

MRIを用いた前腕骨格の回内・回外動作分析

○上蘭 尚行* 野尻 紘聖* 松永 信智* 川路 茂保* (*熊本大学)

1. はじめに

医療用 CPM(Continuous Passive Motion, 持続的他動運動) は、外傷後或いは手術後の関節を外部から連続的に動かして回復を促進させる整形外科における治療法である^[1]。筆者らの研究室では、肘用 CPM に対して肘関節の屈曲・伸展と同時に前腕の回内・回外を行う 2 自由度の運動機構を有する CPM 装置を開発した。本装置は手先に設定した回内角を与えることが可能だが、内部の骨格機構動作を得ることは出来ず、CPM と前腕骨格動作の関係は不明なままである。そこで、前腕の骨格機構を模擬したモデルを用いて詳細な各 ROM(Range of Motion, 関節可動域) を評価することが考えられる。与えられる回内角に対する ROM 変化を表現するモデルを構築するためには、骨格内部の状況を計測し、分析を行う必要がある。

本稿では、ROM 分析に用いる前腕骨格モデル構築の前段階として、MRI を用いて健全な成人男性の前腕動作時の骨格撮影を行い、橈骨と尺骨の断面像における重心、回旋中心軸及び尺骨と上腕骨との関係の分析結果について述べる。

2. 従来の前腕骨格モデルと問題点

従来研究において、X-ray、CT-scan や MRI を用いて前腕骨格動作を撮影し、動作分析が行われてきた^[2]。人の前腕骨である橈骨と尺骨は、長さの異なる湾曲した形状をしており、各端点が靱帯などの軟組織で結合されている^[3]。このような前腕骨格系の複雑な機構に対し、従来のモデルは計算の簡便さと骨の形状の個人差を考慮しないために各骨を同じ長さの様な剛体で近似し、各骨の間には仮想的なリンクを仮定した閉リンク機構を提案した。

しかし、CPM の ROM 分析を行う際に以下の課題がある。

- (1) CPM で設定した回内角と実際の ROM との関係性
- (2) CPM における前腕の回旋中心位置の違いによる手先位置の変化
- (3) モデルのリンク長決定法の妥当性検証^[2]
- (4) 尺骨のスライド変位と靱帯との関係^[2]

以上のことから、MRI を用いて健全な成人男性の前腕動作の撮影を行い、それらの点を明らかにする必要がある。

3. 前腕骨格 MRI 撮影と分析方法

3.1. 正常な前腕骨格動作の撮影

被験者は健全な 25 歳の成人男性 1 名であり、右前腕部について撮影を行った。撮影装置は、磁場強度 0.3T([tesla];10000[gauss]) の開放型 MRI 装置 AIRIS-II(日立メディコ社製)を用いた(Fig.1)。撮影体位は、



Fig.1: Scen of MRI measurement

うつ伏せで肘関節を約 80[deg] 伸展した状態とした。前腕の角度は、回外位から回内位まで -80, -50, -20, 20, 50, 80[deg] の計 6 肢位について計測を行った。ただし、0[deg] を安静位とする。被験者には、MRI 撮影中に前腕及び肘の位置が変わらないように、自作した前腕拘束具のグリップ部を軽く握るよう指示し、拘束具のグリップ部のみを取り替える事によって前腕の角度を変更できるようにした。

回内・回外撮影時の撮影条件を表 1 に示す。なお、パルス系列には SE(Spin Echo) 法^[4]を用い、エコー時間を 25[msec]、撮影視野を 150[mm]×150[mm]、解像度を 256[pixel]×256[pixel]、撮影時間を 4 分 30 秒に設定した。

Table.1: Shot condition of MRI scans

	slice thickness[mm]	slice distance[mm]	repetition pulse (TR)[msec]
Exp.1	5.0	35.0	500
Exp.2	5.0	6.0	450

設定した各回内位における axial plane(前腕を輪切りにする断面)の画像から橈骨・尺骨のみを抽出し、それぞれの骨の重心と慣性主軸を算出した。橈骨と尺骨の相対運動を分析するために各回内位における尺骨重心位置を統一する必要がある、その際の移動分だけ画像全体の並進のみを行い、それらを重ね合わせた。このとき、尺骨には回転がなく、主軸の変化が尺骨の空間的な回転を表わすことになる。なお、橈骨の重心の変化は尺骨に対する橈骨の回旋を、主

軸の変位は橈骨の”ずれ”を表わす。以上の画像処理を行い、

(1) 橈骨重心の回旋角度

(2) 回内・回外中の橈骨の尺骨に対する回旋中心の導出を行った。なお、(1),(2)の導出には、MATLABで作成したプログラムを用いており、(2)の回旋中心は最小二乗法で求めた。

3.2. 尺骨スライド変位の撮影

前腕の回内・回外中に尺骨と上腕骨を結合する靱帯の影響により、尺骨がその軸上方向にスライドするとされる。そこで、撮影軸を axial 及び sagittal plane(axial に対して垂直な平面)として尺骨のスライド変位をMRIを用いて観測した。撮影条件は表1のExp.2であり、撮影時間は3分30秒に設定した。また、尺骨スライド変位の計測には画像解析ソフトImageJ^[5]を用いた。

4. MRI 画像の分析結果

4.1. 正常な前腕骨格動作

回内・回外中の橈骨と尺骨の運動を計測した結果をFig.2に示す。Fig.2より、橈骨は尺骨に対してほぼ円運動を行うことが分かる。

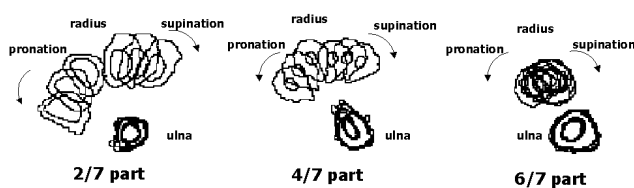


Fig.2: Analysis result of pro-supination

次に、回旋中心軸の推定結果をFig.3に示す。*

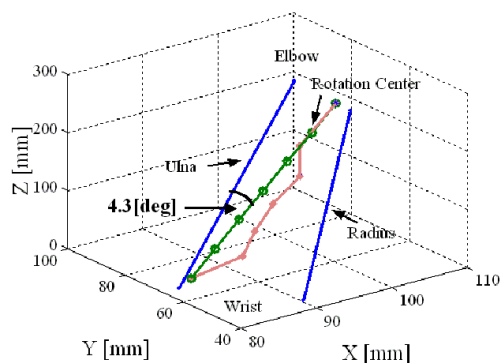


Fig.3: Position relationship between rotation center and forearm bone

は手首から肘関節までの axial plane より計算で求めた回旋中心位置であり、'o' は手首と肘関節の axial plane の回旋中心位置からそれらの断面間の中心位置を計算で求めたものである。

回旋中心軸は尺骨軸に比べて、約 4.3[deg] だけ傾いていることが分かった。

4.2. 尺骨スライド変位

sagittal plane での上腕骨と尺骨間の最大距離の計測結果をFig.4に示す。Fig.4より、回外位から回内

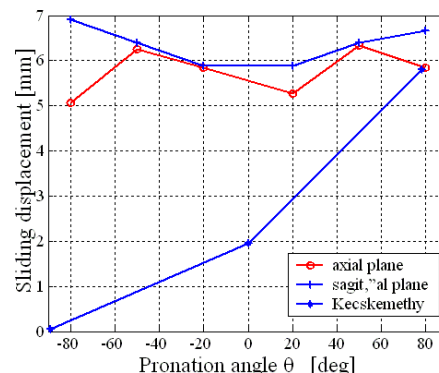


Fig.4: Measurement result of sliding displacement

位まで変化した場合、尺骨のスライド変位は約 1[mm] 程度変化することが分かる。また、Kecskemethy らは尺骨のスライド変位が単調増加であると示しているが、屍体の最大回内・回外位において強制的に外力を与えて変位を計測しているためではないかと考えられる。

5. おわりに

本稿では、MRIを用いて回内・回外による前腕骨格動作の分析を行った。橈骨は尺骨に対してほぼ円運動を行うが、橈骨の尺骨周りの角度は設定した回内角よりも小さくなることが分かった。次に、前腕の回旋中心軸は、尺骨軸に対して約 4.3[deg] 傾斜していることが分かった。また、回内・回外における尺骨のスライド変位に関しては、1[mm] 程度の変化することが分かった。

今後はこれらの結果を更に精査し、前腕骨格モデルの構築と CPM 中の各 ROM の分析を行う予定である。

参考文献

- [1] R.B.Salter, "Continuous Passive Motion(CPM)", Williams & Wilkins, 1993.
- [2] A.Kecskemethy and A.Weinberg, "An Improved Elasto-Kinematic Model of the Human Forearm for Biofidelic Medical Diagnosis", Proc. of Multibody Dynamics 2003, Lisbon, pp.1-20, 2003.
- [3] A.I.Kapandji, "カパンディ関節の生理学 I 上肢", 医歯薬出版, pp.100-131, 1991.
- [4] 蜂屋順一, "MRI 応用自在 改訂版", メジカルビュー社, 2004.
- [5] 小島清嗣, 岡本洋一, "画像解析テキスト 改訂第 3 版", 羊土社, 2006.

熊本大学工学部
数理工学システム工学科 4 年 上 蘭 尚行
Tel : 096-342-3639
E-mail : kamizono@actrl.cs.kumamoto-u.ac.jp