θ_l : 側方蝶番運動回転角

図 11 Bennett 角を変化させたときの矢状側方切歯路傾斜度と矢状側方顆路傾斜度の理論相關グラフ

Δl : 側方顆路長
 β : Bennett 角
 Θ_l : 側方蝶番運動回転角

変化させ、その他の条件は(1)項と同じとしたときの矢状側方切歯路傾斜度、前頭側方切歯路傾斜度、水平側方切歯路角を表 9 (34) 式により試算した結果をグラフ表示したものである。図 8~10 から側方顎路長 3 mm における側方蝶番運動回転角を $0.5 \sim 1.0^\circ$ の範囲としたとき、蝶番回転運動なしの場合とありの場合を比較すると、 $20 \sim 60^\circ$ であった矢状切歯路傾斜度の分布範囲が $50 \sim 89^\circ$ に移行し、切歯路の方が顎路よりも $19 \sim 51^\circ$ 大となる (図 8)。また $9 \sim 28^\circ$ であった前頭側方切歯路傾斜度の分布範囲は $22 \sim 49^\circ$ に移行し (図 9)、 $66 \sim 73^\circ$ であった水平切歯路角の分布範囲は $71 \sim 89^\circ$ へ移行する (図 10)

ことがわかった。

表 12 は表 9 (34) 式の右辺における 6 つの変化要因を標準的な値に設定した上で、そのうちのいずれかを变化させたときの、側方切歯路の各ガイド要素への影響への影響度合いを示したものである。表 12 に示すように蝶番運動回転角の各ガイド要素への影響度合いの平均を 100 % としたとき、その他の要因の影響度合いの平均は矢状側方傾斜度、Bennett 角、顎頭間距離、下顎切歯点と顎頭間軸との前後距離、および上下距離の順にそれぞれ 64, 21, 14, 11, 5 % になることがわかった。

表 13 は図 11~13 と同じ条件で、1 次近似式表 9 (34)

図 12 Bennett 角を変化させたときの
前頭側方切歯路傾斜度と矢状側方
顎路傾斜度の理論相関グラフ

Δl : 側方顎路長
 β : Bennett 角
 Θ_l : 側方蝶番運動回転角

図 13 Bennett 角を変化させたときの
水平側方切歯路角と矢状側方顎路
傾斜度の理論相関グラフ

Δl : 側方顎路長
 β : Bennett 角
 Θ_l : 側方蝶番運動回転角

表 12 変化要因の側方切歯路に対する影響度合

変 化 要 因	変化範囲	矢 状 切 歯 路 傾斜度変化量	前 頭 側 方 切 歯 路 傾斜度変化量	水 平 切 歯 路 角 変 化 量	影 響 度 合 (%)
一定顎路長 (3mm) における 蝶番運動回転角 Θ_l	$0 \sim 1.2^\circ$	43.8°	25.0°	15.4°	100
矢状顎路傾斜度 Ω_l	$20 \sim 60^\circ$	26.2°	17.9°	9.6°	64
Bennett 角 β	$0 \sim 30^\circ$	1.9°	9.8°	6.2°	21
顎頭間距離 L	$90 \sim 130\text{mm}$	0.0°	7.8°	4.0°	14
下顎切歯点—顎頭間軸間 前後距離 A_i	$65 \sim 105\text{mm}$	4.5°	1.4°	3.8°	11
下顎切歯点—顎頭間軸間 上下距離 C_i	$37 \sim 43\text{mm}$	1.7°	0.9°	1.6°	5

表 13 側方切歯路ガイド要素における近似精度

矢状側方 顎路傾斜度 (deg)	Bennett 角 (deg)	$\Delta\Omega_{il}$ (deg)	$\Delta\Phi_{il}$ (deg)	$\Delta\Psi_{il}$ (deg)
20	0	0.8	-0.1	0.7
	10	0.8	-0.1	0.6
	20	0.8	-0.1	0.5
	30	0.7	-0.1	0.4
30	0	0.7	-0.2	0.7
	10	0.7	-0.2	0.6
	20	0.7	-0.2	0.5
	30	0.7	-0.2	0.4
40	0	0.6	-0.4	0.7
	10	0.5	-0.4	0.6
	20	0.5	-0.3	0.5
	30	0.5	-0.3	0.4
50	0	0.5	-0.5	0.7
	10	0.5	-0.5	0.6
	20	0.4	-0.5	0.5
	30	0.4	-0.4	0.4
60	0	0.4	-0.7	0.6
	10	0.3	-0.6	0.5
	20	0.3	-0.5	0.5
	30	0.3	-0.5	0.4

$\Delta\Omega_{il}$: 矢状側方切歯路傾斜度の近似誤差 (1 次近似値から 2 次近似値を差し引いた値)

$\Delta\Phi_{il}$: 前頭側方切歯路傾斜度の近似誤差 (1 次近似値から 2 次近似値を差し引いた値)

$\Delta\Psi_{il}$: 水平側方切歯路角の近似誤差 (1 次近似値から 2 次近似値を差し引いた値)

の代りに 2 次近似式を用いて試算した結果と、(34)式を用いて試算した結果の差異を表示したもので表 9 (34) 式の (切歯点における) 近似誤差を示している。2 次近似式は表示しなかったが、その導出は表 1 (6) 式の代りに表 5 (27) 式を用い、(2)項および(3)項において表 9 (34) 式の導出に用いたと同じ方法で行った。その結果を表 13 に示したが、表 9 (34) 式を用いた演算における近似誤差の絶対値の大きさは (切歯点において) 最大 0.8° 程度であることがわかった。

以上を要約すると、本研究により導出した顎路と切歯路の相関式 (表 8 (32) 式および表 9 (34) 式) に標準的な数値を代入して、前方運動の場合と側方運動の場合のそれぞれにつき試算した結果にもとずき、顎路のガイド要素と切歯路のガイド要素の相関グラフを作成した (図 7~13)。これらの試算における誤差は切歯点において最大 0.033 mm または 0.8° であることがわかった。各変化要因の影響度を比較すると、矢状顎路傾斜度と蝶番

運動回転角に比し、他の要因の影響度合は 5 分の 1 以下であることがわかった。

考 察

従来、顎路と切歯路の相関については両者の間に明確な関係は存在していないとするのが通説であった。McCollum⁵⁾ 以来、顎路は個人によって固有の値をとるが、切歯路は顎路に関わりなく術者が設定しなければならないものとされ、経験的に種々の設定方法が提案されてきた。そして臼歯の咬合面形態は、顎路と切歯路に調和すべきであると考えられているが、これとても臨床上多くは補綴物装着後口腔内で、削合調整しながら時間的経過を追うという試行錯誤的手段によって、下顎運動との調和を図っているのが現状である。

Gichet⁹⁾ は、顎路と切歯路の相関についてつぎのように記述している。“パントグラフを臨床に広く応用している歯科医によれば、顎頭運動と前歯の位置関係の間には何らの相関がないとのことである。他方 (a) 前方顎路が急な場合には垂直被蓋は大きい。 (b) 前方顎路が緩かな場合には垂直被蓋は小さい。 (c) Immediate Sideshift の度合は水平被蓋の度合と関係がある、などの見解もあるが、これは研究結果としての裏付けのあるものではない”。この中で彼が裏付けはないとしながらも紹介している見解の内容は注目に値する。

また Dawson⁷⁾ は、顎頭は回転できるから、下顎の先端は顎路に影響されることなく、完全に異なる運動路をとると述べ、顎路と切歯路の相関について否定的な表現をしている。しかし彼の見解は裏返すと、もし顎頭の回転角 (蝶番運動回転角) に適正值があるとすれば、顎路と切歯路の間に相関関係が生ずることを認めたものとも受け取れる。さらに Dawson の所論をよく読むと彼は切歯路の矢状面投影だけに注目し、前頭面または水平面投影に対する配慮を払っていないことがわかる。

わが国では河野²⁾ が前方運動を実測したデータにもとずき顎路と、切歯路の矢状面内傾斜度の間に相関関係を認め、両者の差は下顎の回転によるものとした。これは蝶番運動回転角をパラメータとして、顎路と切歯路の間に何らかの相関関係が存在することを指摘した最初の研究である。また中野³⁾ は側方運動を実測したデータにもとずき、側方切歯路の Z 実角と非作業側顎路の Z 実角の間に相関を認め、相関関係と回帰直線を算出している。これは側方運動における顎路と、切歯路の間にも何らかの相関関係があることを示した最初の研究であり、

蝶番運動回転角と側方切歯路のZ実角の間にも相関があることが報告されているが、顎路を含めた3者間の相関は明らかにされておらず、側方切歯路の他のガイド要素の相関についても触れられていない。

著者らは顎路と切歯路の間に蝶番運動回転角をパラメータとした相関関係が存在するとしても、3者間の解析的關係を明らかにした上で、実測データとの比較検証を行う手順を踏まないと十分な説明はできないと考え、第1段階として本研究による理論相関式を導出した。

また長谷川⁴⁾は解析幾何学的手法により、作業側と非作業側の顎路を設定しさらに切歯路の矢状面傾斜度を定めれば、切歯路の前頭面および水平面投影を算出することを示したが、蝶番運動回転角との相関は示されていない。著者らは本研究による理論相関式の導出に当り、蝶番運動回転角をはじめとする下顎運動要素ができる限り簡潔で、かつ明確なかたちで含まれる表現が得られるようにしないと、実際問題として実験データとの比較検証などに支障をきたすと考え、運動学の原理に独自の手法を加えてその目的を達した。その過程で近似手法を用いたが、所要の演算精度を損うことのないように配慮したつもりである。

1. 演算精度

本研究において、運動学の一般理論にもとづく剛体の3次元空間内における自由な運動の1次近似式(表1(6)式)から導出した下顎の前方および開閉運動の一般式(表6(30)式)および左右の側方運動の一般式(表7(31)式)の近似誤差を、2次近似式(表5(27)式)を用いて試算したところ、その値は切歯点において最大33 μm になることがわかった(表10)。Cyberhoby Computer Pantographのような臨床的な下顎運動計測装置の測定精度が約40 μm であることを考えると、これは必要十分な演算精度といえる¹⁵⁾。

表6(30)式および表7(31)式から顎路と切歯路の相関式を導出したが、蝶番回転運動をパラメータ(共通媒介変数)とすることにより、前方運動(表8(32)式)においてもまた側方運動(表9(34)式)においても、顎路のガイド要素と切歯路のガイド要素との間に相関関係が存在することが理論的に推定された。これらの相関式を用いて、顎路と下顎形状の計測値から、切歯路の各ガイド要素を算出する場合の近似誤差を試算したところ、その値は最大0.8°であった(表13)。咬合器の調節機構(たとえばインサイザル・テーブル)の調節目盛が5°刻みであることを考えると、これは十分な演算精度と考え

られる。

以上を要約すると、本研究で導出した顎路と切歯路の相関式は、必要十分な演算精度を有し目的にかなうものと考えられる。表5(27)式の2次近似式を用いてさらに演算精度を上げることもさほど困難ではないが、いたずらに必要以上の精度を追求することはあまり意味がないと考えた。

2. 基準点の設定

本研究では前方運動の基準点は河野¹²⁾が存在を実証した「全運動軸」上にとり、また側方運動の基準点は著者ら¹³⁾が定義し保母¹⁴⁾がその存在を検証した「Cross Point」上に求めたことは前述した。もしこれらの回転軸や回転中心が絶対的なものであるとしても、下顎が軟組織によって支えられている限り外力や筋肉の緊張、収縮のアンバランス等によって軸のぶれや回転中心の偏位を生じることが考えられる。したがって下顎運動の解析はぶれの存在を前提として進めるべきであって、その基準点を設定するに当り「絶対的な基準点」を求めることにこだわり過ぎるのは賢明でないように思われる。

われわれは地球に自転軸を想定しているが、その軸は太陽系に対し固定したものではなく、わずかにぶれながら太陽の回りを公転している。さらに北極と南極の位置も厳密には一定ではない。にもかかわらず地球に自転軸を想定するのは、これにより地球上で起こる大部分の事象の説明や近似計算が“簡明に”行えるということに意義があるからである。天文学では第1段階としてこのような1次近似を用い、つぎのステップで必要に応じ摂動法(perturbation method)と呼ばれる手法で補正項を加えることにより精度を向上させている。

全運動軸とCross Pointにも似たような事情がある。全運動軸は偏心運動と求心運動の間で、上下方向に最大0.7mmのぶれがあることが報告されているが、著者らが自動電子計測システムを用いて求めた未発表データによると顎頭の移動量(顎路長)に比し、全運動軸で約20%、Cross Pointで約10%に相当する矢状面のぶれが存在することが観測されている。しかもこのぶれは偏心運動と求心運動の間だけでなく、同じ偏心運動のくり返しや歯牙接触と歯牙非接触の両条件の間でも生じることが判明している。著者らはこれらのぶれの存在が、臼歯離開の必要理由になっているのではないかと考えているが、その詳細については後日に報告する予定である。

もし下顎運動にみられるこのようなぶれが本質的なものであるとすると、われわれの課題は天文学におけると

同様に、理解し易くまた解析を行い易いような簡明な基準点を設定し、その上でぶれの補正を行うことに帰着するであろう。ただしその場合に、Gysi⁶⁾のように固定した回転軸を求めようとすると迷路に入り込むおそれがある。地球の場合にも太陽系に固定した軸をひとつだけ求めようとすると、その軸は地球からはるかに離れた位置におかれ、しかもその位置が時々刻々変化するというジレンマにおちいる。全運動軸は上下方向におけるぶれが最も少ないように、顎頭上に定められた“移動する回転軸”であり、Cross Point は矢状面内偏位が最も少ないように全運動軸上に定められた“移動する回転中心”と定義することができ、ともに以上述べた趣旨に最もよく合致した基準点といえるのではないだろうか。

以上を要約すると、前方運動および側方運動の基準点として、それぞれ全運動軸と Cross Point を設定することは地球に自転軸を想定することに似ている。両者ともぶれがあるが必要に応じ補正を行うことを前提に、簡潔は最善と考えて、本研究による顎路と切歯路の相関式を導出した。ぶれの存在が臼歯離開の必要理由であるか否かは今後の課題としたい。

3. 相関式の予備的評価

表 8 (32) 式および表 9 (34) 式に示した下顎の前方および左右側方の限界運動時の顎路と、切歯路の相関式に実際の数値例を当てはめて試算した結果を既存の研究データと比較した。

河野²⁾が被験者 9 名の前方運動について実測した結果から、回転量の大きな II 型では下顎が 1~2° 回転することによって切歯路は、顎路に対して 10~25° 急な経路を取ることがわかった。河野の実測データは顎頭点の移動距離の平均が 6.2 mm なので、これを比較のため顎路長 (Λ_p) 3 mm に換算すると回転量は矢状顎路傾斜度 30~45° の場合、0.5~1.0° となる。本研究における試算結果 (図 7) では回転量 (Θ_p) が 0.5~1.0° のとき、切歯路と顎路の傾斜度の差は 13~23° となるので、本研究で導出した相関式は、前方運動における河野の実測データとよく一致することが示唆された。

中野³⁾は被験者 31 名の側方運動について、写真法を応用した時間的対応関係のある 3 点 3 次元記録装置を用い側方切歯路、側方顎路および蝶番運動回転量を実測している。彼の実測データの顎頭点の移動距離の平均は 4.1 mm であるが、左右 62 組のデータから顎路長 (Λ_L) 3 mm に換算した蝶番運動回転量 (Θ_L) が、0.4~1.2° の範囲の値をとる 36 組のデータを選び、矢状顎路傾斜度

20~53° の場合において本研究による試算結果 (図 8~10) と比較した。36 組のデータの分布範囲は矢状切歯路傾斜度、前頭切歯路傾斜度、水平切歯路角の順に 47~87° (45~89°), 22~51° (20~48°), 65~87° (70~89°) となったが、これを活弧内に示した本研究による試算結果と比較することにより、本研究で導出した相関式が側方運動においても中野の実測データとよく一致することが示唆された。

以上を要約すると、本研究で導出した顎路と切歯路の理論相関式は、河野らや中野による実測データとよく一致することが示唆された。本研究で導出した顎路と切歯路の相関式の算出結果と、著者らの実測データとの比較検討結果については第 2 報で詳細に報告する予定である。

4. 蝶番運動回転角

本研究により顎路と切歯路の相関には下顎の蝶番回転運動が介在し大きな役割を演じていることが理論的に示唆された。前方運動については表 8 (32) 式、側方運動については表 9 (34) 式から明らかのように、蝶番運動回転角が与えられれば切歯路と顎路の相関関係が一義的に定まるので、これが顎路と切歯路の間の調和の具体的表現と考えられる。

蝶番回転運動の役割を分析するために、試みに顎路長 3 mm における蝶番運動回転角を 1.0° とし、全運動軸と臼歯との前後距離を 55 mm に設定して、蝶番回転運動により下顎臼歯が上顎臼歯に対しどれだけ離開するかを試算したところ、0.96 mm という値が得られた。この試算値は臼歯離開量として実際の臨床で用いられている値とかけ離れたものではない。このことから適正な臼歯離開量を与えることを目的とした場合には、蝶番運動回転角の適正值を決定できることが示唆された。もしこの推測が正しいとすれば、顎路と切歯路の相関のあるべき姿が表 8 (32) 式および表 9 (34) 式により一義的に決定されることになる。

他方、実際の天然歯では臼歯離開量には個人差があるので、蝶番運動回転角の値もばらつくと考えられる。蝶番運動回転角が変化すればそれとともなって、顎路と切歯路の相関関係も変化するが、河野らや中野の実測データによれば、蝶番運動回転角の値は (顎頭の移動距離 3 mm の換算値で) ほぼ 0~1° の範囲に限定され、マイナスの値や著しく大きい値の頻度は少ない。したがって天然歯の場合蝶番運動回転角には個人差があるが、そのばらつきの範囲が比較的狭い範囲に限定されているた

め、顎路のガイド要素と切歯路のガイド要素の実測データの間に一義的ではないが、有意な相関が認められるのではないかと考えられる。

天然歯の萌出過程で自然の摂理により、適当量の蝶番回転運動を生ずるように、顎路と切歯路が相関(調和)を保ちながら成長してゆくであろうことは想像に難くない。しかしいったん前歯誘導が確立されると、逆に切歯路が蝶番回転運動量を規制することも考えられる。すなわちこのように切歯路がすでに確立されている場合には、上述の場合とは逆に表 8 (33) 式および表 9 (35) 式によって蝶番運動回転角がおのずから定まることになる。特に注目したいのは側方運動では矢状切歯路傾斜度(Ω_{il})、前頭切歯路傾斜度(Φ_{il})、水平切歯路角(Ψ_{il})のいずれかひとつ(例えば Ω_{il})が設定されると、表 9 (35) 式により蝶番運動回転角 Θ_l が定まるので、残りの 2 つの側方切歯路ガイド要素の値(例えば Φ_{il} および Ψ_{il})は表 9 (34) 式により一義的に定まり、もし実際の値がこれらと相違する場合は、顎路と切歯路の間に不調和を生ずることになる。天然歯の場合や顎路と切歯路の調和を顧慮せずに前歯部の補綴を行った場合は、程度の差こそあれこのようなことは十分起こり得るが、この場合の顎路と切歯路の不調和は、本研究による相関式が成り立たないことを意味するので、作業側の顎頭が矢状面内の偏位を強いられる結果に結びつくのではないかと想像される。特に咬合力が加わる側方求心運動の際に、切歯路の影響が顎路に波及し顎路に為害作用を加え、ひいては顎関節症などの好ましくない症状を惹起するおそれがあるということも考えられる。

以上を要約すると、顎路と切歯路の調和について具体的に考えるため、顎路のガイド要素と切歯路のガイド要素の相関関係のパラメータとして介在する、蝶番運動回転角の関わり合いを浮き彫りにし臼歯離間量との関連についても触れた。また側方切歯路のガイド要素間には、蝶番運動回転角を介して制約要因が働くことも指摘した。この点に関する詳細な研究結果については、後日に報告する予定である。

5. 作業側顎路の補正法

本研究では Cross Point の平均軌跡が、顎頭間軸上をほぼ真横に外側方に向かうという事実を利用し、これを前提にして左右の側方運動における一般式(表 7 (31) 式)を導出した。しかしこのことが個々の被験者に対して厳密に当てはまるとは限らないので、この前提が成り立たず Cross Point が矢状面内で偏位する(ぶれを生ず

る)場合の補正法について考えておく必要がある。つぎにその補正法の概要をのべる。Cross Point が矢状面内で偏位すると、表 1 (6) 式における Δx および Δy を零とみなすことができないから、表 7 (31) 式の修正が必要である。本研究の場合には表 7 (31) 式の ΔX と ΔZ の式の右辺に Δx と Δz を加える必要があるほか、基準点の偏位により側方運動回転角の水平面投影成分 δ および前頭面投影成分 γ の値も影響を受けるのでこれらの補正も必要である。

長谷川ら⁴⁾は作業側顎路が水平面内および前頭面内で、終末蝶番軸となす角度をパラメータとして作業側顎路が歯牙路に及ぼす影響を解析幾何学的に検討している。表 7 (31) 式に上記の補正を加えたのち長谷川らの算出例に沿って概算してみたところ、作業側顎路の水平面投影角が 75° , 0° , -75° の場合に前頭切歯路傾斜度がそれぞれ 12° (13°), 29° (29°), 56° (53°) となり、水平切歯路角がそれぞれ 83° (82°), 72° (72°), 39° (37°) となった。また同様に作業側顎路前頭面投影角が 75° , 0° , -75° の場合には前頭歯路傾斜度がそれぞれ 21° (22°), 29° (29°), 39° (38°) となり、水平切歯路角がそれぞれ 78° (77°), 72° (72°), 65° (66°) となった。なお活弧内には長谷川らにより、大型電子計算機を用いて算出されたデータを図上測定して得た値を示した。以上から明らかなように著者らの概算値と、長谷川らの算出値の間にはかなりよい一致がみられる。

しかしながら、Cross Point の矢状面内偏位の補正を行うに当たり、長谷川らのように補正パラメータとして作業側顎路の水平面投影角と前頭面投影角を用いると、Sideshift (側方変位) が零の場合には、ごくわずかな矢状面偏位によって角度が $\pm 90^\circ$ になるという難点がある。そこで著者らは作業側顎路中心 (Cross Point) の矢状面内偏位量と、側方運動回転角(または非作業側顎路長)との比を補正パラメータとして用いるのが妥当ではないかと考えている。今後このような補正を実行できる演算式を完成させるとともに、著者らの一人が開発した自動電子計測システムをさらに高性能化することによって、被験者ごとの個別実測データと理論値との一致度を確認するところまで研究のレベルを高めたいと考えている。

以上を要約すると、Cross Point が矢状面内で偏位(ぶれ)を生ずる場合の補正法に予備的検討を加えたところ、概算結果と長谷川らの解析幾何学的手法による算出結果との間にかなりよい一致がみられた。この補正法の確立は今後の課題としたい。

図 14 下顎の蝶番運動回転方向と切歯路および顆路の関係
C: 顆頭 I: 切歯点 河野ら: 補綴誌(1975)より引用

6. Immediate Sideshift に関する推論

研究方法 3. において、側方顆路における Immediate Sideshift を S_c とし、側方切歯路に現れる偏心運動開始直後の横ずれ (切歯路における Immediate Sideshift) を S_i としたとき、正常な有歯顎では S_c と S_i がほとんど等しく、 $S_c \approx S_i$ であるべきことが推定されるとのべた。つぎにその理由を説明する。

河野ら²⁾ は Abe ら¹⁾ のネコを使った生理学的実験を例証として、矢状切歯路傾斜度が矢状顆路傾斜度よりも小さくならない理由を説明している。それによれば、開口位から切端咬合位に至る閉口運動の際に下顎は閉口方向に蝶番回転運動を行い (図 14), 矢状切歯路傾斜度が矢状顆路傾斜度より大きいときは、蝶番回転運動は閉口方向に生じそのまま咬頭嵌合位に到達する (図 14-A)。逆に矢状切歯路傾斜度が矢状切歯路傾斜度より小さい場合は、蝶番回転運動が開口方向に生じるため切端咬合位付近を境に回転方向が逆転する (図 14-B)。開口方向に回転運動を生ずると、閉口筋活動に抑制作用が働くという Abe らの報告を引用して、河野らは上記のような回転方向の逆転が起こると、顎筋の円滑な活動に悪影響が及ぼされるとし、矢状切歯路傾斜度は矢状顆路傾斜度よりも大であることが望ましい、と結論づけている。

著者らはこの結論を側方運動に拡張してつぎのように推論した。まず側方顆路に Immediate Sideshift が存在する場合に $S_c > 0$, $S_i = 0$ の条件を想定する。側方求心運動が行われると下顎は求心方向に側方回転運動を行うが (図 15-A), もし顆路に Immediate Sideshift が存在し ($S_c > 0$) 切歯路に横ずれが存在しない ($S_i = 0$) 場合には、下顎は咬頭嵌合位に到達する直前に偏心方向に回転し (図 15-B), 回転方向の逆転を生ずることになる。したがって側方回転運動にも河野らが示した蝶番回転運動に関する見解が当てはまるとすれば、このような回転

図 15 下顎の側方運動回転方向と切歯路および顆路の関係
C: 作業側顆頭
C': 非作業側顆頭
I: 切歯点

方向の逆転は非生理的であると推定すべきであろう。現実の前歯誘導は数本の歯牙のグループによって遂行されるので、歯牙非接触の状態でも $S_c > 0$ であっても歯牙接触条件下では前歯誘導により顆頭の動きが制約され、みかけの S_c が小さくなる可能性がある。しかしこの場合にも横ずれの原因は存在しているので、グループ誘導による保護がよほどしっかりしていないと前歯の咬耗などを生ずる危険がある。

つぎに $S_c = 0$, $S_i > 0$ で側方オーバージェットが過大な場合を考えることにする。 $S_c = 0$ であると顆頭は側方 (偏心) 運動のさい顆頭安定位から直ちに前方移動を起こすことになり、同時に切歯点も前方移動を生ずるので $S_i > 0$ にはなり得ない。そしてこの場合上記のように側方オーバージェットが存在すると、犬歯誘導を欠く状態で側方運動が行われることになり、これは正常な咬合状態とはいえない。以上両極端のケースについて述べたが中間的な状態でも同様のことが成り立つので、正常な有歯顎では $S_c \approx S_i$ であるべきことが推論される。

以上を要約すると、前方運動において蝶番回転運動の逆転は非生理的であるとした河野らの見解を側方運動に拡張することにより、正常な有歯顎とでは顆路切歯路における Immediate Sideshift がほとんど等しかるべきであるという推論を導いた。

結 論

蝶番運動回転角をパラメータとして顆頭と切歯路の相関を解明するためには、3 者間の解析的關係を明らかにした上で実測データとの比較検証を行う必要がある。しかもそれらの解析的關係を表す理論相関式はできるだけ簡潔で、関連要素を明確なカタチで含むものでなければ

実測データとの比較、臨床応用などに困難を生ずるおそれがある。そのような立場から、運動学の一般理論にもとづく剛体の3次元空間内における自由な運動の1次近似式から全運動軸を前方運動の基準点として、下顎の前方および開閉運動の一般式(表6(30)式)を導出した。

また Cross Point 上に側方運動の基準点を取り、左右の側方運動の一般式(表7(31)式)を導出した。これらの演算式を用い、下顎の前方および左右側方運動時の顎路と、切歯路の相関性を解析しつぎのような結論を得た。

1. 本研究で用いた近似式の演算精度は、切歯点における最大誤差が $33\mu\text{m}$ または 0.8° であり、目的とする顎路と切歯路の相関の解析には十分な精度をもつと考えた。

2. 本研究において前方運動および側方運動の基準点として用いた全運動軸と、Cross Point はそれぞれぶれを有するが、必要に応じ補正を行うことを前提にすれば、地球に自転軸を想定することと同様、きわめて有用な基準点になると考えられた。

3. 前方限界運動時の顎路と切歯路の理論相関式を、蝶番運動回転角をパラメータとして導出し、標準的な場合の相関グラフを作成した(表8(32)式、図7)。これを既発表の実測データと比較することにより予備的評価を行ったところよく一致することが示唆された。

4. 側方限界運動時の顎路と切歯路の理論相関式を、蝶番運動回転角をパラメータとして導出し標準的な場合の相関グラフを作成した(表9(34)式、図8~13)。これを既発表の実測データと比較することにより、予備的評価を行ったところよく一致することが示唆された。

5. 顎路と切歯路との相関に蝶番運動回転角がどのように関わり合っているかを解析し、天然歯の場合に蝶番運動回転角の値が比較的狭い範囲に限定されているため、顎路のガイド要素と切歯路のガイド要素の間に相関が認められるという状況を明らかにした。

6. 側方切歯路のガイド要素間には蝶番運動回転角を介して制約要因が働くことを指摘し、そこに不調和があると作業側顎路に為害作用を及ぼすおそれがあると推論した。

7. 作業側顎路の補正法について予備的検討を行った。

8. 顎路と切歯路に表れる Immediate Sideshift は、正常な有歯顎ではほとんど等しい値をとるべきであるという推論を導いた。

術大会(昭和59年3月3日、東京)において発表した。

文 献

- 1) 保母須弥也編：咬合学事典，書林，東京，1978。
- 2) 河野正司，塩沢育己，中野雅徳：前方滑走活動の歯牙指導要素としての切歯路の研究，補綴誌，19：426~433，1975。
- 3) 中野雅徳：側方滑走運動における顎路と歯牙路に関する研究，補綴誌，19：647~665，1976。
- 4) 長谷川成男，真柳昭弘，新井 泉：下顎運動要素の歯牙路への影響，その1算出法，補綴誌，24：54~58，1980。
- 5) McCollum, B.B., Stuart, C.E.: A Research Report. Scientific Press, South Pasadena Calif. 1955.
- 6) Cohen, R.: The relationship of anterior guidance to condylar guidance in mandibular movement, J. Pros. Dent., 6 (6): 758~767, 1956.
- 7) Dawson, P.E.: Evaluation, diagnosis, and treatment of Occlusal Problems, The C.V. Mosby Co., Saint Louis, 1974.
- 8) 栗山 実：歯牙指導要素が平衡側顎路に及ぼす影響について，補綴誌，23：126~147，1979。
- 9) 波多野泰夫編訳：ギシェーの咬合治療入門，(株)ヨシダ，1982。
- 10) McHarris, W.: The Importance of Anterior Teeth, The Journal of Gnathology, 1: 19~36, 1982.
- 11) 加賀山義雄，稲葉 繁，横塚繁雄：上下顎中切歯における咬合小面および歯冠軸について，3次元座標測定機による研究，補綴誌，28：638~639，1984。
- 12) 河野正司：下顎の矢状面内運動に対応する顎頭運動の研究，第2報，マルチフラッシュ装置による矢状面運動軸の解析，補綴誌，12：350~380，1968。
- 13) Hobo, S., Takayama, H.: Cross Point Theory of the Mandibular Movement, Quintessence International, 10: 1051~1063, 1983.
- 14) 保母須弥也：下顎側方運動における顎頭の運動学的中心に関する研究，顎頭間軸運動範囲における集束点の存在について，歯科学報，82：1509~1545，1979。
- 15) Hobo, S.: A Kinematic Theory of the Measurement of the Mandibular Movement and a Computerized Pantograph, The Journal of Gnathology, 2 (1): 9~26, 1983.
- 16) Gysi, A.: Handbuch der Zahnheilkunde, IV Band, 1~171, Urban and Schwarzenberg, Berlin, 1922.
- 17) Abe, K., Takata, M. and Kawamura, Y.: A Study on Inhibition of Masseteric a-Motor Fibre Discharges by Mechanical Stimulation of the Temporomandibular Joint in the Cat, Archs Oral Biol, 18: 301~304, 1973.