

令和 6 年 5 月 29 日現在

機関番号：15501

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K17170

研究課題名（和文）患者個別治療効果に基づく適応放射線治療に向けた新規コーンビームCTシステムの開発

研究課題名（英文）Development of a novel cone-beam CT system for adaptive radiation therapy based on patient-specific treatment efficacy

研究代表者

湯浅 勇紀 (Yuasa, Yuki)

山口大学・医学部附属病院・副診療放射・エックス線技師長

研究者番号：20749840

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：放射線治療領域では、患者の位置合わせや病変の観察にコーンビームCTを撮像する。コーンビームCTは、軟部組織のコントラストが低く、放射線診断領域のCT画像と比較して、画質が低下するという問題がある。そこで、深層学習モデルとデュアルエネルギー技術を融合したデュアルエネルギーコーンビームCTのシステムの確立を目指した。本研究では、単一管電圧で取得した画像を深層学習に入力することで、他管電圧で取得したCT画像に変換するシステムを開発した。これにより、今後のデュアルエネルギーコーンビームCTシステム開発への展開が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したシステムは、医用画像処理と深層学習を応用することで、従来の手法では取得が難しかった単一管電圧で撮影されたCT画像から他管電圧で取得したCT画像の生成が可能となった。従来取得するCT画像を使用することで計算のみで追加画像を取得可能で、患者被ばく線量の低減に貢献することが可能である。また、本システムについては、既存の放射線機器に導入可能であり、画質の向上や画像診断制度の向上に寄与する可能性があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：For the radiation therapy, cone-beam CT is used for patient set-up and observation of tumor and normal tissue. However, cone-beam CT has the issue of low soft tissue contrast and decreased image quality compared to diagnostic CT images. Therefore, we aimed to establish a dual-energy cone-beam CT system by integrating deep learning models with dual-energy technology. In this study, we developed a system that converts images obtained at a single tube voltage into CT images obtained at different tube voltages by inputting them into a deep learning model. This development enables the future expansion of dual-energy cone-beam CT system development.

研究分野：放射線科学

キーワード：Deep learning DECT CBCT Iodine image

1. 研究開始当初の背景

肝臓および膵臓に対する放射線治療において、治療対象である腫瘍および周辺臓器の画像情報の取得は、腫瘍制御率の改善と正常臓器の有害事象の低減の観点から非常に重要である。国内外の多くの施設では、放射線治療機器に備え付けられた位置決め装置で取得する CT 画像 (Cone Beam Computed Tomography : CBCT) を利用し、患者の治療位置照合を実施し、治療を行っている。しかし、CBCT 画像は、軟部組織のコントラストが低く、放射線診断領域の CT 画像と比較して、画質が低下するという問題がある。これらより、CBCT 画像を腹部臓器の観察や治療効果判定に使用するには至っていない。放射線診断領域の CT 装置では、1 度の撮像で 2 種類の性質が異なる X 線 (高管電圧, 低管電圧) を使用し、2 種類の画像を取得する DECT (Dual Energy CT) の注目が非常に高まっている。

これらの技術を、放射線治療領域の CBCT に応用し、新たなデュアルエネルギー CBCT (DECBCCT) システムを開発することで、高コントラスト、高画質な画像を得ることが可能で、従来の CBCT と比較して画質の向上が期待できる。また、システムの使用により、臓器の密度や血流量の機能情報の取得を可能とし、CBCT を使用した放射線治療効果判定において新たな手法の確立が可能となる。しかし、CBCT では、画質や患者被ばく線量の増加による 2 次発がんリスクの増加の問題もあり、DECBCCT の取得手法については確立していない。

2. 研究の目的

本研究では、深層学習とデュアルエネルギー技術を融合させた DECBCCT の取得手法およびシステムの確立、臨床応用を実現することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、放射線治療の CBCT と深層学習モデルの融合を最終目標とし、まず診断 CT 画像に対して深層学習モデルを使用した仮想 DECT システムの構築を行った。図 1 に本研究で開発した DECT システムのワークフローを示す。また、以下に診断 CT に対する深層学習モデルの開発手順について示す。

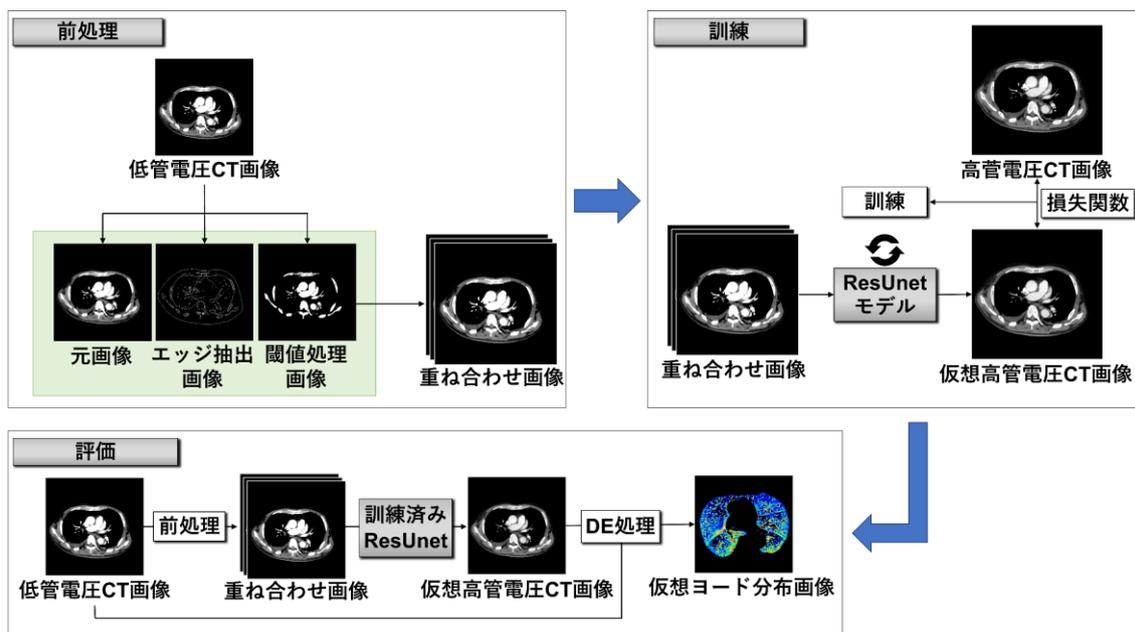


図 1. 本研究で開発した DECT システムのワークフロー

(1) 深層学習の訓練用データの取得と前処理

本研究では、胸部および腹部領域に対して、DECT システムを開発する。胸部および腹部に対して DECT を実施した患者の低管電圧 CT 画像および高管電圧 CT 画像を取得する。取得した画像のうち、低管電圧 CT 画像に対して、ソーベルフィルタ処理によりエッジ抽出画像、閾値処理により閾値処理画像を作成する。作成された画像と低管電圧 CT 画像を合わせて重ね合わせ画像を作成し、高管電圧 CT 画像とのペアデータとして、モデルの学習とテストに使用する。

(2) 深層学習モデルの構築と学習

深層学習モデルは Python 言語の Keras (Ver.2.2.4) モジュールを使用し、構築を実施した。モデル構造は、U-net に ResNet を組み込んだ ResU-net とした。深層学習モデルは、重ね合わせ画像を入力することで高管電圧 CT 画像を出力する構造とした。

(1) の前処理により取得されたペアデータを使用して、モデルの学習を実施した。学習パラメーターは、最適化アルゴリズムは Adam, 損失関数は絶対平均誤差 (MAE), バッチ数は 12, エポック数は 50, 学習率は 0.001 とした。学習パラメーターは、Optuna モジュールで最適化した。対象患者は胸部領域が 80 名、腹部領域が 80 名とした (学習 55 名, 内部検証 5 名, テスト 20 名)。

(3) 構築した深層学習モデルの評価

構築した深層学習モデルの有用性を評価するために学習に使用していないテスト患者の画像を学習済みモデルに入力し、仮想高管電圧 CT 画像を生成し、正解の高管電圧 CT 画像と比較した。比較項目は、臓器の CT 値, 画像の MAE, 画像間のヒストグラムインターセクション (HI) 値および SD (Standard deviation) 値とした。

(4) DE 処理画像の作成

深層学習モデルで生成された仮想高管電圧 CT 画像と入力に使用した低管電圧 CT 画像を使用し、DE 処理により、ヨード分布画像を作成する。また、作成されたヨード分布画像を基に仮想単純画像の作成も行った。生成された各画像に対して、画像の MAE を算出した。

4. 研究成果

(1) 深層学習の訓練用データの取得と前処理

図 2 に前処理により抽出されたエッジ抽出画像と閾値処理画像を示す。前処理として、(a) 低管電圧の元画像, (b) エッジ抽出画像, (c) 閾値処理画像を結合した重ね合わせ画像を生成した。エッジ画像を入力することで、臓器および骨の辺縁の情報を詳細に描出可能となり、閾値処理画像を入力することで、CT 値が高い造影領域の情報を描出可能となる。画像処理を実施することで画像情報を増加させ、モデルの精度の向上を行った。

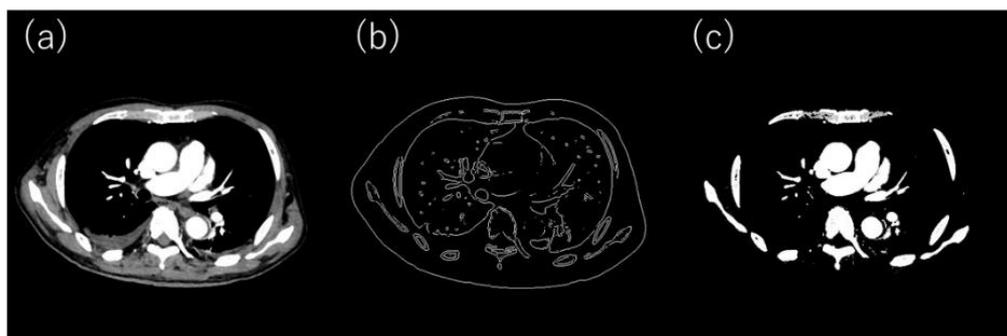


図 2. 低管電圧画像と前処理後の CT 画像

(2) 深層学習モデルの構築と学習

図 3 に学習時の損失関数の変化を示す. 図 3 よりエポック増加と共に学習, 内部検証の損失関数の減少が確認でき, 学習の進行が確認された.

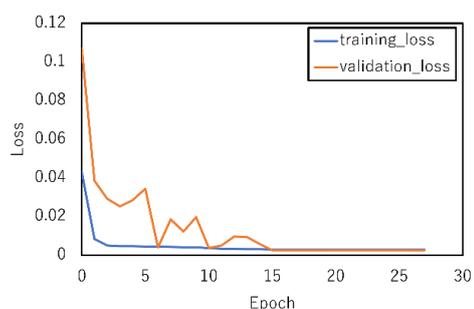


図 3. 学習時の損失関数の変化

(3) 構築されたモデルの評価

図 4 にテスト患者の (a) 低管電圧 CT 画像, (b) 正解の高管電圧 CT 画像, (c) モデルが推定した高管電圧 CT 画像, (d) 正解の高管電圧 CT 画像とモデルが推定した高管電圧 CT 画像の差分画像を示す. 上段は胸部, 下段は腹部を示している.

胸部, 腹部の両領域でモデルが推定した CT 画像は正解の CT 画像と良好な一致を示している. 差分画像では, CT 値が極めて高い領域を除いて良好に一致していた. テスト患者 20 名の MAE は, 胸部領域で 8.6 ± 1.7 HU, 腹部領域で 6.2 ± 1.4 HU であった. 正解の高管電圧 CT 画像とモデルが推定した高管電圧 CT 画像の CT 値差は胸部領域, 腹部領域共に 10 HU 以内であった. また, HI 値は, 0.9 以上の値となり, 高精度のモデルが構築できていることが示された.

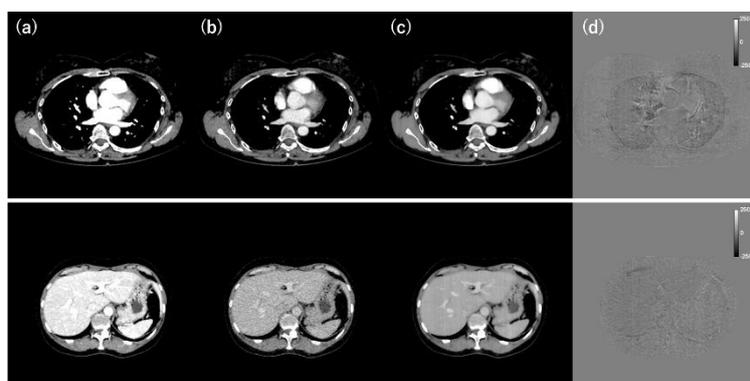


図 4. 胸部領域と腹部領域のテスト患者の画像

また, 図 5 に DE 処理により作成されたヨード分布画像を示す. ヨード分布画像, 仮想単純画像についても正解の画像と良好な一致を示し, ヨード分布画像の MAE は, 胸部領域で 13.2 ± 5.0 HU, 腹部領域で 6.8 ± 1.2 HU であった. 仮想単純画像の MAE は胸部領域で 11.2 ± 2.1 HU, 腹部領域で 8.1 ± 1.7 HU であった. この結果から DE 処理後の画像についても高精度で生成可能であることが示された.

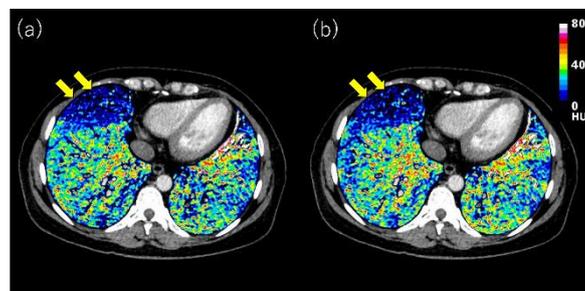


図 5. テスト患者の(a)正解のヨード分布画像と(b)生成されたヨード分布画像

本研究では, 深層学習を利用した DECT を実施した. 放射線治療領域で使用される CBCT への応用については研究期間中に実施できなかったため, 今後 CBCT への応用に向けた開発を継続的に実施していく予定である.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yuasa Yuki, Shiinoki Takehiro, Fujimoto Koya, Tanaka Hidekazu	4. 巻 5
2. 論文標題 Pseudo dual-energy CT-derived iodine mapping using single-energy CT data based on a convolution neural network	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 BJR Open	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） 10.1259/bjro.20220059	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 -
1. 著者名 Yuki Yuasa, Takehiro Shiinoki, Koya Fujimoto, Hidekazu Tanaka	4. 巻 15
2. 論文標題 Single-energy CT-based perfusion imaging in thoracic and abdominal region based on the convolution neural network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computer Assisted Radiology and Surgery, Proceedings of the 34th International Congress and Exhibition	6. 最初と最後の頁 11～12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11548-020-02171-6	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yuasa Yuki, Shiinoki Takehiro, Onizuka Ryota, Fujimoto Koya	4. 巻 20
2. 論文標題 Estimation of effective imaging dose and excess absolute risk of secondary cancer incidence for four dimensional cone beam computed tomography acquisition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Clinical Medical Physics	6. 最初と最後の頁 57～68
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/acm2.12741	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 -
1. 著者名 Fujimoto Koya, Shiinoki Takehiro, Yuasa Yuki, Onizuka Ryota, Yamane Masatoshi	4. 巻 20
2. 論文標題 Evaluation of the effects of motion mitigation strategies on respiration induced motion in each pancreatic region using cine magnetic resonance imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Clinical Medical Physics	6. 最初と最後の頁 42～50
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/acm2.12693	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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 湯浅勇紀, 椎木健裕, 藤本昂也, 田中秀和
2. 発表標題 深層学習を利用した仮想Dual energy CTとヨードマップの生成
3. 学会等名 第50回日本放射線技術学会秋季学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Yuasa, Takehiro Shiinoki, Koya Fujimoto, Hidekazu Tanaka
2. 発表標題 Single-energy CT-based perfusion imaging in thoracic and abdominal region based on the convolution neural network
3. 学会等名 Computer Assisted Radiology and Surgery 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------