

令和 6 年 4 月 23 日現在

機関番号：24405

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K16769

研究課題名（和文）ディープラーニングによるDSA画像のモーションアーチファクトからの開放

研究課題名（英文）Elimination of motion artifacts from DSA images using deep learning

研究代表者

植田 大樹 (Ueda, Daiju)

大阪公立大学・大学院医学研究科・研究員

研究者番号：90779480

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）：本研究では、ディープラーニングを用いてDSA画像のミスレジストレーションアーチファクトを低減するモデルを開発した。頭部及び腹部の血管造影画像を用いて検証を行ったところ、ディープラーニングで生成した画像は、従来のDSA画像と比較して定量的にも定性的にも同等以上の画質を示した。本モデルにより、体動のある症例においてもアーチファクトの少ない血管像が得られ、より円滑な検査・治療の実現が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したディープラーニングモデルは、従来のDSA画像に伴うミスレジストレーションアーチファクトを大幅に低減し、体動のある症例においても鮮明な血管像を提供できる。これにより、血管造影検査・治療の精度向上や時間短縮が期待でき、患者への負担軽減にもつながる。本モデルは、世界に先駆けて開発された革新的技術であり、国内外の医療現場への普及が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a deep learning model to reduce misregistration artifacts in DSA images. Validation using cerebral and abdominal angiograms showed that the images generated by deep learning were quantitatively and qualitatively equivalent to or better than conventional DSA images. This model allows for less artifactual vascular images even in cases with body motion, which is expected to enable smoother examinations and treatments.

研究分野：放射線診断学・IVR学

キーワード：人工知能 AI 深層学習 Deep learning 画像変換 GAN 敵対的学習 DSA

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

IVR において欠くことのできない重要な技術の一つが DSA である。DSA は、ライブ画像からマスク画像をサブトラクションすることで造影された血管のみを描出する技術であり、病変までの血管走行の確認から病変の診断にまで広く用いられている。DSA は、IVR における必須の画像診断ツールとして確立されており、その有用性は広く認識されている。

しかしながら、DSA にはいくつかの課題も存在する。特に、患者の動きによるアーチファクトの発生は、DSA の大きな問題の一つである。体動や呼吸、腸管蠕動などによって、ライブ画像とマスク画像の位置ずれが生じると、サブトラクション処理によってミスレジストレーションアーチファクトが発生する。このアーチファクトは、血管の描出を妨げ、診断や治療の妨げとなる。特に、緊急を要する症例や、意識レベルの低下した患者、協力が得られない患者などでは、体動によるアーチファクトの発生リスクが高く、DSA の適用が困難となる場合がある。

また、ミスレジストレーションアーチファクトが発生した場合、再撮影が必要となることがある。再撮影は、患者への追加の放射線被曝や造影剤投与を伴うため、可能な限り避けることが望ましい。しかしながら、アーチファクトが強い場合、再撮影せざるを得ないことも多く、患者への負担増大や検査時間の延長につながっている。

このような DSA の課題に対し、これまでもいくつかの解決策が提案されてきた。例えば、リマスク処理やピクセルシフト処理などの画像処理技術を用いて、アーチファクトを軽減する試みがなされてきた。しかしながら、これらの手法は、体動の大きさやパターンによっては十分な効果が得られないことがあり、根本的な解決策とはいえない状況であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ディープラーニングの技術を応用し、DSA 画像のミスレジストレーションアーチファクトを低減する新たな手法を開発することである。具体的には、敵対的生成ネットワーク (GAN) の一種である image-to-image translation の技術を用いて、体動などによるアーチファクトから開放された DSA 画像生成 AI を開発し、その性能を定量的・定性的に評価することを目指す。

従来のミスレジストレーション低減手法は、主にリマスク処理やピクセルシフト処理などの画像処理技術に基づいていた[1]。これらの手法は、体動によるマスク画像の位置ずれを補正することでアーチファクトを低減するというアプローチをとっている。しかしながら、体動の大きさやパターンによっては、これらの手法では十分なアーチファクト低減効果が得られないことがあった。また、これらの手法は、あくまでもマスク画像を用いた補正処理であるため、根本的にミスレジストレーションの問題を解決することはできない。

これに対し、本研究で開発する AI は、全く新しいアプローチで DSA のアーチファクト低減を実現する[2, 3]。本 AI は、ライブ画像のみから DSA 画像を直接生成するためのディープラーニングモデルである。このモデルは、大量のライブ画像と DSA 画像のペア(ミスレジストレーションのないもののみ)を用いて学習される。学習の過程で、本 AI はライブ画像から血管部分のみを抽出し、背景部分を除去するための特徴量を自動的に獲得する。これにより、AI は、マスク画像を一切使用することなく、ライブ画像のみから DSA 画像を生成することができる。

AI によって生成された DSA 画像は、従来の DSA 画像と比較して、ミスレジストレーションアーチファクトが大幅に低減されることが期待される。これは、本 AI がマスク画像を使用しないためである。つまり、AI は、体動によるマスク画像とライブ画像の位置ずれの影響を受けない

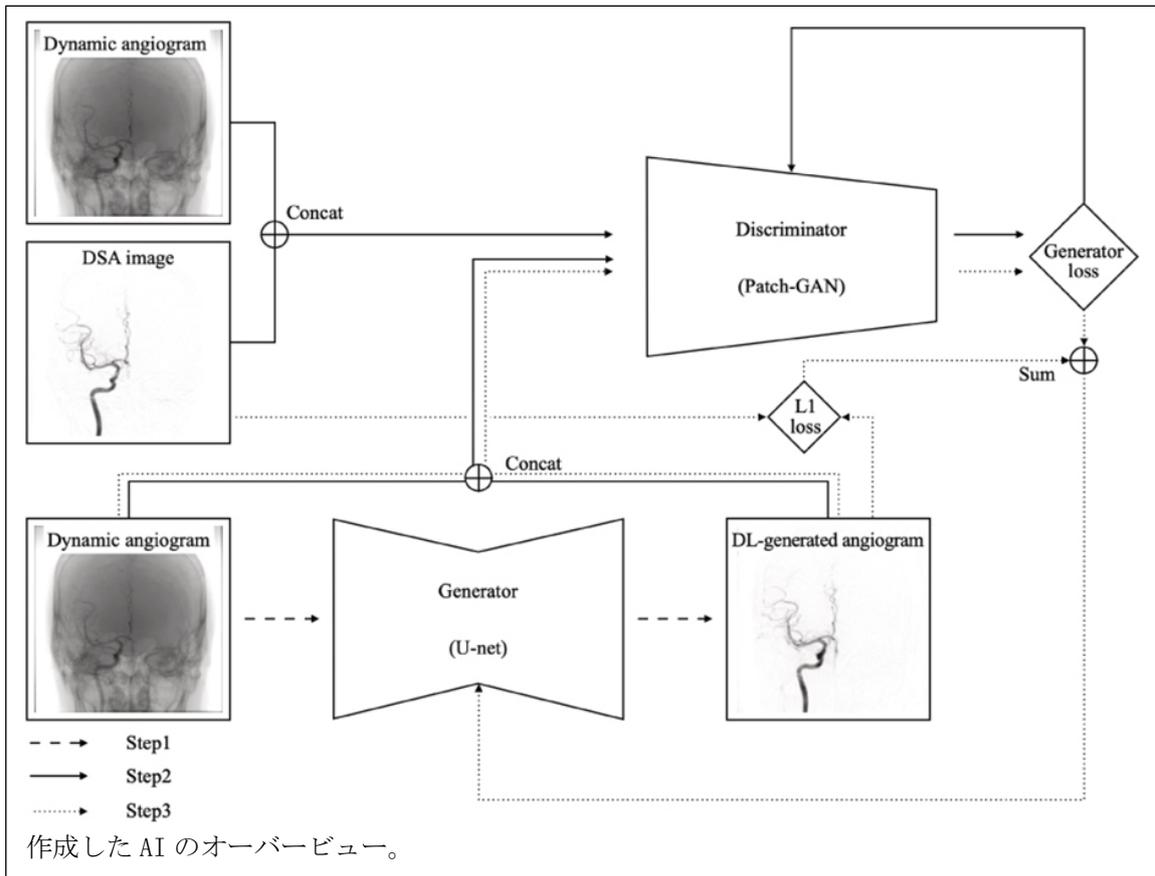
いため、アーチファクトの発生を根本的に防ぐことができる。

本研究の目的は、このような AI の開発を通じて、DSA のミスレジストレーション問題を解決し、より高品質で患者負担の少ない IVR を実現することである。本 AI が実用化されれば、体動の多い患者や緊急症例に対しても、高品質の DSA 画像を安定して提供できるようになる。これにより、IVR の診断精度や治療成績の向上、再撮影の減少による患者負担の軽減、検査時間の短縮などの多くのメリットが期待される。

3. 研究の方法

本研究では、頭部血管造影検査[2]及び腹部血管造影検査[3]で撮影された DSA 画像とそのライブ画像のペアを用いてディープラーニングモデルを学習した。本 AI の学習には、ミスレジストレーションアーチファクトのない画像のみを用いた。これは、アーチファクトを含む画像を学習に用いると、本 AI がアーチファクトをも再現してしまう可能性があるためである。学習に用いる画像ペアは、放射線科医によって慎重に選択され、アーチファクトの有無が確認された。

本 AI のアーキテクチャには、pix2pix ネットワークを採用した[4]。pix2pix は、条件付き敵対的生成ネットワーク (cGAN) の一種であり、ペアの画像間のマッピングを学習することができる (図)。本研究では、ライブ画像を条件として、DSA 画像を生成するように pix2pix を適用し



た。これにより、ライブ画像から直接血管像のみを描出する AI が構築された。pix2pix は、Generator ネットワークと discriminator ネットワークの 2 つのサブネットワークから構成される。Generator は、ライブ画像を入力として DSA 画像を生成する役割を担う (図: Step1)。一方、Discriminator は、生成された DSA 画像と実際の DSA 画像を識別する役割を担う (図: Step2)。これら 2 つのネットワークを競争的に学習させることで (図: Step3)、Generator は徐々に実際の DSA 画像に近い画像を生成できるようになる。

学習の過程では、ライブ画像と DSA 画像のペアを大量に用いて本 AI を反復的に更新した。学

学習時のハイパーパラメータは、経験的に最適な値を選択した。また、学習の進行に伴って、生成画像の品質を定量的に評価し、最も高い性能を示した AI を最終的な学習済みモデルとして採用した。

学習済み AI の評価は、定量評価と定性評価の 2 つの方法で行った。定量評価では、**ミスレジストレーションのない症例**に対して Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) と Structural Similarity (SSIM) を用いて、本 AI が生成した画像と元の DSA 画像との類似度を測定した。PSNR は、2 つの画像間の画素値の差に基づいて計算される指標であり、値が高いほど画像が類似していることを示す。一方、SSIM は、画像の構造的な類似性を評価する指標であり、輝度、コントラスト、構造の 3 つの要素を考慮して計算される。SSIM も、値が高いほど画像が類似していることを示す。これらの指標を用いることで、本 AI 生成画像の客観的な品質評価が可能となる。

定性評価では、**ミスレジストレーションのある症例**に対して、複数の放射線科医により、本 AI 生成画像の視覚的な評価を行った。評価項目は、血管の描出度合い、アーチファクトの低減度合い、臨床的有用性などとした。血管の描出度合いは、本 AI 生成画像において、血管構造が明瞭に描出されているかを評価する指標である。アーチファクトの低減度合いは、本 AI 生成画像において、ミスレジストレーションアーチファクトが効果的に低減されているかを評価する指標である。臨床的有用性は、本 AI 生成画像が実際の臨床現場で有用に活用できるかを総合的に評価する指標である。これらの評価は、5 段階のリッカートスケールを用いて行われた。

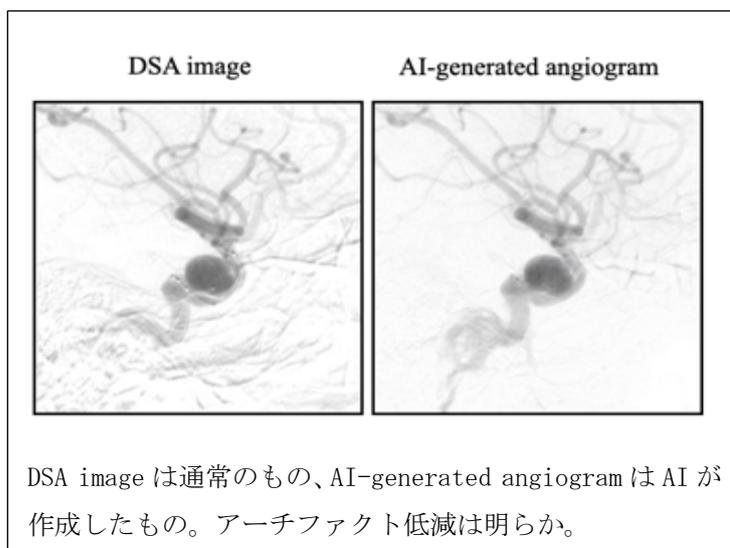
4. 研究成果

本研究では、ディープラーニングを用いて DSA 画像のミスレジストレーションアーチファクトを低減する AI を開発し、その有効性を定量的・定性的に検証した。

頭部血管造影画像[2]及び腹部血管造影画像[3]を用いた検証では、ミスレジストレーションのない症例に対する定量評価である PSNR と SSIM は高く、いずれも元の DSA 画像と高い類似度を示した。このことは、本 AI が生成した画像が、元の DSA 画像とほぼ同等の画質を有していることを意味する。また、放射線科医による視覚評価においても、本 AI 生成画像はミスレジストレーションアーチファクトを大幅に低減し、従来の DSA 画像と比較して血管の描出度合いや臨床的有用性が高いと評価された(図)。特に、体動のある患者の画像に対しても、本 AI は安定して高品質の画像を生成することができた。これは、本 AI が実臨床における様々な状況下でも有効に機能することを示唆している。

これらの結果から、本研究で開発した AI は、頭部・腹部のいずれ

の領域においても、DSA 画像のミスレジストレーションアーチファクトを効果的に低減できることが示された。本 AI は、体動のある患者に対する血管造影検査・治療の質の向上に大きく貢献することが期待される。従来の DSA では、体動によるアーチファクトのために再撮影が必要となることがあり、患者への負担増加や検査・治療の遅延につながっていた。本 AI を用いることで、そのような問題を解消し、より円滑で患者負担の少ない検査・治療の実現が可能となる。



本研究の成果は、世界的にも先駆的な取り組みであり、医用画像処理分野における新たな可能性を示すものである。ディープラーニングを用いて DSA 画像のアーチファクトを低減する試みは、これまでにほとんど報告がなく、本研究は画期的な成果といえる。また、本研究で開発した AI は、汎用性の高い pix2pix ネットワークをベースとしているため、他の部位や他のモダリティへの応用も比較的容易であると考えられる。

また、本研究で得られた知見は、ディープラーニングを用いた医用画像処理の発展に寄与すると思われる。本研究では、ディープラーニングによって、従来の画像処理技術では困難であったアーチファクトの低減を実現した。このことは、ディープラーニングが医用画像処理において非常に有用なツールであることを示している。

引用文献

- [1]: Levin DC, Schapiro RM, Boxt LM, Dunham L, Harrington DP, Ergun DL. Digital subtraction angiography: principles and pitfalls of image improvement techniques. *AJR Am J Roentgenol.* 1984 Sep;143(3):447-54. doi: 10.2214/ajr.143.3.447.
- [2]: Ueda D, Katayama Y, Yamamoto A, Ichinose T, Arima H, Watanabe Y, Walston SL, Tatekawa H, Takita H, Honjo T, Shimazaki A, Kabata D, Ichida T, Goto T, Miki Y. Deep Learning-based Angiogram Generation Model for Cerebral Angiography without Misregistration Artifacts. *Radiology.* 2021 Jun;299(3):675-681. doi: 10.1148/radiol.2021203692.
- [3]: Yonezawa H, Ueda D, Yamamoto A, Kageyama K, Walston SL, Nota T, Murai K, Ogawa S, Sohigawa E, Jogo A, Kabata D, Miki Y. Maskless 2-Dimensional Digital Subtraction Angiography Generation Model for Abdominal Vasculature using Deep Learning. *J Vasc Interv Radiol.* 2022 Jul;33(7):845-851.e8. doi: 10.1016/j.jvir.2022.03.010.
- [4]: Isola P, Zhu JY, Zhou T, Efros AA. Image-to-image translation with conditional adversarial networks. In: *Proceedings of the 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. 1125-1134.

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 2件）

1. 著者名 Hiroki Yonezawa, Daiju Ueda, Akira Yamamoto, Ken Kageyama, Shannon Walston, Takehito Nota, Kazuki Murai, Satoyuki Ogawa, Etsuji Sohawa, Atsushi Jogo, Daijiro Kabata, Yukio Miki	4. 巻 33(7)
2. 論文標題 Maskless 2-Dimensional Digital Subtraction Angiography Generation Model for Abdominal Vasculature using Deep Learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vascular and Interventional Radiology	6. 最初と最後の頁 845-851.e8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jvir.2022.03.010	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 Daiju Ueda, Yutaka Katayama, Akira Yamamoto, Tsutomu Ichinose, Hironori Arima, Yusuke Watanabe, Shannon Walston, Hiroyuki Tatekawa, Hirotaka Takita, Takashi Honjo, Akitoshi Shimazaki, Daijiro Kabata, Takao Ichida, Takeo Goto, Yukio Miki	4. 巻 299(3)
2. 論文標題 Deep Learning-based Angiogram Generation Model for Cerebral Angiography without Misregistration Artifacts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Radiology	6. 最初と最後の頁 675-681
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1148/radiol.2021203692	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7件（うち招待講演 6件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Hiroki Yonezawa, Daiju Ueda, Akira Yamamoto, Ken Kageyama, Shannon Walston, Takehito Nota, Kazuki Murai, Satoyuki Ogawa, Etsuji Sohawa, Atsushi Jogo, Daijiro Kabata, Yukio Miki
2. 発表標題 Generation of synthetic subtraction angiograms in abdominal region using deep learning
3. 学会等名 The Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daiju Ueda
2. 発表標題 AI applications to aneurysms
3. 学会等名 The 13th Asian-Oceanian Congress of Neuroradiology（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daiju Ueda
2. 発表標題 Deep Learning for Cerebral Aneurysms Diagnosis and Treatment
3. 学会等名 The 59th Annual Meeting of the American Society of Neuroradiology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daiju Ueda
2. 発表標題 AI Applications to cerebrovascular imaging
3. 学会等名 Society for Imaging Informatics in Medicine 2021 Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daiju Ueda
2. 発表標題 AI applications to neuroradiology
3. 学会等名 The 3rd Annual Scientific Meeting of Asian Society of Magnetic Resonance in Medicine (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植田大樹
2. 発表標題 AIによるMRAからの脳動脈瘤検出とDSAのミスレジストレーションからの開放
3. 学会等名 神経放射線学会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daiju Ueda, Rennie Chen, Arunnit Boonrod, Tan Min On
2. 発表標題 Young Leaders Roundtable: What to expect for AI Reading Room 2043
3. 学会等名 The Asian-Oceanian Congress of Neuroradiology 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023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