Pantograph を中心とする下顎運動 測定法の原理に関する研究

真 柳 昭 絃 長谷川 成 男

Fundamental Analysis on Measuring Methods of Mandibular Movement

Akihiro Mayanagi, Shigeo Hasegawa

I. 緒 言

Pantograph は McCollum¹⁾ により下顎運動の咬合器への再現装置として考案、製作されたが、現在では下顎運動の測定装置としても使用されている。pantograph は弾筆を応用した口外描記装置であり、描記板上に記録された描記路はある基準座標系に投影することにより得られる運動路と異なることが考えられ、またその記録に基づいて下顎運動を咬合器上に再現する場合にも描記法と投影法では条件が異なることが考えられる。

そこで、著者らは下顎運動を測定および再現する場合における描記法と投影法との相違、並びに pantograph の原理について検討を加えた。

II. 投 影 法

下顎運動の測定および咬合器への再現においては、古くから投影という方法が使用されている。まず初めに、投影法の原理について1点の運動という観点より説明を加えてみたい。

1. 投影法(1)一点

ある基準座標系(O-XYZ)に対して空間内に1点Aをとり、AからXY面に垂線をおろし、その足をMとする(図1)。MはXY面上に点として座標(x, y)を有する。

東京医科歯科大学歯学部第2歯科補綴学教室(指導:田端恒雄教授)

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

昭和52年1月27日受付

次に、 $MA=Z$ とする。点Aが定まれば x, y, z も決まる。点Aが空間的に運動する場合にはその軌跡は点Aにおける座標 (x, y, z) の連続としてとらえることができる。そこで、任意の点Pを定点Aと空間的に一致させることができれば点Pは点Aと同様に空間的に定まった点となり、 (x, y, z) の座標を有し、点Pに関しては運動論的に3要素が判明していることになる(表1)。

2. 投影法(2)一線

次に、任意の曲線 $AB: x=x(t), y=y(t), z=z(t)$ が空間内に存在し、点Pがその曲線上を運動していると(図2)。点Pを空間的に一定位置に定めるためには曲線ABの x, y, z の1要素以上が定まらなければならない。それ故、点Pが曲線AB上を運動している状態は点Pに関して2要素が判明していることになる(表1)。

図1 投影法(1)

表 1 投影法および描記法における要素数

測定法	判明している要素数	点を定めるのに必要な要素数
投影法 (1) - 点	3	0
(2) - 線	2	1
(3) - 面	1	2
描記法 (1) - 点	2	1
(2) - 線	1	2

図 2 投影法 (2)

曲線 $AB: x=x(t), y=y(t), z=z(t)$

3. 投影法 (3) 一面

さらに、曲線 AB を空間上における任意の曲面 $\pi: x=x(u, v), y=y(u, v), z=z(u, v)$ に拡大する。そして、点 P がその曲面上を運動しているとする (図3)。点 P を空間的に定めるためには曲面 π の x, y, z の2要素以上が定まらなければならない。言い換えると、点 P が曲面 π 上を運動している状態は点 P に関して1要素が判明していることになる (表1)。

4. 投影法を応用した術式

下顎運動は下顎の3次元的運動であり、この運動を測定、解析および記録、再現するためには下顎上の3点以上の点における6要素以上が判明していることが必要である。しかし、各点は一直線上にないこと、そして6要素に必ず x, y, z の各要素を含んでいることが条件となる。

投影法により下顎運動の測定および再現を行う場合には、表1に示されている各投影法の判明している要素数

図 3 投影法 (3)

曲面 $\pi: x=x(u, v), y=y(u, v), z=z(u, v)$

を合計して6要素以上あることが必要である。下顎運動の測定法としては写真法、電気的測定法、映画法、check bite 法等があげられる²⁾。これらの方法はすべて投影法 (1) を応用しており、写真法³⁾、電気的測定法⁴⁻⁸⁾、映画法では下顎に装着した顔弓上の3点以上の測定点における運動を基準座標系に対しておのおの投影することにより、あるいは極座標を応用することにより下顎運動を測定している。check bite 法では check bite を介して下顎歯牙上に装着した3測定点の運動を測定⁹⁾ しており、また上下顎の歯列模型間に check bite を挿入して下顎上の3測定点の運動を測定¹⁰⁻¹²⁾ している。

下顎運動を記録し、咬合器上へ再現する方法として投影の原理を応用したものには check bite 法、chew-in 法¹³⁾ として Lee の方法^{14,15)} がある。

check bite 法は下顎運動時のある顎位において、上下顎歯列間に check bite material を介在させることにより、顎位の記録を採得する。そして、咬合器に装着された上下顎歯列模型間に check bite を戻すことにより、記録した下顎位を咬合器上で再現している。採得した check bite は上顎歯列に対して下顎歯列の空間的位置を点の集合した定まった面として記録しているので、check bite 法は投影法 (1) を応用した再現方法といえる。

chew-in 法は下顎運動を center bearing pin および plate の指導により行わせ、3本の stud により即重レジンの中に gothic arch を描かせる方法である。center bearing pin が plate の面に常に接触しながら運動する状態は投影法 (3) に相当し、運動論的に1要素を有す

図 4 投影法と描記法の相違

ることになる。また、3本の stud が即重レジンに描かれた描記路上を運動する状態は投影法 (2) に相当し、おのおの2要素、計6要素を有することになる。その結果、chew-in 法は下顎運動を記録、再現するにあたって、4点における7要素を有し、原理的には記録した下顎運動を再現できることになる。

Lee の方法は center bearing pin および plate の指導により、3本の air turbine drill で plastic block を切削しており、原理的には chew-in 法と同じである。

III. 描 記 法

下顎運動の測定には投影法と同様に弾筆を応用した描記法も古くから使用されている²⁾。しかし、投影法が投影方向と投影面とが常に垂直関係を示しているのに対して、描記法は下顎運動にともない描記針が傾斜、伸縮し、描記針と描記板との関係が変化するので、両測定法の間には下記のような相違がみられる。

座標 O-XYZ の XY 面を描記法の描記板並びに投影法の基準平面とする (図4)。描記針 PB は Z 軸に平行とすると、描記針によつて描記板上に記録される点は A となり、点 P を XY 面に投影した点 A と一致する。次に、点 P が点 P' まで運動し、その時、描記針 PB は傾斜し、P'B' になるとすると、描記板 XY 面に記録される点は描記針 P'B' を延長し XY 面との交点 A' となる。点 P' の位置を投影によつて記録する場合には点 P' より XY 面に垂線を下した点 A' となる。したがつて、描記法では点 P の運動 $\overrightarrow{PP'}$ は XY 面の描記路 $\overrightarrow{AA'}$ として記録され、投影法においては $\overrightarrow{AA'}$ として記録される。この

図 5 描 記 法 (1)

描記板 $\pi : Ax + By + Cz + D = 0$

描記針 BC : $\frac{x-x_1}{l} = \frac{y-y_1}{m} = \frac{z-z_1}{n}$

描記点 A : (x_1, y_1, z_1)

ように、同じ運動を測定しても弾筆によつて描記する場合と投影として記録する場合においては描記板および基準平面に記録される運動路は異なってくる。描記法には描記針が固定され、描記板が動く装置もあるが結果としては同じである。

そこで、描記法において下顎運動を記録、再現する場合に、投影法との相違が及ぼす影響について検討を加えてみたい。

1. 描記法 (1) 一点

ある基準座標系 (O-XYZ) に対して、 π という平面 : $Ax + By + Cz + D = 0$ を設定する (図5)。この平面 π は弾筆を応用した描記装置の描記板に相当する。そして、平面 π 上に描記された点 A が存在し、点 A の座標を (x_1, y_1, z_1) とする。描記針は伸び縮みするため、点 A を通る直線 BC : $\frac{x-x_1}{l} = \frac{y-y_1}{m} = \frac{z-z_1}{n}$ として考えられ、点 P は直線 BC 上に存在し、描記針の伸び縮みに対応して直線 BC 上を運動する。したがつて、点 P を空間的に定めるためには直線 BC の 1 要素が判明すれば良いことになる。それ故、点 P に関しては 2 要素が定まっていることになり、投影法 (2) に相当している (表1)。

2. 描記法 (2) 一線

次に、描記板 π 上に任意の曲線 DE が描記されているとする (図6)。描記針をこの描記路上に乗せるという

図6 描記法(2)

描記板 π : $Ax + By + Cz + D = 0$ 描記針 BC : $\frac{x-x_1}{l} = \frac{y-y_1}{m} = \frac{z-z_1}{n}$ 描記路 DE : $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$

ことは曲線 DE と直線 BC が交わり、その交点 A が曲線 DE 上を運動することができ、そして点 P が直線 BC 上を運動している状態である。点 P を空間的に定めるためには、まず曲線 DE 上の点 A の位置を定め、その後点 P を直線 BC 上で定める必要があり、それぞれの段階で各 1 要素ずつ、計 2 要素を必要とする。言い換えると、点 P は 2 要素が決まらないかぎり、描記路から空間的に定めることはできない。それ故、点 P に関しては 1 要素が定まっていることになり、投影法 (3) に相当している (表 1)。

弾筆を応用した描記装置により記録された描記点並びに描記路の座標が 3 次元的に測定されても、弾筆により描記されているため、投影法と比較しておのおの 1 要素ずつ少ないことになり、このことが 2 次元の描記法により立体の 3 次元運動である下顎運動を測定および再現することの難しさを示している。

従来、描記法により顎頭運動を測定する場合には、次のような方法が行われてきた。すなわち、記録した描記路より顎頭運動を推測する方法^{16,18)}、作図的に顎頭運動を求める方法¹⁹⁻²¹⁾、pantograph により調節された咬合器より顎頭運動を算出する方法^{16,17,22)}そして pantograph により記録し、顎位再現装置により下顎運動を再現後測定し、顎頭運動を算出する方法²³⁾等である。しかし、投影法と異なり、記録した描記路より解析幾何学的に顎頭運動を直接算出する方法はいまだ確立されていない。

いので、現今行われている描記法による顎頭運動の算出法のなかには方法論的に不適当と思われるものもある。

IV. Pantograph の原理

Pantograph は McCollum により考案された口外描記装置であり、その構造は 6 本の描記針と対応する 6 枚の描記板として運動を指導する center bearing pin および plate より成り、3 次元的な下顎運動を描記板上に 2 次元の連続的描記路として記録する装置である。その後、Granger²⁴⁾、Stuart²⁵⁾、Guichet²⁶⁾ 等により新しい pantograph が製作されているが原理的には McCollum の pantograph と同じである。

1. 連続的描記路による記録

pantograph による下顎運動の記録および咬合器への再現は、通例次のような方法により行われる。clutch を上下顎歯列に装着し、pantograph を連結する。center bearing pin および plate の指導により、下顎運動を行わせ、各描記針により各描記板上に下顎運動の軌跡を描記する。次に pantograph を口腔より取り外し、口腔と同じ状態で咬合器へ装着する。そして、各描記針の先端が各描記板上に描かれた描記路上に同時に乗るように咬合器の調節機構を調節し、記録した下顎運動を咬合器上に再現しようとしている。

pantograph の使用上の条件は描記板上に描かれた連続的描記路に、描記針の先端を乗せるということである。pantograph における 1 組の描記針と板との関係は描記法 (2) に相当しており、運動論的には 1 要素が存在していることになる。pantograph は 6 組の描記針と描記板を有しており、各描記路に対応する各描記針を同時に乗せるため、おのおの 1 要素、計 6 要素を有することになる。また、pantograph には運動を指導する center bearing pin および plate が存在し、下顎運動を記録、再現する場合に、pin の先端が常に plate に接触している。この center bearing pin と plate の関係は投影法 (3) に相当し、運動論的には 1 要素が存在することになる。以上のように、pantograph は 6 組の描記針と板そして 1 組の center bearing pin と plate を有しているので、運動論的には 7 点の 7 要素を有していることになり、各描記針の先端が対応する描記路上に同時に乗っていれば、pantograph の下顎部に対して上顎部の位置は一義的に決まることになり、pantograph の構造は原理的に正しいことになる。ただし、各描記針の方向が一直線上

にないこと、そして平行でないことが条件となる。

Weber²⁷⁾は独自の口外描記装置を製作し、咬合器の調節に使用している。その構造は3組の描記針と、板そして1組の center bearing pin と plate より成つてゐる。3枚の描記板は左右顎頭部に垂直板としておのおの1枚、そして切歯点の前方部に水平板として1枚ある。この口外描記装置に対して、前述の原理を応用すると3組の描記針と板は3点の3要素にそして1組の center bearing pin と plate は1点の1要素に相当し、Weberの口外描記装置は4点の4要素を有していることになる。また、下顎運動を咬合器上に再現する場合には、まずある特定の描記針に対応する描記板の描記路上に乗せてから、他の描記針に対応する描記路上に乗るように調節を行う。それ故、最初に調節した描記針と描記路との関係は描記法(1)に相当し、2要素を有することになる。このことは pantograph についても同様である。このような考えに立つと Weber の口外描記装置は4点の5要素を有していることになるが、剛体を空間的に一義的に決定するためには6要素以上が必要であり、Weber の口外描記装置では記録した下顎運動を咬合器上に再現できないことになる。

2. 同時的対応点による記録

pantograph は下顎運動を咬合器上に transfer する装置としてではなく、下顎運動の測定装置としても使用されている。pantograph を測定装置として使用する場合には各描記路を連続した描記路としてではなく、各描記板において同時的に対応した点の連続として記録する方法がより有利であると思われる²³⁾。著者の各描記路を同時的対応点として記録する方法では、描記針と描記板との関係は描記法(1)に相当し、おのおの2要素を有することになる。pantograph 全体としては6組の描記針と板に6点の12要素そして center bearing pin と plate に1点の1要素、計7点の13要素を有することになり、連続的描記路として記録した場合より情報量は格段と多くなっている。

このような測定方法においては、描記針と板が3組存在すれば3点の6要素を有することになり、原理的には下顎運動を測定および再現することができる。しかし、各描記板上に記録された同時的対応点の座標測定から、顎頭運動を3次元的に算出する場合には、各描記針の基準座標系に対する方程式および剛体条件を設定し、描記点の座標を代入して解を求めなければならない。

V. 結 論

1) 下顎運動の投影による測定法と弾筆を使用した測定法との相違を原理的に明らかにした。

2) 下顎運動を記録および再現するにあつて、pantograph における描記針および描記板の数は現在の6組で十分である。

3) pantograph により下顎運動を測定する場合には、各描記路を同時的対応点として記録すれば、原理的には描記針と描記板は3組あれば十分である。

稿を終るに臨み、種々指導、ご援助下さつた田端教授をはじめ第2歯科補綴学教室の諸先生に深謝いたします。

文 献

- 1) McCollum, B.B. et al. : A research report, California, 1955, Scientific Press, p. 1~123.
- 2) 石原寿郎 : 下顎運動に関する最近の研究, 口病誌, 30 : 18~97, 昭和38 (1963).
- 3) 中野雅徳 : 側方滑走運動における顎路と歯牙路に関する研究, 補綴誌, 19 : 461~479, 昭和50 (1975).
- 4) Beck, H.O. et al. : A method for reproduction of the mandible, A research progress report, J. Prosthet. Dent., 12 : 873~883, 1962.
- 5) Messerman, T. : A means for studying mandibular movement, J. Prosthet. Dent., 17 : 36~43, 1967.
- 6) Körber, K.H. : Elektronische Registerierung der Unterkieferbewegungen in Normalen und Okklusionsgestörten Gebiss, Dtsch. Zahnärztl. Z., 26 : 167~176, 1971.
- 7) Knapp, F.J. et al. : Computerized analysis and duplication of mandibular motion, J. Prosthet. Dent., 33 : 535~541, 1975.
- 8) Goodson, J.M. et al. : Analysis of human mandibular movement, Monographs in oral science vol. 5, Basel, 1975, Tanner & Bosshardt, p. 1~80.
- 9) 野村孝太郎 : 側方咬合位における咬合器の再現性と運動様式に関する研究, 補綴誌, 15 : 239~266, 昭和46 (1971).
- 10) Posselt, U. : An analyzer for mandibular positions, J. Prosthet. Dent., 7 : 368~374, 1957.
- 11) Posselt, U. : Movement areas of the mandible, J. Prosthet. Dent., 7 : 375~385, 1957.

- 12) 鶴養 弘：顎運動の研究（第二報）下顎骨側方運動の観察，歯科学報，53：577～586，昭和28，（1953）。
- 13) TMJ procedure manual, California, TMJ Instrument Co.
- 14) Lee, R.L. : Jaw movements engraved in solid plastic for articulator controls, Part I. Recording apparatus, J. Prosthet. Dent., 22 : 209～224, 1969.
- 15) Lee, R.L. : Jaw movements engraved in solid plastic for articulator controls, Part II. Transfer apparatus, J. Prosthet. Dent., 22 : 513～527, 1969.
- 16) Isaacson, D. : A clinical study of the Bennett movement, J. Prosthet. Dent., 8 : 641～649, 1958.
- 17) Isaacson, D. : A clinical study of the condyle path, J. Prosthet. Dent., 9 : 927～935, 1959.
- 18) Kurth, L.E. : Mandibular movements in mastication, J.A.D.A., 29 : 1769～1790, 1942.
- 19) Gysi, A. : Handbuch der Zahnheilkunde IV, Schreff, Berlin, 1929, Urban u. Schwarzenberg. p. 1～171.
- 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) 久保田晴一：顎路の立体的運動野に関する研究，九州歯科学会雑誌，29：307～333，昭和50（1975）。
- 22) Aull, A.E. : Condylar determinants of occlusal patterns, Part I. Statistical report on condylar path variation, J. Prosthet. Dent., 15 : 826～846, 1965.
- 23) 真柳昭絃：側方滑走運動における顎頭運動に関する研究，補綴誌，14：158～182，昭和45（1970）。
- 24) Granger, E.R. : Practical procedures in oral rehabilitation, Philadelphia, 1962, J.B. Lippincott Co., p. 1～300.
- 25) Stuart, C.E. : Instructions for use of gnathological instruments, California, 1973, p. 1～69.
- 26) Guichet, N.F. : Procedures for occlusal treatment, A teaching atlas, California, 1969, Denar Co., p. 1～112.
- 27) Weber, R. : Die biologisch Konstruierte Zahnprothese im Masticator, Bern, 1965, H. & J. Schumacher, p. 1～75.