

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：55502

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12562

研究課題名(和文) マルチエネルギーCT像を用いた大腸がん検診促進システム

研究課題名(英文) Facilitation of colon cancer screening based on multi-energy CT colonography

研究代表者

橘 理恵 (Tachibana, Rie)

大島商船高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：90435462

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大腸がん検診を促進するため、マルチエネルギーCTコロノグラフィ像を用いて、機械学習により大腸内の残渣領域を特定することにより、自動的に大腸内の電子洗浄を行う手法の開発を行うことを目的とした。実験の結果、マルチエネルギー画像を用いた電子洗浄法は、シングルエネルギー画像のみを用いた電子洗浄法の場合に比べて、電子洗浄時に生成されやすいアーティファクトを低減させることができた。

研究成果の概要(英文)：The goal of this research was to develop and evaluate an innovative colon cancer screening system based on multi-energy CT colonography images and machine-learning-based segmentation methods of residual fecal materials. Preliminary results suggest that the multi-energy based electronic cleansing (EC) method is effective and that it minimizes the EC artifacts that were present in the single-energy based EC methods.

研究分野：医用システム

キーワード：Dual energy CT CTコロノグラフィ 機械学習

1. 研究開始当初の背景

現在、日本において悪性新生物(がん)による死亡者数は年間 30 万人を超えている。2013 年時のがんの部位別死亡者数は高い順から肺、大腸、胃となっており、男性では大腸は第 3 位、女性では第 1 位となっている。このように、欧米のみならず日本においても大腸がんによる死亡数は多くなっており、大腸がん検診の重要性が高まっている。大腸がんは腺種と呼ばれる良性の大腸ポリープが悪性転移することにより発生するケースが多いとされているが、この転化は数年から数十年かけて起こるため、大腸がんによる死亡者数減少には早期発見が重要となる。そこで、苦痛が少なく、低侵襲で安全な検査として、CT 画像から仮想的に大腸内視鏡画像を生成する「CT コロノグラフィ」が検診のツールとして有望視され国内外において研究が行われ、臨床運用がすでに始まっている。しかしながら、検査前は内視鏡検査と同様に、検査食および下剤による腸洗浄が必要となるため被験者の心理的抵抗感は大い。そこで、画像処理技術を用いて電子的に腸管洗浄を行う「Electronic cleansing (EC)」の研究が行われている。しかし、造影剤と残渣の混合具合によって CT 値のばらつきが大きいため、シングルエネルギー CT 画像情報のみではクレンジング後に偽陽性が多く残るため臨床応用できるレベルには至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、臨床応用が開始されたマルチエネルギー CT 装置から生成される異なるエネルギーレベルの画像を用いて様々なエネルギー画像を生成した後、これらの画像を用いて大腸の EC を行い、前処置なしの大腸がん検診用 CT コロノグラフィシステムを新たに開発することを目的とする。

3. 研究の方法

研究期間内には、まずデュアルエネルギー CT 像を用いた大腸 EC 法の開発を行った。続いて、開発した EC 法を超低線量 CT 像においても適用できるように改良を試みた。以下にそれぞれの方法について述べる。

(1) デュアルエネルギー CT 像を用いた大腸 EC 法の開発

デュアルエネルギー CT 装置は、異なる管電圧で撮影された複数の画像を生成し、各画像上では同一の物質が異なる CT 値を示す。この差を利用することにより骨、脂肪、造影剤などを各組織に分離することが可能となる。そこで、図 1 に示すように、デュアルエネルギー画像(80kVp, 140kVp)に物質分解処理を施し、複数の物質画像(water と iodine)を生成する。その後、得られた物質画像から任意のエネルギー値による Virtual monochromatic (VM) 画像を生成する。これにより複数のエネルギー画像および物質画像

を得ることができる。その後、各画像から各画素ごとに局所特徴量を抽出し、機械学習法を用いて CT 画像上の各画素を組織別(空気、軟部組織、残渣など)に分類する。最後に、元の CT 画像から軟組織以外のラベル値をもつ画素の情報を取り除くことにより残渣のない画像を生成する(図 2 参照)。その際、腸壁が滑らかな CT コロノグラフィ像を生成するため、3 次元 Sobel フィルタとガウシアンフィルタを用いた腸壁の再構成処理を施す。なお、本研究で用いた機械学習法は教師あり学習を用いたため、教師画像が必要となる。そのため、EC アーティファクトが生じやすい箇所を中心にマニュアルで多数の教師画像を生成し、学習に用いた。

(2) 超低線量 CT 像を用いた大腸 EC 法の開発

超低線量 CT 画像は、従来の線量で撮影された CT 画像に比べてビームハードニングや CT 値の擬似強調などのアーティファクトを多く含む画像の劣化が大きい。特に、残渣内に埋もれたポリープやヒダの CT 値は真の値よりも大幅に高くなる。そのため、EC 後にヒダが大きく欠損してしまう問題が起こりやすい。そこで、デュアルエネルギー画像に様々な平滑化フィルタ(Bilateral filter, Gaussian filter, Anisotropic filter など)を用いた方法を用いることにより、物質画像を生成する前に画像の劣化が抑えられたデュアルエネルギー画像を生成する方法を試みた。

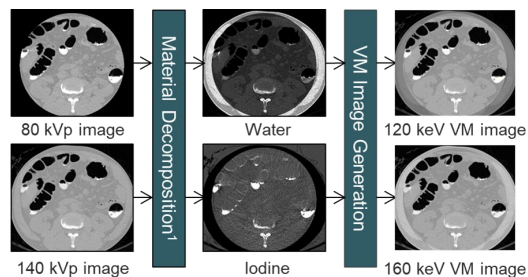


図 1. 物質分解および Virtual monochromatic (VM) 画像の生成過程

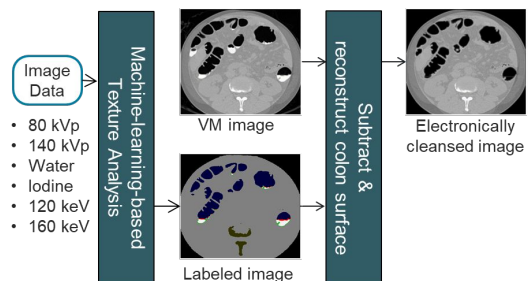


図 2. デュアルエネルギー CT 像を用いた大腸 EC 法の概念図

4. 研究成果

(1) デュアルエネルギー CT 像を用いた大腸 EC 法の開発
機械学習法として k 近傍法, random forest

法, deep learning 法を用いて評価を行った。その結果, deep learning 法を用いた場合は最も精度が良かったが, deep learning を用いた方法は学習およびテストに時間を多大な時間を要した。k 近傍法と random forest 法を比較した場合, random forest 法を用いた方が高速かつ高精度に学習およびテストが可能であることが分かった。

入力画像数の違いを評価したところ, 140kVp のシングルエネルギー画像のみを用いた場合, デュアルエネルギー画像の2つの画像を用いた場合, 物質画像と VM 画像を含めた6つの画像を用いた場合においては, 入力画像に6つの画像を用いた場合が最も組織別ラベル画像の生成精度がよく, EC アーティファクトの少ない画像が生成可能であることが分かった。図3に random forest 法を用いた場合の組織別ラベル画像の結果を示す。シングルエネルギーの場合は黄色の矢印が示すように空気と残渣の間のパーシャルボリューム(赤色)が軟組織(灰色)と誤認識されているが, 6つの画像を用いた場合(multi-energy EC)は, 空気と残渣間のパーシャルボリュームもしくは軟組織と残渣間のパーシャルボリューム(緑色)として認識された。このように物質画像と複数のエネルギー画像を用いた方が, 精度よくラベル画像を生成できたことから, 図4に示すように EC 後の CT コロノグラフィ像においても EC アーティファクトの少ない画像の生成に成功した。

(2) 超低線量 CT 像を用いた大腸 EC 法の開発

超低線量 CT 像に関しては, 入力画像に対して物質分解を行う前に平滑化処理を試みた。平滑化処理をしない場合と, Bilateral filter, Gaussian filter, Anisotropic filter のいずれかを施した場合においてラベル画像の生成精度を比較したところ, 平滑化処理を加えた方が平滑化処理なしの場合よりも精度高く分類することができ, 特に Anisotropic filter を用いた場合, 最も精度よくラベル画像が生成可能であることが分

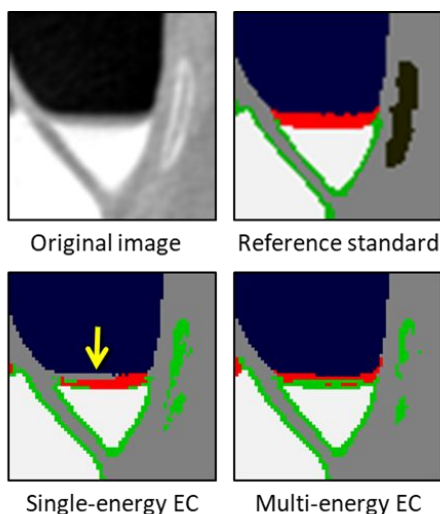


図3. 組織別ラベル画像の生成例

かった。これにより超低線量 CT 像においても機械学習を用いた EC 法により従来法よりもアーティファクトの少ない画像生成が可能であることが分かった。

上述した通り, 物質分解画像や複数のエネルギー画像を機械学習で学習することによりシングルエネルギーのみの場合に比べて EC アーティファクトの少ない CT コロノグラフィ画像の生成が可能になった。しかし, 依然として実用化に用いることができるほどのアーティファクトの削減はできていない。そのため, deep learning 法を用いた EC 法を改善し, さらにアーティファクトの少ない EC 法の開発を推進している。

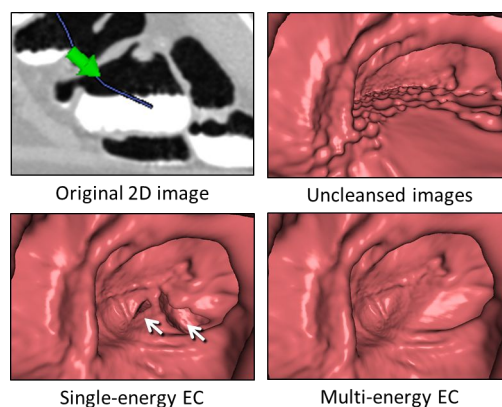


図4. EC 前および EC 後の CT コロノグラフィ例(緑の矢印は, CT コロノグラフィ像における視点方向, 白の矢印は EC アーティファクト)

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 8 件)

Kohlhase N, Tachibana R, Näppi J, Ota J, Regge D, Yoshida H, Toru Hironaka. Multi-material electronic cleansing for non-cathartic ultra-low-dose dual-energy CT colonography. Radiological Society of North America 2015 Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago, November-December 2015.

Tachibana R, Näppi J, Kohlhase N, Kim SH, Regge D, Yoshida H, Hironaka T, Ota J, Machine-learning electronic cleansing for CT colonography. Radiological Society of North America 2015 Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago, November-December 2015.

Tachibana R, Näppi J, Kohlhase N, Ota J, Kim SH, Yoshida H, Toru Hironaka.

Machine learning of multi-material electronic cleansing for dual-energy CT colonography. Radiological Society of North America 2015 Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago, November-December 2015.

Tachibana R, Näppi J, Hironaka T, Kim SH, Yoshida H. Deep learning for electronic cleansing in dual-energy CT colonography. Proc Soc Photo Opt Instrum Eng. 2016; 9785:97851M.

Tachibana R, Kohlhase N, Näppi J, Hironaka T, Ota J, Ishida T, Regge D, Yoshida H. Performance evaluation of multi-material electronic cleansing for ultra-low-dose dual-energy CT colonography. Proc Soc Photo Opt Instrum Eng. 2016; 9785:978526.

Tachibana R, Näppi J, Ota J, Regge D, Hironaka T, Yoshida H. Radiomic machine learning of electronic cleansing for ultra-low-dose dual-energy CT colonography. 18th International Workshop on Computer-Aided Diagnosis, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2016; 11(suppl 1):S118-S119.

Tachibana R, Näppi J, Hironaka T, Kim SH, Yoshida H. Multi-slice ensemble deep learning of electronic cleansing for computer-aided detection of lesions in multi-spectral CT colonography. 19th International Workshop on Computer-Aided Diagnosis, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2017; 12(suppl 1):S146-S147.

Nasirudin RA, Näppi J, Hironaka T, Tachibana R, Yoshida H. Enhancement of weakly tagged fecal materials in dual-energy CT colonography using spectral-driven iterative reconstruction technique. Proc. SPIE Medical Imaging. 2017; 10134:101340G.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橘 理恵 (TACHIBANA, Rie)

大島商船高等専門学校・情報工学科・准教授

研究者番号 : 90435462

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし

(4) 研究協力者

吉田 広行 (YOSHIDA, Hiroyuki)
Massachusetts General Hospital ・ 3D
Imaging Research ・ Director / Harvard
Medical School ・ Radiology ・ Associate
Professor

NÄPPI, Janne J.
Massachusetts General Hospital ・ 3D
Imaging Research / Harvard Medical
School ・ Radiology ・ Instructor