

電気角度形 SG110 (バイオメトリクス社、英国) を肘関節内側に設置し、屈曲伸展の運動相を区切った。

d. 3 軸加速度計 (図1)

前腕の回旋を中間位、肘関節90度屈曲位として3軸加速度計を設置した。加速度計 AC101 ((株) セプロテック、静岡、日本) は橈骨手根関節面から近位 3cm の橈骨茎状突起上の皮膚にテープで固定した。加速度の軸は、手掌方向を肘内反、手背方向を肘外反の加速度変化とした。

e. 肘屈曲伸展運動のタイミングの取り方

肘屈曲伸展運動の時間を均一にし、また被検者の運動の指標となるように、timing switch として電子メトロノームを採用した。発光ダイオード光と音に同期して肘の屈曲・伸展運動を行った。

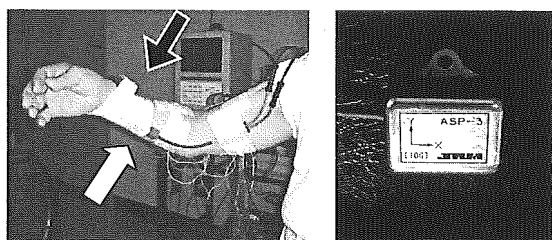


図 1 左:電気角度計(白矢印)、加速度計(黒矢印)の設置 右:3軸加速度計

f. 測定条件

被検者は背もたれ付き椅子に密着して座らせた。表面筋電図、電気角度計、加速度計を装着し、上腕をバスタバンドで体幹に固定した。前腕回旋中間位で肘関節を最大伸展位から最大屈曲位までの屈曲伸展運動を 0.5Hz で行った。10 回の屈曲・伸展運動を 1 セットとした。

g. 解析

表面筋電図、電気角度計、3軸加速度計の波形、メトロノーム音声信号を同時にノート型コンピューター内の VITALRECORDER® (株式会社キッセイコムテック社、長野、日本) にデータ

を取り込み、BIMUTAS® II (株式会社キッセイコムテック社、長野、日本) で解析を行った。屈曲伸展運動の 6 回目における最大伸展時より屈曲を開始する時点から屈曲終了の時点までの運動相を「屈曲第 6 相」とした。以下同様に、第 8 伸展相までを屈曲相と伸展相に区分した。解析には 2 セット目のデータを用い、筋電図は屈曲第 6 ~ 8 相を、加速度は屈曲第 6 相を使用した。筋電図波形は、アーチファクトの影響を除くため 10 ~ 350Hz でバンドパスフィルターをかけ、re-sampling 後に筋電積分値から % MVC を算出した。加速度波形からは、生波形の軌跡、高速フーリエ変換による (Fast Fourier Transform) 周波数、さらに re-sampling 後の積分値解析を行い、両群を比較した。加速度積分値解析では低い周波数帯域を除外するために 10 ~ 50 Hz でフィルターをかけて算出した。

h. 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にのっとり実施された。

C. 結果

a. 表面筋電図

% MVC は健常群で Biceps 以外の筋はすべて 50% 以下であった。健常群では Biceps のみが 3 肘で 52, 54, 57% と 50% 以上を示した。RA 群の % MVC の値で 50% 以上であった筋は Triceps lateralis 3 肘、Pronator Teres 3 肘、Brachioradialis 2 肘であった。RA 肘の % MVC では特定の筋は健常群に比べ高い値を示す傾向にあった。

b. 加速度

健常群は 11 例中 8 例が屈曲相早期において肘内反方向への加速度が生じ、屈曲後期に肘外反方向へ加速度が移行する傾向を示し

た。RA群の加速度生波形には一定の傾向がなかった(図2)。周波数解析ではピークとなる周波数が健常群では1.9～8.8Hz、RA群で2.9～6.8Hzであった。両群の明らかな帯域の差はなかった。加速度積分値では健常群8.1～12.6 G・msec(平均9.8)、RA群4～30G・msec(平均14.3)でRA群で有意に高い値を示した(*p=0.002)(図3)。

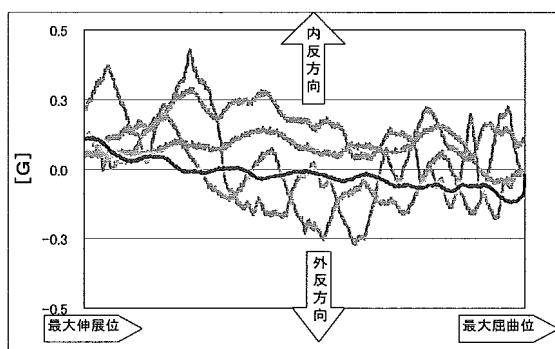


図 2. 肘屈曲時 加速度生波形
健常者平均(黒)とRA群各症例(グレー)

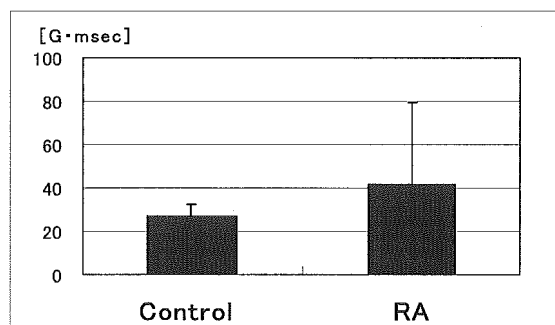


図 3. 内外反方向の加速度積分値

D. 考察

RAに罹患した関節のin vivo movement studyを行った研究は少ない。Reddyらは加速度計を用いてRA膝患者の運動解析を行った。ShahらはRA・偽痛風 spondyloarthropathy 患者の指の運動解析を加速度計で行っている。

RA肘の movement study は渉猟しえた範囲ではなかった。

今回の肘の in vivo movement study では、多くの点で健常肘とRA肘で結果が異なっていた。表面筋電図解析で健常群より特定の筋でRA群に高い% MVCが示された。この事実はRAでは肘屈曲運動を遂行するには健常より多くの motor unit を動員している可能性、あるいは% MVC 算出の基準とした肘関節屈曲伸展の等尺運動時の筋力低下が関係している可能性などが考えられる。

Y軸方向加速度の生波形分析において、健常肘群では屈曲早期に内反方向、後期に外反方向の加速度が生じていた。O'Driscollらの屍体による肘屈曲運動時の軌跡を測定した研究では、肘屈曲早期で外反位から中間位に向かい、肘屈曲後期で中間位から外反位へ向かう。今回の結果はO'Driscollらの屍体での実験結果に矛盾しないものであった。周波数解析では健常肘とRA肘の違いは明らかではなかった。加速度積分値の解析ではRA群で大きい加速度積分値を示した。このことは肘屈曲伸展運動において、健常肘とRA肘が内外反方向の加速度の周波数帯域が異なることを示している。肘関節の屈曲運動においてRA肘では円滑な運動が障害されている可能性を示している。

E. 結論

In vivo movement study をRA肘に行うことが可能であった。健常肘とRA肘では、筋活動、関節運動における加速度などの点で異なる傾向があった。今後は対象例を増やすことでRA肘の運動の特徴とX線像との関連、人工関節置換術前後の運動の相違などを明らかにする必要がある。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

1) 藤本理代, 石川淳一, 加藤博之、ほか
. 当科における関節リウマチに対する工藤式 Type-5 人工肘関節置換術の治療成績北海道整形災害外科学会雑誌 (1343-3873) 46 巻 2 号 Page121 (2005. 03)

2) 伊坪敏郎、春日和夫, 加藤博之, ほか
. RA 肘に対する工藤式人工肘関節置換術の短期成績. 信州医学雑誌 (0037-3826) 53 巻 4 号 Page246 (2005. 08)

3) 岩崎倫政, 三浪明男, 加藤博之ほか.
人工肘関節再置換術における成績と問題点.
. 日本整形外科学会雑誌 (0021-5325) 79 巻 3 号 PageS225 (2005. 03)

4) Fujimoto M, Kato H, Minami A.; Rotational osteotomy at the diaphysis of the radius in the treatment of congenital radioulnar synostosis. J Pediatr Orthop. 2005 Sep-Oct;25(5):676-9.

5) 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. 2005 May 25;57(7):1037-48. Epub 2005

2. 学会発表

1) 中村順之、加藤博之、木村貞治、斎藤直人、村上成道、畑 幸彦：「RA肘の動作解析」第 18 回日本肘関節学会 2005 年 1 月 27 日
名古屋市

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

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

関節リウマチにおける肘関節破壊様式の X 線学的検討 および
3D-CT を用いたリウマチ患者での上腕骨・尺骨、骨髄腔の 3 次元計測

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 国立相模原病院院長

研究要旨1. 我々は、RA 肘関節破壊様式を明らかにすることを目的とし、RA 患者 193 症例、386 肘の X 線画像を検討した。関節面の破壊は、上腕骨滑車橈側により強く認められ、肘関節破壊が上腕骨滑車橈側より始まり徐々に内外側に広がっていくのではないかと考えられた。また、上腕骨滑車尺側と滑車切痕に破壊程度の相関を強く認め、両者の骨破壊が mirror lesion となっていることが示唆された。RA 肘関節障害のレントゲン診断において、こうした破壊様式の知識は初期の関節破壊の有無の判断や治療方針の決定に有用である。

研究要旨2. 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髄腔の 3 次元計測を行った。上腕骨髄腔は近位では掌側凸の V 字状の形状を呈し、遠位に行くに従って円形となった。各横断面の重心点と結ぶ線は緩やかに前方に湾曲していた。尺骨髄腔は鉤状突起部分から近位では三角形、遠位では楕円状の形状であった。各横断面の重心点と結ぶ線は、ほぼ直線状であった。

1. 関節リウマチにおける肘関節破壊様式の X 線学的検討

A. 研究目的

人工肘関節置換術を含めた RA 肘の治療を計画する上で、関節破壊の様式を知ることは重要である。関節リウマチ (RA) の好発部位である肘関節は、手のリーチ動作を司る上肢における最も重要な関節の 1 つである。そのため肘関節の障害は、RA 患者の ADL に重大な支障をきたす。治療に関しては一般に障害が軽度の場合には薬物投与やステロイドの関節内注射などの保存的治療が行われ、重度の場合、滑膜切除や人工肘関節置換術などの手術治療が行われる。これらの治療を計画する上で、RA における肘関節の破壊がどのような様式で起こっているかを知ることは、きわめて重要といえる。しかし、残念ながら現在までに RA 肘の関節破壊様式を解析した報告は、ほとんど見あたらない。

そこで我々は、RA 肘関節破壊様式を明らかにすることを目的とし、レントゲン学的大規模調査をおこなった。

2001 年から 2003 年に我々の施設を受診した ARA 診断基準を満たす患者で、両肘関節単純 X 線撮影を施行されていた 233 症例中、人工関節置換術や滑膜切除術を施行されていた 33 例と X 線画像判読不能であった 7 例を除外した 193 症例、386 肘を対象とした。性別は男性 18 例、女性 175 例で、年齢は、23 から 84 歳 (平均 57.0 歳) であった。ステロイドを含む投薬、罹病期間は不明であった。

B. 方法

レントゲンによる重症度分類は、各症例最終調査時の両肘関節単純 X 線前後像及び側面像を用いて行った。X 線撮影は患者を坐位とし、肘関節伸展位、前腕回外位で肘関節正面を撮影し、肘関節屈曲 90 度、前腕中間位で肘関節側面像を撮影した。正面像で、上腕骨小頭

(zone A)、上腕骨滑車橈側(zone B)、上腕骨滑車尺側(zone C)の3部位に分けて、関節面の破壊の程度を調べた。側面像では肘頭滑車切痕部(zone D)の関節面の破壊の程度を調べた(図1)。

関節破壊の程度は、予め用意した正常肘関節のテンプレートを参考に、骨欠損が無いものを grade 0、関節面からの骨欠損が3ミリ未満のものを grade1,3 ミリ以上6ミリ未満のものを grade2、6ミリ以上のものを grade 3 とした。

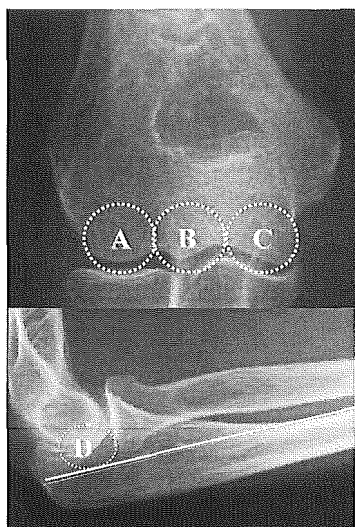


図1. 肘関節のZone分類

どの部位にどの程度の破壊がみられるのか、またその間に何らかの相関があるのかを検討した。実際には、まず同一症例の左右同一部位間での骨欠損程度の相関を調査し、関節破壊の左右比較を行った。また、同一関節内各部位の骨欠損程度の相関、骨欠損程度の差も統計学的に解析した。

統計学的評価は、相関に関しては Spearman の順位相関係数、骨欠損程度の差に対しては一元配置分散分析(ANOVA)・多重比較(Fisher's LSD)を用いて行った。

C. 結果

レントゲン正面像における関節内各部位の骨欠損程度は、zone A では grade 0 が 26.2%、

grade 1 が 62.1%、grade 2 が 8.8%、grade3 が 2.8%で、zone B では grade0 が 26.2%、grade1 が 37.0%、grade2 が 26.9%、grade3 が 9.8%で、zone C では grade0 が 26.9%、grade1 が 62.1%、grade2 が 2.6%、grade3 が 8.3%であった。zone A と zone C は、ほぼ同様の骨欠損程度であったが、zone B では他の群に比べて grade 2 が少なく grade3 が多かった。レントゲン側面像(zone D)では、grade0 が 27.2%、grade1 が 61.1%、grade2 が 8.3%、grade3 が 3.4%であった。

左右肘の同一 zone 間で骨欠損の程度は有意な相関を認め、関節破壊の両肘関節間での相関(zone A: $r=0.833$ $p<0.001$ zone B: $r=0.804$ $p<0.001$ zone C: $r=0.881$ $p<0.001$ zone D: $r=0.887$ $p<0.001$)がみられた(図1)。

また、同一関節内の zone 間での骨欠損の程度も、統計学的に有意に相関($r=0.782\sim 0.963$, $p<0.001$)していた。なかでも、Zone C と Zone D の間に特に強い相関($r=0.963$, $p<0.001$)を認めた。

一方、Zone B では Zone A、Zone C に比し骨欠損の程度が有意に強く($p<0.05$)、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症例に認めたが、うち両側とも同変形を有するのは2症例のみであった。

D. 考察

RA の病期進行度の指標として、各関節の単純X線所見による Larsen 分類は広く使用されている。しかし、Larsen 分類の評価項目は、関節裂隙の狭小化の有無と関節面糜爛の二項目だけであり、骨欠損の程度を評価していないため、関節破壊の程度を評価するには感度が低いといわれている。Lehtinen らは、RA 肘

における関節裂隙の狭小化が、荷重関節と異なり erosive destruction の後のみ発生するとし、Larsen 分類を用いて非荷重関節である肘関節の骨破壊を評価する際は注意が必要であるとしている。また、一般に RA の関節破壊は左右対称であるとされているが、それは単に関節破壊の有無について左右比較をした結果であり、関節内のどの部位にどの程度の関節破壊がみられるか統計学的手法を用いて解析した報告はなかった。そこで我々は、RA 肘関節の破壊様式を明らかにする目的で、肘関節内の各部位の関節破壊の程度を独自の重症度分類を用いて評価し、左右肘関節及び同一肘関節内の各部位間での相関を調べた。

今回の症例では、同一関節内の骨欠損程度は各部位間で正相関があり、また同部位の左右間でも関節面の骨欠損の程度には正相関が認められた。一方、同一関節内で各部位ごとの骨欠損の程度を検討したところ、上腕骨滑車橈側では上腕骨滑車尺側や上腕骨小頭部に比し骨欠損の程度が有意に強いことがわかった。つまり、関節面の破壊は、左右および肘関節内の各部位間では相関していたが、上腕骨滑車橈側により強く、肘関節破壊が上腕骨滑車橈側より始まり徐々に内外側に広がっていくのではないかと考えられた。また同一関節内の骨欠損程度の相関は上腕骨滑車尺側と滑車切痕の間で特に強く認められ、すなわち両者の骨破壊が mirror lesion となっていることが示差された。

上肢における RA の関節破壊メカニズムに関しては、滑膜組織から放出される様々なサイトカインが引き起こす軟骨、骨の破壊、吸収が主であるとする説と、解剖学的要素やメカニカルな要素のほうがより大きく影響しているとする説とがある。Ochi et al は同じ関節の破壊でも、程度は病型により大きく異なるとしている。す

なわち、少関節破壊型では増殖性滑膜炎による関節面の糜爛が主体であり、ムチランス型では関節弛緩による著しい不安定性により、高度な骨粗鬆症に陥った骨が圧潰するのが関節破壊の主体であるとしている。

利き手側と非利き手側では、肘関節にかかるストレスは差が生じている可能性があるが、関節破壊に明らかな左右差がなかったという今回の結果は、RA 肘関節破壊にメカニカルな要素の影響が少ないことを示唆するのかもしれない。しかし、対象症例の多くが関節破壊の軽度な初期症例であったことも考慮しなければならない。逆に、いわゆる Y 字変形を来たすような高度関節破壊症例には破壊程度に明らかな左右差を認めるものも散見され、関節破壊進行期では免疫学的な影響よりメカニカルな影響が大きい可能性も否定できない。

前腕長軸方向の軸圧は、腕橈関節と腕尺関節とにほぼ均等か前者にやや多く伝達されるが、上腕骨滑車の中心溝から橈側の関節面は、肘内反・外反の支点になるために、滑膜炎による関節弛緩が生じると同部に力が集中し骨破壊が進行した可能性がある。

今回の検討より、RA の肘関節破壊が上腕骨滑車橈側より始まり徐々に内外側に広がっていく可能性が示された。こうした肘関節の破壊様式を考慮すれば、RA 肘関節障害の初期のレントゲン診断では、この部に注目することにより関節破壊が始まっているかを判断することが出来る。また、上腕骨滑車橈側の骨破壊が軽度であれば関節破壊は初期であり、滑膜切除などの低侵襲治療が良い適応になると考えられる。

E. 結論

関節破壊の進行には NSAIDs、DMARDs、ステロイド等の薬剤投与、罹病期間、加齢による関節変性の進行、骨粗鬆症の影響も考えられ

る。投薬内容、罹病期間、年齢の影響を論ずることができなかつたことに、本研究の限界がある。しかし、RA における肘関節破壊様式を統計学的に示した報告は、今回が初めてであり、人工肘関節置換術をはじめとする治療方針を決定する上で有意義な知見が得られた。

F. 健康危険情報 特になし

2. 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

A. 研究目的

関節リウマチ(以下 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が開発が望まれる。半拘束型ではゆるみへの対処が困難であり、セメント使用例では再置換の際の骨欠損が大きな問題となるからである。非拘束型の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・尺骨コンポーネントともに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。しかし、人工肘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は未開拓の分野である。本研究の目的は、RA を対象とした人工肘関節ステム設計の基礎データとなる上腕骨遠位と尺骨近位の骨髓腔3次元形状データを取得することである。

B. 方法

人工肘関節置換術術前の RA 患者 10 名(40~65 歳、平均 54.3 歳)の 10 肘関節と屍体乾燥骨、6 上腕骨、6 尺骨を対象とした。GE 社製 3D-CT 装置を用いて管電圧 120kV、管電流 100mA、スライス厚 0.625mm の条件で肘関節を中心とした 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上腕骨と尺骨の骨髓腔を含む表面モデルを作成し、骨皮質のデータを消去することにより骨髓腔形状の 3次元データを抽出した。上腕骨は肘頭窩上縁から近位、尺骨は鈎状突起頂部から遠位 1cm 毎の横断像を得て、骨髓腔横断像の形状を評価するとともに、横断面積と前後径・横径を計測した。また、各横断面の重心点を求めることにより骨髓腔の彎曲程度を評価した。

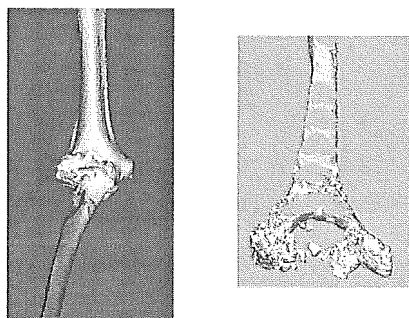


図1. 3次元CT骨モデルと断面形状

C. 結果

上腕骨骨髓腔形状: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(図2)。平均横断面積は 2-3cm レベルでは 100mm² 程度、4-5cm では 80mm² 程度で、それより近位では再び漸増していた。骨髓腔前後径は 2-10cm レベルでは 8-10mm、横径は 10-13mm であった。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。また、最遠位部においては RA 患者の上腕骨骨髓腔断面積と前後径が乾燥骨より有意に減少しており、RA において関節付近の骨破壊によって髓腔形状が変化していた。

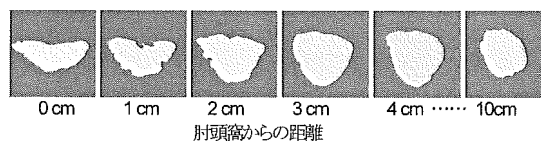
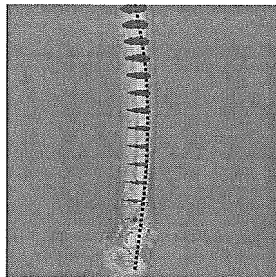


図2. 上腕骨の髓腔形状

図3. 髓腔の彎曲



尺骨髓腔形状: RA 患者、屍体乾燥骨とも鈎状突起頂部付近では前後に長い楕円形状で、楕円の長軸は掌尺側から橈背側に向かって緩やかに傾斜していた(図4)。鈎状突起頂部以遠5cmより先では徐々に正円に近づいた。平均横断面積は2-3cmレベルでは50-70mm²程度、4-5cmレベルでは35mm²程度で、それより遠位では漸減していた。骨髄腔前後径は2-4cmレベルでは7-10mm程度、横径は6-8mm程度であった。各横断面の重心点と結ぶ線は、ほぼ直線状であった。尺骨においても鈎状突起付近の断面積と前後径は、RA患者において乾燥骨より有意に減少しており、ここでもRAの関節炎による骨破壊が見られた。

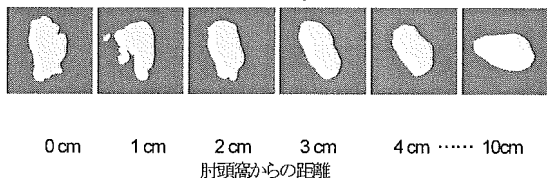


図4. 尺骨の髓腔形状

D. 考察

肘関節は手指と体幹の距離の調節、いわゆるリーチ機能を司る上肢の中でも最も重要な関節である。関節リウマチによって肘関節機能障害が生じれば、食事、洗顔、着衣、入浴などの基本的日常生活動作は著しく障害される。良好な肘関節機能を再建し、将来にわたって脱臼やゆるみの問題を生じない人工肘関節の開発は急務である。一方、現在使用されている人工肘関節のステムは、非拘束型、班拘束型を含めて骨髄腔形状がほとんど考慮されておらず、結果として、骨セメントが必要になったり、長期で

の骨—インプラント間のゆるみが多く見られたりしている。人工肘関節のステム形状を決定するための解剖学的研究は現在までほとんど見あらず、本研究による3次元髓腔形状計測データは上腕骨と尺骨の解剖学的形状に基づいたステム設計に大いに寄与すると考えられる。

E. 結論

新たな人工肘関節ステム形状決定に有効な上腕骨、尺骨の3次元骨髄腔データを取得することが出来た。

G. 研究発表

1. 論文発表

1. 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。中部整形外科災害外科学会雑誌、掲載予定。

2. 3D-CTを用いたリウマチ患者での上腕骨・尺骨、骨髄腔の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。

3. 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.

4. Akira Goto, Hisao Moritomo, Tsuyoshi Murase, Kunihiko Oka, Kazuomi Sugamoto, Takehiro Arimura, Jun Masumoto, Shinichi Tamura, Hideki Yoshikawa and Takahiro Ochi. In vivo three-dimensional wrist motion analysis using magnetic resonance imaging and volume-based registration. Journal of Orthopaedic Research. 23. 750-56, 2005.

5. 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.

6. Takashi Kitamura . Kazuomi Sugamoto . Jun Hashimoto, Tsuyoshi Murase, Takako Hattori , Tetsuya Tomita, Hideki Yoshikawa. Radiographic study of joint destruction patterns in the rheumatoid elbow. Clinical Rheumatology. Submitted.

2. 学会発表

1. 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.

2. CTデータに基づく3D-CADモデルを利用したハイドロキシアパタイトインプラントの術前モデリング. 村瀬剛、海渡貴司、名井陽、玉井宣行、妻木範行、富田哲也、森友寿夫、岡久仁洋、吉川秀樹. 第27回バイオマテリアル学会. 平成17年11月. 京都.

3. 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. 第18回日本肘関節学会学術集会. 平成18年1月. 名古屋.

4. リウマチ手関節の手根配列異常に対する3次元計測、定量的解析. 有光小百合、森友寿夫、村瀬剛、岡久仁洋、菅本一臣、吉川秀樹. 第50回日本リウマチ学会学術集会. 平成18年4月. 長崎.

5. Kunihiro Oka, Hisao Moritomo, Tsuyoshi Murase, Akira Goto, Kazuomi Sugamoto, Hideki Yoshikawa. Patterns of carpal deformity in scaphoid non-unions: A 3-dimensional and

quantitative analysis. Annual Adrian E. Flatt Residents and Fellows Conference in Hand Surgery. Sept 20, 2005, San Antonio, TX.

6. Kozo Shimada, Tsuyoshi Murase, Hisao Moritomo, Takeshi Yoshida. Reconstructive arthroscopy for full thickness articular defect of the elbow in young athletes. The 60th Annual Meeting of ASSH. Sept 21, 2005, San Antonio,

TX.

7. Hisao Moritomo, Tsuyoshi Murase, Akira Goto, Kunihiro Oka. Kinematics of the midcarpal joint: in vivo, 3-Dimensional motion analysis. Sept 21, 2005, San Antonio, TX.

H. 知的財産権の出願・登録状況
特になし

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 石川 淳一 北海道大学病院 整形外科助手

研究協力者 岩崎 倫政 北海道大学病院 整形外科講師

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 正常ボランティアの3次元CT像より新たな人工手関節のモデルを作成した。より生理的であるDart Throwerでの手関節運動をもたらす表面置換、半拘束型とした。実際のモデルを解剖屍体4体に挿入し、置換前後の手関節運動の単純X線解析を行った。全例術中の骨折、インプラントの破損など合併症なく置換可能であった。平均獲得可動域は背屈47°、掌屈42°、尺屈21°、橈屈9°であった。掌背屈は設計上で予想された角度(各々50°)とほぼ同様であったが橈尺屈は設計上の角度(各々10°)に対して尺屈で大きく、橈尺屈において関節摺動面の不適合を認めた。橈尺屈をより制動する摺動面への改良が必要と考えられた。

A. 研究目的

欧米で使用されている関節リウマチ(RA)に対する人工手関節の術後の問題点は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作用低下による掌尺屈変形さらに掌側脱臼である。従って解決すべき問題点として、1.インプラント設置後のアライメント、2.コンポーネントの強固な固定、3.軟部組織のバランスの三つが挙げられる。我々はより生理的な運動をもたらす人工手関節がこれらの問題を解決し、長期使用に耐えうるものになるとの考えにより新たな人工手関節のデザインを開発した。今回そのデザインコンセプトに基づいて実際のモデルを作成し、解剖屍体に挿入した後の手関節運動のX線解析を行った。

B. 研究方法

デザインの概念および方法

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具現化した。以前に行った手関節運動解析に基づき、手関節周囲軟部組織に加わる緊張が少なく、より生理的である投げ矢面(Dart Throwers Plane)での掌背屈運動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°の回旋をつけた。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

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。可動域は日常動作性獲得のため橈尺屈10° ずつ、掌背屈50° ずつに設計した。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。関節摺動面には橈尺屈軸への若干のスライドを許容し、ステム軸にかかるストレスの分散化を図った。以上のデザイン概念に基づき実際にモデルを作成し、解剖屍体に挿入した(図1)。4例、4手関節を使用した。置換後に最大手関節掌背屈位、最大橈尺屈位にてX線撮影を行い獲得可動域の評価と摺動面の適合性を評価した。

C. 研究結果

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。置換後の手関節掌背屈運動において生理的なDart Throwers Planeでの掌背屈運動が再現された。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2)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3)。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 height 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。

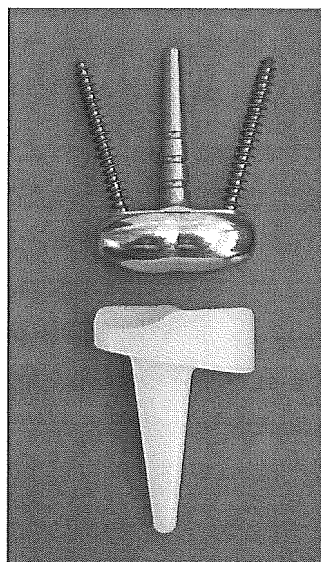


図1 新たに開発した人工手関節モデル

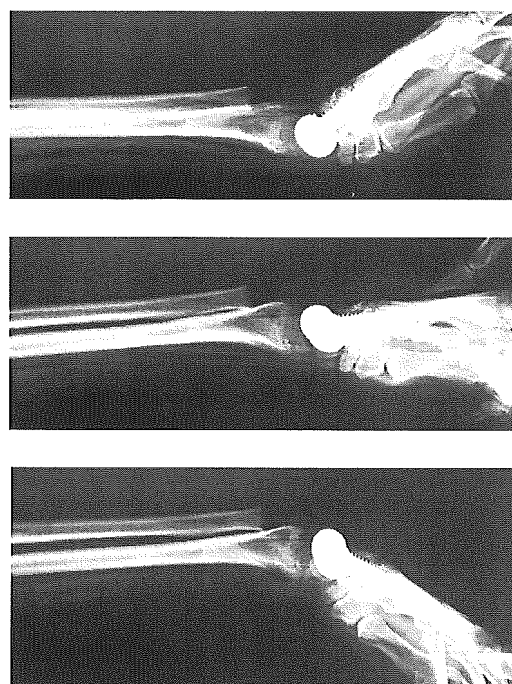


図2 置換後の掌背屈運動

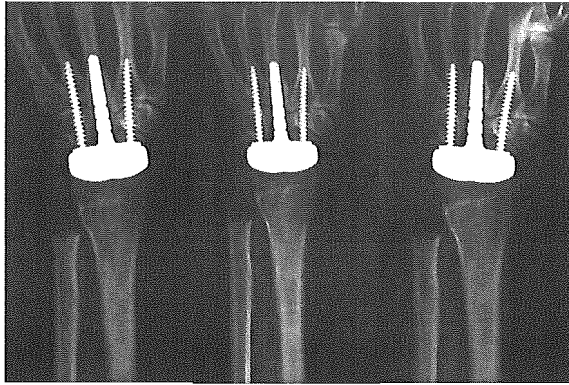


図3 置換後の橈尺屈運動

D, E. 考察、結論

我々が考案した新たな表面置換、半拘束型の人工手関節は生理的な手関節運動である dart throwers planeでの掌背屈運動を可能にした。解剖屍体を用いた実際の置換において安全に実施可能であった。今回の結果では橈尺屈運動時に関節面の不適合性が出現することが問題点であると考えられた。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関節として置換することの限界と考えられた。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、橈尺屈は犠牲にしなければならない。今回、橈尺屈において関節面に傾斜が生じたことは確実なDart thrower運動の誘導、さらに材質の磨耗や破損の観点からも大きな問題であると考えられた。とくにRA手関節では軟部組織のバランスの乱れ、および骨破壊により術前よりすでに尺側偏

位、掌尺屈変形をきたしていることが多いため、橈尺屈運動および橈尺屈方向へのスライドをより拘束する摺動面に改良する必要があると考えられた。今回のモデルをもとに関節摺動面をさらに改良し、運動解析、有限要素による応力解析、人体への応用を計画していく予定である。

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

1. 論文発表

Ishikawa J et al. Influence of distal radioulnar subluxation on restricted forearm rotation after distal radius fracture. J Hand Surg, 2005・30A・1178-1184

2. 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, 2005・56・940-944

H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)

1. 特許取得

なし。

2. 実用新案登録

なし。

3. その他

Dart Thrower運動を誘導する関節面のデザインに対して特許申請予定である。

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著書氏名	論文 タイトル名	書籍全体 の編集者 名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
石川淳一 三浪明男	手指関節固 定術	龍順之助	執刀医のた めのサージカ ルテクニック 上肢	メジカル ビュー社	東京	2005	162 - 172
三浪明男	手関節・手指 の関節リウマ チに対する 手術的療法	松井宣夫 平澤泰介	整形外科術 前・術後のマ ネジメント 第 2版	医学書院	東京	2005	150 - 153

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
三浪明男	手関節痛のマネー ジメント	日整会誌	79	961-977	2005
Masuko, T., Minami, A., Iwasaki, N., Majima, T., Nishimura, S.I., and Lee, Y.C.	Carbohydrate analysis by a phenol-sulfuric acid method in microplate format	Anal Biochem	339	69-72	2005
Masuko, T., Minami, A., Iwasaki, N., Majima, T., Nishimura, S.I., and Lee, Y.C.	Thiolation of chitosan. Attachment of proteins via thioether formation	Biomacromolecules	14	880-884	2005

Masuko, T., Iwasaki, N., Yamane, S., Funakoshi, T., Majima, T., Minami, A., Ohsuga, N., Ohta, T., and Nishimura, S.I.	Chitosan-RGDSGGC conjugate as a scaffold material for musculoskeletal tissue engineering	Biomaterials	26	5339-5347	2005
Majima, T., Funakosi, T., Iwasaki, N., Yamane, ST, Harada, K., Nonaka, S., Minami, A. and Nishimura, S.	Alginate and chitosan polyion complex hybrid fibers for scaffolds in ligament and tendon tissue engigeering	J Orthop Sci	10	302-307	2005
Funakoshi T., Majima, T., Iwasaki, N., Suenaga, N., Sawaguchi, N., Shimode. K., Minami, A., Harada, K., and Nishimura, SI	Application of tissue engeering techniques for rotator cuff regeneration using a chitosan-based hyaluronan hybrid fiber scaffold	Am J Sports Med	33	1193-1201	2005

Funakoshi T., Majima, T., Iwasaki, N., Yamane, S., Masuko, T., Minami, A., 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
Minami, A., 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
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
Akira Goto, Hisao Moritomo, Tsuyoshi Murase, Kunihiro Oka, Kazuomi Sugamoto, Takehiro Arimura, Jun Masumoto, Shinichi Tamura, Hideki Yoshikawa and Takahiro Ochi	In vivo three-dimensional wrist motion analysis using magnetic resonance imaging and volume-based registration	Journal of Orthopaedic Research	23	750-56	2005

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
Yamane, S., Iwasaki, N., Majima, T., Funakoshi, T., Masuko, T., Harada, K., Minami, A., 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
石川淳一、三浪明 男、岩崎倫政	RA手関節の手術	整形・災害外科	47	733-740	2004
石川淳一、三浪明 男	[特集/新時代の運動 器リハビリテーション] 手関節周辺外傷	整形外科	56	940-944	2005
Ishikawa J, Iwasaki N, Minami A.	Influence of distal radioulnar joint subluxation on restricted forearm rotation after distal radius fracture.	J Hand Surg[Am]	56	940-944	2005
但野茂、阿部圭子 大泉尚美	腱板断裂時における 肩甲上腕関節面の 三次元応力分布	日本臨床バイオメ カニクス学会誌	24	145-150	2003

手指関節固定術

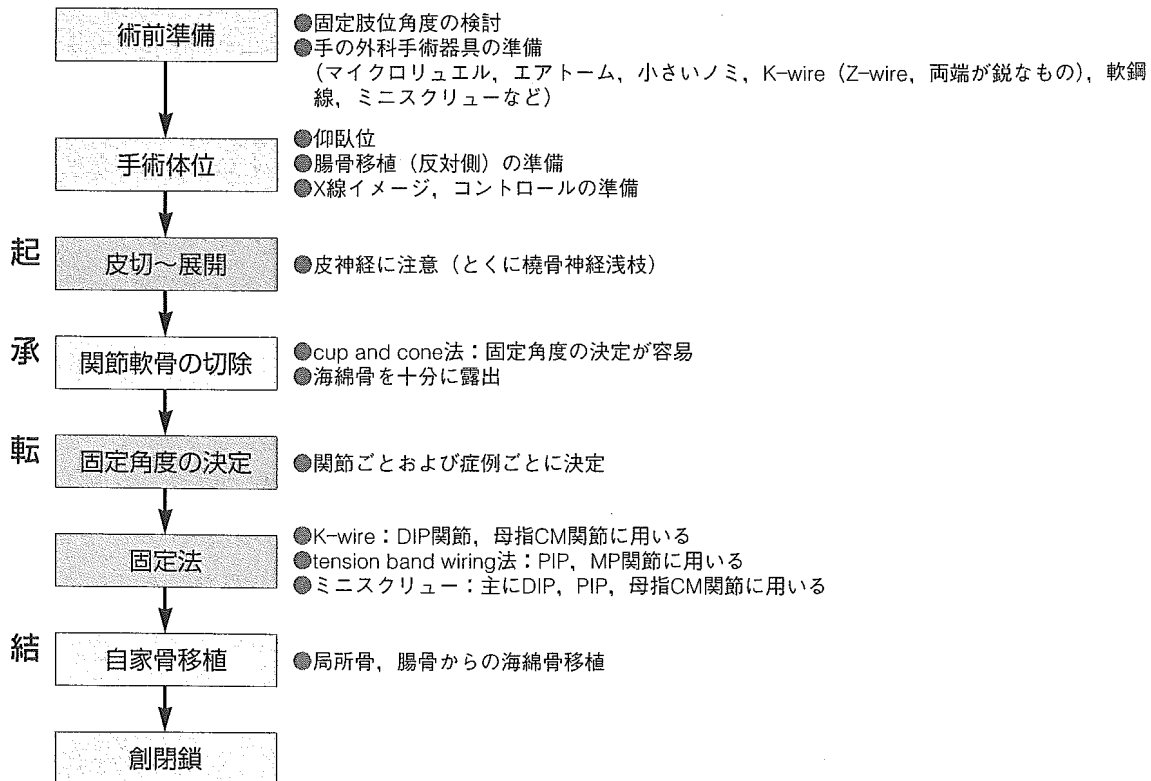
北海道大学大学院医学研究科整形外科学 石川淳一
北海道大学大学院医学研究科整形外科学教授 三浪明男

適応病態

- ①母指CM変形性関節症でEaton分類stage IIおよびIII, STT関節に関節症変化がない。
- ②関節リウマチによる母指CM, MP, IP関節破壊による手指変形。
- ③著明な運動時痛を伴う外傷性の関節症や手指の変形性関節症 (Heberden, Bouchard結節)。
- ④重度の拘縮 (Dupuytren拘縮, 熱傷後など)。
- ⑤神経麻痺や腱断裂後の関節不安定性。
- ⑥関節形成術後のsalvage手術。

術前シミュレーション

ポイントの整理



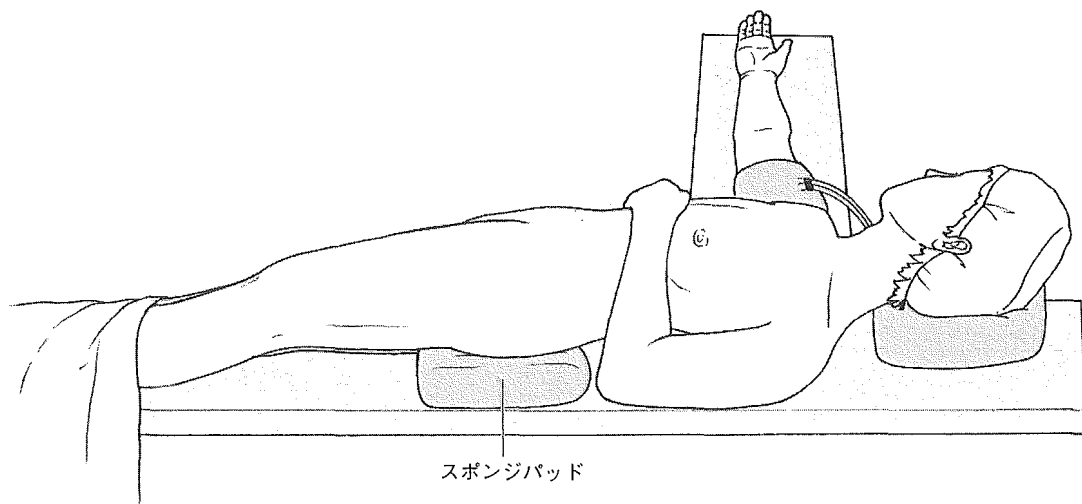
術前準備

- ①術前固定角度の決定には十分な検討と同意が必要である。
固定により除痛は得られるが、関節可動域が消失することによる弊害として日常生活で何ができなくなるのかを具体的に説明し、納得を得ることが必要である。
- ②各指、関節により至適固定角度が異なることを認識する。また隣接関節の機能が保たれていることが望ましい。隣接2関節の固定術は避ける。
- ③母指に対しては、術前内転拘縮の有無を調べ、拘縮解離術の必要性を検討する。またリウマチによる母指変形では、CMあるいはMP関節固定と同時に隣接関節の関節形成術や腱形成術が必要であることが多く、術前十分に検討しておく。

手術体位 (図1)

- ①仰臥位とし、上肢用の手術手台に患肢を置き、ターケットを巻く。
- ②手術と反対側の腸骨を採取するため、腰の下にスポンジパッドをいれて上前腸骨棘部をもち上げる。
- ③X線透視の準備をしておく。
- ④患肢のブラッシングを行う。

図1 体位



起

皮切 ~ 展開

●皮切 (図2A~C)

母指CM関節 (図2A) : 第1中手骨近位1/3の橈背側よりCM関節に至り, さらに舟状骨結節に終わる弧状の皮膚切開を用いる。

指MP, PIP関節 (図2B) : 背側に緩い弧状切開を用いる。

DIP関節 (図2C) : 背側のY-V切開を用いる。

アドバイス: 橈骨神経浅枝損傷に要注意

○母指CM関節では橈骨神経浅枝損傷に気をつける。損傷すると有痛性神経腫が発生する。必ず神経を確認した後, ペンローズドレーンにてよけておく
と術中損傷を防げる。

図2A 母指CM関節の皮切

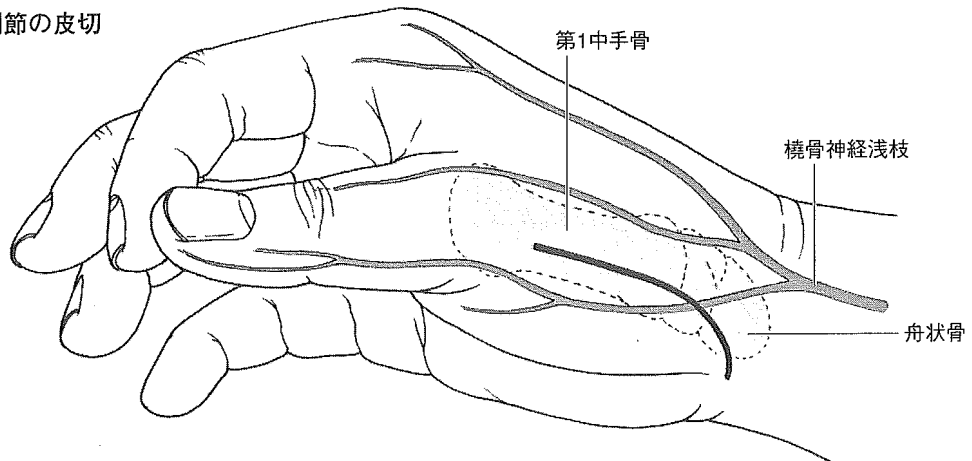


図2B 指MP, PIP関節の皮切

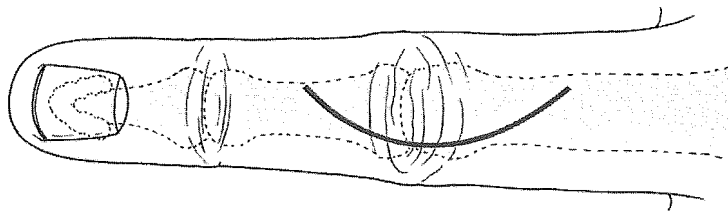
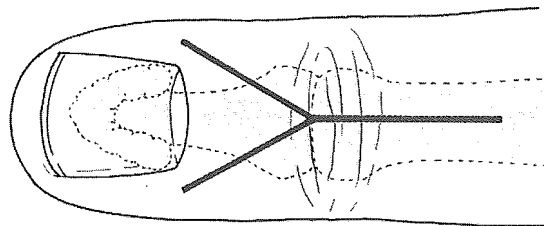


図2C DIP関節の皮切



●展開

(図2D~H, F-a)

母指CM関節 (図2D)

長母指外転筋腱 (APL) が中手骨基部橈側に停止しており, APLの停止部よりCM関節を同定する (図2D)。APLを背側に, 母指球筋を掌側に剥離し, 関節包を縦切する。骨膜下に関節包を切離し (図2E), 尺側まで広く関節を展開する。

アドバイス：母指CM関節の位置

○母指CM関節の位置の確認はAPL腱の停止部が中手骨基部であることをメルクマールとする。

図2D 母指CM関節の展開

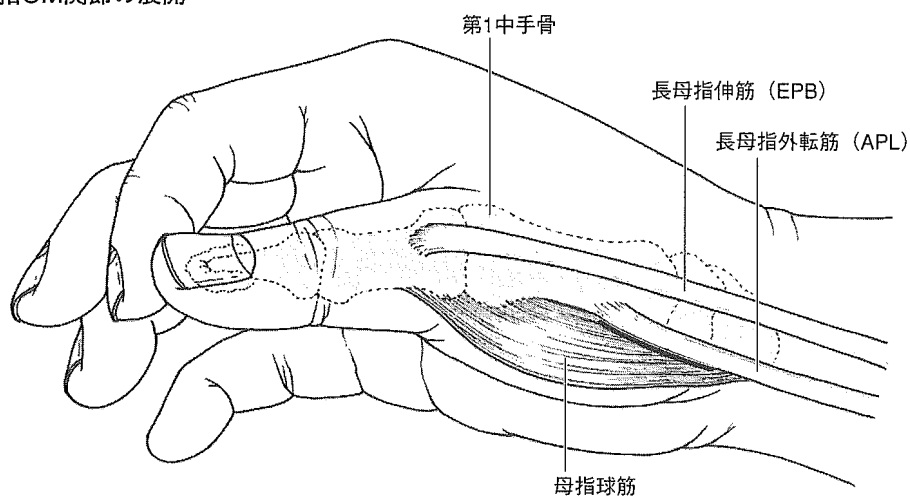


図2E MP関節の展開

