

胸部 X 線深層学習モデルによる乳癌放射線治療の被曝線量予測

愛知県がんセンター

放射線治療部 医長 小出雄太郎

愛知県がんセンター

放射線治療部 部長 古平毅

1. 研究の背景・目的

【背景】乳癌は女性の癌罹患率第1位の悪性腫瘍であり、放射線治療が術後再発予防目的に標準治療法である。乳癌の治療が本邦で実施される放射線治療の23.3%（42,100人）を占め、原発巣別で第1位である[1]。放射線治療によって全生存および局所制御の向上が期待される一方で左乳癌は心臓が被曝するため晩期心血管系合併症が1Gyあたり7.4%増加すると報告されている[2]。心臓被曝を減らすため深吸気息止め照射法が有効とされているが、その適応判断には追加のCT検査や呼吸再現性と息止めの訓練（検査被曝・負担の増加）が必要となる。

これまで多くの研究において、心臓の被曝量を予測するモデルが提案されてきたが、予測精度は高くない。また、既存モデルはいずれも治療計画CTを利用しているため、治療直前である計画CT取得後にしか予測ができないといった大きな欠点があった。

我々のグループでも先行研究同様に当初は治療計画CTを利用して予測を行ってきたが[3]、予測タイミングを早めるために術前情報から予測モデルを構築できないかと考えた。まずは画像以外の臨床情報に着目したが、あまり精度が良いモデルは作れなかったため[4]、術前画像に着目した。乳癌患者で最も取得率の多い術前画像は胸部X線写真（95%以上）であったため、その画像を利用して放射線治療の心臓線量予測モデル構築を目指した。

このアイデアの予備研究として、自施設のデータを使って深層学習モデルを構築した。その結果、通常照射法だと心臓に高線量が照射されるが深吸気息止め照射法だと線量低減が大きく期待できる患者を高精度で分類できることが分かった。現在は多施設データによるモデルのアップデートおよび精度検証を目指して倫理審査申請中である。

【意義】 胸部 X 線深層学習モデルが実現できれば、計画 CT で作られた既存モデルより約 90 日予測タイミングを早めることが可能となり、さらに計画 CT がなくても予測できるので患者の検査被曝・負担を軽減できる。。

【目的】 本研究の目的は、乳癌放射線治療の心臓被曝線量を予測する胸部 X 線深層学習モデルの構築と精度検証を行うことである。

研究の対象ならびに方法

【対象】 術前に胸部 X 線写真が撮影され、左乳癌放射線治療が行われた患者（2016-2021 年）

【施設】 愛知県がんセンター、名古屋大学、藤田医科大学、愛知医科大学、八千代病院、総合大雄会病院の 6 施設（申請時点）

【方法】

（1） 各施設から対象患者の匿名加工済みデータを入手し、ラベリングする。

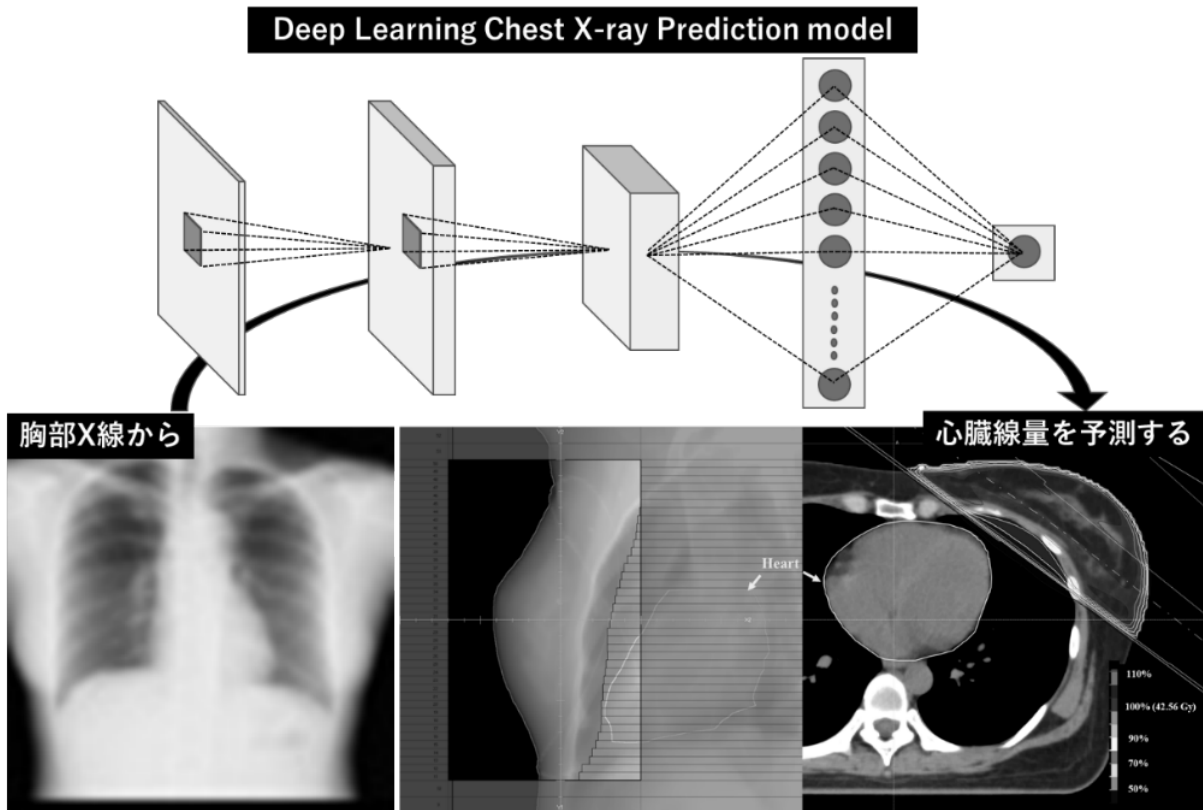
（2） 入手データをトレーニング群、バリデーション群、テスト群に分ける。

（3） トレーニング群とバリデーション群のデータを用いて、予備研究で作った深層学習モデルにあてはめ、バリデーション群における予測結果が最良となるようにパラメータ調整をする。

モデルのトレーニングに使うニューラルネットワークは畳み込みニューラルネットワークであり、予備研究の段階でネットワーク上の各パラメータは一度最適化されている。

（4） （3）でアップデートされたモデルをテスト群に適用し、その予測精度を求める。予測モデルは回帰モデルで作るが、臨床上重要な心臓線量が 1Gy 以上かどうかを分類する精度も同時に求める予定である。

【図】 本研究課題、深層学習モデルの概要



2. 研究結果

実験結果、表のような深層学習モデルを構築した。

表：深層学習モデルの構造

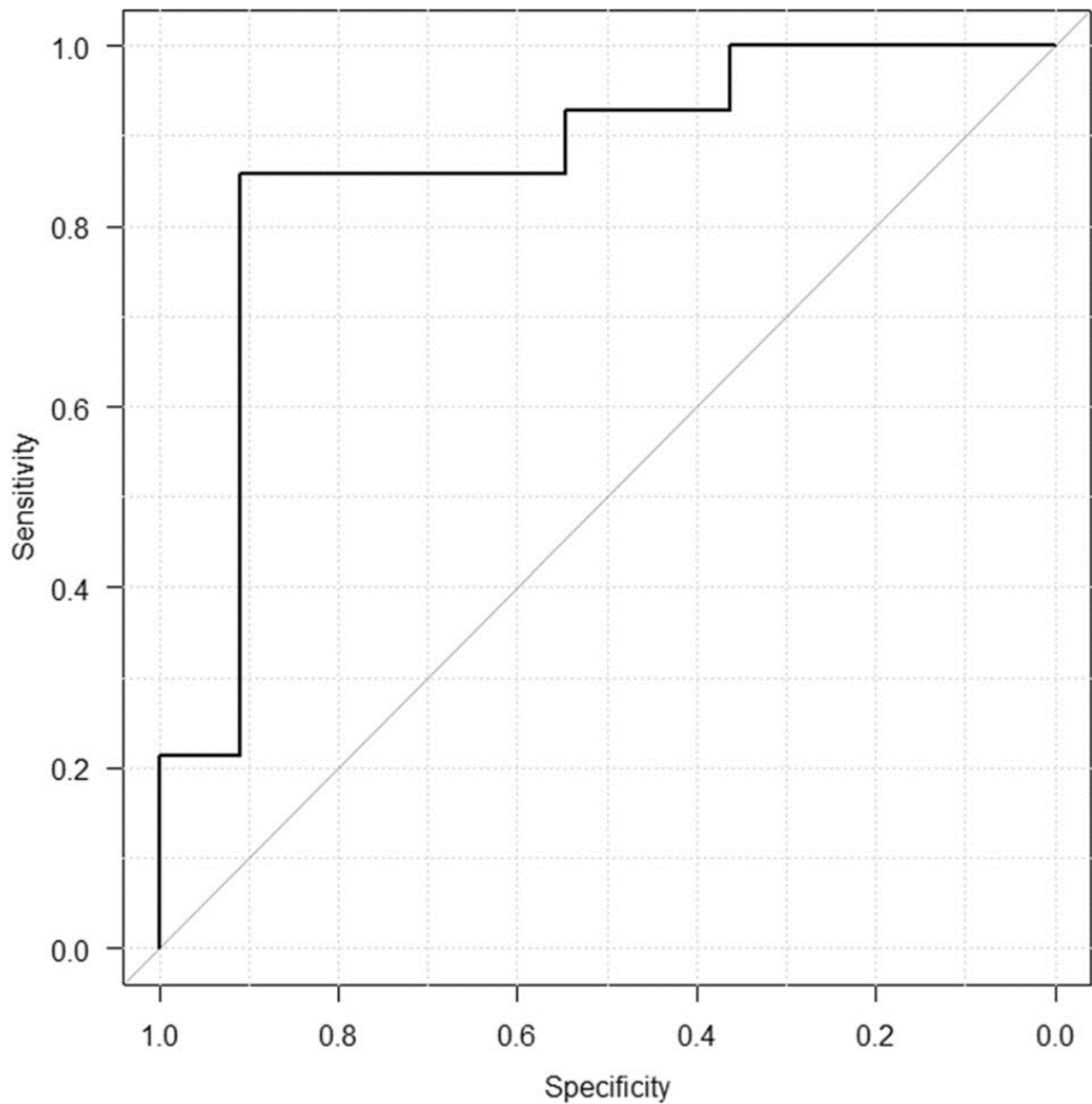
Layer	Output Shape	Connected to
Input1: X1 Input2: X2	1, 64, 64 1, 64, 64	
Mul (X2 × X1)	1, 64, 64	Input1, 2
Conv_1 Batch_norm_1 ReLU_1	16, 30, 30	Mul (X2 × X1)
Conv_2 Batch_norm_2 ReLU_2	16, 30, 30	ReLU_1
Dropout	16, 30, 30	ReLU_2
Full_connection_1 Batch_norm_3	100	Dropout
Full_connection_2	100	Batch_norm_3
Concatenate	103	Input3: X3 Full_connection_2
Full_connection_3 ReLU_3	100	Concatenate
Full_connection_4	1	ReLU_3

CNN: convolutional neural network, Mul: multiply, Conv: convolution, Batch_norm: batch normalization,

ReLU: rectified linear unit

自施設のデータを使った深層学習モデルは深吸気息止め照射をすることによる心臓線量の変化量を感度 85.7%、特異度 90.9%と高精度に予測することができた。ROC 曲線を描くと、変化量のカットオフ値 1.02Gy で最も高い AUC 値 (0.864) が得られた。

図：ROC 曲線



3. 考察

本研究において、胸部X線深層学習モデルは心臓線量を予測する高い性能を示した。術前に撮影された胸部X線画像を予測に用いるため、より早いタイミングで予測結果を得られる利点が考えられた。CTの代わりに胸部X線画像を用いることで、より一般性が高く早期に取得可能な検査を使用でき、CT検査を省略して深吸気息止め照射の不要例を早期に判別することで、検査に伴う被曝の大幅な低減と患者や医療者の負担の軽減が期待できる。今回の研究期間内では研究を完了させることはできず、本モデルの一般化のためには多施設データを用いた更なる検証が必要である。

現在各施設のデータ収集が完了し、本モデルの検証を進めている。今後の展望として乳癌以外の疾患にも応用できるような予測モデルの構築を目指している。2023 年度若手研究に採択され、今後さらなる研究を続けている予定（課題名：胸部 X 線深層学習モデルによる乳癌放射線治療の計画線量予測とその応用）。

4. 参考文献

[1] 日本放射線腫瘍学会 2015 年全国構造調査報告

https://www.jastro.or.jp/medicalpersonnel/data_center/JASTRO_NSS_2015-01_2021.pdf

[2] Darby SC, et al. N Engl J Med. 2013;368: 987–998.

[3] Koide Y, et al. J Radiat Res. 2021. doi:10.1093/jrr/rrab075

[4] Koide Y, et al. Radiat Oncol. 2022;17. doi:10.1186/s13014-022-02002-9

5. 論文発表

【学会発表】

小出雄太郎、Development of deep learning chest X-ray model for cardiac dose prediction in left-sided breast cancer radiotherapy. 米国放射線腫瘍学会 2022 年 10 月 Web

【論文発表】

Koide Y, Aoyama T, Shimizu H, et al. Sci Rep 2022;12:13706.

論文名：Development of deep learning chest X-ray model for cardiac dose prediction in left-sided breast cancer radiotherapy.

発表年月：2022 年 8 月

誌名：Scientific Reports