

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：81404

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K08239

研究課題名（和文）MR画像をベースとした深層学習による脳循環画像の予測・生成の試み

研究課題名（英文）Preliminary study for deep learning of MR images to predict maps for cerebral blood flow and metabolism

研究代表者

松原 佳亮 (Keisuke, Matsubara)

秋田県立循環器・脳脊髄センター（研究所）・放射線医学研究部・主任研究員

研究者番号：40588430

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では被検者への負担が少ない簡便な脳循環評価法の提案・開発を目的とし、MR画像をベースとした深層学習による脳循環画像の予測・生成を試みた。

MR画像のみでの酸素摂取率(OEF)画像の予測は困難であるが、PET検査で得たCBF画像、CBV画像を入力として加えることでOEF画像の予測が可能（一致度：0.597 +/- 0.082）であることが判明した。本研究によりMR及びPET画像をベースとした深層学習によりOEF画像の予測・生成が可能であることが示され、酸素15 PET検査の検査時間短縮の可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

OEF画像の取得は酸素15 PET検査を行うことで可能だが、撮像時間が長くなるなど被検者への負担が大きい問題があった。本研究課題によりOEF画像の取得に必要な15O-02ガスによる撮像だけでなく、CBV画像の取得に必要な15O-COガスによる撮像も省略可能であり、本法を用いることで酸素15 PET検査の検査時間を30分程度短縮できる可能性が示された。本研究課題の成果はPETの検査における被検者への負担軽減に大きく寄与し得るものである。

研究成果の概要（英文）：We attempted to predict cerebral oxygen extraction fraction (OEF) maps by deep learning model trained with MR images, and propose a simple method for cerebral blood flow and metabolism with less burden for examinee.

We failed to predict OEF maps from only MR images. However, we demonstrated that OEF maps can be predicted by deep learning with cerebral blood flow (CBF) and cerebral blood volume (CBV) maps [intraclass correlation: 0.597 +/- 0.082]. These findings suggest deep learning model trained with MR and PET images can predict OEF maps, and shorten the examination time for 15O PET study.

研究分野：医用画像工学；核医学

キーワード：深層学習 PET MRI 脳循環代謝

に減衰させた。学習の際には体軸を軸とした回転及び水平方向の反転によるデータ拡張を行った。実装には PyTorch ライブラリ(<https://pytorch.org>)を用いた。

(4)検証

入力データによる予測性能の違いを検証するために、113 例の訓練データに対して 5-fold cross validation を実施した。ルーチン MR 画像及び CBF, CBV 画像を入力データとして学習した場合の検証においては、ルーチン MR 画像(MRI)、安静時 CBF 画像 (CBF)、負荷時 CBF 画像(sCBF)、CBV 画像の 4 種類について、表 1 の 15 の組み合わせを検証し、比較した。予測性能の評価には脳における OEF 値の級内相関係数 (ICC, intraclass correlation)を用いた。

上記検証で最も予測性能の高い入力データの組み合わせについて、25 例のテストデータによるテストを実施した。

	Combinations
Single-image types	MRI; CBF; sCBF; CBV
Two-image types	MRI+CBF; MRI+sCBF; MRI+CBV; CBF+sCBF; CBF+CBV; CBV+sCBF
Three-image types	MRI+CBF+sCBF; MRI+CBF+CBV; MRI+CBV+sCBF; CBF+CBV+sCBF
Full model	MRI+CBF+CBV+sCBF

表 1 検証した入力データの組み合わせ

4. 研究成果

ルーチン MR 画像(T1-, T2-, T2*-強調画像)及び SWI を入力データとして学習した場合

ルーチン MR 画像及び SWI を入力データとして学習した場合には、検証データに対しての OEF 画像が正しく予測できなかった(図 2)。この結果から MR 画像単独での OEF 画像の予測は困難であることが示唆された。上記の結果から PET 画像の入力も必要と考え、CBF、CBV 画像を入力して学習した場合の検証を行った。

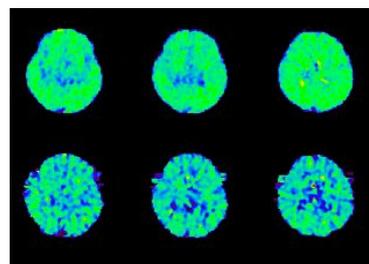


図 2 MR 画像及び SWI による予測結果 (上：実際の OEF 画像、下：予測した OEF 画像)

ルーチン MR 画像及び CBF, CBV 画像を入力データとして学習した場合

各入力データの組み合わせによる ICC の値を図 3 に示す。

ICC 値が最も高かった組み合わせは MRI, CBF, sCBF, CBV を全て用いた場合 (0.597 ± 0.082)、最も低かった組み合わせは MRI 単独で学習した場合 (0.468 ± 0.087)であった。このことから CBF 画像等 PET 画像を用いることで、OEF 画像の予測が可能であることが示唆された。

また、MR 画像及び安静時 CBF 画像のみを用いた場合の ICC は 0.574 ± 0.080 であり、全ての画像を用いた場合との有意差がみられなかった。このことから OEF 画像の予測においては負荷時 CBF 画像や CBV 画像は必ずしも必要とはならないことが示唆された。

テストデータに対して訓練モデルを適用し、OEF 画像を予測した結果を図 4 に示す。図 4 の上部のように訓練に使っていないテストデータにおいても OEF 画像の予測ができた。一方で、図 4 下部のように極端に左右差のある症例では上手く予測ができなかった。これは OEF に極端な左右差が現れる例が少なく、こうした例に対する訓練が不十分で過学習が起きてしまったことが考えられた。正確な OEF 画像の予測には極端な左右差のある例も含めたさらなる学習が必要である。

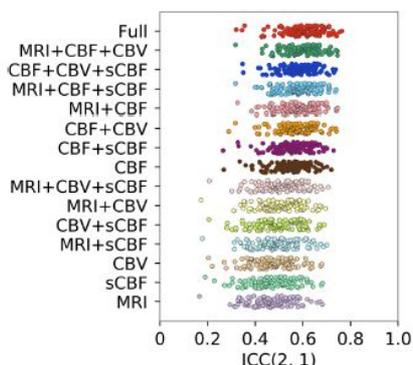


図 3 入力データの組み合わせによる ICC 値の違い

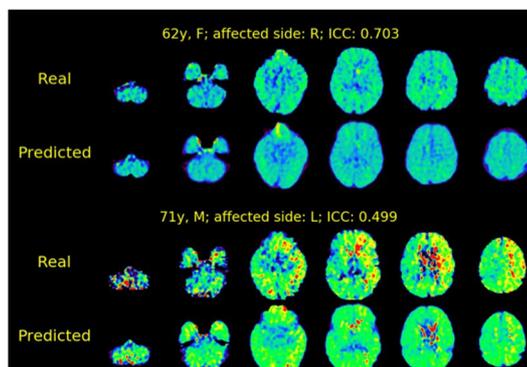


図 4 テストデータに対する OEF 画像予測結果

本研究課題では当初目標としていた MR 画像のみからの OEF 画像の予測はできなかったが、CBF、CBV 画像を追加することで OEF 画像の予測ができることが判明した。また、CBV 画像

を用いなくても同等の予測が可能であることがわかった。これらの知見から、OEF 画像の取得に必要な $^{15}\text{O-O}_2$ ガスによる撮像だけでなく、CBV 画像の取得に必要な $^{15}\text{O-CO}$ ガスによる撮像も省略可能であり、本法を用いることで酸素 15 PET 検査の検査時間を 30 分程度短縮できる可能性が示された。

上記の研究成果については関連学会で発表し、論文に纏めた。また、上記の研究成果も含め、深層学習による PET 画像生成に関する総説を執筆した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Matsubara Keisuke, Ibaraki Masanobu, Shinohara Yuki, Takahashi Noriyuki, Toyoshima Hideto, Kinoshita Toshibumi	4. 巻 16
2. 論文標題 Prediction of an oxygen extraction fraction map by convolutional neural network: validation of input data among MR and PET images	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery	6. 最初と最後の頁 1865 ~ 1874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11548-021-02356-7	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 Matsubara Keisuke, Ibaraki Masanobu, Nemoto Mitsutaka, Watabe Hiroshi, Kimura Yuichi	4. 巻 36
2. 論文標題 A review on AI in PET imaging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Annals of Nuclear Medicine	6. 最初と最後の頁 133 ~ 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12149-021-01710-8	査読の有無 有
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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松原 佳亮, 茨木 正信, 篠原 祐樹, 高橋 規之, 豊嶋 英仁, 木下 俊文
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークによるMR及びPET画像からの酸素摂取率画像の予測
3. 学会等名 第39回日本医用画像工学会大会 (JAMIT 2020)
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
研究分担者	茨木 正信 (Ibaraki Masanobu) (40360359)	秋田県立循環器・脳脊髄センター (研究所)・放射線医学研究部・主任研究員 (81404)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	篠原 祐樹 (Yuki Shinohara) (60462470)	秋田県立循環器・脳脊髄センター（研究所）・放射線医学研究部・主任研究員 (81404)	

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