切歯路傾斜度の顎頭運動に与える影響

第1報 矢状切歯路傾斜度

加藤 一誠

A Study on Influence of Inclination of Incisal Path on Condylar Path

Part 1. Sagittal Inclination of Incisal Path

Kazumasa Katoh

Abstract : There have been not many experimental studies about the influence of incisal path on condylar path, though it is important to know it in clinic. By changing the sagittal inclination of incisal path, the condylar path was influenced both in distance and in inclination.

When the sagittal inclination of incisal path was smaller than that of condylar path, the distance of the tracing of the kinematic-axis point was longer than that of incisal path. The smaller the inclination angle of the incisal-condylar points line in the sagittal view was, the longer the distance of condylar path was.

The inclination angle of the tracing of the arbitrary condylar points depended on its locational relationship with the specific line that intersects at nearly right angles to the condylar path through the kinematic-axis point. That is, the arbitrary condylar points on the specific line had reproducible inclination angle of condylar tracing equally as that of the kinematic-axis point. When the inclination angle of incisal path was smaller than that of condylar tracing, the points located in front of the specific line had larger inclination angle, and the points located behind the specific line had smaller inclination angle.

Key words : experimental study, kinematic-axis point, inclination of sagittal incisal path, distance of sagittal condylar path, inclination of sagittal condylar path

目 次

I. 緒 言

II. 研究方法

1. 測定システム

- 1) 測定システムの概要
- 2) 測定精度

2. 基準平面

3. 被験者

4. 前方滑走運動の誘導方法と運動開始点

5. 顎頭運動の解析点

III. 結 果

1. 顎頭点の位置

- 1) 顎頭中央点の位置
- 2) 全運動軸点の位置

2. 矢状切歯路傾斜度の変化が矢状顎路に与える影響

1) 運動距離

2) 矢状顎路傾斜度

IV. 考 察

1. 全運動軸点について

新潟大学大学院歯学研究科歯科補綴学専攻（指導：石岡 靖教授）

Niigata University Graduate School of Dentistry Major in Prosthodontics (Director : Kiyoshi Ishioka)

昭和60年8月20日受付

2. 矢状切歯路傾斜度の変化が矢状顎路に与える影響

1) 運動距離に与える影響

2) 矢状顎路傾斜度に与える影響

(1) 矢状顎路傾斜度の変化

(2) 矢状顎路傾斜度の再現性

a. 前方滑走運動時の矢状顎路傾斜度の再現性

b. 臨床との関連

V. 結 論

VI. 付 録

1. 全運動軸点の探索方法

2. 下顎の回転角について

3. 任意の顎頭点における顎路傾斜度差

文 献

I. 緒 言

歯牙の接触滑走運動における下顎の三次元運動軌跡は、前方指導要素である歯牙指導と後方指導要素である顎路指導とによって定まっている。補綴治療や矯正治療など、臨床において咬合の再構成、あるいは変更する場合には、顎路指導は歯牙指導と同等に重視しなければならないが、顎路指導は患者に固有のものであり、術者が勝手に変更することはできない。そこで、術者にとって要求されることは、歯牙指導が顎路指導に対して生理機能的に調和するように配慮することである。

これまで、歯牙指導と顎路指導との関係について、2つの方向から研究が行われてきた。その1つは、多くの被験者を測定して歯牙指導・咬合位と顎路指導・顎頭位との間の基準となるべき平均的関係を研究する方法¹⁻³⁾であり、もう1つは、実験的に歯牙指導・咬合位を変化させたときに顎路指導・顎頭位が受ける影響について研究する方法⁴⁻⁷⁾である。著者は後者の立場から研究を行った。

従来の実験的な研究は、歯牙指導・咬合位の定まっている正常有歯顎者について行われていた。そのため、歯牙が障害となり、歯牙指導を変化させる場合にはその変化の範囲に制限を受けるために、咬合を挙上しなければならないなど何らかの工夫が必要とされ、自由に歯牙指導・咬合位を変化させることができなかった。

著者は上記の問題を避けるために、固有の歯牙指導・咬合位を失った、いわゆるすれちがい咬合者を被験者とした。これによって、被験者に滑走運動を行わせるとき

に、同一の咬合位から、切歯点において矢状あるいは側方の切歯路傾斜度を可能なかぎり広い範囲にわたって変化させることができた。今回は、矢状切歯路傾斜度の変化が顎頭運動軌跡に与える影響について検討した。

その結果、正常有歯顎者と比較して本研究の被験者では、全運動軸点の位置が変化している被験者が多いことがわかった。このような被験者では、臨床において平均的顎頭点による矢状顎路傾斜度の測定をすると誤差を生じる可能性があるため、全運動軸点による矢状顎路傾斜度の測定が好ましいと考えられた。

また、全運動軸点の運動軌跡についてその運動距離と運動方向(矢状顎路傾斜度)について詳しく検討した結果、切歯点の運動距離を一定にしたときの顎頭の運動距離の大きさは、矢状切歯路傾斜度、矢状顎路傾斜度、切歯点と全運動軸点とを含む平面が基準平面となす角度の3者によって主に影響を受けること、また、矢状顎路傾斜度については、任意の顎頭点の矢状顎路傾斜度の変化は、全運動軸点との位置関係によって決定されることがわかった。さらに、任意の顎頭点の矢状顎路傾斜度の再現性について検討し、特に全運動軸点の矢状顎路傾斜度の再現性を、簡便に臨床で利用するための新たな後方基準点の探索方法を提案した。

II. 研究方法

1. 測定システム

1) 測定システムの概要

本研究は当教室で開発した半導体位置センサを応用した非接触型下顎任意点運動測定システム^{8,9)}で行った。被験者の下顎が剛体条件を充たし、下顎に固着した3個の測定点の3次元運動データも剛体条件を充たした3次元運動を行うことを条件とした。これによって、下顎任意点の運動を計算によって推定することができる。

測定点には近赤外線発光素子 LED (東芝 TLN104) を用いた。LED は顔弓上の切歯部と左右顎頭部に位置しており、顔弓はシーネを介して下顎歯列弓に固着した。LED の位置は外方に設置したカメラで非接触に検出し、受光面にある半導体センサ PSD (浜松テレビ社 S1300) で電気信号に変換した。図1にシステムの構成を示した。

光学系を用いて下顎運動を測定する場合には、頭部が動揺することを防ぐために、被験者の頭部を固定する方法がとられてきたが、完全に固定することは不可能である。そこで、本システムでは、上顎歯列にシーネを介して固着した下顎と同様の測定用顔弓によって、頭部の動

図 1 システム構成

図 2 非接触型下顎任意点運動測定装置の装着状態

揺も同時に測定した。ただし、LED が光学系の視野から外れることを防ぐために、下顎運動に支障のない程度に頭部の固定を前頭部で行った(図 2)。頭部の動揺を伴った下顎の運動データを、同時に測定された上顎上の座標系に換算すれば、頭部の動揺が除かれ、下顎の上顎に対する運動のみ得ることができる。

2) 測定精度

測定精度については、表 1 に LED 座標の測定精度を示した。位置変化の分解能は、ノイズや顔弓の振動のために、0.15 mm 以下の識別は不可能であった。なお、運動測定におけるサンプル周期は 10 ms である。

2. 基準平面

左右の平均的顎頭点と左側鼻翼下縁とで決まる平面を水平基準平面とした。平均的顎頭点の位置¹⁰⁾は、耳珠後縁と外眼角とを結ぶ線上で 13 mm 前方の点とした(図 3)。

3. 被験者

被験者は新潟大学歯学部付属病院補綴科にて製作された部分床義歯を装着している 45~72 歳の男女 11 名であ

表 1 測定装置の測定精度

顔 弓	測 定 領 域	座標測定誤差
上 顎	12 × 12 × 12mm ³	<0.09mm *
下 顎	20 × 20 × 20mm ³	<0.12mm *
	40 × 40 × 40mm ³	<0.24mm *

* 測定領域内の立方格子点 125 点における最大誤差、ただしノイズの影響は除く

図 3 基準平面

る。顎位は安定しており、顎口腔系機能には臨床的に異常は認められなかった。残存歯の状態や特記事項など被験者についての詳細は表 2 に示した。

4. 前方滑走運動の誘導方法と運動開始点

図 4 に示すように、前方滑走運動の誘導は、切歯点で行った。被験者の上顎前歯の欠損部あるいは根面板上で中切歯舌面相当部に、金属性のガイドグループ付ブロックを取り付け、下顎中切歯切縁相当部にガイドピンを固着した。この装置により被験者は前方滑走運動の開始点から、ピンをガイドグループにそわせて常に正中矢状方向に直線的に前方滑走運動を行うことができた(図 5)。ただし、ガイドピンやガイドブロックを固着した歯牙の動揺が、測定用顔弓に伝わらないように、誘導装置と測定装置は分離して歯牙に固着されている。

矢状切歯路傾斜度の変化は、ガイドブロックの交換によって行った(図 6)。矢状切歯路傾斜度の変化は、前述の水平基準面(ほぼカンベル氏平面に近い)を 0° とすると、0° から下方へ 60° までの範囲を 10° 間隔で与えた。また、ガイドブロックを交換しても前方滑走運動の開始点の位置が変化しないように、ガイドブロックの設計に配慮した。

滑走運動の開始点となる顎位は中心位を採用した。水

表 2 被 験 者

Case	Age	Sex	Remaining Teeth	Prostheses
A	45	F.		Konuskronen-Teleskope P.D. (Upper & Lower)
B	53	F.		Konuskronen-Teleskope P.D. (U. & L.)
C	55	F.		Konuskronen-Teleskope P.D. (U.) Bridge
D	55	F.		Konuskronen-Teleskope P.D. (U. & L.)
E	58	M.		Konuskronen-Teleskope P.D. (U. & L.)
F	59	F.		Konuskronen-Teleskope P.D. (U.) Bridge
G	59	M.		Konuskronen-Teleskope P.D. (U. & L.)
H	62	M.		Konuskronen-Teleskope P.D. (U. & L.)
I	65	F.		Metalic P.D. (U. & L.)
J	68	M.		Acrylic Resin P.D. (U. & L.) coping
K	72	M.		Acrylic Resin P.D. (U. & L.) coping

○ : Abutment Tooth

図 4 前方滑走運動の誘導

図 5 ガイドグループとガイドピン

平的にはゴシックアーチのアベックスに一致しており、垂直的には接着している義歯の咬合高径に一致していた。被験者が現在装着している部分床義歯は、中心位にて咬合採得して製作した。被験者は習慣的開閉口運動を

するときにも、安定してこの顎位を再現することができた。

図6 ガイドブロック

図7 顎頭中央点の決め方

5. 顎頭運動の解析点

解剖学的顎頭中央点（以下顎頭中央点とする。形態的な中央点で、頭部X線規格写真により決定する。図3, 7), および全運動軸上の顎頭中央点（以下全運動軸点とする。全運動軸上で、前頭面からみたときの形態的な顎頭の中央となる点）である。

III. 結 果

1. 顎頭点の位置

図8-a, bの各枠内に点線で示したのは、各被験者の左右顎頭の矢状面投影外形である。黒丸が顎頭中央点、白丸が全運動軸点、三角印が平均的顎頭点である。横縞線の領域が、矢状面限界運動をしたときの顎路の上下の幅が $0.7\text{ mm}^{1)}$ 以下となる顎頭点の領域である。全運動軸点の軌跡の上下幅が最小でも 0.7 mm 以上となるCase I, Kでは、目視によって上下幅が最も小さく、変化の少ない軌跡を描く顎頭点の領域とした。全運動軸点はこれらの領域内で、最も軌跡の上下幅が小さくなる点である。な

お、枠外に全運動軸点の軌跡の上下幅の範囲を示した。

1) 顎頭中央点の位置

前方および後方の解剖学的な各基準点の位置（図3）に小鉛玉を付着して、正面および側面の頭部X線規格写真を撮影し、X線写真上で作図によって形態的に顎頭の中央点の位置を決定した（図7）。

その結果、被験者11名22顎頭において、顎頭中央点の位置は矢状面投影では、平均的顎頭点から後方へ平均で 1.0 mm （最大で 3.8 mm 、最小で 0.0 mm ）、下方に平均で 1.1 mm （最大で 3.8 mm 、最小で 0.0 mm ）であった。距離で示すと $3.7 \pm 2.1\text{ mm}$ （最大で 7.4 mm 、最小で 0.4 mm ）であった。

前頭面投影では、顎頭中央点の位置は平均的顎頭点から内方に $21.9 \pm 3.0\text{ mm}$ （最大で 29.1 mm 、最小で 18.2 mm ）であった。

2) 全運動軸点の位置

付録1に示す探索法¹¹⁾により、全運動軸点の位置を決定した。なお、全運動軸点を探索したときに、各被験者に与えた矢状切歯路傾斜度は、本研究で与えた矢状切歯路傾斜度の変化の中央値の 30° とした。

その結果、平均的顎頭点からの全運動軸点の位置は、前方に平均で 1.4 mm （最大で前方に 7.1 mm 、最小で後方に 0.4 mm ）、上方に 6.9 mm （最大で上方に 18.0 mm 、最小で下方に 0.7 mm ）であった。距離で示すと $7.8 \pm 4.9\text{ mm}$ （最大で 19.0 mm 、最小で 1.0 mm ）であった。

顎頭中央点からの位置では、前方に 0.5 mm （最大で前方に 5.0 mm 、最小で上方に 0.3 mm ）、上方に 8.7 mm （最大で上方に 18.4 mm 、最小で下方に 0.7 mm ）であった。距離で示すと、 $10.0 \pm 4.9\text{ mm}$ （最大で 18.4 mm 、最小で 1.3 mm ）であった。

図9は各被験者に矢状面の限界運動を行わせたときの両顎頭点の運動軌跡である。なお、各被験者の全運動軸点の運動軌跡の上下幅は最小で 0.41 mm 、最大で 0.92 mm 、平均で $0.61 \pm 0.18\text{ mm}$ であった。特に、Case A, I, K, では値が大きく $0.75 \sim 0.92\text{ mm}$ となった。

2. 矢状切歯路傾斜度の変化が矢状顎路に与える影響

前方滑走運動時の矢状切歯路傾斜度の変化が、顎頭運動軌跡に与える影響を解析した。解析項目は、顎頭中央点と全運動軸点との軌跡の運動距離と運動方向（矢状顎路傾斜度）である。切歯点の運動距離は 5 mm に規格化した。

1) 運動距離

図10に各矢状切歯路傾斜度に対する、各被験者の顎

図 8-a 全運動軸点, 顎頭中央点, 平均的顎頭点の位置

頭中央点の運動距離を示す。横軸が矢状切歯路傾斜度、縦軸が被験者 11 名 22 顎頭における顎頭中央点の運動距離である。なお、全運動軸点については図 11 にまとめて示す。

図 11 には顎頭中央点と全運動軸点との運動距離の平均値を示す。黒丸は顎頭中央点、白丸は全運動軸点である。() 内の数値は、切歯点の運動距離 5 mm を基準としたときに、各矢状切歯路傾斜度に対する両顎頭点の

運動距離を百分率で表したものである。下の棒グラフはそれぞれの分散を示している。

その結果、顎頭中央点の運動距離は、矢状切歯路傾斜度の変化 ($0^\circ \sim 60^\circ$) の影響を受けた。11 名 22 顎頭の運動距離の平均値は矢状切歯路傾斜度の約 $0^\circ \sim 10^\circ$ の範囲で漸増し、約 10° から漸減した。 0° のときで $4.96 \pm 0.43 \text{ mm}$ (切歯点の運動距離の約 98%)、 $10^\circ \sim 20^\circ$ の範囲で $5.05 \pm 0.32 \text{ mm}$ (約 101%)、約 30° 以上で漸減し、 55°

図 8-b 全運動軸点, 顎頭中央点, 平均的顎頭点の位置

で最小値 4.04 ± 0.57 mm (約 80%) となった。なお、必ずしも矢状切歯路傾斜度の値が 10° ごとにないのは、誘導装置の設定位置の誤差と、ガイドピンを個着した歯牙の動揺による。ただし、測定装置は誘導装置と分離して装着されているので、誘導装置の動揺は測定装置に伝わらない。

全運動軸点の運動距離も矢状切歯路傾斜度の影響を受

けた。矢状切歯路傾斜度の約 $0^\circ \sim 20^\circ$ の範囲で漸増し、約 30° から漸減した。矢状切歯路傾斜度が約 0° のときで 4.77 ± 0.35 mm (約 95%), $20^\circ \sim 30^\circ$ の範囲で 5.04 ± 0.32 mm (約 100%), 55° で最小値 4.17 ± 0.45 mm (約 83%) となった。運動距離の変化について、顎頭中央点は全運動軸点と比較して大きい。矢状切歯路傾斜度の約 $0^\circ \sim 20^\circ$ の範囲で両者は漸減し、約 $20^\circ \sim 30^\circ$ の範

図 9 各被験者の矢状面限界運動時の顎頭運動路 (顎頭中央点, 全運動軸点)

Condylar Path (Distance) : Central Point of Condyle

図 10 矢状切歯路傾斜度の変化が顎頭中央点の運動距離に与える影響

囲で最も小さく、かつほとんど等しくなり、約 30° 以上の範囲で増加した。

2) 矢状顎路傾斜度

切歯点で正中矢状方向への 5 mm の前方滑走運動では、顎頭中央点および全運動軸点の描く軌跡は、多くの被験者においてほぼ直線とみなすことができた。そこで、

図 11 矢状切歯路傾斜度の変化が顎頭の運動距離に与える影響 (平均値と分散)

矢状顎路傾斜度は顎頭中央点および全運動軸点の軌跡において、出発点と切歯点で 5 mm 前方滑走した位置に対応する点とを結ぶ直線が基準平面となす角度とした。

各被験者のデータは図 12-a, b に示した。実線は顎頭中央点 (*L, *R) の軌跡のなす矢状顎路傾斜度であり、点線は、全運動軸点 (KL, KR) のなす矢状顎路傾斜度

図 12-a 矢状切歯路傾斜度の変化が各被験者の矢状顆路傾斜度に与える影響（顆頭中央点，全運動軸点）

図 12-b 矢状切歯路傾斜度の変化が各被験者の矢状顎路傾斜度に与える影響 (顎頭中央点, 全運動軸点)

図 13 矢状切歯路傾斜度の変化が矢状顆路傾斜度に与える影響 (平均値と分散)

である。両者の平均値および最大最小値は図 12-a, b の各枠内に示した。顆頭中央点のなす矢状顆路傾斜度の平均値は 26.20° 、最小値は 14.40° 、最大値は 34.50° であった。全運動軸点のなす矢状顆路傾斜度の平均値は 26.20° 、最小値は 14.00° 、最大値は 35.90° であった。

左右の顆路傾斜度の差は、顆頭中央点では $0.00^\circ \sim 7.30^\circ$ であり、全運動軸点では $0.10^\circ \sim 7.40^\circ$ であった。

図 13 に矢状切歯路傾斜度を 30° としたときの矢状顆路傾斜度を基準とし、各矢状切歯路傾斜度に対する各矢状顆路傾斜度の変化を百分率で示した。黒丸は顆頭中央点、白丸は全運動軸点である。下の棒グラフはそれぞれの分散を示している。約 $0^\circ \sim 60^\circ$ までの矢状切歯路傾斜度の変化に対する顆頭中央点のなす矢状顆路傾斜度の平均値は、矢状切歯路傾斜度の増加に伴い漸増した。全運動軸点のなす矢状顆路傾斜度の平均値は、ほとんど変化しなかった。矢状顆路傾斜度の分散は一定した傾向はみられなかったが、約 $20^\circ \sim 30^\circ$ の範囲では、顆頭中央点と全運動軸点とは、ほぼ等しかった。

IV. 考 察

1. 全運動軸点について

顎関節における顆頭の運動軌跡の特徴は、顆頭の形態的特徴に関係していると考えられるので、全運動軸点は顆頭内に存在するか、あるいは顆頭と解剖学的に一定の位置関係とならなければならないと考えられる。

従来の報告^{1-3, 12-16)}では、全運動軸点はほとんどが平均的顆頭点の近くに位置していたが、本研究の被験者では、図 8-a, b に示したように、全運動軸点の存在位置が顆頭外に大きく外れる例や (Case B, I, K の 3 名 6 顆頭) また、前者ほどではないが Case C, E, F, G, H の 5 名 8 顆頭のように顆頭外に外れる傾向のある例がみら

れた。全運動軸点、平均的顆頭点間の距離の平均値で比較すると、従来の報告の約 2.7 倍となり、全運動軸点の位置が、特に前上方に位置する例が多くみられた。

この原因として主に 2 つが考えられる。1 つには、全運動軸点は運動形態から決定される顆頭点¹⁷⁻²⁴⁾であるためと考えられる。全運動軸点は下顎の矢状面内運動において、運動軌跡の矢状面投影図での上下幅が最小となる下顎上の点として定義されている。しかし、上下幅が完全に一致することは生体においては難しい¹⁾。

もう 1 つは、被験者の条件が関係しているためと考えられる。本研究の被験者では、従来の報告のように年齢の若い正常有歯顎者とは、異なり、年齢が高く (平均約 59 歳)、歯牙の欠損のために咬合関係が定まらない不良な咬合関係の既往があった。このような被験者群では、顎関節において顆頭と関節円板や靱帯などの顆頭の周囲の組織との関係が変化したために、顆頭の運動軌跡も影響を受け、全運動軸点の位置が、顆頭内の狭い領域には存在しにくくなっていると考えられた²⁵⁾。

さて、前者では、顆頭の運動軌跡のどの部分に重点を置いて上下幅を最小とするかの決定基準^{1-3, 12-16)}の違いによっても全運動軸点の位置は異なるが、本研究の被験者ほど大きく変位する例は、みられなかった。また、本研究の決定基準¹¹⁾も従来のものとほとんど異ならないことから (付録 1)、全運動軸点の位置変化は後者の理由によることが大きいと考えられた。

また、文頭で述べたように、全運動軸点の位置が顆頭外に不規則に外れ、顆頭の運動形態との一定した関係が見出されないときには、全運動軸点も運動論的に求まる単なる特殊点にすぎないが、本研究の多くの被験者の全運動軸点が前上方に変位していたことから、全く不規則に変位しているわけではなく、顎関節に構造的な変化があるときに、全運動軸点の変位し易い方向があると考えられた。

2. 矢状切歯路傾斜度の変化が矢状顆路に与える影響

矢状切歯路傾斜度の影響を、顆頭の運動距離と運動方向 (矢状顆路傾斜度) について検討する。

1) 運動距離に与える影響

全運動軸点のなす矢状顆路傾斜度は、矢状切歯路傾斜度の変化の影響を受けにくいので顆頭点として幾何学的に検討し易い基準点である。

全運動軸点の運動距離 d を決定するパラメータは切歯点の運動距離 a 、矢状面に投影した切歯点・全運動軸点間距離 L 、矢状切歯路傾斜度 ϕ 、切歯点と全運動軸点と

A : Incisor Point B : Condylar Point
 α : Inclination of $\overline{AB}$
 β : Inclination of Condylar Path
 ϕ : Inclination of Incisor Path
 L : $\overline{AB}$, $\overline{A'B'}$ $\overline{AA'} = a$

$$d : \overline{BB'} = F(\alpha, \beta, \phi, L, a)$$

図 14 全運動軸点の運動距離 (d)

図 15 全運動軸点の運動距離の計算値

を含む平面が基準平面となす角度 α , 矢状顎路傾斜度 β である。

すなわち, 全運動軸点の運動距離 d は a , L , ϕ , α , β の関数として,

$$\begin{aligned} d &= F(a, L, \phi, \alpha, \beta) \\ &= a \cos(\phi - \beta) + L \cos(\beta - \alpha) \\ &\quad - \left[\{a \cos(\phi - \beta) + L \cos(\beta - \alpha)\}^2 \right. \\ &\quad \left. - \{a^2 + 2aL \cos(\phi - \alpha)\} \right]^{1/2} \end{aligned} \quad \text{.....①}$$

と表される (図 14)。本研究では切歯点の運動距離を 5 mm としたので $a=5$ とした。

式 ① は実際のデータにその傾向は良くあてはまった (図 10, 15)。

さて, ここで式 ① の性質について詳しく検討する。

図 16 α (切歯点と顎頭点を含む平面が基準平面となす角度) の影響

図 17 β (矢状顎路傾斜度) の影響

i) 切歯点と全運動軸点とを結ぶ線分が基準平面となす角度 α の影響

α の影響を調べるために, α をパラメータとし, ϕ と d との関係を図 16 に示した。

本研究の被験者は, α が $10.0^\circ \sim 17.5^\circ$ (平均 $14.2^\circ \pm 2.1^\circ$) の範囲の値であったので α を 10° から 2° おきに 20° まで変化させた。他のパラメータ β , L は平均値に近い値の 30° , 100 mm とした。

この場合 $\alpha = \phi$ のときに d は最大値 $d_{\max}$ をとり, α が減少すると $d_{\max}$ は増大した。

ii) 矢状顎路傾斜度 β の影響

β の影響を調べるために, β をパラメータとし, ϕ と d の関係を図 17 に示した。

本研究の被験者は, β が $15.3^\circ \sim 32.7^\circ$ (平均 $26.2^\circ \pm$

図 18 全運動軸点の運動方向

4.8°)の範囲の値であったので β を15°から5°おきに50°まで変化させた。他のパラメータの α , L は平均値の14°, 100 mmとした。

この場合、 $\beta = \phi$ のときに $d = 5$ mmとなり、また $\phi > \beta$ のときに $d < 5$ mmとなった。

iii) 矢状面に投影した切歯点・顎頭点間距離 L の影響

本研究の被験者は、 L が88.0～105.0 mm (平均 97.4 $\pm$ 4.5 mm)の範囲の値であったが、この程度の範囲の L の変化では、 d の値に影響はなかった。

以上をまとめると、つぎのようになる。

1. 矢状切歯路傾斜度 ϕ が矢状顎路傾斜度 β よりも大きいときは、全運動軸点の運動距離 d は常に切歯点の運動距離 a よりも小さく、 d の減少率は切歯点と全運動軸点とを含む平面がカンペル平面となす角度 α が小さいほど大きい。

2. ϕ が β よりも小さいときは、 d は a よりも大きくなることもある。 α が、より小さいほど d はより大きくなる。矢状顎路傾斜度 β が20°以下では全運動軸点の運動距離 d が切歯点の運動距離 a より大きくなることはほとんどない。

3. 切歯点・全運動軸点間の距離 L の変化は、全運動軸点の運動距離 d にほとんど影響を与えない。

さて図11において顎頭中央点と全運動軸点の運動距離に対する矢状切歯路傾斜度の影響の違いは(全運動軸点の運動距離に最大値を与える矢状切歯路傾斜度の値が、顎頭中央点の運動距離に最大値を与える矢状切歯路傾斜度の値と比較して大きく、その時の全運動軸点の運動距離は顎頭中央点の運動距離と比較して小さい)、多くの

被験者で全運動軸点の位置が顎頭中央点より上方に位置することによって α が大きくなるためである(図8-a, b, 16)と考えられる。また、運動距離の分散が大きくなる理由は、顎頭中央点では、矢状顎路傾斜度が矢状切歯路傾斜度の関数となって、変化するためと考えられる。

なお、矢状切歯路傾斜度の変化に対する顎頭の運動距離に着目すると、咬合を再構成するときに、顎頭の運動距離が過大にならないように配慮する必要があることがある。たとえば、矢状切歯路傾斜度が矢状顎路傾斜度より小さいときに、顎機能に異常がおきる危険性があるとされている^{27, 28)}が、この原因は顎頭の逆回転運動に加えて、顎頭の運動距離が過大に大きくなることによって、その間に何らかの障害を受け易くなるという可能性が高くなることも考えられる。

2) 矢状顎路傾斜度と与える影響

全運動軸点以外の任意の顎頭点の運動軌跡は、下顎の回転運動の影響を受けてそれぞれ異なる。ここでは、全運動軸点を基準として、任意の顎頭点のなす矢状顎路傾斜度の変化について検討し、任意の顎頭点、特に顎頭中央点のなす矢状顎路傾斜度の変化を全運動軸点との位置関係によって幾何学的に考察した。

(1) 矢状顎路傾斜度の変化²⁶⁾

本研究では、顎頭の運動軌跡を、中心位と切歯点で5 mmの前方位に対応する顎位との2顎位間のデータで近似している。

このとき、運動軌跡は異なるが、全運動軸点以外の任意の顎頭点のうちで、下顎の回転運動の影響を受けない点の存在することがわかった。図18は切歯点で矢状切歯路傾斜度 ϕ を与えて、前方滑走運動をさせたときの下顎の回転運動について示している。図中の o は全運動軸点である。直線 l は全運動軸点 o を通り、全運動軸点の移動方向に対して $\pi/2 + \omega/2$ 逆回転した角度をもつ線分である。直線 l 上の点 a, b, o は顎頭の回転と移動とによって直線 l' 上の点 a', b', o' に位置を変化させるが、 ω 回転しているので、 aa', bb', oo' は、運動軌跡は異なるが、運動方向は同じになる。このようにして、直線 l' 上の点列は、すべて oo' (全運動軸点のなす矢状顎路傾斜度)と同じ運動方向となる。

矢状切歯路傾斜度の変化に対する任意の顎頭点の矢状顎路傾斜度の変化は、この直線 l との位置関係によって説明される。全運動軸点を通り $\pi/2 + \omega/2$ 逆回転した角度をもつ直線より前方にある任意点では、回転運動の影響を受け矢状顎路傾斜度を増し、後方に存在する点では矢状顎路傾斜度を減ずる。この直線 l 上の点では回転運

動の影響を受けない。

そこで図 8-a, b に示した各被験者の顎頭中央点と全運動軸点との位置関係を調べた。その結果、顎頭中央点の位置が全運動軸点を通り矢状顎路と直交する直線 l より前方に位置するものが最も多く、この直線上に位置するものは 4 名 4 顎頭 (Case C の左, E の右, G の右, J の左側) であり、後方に位置するものは, Case J の右側顎頭のみであった。

さらに、各被験者の顎頭中央点の矢状顎路傾斜度の変化 (図 12-a, b) をみると、顎頭中央点が直線 l の前方に位置するとき (Case A の左右, B の左右, C の右, E の左, F の左右, G の左, H の左右, I の左右側顎頭) は、矢状切歯路傾斜度の増加に伴い、全運動軸点のなす矢状顎路傾斜度と比較して顎頭中央点のなす矢状顎路傾斜度は増加した。直線 l 上にあるとき (Case C の左, E の右, G の右, J の左側顎頭) は全運動軸点と顎頭中央点とがなす矢状顎路傾斜度は同じであった。直線 l の後方に位置するとき (Case J の右側のみ) は全運動軸点と比較して顎頭中央点とがなす矢状顎路傾斜度は減少した。

これらより、矢状切歯路傾斜度の変化が顎頭の運動方向 (矢状顎路傾斜度) に与える影響について説明できた。また、全運動軸点と位置が一致していなくても、矢状顎路傾斜度が、全運動軸点と同じになる顎頭点の存在する理由が説明された。なお、Case D, K では顎路が非常に不安定で、矢状切歯路傾斜度の影響を大きく受けたので、以上のような結果は必ずしもあてはまらなかった。

図 13 において、顎頭中央点のなす矢状顎路傾斜度が始めは平均値より小さく、矢状切歯路傾斜度の増加に伴って漸増するのは、顎頭中央点の位置が前述した直線 l より前方に位置する被験者が多いためである。すなわち、始めは矢状切歯路傾斜度より矢状顎路傾斜度が大きいため、下顎が逆回転し矢状顎路傾斜度を減じ、矢状切歯路傾斜度が増加するにしたがって、下顎が正回転して矢状顎路傾斜度を増すためである (付録 2 参照)。また、矢状切歯路傾斜度が約 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ の範囲では顎頭中央点と全運動軸点とのなす矢状顎路傾斜度がほぼ等しいのは、下顎が回転運動を伴わないことにより、どの顎頭点もほとんど同じ方向に運動するためであると考えられる。

(2) 矢状顎路傾斜度の再現性

a. 前方滑走運動時の矢状顎路傾斜度の再現性²⁶⁾

ここでは、矢状顎路傾斜度の再現性を検討するために、任意の顎頭点における矢状切歯路傾斜度の変化に対する最大の顎路傾斜度と最小の顎路傾斜度との差 θ を考え

θ : The Difference
between Maximum & Minimum
Inclination of the Condylar Path

図 19 顎路傾斜度差 θ

て、任意の顎頭点での θ の最小値 $\theta_{\min}$ を矢状顎路傾斜度の再現性と考えた (図 19)。

また、任意の顎頭点において、 θ が等しくなる点列を結び、等顎路傾斜度差線とし、図 20-a, b に示した。実線が等顎路傾斜度差線であり、 1° 間隔で表示した。白丸は全運動軸点である。斜線で示す領域は、 $\theta_{\min}$ が含まれる領域である。

等顎路傾斜度差線は、前傾してほぼ直線状をなし、その傾きは平均で約 $63.6^{\circ} \pm 5.1^{\circ}$ ($57.5^{\circ} \sim 75.5^{\circ}$) であった。各被験者の等顎路傾斜度差線は、ほぼ矢状顎路と直交した。

$\theta_{\min}$ を囲む領域は顎頭部を通るか、あるいは顎頭に近接して帯状となった。全運動軸モデルが完全であり、測定誤差もなければ、矢状顎路傾斜度の再現性の良い点は、各矢状切歯路傾斜度に対する等顎路傾斜度差線の交点、すなわち全運動軸点として求まるはずである。しかし、下顎の回転角 ω の値が非常に小さく (付録 2 参照)、任意の顎頭点の顎路傾斜度差 θ の変化も等顎路傾斜度差線に沿った方向ではきわめて小さい (付録 3 参照) ことに加え、生体のデータであることや実験誤差のために、点ではなく等顎路傾斜度差線の囲む帯状の領域となり、全運動軸点の軌跡に直交すると考えられる。

さて、本研究の被験者では、 $\theta_{\min}$ の値は 11 名 22 顎頭では、 $0.7^{\circ} \sim 10.5^{\circ}$ となり、個人差が大きく認められた。全運動軸点であっても矢状顎路傾斜度の再現性が悪い例 (図 12-a, 12-b の Case D, K) もみられた。

しかし、問題となるのは、全運動軸点で $\theta_{\min}$ の値が

図 20-a 全運動軸点の位置と等顆路傾斜度差線の分布

2°~3° と再現性が良いにもかかわらず、顆頭中央点で約 5° 以上となり、再現性の悪い 5 名 6 顆頭の例 (Case B, G, H の左側顆頭, Case B, F, I の右側顆頭) である。これらの被験者では、解剖学的顆頭点で顆路傾斜度の測定をすれば、矢状切歯路傾斜度の影響を受けるので、大きな誤差を生じることになる。

b. 臨床との関連

本研究では、全運動軸点は 9 名 13 顆頭が $\theta_{\min}$ の領域に存在し、他の被験者の顆頭でも $\theta_{\min} + 1^\circ$ 以内の領域に存在した。臨床で、顆路の再現性が必要とされる場合、全運動軸点を求めることが望ましいと考えられる。

下顎が回転量の異なる運動を行ったとき、顆路傾斜度の差 θ が最小の顆頭点、すなわち矢状切歯路傾斜度の影

Case G

Case J

Case H

Case K

Case I

///: Small θ area

(θ): The Difference between Maximum & Minimum Inclination of the Condylar Path

O: Kinematic Axis Point

●: Central Point of Condyle

図 20-b 全運動軸点の位置と等顆路傾斜度差線の分布

響を最も受けない顆頭点についてつぎのことがわかっていった。

1. 矢状切歯路傾斜度の変化に対して、矢状顆路傾斜度、および切歯点と全運動軸点とを含む平面がカンペル平面とでなす角度の3者の影響を主に受ける。矢状切歯路傾斜度が矢状顆路傾斜度より小さいときには、全運動軸点の運動距離は切歯点よりも大きくなる。また、切歯点と顆頭点とを含む平面とカンペル平面とでなす角度が

小さいときには、全運動軸点の運動距離はさらにその差が最も小さくなる顆頭点は必ず存在し、その存在する領域は上下方向に長く、前傾し、帯状となった。

2. 帯状の領域は、全運動軸点をほとんど確実に含んだ。

以上から下顎に異なる回転量を与える2つの運動（下顎の回転量の最も小さな前方滑走運動と回転角の比較的大きな開閉口運動）をさせたときに生じる矢状顆路傾斜

度差が最も小さくなる顎頭点の領域を、平均的顎頭点を中心にカンペル平面に沿って前後的に探索する方法が考えられた。これによって、全運動軸点と同じ顎路傾斜度をなす顎頭点を探索することができる。

このような顎頭点の探索方法は、LePera²⁹⁾ が報告しているが、探索された点が全運動軸点を含む領域に存在し、必ずみつかるという理論的な説明はなされていなかった。被験者に限界運動をさせたり、完全な全運動軸点を探索することはそれほど簡単ではない。全運動軸点の顎路の再現性をできるだけ臨床で利用するという意味では、前述の顎頭点の探索方法は、その簡便さと顎路の再現性を考えると有効と考えられる。

V. 結 論

非接触型下顎任意点運動測定システムを用いて、顎口腔系機能は臨床的に異常が認められない 11 名の被験者において、中心位から切歯点で 5 mm の前方滑走運動をさせたときの矢状切歯路傾斜度の変化が、顎頭運動軌跡に与える影響について研究し、つぎの結論を得た。

1. 全運動軸点の位置

本研究のように、歯牙の欠損があり、年齢の高い被験者では、従来の報告と比較して全運動軸点の位置が正常有歯顎者と異なり、前上方へ変化する例が多かった。また、全運動軸点自体の顎路の再現性が悪い例もみられた。これによって、不良な咬合関係の既往や年齢のために、顎関節の運動形態に変化が起きる可能性が示唆された。

2. 矢状切歯路傾斜度の変化が顎頭の運動距離に与える影響

全運動軸点の運動距離は、切歯点の運動距離を一定としたときに、矢状切歯路傾斜度、全運動軸点のなす矢状顎路傾斜度、および切歯点と全運動軸点とを含む平面がカンペル平面とでなす角度の 3 者の影響を主に受ける。矢状切歯路傾斜度が矢状顎路傾斜度より小さいときには、全運動軸点の運動距離は切歯点よりも大きくなる。また、切歯点と顎頭点とを含む平面とカンペル平面とでなす角度が小さいときには、全運動軸点の運動距離はさらに大きくなる。

3. 矢状切歯路傾斜度の変化が矢状顎路傾斜度に与える影響

前方滑走運動時に、任意の顎頭点の矢状顎路傾斜度は

矢状切歯路傾斜度の影響を受けて変化する。矢状切歯路傾斜度の増加に伴い、全運動軸点を通り矢状顎路とほぼ直交する直線より前方に任意の顎頭点が位置するときに、矢状顎路傾斜度は全運動軸点のなす矢状切歯路傾斜度と比較して増加し、線上に位置するときに、全運動軸点と同じ矢状顎路傾斜度となり、後方に位置するときに、全運動軸点のなす矢状切歯路傾斜度と比較して減少する。

4. 矢状顎路傾斜度の再現性

前方滑走運動に限ると、全運動軸点のなす矢状顎路傾斜度と同程度に、矢状顎路傾斜度の再現性の良い任意の顎頭点の存在する帯状の領域が顎頭部を通り、全運動軸点はその中に含まれることがわかった。これを利用して、矢状顎路傾斜度の再現性が全運動軸点と同程度に良く、簡便な後方基準点の決定方法が考えられた。

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 靖教授に慎んで感謝の意を表すとともに、本研究に種々のご助言いただきました林 豊彦、塩澤恭郎、野村修一の諸先生に厚くお礼申し上げます。また、本研究にご協力いただきました被験者の皆様、新潟大学歯学部付属病院ならびに歯科補綴学第一教室の諸先生方に深謝致します。

VI. 付 録

1. 全運動軸点の探索方法¹⁾

従来の方法では、顎頭運動軌跡の上下幅が最小となる点を目視やノギス等による計測によって決定していたが、全運動軸点の近くでは、その軌跡が複雑に変化し、上下幅をどこで計測するかによって、それが最小となる点が異なるので、客観性や再現性に問題があった。そこで以下に示す方法で、上下幅を表す値を客観的に定義した。全運動軸点ではその運動軌跡が最も 1 本の曲線に近い点であることから、図 21 に示すように運動データ (X_i, Z_i) に、近似曲線 $Z=F(X)$ をあてはめ、その曲線とデータとの上下方向の距離 $e_i=Z_i-F(X_i)$ を上下方向の厚みとみなした。そして、この e_i の 2 乗平均をとり、経路全体の上下幅に関する値を S とし、この S が最小となる点を全運動軸点とした。この方法では、軌跡の特定の部分にかよることなく、比較的に全体として上下幅が小さい点を決定することができる。

- ① $ei = Zi - F(Xi)$: residual
 ② $Z = F(X)$: polynomial approximation
 ③ (Xi, Zi) : sampled condylar path
 ($i = 1, 2, \dots, N$)

Polynomial Approximation

図 21 矢状顎路データへの曲線の当てはめによる上下幅の定量化

図 22 下顎の回転量 (ω)

2. 下顎の回転角について²⁶⁾

図 22 に示した切歯点 A と全運動軸点 B とが A', B' に移動するとき、下顎は矢状切歯路傾斜度 ϕ と矢状顎路傾斜度 β との角度差 $\beta - \phi$ によって回転角 ω の回転運動をする。点 A と点 B の運動距離を a と d とすれば、

$$\omega = \cos^{-1} [1 - 2^{-1} L^{-2} \{d^2 - 2ad \cos(\beta - \phi) + a^2\}]$$

d: IV. 考察 2 の 1) の ① 式参照)②

と表される。本研究では切歯点の運動距離を 5 mm としたので $a=5$ とした。ここでは、 ω の性質について詳しく検討する。

1) 切歯点・全運動軸点間距離 L (矢状面投影) の影響

L の影響を調べるために、L をパラメータとし ω と ϕ との関係を図 23 に示す。本研究での被験者の L の値の範囲から、L の値を 80~120 mm とし 10 mm ごとに变化させた。他のパラメータの値は平均値とし $\alpha=14^\circ$

図 23 L (切歯点・全運動軸点間距離) の影響

図 24 β (矢状顎路傾斜度) の影響

$\beta=30^\circ$ とした。これから、 $\phi=\beta$ のときに $\omega=0^\circ$ となり、 $\phi-\beta$ の値が大きく、L の値が小さいときに ω は最も大きくなる。しかし、最大でも $\omega < 2^\circ$ となりきわめて小さい。

2) β の影響

β の影響を調べるために、β をパラメータとし ω と ϕ との関係を図 24 に示した。β は、本研究での被験者の β の値の範囲から、 $\beta=20^\circ \sim 60^\circ$ とし 10° ごとに变化させた。このとき ϕ の値が増加すると ω も増加し、切歯路傾斜度の約 10° の増加に対して ω が約 1° 増加した。 $\phi < \beta$ のときに $\omega < 0^\circ$ となり、さらに、 $\beta=60^\circ$ 、 $\phi < 10^\circ$ のときに ω は -3° を越える。

図 25 任意の顎頭点の顎路傾斜度差

3. 任意の顎頭点における顎路傾斜度差²⁶⁾

任意の顎頭点における顎路傾斜度差 θ について説明する。ここで、説明を簡単にするために、矢状切歯路傾斜度 ϕ を全運動軸点のなす矢状顎路傾斜度と等しくして、下顎が回転運動せずに平行移動する場合と、矢状切歯路傾斜度 ϕ' を与えて ω だけ回転運動をする場合の 2 つの前方滑走運動を考え、その時の任意の顎頭点の運動経路のなす顎路傾斜度差 θ について調べることにする。

図 25 は任意の顎頭点 D の顎路傾斜度差 θ についての説明図である。点 O は全運動軸点であり、点 C は点 O の顎路と $\pi/2 + \omega/2$ だけ角度差をもつ直線 l 上の点で、点 O から距離 y の点である。点 D は点 C を通り点 O の軌跡と同じ方向で点 C から距離 x の点である。

このとき、

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\sin \omega}{1 - \cos \omega + x^{-1}(d + 2y \sin \omega/2)}, \quad x \neq 0 \quad \text{③}$$

と表される。

1) y を一定とし、点 D を顎頭の移動する CC' 方向に変化させる (点 C を通り OO' に平行な直線上の点列で点 C から距離 x となる点列を考える) と、③ 式では x が増加すると θ も増加し、

$$\theta \rightarrow \tan^{-1} \frac{\sin \omega}{1 - \cos \omega} = \pi/2 - \omega/2, \quad (x \rightarrow \pm \infty)$$

となり、 θ は $\pi/2 - \omega/2$ に漸近することがわかる。

2) x を一定 (直線 l に対して距離 x だけ離れた平行な線上の点列を考える) とし、点 D の位置を、顎頭の移動する方向と $\pi/2 + \omega/2$ の角度をもつ OC 方向に変化させると、③ 式より、 y が増加すると θ は減少し、

$$\theta \rightarrow \tan^{-1} 0 = 0, \quad (y \rightarrow \pm \infty)$$

となり、 θ は 0 に漸近することがわかる。顎路と $\pi/2 + \omega/2$ だけ角度差をもち点 O から点 O' 方向に x の距離の直線 l に平行な直線 l' 上の任意の顎頭点では、この直線上で上下方向に y が大きくなって点 O から離れるにしたがって、 θ は 0 に漸近し、 x が大きくなって点 O から OO' 方向に離れるにしたがって θ は $\pi/2 - \omega/2$ に漸近する。

矢状切歯路傾斜度の $0^\circ \sim 60^\circ$ の変化を与えたときに、本研究の被験者では、矢状顎路傾斜度は $14.0^\circ \sim 35.9^\circ$ 、切歯点・全運動軸点間距離は $88 \sim 105 \text{ mm}$ であったので、下顎の回転角 ω は $0^\circ < \omega < 3^\circ$ となり (計算値) 小さい値となるので、式 ③ はさらにつぎのように近似することができる。

$$\theta \doteq \tan^{-1} \frac{\omega x}{d + \omega y}$$

ここで $y = \text{const.}$ とすれば、 θ は $\tan^{-1} x$ に比例する。さらに、顎頭周囲での y の値のあまり大きくない範囲では $d \gg \omega y$ であるので、 θ に与える y の影響はきわめて少ない。すなわち、直線 l に平行な直線上の任意の顎頭点のなす θ の値は、任意の顎頭点の位置が直線 l に平行な方向ではほとんど変化せず、全運動軸点の移動する方向ではより大きく変化することがわかる (図 20-a, b)。

文 献

- 1) 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，第二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。
- 2) 中野雅徳：側方滑走運動の顎路と歯牙路に関する研究，補綴誌，19：461～479，1975。
- 3) 塩澤恭郎：下顎任意点の運動解析，第二報下顎限界運動の立体解析，補綴誌，26：148～164，1982。
- 4) Clayton, J.A., Kotowitz, W.E. and Myers G.E.: Graphic Recordings of Mandibular Movements. Research Criteria, J. Pros. Dent., 25: 287～298, 1971.
- 5) 鶴見祐三：咬合非誘導と咬合誘導における顎路の変化に関する研究，歯科学報，75：1401～1434，1975。
- 6) 栗山 實：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，23：126～147，1978。
- 7) 塩澤恭郎，林 豊彦，加藤一誠，野村修一，石岡 靖：歯牙要素の実験的変化による顎頭運動への影響，下顎運動機能と EMG 論文集，51～57，1982。
- 8) 塩澤恭郎，林 豊彦，野村修一，他：下顎任意点の運動解析，第一報測定システム，補綴誌，25：499～507，1981。
- 9) 林 豊彦，塩澤恭郎，加藤一誠，野村修一，石岡 靖：下顎運動の 3 次元測定解析システムの開発，信技報，MBE 82-32：55～62，1982。

- 10) Beck, H.O. : A clinical evaluation of the arcon concept of articulation, J. Pros. Dent., 9 : 409~421, 1959.
- 11) 林 豊彦, 加藤一誠, 石岡 靖 : 非線形最適化アルゴリズムによる全運動軸の自動探索法について, 下顎運動機能と EMG 論文集, 1985.
- 12) 長谷川成男, 藍 稔, 河野正司, 坂東永一, 真柳昭敏, 野村孝太郎, 福島俊士, 川口豊造 : 下顎限界運動における全運動軸の立体的測定, 補綴誌, 19 : 434~443, 1975.
- 13) 白井良明, 伊藤 浩, 伊藤 孝, 鶴見祐三, 斉藤文明, 奥野和志, 高宮紳一郎, 腰原 好 : 顎頭点の設定位置と咬合器の再現性に関する研究, 第一報平均的顎頭点, 蝶番軸, 全運動軸の位置的関係, 補綴誌, 25 : 499~507, 1981.
- 14) 荒野 実 : 矢状面内下顎限界運動の解析, 歯科学報, 77 : 967~1009, 1977.
- 15) 林 崇民 : 顎運動に関する歯科矯正学的研究, 側貌セファログラム上における二次元的解析, 歯科学報, 79 : 423~459, 1979.
- 16) 坂東永一, 他 : 写真撮影法による下顎運動測定法, 補綴誌, 23 : 677~690, 1979.
- 17) Aull, A.E. : Condylar Determinants of occlusal patterns, J. Pros. Dent., 15 : 826~846, 1965.
- 18) McCollum, B.B. and Stuart, C. E. : A research report, Calif, Scientific Pres, 9~123, 1955.
- 19) McCollum, B.B., Fundamentals involved in prescribing restrative dental remedies, Den. Items of Int., 61 : 522~535, 641~648, 724~736, 852~863, 942~950, 1939.
- 20) Isaacson, D. : A clinical study of the condyle path, J. Pros. Dent., 9 : 927~935, 1959.
- 21) LePera, F. : Determination of the Hinge-axis, J. Pros. Dent., 14 : 651~660, 1964.
- 22) Shanahan, T.E.J. and Leff, A. : Mandibular and Articular movements, Part VII. Concepts of lateral movements and condyle paths, J. Pros. Dent., 14 : 279~289, 1964.
- 23) Weinberg, L.A. : The transverse hinge axis: real or imaginary, J. Pros. Dent., 9 : 775~787, 1959.
- 24) 石原寿郎, 他 : Hinge axis, 下顎の蝶番運動軸について, 歯科時報, 16, 1962., 17, 1963.
- 25) Vaughan, H.C. : Need for changes in concepts relating to the temporomandibular joint and the mandibular articulation, J. Pros. Dent., 17 : 406~417, 1967.
- 26) 加藤一誠, 白木誠一, 根津正美, 林 豊彦, 塩澤恭郎, 野村修一, 石岡 靖 : 矢状切歯路傾斜度の変化に対する顎路傾斜度の再現性について, 下顎運動機能と EMG 論文集, 55~62, 1985.
- 27) 河野正司, 加藤 均, 中野雅徳 : 顎口腔機能系の機能におけるアンテリオール・ガイダンスの働き, 下顎運動機能と EMG 論文集, 1~5, 1985.
- 28) 中野雅徳, 久保吉廣, 坂東永一 : 顎機能異常を惹き起こす歯の Guide について, 下顎運動機能と EMG 論文集, 7~12, 1985.
- 29) LePera, F. : Understanding graphic records of mandibular movements, J. Pros. Dent., 18 : 417~424, 1967.