



# 手指中手基節関節の形態学的研究

藤田, 直己

---

(Degree)

博士 (医学)

(Date of Degree)

1991-02-06

(Date of Publication)

2012-06-08

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙1491

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3057257>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001491>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



# 手指中手基節関節の形態学的研究

神戸大学整形外科教室（指導：廣畑和志教授）

藤田直己・廣畑和志

神戸大学医学部紀要 第51巻 第4号 別刷

平成2年12月

# 手指中手基節関節の形態学的研究

神戸大学整形外科教室（指導：廣畑和志教授）

藤田直己・廣畑和志

（平成2年10月16日 受付）

## 緒言

人工関節置換術は膝関節と股関節では試行錯誤を繰り返しながら今では確立された手術となっている。ところが指の人工関節では問題が多く、これを作成する際の重要な点としてまずそのデザインが挙げられる<sup>2), 4), 8), 9), 10), 19), 21), 24), 27), 38), 40)</sup>。示指、中指、環指、小指のそれぞれの形状、大きさが異なるため各指に応じて、多種類の人工関節を作成すると、かえって手術手技が煩雑になり使用しがたくなる。従って人工関節の種類をできるだけ減らすために、MCP関節の解剖学的、形態学的特徴を詳細に把握して作製し、同一の形状でサイズだけが異なる人工関節として、各指に適用可能にする考えもある<sup>1), 15), 16), 17), 22), 29), 42)</sup>。

そこで今回著者らはMCP関節の解剖学的特徴を明らかにするために、各指についての骨実長の測定と関節面の計測をおこなった。その後一指内での各計測値間の相関性および各指間での計測値の相関性を統計学的に検討し、次いで指基節骨中枢側関節面を三次元的に表現する方法を考案し、これにより基節骨関節面の形状及び大きさを計測した。

### A. 指骨の計測について

## 材料

20組の人の手晒し骨標本を使用し母指を除く80指を計測した。標本は右手11組、左手9組で性別、年齢は不詳であった。

## 計測方法

中手骨骨頭の解剖学的特徴は関節面は球状の形態をとるが、背側部には橈側および尺側に突出した骨性隆起を認め、関節面の掌側部には掌側かつ橈側に突出した部位と掌側かつ尺側に突出した部位がある。また基節骨の関節面は凹形でほぼ球形に近い形をしている。これらの解剖学的特徴をふまえ計測の指標となる部位を決定した。基本的には橈-尺側方向及び掌側-背側方向に一番突出した部分を指標点として選んだ。中手骨末梢の最も背側で且つ橈側の部位を背側橈側結節とし、背側尺側結節、掌側橈側結節および掌側尺側結節も同様に決定し、関節面では橈側-尺側方向および掌側-背側方向に最も離れた部位を指標点とした。中手骨の長さは中手骨頭の遠位端より近位関節面までとし、基節骨の長さも同様に遠位関節面から近位関節面までの長さとした。このようにして決定した14箇所の計測部位を図1-a, 1-bに示す。“a”と“h”は長さ、“b”, “c”, “f”, “i”, “k”, “m”は

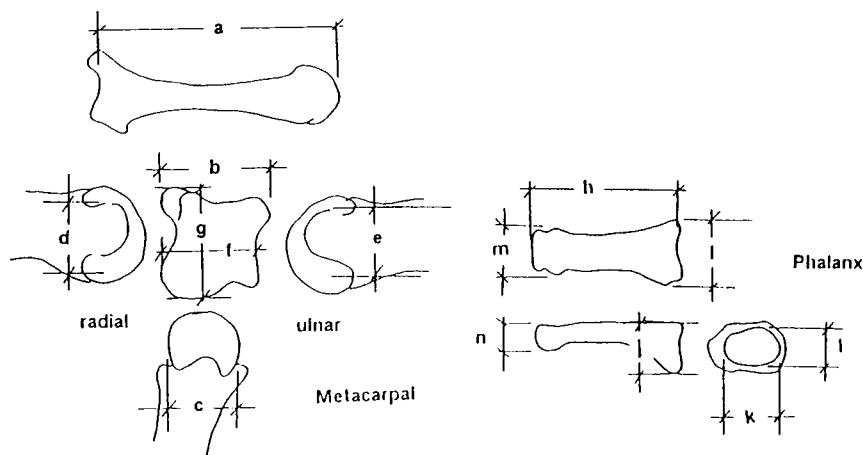


図1-a

key words : MCP 関節, 人工関節, 慢性関節リウマチ

DIMENSION	DEFINITION
a	Length of metacarpal bone
b	Distance between dorsal radial and dorsal ulnar tuberosity
c	Distance between volar radial and volar ulnar tuberosity
d	Distance between radial dorsal and radial volar tuberosity
e	Distance between ulnar dorsal and ulnar volar tuberosity
f	Width of metacarpal head
g	Depth of metacarpal head
h	Length of proximal phalanx
i	Width of proximal phalangeal base
j	Depth of proximal phalangeal base
k	Width of MCP articular surface of proximal phalanx
l	Depth of MCP articular surface of proximal phalanx
m	Width of PIP articular surface of proximal phalanx
n	Depth of PIP articular surface of proximal phalanx

図1 a, 1 b MCP 関節についての14の計測点

幅, “d”, “e”, “g”, “j”, “l”, “n”は高さの指標である。

次に20組の晒し骨標本を2組に分け, それぞれの骨標本の母指を除いた40本の指の14の計測点を二人の計測者が別々に7回ずつ再現性試験の方法に基づいて計測した。計測に際しては工業用ノギス(精密度0.05mm)を使用し, 全計測回数は7840回となった。

## 結 果

計測結果は統計学的に分析をおこない計測値の統計学的分布, 二人の計測者のそれぞれの計測値の相違および各指内での計測値の相違を分析し, 各指間の計測値の相関性の有無の検討および因子分析もおこなった。

表1にそれぞれの計測者による計測値と両者をあわせたデータの平均(AVG)および標準偏差(STD)を示す。t-テストを二人の計測者から得られた計測値間でおこなったが, その間には有意な差が認められ

表1 14の計測値の平均値(AVG)と標準偏差(STD)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
GROUP 1														
AVG	59.15	14.25	10.75	9	8.3	13.	14	38.35	16.3	11.8	11.6	9.05	11.3	8.15
STD	6.45	1.65	0.85	0.6	0.2	1.	1.1	4.05	1.2	0.5	1.1	0.45	0.5	0.05
MAX	65.6	15.9	11.6	9.6	8.5	14.	15.1	42.4	17.5	12.3	12.7	9.5	11.8	8.2
MIN	52.7	12.6	9.9	8.4	8.1	12.	12.9	34.3	15.1	11.3	10.5	8.6	10.8	6.1
n	40	40	40	40	40	4	40	40	40	40	40	40	40	40
GROUP 2														
AVG	59.2	13.5	10.5	8.65	9.7	12.	11.85	40.35	16.15	11.6	11.65	9.45	10.6	7.7
STD	5.7	2	0.7	0.75	1.4	1.	0.75	7.25	2.45	1.8	1.45	0.85	2	1.6
MAX	64.9	15.5	11.2	9.4	11.1	13.	12.6	47.6	18.6	13.4	13.1	10.3	12.6	9.3
MIN	53.5	11.5	9.8	7.9	8.3	10.	11.1	33.1	13.7	9.8	10.2	8.6	8.6	6.1
n	40	40	40	40	40	4	40	40	40	40	40	40	40	40
COMBINED														
AVG	59.82	14.45	11.04	9.4	9.64	13.3	13.7	41.54	16.19	12.32	12.02	9.92	11.61	8.38
STD	6.16	1.86	1.25	1.06	1.21	1.3	1.43	4.88	1.32	1.2	1.05	0.89	1.29	0.93
MAX	71.8	17.9	12.7	11.7	12.6	16.	17.8	52.5	18.7	14.5	14.5	11.7	13.9	10.4
MIN	46.5	10.6	8.7	7.3	7.2	10.	10.8	32.2	13.4	9.8	9.8	7.9	8.6	6.1
n	80	80	80	80	80	8	80	80	80	80	80	80	80	80

なかったため、両者をあわせたデータを本研究の基礎データとした。

次に各指の計測値および長さ、幅、高さの指標の比較をおこなった。中手骨の長さは第2中手骨が一番長く、次いで第3、第4、第5中手骨の順となった。基節骨では中指基節骨が一番長く、次いで示指、環指、小指基節骨の順となった。またすべての指において中手骨は基節骨よりは長かった。

中手骨関節面の幅は第3中手骨が一番大きく、次いで第2、第4、第5中手骨の順となった。基節骨関節面の幅も中指基節骨が一番大きく、中手骨と同様の順序で小さくなった。

中手骨関節面の高さは第2中手骨で一番大きく、次いで第3、第4、第5の中手骨の順となった。基節骨関節面の高さは中指基節骨が一番大きく、次いで示指、環指、小指基節骨の順となった。

同一指内での関節面の幅と高さを比較すると、すべての指において、中手骨では関節面の高さは幅よりも大きく、基節骨では関節面の幅は高さよりも大きかった。(表2)

次いで各指における計測値の相関性を分析した。表3に各計測値の相関性を示したが、各指の計測値は指により相関性が異なることなく、同一の相関性 ( $P < 0.001$ ) を持つことが示された。

重回帰分析を用いて14のすべての計測値について、相関性及び予測性の検討をおこなったが、一例として表4にすべての指についての計測値“b”と“g”について解析した結果を示した。計測値“b”と“g”との関係は“ $g = 5.47 + 0.567x \text{ “b” mm}$  (誤差0.96mm)”と

いう関係で表せるが、剰余の平方根値 (R Squard) が0.748ということは2つの計測値の間には強い相関性があるが、計測値“b”より計測値“g”を予測することは困難であるということが示された。他のすべての計測値についても同様の結果となり、一つの計測値より他の計測値を予測することは困難であることが示された。

最後に因子分析をおこなったが、表5にすべての計測値についての2因子分析モデルの結果を示す。因子1 (F1) は長さ幅の因子を、因子2 (F2) は高さの因子を示している。因子1は69%の、因子2は9%の計測値を説明し、2つの因子を合わせて78%しか計測値を説明できず、因子を変えて分析をおこなっても、80%以上の数値は得られなかった。

### B. 関節面の形状についての検索

関節面を三次元的に直接表記する方法を新しく開発し、MCP関節基節骨関節面の形態を検索した。

まずこの新しい方法を開発する際に必要な理論的背景をしめす。現在まで関節面の形状を表す方法として種々の方法が利用されてきたが、本研究では既知の物体の形状を用いて関節面の形状を表す方法を利用し、既知の物体として立体楕円体を用いた。この方法では関節面上の点と立体楕円体表面上の点の距離を最小にするような立体楕円体の中心、半径および回旋角度を決定することにより、関節面の形状を立体楕円体を使用して表記するものである。

一般的に立体を数値で表記するためには、大きさ、方向及び位置を表すパラメーターがそれぞれ3つ合計

表2 各指の計測値間の分析及び長さ、幅、高さのパターン

finger	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n		
AVG INDEX	65.79	16.055	11.95	10.14	10.36	14.405	14.78	41.955	17.155	12.6	12.6	10.335	12.08	8.665		
STD	3.785577	1.001725	0.745318	0.903548	0.998623	0.657628	1.075453	2.182538	0.381178	0.643428	0.650384	0.498272	0.628967	0.585042		
AVG MIDDLE	63.555	15.85	11.895	3.765	10.565	14.475	14.585	46.345	17.225	13.405	12.84	10.69	12.305	9.08		
STD	3.598676	0.968762	0.995728	0.372765	0.958266	0.756224	1.096025	2.802226	0.775161	0.599562	0.737156	0.570876	0.658805	0.588752		
AVG RING	56.945	13.755	10.35	8.92	9.03	12.36	13.285	43.255	15.49	12.385	11.66	8.635	11.70	8.445		
STD	3.183638	0.868130	0.906917	0.831626	0.821644	0.687313	0.839210	2.069655	0.828794	0.689401	0.778716	0.644419	0.711617	0.667439		
AVG LITTLE	62.385	12.155	9.97	8.755	8.61	13.045	12.14	34.585	14.875	10.885	10.965	9.015	9.805	7.31		
STD	3.153137	1.046171	0.843660	0.833351	0.67	0.703189	0.719305	1.906377	0.836967	0.666589	0.781840	0.615193	0.604565	0.771997		
LENGTH	MC	INDEX > MIDDLE > RING > LITTLE					DEPTH OF ARTICULAR SURFACE									
	PP	MIDDLE > INDEX > RING > LITTLE					MC	Gi > Gm > Gr > Gl								
							PP	Lm > Li > Lr > Ll								
WIDTH OF ARTICULAR SURFACE	MC + PP	Gi > Gm > Gr > Gl > Lm > Li > Lr > Ll					COMPARISON BETWEEN WIDTH AND DEPTH OF ARTICULAR SURFACE									
	MC	Fm > Fi > Fr > Fl					MC	Gi > Fi, Gm > Fm, Gr > Fr, Gl > Fl				DEPTH < WIDTH				
	PP	Km > Ki > Kr > Kl					PP	Ki > Li, Km > Lm, Kr > Lr, Kl > Ll				WIDTH > DEPTH				
	MC + PP	Fm > Fi > Km > Ki > Fr > Fl > Kr > Kl														

表3 計測値間の相関

Regression Output	(A - B)	(B - C)	(B - D)	(B - E)	(B - F)	(B - G)
Constant	22.5148	4.53297	4.565351	2.888030	4.686818	5.474150
Std Err of Y Est	3.858101	0.934615	0.862919	0.843592	0.717141	0.957830
R Squard	0.617614	0.455856	0.351179	0.525461	0.714676	0.560169
No. of Observations	80	80	80	80	80	80
Degree of Freedd	78	78	78	78	78	78
X-coefficient (s)	2.580739	0.450288	0.334145	0.467229	0.597383	0.658942
Std Err of Coef.	0.229926	0.55703	0.051426	0.050274	0.042738	0.057082

Regression Output	(B - H)	(B - I)	(B - J)	(B - K)	(B - L)	(B - M)	(B - N)
Constant	17.33069	7.345940	5.336970	5.601968	4.785303	3.645598	3.413626
Std Err of Y Est	3.776729	0.660029	0.660029	0.652986	0.576303	0.777069	0.676291
R Squard	0.415097	0.755607	0.661021	0.655082	0.578282	0.644628	0.481845
No. of Observations	80	80	80	80	80	80	80
Degree of Freedd	78	78	78	78	78	78	78
X-coefficient (s)	1.674603	0.611627	0.485118	0.443779	0.355163	0.550853	0.343258
Std Err of Coef.	0.225077	0.039385	0.039334	0.038915	0.034345	0.046310	0.040304

表4 計測値“b”と計測値“g”における重回帰分析

	index	middle	ring	little	combined
Regression Output.					
Constant	11.97850	8.222200	8.636275	9.127481	5.47415
Std Err of Y Est	1.118553	1.080140	0.828642	0.665106	0.95783
R Squard	0.026416	0.125901	0.122524	0.230517	0.560169
No. of Observations	20	20	20	20	80
Degree of Freedd	18	18	18	18	78
X-coefficient (s)	0.174493	0.401439	0.337966	0.330112	0.568942
Std Err of Coef.	0.249682	0.249314	0.213177	0.142158	0.057082

$$g = 5.47 + 0.569xb \text{ mm}$$

error of 0.96mm

表5 すべての計測値についての2要素モデル要素分析

A	0.841	-0.062
B	0.924	0.058
C	0.755	0.356
D	0.644	0.558
E	0.760	0.438
F	0.899	0.125
G	0.807	-0.121
H	0.784	-0.426
I	0.887	0.023
J	0.904	-0.257
K	0.867	0.148
L	0.875	0.113
M	0.901	-0.328
N	0.799	-0.453

VARIANCE EXPLAINED BY COMPONENTS

1	2
9.772	1.263

PERCENT OF TOTAL VARIANCE EXPLAINED

1	2
69.803	9.019

9つ必要であるが、立体楕円体の場合は、各方向への半径が3つ、各軸に対する回旋角度が3つ、中心を表す座標点が3つ必要である。

立体楕円体における楕円体表面上の点は

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 + z^2/c^2 = 1$$

で表せられる。

また立体楕円体の形状を解析するためには、前述の様に立体楕円体を表す9個のパラメーター、すなわち中心座標  $(x_c, y_c, z_c)$ 、各方向の半径  $(a, b, c)$ 、及び各軸方向の回旋  $(\Phi, \Theta, \Psi)$  を順々に解く必要があり、それら方法を次にしめす。

まず最初に点の移動を行なう。すなわち

$$x'_i = x_i - x_c$$

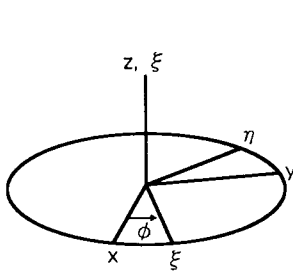
$$y'_i = y_i - y_c$$

$$z'_i = z_i - z_c$$

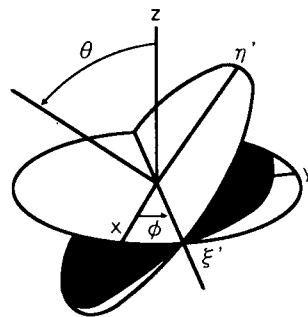
により点の移動をおこなう。同様にして、すべての点について移動をおこなう。

第2段階としてオイラーアングルの法則 (Goldstein)<sup>10)</sup> に用い回旋を行なう。すなわち

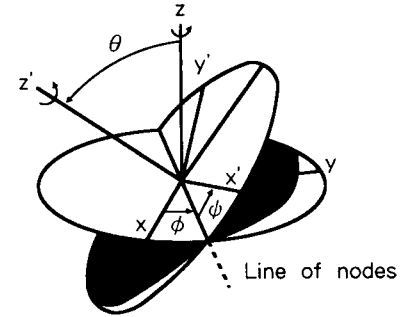
$$\bar{x} = A^{-1} \bar{x}'$$



(a)



(b)



(c)

The rotations defining the Euler angles.

$$A^{-1} = \tilde{A} = \begin{pmatrix} \cos \phi \cos \theta - \sin \phi \sin \theta & \sin \phi \cos \theta & \cos \phi \sin \theta & \sin \phi \sin \theta & -\cos \phi \sin \theta & \sin \theta \sin \phi \\ \cos \phi \sin \theta + \sin \phi \cos \theta & \sin \phi \sin \theta & \cos \phi \cos \theta & \sin \phi \cos \theta & -\cos \phi \cos \theta & \sin \theta \cos \phi \\ \sin \theta \sin \phi & \sin \theta \cos \phi & \sin \theta \sin \phi & \cos \theta & \sin \theta \sin \phi & \cos \theta \end{pmatrix}$$

Transformation matrix from body coordinaties to space axes.

図2 オイラーアングルの法則

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} \cos\psi\cos\phi - \cos\theta\sin\phi\sin\psi & -\sin\psi\cos\phi - \cos\theta\sin\phi\cos\psi & \sin\theta\sin\phi \\ \cos\psi\sin\phi + \cos\theta\cos\phi\sin\psi & -\sin\psi\sin\phi + \cos\theta\cos\phi\cos\psi & -\sin\theta\cos\phi \\ \sin\theta\sin\psi & \sin\theta\cos\psi & \cos\theta \end{bmatrix}$$

となる。第3段階として半径の決定をおこなうが、半径を決定するには下記の方程式を解く必要がある。

$$Sr = \sum_i^n i = (R_1 - R_2)^2$$

以上の操作により中心座標、回旋角度および半径の決定をおこなったが、立体楕円体においては9つのパラメーターを解くために multiple simplex method を用いたが、この方法は既知の立体楕円体にデータを投影するのに有効である。以上の3つの操作をコンピューターを使用しておこなうために新しいコンピュータープログラムを作成した<sup>4)</sup>。

次に上記の新しく開発した方法を MCP 関節基節面の形状を測定するために応用した。

#### 材料

研究材料として2対の死体手標本の母指を除く16指を使用した。1指は関節炎による破壊が強く実験材料として使用できなかった。

#### 方法

死体手標本を解剖し、基節骨のみを取り出し、関節面を温存して周辺の軟部組織を切除した。標本の方法は基節骨の長軸と掌側の3点を基準として決定したが、基節骨の長軸は図3のごとく3分の1の法則に従い決定した。

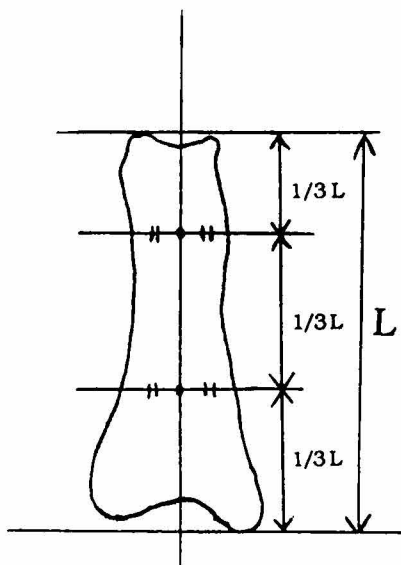


図3 3分の1の法則

次に基節骨の長軸上で長軸の長さの2分の1の点に、掌側の3つの基準点で形成される面に垂直にアルミニウムのピンを刺入し、このピンをプラスチックの板に固定してアルミニウムの鋳型の中に取り付けた。この操作によって、基節骨の長軸は常にアルミニウムの板上の基準線に一致し、標本は常に同一の位置に保たれることになった。

少量のファイバーグラスとポリエステルレジン(ファイバーグラス レジン, エバコート)を用いて標本を包埋し、旋盤を用いて基節骨の長軸方向で、掌側の3点で形成される面に垂直に0.5mmの幅ずつ切っていく。それぞれの断面をスケールと共に写真撮影をおこない、拡大映写機を用いて拡大し、関節面と骨皮質の輪郭をスケールと共にトレースした。(図4)

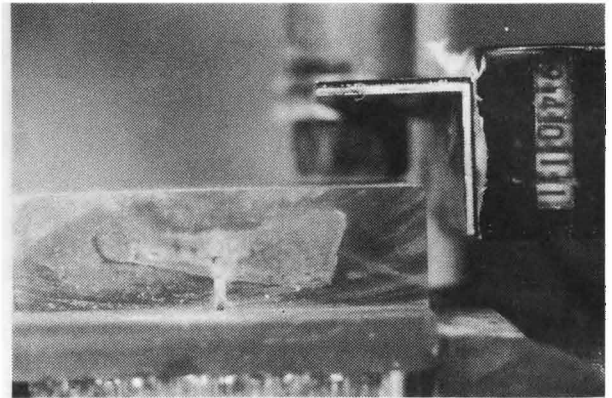


図4 レジンに包埋した基節骨の断面

次いでそれぞれの標本につき、トレースした関節面と骨皮質をディジタイザーおよびコンピュータープログラム AutoCad を使用しディジタイズし、コンピューターによる画像描写をおこなった。(図5a, 5b) 次にデータをASCIIを使用し、関節面の(X, Y, Z)座標を見いだしたが、1つの関節面につき約1000個の座標点を得られた。このようにして得られたデータ

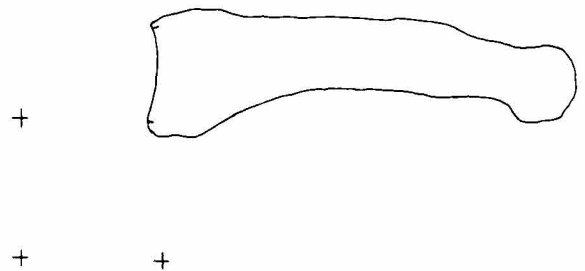


図5-a コンピューターにより描写した基節骨の1断面



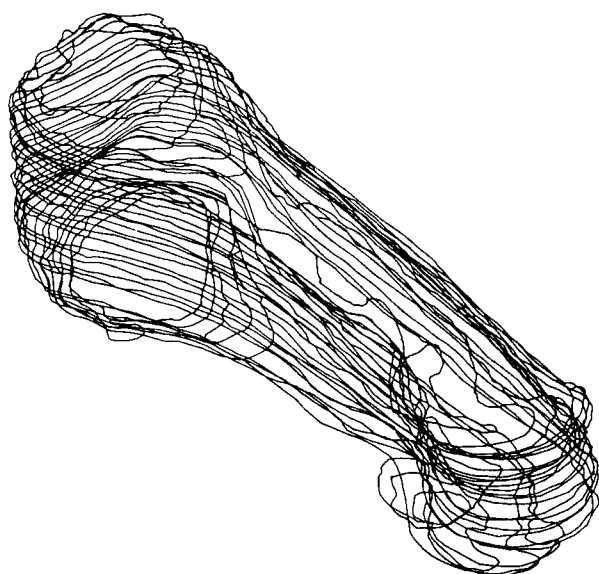


図5-b コンピューターにより描写した基節骨

を前述の開発した方法を用いて9個のパラメーターそれぞれにつき解析した。

#### 結果

表6に代表的な解析結果を示した。表中のRMS errorは既知の立体楕円体と関節表面上の点との最小距離の平均値を表すが、この値がおよそ0.1mmであることは、基節骨関節面と既知の立体楕円体との形状が非常に近いことを意味していた。また半径を表す“a”, “b”, “c”の値は全例において、ほぼ近似の値をとっており、この立体楕円体は球体に近いものと考えられた。基節骨関節面が球体に近い楕円体と考えられると、各軸の回りの回旋は考慮に入れる必要がないことがわかった。またこの立体楕円体の中心は全例で基節骨の長軸より掌側に位置することがわかった。

#### 考 察

##### 1. MCP 関節の形態学的指標の相関性について

表6 立体楕円体の中心座標, 半径, 回転角度

### Spheroid parameter estimations

Specimen #	Digit	a	b	c	$x_c$	$y_c$	$z_c$	$\phi$	$\theta$	$\psi$	RMS
		mm			mm			rad			
9	Middle	10.7	13.1	13.8	-2.3	-20.3	8.5	-0.2	-1.5	-2.2	0.17
10	Index	17.3	17.1	14.3	-0.7	-17.2	6.5	0.2	0.4	0.9	0.13

20組の手指晒し骨標本の80のMCP関節について、14の計測部位を決定し計測をおこなったが、それぞれの指については大きさが異なり計測値が異なるが、各指内の計測値間には同一の相関性が認められた。

本研究の計測値を過去の文献における計測値と比較すると若干の相違が認められた。Unsworth<sup>37)</sup>はshadowgraph<sup>13)</sup>を使用し、Garnは指のX線写真を計測しているが、本研究の計測結果はこれらの計測結果と比較すると計測値は小さくなっており、その原因は晒し骨標本を使用したため、および異なる計測点を計測したためと考えられた。

各指の中手骨、基節骨の長さ、関節面の幅、高さを表2に示したが、これらの間にはある一定の傾向があることが判明した。

骨の長さに関しては、中手骨では第2中手骨が一番長く、第3、第4、第5中手骨の順に短くなり、基節骨では第3基節骨が一番長く、第2、第4、第5基節骨の順となった。また中手骨が一番短い第5中手骨でさえ一番長い第3基節骨よりも長いことが判明した。Unsworthも同様の結果を報告しているが、Garnは第4基節骨の方が第2基節骨よりも長いと報告している。

関節面の幅に関しては、中手骨と基節骨は共に中指が一番大きく、示指、環指、小指の順に小さくなった。

関節面の高さに関しては、中手骨では示指、中指、環指、小指の順になり、基節骨では中指、示指、環指、小指の順となった。

関節面の幅と高さを比較すると、中手骨では関節面

の高さは同一指内では関節面の幅よりも大きく、基節骨では関節面の幅は高さよりも大きいことがわかった。

これらの結果は MCP 関節の人工関節を作製する際に、人工関節の形及び大きさの種類を少なくするために非常に有用な基礎資料となると考えられた<sup>42)</sup>。

次に各指の計測値間の相関性を表 3 に示したが、各指の計測値間の相関性は、どの指をとっても同一であった。このことは MCP 関節の形状には一つの“scaling law”が存在していることを意味し、MCP 関節の人工関節を作製する際には、一度形状を決定すれば、指によって形状を変える必要はなく、この“scaling law”に従って大きさのみを変えていけばよいことになった。

また重回帰分析の結果から各計測値間には強い相関性が認められたが、剰余の平方根値 (RSquared) は 0.748 となり、一つの計測値より他の計測値を予測することは困難であることが判明した。このことは臨床的には術前に X 線計測をおこなっても、基節骨関節面の大きさ、形状は判明しないと言うことを意味しているが、その原因は計測した標本が生物標本であり、固体差があったためと考えられた。

因子分析において、2 因子分析モデルでは因子 1 (長さ-幅の因子) 69%、因子 2 (高さの因子) 9% あわせて 78% しか計測値を説明できなかった。このことは中手骨と基節骨を同時に考慮する際には、高さの要素が重要な意味を持つものと考えられ、実際に MCP 関節の人工関節を作製する際には、2 因子分析モデルは実用的ではなく、膝人工関節や肘人工関節を作製する際に用いられたことのある 1 因子モデルが有用であることも判明した。

## 2. 関節面三次元表記法の開発と応用

MCP 関節は不整な楕円形をした中手骨骨頭と、凹形をした基節骨関節面から形成され、純粋な蝶番関節ではなく、多軸性の顆状関節で屈曲-伸展、外転-内転と極少しの回旋が可能である<sup>5), 18), 20), 28), 32), 33), 39), 43)</sup>。

中手骨骨頭の形状については、過去にいくつかの研究が行なわれており<sup>23), 30), 31)</sup>、最近では Chaykowsky<sup>7)</sup> の報告が見られる。Chaykowsky によると、第 2 中手骨骨頭は第 5 中手骨骨頭と大きさは異なるが、形状は対称的になっており、第 3 中手骨骨頭は第 4 中手骨骨頭と大きさは異なるが、形状は対称的になっている。すなわち右第 2 中手骨骨頭は大きさは異なるが、左第 5 中手骨骨頭の形状とほぼ同じということになる。しかし中手骨骨頭の形状が不整な楕円体であるため、数値として三次元的に表記することは、困難であった。

基節骨関節面については、その形状がほぼ球体の一部に近いとは一般的にいわれてきたが、詳細な研究は

おこなわれていなかった。そこで本研究では関節面の形状を直接的に数値として三次元的に表現する新しい方法を開発し、MCP 関節の形状を解析するために用いた。結果に示した様に RMS error はおよそ 0.1mm であり、基節骨関節面と既知の立体楕円体との形状が非常に近いことが判明した。また半径を表す“a”、“b”、“c”の値は全例においてほぼ近似の値をとっており、既知の立体楕円体はほぼ球体に近い形状を有することとなり、すなわち基節骨関節面は球体に非常に近い形状を持つと考えられた。このことは以前より MCP 関節の基節骨関節面が球体に近いと一般的にいわれてきたことを数値を用いて証明したことにもなった。またこの球体の中心は基節骨長軸より掌側にあることも判明したが、このことは MCP 関節基節骨関節面はやや背側に傾いていることを示している。

現在までに多くの関節面を表記する方法が開発され利用されてきた。直接骨標本を計測する方法、X 線写真を計測する方法、shadowgraph を利用する方法、CAT スキャンを利用する方法等であるが、いずれも関節面を二次元の点としてしか表記できず、三次元の面としては表記できなかった。二次元の点として表記された情報は、人工関節を作製する際には利用できなかったが、ここに新しく開発した方法を用いると、関節面の形状を二次元の面として表記でき、この情報を利用することにより、人工関節の関節面の形状が正常の関節面の形状に非常に近づくこととなる。このことにより人工関節置換術後の合併症を減少させ、より良い関節機能の回復が期待できると考えられる。

また本研究では立体楕円体をモデルとして用いて MCP 関節の基節骨関節面の形状を三次元的に表記したが、この方法は人体内の立体楕円体に近い関節、例えば肩関節や股関節にも応用でき、それらの関節に関する基礎実験や人工関節の開発に有用な方法と考えられる。

## 臨床応用について

現在まで多くの MCP 人工関節が開発され、臨床的にも使用されてきたが、長期間の臨床成績はいずれも良好とはいいがたかった<sup>3), 6), 11), 12), 25), 26), 27), 34), 35), 36)</sup>。その一つの原因として人工関節の形状や動きが、正常な MCP 関節の形状や動きと全く異なっていたことが挙げられる。人工関節の形状や動きを正常の MCP 関節の形状や動きに最も近くするには、表面置換型人工関節が妥当な人工関節と言える。

本研究では、MCP 関節の大きさ及び形状について詳細な研究をおこなってきたが、臨床的に応用できる人工関節を作製するためには今後多くの研究課題が残されている。すなわち解剖学的には、MCP 関節内に

存在するメニスクス様組織の機能について、手指外来筋群及び固有筋群の機能について、生体力学的には MCP 関節の安定機構について、同時に人工関節の素材について、また人工関節の固定方法についても詳細な研究が必要である。それと同時に臨床的には人工関節置換術時に同時に行なうべき軟部組織修復手術について十分な検討が必要である。

## 謝 辞

稿を終わるにあたり、本研究を御指導いただいた神戸大学整形外科廣畑和志教授に深謝いたします。また本研究を援助いただいたカナダクイーンズ大学クリニカルメカニクスグループのスタッフの皆さん、特に J. T. Bryant 助教授に心より感謝致します。最後にコンピュータープログラムについて多大な御教授をいただいたカナダウイニペグ大学奥原義保理学博士に心よ

り感謝致します。

## 要 旨

現在まで多くの指人工関節が開発されてきたが、デザインに問題があり術後成績は良好とは言いがたかった。本研究では指 MCP 関節の解剖学特徴を明らかにするために骨標本の計測し次いで基節骨関節面の形状を三次元的に表記する方法を考案し関節面の形状および大きさを計測した。骨計測からは示指、中指、環指、小指の関節面は大きさは異なるが一つの“scaling law”があり、人工関節を作成する際には各指ごとに形状を変える必要がなく、大きさだけを変えればよいことが判明した。また基節骨関節面を三次元的に表記することにより、関節面の形状は球体の一部であり、背側に傾斜していることが判明した。

## 参 考 文 献

1. Aptekar, R. G., and Duff, I. F.: Metacarpophalangeal joint surgery in rheumatoid arthritis: Long term results. Clin. Orthop., 83 : 123-127, 1972.
2. Backhouse, K. M.: The mechanics of normal digital control in the hand and an analysis of the ulnar drift of rheumatoid arthritis. Ann. R. Coll. Surg. Engl., 43 : 154-173, 1968.
3. Beckenbaugh, R. D., Dobyms, J. D., Linscheid, R. L., and Bryan, R. S.: Review and analysis of silicone-rubber metacarpophalangeal implants. J. Bone Joint Surg., 58A: 483-487, 1976.
4. Beckenbaugh, R. D.: Implant arthroplasty in the rheumatoid hand and wrist: Current state of the art in the United States. J Hand Surg (Am)., 8 : 5 (2), 675, 1983.
5. Boyes, J. H.: Bunnell's Surgery of the Hand, 5th Ed. Philadelphia, J. B. Lippincott, 1970.
6. Burman, M. S.: Vitallium cap arthroplasty of metacarpophalangeal and interphalangeal joints of the fingers. Bull. Hosp. Joint. Dis., 1 : 79-89, 1940.
7. Chaykowski, F. T.: Articular surface geometry of the MCP joints. Msc thesis., Queen's University, Kingston, Canada. 1985.
8. Dobyms, J. H., and Linscheid, R. L.: Rheumatoid hand repairs. Orthop. Clin. North Am., 2 : 629-647, 1971.
9. Ellison, M. R., Kelly, K. J., and Flatt, A. E.: The results of the surgical synovectomy of the digital joints in the rheumatoid disease. J. Bone Joint Surg., 53A: 1041-1060, 1971.
10. Flatt, A. E.: The Care of the Rheumatoid Hand, 3rd Ed. St. Louise, C. V. Mosby, 1974.
11. Flatt, A. E., and Ellison, M. R.: Restoration of rheumatoid finger joint function.: A follow-up note after fourteen years of experience with a metallic-hige prosthesis. J. Bone Joint Surg., 54A: 1317-1322, 1972.
12. Fowler, S. B.: Arthroplasty of metacarpophalangeal joints in rheumatoid arthritis. Proceedings of the American Society for Surgery of the Hand. J. Bone Joint Surg., 44A: 1037, 1962.
13. Garn, S. M., Hertzog, K. P., Poznansky, A. K., and Nagy, J. M.: Metacarpophalangeal Length in the Evaluation of Skeletal Malformation. Pediatric Radiology., 105, 375-381, 1972.
14. Goldstein, H.: Classical Mechanics, Massachusetts, Addison-Welsy Publishing Company.,: 107-109, 1959.
15. Gillespie, T. E., and Flatt, A. E., Youm, Y., and Sprague, B. L.: Biomechanical evaluation of metacarpophalangeal joint prosthesis designs. J. Hand Surg., 4 (6) : 508-521, 1979.
16. Hagert, C. G.: Implants designed for finger joint: A roentgenographic study and a study of implant wear and tear. An experimental study. Scand. J. Plast. Reconstr. Surg., 9 : 53-63, 1975.
17. Hagert, C. G.: Anatomical Aspects of the Design of Metacarpophalangeal Implants.

- Reconstr. Surg. Traumat., 18 : 92-110, 1981.
18. Hakstian, R. W., and Tubiana, R.: Ulnar deviation of the fingers. The role of joint structure and function. *J. Bone Joint Surg.*, 49A: 299-316, 1967.
  19. Kessler, I., and Vainio, K.: Posterior (dorsal) synovectomy for rheumatoid involvement of the hand and wrist. A follow-up study of 66 procedures. *J. Bone Joint Surg.*, 48A: 1085-1094, 1966.
  20. Landsmeer, J. M. F.: Anatomical and functional investigations on the articulation of human fingers. *Acta. Anat., Suppl* 24-2 ad 25 : 1-69, 1955.
  21. Linscheid, R. L.: Surgery for rheumatoid arthritis--timing and techniques: The upper extremity. *J. Bone Joint Surg.*, 50A: 605-613, 1968.
  22. Linscheid, R. L., and Chao, E. Y. S.: Biomechanical assessment of finger function in prosthetic joint design. *Orthop. Clin. North Am.*, 4 : 317-330, 1973.
  23. Loeble, W. Y.: Mobility of metacarpophalangeal joints in rheumatoid arthritis. *Hand*, 5 : 165-169, 1973.
  24. MacMaster, M.: The natural history of the rheumatoid metacarpophalangeal joint. *J. Bone Joint Surg.*, 54B: 687-697, 1972.
  25. Mannerfelt, L., and Anderson, K.: Silastic arthroplasty of the metacarpophalangeal joints in rheumatoid arthritis. Long term results. *J. Bone Joint Surg.*, 57A: 484-489, 1975.
  26. Millender, L. H., Nalebuff, E. A.: Metacarpophalangeal joint arthroplasty utilizing the silicone rubber prosthesis. *Orthop. Clin. North Am.*, 4 : 349-371, 1973.
  27. Niebauer, J. J., Show, J. L., and Doren, W. W.: Silicon-Dacron hinge prosthesis. Design, evaluation, and application. *Ann. Rheum. Dis.*, suppl., 28 : 56-58, 1969.
  28. Pagowski, S., and Piekarski, K.: Biomechanics of metacarpophalangeal joint. *J. Biomech.*, 10 : 205-209, 1977.
  29. Scherrer, P. K., and Hillberry, B. M.: Piecewise Mathematical Representation of Articular Surfaces. *J. Biomechanics*, 12 : 301-311, 1979.
  30. Schulter-Ellis F. P., and Lazer, G. T.: Internal morphology of human phalanges. *J. Hand Surg.*, 9A(4) : 490-495, 1984.
  31. Singh, I.: Variations of the metacarpal bones. *J. Anatomy*, 93 : 262-267, 1959.
  32. Smith, E. M., Juvinal, R. C., Bender, L. F., and Pearson, J. R.: Role of the finger flexors in rheumatoid deformities of the metacarpophalangeal joints. *Arthritis Rheum.*, 7 : 1-6, 1976.
  33. Smith, R. J., and Kaplan, E. B.: Rheumatoid deformity at the metacarpophalangeal joints of the fingers: A corrective study of anatomy and pathology. *J. Bone and Joint Surg.*, 49A: 31-47, 1967.
  34. Steffe, A. D., Beckenbaugh, R. D., Linscheid, R. L., and Dobyns, J. H.: The development, technique, and early clinical results of total joint replacement for the metacarpophalangeal joint of the fingers. *Orthopaedics*, 4 : 175-185, 1980.
  35. Swanson, A. B.: Silicon rubber implants for replacement of arthritic or destroyed joints in the hand. *Surg. Clin. North Am.*, 48 : 1113-1127, 1968.
  36. Swanson, A. B.: Reconstructive surgery in the arthritic hand and foot. *Clin. Symp.*, 31(6) : 1979.
  37. Unsworth, A., and Alexander, W. J.: Dimensions of the metacarpo-phalangeal joint with particular reference to joint prosthesis. *Engineering in Medicine.*, 8 : 75-80, 1979.
  38. Vainio, K.: Surgery of rheumatoid arthritis. *Surg. Ann.*, 6 : 309-335, 1974.
  39. Wagner, C., and Drescher, D.: Measuring mobility of the metacarpophalangeal joints in the dorsovolar plane. *Engineering in Medicine*. 13(1) : 15-20, 1984.
  40. Weilby, A.: Resection arthroplasty of the metacarpophalangeal joint a.m. Tupper using interposition of the volar plate. *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg.*, 11 : 239-242, 1977.
  41. Welsh, R. P., Hastings, D. E., and White, R.: Resurfacing Arthroplasty of the metacarpophalangeal joint. *Acta Orthop. Belgium*, Tome, 48 : Fasc. 6, 1984.
  42. Yeh, H. C., and Wolf, B. S.: Radiographic Anatomical Landmarks of the Metacarpophalangeal Joints. *Diagnostic Radiology*, 122 : 353-355, 1978.
  43. Youm, Y., Gillespie, T. D., Flatt A. E., and Sprague, B. L.: Kinematic Investigation of Normal MCP Joint. *J. Biomechanics*, 11 : 109-118, 1978.
  44. Youm, Y.: Instantaneous Center of Rotation by Least Square Method. *J. Bioengineering*, 2 : 129-133, 1978.

# GEOMETRIC STUDY OF METACARPOPHALANGEAL JOINT

Naoki Fujita, Kazushi Hirohata

Department of Orthopaedics, Kobe University School of Medicine  
(Director : Prof. Kazushi Hirohata)

## ABSTRACT

A wide variety of MCP prostheses have been developed and used. However the kinematics of most prostheses is far from the normal MCP joint and the results of the prosthesis replacement were poor. To achieve the ideal function of the MCP joint, the kinematics of the prosthesis should be close to that of the normal joint and it is necessary to identify the geometry of the MCP joint to make the anatomical prosthesis. The objectives of this study are to investigate the anatomical characteristics of the MCP joint, and to develop a new technique to describe the articular surface in three dimension.

The dry bone hand specimens were measured and the correlation of each parameter was investigated. Then a new method which can describe the articular surface in three dimension was developed and the shape of the MCP joint was described.

The result shows that there is a single "scaling law" of the geometry of the MCP joint. It means that once the shape of the prosthesis is decided, the size of the prosthesis can be decided by following this law.

The shape of the articular surface of the proximal phalanx is concave and the width of the articular surface is larger than the depth. This study revealed that the shape of the articular surface is a part of the sphere and the center of the sphere is volar to the long axis of the proximal phalanx.

These results are valuable to reduce the number of the shapes and sizes of the prosthesis, and the kinematics of the prosthesis will be close to the normal joint.