

# 論文内容の要旨

申請者氏名 GU YI

Image synthesis is one of the important fields in computer vision. Recent studies have focused on visual image synthesis that tries to create visually realistic images (e.g., generating X-ray images from a random vector); however, the potential for clinical applications to solve real-world problems is still limited. On the other hand, quantitative image synthesis aims to integrate metrics (e.g., tissue density and blood flow) into image synthesis from which clinical parameters can be inferred.

This work focused on developing quantitative image synthesis algorithms to achieve fine-grained musculoskeletal analysis using an X-ray image, which is a ubiquitous medical modality. Our methods achieved accurate estimations of bone mineral density (BMD), muscle mass and volume, and 3D bone shape. We first explored the X-ray image decomposition to reveal anatomical structures from an X-ray image, where we applied gradient-correlation loss to constrain the structural consistency between the X-ray image and synthesized anatomical object images. We further proposed synthesizing mass and volume distribution maps from an X-ray image to quantify muscle mass and volume with proposed intensity-summation loss. Synthesizing the BMD distribution map allowed us to obtain clinical BMD values from an X-ray image using limited training datasets. Our experiment results showed that high image resolution with appropriate pretraining could further boost the accuracy of quantitative image synthesis. To efficiently model 3D bone shape from a 2D X-ray image, we proposed dual-depth estimation, where the quantitative depth maps of front and back faces were obtained from an X-ray image and used to reconstruct bone shape in 3D with high accuracy. These achievements by our methods suggested a high clinical potential for large-scale screening of musculoskeletal diseases.

# 論文審査結果の要旨

申請者氏名 GU YI

本論文では、小規模の医療施設でも利用可能な医療モダリティであるX線画像を用いて、きめ細かな筋骨格系分析を実現する定量的画像合成アルゴリズムの開発に焦点を当てている。その結果、骨密度(BMD)、筋肉量と体積、3次元骨形状を正確に推定することに成功した。まず、X線画像から解剖学的構造を明らかにするために、X線画像の分解を検討し、勾配相関損失を適用して、X線画像と合成された解剖学的対象画像との構造的整合性を両立させた。さらに、筋量と体積を定量化するために、X線画像から筋量と体積分布マップを合成することを提案し、強度と損失を提案した。BMD分布マップを合成することで、限られたトレーニングデータセットを用いてX線画像から臨床的に定義されるBMD値を得ることができた。実験の結果、高い画像解像度と適切な事前学習により、定量的画像合成の精度がさらに向上することが示された。また、2次元のX線画像から3次元の骨形状を効率的にモデル化するために、X線画像から前面・後面の定量的な深度マップを取得し、それを用いて高精度に3次元の骨形状を再構成する二重深度推定を提案した。本手法によるこれらの成果は、運動器疾患の大規模スクリーニングにおける臨床的可能性の高さを示唆するものであった。以上のように、本学位論文で得られた研究成果は、AI研究として、定量的な画像生成AIの新しい可能性を示唆し、さらに、医用画像工学研究として、医療の質向上に広く寄与するものである。よって、本論文は、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。