

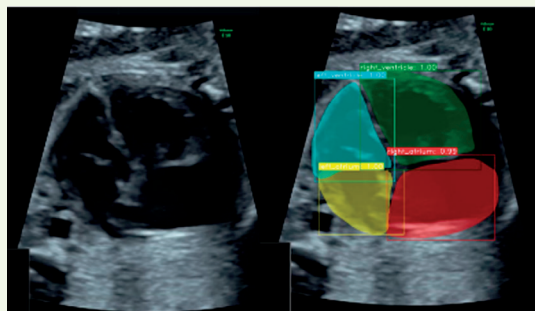
AI技術を用いた胎児不整脈診断支援システムの開発

超音波 B モード法で得られた胎児心臓四腔断面の画像を対象として、AI 技術と周波数解析を組み合わせた胎児不整脈の診断技術を開発中である。経験の浅い医師や看護師の診断を支援することが目的で、臨床研究として、国立循環器病研究センター産婦人科部門との共同研究を行っている。

本稿では、左右房室領域の面積抽出や、不整脈の検出および種別判定を行い、得られた判定結果の評価について述べる。

キーワード

胎児不整脈, 画像セグメンテーション, 周波数解析



■ 目的

胎児不整脈は胎児全体の1～5%で発生し、日常的な診療でもしばしば遭遇する疾患である。不整脈の診断には、小児や成人であれば、通常、心筋細胞の電位を記録する心電計が用いられるが、胎児の場合は母体の心電と重なるため読み取ることが難しい。そこで、医師はリアルタイムで心臓の動きを表示できる超音波Bモード法（反射波の強度を輝度値とした2次元画像）による映像から、心臓弁や心房、心室の動きを観察して胎児の不整脈を診断している¹⁾。しかしこの方法は、経験の浅い医師や看護師には困難であるため、診断を支援するシステムが求められている。

そこで当社では、国立循環器病研究センターとの共同研究として、超音波Bモード法で得られた胎児心臓四腔断面画像から、AI技術を用いて心臓の動きを解析し、更に周波数解析を組み合わせることで、不整脈の検出および頻脈、徐脈、期外収縮といった不整脈の種別を判定するシステムを開発している。なお本研究は、臨床研究の位置付けで、国立循環器病研究センター研究倫理審査委員会の承認を得て推進している。

■ 胎児不整脈の診断技術

医師による胎児不整脈の診断では、心臓壁運動および血流の特定箇所の動きの反復を評価している。本開発でも同様に、胎児超音波検査の動画を構成する1枚の静止画（フレーム）に着目して、心臓の状態を示す情報を数値化し、その時間変化を分析するものとした。

本システムの概略処理フローを図1に示す。はじめに、胎児心臓四腔断面の超音波動画を入力し、各フレームにおいてAI技術を用いて左右の心房および心室の領域を抽出する。次に、抽出した房室の画素数をその部位の面積として数値化する。対象動画における全てのフレームで左右房室領域の面積が得られれば、心臓の反復動作を表す時系列データを取得することができる。その時系列データにFFT（Fast Fourier Transform）解析を施し、得られたピーク周波数に基づいて不整脈の検

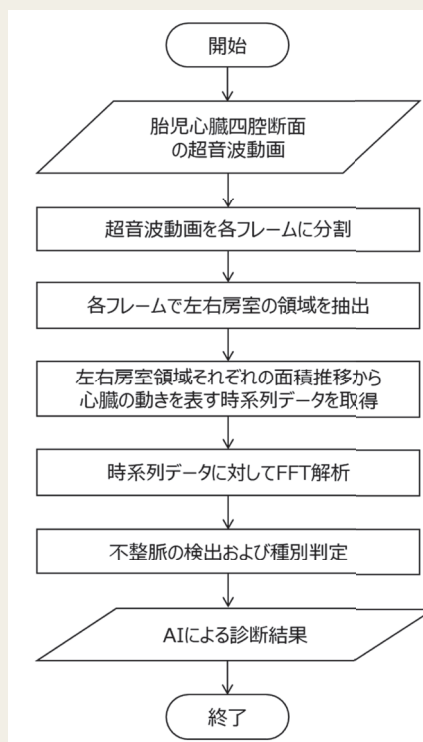


図1 概略処理フロー

出および種別判定を行うアルゴリズムを開発した。主要な処理については以降で詳しく説明する。

(1) 左右房室領域の抽出方法

房室領域の面積をピクセル単位で正確に推定するために、インスタンス・セグメンテーションと呼ばれるAI技術を用いた。本開発では、2023年に提案されたOneFormer²⁾と呼ばれる手法を採用した。OneFormerを学習させるためには教師データが必要となる。そこで本開発では、国立循環器病研究センターから提供を受けた胎児心臓四腔断面画像に対して、左右の心房および心室に該当する場所に色付けすることで教師データを作成した。各動画から作成される教師データの例を図2に示す。それぞれ、右心房が赤色、左心房が黄色、右心室が緑色、左心室が水色となっている。2023年度までに作成した教師データ数は、178症例の動画から59,557枚となった。作成した教師データは、国立

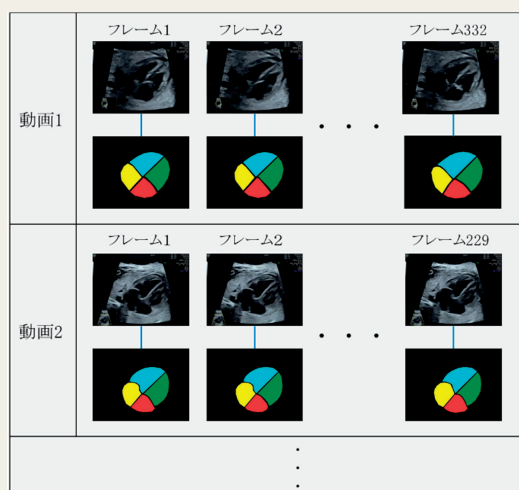


図2 各動画から作成する教師データの例

循環器病研究センターの医師によって、房室の領域を的確に捉えられていることを確認済みである。

(2) FFT解析を用いた不整脈の検出および種別判定

例として、房室面積の時系列データに対してFFT解析を行った結果を図3に示す。図3では、上図に房室面積の時系列データ、下4枚の図に各房室領域のFFT解析結果を示している。この例では、右心房、左心房、右心室、左心室の4領域全てにおいて約130 bpmの第1ピーク周波数が得られている。医師は、心拍数が100～170 bpmであれば正常と判断するので、本システムでも図3のデータは正常という判定結果が得られるようにする。この様にすれば、正常、頻脈、徐脈の大分類は可能である。更に、元の時系列データとFFT解析の結果を詳しく分析することで、期外収縮のように突発的な不整脈の検出や、心房粗動、上室性頻脈といった不整脈の小分類にも取り組んでいる。

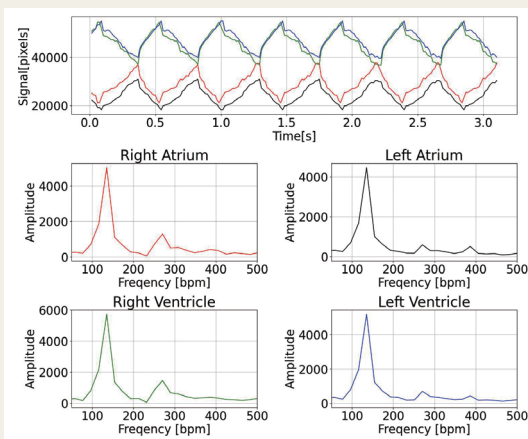


図3 左右の心房・心室面積推移のFFT解析例

■ 開発技術の精度評価

教師データの全178症例59,557枚の画像のうち、107症例30,552枚をOneFormerに学習させ、残りの71症例で不整脈判定アルゴリズムの精度を評価した。不整脈の種別判定テストの正解率を表1に示す。種別判定

の正解率は、大分類と小分類に分けてそれぞれ算出した。正常な症例に対しては比較的高い精度で判定されたが、心房粗動、洞性徐脈および上室性頻脈のような小分類の精度は低い結果となった。本システムは、あくまで診断の支援やスクリーニングが目的であり、最終的な確定診断は医師が行うとはいえ、正解率は90%以上が望ましいと考えている。表1の結果を改善するために、学習データの増加による房室領域の抽出精度の向上や、高度な時系列解析手法の導入、および心臓の動きの特徴を活かした判定手法の開発を行う予定である。

表1 不整脈判定テストの正解率

テストデータ			AIによる診断結果	
大分類	小分類	症例数	大分類	小分類
標準系（正常）			84.2%	
頻脈	心房粗動	6	68.2%	50.0%
	上室性頻脈	16		75.0%
徐脈	完全房室ブロック	14	88.2%	92.9%
	洞性徐脈	3		0%
期外収縮	上室性頻脈	9	92.3%	55.6%
	心室性頻脈	4		75.0%

■ おわりに

本報では、超音波Bモード法で得られた胎児心臓四腔断面の画像を対象として、AI技術と周波数解析を組み合わせた胎児不整脈の診断技術について紹介した。正常、徐脈、期外収縮などの大分類においては80%以上の正解率と比較的高い精度を示したが、小分類における特定の症例に対する精度向上などに課題が残っている。今後、房室領域の抽出精度の向上や、新たな解析手法の導入に取り組むことで、より汎用的で確度の高い胎児不整脈の診断支援システムの実現を目指していきたい。

参考文献

- 1) 新津守, 磯辺智範, MR・超音波・眼底 基礎知識図解ノート 第2版補訂版, 金原出版株式会社, 2018.
- 2) Jitesh Jai, Jiachen Li, Mang Tik Chiu, Ali Hassani, Nikita Orlov, Humphrey Shi, Oneformer: One Transformer to Rule Universal Image Segmentation, In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2023 : 2989-2998.

【問い合わせ先】

カナデビア株式会社 開発本部
技術研究所 知能機械研究センター 制御グループ
E-mail : hitzgiho001@kanadevia.com