

令和元年6月24日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K09012

研究課題名(和文) 乳児股関節の超音波画像診断支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of computer-aided diagnosis system for ultrasonic images of infant hip joint

研究代表者

李 鎔範 (Lee, Yongbum)

新潟大学・医歯学系・准教授

研究者番号：10334658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：深層学習を用いて超音波画像における乳児股関節状態(Graf法準拠)の自動判別手法を開発した。99症例に適用した結果、正診率は75.8%となった。また、深層学習を用いて乳児股関節の超音波検査における一連の動画画像から診断に利用できる至適断面像を自動認識する手法を開発した。12症例の乳児股関節の超音波動画画像(1526フレーム画像)にて適用した結果、認識精度は85%以上となり良好であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の深層学習の進歩は学術的にも社会的にも注目を集めており、様々な分野への応用が期待されている。本研究成果は、医用画像診断への深層学習の適用事例として学術的意義を有するものである。また、本研究成果は乳児股関節検診の質的診断支援に寄与するものであり、乳児健診時の股関節異常の発見率の向上に貢献できる可能性を示唆している。研究期間内に実施した研究が、先天性股関節脱臼などの乳児股関節異常の早期発見の一助になれば幸いである。

研究成果の概要(英文)：A deep learning based method was adopted for the automated classification of hip types corresponding to the Graf method that was defacto standard method for ultrasonographic assessment of infant hip dysplasia. The accuracy for 99 ultrasound images was 75.8%. A deep learning based method for recognition of adequate diagnostic images from ultrasound video clips of infant hip was also proposed. The proposed method was implemented to 12 ultrasound video clips of infant hip, and indicated high classification accuracies (> 85%).

研究分野：医用画像情報学

キーワード：乳児 股関節 超音波検査 Graf法 深層学習 コンピュータ支援診断

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

現在、乳児健診における股関節検診は、小児科医が視触診を行う検診方式を採用する自治体から整形外科医による視触診や超音波検査を行う方式を用いる自治体まで検診体勢に大きな格差がある。例えば、新潟市では、生後3~4ヶ月の乳幼児を対象に股関節検診を整形外科医が行っている（超音波検査は2,800円の費用負担有り）。平成11年から15年の検診では、受信者15,215名のうち、異常ありとされた者が717名であり、異常ありとされた者の約90%が臼蓋形成不全、0.02%が先天性股関節脱臼であった¹⁾。先天性股関節脱臼の発見率が低く感じられるが、その一方で、股関節障害による人工関節置換手術の原因の多くは先天性股関節脱臼である。つまり、このことは先天性股関節脱臼の乳児健診における見逃し例を否定できないことを顕著に表している。こうした「健診での見逃し」を裏付けるデータは、日本小児整形外科学会による大規模調査によっても示されている²⁾。したがって、今後、乳児健診における股関節検診の質を高める努力を継続的に行う必要があり、特に有用性が高まっている超音波検査における画像撮影・診断を支援・補助するための画像解析手法の開発が非常に重要になると考える。

乳児の股関節異常の早期発見には、開排などの視触診だけでなく超音波検査の有用性が提唱されており^{3,4)}、日本においても超音波検査による乳児股関節検診の普及が望まれている。乳児股関節の超音波検査ではGrafによって提案されている手法（以下、Graf法）⁵⁾が事実上の診断基準として広く用いられている。Graf法では、基準点（腸骨外壁、骨性臼蓋嘴、関節唇、腸骨下端）から3本の線（基線：軟骨膜と腸骨外壁とが接する点を通り腸骨外壁と平行な線、骨性臼蓋嘴：骨性臼蓋嘴と腸骨下端を結ぶ線、軟骨性臼蓋線：骨性臼蓋嘴と関節唇の中心を結ぶ線）を引き、それらが成す角度（ α 角、 β 角）によって（図1）、股関節の状態を判断する（表1）。一方、超音波検査は検査者の経験や熟練度に左右され主観的要素が診断に影響すると言われている。乳児股関節の超音波検査においても主要な指標である α 角と β 角の測定値のばらつきが指摘されており^{6,7)}、定量的な画像解析による診断支援が望まれている。また、乳児股関節の超音波検査での画像の撮影や評価には少なからずともトレーニングが必要であり、より精度の高い検査・診断を実現するためには、画像の撮影や評価をサポートするシステムが重要な役割を果たすと考えられる。

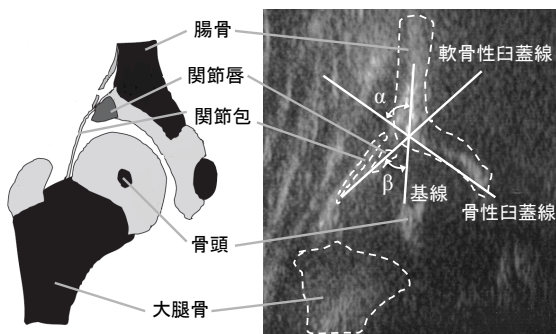


図1 乳児股関節超音波画像における α 角と β 角

表1 Graf法に基づく乳児股関節状態の分類表

Type	α 角	β 角
I: 正常股関節	$\geq 60^\circ$	$< 77^\circ$
IIa: 骨性臼蓋の骨化の遅延 (生後3ヶ月未満)	$50^\circ \sim 59^\circ$	$> 55^\circ$
IIb: 骨性臼蓋の骨化の遅延 (生後3ヶ月以後)	$50^\circ \sim 59^\circ$	$> 55^\circ$
IIc: 脱臼危険状態	$43^\circ \sim 49^\circ$	$< 77^\circ$
D: 骨頭が求心性を失った状態	$43^\circ \sim 49^\circ$	$> 77^\circ$
III: 脱臼	$< 43^\circ$	$> 77^\circ$
IV: 高位脱臼	$< 43^\circ$	$> 77^\circ$

2. 研究の目的

本研究では、将来的に生活の質を著しく低下させる可能性のある乳児股関節異常の早期発見および早期治療のために、乳児股関節検診で撮影される超音波画像を定量的にコンピュータで解析しその解析結果を診断の参考情報として活用する乳児股関節検診用コンピュータ支援診断（computer-aided diagnosis: CAD）システムの開発を目的とする。具体的には、以下の2つを目的とする。

- (1) 乳児股関節の超音波画像から股関節の状態を自動判別するシステムの開発
- (2) 診断に適した超音波断面像獲得するためのサポートシステムの開発

3. 研究の方法

- (1) 乳児股関節の超音波画像から股関節の状態を自動判別するシステムの開発

① 画像のテキストチャ特徴と機械学習の一手法であるサポートベクターマシン（support vector machine: SVM）を用いて、Graf法に準じた超音波検査における股関節状態の自動判別法を構築した。方法の概略を図2に示す。はじめに診断で利用される領域（関心領域）を設定し、その中のテキストチャ特徴（エントロピー、コントラスト、相関、角2次モーメント、逆差分モーメント）を算出した。識別器にはSVMを用いて、Type IとType IIa & Type IIbおよびType IIc & Type Dの3群に対して学習、分類を行った。

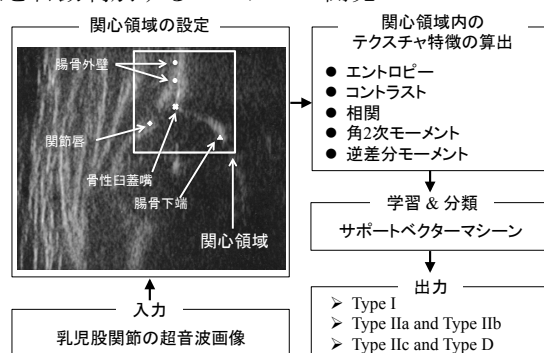


図2 テキスチャ特徴による股関節状態の判別フロー

② 深層学習（ディープラーニング）を用いて、Graf 法に準じた超音波検査における股関節状態の自動判別法を構築した。方法の概略を図 3 に示す。はじめに画像セグメンテーション用の深層学習モデル（U-Net）を利用して股関節状態の判別に重要と思われる領域を自動で抽出した（領域抽出画像）。次のこれらの画像を入力として、分類用の深層学習モデル（GoogLeNet）を構築した。そして、最終的には、学習済みの GoogLeNet に未知の領域抽出画像を入力すると Graf 法に準拠した股関節の状態（Type I または Type II 以降）を出力する一連の手法を開発した。

(2) 診断に適した超音波断面像獲得するためのサポートシステムの開発

深層学習を用いて、乳児股関節の超音波検査動画の中から診断に適した画像（Graf 法準拠）を自動判別する方法を構築した。方法の概略を図 4 に示す。検査動画をフレーム分割して、フレーム単位で適している（図 4 では“適”）か不適である（図 4 では“否”）かを教師データとして作成した。これらから深層学習モデル（GoogLeNet）を構築し、未知のフレームが入力された時、そのフレームが“適”か“否”であるかを出力する一連の手法を開発した。

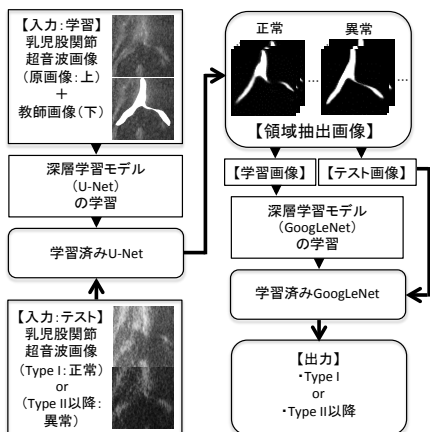


図3 深層学習による股関節状態の判別フロー

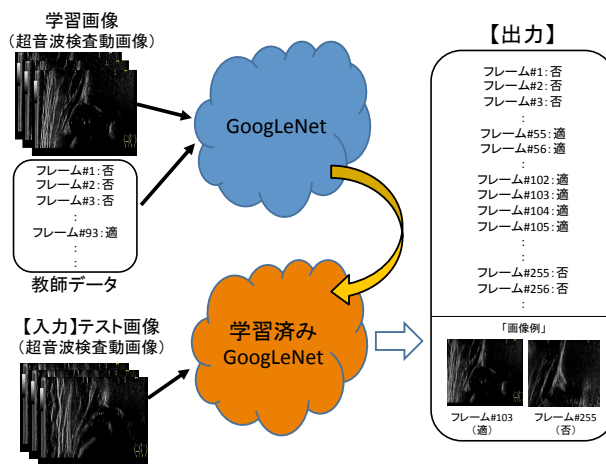


図4 深層学習による診断に適した超音波断面像の決定フロー

4. 研究成果

(1) 乳児股関節の超音波画像から股関節の状態を自動判別するシステムの開発

① テクスチャ特徴に基づく方法を超音波画像 49 症例（同一の超音波装置で収集した症例）に適用したときの自動判別精度を表 2 に示す。症例単位での判別精度は 79.6%であった。
 ② 乳児股関節検診で取得した超音波画像 99 症例（異なる超音波装置で収集した症例）を対象としたときの自動判別精度を表 3 に示す。99 症例に対して U-Net で 10 回領域抽出を行ったので画像総数は 990 枚である。画像単位では 73.1%、症例単位では 75.8%の精度が得られた。なお、異なる超音波装置で収集した今回の対象症例に対して①のテクスチャ特徴に基づく方法を適用すると、判別精度は 60%程度であった。これは取得される画像の質が装置間で大きく異なっていたからである。一方、深層学習による方法では判別精度が 75.8%に改善されており、装置間の画質の差をある程度吸収できていると言える。

表2 テクスチャ特徴による股関節状態の自動判別性能

入力	出力		
	Type I	Type IIa & Type IIb	Type IIc & Type D
Type I	8/15	7/15	0/15
Type IIa & Type IIb	0/31	31/31	0/31
Type IIc & Type D	0/3	3/3	0/3

正診率: 79.6% (39/49)

表3 深層学習による股関節状態の自動判別性能

画像単位	出力		入力	出力	
	Type I	Type II~		Type I	Type II~
Type I	226	194	Type I	24	18
Type II~	72	498	Type II~	6	51

正診率: 73.1% (724/990)

正診率: 75.8% (75/99)

(2) 診断に適した超音波断面像獲得するためのサポートシステムの開発

乳児股関節の超音波検査動画 12 本（計 1526 フレーム）を対象としたときの診断に適した断面であるか否かの自動判別性能を表 4 に示す。基準 1 は教師データを Graf 法準拠（診断に必要な構造が全て明確に確認できる）で作成した場合である。基準 2 は基準 1 を少し甘くした場合（診断に必要な構造が微かに確認できる）、基準 3 はさらに甘くした場合である（診断に必要な構造が一部写っていない）。いずれの基準でも自動判別率は 85%以上となった。

表4 診断に適した断面の自動判別性能

	Sensitivity ("適"の精度)	Specificity ("否"の精度)	Accuracy ("適""否"の精度)
基準1	53.9% (216 / 401)	97.4% (1096 / 1125)	86.0% (1312 / 1526)
基準2	71.7% (438 / 611)	97.7% (894 / 915)	87.3% (1332 / 1526)
基準3	76.1% (542 / 712)	93.4% (760 / 814)	85.3% (1302 / 1526)

<引用文献>

- 1) 新潟市の保健と福祉-保健編平成 16 年度-, 新潟市市民局保健福祉部, p.97, 2004.
- 2) 乳児股関節脱臼を見逃すな-診断遅れで治療難航--健診体制の再構築を-, 共同通信社, 2015.4.21 (<http://www.47news.jp/feature/medical/2015/04/post-1277.html>)
- 3) 乳児股関節検診における超音波検査の有用性, 皆川靖子, 日放技会誌, 61(6), 868-873, 2004.
- 4) 先天性股関節脱臼に対する超音波検査の利用, 森知里, 昭和医学会誌, 69(2), 131-142, 2009.
- 5) Graf R: Hip sonography: diagnosis and management of infant hip dysplasia, 2nd edition, Springer, Berlin, 2006.
- 6) Use of ultrasonography in developmental dysplasia of the hip, Omerogulu H, Journal of Children's Orthopaedics, 8(2), 105-113, 2014.
- 7) Potential for change in US diagnosis of hip dysplasia solely caused by changes in probe orientation: patterns of alpha-angle variation revealed by using three-dimensional US, Jaremko JL, Mabee M, Swami VG, et al., Radiology, 273(3), 870-878, 2014.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① 李鎔範, 乳児股関節の超音波画像診断支援システムの開発, 小児内科, 査読無し, vol. 51, no. 1, pp. 58-62, 2019.
- ② 李鎔範, 長谷川晃, 皆川靖子, 弦巻正樹, 伊賀敏朗, テクスチャ特徴を用いた超音波画像における乳児股関節の状態分類, 電子情報通信学会論文誌, 査読有り, vol. J101-D, no. 1, pp. 36-39, 2018.
- ③ 李鎔範, 大澤由瑛, 長谷川晃, 皆川靖子, 弦巻正樹, 伊賀敏朗, 深層学習を用いた超音波画像における乳児股関節形成不全の自動評価に関する予備的検討, 医用画像情報学会雑誌, 査読有り, vol. 34, no. 2, pp. 92-95, 2017.

〔学会発表〕(計5件)

- ① Automated recognition of suitable images on ultrasonographic diagnosis of infant hip using deep learning, (Naoto Fujita, Yongbum Lee, Akira Hasegawa, Yasuko Minagawa, Takashi Sekikawa, Toshiro Iga), The 75th Annual Meeting of the Japanese Society of Radiological Technology, Yokohama, 11-14 April, 2019.
- ② U-Net による領域抽出を用いた乳児股関節超音波画像の Graf 法に対応する分類, (古海奈名子, 李鎔範, 長谷川晃, 皆川靖子, 関川高志, 伊賀利朗), 医用画像情報学会平成 30 年度春季(第 183 回)大会, 京都, 1/26, 2019.
- ③ テクスチャ特徴に基づく乳児股関節超音波画像における Graf 法に対応する分類, (古海奈名子, 李鎔範, 長谷川晃, 皆川靖子, 伊賀敏朗), 医用画像情報学会平成 29 年度秋季(第 179 回)大会, 秋田, 10/7, 2017.
- ④ 超音波画像における乳児股関節形成不全の自動評価に関する基礎的検討, (李鎔範, 大澤由瑛, 長谷川晃, 皆川靖子, 弦巻正樹, 伊賀敏朗), 医用画像情報学会平成 28 年度春季(第 177 回)大会, 福岡, 1/28, 2017.
- ⑤ 発育成股関節形成不全の自動評価のための超音波画像解析法の基礎的検討, (李鎔範, 長谷川晃, 皆川靖子, 弦巻正樹, 伊賀敏朗), 電子情報通信学会医用画像研究会, 那覇, 1/18, 2017.

6. 研究組織

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 皆川 靖子

ローマ字氏名: (MINAGAWA, yasuko)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。