側方滑走運動の三次元動態に関する研究

第2報 顎頭の回転運動の観点からみた顎路と歯牙路との関係について

林 豊彦

A Study on 3-dimensional Mandibular Movements in Lateral Excursions

Part 2. On the Relationship between Anterior Guidance and Condylar Path from a View Point of Condylar Rotation

Toyohiko Hayashi

Abstract : In order to obtain an optimum tooth guidance in a sense of harmonization with TMJ functions, I here analyzed the relationship between anterior guidance and condylar path in lateral excursions.

In this paper, I defined a parameter (Sagittal Rotation Angle) concerning rotation of the non-working condyle in sagittal projection. Through numerical simulations and its measurements in practical jaw movements, I could confirm a relationship between inclination of incisal path and sagittal inclination of condylar path, which made this parameter to fall into a limited range.

Since this parameter appeared valid in diagnosis and treatment of tooth guidance, I proposed a linear estimation method with good precision, using inclination of incisal path from the horizontal plane and sagittal inclination of condylar path, and showed its estimation error to be caused mainly by vertical movements of the working condyle.

Key words : anterior guidance, incisal path, condylar path, lateral excursion, mandibular movement

I. はじめに

咬合論において、生体と調和した咬合ないし顎口腔系機能と調和した咬合ということがしばしばいわれ、その調和という言葉の意味する具体的な内容を明らかにするために様々な側面から研究が行われている。

その中で下顎運動論的な立場からは、初めに河野¹⁴⁾が前方滑走運動について、顎頭間軸の回転方向と回転量を

媒介変数として矢状切歯路と矢状顎路との関係について分析を試みた。その後、中野¹⁵⁾は同じ考え方を側方運動に拡張し、側方切歯路と矢状顎路との関係について分析した。

両者の結論によれば、歯牙指導の方向は、滑走運動における顎頭の回転方向と回転量がある範囲内に入るように、制約を受けているとしている。ここで顎頭の回転を分析の媒介変数としたことの本質は、顎頭の前方移動時における顎頭上面と関節円板との相対的な位置関係の変化に着目したことにより、顎頭と関節円板の移動との調和を顎頭の回転運動で評価しようと試みたものと解釈することができる。

本論文では上記と同じ立場から、側方運動における切

新潟大学歯学部歯科補綴学第一教室（主任：石岡 靖教授）
1st Department of Prosthetic Dentistry, School of Dentistry, Niigata University (Chief: Prof. Kiyoshi Ishioka)
昭和61年6月16日受付

歯路と顎路との関係について、顎頭の回転量を媒介変数として分析を試みた。しかし、側方運動の場合、回転の評価が前方滑走運動と異なり単純には定まらないため、本研究において回転運動の評価方法を決定するにあたっては、顎頭の回転と移動との関係を分析するという本質的な目的と、できるだけ臨床的に測定が容易な変数にのみ依存するという、二つの要求を考慮して、新たな回転運動の評価方法を導いた。

本論文では、まず、この顎頭の回転運動の一評価法の基本的な性質を数値シミュレーションから明らかにし、これを基礎として切歯路と顎路との関係を顎頭の回転運動の観点から分析した。

II. 実験方法

1. 測定装置

側方滑走運動の測定には、著者らが開発した三次元測定分析システム¹⁻⁸⁾を用いた。測定装置 Electro-pantograph (図 1) の基本的な原理は、歯列を含む下顎骨を剛体とみなし、下顎歯列に固着した装置の三次元運動の計測値から下顎全体の三次元運動を推定しようとするものである。本装置では、下顎歯列に固着した 3 個の測定標点の三次元運動を測定する方法を用いている。

Electro-pantograph は、上顎顔弓と下顎顔弓から構成され、それぞれ上顎歯列と下顎歯列にシーネを介して可及的に強固に固着される。このとき歯列の唇側面にシアノアクリレート系瞬間接着剤で固定したシーネが、被験者の天然歯列による固有の咬合ならびに側方運動の指導を阻害しないように注意した。

測定標点として、下顎顔弓の切歯点前方と両側顎関節外側に近赤外線発光素子 (東芝, TLN 103) が設けられており、その位置を上顎顔弓に設けられたセンサで非接触に検出する。センサ部は光学系と二次元型半導体位置センサ (浜松フォトニクス, S 1300) から成り、光学系により投影面上に投影された測定標点像の二次元座標を電気的な信号として得ることができる。

センサ部の出力信号は、電子回路で処理された後¹⁾、ミニコンピュータシステム (MELCOM 70/25) に A/D コンバータを介して入力される。原データはコンピュータで処理され、最終的に測定標点の基準座標系についての三次元座標を 10 ms 周期で得ることができる⁴⁻⁶⁾。

測定の基準座標系は各座標軸が頭部の三基準面と平行とし、水平基準面は平均的顎頭点と眼窩下点より決定される臨床的に用いられるフランクフルト平面 (以後、単

図 1 測定装置 Electro-pantograph

表 1 測定システムの概要

測定標点	近赤外線発光ダイオード (東芝, TLN103)
センサ	二次元型半導体位置検出素子 (浜松フォトニクス, S1300)
顔弓の重量	
上 顎	200 g
下 顎	70 g
データ処理システム	三菱電機 MELCOM 70/25
運動のサンプリング周期	10 ms
測定精度	
標点位置の誤差*	≤ 0.13 mm
分解能	0.04 mm

*咬頭嵌合位から切歯点の移動量が 6 mm 以内の運動で保証される

にフランクフルト平面と呼ぶ)を用いた⁹⁾、ここで平均的顎頭点は、耳珠後縁と眼窩下点とを結ぶ線上で耳珠後縁から前方 13 mm の点とした。

測定の精度については、雑音や顔弓の振動などのランダムノイズによる誤差が 0.04 mm (測定位置の分解能)、測定標点の真の位置からの偏位は、咬頭嵌合位から 6 mm 以下の運動範囲内では 0.13 mm 以下である⁶⁾。この精度は、下顎上の任意の点においても同様である⁴⁾。

測定システムの概要を表 1 にまとめて示した。

2. 被験者

被験者は第 1 報¹⁹⁾と同じであり、年齢 22~28 歳の本学学生および職員で、上下歯列に欠損がなく、さらに咬合関係および顎口腔系機能に特に異常が認められない 10 名とした。

3. 運動の誘導方法と運動量

測定データは、術者の手指による誘導を行わない咬頭

表 2 切歯点の移動量

計測値	平均	標準偏差	最小値	最大値
	(mm)			
切歯点移動量*	3.12	0.110	3.00	3.39

+咬頭嵌合位から側方位までの直線距離；データ数，60（被験者10名，各被験者6データ）

嵌合位を出発点とする天然歯列の指導による側方滑走運動である。本研究では，各被験者1人当り両側への側方滑走運動各3回の測定データ（計1人当り6データ）を用いた。これらのデータは第1報¹⁹⁾と同じものである。

本研究での運動量の規格化は，咀嚼運動における歯牙滑走域について調べた藍の報告⁹⁾を考慮し，切歯点の移動量をその中間値である3mmとした。

規格化は測定後にコンピュータにより行い，切歯点の位置が咬頭嵌合位からの直線距離で3mmを越えた最初のサンプルまでとした。その結果，3.00～3.39mmの範囲で，平均3.12±0.110mmに規格化することができた（表2）。

4. 分析点位置の計測法

本研究では切歯点と顎頭点の運動路について分析するが，そのためには，実際に運動が測定される測定標点に対するそれらの分析点の位置が既知でなければならない。

下顎剛体系での切歯点の位置（測定標点との位置関係）の決定には，測定用下顎顔弓を咬合器装着された歯列模型に再装着し，三次元読取り顕微鏡（PIKA精工，3-XYZ）により同時に計測した測定標点と切歯点の座標を用いた。

顎頭点はセファログラム上で決定した顎頭中央点とし，その下顎剛体系での位置の決定には，切歯点と同様に咬合器上で計測された測定標点と平均的顎頭点の座標，およびセファログラム上で計測した平均的顎頭点と顎頭中央点との位置関係を用いた。

分析点の下顎剛体系上での位置決定法およびその三次元運動の推定方法の詳細に関しては，文献5）で述べた。

III. 顎頭の回転運動の一評価法

1. 平衡側顎頭の矢状回転角

前方滑走運動の場合，切歯点の側方偏位と両側の矢状顎路傾斜の差が少なければ，下顎運動は近似的に二次元剛体運動とみなすことができる。したがって，この回転

図 2 平衡側顎頭の矢状回転角 ϕ

は1つの変数で表される。しかし，側方運動は本質的に三次元運動であることから，回転を表すには最低3つの変数が必要であり，どのような量を顎頭間軸の回転量とするかは前方滑走運動の場合とは異なり単純には定まらない。中野¹⁵⁾は，前方滑走運動での計測法¹⁴⁾を用いて，切歯点から全運動軸に下した垂線が垂直軸とのなす角度の変化により回転運動を評価した。

本論文の目的は顎頭の回転運動の分析を通して顎頭の回転と前方移動との協調について調べることにあるため，定義される回転量としては，1) 回転に起因する顎頭上面の移動量を簡単に推定することができ，さらに，2) 切歯路と平衡側顎路に主として依存し，作業側顎頭などの他の要素の影響が少ない変数であることが望ましい。2)の要請は，臨床的に歯牙指導を決定したり，既存の歯牙指導を運動論的に評価する場合を考慮したものである。

1, 2)の要請から，著者は以下で定義した変数を顎頭の回転運動の評価量とした。

平衡側顎頭中心を通り咬頭嵌合位において矢状顎路方向と直交する直線 l を考える（図2）。この直線 l が側方運動により l' の位置に移動したとすると，矢状面投影図で二直線 l, l' のなす角度 ϕ を回転角とした。また，図2の矢印方向を正とした。以後，この角度 ϕ を平衡側顎頭の矢状回転角と呼ぶことにする。

このように定義された矢状回転角 ϕ が上記の要請にどの程度適合するかについては，次節で数値シミュレーションにより明らかにすることにする。

2. 回転角 ϕ の基本的な性質

2-1) 顎頭上面の移動量との関係

前節で定義した矢状回転角 ϕ を用いれば、平衡側顎頭の前上面の移動量 d_{bs} は、顎頭中央点の移動量を d_b 、顎頭中央点から顎頭前上面までの距離を s とすれば、第二余弦定理から、

$$d_{bs} = \{d_b^2 + 2s^2(1 - \cos \phi) + 2d_b s \sqrt{2(1 - \cos \phi) \cos(\phi/2)}\}^{1/2}$$

となり、 ϕ は 0 に近い値をとるから、

$$\approx d_b + s\phi \quad \dots\dots\dots (1)$$

と近似できる。したがって回転に起因する顎頭前上面の移動成分 $d_{bs,r}$ は、

$$d_{bs,r} = d_{bs} - d_b \approx s\phi \quad \dots\dots\dots (2)$$

から求まる。

式 (2) は回転移動に起因する顎頭の移動成分が、顎頭中央点と顎頭前上面までの距離 s と矢状回転角 ϕ との単純な積で求まることを示している。したがって、前節での要請 1) を満たしていることが分かる。

2-2) 下顎運動の決定要素との関係

(1) 分析する変数について

ここでは定義された回転角 ϕ に主として影響を与える他の変数について述べる。扱う変数を図 3 に示した。

水平基準面はフランクフルト平面とし、 α をボンウィル三角が水平基準面に対してなす角度、 β 、 γ を、それぞれ矢状顎頭傾斜度、切歯路の水平面に対する実角（以下、切歯路傾斜度実角と呼ぶ）とする。

L 、 d_i 、 d_w は、それぞれボンウィル三角の一辺の長さ、切歯点の移動距離、作業側顎頭の外側への移動距離を表す。

(2) 切歯路傾斜度と矢状顎頭傾斜度

図 4 に切歯路傾斜度実角 γ と矢状回転角 ϕ との関係は矢状顎頭傾斜度 β をパラメータとして示した（他の変数の設定値については図 4 の説明を参照）。

同図から切歯路傾斜度実角 γ と矢状回転角 ϕ とは線形に近い関係があり、 γ を固定してみると矢状顎頭傾斜度 β とも線形に近い関係があることが分かる。これは、回転角 ϕ を両変数 γ 、 β から推定することを考えると、きわめてよい性質といえる。

(3) 下顎の大きさと垂直的顎間距離

図 4 の矢状回転角 ϕ と切歯路傾斜度実角 γ との関係を示すグラフの傾きは、下顎の大きさや垂直的顎間距離にも影響される。

下顎の大きさに関係する変数としてボンウィル三角の一辺の長さ L をとり、それをパラメータとした ϕ と γ

図 3 シミュレーションにおける各種パラメータ
： α 、ボンウィル三角と水平基準面とのなす角度； β 、矢状顎頭傾斜度； γ 、切歯路傾斜度実角； L 、ボンウィル三角の一辺の長さ； d_w 、作業側顎頭の外側移動量； d_i 、切歯点の移動量

図 4 切歯路傾斜度実角 γ と矢状回転角 ϕ との関係
(パラメータ、矢状顎頭傾斜度 β)

： $\alpha = 26(^{\circ})$ 、 $L = 110(\text{mm})$ 、 $d_w = 0.5(\text{mm})$ 、 $d_i = 3(\text{mm})$

との関係を図 5 に示した。また、垂直的顎間距離に関係する変数として α をとり、それをパラメータとした関係を図 6 に示した。

図 5、6 から、矢状回転角 ϕ が 0、つまり顎頭が矢状的に平行移動するときには当然 L と α の影響はなく、回転量が大きいほど両変数が矢状回転角 ϕ に与える影響が大きいことが分かった。また、ボンウィル三角の大

図5 切歯路傾斜度実角 γ と矢状回転角 ϕ との関係
(パラメータ, ボンウィル三角の一辺の長さ L)
: $\alpha=26(^{\circ})$, $\beta=30(^{\circ})$, $dw=0.5(\text{mm})$, $d_i=3(\text{mm})$

図7 作業側顆頭の前後移動と矢状回転角 ϕ との関係
(パラメータ, 切歯路傾斜度実角 γ)
: $\alpha=26(^{\circ})$, $\beta=30(^{\circ})$, $L=110(\text{mm})$, $dw=0.5(\text{mm})$, $d_i=3(\text{mm})$

図6 切歯路傾斜度実角 γ と矢状回転角 ϕ との関係
(パラメータ, α)
: $\beta=30(^{\circ})$, $L=110(\text{mm})$, $dw=0.5(\text{mm})$, $d_i=3(\text{mm})$

図8 作業側顆頭の内外移動と矢状回転角 ϕ との関係
(パラメータ, 切歯路傾斜度実角 γ)
: $\alpha=26(^{\circ})$, $\beta=30(^{\circ})$, $L=110(\text{mm})$, $dw=0.5(\text{mm})$, $d_i=3(\text{mm})$

きさしよりも水平基準面とのなす角度 α , すなわち垂直的顎間距離の影響の方が大きかった。

(4) 作業側顆路

Ⅲ-1で定義した平衡側顆頭の矢状回転角 ϕ は, 矢状的な回転運動のみならず水平的, 前頭的な運動によっても影響を受ける。本節ではそれらの運動に影響を与える作業側顆路との関係について述べる。

作業側顆頭の前後移動, 内外方移動, および上下移動

と矢状回転角 ϕ との関係を, それぞれ図7, 8, および9に示した。

図7から, 作業側顆頭の前後方向への運動が矢状回転角 ϕ に与える影響は, その移動距離が $\pm 0.5 \text{ mm}$ 以下で切歯路傾斜度実角 γ が 50° 以下の範囲内では, 0.15° 以

下 ($\alpha=26(^{\circ})$, $\beta=30(^{\circ})$, $L=110(\text{mm})$, $d_i=3(\text{mm})$) と小さかった. 同様に作業側顆頭の内外移動の影響も (図 8), 前後移動と同じ条件下では, 0.2° 以下であった.

それに対して作業側顆頭の上下的な移動の影響 (図 9) は大きく, 同じ条件下では 0.5° 近くも変化した.

作業側顆路が著しい前方移動型や後方移動型のときには, 矢状顆路傾斜により上下的な移動量が大きくなることが考えられる. このような場合, 切歯路と顆路のみから平均的に推定された矢状回転角 ϕ の推定誤差は大きくなることが予想される.

図 9 作業側顆頭の上下移動と矢状回転角 ϕ との関係 (パラメータ, 切歯路顆路傾斜度実角 γ)
: $\alpha=26(^{\circ})$, $\beta=30(^{\circ})$, $L=110(\text{mm})$, $d_w=0.5(\text{mm})$, $d_i=3(\text{mm})$

IV. 実験結果

1. 切歯路傾斜度実角

咬合平面を水平基準面としたときの切歯点の運動方向は, 第 1 報¹⁹⁾で既に述べたように従来の報告^{10, 15-17)}とほぼ同様であった.

表 3 に切歯路傾斜度実角 γ のフランクフルト平面および咬合平面を水平基準面としたときの値を示した.

フランクフルト平面を水平基準面としたときの計測値は $21.1 \sim 51.5^{\circ}$ 平均 $33.7 \pm 7.72^{\circ}$ であり (表 3), そのヒストグラム (図 10) は正規分布に近い分布形状を示した.

咬合平面を水平基準面としたときの γ の値は $15.3 \sim 52.3^{\circ}$, 平均 $32.2 \pm 15.34^{\circ}$ であった (表 3). これは中野の報告¹⁵⁾における平均値 $30.07 \pm 11.43^{\circ}$ (水平基準面はカンペル平面) とほぼ等しい結果といえる.

図 10 切歯路傾斜度実角 γ のヒストグラム
: 水平基準面, フランクフルト平面; データ数, 60 (被験者数 10 名, 各被験者 6 データ)

表 3 切歯路傾斜度実角 γ と矢状顆路傾斜度 β

計 測 値	水平基準面	平 均	標準偏差	最小値	最大値
		($^{\circ}$)			
側方切歯路傾斜度実角 γ	Frank. Pl. ⁺⁺	33.7	7.72	21.1	51.5
	Occl. Pl. ⁺	32.2	15.34	15.3	52.3
矢状側方顆路傾斜度 β	Frank. Pl.	50.2	10.13	29.3	66.9
	Occl. Pl.	41.5	11.38	19.5	59.5

⁺咬合平面; ⁺⁺フランクフルト平面

切歯路傾斜度実角 γ , III-2-2 (1) を参照; データ数, 60 (被験者 10 名, 各被験者 6 データ)

図 11 矢状顆路傾斜度 β のヒストグラム

: 水平基準面, フランクフルト平面; データ数, 60 (被験者数 10 名, 各被験者 6 データ)

表 4 平衡側顆頭の矢状回転角 ϕ

計測値	平均	標準偏差	最小値	最大値
	(°)			
矢状回転角 ϕ	0.5	0.25	0.1	1.1

矢状回転角 ϕ , III-1 参照; データ数, 60 (被験者 10 名, 各被験者 6 データ)

図 12 平衡側顆頭の矢状回転角 ϕ のヒストグラム

: データ数, 60 (被験者数 10 名, 各被験者 6 データ)

2. 矢状顆路傾斜度

平衡側顆頭の移動量の切歯点移動量に対する比は従来の報告^{13,15,17)}と同様であった¹⁹⁾。

矢状顆路傾斜度 β の計測値は, フランクフルト平面を水平基準面としたときの値が $29.3 \sim 66.9^\circ$, 平均 $50.2 \pm 10.13^\circ$ であり (表 3), その範囲は Lundeen の報告¹²⁾

と一致した。また, 咬合平面を水平基準面としたときの値は, $19.5 \sim 59.5^\circ$, 平均 $41.5 \pm 11.38^\circ$ であり (表 3), 従来の報告^{13,15,17)}と同様であった。

図 11 にフランクフルト平面を水平基準面としたときの計測値のヒストグラムを示した。

3. 矢状回転角

平衡側顆頭の矢状回転角 ϕ は, $0.1 \sim 1.1^\circ$ の範囲に分布し, 平均 $0.5 \pm 0.25^\circ$ であった (表 4)。そのヒストグラム (図 12) は 0.4° 前後を最頻値として分布したが, それ以下のデータが非常に少なく, それ以下では徐々に頻度が低下したのが特徴的であった。

中野の報告¹⁵⁾における全運動軸の回転量は $-0.73 \sim 1.93^\circ$, 平均 $0.72 \pm 0.53^\circ$ であり, 定義が異なるため直接には上記の計測結果と比較できないが, 切歯点の移動量が平均で約 2 mm 本研究の方が少ないことを考慮すれば, ほぼ等しい結果と思われる。

V. 考 察

1. 矢状回転角を制約条件とした切歯路と顆路との関係

本節では, III-1 で定義した平衡側顆頭の矢状回転角 ϕ をある種の制約条件とした歯牙指導と後方指導要素である顆路との関係が存在するかどうかについて, III-2-2 の数値シミュレーションの結果, および第四章で示した実験結果に基づいて考察する。

フランクフルト平面を水平基準面とすると, 切歯路傾斜度実角 γ の計測値は $21.1 \sim 51.5^\circ$, 矢状顆路傾斜度 β の計測値は $29.3 \sim 66.9^\circ$ の範囲に分布した (表 3)。ここで両者が独立に一樣分布すると仮定すれば, 図 4 に示した平均的な場合では, 矢状回転角 ϕ は約 $-0.3 \sim 1.3^\circ$ の約 1.6° の範囲内の値をとることができる。

一方, 実際の計測値の範囲は $0.1 \sim 1.1^\circ$ であり (表 4), 図 12 のヒストグラムから分かるように 0° 以下のデータは存在せず, 0.3° 以下も非常に少なかった。また, 1.1° 以上は存在せず, ヒストグラムも平均 0.5° 前後を最頻値とし, それ以上の角度では徐々に頻度が低下した。

以上の数値シミュレーションからの予測と実験結果との相違から, 切歯路傾斜度実角 γ と矢状顆路傾斜度 β は独立ではなく, それらを要素とする二次元ベクトルは二次元空間上での分布において何らかの制約を受けていると考えられた。

図 13 切歯路傾斜度実角 γ と矢状顆路傾斜度 β との関係

図 13 は、切歯路傾斜度実角 γ と矢状顆路傾斜度 β をそれぞれ横軸と縦軸にとり、計測データの二次元平面上での分布を示したものである。

図 13 の分布から、矢状顆路傾斜度 β がきわめて急なときには、切歯路傾斜度実角 γ の下限が β に比例して増加し、逆に矢状顆路傾斜度 β が緩いときには、 γ の上限が β が小さくなるに比例して小さくなるように思われた。中野¹⁵⁾による計測結果(文献 15)の図 15)もほとんど同じ分布形状を示していた。

この制約について、図 4 を用いて矢状回転角 ϕ の観点から考察する。矢状顆路傾斜 β が急なときに切歯路傾斜度実角 γ の下限が制限されるならば、矢状回転角 ϕ が減少して 0 以下となることを防ぐことができる。また、逆に矢状顆路傾斜 β が緩いときに切歯路傾斜度実角 γ の上限が制限されるならば、矢状回転角 ϕ が増加して回転主導型の顆頭運動となることを防ぐことができる。

中野¹⁵⁾は矢状顆路傾斜度と側方切歯路 z -実角との間の回帰直線を求め、顆路に対して適切な歯牙指導をその回帰直線を目安として決定することを提案した。数値シミュレーション結果からすると、この歯牙指導の決定方法は、実質的には顆頭間軸回りの回転量を平均的な値にするという働きがあり、上記の考察の結果から生体でも同様な制約が存在すると考えられるため、きわめて妥当な方法であると思われた。

ただし、顆頭間軸の回転量における制約は、矢状回転角 ϕ の分布(図 12)、および切歯路傾斜度実角 γ と矢状顆路傾斜度 β の分布(図 10, 11)からして、著しく回転量が制限されているわけではなく、回転量を $0 \sim 1^\circ$ の範囲内に抑えるという程度に作用しているように思われ

た。したがって、以上をまとめると、“顆頭の回転運動の観点から許容される切歯路傾斜の範囲が明らかとなった”と結論づけることができよう。

しかし、以上の結果は全て実験結果から現象論的に導かれたものであり、さらにその本質にある顆頭の回転運動と顎関節の解剖学的構造、およびそれを司る神経筋機構との関係についてはほとんど分かっていない。河野¹⁴⁾は Abe²⁰⁾によるネコにおける実験結果を引用して前方位から顆頭嵌合位への滑走運動における顆頭の逆回転運動の為害性について考察しているが、より深い考察を得るためには今後の生理学的な研究の進歩を待たねばならないと思われる。

2. 矢状回転角の一推定法

平衡側顆頭の矢状回転角 ϕ が歯牙指導と顆路との調和を考える上で有効であるとするならば、臨床的にこの値を測定ないし推定することは、咬合の診査や歯牙指導を決定する場合において有益と思われる。

従来は、顆路と切歯路とは独立に評価されてきたが、以上の結果から、両者は独立したものではないと考えられるため、矢状回転角 ϕ を制約条件とすれば、任意の矢状顆路傾斜に対する正常な歯牙指導方向の範囲を定めることができる。

そこで本節では臨床的に得られる限られたデータから矢状回転角 ϕ を推定する方法について提案し、その推定精度について考察する。

矢状回転角 ϕ を臨床的に利用することを考えた場合、推定に用いる変数は計測が容易で、かつできるだけ少ないことが望ましい。III-2-2 での数値シミュレーションから、矢状回転角 ϕ には、矢状顆路傾斜度 β および切歯路傾斜度実角 γ が最も影響し、両者と ϕ とは線形に近い関係があることが分かった。そこで、他の要素の影響を全て無視し、 β と γ のみを用いた矢状回転角 ϕ の線形推定式

$$\phi = a_1\beta + a_2\gamma + a_3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

を考えた。ここで $\{a_n\}_{n=1}^3$ は係数である。

係数 $\{a_n\}_{n=1}^3$ は、データ ϕ_n の推定値 ϕ_n^* の残差を $\Delta\phi \equiv \phi_n^* - \phi_n$ とすれば、その二乗和 $\sum_{n=1}^N \Delta\phi_n^2$ を最小にするように決定した。その結果、

$$\phi = -0.01096\beta + 0.03229\gamma + 0.00919 \quad \dots\dots\dots (4)$$

なる推定式を得た。

式(4)を用いた推定値 ϕ の推定残差の絶対値 $|\Delta\phi_n|$ は、平均が $0.09 \pm 0.083^\circ$ で最大値は 0.39° であった。図 14 は縦軸に計測値を横軸にその推定値をとり両者の

図 14 矢状回転角 ϕ の実測値と線形回帰式による推定値との関係

図 15 矢状回転角 ϕ の推定値残差と作業側頭頭の上下移動との関係

関係を示したものである。図の破線上ではデータの残差は 0 となる。

この残差は、下顎の大きさ、垂直的顎間距離および作業側顆路などの他の要素の影響をすべて無視したため生じたものである。しかし、それにもかかわらず残差の平均は 0.09° と小さく、 0.2° 以下のデータが 87% を占めた。

0.2° 以上の残差を示した 4 顆頭では、作業側顆頭が顕著な前下方ないし後上方移動を示していた (第 1 報¹⁹⁾)

の III-5 参照)。このことは、III-2-2 の数値シミュレーション結果からして、作業側顆頭の上下移動が推定精度に最も強く影響することを示唆した。

それを確認するために作業側顆頭の移動と推定残差との関係について調べた結果、相関係数は内外方向への移動との間では -0.41 と相関は弱く、前後方向、上下方向への移動 (図 15) との間では、それぞれ 0.64 , 0.66 と予想通り強い相関を示した。前後移動との間の相関が強かったのは、前後移動が大きいたまは上下移動も大きいためと考えられ、推定残差に直接影響をおよぼすのは作業側顆頭の上下移動であると考えられる。

以上から、平衡側顆頭の矢状回転角 ϕ は、作業側顆頭が上下的に著しく移動しない限り、式 (4) から精度良く推定できることが分かった。

上下移動が大きくなる場合は、作業側顆頭が前方ないし後方移動するときに容易に生じうるが、それらは、第 1 報¹⁹⁾ で述べたように塩澤¹⁷⁾ の定義による切歯誘導角度 θ (咬頭嵌合位における作業側顆頭と切歯点を結ぶ線分と咬頭嵌合位と側方位における切歯点の位置を結ぶ線分とのなす角度) から推定できることがすでに分かっている。塩澤¹⁷⁾ によれば、切歯誘導角度 θ が 90° より著しく大きい場合は作業側顆頭は前方移動し、 80° 以下のように小さい場合は、顆頭位や顎関節の状態にも依存するが、後方移動する可能性が生じるとしている。

したがって、歯牙指導を運動論的な立場から診査するときに、切歯路傾斜度実角 γ と矢状顆路傾斜度 β との関係を調べることは有益ではあるが、それだけでは不十分であり、さらに、切歯誘導角度 θ を調べることにより、作業側顆頭の動態にも注意することが必要であるといえる。

与えられた矢状顆路傾斜度に対して歯牙指導方向を運動論的に適切に決定しなければならないときには、式 (4) に適当な矢状回転角 ϕ を代入することにより、まず、切歯路傾斜度実角 γ を求めることができる。しかし、切歯路傾斜度実角 γ は、切歯点の移動量 d_i を一定とすれば、垂直的な切歯点の移動量を決定するだけであり、 γ と d_i が一定な切歯点の側方位は円弧上の任意の位置をとりうる。そこで、さらに切歯誘導角度 θ ¹⁷⁾ を導入し、その角度を定めれば、その円弧上での水平的な切歯路方向がさらに定まり、切歯点の側方位を一意に決めることができる。

以上の考察から、切歯路傾斜度実角 γ 、矢状顆路傾斜度 β 、および切歯誘導角度 θ は、臨床的な歯牙指導の診査や歯牙指導の決定において特に重要であることが分か

った。

VI. 結 論

矢状面投影図における平衡側顎頭の回転角を平衡側顎頭の矢状回転角 ϕ と定義し (Ⅲ-1), これを媒介変数として顎路と切歯路との関係について分析した。

1) 平衡側顎頭の矢状回転角 ϕ は $0.1 \sim 1.1^\circ$, 平均 $0.5 \pm 0.25^\circ$ を示した (Ⅳ-3)。

2) 矢状回転角 ϕ , 切歯路傾斜度実角 γ , および矢状顎路傾斜度 β の測定結果 (Ⅳ) と数値シミュレーション (Ⅲ-2) の結果とを比較検討した結果, 矢状回転角 ϕ を $0 \sim 1^\circ$ 以内に抑制するように, 歯牙路と顎路とは調和していると考えられた (Ⅴ-1)。

3) 矢状回転角 ϕ は, 切歯路傾斜度実角 γ と矢状顎路傾斜度 β のみによる線形推定式 (式 (4)) を用いて, 誤差の絶対値が平均 $0.09 \pm 0.083^\circ$ の精度で推定することができた。また, 0.2° 以上の大きな誤差は主として作業側顎頭の上下的な移動に起因することが分かった (Ⅴ-2)。

本研究を進めるにあたり, ご指導と貴重なご意見を頂いた新潟大学歯学部, 石岡 靖教授, 野村修一助教授に深謝致すとともに, 測定装置の共同開発者である多和田孝雄氏, 故山崎石治氏, 測定に協力して頂いた山村和彦氏, 山岡秀樹氏, 飯島 正氏, 加藤一誠氏に心から感謝致します。技官の平野秀利氏にはすべての面に渡ってご援助頂きました。心から感謝致します。

本研究の一部は文部省科学研究補助金奨励研究 A 477824 (1979), A 60771628 (1985) の補助により行われた。

文 献

- 1) 林 豊彦, 多和田孝雄, 山崎石治, 塩澤恭郎, 石岡 靖: 光方式非接触型下顎運動測定装置の回路構成, 信学技報, MBE81 (39): 25~32, 1981.
- 2) 林 豊彦, 多和田孝雄, 山崎石治, 石岡 靖: 歯牙接触滑走運動の 3 次元測定システム, 補綴誌, 25 (3): 143~150, 1981.
- 3) 林 豊彦, 多和田孝雄, 塩澤恭郎, 平野秀利, 石岡 靖: 光方式非接触型下顎運動測定装置の補正方法, 信学技報, MBE82 (12): 1~8, 1982.
- 4) 林 豊彦, 加藤一誠, 石岡 靖: Electoro-pantograph の計測原理と測定精度について, 信学技報, MBE83 (53): 25~32, 1983.
- 5) 林 豊彦, 加藤一誠, 塩澤恭郎, 野村修一, 石岡 靖: 半導体センサを用いた下顎運動の 3 次元測定法と解析システムについて, 日本 ME 学会下顎運動機能と EMG 研究会, 昭和 58 年度論文集: 127~135, 1983.
- 6) 林 豊彦, 多和田孝雄, 石岡 靖: 光を用いた非接触型 3 次元下顎運動測定システムの開発, 医用電子と生体工学, 23 (5): 28~34, 1985.
- 7) 林 豊彦, 飯島泰蔵: 形状情報を利用した物体位置の一認識手法, 信学技報, PRL85 (32): 1~60, 1985.
- 8) 林 豊彦, 飯島泰蔵: 形状情報を利用した物体位置の一認識手法 第二報 測定誤差と測定系の最良化, 信学技報, PRL85 (72): 25~34, 1986.
- 9) 藍 稔: 切歯点部における咀嚼運動の解析, 補綴誌, 6: 164~200, 1962.
- 10) 真柳昭紘: 側方滑走運動における顎頭運動の研究, 補綴誌, 14: 158~182, 1970.
- 11) Ingervall, B.: Range of sagittal movement of the mandibular condyles and inclination of the condyle path in children and adults, Acta Odont Scand, 30: 67~87, 1972.
- 12) Lundeen, C. and Wirth, G.: Condylar movement patterns engraved in plastic blocks, J Pros Dent, 30 (6): 866~875, 1973.
- 13) 真柳昭紘: 側方滑走運動における彎曲に関する研究, 補綴誌, 17: 205~213, 1973.
- 14) 河野正司, 塩沢育己, 中野雅徳: 前方滑走運動の歯牙指導要素としての切歯路の研究, 補綴誌, 19 (3): 116~123, 1975.
- 15) 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 (4): 187~205, 1976.
- 16) 栗山 實: 歯牙指導要素が平衡側顎路に与える影響について, 補綴誌, 23 (1): 126~147, 1979.
- 17) 塩澤恭郎: 下顎任意点の運動解析 第 2 報 下顎限界運動の立体的解析, 補綴誌, 26 (1): 148~164, 1982.
- 18) 保母須弥也, 望月貞成: 自動電子計測システムによるヒトの下顎運動の研究 第 2 報 水平側方顎路における共通媒介変数 (I.P.B. 値) の存在について, 補綴誌, 26 (3): 635~653, 1981.
- 19) 林 豊彦: 側方滑走運動の三次元動態に関する研究 第 1 報 下顎代表点の運動路と運動初期の動態について, 補綴誌, 30: 1136~1148, 1986.
- 20) Abe et al: A study on the inhibition of masseteric α -motor fiber discharges by mechanical stimulation of the temporomandibular joint in the cat, Archs oral Biol, 18: 301~304, 1973.