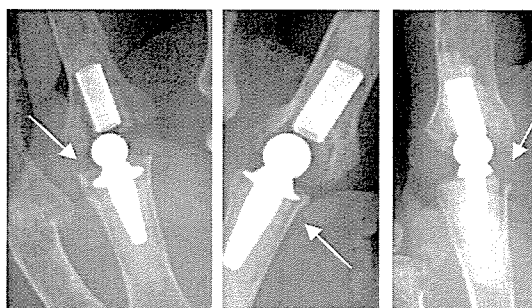


のみであった。最終観察時の患者満足度満足度は非常に満足が 30 関節、満足が 40 関節、変化なしが 29 関節、悪くなったが 2 関節であった。術後 X 線写真では中手骨コンポーネント周囲の clear line もしくは骨吸収が 13%に、中手骨コンポーネントの沈み込みが 10%に認められた。基節骨コンポーネント周囲の clear line は 1%に認められた。101 関節中の 23 関節 (23%) に脱臼が認められた (図 6)。脱臼 23 関節に対して再手術を施行した例は 5 関節あり、術中の所見より、脱臼の原因は 1 例はポリエチレンステムの折損、4 例はポリエチレンステムの変形であった。(図 7)



沈み込み clear zone 骨吸

図 6 成績不良例の X 線写真の内訳

術前の可動域と術後の脱臼との関係では、術前屈曲拘縮の強い症例もしくは術前屈曲角度の大きい症例に有意に高頻度に術後の脱臼を認めた (Mann-whitney の u 検定:  $p < 0.05$ ) (図 7)。術前に MP 関節に脱臼のある症例で術後の人工関節の脱臼を有意に高頻度に認めた ( $\chi^2$  検定:  $p < 0.05$ )。また術前に尺側偏位のある症例で、術後の人工関節の脱臼を有意に高頻度に認めた ( $\chi^2$  検定:  $p < 0.05$ )。

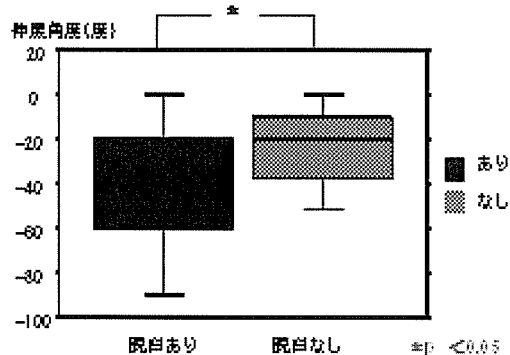


図 7 術前屈曲角度と術後脱臼の有無の関係

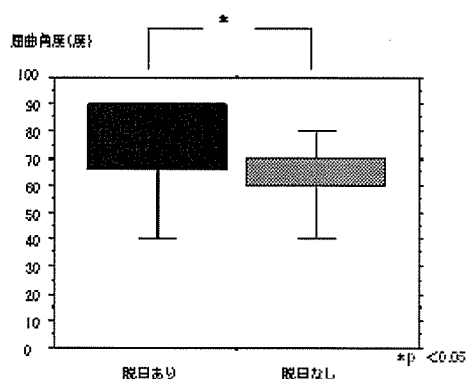


図 8 術前伸展角度と術後脱臼の有無の関係

#### D. 考察

##### 研究 I : 肘関節の運動解析。

%I-EMG について RA 群が対照群よりも Biceps、Triceps lateral head で高値を示したことは (1) 痛みのため最大随意収縮が行いにくい、(2) 廃用性萎縮により筋量が減少した、(3) 破壊された肘の安定化のために肘関節周囲筋群が過剰に収縮した、などの可能性が考えられる。また内反・外反方向の加速度波形について RA 群で一定の傾向を示さなかったことは、RA 肘の関節破壊の程度により加速度波形の傾向が異なっていた可能性がある。人工関節後の運動解析などは今後の課題である。

## 研究Ⅱ：人工肘関節の成績。

Kudo elbow type-5 の詳細な治療成績は少ない。X 線上の clear line あるいは loosening の発生頻度に関しては、6-35% と報告者によりさまざまである。今回の調査では 40% の例で clear line が、5% で loosening が認められた。Clear line あるいは loosening が認められた 9 肘はすべて尺骨コンポーネントにこれらの変化がみられていた。この点は Kudo elbow type-5 の design 上の問題である可能性もある。今後検討すべき課題であると思われた。

## 研究Ⅲ：指人工関節の成績。

今回の調査では 101 関節中 23 関節に術後脱臼を認めた。再手術時の所見では原因としてポリエチレンのステムとソケット間の変形、折損が認められた。指屈伸時に同部へのストレスが大きいためと思われた。術前の MP 関節の屈曲拘縮の強い症例もしくは術前屈曲角度の大きい症例に有意に術後の脱臼を認めたことより屈曲位での指の動きがポリエチレンの同部位にストレスを強く生じることが推察される。また術前に MP 関節の脱臼、尺側偏位を認めるような変形の強い MP 関節では術後脱臼を起こしやすい。今後の課題としては、詳細なレントゲン解析と、現在の問題点の改善、問題点を改善して新たなデザインの人工関節の開発、手術手技の改良が挙げられる。

## E. 結論

### 研究Ⅰ：肘関節の運動解析。

%I-EMG は RA 群が対照群よりも大きな値を示し、その傾向は Brachioradialis と Triceps lateral head において顕著であっ

た。加速度波形の積分値は両群間で有意差がみとめられなかった。今回用いた肘関節の計測・解析方法は RA 患者の筋活動特性や関節の不安定性を簡便かつ定量的に評価するうえで有用な方法と考えられる。

### 研究Ⅱ：人工肘関節の成績。

Kudo type-5 人工肘関節の平均約 5 年の成績は臨床上是満足のいく結果であった。しかし Clear line が尺骨コンポーネントに認められる例があり、今後の経過観察が必要である。

### 研究Ⅲ：人工指関節の成績。

MES 社製 Ball in socket 型人工指人工指 MP 関節の短期成績について多施設の後ろ向き調査では 23% に脱臼を認めた。脱臼の原因としてステムの折損、変形が考えられた。また術前の MP 関節変形、拘縮の程度が術後成績に影響を及ぼすと考えられた。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

- 1) Horiuchi H, Nawata M, Kamiyo T, Saito N, Wakitani S, Kobayashi S, Shimizu T, Kato H: Locking of the knee caused by localized pigmented villonodular synovitis: a case report. Modern Rheumatol 14; 184-6, 2004
- 2) Uchiyama S, Itsubo T, Yasutomi T, Nakagawa H, Kamimura M, Kato H: Quantitative MRI of the wrist and nerve conduction studies in patients with idiopathic carpal tunnel syndrome. J Neurol Neurosurg Psychiatry 76; 1103-8, 2005

- 3) Saito N, Murakami N, Takahashi J, Horiuchi H, Ota H, Kato H, Okada T, Nozaki K, Takaoka K: Synthetic biodegradable polymers as drug delivery systems for bone morphogenetic proteins. Adv Drug Deliv Rev 57; 1037-48, 2005
- 4) Yamazaki H, Kato H, Nakatsuchi Y, Murakami N, Hata Y: Closed rupture of the flexor tendons of the little finger secondary to non-union of fractures of the hook of the hamate. J Hand Surg [Br] 31; 337-341, 2006
- 5) 藤本理代, 加藤博之, 岩崎倫政, 三浪明男, 三浪三千男: 当科における関節リウマチ肘に対する工藤式 (type-5) 人工肘関節の治療成績. 日本肘関節学会誌 11; 5-6, 2004
- 6) 中村恒一, 政田和洋, 橋本英雄, 鈴木克侍, 石川淳一, 加藤博之: Swanson implant を用いたリウマチ手指 MP 関節形成術の成績. 日本手の外科学会誌 23: In press, 2006
- 7) 中村順之, 木村貞治, 加藤博之, 村上成道, 畑 幸彦: RA 肘の運動解析. 日本肘関節学会誌 13; 105-6, 2006
- 3) 中村順之, 加藤博之, 村上成道, 畑 幸彦, 木村貞治, 斎藤直人: 関節リウマチ肘の運動解析第 21 回日本整形外科学会基礎学術集会 平成 18 年 10 月 19 日. 於: 長崎市

#### G. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし

##### 1. 特許取得

該当なし

##### 2. 実用新案登録

該当なし

##### 3. その他

該当なし

#### 2. 学会発表

- 1) 加藤博之, 山崎 宏, 吉岡千佳, ほか: リウマチ手関節に対する橈骨月状骨間固定術. 日本手の外科学会雑誌 (0910-5700) 22 巻 1 号 PageS 143 平成 17 年 3 月
- 2) 中村順之, 加藤博之, 村上成道, 畑 幸彦, 木村貞治, 斎藤直人: 関節リウマチ肘の運動解析. 第 18 回日本肘学会 平成 18 年 2 月 19 日. 於: 名古屋市

関節リウマチ上肢人工関節開発に関する研究

—新しい人工手関節の開発—

分担研究者 岩崎 倫政 北海道大学病院 講師  
研究協力者 石川 淳一 山の手通八木病院院長  
研究協力者 平田 裕子 ナカシマプロペラ株式会社

研究要旨：関節リウマチにより高度に破壊された手関節に対して本邦で使用可能な人工関節はこれまで存在しない。1970年代より欧米で開発された人工手関節においても長期にわたり良好な成績が得られているものは存在しない。4年以上経過観察された成績を文献上で検討した結果、大きな問題点は遠位側のゆるみによるコンポーネントの破損と周囲軟部組織の拘縮による手関節の掌尺屈変形および掌側への脱臼であることが明らかとなった。我々は生理的な手関節運動であり、周囲軟部組織に加わる緊張が少ない投げ矢面での運動（dart thrower motion）を誘導する人工手関節が以上の問題を解決する理想的なものであると考え、正常手関節 CT モデルより新たな人工手関節を開発した。投げ矢運動を誘導するため表面置換、半拘束型とし、摺動面は橈骨ステムに対して長軸で10度の回旋を設けた。さらに摺動面の形態として楕円形、卵円形（橈尺屈半拘束型）、卵円形橈尺屈完全拘束型）の3種類を作成した。屍体手関節にこれら3種類の摺動面の異なる人工手関節を挿入し、X線学および3次元運動解析を行った。いずれの摺動面においても目的とした dart thrower motion が再現されたが、楕円形では橈尺および回旋（回内外）での拘束が小さく、摺動面での不適合性が大きかった。一方、卵円形では回旋、橈尺屈での不適合は少なく、安定した dart thrower motion が得られた。今回開発した dart thrower motion を誘導する新たな人工手関節は関節リウマチにより破壊された手関節に対し、除痛と生理的な運動を獲得できる有用なものであると考え

A. 研究目的

1967年にSwansonが関節リウマチ（RA）手関節に対してシリコン人工関節を応用したが、シリコン滑膜炎やインプラントの破損など大きな問題点があった。1970年代後半より全人工関節として様々な機種

が主に欧米にて開発、使用されている。しかし、1-2年の短期成績は良好であるものの長期にわたり良好な成績が得られるものは未だ存在しない。本邦では現在までのところ臨床で使用可能な人工手関節は存在せず、RA手関節に対しては部分あるいは

全手関節固定術が選択されてきた。除痛は得られるものの固定術による可動域消失はADLに多大な障害をもたらすため、本邦においても人工手関節の開発は急務である。

これまで我々は正常手関節の運動解析にて投げ矢運動 (dart thrower motion)、すなわち橈背屈から掌尺屈への運動方向が生理的であり周囲軟部組織に加わる緊張が少ないことを報告してきた。より生理的な運動を示す人工手関節が長期使用に耐えるものになると考える。

本研究ではまずこれまでの欧米での人工手関節の長期成績を検討し、その問題点を明らかにした上で dart thrower motion を誘導する新たな人工手関節を正常手関節 3次元 CT モデルよりデザイン、作成した。これを屍体手関節に挿入し、X線解析、3次元運動解析を行い、その有用性を検討した。

## B. 研究方法

### 1. 人工手関節の長期成績の問題点についての文献検討

これまで欧米にて報告された種々の人工手関節の成績報告のうち、4年以上の経過観察を行っている7機種を対象とした。各機種における failure rate とその原因、コンポーネントのゆるみの部位とその頻度、その他の合併症について検討した。

### 2. 新たな人工手関節のモデル作成とX線学的検討

正常ボランティアの単純X線および3次元CT写真のデータに基づき、新たな人工手関節設計を行った。我々がデザインした新しい人工手関節は生体関節面形状に近づけるため表面置換半拘束型とし、関節面の

形状は舟状骨と月状骨およびそれらに対応する橈骨関節面との摺動面を再現した。手関節周囲軟部組織に加わる緊張が少なく、生理的な手関節運動である投げ矢運動 (dart thrower motion) をもたらすため関節面は橈骨ステム軸に対して axial plane で 10°の回旋を設けた。コンポーネントは橈骨・手根骨ステム・骨頭の3 parts よりなり、橈骨コンポーネントは関節面での耐磨耗性を考慮し、超高分子量ポリエチレン (UHMWPE)、手根骨ステムは生体適合性を考慮しチタン合金 (Ti-6Al-4V 合金) 製、骨頭はポリエチレンとの磨耗量減少を目的としコバルトクロム合金 (Co-Cr-Mo 合金) とした。人工手関節が適応となる RA では骨破壊・吸収が強いので初期固定ならびに長期の固定力保持のため人工関節はセメント固定とした。手根骨側は第3中手骨基部まで届くステムを有し、橈骨側は髓腔に適合するステム形状を持つ。高頻度に発生する手根骨側のゆるみに対応するため第2、第4中手骨へスクリューによる手根骨ステムの強固な固定を可能にした。関節脱臼を防止するため橈骨コンポーネント関節面を深くし、掌尺側縁を堤防状に高くした。生理的な有頭骨軸と橈骨軸のアライメントを再現するため橈骨ステム部に正面で5mm、側面で2mmのオフセットを設置した。初期のモデルとして摺動面を楕円形とし、dart thrower motion での運動を再現するため中央に凹凸を設け橈尺屈方向への転位を防止した (図1)。実際のモデルを解剖用屍体4手関節に挿入し、最大手関節掌背屈、最大橈尺屈位にてX線撮影を行い、獲得可動域と摺動面の適合性を評価した。

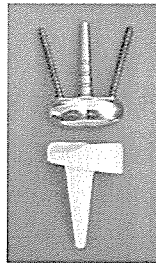


図1 楕円形摺動面

### 3. 摺動面の形態と3次元運動解析

摺動面の相違による手関節運動の相違を検討するため、初期の楕円形摺動面に加えて新たに卵円形摺動面を作成した。正常の橈骨月状骨、橈骨舟状骨関節面の形態に合わせて卵円形とし、月状骨側（尺側）の曲率を舟状骨側（橈側）より小さくすることで掌背屈運動にとまない生理的な回旋（回内外）運動が生じることを期待した。さらに卵円形摺動面として橈尺屈にあそびを有する（橈屈5度、尺屈25度）もの（橈尺屈半拘束型）と橈尺屈を完全に拘束したもの（橈尺屈完全型）の2つを作成した（図2）。屍体上肢（新鮮凍結1体、解剖用1体）を肘関節90度屈曲位、前腕回内外中間位で固定板にK鋼線で固定した。第3中手骨骨幹部に刺入した木棒2本を通して磁場センサーを固定した。橈側・尺側手根伸筋腱、橈側・尺側手根屈筋腱の4つに重錘を下げ、手関節掌背運動を再現した。解析方法として手関節橈尺方向をX軸、掌背方向をY軸、近位、遠位方向をZ軸として3次元座標を決定し、手関節掌背屈運動時の3次元運動方向および回転角度を測定した（図3）。人工手関節挿入前と先に述べた摺動面の形状相違による3種類の人工手関節（楕円形、卵円形〔橈尺屈半拘束、完全拘束〕）挿入後で比較した。目的とする投げ矢面での運動が獲得できているかどうか、

さらにそれぞれの摺動面での手関節運動の相違について検討した。

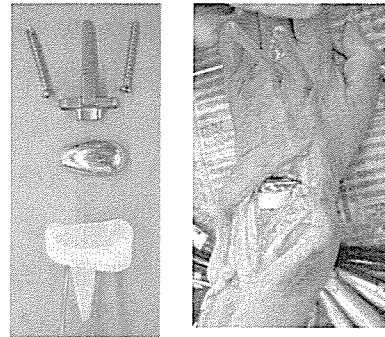


図2 卵円形摺動面と新鮮屍体への置換後

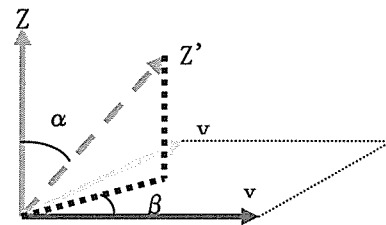
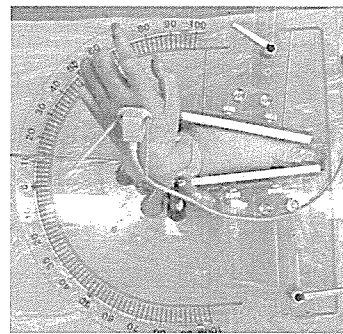


図3 3次元運動解析と座標軸

### C. 研究結果

#### 1. 人工手関節の長期成績の文献検討

Failure rate は380例中41例であった。原因として手根骨側でのゆるみが29例、53%と圧倒的に多かった。コンポーネントのゆるみは手根骨側で高率に発生しており、橈骨側では極めて少なかった。軟部組織の imbalance によって掌尺屈変形をきたした頻度は6.8%であった。さらに掌側へ

の脱臼は4%に認められた。

## 2. 新たな人工手関節の置換とX線検討

屍体手関節4手関節全例において術中の骨折、インプラントの破損などの問題はなく安全に人工手関節の置換が可能であった。置換前の平均可動域は背屈：40°、掌屈：57°、尺屈：32°、橈屈9°に対して、置換後の平均獲得可動域は背屈47°、掌屈：42°、尺屈21°、橈屈9°であった。掌背屈可動域は設計上で予想された角度（背屈50°、掌屈50°）とほぼ同様であった（図4）が、橈尺屈可動域、とくに尺屈は設計上の角度より大きく、また橈尺屈において関節面の不適合性が生じた（図5）。すなわち橈屈では関節面尺側に、尺屈では橈側に間隙を生じた。手根骨の高さを示す carpal ratio は置換前が0.501に対して置換後は0.500であり、正常な手根骨高が維持されていた。

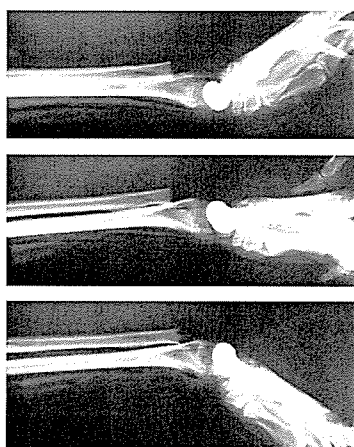


図4 置換後の掌背屈運動

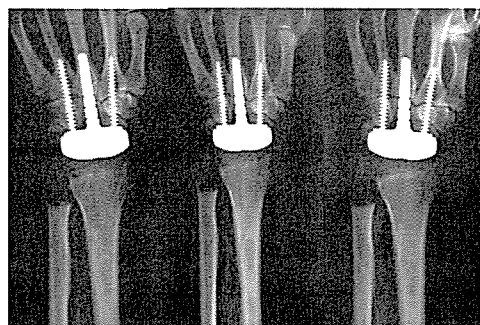


図5 置換後の橈尺屈

## 3. 摺動面の形態と3次元運動解析

Dart thrower motion が再現されているかどうかを検討するため掌背屈運動方向をXY平面で検討すると、いずれの摺動面でも置換前と同様の dart thrower motion が再現されていた（図6、7）。楕円形（Implant No.1）では掌背屈時のXY平面での運動方向が一定せず橈尺屈の拘束が少ないためと考えられた。一方、卵円形では半拘束型（Implant No.2）、完全拘束型（Implant No.3）とも運動方向は一定し、安定していた。掌背屈回転角度（角度 $\alpha$ ）は背屈が置換前：50度、implant No.1：44度、No.2：52度、No.3：48度とほぼ同角度であった。掌屈は置換前：73度、implant No.1：63度、No.2：57度、No.3：48度であり、置換後はいずれの摺動面でも掌屈が低下していた。

回内外運動すなわちZ軸周囲の回転は置換前：36度、implant No.1：49度、No.2：3.0度、No.3：3.5度であった。楕円形では過大な回旋運動がおこなっていること、また逆に卵円形では回旋運動がほぼ完全に拘束されていた。

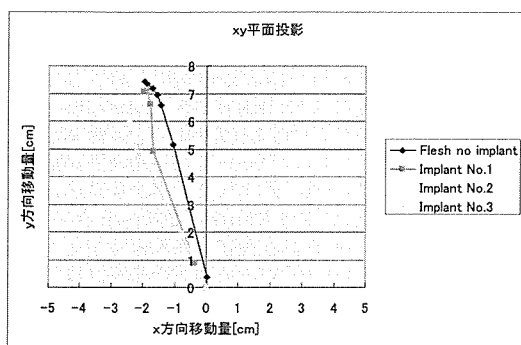


図3 中間位から掌屈でのXY平面での運動方向

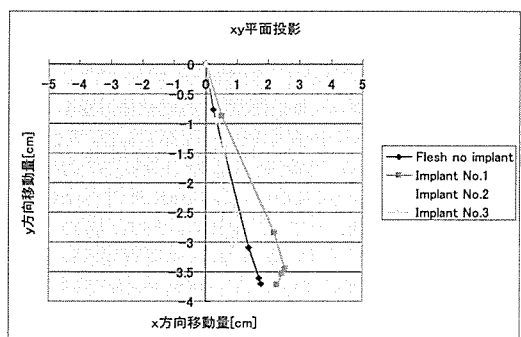


図4 中間位から背屈でのXY平面での運動方向

#### D. 考察

これまで欧米で使用されてきた人工手関節では長期の failure rate は高く、手根骨側のコンポーネントのゆるみと周囲軟部組織の拘縮および手関節伸筋腱の作用低下による掌尺屈変形および掌側脱臼が原因であった。手根骨側でのゆるみや破損が高頻度である原因として人工関節によってもたらされる手関節運動方向が非生理的であり、手根骨インプラントと骨の間に異常なストレスが働くためと考えられる。正常手関節の運動解析において矢状面での伸展、屈曲より dart thrower (投げ矢) 面での伸展、屈曲運動 (dart thrower motion) がより生理的であり、手関節周囲軟部組織に加わるストレスが少ない。我々が開発した dart thrower motion を誘導する半拘束型人工手関節はこれまでの欧米での人工手関

節成績で明らかとなった諸問題を解決する可能性が考えられる。正常では橈骨手根関節と手根中央関節の2関節により複雑な手関節運動がもたらされており、これを1関節として置換し、さらに生理的な dart thrower motion を摺動面の形態によって誘導するためには、この面での回転中心を一定にする必要があり、橈尺屈はある程度犠牲にしなければならない。

今回、摺動面の異なる3つの人工手関節を作成し、X線および運動解析を行ったが、いずれも投げ矢面での掌背屈運動 (dart thrower motion) が再現されていた。しかし初期の楕円形摺動面の中央に凹凸を設けて橈尺方向への転位を拘束したタイプでは橈尺屈、回旋の拘束が少なく、摺動面の不適合が生じ、脱臼や材質の磨耗、破損の観点からも大きな問題であると考えられた。一方、卵円形摺動面では安定した dart thrower motion が再現されており、回旋に対する安定性も得られていた。橈尺屈半拘束と完全拘束では掌屈角度以外に相違は見られず、橈尺屈に多少のあそびを有する卵円形 (橈尺屈半拘束型) がゆるみの観点からも最適と考えられた。今後は本人工手関節を用いた臨床成績の検討が必要と考える。

#### E. 結論

生理的な dart thrower motion を誘導する表面置換、半拘束型人工手関節を開発した。屍体手関節を用いたX線、3次元運動解析にてその有用性が証明された。



F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Ishikawa J et al.: Feasibility of using a magnetic tracking device for measuring carpal kinematics. J Biomechanics 1997, 30, 1183-6.
- 2) Ishikawa J et al.: The effects of wrist distraction on carpal kinematics. J Hand Surg., 1999, 24, 113-20.
- 3) 石川淳一ほか: RA手関節の手術. 整形・災害外科 47, 733-40, 2004.
- 4) Ishikawa J et al. Influence of distal radioulnar subluxation on restricted forearm rotation after distal radius fracture. J Hand Surg, 30A, 1178-1184, 2005
- 5) 石川淳一ほか: [特集/新時代の運動器リハビリテーション] 手関節周囲外傷整形外科 56, 940-944, 2005.

G. 知的財産権の出願・登録状況

なし。

関節リウマチにおける新しい人工肘関節置換術開発に関する研究

分担研究者 村瀬 剛 大阪大学大学院医学系研究科器官制御外科学（整形外科）助手

分担協力者 関敦 仁 国立相模原病院整形外科医長

関節リウマチに対する新規人工肘関節の開発を目指して以下の研究を行った。まず、従来の人工肘関節置換術後症例を対象として後ろ向き臨床研究を行った。結果、骨欠損の少ない症例では比較的良好な成績を得られる一方で、骨欠損の大きな症例でのゆるみの発生が従来機種の問題点として提起された。一方、RA 肘関節破壊様式を明らかにすることを目的としたレントゲン大規模調査では、上腕骨遠位顆間部に骨欠損の好発をすることがわかった。これらの結果から、大きな骨欠損を伴うリウマチ肘関節をターゲットとした人工肘関節では上腕骨コンポーネントのステムデザインが重要と考えた。そこで、人工肘関節の最適な解剖学的ステム形状の設計を目的として上腕ならびに尺骨の骨髓腔の 3 次元計測を行い、そのデータに基づいて新たな上腕骨ステム形状を設計した。このステムの上腕骨へのインプラント設置シミュレーションを行い、従来機種に比べて髓腔占拠率、適合性とも大幅に向上することがわかった。同時に最適な摺動面形状を決定するための 2D/3D レジストレーション法を応用した生体内 3 次元人工肘関節動態解析法を開発した。これらのデータ、技術を組み合わせることにより、新世代人工肘関節の開発が可能である。

A. 研究目的

人工肘関節置換術（以下 TEA）は、関節リウマチ（以下 RA）における肘関節障害の再建方法として有効であることは広く認識されている。非拘束式 TEA は関節部分での安定性に若干の問題があるが、骨-プロステシス間のストレスが小さく、ゆるみを起こしにくいと考えられる。また、手術での骨切除が少なくすむので万一ゆるみが起こった場合の再置換術にも対応しやすい。従って RA の人工肘関節置換術において良好な長期成績を得るためには、非拘束型で

骨セメント非使用機種の使用が望まれる。しかしながら、従来型の非拘束 TEA の適応の限界については十分な知見が得られているとは言い難い。また、非拘束型 TEA でも、表面置換に近いコンセプトの機種と、ステムによる上腕骨髓内での固定性を重視する機種があり、それらの適応に関しても十分な検証がなされていない。まず従来機種の成績と限界を明らかにすることと、リウマチ肘関節の破壊様式を明らかにすることを最初の目標とした (①)。一方、非拘束型人工肘関節の現行機種の中・長期成績を文献

的に考察すると、上腕骨コンポーネントシステムの形状と上腕骨顆部での固定性が成績を左右する重要な因子であることがわかる。人工股関節では常識である解剖学的ステム形状の研究は人工肘関節において、ほとんどなされていない。高度な関節破壊を伴った RA 肘関節に対して安定した成績を得るためには、非拘束型人工肘関節の髓腔ステム形状の改良が必要と考えられる。本研究の第二の目的は、解剖学的髓腔形状を参考にしたステムを設計し、その髓腔適合性を検討することとした (②)。髓腔形状は、RA 患者および屍体骨の CT データから 3 次元計測した。非拘束型 TEA におけるもう一つの問題点は、関節不適合の状態では肘屈伸運動を行うことで早期に摺動面の摩耗が起こり、摩耗粉による人工関節周囲の反応性骨融解から人工関節の緩みを生じることである。よって、最適な摺動面形状設計に必要な基礎データを収集するための生体内 3 次元人工肘関節動態解析法を開発することを本研究の第 3 の目的とした (③)。正確に人工肘関節術後の肘動態解析を行う手法を開発することが出来れば、従来機種術後の動態の問題点を明らかにして、新たな人工肘関節の摺動面設計に応用することが期待できる。

## B. 方法

①非拘束式人工肘関節置換術 53 例を対象として後ろ向き臨床研究を行った。レントゲン評価、JOA スコア (疼痛、可動域、ADL 機能、筋力、安定性) を調査した。また、RA 患者の 386 肘を対象として大規模 X 線調査を行い、関節破壊様式について検討した。

②RA 患者の 10 肢と屍体乾燥骨 6 肢の肘関

節 CT 撮影を行った。得られた 3 次元 CT デジタルデータから独自開発した画像解析ソフトウェアを用いて骨髄腔形状の 3 次元データを抽出した。上腕骨の横断像を得て、骨髄腔横断像の形状評価、横断面積と前後径・横径の計測、骨髄腔の彎曲程度を評価した。また、これらの結果を参考として、新たな上腕骨ステム形状を 3D CAD ソフトウェアを用いて設計し、コンピュータ上でインプラント設置シミュレーションを行った。

③独自に開発した 2D/3D レジストレーション法を人工肘関節へ応用した。大阪大学式人工肘関節置換術後の RA 患者の 8 肘を対象とし、肘屈伸 X 線透視動態画像からコンピュータ上で人工関節の輪郭抽出を行い、CAD データと形状マッチングすることでインプラントの連続的空間位置姿勢を計算した。誤差検定とともに対象症例の動態評価を試みた。

## (倫理面への配慮)

CT および透視撮影に際して、その目的、利益、不利益に関して事前に口頭・文書で説明し検査を施行した。後ろ向き研究を含む一連の本研究において、個人データは匿名化により保護されている。

## C. 結果

①JOA スコアは全体で術前平均 46 点が術後平均 73 点へと有意に改善した。項目別では疼痛、屈曲、回内外可動域など伸展可動域以外の項目すべてで術後有意な改善を認めた。一方、レントゲン評価において、上腕骨顆部に骨欠損ある症例では上腕骨コンポーネントステム周囲の 1 mm 以内の骨透瞭

像が13関節(20.3%)に認められた。ゆるみは4関節(6.3%)に発生し、すべて上腕骨骨欠損を伴う症例にショートステム上腕骨コンポーネントを設置した症例であった。尺骨コンポーネントには追跡期間を通じて変化を認めなかった。レントゲン大規模調査では、上腕骨遠位関節面中央部での関節面破壊の進行が、他の部位に比べて重度であることが示唆された。また、上腕骨滑車の骨破壊が肘頭窩まで及ぶ、いわゆるY字変形を全症例中、6症例に認めた。

②上腕骨髓腔形状：RA患者、屍体乾燥骨とも肘頭窩の付近では前方を底面とする平らな二等辺三角形形状で、肘頭窩より3-4cm近位レベルで正三角形形状となり、それより近位では徐々に正円形に近づいた。平均横断面積は2-3cmレベルでは100mm<sup>2</sup>程度、4-5cmでは80mm<sup>2</sup>程度で、それより近位では再び漸増していた。各横断面の重心点と結ぶ線は緩やかに前方に彎曲していた。この髓腔形状を考慮した上腕骨ステムデザインを試み、上腕骨への設置シミュレーションを行った結果、ステムの面積占拠率、前後径占拠率、横径占拠率は従来機種でそれぞれ31%、44%、49%、新型が56%、82%、72%であり大幅に髓腔占拠率が改善した。

③2D/3D レジストレーション法の人工肘関節での精度検証では、最大誤差が回転角1.2°未満、偏位2mm未満と臨床計測上十分な精度であった。対象症例の動態評価では、コンポーネント間の屈曲/伸展が133.4°/-42.2°で、屈曲角度はどの症例もほぼ最大屈曲位が得られていた。コンポーネント間の回旋・内外反は症例によって大きく偏っていた。屈伸運動中、比較的安定した動態を示す症例もある一方で、屈曲位で尺骨コン

ポーネントが外旋あるいは、伸展位で尺骨コンポーネントが外反する症例が見られた。これらの症例も回旋は伸展で、内外反は屈曲で0°に収束する傾向を認めた。

#### D. 考察

上腕骨顆部の固定性を重視した従来機種は、顆部に骨欠損のある症例で高率にゆるみを生じた。RAにおける骨欠損の大きな肘関節破壊においては顆部での人工関節の固定性に限界があることがわかった。関節破壊が進行したRA肘関節に対する人工関節置換術では、骨欠損が大きい上腕骨顆部で固定性を得ることが難しい。また、そのような骨欠損を伴う関節破壊も比較的高頻度に起こることもわかった。従って、長期にわたって良好な成績を得るためには、人工肘関節髓腔ステムでの初期固定性が重要となる。しかし、従来のインプラントは十分に上腕骨髓腔の解剖学的特徴を考慮しているとは言い難い。我々の研究により上腕骨髓腔は肘頭窩の付近では前方を底面とする平らな二等辺三角形形状で、肘頭窩近位レベルで正三角形形状となり、それより近位では徐々に正円形に近づくこと、また髓腔は緩やかに前方へ彎曲していることがわかったが、その知見から新しい上腕骨ステムの設計を試みた。本研究の結果から、新ステム形状により髓腔占拠率や形状適合性を大きく改善できることがわかり、ステムによる初期固定性の向上に寄与すると考えられた。独自に開発した生体内3次元人工肘関節動態解析法は、従来機種の動態を客観的・定量的に評価することで人工関節摺動面形状の改良に極めて有用であると考えられた。人工肘関節置換術後に応用した結果

では、屈伸可動域に関しては従来の知見と一致した一方で、コンポーネント間の回旋・内外反偏位は肘の肢位によって変化し、変化量は症例によって大きく異なった。

これらの3次元解剖学的形状データ、動態解析技術は新しい概念の人工肘関節ステムや摺動面形状をデザインするために極めて有用であると考えられる。

## E. 結論

本研究で得られた基礎データは、RA人工関節の手術適応の決定と日本人の上腕骨、尺骨骨髓腔に適合した人工関節ステムや関節摺動面の設計に寄与すると考えられる。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

- 1) Murase T, Moritomo H, Yoshikawa H. Palmar dislocation of the metacarpophalangeal joint of the finger. J Hand Surg 29B: 90-93, 2004.
- 2) Moritomo H, Murase T, Goto A, Oka K, Sugamoto K, Yoshikawa H. Capitate-based kinematics of the midcarpal joint during wrist radioulnar deviation: an in vivo three-dimensional motion analysis. J Hand Surg 29A: 668-675, 2004.
- 3) Goto A, Moritomo H, Murase T, Oka K, Sugamoto K, Arimura T, Nakajima Y, Yamazaki T, Sato Y, Tamura S, Yoshikawa H, Ochi T. In vivo elbow biomechanical analysis during flexion: three-dimensional motion analysis using magnetic resonance imaging. J Shoulder Elbow Surg 13: 441-447, 2004.
- 4) Oka K, Murase T, Moritomo H, Goto A, Sugamoto K, Yoshikawa H. Patterns of bone defect in scaphoid nonunion: a 3-dimensional and quantitative analysis. J Hand Surg [Am]. 30, 359-65, 2005.
- 5) Goto A, Moritomo H, Murase T, Oka K, Sugamoto K, Arimura T, Masumoto J, Tamura S, Yoshikawa H and Ochi T. In vivo three-dimensional wrist motion analysis using magnetic resonance imaging and volume-based registration. Journal of Orthopaedic Research. 23. 750-56, 2005.
- 6) Murase T, Moritomo H, Goto A, Sugamoto K, Yoshikawa H. Does Three-dimensional Computer Simulation Improve Results of Scaphoid Nonunion Surgery? Clinical Orthopaedics and Related Research. 434. 143-50, 2005
- 7) Moritomo H, Murase T, Goto A, Oka K, Sugamoto K, Yoshikawa H. In vivo three-dimensional kinematics of the mid carpal joint of the wrist. J Bone Joint Surg ; 88: 611-621, 2006.
- 8) Kitamura T, Hashimoto J, Murase T, Tomita T, Hattori T, Yoshikawa H, Sugamoto K. Radiographic study of joint destruction patterns in the rheumatoid elbow. Clinical Rheumatology: E-pub, 2006.
- 9) Namba J, Shimada K, Saito M, Murase T, Yamada H, Yoshikawa H. Modulation of peritendinous adhesion formation by alginate solution in a rabbit

flexor tendon model. Journal of Biomedical Material Research Part B, Applied Biomaterial: 80: 273-279, 2007.

- 10) 3D-CT を用いたリウマチ患者での上腕骨・尺骨, 骨髓腔の3次元計測. 後藤 晃, 村瀬 剛, 岡 久仁洋, 森友 寿夫. 日本肘関節学会雑誌, 掲載予定.

## 2. 学会発表

- 1) Goto A, Moritomo H, Murase T, Sugamoto K, Yoshikawa H, Nakajima Y, Tamura S, Arimura T. In vivo three-dimensional wrist kinematics: using volume-based registration. 50<sup>th</sup> annual meeting of ORS, 2004, 3, San Francisco.
- 2) Murase T, Moritomo H, Goto A, Oka K, Sugamoto K, Yoshikawa H. The use of a 3D computer-designed sterelithography model as an intraoperative guide for scaphoid non-union surgery. 9<sup>th</sup> congress of IFSSH. 2004. 6, Budapest.
- 3) Moritomo H, Murase T, Goto A, Oka K. Pathological kinematics in scaphoid nonunion. 59<sup>th</sup> meeting of ASSH. 2004. 9, New York.
- 4) Murase T, Moritomo H, Goto A, Oka K. 3D computer simulation surgery for scaphoid nonunions. 59<sup>th</sup> meeting of ASSH. 2004. 9, New York.
- 5) Murase T, Moritomo H, Goto A, Oka K, Yamamoto K, Denno K, Sugamoto K, Yoshikawa H. 3D computer simulation surgery for scaphoid nonunions. 5<sup>th</sup> congress of APFSSH. 2004. 11, Osaka.
- 6) Moritomo H, Goto A, Murase T, Sato Y, Yoshikawa H. In vivo, 3 dimensional kinematics study of the midcarpal joint. 5<sup>th</sup> congress of APFSSH. 2004. 11, Osaka.
- 7) 北村 卓司, 菅本 一臣, 橋本 淳, 村瀬 剛, 富田 哲也, 吉川 秀樹, 服部 高子: リウマチ肘における関節破壊様式のX線学的検討. 第105回中部整形外科災害外科学会・学術集会. 平成17年10月. 米子.
- 8) Moritomo H, Murase T, Goto A, Oka K. Kinematics of the midcarpal joint: in vivo 3-Dimensional motion analysis. Sept 21, 2005, San Antonio, TX.
- 9) 後藤 晃, 村瀬 剛, 岡 久仁洋, 森友 寿夫: 3D-CT を用いたリウマチ患者での上腕骨・尺骨, 骨髓腔の3次元計測. 第18回日本肘関節学会学術集会. 平成18年1月. 名古屋.
- 10) 有光小百合, 森友 寿夫, 村瀬 剛, 岡 久仁洋, 菅本 一臣, 吉川 秀樹: リウマチ手関節の手根配列異常に対する3次元的, 定量的解析. 第50回日本リウマチ学会学術集会. 平成18年4月. 長崎.
- 11) 向井 克容, 藤井隆太郎, 坂浦 博伸, 村瀬 剛, 岩崎 幹季, 細野 昇, 吉川 秀樹: 術前の3D-CTデータより作成したカスタムメイドガイドによるMagerl法. 第35回日本脊椎脊髄病学会. 平成18年4月, 東京.
- 12) 岡 久仁洋, 森友 寿夫, 村瀬 剛, 面川 庄平, 柿木 良介: 3D-CT を用いた橈骨頭前方脱臼の前腕同定解析とその病態. 第49回日本手の外科学会. 平成18年4月, 浜松.

- 13) 有光小百合, 森友 寿, 村瀬 剛, 岡 久仁洋, 吉川 秀樹: リウマチ手関節の手根配列以上に対する 3 次元的, 定量解析. 第 49 回日本手の外科学会. 平成 18 年 4 月, 浜松.
- 14) 有光小百合, 森友 寿夫, 村瀬 剛, 岡 久仁洋, 橋本 淳, 吉川 秀樹, 菅本 一臣: リウマチ手関節の手根配列異常に対する 3 次元的, 定量的解析. 第 50 回日本リウマチ学会学術集会. 平成 18 年 4 月, 長崎.
- 15) 北村 卓司, 菅本 一臣, 橋本 淳, 村瀬 剛, 服部貴子高子, 吉川 秀樹: リウマチ肘における関節破壊の X 線学的検討. 第 50 回日本リウマチ学会学術集会. 平成 18 年 4 月, 長崎.
- 16) 有光小百合, 森友 寿夫, 村瀬 剛, 橋本 淳, 菅本 一臣, 吉川 秀樹: リウマチ手関節における手根中央関節の 3 次元的動態評価. 第 107 回中部日本整形外科学会. 平成 18 年 10 月, 神戸.
- 17) 岡 久仁洋, 村瀬 剛, 森友 寿夫, 柿木 良介, 菅本 一臣, 吉川 秀樹: 三次元動作解析法を用いた橈骨頭前方脱臼の機能的形態評価法. 第 21 回日本整形外科学会基礎学術集会. 平成 18 年 10 月, 長崎.
- 18) 有光小百合, 森友 寿夫, 村瀬 剛, 岡 久仁洋, 菅本 一臣, 吉川 秀樹: リウマチ手関節の手根配列異常に対する三次元的, 定量的解析. 第 21 回日本整形外科学会基礎学術集会. 平成 18 年 10 月, 長崎.
- 19) 森友 寿夫, 村瀬 剛, 岡 久仁洋, 田中 啓之, 後藤 晃: 生体関節運動中の靭帯距離三次元計測法の開発. 第 21 回日本整形外科学会基礎学術集会. 平成 18 年 10 月, 長崎.
- 20) Arimitsu S, Murase T, Goto A, Oka K. A three-dimensional and quantitative analysis of patterns of carpal deformity in rheumatoid wrists. 61th annual meeting of ASSH. Sept 2006, Washington DC.
- 21) Moritomo H, Murase T, Oka K, Moritomo H. A three-dimensional and quantitative analysis of patterns of carpal deformity in rheumatoid wrists. 61th annual meeting of ASSH. Sept 2006, Washington DC.
- 22) Murase T, Moritomo H, Oka K, Goto A, Sugamoto K, Yoshikawa H. 3D computer simulation for deformity correction and its application in upper extremity. 79<sup>th</sup> JOA Annual Meeting. May 2006, Yokohama.
- 23) Kuriyama K, Hashimoto J, Fujii M, Murase T, Tsuboi H, Myoui A, Yoshikawa, H. New treatment for juxta-articular intraosseous cystic lesion with interconnected porous calcium hydroxyapatite ceramic. 14<sup>th</sup> European Rheumatoid Arthritis Surgical Society. May 2006, Pfaffikon, Switzerland.
- G. 知的財産権の出願・登録状況  
特になし

研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Iwasaki N, Yamane S, Majima T, Kasahara Y, <u>Minami A</u> , Harada K, Nonaka S, Maekawa N, Tamura H, Tokura S, Shiono M, Monde K, and Nishimura S	Feasibility of polysaccharide hybrid materials for scaffolds in cartilage tissue engineering' Evaluation of chondrocyte adhesion to polyion complex fibers prepared from alginate and chitosan	Biomacromolecules	10	828-833	2004
Yamane S, Iwasaki N, Majima T, Funakoshi T, Masuko T, Harada K, <u>Minami A</u> , Monde K, and Nishimura S	Feasibility of chitosan-based hyaluronic acid hybrid biomaterial for a novel scaffold in cartilage tissue engineering	Biomaterials	26	611-619	2005
Masuko T, Iwasaki N, Yamane S, Funakoshi T, Majima T, <u>Minami A</u> , Ohsuga N, Ohta T, and Nishimura S. I.	Chitosan-RGDSGGC conjugate as a scaffold material for musculoskeletal tissue engineering	Biomaterials	26	5339-5347	2005



Funakoshi T, Majima T, Iwasaki N, Yamane S, Masuko T, <u>Minami A</u> , Harada K, Tamura H, Tokura S, and Nishimura SI.	Novel chitosan-based hyaluronan hybrid polymer fibers as a scaffold in ligament tissue engineering	J Biomed Mater Res A	74	338-46	2005
<u>Minami A</u> , Iwasaki N, Kutsumi K, Suenaga N, and Yasuda K	A long-term follow-up of silicone-rubber interposition arthroplasty for osteoarthritis of the thumb carpometacarpal joint	Hand Surg	10	77-82	2005
Oizumi N, Tadano S, Narita Y, Suenaga N, Iwasaki N, and <u>Minami A</u>	Numerical analysis of cooperative abduction muscle forces in a human shoulder joint	J Shoulder Elbow Surg	15	331-338	2006
<u>Minami A</u> , Iwasaki N, Ishikawa J, Suenaga N, and Kato H	Stabilization of the proximal ulnar stump in the Sauve-Kapandji procedure by using the extensor carpi ulnaris tendon' long-term follow-up studies	J Hand Surg	31A	440-444	2006
Funakoshi T, Majima T, Suenaga N, Iwasaki N, Yamane S, and <u>Minami A</u>	Rotator cuff regeneration using chitin fabric as an acellular matrix	J Shoulder Elbow Surg	15	112-118	2006

Yayama T, Baba H, Kobayashi S, Kokubo Y, Inukai T, Mizukami Y, Kubota M, Ishikawa J, <u>Minami A</u>	Kinematic investigations of the wrist joints in pateints with rheumatoid arthritis	J Orthop Surg			in press
<u>三浪明男</u> 、 石川淳一	手関節機能再建術の 適応と実際	リウマチ科	32	477-485	2004
石川淳一、 <u>三浪明男</u> 、 岩崎倫政	RA 手関節の手術	整・災外	47	733-740	2004
<u>三浪明男</u> 、 小野寺伸	関節リウマチの病態におけるマクロファージ遊走阻止因子 (MIF) の役割および治療標的因子としての可能性に関する研究	大和証券 ヘルス財団の 助成による 研究業績集	第28集	1-6	2005
Oki H, Ando M, Omori H, OkumuraY, Negoro K, Uchida K, <u>Baba H</u>	Relation between vertical orientation and stability of acetabular component in the dysplastic hip simulated by nonlinear three-dimensional finite element method.	Artif Organ	28	1050-4	2004
Hashimoto N, Ando M, Negoro K, Yayama T, <u>Baba H</u>	Dynamic analysis of the resultant force acting on the hip joint during level walking.	Artif Organ	29	387-92	2005
Yayama T, Kobayashi S, Kokubo Y, Inukai T, Mizukami Y, Kubota M, Ishikawa J, <u>Baba H</u> , Minami A	Motion analysis of the wrist joints in patients with rheumatoid arthritis.	Mod Rheumatol			in submission

藤本理代、 加藤博之、 岩崎倫政、 三浪明男、 三浪三千男	当科における関節リウマチ 肘に対する工藤式 (type-5) 人工肘関節の治療成績	日本 肘関節学会誌	11	5-6	2004
Horiuchi H, Nawata M, Kamijo T, Saito N, Wakitani S, Kobayashi S, Shimizu T, Kato H	Locking of the knee caused by localized pigmented villonodular synovitis: a case report	Modern Rheumatol,	14	184-6	2004
Uchiyama S, Itsubo T, Yasutomi T, Nakagawa H, Kamimura M, Kato H	Quantitative MRI of the wrist and nerve conduction studies in patients with idiopathic carpal tunnel syndrome.	J Neurol Neurosurg Psychiatry	76	1103-8	2005
Saito N, Murakami N, Takahashi J, Horiuchi H, Ota H, Kato H, Okada T, Nozaki K, Takaoka K.	Synthetic biodegradable polymers as drug delivery systems for bone morphogenetic proteins	Adv Drug Deliv Rev	57	1037-48	2005
中村順之、 木村貞治、 加藤博之、 村上成道、 畑 幸彦	RA 肘の運動解析	日本 肘関節学会誌	13	105-6	2006
Yamazaki H, Kato H, Nakatsuchi Y, Murakami N, Hata Y.	Closed rupture of the flexor tendons of the little finger secondary to non-union of fractures of the hook of the hamate	J Hand Surg [Br]	31	337-341	2006
中村恒一、 政田和洋、 橋本英雄、 鈴木克侍、 石川淳一、 加藤博之	Swanson implant を用いた リウマチ手指 MP 関節形成 術の成績	日本手の 外科学会誌	23	In press	2006

Ishikawa J	Feasibility of using a magnetic tracking device for measuring carpal kinematics.	J Biomechanics.	30	1183-1186	1997
Ishikawa J	The effects of wrist distraction on carpal kinematics.	J Hand Surg.	24A	113-120	1999
石川淳一	RA 手関節の手術	整形・災害外科	47	733-740	2004
石川淳一	[特集/新時代の運動器リハビリテーション] 手関節周囲外傷	整形外科	56	940-944	2005
Ishikawa J	Influence of distal radioulnar joint subluxation on restricted forearm rotation after distal radius fracture.	J Hand Surg.	30A	1178-1184	2005
Murase T, Moritomo H, Yosikawa H.	Palmar dislocation of the metacarpo-phalangeal joint of the finger.	J Hand Surg	29B	90-93	2004
Moritomo H, Murase T, Goto A, Oka K, Sugamoto K, Yoshikawa H.	Capitate-based kinematics of the midcarpal joint during wrist radioulnar deviation: an in vivo three-dimensional motion analysis.	J Hand Surg	29A	668-675	2004
Goto A, Moritomo H, Murase T, Oka K, Sugamoto K, Arimura T, Nakajima Y, Yamazaki T, Sato Y, Tamura S, Yoshikawa H, Ochi T.	In vivo elbow biomechanical analysis during flexion: three-dimensional motion analysis using magnetic resonance imaging.	J Shoulder Elbow Surg	13	441-447	2004