342 MRI を用いた骨の 3 次元形状モデルの精度検証

Accuracy of three-dimensional surface model of bone derived from MRI

○正 笹川 圭右 (新潟大学) 渡辺 聡 (新潟こばり病院) 正 小林 公一 (新潟大学)
正 坂本 信 (新潟大学) 佐藤 卓 (新潟こばり病院) 古賀 良生 (新潟こばり病院)

Keisuke SASAGAWA. NIIGATA University, 8050 Ikarashi-2no-cho, Niigata

Satoshi WATANABE. Niigata Kobari Hospital, 3-27-11 Kobari, Niigata

Koichi KOBAYASHI. NIIGATA University

Makoto SAKAMOTO. NIIGATA University

Takashi SATO. Niigata Kobari Hospital

Yoshio KOGA. Niigata Kobari Hospital

Key words: Biomechanics, Bone, Three-dimensional surface model, MRI, Accuracy

1. 緒言

X 線 CT や核磁気共鳴イメージング (MRI) に代表される画像撮影装置は非侵襲的にヒトの体内構造を観察できる有用な手段であり、診断や治療などに広く使われている。近年、画像診断装置の進歩により、得られた 2 次元断層画像から 3 次元形状モデルが構築でき、骨構造を 3 次元的に観察することが可能になっている。整形外科分野において、骨の 3 次元形状モデルは膝運動解析や術前計画、術後評価などに臨床応用されており⁽¹⁾、正確なモデルの使用は適切な診断や骨構造の評価につながる。

骨の 3 次元形状モデルは一般的に CT で撮影された断層画像を用いて構築されている。CT は得られる画像の寸法精度が高く、比較的良好に骨を描出することが可能であることから、CT から構築されたいわゆる CT 由来の 3 次元モデルは骨構造がよく表現されている。その反面、CT は軟骨などの軟部組織の描出ができない、放射線被爆量が多いといった問題がある。関節部などの診断において、骨だけではなく軟骨も含めたモデルが利用できれば、より容易に適切な診断が行える。

CT と同様な断層画像撮影装置の一つである MRI は CT で指摘されるような問題点がなく、軟骨が描出できるため軟骨を含む骨の 3 次元モデルの構築が可能となる。しかし、軟骨が描出される代わりに骨が描出できなくなり、骨の輪郭が不明瞭になるため、骨の 3 次元形状モデルを構築する際に多大な影響を与えると考えられる。現在のところ、MRI による 3 次元モデルの精度についての報告は少ない。

そこで本研究は、CT 由来の骨の 3 次元形状モデル (CT モデル) の代わりに、MRI 由来の軟骨を含む 3 次元形状モデルの臨床応用を検討することに先立ち、MRI 由来の骨の 3 次元形状モデル (MRI モデル) の精度を検証することを目的とした。

2 実験方法

2. 1 骨の 3 次元形状モデルの構築

対象としてブタ屍体後肢 3 肢を用いた。大腿骨と脛骨に MRI と CT の両方で描出できる球マーカーをそれぞれ 3 つずつ取り付け付けた。球マーカーを取り付けたブタ後肢を MRI および CT で撮影した。撮影には MRI (MAGNETOM Impact Expert 1.0T, SIEMENS) および X 線 CT (X-Vigor Laudator, TOSHIBA Corp.) を用いた。MRI の撮影条件はスライス厚

1.8 mm、画面解像度 512×512 pixels、ピクセルサイズ 0.59×0.59 mm、撮像断面は矢状断面で、撮影シーケンスは軟骨が強調される 3D-FLASH を用い、CT ではスライス厚 1.0 mm、画面解像度 640×512 pixels、ピクセルサイズ 0.35×0.35 mm、撮像断面は横断面であった。

MRI と CT 撮影で得られた断層スライス画像は、三次元再構成ソフトウェア (ZedView ver. 4.0, LEXI Co.) を用いて骨の 3 次元形状モデルを構築した。このソフトウェアは 3 次元形状モデル作成の際に柔軟に輪郭条件を設定でき、CT モデルでは骨輪郭を自動抽出したが、MRI モデルでは骨輪郭が自動で抽出できなかったため、手動で輪郭抽出を行った。構築された MRI モデルと CT モデルを Fig. 1 に示す。

2. 2 モデルの精度検証方法

3 次元モデルの精度検証は、(1)骨に取り付けた球マーカー間の相対位置関係と、(2)骨断面の大きさについて、実際の骨

Fig. 1 MRI model (a) and CT model (b)

での値（真値）と比較することで行った。

MRI、CT 撮影後、ブタ大腿骨と脛骨に創外固定器を取り付けた。三次元測定器（COORDINATE MEASURING MACHINE BH504, Mitutoyo Co.）で各球マーカーの 3 次元的位置を測定し、球マーカーの中心座標を求め、球マーカー間の 3 次元的位置距離を算出した。これを相対位置の真値とした。取り付けられた球マーカーは大腿骨近位から遠位へかけて①、②、③とした（Fig. 1）。構築された 3 次元モデルは各球マーカーの中心座標を手動による球近似で求め、その中心座標値から球マーカー間の相対位置（球マーカー①と②、②と③および①と③間の距離）を求め、相対位置の真値と比較した。実際の骨寸法と比較するため、3 次元モデルの球マーカーが取り付けられた位置を骨幹に対し垂直にモデルを切断し、その切断面の大きさ（縦と横）を計測した（Fig. 2）。計測された値と骨断面の真値を比較した。

3. 結果と考察

Fig. 3 に MRI モデルと CT モデルの球マーカー間距離から算出した断面平面方向と奥行き方向の真値に対する平均誤差と標準偏差を示す。左から x 軸方向（断面面の奥行き）、y 軸方向（断面面の横）、z 軸方向（断面面の縦）を示し、白が MRI モデル、黒が CT モデルを示す。真値に対して、MRI モデルでは x 軸方向に 0.27 mm、y 軸方向に 0.18 mm、z 軸方向に 0.10 mm の誤差が見られた。CT モデルでは x 軸方向に 0.05 mm、y 軸方向に 0.02 mm、z 軸方向に 0.18 mm の誤差が見られた。MRI モデルは真値よりも小さい傾向があり、CT モデルはわずかに大きい傾向があったが、全体的に非常に小さな誤差が得られた。したがって MRI、CT モデルはともに相対位置においてはほぼ同程度の精度を有していると考えられる。

3 次元モデルにおける骨断面の大きさについての結果を Fig. 4 に示し、MRI モデルと CT モデルにおける骨断面の縦寸法と横寸法の真値に対する平均誤差と標準偏差を示す。左から球マーカー①が取り付けられた骨断面の誤差、球マーカー②での骨断面の誤差、球マーカー③での誤差となり、白が MRI モデルの縦寸法、斜線が MRI モデルの横寸法を示し、黒は CT モデルの縦寸法、横線が CT モデルの横寸法を表す。真値に対して、MRI モデルでは球マーカー③の縦寸法で最大 4.24 mm、CT モデルは球マーカー①の縦寸法で最大 1.78 mm の誤差があった。CT モデルでは誤差が 2 mm 以下であるものの、MRI モデルでは約 4 mm の誤差があり、特に縦寸法の誤差が大きくなっている。この原因として、MRI の撮像断面が矢状断面であり、MR 画像の骨輪郭の不明瞭さが縦寸法に大きく影響を与えることや、スライス厚が 1.8 mm とやや大きかったためと思われる。撮像断面を横断面にすれば、骨断面の大きさへの影響は少ないが、代わりに関節面への影響が大きくなると予想される。よって、MR 画像自体の精度は良好であるが、モデル構築の際の骨輪郭抽出が誤差を大きくする原因と考えられ、骨輪郭抽出の改善により誤差を縮小することが可能であると考えられる。

4. 結言

MRI を用いてブタ大腿骨の 3 次元形状モデルを構築し、実際の骨との誤差を調べた。真値と比べると MRI モデルは、球マーカー間の相対位置関係においては良好な結果が得られたが、骨断面に関しては矢状断面における骨輪郭抽出により誤差が大きかった。骨輪郭抽出の改善により誤差を縮小することが可能と考える。

Fig. 2 Compared dimensions at cross-section of bone

Fig. 3 Errors in distance between spherical markers.

Fig. 4 Errors in dimensions of bone models.

5. 参考文献

- 平澤、林、古賀、佐藤、松沢、中村、3 次元下肢アライメント評価システムを用いた人工関節後の膝関節運動解析、日本臨床バイオメカニクス学会誌、Vol. 25、pp. 291-296、2004.