8C-04 イメージマッチングによる人工股関節ステム挿入管理法の開発

Development of a Controlling Stem Setting of Total Hip Arthroplasty by Image Matching

○正 窪田 陽介 (新潟大)
 正 小林 公一 (新潟大)
 正 田邊 裕治 (新潟大)

正 坂本 信 (新潟大)
 古賀 良生 (新潟医療センター)
 湊 泉 (新潟臨港病院)

Yosuke KUBOTA, Niigata University, 2-8050 Ikarashi, Nishi-ku, Niigata

Makoto SAKAMOTO, Niigata University School of Medicine

Koichi KOBAYASHI, Niigata University School of Medicine

Yoshio KOGA, Niigata Kobar Hospital

Yuji TANABE, Mechanical Engineering, Niigata University

Izumi MINATO, Niigata Rinko Hospital

Key words: Biomechanics, Controlling stem setting method, Total hip arthroplasty, Image-matching.

1. 緒言

人工股関節置換術 (THA: Total Hip Arthroplasty) の設置位置不良は、脱臼、再手術などのリスクや臨床成績や耐久性に大きな影響を与える。このため各種装置によるナビゲーションなどの術中支援システムの開発が行われている。しかしながら、設置精度、操作方法、コストなどに課題を残しており、一般的な臨床応用には至っていない。我々は、下肢全長2方向 CR (Computer Radiography) および CT (Computer Tomography) スライス画像から構築した3次元骨形状モデルを重ね合わせることでアライメント解析および THA 術前計画、術後評価が可能な3次元下肢アライメント評価システムを開発し、報告してきた³⁾⁴⁾。

本研究では、3次元下肢アライメント評価システムにより THA 術前計画された人工股関節コンポーネントのステム挿入方向を術中に CCD カメラにより得られる骨頭の3方向 RGB 画像を用いて、正確に再現するステム挿入管理法の開発を目的とした。

2. 実験方法

2. 1 実験装置

本実験では、骨幹部にアクリル製球マークを取り付けたヒト大腿骨の骨格標本5本(左:3本, 右2本)を用いた (Fig.1)。

3次元大腿骨形状モデル (以下、骨モデル) を大腿骨モデルボーンの CT スライス画像から3次元解析ソフトウェア Zed View (LEXI 社製) により構築した。

Fig. 1 Experimental materials

(a) Femur bone with three markers.
 (b) 3D CT model

骨頭の RGB 画像撮影装置には、カラー CCD カメラ (RGB 画像: 130 万画素 1280×1024) と 2 面鏡から構成される 3 画面鏡面撮影装置 (以下、3 面鏡撮影装置) を用いた (Fig.2)。この 3 面鏡撮影装置を用いることにより、1 度の撮影で対象の直角 3 方向 (矢状面、横断面、前額面) 画像が取得可能となる。

Fig.2 Photographic device and RGB image.

2. 2 キャリブレーション

キャリブレーションには、螺旋状に 22 個の鋼球マークを配置したキャリブレーションフレームを用いた。

キャリブレーションは、キャリブレーションフレームの直角 3 方向画像からフレームマークの 2 次元値を算出し、3次元座標測定器 (BH504 ミットヨ社製) を用いて 3 次元値を実測することで、空間校正を行った²⁾。その後、キャリブレーション精度検証を行った結果、X 方向の誤差が -0.20 ~ 0.18mm, Y 方向の誤差が -0.19 ~ 0.14mm, Z 方向の誤差が -0.19 ~ 0.17mm であった (Table 1)。

Table 1 Calibration Errors of three orthogonal directions using a triple mirror.

	X-axis	Y-axis	Z-axis
Maximum	0.18mm	0.14mm	0.17mm
Minimum	-0.20mm	-0.19mm	-0.19mm
Ave.	0mm	0mm	-0.01mm
S.D.	0.10	0.09	0.10

2. 3 イメージマッチング

CCD カメラと 3 面鏡により骨頭における 3 方向の 2 次元画像を撮影し、コンピュータ上で 2 次元画像と骨モデルのイメージマッチングを行った。

まず、RGB 画像を色成分 (R, G, B : 各 8bit) に分離し、骨頭と背景に明確な濃度差がある R 成分画像に対して自動輪郭抽出処理を行った。その後、鏡映画像においては、反転処理を行い、多次元の最適化手法である滑降シンプレックス法¹⁾により各骨モデル輪郭と R 成分画像の骨頭輪郭のイメージマッチングを行った。この操作により 3 次元空間原点と大腿骨マーカーから形成したマーカー座標系の相対位置 (計算値) を求めた。

2. 4 精度検証

イメージマッチングの精度検証は、5 本のヒト大腿骨骨格標本に対し、3 個の球マーカーを 3 次元座標測定器で測定し、マーカー座標系を構築後、3 次元空間原点とマーカー座標系の相対位置 (目標値) を算出し、計算値との比較により平均二乗誤差を算出した。

3. 結果

イメージマッチングの結果は、回転成分で X 軸方向 $0.51 \pm 0.10\text{deg}$, Y 軸方向 $0.64 \pm 0.10\text{deg}$, Z 軸方向 $0.91 \pm 0.13\text{deg}$ であった。並進成分は、X 軸方向 $1.59 \pm 0.51\text{mm}$, Y 軸方向 $0.71 \pm 0.39\text{mm}$, Z 軸方向 $0.20 \pm 0.15\text{mm}$ であった (Fig.3, Fig.4)。

Fig.3 Rotation (a) (c) and Translation (b) (d) errors between analysis value and true value of automatic

Fig.4 Total accuracy

4. 考察

我々は、3 次元的な骨形状評価 (3 次元アライメント評価システム) を行い、これにコンポーネントの CAD データから作成した形状モデルを最適な位置に設置することをコンピュータ上で (術前計画)、その情報を手術操作に連動させること (ナビゲーション) により、正確な手術操作管理ができると考え、人工股関節システム設置管理法を開発した。

本手法において 2D-3D イメージマッチングは、システム設置精度に大きな影響を与える重要な処理である。先行研究において、専用フレームにより高精度キャリブレーションを実現したが、その方法にも撮影方法や処理時間等の課題を残していた。そこで今回は、3 面鏡を用いたキャリブレーションによる 2D-3D イメージマッチング法を開発した。その結果、従来法と同等のキャリブレーション精度で、撮影時間の短縮および操作の簡便化を実現した。また、イメージマッチングにおいても、ヒト大腿骨骨格標本に対して精度評価実験を行った結果、回転・並進誤差が 1deg, 2mm 以内であった。

今後は、開発した 3 面鏡撮影装置による 2D-3D イメージマッチングを人工股関節システム挿入管理法に組み込み、臨床応用に向けて実験によるデータの蓄積、ジグの開発等を行う予定である。

5. 結論

本研究では、3 面鏡撮影装置を用いた 2D-3D イメージマッチング法を提案した。2 種類のキャリブレーションフレームを製作し、従来法と 3 面鏡撮影装置によるキャリブレーションを行い、精度および処理時間の比較を行った。その結果、3 面鏡を用いたキャリブレーションは 1mm 以内の精度かつ短時間での処理を可能とした。また、イメージマッチングの精度は、回転・並進誤差が 1deg, 2mm 以内であった。

参考文献

- 1) Canny, A., A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI 8(6) (1986), 679-698.
- 2) Faugeras, O., Three-Dimensional Computer Vision: A Geometric Viewpoint. MIT Press, Cambridge (1993).
- 3) Kubota, Y., Sakamoto, M., Kobayashi, Koga, Y., Sato, T., Tanabe, Y., Kai, S., Seitoku, N.: Development of a setting method for stem during total hip arthroplasty using a three-dimensional leg alignment assessment system, Journal of Clinical Biomechanics, 30 (2009).
- 4) Shin Kai et al.: Development of computer-assisted Total Hip Arthroplasty, JJCB., 28 (2007), 263-268
- 5) Yoshihiro Yamazaki et al.: Experimental study of a shape model by a three-dimensional leg alignment analyzing system. JJCB., 25 (2004), 291-296.