

- the forearm. J Bone Joint Surg [Am] 89(6):1238-1247, 2007
- 10) Matsuhashi, T., Iwasaki, N., Nakagawa, H., Hato, M., Kuroguchi, M., Minami, A., and Nishimura, SI.: Alteration of N-glycans related to articular cartilage deterioration after anterior cruciate ligament transection in rabbits. Osteoarthritis Cartilage 16(7):772-778, 2008
- 11) Iwasaki, N., and Minami, A.: Elbow: Osteochondritis dissecans of the elbow. Current Orthopaedic Practice, 19: 1-4, 2008
- 12) Yamane, S., Suenaga, N., Oizumi, N., and Minami, A.: Interlocking intramedullary nailing for nonunion of proximal humerus with the Straight Nail System. J Shoulder Elbow Surg 17(5):755-759, 2008
- 13) Funakoshi, T., Suenaga, N., Sano, H., Oizumi, N., and Minami, A.: In vitro and finite element analysis of a novel rotator cuff fixation technique. J Shoulder Elbow Surg 17(6):986-992, 2008
- 14) Kotani, Y., Abumi, K., Ito, M., Sudo, H., Takahata, M., Ohshima, S., Hoko, T., and Minami, A.: Minimum 2-year outcome of cervical laminoplasty with deep extensor muscle-preserving approach: impact on cervical spine function and quality of life. Eur Spine J, 2009 (in press)
2. 学会発表
- 1) 第51回日本手の外科学会学術集会 平成20年4月18日 於: つくば市 三浪明男, 岩崎 倫政, 石川 淳一, 村瀬 剛, 加藤 博之: 「人工手関節の開発研究」
- 2) 第51回日本手の外科学会学術集会 平成20年4月18日 於: つくば市 紺野 拓也, 末永 直樹, 三浪明男, 岩崎 倫政, 益子 竜弥: 「当科におけるMP人工関節の術後成績」
- 3) 第81回日本整形外科学会学術総会 平成20年5月23日 於: 札幌市 三浪明男: 会長講演「整形外科の未来を拓く」
- 4) 第81回日本整形外科学会学術総会 平成20年5月23日 於: 札幌市 益子竜弥, 岩崎倫政, 松橋智弥, 梅本貴央, 大泉尚美, 石川淳一, 末永直樹, 三浪明男: 「リウマチ性手関節症に対する切除尺骨を用いた橈骨月状骨間固定術の有用」
- 5) 「学術講演会」—痛みを考える— 平成20年7月23日 於: 前橋市 三浪明男: 「手関節痛のマネージメント」
- 6) 第34回リウマチ中央教育研修会 平成20年7月26日 於: 東京都 三浪明男: 「上肢障害の再建とリハビリテーション」
- 7) 第16回道東リウマチ・膠原病談話会 平成20年10月4日 於: 帯広市 三浪明男: 「関節リウマチに対する手術治療と後療法」
- 8) 5th World Congress of Sports Trauma & 6th Asia-Pacific Orthopaedic Society for Sports Medicine Meeting, April 11-13, 2008, Hong Kong Akio Minami and Norimasa Iwasaki: “Osteochondritis dissecance of elbow joint”
- 9) 5th World Congress of Sports Trauma & 6th Asia-Pacific Orthopaedic Society for Sports Medicine Meeting, April 11-13, 2008, Hong Kong

Akio Minami : "Surgical Treatment of
DRUJ Disorders"

H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)

1. 特許取得

- 「ハイブリット繊維及び膜並びにそれらの製造方法」
特許登録番号:特開 2002-128958
出願人: 三浪 明男 ほか
- 「線維芽細胞培養方法および靭帯・腱組織再生基材」
特許登録番号:出願番号特 2002-190674
出願人: 三浪 明男 ほか
- 「腱・靭帯の劣化予防・治療剤」
特許登録番号:出願番号
PCT/JP2004/17168
出願人: 三浪 明男 ほか
- 「共有結合によるグリコサミノグリカンと細胞増殖因子との結合化合物およびその製造方法」
特許登録番号:出願番号 2004-291389
出願人: 三浪 明男 ほか
- 「オステオポンチンまたはそのフラグメントペプチド部分に対する抗体を有効成分とする腱・靭帯の劣化予防剤」
特許登録番号:出願番号特願
2003-389543
出願人: 三浪 明男 ほか

2. 実用新案登録

なし

3. その他

厚生労働科学研究費補助金（免疫アレルギー疾患予防・治療研究事業）
分担研究報告書

指 MP 関節人工関節開発のための機能的関節可動域の計測
— 第 1 報 電気角度計の計測値の信頼性の検証 —

分担研究者 加藤 博之 信州大学医学部運動機能学講座教授
研究協力者 齋藤 直人 信州大学医学部保健学科応用理学療学教授

研究要旨：目的) 指 MP 関節は関節リウマチの罹患頻度は手関節に次いで高い。しかし、現在までに開発された指 MP 人工関節で長期間良好な成績を残しているものはない。現在までの人工指 MP 関節は 0-90 度と広い可動域にデザインされているが、指 MP 関節の可動域を実際の日常生活動作に必要な可動域（機能可動域）にデザインすることにより、従来の機種より優れた機種を作成できる可能性がある。その為には指の関節可動域をリアルタイムに計測可能な電気角度計を用いて指 MP 関節の機能可動域を明らかにする必要がある。本研究では、指の関節角度をリアルタイムに計測可能な電気角度計の信頼性を検証した。方法) 成人 6 人の右手の示、中、環、小指の MP 関節の角度を 1 軸電気角度計 35 型で計測し、同時に X 線写真断層撮影した。電気角度計角度と X 線角度の値を比較した。電気角度計の設置方法は、1) 両面粘着テープで設置するのみ (n=23 指)、2) 両面粘着テープに加えて絆創膏で圧迫固定する法 (n=12 指)、を用いた。結果) 両固定法とも、電気角度計角度よりも X 線計測角度の方が小さい値であった。両角度間の差違は、MP 関節伸展位では大きく、MP 関節屈曲位では小さい傾向があった。固定方法別の差違は、1) 法では 1.9° - 18.3° (平均 10.8°) であったが、2) 法では 0.6 - 8.3° (平均 3.8°) とわずかであった。両角度間の差は 5° 以内であったのは、1) 法では 92 回の測定中 35 回 (38%)、2) 法では 36 回中 31 回 (86%) であった。電気角度計の固定方法を工夫することにより指 MP 関節の屈曲角度を 1 軸電気角度計で正確に測定可能であることが示された。

A. 背景と研究目的

肘関節、手関節における日常生活動作 (activity of daily living: ADL) に必要な関節可動域 (Range of Motion: ROM) すなわち機能的 ROM (functional ROM: fROM) については既に報告されている¹⁾。一方、指 MP 関節の fROM については明らかにされていない。RA において指 MP

関節の罹患頻度は手関節に次いで高く、また関節破壊が進行すると掌尺側偏位変形を生じ ADL 障害を受ける。その場合人工指 MP 関節全置換術の適応があるが、現在までに開発された人工関節で長期間良好な成績を残しているものはない。指 MP 関節 ROM については、健常人において伸展 30°、屈曲 90° とされているが³⁾、fROM

については明らかではない。そこで健康人あるいは関節リウマチ患者の指 MP 関節の fROM を明らかにし、その範囲内の ROM に限定した人工関節をデザインすることにより、ROM の大きな従来の人工関節より優れた人工関節を作成できる可能性がある。指 MP 関節の fROM 測定にはリアルタイムの角度測定が可能な電気角度計が有用である⁴⁾。しかし、電気角度計との皮膚との動き、皮膚及び皮下組織の厚み、基準角度設定方法、角度計の設置位置、設置時の strain gauge の緊張度などが、計測値の信頼性に影響を与える。そこで本研究は、1) 電気角度計の固定方法が電気角度計の計測値に影響を与えるか、2) 電気角度計の信頼性はどの程度か、を明らかにする目的で以下の実験を行った。

B. 研究方法

a. 対象と方法

指関節に変形や愁訴のない健康成人 6 人の右手の示指、中指、環指、小指の MP 関節を対象とした。対象者の年齢は 22-52 (平均 28) 歳であった。小指に先天性の屈指症を有した 1 指は除外した。電気角度計には 1 軸電気角度計 35 型 (Biometrics、UK) を用いた。電気角度計の基準角度の設定はアンプの出力電圧 2.5V を角度 0°、3.5V を角度 90° とした。次に右手の拳を作った状態で、4 個の電気角度計の両端を中手骨直上と基節骨直上に設置した。データをコンピューターに入力し解析には BIMUTAS[®] II (株)キッセイコムテック社、長野) を用いた。

b. 電気角度計の固定方法

電気角度計の皮膚への固定方法には 2 つの異なった設置方法を用いた。即ち、1) 両面粘着テープで設置するのみ (図 1)、2) 両面粘着テープに加えて弾力性のある絆創膏 (テーピングテープ・キネシオロジーテープ、ニチバン株式会社、東京) で圧迫固定する (図 2)、方法を用いた。1) の固定法では、電気角度計の計測値が 0°、25°、50°、75° の角度で指を固定し、同時に側面 X 線断層撮影し、得られた X 線像から基節骨と中手骨においてそれぞれの骨頭部の背側頂点と底部の背側頂点を結ぶ線のなす角度を MP 関節の X 線像屈曲角度とした。2) の固定法では、電気角度計の計測値が 0°、30°、60° の角度で指を固定して X 線断層写真を撮影し、同様の方法で MP 関節の X 線像屈曲角度を測定した。両固定方法とも電気角度計角度と X 線角度を比較した。

1) の固定方法では 23 指を計測し、2) の固定方法では 12 指を計測した。測定の本回数は、1) の固定法で 92 回、2) の固定法で 36 回であった。



図1 固定法 1) 1軸電気角度 35 型 (Biometrics、UK) を基節骨、中手骨上の皮膚に両面テープのみで固定している。



図2 固定法2) 1軸電気角度35型 (Biometrics, UK) を基節骨、中手骨上の皮膚に両面テープと弾力性のある絆創膏で固定している。

c. データ集積

データ集積は多用途生体情報解析プログラム BIMUTAS[®] II (株式会社キッセイコムテック社、長野、日本) を用いた。

d. 倫理面への配慮

本研究は信州大学医学部内の倫理審査規定ののっとり実施された。

C. 結果

固定方法1) と固定方法2) における電気角度計の値とその時の各指の X 線像屈曲角度を示す (表1、2)。両固定法とも、電気角度計角度よりも X 線計測角度の方が小さい値であった。両角度間の差違は、MP 関節伸展位では大きく、MP 関節屈曲位では小さい傾向があった。固定方法別の差違は、1) 法では $1.9^{\circ} \sim 18.3^{\circ}$ (平均 10.8°) であったが、2) 法では $0.6 \sim 8.3^{\circ}$ (平均 3.8°) とわずかであった。両角度間の差は 5° 以内であったのは、1) 法では 92 回の測定中 35 回 (38%)、2) 法で

は 36 回中 31 回 (86%) であった。

表1 固定法1の指 MP 関節屈曲角(n=6)

電気角度計の角度	示指	中指	環指	小指*
0	-11.1 ± 4.5**	-11.3 ± 5.2	-12.5 ± 6.9	-17.5 ± 6.6
25	15.6 ± 3.9	17.8 ± 4.8	14.1 ± 6.0	6.7 ± 5.9
50	43.1 ± 5.7	45.7 ± 4.2	43.8 ± 7.9	39.6 ± 8.4
75	59.6 ± 5.0	71.4 ± 3.0	71.7 ± 5.7	73.1 ± 2.8

*:小指は n=6、**:各数値は平均値 ± 1 SD を示す。

表2 固定法2の指 MP 関節屈曲角(n=3)

電気角度計の角度	示指	中指	環指	小指
0	-3.8 ± 1.5*	-4.3 ± 1.4	-3.8 ± 1.2	-8.3 ± 0.5
30	25.2 ± 0.6	26.7 ± 1.2	27.0 ± 1.7	25.2 ± 1.6
60	56.8 ± 0.6	59.1 ± 0.8	59.4 ± 1.9	55.8 ± 0.6

** :各数値は平均値 ± 1 SD を示す。

- 1) Arthur P.Vasen, et al: Functional Range of Motion of the Elbow, The Journal of Hand Surgery 20A:288-292, 1995.
- 2) Ryu JY et al: Functional ranges of motion of the wrist joint, The Journal of Hand Surgery 16:409-419, 1991.
- 3) Kapandji AI 著, 塩田悦仁訳: カパンデ

ィ関節の生理学 I 上肢 原著第 6 版, 212,
医歯薬出版 2006.

- 4) Fowler NK, et al.: Long-term measurement of metacarpophalangeal joint motion in the normal and rheumatoid hand, Proc Instn Mech Eng[H], 215: 549-553, 2001.

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

学会発表

- 1)加藤博之,岩崎倫政, 三浪明男,他.
関節リウマチ肘に対する Kudo type-5 人工関節の中期成績, 日本リウマチ学会総会, 平成 20 年 4 月 東京
- 2)加藤博之,岩崎倫政, 三浪明男,他.
関節リウマチ肘に対する Kudo type-5 人工関節の中期成績, 第 20 回日本肘関節学会 平成 20 年 2 月 東京
- 3)中村順之, 加藤博之, 木村貞治, 畑幸彦, 内山茂晴. 関節リウマチ肘の運動解析(第 2 報), 第 20 回日本肘関節学会 平成 20 年 2 月 東京
- 4)加藤博之,岩崎倫政, 三浪明男,他.
関節リウマチ肘に対する Kudo type-5 人工関節の中期成績, 第 81 回日本整形外科学会総会平成 20 年 5 月 札幌市

著書 なし

論文

- 1)石垣範雄, 内山茂晴, 加藤博之, 他:
リウマチ肘の上腕骨遠位端関節内骨折に対し人工肘関節置換術を施行した 2 例, 関節の外科 35: 29-32, 2008
- 2)加藤博之, 岩崎倫政, 三浪明男,他:

関節リウマチ肘に対する Kudo type-5 人工関節の中期成績, 日本肘関節学会誌 15, 2008(in press)

- 3)中村順之, 加藤博之, 木村貞治, 畑幸彦, 内山茂晴: 関節リウマチ肘の運動解析(第 2 報), 日本肘関節学会誌 15,2008(in press)

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

関節リウマチ上肢人工関節開発に関する研究

— 母指 CM 関節人工関節の開発研究 —

分担研究者 砂川 融 広島大学大学院保健学研究科 教授

研究要旨: 人工母指 CM 関節の開発、特にデザインする上での補助データを獲得するために、独自に開発したシステムを使用し正常母指の三次元運動計測を行い、母指の基本動作である対立運動での橈骨に対する第1中手骨、手根骨の運動の特徴を明らかにした。本運動中、第1中手骨だけではなく舟状骨も橈骨に対して回転運動を行っており、人工関節デザインにあたって安定性と可動性を獲得するためには、正常よりも大きな可動性を得られるような摺動面を有する半拘束あるいは拘束型の人工 CM 関節をデザインする必要があると考えられた。

A. 研究目的

母指対立運動は手の基本的機能である把握、つまみを行なうために基準となる重要な運動で、これが損なわれると人としての手の機能はほぼ消失すると言っても過言ではない。従来本運動を解析する時、第1手根中手関節(以下CM関節)のみに焦点が当てられてきたが、橈骨舟状骨関節(以下RS関節)、舟状大菱形骨関節(以下ST関節)も本運動に深く関与しており、特に多関節疾患である関節リウマチでは複数の関節が罹患するために障害された母指対立運動を再建するためにはCM関節だけに着目するのでは不十分であると考えた。そこで独自に開発したin vivo 関節運動三次元角度計測システムを使用し、母指対立運動での第1中手骨、大菱形骨、舟状骨の橈骨に対する三次元回転角度を計測することで、各々の骨の回転方向の特徴を観察し、人工CM関節デザインの基礎データを得ることを目的に以下の研究を行った。

B. 研究方法

手および手関節疾患の既往がなく、調査時母指の対立運動時に愁訴のない健康ボランティア成人男性4名の右手を対象とした。非験者には本研究の目的と結果の意義、および検査には放射線被爆を伴うために人体に何らかの影響がある

可能性について十分に説明し、本研究への協力の承諾を得た。

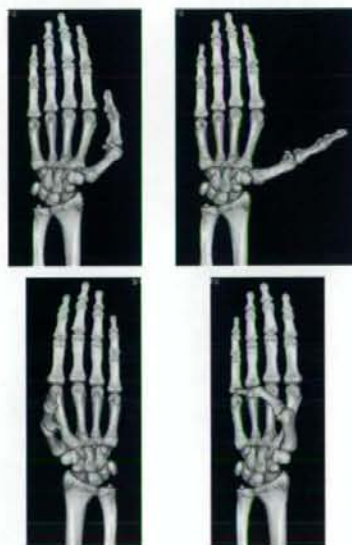


図1. 母指対立運動。内転位(左上)、最大橈側外転位(右上)、最大掌側外転位(左下)、最大対立位(右下)。

本研究で使用したのは16列マルチスライスCT(GE社製)である。全身への放射線被爆を最小限とし、鮮明なデータを獲得するために非験者をCT検査台上に腹臥位とし、肩関節挙上位、前腕

回内外および手関節中間位で手指を伸展した状態で母指自動内転位、自動最大橈側外転位、自動最大掌側外転位、自動最大対立位の4肢位(図1)で前腕末梢から母指尖部までCT撮影(slice厚1.25mm、pitch0.63mm)を行い、骨のvolumeデータを取得した。0.63mm厚の二次元画像とした後にDICOM形式でパーソナルコンピュータ(Mac OSX)上にデータを転送し、得られた骨データのスライス画像(各例約120枚)を市販のソフトウェア(Image-J, Adobe Photoshop)を使用して各々の骨データを手動で分離し、このデータを使用しMatlab®上で開発したオリジナルソフトウェアで三次元骨表面モデルを自動的に作成した。

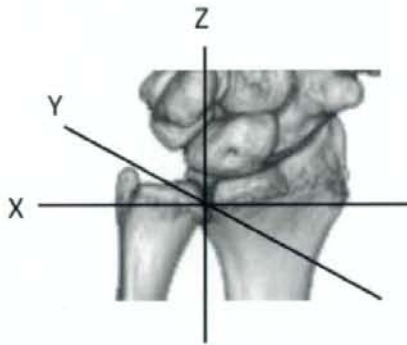


図2.三次元座標軸(左:尺骨、右:橈骨)

次に同様に作成したソフトウェア上で内転位を基準として残りの3肢位での対象骨の回転角度を各々計測した。まず橈骨、尺骨を重ね合わせ、橈骨の骨軸をZ軸、橈骨末梢の掌側縁を通りZ軸と垂直な線をX軸(橈骨の横軸に近似)、X、Z両軸に垂直な線をY軸(橈骨の前後軸に近似)として三次元座標を構築(図2)した後に、各々の骨が重なり合うために3軸周りで必要となる回転角度を計測した。各々の骨を重ね合わせる際には、まず各々の骨を剛体と考えて自動計測した重心を運動前後で座標上で移動させ重ね合わせた後に、Eular角を求める原理で3軸周りの回転角度を自動的に計測した(図3)。つまり計測した回転角度は、各々の骨の重心を中心とした回転角度である。また、X軸周りでは掌屈方向を+、Y軸周りでは尺屈方向を+、Z軸周りでは回外方

向を+として表示した。

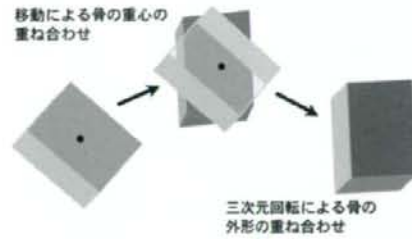


図3.骨の重ね合わせ

C. 研究結果

橈側外転運動での第1中手骨の回転角度は平均でX、Y、Z軸周りに各々 5.1° 、 -23.6° 、 1.4° 、大菱形骨の回転角度は各々 -3.9° 、 -0.7° 、 0.3° 、舟状骨の回転角度は各々 4.0° 、 1.1° 、 3.0° であった。掌側外転運動での第1中手骨の回転角度は平均でX、Y、Z軸周りに各々 35.5° 、 18.9° 、 -18.9° 、大菱形骨の回転角度は各々 -0.2° 、 -0.5° 、 0.9° 、舟状骨の回転角度は各々 -3.1° 、 -1.2° 、 8.8° であった。最大対立運動での第1中手骨の回転角度は平均でX、Y、Z軸周りに各々 24.0° 、 19.4° 、 -18.7° 、大菱形骨の回転角度は各々 -2.7° 、 -1.0° 、 0.9° 、舟状骨の回転角度は各々 0.8° 、 8.2° 、 10.9° であった。

D. 考察

以上の結果から母指対立運動中、大菱形骨の回転運動はわずかであったが舟状骨には明らかな回転運動を認めた。本研究では各々の骨の回転角度を計測したが、回転角度の差つまり第1中手骨と大菱形骨間ではCM関節を、大菱形骨と舟状骨間ではST関節を、舟状骨の回転角度はそのままRS関節の回転運動を表していると考えられる。本計測結果から母指運動中は、従来報告されているようにCM関節が明らかに有意に運動しているが、ST関節では各々の軸周りで $8\sim 10^\circ$ 程度の回転運動を行っており、またRS関節ではY軸、Z軸周りで 10° 程度の回転運動を行っていることが判明した。

昨年本研究課題で手関節の“dart-throw”運

動において舟状骨が corner bone であることを報告し人工手関節をデザインする上で橈側のデザインの重要性を指摘したが、母指対立運動を再建するために人工 CM 関節をデザインする上でも、これまで開発され臨床応用されている人工関節のように CM 関節だけを模倣したのでは不十分であり、特に隣接関節も罹患している可能性のある関節リウマチ患者ではそれだけでは破損・ゆるみの原因になると考えられ、より大きな可動性がありかつ安定性を得られるような摺動面を有する半拘束あるいは拘束型の人工 CM 関節をデザインする必要性があると考えられた。

今回使用した関節運動計測システムの信頼性については、生体を使用した研究であるために正確な検証が不可能であるが、外表から計測できる手関節の運動角度と今回の計測で得られた手関節の角度を規定する有頭骨の動きが近似しているために、計測結果に大きな誤差はないものと考えられる。

E. 結論

人工 CM 関節をデザインする上で有効な可動域と安定性を得るためには、CM 関節を模倣しただけでは不十分であり、より大きな可動性がありかつ安定性を得られるような摺動面を有する半拘束あるいは拘束型の人工 CM 関節をデザインする必要性があると考えられた。

G. 研究発表

1. 論文発表:なし
2. 学会発表

1)In vivo three-dimensional measurement of rotation angle of carpal bones during "dart-throw" motion. 13rd Annual Meeting of Federation of the European Societies for Surgery of the Hand. 6.19-21, 2008. Lausanne, Switzerland.

2)In vivo three-dimensional measurement of rotation angle of carpal bones during "dart-throw" motion. 55th Annual Meeting of Orthopedic Research Society. 2.22-25, 2009. San Diego, USA.

H. 知的財産権の出願・登録状況 特記事項なし

人工肘関節置換術後の生体内動態とそれに影響を及ぼす因子

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)講師

分担協力者 正富隆 行岡病院手の外科センター長

研究要旨: 関節リウマチ(以下 RA)の肘関節障害に対する人工肘関節置換術(Total Elbow Arthroplasty、以下 TEA)の不安定な術後動態は早期のインプラントゆるみを引き起こすと考えられるため、コンポーネントの設置位置・アライメントと 3 次元動態との関連について調査した。RA15 症例 18 肘を対象とし、肘関節の CT モデルから定量化した上腕骨、尺骨に対する TEA 各コンポーネントの設置アライメントと、X線透視動態画像から 2D/3D レジストレーション法を用いて計測した TEA の生体内での 3 次元運動の関連性を解析した。その結果、上腕骨コンポーネントの設置アライメントは症例間で 20° 近いばらつきを、尺骨コンポーネントの設置アライメントは 35° を超えるばらつきを認めた。また、尺骨コンポーネントの外反設置が TEA3 次元動態における上腕骨・尺骨コンポーネント間の外反位、および外旋位と有意な相関を示した。TEA コンポーネント設置アライメントはばらつきが大きく、従来の手術方法では精度が不十分である事と、尺骨コンポーネントの不正確な設置が不安定な TEA3 次元動態につながっている事がわかった。

A. 研究目的

関節リウマチ(以下 RA)の肘関節障害に対する治療法として人工肘関節置換術(Total Elbow Arthroplasty、以下 TEA)は徐々に受け入れられつつある。関節周囲の骨を可及的に温存できる非拘束・表面置換型の TEA が国内では好んで用いられるが、関節安定性を軟部組織に依存するために術後の脱臼・亜脱臼や不安定な動態特性が問題とされてきた。昨年度の研究では、独自に開発した 2D/3D レジストレーション法を応用して人工関節の生体内 3 次元動態を明らかにした。その中で、症例によってコンポーネント間の回旋・内外反の偏りが非常に大きく、屈伸動作中の外反・外旋角が大きい症例ではポリエチレンインサートの

接触領域は狭くなって、いわゆる線接触が生じていることを示した。このような不良 3 次元動態はポリエチレンインサートの摩耗の要因となり、早期のインプラントゆるみを引き起こすと考えられる。そこで、本年度の研究では、TEA3 次元動態に影響を与える因子の一つとしてコンポーネントの上腕骨・尺骨への設置位置・アライメントに注目し、その 3 次元動態との関連について調査した。

B. 方法

大阪大学式人工肘関節置換術を施行した関節リウマチ 15 症例 18 肘を対象とした。手術時平均年齢は 59.3 歳、術後追跡期間は 42 ヶ月であった。①術側肘関節の CT 撮影を行い、

独自に開発した3次元骨モデル作成ソフトにより上腕骨、尺骨、および TEA 上腕骨および尺骨コンポーネントの3次元モデルを作成した(図1)。既知の各コンポーネント CAD モデルを CT データから作成した各コンポーネントのモデルに重ね合わせることで、上腕骨、尺骨への TEA 各コンポーネントの設置位置・アライメントを定量化した(図2)。上腕骨遠位、尺骨近位に解剖学的指標を基準として座標軸を設定して、各コンポーネントの上腕骨・尺骨に対する屈曲/伸展、内旋/外旋、外反/内反で表現した。②次に X 線透視装置を用いて肘関節屈曲動作側面像を連続的に撮影した X 線透視動態画像からコンピューター上で人工関節の輪郭抽出を行い、CAD データとの形状マッチングする 2D/3D レジストレーション法を用いてインプラントの連続的空間位置姿勢を計算して人工肘関節の生体内での 3 次元運動を定量化した。③ ①と②のデータを照合することで、コンポーネント設置位置・アライメントが TEA3 次元動態へ及ぼす影響を検討した。

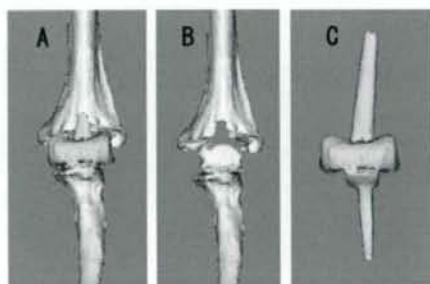


図1. 肘関節CT撮影より上腕骨・TEAコンポーネントのモデル(A)、上腕骨単独モデル(B)、TEA単独モデル(C)を作成。

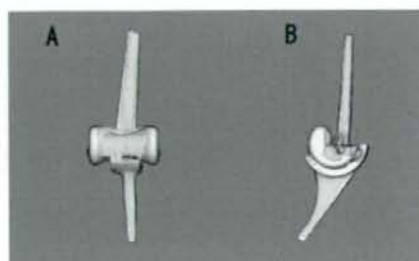


図2. 既知の各コンポーネントCADモデルをCTデータから作成した各コンポーネントのモデルに重ね合わせ

C. 結果

上腕骨コンポーネントの設置アライメントは、平均で屈曲 $6.8^\circ \pm 5.2^\circ$ ($-3.9^\circ \sim 15.2^\circ$)、外旋 $4.4^\circ \pm 4.2^\circ$ ($-3.8^\circ \sim 9.2^\circ$)、外反 $-2.4^\circ \pm 4.2^\circ$ ($-8.7^\circ \sim 5.7^\circ$)と症例間で 20° 近いばらつきを認めた。尺骨コンポーネントの設置アライメントは、屈曲 $7.6^\circ \pm 3.0^\circ$ ($2.7^\circ \sim 14.9^\circ$)、外旋外反 $-3.2^\circ \pm 11.3^\circ$ ($-16.7^\circ \sim 20.1^\circ$)、外反 $2.0^\circ \pm 4.2^\circ$ ($-8.8^\circ \sim 8.2^\circ$)と 35° を超えるばらつきを認めた(図3)。コンポーネントの設置アライメントと TEA 動態の関連については、尺骨コンポーネントの外反設置が TEA3 次元動態における上腕骨・尺骨コンポーネント間の外反位、および外旋位と有意な相関を示した ($R=0.55$ および 0.72 、図4)。一方、上腕骨コンポーネントの設置位置・アライメント、および尺骨コンポーネントの回旋設置と TEA3 次元動態と間には明かな関連を認められなかった。

本計測方法の検者内誤差は、上腕骨コンポーネントで屈伸 1.0° 、内外反 1.2° 、回旋 0.5° 、尺骨コンポーネントで屈伸 0.3° 、内外反 0.2° 、回旋 0.8° 、検者間誤差は上腕骨コ

ンポーネントで屈伸 1.0° 、内外反 1.2° 、回旋 1.5° であった。

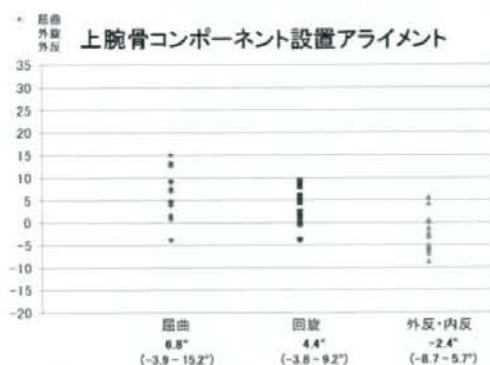


図3. 上腕骨コンポーネントの上腕骨に対する設置アライメント

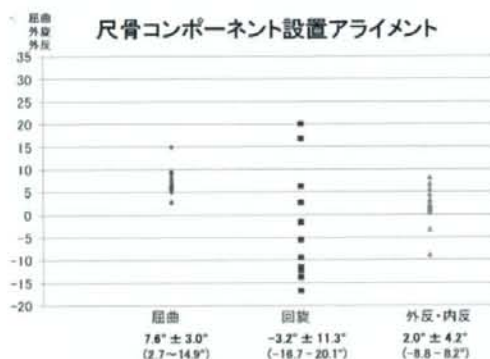


図4. 尺骨コンポーネントの尺骨に対する設置アライメント

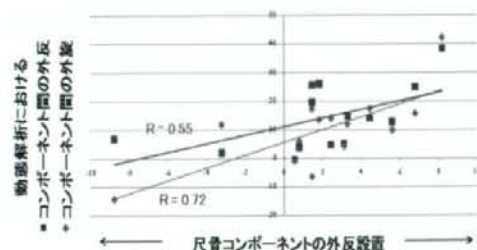


図5. 尺骨コンポーネントの外反設置と3次元動態における上腕骨・尺骨コンポーネント間の外反位、および内旋位の関連

D. 考察

生体内 3 次元人工関節動態解析によって明らかになった TEA コンポーネント間の不良 3 次元動態には、術前から存在する変形、TEA 各コンポーネントの設置位置・アライメント、軟部組織の影響、TEA 摺動面デザイン、などが影響を及ぼしていると考えられる。本研究では CT データより得られた 3 次元モデルから各コンポーネントの設置状態を定量化し、TEA 動態との関連を調べた。結果より分かったことは、上腕骨・尺骨へのコンポーネント設置アライメントは、予想以上にばらつきが大きく、従来の方法では手術精度が不十分である事と、特に尺骨コンポーネントの不正確な設置が不安定な TEA3 次元動態につながっている事であった。本研究では、術前に CT 撮影を行っていないために、術前と比べて、どれだけ関節が延長されたかを定量化出来なかった。関節部の過度の延長は、軟部組織の緊張や不均一な軟部組織バランスを惹起し、術後の不安定動態につながると考えられるので、それらをはじめとする他の因子が TEA 術後の動態にどの程度影響しているかを今後明らかにしていく必要はある。

TEA コンポーネントの設置精度を上げるために 3 次元テンプレートを用いたコンピューターを用いた術前計画や手術ナビゲーション技術などの手術支援方法を導入して、インプラントの設置精度を向上させていく、あるいは、患者個々の骨形状に最適化されたカスタムメイド人工関節開発の必要性があると考えられた。

E. 結論

現状の TEA 手術方法での精度は劣り、コンポーネントの設置精度不良は不安定な TEA3 次元動態の原因となっていた。手術精度を向

上させる手術支援方法の開発が必要と考えられた。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

1. Hananouchi T, Saito M, Koyama T, Hagio K, Murase T, Sugano N, Yoshikawa H. Tailor made surgical guide based on rapid prototyping technique for cup insertion in total hip arthroplasty. *Int J Med Robot.* 2009 Feb 26. [Epub ahead of print]
2. Noda K, Goto A, Murase T, Sugamoto K, Yoshikawa H, Moritomo H. The interosseous membrane of the forearm. Part 1: An anatomical study of ligament attachment locations. *J Hand Surg.* 2009 Mar; 34(3): 415-22.
3. Yoshikawa H, Tamai N, Murase T, Myoui A. Interconnected porous hydroxyapatite ceramics for bone tissue engineering. *J R Soc Interface.* 2008 Dec 23. [Epub ahead of print]
4. Murase T, Oka K, Moritomo H, Goto A, Sugamoto K, Yoshikawa H. Correction of severe wrist deformity following physal arrest of the distal radius with the aid of a three-dimensional computer simulation. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery.* *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008 Dec 19. [Epub ahead of print]
5. Goto A, Murase T, Hashimoto J, Oka K, Yoshikawa H, Sugamoto K. Morphologic analysis of the medullary canal in rheumatoid elbows. *J Shoulder Elbow Surg.* 2009

Jan-Feb; 18(1): 33-7.

6. Murase T, Oka K, Moritomo H, Goto A, Yoshikawa H, Sugamoto K. Three-dimensional corrective osteotomy of malunited fractures of the upper extremity with use of a computer simulation system. *J Bone Joint Surg Am.* 2008 Nov; 90(11): 2375-89.
7. Moritomo H, Murase T, Oka K, Tanaka H, Yoshikawa H, Sugamoto K. Relationship between the fracture location and the kinematic pattern in scaphoid nonunion. *J Hand Surg [Am].* 2008 Nov; 33(9): 1459-68.
8. Moritomo H, Murase T, Arimitsu S, Oka K, Yoshikawa H, Sugamoto K. Change in the length of the ulnocarpal ligaments during radiocarpal motion: possible impact on triangular fibrocartilage complex foveal tears. *J Hand Surg [Am].* 2008 Oct; 33(8): 1278-86.
9. Oka K, Moritomo H, Goto A, Sugamoto K, Yoshikawa H, Murase T. Corrective osteotomy for malunited intra-articular fracture of the distal radius using a custom-made surgical guide based on three-dimensional computer simulation. *J Hand Surg [Am].* 2008 Jul-Aug; 33(6): 835-40.

2. 学会発表

1. Ebara M, H Tanaka, K Tempurin, T Murase, Y Sawa. A novel biodegradable conduit with well-defined and highly aligned multiple-channels for peripheral nerve guidance. 8th World Biomaterial Congress. May. 2008. Amsterdam

2. Oka K, Murase T, Moritomo H, Tanaka H, Takeyasu Y. Morphological evaluation of chronic radial head dislocation: A 3-dimensional and quantitative analysis. 63th ASSH. Sept. 2008. Chicago
 3. Moritomo H, Murase T, Tanaka H. Solitary Foveal tear of the triangular fibrocartilage complex. 63th ASSH. Sept. 2008. Chicago
 4. Murase T. Three-dimensional corrective osteotomy of Malunited Fractures of the Upper Extremity Using a Novel Computer Simulation System. 63th ASSH. Sept. 2008. Chicago
 5. Murase T, Oka K, Moritomo H, Goto A, Arimitsu S, Takeyasu Y, Miyake J, Sugamoto K, Yoshikawa H, Shimada K. Three-dimensional Corrective Osteotomy of Malunited Fractures of the Upper Extremity Using a Novel Computer Simulation System and a Custom-designed Surgical Device. AAHS. Jan. 2009. Maui
 6. Hattori R, Matsuda K, Kubo T, Kikuchi M, Hosokawa K, Arimitsu S, Murase T. Mandibular Reconstruction using Custom Made Osteotomy Templates. ASRM. Jan. 2009. Maui
 7. Sugano N, Murase T, Nishii T, Skai T, Takao M, Nakahara I, Tsuda K, Shiomi T, Nakamura N. A CT-based individual template using rapid prototyping for metal on metal surface hip replacement. 55th annual meeting of the Orthopaedic Research Society. Mar. 2009. Las Vegas
 8. Tanaka H, Ebara M, Okamoto M, Kuroda Y, Okada K, Murase T, Myoui A, Yoshikawa H. A novel biodegradable conduit with well-defined and highly aligned multiple channels for peripheral nerve guidance. 55th annual meeting of the Orthopaedic Research Society. Mar. 2009. Las Vegas
 9. 有光小百合、森友寿夫、村瀬剛、橋本淳、富田哲也、菅本一臣、吉川秀樹. リウマチ手関節における3次元的手根配列異常とそのキネマティクス. 第52回日本リウマチ学会学術集会. 2008年4月. 札幌
 10. 二井数馬、富田哲也、渡邊哲、玉城雅史、村瀬剛、吉川秀樹、菅本一臣. 人工肘関節の生体内三次元動態解析. 第52回日本リウマチ学会学術集会. 2008年4月. 札幌
 11. 有光小百合、村瀬剛、岡久仁洋、竹安西佳倫、森友寿夫. リウマチ手関節部分固定術後の3次元動態解析. 第51回日本手の外科学会学術集会. 2008年4月. つくば
 12. 三浪明男、岩崎倫政、石川淳一、村瀬剛、加藤博之. 人工手関節の開発研究. 第51回日本手の外科学会学術集会. 2008年4月. つくば
 13. 村瀬剛、二井数馬、渡邊哲、山崎隆治、富田哲也、吉川秀樹、菅本一臣. 整形外科の未来を拓く RA 肘に対する治療戦略 術式の選択とその適応 三次元動態解析からみた RA 人工肘関節の問題点. 第81回日本整形外科学会学術集会. 2008年5月. 札幌
 14. 二井数馬、富田哲也、渡邊哲、山崎隆治、玉城雅史、村瀬剛、吉川秀樹、菅本一臣. 工藤式人工肘関節の生体内三次元動態解析. 2008年10月. 京都
- F. 知的財産権の出願・登録状況
特になし

修復不能な腱板断裂を伴うリウマチ肩に対する新しい人工関節の開発
—腱板断裂肩における CT osetoabsorptiometry 法を用いた応力解析—

分担研究者 岩崎倫政 北海道大学病院 講師

研究協力者 益子竜弥 北海道大学大学院医学研究科 助教

研究協力者 大泉尚美 北海道大学病院 臨床客員助教

研究要旨： 関節リウマチ肩では、肩甲上腕関節の骨破壊に加えて、肩関節の重要な安定化機構の一つである回旋筋腱版の修復不能な広範囲断裂を伴うことが多い。人工肩関節置換術を行う際に修復不能な腱板広範囲断裂が存在すると、骨頭を肩甲関節窩コンポーネントに対して安定化させることができないため、肩関節機能、関節可動域は著しく障害される。また、関節の不適合性のために肩甲関節窩コンポーネントに異常なストレスが加わり、高率にルースニング（ゆるみ）が発生し再手術を余儀なくされることも多い。従って、骨頭の上方位を防止して安定化させる新しい人工肩関節の開発が長年の課題である。今回我々は、骨頭の上方位を防止する機能をもった新しい肩甲関節窩コンポーネントを開発し、三次元有限要素法を用いた応力解析でその形状の検討を行った。コンポーネントのゆるみのもう一つの原因として、RA による骨の脆弱性や骨破壊のためコンポーネントの固定性が弱いことがあげられる。その問題点を解決するため、骨組織を誘導し生体の骨と癒合するために糖鎖工学的手法を用い、BMP やオステオポンチンなどの細胞増殖因子、細胞接着分子を人工関節素材に導入してゆるみを減少させる実験を開始している。モデルプロテインとして選択したアルブミンを Sulfo-EMCS を用いて天然高分子であるキトサンに化学的に結合させることに成功した。今後はキトサンに導入したアルブミン素材を人工関節インプラントに応用する実験を施行し、最終的には生理活性物質を導入した素材を用いた人工関節を開発する予定である。

A. 研究目的

腱板の修復不能な広範囲断裂を伴う肩関節リウマチ (RA) においては、腱板機能の欠損のために上腕骨頭を肩甲関節窩に対して安定化させることができない。そのため、現在本邦において使用可能な人工肩関節では極めて不満足な機能しか得られておらず、脱臼やグレンノイドコンポーネントのゆるみなどの合併症も多い。これまで我々は、骨頭を安定化させる

ためにグレンノイドコンポーネント上部にフードをつけた新しい人工肩関節をデザインし(図1)、有限要素法による応力解析を行ってきた。その結果、新コンポーネントはセメント層への応力集中を改善し、ゆるみの発生を減少させる可能性があることがわかった。一方、これまで腱板の広範囲断裂に伴って骨頭は前上方偏位が生じるとされてきたが、臨床では後上方に



図1; 新コンポーネントの有限要素応力解析
コンポーネントのフード基部で上方偏位する
骨頭による応力が発生していることが示された
(前報より引用)

偏位した例を経験することもまれではなく、いまだ断裂腱の種類と偏位方向を詳細に調査した研究はない。コンポーネントの設置角度やフードの前後方向の形状や位置を決定するためにも、断裂腱の違いによる肩甲関節窩および烏口肩峰アーチの応力分布を知ることは重要である。そこで我々は、CTデータより関節軟骨下骨の骨密度を計測することにより関節応力分布を解析するCT osetoabsorptiometry法を用いて、断裂腱の種類やサイズと肩甲関節窩および肩峰下面の応力分布との関係を調査した。

B. 研究方法

北海道大学大学院工学研究科バイオメカニカルデザイン研究室の協力を得て、DICOMデータの読み込みから解析データの出力までを自動的に行うことができるCTOAM解析ソフトウェアを開発した。解析の対象は、MRIで明らかかな腱板断裂を認め、三次元CTが撮影可能であった57例66肩とし、棘上筋腱単独断裂群(SSP群)41肩(平均年齢63.9歳)、肩甲下筋腱断裂を伴わない広範囲腱板断裂

(M-SSC(-)群)14肩(65.8歳)、肩甲下筋腱断裂を伴う広範囲腱板断裂(M-SSC(+))群)11肩(66.7歳)の3群に分類した。解析ソフトを用いた手順を以下に示す。まずCTの水平面像にて肩甲関節窩の関節軟骨下骨のHounsfield unit (HU) 値を1mm間隔で計測し、256段階のグレースケールでプロットした1mm幅のスリットを作成する(図2)。全スライスにおいて計測を行い、得られたスリットを積み上げることでよりHU値の分布を二次元に投影したマッピングイメージが得られる(図3)。同様に、CT矢状面像にて肩峰下面のHU値を計測してマッピングイメージを作成した。高HU値の分布する領域に応じて応力分布パターンを肩甲関節窩は前上方型、前方・後方型、後上方型の3タイプに、肩峰は前方型、中央型の2タイプに分類した。



図2; 解析手順(1)

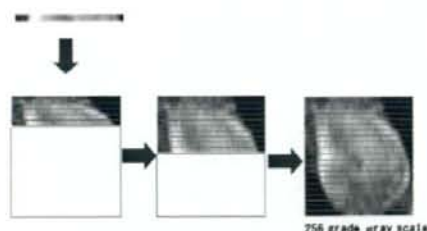


図3; 解析手順(2)

C. 研究結果

SSP 群(表1)では肩甲関節窩は 100%の症例で前方に高応力を認め(前上方型あるいは前方・後方型)、特に 80%は前上方のみに応力の集中を認めた。肩峰下面は 31/41 例(76%)が前方に高応力を認めた。M-SSC(-)群(表2)では肩甲関節窩の高応力は前方、後方が半数ずつであったが、肩峰下面は 100%が中央に高応力を認めた。M-SSC(+群(表3)では肩甲関節窩、肩峰下面とも 100%前方に高応力を認めた。

表1; SSP 群 (n=41)

	前方型	中央型
前上方型	26	7
前方・後方型	5	3
後上方型	0	0

表2; M-SSC(-)群 (n=14)

	前方型	中央型
前上方型	0	4
前方・後方型	0	6
後上方型	0	4

表3; M-SSC(+群 (n=11)

	前方型	中央型
前上方型	6	0
前方・後方型	5	0
後上方型	0	0

D. 考察 および E. 結論

本研究の結果、棘上筋腱断裂では過去に報告されてきたように前上方へ応力が偏位していることが示された。広範囲断裂肩の肩甲関節窩における応力分布については、これまで上方への応力偏位が生じることは報告されてきたが、前後方向の応力変化は明らかにされていない。本研究結果では、肩甲下筋腱断裂を伴わない例では応力は後方へ、肩甲下筋腱断裂を伴った例では前方へ偏位する傾向があり、断裂腱の種類により応力分布が大きく異なることが示唆された。この結果から、修復不能な腱板広範囲断裂を伴う症例に対する新しいグレンオイドコンポーネントでは個々の症例により応力を受けるフード部分の位置やコンポーネントの設置角度を変化させる必要があると考えられた。本解析ソフトを用いれば1症例につき数分程度で解析が可能であり、術前にプランニングを行って個々の症例に応じたオーダーメイド人工関節の作成が可能となる有用な手法であると考えている。

コンポーネントのゆるみのもう一つの原因として、RA による骨の脆弱性や骨破壊のためコンポーネントの固定性が弱いことがあげられる。その問題点を解決するため、骨組織を誘導し生体の骨と癒合するために糖鎖工学的手法を用い、BMP やオステオポンチンなどの細胞増殖因子、細胞接着分子を人工関節素材に導入してゆるみを減少させる実験を開始しており、モデルプロテインとして選択したアルブミンを Sulfo-EMCS を用いて天然高分子であるキトサンに化学的に結合させることに成功した。今後はキトサンに導入したアルブミン素材を人工関節インプラントに応用する実験を施行し、最終的には生理活性物質を導入した素材を用いた人工関節を開発する予定である。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 学会発表

- 1) 大泉尚美、中土裕樹、末永直樹、山口浩、岩崎倫政、但野茂、三浪明男：「CT osteoabsorptiometry 解析ソフトの開発とその応用」第23回日本整形外科学会基礎学術集会、2008年10月23日～24日 於：京都市
- 2) 大泉尚美、山口浩、中土裕樹、末永直樹、岩崎倫政、但野茂、三浪明男：「CT osteoabsorptiometryを用いた腱板断裂肩の応力解析」第21回バイオエンジニアリング講演会、2009年1月23日～24日 於：札幌市

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
岩崎倫政、三浪明男	SLAC (scapholunate advanced collapse) および SNAC (scaphoid nonunion advanced collapse) wrist に対する手術治療適応と手術選択	臨整外	43	207-211	2008
船越忠直、岩崎倫政、三浪明男、真島任史、末永直樹、原田和夫、西村紳一郎	キトサン-ヒアルロン酸ハイブリッド線維による Scaffold の肩腱板再生への組織工学的応用	北海道整災外	49	22-29	2008
大泉尚美、久田幸由、三浪明男、末永直樹、綿谷美佐子	腱板断裂術後早期の積極的後療法プログラムは安全に良好な臨床成績が期待できるか?	肩関節	32	393-396	2008
山口浩、末永直樹、大泉尚美、三浪明男、細川吉博	Surface-holding repair technique を用いて修復した腱板広範囲断裂の術後成績	肩関節	32	397-400	2008
山根慎太郎、大泉尚美、三浪明男、末永直樹、山口浩	修復不能な腱板断裂を伴う肩関節症に対する人工骨頭置換術と筋腱移行術の成績	肩関節	32	465-468	2008
大泉尚美、末永直樹、岩崎倫政、三浪明男、但野茂、成田陽一	肩関節外転運動時における三次元筋力数値解析	北海道整・災・外	50	1-7	2008
末永直樹、大泉尚美、三浪明男、山口浩	肩外側後面の感覚障害は肩甲上神経麻痺の所見として有用か?	肩関節	32	661-664	2008
伊藤浩、松野丈夫、谷野弘昌、山中康裕、伊藤達也、大水信幸、中村聡喜、三浪明男、西村生哉、比嘉昌	ハイブリッド型人工股関節の開発	北海道整・災・外	50	190-194	2009
Ishikawa, J., Kato, H., Fujioka, F., Iwasaki, N., Suenaga, N., and Minami, A.	Tumor location affects the results of simple excision for multiple osteochondromas in the forearm.	J Bone Joint Surg [Am]	89(6)	1238-1247	2007
Matsuhashi, T., Iwasaki, N., Nakagawa, H., Hato, M., Kuroguchi, M., Minami, A., and Nishimura, SI.	Alteration of N-glycans related to articular cartilage deterioration after anterior cruciate ligament transection in rabbits.	Osteoarthritis Cartilage	16(7)	772-778	2008

Iwasaki, N., and <u>Minami, A.</u>	Elbow: Osteochondritis dissecans of the elbow.	Current Orthopaedic Practice	19	1-4	2008
Yamane, S., Suenaga, N., Oizumi, N., and <u>Minami, A.</u>	Interlocking intramedullary nailing for nonunion of proximal humerus with the Straight Nail System.	J Shoulder Elbow Surg	17(5)	755-759	2008
Funakoshi, T., Suenaga, N., Sano, H., Oizumi, N., and <u>Minami, A.</u>	In vitro and finite element analysis of a novel rotator cuff fixation technique.	J Shoulder Elbow Surg	17(6)	986-992	2008
Kotani, Y., Abumi, K., Ito, M., Sudo, H., Takahata, M., Ohshima, S., Hoko, T, and <u>Minami, A.</u>	Minimum 2-year outcome of cervical laminoplasty with deep extensor muscle-preserving approach: impact on cervical spine function and quality of life.	Eur Spine J		In press	2009
石垣範雄、内山 茂晴、 <u>加藤博之</u> 、他	リウマチ肘の上腕骨遠 位端関節内骨折に対し 人工肘関節置換術を施 行した2例	関節の外科	35	29-32	2008
<u>加藤博之</u> 、岩崎倫 政、三浪明男、他	関節リウマチ肘に対す るKudo type-5人工関 節の中期成績	日本肘関節学 会誌		In press	2008
中村順之、 <u>加藤 博之</u> 、木村貞治、 畑幸彦、内山茂晴	関節リウマチ肘の運動 解析(第2報)	日本肘関節学 会誌		In press	2008
Hananouchi, T., Saito, M., Koyama, T., Hagio, K., <u>Murase, T.</u> , Sugano, N., and Yoshikawa, H.	Tailor made surgical guide based on rapid prototyping technique for cup insertion in total hip arthroplasty.	Int J Med Robot.		Epub ahead of print	2009
Noda, K., Goto, A., <u>Murase, T.</u> , Sugamoto, K., Yoshikawa, H., and Moritomo, H.	The interosseous membrane of the forearm. Part 1: An anatomical study of ligament attachment locations.	J Hand Surg.	34(3)	415-422	2009
Yoshikawa, H., Tamai, N., <u>Murase, T.</u> , and Myoui, A.	Interconnected porous hydroxyapatite ceramics for bone tissue engineering.	J R Soc Interface.		Epub ahead of print	2008