

救急腹部 CT 画像のためのコンピュータ支援診断システムの開発

原 武史[†] 坂下恵治[‡] 周 向荣[†] 村松千左子[†] 山口由津穂^{††} 藤田広志[†]

[†] 岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野 〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

[‡] 大阪府泉州救命救急センター放射線科 〒598-0048 大阪府泉佐野市りんくう往来北 2-23

^{††} 岐阜大学工学部応用情報学科 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1

E-mail: takeshi.hara@mac.com

あらまし 救急医療における CAD システムの一つとして救急腹部 X 線 CT 画像における腹部血腫領域の自動検出システムの開発を行った。本システムが、読影者の検出能に対してどのような影響を与えるか検証する読影実験を行った。血腫領域の自動検出システムは、臓器確率アトラスを利用し、各臓器周辺の血腫を効率よく検出する手法を用いた。読影実験には、医師/診療放射線技師の計 9 人が参加した。原画像のみで読影する場合と、本システムを参考にしながらの読影したそれぞれの場合において、血腫領域存在に関する確信度の回答について ROC(Receiver Operating Characteristic)解析によって評価した。その結果、すべての観察者の ROC 曲線下面積の平均は、コンピュータの結果を用いなかった場合は 0.886 であったが、用いた場合には 0.926 に上昇した ($p=0.0011$)。

キーワード 腹部 CT 画像, コンピュータ支援診断, 観察者実験, 救急医療

Computer-aided diagnostic system for abdominal CT images in emergency medical care

Takeshi HARA[†] Keiji SAKASHITA[‡] Xiangrong ZHOU[†] Chisako MURAMATSU[†]

Yuduho YAMAGUCHI^{††} Hiroshi FUJITA[†]

[†] Department of Intelligent Image Information, Gifu University Graduate School of Medicine

1-1 Yanagido, Gifu, Gifu 501-1194, Japan

[‡] Department of Radiology, Senshu Trauma and Critical Care Center

2-23 Rinku-Ouraikita, Izumisano, Osaka 598-0048, Japan

^{††} Department of Information Science, Faculty of Engineering, Gifu University

1-1 Yanagido, Gifu, Gifu 501-1193, Japan

E-mail: takeshi.hara@mac.com

Abstract Bleeding in abdominal cavity is one of critical injuries because it is difficult to estimate the amount of the blood by the patients' appearance. Abdominal CT or ultrasound examinations are often employed to detect the hematoma around organs and actively bleeding regions. We developed a CAD scheme to detect the hematoma region on abdominal CT images for emergency medical care. In this study, we evaluate the observer performance based on the ROC analysis method. Nine readers took part in this observer study to response the confidence level of existence of hematoma region on CT images. The averaged area-under-the-curve (AUC) of all readers was improved from 0.886 to 0.926 with statistical significance ($p=0.0011$) when the readers referred to the computer outputs.

Keyword Abdominal CT, computer-aided diagnosis, observer performance study, emergency medical care

1. はじめに

CT 画像などを対象とした様々な CAD の研究が進められている。われわれは、交通事故などで損傷を受けやすく、また損傷により致命傷となる場合が多い頭部と腹部に関しての CAD システムの開発を行っている。

特に、それら領域では死に至るような出血を伴うこともあり、救急医療に置いては出血源の究明と止血は呼吸確保の次に重要とされる [1]。

したがって、コンピュータ用いて血腫の位置を示し読影者の注意が喚起でき、また病院搬入までにできた血腫の量を測定できれば、出血性ショックの重症度の

定量的な評価が可能となると考えられる。また、そのような画像情報を、読影医だけでなく搬入早期に患者に接する診療放射線技師や検査技師が共有できれば、その重症度に対する意識をすばやく共有できる。さらには、検査時に明らかな異常部位がコンピュータによって指摘されれば、夜間などのマンパワーが不足する事態においても、システムが貢献できる可能性がある。

本研究の目的は、これまでに開発した腹部外傷に伴う血腫領域の自動検出手法を提案し、観察者実験によって、システムの有用性を示すことである。

腹部領域には、胃や腸などの管腔臓器の他に肝臓、腎臓と複数の臓器が関心領域内に同時に存在し、また、脂肪や血管なども複雑に関連している。したがって、高精度に複数の臓器を認識する研究はいくつか行われている[2, 3]。本研究においても、それら考え方に基づきアトラスを作成して正常部位を削除する手法を考案した。

2. 方法

2.1. 血腫領域の定義とその自動検出法の概要

一般に血腫とは、血管の破綻により血管外に漏出した血液が、相当量貯留した領域として存在する。腹部における新鮮な血液の CT 値は 50~70[H.U]とされており、また血液と腹水と混じった血性腹水では 30[H.U]以上となる。撮影時の体位にもよるが、腹腔内の最も低い部位に貯留する傾向にある。上腹部では肝臓と腎臓の間にある肝腎窩(後肝下腔)に、中腹部では両側の傍結腸溝に、骨盤では傍膀胱窩によく認められる。本研究では、このような血腫を自動検出の対象とした。

本手法は、体腔領域認識処理と血腫領域検出処理の二つからなる。図 1 に処理の概要を示す。

体腔認識処理は、血腫が貯留しやすい体腔領域内部を決定する。処理範囲を限定して、体腔領域外の筋肉等の誤抽出を抑制する。この体腔認識処理は、われわれのグループですでに研究された体腔領域抽出を用いている[4]。この手法では、正常の非造影 CT 像から基準となる体腔モデルを作成し、そのモデルを Thin Plate Spline[5](以下 TPS)を用いて対象画像の変形を実行する。各対象症例に変形して体腔領域とする。TPS に必要なランドマーク(LM)は、骨格と体表面に半自動に設定する。そして、血腫に濃度特徴が似た筋肉領域を主に削除する。

血腫領域検出処理は、非造影 CT 像と造影 CT 像における CT 値の差を利用する。非造影 CT 像に比べて造影 CT 像では、血流のある臓器や血管が強調される。しかし、造影 CT を撮影するまでに出血によって体内に貯留した血腫領域は造影剤による造影効果が低く、非造影 CT 像で撮影したときと同等の CT 値を持つ。

そこで、その特徴を利用して非造影 CT 像と造影 CT 像の差分処理によって血腫領域を検出する。一方、血腫と同じく造影剤による造影効果が低い組織も存在する。主には、空気、脂肪、筋肉、骨、管腹腔臓器の内容物などの領域である。これらの正常組織は、非造影 CT 像と造影 CT 像の両方から削除処理を行い、血腫領域を検出する。

これら処理の後に、血腫領域と特徴の似た正常組織削除処理と管腔内容を削除する処理を偽陽性削除処理として実行する。

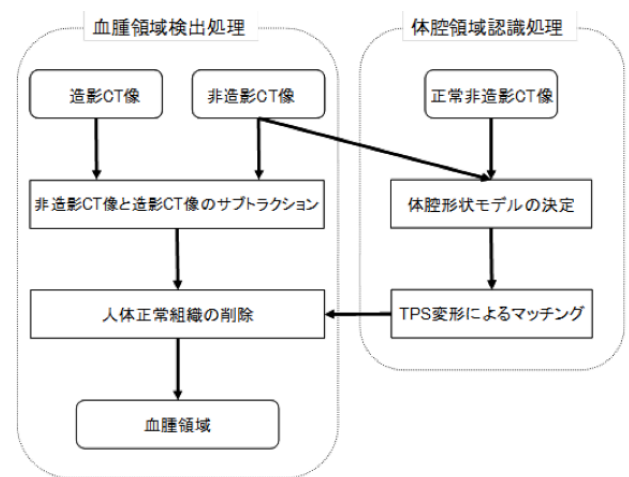


図 1 処理の概要

2.2. 使用画像

単純 CT 画像と早期平衡相で造影された腹部 X 線 CT 画像 25 症例(組)を用いる。造影剤投与後 3 分で得られた像を早期平衡相として利用した。

救急腹部 CT 検査では、主に横隔膜直上から恥骨までを撮影する。すべての症例は、大阪府立泉州救急救命センターで撮影された。画素数: 512×512 画素、スライス枚数は 36~107 枚である。空間分解能は 0.625×0.625~0.976×0.976, 再構成間隔は 5~7mm, 濃度分解能は 12bit である。

25 症例中 23 症例に血腫領域が存在する。その領域は、救急専門医および救急専門診療放射線技師によって確認された。図 2 の白い矢印は、血腫領域の例を示す。これは、脾臓の損傷によって血腫領域が発生した例である。

2.3. 血腫体積の推定

一画素の体積と検出した血腫の画素数から、血腫全体の体積を計算する。そして、あらかじめ手動で作成した血腫の正解領域の体積と比較する。図 3 に正解領域の例を示す。左右に血腫が存在し、その CT 値は造影された肝臓領域よりも低いことが分かる。



図2 脾臓の損傷に伴う腹腔内血腫の例

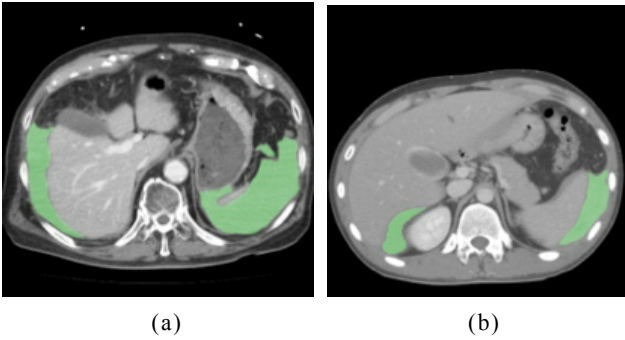


図3 手動で作成した血腫領域の二例
 (a) 肝臓周辺および、脾臓の周りに血腫がある
 (b) 脾臓周辺および、肝臓と腎臓の間に血腫がある

2.4. 観察者実験の手順

システムを用いない場合と、用いた場合とで読影者の信号の有無に対する確信の度合いである確信度を、ROC解析を用いて評価する。今回の実験では、信号を「腹腔内血腫」とする。読影者は、各症例に対して、腹腔内血腫が存在すると考える確信度を、システムを用いた場合と用いない場合とでそれぞれ回答する。そして、その値を解析する。確信度の回答には連続確信度法を用いる。

図4に観察者実験に用いる画面を示す。左側にCT画像の原画像を表示し、システムを用いる場合には、図のように右側にコンピュータの出力を示す。

3. 結果と考察

3.1. 血腫領域の検出性能と体積の推定結果

正解領域をGS、検出領域をHとし、検出率：Dを $GS \cap H / GS$ とする。血腫領域についてすべてのDを算出した。その平均値は73.9%であった。また、推定した体積と正解領域との差の絶対値の平均は275.7ml

であった。図5に図3の(a), (b)と対応した症例の検出結果の例を示す。

図5(b)の腎臓周辺に過小評価、脾臓に過大評価の領域が存在するものの、おおむね正しく検出できている。

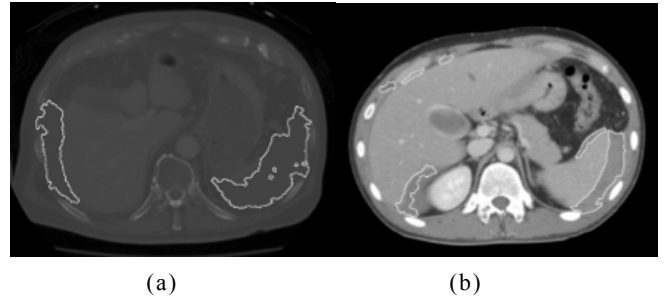


図5 自動検出結果の二例（図3の(a), (b)に対応）

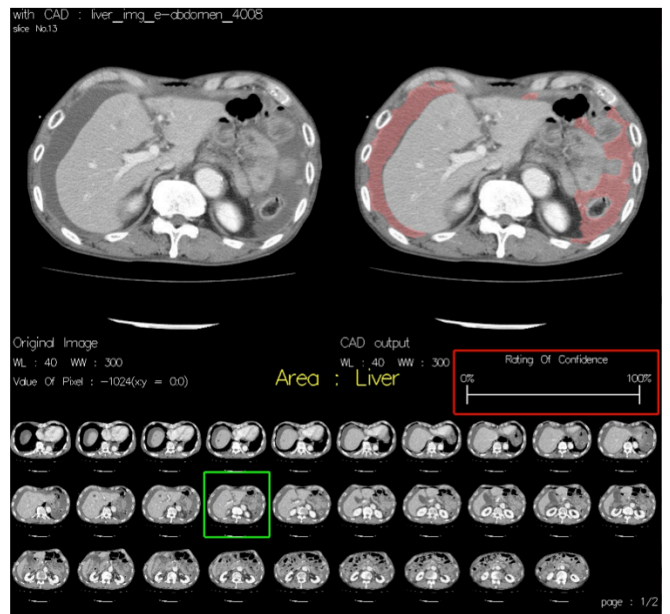


図4 観察者実験に用いる画面の例

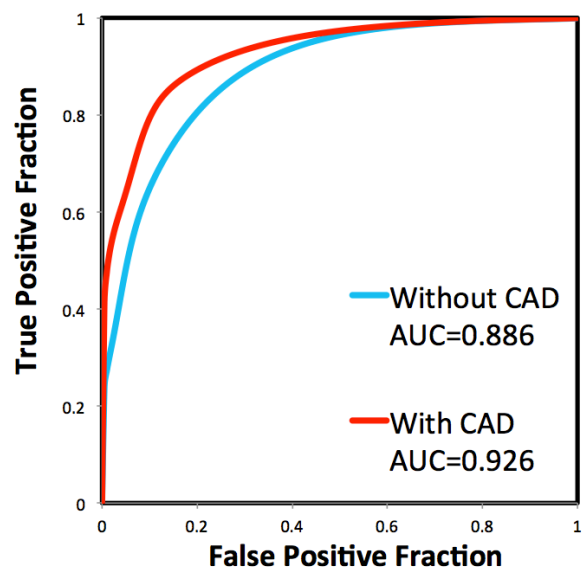


図6 観察者の平均ROC曲線

3.2. 観察者実験の結果

9名の観察者（救急専門医3名，診療放射線技師6名）について，ROC実験を行った結果，ROC曲線下面積の平均は，システムを用いた場合には0.866であったが，システムを用いた場合には，0.926へ上昇した．DBM-MRMCによって統計解析を行った結果，両者の間には有意差が認められた（ $p=0.0011$ ）．平均のROC曲線を図6に示す．個々の観察者においては有意差はなかった．観察者を医師群（A群），救急病院勤務経験技師群（B群），救急経験なし技師群（C群）に分けて解析した結果，C群のみにおいてシステムを用いた際にAUCが有意に上昇する結果が得られた．

4. まとめ

腹腔内の血腫を自動検出する手法について述べ，その性能評価と観察者実験の結果を報告した．システムの性能を25症例を対象として評価した結果，検出率73.9%，出血量誤差275.7mlという結果を得た．

システムの有用性を確かめる観察者実験では，9名の観察者を対象として実験を行った．その結果，すべての観察者においてAUCは上昇した．また，平均のAUCは0.866から0.926へ上昇した（ $p=0.0011$ ）．

ただし，本手法は偽陽性削除の方法などのパラメータを同一のデータベースを用いて行っているため，検出性能に関しては過大評価されるバイアスが存在する．

観察者実験の結果は，救急医療腹部CT画像における血腫領域の有無の判定の際に血腫の存在診断の結果が向上する傾向を示した．以上の結果より，腹部X線CT画像における腹腔内の血腫を自動検出するシステムは，読影者の診断精度の向上に寄与する可能性を示唆し，特に経験が少ない診療放射線技師へは有益となる可能性を示した．

謝 辞

本研究を遂行するにあたり観察者実験に参加いただいた多くの先生方に深く感謝申し上げます．また，卒業生である佐々卓也氏に感謝します．本研究の一部は，科学研究費新学術領域研究「医用画像に基づく計算解剖学の創成と診断・治療支援の高度化」（課題番号21103001）によって行われました．

文 献

- [1] 坂下恵治，“救急撮影法”，放射線医療技術学業書（20），京都，日本放射線技術学会出版委員会，2001.
- [2] 澤田純奈，林達郎，周向栄，陳華岳，原武史，姜慧研，横山龍二郎，兼松雅之，星博昭，藤田広志，“体幹部X線CT画像における複数臓器に対する確率アトラスの構築と性能評価”，電子情報通信学会技術研究報告，MI2011-129，pp.287-291，2012.
- [3] 小畑秀文，清水昭伸，荻原義裕，縄野 繁，“多次

元医用画像からの複数臓器構造同時抽出，”多次元医用画像の知的診断支援第三回シンポジウム論文集，pp.1-6，2006.

- [4] 奈良村五十志，林達郎，周光栄，原武史，藤田広志，陳華岳，横山龍二郎，星博昭，“体幹部X線CT像における骨盤腔の自動認識”，平成18年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集，CD-ROM，O-476，September. 2006.
- [5] F. L. Bookstein，“Principal warps: Thin-plate splines and the decomposition of deformations”，IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE，Vol. 11，No. 6，pp.567-585，Jun. 1989.