顎頭間軸回転角度パラメータを用いた下顎運動解析

—— 算出法とその応用例 ——

The Rotation Analysis of Mandibular Movement;
The Calculation and its Application

○水野 幹生 古谷野 潔 末次 恒夫

Mikio Mizuno Kiyoshi Koyano Tsuneo Suetsugu

九州大学歯学部歯科補綴学第2講座

2nd. Department of Prothodontics, School of Dentistry, kyushu University

1、緒 言

顎関節は、上関節腔即ち側頭骨下顎窩と円盤—顎頭複合体との間で滑走運動を、下関節腔即ち円板と顎頭との間で回転運動を行う事により滑走と回転という2つの動きを組み合わせた複雑な動きを行うことができる。そして、左右1対の顎関節が下顎骨体により連結されることにより下顎の複雑な3次元的な運動が可能となる。

通常、下顎運動について研究を行う場合、この顎関節の特徴を考慮して左右顎頭点を結んだ顎頭間軸の回転と移動という2つのパラメータに分解して考えられることが多い。そこで、複雑な下顎運動をこの2つのパラメータ間の関連においてとらえる事を目的に、まずその第1歩として、顎頭間軸の回転に注目し、真の顎頭間軸回りの回転角度を算出し、それをパラメータとした解析法を考案した。

本稿では、この算出法と、当教室で独自に開発した下顎上の任意の点の運動が解析可能な九大式非接触精密変位計測システム(1)を使用して計測した運動について解析を行う為に、筆者がC言語を用いて顎頭間軸回転角度分析プログラムを独自に開発したので、その紹介と最大開口運動に対する応用例について報告する。

2、算出法

図1に示す様に基準顎位を咬頭嵌合位、この時の左右顎頭点、切歯点をそれぞれLC, RC, I₀とする。この基準顎位を第1顎位とし、運

動後の顎位を第2顎位とすると、顎頭間軸回りの真の回転角度を求める為には第2顎位に於ける顎頭間軸回りの回転角度を保存したままで、

図 1

図 2

図 3

$$\begin{aligned} I' & (x_0, y_0, z_0) \\ RC & (0, 0, 0) \\ LC' & (x_1, y_1, z_1) \end{aligned}$$

図 4

$$F = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{--- ①}$$

$$= \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \cos \beta \sin \alpha & \cos \beta \cos \alpha & -\sin \beta \\ \sin \beta \sin \alpha & \sin \beta \cos \alpha & \cos \beta \end{pmatrix} \quad \text{--- ②}$$

$$= \begin{pmatrix} \frac{X_0 Y_1 - X_1 Y_0}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2}} & \frac{X_0 X_1 + Y_0 Y_1 + Z_0 Z_1}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}} & \frac{-X_0 X_1 Z_1 - Y_0 Y_1 Z_1 + X_1^2 Z_0 + Y_1^2 Z_0}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2} \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}} \end{pmatrix} \quad \text{--- ③}$$

式 1

ある変換を行い、第2顎位に於ける顎頭間軸を第1顎位に於けるRC-LCと一致させる事によって図2に示す様にX-Z平面上でその回転角度 θ を求める事が出来る。

そこでこの変換について考えてみる。図3に示す様に運動後の第2顎位に於ける3点をそれぞれRC"-LC"-I"とする。3次元空間における立体の移動は、1つの3次元平行移動と1つのある点を中心とした3次元回転移動によって表す事が出来る。その為ここでは、求める変換をこの2つの成分に分けて考えてみることにする。

まず3次元平行移動は顎頭間軸つまりRC"-LC"回りの回転角度には影響を及ぼさない為、RC"をRCに一致させる様に3点をRC-LC'-I'に平行移動させる。

次に図4に示す様な3次元回転移動を行う為

の変換Fについて考える。角 α' のX-Y平面への投影角を α とすると、まずZ軸回りの回転移動は顎頭間軸回転角度に影響を与えないのでLC'がY-Z平面上に来るまで、つまり角 α だけZ軸回りに回転移動を行う。この回転移動を行った3点をX軸回りに回転移動しても顎頭間軸回転角度は保たれるので、次にこの3点をX軸回りに角 β だけ回転移動することによりRC-LC'-I'をRC-LC-Iに変換する。つまり求める変換FはZ軸回りに角 α だけ回転移動後X軸回りに角 β だけ回転移動する変換であり、それぞれの回転移動変換を合成することにより1つの回転移動変換Fの式を求める事ができる。図4中の α 、 β 横の矢印の方向を正回転とすると、式①に示す様に変換Fは α 、 β を用いて①、②式の様に表される。そして、ベクトルの内積より図3、4の座標値を用いて、 $\cos \alpha$ 、 $\cos \beta$ を表し代入することにより、③式を得る。

こうして求めた3次元平行移動と3次元回転移動、つまり変換Fとを合成することにより、座標値のみで表された、求める変換の式を得る。そして、求めた変換を第2顎位に施す事により前述の様にX-Z平面上で第1、第2顎位の成す角、つまり顎頭間軸の真の回転角度を求める事が可能となる。

☒ 5

☒ 6

☒ 7

☒ 8

☒ 9

☒ 10

3、顎頭間軸回転角度分析プログラム

このパラメーターを利用して、下顎運動の分析を行う為に顎頭間軸回転角度分析プログラムを開発した。本プログラムは、前述の方法を用いて算出した回転角度のデジタル表示及び数値解析プログラムと図5～9に示す様なグラフィック表示プログラムから成る。図5、6はそれぞれ、切歯点の垂直的移動量・顎頭点の前後の移動量と回転角度とを対応させて表示を行ったもの、図7、8は図5、6の回転角度の代わりに角速度を算出して、これを対応させて表示したもの、図9はこれらのパラメーターと各解析点の速度について時間軸と対応させて表示を行ったものである。尚、移動量に関しては、切歯点では下方を正、顎頭点では前方を正とした。また、角度は開口方向を正とした。

尚、解析点は、左側下顎中切歯近心隅角を切歯点、コンピューターの演算結果より試行錯誤的に求めた全運動軸₍₂₎上で左右の形態的顎頭中央点の2点を顎頭点とした。また、基準座標系は、水平面はカンベル平面、つまり全運動軸と尾翼下縁に取った前方参照点を含む面とし、水平面と直交し右顎頭点を通る平面を矢状面、水平面と直交し全運動軸を含む平面を前頭面とした。

3、結果および考察

顎口腔系に異常の認められない、いわゆる正常有歯顎者で、咬頭嵌合位の安定した者であることを基準として、18～24才の男性18名、女性4名、計22名を被験者として選択し、咬頭嵌合位から被験者自力の最大開閉口運動を数回行わせて測定を行い、回転角度分析プログラムを用いて解析を行った。

①数値解析プログラム

この被験者の最大回転角度及びその発現時期について解析を行ったところ、最大回転角度は、平均31.3°(25.9～37.4°)標準偏差3.3°で、全被験者共、最大開口時に最大回転角度を示した。

最大開口時の回転角度については、河野₍₂₎は、男女10名の被験者について最大回転角度は24.0°であったと報告している。また鈴木₍₃₎

は、男性10名の被験者について37.34°であったと報告している。これらは矢状面内で2次的に求めた回転角度ではあるが、本研究の結果は両者の中間の値を示し大差ないものであった。

②移動量及び時間軸対応グラフィック表示

この被験者22名44顎頭について、前述の図5～9のグラフィック表示を行った。まず、図5に示す切歯点移動量対応角度表示は全被験者においてほぼ直線に近いパターンを示した。つまり開口量と回転角度の間には、正比例に近い関係があると考えられた。

次に図6に示す顎頭点移動量対応角度表示は顎頭の移動と回転のタイミングを表現するのに適していると考えられる。この表示法の示すパターンには、この図の様に交差ししないもの、1回交差するもの、2回以上交差するもの等、様々なパターンが存在した。そして、同一被験者の左右顎頭点でそれぞれ異なるパターンを示す者も存在したが、同一顎頭内においては、ほぼ一定したパターンを示した。この左右でパターンが異なった被験者は、開口時に側方への偏位があり左右の顎頭の移動と回転のタイミングにずれが生じた為この様な結果になったと考えられる。

本研究においては、開口時の方が閉口時よりも回転角度が常に小さいものは40顎頭中14顎頭(35.0%)、顎頭移動量が小さい時は開口時の方が小さく途中それが逆転して1回のみ交叉するものは17顎頭(42.5%)、開口時の方が閉口時よりも回転角度が常に大きいものは2顎頭(5.0%)、顎頭移動量が小さい時は開口時の方が大きく途中それが逆転して1回のみ交叉するものは3顎頭(7.5%)、その他の2回以上交差するものは4顎頭(10.0%)だった。

ところで、この顎頭点移動量対応角度表示において、横軸の顎頭の前後的移動量は切歯点の前後的移動量と、また縦軸の回転角度は前述の様に開口量と対応する為、矢状面内で2次的に考えた場合、このパターンは切歯点運動軌跡パターンを逆さにしたパターンと一致するはずである。そこで、側方への偏位の少ない矢状面限界運動について実際に表示を行ったところ、図10のごとく同様のパターンであった。さら

に最大開閉口運動を対象に調べてみると、やはり多くの被験者において一致が見られた。

次に図7に示す切歯点移動量対応角速度表示は開口初期及び閉口初期に角速度のピークが来て、平行四辺形の様な形を示すパターンが多く見られた。また、図8に示す顎頭点移動量対応角速度表示においては、閉口時の方が円滑なパターンを示した。この2種類の移動量対応角速度表示は、運動のスムーズさの評価に役立つと考えられる。

最後に図9の時間軸対応表示はそれぞれのパラメーター間の時間的対応を見ることができ、切歯点移動量と回転角度、切歯点の移動速度と角速度はそれぞれ縦軸の向きは逆になっているものの、同様な形態を示した。これは前述の切歯点の垂直的移動量と回転角度とがほぼ正比例に近い関係にある為と考えられた。

従来、顎頭間軸回りの回転角度を評価するにあたって、様々な試みがなされている。例えば、側方への偏位の少ない運動について矢状面内で2次元的に考えた報告^{(1)・(2)・(3)・(4)}があるが、この方法では応用できる運動も限定され、顎機能異常者等で最大開口時に大きく側方偏位を示す場合にも応用が困難となる。また、側方への偏位を伴う運動についても解析を行う為、Z軸とのなす角を近似値として用いた報告⁽⁵⁾もあるが、この場合、矢状顎路角が大きい者が側方運動を行った時は、若干の誤差を正じてくると考えられる。その他にも、回転角度を表現する為の特定のパラメーターを設定して解析を行ったもの⁽⁶⁾。開口度が小さい場合の微小回転角について近似式を用いて算出・解析を行ったもの⁽⁷⁾等の報告も成されている。

しかし、下顎運動を顎頭間軸の3次元移動と回転という立場から理解しようとする時には、やはり顎頭間軸回りの真の回転角度をパラメーターとすることが必要であり、また、従来の方法はそれぞれ特定の運動に対しての評価法であったのに対し、これをパラメーターとして用いることにより、矢状面内運動に限らず側方運動等、すべての運動に対しての応用が可能となるのである。

そして顎頭点移動量対応角度表示は、それぞれの顎頭点においての移動と回転を対応させて

表示することができ、回転角度と顎頭間軸の3次元移動との関係を分析する為の第1歩と言える。そこで今後、被験者数及び対象とする運動を増やし、解析法についても更に検討を加え、この2つのパラメーター間の関連において下顎運動を分析、解明してゆきたいと思う。

4、まとめ

①切歯点、左右顎頭点の運動軌跡の座標データより顎頭間軸回りの真の回転角度を求める為の算出法を考案した。

②この方法により算出した回転角度をパラメーターとして解析を行う為に、顎頭間軸回転角度分析プログラムを開発した。

③男性18名、女性4名、計22名の習慣性最大開閉口運動について、このプログラムを用いて解析を行ったところ、全被験者が最大開口時に最大回転角度を示し、最大回転角度は平均31.3°(標準偏差3.3°)であった。

また、この被験者22名44顎頭について、移動量対応角度・角速度表示、時間軸対応表示を行い考察を行なった。

参考文献

- 1) 古谷野 潔：後方運動時の下顎の三次元動態、補綴誌、31:805-818,1987
- 2) 河野 正司：下顎の矢状面内運動に対応する顎頭運動の研究、第2報 マルチフラッシュ装置による矢状面運動軸の解析、補綴誌、12:350-380,1968
- 3) 鈴木 温：ディジタル方式下顎運動測定器による下顎限界運動の6自由度解析、補綴誌、31:712-725,1987
- 4) 福島 俊士：習慣的開閉口運動における顎頭運動の研究、補綴誌、15:267-290,1971
- 5) 中野 雅徳：側方運動における顎路と歯牙路に関する研究、補綴誌、19:647-665,1976
- 6) 林 豊彦：側方滑走運動の3次元動態に関する研究、第1報 下顎代表点運動路と運動初期の動態について、補綴誌、30:1136-1148,1986
- 7) 保母 須弥也、高山 寿夫：顎路と切歯路の相関性に関する3次元的研究、第1報 運動学的解析、補綴誌、29:204-221,1985