

〔総説〕 松本歯学 32 : 177~187, 2006

key words : 顎頭運動 — 顎頭点 — 回転中心 — 後方基準点 — 咬合器

顎頭運動の解析点について

加藤 一誠, 宮沢 裕夫

松本歯科大学 大学院歯学独立研究科 健康増進口腔科学講座

Analysis point of condylar movement

KAZUMASA KATO and HIROO MIYAZAWA

*Department of Oral Health Promotion, Graduate School of Oral Medicine,
Matsumoto Dental University*

Summary

This article reviews problems in locating the analysis point of condylar movements and suggests the clinical application of the rotation center of the condylar movement during protrusion as a posterior reference point for the articulator.

There are mainly three problems in measuring and expressing three-dimensional condylar movements. The first problem is that the condylar movement is hidden under the skin and thus not directly visible. Previously roentgenographic methods, called cinefluorography, were used to study condylar movement, but ethics committee no longer allow the use of X-ray imaging methods for such experimental purposes because of the radiation damage. The recent development of ultra high speed MR imaging method is expected to contribute to the non-invasive study on condylar movement. The second problem is that it is difficult to describe condylar movement because it is the movement of a three-dimensional object. This raises question of what descriptions are suitable for analyzing condylar movements. The third problem is that the path of the condylar point depends on the position of the monitored point because mandibular movements include rotation. To avoid this problem the monitored point of the condyle has to be situated at the rotation center of the condyle. The measuring equipment with six degrees of freedom enables us to accurately locate the position of the rotation center of the condyle using an exploration algorithm. However, it has been demonstrated that the rotation center is positioned in a certain domain. This shows that the movement of the condyle is not like that of an articulator and the position of the rotation center of the condyle cannot be definitively located. If the position of the rotation center must be converged on a limited area and the rotation center of the condyle must be easy to locate, another technique for locating the position of the posterior reference point should be introduced.

1. はじめに：顎頭点と顎頭運動の研究

下顎頭（以下、顎頭）の運動の解析点を顎頭のどこに設定するかは研究者や測定機器のそれぞれで異なるため、報告された顎頭の運動路（以下、顎路）の解析データをそのままでは定量的に比較検討できないという問題が従来からあった。

顎頭運動の研究では、歯の部分の運動とは異なり、以下に示すごとく研究を困難にする原因が主に3つ考えられた。1) 顎頭の運動は皮膚に覆われ、直視できない顎関節内部で営まれている。2) 顎頭は大きさをもつ立体であり、立体の運動をどのように表現するかに関して決まった手法がない。3) 顎頭の運動には下顎の三次元運動に伴う回転運動要素が含まれるため設定した顎頭点が顎頭の回転中心に位置しない限り、回転の影響を受け、顎路の長さや方向などが変化する。

1) 顎頭運動は直視できない

1) は2) にも関連しているが、X線TVやX線CTを用いて研究されている。X線TVを用いた研究¹⁻⁵⁾では、得られたX線投影画像から顎頭形態を抽出し、動画像処理によって顎頭運動を表示する方法¹⁻²⁾も行われている。X線CTを用いた研究⁶⁻⁹⁾では、CT値で再構築した顎頭の形態をレンダリング手法によって表示し、下顎運動の6自由度の測定データと組み合わせることによって顎頭運動を立体のままで表現する方法が行われている。しかし、X線撮影による方法では、良質の画像が得られるが、甲状腺、眼、脊椎などのX線感受性の高い臓器が多い頭部の被曝の問題^{10,11)}のために治療の必要性や患者の理解がない限り、医療倫理の立場から研究のためのX線撮影には躊躇せざるを得ない。近年は、高速シネMRIが臨床応用¹²⁾されるようになってきていることから必要最小限の侵襲での顎頭運動の研究が期待される。

2) 顎頭運動は立体運動である

2) の対策では、顎頭運動を立体運動として表現するのに適切な方法を工夫¹³⁾することである。顎路は点の運動軌跡であるが、点による顎頭運動の表現では姿勢変化を表わせない。そこで顎頭を立方体として表示し、顎頭の姿勢変化を可視化することができる。その場合、定量的に運動の変化を表現するには視覚的に顎頭運動を把握してから必要なパラメータを選ぶ手法をとることになる。

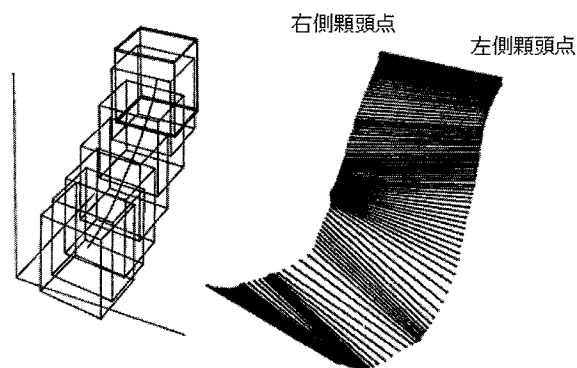


図1：顎頭運動の立体表示。図左は立方体による顎頭姿勢の可視化（開口運動）、図右は左右側の顎頭の運動協調性（開口運動）の可視化を示す（石岡ら¹³⁾より改変引用）。

また、左右の顎頭点を直線で結び、同一時間軸における両者の位置的な対応を表示し、運動の協調性や移動速度の変化を可視化する手法もある¹³⁾

（図1）。同一時間軸で左右顎頭点の移動距離を示すことでも表現できるが、臨床で顎関節病態を示すには、この表示の方が有効である。6自由度の下顎運動測定が行われるようになり、下顎任意点の運動データを得られるようになった現在では¹⁴⁻¹⁶⁾、多くの研究者によって独自の表現方法が報告されているが、データの集積、共有ができるようにするために顎頭運動の表示方法にガイドラインの設定が望まれる。

3) 顎頭運動は回転成分を含む

3) の対策としては、顎頭運動の回転中心を求めることが必要になる。顎頭点が顎頭の回転中心に位置していれば、その軌跡である顎路は回転運動の影響を受けないので位置によって影響は受けないことになる。回転中心としては蝶番運動軸点¹⁷⁾や全運動軸点¹⁸⁾が知られているが、これらの矢状面2次元運動を拡張した3次元の運動の回転中心も求められている^{15,19-21)}。しかし、その回転中心は点ではなく、領域をもつ（図2）ことも明らかになっている^{20,21)}。

2. 顎頭・関節円板複合体²²⁾

顎頭が回転中心をもつためには、顎頭だけでなく顎関節の構造全体が軸面あるいは球面の一部として機能する必要がある。この構造は顎関節部における顎頭・関節円板複合体（condyle-disc complex²²⁾）として捉えられている。

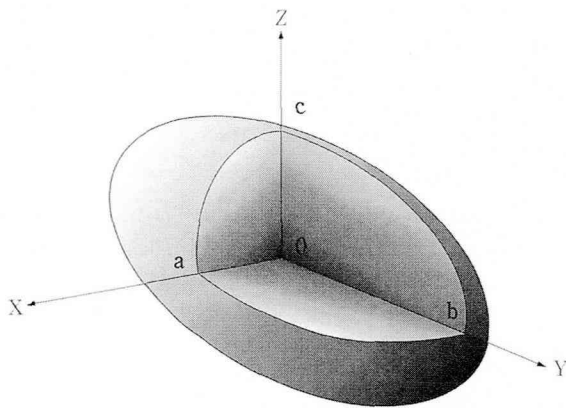


図2：顎頭の3次的回転中心の存在領域，原点Oから遠くなると顎頭の厚みは大きくなる。X軸：前後，Y軸：内外，Z軸：上下方向。前後，上下，内外の順に回転中心の存在位置は曖昧になる（鈴木²⁰より改変引用）。

1) 下顎運動との関連性

下顎が最後方咬合位から開口して，変曲点までの後方限界運動を行ったときに生じる蝶番運動軸¹⁷⁾や下顎が矢状面限界運動内の運動を行ったときに往復する矢状顎路の上下幅が最も小さくなる顎頭点として定義される全運動軸¹⁸⁾は，顎頭・関節円板複合体が蝶番運動や矢状面限界運動といったそれぞれ別の下顎運動の回転中心になっていることを示す。対象となる下顎運動が別であることからこの複合体は2つの異なる回転軸の双方をもつ構造になっていることを示しており，それぞれの回転中心の存在位置も異なってくると考えられる¹⁸⁾（図3）。

蝶番運動軸は終末蝶番運動という限られた下顎の運動の回転中心であることに対し，全運動軸は矢状面の他の運動の回転中心ともなるので優れた顎頭点であるというように，回転中心としての意義の比較がされることがあるが，両者が共に顎頭・関節円板複合体の運動機能の一部と考えれば矛盾はないと考える。

蝶番運動軸では中心位¹⁷⁾という下顎位に関連した意味があり，臨床的な必要性から求められた顎頭点として，咬合器装着と咬合高径の決定に関する理論的な根拠になっている。全運動軸は特に下顎位とは関連付けられていないことから，それぞれのもつ臨床的な意味は別であり，顎頭点として何を目的にして選択するかを考慮することの方が重要である。

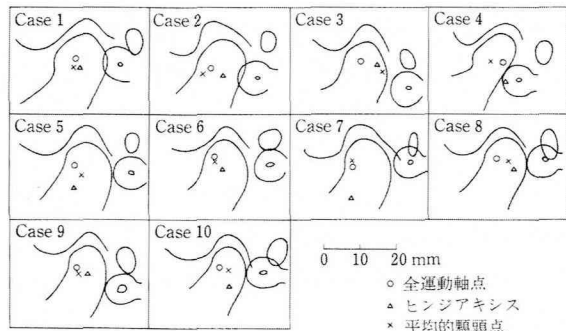


図3：全運動軸点，蝶番運動軸点，および平均的顎頭点と顎頭との位置関係（河野¹⁸⁾より改変引用）。

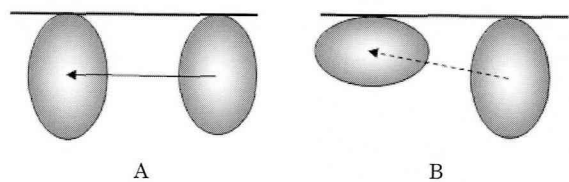


図4：顎頭・関節円板複合体²⁸⁾の一部が球ではない，あるいは変形する場合には，回転と移動の組み合わせや荷重によって顎頭点の軌跡には再現性が無くなる（Aの実線とBの点線）。

2) 剛体条件

顎関節の運動機能は顎頭，側頭骨，関節円板の骨・軟骨組織や筋，靭帯などの軟組織で構成されていることから荷重が加われば変形し，顎路も変化することが考えられる²¹⁻²⁷⁾（図4）。

顎頭は顎関節内で安定した位置をとっているが，荷重が加わったときの顎頭の位置は変位し，有歯顎で前後的に平均0.29 mm，上下的に0.14 mm，無歯顎で前後的に0.78 mm，上下的に0.51 mmであったという報告²⁸⁾がある。顎関節という生体の個々のばらつきや歯の喪失の既往によって剛性は異なると考えられ，完全な球のような回転中心が存在することは考えられない。閉口運動で下顎が剛体条件を保てず変形するという報告²⁹⁾もある。

6自由度の下顎運動の測定精度が向上した現在，計算の大前提の下顎の剛体条件に関しても考慮する必要がある^{30,31)}。顎頭点を設定する目的が研究にあるならどのような解析しようとしているかを考慮する方がより重要であると考えられる。

3) 回転中心の位置

顎頭・関節円板複合体の回転中心としての蝶番運動軸点や全運動軸点の位置と頭部の形態的な位

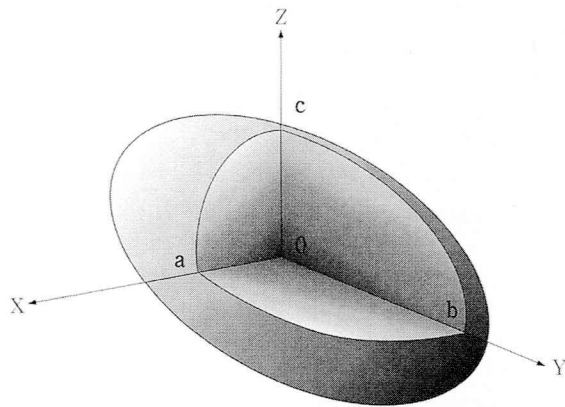


図2：顎頭の3次元的回転中心の存在領域，原点Oから遠くなると顎路の厚みは大きくなる．X軸：前後，Y軸：内外，Z軸：上下方向，前後，上下，内外の順に回転中心の存在位置は曖昧になる（鈴木²⁰より改変引用）．

1) 下顎運動との関連性

下顎が最後方咬合位から開口して，変曲点までの後方限界運動を行ったときに生じる蝶番運動軸¹⁷⁾や下顎が矢状面限界運動内の運動を行ったときに往復する矢状顎路の上下幅が最も小さくなる顎頭点として定義される全運動軸点¹⁸⁾は，顎頭・関節円板複合体が蝶番運動や矢状面限界運動といったそれぞれ別の下顎運動の回転中心になっていることを示す．対象となる下顎運動が別であることからこの複合体は2つの異なる回転軸の双方をもつ構造になっていることを示しており，それぞれの回転中心の存在位置も異なってくると考えられる¹⁸⁾（図3）．

蝶番運動軸は終末蝶番運動という限られた下顎の運動の回転中心であることに對し，全運動軸は矢状面の他の運動の回転中心ともなるので優れた顎頭点であるというように，回転中心としての意義の比較がされることがあるが，両者が共に顎頭・関節円板複合体の運動機能の一部と考えれば矛盾はないと考える．

蝶番運動軸では中心位¹⁷⁾という下顎位に関連した意味があり，臨床的な必要性から求められた顎頭点として，咬合器装着と咬合高径の決定に関する理論的な根拠になっている．全運動軸は特に下顎位とは関連付けられていないことから，それぞれのもつ臨床的な意味は別であり，顎頭点として何を目的にして選択するかを考慮することの方が重要である．

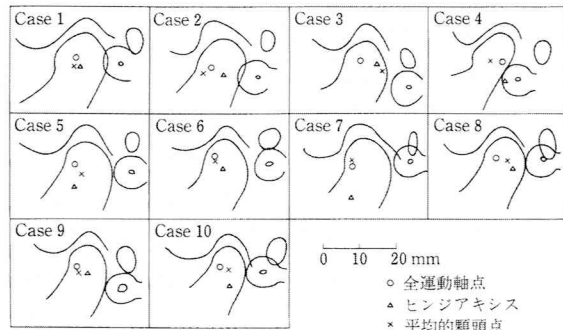


図3：全運動軸点，蝶番運動軸点，および平均的顎頭点と顎頭との位置関係（河野¹⁸⁾より改変引用）．

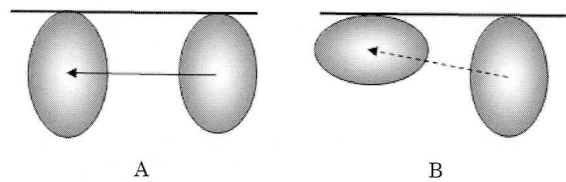


図4：顎頭・関節円板複合体²⁸⁾の一部が球ではない，あるいは変形する場合には，回転と移動の組み合わせや荷重によって顎頭点の軌跡には再現性が無くなる（Aの実線とBの点線）．

2) 剛体条件

顎関節の運動機能は顎頭，側頭骨，関節円板の骨・軟骨組織や筋，靭帯などの軟組織で構成されていることから荷重が加われば変形し，顎路も変化することが考えられる²¹⁻²⁷⁾（図4）．

顎頭は顎関節内で安定した位置をとっているが，荷重が加わったときの顎頭の位置は変位し，有歯顎で前後的に平均0.29 mm，上下的に0.14 mm，無歯顎で前後的に0.78 mm，上下的に0.51 mmであったという報告²⁸⁾がある．顎関節という生体の個々のばらつきや歯の喪失の既往によって剛性は異なると考えられ，完全な球のような回転中心が存在することは考えられない．閉口運動で下顎が剛体条件を保てず変形するという報告²⁹⁾もある．

6自由度の下顎運動の測定精度が向上した現在，計算の大前提の下顎の剛体条件に関しても考慮する必要がある^{30,31)}．顎頭点を設定する目的が研究にあるならどのような解析しようとしているかを考慮する方がより重要であると考えられる．

3) 回転中心の位置

顎頭・関節円板複合体の回転中心としての蝶番運動軸点や全運動軸点の位置と頭部の形態的な位

置関係は興味があるところである。両者の関連性が強ければ平均的顎頭点などの皮膚面上の形態的指標との関係やX線撮影などの透視データを解析することで、下顎運動を測定して回転中心を求めなくても、回転中心の設定が可能になると考えられる。しかし、これらの回転中心という運動学的な位置の定義の仕方が、顎頭・関節円板複合体という解剖学的な定義の仕方と整合性をもつかは不明である。

3. 顎頭点の概説

顎頭点は解剖学的顎頭点と運動学的顎頭点とに分類されている。解剖学的顎頭点としては平均的顎頭点、運動学的顎頭点としては蝶番運動軸点と全運動軸点とが知られている。

1) 平均的顎頭点の位置

平均的顎頭点 (Arbitrary condylar point) は顔弓を用いて咬合器に上顎模型を装着するときの後方基準点として従来から臨床に用いられている顎頭点である。位置は頭部の標点から容易に求められるが、顎頭の位置とは直接の関連性はなく、仮想咬合平面の決定や咬合器に上顎模型を装着する場合のごとく、形態的要素を咬合器に移すために用いられている。

位置は鼻聴道線上で外耳道前方12.5 mm³²⁾、耳珠上縁と外眼角とを結ぶ線上の外耳道の前方13 mm³³⁾、フランクフルト平面上で外耳道の前方12 mm³⁴⁾とするなど諸説があり、特定の設定方法はない。

2) 蝶番運動軸点の位置

蝶番運動軸点 (Terminal hinge axis point) は運動学的に求められる顎頭点であり、顎頭の解剖学形態から特定できる位置としては定義されていない。臨床的には、ヒンジアキシスロケータという下顎に取り付ける特殊な顔弓を用いて、終末蝶番運動を行わせることによって顎頭近くの皮膚面上で、個々の症例で試行錯誤的に求める顎頭点である。

蝶番運動軸点と平均的顎頭点の位置関係に関して Gnathology 学派の報告が多数ある。蝶番運動軸点から平均的顎頭点までの距離が5 mm 以内に存在する確立が95%とした報告³⁵⁾や33%であったという報告³⁶⁾がある。また、61.5%であったという報告³⁷⁾のごとく普遍化することはできないと

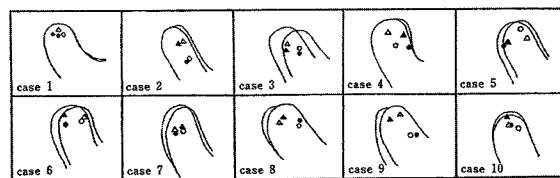


図5：全運動軸点、平均的顎頭点と顎頭との位置関係。全ての全運動軸点および平均的顎頭点は顎頭の範囲内に位置した (塩澤¹⁵⁾より改変引用)。

考えられる (図3)。

3) 全運動軸点の位置

全運動軸点の位置は平均的顎頭点を眼耳平面上の耳珠後縁から13 mm に設定したときに平均的顎頭点から2.9 mm 以内となるという報告¹⁸⁾、平均的顎頭点の約3.3 mm 後方で約2.7 mm 上方であったという報告¹⁵⁾、平均的顎頭点の約1.4 mm 前方で約6.9 mm 上方であったという報告²⁸⁾、約1.1 mm 後方で約0.8 mm 上方であったという報告³⁷⁾があるが、全運動軸点と平均的顎頭点との位置関係に関しても蝶番運動軸点と同様に関連性は少ないことが推測される (図3, 5, 6)。

全運動軸点は蝶番運動軸点と同じく、運動学的な根拠によって設定される顎頭点であり、6自由度下顎運動データから計算機で探索される³⁹⁻⁴¹⁾。また、顔弓を利用した試行錯誤的な探索方法も考案されている⁴²⁾。全運動軸点は平均的顎頭点の前後的に探索するときその軌跡が上下に逆転し、上下幅が0.7 mm 以内になる位置を探索することで求められるが、技術的には困難である。また、同じ被験者で行った運動でも全運動軸点の位置が異なることがあるという問題のため、被験者に約20 mm の開口量が必要という報告がある⁴³⁾。また、計算機の探索アルゴリズム⁴⁴⁾によっても位置が異なることも知られている。

4. 顎頭運動の研究のための顎頭点

研究を目的とする場合、他の研究者と同じ顎頭点の位置設定を行うことができれば、顎頭運動の研究に関する比較検討ができることや顎頭運動の標準値などのデータベースを作れるという利点がある。現在、そのようなガイドライン索定の活動はない²⁷⁾が、顎頭運動の研究にデータの蓄積と共有は必要である。

6自由度下顎運動研究において有用と考えられ

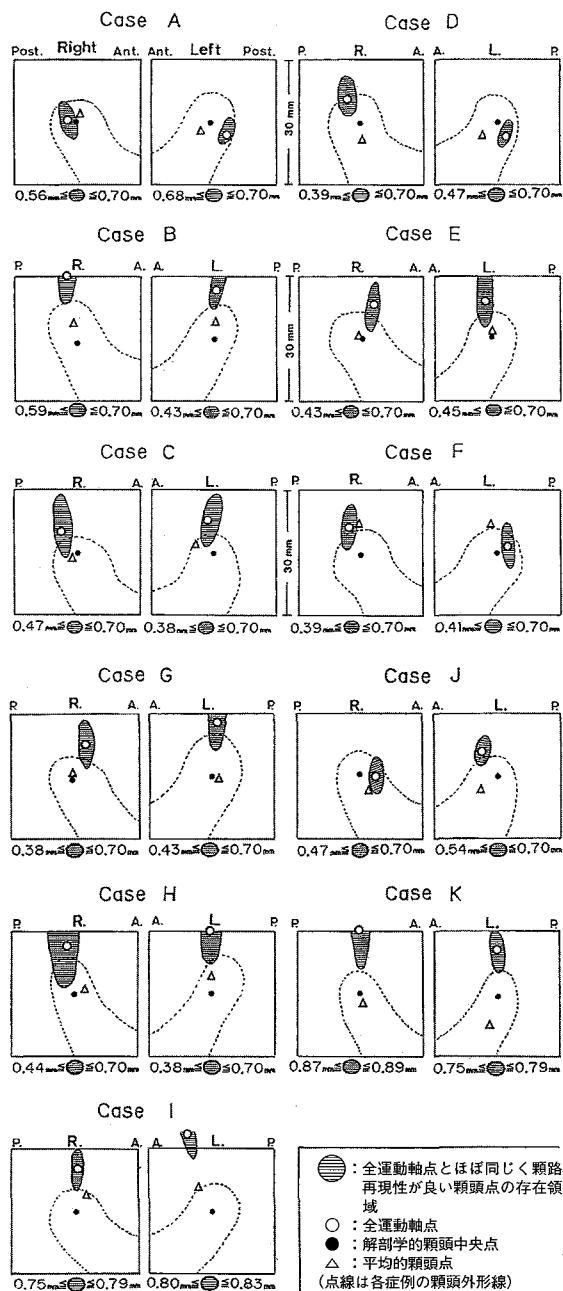


図6：全運動軸点，解剖学的顎頭中央点，平均的顎頭点，および再現性の良好な顎頭点の存在領域（●）を示す。点線は顎頭外形線を示す（加藤³⁸⁾より改変引用）。

る顎頭点は解剖学的顎頭中央点³⁸⁾と運動学的顎頭中心点¹⁵⁾である。

1) 解剖学的顎頭中央点

解剖学的な顎頭点はX線撮影などによって同じ形態的手法で位置設定できることから他の研究者と共通性を持つ立体的な顎頭点である。

解剖学的顎頭中央点はX線セファログラムを正面と側面より撮影し，基準平面に平行な直線と

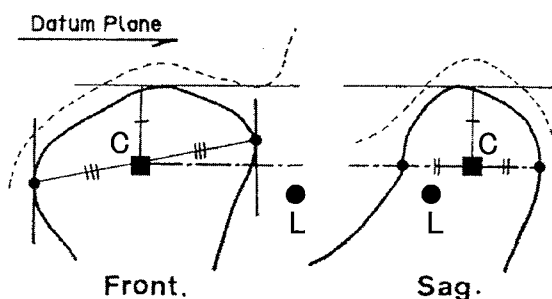


図7：解剖学的な顎頭中央点は顎頭近くの皮膚面に付着した鉛玉を同時に写した正面と側面のX線セファログラムのトレースから位置決めする。基準平面はカンベル氏平面に平行である（加藤³⁸⁾より改変引用）。

顎頭の接点とを利用して顎頭中央を定める方法である（図7）。

解剖学的顎頭中央点の位置はX線セファログラムのデータ³⁸⁾によれば，矢状面投影において平均的顎頭点から後方へ平均1.0 mmで，下方に平均1.1 mm，内方には約21.9 mmであった。解剖的顎頭中央点に関して外側極と内側極の中心点は正常者の男女間に差があり，男性では平均的顎頭点に対して顎頭中央点は外側，下方であり，女性では上方であったという報告⁷⁾もある。内外的な顎頭中央の位置では皮膚面から17.6 ± 2.6 mmという報告¹⁵⁾がある。6自由度下顎運動解析にはX線セファログラムの撮影による解剖学的顎頭中央点の位置決めは必須である。

しかし，成人の規定値として皮膚面上は平均的顎頭点とし，平均的顎頭点の皮膚面から20 mm内方に規定値として定める手法の研究¹⁴⁾もある。X線被曝の問題にも関連しているようであるが，とくに補綴装置の製作など咬合器への応用は考えず，咀嚼機能運動の分析を主に行っているため，細かい顎頭点の設定は考えなかったようである。

2) 運動学的顎頭中心点

運動学的顎頭中心点は矢状面の限界運動に側方の限界運動も加え，左右の全運動軸点を結ぶ軸上で，左右顎頭の形態的中心点の運動路は矢状面からの観察結果から往路復路の差が最も小さくなるというデータによって設定したものであった。この顎頭点の運動路は側方限界運動においても上下幅が最小となり，その厚さは平均0.6 mmであったと報告¹⁵⁾されている。これは顎頭の内外的中央部は側方限界運動において回転による影響を受け

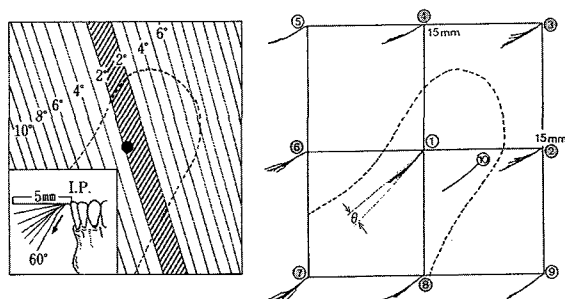


図8：図左は10度ずつ角度をかえたときの7つの切歯路と顎路の再現性を示す。図右は10度の顎頭点における7つの顎路の重ね合わせを示す。図左は顎路の再現性の良い領域が上下に長いことを示す(加藤より改変引用⁴⁷⁾)。

にくいと考えられるためである。なるべく回転の影響を排除したい作業側の顎頭の運動を分析するための顎頭点に適すると考えられる。しかし、全運動軸に添って内外的に最も顎路の上下幅が小さくなる点を探索しても、そのような点の分布は一点に定まらずに立体的な領域をもつという報告²⁰⁾や(図2)、形態的中央よりわずかに内方に位置するとの報告²¹⁾もある。しかし、いずれにしても探索するには6自由度下顎運動測定装置が必要であり、全運動軸点探索システムがなければ顎頭運動の研究ができないのは問題である。

5. 臨床のための顎頭点

臨床のための後方基準点として必要な要件には、1) 顎路の再現性に優れる、2) 容易に位置設定できるという2つがある。平均的顎頭点では位置の設定は容易であるが、顎路の再現性は問題がある。その症例の顎頭が平均的な位置にあるという保証がない限りは、運動学的に意味を持たない顎頭点といえる。

1) 顎路の再現性

ここで述べる顎路の再現性とは、顎関節における顎頭・関節円板複合体の運動の再現性をいうのではなく、顎頭点が回転中心に設定されていないために生じる顎路の変化の程度のことである。前方滑走運動時に顎頭に所定の回転を与えるために前方滑走運動時の矢状切歯路傾斜度をCamper氏平面を基準平面として0~60度の変化を与えたときの全運動軸点の顎路の再現性を検討した結果³⁸⁾によると平均値で 3.0 ± 2.5 度、最小0.7度、最大10.5度であった(図8, 9)。

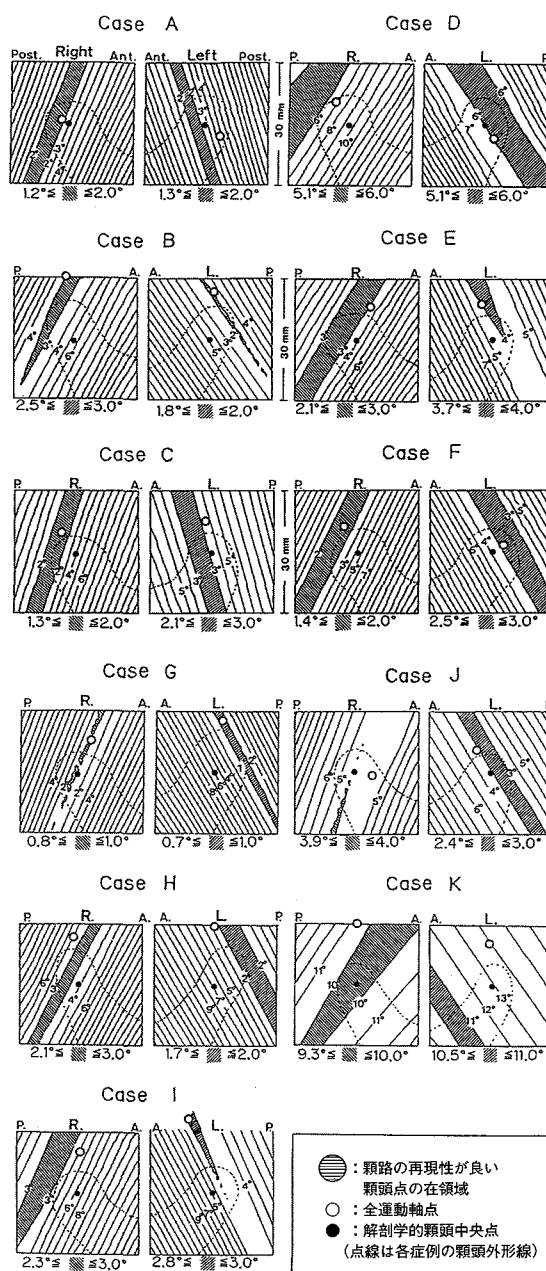


図9：全運動軸点と解剖学的顎頭中央点および顎路再現性が良い領域(加藤より改変引用³⁸⁾)。

この結果から、顎頭点が全運動軸点であっても症例により10度の矢状顎路傾斜度差が生じるといふことである。補綴治療に際して矢状切歯路傾斜度を変える必要のある症例では、正しい顎路傾斜度を咬合器に付与しないと咬合干渉を生じる可能性が生じると考えられる。平均値咬合器の顎路傾斜度設定が30度であることからすると10度の誤差は小さくないといふことである。

2) 顎路の再現性の良い顎頭点の探索

全運動軸点は歯牙路の影響を受けにくい顎頭点である。しかし、それを求めるには6自由度下顎運動測定装置が必要であった。描記法でも下顎の限界運動を行うときに顎路の上下幅を小さくする顎頭点の位置を探索することは困難であった。そこで、対象とする下顎運動を前方滑走運動と開口運動に限り、咬合接触に関係のある運動と顎頭の回転量が最も大きい開口運動を組み合わせることによってより顎路の機能的に再現性のよい顎頭点の位置探索の方法を示す⁴⁶⁻⁴⁸⁾ (図10, 11)。すなわち、前方滑走運動と開口運動時の顎路が一致する顎頭点の位置を求めるということである。この顎頭点(以下、滑走運動軸点^{38,47)})を後方基準点とすれば前述した後方基準点としての2つの要件を満足すると考えている。

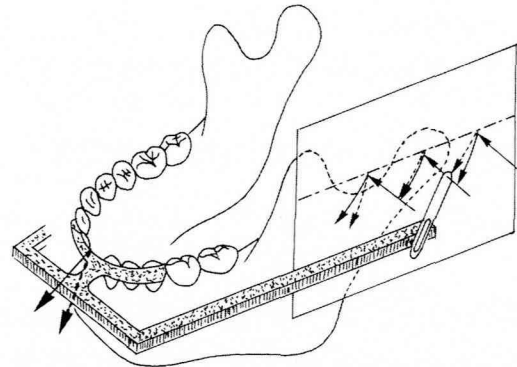


図10：回転中心探索用器具と探索法、実線の矢印は前方滑走運動、点線の矢印は開口運動(林ら⁴⁸⁾より改変引用)。

前方滑走運動に限ると顎路の再現性が良好な顎頭点の分布は平均的顎頭点の近くで上下に細長い領域になる(図8, 9)。この領域に全運動軸点が必ずしも含まれていないが、全運動軸点の定まる位置は、下顎運動における滑走運動以外の運動によっても大きく影響を受けるためであり、滑走運動軸点には滑走運動と開口運動とに対する再現性だけが必要であるので問題はない。

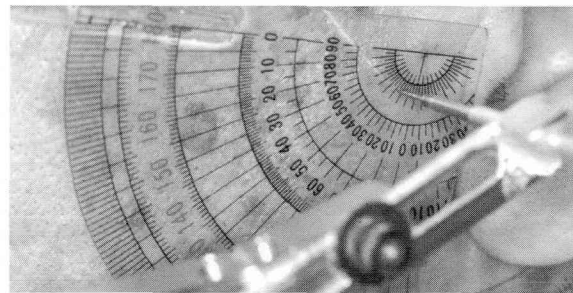


図11：顎頭の回転中心の探索器具と分度器による測定を示す(林ら⁴⁸⁾より改変引用)。

3) 顎頭点の位置と顎路の変化の関係

任意の顎頭点の顎路は、滑走運動軸点を中心にして規則的に変化する。顎頭点が滑走運動軸点から前方に離れるほど顎路は急になり、後方に離れるほど顎路は緩やかになる。また、滑走運動軸点の上下方向では顎路の変化は小さいという性質があり⁴⁶⁻⁴⁸⁾ (図8, 9)、この性質を利用して滑走運動軸点を探索できる。

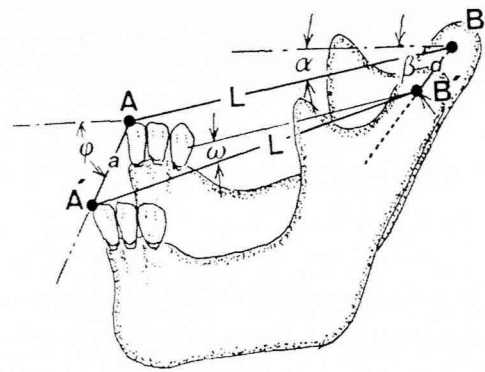


図12：滑走運動の幾何学的解析。A：切歯点、B：顎頭点、A'B'：滑走後のAB、L：距離AB、 α ：AB-基準平面角、 β ：矢状顎路傾斜度、 ϕ ：矢状切歯路傾斜度、 ω ：滑走運動時の下顎回転量、a：切歯点の運動距離d：顎頭の移動距離(加藤³⁸⁾より改変引用)。

4) 滑走運動軸点の存在の幾何学的説明

滑走運動軸点の存在領域が平均的顎頭点の近くで上下方向に細長くなることが実験的には確かめられていると述べたが(図8, 9)、その一般性について幾何学的に説明する(図11, 12)^{38,46)}。

前方滑走運動を行い(矢状切歯路傾斜度 $\phi=60$ 度、移動距離 $a=5$ mm)、切歯点Aが移動したときの解析に必要なパラメータを示す(図12)。また、下顎の回転量 ω は次式のごとく表され、

$$\omega = \cos^{-1} \left\{ 1 - \frac{(d^2 - 2ad \cos(\beta - \phi) + a^2)}{2L^2} \right\} \dots \text{①}$$

既知のデータ³⁸⁾ ($d=3.75$ mm, $L=100$ mm, $\alpha=30$ 度, $\beta=30$ 度)より、 $\omega \approx 1.5$ 度が得られる。

このとき、顎頭の回転中心OはO'へ距離d移動し、 ω 回転する。任意の顎頭点DはD'へ移動するが、CをOの移動方向に $\pi/2 + \omega/2$ の角度をなす直線l上の任意の点とし、Oから距離y

とする。DはCを通り、OO'に平行なCC'上の点でCから距離xとする(図13)。

さて、認意の顎頭点Dの顎路再現性をθとする。

x, y ≠ 0とし、∠DC'D'に関して正弦定理より、

$$\tan\theta = \frac{\sin\omega}{1 - \cos\omega + x^{-1}(d + 2y \sin\frac{\omega}{2})} \dots\dots(2)$$

が得られる。ここで、前方滑走運動時の下顎の回転量はω≈1.5であったので、非常に小さい値であることからsin ω≈ωと近似でき、②式は次式のごとく近似できる。

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

すなわち、

$$y \approx \frac{1}{\tan\theta} x - \frac{d}{\omega}$$

となるから①式はω≈1.5を代入して、

$$y \approx \frac{1}{\tan\theta} x - 143.3 \dots\dots\dots(3)$$

が得られる。

さらに、ωは非常に小さい値であることから③式は(x, y)直交座標系の直線の式とみなすことができる。θは顎路の再現性を示すことを述べたが、③式においてθ→0のとき③式はy軸に漸近する。すなわち、回転中心を通り、顎頭の運動方向に垂直な直線上に顎頭点があれば顎路が変化しないということである。

また、θ→π/2のとき③式はx軸に並行になってゆくことから回転中心の移動方向に平行に顎頭点があれば顎路の再現性は悪いことになる。

この結果より、ヒンジアキシスロケータのような顔弓を使い(図10, 11)、顎頭の回転量が大きくなるような運動(前方滑走運動と開口運動)を行わせ、θが0になる(2つの運動の顎路が一致)顎頭点の存在領域は回転中心近くで上下に細長くなることが示された。

5) 滑走運動軸点の臨床的意味

滑走運動軸点は顎関節部の近くで縦に細長い領域全体に設定することができるために、顎関節部皮膚面上の補綴学上の基準水平面にも合わせて設定でき、前方滑走運動で歯牙路が変化しても顎路が変化しない領域に位置する顎頭点である。

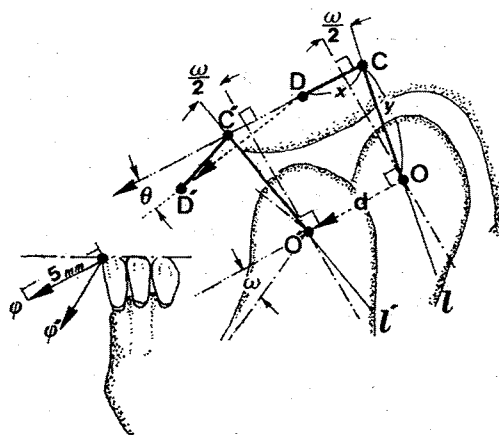


図13：顎路の再現性。顎頭の回転中心Oがd移動し、ω回転した。このとき任意の顎頭点D(x, y)がD'に移動したときの方向をθ(顎路の再現性を示す)とする。xを距離CD, yを距離OCとする(加藤³⁸⁾より改変引用)。

咬合器で補綴装置を製作するときには、下顎運動全体を検討する必要はない。歯の接触咬合する範囲において咬合器の顎路指導機構の調節に応用できることが求められる。

従来、臨床で矢状顎路傾斜度の測定を行うことが望ましいことは言われていた⁴⁹⁻⁵²⁾が、実際では矢状顎路傾斜度を測定する場合は、顎頭点を回転中心に求めずに平均的顎頭点とし、製作物ごとにチェックバイト法を用いて咬合器の調節を行っていた。しかし、その操作は煩雑であり、不正確でもあったためその効果には疑問があった。

しかし、チェアーサイドで6自由度の下顎運動測定装置によって回転中心を求めることには設備の問題があり、描記法によって求める方法も困難であった。また、運動学的な後方基準点では解剖学的位置関係を配慮できない場合もあるという問題があり、左右の上下的位置の差が生じると基準平面と平行でなくなることがあり、現実的ではなかった。

滑走運動軸点は顎路の再現性が良好で、頭部の水平基準平面上に設置することができるため、運動学的条件も解剖学的条件も満足するハイブリッドな顎頭点であるところに意味がある。

5. 結論

顎頭運動の研究に関しては顎頭点の設定位置によって顎路が変化するため、設定位置について注

意しなければならないことを述べた。また、顎頭は顎頭・関節円板複合体として運動機能を営むことを考慮すると、回転中心が存在したとしても、はっきりした位置は定まらず、さらに、荷重により顎路も変化する可能性があることを説明した。

6自由度の下顎運動測定方法によって顎頭運動を研究するときの解析点として、他の研究者と比較検討できる標準的な顎頭点に解剖学的顎頭中央点を選びたい。運動学的に全運動軸などの回転中心を顎頭運動の解析点とするときは顎頭中心点を選びたい。また、顎頭運動の何を分析したいかによって顎頭点の位置設定に関して考慮すべきであり、その選択基準が最も重要になると考える。

臨床応用にあたっては咬合器装着のための後方基準点として顎頭点是用いられるが、平均的顎頭点は解剖学的基準であり、その症例が平均的な運動をする保証がない限り運動学的には意味を持たないことを認識しておきたい。チェアーサイドでの適応が容易である滑走運動軸点を後方基準点として用いることは解剖学的方法と運動論的方法の両者を満足する方法であると考えている。補綴臨床を行うにあたり、平均的な咬合器ばかり扱っているようではこれからの歯科医療に高度なものは望めないと考えられる。

参考文献

- 1) 釘持 稔, 林 豊彦, 加藤一誠 (1995) X線テレビ画像を用いた顎関節運動の推定. 信学技報 **95**: 69-76.
- 2) 釘持 稔, 林 豊彦, 加藤一誠 (1996) ウェーブレット変換の位相を用いたX線テレビ画像からの顎関節運動の推定. 信学技報 **96**: 17-24.
- 3) 萬代奈都子, 真田 茂, 上木耕一郎 (2003) 顎関節を対象とした動態撮影法およびその機能解析法. 日放技学誌 **59**: 295-301.
- 4) 萬代奈都子, 真田 茂, 上木耕一郎 (2003) 顎関節動態画像を対象とした形態学的解析法. 日放技学誌 **59**: 951-7.
- 5) 大谷友梨子, 真田 茂, 上木耕一郎 (2006) フラットパネルディテクタ装置による頭部軸位動態画像を対象とした顎関節動態解析法. 医用画像情報学会雑誌 **22**: 73-8.
- 6) 細貝暁子 (2003) CTと顎運動データの高精度かつ実用的な座標統一方法の開発. 新潟歯学会誌 **33**: 67-8.
- 7) 細貝暁子, 山田一尋, 福井忠雄, 鶴田明美, 花田晃治, 河野正司, 伊藤 綾, 林 豊彦 (2001) 解剖的観点からみた側方滑走運動における作業側顎頭の運動様相. 顎機能誌 **7**: 120-3.
- 8) 細貝暁子 (2003) CTと顎運動データの高精度かつ実用的な座標統一方法の開発. 新潟歯学会誌 **33**: 67-8.
- 9) Shigeta Y, Suzuki N, Otake Y, Hattori A, Ogawa T and Fukushima S (2003) Four -Dimensional analysis of mandibular movements with optical position measuring and real-time imaging. *Medicine Meets Virtual Reality* **11**: 315-7.
- 10) Karlsson S and Swartz B (1981) Denture adhesives, their effect on the mobility of full upper dentures during chewing, A cineradiographic study. *Swed Dent J* **5**: 207-11.
- 11) 加藤一誠, 河野正司, 岩片信吾, 櫻井直樹, 笠井みか (1995) X線テレビによる顎機能運動撮影時の頭部の被曝に関して. 新潟歯学会誌 **25**: 27-34.
- 12) 東 高志, 南部敏之, 土肥健二 (2000) 超高速MRIを用いた顎運動計測. 日本臨床バイオメカニクス学会誌 **21**: 489-95.
- 13) 石岡 靖, 野村修一, 林 豊彦, 野村章子, 山鹿卓郎, 木竜 徹 (1982) 歯科医療の高度化とコンピュータの利用-咀嚼系機能検査システム-. *The Quintessence* **1**: 28-43.
- 14) Lundeen HC and Gibbs CH (1982) *Advances in occlusion*, 9, John Wright PSG Inc, Boston.
- 15) 塩澤恭朗 (1982) 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**: 148-64.
- 16) 坂東永一, 薩摩登誉子, 重本修伺 (1999) 高分解能6自由度運動測定器の開発. 補綴誌 **43**: 149-59.
- 17) McCollum BB (1939) *Fundamentals involved in prescribing restorative dental remedies*. *Dent Items Int* **61**, 522-35, 641-8, 724-36, 852-63: 942-50.
- 18) 河野正司 (1968) 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支持面運動軸の解析. 補綴誌 **12**: 350-80.
- 19) 長谷川成男, 藍 稔, 河野正司, 坂東永一, 真柳昭紘, 野村孝太郎, 福島俊士, 川口豊三 (1976) 下顎限界運動における全運動軸の立体的測定. 補綴誌 **19**: 434-43.
- 20) 鈴木 温 (1987) デジタル方式下顎限界運動の6自由度解析. 補綴誌 **31**: 721-5.
- 21) 築山美和 (1993) 側方運動における顎頭部三次元動態に関する研究 第1報 側方運動解析のための新しい頭部基準について. 補綴誌 **37**: 159-71.

- 22) Naeije M (2003) Measurement of condylar motion : A plea for the use of the condylar kinematic center. *J Oral Rehabil* **30** : 225-30.
- 21) Osborn JW (1989) The temporomandibular ligament and the articular eminence as constraints during jaw opening, *J Oral Rehabil* **16** : 323-33.
- 22) Koriotoh TW and Hannam AG (1994) Deformation of the human mandible during simulated tooth clenching. *J Dent Res* **73** : 56-66.
- 23) Yatabe M, Zwijnenburg A, Megens CCEJ and Naeije M (1995) The kinematic center : a reference for condylar movements, *J Dent Res* **74** : 1644-8.
- 24) Okeson JP (1996) *Orofacial Pain. Guidelines for Assessment, Diagnosis and Management* : 127, Quintessence Publishing Co., Chicago.
- 25) Yatabe M, Zwijnenburg A, Megens CCEJ and Naeije M (1997) Movements of mandibular condyle kinematic center during jaw opening and closing, *J Dent Res* **76** : 714-9.
- 26) Koolstra JH and Van Eijden TMGJ (1997) The jaw open-close movements predicted by biomechanical modeling, *Journal of biomechanics* **30** : 943-50.
- 27) Langenbach GEJ and Hannam AG (1999) The role of passive muscle tensions in a three dimensional dynamic model of the human jaw, *Archives of Oral Biology* **44** : 557-73.
- 28) 川畑博昭 (1971) 矢状面における各種顎頭位の研究 特に顎頭安定位について. 補綴誌 **15** : 403-29.
- 29) Huddleston Slator JJR, Visszher CM, Lobbezo F and Naeije M (1999) The intraventricular distance within the TMJ during free and loaded closing movements. *J Dent Res* **78** : 1815-20.
- 30) 篠崎直樹 (1992) 咬合状態の違いに対する顎関節の力学的応答. 口病誌 **59** : 681-99.
- 31) Abe M, Hayashi T, Nakamura Y and Itoh K (2002) Funktion of digastric muscle as regards the controllability of temporomandibular joint loading : A static 2-D analysis using a rigid-body spring model. *J Jpn Soc Stomatognathofunct* **9** : 45-52.
- 32) Snow GB (1900) Articulation. *Dent Cosmos* **42** : 51-5.
- 33) Gysi A (1929) Practical application of research result in denture construction, *J Am Dent Assoc* **16** : 199-223.
- 34) Hanau RL (1927) Hanau intraoral method vs. Gysi extraoral method. *Dental Engineering 1, Part II* : 73-6.
- 35) Shallharn RG (1957) A study of the arbitrary center and the kinematic center of rotation for face-bow mountings. *J Pros Dent* **7** : 162-9.
- 36) Lauritzen AG and Bodner GH (1961) Variations in location of arbitrary and true hinge axis points. *J Prosthet Dent* **11** : 224-9.
- 37) 臼井好明, 伊藤 浩, 伊藤 孝, 鶴見祐三, 斎藤文明, 奥野和志, 高宮紳一郎, 腰原 好 (1975) 顎頭点の設置位置と咬合器の再現性に関する研究 第1報 平均的顎頭点, 蝶番軸, 全運動軸の位置的関係. 補綴誌 **19** : 363-8.
- 38) 加藤一誠 (1986) 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. 補綴誌 **30** : 108-27.
- 39) 荒野 実 (1977) 矢状面内下顎限界運動の解析. 歯科学報 **77** : 967 - 1009.
- 40) 林 豊彦, 加藤一誠, 石岡 靖 (1985) 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. 顎機能 **3** : 29-35.
- 41) 林 豊彦, 飯島泰蔵 (1987) 剛体運動の運動学的特徴抽出法-2次元空間で周期運動する剛体の往復運動点の推定-. 信学論 (D) **J 70-D 6** : 1157-63.
- 42) 河野正司, 福島俊士 (1973) 全運動軸の描記法による求め方. 補綴誌 **17** : 121-5.
- 43) 西 克師, 林 豊彦, 石岡 靖 (1988) 顎頭運動の解析法-運動学的解析点としての全運動軸点-. 補綴誌 **32** : 1411-9.
- 44) Hayashi T, Itoh K and Miyakawa M (1994) Determination of the kinematic axis point of the temporomandibular joint regardless of cyclic mandibular movement data. *Frontiers in Medical and Biological Engineering* **6** : 199-208.
- 45) 竹内久裕 (2005) 古谷良一編よくわかる顎口腔機能. 第1版 : 34-7, 医歯薬出版社, 東京.
- 46) 加藤一誠, 白木誠一, 根津正美, 林 豊彦, 塩澤恭朗, 野村修一, 石岡 靖 (1985) 歯牙誘導要素の顎頭運動に与える影響-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研究会論文集 **4** : 55-62.
- 47) 加藤一誠, 石岡 靖 (1987) 後方基準点としての全運動軸点. 補綴臨床 **20** : 339-44.
- 48) 林 豊彦, 水野 亨, 石岡 靖 (1991) 顎口腔機能分析の基礎とその応用. 第1版 : 282-5, デンタルダイヤモンド, 東京.
- 49) Clayton JA, Kotowits WE and Myers GE (1971) Graphic recordings of mandibular movements. Research criteria, *J Pros thet Dent* **25** : 287-98.
- 50) 植木 誠, 旗手 敏 (1994) 前方滑走運動にお

- ける下顎頭の回転と移動の様相に関する研究.
補綴誌 **38**, 1231-43.
- 51) Pera FL (1964) Determination of the "Hinge Axis". *J Prosthet Dent* **14** : 651-66.
- 52) Pera FL (1967) Understanding graphic records of mandibular movements. *J Prosthet Dent* **18** : 417-24.