

U-Net による小児心臓 CT を用いた全心臓領域分割

吉田皓文¹⁾²⁾、李鎔範²⁾、吉村宣彦³⁾、金沢勉⁴⁾、長谷川晃¹⁾、簾内彩瑛⁴⁾

- 1) 新潟医療福祉大学 診療放射線学科
- 2) 新潟大学大学院 保健学研究科
- 3) 新潟大学大学院 医歯学総合研究科 放射線医学分野
- 4) 新潟大学医歯学総合病院 診療支援部 放射線部門

【背景・目的】 先天性心疾患の多くを占める心臓奇形のうち複雑心奇形例は、奇形の種類の多さや奇形の組み合わせによって非常に多様な病態となる。救命のための緊急手術の際には、術前にその複雑な心血管の立体的構造を迅速かつ正確に把握する必要がある。心臓奇形の術前における画像診断において用いられる造影コンピュータ断層撮影 (CT) は、数十から数百枚の画像から立体構造を認識しなくてはならず、短時間化が課題である。そこで我々は深層学習による画像認識に着目した。深層学習を小児循環器の領域分割に応用した報告は見あたらない。本研究では、深層学習モデルとして U-Net を用い、小児心臓 CT 画像から高精度に全心臓領域を抽出できるかを明らかにすることを目的とした。

【方法】 新潟大学医歯学総合病院において 2013 年から 2018 年までの期間に胸部造影 CT 検査を受けた 15 歳未満の例のうち、心臓に形態的異常が指摘されなかった 20 例 (年齢: 0 - 13 歳、平均 5.3 歳) の胸部造影 CT 画像約 7,000 枚を収集した。20 例のうち 10 例は心電図同期法によらない高ピッチヘリカルスキャンにより取得され、残り 10 例は心電図同期法を用いて撮像された。心電図同期撮像の場合、PACS 上に保存された拡張期および収縮期の画像データを収集した。ウィンドウ条件は WL/WW = 50/400 HU とした。心房、心室、大血管 (上大静脈、肺動脈、上行大動脈) および心筋などの軟部組織を含む心臓領域を、画像処理ワークステーション (ZioStation2、ザイオソフト社) を用いて手動で抽出し、教師画像とした。教師画像及び原画像を、DICOM 形式 (512×512 マトリクス) から PNG 形式 (256×256 マトリクス) に変換し、U-Net に入力した。U-Net のモデル構築では最適化アルゴリズムとして Adam (Adaptive moment estimation) を用いた。バッチサイズは 8、エポック数は 50 とした。U-Net は Python コードにより TensorFlow および Keras を用いて実装し、GPU (NVIDIA GeForce RTX 2060SUPER, VRAM: 8 GB) により処理を行った。U-Net により出力された推定画像から、leave-one-out 交差検証法により教師画像との Dice 係数を求め、領域分割の精度を評価した。

用いた 20 例を、4 つの年齢カテゴリに分け、それぞれ

のカテゴリにおける平均 Dice 係数を求めた。年齢カテゴリは National diagnostic reference levels in Japan (2020) を参考に、< 1 歳、1 - < 5 歳、5 - < 10 歳、10 - < 15 歳とした。年齢カテゴリごとの Dice 係数に対し分散分析 (ANOVA) による検定を行った。Dice 係数の算出、統計検定に MATLAB R2020a (Math Works 社) を用いた。

なお、本研究は新潟医療福祉大学倫理委員会および診療情報提供期間である新潟大学倫理審査委員会の承認を受けた。関連する利益相反はない。

【結果】 交差検証による平均 Dice 係数は約 0.94 であった。Ground truth となる教師画像と出力画像は定性的にも良好な一致を示した。

各年齢カテゴリにおける平均 Dice 係数を表 1 に示す。各カテゴリにおいて良好な Dice 係数が得られ、ANOVA によりどのカテゴリ間においても有意な差はみられなかった ($F = 2.57, P > 0.09$)。

表 1 年齢カテゴリごとの平均 Dice 係数

age category	Dice coefficient
0 - <1 y	0.952
1 - <5 y	0.948
5 - <10 y	0.960
10 - <15 y	0.875

【考察】 本研究では新生児期から学童期までの広い年齢範囲の心臓 CT 画像を用いて深層学習による心臓領域の分割を行った。小児の心臓形態は年齢によってサイズや形状が異なると考えられるが、各年齢カテゴリにおける平均 Dice 係数の間に有意な差は認められず、年齢による精度差はみられなかった。10 - < 15 歳のカテゴリでは平均 Dice 係数が比較的低い値を示したが、このカテゴリにおける 1 例が Dice 係数: 約 0.700 を示したためである。この 1 例を除くと、10 - < 15 歳のカテゴリの平均 Dice 係数は 0.933 となり、全例における leave-one-out 交差検証法による平均 Dice 係数は約 0.952 であった。20 例中 12 例は 95% 以上の画像一致精度となり、心臓の全領域を高精度に自動認識することが可能であった。

【結論】 深層学習モデル U-Net を用い、小児心臓 CT 画像から全心臓領域分割を行った。高精度な領域分割が可能であり、U-Net は小児循環器領域の領域分割において有用な手法である可能性が示唆された。

【謝辞】 本研究は新潟医療福祉大学・学長裁量研究費の助成を受けた。