

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K15535

研究課題名（和文）人工知能を用いて管腔臓器の位置および形状を予測・追跡する技術の開発

研究課題名（英文）Development of technology to predict and track the position and shape of luminal organs using artificial intelligence

研究代表者

西岡 健太郎（Nishioka, Kentaro）

北海道大学・医学研究院・助教

研究者番号：80463743

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：管腔臓器のように体内で位置や形状が日々変化する臓器に対して放射線治療を行う場合、標的となる臓器が治療計画時点の状態と実際の治療時点で一致しない恐れがある。日々の治療時の標的の位置・形状に合わせて最適化した放射線治療を実現するために、本研究ではMRI画像を教師データとして人工知能の学習を行い、臓器の位置や形状の変化を予測・追跡する技術の開発を試みた。過去に撮像された100症例のMRI画像を用いて膀胱の輪郭を自動描出するための機械学習を行い、ダイス係数94.4%の精度で自動描出することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MRIは放射線被曝なしに画像情報を取得できるため、日々の放射線治療時の臓器の位置や形状を取得する手法として最適である。本研究で、人工知能の機械学習によりMRI画像上で日々の膀胱の位置・形状を高精度に取得できることが示された。この技術は他の管腔臓器においても利用可能であり、MRI撮像機能を搭載した放射線治療装置が既に開発されていることから、本研究はMRIを用いて日々の臓器の位置・形状に最適化した放射線治療（すなわち適合放射線治療）を実現するための礎になる。

研究成果の概要（英文）：When radiotherapy is applied to luminal organs whose position and shape change from day to day, the status of target organ may not match between at the time of treatment planning and the actual time of treatment. In order to realize the optimized radiotherapy according to the position and shape of the target in the daily treatment, this study carried out to develop the technology which enable us to predict and track the position and shape of the organ using artificial intelligence. After machine learning using previously acquired MRI images of 100 patients as teacher data, artificial intelligence successfully delineated the bladder contour with a mean Dice coefficient index of 94.4%.

研究分野：放射線治療学

キーワード：人工知能 セグメンテーション 適合放射線治療

1. 研究開始当初の背景

体内の癌に対して放射線治療を行う際、治療計画用の Computed Tomography(CT)画像を取得し、その画像を用いて治療ビームのエネルギー・入射方向・照射野形状などを決定する。実際の治療時には治療計画用の CT で決定した照射方法で治療が行われるため、治療計画用 CT の状態(位置・形状)と実際の治療時の状態の間で変化が生じた場合、治療計画で意図した通りに放射線が照射されないリスクが生じる。体内の臓器の変形や移動・患者の体位・放射線治療時のセットアップの誤差などの様々な要因で治療計画用 CT の状態から変化するため、照射野を決定する際には治療の対象となる標的病変の周囲にゆとりの幅(マージン)を設ける方法が一般的である。特に胃や腸管・膀胱などの管腔臓器は肝臓や前立腺などの充実性の臓器と異なり、内容物(摂取した食物や尿など)によって位置や形状が大きく変化するため、管腔臓器の癌に対しては従来から放射線治療が根治治療として第一に選択される事が少なく、放射線治療を行うとしても原則として広くマージンを設けることが推奨されてきた。一方で広いマージンを設けることで周囲の正常臓器が広く照射野に含まれる事になり、有害事象のリスクが伴うことになる。

この問題点の根本は、毎回の放射線治療がその時点での標的の位置や形状に基づいて行われるのではなく、初回の治療計画用 CT のみに基づいて行われることにある。これを解決するためには、毎回の放射線治療時に標的や近傍の正常臓器の状態(位置・形状)を取得し、毎回の状態に合わせた放射線治療(Adaptive radiotherapy: 適合放射線治療)を行うことが必要である。しかしながら従来の放射線治療装置では搭載された画像取得機能が不十分であり、また得られた画像を元に標的と正常臓器を判別が自動化できないため、適合放射線治療が実現できていなかった。

近年、ディープラーニングを筆頭に人工知能の技術の進歩が著しく、特に放射線画像上の特定の臓器・構造物を自動的に抽出するセグメンテーション能力は従来のソフトウェアをはるかにしのぐ性能が期待される。同時に、放射線被曝なしに画像情報を取得できる MRI においても機器性能が向上し、静磁場が 3 テスラの超高磁場 MRI が普及している。そこで、最新の MRI 画像を用いて人工知能の機械学習を行うことで、標的となる臓器と正常臓器の判別を自動的かつ高精度に行う事が可能では無いかと考えた。

2. 研究の目的

管腔臓器に対して放射線治療を行う際の精度を向上するため、MRI 画像を教師データとして人工知能の学習を行ったうえで臓器の位置や形状の変化を予測・追跡する技術を開発すること。

3. 研究の方法

過去に北海道大学病院で撮像された 100 症例分の骨盤部 3 テスラ MRI 画像を用い、研究者が膀胱の輪郭をラベル付けした。MRI 画像はすべて同じ装置(Achieva 3.0T TX-series, (Philips Medical Systems, Best, the Netherlands))で撮像された T2 強調画像(横断像、3mm スライス)を用いた。画像の総数は 1060 枚であった。

ランダムに選択された 80 症例分(画像 840 枚)を機械学習に用い、10 症例分(画像 113 枚)を検証(validation)に用い、残りの 10 症例分(画像 107 枚)で学習後の性能確認のテストを行った。機械学習のために U-Net と呼ばれる畳み込みニューラルネットワークモデルを構築した(図 1)。学習には二次元画像およびラベルデータを用いた。輪郭を描出する精度は Dice 係数を用いた。Dice 係数とは 2 つの輪郭の同一性を評価するための指標で 0~1 の値をとり、一致性が高いほど 1 に近づく。

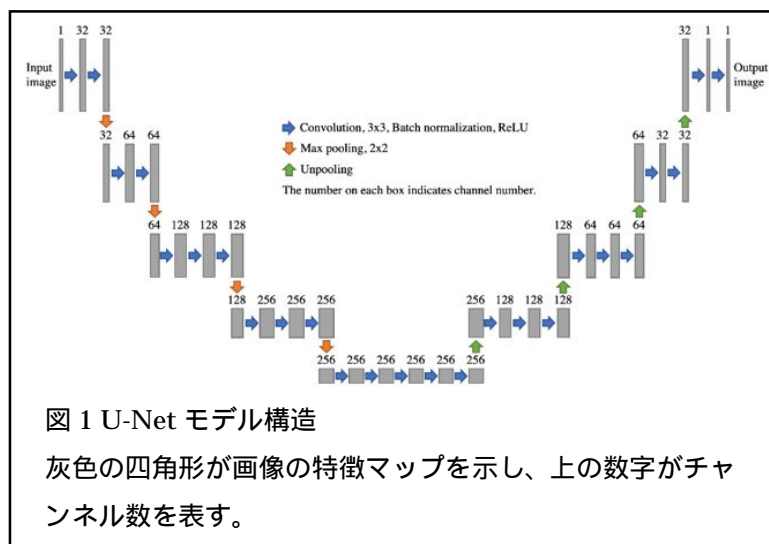


図 1 U-Net モデル構造

灰色の四角形が画像の特徴マップを示し、上の数字がチャンネル数を表す。

4. 研究成果

機械学習の進行に伴う損失関数と平均 Dice 係数の推移(学習曲線)を図 2 に示す。青い線が学習データの損失関数を示し、オレンジの実線と破線がそれぞれ評価データおよびテストデータにおける平均 Dice 係数を示す。また、図 3 に研究者が作成した輪郭と人工知能が作成した輪郭の Dice 係数のヒストグラムと、最低値・最高値・第一四分位点・第二四分位点の輪郭を示す。

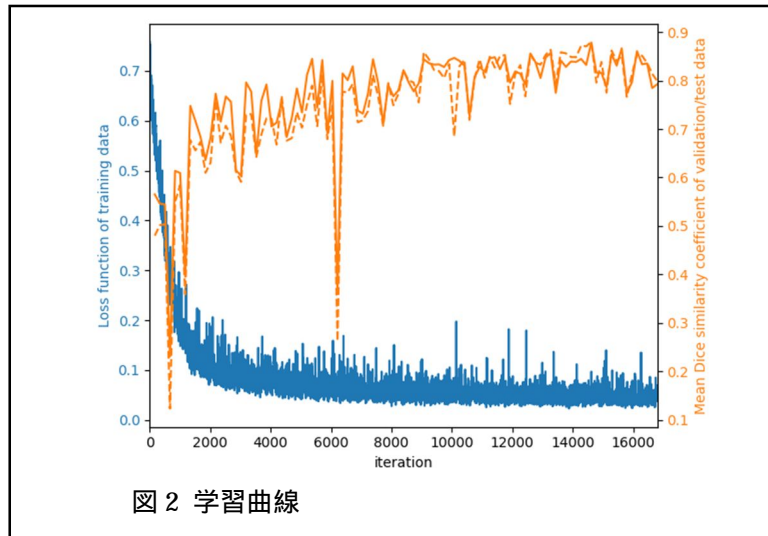
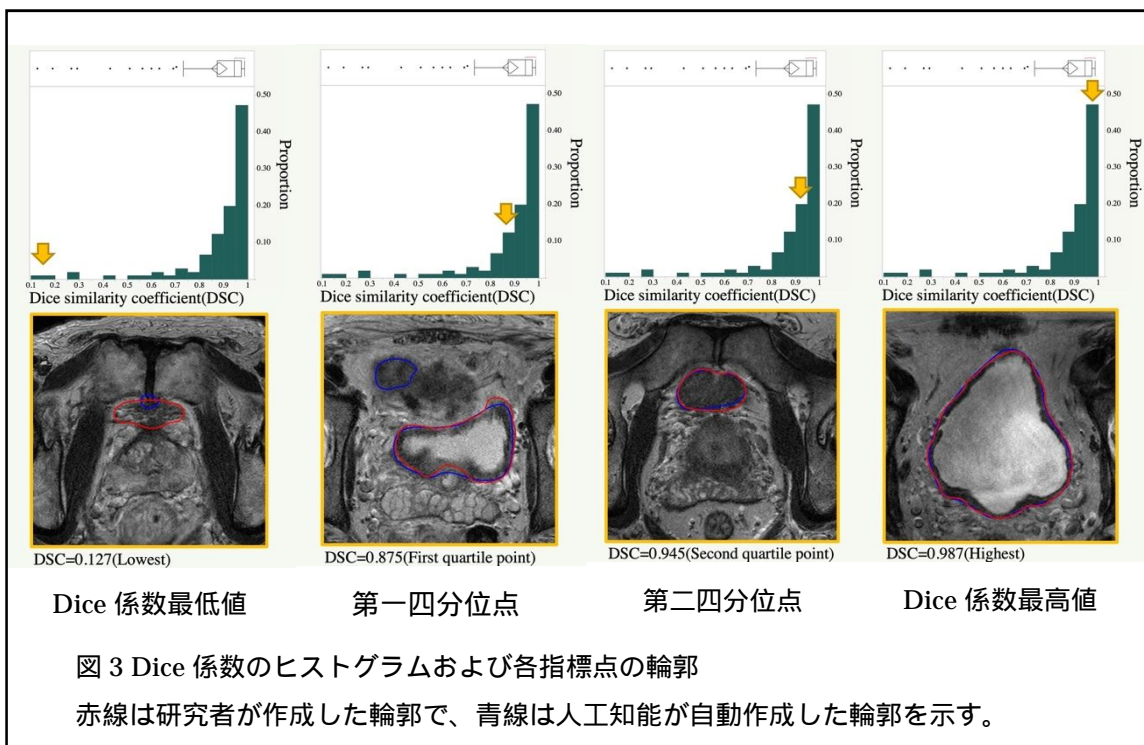


図 2 学習曲線



人工知能が作成した輪郭の Dice 係数の中央値は 94.4% であり、人工知能は研究者が作成した輪郭と高い一致性を持って膀胱の輪郭を自動描出することが可能であった。一方、膀胱の辺縁に当たる断面像では Dice 係数が低下する傾向が認められた。これは膀胱辺縁の画像のみで膀胱の輪郭を抽出することが難しいことを示しているが、前後の画像の膀胱の構造を参照することで改善が期待できることから、三次元画像を用いた機械学習が精度向上に有用であると考えた。

以上より、MRI 画像を用いて機械学習を行う事で、管腔臓器の一つである膀胱の輪郭を自動的にかつ高精度に抽出できることが示された。また、本研究では二次元画像を用いた機械学習を行ったが、三次元画像による機械学習で精度の向上が期待される。この技術は他の管腔臓器でも応用可能であり、適合放射線治療の実現に向けて有用と考えられる。

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 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Dekura Yasuhiro, Nishioka Kentaro, Hashimoto Takayuki, Miyamoto Naoki, Suzuki Ryusuke, Yoshimura Takaaki, Matsumoto Ryuji, Osawa Takahiro, Abe Takashige, Ito Yoichi M., Shinohara Nobuo, Shirato Hiroki, Shimizu Shinichi	4. 巻 14
2. 論文標題 The urethral position may shift due to urethral catheter placement in the treatment planning for prostate radiation therapy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Radiation Oncology	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s13014-019-1424-8	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 西岡 健太郎、橋本 孝之、森 崇、長江 伸樹、木下 留美子、安部 崇重、大澤 崇宏、松本 隆児、篠原 信雄、白土 博樹1、清水 伸一
2. 発表標題 進行期前立腺癌に対する根治的IMRTの初期経験
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第32回学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Nishioka, Yusuke Nomura, Takayuki Hashimoto, Rumiko Kinoshita, Norio Katoh, Hiroshi Taguchi, Koichi Yasuda, Takashi Mori, Yusuke Uchinami, Manami Otsuka, Taeko Matsuura, Seishin Takao, Ryusuke Suzuki, Sodai Tanaka, Takaaki Yoshimura, Hidefumi Aoyama, Shinichi Shimizu
2. 発表標題 Automatic bladder delineation on MR images using a convolution neural network for online image-guided radiotherapy
3. 学会等名 American Society for Radiation Oncology (ASTRO) The 62nd annual meeting (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
---------	---------