

超音波動画の自動解析による乳児股関節脱臼検診システムの開発

清水 智弘 [北海道大学病院／講師]
堀 米 俊弘 [合同会社GomesCompany／代表社員]
山田 勝久 [北海道大学病院／講師]
児矢野 英典 [北海道大学大学院医学研究院／技術職員]

背景・目的

形性股関節症は関節軟骨の変性・摩耗により関節が変形し、骨棘形成などを伴う疾患である。国内の有病率は1.0～15.7%で、寛骨臼形成不全(DDH)による二次性股関節症が7～8割を占める。DDHは乳児健診でスクリーニング可能だが、診断遅延が社会的課題となっている。ヨーロッパでは超音波検査を一次健診に導入する動きがあるが、検者間の測定誤差が課題となる。申請者はAIを活用した自動解析システムを開発・特許出願したが、精度や処理速度に課題が残る。そこで、動画解析による自動診断システムを構築し、精度向上と実用化を目指す。

内容・方法

従来の超音波診断では、適切な画像を抽出し臨床医が診断を行うが、既存の自動解析システムは全工程を網羅していない。本研究では、骨組織特徴量を検出し補助線を作成した上で診断対象画像のスクリーニングを行い、自動診断を実施することで、超音波検査の画像信頼性向上に寄与する。先行研究では静止画解析まで確立されたが、本研究では動画解析を可能にすることを目指している。

具体的には、深層学習モデル(YOLO v3)を用いて骨性白蓋線を検出し、画像処理により腸骨外壁を直線近似することで、 α 角の自動算出を行う。これを応用し、超音波検査の

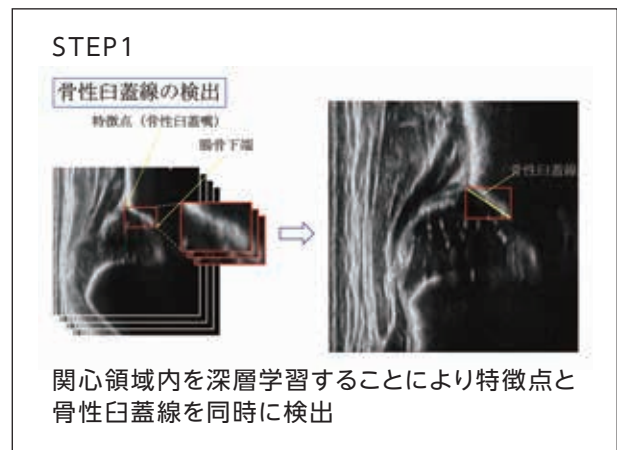
動画から適切な画像を抽出し、白蓋角を自動測定するプログラムを開発し、整形外科専門医とともに診断能や測定精度を評価する。また、非専門医やコメディカルでも簡便に使用できる健診システムを目指し、ポータブルエコー機器での適用可能性も検証する。さらに、専攻医や一般小児科医を対象にWebアンケートを実施し、適正価格や使用環境の調査を行うことで、社会的ニーズを把握し、臨床応用に向けた開発を進める。

結果・成果

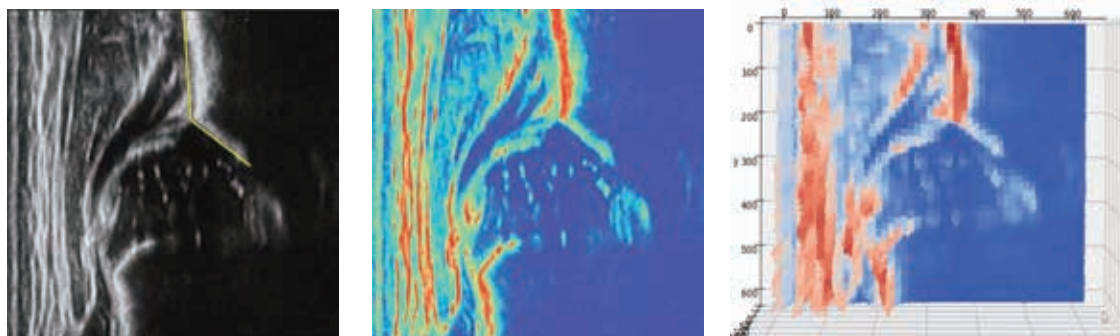
AIと画像処理アルゴリズムを改良し、リアルタイムで診断に必要な補助線をひきリアルタイムにDDH診断に適切な画像を自動抽出し、診断の補助を行うことのできるシステム開発を行った(特願2024-157479)。以下の詳細を記す。

STEP 1 骨性白蓋嘴と骨性白蓋線の検出

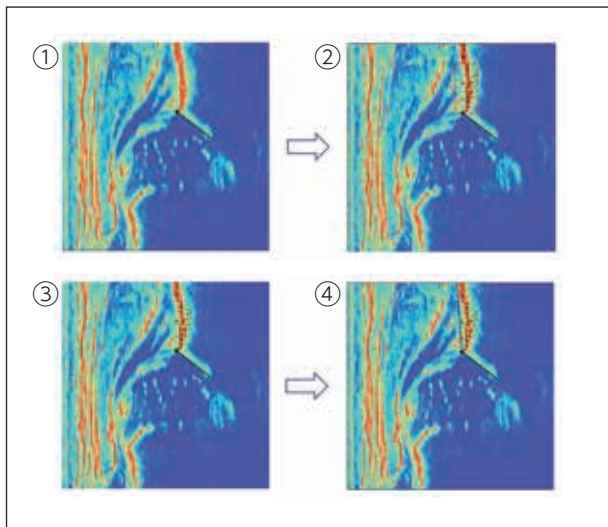
骨性白蓋嘴と骨性白蓋線の検出を深層学習モデル(Yolo v.3)のバウンディングボックスの推論により、特徴点(骨性白蓋嘴)と骨性白蓋線の座標を同時に取得する。このことにより画像処理時間が大幅に短縮し、リアルタイムの評価が可能となった。



STEP2 基線の検出



- ①局所的極大点を取得(黒点)
 - (1)各格子を隣接N格子のうち最大の値でフィルターして置き換える
 - (2)小さいピーク値を排除(最大ピーク値のorder倍以下のピークは排除)
- ②取得した極大点をスクリーニング(赤点線)
 - *スクリーニングの範囲を狭くすることにより、診断適切画像を取得する
- ③腸骨外壁に相当する直線を取得(黄点線)
 - スクリーニングした極大点を線形近似
- ④基線を取得(黒実線)
 - 腸骨外壁に並行で骨性白蓋嘴を通る直線



STEP3 動画上でリアルタイムに計測・診断補助(疾患有無の判定および検者への適切測定場所の誘導)ファントム(実習に用いる練習用の人形)を用いた精度検証では、基線となる腸骨外板の誤差はほぼ0°であり、測定角度誤差も少なく、疾患判定率も100%を得ることができた(下表)。動画におけるリアルタイムの評価が可能となり、超音波機器における「患者へ超音波を照射した位置・角度など位置情報を認識する機能がなく、整形外科領域では技能がないと扱うことが難しい」という課題をクリアすることが期待できる。

Webアンケートを用いて本システムのニーズを調査したところ、動画からの適正画像の抽出は60%、診断補助のニーズは80%に達し、全体で90%以上のユーザーが本システムのいずれかの機能に需要を感じていた。

今後の展望

本研究開発構想が達成された場合、これまで50%以下の導入率であった二次検診における超音波検査を簡便化・導入のハードルを下げる(導入率の上昇)ができる。また、不要なX線検査を大幅に減らすことができ、乳児期からの放射線被曝の低減につなげることができるとともに、早期からハイリスク児の超音波検査により、これまで日本小児整形外科学会によって明らかにされた重症型である股関節脱臼の診断遅延率15%を大幅に低減することが期待できる。加えて、早期から股関節形成不全を発見することにより、関節温存術を行うタイミングを逸さずに、加齢性かつ末期の状態になって行う人工股関節全置換術を回避することができる。

	静止画	本研究の仕様
学習に利用したデータセット	800症例	変更無し
基線検出	局所的極大点の取得からの基線検出	変更無し
骨性白蓋嘴と骨性白蓋線の検出	<ul style="list-style-type: none"> ・ 深層学習モデルで骨性白蓋嘴と腸骨下端の座標検出 ・ 2点の座標(骨性白蓋嘴と腸骨下端)から骨性白蓋線を直線近似 	バウンディングボックスからの骨性白蓋嘴と骨性白蓋線を同時検出
角度検出方法	基線と骨性白蓋線の角度	変更無し
角度検出までの処理時間またはステップ数		100~200msec削減 1ステップ削減
測定誤差	腸骨外板誤差 2.3° 寛骨白角度誤差 3.6° 疾患判定率 92.5% (37/40)	腸骨外板誤差 0.0° 寛骨白角度誤差 0.4° 疾患判定率 100% (40/40)
使用上のソフトウェア使い勝手	・リアルタイム検出は不可	・ほぼリアルタイム計測