咬合器の運動の数式的表現

第3報 側方運動の3次元運動軌跡

保母 須弥也* 高山 寿夫**

東京

Kinematic Analysis of Articulator Motion Part 3—Three Dimensional Orbits of Lateral Movement

Sumiya Hobo, D.D.S., M.S.D. and Hisao Takayama, B.S.

Tokyo

Three dimensional orbits of maxillary incisal point, mesiolingual cusp of the first molar, and the center of the condyle during protrusive, left lateral and right lateral movements of the articulator were obtained by means of computer calculation. The results are as follow :

1. Sagittal condylar path inclination has a great effect upon the morphology of the molar cusps. There is a tendency that the greater the sagittal condylar path inclination is, the steeper the cuspal inclination becomes, and the gothic arch angle also gets greater.
2. Progressive side shift and the Bennett angle have less effect upon the morphology of the molar cusps compared with sagittal condylar path inclination. However, those effects cannot be ignored totally.
3. The distance between the centers of the condyles has as much effect upon the morphology of the molar cusp as progressive side shift has.
4. Immediate side shift has a great effect upon the morphology of the molar cusps and its effect is as great as, the sagittal condylar path inclination. From the quantitative analyses in this study, the fact that the significance of immediate side shift had been pointed out in Gnathology proved to be right.
5. Quantitative analyses concerning the effect of each factor of the condylar path upon the morphology of molar cusps were performed. According to the results, three degrees of sagittal condylar path inclination, six degrees of the Bennett angle and progressive side shift, 10 mm of the distance between the centers of the condyles, and 0.1 mm of immediate side shift during lateral movement are equally effective when 0.09 mm³ ground volume is equivalent.

* 東北歯科大学教授

** 国際デンタルアカデミー客員研究員

1983年1月25日受付

6. From the quantitative analyses mentioned above, comparative effectiveness of each factor of condylar path upon morphology of the molar cusps were measured. The results indicated that sagittal condylar path inclination and immediate side shift are equally effective and that progressive side shift, the Bennett angle and the distance between the centers of the condyles are approximately one-fourth as effective as sagittal condylar path inclination and immediate side shift.

緒 言

前報において、咬合器の下顎部に固定した座標系に対する上顎部の任意の1点の運動の実用演算式を、咬合器の開閉運動・前方運動・左側方運動・右側方運動の各運動ごとに導出した^{1,2)}。これらの演算式は運動学におけるオイラーの定理に基づくものであるため、1次近似の範囲内において運動学的に正しく、必要に応じ2次近似の適用も可能である。しかも、咬合器の調節目盛で再現可能な各顆路要素や、咬合器の各運動様式における運動量などの物理量との対応が明確なため数値的に数々の検討解析を容易に行える利点がある。

これらの実用演算式は、あらゆる咬合器に適用し得るものであるが、すべて文字記号で表したため、これを具体的に適用する際、なじみにくい嫌いがあり、従来からの知見と比較するにも不便である。そこで、既報の実用演算式に実際数値を代入して計算した結果を、グラフと数値表のかたちにとまとめておく必要があると考えた。

本研究は、前報において報告した実用演算式に実際数値例を代入し、前方・左側方・右側方の各運動時の咬合器上の特定点の3次元運動軌跡を求めることを目的にしている。

演算方法

咬合器上に設定した上顎部の切歯点、第1大臼歯近心舌側咬頭、顎頭球中心（正確には中心位において顎頭球中心と一致する関節窩中心）の左右側方および前方の各運動時の3次元運動軌跡を算出するために、次のような演算を行った。

1. 左右側方運動

前報で導出した咬合器の左右の側方運動の実用演算

式は、次のとおりである。

左側方運動：

$$\Delta X_2 = - \{ (-\eta_2) + (-\xi_2) \tan \alpha'_l + \overline{PP'} \tan \beta' \} \Delta \delta_2 \quad (52)$$

$$\Delta Y_2 = (\xi_2) \Delta \delta_2 - (-\xi_2) \Delta \theta_2 \quad (53)$$

$$\Delta Z_2 = (-\xi_2) \tan \alpha'_l \Delta \delta_2 + (-\eta_2) \Delta \theta_2 \quad (54)$$

なお、

$$\overline{PP'} \tan \beta' \Delta \delta_2 = \overline{PP'} \tan Sp' \Delta \delta_2 + S'i \quad (52)$$

とする。

右側方運動：

$$\Delta X_3 = \{ (-\eta_3) + (\xi_3) \tan \alpha_l + \overline{PP'} \tan \beta \} \cdot (-\Delta \delta_3) \quad (56)$$

$$\Delta Y_3 = \xi_3 (-\Delta \delta_3) - (-\xi_3) \Delta \theta_3 \quad (57)$$

$$\Delta Z_3 = \xi_3 \tan \alpha_l (-\Delta \delta_3) + (-\eta_3) \Delta \theta_3 \quad (58)$$

なお、

$$\overline{PP'} \tan \beta (-\Delta \delta_3) = \overline{PP'} \tan Sp (-\Delta \delta_3) + Si \quad (59)$$

とする。

上記の(52)~(59)式に用いた記号は、下顎部に基準座標系 X-Y-Z を固定し、上下方向を Z 軸、左右方向を X 軸、前後方向を Y 軸とし、それぞれ上、左、後を正の向きとした、そして上顎部に固定した運動座標系 $\xi-\eta$ をセントリックにおいて基準座標系 X-Y-Z と平行になるように設けた。側方運動により、運動座標系 $\xi-\eta-\xi$ は基準座標系 X-Y-Z に対し、微小平行移動と微小回転を行うが、 $\Delta \delta$ は Z 軸のまわりの回転量を、また $\Delta \theta$ は ξ 軸のまわりの回転量を、それぞれラジアンで表した。Suffix の 2 は左側方運動、Suffix の 3 は右側方運動に対応する。その他の記号の名称は表 1 に示すとおりである。

各顆路要素の値は、ヒトの下顎運動では定義によって著しく相違するが、咬合器の場合はあいまいさが比較的少ないので、ここでは深く立ち入らないこととし、

図1 顆路要素の定義

上図：矢状面投影

α_l ：矢状側方顆路傾斜度

下図：水平面投影

Si：イミディエイト・サイドシフト

Sp：プログレッシブ・サイドシフト

β ：ベネット角

図1のような定義を用いた。そして実際の計算を行うに当たっては、(52)～(59)の各式の ξ_2 、 η_2 、 ξ_2 または ξ_3 、 η_3 、 ξ_3 に上顎部上の標点の位置座標値を代入し、さらに表1に示した各顆路要素の実際数値を代入して計算した。

$\Delta\delta_2$ 、 $\Delta\theta_2$ または $\Delta\delta_3$ 、 $\Delta\theta_3$ は、自由裁量の余地のある変数（2つの自由度）であるから、次のように規定した。まず、 $\Delta\theta_2$ または $\Delta\theta_3$ は蝶番軸のまわりの回転角すなわち蝶番運動量を表すが、側方運動の場合、この値は一般に極めて小さなものになる。そこで、(53)および(54)式、または(57)および(58)式において、それぞれ $\Delta\theta_2$ または $\Delta\theta_3$ を零とおくと、(53)および(54)式からは、

$$\frac{\Delta Z_2}{\Delta Y_2} = \tan \alpha'_l \quad (60)$$

表1 側方運動の顆路要素

記号	名 称	実際数値範囲
α_l	左矢状側方顆路傾斜度	10～60deg
α'_l	右矢状側方顆路傾斜度	
β	左ベネット角	0～60deg
β'	右ベネット角	
Si	左イミディエイト・サイドシフト	0.0～2.0mm
Si'	右イミディエイト・サイドシフト	
Sp	左プログレッシブ・サイドシフト	0～30deg
Sp'	右プログレッシブ・サイドシフト	
PP'	顆頭（球中心）間距離	90～140mm

また(57)および(58)式からは

$$\frac{\Delta Z_3}{\Delta Y_3} = \tan \alpha_l \quad (61)$$

となり、左右の側方運動のそれぞれにつき、矢状面内の運動軌跡の傾斜度が標点の位置に寄らずに一定となり、それぞれ非作業側の矢状顆路傾斜度に等しくなる。これは、左および右矢状側方切歯路傾斜度をそれぞれ左および右矢状側方顆路傾斜度に等しくとった場合に対応するが、臨床上からも臼歯削合時の設定条件として妥当なものであろう。以上の理由により、本研究で行う計算例の設定条件として、 $\Delta\theta_2 = \Delta\theta_3 = 0$ とおくことにした。

$\Delta\delta_2$ または $\Delta\delta_3$ は、前報で述べたように、それぞれ左右の側方運動の運動量を表すが、本研究では中心位から測って、3次元的な顆路の長さが3mmになったところで算出することとした。これは後に示すように、臼歯部において十分な歯牙離開を生ずると思われる、3mm前後の側方運動量に対応するように定めたものである。このように規定すると、 $\Delta\delta_2$ および $\Delta\delta_3$ は次のように表される。ただし、単位はラジアンとする。

$$\Delta\delta_2 = \frac{\pi}{180} \sin^{-1} \left(\frac{3 \cos \alpha'_l}{PP' \sqrt{1 + \tan^2 Sp' \cdot \cos^2 \alpha_l}} \right) \quad (62)$$

$$(-\Delta\delta_3) = \frac{\pi}{180} \sin^{-1} \left(\frac{3 \cos \alpha_l}{PP' \sqrt{1 + \tan^2 Sp \cdot \cos^2 \alpha'_l}} \right) \quad (63)$$

次に、(52)～(59)式を用いて、上顎部の切歯点、第1大臼歯近心舌側咬頭、非作業側の顆頭球中心のそれぞれにつき、左右の側方運動時における中心位近傍の3次元運動軌跡を算出した。

(1) 切歯点 解剖学的データによれば、切歯点の平均的位置は終末蝶番軸を基準にして、前後方向に107mm、上下方向に4.5mmである³⁾。ただし、本研究では、前方

基準点は右側上顎中切歯の切端から内眼角へ向かって上方43mmの位置に定めることとし、また、側方運動時の $\xi-\eta-\zeta$ 軸の原点は作業側の顎頭球中心に定めた。以上により、平均的な切歯点の位置では、

$$(-\xi_2) = \xi_3 = \overline{PP'} / 2 \quad (64)$$

$$(-\eta_2) = (-\eta_3) = 107 \quad (65)$$

$$(-\zeta_2) = (-\zeta_3) = 45 \quad (66)$$

となるので、(52)~(59)式に代入することにより、左右の側方運動における平均的切歯点の中心位近傍の3次元運動軌跡は、次の式で表される。

$$\Delta X_2 = -(107 + 45 \tan \alpha'_l + \overline{PP'} \tan S'_p) - S'_i \quad (67)$$

$$\Delta Y_2 = \overline{PP'} \Delta \delta_2 / 2 \quad (68)$$

$$\Delta Z_2 = \overline{PP'} \tan \alpha'_l \Delta \delta_2 / 2 \quad (69)$$

$$\Delta X_3 = (107 + 45 \tan \alpha_l + \overline{PP'} \tan S_p) (-\Delta \delta_3) + S_i \quad (70)$$

$$\Delta Y_3 = \overline{PP'} (-\Delta \delta_3) / 2 \quad (71)$$

$$\Delta Z_3 = \overline{PP'} \tan \alpha_l (-\Delta \delta_3) / 2 \quad (72)$$

上式の導出に当たり、 $\Delta \theta_2 = \Delta \theta_3 = 0$ とおいた。また $\Delta \delta_2$ および $\Delta \delta_3$ は、それぞれ(62)および(63)式によるものとする。

(2) 第1大臼歯近心舌側咬頭 解剖的データによれば、第1大臼歯近心舌側咬頭の平均的位置は終末蝶番軸から前後方向に76mm、上下方向に45mmであり、左右方向には正中面から ± 19 mmとされている³⁾。従って、平均的な右第1大臼歯近心舌側咬頭の位置では、

$$(-\xi_2) = \overline{PP'} / 2 + 19 \quad (73)$$

$$\xi_3 = \overline{PP'} / 2 - 19 \quad (74)$$

$$(-\eta_2) = (-\eta_3) = 76 \quad (75)$$

$$(-\zeta_2) = (\zeta_3) = 45 \quad (76)$$

となるので、(52)~(59)式に代入することにより、左右の側方運動における平均的左右第1大臼歯近心舌側咬頭の、中心位近傍の3次元運動軌跡は、次式で表される。

$$\Delta X_2 = -(76 + 45 \tan \alpha'_l \overline{PP'} \tan S'_p) \Delta \delta_2 - S'_i \quad (77)$$

$$\Delta Y_2 = (\frac{\overline{PP'}}{2} - 19) \Delta \delta_2 \quad (78)$$

$$\Delta Z_2 = (\frac{\overline{PP'}}{2} - 19) \tan \alpha'_l \Delta \delta_2 \quad (79)$$

$$\Delta X_3 = (76 + 45 \tan \alpha_l + \overline{PP'} \tan S_p) (-\Delta \delta_3) + S_i \quad (80)$$

$$\Delta Y_3 = (\frac{\overline{PP'}}{2} - 19) (-\Delta \delta_3) \quad (81)$$

$$\Delta Z_3 = (\frac{\overline{PP'}}{2} - 19) \tan \alpha_l (-\Delta \delta_3) \quad (82)$$

(3) 非作業側顎頭球中心 非作業側顎頭中心の位置は、定義により次のようになる。

$$(-\xi_2) = \xi_3 = \overline{PP'} \quad (83)$$

$$(-\eta_2) = \eta_3 = 0 \quad (84)$$

$$(-\zeta_2) = \zeta_3 = 0 \quad (85)$$

従って、非作業側顎頭中心の中心位近傍における3次元運動軌跡は、次式で表される。

$$\Delta X_2 = -\overline{PP'} \tan S'_p \cdot \Delta \delta_2 - S'_i \quad (86)$$

$$\Delta Y_2 = \overline{PP'} \cdot \Delta \delta_2 \quad (87)$$

$$\Delta Z_2 = \overline{PP'} \tan \alpha'_l \cdot \Delta \delta_2 \quad (88)$$

$$\Delta X_3 = \overline{PP'} \tan S_p \cdot (-\Delta \delta_3) - S_i \quad (89)$$

$$\Delta Y_3 = \overline{PP'} (-\Delta \delta_3) \quad (90)$$

$$\Delta Z_3 = \overline{PP'} \tan \alpha_l (-\Delta \delta_3) \quad (91)$$

2. 前方運動

前報で導出した咬合器の前方運動の実用演算式は次のとおりである。

$$\Delta X_1 = 0 \quad (44)$$

$$\Delta Y_1 = \cos \overline{\alpha_p} \Delta l_1 + \xi_1 \Delta \theta_1 \quad (45)$$

$$\Delta Z_1 = \sin \overline{\alpha_p} \Delta l_1 - \eta_1 \Delta \theta_1 \quad (46)$$

上式において、Suffixの1は前方運動を表し、 Δl_1 は前方運動の運動量を示す。また、 α_p 、 α'_p をそれぞれ左右の矢状前方顎路傾斜度としたとき、 $\overline{\alpha_p} = \frac{\alpha_p + \alpha'_p}{2}$ となる。厳密には(44)~(46)式は $\alpha_p = \alpha'_p$ の場合にのみなり立ち、 $\alpha_p \neq \alpha'_p$ の場合は若干の補正が必要であるが、本報の目的には $\alpha_p \neq \alpha'_p$ の場合にも(44)~(46)を適用して差し支えないと判断した。

さらに前方運動でも、蝶番運動を無視できる場合のあることを想定すると、 $\Delta \theta_1 = 0$ とおくことができるので、前方運動の3次元運動軌跡は切歯点、第1大臼歯近心舌側咬頭、非作業側顎頭球中心のいずれの位置においても、次のようになる。

$$\Delta X_1 = 0 \quad (92)$$

$$\Delta Y_1 = \cos \overline{\alpha_p} \Delta l_1 \quad (93)$$

$$\Delta Z_1 = \sin \overline{\alpha_p} \Delta l_1 \quad (94)$$

Δl_1 は前方運動の運動量を表すが、側方運動の場合と同様、中心位から測って3次元的な顎路の長さが3mmになったところで算出するものと規定すると、左右の側方運動における(62)、(63)式に対応して、

$$\Delta l_1 = 3 \text{ (mm)} \quad (95)$$

となる。

以上本節で導出した(62)、(63)、(67)~(72)；(77)~(82)；(86)~(91)；(92)~(95)の各式により、表1に示したような各顎路

図2 矢状側方顆路傾斜度を変化させた場合

α_l : 左矢状側方顆路傾斜度

α'_l : 右矢状側方顆路傾斜度

$\bar{\alpha}_p$: 矢状前方顆路傾斜度 (左右平均)

G.A.: ゴシック・アーチ展開角 ($\alpha_l = \alpha'_l$ の場合)

設定条件:

顆頭球中心間距離: $PP' = 110 \text{ mm}$

イミディエイト・サイドシフト: $Si = Si' = 0 \text{ mm}$

プログレッシブ・サイドシフト: $Sp = Sp' = 10^\circ$

太線は $\alpha_l = \alpha'_l = 40^\circ$ の場合 (標準ケース)

要素の数値の任意の組み合わせにつき、左右の側方と前方の各運動において、それぞれ中心位から測って3次元的な顆路の長さが3mmに達するまでの、切歯点、第1大臼歯近心舌側咬頭、非作業側顆頭球中心の運動の3次元運動軌跡を算出した。

演算結果

前述の演算方法を用い、切歯点、第1大臼歯近心舌側咬頭、非作業側顆頭球中心の3次元運動軌跡をコンピュータにより算出し、その結果を表2～6および図2～11に示した。

表2、図2および3は、顆頭球中心間距離を110mm、イミディエイト・サイドシフトを0mm、プログレッシブ・サイドシフトを 10° に設定し、矢状顆路傾度を $10^\circ \sim 60^\circ$ の範囲で変化させた場合のデータである。図2は水平面、図3は前頭面の投影を示している。図2にはPosseltの菱形⁴⁾に相似した形態が現れている。矢状顆路傾斜度が 40° の標準的なケースを図中に太い実線で示したが、その場合のゴシック・アーチの展開角(G.A.)は、切歯点、第1大臼歯近心舌側咬頭、顆頭

球中心の順に、それぞれ 143° 、 136° 、 100° と算出されている。矢状顆路傾斜度が 10° から 60° へと増加するに伴い、切歯点におけるゴシック・アーチの展開角(側方切歯路角)は、 136° から 150° へ増加する傾向がみられる。同時に、Posseltの菱形の前後長も約3mmから約1.5mmと短縮している。一方、前頭面投影で見ると、Posseltの菱形の上下長は約0.5mmから約2.6mmと拡大している。

表3、図4および5は、顆頭球中心間距離を110mm、矢状前方顆路傾斜度および矢状側方顆路傾斜度を 40° 、イミディエイト・サイドシフトを0mmに設定し、プログレッシブ・サイドシフトを 0° から 30° の範囲で変化させた場合のデータである。図4は水平面、図5は前頭面への投影を示している。プログレッシブ・サイドシフトが 0° から 30° に増加するのに伴い、切歯点におけるゴシック・アーチの展開角は 138° から 150° へ増加する傾向がみられる。この場合、Posseltの菱形の前後長および上下長は変化しない。

表4、図6および7は、矢状前方顆路傾斜度および矢状側方顆路傾斜度を 40° 、イミディエイト・サイドシ

図3 矢状側方顎路傾斜度を変化させた場合（前頭面投影軌跡）

α_l ：左矢状側方顎路傾斜度

α'_l ：右矢状側方顎路傾斜度

$\bar{\alpha}_p$ ：矢状前方顎路傾斜度（左右平均）

設定条件：

顎頭球中心間距離： $\overline{PP'} = 110 \text{ mm}$

イミディエイト・サイドシフト： $S_i = S'_i = 0 \text{ mm}$

プログレッシブ・サイドシフト： $S_p = S'_p = 10^\circ$

太線は $\alpha_l = \alpha'_l = 40^\circ$ の場合（標準ケース）

表2 3次元運動軌跡と矢状顎路傾斜度

顎頭球中心間距離を110mm、イミディエイト・サイドシフトを0mm、プログレッシブ・サイドシフトを10°に設定して算出

	左右矢状側方顎路傾斜度 deg	10	20	30	40	50	60
切歯点	左右方向変位： $-\Delta X_2 = \Delta X_3 \text{ mm}$	3.55	3.61	3.55	3.39	3.13	2.77
	前後方向変位： $\Delta Y_2 = \Delta Y_3 \text{ mm}$	1.45	1.39	1.28	1.13	0.95	0.74
	上下方向変位： $\Delta Z_2 = \Delta Z_3 \text{ mm}$	0.25	0.50	0.74	0.95	1.14	1.29
	ゴシックアーチ展開角：deg $\tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	136	138	140	143	146	150
	側方切歯路傾斜度：deg $\tan^{-1}(\Delta Z_2/-\Delta X_2) = \tan^{-1}(\Delta Z_3/\Delta X_3)$	4	8	12	16	20	25
右第1大臼歯近心舌側咬頭	左右方向変位： $-\Delta X_2 = \Delta X_3 \text{ mm}$	2.73	2.82	2.83	2.75	2.59	2.35
	前後方向変位：左側方運動 mm ΔY_2	1.95	1.87	1.72	1.53	1.28	1.00
	前後方向変位：右側方運動 mm ΔY_3	0.95	0.91	0.84	0.74	0.62	0.48
	上下方向変位：左側方運動 mm ΔZ_2	0.34	0.68	0.99	1.28	1.53	1.74
	上下方向変位：右側方運動 mm ΔZ_3	0.16	0.33	0.48	0.62	0.74	0.84
	ゴシックアーチ展開角：deg $\tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	125	129	132	136	140	145
	側方臼歯路傾斜度：deg 左側方 $\tan^{-1}(\Delta Z_2/-\Delta X_2)$	7	14	20	25	31	37
	側方臼歯路傾斜度：deg 右側方 $\tan^{-1}(\Delta Z_3/\Delta X_3)$	4	7	10	13	16	20
右顎頭中心	左右方向変位： $-\Delta X_2 = \Delta X_3 \text{ mm}$	0.51	0.49	0.45	0.40	0.33	0.26
	前後方向変位：左側方運動 mm ΔY_2	2.91	2.78	2.56	2.27	1.91	1.49
	上下方向変位：左側方運動 mm ΔZ_2	0.51	1.01	1.48	1.91	2.28	2.58
	右側方運動における前後方向変位および上下方向変位は前提により零となる： $\Delta Y_3 = \Delta Z_3 = 0$						
	ゴシックアーチ展開角：deg $\tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	100	100	100	100	100	100

表3 3次元運動軌跡とプログレッシブ・サイドシフト

顎頭球中心間距離を110mm、矢状側方顎路傾斜度を40°、イミディエイト・サイドシフトを0mm、に設定して算出

	左右プログレッシブ・サイドシフト deg	0	10	20	30
切歯点	左右方向変位： $-\Delta X_2 = \Delta X_3$ mm	3.02	3.39	3.71	3.97
	前後方向変位： $\Delta Y_2 = \Delta Y_3$ mm	1.14	1.13	1.10	1.05
	上下方向変位： $\Delta Z_2 = \Delta Z_3$ mm	0.96	0.95	0.92	0.88
	ゴシックアーチ展開角：deg $\tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	138	143	147	150
	側方切歯路傾斜度：deg $\tan^{-1}(\Delta Z_2/-\Delta X_2) = \tan^{-1}(\Delta Z_3/\Delta X_3)$	18	16	14	13
右第1大臼歯近心舌側咬頭	左右方向変位： $-\Delta X_2 = \Delta X_3$ mm	2.37	2.75	3.09	3.38
	前後方向変位：左側方運動 ΔY_2 mm	1.54	1.53	1.48	1.41
	前後方向変位：右側方運動 ΔY_3 mm	0.75	0.74	0.72	0.68
	上下方向変位：左側方運動 ΔZ_2 mm	1.29	1.28	1.24	1.18
	上下方向変位：右側方運動 ΔZ_3 mm	0.63	0.62	0.60	0.57
	ゴシックアーチ展開角：deg $\tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	129	136	141	146
	側方第1臼歯路傾斜度：deg 左側方 $\tan^{-1}(\Delta Z_2/-\Delta X_2)$	29	25	22	19
	側方第1臼歯路傾斜度：deg 右側方 $\tan^{-1}(\Delta Z_3/\Delta X_3)$	15	13	11	10
右顎頭中心	左右方向変位： $-\Delta X_2 = \Delta X_3$ mm	0.00	0.40	0.80	1.21
	前後方向変位：左側方運動 ΔY_2 mm	2.29	2.27	2.21	2.10
	上下方向変位：左側方運動 ΔZ_2 mm	1.92	1.91	1.85	1.76
	右側方運動における前後方向変位および上下方向変位は前提により零となる： $\Delta Y_3 = \Delta Z_3 = 0$				
	ゴシックアーチ展開角：deg $\tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	90	100	110	120

図4 プログレッシブ・サイドシフトを変化させた場合（水平面投影軌跡）

S_P ：左プログレッシブ・サイドシフト

S'_P ：右プログレッシブ・サイドシフト

G.A.：ゴシック・アーチ展開角（ $S_P = S'_P$ の場合）

設定条件：

顎頭球中心間距離： $PP' = 110$ mm

矢状〈側方〉顎路傾斜度： $\alpha_l = \alpha'_l = \alpha_p = 40^\circ$

イミディエイト・サイドシフト： $S_i = S'_i = 0$ mm

太線は $S_P = S'_P = 10$ の場合（標準ケース）

図5 プログレッシブ・サイドシフトを変化させた場合（前頭面投影軌跡）

S_P ：左プログレッシブ・サイドシフト

S'_P ：右プログレッシブ・サイドシフト

設定条件：

顎頭球中心間距離： $PP' = 110 \text{ mm}$

矢状（側方）顎路傾斜度： $\alpha_t = \alpha'_t = \overline{\alpha_p} = 40^\circ$

イミディエイト・サイドシフト： $Si = S'i = 0 \text{ mm}$

太線は $S_P = S'_P = 10^\circ$ の場合（標準ケース）

フトを 0 mm、プログレッシブ・サイドシフトを 10° に設定し、顎頭球中心間距離を 90～140 mm の範囲で変化した場合のデータである。図 6 は水平面、図 7 は前頭面への投影を示している。顎頭球中心間距離が 90 mm から 140 mm への増加するに伴い、切歯点におけるゴシック・アーチの展開角（側方切歯路角）は 149° から 135° へと減少する傾向がみられる。この場合、Posselt の菱形の前後長および上下長は変化しない。

表 5、図 8 および 9 には、顎頭球中心間距離を 110 mm、矢状前方顎路傾斜度および矢状側方顎路傾斜度を 40° 、イミディエイト・サイドシフトを 0 mm から 2.0 mm の範囲で変化した場合のデータである。図 8 は水平面、図 9 は前頭面への投影を示している。他の顎路要素を変化させたケースと図上で比較観察すると、切歯点および第 1 大臼歯近心舌側咬頭のいずれにおいても、運動軌跡の変形する範囲が面積的に際立って大きいことが読み取れる。イミディエイト・サイドシフトが 0 mm から 2.0 mm に増加するに伴い、切歯点におけるゴシック・アーチの展開角（側方切歯路角）は 143° から 156° に増加する傾向がみられる。この場合、Posselt の菱形

の前後長および上下長は変化しない。

表 6、図 10 および 11 は、各顎路要素の実際数値の極限ケースを組み合わせ、水平面投影では、ゴシック・アーチの展開角（側方切歯路角）と Posselt の図形が、また前頭面投影では、側方切歯路傾斜度が変化する経過をたどったものである。図 10 は水平面、図 11 は前頭面への各投影を示している。①は矢状前方顎路傾斜度および矢状側方顎路傾斜度を 40° 、イミディエイト・サイドシフトを 0 mm、プログレッシブ・サイドシフトを 0° 、顎頭球中心間距離を 140 mm に設定した場合で、切歯点におけるゴシック・アーチの展開角（側方切歯路角）が最小値 117° をとる極限ケースである。②は、①のケースにおいて顎頭球中心間距離を 140 mm から 90 mm に減少させた場合、③はさらに②のケースにおいて、プログレッシブ・サイドシフトを 0° から 30° に増加させた場合で、後者は Posselt の菱形の水平面投影面積が最大になる極限ケースである。

また、④は③のケースで矢状前方顎路傾斜度および矢状側方顎路傾斜度を 10° から 60° に増加させた場合、⑤は同じく、③のケースでイミディエイト・サイドシ

表4 3次元運動軌跡と顎頭球中心間距離

矢状側顎路傾斜度を40°, イミディエイト・サイドシフトを0mm, プログレッシブ・サイドシフトを10°, に設定して算出。

	顎頭球中心間距離 mm	90	100	110	120	130	140
切歯点	左右方向変位: $-\Delta X_3 = \Delta X_3$ mm	4.06	3.69	3.39	3.14	2.93	2.75
	前後方向変位: $\Delta Y_2 = \Delta Y_3$ mm	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
	上下方向変位: $\Delta Z_2 = \Delta Z_3$ mm	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	ゴシックアーチ展開角: deg $\tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	149	146	143	140	138	135
	側方切歯路傾斜度: deg $\tan^{-1}(\Delta Z_2/-\Delta X_2) = \tan^{-1}(\Delta Z_3/\Delta X_3)$	13	15	16	17	18	19
右第1大臼歯近心舌側咬頭	左右方向変位: $-\Delta X_2 = \Delta X_3$ mm	3.28		2.75			2.25
	前後方向変位: 左側方運動 ΔY_2 mm	1.61		1.53			1.44
	前後方向変位: 右側方運動 ΔY_3 mm	0.65		0.74			0.82
	上下方向変位: 左側方運動 ΔZ_2 mm	1.35		1.28			1.21
	上下方向変位: 右側方運動 ΔZ_3 mm	0.55		0.62			0.69
	ゴシックアーチ展開角: deg $\tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	142		136			127
	側方臼歯路傾斜度: deg 左側方 $\tan^{-1}(\Delta Z_2/-\Delta X_2)$	23		25			28
	側方臼歯路傾斜度: deg 右側方 $\tan^{-1}(\Delta Z_3/\Delta X_3)$	10		10			17
右顎頭中心	左右方向変位: $-\Delta X_2 = \Delta X_3$ mm	0.40		0.40			0.40
	前後方向変位: 左側方運動 ΔY_2 mm	2.27		2.27			2.27
	上下方向変位: 左側方運動 ΔZ_2 mm	1.91		1.91			1.91
	右側方運動における前後方向変位および上下方向変位は前提により零となる: $\Delta Y_3 = \Delta Z_3 = 0$						
	ゴシックアーチ展開角: deg $\tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	100		100			100

図6 顎頭球中心間距離を変化させた場合(水平面投影軌跡)

PP' : 顎頭球中心間距離

G.A.: ゴシック・アーチ展開角

設定条件:

矢状〈側方〉顎路傾斜度: $\alpha_l = \alpha'_l = \alpha'_r = 40^\circ$

イミディエイト・サイドシフト: $Si = S'i = 0$ mm

プログレッシブ・サイドシフト: $S_p = S'_p = 10^\circ$

太線は $PP'110$ mm の場合(標準ケース)

図7 顎頭球中心間距離を変化させた場合(前頭面投影軌跡)

PP' : 顎頭球中心間距離

設定条件:

矢状〈側方〉顎路傾斜度: $\alpha_l = \alpha'_l = \overline{\alpha_p} = 40^\circ$

イミディエイト・サイドシフト: $Si = S'_i = 0 \text{ mm}$

プログレッシブ・サイドシフト: $S_p = S'_p = 10^\circ$

太線は $PP' = 110 \text{ mm}$ の場合(標準ケース)

表5 3次元運動軌跡とイミディエイト・サイドシフト

矢状側方顎路傾斜度を 40° 、顎頭球中心間距離を110mm、プログレッシブ・サイドシフトを 10° に設定して算出。

	イミディエイト・サイドシフト mm	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
切歯点	左右方向変位: $-\Delta X_2 = \Delta X_3 \text{ mm}$	3.39	3.32	3.26	3.20	3.13
	前後方向変位: $\Delta Y_2 = \Delta Y_3 \text{ mm}$	1.13	0.94	0.75	0.57	0.38
	上下方向変位: $\Delta Z_2 = \Delta Z_3 \text{ mm}$	0.95	0.79	0.63	0.48	0.32
	ゴシックアーチ展開角: $\deg \tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	143	148	154	160	166
	側方切歯路傾斜度: $\deg \tan^{-1}(\Delta Z_2/-\Delta X_2) = \tan^{-1}(\Delta Z_3/\Delta X_3)$	16	13	11	9	6
右第1大臼歯近心舌側咬頭	左右方向変位: $-\Delta X_2 = \Delta X_3 \text{ mm}$	2.75	2.79	2.83	2.88	2.92
	前後方向変位: 左側方運動 $\Delta Y_2 \text{ mm}$	1.53	1.27	1.02	0.77	0.51
	前後方向変位: 右側方運動 $\Delta Y_3 \text{ mm}$	0.74	0.62	0.49	0.37	0.25
	上下方向変位: 左側方運動 $\Delta Z_2 \text{ mm}$	1.28	1.07	0.85	0.64	0.43
	上下方向変位: 右側方運動 $\Delta Z_3 \text{ mm}$	0.62	0.52	0.41	0.31	0.21
	ゴシックアーチ展開角: $\deg \tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	136	143	150	158	165
	側方臼歯路傾斜度: $\deg \tan^{-1}(\Delta Z_2/-\Delta X_2)$	25	21	17	13	8
	側方臼歯路傾斜度: $\deg \tan^{-1}(\Delta Z_3/\Delta X_3)$	13	11	8	6	4
右顎頭中心	左右方向変位: $-\Delta X_2 = \Delta X_3 \text{ mm}$	0.40	0.83	1.27	1.70	2.13
	前後方向変位: 左側方運動 $\Delta Y_2 \text{ mm}$	2.27	1.89	1.51	1.14	0.76
	上下方向変位: 左側方運動 $\Delta Z_2 \text{ mm}$	1.91	1.59	1.27	0.96	0.64
	右側方運動における前後方向変位および上下方向変位は前提により零となる: $\Delta Y_3 = \Delta Z_3 = 0$					
	ゴシックアーチ展開角: $\deg \tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	100	114	130	146	160

図8 イミディエイト・サイドシフトを変化させた場合(水平面投影軌跡)

Si: 左イミディエイト・サイドシフト

S'i: 右イミディエイト・サイドシフト

G.A.: ゴシック・アーチ展開角 (Si=S'i の場合)

設定条件:

顎頭球中心間距離: $\overline{PP'} = 110 \text{ mm}$

矢状〈側方〉顎路傾斜度: $\alpha_l = \alpha'_l = \overline{\alpha_p} = 40^\circ$

プログレッシブ・サイドシフト: $S_p = S'_p = 10^\circ$

太線は Si=S'i = 0 mm の場合 (標準ケース)

図9 イミディエイト・サイドシフトを変化させた場合(前頭面投影軌跡)

Si: 左イミディエイト・サイドシフト

S'i: 右イミディエイト・サイドシフト

設定条件:

顎頭球中心間距離: $\overline{PP'} = 110 \text{ mm}$

矢状〈側方〉顎路傾斜度: $\alpha_l = \alpha'_l = \overline{\alpha_p} = 40^\circ$

プログレッシブ・サイドシフト: $S_p = S'_p = 10^\circ$

太線は Si=S'i = 0 mm の場合 (標準ケース)

表6 極限ケースの3次元運動軌跡

ケース No.		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
顎頭球中心間距離	mm	140	90	90	90	90	90	110
矢状側方顎路傾斜度	deg	10	10	10	60	10	60	40
イミディエイト・サイドシフト	mm	0	0	0	0	2.0	2.0	0
フログレスシブ・サイドシフト	deg	0	0	30	30	30	30	10
切歯点	左右方向変位: $-\Delta X_2 = \Delta X_3$ mm	2.42	3.77	4.76	3.79	3.59	3.26	3.39
	前後方向変位: $\Delta Y_2 = \Delta Y_3$ mm	1.47	1.47	1.28	0.72	0.43	0.24	1.13
	上下方向変位: $\Delta Z_2 = \Delta Z_3$ mm	0.26	0.26	0.22	1.24	0.07	0.41	0.95
	ゴシックアーチ展開角: $\deg \tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	117	137	150	159	166	172	143
	側方切歯路傾斜度: $\deg \tan^{-1}(\Delta Z_2/-\Delta X_2) = \tan^{-1}(\Delta Z_3/\Delta X_3)$	6	4	3	18	1	7	16
右第1大臼歯近心舌側咬頭	左右方向変位: $-\Delta X_2 = \Delta X_3$ mm	1.77	2.75	3.87	3.29	3.29	3.20	2.75
	前後方向変位: 左側方運動 ΔY_2 mm	1.87	2.10	1.82	1.02	0.61	0.34	1.53
	前後方向変位: 右側方運動 ΔY_3 mm	1.07	0.85	0.74	0.41	0.25	0.14	0.74
	上下方向変位: 左側方運動 ΔZ_2 mm	0.33	0.37	0.32	1.77	0.11	0.59	1.28
	上下方向変位: 右側方運動 ΔZ_3 mm	0.18	0.15	0.13	0.72	0.04	0.24	0.62
	ゴシックアーチ展開角: $\deg \tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	102	126	144	156	165	171	136
	側方第1臼歯路傾斜度: 左側方 $\deg \tan^{-1}(\Delta Z_2/-\Delta X_2)$	11	8	5	12	2	10	25
	側方第1臼歯路傾斜度: 右側方 $\deg \tan^{-1}(\Delta Z_3/\Delta X_3)$	6	3	2	28	1	4	13
右顎頭中心	左右方向変位: $-\Delta X_2 = \Delta X_3$ mm	0.00	0.00	1.48	0.83	2.49	2.28	0.40
	前後方向変位: 左側方運動 ΔY_2 mm	2.95	2.95	2.56	1.44	0.85	0.48	2.27
	上下方向変位: 左側方運動 ΔZ_2 mm	0.52	0.52	0.45	2.49	0.15	0.83	1.91
	ゴシックアーチ展開角: $\deg \tan^{-1}(-\Delta X_2/\Delta Y_2) + \tan^{-1}(\Delta X_3/\Delta Y_3)$	90	90	120	120	161	168	100

図10 極限ケースの水平面投影軌跡
設定条件:

①～⑦については、表6を参照

図 11 極限ケースの前頭面投影軌跡

設定条件：

①～⑦については、表 6 を参照

表 7 各顆路要素と削合体積当量 (第1大臼歯近心舌側咬頭 上顎 頰側咬合面 / 下顎 舌側咬合面)

顆路要素	関連表	顆路要素 変化範囲	水平面投影 面積変化	前頭面投影 面積変化	顆路要素変化による 削合体積変化	削合体積当量 0.09mm ³ 当り
矢状側方顆路 傾斜度	表 2 図 2 3	10°～60°	1.35mm ²	2.29mm ²	1.53mm ³	3°
プログレッシブ ・サイドシフト	表 3 図 4 5	0°～30°	0.75mm ²	0.63mm ²	0.46mm ³	6°
顎頭球中心間距離	表 4 図 6 7	90mm～140mm	0.75mm ²	0.63mm ²	0.46mm ³	10mm
イミディエイト ・サイドシフト	表 5 図 8 9	0mm～2.0mm	1.70mm ²	1.42mm ²	1.75mm ³	0.1mm

フトを 0mm から 2.0mm に増加させた場合である。⑥は、③のケースで矢状前方顆路傾斜度および矢状側方顆路傾斜度を 10° から 60° に増加させると共に、イミディエイト・サイドシフトを 0mm から 2.0mm に増加させた場合で、切歯点におけるゴシック・アーチの展開角(側方切歯路角)が最大値 172° をとると同時に、Posselt の菱形の水平投影面積も最小になる極限ケースである。図 10 および 11 中に太い実線で示した⑦のケースは比較のための標準ケースで、その設定値は前記と同じである。

表 7 の第 4 欄と第 5 欄には、矢状側方顆路傾斜度、プログレッシブ・サイドシフト、顎頭球中心間距離、イミディエイト・サイドシフトの 4 つの顆路要素を、第 3 欄に表示した数値範囲内で変化させたときに、図 2～9 に表示されている第 1 大臼歯近心舌側咬頭の頰側運動軌跡が、それぞれ水平面投影および前頭面投影において変化する範囲を図上測定した結果である。また、表 7 の第 6 欄には、水平面投影と前頭面投影において図上測定した変化範囲を 3 次的に合成し、体積的变化を算出した結果を示した。さらに表 7 の第 7 欄

には、一定の体積変化を起こさせる各顆路要素の変化量を算出し、削合体積当量と名付けて、あわせ表示した。

考 察

各顆路要素を変化させた場合に、咬合器上に定めた3つの特定点がどのように変化するかを知るために、シミュレーション計算を行った。ここに得られた結果は咬合器の運動だけでなく、ヒトの下顎運動全般に関する従来の知見を点検し、また、咬合に関する新たな予測を行う場合にも有用であると考えられる。

表2、図2および3を見ると、矢状顆路傾斜度は水平面投影および前頭面投影のいずれにおいても、臼歯部の咬頭形状に大きな影響をもつことが読み取れる。これは Gysi⁵⁾ 以来の知見と合致しており、矢状顆路傾斜度が大きいほど咬頭傾斜（矢状臼歯路傾斜度および側方臼歯路傾斜度）は急峻に削合され、臼歯部におけるゴシック・アーチの展開角（側方臼歯路角）も大となる傾向がみられる。

表3、図4および5を見ると、プログレッシブ・サイドシフトは矢状顆路傾斜度に比し、水平面投影および前頭面投影のいずれにおいても、臼歯部の咬頭形状に及ぼす影響が相対的に小さいことがはっきり読み取れる。プログレッシブ・サイドシフトはイミディエイト・サイドシフトが零であるときのベネット角に相当するが、プログレッシブ・サイドシフトの影響が相対的に小さいことは従来の知見と一致する。しかし、その影響は全く無視できるほど小さくはないので、ベネット角（側方顆路角）は臼歯部の咬頭形状に全く影響しないとした Gysi の見解は誤りである。プログレッシブ・サイドシフトが大になると、臼歯部におけるゴシック・アーチの展開角（側方臼歯路角）もまた大となる傾向があり、逆に側方臼歯路傾斜度は小となる傾向がある。

表4、図6および7を見ると、顆頭球中心間距離の変化が臼歯部咬頭形状に及ぼす影響は無視できないが、その影響の程度はプログレッシブ・サイドシフトと同程度で、あまり大きくないことが分かる。従来の知見でも、顆頭球中心間距離の影響はさほど重視されず、半調節性咬合器は顆頭球中心間距離の調節機能をもたないのが普通であった。そして、この機能は全調節性

咬合器においてはじめて付与されてきたが、その設計方針は正しかったと言える。顆頭球中心間距離が大きくなるほど、臼歯部におけるゴシック・アーチの展開角（側方臼歯路角）が小さくなる傾向がみられるが、これは、Gysi が側方切歯路角が小さくなるほど、左右側方運動回転中心点（Gysi の P.R.O.）が相互に遠く離れて、その間の距離が大になるとしているのに対応している。

表5、図8および9を見ると、イミディエイト・サイドシフトは水平面投影および前頭面投影のいずれにおいても、臼歯部の咬頭形状に大きな影響を及ぼし、その度合は矢状側方顆路傾斜度のそれに勝るとも劣らないものであることが読み取れる。イミディエイト・サイドシフトは、Gysi が考慮に入らなかった顆路要素であるが、ナソロジー学派^{6,7,8)}の人々が従来からこの顆路要素を重視してきたことが正しかったことが、本研究により定量的に明らかになった。イミディエイト・サイドシフトが大になると、水平投影面では臼歯部におけるゴシック・アーチの展開角（側方臼歯路角）が大になる傾向がある。また、イミディエイト・サイドシフトが大になるにつれ、側方臼歯路角は小さくなるので、一見咬頭傾斜が緩やかになるように見えるが、前方咬合局面の咬頭傾斜は変わらないので、むしろ側方に向かって底が平らにえぐられた溝状の窩を形成することになる。

表6、図10および11を見ると、①から⑥への極限ケースの移行過程がよく分かる。矢状顆路傾斜度を小さく設定した、①、②、③および⑤のケースでは、Posselt の図形の水平面投影面積は比較的大きいものの、前頭面投影はつぶれた形になり咬頭傾斜が底く削合されるので、体積的な変化は少ない。それに対し、矢状顆路傾斜度を大きくとった④および⑥や、標準的な⑦のケースでは、咬頭傾斜が急峻に削合されるため、Posselt の図形の水平面投影面積は比較的小さいものの、削合量が大きく変化の度合も大きいので咬合調整は微妙になる。イミディエイト・サイドシフトを考慮に入れない場合、切歯点におけるゴシック・アーチの展開角（側方切歯路角）は最小117°、最大159°の間に变化し、標準ケースでは143°になると算出されたが、Gysi によると、最小100°から最大140°、平均120°とされているので、全体として20°の差を生じた。この相違

の原因としては、本研究で算出に用いた顔形寸法と Gysi の測定した被験者のそれとの相違や、矢状切歯路傾斜度が本研究の設定条件と Gysi の測定条件とで相違していることなどが考えられる。なお、イミディエイト・サイドシフトを考慮に入れると、切歯点におけるゴシック・アーチの展開角（側方切歯路角）の最大値は 172° に達する。

表 7 に示した全体比較データにより、側方運動において各顆路要素が臼歯部の咬頭形状に与える影響の度合の相対比較ができるようになったが、削合体積 0.09 mm 当たりの“当量”として、矢状側方顆路傾斜度 3°、プログレッシブ・サイドシフト 6°、顆頭球中心間距離 10 mm、イミディエイト・サイドシフト 0.1mm という値が得られた。これらの値がそれぞれの変化範囲に対する割合を % で表わすと、矢状側方顆路傾斜度では 6%、プログレッシブ・サイドシフトでは 20%、顆頭球中心間距離では 20%、イミディエイト・サイドシフトでは 5% となるので、結論として、臼歯部の咬頭形状に影響する度合は矢状側方顆路傾斜度とイミディエイト・サイドシフトが互いにほぼ等しく、それぞれの影響の度合を 1 とすると、プログレッシブ・サイドシフトと顆頭球中心間距離の影響の度合は、それぞれ約 1/4 になることが分かった。

以上の結果から、半調節性咬合器と全調節性咬合器のあるべき姿として、前者は矢状顆路傾斜度とイミディエイト・サイドシフトの調節機能をもつべきであり、後者はそれらに加え、プログレッシブ・サイドシフトと顆頭球中心間距離の調節機能をあわせもつべきであるということが分かった。従って、半調節性咬合器のうち矢状顆路傾斜度とベネット角の調節機能だけを有するものは、設計上機能的にバランスを欠いたものと判断される。なお、全調節性咬合器においてイミディエイト・サイドシフトからプログレッシブ・サイドシフトへ移行する部分のアナログ湾曲部は、両者の中間の重要度を有するものと考えられる。

本研究により、咬合器の各顆路要素が臼歯部の咬頭形状に及ぼす影響の度合がはじめて定量的に明らかになり、矢状側方顆路傾斜度は言うに及ばず、イミディエイト・サイドシフトの重要性があらためて認識された。そういった意味合いで、運動学に立脚し、明確な前提条件のうえに成立するこのような定量的データは、

従来報告された例のないものといえる。

本研究で示した算出例は、前報（第 2 報）で導出した咬合器の各運動様式ごとの実用演算式の応用例の一端に過ぎない。前報で導出した実用演算式は、各種咬合器の具体的な設計を考慮に入れた精度計算、咬合器を用いて削合を行った場合の各咬合局面の形状や傾斜の計算、理想的な下顎運動シミュレータの設計計算をはじめ、下顎運動の自動電子計測システムや自動ワクシング・ロボットの開発への応用など、多くの発展性を秘めている。算出精度も第 1 報で示唆したように、2 次の微小項の導入によりさらに高度なものへ進める余地が残されている。

咬合の研究において一般に行われてきた“頭の中で立体的に考える”方法や“幾何学的に作図する”方法は、定性的でかつ誤謬が入り込み易い欠点がある。これからは下顎運動や咬合器の運動のような超精密な運動の解析、計測、再現、評価は、すべてコンピュータを用いて“数式に聞かねばならない”段階に入りつつあるのではないだろうか。

結 論

前報において報告した実用演算式に実際数値例を代入し、前方、左側方、右側方の各運動時に咬合器上に設定した上顎部の切歯点、第 1 大臼歯近心舌側咬頭、顆頭球中心が描く 3 次元運動軌跡をコンピュータにより算出し、次の結論を得た。

1. 矢状顆路傾斜度は臼歯部の咬頭形状に大きな影響を与え、矢状顆路傾斜度が大きいほど咬頭傾斜は急峻になり、ゴシック・アーチの展開角も大となる傾向が見られた。
2. プログレッシブ・サイドシフトとベネット角は矢状顆路傾斜度に比し臼歯部の咬頭形状に及ぼす影響が小さいが、しかしその影響は、全く無視できないほど小さくはない。
3. 顆頭球中心間距離が臼歯部の咬頭形状に及ぼす影響は、プログレッシブ・サイドシフトと同程度である。
4. イミディエイト・サイドシフトは臼歯部の咬頭形状に大きな影響を及ぼし、その度合は矢状側方顆路傾斜度に勝るとも劣らない。ナソロジーにおいて、イミディエイト・サイドシフトを重視してき

たことが正しかったことが、本研究により定量的に明らかになった。

5. 側方運動において、各顎路要素が臼歯部の咬頭形状に与える影響の度合の相対比較を行い、削合体積 0.09 mm³当たりの“当量”として、矢状側方顎路傾斜度 3°、プログレッシブ・サイドシフトとベネット角 6°、顎頭球中心間距離 10 mm、イミディエイト・サイドシフト 0.1mm という値が得られた。

6. 上記の値のそれぞれの変化範囲に対する割合から、各顎路要素が臼歯部の咬頭形状に影響する度合を求めた。その結果、矢状側方顎路傾斜度とイミディエイト・サイドシフトはほぼ等しく、その影響の度合を 1 とすると、プログレッシブ・サイドシフトとベネット角および顎頭球中心間距離の影響の度合は、約 1/4 であることが分かった。

参考文献

- 1) 保母須弥也, 高山寿夫: 咬合器の運動の数式的表現, 第 1 報 基本式の導出, 日本顎咬合学会誌, 3 (1・2): 3~10, 1982
- 2) 保母須弥也, 高山寿夫: 咬合器の運動の数式的表現, 第 2 報 各運動様式の数式的表現, 日本顎咬合学会誌, 3 (4): 11~20, 1982
- 3) 上条雍彦: 口腔解剖学, 1 骨学, 225~348, アナトーム社 (東京), 1966
- 4) Posselt, ULF.: Physiology of occlusion and rehabilitation. 2nd ed Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1968
- 5) Gysi, A.: Kieferbewegung und Zahnform: in Scheff, J. Handbuch der Zahnheilkunde, Berlin /Wien, 1929
- 6) McCollum, B.B., Stuart, C.E.: A research report, Basic text for the post graduate course in gnathology. School of Dentistry, University of California, South Pasadena, California, Scientific Press, 1955
- 7) Guichet, N.F.: Occlusion, A Collection of Monographs. The Dener Corporation, California, 1970
- 8) Huffman, R. W., Regenos, J. W.: Principles of Occlusion, H & R Press, Ohio, 1973