

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Urinary Stones Segmentation by Cascaded U-Net Pipeline and GAN-based Synthetic Stone Augmentation
著者(和文)	PREEDANANWongsakorn
Author(English)	Wongsakorn Preedanana
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12494号, 授与年月日:2023年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:熊澤 逸夫,奥村 学,鈴木 賢治,渡辺 義浩,篠崎 隆宏
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12494号, Conferred date:2023/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Wongsakorn Preedanana		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	熊澤 逸夫	教授	審査員	篠崎 隆宏	准教授
	審査員	奥村 学	教授			
		鈴木 賢治	教授			
渡辺 義浩		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は“Urinary Stones Segmentation by Cascaded U-Net Pipeline and GAN-based Synthetic Stone Augmentation (カスケード接続された U-net パイプラインと GAN で合成した訓練用結石画像に基づく尿路結石画像のセグメンテーション)”と題し、英文 5 章よりなっている。

第 1 章 “Introduction (序論)” では、尿路結石の診断で利用されている CT、超音波、単純 X 線撮影 (KUB radiography) 等の医療画像診断の現状を紹介し、問題点を示している。これらの医療画像診断の中で、旧来より使われている単純 X 線撮影は、低コストで被ばく量の少ない利点があり、現在でも最も一般的な診断手法になっているが、結石検出精度が低いことが問題であった。骨や膀胱の空気が重なると視認性が大きく低下し、定量的情報に欠け、特に尿路や膀胱の部位では結石のセグメンテーションやアノテーションが困難であった。こうした欠点を補うために Computer-aided diagnosis (CAD) が重要であるが、AI 技術を利用するためには、陰性データと陽性データの数のアンバランスや様々な大きさや形状の結石のアノテーションデータの不足に対応する必要があることを述べている。

第 2 章 “Background and Related Works (背景と関連研究)” では、本論文の背景と関連研究を紹介している。尿路結石の患者数が世界人口の 1.2% に及ぶこと、他の様々な疾患の原因となり得ることを述べ、低コストで被ばく量の少ない診断方法の必要性を示している。世界中でこのように多くの患者に適用するには CT はコストが高く、保有している病院数も少なく受診機会が限られてしまう。また MRI-CT に比べると X 線-CT はコストが低く、相対的には普及しているが、単純 X 線撮影に比べて被ばく量が多いことが問題となる。こうした問題に対して、単純 X 線撮影の精度を CAD で高める本研究のアプローチには大きな利点があることを示している。そして CAD の技術として Deep Learning を利用している既存研究を紹介し、Deep Learning の訓練用のアノテーション付き症例画像の少なさや正常画像との数のアンバランスが精度を向上する上で大きな障害になっていること、データ数を増やすために、数値的なモデルが使われたり、GAN ベースの画像生成技術、正常画像に病変部を挿入する手法などが使われたりすることを述べている。さらに小さな結石のセグメンテーション精度を向上するために、多段階のパイプラインを用いるアプローチが有望であることを示している。

第 3 章 “Methodology (提案手法)” では、本研究で新たに提案した 2 段階の U-net モデルを用いるパイプラインによる結石セグメンテーション手法を紹介している。またアノテーション付きの訓練データの不足に対処するため、正常画像のサンプルが十分多数あることに着目して新たに提案した GAN ベースの症例画像サンプル生成手法について説明している。提案手法では、GAN で合成した結石画像を結石マスキングした領域に充填して訓練用陽性画像を合成している。本手法の特徴は、実画像に合成結石画像を組み合わせている点にあり、多様な訓練用データを生成することに成功し、それをパイプラインの 2 段階目の U-net の学習に適用している。さらに結石サイズがアンバランスであることに対応するため、ロス関数を修正してリバランスに成功している。また膀胱内結石を識別するモデルによる事後処理を導入し、2 段階目 U-net の擬陽性セグメンテーションを排除することに成功している。

第 4 章 “Results and Discussion (結果と議論)” では、以上に述べた提案手法を 5 folds のクロスバリデーションで評価している。結石を含む陽性サンプル画像総数は 1156 枚となった。そのうち 64% を訓練、16% をバリデーション、そして 20% をテストに使用した。F2 スコアでセグメンテーション精度を実験的に評価したところ、提案手法はベースラインに対して、ピクセルワイズで 2.88% (68.40% から 71.28% へ)、リージョンワイズで 7.63% (62.19% から 69.82% へ) 改善することに成功した。大きな結石に対しては、提案手法もベースラインもセグメンテーション精度に大差はなく、精度はいずれも高かったが、小さな結石や他の臓器や骨の近くの曖昧な結石に対しては、提案手法の精度がベースラインを上回った。

第 5 章 “Conclusion (結論)” では、本論文で得られた成果を総括している。独自に提案した 2 段階

イプラインの U-net と GAN ベースの陽性データ合成手法、そしてデータのアンバランスに対処するための重み付けによって、特に小さな結石のセグメンテーション精度を大きく改善することに成功し、2 段パイプラインの最初の段で尿路に関わる臓器のマッピングを作成し、2 段目でマッピングに基づき分割した領域毎に最適化した U-net モデルでセグメンテーションしている工夫には、特に高い新規性が認められる。こうした成果は、工学上並びに工業上貢献するところが大きく、我々は本論文が博士(工学)の学位論文として十分価値のあるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。