

輝度値を用いた膝軟骨の構造解析と可視化支援の研究

Structure Analyses of Knee Joint Area based on Intensity Feature, and its Visualization

○前元 菜摘, 上原 由香里, 秋山 佑輝, 健山 智子, 松本 慎平
 Natsumi Maemoto, Yukari Uehara, Yuki Akiyama, Tomoko Tateyama, Shinpei Matsumoto
 広島工業大学
 Hiroshima Institute of Technology
 Email: b215105@cc.it-hiroshima.ac.jp

あらまし：膝間接領域は、骨格だけでなく膝半月板と靭帯領域などの膝軟骨組織が含まれており、それらの組織を観測するため MR 画像からの観測が行われる。しかし、MR 画像において半月板領域と靭帯領域の各輝度値分布は非常に類似しており、その解剖学的特徴の区別は研修医・医学生において難しい。本研究では、輝度値と空間情報による計算解剖モデルを用いた膝軟骨領域可視化支援を構築し、医用教育応用として議論する。

キーワード：医用画像、診断支援システム、膝関節領域、解剖学的構造解析、輝度値

1. はじめに

膝半月板の診断では、一般的に MR 撮像からの読影診断となっているが、膝半月板は軟骨組織だけでなく、脂肪、筋肉、骨などの種々の組織で構成されており、MR 画像から直感的な情報取得は臨床医間においても非常に難しい課題がある。また、あくまで 2 次元平面上での確認となるため、立体的な観測には至っていないうえ、診断に膨大な時間を要する。ゆえに、臨床現場からは、情報技術に基づいた客観的な診断をサポートする計算機診断支援システム (Computer-Aided Diagnosis: CAD) の確立が切望されている。

本研究では、MR 画像内において膝軟骨組織が、他領域と比較すると輝度値情報は低く、膝軟骨組織における輝度値分布に基づいて、解剖学的構造の解析を行う。さらに、膝関節領域の解剖学的な位置情報から半自動抽出を目指し、膝半月板の計算解剖モデルを構築するために、MR 画像から膝半月板自動認識とその CAD システムへの応用による診断支援を目指す。

2. 膝領域の臨床 MR 画像と解剖学的構造

膝領域の MR 画像例を図 1 に示す。膝の半月板の組織は軟骨のためレントゲンや CT での撮像は不向きであり、診断には 3 次元の MR 画像を用いて 2 次元平面上で確認し、臨床医によって読影が行われる。また、この画像から膝軟骨組織、その他の領域の解剖学構造が確認され、同時に膝軟骨組織は、他領域と比較すると輝度値が低いことが確認できる。本研究では、PDW VISTA TRA の条件で撮像された MR 画像 (ボクセルサイズ: 0.4688 × 0.4688 × 0.35, 正常 20 症例) を用いた。

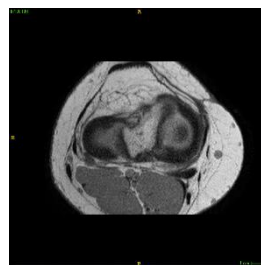
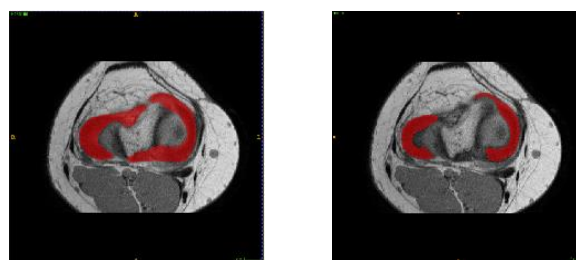


図 1：膝領域における臨床 MR 画像例

3. 輝度値分布による軟骨組織の構造解析

MR 画像内の膝軟骨組織と半月板領域について、ITK-snap を利用し臨床医の指導のもと、手動抽出より学習データを生成する (図 2: 赤部分)。正常 22 症例の半月板の輝度値分布を図 3 に示す。この結果から半月板の輝度値分布は任意の分布で存在していることが確認でき、輝度値分布に基づき、膝軟骨領域の情報取得が可能であると示唆された。

任意の症例について、膝軟骨全体、半月板、十字靭帯の分布を図 4 に示す。半月板領域と十字靭帯領域の輝度値において、各平均値に差分を確認し、かつその輝度値分布の分散の違いを確認し、輝度値情報による特徴抽出の可能性が示唆された。



(a) 膝軟骨領域

(b) 半月板領域

図 2：MR 画像からの対象領域手動抽出

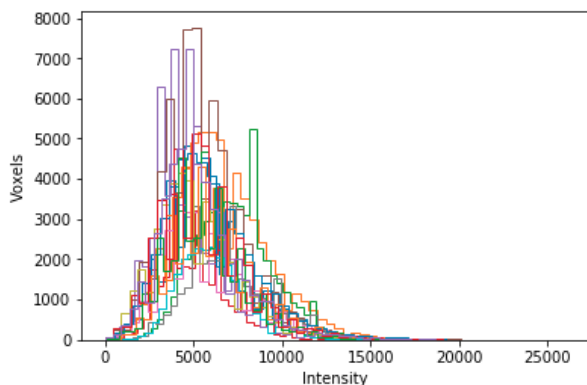


図3:正常 22 症例の膝軟骨領域輝度値分布

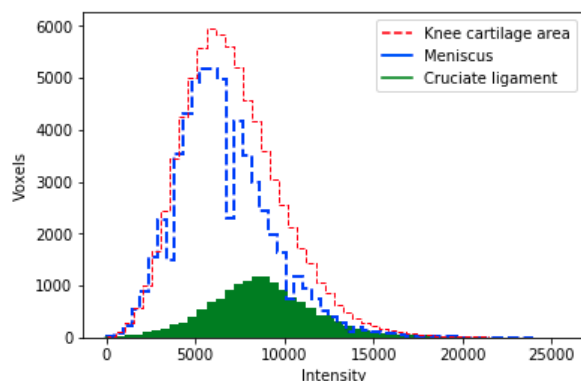


図4:任意の正常症例における膝軟骨領域 (赤) 半月板領域 (青), 靭帯領域 (緑) の分布

4. 最尤推定法

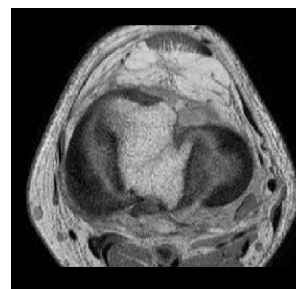
先述の結果より, 最尤推定法に基づき, 学習症例とは別のテスト症例を用いて, 膝半月板の自動抽出を行う. 最尤推定手法の式を図(1)に示す.

$$L(m, S^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi S^2}} \exp\left(-\frac{(x_k - m)^2}{2S^2}\right) \quad (1)$$

μ : 学習データ内における軟骨領域の平均
 σ^2 : 学習データ内における軟骨領域の分散

ここで, x_k は, 対象となるテスト症例の輝度値情報である.

図5に, 最尤推定法に基づく, 半月板領域の自動抽出結果を示す. 膝軟骨領域に類似した輝度値情報を持つ領域はある程度の抽出ができた. しかし, 他領域も抽出されていることも同時に確認できる. 膝領域には, 軟骨領域以外にも水分を含む領域が存在しており, 類似した値の分布であったことが示唆された. この結果, 半月板領域の抽出のためには, 空間的な位置情報, 形状情報などの導入が重要であり, 本研究の今後の課題である. また, 半月板領域と靭帯領域も同時に抽出されている. 今回, 輝度値の学習が22症例であり, 学習データそのものが非常に少ないため, バリエーションが発生した結果と考察される. 今後, 学習データの増加も本研究の課題である.



(a)



(b)



(c)

図5, 最尤法に基づく半月板の自動抽出

(a)テストデータ,

(b)半月板の輝度値情報からの自動抽出

(c)膝軟骨領域の輝度値情報からの自動抽出

5. まとめ

本研究では, 輝度値分布による軟骨組織の構造解析を行った. それぞれの結果より, 膝軟骨全体領域, 半月板領域, 十字靭帯領域を視覚化することができ, 輝度値からの膝軟骨の観測は可能であることが確認できた. しかし, 画像内において半月板領域と靭帯領域の輝度値はきわめて類似している. そのため, 輝度値以外に空間的特徴である, 形状, 位置を用いて, より高い精度の抽出を目指す.

6. 謝辞

本研究遂行において, データ提供・議論提供を頂いた, 霞クリニックの北村 直幸氏に謝意を示す. 本研究は文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C) (課題番号:18K11454), 広島工業大学知的情報可視化研究センターの支援のもと, 研究を遂行している

7. 参考文献

[1] 前元, 健山他: 輝度値ヒストグラムによる膝軟骨構造の解析と医用画像診断支援への応用, 第23回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会講演論文集PP39-40, 2018