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

河 野、正 司

A Study on Condylar Movements with Reference to the Mandibular Movement in Sagittal Plane Part 2 Analysis of Sagittal Axis with the Multiple Electronic Flush Apparatus

Shoji Kohno

I. 結 言

下顎運動は歯科臨床のあらゆる分野に密接した問題として扱われ、なかでも顎関節の運動様相については、顎関節疾患、矯正治療、などの診断の分野で重要視されている。特に補綴学においては補綴物製作に不可欠な咬合器との関連において、咬合と調和のとれた顎頭運動に多大な関心がよせられている。また最近、咬合の失われた Oral Rehabilitation を行なう際の基準となる下顎位を求めるために、咬頭嵌合位の顎頭の位置および中心位の顎頭の位置が注目されて来ている¹⁾。下顎運動研究の初期から顎関節運動の測定は試みられ、その後も種々の研究方法により計測されているが、顎頭自体の正確な観察は行なわれにくく、顎頭運動の解析はほとんどなされていない²⁾。

著者はさきに報告した断層X線規格写真法³⁾および佐久間⁴⁾の考案したマルチフラッシュ装置を使用して、矢状面内限界運動を測定、切歯点運動路に対応する顎頭運動路との相互関係を検討すると共に、さらに顎頭部に無数の点を選び、各々の限界運動範囲を求め、その位置の違いによる運動範囲の変化、蝶番開閉運動の可否および矢状面運動軸の存否について詳細に解析、検討した。

II. 研究方法

運動測定法の原理^{4) 5)}は、下顎前方の同一矢状面内にある2標点の、咬頭嵌合位から始まる運動を、繰返し閃光により連続的に写真撮影し、その標点の座標から同一平面上に投影された顎頭部の任意の点の運動路を、計算によって求めるものである。

1. 下顎運動撮影装置

1) 頭部固定器

佐久間⁴⁾、根本⁶⁾の用いたものと同様なものである。左右一対の水平な耳軸により写真機と被験者の関係を定直し、頭部は3方向からの頭おさえ、および上顎歯列弓に取りつけられた上顎固定用シーネの固定棒により、固定が完全にできるようになっている(図1)。

前報³⁾に報告したX線断層面と同一な右側顎頭中央を通り、耳軸に垂直な矢状面を本研究の基準面とする。写真機は焦点をこの基準面に合わせて、およそ130 cmの距離に定位する。さらに水準器を使用して写真機の光軸を水平に保ち、プリズムにより固定器上部の電燈の光を耳軸の中央を貫ぬく直径3 mmの孔に通して、光軸と一致させる。

2) 写真機

図1に示す、カビネ判、焦点距離23.8 cm, F. 6のレンズをF. 11に絞って使用した。

3) マルチフラッシュ装置

東京理科大学の設計による装置で、100 V, 50 Hz 交流を電源とし、単閃光から26 Hzの繰返し閃光を行なうことができる。1回の閃光時間は約200 μ S程度の非常

Dept. of Prosthetic Dentistry, School of Dentistry,
Tokyo Medical and Dental University (Director :
Prof. Toshiro Ishiwara)

東京医科歯科大学歯学部第二歯科補綴学教室(指導 :
石原寿郎教授)

図1 実験装置

- A: 頭部固定器 B: 被験者
C: 写真機 D: 照明器
E: マルチフラッシュ装置

に短いものであるため、運動について各瞬間を鮮明な像として撮影できる。

4) 標点および固定用シーネ

被験者の下顎前方には測定のための標点を取りつける。標点は表面を光沢のない黒地に塗った10×120 mmのL形アルミ板の標識上に、直径0.5 mmの白丸点を100 mm 間隔に2個つけてある。また標点に一致するアルミ板標識の裏面には、直径1.5 mm スティール・ボールがつけられており、顎関節を撮影する断層X線写真上に、標点が記録されるようになっている(図2)。

図2 標識およびシーネ

標点のついたアルミ板標識は、レジンまたは金属製シーネを介して、下顎歯列にユージオールセメントで固定する。標点は顎頭中央を通る基準矢状面上にあり、かつ咬合平面の延長上に位置するように、T型直角定規を用いて正しい位置に定位する。T型直角定規は、底辺部を口腔内に入れ下顎第二大臼歯遠心頬側咬頭上にのせ、T型の長軸辺は切歯点上を通り咬合平面に一致し、矢状面

に平行な基準線となる。これを標点定位の基準とした。頭部の動揺はこれを監視する目的で、上顎歯列弓に装着したシーネに、頭部動揺監視用標点を基準面内に設定した。尚、上下顎シーネにより下顎運動が障害されないよう考慮をはらった。

2. 下顎運動の撮影方法

1) 頭部の定位

被験者の下顎歯列弓に標点のついたシーネを、また上顎歯列弓に頭部固定用シーネを装着する。治療椅子にすわらせ、上体を楽な姿勢にして、耳軸を外耳道に差入れ、撮影基準面が耳軸と直角となるようにする。次いでカンペル平面を水平にし、安頭台と頭部固定器の3方向からの頭おさえ、および上顎シーネ固定桿により頭部の固定を完全にする。最後に標点が基準面内にあり、また咬合平面延長上に位置していることを確認して、被験者の定位を終る。

2) 撮影

実験室を暗室にして、写真機のシャッターを開放にし、マルチフラッシュの照明のもとに各種の下顎運動を撮影する。

測定した下顎運動の種類は、1. 咬頭嵌合位から歯牙を接触させ行なう前方滑走運動、および前方咬合位から最大開口位に至る前方限界運動。2. 咬頭嵌合位から歯牙を接触させおこなう後方運動、および後方歯牙接触位から下顎を後方へ引き開口する後方限界運動。3. 通常習慣的に行なう開閉運動である。

これらの運動の際には、側方への運動をなるべく避けるように努力させ、術者が補助することなく被験者自身の筋力により頻回行なわせて各運動路を撮影した。撮影はマルチフラッシュ装置による5~6 Hzの繰返し閃光により、7~18回の断続露出を行なった。

3) 乾板の測定

撮影された乾板は高コントラスト現像処理をし、定着、水洗、乾燥後、拡大鏡で検査し、上顎歯列に装着した頭部動揺監視用標点の動いているものは除外した。良好な乾板について切歯点に近い標点を原点として、2個の標点を通る直線をX軸とする直角座標に対して、各標点の座標を測定した。

測定は日本光学工業株式会社製万能投影器V-16型を使用し、乾板を副尺により1μまで読み取れるマイクロメータのついた微動載物台上に載せ、投影スクリーンに5倍に投影して、X、Y2方向のマイクロメータを動かして、標点をスクリーン上の十字線に合わせる零位法により測定した。

3. 顆頭点運動路の算出法

1) 標点と顆頭部の位置関係

切歯点前方の標点の運動路から顆頭部の運動路を算出するためには、標点と顆頭との位置関係が明確にされていなくてはならない。

本研究では、右側顆頭中央を通る矢状断面と、マルチフラッシュ撮影の標点を断層X線規格写真法にて同一フィルム上に撮影し、両者の位置関係を求めた。

2) 顆頭点運動路の算出

運動を記録した乾板から、各瞬間における2標点の座標を求め、これと同一矢状面上にあり標点と一体となつて動く顆頭点の位置を、次の方法により算出した。

図3のごとく、切歯点前方の2個の標点のうち、歯列に遠い標点をA、近い標点をB、それぞれの座標を (x_a, y_a) 、 (x_b, y_b) とし、2標点A、B間距離をa(100mm)標点Bと顆頭点Cを結ぶ直線が座標軸Xとなす角度を θ 、BC間距離をrとすると、顆頭点Cの座標(x, y)は、2標点A、Bの座標から次の計算式によつて求められる。

図3 顆頭点運動路の算出法

(x_b, y_b) とし、2標点A、B間距離をa(100mm)標点Bと顆頭点Cを結ぶ直線が座標軸Xとなす角度を θ 、BC間距離をrとすると、顆頭点Cの座標(x, y)は、2標点A、Bの座標から次の計算式によつて求められる。

$$x = \frac{r}{a} \{ (x_b - x_a) \cos \theta - (y_b - y_a) \sin \theta \} + x_b \dots \dots (1)$$

$$y = \frac{r}{a} \{ (y_b - y_a) \cos \theta + (x_b - x_a) \sin \theta \} + y_b \dots \dots (2)$$

切歯点前方の標点A、Bの移動に対応して算出した顆頭点Cの座標を、順次結ぶことによつて顆頭点の運動路を求める。この計算式は、BC間距離rと、X軸となす角度 θ を変えることにより、顆頭点Cの位置を任意に選び、その点の運動路を算出することが出来る。

顆頭点の位置の違いによつて顆頭点運動路の性質、形態が大きく変化すると考えられ、この変化の様相を詳細に観察する目的で、顆頭点Cの位置を数多く設定し、各点について運動路を算出した。顆頭点は図4にその1例を示すごとく、顆頭の内部およびその周囲に約1.6mm間隔に120個程度の点を設定した。

顆頭点運動路の算出にあつては、東京医科歯科大学医用器材研究所の電子計算機NEAC 2101およびLINC-

図4 算出した顆頭点の位置

図5 フローダイアグラム

8を使用した。計算式(1)、(2)におけるrと θ をパラメータとして、顆頭点の位置を順次変化させながら、運動路を算出するプログラムを組み計算を行なつた。そのフローダイアグラムを図5に示す。

マルチフラッシュ装置による下顎運動の撮影は、各被験者について平均30枚の乾板撮影を行なつた。これらのうち頭部動揺の認められず、かつ最も限界運動を行なっていると思われる乾板について顆頭点運動路を算出した。

4. 精度検定

マルチフラッシュ装置による運動測定の精度に影響をおよぼすと考えられる因子は、頭部固定器と乾板の位置関係、レンズ、写真機系による像の歪、運動時の顎の左右偏位、乾板の測定精度などである。これらを、1. 写真撮影装置の精度、2. 標点座標の計測誤差、3. 顎の左右偏位、の三つに分けて検討した。

1) 写真撮影装置の精度

撮影装置の精度は、頭部固定器と写真機乾板の位置、および写真機、レンズ系により生じる写真像の歪が問題となる。

(1) 頭部固定器と乾板の位置関係

写真機の光軸を水準器により水平にし、頭部固定器の耳軸中央を貫ぬく直径 3 mm の孔を通る光に一致して定位するため、耳軸と乾板は Y 軸方向については水準器の精度によつて左右される。水準器による定位の精度を検討したところ、 $\pm 3'$ の確かさをもつて水平を得ることができた。写真機が $3'$ Y 軸方向に傾斜した場合、乾板に表われる像の変形 Δl は、 $\Delta l = l(\sec 3' - 1)$

$$\approx 4 \times 10^{-7} l$$

であり、次節に述べることに比較して無視できるものである。

X 軸方向については、2 標点間距離 100 mm を基準として、校正係数を求め計測値を補正した。

(2) 写真機、レンズ系による像の歪

被験者を撮影する時と同一の条件下で格子模様を撮影し原型と比較することで、写真機の機体、およびレンズから生じる総合的な像の歪を検討した。

厚さ 1.5 mm のカビネ判乾板を露光、現像して黒面を作り、乳剤面に 1 cm 間隔で縦、横 11 本の細線を引き格子を作り、万能投影器で校正して原型とした。これを枠にはめ頭部固定器中の撮影基準面内の標点運動範囲の位置に垂直に吊り、裏面から均等に照明して撮影すると明瞭な格子模様が得られる。原型と比較してディストーション曲線を求めた。その結果、標点が 20 mm 移動

図 6 ディストーション曲線

時に 0.07 %, 40 mm で 0.17 %, 60 mm で 0.28 % の歪が生じている(図 6)。

2) 標点座標の測定誤差

標点あまり大きくない距離を動いた場合、標点の移動距離をどの程度の正しさで知り得るかを調べる目的で、 $1/100$ mm 目盛ダイヤルゲージのスピンドルに標点を取付けて基準面内におき、2 mm づつ移動させながら撮影した。各乾板を 4 回ずつ計 40 回の測定を行ない、この時の真値に対する測定値の中央誤差²⁾を求めると、 $r = 0.0096$ mm となった。

3) 顎の左右偏位について

本研究方法は写真測定であるため、焦点平面以外の運動は測定不能であり、また顎頭点の運動路を算出するためには、原理的に側方偏位のない矢状面運動のみを対象としなくてはならない。このため被験者には側方偏位の少ない矢状面運動の行なえる人を選択し、さらに乾板を計測し 2 標点間距離の変化しているものは、基準矢状面から顎が側方偏位したものとして除外する操作を行なった。

以上の結果下顎運動を写真撮影し、標点を計測する際に考えられる誤差のうち、写真機およびレンズ系により生ずる歪が最大の値を示し、その他の誤差はこの歪に比較して極く小さく、無視出来るものと考えられる。

5. 被験者

前報²⁾と同一の被験者、すなわち 19 歳から 35 歳までの東京医科歯科大学の職員および学生、男女計 10 名である。いずれも咬頭嵌合位の明確な、顎関節、咀嚼筋群に異常を訴えない有歯顎者である。

III. 顎頭の運動路

マルチフラッシュ装置により下顎運動を記録し、標点

表 1 マルチフラッシュ装置による測定顎位数

被験者	前方滑走路	前方限界路	後方限界路	開口路	閉口路	総数
1	6	10	17	9	11	53
2	8	9	16	11	11	55
3	8	10	17	7	13	55
4	6	9	14	11	8	48
5	6	7	13	11	11	48
6	7	7	11	10	9	44
7	8	5	14	12	8	47
8	8	6	16	10	10	50
9	7	9	16	11	12	55
10	8	7	16	9	10	50
平均	7.2	7.9	15	10.1	10.3	50.5

Case 1

図 7 切歯点運動路に対応した顎頭点運動路 (Case 1)

Case 9

図 8 切歯点運動路に対応した顎頭点運動路 (Case 9)

○ : 咬頭嵌合位 ・ : 前方咬合位
 — : 前方滑走路および前方限界路 - · - : 後方限界路 ---- : 開口路

に対応して算出した切歯点および顎頭点の座標を順次結び、運動路を求めた。

各症例において顎頭部運動路の算出に使用した標点は、平均して前方滑走路7点、前方限界路8点、後方限界路15点、開口路10点、閉口路10点の計50点であり、これらの標点に対応する顎頭点の座標を算出した(表1)。

顎頭部の運動路は測定点のわずかな位置の違いにより、性質、形態が大きく変化するため、約120個の顎頭点各々の運動路を詳細に検討した。代表的な症例について10数個の顎頭点運動路を、断層X線規格写真により得られた右側顎頭中央の矢状断面外形と重ね合わせ、図7、8に示す。

運動路の大きさ、形態は顎頭点が異なると非常に大きく変化しているが、切歯点が咬頭嵌合位から前方滑走運動、前方限界運動および後方限界運動を行ない閉曲線を描くと、顎頭部の運動路は対応して関節結節および関節窩の外形に概ね沿った閉曲線を描いている。また切歯点運動範囲の内部を運動する通常の開口路、閉口路は、顎頭部においても限界運動に囲まれた運動範囲の内部に存在している。

1. 顎頭点位置による運動路の変化

顎頭点運動路の形態は図7、8から明らかなごとく、位置により上下的な幅が最も大きく変化しており、顎頭部に運動範囲の上下的に幅広いものから極く狭いものまで広範に存在している。これは下顎の矢状面運動が顎頭の移動と、顎頭を中心とした回転からなるためと考えられるが、顎頭部に運動の中心となる部位が存在するならば、その点は最も運動量が少なく、上下的に幅の最も狭い線状の運動範囲内を動くはずである。このような特定点の存否を検討するため、咬合平面を基準として運動範囲の上下幅を求め、顎頭点運動範囲の厚さとして、各々の顎頭点運動範囲について計測した。

1) 全運動軸

約120個の顎頭部の運動範囲のうち、厚さが最小であるものを、その個体の顎頭運動路の代表として求め、顎路と呼ぶこととする。

求めることのできた顎路は、表2に示すごとくその厚さは0.5~1.4mm、平均0.7mmであり、顎路を描く顎頭点は全ての症例において顎頭外形の内部に存在した。

上下幅の最も小さい顎路を描く顎頭点を通り、矢状面に垂直な軸を考えると、下顎が矢状面内の全運動範囲を運動する時、この軸の運動範囲は最も小さく、上下的に

表 2 顎頭点運動範囲の厚さの変化

被験者	顎路の厚さ	等 厚 曲 線				
		長軸の傾斜度	厚さ1mmの範囲			
			長軸の長さ	短軸の長さ	長軸/短軸比	面積
1	mm 0.7	72°	mm 17	mm 4	4.3	cm ² 0.6
2	1.4	63	*8	*4	*2.0	*0.2
3	0.5	75	13	7	1.9	0.7
4	0.5	98	9	4	2.3	0.3
5	0.5	95	15	5	3.0	0.6
6	0.5	78	12	5	2.4	0.5
7	0.7	73	15	6	2.5	0.6
8	0.8	83	10	3	3.3	0.2
9	0.5	83	22	8	2.8	1.3
10	0.7	86	7	4	1.8	0.2
平均	0.7	80.6	13	5	2.6	0.5

* 厚さ1.5mmの範囲

も一番小さな運動をすることになる。この結果下顎の矢状面内の全ての運動は、この軸を中心とした回転運動と、この軸の顎路上の前後移動によって行なわれると考えられる。

この軸は矢状面内の全ての運動の中心としての意味を持つ軸であるため、著者は全運動軸 Kinematic Axis と呼ぶこととする。

2) 等厚曲線

顎頭点の位置の違いによる運動範囲の上下幅、すなわち運動範囲の厚さの変化の程度を検討するため、同じ厚さの運動範囲をもつ顎頭点を曲線で結び右側顎頭外形上に等厚曲線を求め図9に示す。この図において、等厚曲線の内部に存在する点の運動範囲は、その厚さが示される値以下であることを表わしている。

等厚曲線は運動路の厚さ最小な全運動軸を中心として、上下方向に長軸をもつほぼ等間隔に排列する楕円状を示し、全運動軸から離れるにしたがい運動路は厚くなり、特に上下方向よりも前後方向により大きく変化することが知れる。等厚曲線を表わす楕円の長軸は、咬合平面に対して平均80.6°とほとんどの症例でわずかに前方へ傾斜している(表2)。

顎頭点運動路の厚さが1mmと比較的薄い値を示す等厚曲線について注目してみると、上下方向に長軸をもつ楕円形であり、その大きさは長軸方向が7~22mm、平均13mm、短軸方向は3~8mm、平均5mmである。長軸の長さ対短軸の長さの比をみると、1.8~4.3、

図 9 ① 顆頭点運動範囲の等厚曲線
数字は運動範囲の厚さ (mm) を, ・ は蝶番軸を表す。

図 9 ② 顎頭点運動範囲の等厚曲線

平均 2.6, 囲まれる面積は $0.2 \sim 1.3 \text{ cm}^2$, 平均 0.5 cm^2 と個人間に大きな差があることを示している。運動路の厚さ 1 mm の範囲は、ほとんどの症例では顎頭の中央から前上方にかけて存在しており、症例 2, 4 の 2 例を除いてその一部が顎頭外形の上方または前方部の顎頭外までに及んでいる。

3) 運動範囲の性質の変化

運動範囲の位置による変化を明瞭にするため、全運動軸を中心に咬合平面に平行にそれぞれ 5 mm 前方点、後方点、上方点、および下方点を選び、図 10 に代表例を示すごとく運動範囲を比較検討した。

全運動軸をはさんで顎頭部の運動範囲を構成する限界運動の種類が異なっている。すなわち全運動軸の前方点

においては、前方滑走路および前方限界路が顎頭部運動範囲の上限を構成し、後方限界路が運動範囲の下限を構成して閉曲線を示しており、その内部に開口、閉口路がふくまれている。これに対して全運動軸の後方に選んだ顎頭点においては、逆に前方滑走路および前方限界路が運動範囲の下限を、後方限界路が運動範囲の上限を構成している。

全運動軸の上方および下方の各点においては、前方滑走路および前方限界路と後方限界路とが交叉した運動範囲を示している。すなわち、全運動軸の上方点では咬頭嵌合位付近で、前方滑走路に対して後方限界路が上部にあり、やがて交叉して下方にくる形態を示しており、全運動軸の下方点では咬頭嵌合位付近で後方限界路が前方

図 10 全運動軸の 5 mm 前方、後方、上方、下方顆頭点の運動範囲

○：咬頭依合位 ・：切縁咬合位および前方咬合位

——：前方滑走路および前方限界路 - - - -：後方限界路 - - - -：開口路

滑走路の下方にあり、顆頭の前進に従って上方に出て来る。

4) 運動範囲の大きさの変化

運動範囲の大きさを顆頭の位置により比較すると表 3 のごとくなる。

咬合平面を基準に運動範囲の前後的な長さについてみ

表 3 顎頭点の位置の違いによる運動範囲の変化 (mm)

被験者	全運動軸			5 mm 前方点			5 mm 後方点			5 mm 上方点			5 mm 下方点		
	全長	全高	厚さ	全長	全高	厚さ	全長	全高	厚さ	全長	全高	厚さ	全長	全高	厚さ
1	17.0	5.0	0.7	16.7	6.4	1.7	17.1	5.5	1.8	18.4	5.0	1.0	15.8	5.1	1.1
2	17.5	7.2	1.4	14.8	7.8	2.2	15.5	7.1	1.9	17.0	7.7	1.7	14.0	7.4	1.8
3	15.5	5.7	0.5	14.4	6.5	1.3	14.4	5.7	1.3	15.0	5.9	0.9	14.4	5.6	1.1
4	20.8	4.4	0.5	20.3	6.0	2.2	21.2	5.0	1.9	23.3	4.7	1.4	18.4	4.0	1.2
5	17.7	5.0	0.5	16.3	6.2	1.8	19.5	5.1	1.6	20.8	5.6	0.9	17.1	4.9	0.9
6	16.6	4.3	0.5	15.8	5.7	1.5	16.0	4.6	1.6	18.4	4.4	0.8	14.7	4.3	1.1
7	17.5	7.2	0.7	17.3	8.2	1.7	17.6	7.0	1.4	18.9	7.2	0.8	16.1	7.1	0.9
8	20.3	6.4	0.8	19.9	7.7	1.8	20.5	6.1	2.7	21.8	6.6	1.2	19.2	6.4	1.8
9	16.6	5.0	0.5	16.2	5.6	1.3	17.0	4.8	1.1	18.3	5.0	0.5	15.1	4.9	0.8
10	19.6	5.5	0.7	18.7	6.8	1.9	19.6	5.3	1.4	21.5	5.5	1.1	17.1	5.4	0.9
平均	17.9	5.6	0.7	17.0	6.7	1.7	17.8	5.6	1.7	19.3	5.8	1.0	16.2	5.5	1.2

咬合平面を基準として、運動範囲の前後の長さを全長、最高点と最下点間の垂直距離を全高として表わす

ると、10例の平均値は全運動軸においては17.9mmであり、全運動軸の5mm前方点では17.0mm、5mm後方点においては17.8mmを示し、全運動軸の前後位置においてはほとんど変化していない。しかし全運動軸の5mm上方点においては19.3mm、5mm下方点では16.2mmを示し、全運動軸の上方から下方に向って運動範囲が前後的に短くなっているのが知れる。

運動範囲の咬合平面に対する最高点と最下点間の垂直距離は、全運動軸において5.6mmであり、全運動軸の5mm前方点では6.7mm、5mm後方点では5.6mm

を示し、5mm上方点においては5.8mm、5mm下方点で5.5mmであり、全運動軸の前方においてわずかに上下的に増加していることが認められるが、著明な変化はない。

運動範囲の厚さについては、前述した等厚曲線で示される傾向を示している。すなわち全運動軸では平均0.7mmであるのに対して、5mm前方点では1.7mm、5mm後方点でも1.7mmと大きな値を示している。しかし5mm上方点では1.0mm、5mm下方点では1.2mmと前後方向に比較して大きな変化はない。このこと

表 4 前方咬合位における切歯点および顎頭点の位置

被験者	下顎回 転角度	切歯点			全運動軸			5 mm 前方点			5 mm 後方点			5 mm 上方点			5 mm 下方点		
		x	y		x	y	* %	x	y	* %	x	y	* %	x	y	* %	x	y	* %
		(mm)			(mm)			(mm)			(mm)			(mm)			(mm)		
1	2.3°	9.7	0.8		8.5	4.5	52	8.5	3.8	51	8.5	4.7	50	8.3	4.5	45	8.7	4.5	55
2	0.1°	11.0	5.6		11.8	6.1	67	11.8	5.8	80	11.9	5.8	77	11.8	5.8	69	11.8	5.7	84
3	-1.2°	12.1	3.2		11.3	5.0	74	11.3	4.9	78	11.3	5.1	78	11.2	5.0	75	11.4	5.0	79
4	-1.1°	10.1	1.9		10.4	3.6	53	10.2	3.6	50	10.3	3.7	49	10.2	3.8	44	10.4	3.6	57
5	-0.4°	11.6	4.2		10.4	4.6	59	10.5	4.4	64	10.4	4.5	53	12.4	4.8	60	10.4	4.6	61
6	1.8°	10.0	7.1		10.6	4.0	65	10.6	4.2	67	10.6	3.9	66	10.8	4.0	59	10.4	4.1	71
7	-2.7°	11.7	2.4		9.9	6.4	59	9.7	6.2	56	8.8	6.6	50	9.5	6.4	50	10.0	6.3	62
8	-0.9°	13.1	4.1		12.1	5.6	60	12.1	5.6	61	12.2	5.8	60	12.0	5.8	55	12.2	5.8	64
9	-1.2°	8.8	2.6		7.6	4.3	47	7.6	4.2	49	7.6	4.4	46	7.5	4.3	42	7.7	4.3	54
10	1.2°	8.2	6.5		9.4	4.6	49	9.4	4.9	50	9.3	4.7	47	9.5	4.7	44	9.3	4.7	54
平均	-0.2°	10.6	3.8		10.2	4.9	58.5	10.2	4.8	60.6	10.1	4.9	57.6	10.3	4.9	54.3	10.2	4.9	64.1

*: $\frac{\text{中心咬合位}-\text{前方咬合位間距離}}{\text{運動範囲全長}} \times 100$

咬頭咬合位を原点として、咬合平面を基準に前方をx+, 下方をy+, とする

より全運動軸の前後 5 mm の各点では全運動軸に比し、約 2.6 倍の厚さを示しているのに対して、上下 5 mm の各点においては全運動軸の約 1.4 倍の厚さを示しており、前後方向へは上下方向の約 2 倍に厚さが増加することが明らかとなった。

異なる顎頭点の運動路における前方咬合位の位置についてみると、全運動軸では 10 例の平均値が咬頭嵌合位から前方へ 10.2 mm、下方へ 4.9 mm、全運動軸の 5 mm 前方点では前方へ 10.2 mm、下方へ 4.8 mm、同様に 5 mm 後方、上方、下方の各点においてそれぞれ前方へ 10.1 mm、下方へ 4.9 mm、前方へ 10.3 mm、下方へ 4.9 mm、前方へ 10.2 mm、下方へ 4.9 mm 移動しており、各運動路の中で前方咬合位の占める位置にほとんど変化はない(表 4)。

しかし、顎頭点運動範囲の前後的な長さに対する前方咬合位の前後的位置を比較してみると、全運動軸では運動範囲全長の 58.5 % の位置を占めており、5 mm 前方点で 60.6 %、5 mm 後方、上方、下方の各点ではそれぞれ 57.6 %、54.3 %、64.1 % を示し、全運動軸の前後の各点ではほぼ同値をとるが、上下的には下方点が上方点に比較して運動範囲の 10 % 程度前方に位置していることがわかる(表 4)。

これらのことより、顎頭点の位置が異なると運動範囲の前後的な長さが変化するが、しかしその中で前方滑走路は顎頭点の異なってもほとんど変化せず、前方咬合位から始まり最大開口位に至る前方限界路の長さが大きく変化することにより、運動範囲の大きさが変化していることが明らかとなった(図 11)。

図 11 位置による顎頭点運動範囲の変化

2. 顎路について

下顎が矢状面内の限界運動をした時、上下的に最も幅の狭い帯状な顎頭点運動範囲を示す顎路は、顎頭内部に存在する全運動軸によって描かれるものである。切歯点運動路および顎路の形態を図 12 に示す。

1) 顎路の形態

被験者によって異なるものであるが、関節窩および関節結節の外形に概略似た円弧状を示している。古くから顎路の定形とされているような咬頭嵌合位から前下方へ下降し、つづいて彎曲して上方に向う形態が 8 例にみられ、彎曲後上方に向うことなく水平部で終るものが 2 例(症例 2, 7)にみられた。上方へ彎曲を示すものもその程度は症例によって異なり、彎曲後上方に向う量の特に大きな顎路が症例 4, 9 にみられ、症例 4 においては顎路の先端は咬頭嵌合位と水平的に同程度まで上方に達している。

2) 顎路の運動範囲

各々の限界運動路に囲まれる顎路の大きさは、表 3 の全運動軸に示されるごとく個人差は大きく、前後的には 15.5~20.8 mm、平均 17.9 mm、上下的に 4.3~7.2 mm、平均 5.6 mm であり、厚さは 0.5~1.4 mm、平均 0.7 mm である。

咬頭嵌合位から前下方へ向う顎路のうち、 $\frac{1}{8}$ はほぼ直線とみなし得る運動路形態を示している。その長さは 4.7~8.3 mm、平均 5.9 mm であり(表 5)、咬合平面に対する傾斜角度を矢状顎路角度として求めると、 27.5° ~ 52.0° 、平均 39.7° であつた(表 6)。

3. 切歯点運動路と顎路の関係

切歯点運動路と顎路の相互位置関係について注目してみる(図 12)。

1) 前方滑走運動

咬頭嵌合位からの前方滑走路は、切歯点運動路においては歯牙にその形態が左右され、個人差も大きいですが、顎路においてはほぼ関節窩前壁に沿った形態を示している。咬頭嵌合位から前方咬合位までの切歯点移動距離は、前方へ平均 10.6 mm、下方へ 3.8 mm であり、顎路上を運動する全運動軸は前方へ 10.2 mm、下方へ 4.9 mm と両者ほぼ同距離を移動している。前方咬合位において 2 例(症例 1, 7)は全運動軸が顎路の直線部から水平部への移行部にあり、残り 8 例は顎路の水平部にまで達しており、顎路直線部に留まる症例は存在しなかつた(表 4, 図 12)。

切歯咬合位においては、切歯点は咬頭嵌合位から前方へ平均 4.0 mm、下方へ 4.3 mm 移動し、全運動軸は顎路の上を前方へ 4.5 mm、下方へ 3.4 mm とほとんど同一の移動量を示した。この顎位において全運動軸の存在する位置を見ると、移動量が大きく顎路彎曲部に存在する 2 例(症例 2, 7)を除いては、ほぼ顎路直線部に存在した(表 5, 図 12)。

←図 12 ①-A 図 12 ①-B

←図 12 ②-A 図 12 ②-B

図 12 ① Case 1~2 の切歯点運動範囲と顎路(すなわち全運動軸の運動範囲)の関係

○: 咬頭嵌合位 ∴: 切縁咬合位および前方咬合位 Δ: 蝶番軸
 —: 前方滑走路および前方限界路 - - - : 後方限界路 ····: 開口路および閉口路
 (尚、顎路には開口路のみ示してある)

図 12 ③-A

図 12 ③-B

図 12 ④-A

図 12 ④-B

図 12 ② Case 3~4 の切歯点運動範囲と顎路(すなわち全運動軸の運動範囲)の関係

図 12 ⑤-A

図 12 ⑥-A

図 12 ⑤-B

図 12 ⑥-B

図 12 ③ Case 5~6 の切歯点運動範囲と顎路(すなわち全運動軸の運動範囲)の関係

図 12 ⑦—A

図 12 ⑦—B

図 12 ⑧—A

図 12 ⑧—B

図 13 ④ Case 7~8 の切歯点運動範囲と顎路(すなわち全運動軸の運動範囲)の関係

図 12 ⑨—A

図 12 ⑨—B

図 12 ⑩—A

図 12 ⑩—B

図 12 ⑤ Case 9~10 の切南点運動範囲と頼路(すなわち全運動軸の運動範囲)の関係

表 5 切歯点運動路と顎路の関係

被験者	切 縁 咬 合 位			最 大 開 口 位			後 方 限 界 変 曲 点			顎 路 直線部 の長さ (mm)
	切 歯 点 x(mm)y	全運動軸 x(mm)y	下 顎 回転角	切 歯 点 x (mm) y	全運動軸 x (mm) y	下 顎 回転角	切 歯 点 x (mm) y	全運動軸 x (mm) y	下 顎 回転角	
1	2.9 1.3	3.0 1.6	-0.2°	-1.5 34.5	13.8 4.7	20.2°	-9.3 19.6	0.1 0.3	12.7°	7.8
2	5.3 6.2	6.1 4.7	1.2°	-6.4 34.3	17.5 4.2	26.4°	-10.6 17.8	0.6 0.0	14.3°	8.3
3	3.0 3.3	3.2 3.4	0.0°	-0.7 28.5	15.2 4.0	17.9°	-4.6 9.5	-0.2 0.2	6.3°	4.7
4	4.0 2.8	5.3 2.6	0.5°	-5.0 35.6	18.8 -0.5	30.7°	-8.0 18.4	0.5 0.1	14.3°	6.9
5	4.5 5.2	5.1 3.5	1.1°	-10.0 38.0	17.6 4.0	25.7°	-8.7 16.6	1.5 -1.0	11.3°	5.5
6	2.9 6.4	4.0 2.9	2.2°	-9.8 38.6	16.4 2.5	27.4°	-10.5 20.5	0.7 0.9	13.7°	5.2
7	5.7 5.2	5.7 5.3	-0.6°	0.0 29.1	16.7 6.0	17.8°	-4.2 7.7	-0.1 0.3	5.3°	5.2
8	4.8 4.1	4.9 4.2	0.1°	-1.5 34.3	19.4 4.1	23.1°	-7.1 15.0	0.3 0.7	10.0°	5.9
9	2.5 2.5	2.5 2.0	0.2°	-8.0 27.7	16.0 2.1	21.4°	-4.9 6.7	-0.4 0.1	4.9°	5.0
10	4.3 5.8	4.7 4.2	1.0°	-10.9 37.8	19.3 3.5	29.0°	-9.9 17.0	0.8 0.6	12.3°	4.9
平均	4.0 4.3	4.5 3.4	0.6°	-5.4 33.8	17.1 3.5	24.0°	-7.8 14.9	0.4 0.2	10.5°	5.9

咬頭嵌合位を原点として咬合平面を基準に、前方を、x+, 下方を y+ とする。

表 6 矢状顎路角と矢状切歯路角の関係

被験者	矢 状 顎 路 角			矢 状 切 歯 路 角	
	顎 路 直線部	切 縁 咬合位	前 方 咬合位	矢状 切歯路	切 縁 咬合位
1	27.5°	28.1°	27.9°	24.5°	24.2°
2	42.5°	37.6°	27.3°	57.0°	49.5°
3	46.0°	46.7°	23.9°	60.0°	47.8°
4	28.0°	26.1°	19.1°	52.0°	35.0°
5	34.5°	34.5°	23.9°	60.0°	49.1°
6	38.0°	36.0°	20.7°	58.0°	65.6°
7	52.0°	42.9°	32.9°	50.0°	42.4°
8	42.0°	40.6°	24.8°	48.0°	40.5°
9	40.0°	38.7°	29.5°	45.0°	45.0°
10	46.0°	41.8°	26.5°	54.0°	53.4°
平 均	39.7°	37.3°	25.7°	50.9°	45.3°

咬頭嵌合位と切縁咬合位において全運動軸の存在する点を直線で結び、咬合平面となす角度を求めると表 6 のごとく平均 37.3° となり、先に求めた矢状顎路角度平均 39.7° と近似した値を示した。矢状顎路角度と大きく異なるのは全運動軸が切縁咬合位において、顎路直線部からはずれる 2 例(症例 2, 7)で、前者は約 5°, 後者は約 9° いずれも矢状顎路角度よりも小さな値をとった。

補綴臨床において古くより重要視されている矢状切歯路角度について、咬頭嵌合位に近接した切歯部前方滑走路の咬合平面に対する角度を求め、表 6 のごとく矢状顎路角度と対照してみた。矢状切歯路角度は個人差が大きく 24.5°~60.0°, 平均 50.9° で、症例 1 を除いたすべて

表 7 切縁咬合位より求めた矢状顎路角の位置による違い

被験者	全運動軸	5 mm 前方点	5 mm 後方点	5 mm 上方点	5 mm 下方点
1	28.1°	28.9°	28.1°	28.9°	28.1°
2	37.6°	38.2°	37.0°	37.2°	38.1°
3	46.7°	46.7°	46.7°	46.7°	46.7°
4	26.1°	26.6°	24.9°	25.7°	24.8°
5	34.5°	34.0°	33.2°	30.7°	34.2°
6	36.0°	37.8°	34.7°	35.3°	37.3°
7	42.9°	42.3°	48.5°	42.9°	42.4°
8	40.6°	41.2°	40.6°	41.2°	39.9°
9	38.7°	38.9°	38.7°	37.6°	40.0°
10	41.8°	42.5°	42.4°	41.2°	42.4°
平 均	37.3°	37.7°	37.5°	36.7°	37.4°

の症例で矢状顎路角度よりも大きな値を示している。また咬頭嵌合位と切縁咬合位における切歯点位置を結ぶ直線と咬合平面とがなす角度は 24.2°~65.6°, 平均 45.3° となり顎路において同様に求めた値よりも、症例 1 を除いては大きな値を示している(表 6)。

咬頭嵌合位と切縁咬合位を結び咬合平面となす角度は、顎頭点位置が変化しても表 7 のごとくほとんど変化を示していない。10 例の平均値を比較してみると、全運動軸の 5 mm 前方点では 37.7°, 5 mm 後方点で 37.5°, 5 mm 上方点、および下方点で 36.7° と 37.4° と、全運動軸に比較して 1° 以内の差を示しているのみである。

前方咬合位と咬頭嵌合位における全運動軸の位置を結ぶ直線の咬合平面に対する角度は、矢状顎路角度より 1

例を除いていずれの症例でも小さく、平均 25.7° と 10° 以上も小さな値を示した(表 6).

また前方滑走路上を運動する時の下顎の回転量を求めると、切縁咬合位において平均 0.6°, 前方咬合位においても -0.2° とほとんど下顎は回転運動を行なつて

いない(表 4, 5).

2) 後方限界路

切歯点は咬頭嵌合位から円弧状の運動路を描き変曲点に至るが、顎頭は関節窩の中でほぼ回転運動のみを行なっている. すなわち、切歯点は咬頭嵌合位から変曲点ま

表 8 咬頭嵌合位から後方歯牙接触位への運動

被験者	記録回数	切 歯 点				全 運 動 軸			
		x (mm)	y (mm)	移 動 量 (mm)	運動方向	x (mm)	y (mm)	移 動 量 (mm)	運動方向
1	1	-0.7	0.9	1.2	-52.0°	-0.5	0.1	0.5	-12.7°
2	2	-0.9	1.0	1.4	-49.5°	0.0	-0.7	0.7	93.3°
3	3	-0.6	0.6	0.9 (0.41)	-43.2°	-0.2	-0.3	0.4 (0.09)	55.9°
4	4	-1.4	0.8	1.6 (0.41)	-28.8°	-0.9	-0.3	1.0 (0.15)	15.9°
5	4	-0.9	1.0	1.4 (0.25)	-46.0°	-0.3	-0.1	0.5 (0.28)	11.0°
6	5	-1.0	1.6	1.8 (0.29)	-58.2°	-0.1	-0.2	0.2 (0.11)	59.5°
7	6	-1.2	1.6	2.0 (0.44)	-53.3°	-0.6	0.3	0.7 (0.15)	-25.0°
8	6	-0.3	0.5	0.6 (0.06)	-59.0°	-0.2	0.1	0.3 (0.06)	-23.7°
9	4	-1.2	0.6	1.4 (0.06)	-27.3°	-0.6	-0.5	0.9 (0.07)	40.7°
10	6	-0.4	0.4	0.6 (0.12)	-41.6°	-0.2	-0.1	0.3 (0.03)	36.3°
平 均	4	-0.9	0.9	1.3 (0.58)	-45.9°	-0.4	-0.2	0.6 (0.28)	25.1°

咬頭嵌合位を原点として、咬合平面を基準に前方へ x+, 下方へ y+ とする。
() 標準偏差を示す。

図 13 切歯点および全運動軸における咬頭嵌合位と後方歯牙接触位の関係
(数字は症例番号を表わす)

で後方へ 7.8 mm, 下方へ 14.9 mm 移動するのに対して, 全運動軸は顎路の中を前方へ 0.4 mm, 下方へ 0.2 mm と極く小さな運動をするのみである。しかし変曲点後最大開口位に至る運動においては, 全運動軸は前方へ 17.1 mm, 下方へ 3.5 mm と, 顎路のほぼ全長を運動している。また下顎の回転角を求めると, 咬頭嵌合位から変曲点までの下顎回転角度は 10.5°, また最大開口位では 24°.0 と大きく回転している(表 5)。

4. 下顎の後方運動

咬頭嵌合位から歯牙を接触させ下顎を後方に引き, 得られる後方歯牙接触位を頻回撮影, 測定し, 後方運動量を算出した。

切歯点は咬頭嵌合位から後方へ平均 0.9 mm, 下方へも 0.9 mm 移動して後方歯牙接触位に達した。これに対応して全運動軸は後方へ平均 0.4 mm, 下方へ 0.2 mm 移動した。この際の直線的な移動距離を求めると個人間でかなりの差があり, 切歯点においては 0.6~2.0 mm, 平均 1.3 mm であり, 全運動軸は 0.2~1.0 mm, 平均 0.6 mm 移動している。同一個人においても切歯点および全運動軸の移動距離は, ある程度のばらつきをもつため, 各々の値の標準偏差は比較的大きなものとなっている(表 8)。各症例における後方運動量の平均値により図 13 を表わす。

切歯点における後方運動方向は咬合平面に対して平均 45.9° を示し, 最大は症例 8 の 59.0°, 最小は症例 9 の 27.3° であり, いずれも後下方へ移動している。しかし全運動軸の運動方向はかなりのばらつきを示して, 後下方から後方, 後上方, 上方へと症例に応じた運動方向をとっている。

IV. 蝶番運動と全運動軸の関係

1. 顎頭を中心とした蝶番運動

1) いわゆる蝶番軸について

下顎を後方に引き, 後方限界路上を開閉運動する時, 顎頭を中心とした蝶番運動が可能といわれ, その中心は蝶番軸 Hinge Axis と呼ばれている。この運動は切歯点における後方歯牙接触位から変曲点までの後方限界運動であるため, 本研究ではこの運動を行なう時, 顎頭点の動く直線距離を運動量として顎頭部に最も運動量の小さな点を蝶番軸として求めた。

切歯点が後方歯牙接触位から変曲点まで運動する時, 下顎の回転角度は平均 9.6° で, 直線的な移動距離は 15.4 mm を示し, この時得られた蝶番軸の運動量は 0.3~0.1 mm, 平均 0.2 mm と極く小さな値をとり, ほ

表 9 蝶番運動時の切歯点と蝶番軸の関係 (mm)

被験者	切歯点 移動量	下顎 回転角	蝶番軸 の動き	0.5 mm 等運動曲 線の半径	1 mm 等運動曲 線の半径
1	20.5	12.2°	0.3	2.4	5.0
2	19.2	12.8°	0.3	1.8	4.4
3	9.2	5.4°	0.2	5.0	10.0
4	18.3	13.2°	0.2	2.0	5.0
5	17.1	10.6°	0.1	3.6	7.0
6	21.0	12.5°	0.2	3.0	6.0
7	6.4	4.2°	0.2	6.0	13.0
8	16.1	9.5°	0.3	3.0	6.0
9	6.8	4.0°	0.1	6.5	13.4
10	19.0	11.9°	0.3	2.4	4.5
平均	15.4	9.6°	0.2	3.6	7.4

ぼ不動点と見なすことができる(表 9)。

蝶番軸は図 14, 16 に示すごとく, 症例 4, 7 を除く 8 例では顎頭外形内部の後下方から中央部に存在したが, 症例 4 では顎頭外形の外部後方に, また症例 7 では顎頭頸部に存在した。

後方歯牙接触位から変曲点までの後方限界運動が, 顎頭を中心とした蝶番運動 Hinge Movement であるためには, 求めた蝶番軸が顎頭内部に存在しなければならない。本実験の被験者 10 例のうち, 蝶番軸が顎頭の外部に存在した 2 例(症例 4, 7)を除いた 8 症例は, 顎頭を中心とした蝶番運動により後方限界運動を行なっていることが確認された。

2) 後方限界運動における等運動曲線

切歯点が後方限界路上を変曲点まで運動する時, 顎頭点の動く直線距離を運動量として求め同じ運動量を示す顎頭点を曲線で結び等運動曲線を描き, 顎頭の運動様相を検討した。

等運動曲線は図 14 に示すごとく各症例によつてその大きさに違いがあるが, 蝶番軸を中心に同心円を描いており, 蝶番軸を回転中心として変曲点まで後方限界運動を行なっていることが知れる。

下顎が蝶番軸を中心に開閉運動する時, 0.5 mm 以下の運動量を示す顎頭点の存在範囲を等運動曲線から求めてみると, 平均 3.6 mm の半径をもつ円形をなす。同様に 1 mm 以下の運動量を示す顎頭点存在範囲を求めると, 前者のほぼ 2 倍の半径 7.4 mm の円形となる。切歯点移動量と運動量 0.5 mm 以下の顎頭点存在範囲の大きさとの関係をみると, 0.5 mm 運動量曲線の半径が 5 mm, 6 mm, 6.5 mm と大きな症例 3, 7, 9 の切

図 14 ① 変曲点までの後方限界運動における等運動曲線
数字は顆頭点の運動量(mm)を表わし、同心円の中心が蝶番軸として求まる。

図 14 ② 変曲点までの後方限界運動における等運動曲線

歯点移動量は 9.2 mm, 6.4 mm, 6.8 mm と小さく、蝶番開閉運動の小さいことを示している。これに対して、切歯点移動量の 20.5, 21.0 mm と大きな症例 1, 6 では、0.5 mm 運動量を示す顎頭点存在範囲は半径 2.4, 3 mm と比較的小さく、顎頭が移動しやすいことを明らかにしている(表 9)。

3) 蝶番軸の限界運動範囲

下顎の矢状面全運動に対応して蝶番軸の運動範囲を求め、全運動軸の運動範囲すなわち顎路の大きさと比較してみると、表 10 のごとくなる。前後的な長さおよび咬合平面に対する最高点と最低点間垂直距離については、両者の間に殆んど差異はないが、運動範囲の厚さに大きな差異を示している。すなわち蝶番軸が全運動軸の下方に近接して存在する症例 1, 2 の 2 例では、蝶番軸の運

動範囲の厚さは全運動軸における 1.1 倍とほぼ同値をとっているが、他の 8 例では 1.8~2.9 倍と全運動軸の運動範囲に比較して非常に大きな値を示している。

2. 全運動軸と蝶番軸の関係

1) 全運動軸と蝶番軸の位置関係

全運動軸は症例 4 を除いたすべての症例において顎頭の前上部に位置しており、また蝶番軸に対しても全症例で前上方に位置している。すなわち蝶番軸は全運動軸の平均 2.4 mm 後方, 3.7 mm 下方に位置し、両軸間距離は 4.9 mm である(図 15, 16, 表 11)。

補綴臨床においては平均的な顎頭点として耳珠後縁と外眼角を結ぶ線上で、耳珠後縁から 13 mm 前方点⁶⁾が使用されているが⁶⁾、この顎頭点と全運動軸の位置を比較するため、被験者の平均的顎頭点に直径 1 mm のステ

表 10 蝶番軸の限界運動範囲

被験者	全 長 (mm)	全 高 (mm)	厚 さ (mm)	* 対顎路厚 さ 比
1	16.3	5.0	0.8	1.1
2	16.9	7.2	1.5	1.1
3	15.8	5.6	1.2	2.4
4	19.3	4.2	1.0	2.0
5	16.6	5.0	1.2	2.4
6	15.6	4.1	1.0	2.0
7	15.2	7.0	1.5	2.1
8	19.8	6.3	2.3	2.9
9	16.3	5.8	0.9	1.8
10	17.9	5.1	1.5	2.1
平 均	17.0	5.5	1.3	2.0

咬合平面を基準に、運動範囲の前後の長さを全長、最高点と最下点間の垂直距離を全高として表わす。

* 蝶番軸の運動範囲の厚さ
顎路の厚さ

ィール・ボールを貼付し、頭部X線規格写真を撮影して断層X線規格写真と重ね合わせを行なった。

頭部X線規格写真撮影の際、耳軸を外耳道に差入れ頭部を固定すると耳珠が前方に押され、平均的顎頭点を示すスィール・ボールの位置が変化する事も考えられるので、頭部を固定後耳軸を抜き撮影した。

この結果、症例3を除いた9例ではいずれも平均的顎頭点は蝶番軸よりも全運動軸に近接して存在しており、全運動軸と平均的顎頭点との距離は平均 2.9 mm であ

図 15 全運動軸と蝶番軸、平均的顎頭点との関係 (1) (数字は症例番号を表わす)

った(図 15, 16, 表 11)。

2) 全運動軸と蝶番軸の再現性

切歯点における限界運動を数回繰返し行ない、各々の運動路から全運動軸および蝶番軸を求め、各軸の存在位置のばらつきを検討した。

症例 10 を被験者として、図 17 のごとく限界運動 4 回をマルチフラッシュ装置により記録測定し、各々の限界運動から全運動軸と蝶番軸を求めると図 18 に示す位置をとった。4 回記録した切歯点運動路は、咬頭嵌合位から前方咬合位までの前方滑走路が最も安定しており、上

図 16 全運動軸と蝶番軸、平均的顎頭点との関係 (2)

表 11 全運動軸と蝶番軸，平均的顎頭点の位置関係 (mm)

被験者	全運動軸—蝶番軸			全運動軸— 平均的顎頭点		
	x	y	距離	x	y	距離
1	-0.7	2.5	2.6	1.0	2.4	2.6
2	-2.6	2.6	3.7	2.4	1.2	2.7
3	-4.4	0.1	4.4	-5.8	2.9	6.5
4	-1.2	5.5	5.7	2.7	0.3	2.7
5	-0.3	6.3	6.3	-2.0	2.7	3.4
6	-2.4	2.9	3.8	0.1	1.2	1.2
7	-0.7	8.5	8.5	0.2	-1.9	1.9
8	-5.4	2.3	5.8	-3.3	1.0	3.4
9	-2.3	1.5	2.7	0.0	1.7	1.7
10	-3.7	4.6	5.8	-2.4	0.9	2.6
平均	-2.4	3.7	4.9	-0.7	1.2	2.9

全運動軸を原点として咬合平面を基準に，前方へ x+，下方へ y+ とする。

下的に 0.2 mm のばらつきを持ち，前方限界路は前後的に 0.8 mm のばらつきを，咬頭嵌合位から変曲点までの後方限界路が 1.5 mm の，また変曲点後最大開口位に至る運動路が 2.8 mm のばらつき幅を持った。

これらの限界路のうち最大の運動範囲を示す運動路①より求まる全運動軸①を基準とすると，他の3回の運動路に対して求まる全運動軸は 0.9~1.1 mm の範囲内に存在した(表 12)。蝶番軸についても同様に切歯点運動路①より求まる蝶番軸①を基準とすると，他の3個の蝶番軸は 1.2~5 mm の範囲にばらついて存在した。蝶番軸はこれらの運動路のうち後方限界路が最外側にあるほど，また後方限界路の短かいものほど，顎頭内部の上方に存在する傾向をもっている(表 12，図 17，18)。

全運動軸と蝶番軸のばらつきの程度をさらに推計学的に検討してみる。全運動軸①と蝶番軸①を基準に各軸のばらつきの程度について，全運動軸と蝶番軸の有意差を検定してみる。

両軸のばらつきの有意差は次式⁹⁾で求めると，

$$t = \frac{M_1 - M_2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad M: \text{平均値}$$

$$Sp = \sqrt{\frac{\sum d_1^2 + \sum d_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}} \quad d = x - M$$

$t = -3.1$ となり，自由度 $\nu = (n_1 - 1) + (n_2 - 1) = 6$

$t_{.05}(6) = 2.45$ である故， $t = -3.1$ は t 分布信頼限界 95 %における棄却域以下である。この結果全運動軸は蝶

図 17 Case 10 において記録された4回の切歯点運動路

図 18 図 17 に示される運動路から求まる全運動軸および蝶番軸

表 12 症例 10 において 4 回の限界路から求めた運動軸のばらつき

(mm)

	全 運 動 軸			蝶 番 軸				
	①	②	③	④	①	②	③	④
① を基準としたばらつき	0	1.0	0.9	1.1	0	4.9	1.2	5.0
標点 B からの距離	x	128.4	128.4	128.8	129.8	130.7	132.2	136.4
	y	47.7	47.5	46.6	46.7	42.5	41.0	38.3
								135.6
								37.3

番軸に対して有意の差をもち、ばらつきの程度の小さい傾向が認められた。

また両軸の位置的な差についても検討した。下顎運動を測定した標点 B (図 3) を基準に各 4 個の全運動軸および蝶番軸の位置を求め (表 12)、x 軸方向、y 軸方向の各々について両軸の位置の差の 95 % 信頼限界を次式⁹⁾により算出した。

$$(M_1 - M_2) \pm t \cdot Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

x 軸方向の 95 % 信頼限界は -4.88 ± 3.43 , y 軸方向については 7.37 ± 3.01 , この結果危険率 5 % をもつて全運動軸は蝶番軸の 1.45 ~ 8.31 mm 前方に、4.36 ~ 10.38 mm 上方に存在するわけであり、これにより全運動軸は常に蝶番軸と別個に存在し、しかも蝶番軸の前上方に位置していると考えられる。

V. 総括および考案

顎関節内の顎頭運動は、今日下顎運動様式の解析、再現を目的とする運動論的な立場¹¹⁾¹⁰⁾¹¹⁾からのみならず、顎関節の病態と運動の変化¹²⁾、歯周疾患に対する咬合診断法を追求する分野においても、さらに神経筋生理学¹³⁾の見地からも研究が進められており、咬合と調和のとれた下顎運動に対して顎頭のはたす役割についての、明確な概念確立に努力が払われている。このうち下顎運動様式の解析に関する研究は、主に補綴学の基礎研究として行なわれており、測定方法の進歩と共に立体的な下顎運動の測定およびその再現について、研究が進められている。

下顎の立体運動を把握するためには、切歯点および左右顎頭部など 3 点の運動を同時に記録、測定することが行なわれなくてはならない。切歯点の運動様式については、根本⁶⁾、藍¹⁴⁾により詳細な検討が既になされており、さらに最近嚥下ならびに習慣的閉口時の歯牙接触位など、機能的な下顎位と限界運動範囲との関係についても、川口¹⁵⁾により解明がなされている。顎頭部の運動については、古く¹⁶⁾より極く概略的な結果は得られている

が、切歯点におけるごとき明確な知識を持つまでには至っていない。逆に測定精度が向上すると、顎頭運動を測定し得られた結果が一層複雑なものとなり¹⁷⁾、解析に窮し、顎頭運動はそれ自体非常に自由度が高く¹⁸⁾、極めて適応性のあるもので、運動に規則性を持たず、測定解析が不可能であるという立場をとる研究者もいる。

しかし一方、McCollum¹⁹⁾に始まる Gnathology 一派の研究者は、顎頭を軸とした蝶番運動によって後方限界運動が行なわれるという。明確な顎頭運動概念をもち、この軸を咬合器の開閉運動軸と一致させることにより下顎運動を再現できると考えている。この術式は一部臨床において盛んに使用されているが、全面的に認められた理論とは未だいえない。

顎頭部の運動が明らかにされ得ない理由は、1. 顎頭は皮膚に覆われ、それ自体を直接測定できないこと。2. 運動量が切歯点に比較して小さいこと。3. 顎関節の構造上測定点の位置により運動径路が著しく異なると考えられること、などがあげられる。このため顎頭運動を正確に把握するためには、先ず比較的単純な下顎の矢状面内の運動について、上記の欠点を克服出来る研究方法による検討がなされなくてはならない。

1. 研究方法

(1) 顔弓による描記法^{10) 20) 21) 22) 23)}、チェックバイト法²⁴⁾、X線写真²⁵⁾²⁶⁾およびX線映画法¹⁹⁾、マルチストロボ法²⁷⁾、映画法¹⁷⁾などにより顎頭運動測定が行なわれて来たが、報告された結果が種々様である最も大きな理由は、測定点の顎頭上の位置が明確にされず、研究者により異なつた位置で測定されていたものと考えられる。本実験ではこの欠点を補なえる方法を採用した。すなわち、顎頭矢状面運動の解明のために、顎頭部およびその周囲の無数な点を測定点として、運動を詳細に追求する目的で、佐久間の考案したマルチフラッシュ装置による顎頭運動測定法⁴⁾を用いた。マルチフラッシュ装置による運動測定に先立ち、先に報告³⁾した断層 X 線規格写真法により顎頭部測定点の位置を確認し、従来の研究方法の最大の欠点である測定点と顎頭との位置関係の不明確

な点を改善した。

断層X線写真およびマルチフラッシュ装置は、その性質上3次元の立体運動測定は不可能であるが、下顎が矢状面内を動く2次元運動の測定は可能である。その上、下顎各点の同時刻における位置関係を記録でき、測定精度も高く、頻回の測定が比較的容易である利点をもつ。マルチフラッシュ装置による写真測定法そのものの精度は、予備実験で求めたごとく、写真機・レンズ系の歪によつて左右されるが、矢状面全運動範囲にわたつて0.1 mm程度の精度は確保されている。

(2) 頭部の定位はカンペル平面を水平的基準面とし、これと直交し断層X線写真撮影する右側顎頭中央を通る矢状面を運動測定基準面とした。カンペル平面を水平的基準面としたことにより、被験者は下顎運動を行なうことが容易になり、また咬合平面との角度差が少なくてすむ利点がある。

(3) 運動計測の基準点は、上下顎の運動であるから上顎に対する下顎の位置変化を記録すべきであるが、測定法の性質上本実験では切歯点および顎頭点の運動路とも、咬頭嵌合位における各点をもつて基準点とした。尚、実験の前後で咬頭嵌合位を撮影し、偏位の認められるものについては実験結果から除外した。

(4) マルチフラッシュ装置は原理的に写真機の焦点の合つた基準面内の運動のみが測定可能であるため、被験者についてはあらかじめ左右対称な運動が可能であることを確認しておき、さらに撮影された乾板の測定に際して、2標点間距離を計測し短縮の認められるものは、下顎運動時に側方偏位が生じていると考え、結果から除外する方法をとることとした。

2. 顎頭点の運動路

佐久間⁹⁾は矢状面内の限界運動範囲が、切歯点から顎頭部に近づくに従い扁平となり、顎頭付近に帯状な形で収斂する傾向を認めている。しかし一方には顎頭運動路は記録する運動の種類により、異なつた径路として測定され²⁸⁾²⁹⁾、顎頭は関節窩内で上下的にもかなりの自由度をもち、ジグザグ運動をすると主張する研究者¹⁸⁾もいる。

著者は佐久間と同様な研究方法で、約1.6 mm間隔に120個前後の顎頭点を選び、各々の矢状面限界路を算出し、測定位置の違いによる運動路の変化の様相を詳細に検討した。

各々の顎頭点運動路は切歯点が矢状面限界運動により閉曲線を描くと、対応して閉曲した運動路を描き、通常開閉路もその内部に存在した。これにより下顎が矢状面運動をする時、切歯点と顎頭点は相互に対応した運動路

をとっていることが示唆される。

1) 全運動軸

顎頭の運動は、触診により決定される顎頭点²⁴⁾、眼耳平面上で耳珠後縁から13 mm前方の点³⁰⁾、またいわゆる蝶番軸¹⁰⁾¹⁹⁾²¹⁾²⁸⁾などの1点を顎頭の代表点として、この運動路が測定されている。これらのうち前二者は顎頭の中心を代表点として求めようとし、後者は特定な運動の回転中心を顎頭の代表点としている。これらを測定点として求めた顎路は、いずれも顎頭付近の1点の開閉運動、または前後運動時における運動路であり、1つの点の限定された1つの運動に対する軌跡でしかありえない。その結果大場²⁸⁾、Shanahan²⁹⁾らの述べたごとく、前方滑走運動の顎路と開閉運動の顎路とが一致しない現象が起ると考えられる。

本実験から、顎頭点の運動範囲は測定点の位置により異なり、特に上下幅が非常に大きく変化するが、顎頭上に上下幅平均0.7 mm程度の極く狭い運動範囲を持つ特定な点の存在が明らかとなった。この特定点は下顎が矢状面内のあらゆる運動をする時、上下幅0.7 mmの運動範囲内を前後的に移動しており、この点においては前方滑走運動時の顎路も、開閉運動時のそれとほとんど同一形態を描くこととなる。したがつて下顎の矢状面運動はこの特定点を中心とした回転と、この点の上下幅の少ない帯状の運動範囲内の前後的移動とに分離できる。著者は全ての矢状面運動の回転中心軸となるこの特定点を、全運動軸 Kinematic Axis と呼ぶこととする。

下顎の矢状面運動を幾何学的に考えれば、任意の点を軸とした回転運動と、その軸の矢状面上の移動によつて行ない得るが、上下幅最小の運動範囲内を移動する全運動軸が、全ての症例において顎頭内に存在していた。このことは下顎の矢状面内の全ての運動が、不特定な点を軸としてではなく、顎頭内に常に存在する特定な点、全運動軸を中心に回転しながら、前後移動することにより行なわれていることである。これは先に石原³¹⁾が示唆した事柄、すなわち下顎の矢状面運動は顎頭上の1固定点により下顎頭を運動論的におきかえることができ、この点はすべての矢状面運動に対し線状の軌跡を描き、任意の前進位においてこの点を中心とした回転運動が行なわれることが、本実験により明確に証明された。

顎頭は全運動軸を中心に回転し、顎路の上を前後に移動するが、関節窩と接触する顎頭の関節面が全運動軸を中心とした円弧と一致しておれば、矢状面内全運動に対応する顎路は上下的に幅の全くない線状の運動路となることが想像される。しかし生体の顎頭形態にそれは望め

ず、加えて円板の圧縮、運動測定上の誤差等により、全運動軸の運動する顎路に上下幅が生じてくると考えられる。

2) 顎路について

(1) 顎路は今日まで、顎頭付近の1点の運動路並びに傾斜角度として測定されているが、運動論上客観的な測定点によらぬため、各報告でばらばらの結果を得ている。

著者は全運動軸が動く上下的に最も幅の小さな帯状の運動範囲を、矢状面運動から求まる顎路とした。顎路の大きさは咬合平面を基準として前後長は平均 17.9 mm、最高点と最下点間垂直距離は 5.6 mm、上下幅 0.7 mm であり、関節結節とは必ずしも平行な径路をとっていない。これは関節窩と接触する顎頭の部位が下顎の運動と共に変化して、顎頭外形を得た断層写真部位以外でも接触することにより起るものと考えられる。

(2) 咬頭嵌合位から 6 mm 前後の顎路はほぼ直線とみなすことができ、咬合平面に対する角度を矢状顎路角度とすると、平均 39.7° であり、中沢²⁰⁾、加藤²⁷⁾が任意の顎頭点において前方滑走路より求めた値に近似している。

切縁咬合位において顎頭はほぼ顎路直線部上にあり、咬頭嵌合位と切縁咬合位を結ぶ直線の傾斜角度は 37.3° と矢状顎路角度に近似した角度を求めることができる。

3) 後方運動について

咬頭嵌合位から後方歯牙接触位への後方運動を、10 症例について総計 41 回測定した。顎頭部の全運動軸は後方へ平均 0.4 mm、上方へ 0.2 mm、移動距離は 0.6 mm と、Posselt²⁸⁾の報告とほぼ同値の結果を得た。この時切歯点の後方へ 0.9 mm、下方へ 0.9 mm、移動距離 1.3 mm と、顎頭部の約 2.2 倍の運動をしている。後方運動量の個人差は大きく、また同一個人においても Grasso³²⁾らが Gothic Arch 描記により認めたごとく、測定のたびにある程度ばらつく傾向はある。

後方運動により記録される全運動軸の運動路の傾斜角度も、個人差が非常に大きく、しかも矢状顎路角度とは異なり、両者の間に明確な関係はみられなかった。Kydd ら³⁰⁾は顎頭の後方運動方向は顎関節関節面に依るのではなく、咬合面に依ると、また Gilson³⁴⁾は顎路とは異なつた曲面を持つと報告しているが、著者はこの現象は、咬頭嵌合位における顎頭の位置すなわち顎頭安定位¹¹⁾を境に、顎頭の前方への運動と後方への運動を支配している顎関節構造が異なるためにおこると考える。

3. 蝶番軸と蝶番開閉運動

下顎を後方へ引きながら開閉運動すると、顎頭は前後的にほとんど移動せず、顎頭を中心に下顎が回転することは古く Ulrich³⁵⁾、Thourén³⁶⁾が観察している。顎頭を中心とした蝶番開閉運動は顎頭が最後位にあるとき一般に可能となり、この運動を Terminal Hinge Movement と、またこの運動の中心を蝶番軸 Hinge Axis と呼び、切歯点は後方限界路上を変曲点までおよそ 2 cm 動くと言われている。

Fischer³⁷⁾、McCollum³⁸⁾は後方限界路上を運動する時、外耳孔の前方に不動点を運動中心として求め、蝶番運動の概念を明らかにしたが、回転中心となる不動点と顎頭との位置関係が明確でないため、蝶番運動時に顎頭の前後的移動の存在について疑問が生じる。Posselt³⁹⁾、Beck⁴⁰⁾らは X 線写真により顎頭と蝶番軸との位置関係を明らかにしようと試みたが、顎頭運動を解析するまでには至らなかった。

顎頭最後位における蝶番開閉運動は、安定した再現性のある基本運動と考え、この回転中心である蝶番軸を求めることにより下顎の中心位を知る術式が McCollum らにより開発され、補綴臨床の一部において盛んに使用されている。しかし蝶番運動理論に反対する立場の研究者もあり、Kurth⁴⁰⁾、Trapozzano⁴¹⁾、らには hinge locator により一定な Hinge Axis を求めることは不可能であると報告している。また Sheppard⁴²⁾はわずかに開口するのみで顎頭は前進してしまうことを X 線映画により観察している。Schallhorn⁴³⁾、Weinberg³⁰⁾らは Hinge Axis の代りに平均的顎頭点を使用した際の誤差は臨床は無視できるとしている。佐久間⁴⁾、末次⁵⁾、根本⁶⁾らは切歯点限界運動を測定、詳細な検討を加えた結果、一般には顎頭を中心とした蝶番運動は可能であるが、10 例中数例においては不可能なことを報告している。この結果顔弓により蝶番軸を求める方法に原理的な疑問をもつ意見がでてきた。すなわち石原ら⁸¹⁾は、顔弓により求めた蝶番軸は下顎の特定な1つの運動の回転中心でしかなく、また蝶番軸が顎頭外に出てしまう例もある。この場合顎頭を中心としたいいわゆる蝶番運動は不可能である。蝶番軸が顎頭内に存在している場合にも、この軸が任意の前進位においても下顎の回転中心としての蝶番軸となれるか否かに疑問をもっている。

(1) 著者は後方限界運動時に、顎頭部に求まる不動点を蝶番軸として、その位置を断層 X 線規格写真上に求めた。その結果、蝶番軸が顎頭内に存在した 10 例中 8 例においては、下顎が後方限界路上を変曲点まで運動する時顎頭を中心として蝶番運動していると考えられるが、

蝶番軸が顎頭の外部に存在する2例では、顎頭を中心とした蝶番運動により後方限界運動を行なうことは不可能である。この2例は先に報告した断層X線写真による観察⁹⁾において、顎頭の前方移動が認められ、蝶番運動の疑われた例であり、10例中数例に蝶番運動の不可能な症例を報告した佐久間、末次、根本らと同傾向を示している。

(2) 変曲点までの後方限界路を運動時に、運動量の等しい顎頭点を曲線で結び求めた等運動曲線が蝶番軸を中心として同心円を描いたことは、蝶番軸を軸に下顎が回転していることである。しかし蝶番軸を中心とした純粋な回転運動であれば、蝶番軸は運動量0の完全な不動点となるはずだが、平均0.2mmの移動を示していた。これは運動を支配している顎頭の形態が完全な円弧でないこと、関節円板が圧縮されること、行なつた運動が完全な円弧運動でない疑いのあること、測定誤差などの影響により生じるものと考えられる。

蝶番軸として求まる顎頭点の運動量は平均0.2mmであるが、運動量が0.5mm以下となる等運動曲線の半径は3.6mmとなり、ある範囲をもっている。このことは臨床的に顔弓を使用して蝶番軸を求める際、この範囲内に於ては顔弓先端の動きの識別の点で問題が残る。

(3) 蝶番軸を中心に開閉する距離は、切歯点において後方歯牙接触位から平均15.4mm運動し、この時の下顎の回転量は9.6°となり、McCollum¹⁰⁾らが通常の人で切歯部1/2インチ、特定な人では1インチの開口量であるという報告と近似している。

4. 全運動軸と蝶番軸の関係

いわゆる蝶番軸は、後方限界運動という極く特定な運動に対して求まる運動軸であるのに対して、全運動軸は矢状面内の全ての運動に対応して求まる回転中心であり、全運動軸を顎頭上の特定点として、運動論的な代表点と考えることができる。前述のごとく下顎の全ての矢状面運動は、全運動軸の上下幅の極く狭い顎路上の前後移動と、顎路上の任意の位置におけるこの軸を中心とした回転により行なうことが出来る。この矢状面運動の概念は数年前に石原ら⁹⁾が明らかにしたもので、本研究によりこの概念を実験的に証明できたわけである。また極く最近に至り LePera²²⁾²³⁾、海老沢⁴⁾らは開口量が10°程度である後方限界運動から、蝶番軸を不動点として求めることは技術的に困難であるとして、顔弓により、前方滑走路と開口路の一致する測定点を顎頭部に求める試みも行なわれている。

(1) 全運動軸と蝶番軸の位置関係についてみると、全

運動軸は常に蝶番軸の前上方の顎頭内に平均4.9mm離れて位置していた。また全運動軸は蝶番軸よりも、むしろ耳珠前方13mmの限耳平面上にある平均的顎頭点に、より近接した位置に存在する傾向を示している。

全運動軸と蝶番軸が別個なものであるためには、両軸間距離4.9mmが実験精度上の有意な値でなくてはならない。この値の有意性を試みると、次のごとくなる。

切歯点前方の標点の座標より、顎頭点座標を計算式によつて算出する際に生じる最大誤差は、計算式

$$x = \frac{r}{a} \{ (x_b - x_a) \cos \theta - (y_b - y_a) \sin \theta \} + x_b$$

を偏微分することより

$$\begin{aligned} dx \leq & \left| \frac{\partial x}{\partial x_b} \right| |dx_b| + \left| \frac{\partial x}{\partial x_a} \right| |dx_a| \\ & + \left| \frac{\partial y}{\partial y_a} \right| |dy_a| + \left| \frac{\partial y}{\partial y_b} \right| |dy_b| + 1 \\ \therefore dx \leq & 2 (\cos \theta + \sin \theta) + 1 \end{aligned}$$

$\theta \approx 20^\circ$ であるため、

$$dx \leq 3.6$$

となり、算出する顎頭点の最大誤差は切歯点前方の標点座標の最大3.6倍となる。この結果、切歯点が全運動範囲を動いた時に生ずる可能性のある最大誤差を考慮しても、蝶番軸—全運動軸間距離4.9mmは有意であり、両軸は明らかに別個に存在するものである。

(2) 1例について矢状面限界運動を4回行ない、各々の限界路から求まる4個の全運動軸と蝶番軸のばらつきを検討した結果、運動限界全域に対応して求まる全運動軸は、およそ1mmの範囲に存在したのに対し、後方限界路から求まる蝶番軸は7mmの範囲内に4軸が求まり、非常に大きなばらつきを示した。推計処理をしても、両軸は明らかに別個に存在し、しかも全運動軸は蝶番軸に比較してはるかにばらつきが少なく、1点に位置する傾向を示している。

これは全運動軸が矢状面限界運動内の全ての運動に対応する回転中心であるから、限界運動路が大きくばらついたとしても、各々の限界運動路から求まる全運動軸は、原理的に1点に集中して存在することである。

これに対して、蝶番軸は後方限界路の回転中心として求めているため、記録した後方限界路がより後方に描かれれば、蝶番軸はより上方に移動して求まるごとく、後方限界路が少しでも変化すれば直接蝶番軸の位置の変化として表われてくる。

臨床的に顔弓を用いて蝶番軸を求める際、後方限界路を常に一定な径路として運動できないと、蝶番軸を1点として求めることは困難なことになる。また前述したご

とく、蝶番軸として求まる点は完全な不動点ではなく、0.2 mm 程度の動きを伴うため、どこまでの動きを不動点とするかの識別にも問題がある。これらのことから顔弓を使用して臨床的に、常に一定な位置に蝶番軸を求めることに、技術的な困難さを感じさせる。

(3) 両軸と顎関節構造との関連についてみると、全運動軸は咬頭嵌合位から始まる全ての運動時に接触する顎頭と関節窩の解剖構造に支配されて存在する軸と考えられるが、一方の蝶番軸は咬頭嵌合位から後退した顎頭最後位において、顎頭が回転する運動から求まる軸のため、主に関節窩と接触する顎頭の後上方部の解剖構造に支配される特殊性を持っている。

(4) 蝶番軸の運動範囲は、その上下幅が全運動軸の運動範囲に比較して、2 倍程度となり、上下的にかなり大きな幅をもった。このため蝶番軸は前方滑走路と開口路とで異なる運動軌跡をとるとく、切歯部の運動路に応じて異なった種々の径路を描くことになる。この結果、蝶番軸によつては下顎の矢状面内の全ての運動を回転と移動とに分離することは不可能であり、この運動要素の分離は全運動軸によつて原理的にはじめて可能となる。

5. 顎頭点運動路の位置による変化の様相

下顎の回転のほとんど伴わない前方滑走運動は、従来の報告²⁰⁾にもあるごとく、顎頭点の位置が多少異なつても求まる運動路の形態、矢状顎路角度はほとんど変化しない。しかし顎頭内の全運動軸を中心に回転し、移動する前方限界運動路、後方限界運動路などの形態は顎頭点の位置によつて大きく変化する。特に後方歯牙接触位から変曲点までの後方限界運動は、顎頭が関節窩内でおよそ 10° 回転するのみでほとんど移動はなく、変曲点後運動範囲のほぼ全長を移動しながら 10° 程度回転して最大開口位に達する。このため顎頭の前後移動に比較して回転の極端に多い変曲点までの運動は、顎頭点の位置が異なると運動路の方向も非常に大きく変化し、その後の運動径路にも著しい影響を与えている。

運動範囲の変化する様相を図 10 にみると、主に蝶番軸に支配される後方限界路が位置により大きく変化する、その結果運動範囲の上下幅は、全運動軸と蝶番軸を結ぶ上下方向の位置ではほとんど変化せず小さな値を示し、前方滑走路と後方限界路とが交差する状態となっている。これに対し全運動軸の前後方向では位置により運動範囲の上下幅は非常に大きく変化している。このため、運動範囲の上下幅から求めた等厚曲線は、前後につぶれた楕円形を示すと考えられる。

運動範囲を構成する限界路は、全運動軸の前方点では

必ず前方滑走路が上限を、後方限界路が下限を構成しており、全運動軸の後方点においては逆に後方限界路が上限を構成している。

顎頭点運動路の前後的な長さは、全運動軸の上方点で長く、下方にさがるにしたがい短くなる傾向を示している。しかし咬頭嵌合位から前方咬合位までの長さは、どの位置においてもほとんど変化せず、前方咬合位から始まる前方限界路が顎頭点の位置により変化することによつて、運動範囲の前後的な長さが左右されている。

上記のごとく、下顎の矢状面限界運動によつて求めた顎頭点運動路は、幾何学的にも非常に良く説明のことが判明した。この事実は、下顎の矢状面運動が顎関節部に遊びを持った運動ではなく、常に顎頭が関節窩と接触し、明確な制約のもとに自由に運動していることを明らかにしている。

図 19 下顎の回転量と移動量の関係

6. 下顎の回転量と移動量の関係

下顎の純粋な回転運動は顎路上の全運動軸を中心とし、全運動軸一切歯点間距離を半径とする円弧上を運動する等移動曲線⁴⁾として切歯点運動範囲内に表わされる。一方純粋な移動運動は下顎を一定な開口量に保ち、顎路と平行な径路をたどり運動する等角度曲線⁴⁾として切歯点運動範囲内に表わされる。以上のごとくして、等移動曲線を 2 mm 間隔に、等角度曲線を 2° 間隔に描い

たものの代表例が図 19 である。これにより切歯点の全ての位置に対応する下顎の回転角度と顎頭の移動量との関係が明らかとなる。

7. 下顎矢状面運動のモデル

顎関節の解剖学的な観察から、下顎の運動は顎頭を中心とした回転とその移動の合成によつて行なわれるという概念は古くから存在していた。下顎運動を顔弓によつて測定した Ulrich³⁵⁾, Bennett⁴⁵⁾ らはさらに具体的に、開閉運動は顎頭の後下方に軸を持つ運動であるとしており、これらの考えは Gysi⁴⁰⁾ の軸学説という下顎運動モデルへと発展し、総合的な咬合理論として集大成され、評価⁴⁷⁾されて来ている。

Fischer⁴⁸⁾ は Gysi の軸学説を発展させ、さらに蝶番運動の概念を導入して、二軸学説を展開していった。一方 McCollum¹⁹⁾³⁸⁾ も蝶番軸を中心に咬合理論を立て、臨床術式を確立し、現在なおこの理論を擁護する研究者⁴⁹⁾は多数にのぼっている。

断層 X 線写真により下顎運動様相を検討した Hjortsjö⁵⁰⁾は顎頭を中心とした下顎の回転と関節結節を中心とした顎頭の回転の複合により矢状面運動が行なわれるというモデルを立てたが、実験的な根拠に乏しいものである。

数年前に佐久間の研究結果⁴⁾から石原ら³¹⁾は前述したごとく、矢状面限界運動範囲に対応して顎頭部に線状の運動範囲を持つ特定点により、矢状面全運動が回転と移動とに明確に分離出来ることを示唆したが、著者の実験の結果、蝶番軸と別個に存在する全運動軸 Kinematic Axis を中心に下顎が回転し、上下幅の最小な顎路の中を前後的に滑走することにより矢状面運動の行なわれていることが明らかとなった。特定な後方限界路の回転中心である蝶番軸は、上下的にかなりの幅をもった運動範囲内を運動しているものである。

全運動軸により、下顎の矢状面運動はこの軸を中心とした回転と、この軸の顎路上の移動とに明確に分離することができ、矢状面運動について新たなモデルが誕生したわけである。

VI. 結 論

1. 断層 X 線規格写真と佐久間の考案したマルチフラッシュ装置により、下顎矢状面限界運動を測定した。
2. 切歯点前方の 2 標点の運動路から、切歯点運動路および顎頭部の約 120 点の矢状面限界運動路を算出し、顎頭部各点の運動範囲を切歯点運動路と対応して検討した。

3. 顎頭部の運動路は、切歯点運動路が閉曲線を描く時、対応して閉曲線を描いた。

4. 顎頭点運動範囲は顎頭点の位置により大きく変化し、特に顎頭の前後方向において運動範囲の厚さが大きく変化した。

5. 顎頭点運動範囲のうち、厚さ最小のものを顎路として求めることができた。その位置は顎頭内にあり、顎路の厚さは平均 0.7 mm であった。

6. 顎路は咬頭嵌合位から始まる 6 mm 前後を直線状と見なすことができ、また切縁咬合位はほぼこの直線部上にあった。

7. 矢状面内の全ての運動に対応して、顎頭部に顎路として求まる厚さ最小の運動範囲内を移動する矢状面に直角な軸を全運動軸 Kinematic Axis と呼ぶ。

8. 下顎の全ての矢状面運動は、全運動軸を中心とした回転と、この軸の顎路上の移動に分離できる。

9. 後方限界路上を変曲点まで運動する時、最小運動量を示す点を求め蝶番軸とした。蝶番軸は 10 例中 8 例において顎頭内に存在した。また蝶番運動の行なえることの疑わしい 2 例が存在した。

10. 全運動軸は蝶番軸と別個に顎頭内に存在し、全症例において蝶番軸の前上方に位置しており、両軸間の距離は平均 4.9 mm であった。

稿を終るに臨み、終始御懇篤な御指導、御校閲を賜った石原寿郎教授、ならびに研究方法について御指導賜った佐久間孔毅博士、本学医用器材研究所鈴木良次教授に深甚なる謝意を表わします。また種々御援助下さった医用研電気機器部門の各位、補綴学教室の諸先生ならびに被験者各位に深謝致します。

文 献

- 1) 石原寿郎, 藍 稔: 咬合に関する見解の種々相, 1. 下顎位について, 歯界展望, 30: 809-819, 昭和 42 (1967).
2. 下顎運動について, 歯界展望, 31: 29-40, 昭和 43 (1968).
3. 咬合と歯の接触関係について, 歯界展望, 31: 525-538, 昭和 43 (1968).
- 2) 石原寿郎: 下顎運動に関する最近の研究, 口病誌, 30: 81-99, 昭和 38 (1963).
- 3) 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, 第一報, 断層 X 線規格写真による観察, 補綴誌, 12: 135-349, 昭和 43 (1968).
- 4) 佐久間孔毅: マルチフラッシュ装置による有歯顎の前後および開閉運動の研究, 口病誌, 26: 1511-1536, 昭和 34 (1959).
- 5) 末次恒夫: マルチフラッシュ装置による無歯顎の前後, 開閉運動並びに下顎位の研究, 補綴誌,

- 5 : 131-169, 昭和 36 (1961).
- 6) 根本一男 : 有歯顎の下顎切歯点における 3 次元
的運動限界の研究, 補綴誌, 6 : 1-40, 昭和 37
(1962).
- 7) 沼倉三郎 : 測定値計算法, 東京, 昭和 43, 森北
出版, 33 頁.
- 8) Beck, H. O. : A clinical evaluation of the
arcon concept of articulation, J. Pros. Dent.,
9 : 409-421, 1959.
- 9) 立川 清 : 治療効果の統計的判定, 東京, 昭和
36, 第一出版, 19 頁.
- 10) Aull, A. E. : Condylar determinants of occlu-
sal patterns, J. Pros. Dent., 15 : 826-846, 1965.
- 11) 大石忠雄 : 下顎運動の立場からみた顎関節構造
の研究, 補綴誌, 11 : 197-220, 昭和 42 (1967).
- 12) Vaughan, H. C. : Need for changes in co-
ncepts relating to the temporomandibular joint
and the mandibular articulation, J. Pros. Dent.,
17 : 406-417, 1967.
- 13) 河村洋二郎 : 口腔生理学の展望, 日本歯科医師
会雑誌, 21 : 491-499, 昭和 43 (1968).
- 14) 藍 稔 : 切歯点部における咀嚼運動の解析, 補
綴誌, 6 : 141-177, 昭和 37 (1962).
- 15) 川口豊造 : 電気的測定装置による習慣的閉口運
動および嚥下運動時の歯牙接触位に関する研究,
補綴誌, 12 : 398-423, 昭和 43 (1968).
- 16) Gysi, A. : The problem of articulation,
Dental Cosmos, 52 : 1-19, 1910.
- 17) Hickey, J. C. et al : Mandibular movements
in three dimensions, J. Pros. Dent., 13 : 72-
92, 1963.
- 18) Berry, H. M., and Hofmann, F. A : Ciner-
diographic observations of temporomandibular
joint function, J. Pros. Dent., 9 : 21-33, 1959.
- 19) McCollum, B. B., and Stuart, C. E. : A re-
search report, Calif, 1955, Scientific Press,
p. 9-123.
- 20) 中沢 勇 : 下顎運動の補綴学的研究, 有歯顎の
運動, 口病誌, 13 : 81-98, 昭和 14 (1939).
- 21) Isaacson, D. : A clinical study of the condyle
path, J. Pros. Dent., 9 : 927-935, 1959.
- 22) Le Pera, F. : Determination of the "Hinge
axis", J. Pros. Dent., 14 : 651-660, 1964.
- 23) Le Pera, F. : Understanding graphic records
of mandibular movements, J. Pros. Dent., 18 :
417-424, 1967.
- 24) Posselt, U., and Nevstedt, P. : Registration
of the condyle path inclination by intraoral
wax records, J. Pros. Dent., 11 : 43-47, 1961.
- 25) Lindblom, G. : On the anatomy and function
of the temporomandibular Joint, Acta odont.
Scand., 17 : Suppl. 28, 1960.
- 26) Posselt, U. : Studies in the mobility of the
human mandible, Acta odont. Scand., 10 :
Suppl. 10, 1952.
- 27) 加藤吉昭 : ストロボ撮影法による下顎運動, 殊
に補綴学的見地からみた運動に関する研究, 日
大医学雑誌, 19 : 1-37, 昭和 35 (1960).
- 28) 大場彬照 : 咬合の平衡について, 歯界展望, 27 :
23-30, 昭和 41 (1966).
- 29) Shanahan, T. E. J., and Leff, A. : Mandi-
bular and articular movements, Part VII.
Concepts of lateral movements and condyle
paths, J. Pros. Dent., 14 : 279-289, 1964.
- 30) Weinberg, L. A. : The transverse hinge
axis : real or imaginary, J. Pros. Dent., 9 :
775-787, 1959.
- 31) 石原寿郎, 他 : Hinge axis, 下顎の蝶番運動軸
について, 齒科時報, 16 : (No. 12) 2, 昭和 37
(1962), 17 : (No. 1) 14, (No. 2) 2, 昭和 38
(1963).
- 32) Grasso, J. E., and Sharry, J. : The duplica-
bility of arrowpoint tracing in dentulous sub-
jects, J. Pros. Dent., 20 : 106-115, 1968.
- 33) Kydd, W. L. and Sander, A. : A study of
posterior mandibular movements from inter-
cuspal occlusal position, J. Dent. Res., 40 :
419-425, 1961.
- 34) Gilson, T. D. : Theory of centric correction
in natural teeth, J. Pros. Dent., 8 : 468-474,
1958.
- 35) Ulrich, J. : The human temporomandibular
joint : Kinematics and actions of the masti-
catory muscles, J. Pros. Dent., 9 : 399-406,
1959.
- 36) Thourén, G. : Articulation mandibularis och
underkäkens rörelser i "sagittalt" och "hori-
sontellt" plan, Svensk Tandläkaretidsskrift, 7 :
32-48, 1924, In Posselt, U. : Studies in the
mobility of the human mandible, Acta odont.
Scand., 10 : Suppl. 10, 1952.
- 37) Fischer, R. : Die Öffnungsbewegungen des
Unterkiefers und ihre Wiedergabe am Arti-
kulator, S. M. f. Z., 45 : 867-898, 1935.
- 38) McCollum, B. B. : Fundamentals involved
in prescribing restorative dental remedies,
Den. Items of Int., 61 : 522-535, 641-648,
724-736, 852-863, 942-950, 1939.
- 39) Posselt, U. : Hinge opening axis of the
mandible, Acta odont. Scand., 14 : 49-63, 1956.
- 40) Kurth, L. E., and Feinstein, I. K. : The hinge
axis of the mandible, J. Pros. Dent., 1 : 327-
332, 1951.
- 41) Trapozzano, V. R., and Lazzari, J. B. : A
study of hinge axis determination, J. Pros.
Dent. 11 : 858-863, 1961.
- 42) Sheppard, I. M. : The effect of hinge axis
clutches on condyle position, J. Pros. Dent.,
8 : 260-263, 1958.
- 43) Schallhorn, R. G. : A study of the arbitrary

- center and the kinematic center of rotation for face-bow mountings, J. Pros. Dent., 7 : 162-169, 1957.
- 44) 海老沢嗣郎 : 下顎運動と咬合器に関する私の考え方, (講演抄録) 補綴誌, 12 : 486, 昭和 43 (1968).
 - 45) Bennett, N. G. : A contribution to the study of the movements of the mandible, J. Pros. Dent., 8 : 41-54, 1958.
 - 46) Gysi, A. : Handbuch der Zahnheilkunde, IV, Berlin, 1929, Urban und Schwarzenberg, p.1-171.
 - 47) 長谷川成男 : Gysi 咬合小面学説の再検討, その一, 理論的検討, 補綴誌, 6 : 111-139, 昭和 37 (1962).
 - 48) Fischer, R. : Die Artikulationslehre, In Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, IV, München-Berlin, 1956, Urban und Schwarzenberg, p. 95-176.
 - 49) De Pietro, A. J. : Mandibular physiology, In Mouth rehabilitation, edited by Kornfeld, M., The C. V. Mosby Company, St. Louis, 1967, p. 387-426.
 - 50) Hjortsjö, C.-H. et al. : A tomographic study of the rotation movements in the temporomandibular joint during lowering and forward movement of the mandible, Odont. Revy, 5 : 81-110, 1954.