原 著 論 文

下顎運動要素の歯牙路への影響

その 7 平衡側側方顆路角

真柳 昭紘 栗山 實 新井 泉 長谷川成男

Influence of the Factors of Mandibular Movement on Tooth Path

Part 7. Angle of Lateral Condylar Path of Nonworking Side

Akihiro Mayanagi, Minoru Kuriyama, Izumi Arai and Shigeo Hasegawa

Abstract : The object of this study was to analyze mathematically the effect of lateral condylar path of nonworking side on tooth paths.

The conclusions of calculation were

1. The error that gives the lateral condylar path of the nonworking side is directly proportional to the error that appears in tooth paths. The error of tooth path was about 90% of the error's value which produces the lateral condylar path of the nonworking side.
2. The relation between the lateral condylar path of the nonworking side and tooth paths is not influenced by the direction of nonworking condylar movement or the angle of the sagittal incisal path. However, it is influenced by the direction of working condylar movement.
3. Angle of the lateral condylar path has more influences on the angle of tooth paths than that of the sagittal condylar path as for the condylar path of the nonworking side.

Key words : lateral excursion, lateral condylar path of nonworking side, mathematical analysis

I. 結 言

著者らは下顎運動要素, すなわち, 顆路と切歯路が歯牙路に及ぼす影響について, 下顎運動に対する立体モデル¹⁾を応用して, 解析幾何学的に検討を加えている。

側方運動における平衡側顆路に付与した上下の誤差が歯牙路に及ぼす影響に関しては, すでに解析幾何学的に算出し, 次のような結果を得ている。平衡側矢状顆路の誤差は臼歯部の平衡側運動路において, 約 44% に, そして作業側運動路において, 約 17% に減少する²⁾。

そこで, 今回は平衡側側方顆路に対して, 水平的誤差を

付与することにより, 歯牙路への影響について検討を加え, 平衡側顆路が歯の咬合面形態に対してもつ意味を明らかにしたい。

II. 算 出 法

側方運動において, 平衡側側方顆路角の変化が歯牙路へ及ぼす影響を算出する方法は平衡側矢状顆路角の場合と同様である (図 1)。

まず, 下顎運動に対する立体モデルの方程式に以下の平均的な位置要素を代入する。

作業側顆頭点	WC	(0, 0, 0)
平衡側顆頭点	BC	(0, 110, 0)
切歯点	I	(85, 55, -35)
平均的臼歯部点	MW	(40, 25, -35)
	MB	(40, 85, -35)

次に, 平均的側方運動要素を基準として, 以下のような

東京医科歯科大学歯学部歯科補綴学第二講座 (主任: 長谷川成男教授)

Department of Prosthodontics II, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University (Chief: Prof. Shigeo Hasegawa)

平成 10 年 7 月 7 日受付

図 1 Calculation method of tooth path
WC : condylar point of working side
BC : condylar point of nonworking side
I : incisal point, MB : molar of nonworking side, MW : molar of working side
歯牙路の算出法
WC : 作業側顆頭点, BC : 平衡側顆頭点, I : 切歯点, MB : 臼歯部平衡側, MW : 臼歯部作業側

側方運動要素を方程式に代入することにより、各歯牙路を算出する。

平衡側顆路移動距離	$a : 2, 4, 6 \text{ mm}$
平衡側顆路矢状面投影角	$\theta : 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$
平衡側顆路水平面投影角	$\alpha_1 : 5^\circ, 10^\circ, 20^\circ$
作業側顆路水平面投影角	$\beta : -60^\circ \sim 60^\circ$
作業側顆路前頭面投影角	$\gamma : -60^\circ \sim 60^\circ$
切歯路矢状面投影角	$\psi : 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ$

再現した側方運動に対して、平衡側顆路 $BC \cdot BC'$ を $BC \cdot BC''$ へ水平的に変化させ、平衡側顆路に $E \cdot BC$ ($BC' \cdot BC''$) の誤差を付与し、各歯牙路の誤差 ($I' \cdot I''$, $MB' \cdot MB''$, $MW' \cdot MW''$) を算出する。

平衡側側方顆路に付与した水平的誤差と算出した歯牙路の誤差を比較、検討することにより、平衡側顆路の歯牙路への影響を明らかにすることが可能である。

III. 結果および考察

1. 平均的側方運動について

生体の平均的側方運動要素、すなわち、平衡側顆路矢状面投影角 $\theta = 40^\circ$ 、水平面投影角 $\alpha_1 = 10^\circ$ 、作業側顆路水平面投影角 $\beta = 0^\circ$ 、前頭面投影角 $\gamma = 0^\circ$ 、そして切歯路矢状面投影角 $\psi = 60^\circ$ において、平衡側顆路水平面投影角の変化が歯牙路へ及ぼす影響について検討を加える (図 2)。

平衡側顆路移動距離 a に 4 mm を与え、平衡側顆路水平面投影角 $\alpha_1 = 10^\circ$ を基準として、平衡側顆路水平面投影

図 2 The relation between error of nonworking condylar path ($E \cdot BC$) and error of tooth path ($E \cdot T$)

I : incisal point, MB : molar of nonworking side, MW : molar of working side, Movement distance of nonworking condylar path : $a = 4 \text{ mm}$, Angle of sagittal projection of nonworking condylar path : $\theta = 40^\circ$, Angle of horizontal projection of nonworking condylar path : $\alpha_1 = 10^\circ$, $\alpha_2 = 4^\circ \sim 16^\circ$, Angle of horizontal projection of working condylar path : $\beta = 0^\circ$, Angle of frontal projection of working condylar path : $\gamma = 0^\circ$, Angle of sagittal projection of incisal path : $\psi = 60^\circ$
平衡側顆路の誤差 ($E \cdot BC$) と歯牙路の誤差 ($E \cdot T$) との関係

I : 切歯点, MB : 臼歯部平衡側, MW : 臼歯部作業側, 平衡側顆路移動距離 : $a = 4 \text{ mm}$, 平衡側顆路矢状面投影角 : $\theta = 40^\circ$, 平衡側顆路水平面投影角 : $\alpha_1 = 10^\circ$, $\alpha_2 = 4^\circ \sim 16^\circ$, 作業側顆路水平面投影角 : $\beta = 0^\circ$, 作業側顆路前頭面投影角 : $\gamma = 0^\circ$, 切歯路矢状面投影角 : $\psi = 60^\circ$

角 α_2 を内側および外側へ 2° 間隔で、 4° から 16° まで変化させる。その結果、平衡側側方顆路に水平面投影角で 2° 変化させると、0.11 mm の相違がみられた。

平衡側側方顆路の誤差が増加すると、歯牙路における誤差も比例して増加する。平衡側顆路に対して、水平的誤差を外側方向に付与した場合に、歯牙路の誤差は切歯路において、付与した平衡側顆路の水平的誤差の 92% を、臼歯部の平衡側、作業側運動路で 95% を示しており、水平的誤差を内側方向に付与した場合には、切歯路は 85% そして臼歯部の平衡側、作業側運動路は 91% を示している。このように、平衡側側方顆路に水平的誤差を付与する方向が歯牙路へ及ぼす影響は小さい。

また、歯牙路の誤差は歯の位置に関係なくほぼ一定の値を示しており、その値は平衡側側方顆路に付与した水平的誤差の約 90% に相当している。

図 3 および図 4 は平均的側方運動要素において、平衡側顆路水平面投影角 $\alpha_1 = 10^\circ$ を内側および外側へそれぞれ 4° 変化させた場合の歯牙路の水平面投影図および前頭面投影図である。

水平面投影図 (図 3) にみられるように、平衡側顆路水平面投影角が増加するに従い、切歯路、臼歯部の平衡側、

図3 Tooth path viewed in the horizontal plane

I: incisal point, MB: molar of nonworking side, MW: molar of working side, Movement distance of nonworking condylar path: $a=2, 4, 6$ mm, Angle of sagittal projection of nonworking condylar path: $\theta=40^\circ$, Angle of horizontal projection of nonworking condylar path: $\alpha_1=6^\circ, 10^\circ, 14^\circ$, Angle of horizontal projection of working condylar path: $\beta=0^\circ$, Angle of frontal projection of working condylar path: $\gamma=0^\circ$, Angle of sagittal projection of incisal path: $\psi=60^\circ$

歯牙路の水平面投影図

I: 切歯点, MB: 臼歯部平衡側, MW: 臼歯部作業側, 平衡側顆路移動距離: $a=2, 4, 6$ mm, 平衡側顆路矢状面投影角: $\theta=40^\circ$, 平衡側顆路水平面投影角: $\alpha_1=6^\circ, 10^\circ, 14^\circ$, 作業側顆路水平面投影角: $\beta=0^\circ$, 作業側顆路前頭面投影角: $\gamma=0^\circ$, 切歯路矢状面投影角: $\psi=60^\circ$

作業側運動路はともに、前方より後方へと変化する。そして、歯の咬合面形態への具体的な影響としては、下顎臼歯部の咬頭が平衡側顆路水平面投影角の増加に伴い、より遠心方向へ運動するので、対応する上顎臼歯部の溝および隆線の位置も遠心方向へ移動させることが必要になる。

平衡側側方顆路の歯牙路へ及ぼす影響について、Aull³⁾, Price⁴⁾は調節性咬合器と描記法を応用することにより、また Roedema^{5,6)}, Knapp⁷⁾, Schulte⁸⁾は咬合器を基準としたコンピューターシステムにより、上顎第1大臼歯の近心舌側咬頭頂の運動路を測定している。その結果、著者らの結果と同様に水平面において、平衡側側方顆路角が増大するのに伴い、上顎第1大臼歯の運動路が近心（前方）へ移動することを認めている。

前頭面投影図（図4）においては、平衡側顆路水平面投影角が増加すると、歯牙路は下方より上方へと変化する。歯の咬合面形態に関しては、下顎臼歯部の咬頭が平衡側顆路水平面投影角の増加に伴い、下方より上方へ運動するので、上顎臼歯部の溝を深く、隆線を低くしたり、逆に、下顎臼歯部の咬頭傾斜を緩くする必要がある。

前頭面についても、測定部位の相違はあるが、著者らの結果は Aull³⁾, Price⁴⁾, Roedema^{5,6)}, Knapp⁷⁾ とほぼ同様の結果を示している。そして、平衡側側方顆路角の

歯牙路への影響を三次元的に検討すると、平衡側顆路の水平面投影角が増加するのに伴い、下顎臼歯部の運動路は平衡側、作業側共に、後上方へ変化するようになる。

2. 側方運動要素の影響

平均的側方運動において、平衡側顆路水平面投影角の誤差は歯牙路に対して約90%の誤差として現れているが、側方運動の各要素を変化させた場合に、平衡側側方顆路と歯牙路との関係がどのように変化するかについて検討を加える。

まず、平衡側顆路に移動距離 $a=4$ mm を与えた平均的側方運動に対し、平衡側顆路水平面投影角 $\alpha_1=10^\circ$ を $\alpha_2=16^\circ$ に変化させ、平衡側側方顆路に 0.33 mm の水平的誤差を付与し、切歯路矢状面投影角 ψ を $40^\circ, 60^\circ, 80^\circ$ と変化させた場合の各歯牙路の誤差を算出する（図5）。

図5にみられるように、切歯路矢状面投影角を変化させても、平衡側側方顆路と歯牙路との関係に変化はなく、歯牙のガイドが平衡側側方顆路の誤差と歯牙路の誤差との関係に影響を及ぼしていないことがわかる。

図6は平衡側顆路矢状面投影角 θ を $30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ と変化させた場合である。この場合においても、平衡側側方顆路と歯牙路との関係に変化はないといえる。

図 4 Tooth path viewed in the frontal plane
歯牙路の前頭面投影図

図 7 は平衡側顆路水平面投影角の影響について検討した結果である。平衡側顆路水平面投影角 α_1 を 5° , 10° , 20° と変化させ、さらにそれぞれに 11° , 16° , 26° の角度を与え、それぞれの平衡側側方顆路に 0.33 mm の水平的誤差を付与して、平衡側顆路水平面投影角の歯牙路への影響を算出する。

その結果、平衡側顆路水平面投影角が増加するに従い、各歯牙路の誤差は減少傾向を示している。平衡側顆路水平面投影角 10° につき、歯牙路の変化量は臼歯部の平衡側運動路で、 0.024 mm 、作業側運動路で 0.029 mm 、そして切歯路で 0.040 mm で、平衡側側方顆路において変化させた角度に比較して、歯牙路における誤差の変化量は小さい。したがって、平衡側顆路水平面投影角の変化が平衡側側方顆路と歯牙路の関係に及ぼす影響は小さいといえる。

最後に、作業側顆路水平面投影角 β と前頭面投影角 γ の影響について検討を加える (図 8)。平衡側顆路水平面投影角 $\alpha_1 = 10^\circ$ に対して $\alpha_2 = 14^\circ$ を与え、平衡側側方顆路に 0.22 mm の水平的誤差を付与して、作業側顆路水平面投影角 β 、前頭面投影角 γ をそれぞれ $-45^\circ \sim 45^\circ$ まで変化させ、各歯牙路の相違を算出する。各歯牙路の相違は作業側顆路の矢状面投影方向に合わせ、長さとして表示しており、また、図中の円は平衡側側方顆路に付与した水平的誤差の値 0.22 mm を表している。

作業側顆路の運動方向、また歯の位置により、歯牙路の誤差は著しく異なっている。作業側顆路が後外方、後外上方、そして外上方方向を示す場合に、各歯牙路の誤差は大

きくなり、平衡側側方顆路に付与した水平的誤差より大きな値を示す。特に、作業側顆路が後外上方方向を示す場合にその傾向は著しい。このような現象は平衡側顆路に付与した水平的誤差と作業側顆路の運動方向が下顎の平行移動的な運動を示す場合に、歯牙路の誤差の増幅として現れたのであろう。

臼歯部の平衡側、作業側運動路に対する平衡側顆路水平面投影角の影響をさらに詳細に検討するため、作業側顆路水平面投影角 β 、前頭面投影角 γ をそれぞれ 0° より、 $-15^\circ \sim 15^\circ$ 、 $-30^\circ \sim 30^\circ$ 、 $-45^\circ \sim 45^\circ$ 、 $-60^\circ \sim 60^\circ$ まで変化させる (図 9, 10)。

図 9 は作業側顆路の水平面、前頭面投影角を変化させた場合における平衡側側方顆路に付与した水平的誤差と臼歯部平衡側運動路の誤差との関係を示している。作業側顆路の運動範囲が増加するのに伴い、平衡側顆路に付与した水平的誤差と臼歯部平衡側運動路の誤差との関係は大きく変化する。すなわち、作業側顆路が前外上方より、前外下方を経て、後外下方を示す場合には、作業側顆路の運動範囲が拡大するのに伴い、臼歯部平衡側運動路の誤差は平衡側顆路の水平的誤差より減少する傾向を示している。しかし、作業側顆路が前外上方より、後外上方を通り、後外下方へと変化する場合には、作業側顆路の運動範囲が拡大するのに伴い、臼歯部平衡側運動路の誤差は著しく増加する。

図 10 は平衡側顆路水平面投影角と臼歯部作業側運動路の関係に対する作業側顆路の影響を示している。平衡側顆

図5 Influence of angle of sagittal incisal path (ψ)
I: incisal point, MB: molar of nonworking side, MW: molar of working side, Movement distance of nonworking condylar path: $a=4$ mm, Angle of sagittal projection of nonworking condylar path: $\theta=40^\circ$, Angle of horizontal projection of nonworking condylar path: $\alpha_1=10^\circ$, $\alpha_2=16^\circ$, Angle of horizontal projection of working condylar path: $\beta=0^\circ$, Angle of frontal projection of working condylar path: $\gamma=0^\circ$, Angle of sagittal projection of incisal path: $\psi=40^\circ, 60^\circ, 80^\circ$, Error of nonworking condylar path: $E \cdot BC=0.33$ mm
切歯路矢状面投影角 ψ の影響

I: 切歯点, MB: 臼歯部平衡側, MW: 臼歯部作業側, 平衡側顆路移動距離: $a=4$ mm, 平衡側顆路矢状面投影角: $\theta=40^\circ$, 平衡側顆路水平面投影角: $\alpha_1=10^\circ$, $\alpha_2=16^\circ$, 作業側顆路水平面投影角: $\beta=0^\circ$, 作業側顆路前頭面投影角: $\gamma=0^\circ$, 切歯路矢状面投影角: $\psi=40^\circ, 60^\circ, 80^\circ$, 平衡側顆路の誤差: $E \cdot BC=0.33$ mm

図6 Influence of condylar inclination in nonworking side (θ)
平衡側顆路矢状面投影角 θ の影響

図7 Influence of angle of horizontal projection in nonworking side (α)
平衡側顆路水平面投影角 α の影響

路に付与した水平的誤差に対する臼歯部作業側運動路の誤差は作業側顆路の投影角が増加するに伴い、ほとんどの運動方向において、増加傾向を示しており、特に、その傾向は作業側顆路が後外上方方向を示す場合に著しい。

作業側顆路の運動方向の変化に伴い、平衡側顆路の水平的誤差は臼歯部の平衡側、作業側運動路に対して、著しい影響を及ぼしていることになる。

以上のように、平衡側顆路に付与した水平的誤差が歯牙路に及ぼす影響について、側方運動要素を変化させながら詳細に検討を加えた。その結果、切歯路矢状面投影角および平衡側顆路の矢状面投影角、水平面投影角を変化させても、平衡側側方顆路に付与した水平的誤差と歯牙路に現れる誤差との関係はほとんど変わらなかった。

しかし、作業側顆路の運動方向を変化させると、平衡側顆路の水平的誤差と歯牙路の誤差との関係は著しく変化し、複雑な様相を呈する。作業側顆路が後外方、後外上方、そして外上方方向を示す場合に、歯牙路の誤差は平衡側顆路に付与した水平的誤差の値を超える大きな値を示

す。また、臼歯部の作業側運動路は作業側顆路がどのような運動方向を示しても、平衡側顆路の水平的誤差の影響を強く受ける。

3. 平衡側顆路の歯牙路への影響

平衡側顆路に上下的誤差を付与した場合に、歯牙路の誤差は側方運動要素の影響を受けることなく、一定の値を示している。そして、歯牙路の誤差は平衡側顆路の上下的誤差の値に対して、切歯路および臼歯部の平衡側運動路において、約44%、そして臼歯部の作業側運動路において、約17%の値を示している²⁾。

一方、平衡側顆路に水平的誤差を付与した場合に、歯牙路の誤差は作業側顆路の運動方向に影響を受けているが、平均的な側方運動要素において、各歯牙路はほぼ一定の値を示し、その値は平衡側顆路に付与した水平的誤差の約90%に相当している。

歯牙路に対して、平衡側顆路の水平的誤差が上下的誤差よりも、大きな影響を与えていることは明らかである。下

圖 8 Influence of angle of horizontal projection (β) and angle of frontal projection (γ) on working condylar path
作業側顆路水平面投影角 β 和前頭面投影角 γ 的影響

図 9 The relation between working condylar path and error of nonworking molar path
作業側顆路と臼歯部平衡側運動路の誤差との関係

図 10 The relation between working condylar path and error of working molar path
作業側顆路と臼歯部作業側運動路の誤差との関係

顎の滑走運動は基本的にその水平要素を顎関節が、そして上下要素を上下顎の歯が規制しており、平衡側顆頭の上下的誤差は顆頭の矢状的回転によって、吸収されてしまうために、歯牙路への影響が少なく、水平的誤差は歯牙路へ直接伝達されるため、歯牙路での誤差が大きく現れるのであろう。

さらに、平衡側顆路の歯牙路への影響を明確にするため、平衡側矢状顆路角および側方顆路角の変化を投影角としてではなく、それぞれの実角の変化として付与することにより検討を加える。

平均的側方運動要素において、平衡側顆路矢状面投影角

$\theta=40^\circ$ を実角に換算すると 39.6° となり、平衡側顆路水平面投影角 $\alpha_1=10^\circ$ は実角では 7.7° となる。平衡側顆路の基準平面に対する角度差により、平衡側側方顆路角のほうが投影角と実角の差異が大きく現れる。

平衡側顆路に対して、5°の実角を付与すると、平衡側顆路移動距離 $a=4\text{ mm}$ において、平衡側顆路に 0.35 mm の誤差が生じる。平均的側方運動要素を基準として、平衡側顆路に 0.35 mm の上下的誤差を付与すると、切歯路および臼歯部平衡側運動路に 0.16 mm 、そして臼歯部作業側運動路に 0.06 mm の誤差を生じる。一方、平衡側顆路

に0.35 mmの水平的誤差を付与すると、切歯路に0.30 mm、そして臼歯部平衡側、作業側運動路に0.32 mmの誤差が生じる。

各歯牙路に対する平衡側顆路の影響度は、切歯路において、水平的誤差が上下的誤差の1.9倍、臼歯部平衡側運動路において、2.1倍、そして臼歯部作業側運動路において、5.4倍である。

また、実際の臨床において、歯の咬合面形態に対する近似再現^{9,10)}の値を0.20 mmと仮定すれば、平均的側方運動要素における平衡側矢状顆路の許容できる角度は臼歯部平衡側運動路に対して、投影角で6.4°、実角で6.3°であり、臼歯部作業側運動路に対して、投影角で17.1°、実角で16.9°である。一方、平衡側側方顆路の許容できる角度は臼歯部平衡側、作業側運動路において、投影角で4.0°、実角で3.9°である。

以上のように、歯の咬合面形態に対する平衡側顆路の許容できる角度は側方顆路角で矢状顆路角より著しく小さい。また、平衡側顆路の水平的誤差が歯牙路へ及ぼす影響度は作業側顆路の運動方向に強い影響を受け、歯牙路における誤差は増大する傾向にある。

したがって、側方運動を咬合器上に再現するにあたっては、平衡側顆路の側方顆路角を厳密に再現する必要がある。

IV. 結 論

側方運動において、平衡側側方顆路角の変化が歯牙路へ及ぼす影響を解析幾何学的に算出し、次のような結論を得た。

1. 平衡側側方顆路に付与した誤差と歯牙路に現れる誤差は正比例の関係にある。
2. 平均的側方運動において、歯牙路の誤差は平衡側側方顆路に付与した誤差の約90%の値を示している。
3. 平衡側側方顆路と歯牙路の関係は平衡側顆路の運動

方向および矢状切歯路角の影響を受けることはないが、作業側顆路の運動方向の影響は受ける。

4. 平衡側顆路において、側方顆路角は矢状顆路角に比較して、歯牙路に対する影響が大きい。

文 献

- 1) 長谷川成男, 真柳昭紘, 新井 泉. 下顎運動要素の歯牙路への影響. その1 算出法. 補綴誌 24: 54-58, 1980.
- 2) 真柳昭紘, 栗山 実, 長谷川成男ほか. 下顎運動要素の歯牙路への影響. その6 平衡側矢状顆路角. 補綴誌 38: 848-855, 1994.
- 3) Aull AE. Condylar determinants of occlusal patterns. J Prost Dent 15: 826-846, 1965.
- 4) Price RB, Kolling JN, Clayton JA. Effects of changes in articulator settings on generated occlusal tracings. Part I Condylar inclination and progressive side shift settings. J Prost Dent 65: 237-243, 1991.
- 5) Roedema WH, Knapp JG, Spencer J et al. Computer-graphic representation of mandibular movements in three dimensions. Part I The horizontal plane. J Prost Dent 39: 378-383, 1978.
- 6) Roedema WH, Knapp JG, Spencer J et al. Computer-graphic representation of mandibular movements in three dimensions. Part II The sagittal and frontal planes. J Prost Dent 40: 385-391, 1978.
- 7) Knapp JG. Computer graphic representation of mandibular movements in three dimensions. Method. J Oral Rehabil 10: 295-305, 1983.
- 8) Schulte JK, Wang SH, Erdman AG et al. Three-dimensional analysis of cusp travel during a nonworking mandibular movement. J Prosthet Dent 53: 839-843, 1985.
- 9) 長谷川成男, 真柳昭紘, 野村孝太郎. 側方運動の pattern から見た咬合器の選択. 補綴誌 18: 122-125, 1974.
- 10) 長谷川成男. 咬合学序説—機能的咬合面形態を求めて— 208-212. 東京: 医歯薬出版, 1988.