6 自由度顎運動測定器のこと

長谷川成男 真柳 昭紘

On the Six-Degree-of-Freedom Jaw Movement Tracking Device

Shigeo Hasegawa and Akihiro Mayanagi

Abstract: Since mandibular movements have six-degree-of-freedom, they must be measured by using the six-degree-of-freedom jaw movement tracking device. In consideration of measurement accuracy, operational ease, and so on, two devices were proposed, a monitor for the clinic and an accurate measurement for investigation. The condylar reference points were also said to be located morphologically and used easily in diagnosis.

Key words: jaw movement, biomechanics, six-degree-of-freedom, measurement

I. はじめに

本特集は顎機能の臨床的診査を主眼として企画されたものであるが、敢えて基礎的な事項について記す。

II. 6 自由度とは

自由度 (degree of freedom) とは、力学において物体の位置を表現するのに必要な独立変数の数である。

1つの質点が空間を自由に運動できるとき自由度は3である。すなわち、運動には基本的に平行移動と回転運動とがあるが、質点は回転運動で位置を変えることはないの、質点の運動は平行移動だけとなる。したがって、質点の位置は3個の座標値で定められ、自由度は3となる (図1)。

次に、剛体になると、先の平行移動に回転運動も加わり、直交座標系の3つの軸の周りの回転運動が可能となつて、剛体の位置を定めるためには重心Gの位置の座標の3個に加えて3個の回転量が必要となる (図2)。したがって、剛体が空間を自由に運動できるとき自由度は6である。換言すれば、6自由度の運動とは質点の運動ではなく、剛体の運動のことで、剛体全体が移動したという観点

で運動をみることになる。このことを下顎運動に置きかえると、歯列を含む下顎骨全体が上顎という基準に対してどう運動したかということになり、切歯点などでしばしば代表される1点だけの下顎運動とは区別して考えることになる。

また、6自由度とは剛体が空間を自由に運動するときの自由度で、同じ顎運動でも、たとえば Gothic archを描くするときのような1平面内の1点の運動という条件、すなわち束縛条件が加えられると、得られる情報量としての自由度は少なくなる。この場合は2自由度 (前後、左右方向の平行移動) で顎運動を測定したということになり、Gothic arch だけから6自由度で運動する顎運動の全貌を知ることはできない。顎運動に関する考察を行うに際しては、測定時の自由度、束縛条件を十分に認識しておくことが重要である。

III. 顎運動は

歯列を含む下顎骨は、左右顎関節部で頭蓋と連結されていて、運動時に顎頭は関節円板を介して関節結節後斜面に沿って移動すると同時に回転する。この顎関節での回転運動に加えての平行移動は、回転運動だけを行う身体一般の関節に対する特異性ともいえるところで、顎頭は各種の顎運動に際して平行移動と回転運動を種々の比率で組み合わせた複雑な運動を示す。もちろん、歯列を含む下顎骨も顎頭とともに平行移動と回転運動とを織り込んだ複雑な運動

図 1 Movement of a mass point
質点の運動

図 2 Movement of a rigid body
剛体の運動

を行うことになる。

したがって、下顎が移動した位置を上顎に対して表現するためには平行移動と回転運動の双方にかかわる表現が必要となる。そして、顎関節での平行移動も回転運動も、その運動量は解剖学的構造によって制限されているが、運動方向は特に規制されていないので、下顎は6自由度で運動していて、その位置を表現するためには6つの独立変数が必要となる。

顎運動、ことに側方滑走運動が6自由度で運動していることを実験的に示した報告もある。長谷川ら¹⁰⁾は側方滑走運動時の移動量最小点での移動量と移動量最小点の分布とを顎頭部付近に求め、側方滑走運動に特殊な運動様式を当てはめることは無理で、6自由度という表現ではないが、三次元の立体運動のなかで最も複雑な運動であることを実証している。

鈴木¹¹⁾は、左右側の顎頭点を結ぶ顎頭間軸を想定して、咬頭嵌合位から側方咬合位への移動による顎頭間軸の前頭面内と水平面内での回転量を実測している。さらに、この顎頭間軸の軸自身を中心とするその周りでの回転量も測定して、下顎が計3方向への回転をすることを示した。また、顎頭間軸の一端である平衡側顎頭点は前下内方へ三次元的に平行移動する。ここで、平衡側顎頭点の位置が求まり、顎頭間軸の回転量が決まれば、作業側顎頭点の位置は定まるので、前章での剛体の運動時と同様に下顎の側方咬合位での位置は3種類の回転量とある点、ここでは平衡側

図 3 The intercondylar axis model during lateral excursion
顎頭間軸モデル

顎頭点の3個の座標値、計6自由度で決定されることになる(図3)。

解剖学的にも、運動論的にも下顎が6自由度で運動していることが明らかになったので、顎運動の全体像を把握し、理解していくためには6自由度での測定が必要となる。

IV. 6 自由度測定では何を求めるのか

下顎は6自由度で運動するので、顎運動の測定は6自由度で行わなければならない。

顎運動の6自由度測定で、6つの独立変数は測定器によっては回転量として、座標値として、あるいはそれらを組み合わせた測定値として得られる。そして、いずれの測定器を用いても変形のない剛体という条件下での数学的解析によって、下顎上の任意の点の運動を求めることができる。もちろん、皮膚に覆われ、直接には測定できない顎頭の運動も知ることができる。

切歯点だけでの運動ならば3自由度の測定で十分である。6自由度での測定では、たとえば大臼歯部点での運動、顎頭点での運動、あるいは顎頭点での運動と切歯点での運動との関係など歯列を含む下顎骨全体としての運動を求めることになる。換言すれば、こうした顎運動の測定、解析こそが、顎運動の真の解明に繋がることになろう。

V. 測定精度は

現在、比較的入手しやすい6自由度測定器は3種類ほどであるが、それらの測定器の精度はいずれも0.1 mm前後といわれている。

生体の運動が0.1 mmの精度で測定できるのは驚異的であるが、咬合が10~30 μmの精度を要求している^{12,13)}ことから必要とされる精度なのであろう。しかし、6自由度での顎運動の測定は極端には顎路の測定ともいえるの

で、咬合をベースにして、顎路測定という面から、測定器の精度を再検討する必要があるようにも考えられる。

一方、6 自由度測定器は相当に普及し、精度の高い正常者の顎運動データベースも構築され^{14,15)}、顎運動の正常像に関する知識も高まってきたので、こうした測定器が日々の臨床で有効に使用できる時期に入ったものと思う。

そこで、もし精度、測定操作の容易さ、一般患者への適用という図式が成り立つならば、顎運動測定器にもモニター用機器と精密測定用機器があってもよいように思う。臨床では、その性能と許容範囲を知ってモニター用機器を使い、必要な場合には精密測定を行うという考え方である。モニター用機器には安定性がある、迅速にデータ表示ができ、来院毎に患者に適用できることが望ましく、各種の顎機能障害がみてとれれば、臨床診査の質は飛躍的に向上するであろう。

また、何か無歯顎者への測定器の適用方法も考えていかねばならないであろう。

VI. むすびにかえて

終わりに、顎運動の 6 自由度測定に関連する 2 つの項目について付記する。

1. 咬合力

口腔での最大の機能は咀嚼であり、咀嚼時には咬合力が発現する^{16,17)}。咬合力によって歯は変位し¹⁸⁾、歯槽骨、顎骨は歪みを呈する¹⁹⁾。

6 自由度の測定器では、歯列をシーネで固定して顎運動を測定し、変形しない剛体としての解析を行う。したがって、機能時の顎頭での真の運動状況を知ることは、現在なおできない。もちろん、こうした機能時の歪みに関する測定²⁰⁾も行われてはいるが、歯の変位、骨の歪みとともに顎運動が同時に測定できれば、顎口腔系の機能機構の解明に向けて大きく前進するであろう。

2. 顎頭点

顎運動を表示する、あるいは解析していく上に、顎頭を代表する点をどこに定めるかは重要な問題である。

矢状面内の顎運動を回転運動と、平行移動とに分離、解析できる全運動軸の発見²¹⁾以来、顎頭点は運動論的に考えられてきた。顎頭運動を矢状面内運動から拡大した、三次元の立体運動に対応して単純な曲面を示し、しかも断面が水平となる全運動軸上の顎頭中心点²²⁾、すべての顎運動をその点の平行移動と、左右側にあるその点を結ぶ軸の回転とで表現できる運動論的顎頭点¹¹⁾などが、それである。

こうした運動論から導かれた顎頭点は顎運動の解析、研究を深めていく際には有効である。しかし、6 自由度測定器を顎機能障害を含む日々の臨床に適用していく場合には

図 4 Condylar paths during lateral excursions of a TMD patient
顎機能障害患者の側方滑走運動時の顎路

必ずしも有利とはいえない。

図 4 は、咬頭嵌合位が不安定で、開口時にクリッキングがあり、加えて頭頸部に疼痛がある 49 歳の女性の側方滑走運動時の顎路の矢状面投影図である。顎頭点は常に曲面としての運動範囲を示すものではなく、病態によっては顎頭が上下的に不安定になることもある。この症例ではスタビライゼーション・スプリントの使用によって比較的安定した顎路を描くようになった (図 4, 下図)。

こうした症例で、たとえば全運動軸点を求めると、顎頭からは相当に離れた位置になろう。もちろん、顎頭のある点からの全運動軸点への距離で診査、あるいは治療状況を表すこともできようが、モニタリングして、迅速にデータ表示することを考えると、形態的顎頭点での顎路の状態によって診査を行うことのほうが実際のであろうし、実感もある。換言すれば、形態的に定めた点を機能的に評価しようということになる。

顎運動の 6 自由度測定、ある意味では顎頭運動の測定は、これからの臨床において正常者に、異常者に多くの症例について盛んに行われるであろう。基準点としての顎頭点について再考してみる必要がある。

文 献

- 1) 長谷川成男. 咬合学の歴史と用語と. 長谷川成男, 坂東永一監修, 臨床咬合学事典 1-26, 東京: 医歯薬出版, 1997.
- 2) McCollum BB, Stuart CE. Gnathology. A research report 34-123, South Pasadena: Scientific Press, 1955.
- 3) Beck HO, Morrison WE. A method for reproduction of movements of the mandible. J Prosthet Dent 12: 873-887, 1962.
- 4) Brill N, Lammie GA, Osborne J et al. Mandibular positions and mandibular movements. Br Dent J 106: 391-400, 1959.
- 5) 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, 1967.

- 6) Sicher H. Oral Anatomy 2nd ed 1-529, St Louis : Mosby, 1952.
- 7) 宮本 諭. マンディブラーキネジオグラフ. 長谷川成男, 坂東永一監修, 臨床咬合学事典 270-271, 東京 : 医歯薬出版, 1997.
- 8) 宮本 諭. シロナソグラフ. 長谷川成男, 坂東永一監修, 臨床咬合学事典 272-273, 東京 : 医歯薬出版, 1997.
- 9) 坂東永一, 藤村哲也, 鈴木 温ほか. デジタル方式による下顎運動測定. 顎機能 2 : 137-143, 1984.
- 10) 長谷川成男, 野村孝太郎, 丸山雅昭ほか. 側方滑走運動における運動様式の検討. 補綴誌 16 : 381-386, 1972.
- 11) 鈴木 温. デ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 : 721-725, 1987.
- 12) 田中伐平. 咬頭嵌合位における補綴物の高さが顎口腔系に及ぼす影響. 補綴誌 19 : 480-506, 1976.
- 13) 池田隆志, 横山正秋, 久保吉廣ほか. 強い咬合接触が顎口腔系に及ぼす影響. 顎機能 6 : 81-86, 1988.
- 14) 郡 元治. 磁気位相空間を応用した試作顎運動測定器による下顎運動測定. 補綴誌 37 : 652-658, 1993.
- 15) 上田竜太郎, 坂東永一, 中野雅徳ほか. 顎口腔機能診断のための6自由度顎運動パラメーターの検討. 補綴誌 37 : 761-768, 1993.
- 16) 坂東永一. 口腔機能のテレメータリング. 医用電子と生体工学 7 : 281-288, 1969.
- 17) 田中貴信. 頬舌側側方咬合力について. 補綴誌 16 : 321-349, 1973.
- 18) 岡田大蔵, 三浦宏之, 長谷川成男. 上下顎臼歯の機能状態に関する研究—歯の三次元変位—. 補綴誌 42 : 279-286, 1998.
- 19) 益田高行, 三浦宏之, 加藤 均ほか. 咬合力による上顎臼歯部歯周組織の歪みの三次元的測定. 補綴誌 40 : 154-159, 1996.
- 20) 竹内久裕, 藤村哲也, 坂東永一. 咬合力による顎口腔系の変形が顎運動解析に及ぼす影響. 補綴誌 34 : 1150-1161, 1990.
- 21) 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.
- 22) 長谷川成男, 藍 稔, 河野正司ほか. 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.