

## 論文内容の要旨

博士論文題目

Recovery of patient-specific anatomy and kinematics of  
musculoskeletal structures from medical images  
(医用画像からの患者個別の筋骨格の解剖および動態の復元)

氏名 日朝 祐太

(論文内容の要旨)

患者固有の解剖および動態は、術前計画、リハビリテーション、生体力学シミュレーションなどにとって重要である。本論文の目的は、マルチモーダルな臨床画像から患者固有の筋骨格の解剖および動態の復元の自動化である。本研究では、この目的を達成するために必要となる以下の3つの研究課題に取り組んだ。

1. 筋骨格解剖の自動復元：従来の階層的マルチアトラス法に基づくCT画像からの自動領域抽出手法は高い精度を達成しているが、長い計算時間が欠点であった。本論文では、畳み込みニューラルネットワークを用いたCT画像からの自動領域抽出を提案し、精度と計算時間の有意な改善を示した。次に、ラベル付き学習データセットの大きさを効果的に増加させるために、ベイジアンアプローチを用いた能動学習手法を提案した。

2. 筋骨格動態の自動復元：従来のX線動画像を用いた肋骨運動の解析は、呼吸機能を評価するのに有用であることが示されてきたが、2次元での解析に限られていた。本論文では、X線動画像と単一時相のCT画像との2D-3D位置合わせを用いて、3次元での肋骨運動を復元する手法を提案した。また、提案手法では、i) 探索空間を制約するための一軸関節に基づく肋骨運動モデルとii) 自動化を容易にするためのX線動画像に対する局所コントラスト正規化(LCN)を導入した。特に、LCNがコスト空間を変化させ、局所最適解への収束による失敗を回避させることを示している。

3. 異なるモダリティからの自動復元：モダリティに依存しない復元手法を実現するためにCycleGANを用いた画像変換手法を提案した。本研究では、MR画像からCT画像の変換を対象として、筋骨格構造の境界における画像変換精度を

(論文審査結果の要旨)

平成 30 年 12 月 26 日に公聴会を開催し、その結果を踏まえ平成 31 年 2 月 15 日に本博士論文の最終審査を実施した。

本論文では、マルチモーダルな臨床画像からの患者個別の全身の詳細な解剖と動態の復元の自動化を目的とし、目的の達成に必要となる、1) 筋骨格の解剖の自動復元、2) 筋骨格の動態の自動復元、3) 異なるモダリティからの自動復元という 3 つの研究課題に取り組んでいる。本論文での貢献は、以下のように要約される。

1. 筋骨格解剖復元のため、畳み込みニューラルネットワークを用いて、下肢 CT 画像からの 19 種類の筋肉領域および骨盤・大腿骨領域の抽出手法を提案している。ラベル付き 20 例の臨床 CT 画像、および、一般公開されている癌画像アーカイブの 18 例の CT 画像による定量評価を行っている。領域抽出精度の評価に加えて、不確実性の妥当性の分析、および、効率的に学習データセットを増やす能動学習への応用可能性が調査されている。
2. 胸部 2D-X 線動画像と静止 3D-CT 画像を位置合わせすることで、3D の肋骨動態復元を行っている。その際、2D-3D 位置合わせ手法の精度を維持しながら頑健性を改善するために、解剖学的知識によって拘束された肋骨の一軸関節性運動モデル、および、X 線動画像に対する局所コントラスト正規化 (LCN) の導入を提案している。特に、LCN がコスト空間を変化させ、局所最適解への収束による失敗を回避させることを示している。
3. MR 画像を CT 画像に画像変換し、既存の CT 画像からの解剖復元の手法を MR 画像に適用できるよう拡張している。画像変換の前後で形状に関する制約を追加し、CycleGAN (対応なしの学習データでも画像変換が可能な手法) の性能を向上させている。規模の大きいデータセット (MR 画像 302 例, CT 画像 613 例) を用いて、学習データの数が与える影響を調査している。

これらの内容は、医用画像処理分野において、学術面での貢献が認められ、本論文の主要な部分は、学術論文誌および査読付き国際学会で公表されている。よって、本論文は、博士 (工学) の学位論文として価値のあるものと認める。