

令和 4 年 6 月 29 日現在

機関番号：13201

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20661

研究課題名（和文）AIを用いた外傷性出血部位自動検出システムの開発

研究課題名（英文）Development of an AI-based automatic traumatic bleeding regions detection system

研究代表者

吉村 裕一郎（Yoshimura, Yuichiro）

富山大学・学術研究部医学系・特命助教

研究者番号：90826471

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：救急医療現場における診断支援の為に、CT画像より『外傷性出血部位』を、画像診断技術により自動検出するシステムを作製した。緊急性の高い現場における医師の迅速な治療方針決定を支援し、見逃しによる治療機会の損失を防ぐことを目的とした。本研究では、画像処理技術を用いた2つの異なるアプローチによって、CT画像より出血部位を自動検出するアルゴリズムを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

外傷による死亡は、10万人あたりおよそ30人の割合で発生している。実際に死亡した外傷患者の内、修正予測外死亡数（防ぎ得た可能性の高い外傷死亡者数）は40%に迫る数値である。提案手法によって、救急医による造影CTを用いた読影診断を支援することにより、出血の見落としや読影時間を低減させ、外傷患者の処置に専念する時間を増やすことが可能となる。

研究成果の概要（英文）：We developed a system that automatically detects "traumatic bleeding regions" in CT images by using image processing techniques in order to support diagnosis in emergency medical care. The purpose of our system is to support physicians in making prompt treatment decisions in emergency situations, and to prevent the loss of healing opportunities. In this study, we proposed an algorithm to automatically detect bleeding regions in CT images by using two different approaches based on image processing techniques.

研究分野：医用画像処理

キーワード：画像処理

1. 研究開始当初の背景

画像診断機器の進歩により、迅速かつ正確な診断が求められる外傷診療の現場においても、MDCT (Multi-Detector row Computed Tomography) が用いられるようになった。MDCT は 1-2.5mm という細かなスライスで撮影され、詳細な読影が可能である一方で、救急医療の現場においては膨大なデータ量の有効活用が、時間的制約から制限される場合があり、初回の読影では多くの見逃しが発生していることが報告されている。

一方で AI 技術の発達に伴い、医師の診断を支援するシステムが再び着目されている。嘗ては医師より低い診断性能であり、CT のような大規模なデータを扱う場合、膨大な処理時間を必要とした。近年では、計算機性能の向上や AI 技術のコアである機械学習の発展により、現実的な処理時間で熟練の医師を超える性能を発揮する診断支援システムの開発が期待されている。

そこで本研究では読影時間が限られた救急医療の現場において、医師よりも早く損傷部位・活動性出血部位を検出し、治療戦略決定を行うための、CT 画像を用いた外傷性出血部位自動検出システムを作製することを目的とする。

2. 研究の目的

救急医療の現場において、迅速に患者の状態を把握する事は最も重要な課題の一つである。例えば交通事故死亡者の内、適切な処置により避けることができたと推定される外傷死の割合は 18.4%(2010-2014 年日本外傷データバンク)と高い。またこの内の半数は、診断の遅れや手術決定の遅れによる失血死と報告されている。出血源の特定のためには、体内の状態を詳細に観測する事が必須であり、現在多くの現場で CT を用いた損傷部位の同定と、損傷形態の評価が行われている。

CT 画像を用いた出血部位の検出では、造影剤を用いた動脈優位相と実質層相の 2 相撮影を行った後に、画像を比較することで血管外漏出を検出する。出血部位自体は非常に微細な領域の場合もあり、読影を短時間かつ高精度で実現するにはトレーニングを有し、それでも必ずしも 100%の性能には至らない。造影 2 相の比較での活動性出血の検出率は感度 66-90%、特異度 85-98%と報告されているが、初回の読影での見落としは 47%との報告もある。近年では、FACT (Focused Assessment with Ct for Trauma) と呼ばれる救急処置を要する損傷を迅速に読影するための戦略や、読影技術の指導についても JETEC (Japan Advanced Trauma Evaluation and Care) によって行われているが、人間の能力には限界がある以上、AI を用いた自動診断支援技術の開発は重要な課題である。

医療現場において診断と AI を組み合わせた研究は、1960 年代における第一次 AI ブームの頃より、ブームの度に盛んに行われている。しかし当時の技術や、計算機の性能的限界及び何より医療という現場において「人より機械を信用できるか」という倫理的課題により、その都度頓挫してきた歴史がある。このような状況下において、昨今 AI 技術の中核をなす『機械学習』と呼ばれる技術領域の中でも、『ディープラーニング(DL)』と呼ばれる技術が着目されている。中でも『畳み込みニューラルネットワーク(CNN)』と呼ばれる技術の性能や、CNN を容易に実装し得る各種ライブラリの発展を背景とした、DL を用いた診断支援のための研究が為されている。

DL と CT 画像を用いた研究では、癌の検出が広く着目されており、主に肺癌や胃癌の検出システムの報告が存在するが、外傷診療の画像読影に応用した例は非常に少ない。その理由として、CT 画像上における外傷出血部位の見え方が都度異なるという事が挙げられる。一般に、機械学習を CT 画像に適用した際に超えるべき課題として、人間一人一人の体格、臓器や血管の配置など、個人差を吸収するだけの患者数のデータを集める事。そして例えば胃癌であれば、胃に存在し得るあらゆる位置・サイズ・形状の腫瘍を含むデータを、大量に用意する必要がある。この際胃癌のように、検出対象の位置が胃の周囲とある程度決まっている場合であれば、数十例から数百例といった症例データによって、良好な性能を得ることが可能である。しかし本研究で対象とする出血部位のように、出現する位置・サイズ・形状が一切想定できず、かつ出血部位のように微細なノイズによる過抽出との分離が困難な場合は、DL の研究において、一般物体認識と呼ばれるタスクと同様に、少なくとも数千から数万以上の症例データが必要である。またこれらの全てのデータに、教師データを付与するためのアノテーションを行う必要があるが、正確な位置と形状を入力する事は熟練の読影医でも困難なタスクである。

そこで本研究ではこれらの課題を解決すべく、機械学習を用いた外傷性出血部位診断支援システムを開発する。本研究における学術的な問いとは、CT 画像の読影タスクにおいて、AI はどこまで医師の技術に迫ることができるかである。医師と同等以上の診断性能を持つシステムが開発されることにより、救急診療における意思決定を迅速化し、治療機会損失を最小化することを本研究により実現する。

3. 研究の方法

本研究は大きく二つのアプローチにより課題に取り組んだ。

一つ目は、画像処理手法の組み合わせによって、外傷性出血を検出する方法である。外傷性出

血候補領域の抽出において、図1に示すような各組織のCT値分布を参考に、骨領域の除去及び抽出範囲を限定した2段階の閾値処理によって、出血領域の候補を抽出する。抽出した出血領域の候補に対してテクスチャ特徴量を求め、機械学習を用いて候補領域を分類することで、誤検出の低減を図った手法について提案を行った。

二つ目は、深層学習を用いた外傷性出血部位の検出アルゴリズムの構築である。外傷性出血は全身のどこに出血が生じるかわからないことから、一度に体の広い範囲のデータを解析する必要がある。また出血領域は非常に小さいこともある一方大きな場合もあり、形状も不定であることから、深層学習による検出タスクとしては複雑な課題である。そこで提案手法では、入力データを小さく分割した上で検出を行う手法について提案を行った。更に深層学習を用いる際は、一つ目の手法と比較し症例数が必要であることから、データ拡張と後処理を加えることによって誤検出を減らす手法について提案を行った。

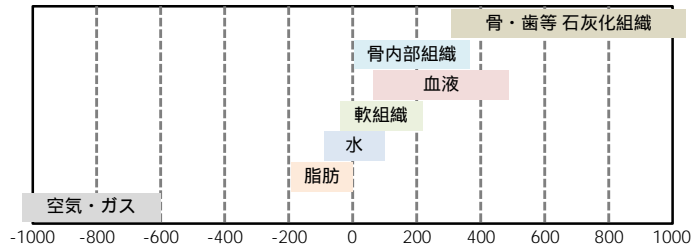


図1 各組織のCT値の分布

4. 研究成果

初めに一つ目の画像解析に基づく手法について説明する。CT画像を用いた特定部位の検出タスクでは、図1に示すように一部組織のCT値の分布が被ることから検出が難しいという問題がある。本研究で用いるのは造影CTであることから、高いCT値を得易くなってはいるものの、出血の位置や薬剤投与、撮影のタイミング次第で低いデータも存在する。また外傷性出血は体のあらゆる箇所にも生じる可能性があることから、特に血液と骨の境界の分離が難しく、専門医が読影する場合においても、人間の身体的構造を熟知しているからこそ可能となるタスクである。そこで本研究では図2に示すように、胴体部から骨に相当する領域がある程度抽出可能な閾値を探索し、症例ごとに適応的に閾値を決定する骨候補抽出手法を検討する。更に分水嶺アルゴリズムによる骨抽出手法を導入する事で骨除去性能を改善し、外傷性出血の検出を試みた。

図3に実験結果の例を示す。図3中の赤で示した領域が正解の出血部位であり、緑は過検出である。実験として外傷出血388箇所に対し検出処理を行い、従来手法と検出結果を比較したところ、出血の検出能が改善し、感度が約8%向上したことを確認した。

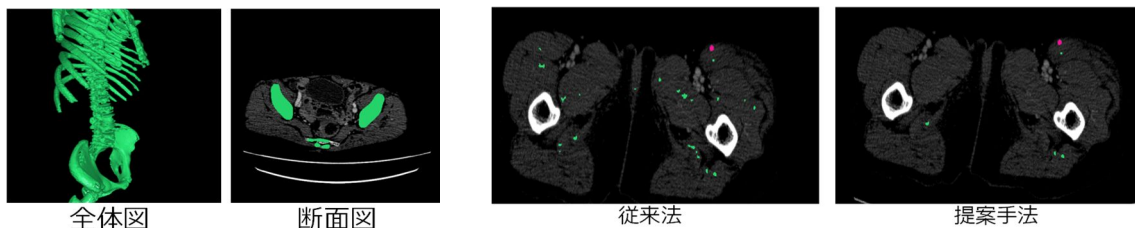


図2 骨領域の検出例

図3 出血部位検出例

続いて二つ目の深層学習を主に用いた手法について説明する。研究を進めるにあたって、基本的な課題は一つ目の手法と共通しているものの、深層学習を用いる場合においては特に、出血領域のデータ量が極めて少ないという課題が大きな問題となる。本研究で使用するCT画像は512*512*スライス枚数の造影CT画像であるが、小さな出血部位であれば100ボクセルに満たない場合もあり、データ全体に占める出血部位は数万分の一以下である。よってデータセット全体として多くは正常であり、前景と背景の比率が極端にアンバランスであることから、畳み込みニューラルネットワークを用いた場合においては、ネットワークが有用な特徴を学習することが難しくなる。そこで図4に示すように、本研究では入力データの前処理として、CTデータに対してウィンドウ処理を行った後に、CTデータを32*32*32ボクセルに分割する。更に分割する位置をずらす、位相シフトを行うことにより、同じデータの異なる位置を含ませることで、データセットの多様性を向上させた。

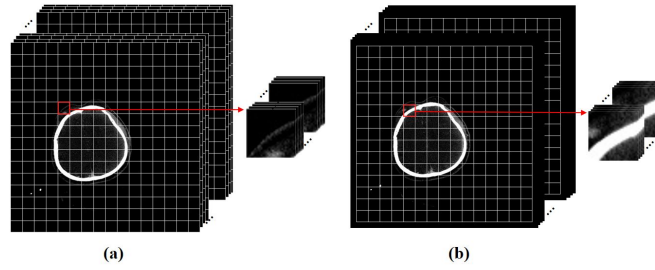


図 4 位相シフトによるデータ拡張

図 5 に使用したネットワークの構造を示す。実験では V-Net を使用し、前述のデータで学習させた。検出フェーズにおいては、位相シフト前後のデータそれぞれに対して検出処理を行った後に、元のデータに復元し、アンド処理を行うことで最終的な出力を得た。図 6 に実験結果の例を示す。図 6 中の赤い領域は出血部位であり、黄色の領域は過検出を表す。提案手法では、従来法である V-Net を用いて前処理を行わない場合においては、感度 89.2%であったが、提案手法を用いた場合においては感度 94.6%となり、過検出が 75.9%低減したことを確認した。

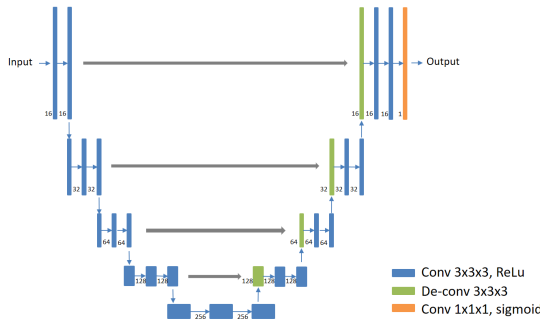


図 5 使用したネットワーク(V-Net)

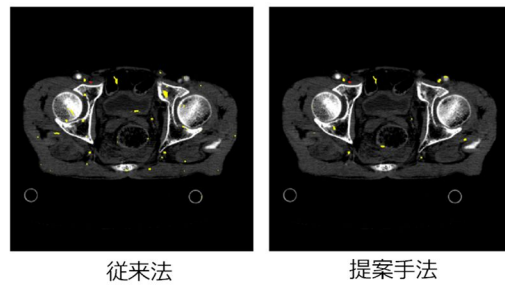


図 6 検出結果の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 YANG Lei, YANG Tingxiao, KIMURA Hiroki, YOSHIMURA Yuichiro, ARAI Kumiko, NAKADA Taka-aki, JIANG Huiqin, NAKAGUCHI Toshiya	4. 巻 Vol. E104-A, No.06
2. 論文標題 An Automatic Detection Approach of Traumatic Bleeding Based on 3D CNN Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transfun.2020IMP0014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 木村拓貴, 新井久美子, 高橋希, 吉村裕一郎, 中田孝明, 中口俊哉
2. 発表標題 造影CT画像における適応的閾値決定による骨抽出手法を用いた外傷出血検出能の改善
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lei Yang, Tingxiao Yang, Hiroki Kimura, Yuichiro Yoshimura, Kumiko Arai, Taka-aki Nakada, Huiqin Jiang, Toshiya Nakaguchi
2. 発表標題 Traumatic Bleeding Detection from Contrast-Enhanced CT Based on 3D CNN Networks
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lei Yang, Yuichiro Yoshimura, Toshiya Nakaguchi, Huiqin Jiang
2. 発表標題 Detection of Traumatic Bleeding with 3D V-NET
3. 学会等名 IMQA2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuichiro Yoshimura
2. 発表標題 Consideration of Supporting Colonoscope System for Diagnosis of Invasion Depth By Using Deep Learning
3. 学会等名 International Symposium on InfoComm and Media Technology in Bio-Medical and Healthcare Application (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村拓貴, 新井久美子, 吉村裕一郎, 中田孝明, 織田成人, 中口俊哉
2. 発表標題 分水嶺アルゴリズムに基づく骨除去及びテクスチャ解析による造影CT画像の外傷出血検出能の改善
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村拓貴, 吉村裕一郎, 田中久美子, 中田孝明, 中口俊哉
2. 発表標題 造影CT 画像における2 段階閾値処理及びテクスチャ解析による外傷出血自動検出の検討
3. 学会等名 第38回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	中口 俊哉 (Nakaguchi Toshiya)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	中田 孝明 (Nakada Takaaki)		
研究協力者	新井 久美子 (Arai Kumiko)		
研究協力者	ヤン レイ (Yang Lei)		
研究協力者	木村 拓貴 (Kimura Hiroki)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関