咬頭の明確な日本人若年者の咬合彎曲の実験的解析

—第1報 スピーの彎曲とウィルソンの彎曲

阿部二郎*, 入江一彦**, 岡部良博***

Experimental Analysis on Occlusal Curves of Young Japanese having Clear Cusps

—Part 1 Curves of Spee and Wilson

Jiro Abe*, Kazuhiko Irie**, Yoshihiro Okabe***

平面幾何学に基づいて、スピーの彎曲およびウィルソンの彎曲の実験的解析を行うための数学的方法を開発し、須藤ら¹⁴⁾と佐藤ら¹⁵⁾が計測した咬頭の明確な日本人若年者22名の下顎歯列模型上の被計測点の三次元的な位置データの左右歯列平均値を用いて、作図の方法と数学的方法を併用してスピーの彎曲とウィルソンの彎曲の実験的解析を行った。その結果、スピーの彎曲の最も確からしい中心位置は、切歯点から上方へ75.0～80.0mm、後方へ9.8～8.9mmの範囲内にあり、最も確からしいスピーの彎曲半径の値の範囲は74.2～79.2mm、その近似精度は約0.11mmであった。第一大臼歯の近心および遠心咬頭、および第二大臼歯の近心および遠心咬頭に対応する4つのウィルソンの彎曲の彎曲半径の値は一義的に定まり、それぞれ503mm、294mm、81mm、116mmと算出された。

Key words: 咬合彎曲 occlusal curve, スピーの彎曲 curve of Spee, ウィルソンの彎曲 curve of Wilson, 彎曲半径 radius of curvature, 実験的解析 experimental analysis, 数学的方法 mathematical method

緒言

スピーの彎曲は、一般に“下顎の切歯切端と、犬歯尖頭と、臼歯部歯列の頬側咬頭頂を結び、これを矢状面に投影したときに現れる円弧”¹⁾とされているが、米国補綴歯科学会の補綴歯科用語集 (GPT-6, 1994)²⁾では、前後の彎曲 (anteroposterior curve) の項で“歯の咬合的配列によって規定される解剖的彎曲”と定義されている。このスピーの彎曲は、ドイツの解剖学者Speeにより初めて“下顎犬歯の尖頭に始まり、小臼歯と大臼歯の頬側咬頭を通り、下顎枝の前面を経て下顎頭の最前部に至る彎曲の正中面投影である”

と定義された。Spee³⁾は“この彎曲の中心は頭蓋骨正中面上において前頭骨の上方にあり、下顎の偏心運動はこの点を中心として振り子状に行われる。この運動と調和させるように歯を配列させる必要がある”と主張した。

一方、ウィルソンの彎曲は、一般に“前頭面に現れる下顎および上顎の咬合彎曲”¹⁾とされているが、米国補綴歯科学会²⁾では“咬合が球面であるべきだという理論において、前頭面に投影された左右歯列の咬頭によってかたちづけられる彎曲。下顎歯列の彎曲は凹面を、上顎歯列の彎曲は凸面を呈する。(中略) Wilson (1911) にちなんで側方咬合彎曲の呼称”と定義している。

長尾 (1919)⁴⁾は、14個のヒト (NegroおよびPeruvian) の頭蓋骨と各種の哺乳動物の120個の頭蓋骨を資料とし、スピーの彎曲を詳細に計測し、その結果からヒトのスピーの

* 東京都開業

** 横浜市開業

*** 東京医科歯科大学歯学部歯科補綴学第一講座

彎曲半径として平均76mmという値を算出した。長尾の論文にはスピーの彎曲が下顎頭の前縁を通る図が掲載されている。

矢崎⁶⁾は、日本人の歯列模型について、スピーの彎曲およびウィルソンの彎曲を計測した詳細な結果を記述している。それらの計測結果を紹介した項の末尾で、矢崎は“これらの状態から観察すれば、側方彎曲（ウィルソンの彎曲）と前後彎曲（スピーの彎曲）とは一致せず、左右側各歯牙の頬舌側咬頭は球面に接するという8インチ（直径）球面説は実際には存在しない”という否定的見解を述べている。

大島ら⁷⁾は、歯列弓の完備した中国人頭蓋骨130個について計測研究を行って得た知見として、“典型的な下顎骨において咬合線（スピーの彎曲）を後方に延長すると下顎頭の前縁を通過することになるとされているが、実際には咬合線彎曲はそれほど強くなく、むしろ下顎頭の後面を通過するものが多い”⁷⁾と述べている。ちなみに、ウィーン大学のSlavicekは、オーストリア咬合学セミナー（GAMMA JAPAN INC. 主催、於熱海、April, 1996）における講演の中で、“ヨーロッパ人の若年者のスピーの彎曲の延長線は下顎頭の前方を通る”と述べ、また“スピーの彎曲を取り除くと咬合平面は爬虫類のようになる”と警告している。

従来、スピーの彎曲は矢状クリステンゼン現象を、ウィルソンの彎曲は側方クリステンゼン現象を、それぞれ防止するために自然が与えた機序と目され、総義歯の調整時には前後のおよび側方的調節彎曲を与えることにより総義歯の安定を図るべきだとされている¹⁾。

保母、高山¹⁾は、“有歯顎者の場合には、前歯被蓋により下顎切歯点の水平運動を行わず、前方または側方運動において前下方または外側下方に移動するので平らな咬合堤を前提とした機序は成り立たない。したがって、有歯顎者において自然がスピーの彎曲（またはウィルソンの彎曲）を必要とする理由はクリステンゼン現象の防止以外の生体力学的性格のものであろうと考えられる”と述べている。

クリステンゼンの実験時点では、総義歯の安定化のために必要とされたスピーの彎曲とウィルソンの彎曲が、総義歯臨床における不安定化防止の観点からすると、必ずしも重視されなくなっている。しかし、有歯顎におけるスピーの彎曲の存在意義については、上述したSlavicekの知見を含め歯科界の有識者の間で、臨床上の観点から肯定的な見解が多い。また、スピーの彎曲およびウィルソンの彎曲についての記述のない教科書は見当たらない。したがって、上述の状況にかんがみ、スピーの彎曲およびウィルソンの彎曲ひいてはモンスンの球面の生物学的合目的性を生体工学的に解明することは、今日的意義を失っていない、とい

える。その解明には、第一段階として、まず歯列形態の計測とその実験的解析が必要になる。

スピーの彎曲とウィルソンの彎曲に関し、日本人の歯列形態を計測した最近の報告は少ない。平井ら⁸⁾、小嶋ら⁹⁾、および五島ら¹⁰⁾は、日本人成人の正常咬合者25名の下顎歯列模型上の歯の咬合面に設定した被計測点につき、1mm目盛りのスケールとリング状ゴムバンドを用いて、それらの近遠心的（前後的）位置、頬舌的（左右的）位置、および上下的位置をそれぞれ計測し、各被計測点ごとに左右歯列の平均値を報告している。五島らは、それらのデータのうち近遠心的位置と上下的位置の計測データを用いて作図的にスピーの彎曲の半径を求めた結果として、半径180mmの円弧は切歯点と第二小臼歯までと第二大臼歯付近ではよく適合するが第一大臼歯付近ではわずかに上方にずれること、半径220mmの円弧は切歯点から第一大臼歯付近まではよく適合するが第二大臼歯付近ではわずかに下方にずれること、また円弧の中心はいずれの場合にも切歯点のほぼ真上に所在することなどの知見を述べている。しかし、これらの研究の計測方法はきわめて簡便な反面、精度の点でやや不安があり、また計測に用いた標本は正常咬合者とはいえ咬耗の多い成人の歯列模型であった。また、五島らの方法は作図によるものであるため、数学的方法に比し精密さに欠けると考えられた。

入江ら^{11,12)}は、咬合器にマウントした歯列模型上の被計測点の三次元的位置を、臨床の場で簡単に計測でき、かつ必要な精度が得られる方法の開発を目的としてデジタル・ノギスと専用ジグを用いた計測方法を開発した。この計測方法を用い、須藤ら¹³⁾および佐藤ら¹⁴⁾は、咬頭の明確な日本人若年者22名の歯列模型を被験標本とし、各歯列模型上の左右計28か所の被計測点の前後のおよび左右的位置（須藤ら）と上下的位置（佐藤ら）をそれぞれ計測した結果を報告している。

本研究の目的は、須藤ら¹³⁾と佐藤ら¹⁴⁾が計測した咬頭の明確な日本人若年者の下顎歯列模型上の被計測点の三次元的位置データを用い、作図的方法と数学的方法を併用してスピーの彎曲とウィルソンの彎曲の実験的解析を行うことにある。

材料と方法

1. 計測データ

実験的解析に用いた計測データは、須藤ら¹³⁾と佐藤ら¹⁴⁾が入江ら^{11,12)}の方法を用いて計測した咬頭の明確な日本人若年者22名（男子9名および女子13名、12～25歳、平均年齢18.1歳）の下顎歯列模型上の被計測点の前後的位置お

よび左右的位置計測結果¹³⁾の左右歯列平均値および佐藤らが報告した咬頭の明確な日本人若年者22名の下顎歯列模型上の被計測点の上下的位置計測結果¹⁴⁾の左右歯列平均値を用いた(表1)。ちなみに、須藤らの計測における水平基準面はGuichetが設定したアキシス平面¹⁾で、被計測点は下記のとおりである(カッコ内は略号)。

被計測点：計14か所

- (1) 側切歯切縁中点 (I)
- (2) 犬歯尖頭 (Ca)
- (3), (9) 第一小臼歯頬側および舌側咬頭頂 (P1)
- (4), (10) 第二小臼歯頬側および舌側咬頭頂 (P2)
- (5), (11) 第一大臼歯近心頬側および舌側咬頭頂 (M1_M)
- (6), (12) 第一大臼歯遠心頬側および舌側咬頭頂 (M1_D)
- (7), (13) 第二大臼歯近心頬側および舌側咬頭頂 (M2_M)
- (8), (14) 第二大臼歯遠心頬側および舌側咬頭頂 (M2_D)

2. 作図により解析する方法

1) スピーの彎曲

下顎歯列模型上の切歯点を原点とし、側切歯切縁中心から犬歯尖頭を経て第二大臼歯遠心頬側咬頭頂に至る計8か所の被計測点(頬側)の前後的位置を横軸(X軸)に、上下的位置を縦軸(Z軸)にとって、須藤ら¹³⁾が計測した被計測点の前後的位置データおよび佐藤ら¹⁴⁾が計測した被計測点の上下的位置データの左右歯列平均値をグラフ用紙上に倍尺でプロットするとともに、コンパスを用いて犬歯尖頭と第二大臼歯遠心頬側咬頭頂を通り、かつプロットされた他の被計測点にできるだけ近接した円弧を試行錯誤的に描き、スピーの彎曲の中心の位置と彎曲半径の値を作図的に求めた。

2) ウィルソンの彎曲

下顎歯列模型上の切歯点を原点とし、側切歯、犬歯、第一および第二小臼歯を除き、第一および第二大臼歯の頬側および舌側咬頭頂計8か所の被計測点の左右的位置を横軸(Y軸)に、上下的位置を縦軸(Z軸)にとって、須藤ら¹³⁾が計測した被計測点の左右的位置データおよび佐藤ら¹⁴⁾が計測した被計測点の上下的位置データの左右歯列平均値をグラフ用紙上に倍尺でプロットした。プロットは左右対称に行い、コンパスを用いて同名の犬歯咬頭頂を通る4つの円弧を試行錯誤的に描き、それぞれのウィルソンの彎曲中心の位置と彎曲半径の値を作図的に求めた。なお、その際、ウィルソンの彎曲中心はY軸上にあるものとした。

表1 咬頭の明確な日本人若年者22名の歯列形態の計測結果における左右歯列平均値および標準偏差値(須藤ら¹³⁾、佐藤ら¹⁴⁾)

(単位：mm) (N=22)

被計測点		前後的位置 (X座標) M±SD	左右的位置 (Y座標) M±SD	上下的位置 (Z座標) M±SD
前歯	I/Ca	2.2±2.5 5.3±1.3	8.3±0.9 13.2±1.1	0.2±0.8 0.9±0.8
頬側	P1	11.4±1.3	17.3±1.2	1.0±1.2
	P2	18.0±1.5	20.0±1.4	1.3±1.5
	M1 _M	24.5±1.7	22.6±1.7	2.2±1.9
	M1 _D	28.4±1.8	24.4±1.6	3.4±2.3
	M2 _M	35.2±1.8	24.5±4.2	5.3±2.6
	M2 _D	39.1±1.8	26.8±1.7	6.8±3.1
舌側	P1	13.6±1.3	14.4±1.2	-0.6±1.5
	P2	20.2±1.4	16.4±1.3	0.6±1.6
	M1 _M	26.2±1.4	17.6±1.6	2.0±2.1
	M1 _D	31.5±1.6	19.0±1.5	3.0±2.4
	M2 _M	36.2±2.6	20.7±1.4	4.2±2.7
	M2 _D	41.4±1.9	21.7±1.4	5.7±3.1

被計測点：I/I 側切歯切縁中点 Ca 犬歯尖頭
P1 第一小臼歯咬頭頂 P2 第二小臼歯咬頭頂
M1_M 第一大臼歯近心咬頭頂 M1_D 第一大臼歯遠心咬頭頂
M2_M 第二大臼歯近心咬頭頂 M2_D 第二大臼歯遠心咬頭頂
M：左右歯列平均値，SD：標準偏差値

3. 数学的に解析する方法

1) スピーの彎曲

スピーの彎曲上の1点の座標値を(X, Z)、スピーの彎曲中心の座標値を(A_s, C_s)、スピーの彎曲半径をR_sとし、「スピーの彎曲は円弧の一部である」という仮説を設け、平面幾何学に基づいてスピーの彎曲を次のような円の方程式で表した。

$$(X - A_s)^2 + (Z - C_s)^2 = R_s^2 \quad \cdots \cdots (1)$$

(1)式において、第二大臼歯遠心頬側咬頭頂の座標値を(X_{M2DB}, Z_{M2DB})、犬歯の尖頭の座標値を(X_{CA}, Z_{CA})とし、かつスピーの彎曲の近心端が犬歯尖頭を通り、遠心端が第二大臼歯頬側咬頭頂を通るとすると、(1)式は次のような式に変形される。

$$(X_{M2DB} - A_s)^2 + (Z_{M2DB} - C_s)^2 = R_s^2 \\ = (X_{CA} - A_s)^2 + (Z_{CA} - C_s)^2 \quad \cdots \cdots (2)$$

(2)式において犬歯尖頭の座標値(X_{CA}, Z_{CA})および第二大臼歯遠心頬側咬頭頂の座標値(X_{M2DB}, Z_{M2DB})の計測データをそれぞれ代入すると、(2)式はA_sとC_sの2つの未知数からなる二元一次方程式となり、両者のうちの一方の値を定めると、他方の値が定まる。C_sをパラメータとし、作図により求めたC_sの値を参考値としてC_sの値を段階的に設定し、それぞれのC_sの値につき(2)式から導出した次の式によりA_sの値を求めた。

$$A_s = \{(X_{M2DB}^2 + Z_{M2DB}^2) - (X_{CA}^2 + Z_{CA}^2) - 2C_s (Z_{M2DB} - Z_{CA})\} \div 2 (X_{M2DB} - X_{CA}) \dots\dots\dots (3)$$

次に、そのようにして設定したスピーの彎曲中心の座標値 (A_s , C_s) の組み合わせを用い、側切歯を除く犬歯尖頭から第二大臼歯遠心頬側咬頭頂に至る7か所の被計測点 ($i = 2 \sim 8$) の座標値を (X_i , Z_i) とし、スピーの彎曲中心と i 番目の被計測点との距離 D_s を次の式で表した。

$$D_s = \sqrt{(X_i - A_s)^2 + (Z_i - C_s)^2} \dots\dots\dots (4)$$

(4) 式の (X_i , Z_i) に各被計測点の座標値を代入して、設定したスピーの彎曲中心 (A_s , C_s) の組み合わせごとに、(A_s , C_s) から各被計測点 (X_i , Z_i) までの距離 D_s をそれぞれ算出し、その結果から (A_s , C_s) の各組み合わせごとに D_s の平均値と標準偏差値を算出した。そのようにして算出した D_s の平均値を、彎曲中心が (A_s , C_s) であったときの彎曲半径と定義しなおし、さらに D_s の標準偏差値をそのときの円弧が「スピーの彎曲は円弧の一部である」という仮説から外れる程度を示す尺度と定義した。そして、 D_s の標準偏差値が最も小さくなるときの (A_s , C_s) と D_s の平均値を、それぞれスピーの彎曲中心位置およびスピーの彎曲半径の“最も確からしい値 most probable value”と定義し、両者の値を求めた。

2) ウィルソンの彎曲

ウィルソンの彎曲は、左右歯列の同名の頬側および舌側の臼歯咬頭頂を結んだ円弧をいい、第一および第二小臼歯を除くと、第一大臼歯の近心および遠心咬頭、および第二大臼歯の近心および遠心咬頭に対応して4つの彎曲が描かれる。第一大臼歯の近心および遠心咬頭頂を通る彎曲をそれぞれ1番目および2番目、第二大臼歯の近心および遠心咬頭頂を通る彎曲をそれぞれ3番目および4番目のウィルソンの彎曲とし、 j 番目の同名の頬側および舌側の被計測点 ($j = 1 \sim 4$) である大白歯咬頭頂の座標値を (Y_j , Z_j)、 j 番目のウィルソンの彎曲の中心の座標値を (0 , C_{wj})、彎曲半径を R_{wj} とし、左右歯列を平均した左右対称な j 番目のウィルソンの彎曲を、平面幾何学に基づいて次のような円の方程式で表した。

$$Y_j^2 + (Z_j - C_{wj})^2 = R_{wj}^2 \dots\dots\dots (5)$$

(5) 式において、 j 番目の同名の頬側および舌側の大白歯咬頭頂の座標値を、それぞれ (Y_{jB} , Z_{jB}) および (Y_{jL} , Z_{jL}) とし、 j 番目のウィルソンの彎曲が両点を通るとして、次のような関係式を導出した。

$$Y_{jB}^2 + (Z_{jB} - C_{wj})^2 = Y_{jL}^2 + (Z_{jL} - C_{wj})^2 \dots\dots\dots (6)$$

(6) 式において、 j 番目の頬側および舌側の大白歯咬頭頂の座標値 (Y_{jB} , Z_{jB}) および (Y_{jL} , Z_{jL}) の計測データを代入すると、(6) 式の中の未知数は C_{wj} だけとなる。(6) 式を変形

した次の式により、 j 番目のウィルソンの彎曲の中心位置 (0 , C_{wj}) を算出した。

$$C_{wj} = \{(Y_{jB}^2 + Z_{jB}^2) - (Y_{jL}^2 + Z_{jL}^2)\} \div 2 (Z_{jB} - Z_{jL}) \dots\dots\dots (7)$$

次に、そのようにして求めた C_{wj} の値を用いて、 j 番目のウィルソンの彎曲の中心 (0 , C_{wj}) と j 番目の頬側および舌側の臼歯咬頭頂との距離 D_{wj} を次の式で表した。

$$D_{wj} = \sqrt{Y_{jB}^2 + (Z_{jB} - C_{wj})^2} = \sqrt{Y_{jL}^2 + (Z_{jL} - C_{wj})^2} = R_{wj} \dots\dots\dots (8)$$

j 番目のウィルソンの彎曲が、 j 番目の頬側および舌側の臼歯咬頭頂 (Y_{jB} , Z_{jB}) および (Y_{jL} , Z_{jL}) を通るという前提により、(8) 式に示すように j 番目のウィルソンの彎曲の中心 (0 , C_{wj}) と j 番目の頬側または舌側臼歯咬頭頂 (Y_{jB} , Z_{jB}) または (Y_{jL} , Z_{jL}) との距離 D_{wj} は、 j 番目のウィルソンの彎曲の半径 R_{wj} に等しい。したがって、(8) 式により、 $j = 1 \sim 4$ 番目までのウィルソンの彎曲の半径 R_{wj} を算出した。

結 果

1. スピーの彎曲

図1に、下顎歯列模型上の切歯点 (Ic) を原点とし、側切歯切縁中心 (Il) から犬歯尖頭 (Ca) を経て第二大臼歯遠心頬側咬頭頂 ($M2D$) に至る計9か所 (切歯点を含む) の被計測点 (臼歯咬頭頂は頬側) の前後的位置を横軸 (X 軸) に、上下的位置を縦軸 (Z 軸) にとって、須藤ら¹³⁾ が計測した被計測点の前後的位置データおよび佐藤ら¹⁴⁾ が計測した被計測点の上下的位置データの左右歯列平均値 (表1) をグラフ用紙上に倍尺でプロットした結果 (×印) を示す。

図1に、コンパスを用いて犬歯尖頭 (Ca) と第二大臼歯遠心咬頭頂 ($M2D$) を通り、かつプロットされた他の計測点にできるだけ近接した円弧を試行錯誤的に描いたときの彎曲と、そのときの彎曲中心 (○印) を記入し、それぞれAで示した。彎曲中心の座標値は切歯点から後方に向かい約2.5mm、上方に向かい約120mmで、彎曲半径は約119mmであった。

表2に、スピーの彎曲の数学的解析過程の算出データ (抜粋) を示す。彎曲中心の上下的位置 (C_s) を、110mm、80mm、60mmと段階的に減少させると、彎曲中心の前後的位置 (A_s) は3.7mmから12.4mmへと単調に増加し、彎曲中心と被計測点との距離 (D_s) の平均値は109.4mmから59.2mmへと単調に減少したが、 D_s の標準偏差値は0.26mmから0.11mmへといったん減少したのち、0.28mmへと増加した。

表3に、数学的解析結果の総括を示す。彎曲中心の上下的位置 (C_s) を110mm、105mm、100mm、95mm、90mm、

図1 スピーの彎曲上の被計測点位置をプロットし、スピーの彎曲を描いたグラフ

×印：被計測点，円弧

A : コンパスにより試行錯誤的に描いたスピーの彎曲

A ⊙: コンパスで試行錯誤的に描いたスピーの彎曲の彎曲中心

B 円弧：数学的解析結果を用いて、描いたスピーの彎曲

B ⊙: 数学的解析により求めたスピーの彎曲中心の位置

85 mm, 80 mm, 78 mm, 75 mm, 70 mm, 65 mm, 60 mm と段階的に変化させ、それぞれにつき彎曲中心の前後的位置 (A_s) および彎曲中心と各被計測点との距離 (D_s) の平均値と標準偏差値を算出した。 D_s の欄にスピーの彎曲が犬歯尖頭 (Ca) と第二大臼歯遠心咬頭頂 ($M2_0$) を通るとしたときの彎曲半径の値 (R_s) を併記した。表 3 の最右欄に D_s の標準偏差値が最小値を示すときのスピーの彎曲の中心位置と D_s の平均値と標準偏差値を最も確からしい値として、*印で示した。

図2に、表3の結果のうちから、D_sの標準偏差値を縦軸に、彎曲中心の上下的位置C_sを横軸にとって×印でグラフ化した結果を示す。×印で示したグラフの最小部位は表3中に*印で最も確からしいC_sの値として示した範囲(75～80mm)と合致することがみてとれる。

これらの結果から、本研究で計測対象とした咬頭の明確な日本人若年者22名の歯列模型において、最も確からしいスピーの彎曲の中心位置はおおよそ、上下的には切歯点

表2 スピーの彎曲の実験的解析過程（抜粋）

$$D_s = \sqrt{\{(X_i - A_s)^2 + (Z_i - C_s)^2\}}$$

$$C_s = 110 :$$

(単位: mm)

MP	Cs	As	Xi	Zi	Ds
Ca	110	3.67	5.3	0.9	<u>109.11</u>
P1			11.4	1.0	109.27
P2			18.0	1.3	109.64
M1 _M			24.5	2.2	109.79
M1 _D			28.4	3.4	109.43
M2 _M			35.2	5.3	109.34
M2 _D			39.1	6.8	<u>109.11</u>
Ds = 109.4 ± 0.26 (N = 7)					

$$C_s = 80 :$$

(単位: mm)

MP	Cs	As	Xi	Zi	Ds
Ca	80	8.91	5.3	0.9	<u>79.18</u>
P1			11.4	1.0	79.04
P2			18.0	1.3	79.22
M1 _M			24.5	2.2	79.35
M1 _D			28.4	3.4	79.04
M2 _M			35.2	5.3	79.19
M2 _D			39.1	6.8	<u>79.18</u>
Ds = 79.2 ± 0.11 (N = 7)					

$$C_s = 60 :$$

(單位：mm)

MP	Cs	As	Xi	Zr	Ds
Ca	60	12.4	5.3	0.9	<u>59.53</u>
P1			11.4	1.0	59.01
P2			18.0	1.3	58.97
M1 _M			24.5	2.2	59.05
M1 _D			28.4	3.4	58.82
M2 _M			35.2	5.3	59.26
M2 _D			39.1	6.8	<u>59.53</u>
Ds = 59.2 ± 0.28 (N = 7)					

記号: C_s 彎曲中心の上下的位置

As 彎曲中心の前後的位置

X_i 被計測点の前後的位置

Z1 被計測点の上下的位置

D_s 彎曲中心と被計測点との距離

MP 被計測点 (頬側)

注) 上表において下線はスピーの彎曲が犬歯尖頭 (Ca) および第二大臼歯遠心咬頭 (M2_D) を通るとしたときの彎曲半径 (R_s) を示す

から上方へ75.0～80.0mmの範囲内にあり，それに対応して前後的には切歯点の真上から後方へ9.8～8.9mmの範囲内にあることがわかった．その範囲内におけるDsの標準偏差値は約0.11mmであり，その範囲のDsの平均値を最も確からしいスピーの彎曲半径Rsの値と定義すると，その値の範囲は74.2～79.2mmであった．

以上の数学的解析結果を用いて、図1にスピーの彎曲中心(○印)とスピーの彎曲の円弧を記入し、それぞれBで示した。Aで示したスピーの彎曲と対比すると、犬齒尖頭(Ca)と第二大臼齒遠心咬頭頂(M2b)との間では、前者は後者よりも下方に向かって凸のより強い彎曲を描いており、数学的解析によって描いた前者(B)のほうが、作図に

表3 スピーの彎曲の実験的解析結果(総括)

(単位: mm) (N=7)

Cs	As	Ds (M±SD) Rs	*印
110	3.671	109.38±0.257 109.11	
105	4.544	104.34±0.233 104.10	
100	5.416	99.29±0.215 99.10	
95	6.289	94.26±0.175 94.11	
90	7.162	89.23±0.147 89.12	
85	8.035	84.19±0.125 84.14	
80	8.908	79.17±0.108 79.18	*
78	9.257	77.17±0.106 77.20	*
75	9.795	74.16±0.113 74.24	*
70	10.653	69.15±0.150 69.31	
65	11.526	64.15±0.202 64.40	
60	12.399	59.17±0.278 59.53	

記号: Cs 彎曲中心の上下的位置
As 彎曲中心の前後的位置
Ds 彎曲中心と被計測点との距離
Rs スピーの彎曲が犬歯尖頭と第二大臼歯遠心咬頭を通るとしたときの彎曲半径
*印: スピーの彎曲中心位置 (As, Cs) および彎曲半径の最も確からしい値

より試行錯誤的に描いた後者 (A) よりも×で示した計測データにより近い軌道を描いている。

図1に、本研究の歯列模型を付着 (マウント) した咬合器の顎頭間軸の平均位置を◎で示した。図にみられるとおり、作図により描いたスピーの彎曲 (の延長) は咬合器の顎頭間軸の後方を通っていたが、数学的解析結果を用いて描いたスピーの彎曲 (の延長) は咬合器の顎頭間軸の前方を通っている。

2. ウィルソンの彎曲

図3に、下顎歯列模型上の切歯点 (Ic) を原点とし、側切歯と第一および第二小臼歯を除く第一大臼歯近心咬頭 (M1_M, j=1), 第一大臼歯遠心咬頭 (M1_D, j=2), 第二大臼歯近心咬頭 (M2_M, j=3), および第二大臼歯遠心咬頭 (M2_D, j=4) の頬側および舌側咬頭頂, 計9か所 (切歯点を含む) の被計測点の左右的位置を横軸 (Y軸) に、上

図2 スピーの彎曲の実験的解析結果の総括表 (表3) のうちから、横軸にCsの値を、縦軸にDsの標準偏差値をとって描いたグラフ
Cs: スピーの彎曲中心の上下的位置
Ds: スピーの彎曲中心と被計測点との距離
×印: 解析結果
—×—で示したグラフの極小部位は、表3中に*印で最も確からしいCsの値として示した範囲 (75~80 mm) と合致する

下的位置を縦軸 (Z軸) にとって、須藤らが計測した被計測点の左右的位置データ¹³⁾ および佐藤らが計測した被計測点の上下的位置データ¹⁴⁾ の左右歯列平均値 (表1) をグラフ上に倍尺でプロットした結果 (×印) を示す。

スピーの彎曲におけると同じく、図3上でコンパスを用い、同名 (同No.) の頬側および舌側咬頭頂を通り、かつZ軸 (上下軸) 上に中心をもつ円弧を試行錯誤的に描くことを試みたが、4つのウィルソンの彎曲の半径が大きく相違し、倍尺で描いたB4のグラフ用紙内におさまらないものがあつたので、作図により解析する試みを断念した。

表4に、ウィルソンの彎曲の数学的解析結果を示す。本研究では左右歯列の計測データの平均値を用いているためウィルソンの彎曲は左右対称になり、j番目のウィルソンの彎曲の中心位置は上下的位置 (C_{wj}) を定めるだけで決定される。またウィルソンの彎曲は、左右歯列の同名の頬側および舌側の臼歯咬頭頂だけで決定されるので、j番目のウィルソンの彎曲中心と、j番目の頬側および舌側大白歯咬頭頂との距離 (D_{wjB} および D_{wjL}) は互いに等しく、かつウィルソンの彎曲半径 (R_{wj}) と同じ値になる。そのため、表4に示されているとおり、第一大臼歯の近心および遠心咬頭、および第二大臼歯の近心および遠心咬頭に対応する4つのウィルソンの彎曲の彎曲半径の算出値は一義的に定まり、それぞれに対応して503 mm, 294 mm, 81 mm, 116 mmと算出された。

以上の数学的解析結果を用いて、図3にウィルソンの彎曲中心 (◎印) とウィルソンの彎曲の円弧を記入した。第一大臼歯の近心および遠心咬頭頂 (M1_M および M1_D, j=1 および 2) に対応するウィルソンの彎曲の彎曲半径は上記

図3 ウィルソンの彎曲上の被計測点位置をプロットし、ウィルソンの彎曲を描いたグラフ

×印：被計測点，B：頬側，L：舌側，Cw：ウィルソンの彎曲中心

j=1：第一大臼歯近心咬頭頂 M1_M

j=2：第一大臼歯遠心咬頭頂 M1_D

j=3：第二大臼歯近心咬頭頂 M2_M

j=4：第二大臼歯遠心咬頭頂 M2_D

第一大臼歯の近心および遠心咬頭に対応するウィルソンの彎曲 (j=1 および 2) の頬側と舌側の咬頭頂を結んだ線分はほとんど水平で、彎曲半径がグラフからはみ出るほど大きい

のように、それぞれ503mmおよび294mmでグラフ用紙におさまらなかったため記入を省略したが、グラフ上の同名 (同No.) の頬側および舌側咬頭頂を結んだ線分はほとんど水平で、彎曲半径が大きいことを示している。第二大臼歯の近心および遠心咬頭 (M2_MおよびM2_D, j=3および4) に対応するウィルソンの彎曲の彎曲半径は、上記のようにそれぞれ81mmおよび116mmで、前者の彎曲半径が後者のそれより約30%小さかったため、図3にみられるように両彎曲は互いに交差している。

考 察

本研究は、須藤ら¹³⁾と佐藤ら¹⁴⁾が報告した咬頭の明確な日本人若年者の下顎歯列模型上の被計測点の三次元的位置データを用い、作図的方法と数学的方法を併用してスピーの彎曲とウィルソンの彎曲の実験的解析を行うことを目的とした。

表4 ウィルソンの彎曲の実験的解析結果

$$D_{wj} = \sqrt{\{Y_{jB}\}^2 + \{Z_{jB} - C_{wj}\}^2} = \sqrt{\{Y_{jL}\}^2 + \{Z_{jL} - C_{wj}\}^2} = R_{wj}$$

(単位：mm)

j 番号	咬頭頂 記号	C _{wj}	D _{wjB} = D _{wjL} (= R _{wj})
1	M1 _M	504.60	502.91
2	M1 _D	296.15	293.77
3	M2 _M	82.82	81.30
4	M2 _D	118.68	115.91

記号：j 大臼歯の頬側および舌側の咬頭頂に近心から遠心に向けてそれぞれ順番に付与した共通の番号 (j=1~4)

Y_{jB}, Z_{jB} j番目の頬側大臼歯咬頭頂の座標位置

Y_{jL}, Z_{jL} j番目の舌側大臼歯咬頭頂の座標位置

C_{wj} j番目のウィルソンの彎曲中心の上下的位置

D_{wjB} または D_{wjL} j番目のウィルソンの彎曲中心とj番目の頬側 (B) または舌側 (L) 大臼歯咬頭頂との距離

R_{wj} j番目のウィルソンの彎曲の彎曲半径 (R_{wj} = D_{wj})

M1_M：第一大臼歯近心頬側/舌側咬頭頂

M1_D：第一大臼歯遠心頬側/舌側咬頭頂

M2_M：第二大臼歯近心頬側/舌側咬頭頂

M2_D：第二大臼歯遠心頬側/舌側咬頭頂

1. 計測データについて

実験的解析に用いた計測データは、入江らが開発した臨床的計測方法^{11, 12)}を用い、須藤ら¹³⁾が報告した咬頭の明確な日本人若年者22名の下顎歯列模型上の被計測点の前後的位置および左右的位置計測結果の左右歯列平均値、および佐藤ら¹⁴⁾が報告した咬頭の明確な日本人若年者22名の歯列模型上の被計測点の上下的位置計測結果の左右歯列平均値を用いた (表1)。これらの計測は、一定のプロトコルに従って選ばれた著しい咬耗がなく咬頭が明確な日本人若年者の歯列模型を共通に使用し、同じコンセプトで開発された計測方法を用いており、臨床的計測方法ではあるが、計測者間誤差検定により計測誤差は前後のおよび左右的位置について平均約0.21mm¹³⁾、上下的位置について平均約0.14mm¹⁴⁾であることが検証されている。

須藤らと佐藤らが用いた標本群は当初、標準的な歯列形態を求めるというコンセプトのもとに選別されたが、“標準的”という概念は明確化されていないうえ、標本数も十分とはいえないので、本研究の重点的目標は計測データの解析方法におくこととし、計測対象の標本群の性格は、あくまでも咬頭の明確な日本人若年者の少数例という表現にとどめることとする。

2. 解析方法について

本研究は、下顎歯列模型上の被計測点の前後的位置と上下的位置の計測データを用いてスピーの彎曲を、左右的位置と上下的位置の計測データを用いてウィルソンの彎曲をそれぞれ実験的に解析することを目的としたが、その特徴は、解析対象としたスピーの彎曲およびウィルソンの彎曲

について、それぞれ平面幾何学に基づいた解析方法を適用した点にある。被計測点が曲線的な配列をしている場合の解析方法として、統計手法における多変量解析の手法が思い浮かぶが、必ずしも本研究の対象に適切な選択とはいえなかったため、古典的な解析幾何学的手法をとることとした。

1) スピーの彎曲

スピーの彎曲が厳密な意味で円弧の一部であるという保証はなかったため、まず「スピーの彎曲は円弧の一部である」という仮説を設け、平面幾何学に基づいて、(1)式によりスピーの彎曲を表した。(1)式は彎曲中心位置(A_s , C_s)と彎曲半径(R_s)の計3つの未知な値を含んでいるので、まずいったん R_s を消去することとし、かつ前述したGPT-6²⁾の定義に沿い、スピーの彎曲の両端が犬歯尖頭と第二大臼歯遠心頬側咬頭頂を通るとして(2)式を導出した。(2)式に両者の計測データを代入することにより、 A_s と C_s を含む二元一次方程式が求められたので、(2)式から導出した(3)式を用いて C_s から A_s を算出することとし、 C_s の値をパラメータとして段階的に変化させながら、 C_s の値ごとに(4)式により彎曲中心(A_s , C_s)と各被計測点との距離(D_s)と、その平均値および標準偏差値を算出した(表2, 3)。ここで、スピーの彎曲が犬歯尖頭と第二大臼歯遠心頬側咬頭頂を通るとしたときの彎曲半径は(2)式における R_s (表2中で下線を付した算出値)となるが、この彎曲半径をもつ円弧が必ずしもスピーの彎曲を最も近似する値になるとはかぎらない。むしろ、彎曲中心と各被計測点との距離(D_s)の平均値のほうが近似度が高いと考えられた。そこで、 D_s の標準偏差値をこのときの円弧が歯列のスピーの彎曲から外れる程度を表す近似精度の尺度とみなし、 D_s の標準偏差値が最も小さくなるときの(A_s , C_s)と D_s の平均値を、それぞれスピーの彎曲中心の位置およびスピーの彎曲半径の最も確からしい値と定義しなおした。

2) ウィルソンの彎曲

ウィルソンの彎曲は、左右同名の頬側および舌側の臼歯咬頭頂を結んだ円弧で、4つの彎曲の中心位置と彎曲半径がそれぞれ一義的に決定されることは、方法の項で示したとおりである。

3. 解析結果について

1) スピーの彎曲

結果の項に述べたとおり、本研究で解析対象とした咬頭の明確な日本人若年者22名の下顎歯列模型上におけるスピーの彎曲の最も確からしい中心位置は、切歯点から上方へ75.0～80.0mm、後方へ9.8～8.9mmの範囲内にあり、最

も確からしいスピーの彎曲半径の値の範囲は74.2～79.2mm、その近似精度は約0.11mmであった。ただし、「スピーの彎曲は円弧の一部である」という仮説が厳密な意味で真ならば、彎曲中心と各被計測点との距離(D_s)の標準偏差値がゼロになる条件が存在するはずなので、近似精度と表現した上記の約0.11mmという値はスピーの彎曲上の歯列の配列の乱れによるものであろう。

以上の結果のうち、74.2～79.2mmというスピーの彎曲半径の値は、長尾⁴⁾が14個のヒト(NegroおよびPeruvian)の頭蓋骨を資料として求めたヒトのスピーの彎曲半径の平均値76mmと近似している。

本研究で作図的に試行錯誤により求めたスピーの彎曲の延長(図1-A)は本研究の歯列模型を付着(マウント)した咬合器の顎頭間軸(図1中の◎)の後方を通り、大島ら⁷⁾がスピーの彎曲は下顎頭の後面を通過するものが多いと述べた知見と近似するようにみえたが、本研究で数学的解析により求めたスピーの彎曲の延長(図1-B)は本研究の歯列模型を付着(マウント)した咬合器の顎頭間軸(図1中の◎)の前方を通り、スピーの彎曲の延長が“下顎枝の前面を経て下顎頭の最前部に至る”とする米国補綴歯科学会の補綴歯科用語集(GPT-6, 1994)²⁾の記述や、前述したウィーン大学のSlavicekが述べた“ヨーロッパの若年者のスピーの彎曲の延長線は下顎頭の前面を通る”という講演内容と同じ傾向になった。

ちなみに、前述したように本研究の歯列模型を咬合器に付着(マウント)するときに用いた水平基準面にはアキシス平面を用いている。アキシス平面は、Guichetにより提案され保母らにより命名された水平基準面で、左右の後方基準点と上顎右切歯切端から眼窩下縁中点に向かい43mmの点をいい、Gysiにより改訂された外耳道下縁を後方基準点としたカンベル平面よりも約4°上向いている¹⁾。保母らによると、アキシス平面を基準として咬合器にマウントした場合、スピーの彎曲は中切歯から第一小臼歯のあたりまではほぼ水平で、その後、遠心に向かうほど傾斜する、とされている。しかし、本研究の図1をみると、スピーの彎曲は犬歯から第二小臼歯のあたりまではほぼ水平で、その後遠心に向かうほど傾斜しているが、中切歯(切歯点)と側切歯とは互いにほぼ同じ高さにあるものの、犬歯から第二小臼歯の水準よりは約1.0mm低い位置にある。したがって、本研究の結果からすると、保母らの記述における“中切歯から第一小臼歯のあたりまで”を、“犬歯から第二大臼歯のあたりまで”と書き直すべきかもしれない。

2) ウィルソンの彎曲

第一大臼歯の近心および遠心咬頭、および第二大臼歯の

近心および遠心咬頭に対応する4つのウィルソンの彎曲の彎曲半径の値は一義的に定まり、それぞれ503 mm, 294 mm, 81 mm, 116 mmと算出された。

ちなみに、矢崎⁶⁾は第一大臼歯および第二大臼歯におけるウィルソンの彎曲半径の計測値として、それぞれ平均134 mmおよび82 mmという数字をあげているが、第一大臼歯と第二大臼歯におけるウィルソンの彎曲半径の大小関係は本研究の結果と同じ傾向にある、といえよう。

まとめ

須藤ら¹³⁾と佐藤ら¹⁴⁾が計測した咬頭の明確な日本人若年者22名の下顎歯列模型上の被計測点の三次元的位置データの左右歯列平均値を用いて、作図的方法と数学的方法を併用してスピーの彎曲とウィルソンの彎曲の実験的解析を行い、次の結論を得た。

- (1) スピーの彎曲の最も確からしい中心位置は、切歯点から上方へ75.0～80.0 mm、後方へ9.8～8.9 mmの範囲内にあり、最も確からしいスピーの彎曲半径の値の範囲は74.2～79.2 mm、その近似精度は約0.11 mmであった。
- (2) 第一大臼歯の近心および遠心咬頭、および第二大臼歯の近心および遠心咬頭に対応する4つのウィルソンの彎曲の彎曲半径の値は一義的に定まり、それぞれ503 mm, 294 mm, 81 mm, 116 mmと算出された。
- (3) 平面幾何学に基づいて、スピーの彎曲およびウィルソンの彎曲の実験的解析を行うための数学的方法を開発した。

本研究の数学的方法に関しては国際デンタルアカデミー主任研究員・高山寿夫工学博士の指導を受けた。特記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 保母須弥也, 高山寿夫, 波多野泰夫: 新編 咬合学事典. クインテッセンス出版 (東京), 1998.

- 2) GPT-6: Glossary of prosthodontic terms. 6th ed., The Academy of Prosthodontics, J. Prosthet. Dent., 71: 43-112, 1994.
- 3) Spee, F.G.: Die Verschiebungsbahn des Unterkiefers am Schädel. Arch. f. Anat. u. Phys., 285, 1890.
- 4) Nagao, M.: Comparative studies on the curve of Spee in mammals, with a discussion of its relation to the form of the Fossa Mandibularis. J. Dent. Res., 1: 159-202, 1919.
- 5) Scaife, R.R., Holt, R.E.: Natural occurrence of cuspid guidance. J. Prosthet. Dent., 22: 225-229, 1969.
- 6) 矢崎正方: 矢崎補綴学叢書—第三編 総義歯学. 第1版: 33-38, 而至化学工業 (東京), 1967.
- 7) 大島新治, 飯野輔司: 簡明歯科解剖学. 第1版: 144-145, 医歯薬出版 (東京), 1979.
- 8) 平井 順, 大矢政男: 歯列弓上の歯の位置の近遠心的計測—第1報 下顎歯列. 顎咬合誌, 14: 13-15, 1993.
- 9) 小嶋 寿, 長沼 清, 河津 寛: 歯列上の歯の位置の類舌的計測—第1報 下顎歯列. 顎咬合誌, 14: 123-125, 1993.
- 10) 五島洋太, 栗田恒雅, 矢澤一浩: スピーの彎曲の計測. 顎咬合誌, 14: 81-83, 1993.
- 11) 入江一彦, 稲垣明弘: 咬合器に付着した歯列模型における被計測点位置の簡便な測定方法—第1報 前後のならばに左右的位置の測定方法. 顎咬合誌, 16: 159-166, 1995.
- 12) 入江一彦, 稲垣明弘: 咬合器に付着した歯列模型における被計測点位置の簡便な測定方法—第2報 上下的位置の測定方法. 顎咬合誌, 17: 36-42, 1996.
- 13) 須藤 純ほか: 咬頭の明確な日本人若年者の歯列形態の計測結果—第1報 下顎歯列上の歯の前後のおよび左右的位置. 顎咬合誌, 20: 96-104, 1999.
- 14) 佐藤明寿ほか: 咬頭の明確な日本人若年者の歯列形態の計測結果—第2報 下顎歯列上の歯の上下的位置. 顎咬合誌, 20: 105-110, 1999.

別刷請求先: 岡部良博

東京医科歯科大学歯学部歯科補綴学第一講座