原著論文

顎運動解析パラメータの標準化に関する検討
—切歯点における限界運動路解析—

竹内 久裕 坂東 永一* 安倍 晋**

Studies on the Standardization of Parameters for Jaw Movements Analysis
—Jaw Movement Analysis at the Incisal Point—

Takeuchi Hisahiro, Bando Eiichi* and Abe Susumu**

歯科補綴学的意義

顎運動は顎口腔系の状態を評価する上で重要な情報を含んでいる。しかし研究者や臨床家が共通して利用可能な限界運動路の解析パラメータやその基準値については未だ確立されていない。本研究では限界運動時の切歯点運動経路に焦点を当て、解析時の基準座標系が違っていても、同じ項目での計測、比較を可能とする新たな解析パラメータについて検討を行った。本研究は種々な顎運動測定器での測定結果に適応可能な顎運動解析基準値確立の基礎となるものである。

抄 録

目的：本研究では、解析時の基準座標系が異なっても利用可能な顎運動の評価基準を確立することを目的とし、切歯点限界運動経路を対象として新たな解析パラメータについて検討を行った。

方法：顎口腔系に特に異常を認めない成人男性 20 名（平均年齢 25.0 ± 8.2 歳）の限界運動データを使用した。解析では、まず基準座標系の違いの影響を検討するため、基準面の傾きと投影面積の変化について検討した。次に咬頭嵌合位と最大開口位を結んだ線を基準線とし、各顎位からこの直線への垂線を計測して、垂線の足の移動距離と垂線の長さから切歯点運動範囲指数を求めた。この指数の妥当性については、三次元空間内での運動経路範囲を三次元曲面面積として計測した値との相関を求め検証した。

結果：前頭面投影図面積は、運動経路と前頭面の角度的関係が 10 度変化すると 2%~5% 程度の影響を受けることが明らかとなった。一方、新たに求めた切歯点運動範囲指数は、限界運動路で囲まれた面の三次元曲面面積と有意な相関を示した（矢状面内限界運動、 $\rho = 0.53$ ($p = 0.016$)、左側方限界開口路、 $\rho = 0.97$ ($p < 0.001$)、右側方限界開口路、 $\rho = 0.98$ ($p < 0.001$)、Spearman rank correlation)。

結論：新たに考案したパラメータは、基準座標系に依存することなく三次元的な限界運動経路を数値化することが可能であることが示された。

和文キーワード

顎運動解析, 切歯点運動軌跡, 基準平面

徳島大学医学部・歯学部附属病院歯科

* 徳島大学大学院ヘルスバイオサイエンス研究部, 生体システム栄養科学部門, 摂食機能制御学講座, 咬合管理学

** 徳島大学医学部・歯学部附属病院総合歯科診療部

Department of General Dentistry, Tokushima University Medical and Dental Hospital

* Department of Fixed Prosthodontics, Institute of Health Biosciences, The University of Tokushima

** Department of Oral Care and Clinical Education, Tokushima University Medical and Dental Hospital

受付：2006 年 10 月 10 日／受理：2008 年 1 月 20 日

Received on October 10, 2006/Accepted on January 20, 2008

I. 緒 言

本研究では、切歯点の限界運動経路解析に際して、解析時の基準座標系が異なっても利用可能な評価基準を確立することを目的とし、新たな解析パラメータについて検討を行った。これは、現時点においても解析時の基準座標系が測定機種や研究者によって異なっていること、さらに基準座標系に依存する形で顎運動の計測が行われた場合、同じような計測項目でも測定解析装置が異なると厳密には直接比較ができない場合があることによる。例えば限界運動の計測項目の一つに運動経路の投影図面積があるが、運動経路と基準座標系との関係が異なれば、基準座標系に準拠している投影面と運動経路との角度的な位置関係も異なることになる。この投影面との関係の角度的な変化は、解析時の投影図面積の計測値の違いとなって現れてくる。本研究では異なる基準座標系での解析時の問題点の例として、基準座標系と運動経路の角度的な関係の変化が運動経路投影面積に与える影響についても検討を行った。

顎運動研究の歴史は古く、顎運動については種々な研究がなされてきた。一つには咬合器の開発調整のためであり、もう一つには、顎運動が顎口腔系の状態を評価する上で重要な情報を含んでいると考えられるからである¹⁾。また、その安定性については健常者では経年的な変動は少ないことも報告されている²⁾。さらに近年エレクトロニクス機器は急速な発展をしており、これに伴って顎運動測定法の研究も描記法^{3,4)}や1点三次元の3自由度測定^{5,6)}から、高精度な6自由度測定へと発展してきている¹⁾。国内においては各大学で独自に開発された測定器あるいは開発中の測定器も数多く¹⁾、6自由度で顎運動測定が可能な商用測定器⁷⁻¹⁰⁾も複数供給されており、6自由度顎運動測定が研究機関のみならず臨床現場へも確実に広がりつつある¹¹⁻¹⁴⁾。

しかし、こうした顎運動解析の広がりにもかかわらず、顎運動データの解析結果を有意義なものとするための評価パラメータについては、一般化されているとは言い難い。なぜなら、これまでも多面的な解析結果について評価基準(基準値)を示している報告¹⁵⁻¹⁸⁾はあるものの、基準座標系に依存した手法により計測

が行われている場合、使用する基準座標系が異なると評価項目に互換性がなくなるからである。このため、限界運動路計測について言えば、一般臨床検査のような研究者や臨床家が共通して利用可能な解析パラメータ、基準値等は未だ確立されているとは言い難い。もちろん、運動リズムであるとか咀嚼周期など、経路の形態的な点を問題とせず、時間軸に焦点を当てた解析では基準座標系の違いを意識する必要はない。本研究では、運動経路の特徴を数値化する際に問題となる基準座標系の問題に焦点をあて、咬頭嵌合位-最大開口位間線を基準とした限界運動経路の計測、さらにこの計測値の応用としての切歯点運動範囲指数等、研究者や測定器によって基準座標系が異なっても、共通して利用可能な顎運動の解析パラメータについて検討を行った。特に切歯点運動範囲指数についてはその有用性の検証のため、従来の運動経路投影面積に加え、運動経路で囲まれた三次元曲面面積を求めて比較対照とした。

II. 研究方法

1. 解析対象データ

パラメータの検討には、すでに報告公表¹⁹⁻²¹⁾されている成人男性20名(平均年齢 25.0 ± 8.2 歳)の限界運動データを使用した。選択基準は、「第三大臼歯以外に歯の欠損がなく、健全な天然歯列を有し、Angle I級の咬合関係を持つ個性正常咬合者」である。本研究の主体は、新たな解析パラメータの検討である。したがって多様な顎運動データで解析結果を精査する必要がある。このため、上記以外では特に取込、排除のための選択基準は設定していない。

2. 解析対象顎運動

矢状面内限界運動
左右側方限界運動

3. 顎運動測定装置

顎運動測定にはデジタル方式顎運動測定器MM-JI¹¹⁾を使用した。パラメータ検討のための一次解析用基準座標系には生体咬合平面座標系²²⁾を用いた。これは上顎左右中切歯の近心切端隅角の midpoint と、左右上顎第一もしくは第二大臼歯中心窩の3点で構成

図1 The influence of the reference coordinate systems on the jaw movement analysis

- ① the vertical length of full opening in a reference coordinate system 1
- ② the vertical length of full opening in a reference coordinate system 2

基準座標系の違いが顎運動解析に与える影響

- ①：基準座標系1における最大開口垂直高径
- ②：基準座標系2における最大開口垂直高径

される平面を水平面とし，この3点の中心を原点，中心と前方の切歯点を結ぶ直線をX軸，原点を通る咬合平面の法線をZ軸，両軸に垂直な直線をY軸とする座標系である。

4. 顎運動解析についての検討

1) 基準座標の違いが解析値に与える影響

咬合平面座標系を基準座標系とし左右側方限界開口路の前頭面投影面積について投影面の傾きの違いによる影響を検討した(図1)。

2) 解析パラメータの検討

切歯点での限界運動路計測に用いられる各種解析項目について，基準座標系の影響を受けないパラメータを求めて検討を行った。

(1) 解析点移動量

a. 切歯点最大移動量

咬頭嵌合位を基点し，矢状面内限界運動を計測対象とした。ほとんどの場合，最大開口位までの直線距離となる。

b. 限界路 最大幅径

咬頭嵌合位と各運動経路での最大開口位を結んだ線を基準とし，各顎位からこの線へ下ろした垂線の最大値(図2)

計測対象運動：

- a) 矢状面内前方限界運動路
- b) 矢状面内後方限界運動路

図2 Measurement of the incisal point path

- F1, F2: the position of a foot of a perpendicular
- L1, L2: the length of a perpendicular
- d: the displacement of a foot of a perpendicular

切歯点運動経路の計測

F1, F2：運動経路から咬頭嵌合位－最大開口位間線に下ろした垂線の足の位置

L1, L2：垂線の長さ

d: 垂線の足の移動距離

c) 右側方限界運動路

d) 左側方限界運動路

c. 最大幅径 左右対称性指数

左右側方限界運動路最大幅径について値の大きい方を分母，小さい方を分子とした比を求め左右対称性指数とした。

d. 最大幅径位置

咬頭嵌合位と最大開口位を結んだ線を基準とし，各顎位からこの線へ下ろした垂線の長さが最大となるときの垂線の足の位置。咬頭嵌合位からの距離で表示。

計測対象運動：

a) 矢状面内前方限界運動路

b) 矢状面内後方限界運動路

c) 右側方限界運動路

d) 左側方限界運動路

e. 最大幅径位置 左右対称性指数

左右側方限界運動路最大幅径位置について値の大きい方を分母，値の小さい方を分子として比を求め左右対称性指数とした。

f. 切歯点移動量

a) 前方限界咬合位

b) 左右側方限界咬合位

(2) 切歯点運動範囲

a. 切歯点運動範囲指数

三次元空間内で運動経路から咬頭嵌合位－最大開

図3 The incisal point path area index

The converted graph was plotted with the length of the perpendicular in ordinate and the cumulative displacement of the foot F in abscissa. The incisal point path area index was defined as the integrated area below this converted graph.

L1, L2: the length of a perpendiculars

d: the displacement of a foot of a perpendicular

切歯点運動範囲指数

切歯点運動範囲指数：三次元空間内で運動経路から咬頭嵌合位－最大開口位間線へ垂線を下ろし、連続する2顎位間で咬頭嵌合位－最大開口位間線上の足の移動距離の累積値を横軸、垂線の長さを縦軸にとったグラフの積分値

L1, L2: 各顎位での垂線の長さ

d: 顎位間の垂線の足の移動距離

口位間線へ垂線を下ろす。次に、連続する2顎位間で咬頭嵌合位－最大開口位間線上の垂線の足の移動距離を計測する。この垂線の足の移動距離の累積値を横軸、垂線の長さを縦軸にとったグラフの積分値が運動範囲指数である（図3）。

計測対象運動：

a) 矢状面内限界運動

b) 右側方限界開口路

c) 左側方限界開口路

b. 切歯点運動範囲指数左右対称性指数

左右の側方限界運動路の切歯点運動範囲指数について、値の大きい方を分母、値の小さい方を分子として比を求め左右対称性指数とした。

(3) 矢状面内限界運動路および左右限界運動路の三次元曲面面積および三平面投影図面積

切歯点運動範囲指数との比較のため、従来型の三平面投影図面積に加え、三次元空間内で矢状面内限界運動路および左右限界運動路と咬頭嵌合位－最大開口位を結んだ経路で囲まれた図形内部に面を設定し、この三次元曲面の面積を簡易的に求めた。

方法は1辺500 μm の仮想の立体格子（voxel）を空間内に設定し、矢状面内限界運動路および左右限

図4 The influence of the reference coordinate systems on results

The horizontal axis: the rotation of a reference coordinate system around Y axis (inclination of jaw movement paths to the coronal plane).

The vertical axis: The rate of change of the projected area bounded by incisal point paths (%).

X-axis: antero-posterior axis, Y-axis: right and left axis,

Z-axis: vertical axis

投影面に対する傾きの違いが計測値に与える影響

グラフ横軸は基準座標系のY軸（左右軸）回りの回転量（顎運動経路の前頭面に対する傾きの変化量）。右側方から矢状面を見て、時計回りの回転が正、反時計回りが負である。

縦軸は前頭面投影図面積の変化率。切歯点運動経路の咬合平面座標系における前頭面への投影図面積を基準とした。

X軸：前後軸，Y軸：左右軸，Z軸：上下標軸

界運動路と咬頭嵌合位－最大開口位を結んだ経路でできる三次元曲面を形作る voxel の個数を三次元曲面面積として算出した。

なお、従来型の三平面投影図面積については、各基準平面を生体咬合平面座標系²²⁾における矢状面、前頭面および水平面とした。

切歯点運動範囲指数と三次元曲面面積および三平面投影図面積との比較には Spearman rank correlation を用いた。

III. 結 果

1. 前頭面投影図面積は水平基準面が咬合平面に対し矢状面内で10°回転すると2%（咬合平面を基準とし、矢状面を右方からみて反時計回りに10°回転）～

表 1 The displacement of the incisal point
切歯点移動距離

						percentile					
						N	average	s.d.	25.0	50 (median)	75
The displacement	the maximum displacement of the incisal point (sagittal border movements)	mm	20	49.4	6.4	44.6	49.8	54.2			
	the maximum width within the protruded part of sagittal border movements	mm	20	12.8	1.9	11.3	12.8	13.9			
	the maximum width within the retruded part of sagittal border movements	mm	20	5.4	2.5	3.5	4.6	6.7			
	the maximum width within right lateral border movements	mm	20	13.0	2.0	11.5	12.5	14.1			
	the maximum width within left lateral border movements	mm	20	12.8	2.2	11.5	12.1	13.9			
	the bilaterally symmetrical index of the maximaum width		20	0.95	0.04	0.92	0.96	0.98			
	the maximum width position (the protruded part of sagittal border movements)	mm	20	13.5	5.9	8.8	14.4	18.5			
	the maximum width position (the retruded part of sagittal border movements)	mm	20	30.8	6.2	25.4	30.6	34.6			
	the maximum width position (right lateral border movements)	mm	20	14.9	4.7	10.8	15.1	17.8			
	the maximum width position (retruded part of sagittal border movements)	mm	20	14.0	5.2	11.1	15.0	18.0			
	the bilaterally symmetrical index of the maximaum width positions		20	0.8	0.2	0.7	0.9	0.9			
	the Maximum displacement of the incisal point (intercuspal position-full protruded position)	mm	20	9.6	1.4	8.7	9.6	10.9			
	the Maximum displacement of the incisal point (intercuspal position - right lateral full excursion)	mm	20	9.7	2.0	8.1	9.5	11.6			
	the Maximum displacement of the incisal point (intercuspal position - left lateral full excursion)	mm	20	9.8	2.0	8.1	9.8	11.4			

表 2 The incisal point path area index
切歯点運動範囲指数

		N	average	s.d.	percentile		
					25.0	50 (median)	75
The area traced by the incisal point	the incisal point path area index of sagittal border movements	20	329.1	93.1	255.3	317.5	385.1
	the incisal point path area index of right lateral border opening	20	241.9	72.4	188.9	222.7	289.9
	the incisal point path area index of left lateral border opening	20	238.4	70.7	197.3	219.6	272.4
	the bilaterally symmetrical index of the left and right incisal point path area index	20	0.95	0.04	0.92	0.95	0.98

5% (咬合平面を基準とし、矢状面を右方からみて時計回りに 10° 回転) 変化した (図 4)。

2. 計測結果を表 1, 2 に示す。

矢状面内限界運動から求めた最大切歯点移動量は平均 49.4 ± 6.4 mm であり、左右の側方限界運動路の最大幅径は 13 mm 前後 (右側: 13.0 ± 2.0 , 左側: 12.8 ± 2.2 mm) で左右対称性指数は 0.95 ± 0.04 であった。また咬頭嵌合位からの前方限界咬合位までの直線距離は 9.6 ± 1.4 mm, 左右側方限界咬合位は 9.8 mm 程度 (右側: 9.7 ± 2.0 mm, 左側: 9.8 ± 2.0 mm) であった。

次に切歯点運動範囲指数は、限界運動路で囲まれた面の三次元曲面としての面積と有意な高い相関を示した (矢状面内限界運動, $\rho = 0.53$ ($p = 0.016$), 左側方限界開口路, $\rho = 0.97$ ($p < 0.001$), 右側方限界開口路, $\rho = 0.98$ ($p < 0.001$), Spearman rank correlation) (表 3)。一方で、左右側方限界運動路における切歯点運動範囲指数と前頭面や矢状面への投影面積の相関は、有意ではあるものの三次元曲面面積よりはやや低い値 ($\rho = 0.67 \sim 0.85$) を示した。

また左右側方限界運動路から求めた切歯点運動範囲指数の左右対称性指数は 0.95 ± 0.04 であった。

表 3 The correlation between the incisor point path area index and 3-dimensional area and projected area bounded by incisor point paths
切歯点運動範囲指数と切歯点運動経路の 3 次元曲面面積および三平面投影図面積との相関

		3-dimensional area	Projected area on Sagittal plane	Projected area on Frontal plane	Projected area on Horizontal plane
Sagittal border movements	Correlation coefficient(Spearman's rank correlation coefficient)	0.53	0.55	0.27	0.26
	Observed significance level of the test (2-tailed)	0.016	0.012	0.254	0.268
	N	20	20	20	20
Right lateral border movements	Correlation coefficient(Spearman's rank correlation coefficient)	0.98	0.85	0.67	0.45
	Observed significance level of the test (2-tailed)	< 0.001	< 0.001	0.001	0.044
	N	20	20	20	20
Left lateral border movements	Correlation coefficient(Spearman's rank correlation coefficient)	0.97	0.71	0.76	0.49
	Observed significance level of the test (2-tailed)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.030
	N	20	20	20	20

IV. 考 察

顎運動解析パラメータについて、必要条件として考えられる項目は下記の通りである。

- 1) 測定解析装置から独立であること
- 2) 解析時の基準座標系から可及的に独立であること
- 3) より簡単な装置を用いた測定結果の評価にも使用可能であること
- 4) 必要とする外部基準が可及的に少ないこと

1) は、特定の機種でしか行えない測定項目では一般化が難しいため、共通して行える解析であることが必要である。

2) 基準平面への投影による解析など、基準座標系に依存する解析項目では、異なる機種間での相互比較が難しいことから、可及的に基準座標系に依存しない形での解析項目である必要がある。

3) 6 自由度顎運動測定装置でしか測定し得ない項目もあるが、指標としてはより普及していると思われる 1 点三次元の測定装置での測定結果の評価に適用可能であるものを含むべきである。こうしたパラメータを創出することは、蓄積するデータを有効に活用し、一般臨床に役立てるために必要である。

4) 解析に際して必要となる外部基準点の数を可及的に少なくすることも解析パラメータを利用しやすいものとするための重要な要素となる。

以上のことから、我々は解析パラメータを大きく 2 グループに分けて検討を行った。

1. 第 1 グループ：

切歯点の運動経路解析を中心としたパラメータ群。

2. 第 2 グループ：

6 自由度顎運動データの利点を生かし、解析に際して測定装置や解析基準座標系からの独立性をさらに高めるとともに、顎の大きさといった要因の影響も可久的に除いた解析パラメータ群。

本研究では第 1 グループについて検討を行った。

まず切歯点移動量の計測では、三次元空間での 2 点間の直線距離を基本とした。最大開口量などのように 2 顎位間であればそれぞれの点の直線距離、幅径は咬頭嵌合位と最大開口位を結んだ線へ限界運動路から垂線を降ろし、この垂線の長さを計測した。通常限界運動路の計測は基準座標系上の基準平面（水平面、前頭面、矢状面）へ投影されて計測されることが多い。また幅径にしても、基準座標系の垂直軸を基準として左右にもっとも膨らんだ位置として定義、計測されることになる。しかしこの場合、運動経路と基準座標系の角度的な位置関係が異なると、同じ運動経路でも最大幅径位置や計測値が異なることになる。一般に、水平基準面におけるカンペル平面、フランクフルト平面、および咬合平面などの違いについてはよく理解されている。しかし、基準座標系の垂直軸と限界運動路の長軸との関係や、左右軸と運動路との関係についてはあまり注意が払われてこなかった。たとえ設定の基準を歯列、骨格など外部基準点に求めて計測を統一したとしても、限界運動路で形成されるいわゆるポッセルトフィギュアの長軸と基準座標系垂直軸との関係は個人により異なりばらつくことに

なる。本研究では切歯点限界運動路で形成される図形の長軸を咬頭嵌合位と最大開口位を結ぶ線と定義し、計測の基準とした。これにより、投影等による幅径の計測において問題であった基準座標系の垂直軸との位置関係や、左右個々の幅径計測で正中側の起点をどこに設定するかという点を解決することが可能となった。一方でこの長軸の定義では最大開口位の偏位等が問題となるが、偏位が安定していれば解析時の基準座標が異なっても、測定器が異なっても計測値はその個人で固有の値を示すことになる。また、クローズドロックなどで著しい開口障害や偏位を生じている場合には、顎運動の計測によらないでも診断、評価が可能であるし、最大切歯点移動量や左右の側方限界咬合位の計測結果から異常値であることの総合判断が可能である。また、評価基準作製時には各パラメータに適切な選択基準を設定することで、総合的に異常値の混入を防ぐことも可能である。

次に、上記の限界運動経路長軸の定義を使用して、従来の投影面積に相当する切歯点運動範囲指数を求めた。これは三次元空間内で各運動経路から咬頭嵌合位－最大開口位間線へ垂線を下ろし、垂線の長さを縦軸に、連続する2顎位間での垂線の足の移動距離を横軸にとって累積していったグラフの積分値である。下顎限界運動は筋肉、靱帯、顎関節、骨形態および各種フィードバックなどの状態を反映している。その中で、切歯点の運動軌跡で囲まれた図形の面積は、下顎の可動範囲や運動制限の状態を示す指標の一つとして有用である。具体的には顎関節部における下顎頭の可動性や運動調節機能を示すものである。ただし、運動範囲を解析時の基準座標系に依存しない形で数値化するためには、運動経路で囲まれた三次元図形内に面を設定して、その三次元空間での曲面としての面積を計測する必要がある。しかし、運動経路を三次元的に観察すると、複雑な曲面で構成されていることが分かる。こうした図形の面積を算出する場合、面の設定如何により計測値が変化することが考えられる。また計算のためのアルゴリズムが複雑となり指標としては有効でも一般に応用が難しくなる。本研究で用いた運動範囲指数は三次元空間内に描かれた運動経路を、基準平面への投影という手法を用いずに二次元座標上のグラフに変換し、比較的平易なアルゴリズムで運動範囲面積に相当する計

測値を得ることが可能である(図3, 表2, 3)。これは、三次元空間内に直線と直線外の1点が与えられれば、この1点から降ろされた直線への垂線の長さやこの垂線の足の位置は簡単な公式で一義的に求めることが可能であり、基準座標系との位置関係を問わないからである。またここで求められた垂線の長さは三次元空間内の絶対値であり、常に正の値である。このため、この切歯点運動範囲指数の定義により変換された運動経路のグラフは第一象限内で完結する。このグラフを積分したものが切歯点運動範囲指数であり、運動経路が与えられれば表計算ソフトでも算出が可能である。

この切歯点運動範囲指数は従来型の投影図面積および運動経路で囲まれた三次元曲面面積と有意な相関を示していた。特に左右の側方限界運動路では、従来型の投影図面積との相関と比較し、三次元曲面面積と高い相関を示していた。これは次の理由によると考えられる。まず、先に示したように従来型の投影図面積は三次元図形と投影面との関係に影響されるものであり、種々な条件で計測値が変化すること。次に、複雑な三次元的形状をしている限界運動経路と、基準座標系および投影面との空間的および角度的な位置関係は、たとえ基準平面を解剖学的指標をもとに規定したとしても個人間では異なっており、一定していないこと。さらに側方限界運動路で言えば、咬頭嵌合位－側方咬合位－側方限界開口路－最大開口位を結んで形作られる面は、一般的に投影面として用いられる前頭面や矢状面に対し角度を有しており、どちらの投影面に対しても常に斜投影となっていること等である。これらは限界運動路投影図面積計測時の注意点でもある。一方で、三次元曲面面積は同一アルゴリズムで曲面作成を行うなら、基準座標系の影響も受けず、一つの経路について一義的に計測値が求まるものであり、これは三次元曲面面積が三平面投影図面積に対して有する優位点である。これらの事から本研究では三次元曲面面積を比較対照のゴールドスタンダードとして用い、投影図面積との相関を参考指標として示した。

切歯点運動範囲指数と三次元曲面との比較では、左右側方限界運動路との相関係数が非常に高い値($\rho = 0.97$ と $\rho = 0.98$)を示したが、矢状面限界運動路では $\rho = 0.53$ ($p = 0.016$) とやや低い値であった。こ

れは、矢状面内限界運動の後方限界経路の形状と咬頭嵌合位-最大開口位間線との位置関係から生じている。具体的には、後方変曲点から最大開口位までの距離が長く、また経路の彎曲が大きい場合、咬頭嵌合位-最大開口位間線が矢状面限界運動路で囲まれた範囲より後方で範囲外になる部分が長くなる。この場合、三次元曲面面積と比べ切歯点運動範囲指数が大きくなるため両者の間にずれが大きくなる。また最大開口位が左右どちらかに偏位している場合は、矢状面限界運動路で囲まれた三次元局面の形状と、矢状面限界運動路と咬頭嵌合位-最大開口位間線形作られる立体の形状の差が大きくなり、相関係数の低下をもたらしたと考えられる。これは、本指数で矢状面内限界運動路を評価する際の注意点である。ただし、切歯点運動範囲指数は、経路が同じであれば解析基準座標系と運動経路の空間的關係が変化しても常に1つの値となる。これに加えて算出のための処理が基礎的な空間座標の公式の組み合わせで成り立っており、特別なソフトウェアを導入することなく計算が可能である。これは比較的複雑な処理を必要とする三次元曲面面積と比較した場合の切歯点運動範囲指数の優位点である。

次に左右方向の運動性の指標として、側方限界運動路の最大幅径や切歯点運動範囲指数を用いて、左右対称性指数を求めた。限界運動の左右対称性を測る指標としては分母側に小さい方の計測値を用いる方法¹²⁾も報告されているが、本研究では分子側に左右の内で値の小さい方を、分母側に左右の内で値の大きい方となるように定義した。これにより、指標としての値は常に0より大きく最大値が1であり、値が1に近づくほど左右対称であり、値が小さいほど対称性が低いことを示すことになる。また、左右の対称性の程度も直感的に理解しやすいと思われる。これとは別に、左右の対称性を評価する指標としては筋活動の評価等に用いられる非対称性指数²³⁾がある。この計算に必要なパラメータは、本報告でもそれぞれ単独で計測されているため、解析を行う研究者の必要に応じ適用が可能である。ただし、この非対称性指標では、0が左右対称を示し、値は-100~100までの間をとる。絶対値が大きくなると対称性が低くなることを示すが、符号に正負があるため多数例をそのまま集計することができない。また左右の類似度を直

感的には理解しにくいと考えられる。例えば右側の値を95、左側の値を100とすると、非対称性指数では $(95-100)/(95+100)*100$ で値は-2.56となる。一方、本研究で提案する左右対称性指数では $95/100$ で0.95となり、対称性の程度を直感的に理解しやすいと思われる。このため、本研究では前述の定義による左右対称性指数を採用した。

本論文では、解析パラメータの検討に際して、顎運動測定器MM-JIでの計測データを用い、生体咬合平面座標系を基準として一次解析を行った。そして、その結果を元に、三次元空間内の相対計測を基礎とした二次解析を行うことで基準座標系に依存しない解析パラメータを考案した。これらのパラメータは理論的には測定装置や測定基準座標系に依存しない。これは、それぞれの測定器が必要な精度を有しており、同一解析点で解析していることが前提であるが、一次解析をそれぞれのシステムが使用する座標系で行い、その結果を、同一アルゴリズムにて二次解析することで、各測定器や基準座標系からの独立性を得ることができるからである。例えば、同一被験者の最大開口位の計測を例に挙げるなら、咬頭嵌合位での切歯点位置と最大開口位での切歯点位置は、座標系が異なればそれぞれの座標系上での座標値は当然異なることになる。これが一次解析である。その結果を基に三次元空間内で、咬頭嵌合位-最大開口位間の切歯点直線移動距離を求めると、空間内でのこれら2点の位置関係は同一であるので、基準座標系が異なっても、計測器が異なっても計測値は同じになるはずである。同様に同一被験者の限界運動を異なる顎運動測定器で計測しても、運動と解析点が同じであれば空間内に表示される運動経路は同一であるはずである。この場合、測定器の精度の問題で、正しい計測が行われず運動経路が歪んで表示されるような場合は対象外である。それぞれの測定器が必要な精度を満たしている場合、個々の測定器での計測結果は、それぞれの座標系上での座標値は異なっても、空間図形としては同一である。そして、二次解析で座標系に依存しない形で定量化することで、測定機種や個々の基準座標系の違いに影響されずに評価が可能であると考えられる。

顎運動は複雑であり、多面的な解析が必要である。解析方法はその目的によりさまざまで、多くのパラメータや方法が提案されている。本研究で示したパ

ラメータもその一部である。咀嚼周期や運動リズムのように、経路を問題としないのであれば基準座標系にこだわることはない。また個々の施設における先端的な研究や測定解析装置の限られる探求的な研究等では、独自の解析が必要であるため装置固有の測定系から不可分である場合が多いし、その目的に特化した解析が必要である。そうした場合には、基準座標系や解析項目の一般化にはそれほど配慮する必要はないかもしれない。しかし、そのままでは、多施設、多数例での比較検証が難しく、評価基準の一般化ができない。本研究は、こうした限界運動路解析の有する問題を明らかにすると共に、その解決方法の一案を示すものである。

V. 結 論

1. 解析時の基準座標系に依存せず、相互に計測結果の比較が可能な顎運動計測パラメータについて検討を行った。
2. 基準座標系の違いによる測定値への影響の度を明らかにした。
3. 切歯点移動量や幅径の計測方法等、従来は投影図上で計測されていた項目の、基準座標系に依存しない形で計測方法を新たに定義した。
4. 従来の運動範囲投影面積に代わるものとして、基準座標系の違いによる影響を受けず簡単なアルゴリズムにより算出できる切歯点運動範囲指数を求めた。

文 献

- 1) 長谷川成男, 坂東永一監修. 臨床咬合学事典 1997; 161-162. 東京: 医歯薬出版.
- 2) 佐藤 真, 藤澤政紀, 鈴木卓哉ほか. 下顎運動パラメータの安定性について. 補綴誌 2003; 47: 326-334.
- 3) Simonet PF. Influence of TMJ dysfunction on Bennett movement as recorded by a modified pantograph. Part I: Literature review. J Prosthet Dent 1981; 46: 437-442.
- 4) 真柳昭紘, 長谷川成男. Pantograph を中心とする下顎運動測定法の原理に関する研究. 補綴誌 1977; 21: 142-147.
- 5) Jankelson B, Swain CW, Crane PF, et al. Kinesiometric instrumentation, a new technology. J Am Dent Assoc 1975; 90: 834-840.
- 6) 石上尚一, 瑞森崇弘. シロナソグラフ. 森本俊文, 松矢篤三, 野首孝祠ほか編, 顎関節症入門 2001; 88-93. 東京: 医歯薬出版.
- 7) 坂東永一. MM-JI-E. 森本俊文, 松矢篤三, 野首孝祠ほか編, 顎関節症入門 2001; 93-98. 東京: 医歯薬出版.
- 8) 小林 博. TRIMET. 森本俊文, 松矢篤三, 野首孝祠ほか編, 顎関節症入門 2001; 98-102. 東京: 医歯薬出版.
- 9) 桑原洋助, 常盤 肇. ナソヘキサグラフ. 森本俊文, 松矢篤三, 野首孝祠ほか編, 顎関節症入門 2001; 102-108. 東京: 医歯薬出版.
- 10) 宮前 真, 田中貴信, 星合和基ほか. 新しい顎運動分析装置 ARCUS digma の臨床応用に関する検討 顎路の再現性からみた評価. 補綴誌 2003; 47: 545-553.
- 11) 坂東永一, 中野雅徳, 藤村哲也ほか. 顎運動の臨床的診査 - MM-JI を用いて -. 補綴誌 1998; 42: 894-901.
- 12) 常盤 肇, 桑原洋助. 顎機能の臨床的診査 - ナソヘキサグラフを用いて -. 補綴誌 1998; 42: 902-912.
- 13) 河野正司. 6自由度顎運動測定器 TRIMENT を使って. 補綴誌 1998; 42: 913-920.
- 14) 中田 稔, 山崎要一, 早崎治明. 6自由度顎運動測定器の臨床への展開 - 小児の顎機能診査への6自由度顎運動測定器の適用 -. 補綴誌 1998; 42: 921-927.
- 15) 古屋良一. 限界運動路の分析. 石岡 靖, 小林義典, 長谷川成男ほか編, 顎口腔機能分析の基礎とその応用 1991; 54-65. 東京: デンタルダイヤモンド社.
- 16) 櫻井裕也, 阿部泰彦, 相良正明ほか. 顎口腔機能異常者の下顎切歯点限界運動に関する研究 - 診断パラメータの確立 -. 補綴誌 1990; 34: 333-339.
- 17) 上田龍太郎, 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の検討. 補綴誌 1993; 37: 761-768.
- 18) 郡 元治, 上田龍太郎, 竹内久裕ほか. 磁気位相空間を応用した6自由度顎運動測定による女性被験者についての顎運動機能評価. 顎機能誌 1995; 1: 269-274.
- 19) 安陪 晋. ガム咀嚼における咬合接触状態の運動学的解析. 補綴誌 2000; 44: 274-283.
- 20) 竹内久裕, 安陪 晋, 坂東永一ほか. 顎運動解析パラメータの標準化に関する検討 第1報 - 切歯点における運動解析 -. 補綴誌 2005; 49 (114 回特別号): 174.
- 21) 竹内久裕, 安陪 晋, 坂東永一ほか. 顎運動解析パラメータの標準化に関する検討 第2報 - 顎頭点を含む6自由度運動解析 -. 補綴誌 2005; 49 (114 回特別号): 124.
- 22) 鈴木 温. デジタル方式下顎運動測定機による下顎限界運動の6自由度解析. 補綴誌 1987; 31: 721-725.
- 23) 日本顎口腔機能学会編. よくわかる顎口腔機能 2005; 12-13. 東京: 医歯薬出版.

著者連絡先: 竹内 久裕

〒770-8504 徳島市蔵本町 3-18-5

TEL: 088-633-7350

FAX: 088-633-7391

E-mail: htake@dent.tokushima-u.ac.jp

Studies on the Standardization of Parameters for Jaw Movements Analysis —Jaw Movement Analysis at the Incisal Point—

Takeuchi Hisahiro, Bando Eiichi* and Abe Susumu**

Department of General Dentistry, Tokushima University Medical and Dental Hospital

*Department of Fixed Prosthodontics, Institute of Health Biosciences, The University of Tokushima

**Department of Oral Care and Clinical Education, Tokushima University Medical and Dental Hospital

J Jpn Prosthodont Soc 52: 311–320, 2008

ABSTRACT

Purpose: To establish standardized evaluating methods for jaw movements analysis independently of the reference coordinate system. In this paper, we focused on the analysis of incisor point paths of border movements. Then we investigated parameters that are independent of the reference coordinate system and can be utilized among different systems.

Methods: Recorded data of jaw border movements from 20 healthy male adults were employed as basic samples. First, the effects of changes of the reference coordinate systems on the analysis were investigated. Second, the line between incisor points at the intercuspal position and the maximal mandibular opening position was used as the reference line. Then the area index of incisor paths was calculated with the length of the perpendicular line dropped from the incisor point to the reference line and the displacement of the foot of the perpendicular.

Results: Changes of the spatial relation between a reference plane of the coordinate system and border movements pathways had an effect on a measured area of projected pathways, about 2%–5% differences of projected area on the frontal plane with 10 degrees rotation around a horizontal axis. The area index of incisor paths showed close correlation with the actual area of a 3-dimensional plane bounded by the incisor path [sagittal border movement: $\rho = 0.53$ ($p = 0.016$), left border opening pathway: $\rho = 0.97$ ($p < 0.001$), right border opening pathway: $\rho = 0.98$ ($p < 0.001$), Spearman rank correlation].

Conclusion: The results suggest that new parameters could measure jaw border movements quantitatively independent of the reference coordinate system.

Key words

jaw movement analysis, incisor pathways, reference plane