

令和 4 年 5 月 7 日現在

機関番号：35413

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K18291

研究課題名（和文）深層学習を応用した動態3D-DSA法の開発

研究課題名（英文）Development of 3D-DSA using by Deep Learning

研究代表者

山本 めぐみ（Yamamoto, Megumi）

広島国際大学・保健医療学部・講師

研究者番号：50412333

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：DSA(Digital Subtraction Angiography)は脳血管造影検査や血管内治療(IVR)に使用されている。高精細画像が得られ、立体的に様々な角度から血管等を観察できる。しかしDSAには2つ課題がある。被検者の動きに非常に弱くアーチファクトが生じやすいため、適用部位が限定される。マスク画像取得のための造影前撮影による被曝線量増加と検査時間の延長がある。本研究では深層学習を用いて上記2つの問題点を解決する新しいDSA法の開発を行うことを目的とした研究を行った。開発した方法では、マスク像の撮影を必要とせず、患者や臓器が動いてもアーチファクトはほとんど生じない。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではDSAのマスク画像作成に、深層学習の一種であるCNNを使用する。本研究ではライブ画像からマスク画像を作り出す画像処理に直接、深層学習を使用した。これにより造影前のマスク画像取得が不要になるため、任意の角度でDSAが作成でき被曝と検査時間の短縮に繋がる。本研究結果は、DSAの適用部位を限定することなく、通常の血管造影像やDSAでは観察できなかったあらゆる部位の微細血管までを、立体的に様々な角度から把握することができ、従来の血管造影では明らかにならなかった血管の形態や質、内膜や血栓・石灰化などの三次元的な位置を把握でき、診断や手術において非常に有用である。

研究成果の概要（英文）：DSA (Digital Subtraction Angiography) technique is used for cerebral angiography and endovascular treatment (IVR). It provides high-definition images and enables diagnosis of blood vessel diseases from various angles of patients. However, DSA has two problems. (1) Since, it is extremely sensitive to the movement of the examinee and it is resulted in comparatively large artifacts, the organ to apply DSA is limited. (2) Increased radiation dose and longer examination time due to before contrast imaging for mask image acquisition. The purpose of this study was to develop a new DSA method that solves the above two problems using deep learning based technique.

In developed method, mask image acquisition is not required. Moreover, artifacts of DSA image are not visualized when patient or organ is moved. Stopping breathing of examinee is no longer needed at DSA study by developed method.

研究分野：医用画像処理

キーワード：血管造影 DSA 深層学習

様式 C-19、F-19-1、Z-19
(共通)

1. 研究開始当初の背景

世界の死因疾病において脳血管疾患は2位、日本では3位であり年々増加傾向にある(厚生労働省人口動態統計,2015 など)。脳血管疾患には出血性脳血管疾患と虚血性脳血管疾患の2つの種類があり、合わせて脳卒中ともいわれる。代表的な疾患として、出血性脳血管疾患には脳動脈瘤破裂やくも膜下出血、虚血性脳血管疾患には脳梗塞などがある。

これらの脳血管疾患の診断には3D-DSA(Digital Subtraction Angiography)が頻繁に用いられている。3D-DSAは、撮影系(Cアーム)を被検者の周りで回転させながらマスク像とライブ像をそれぞれ撮影し、造影剤注入後の画像と造影剤注入前の差分を得ることによって、骨構造等の背景画像を消去し、造影剤が存在する血管のみを描出する手法である。血管が骨や臓器等と重なり、観察が困難な造影剤の流れも、3D-DSAならば明瞭に観察することができる。

2. 研究の目的

3D-DSA(3 Dimensional Digital Subtraction Angiography)は脳血管造影検査や血管内治療(IVR)に使用されている。高精細画像が得られ、立体的に様々な角度から血管等を観察できる。しかし3D-DSAには主に2つの課題がある。被検者の動きに非常に弱くアーチファクトが生じやすいため、適用部位が限定されること、マスク画像取得のための造影前撮影が必須のため、その撮影による被曝線量増加と検査時間の延長することがある。本研究では深層学習を用いて上記2つの課題を解決する新しい3D-DSA法の開発を行うことを目的とする。開発する3D-DSA法は、腹部・心臓・骨盤・上下肢領域への拡張が期待でき、通常の血管造影では観察困難な微小血管、血管の形態などの情報が得られ、診断や手術において非常に有用となる。

3. 研究の方法

DSAは造影前後の画像を差分して行う。そのため被検者の体動や臓器の動きにより造影前後の位置にズレが生じた場合にアーチファクトが発生する。そこで差分をすることなく、造影画像から直接血管像から疑似DSA像を作成することでアーチファクトの低減をFig.1のように行った。手法は深層学習によるSeg-NetとU-Netを用いた。まず頭部造影画像と腹部造影画像に対してSeg-NetとU-Netを用いた疑似DSA像を作成する実験を行い、どちらが有用であるか確認を行った。その結果を元にDSA像のない冠動脈造影画像に対し、転移学習を行い、出力像の比較を行った。

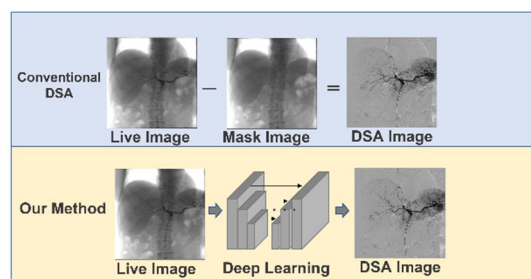


Fig.1 従来法と本手法

1) Seg-Net と U-net による血管描出の比較

腹部血管造影画像(800×800, 1000×1000, 8bits)を血管造影前と血管造影後のDSA像を10ケース用いた。これらの画像を64×64のサイズで切り取り、1845個のROIを作成した。入力に血管造影後の画像、DSA像が出力されるようSeg-NetとU-Netを用いて同じROIの位置で学習を行った。(Fig.2)

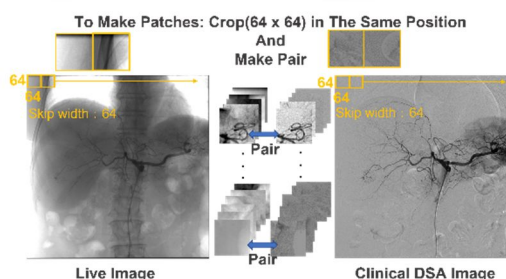


Fig.2 データ作成と学習

用いたSeg-Netの構造をFig.3に、パラメータは以下に示す。

Loss function: mean square error (MSE)
Activation function: ReLU
Optimizer: Adam
Epoch number: 10000
Gradient descent method: mini-batch
Batch size: 100

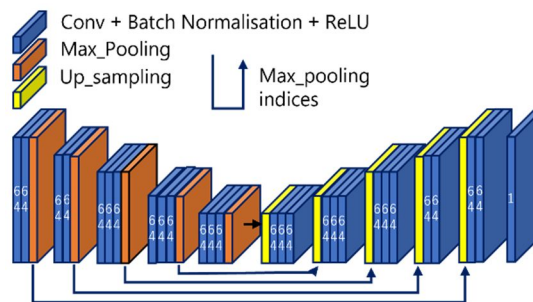


Fig.3 Seg-Net 構造

また、用いたU-netの構造(Fig.4)とパラメータを以下に示す。

Loss function: mean square error (MSE)
Activation function: ReLU
Optimizer: Adam
Epoch number: 10000
Gradient descent method: mini-batch
Batch size: 100.

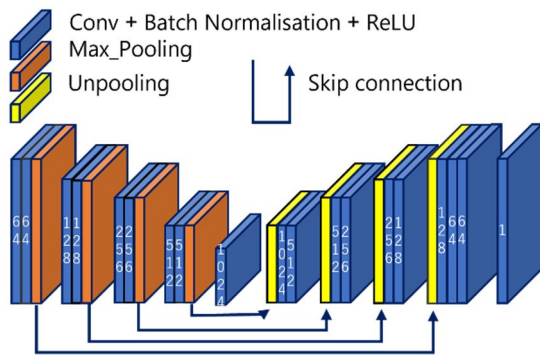


Fig.4 U-Net 構造

2) U-Net を用いた転移学習

使用した画像データを Table1 に示す .学習に用いたデータは 1)同様に 64 x 64 の ROI で切り取り造影後と DSA 画像をペアで学習を行った .

Table1 画像データ

	Image Data		
	Head	Abdomen	Coronal
X-ray Imaging Equipment	GE	GE	SIEMENS
Matrix Size	1000 x 1000	800 x 800, 1000 x 1000	512 x 512
Frame Rate	50 frames/sec	2 frames/sec	15 frame/sec, 30 frame/sec
Case Number	10 cases	10 cases	14 series

学習には Fig.5 に示す頭部と腹部の混合データによる学習モデル, 頭部データのみ学習モデル, 腹部データのみ学習したモデルの 3 パターンを作成し, 心臓領域に対し転移学習を行った U-Net に使用したパラメータを Table2 に示す .

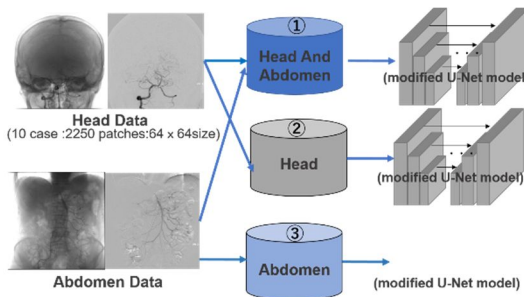


Fig.5 転移学習に使用した画像データの組み合わせ

Table2 使用したパラメータ

Parameters	
Training Method	mini-batch
Batch Size	200
Loss Function	Mean Square Error (MSE)
Number of Epoch	500-5000
Optimization	Adam
Activation Function	ReLU

4 . 研究成果

1) Seg-Net と U-net による血管描出の比較

Seg-Net と U-net により血管描出された出力画像を 4 名の診療放射線技師により主観的評価を行った . 指標は Seg-Net と U-net について従来 DSA 画像とモーションアーチファクトの有無について比較した . その結果, 32 例 (8 例 x 診療放射線技師 4 名) 全てで, Seg-Net と U-net を用いた出力画像の方が「Motion Artifact は見えない」と判定された . (Fig.6)

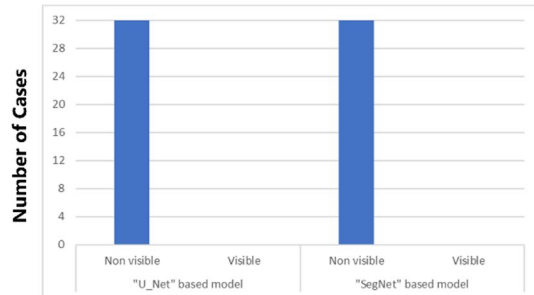


Fig.6 視覚評価の結果

また, Seg-Net と U-Net による出力画像の比較を行った結果 U-Net による出力が Fig.7 に示すよう Seg-Net よりコントラストが高い結果となった .

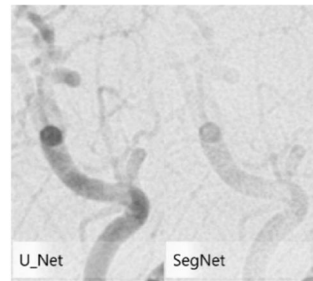


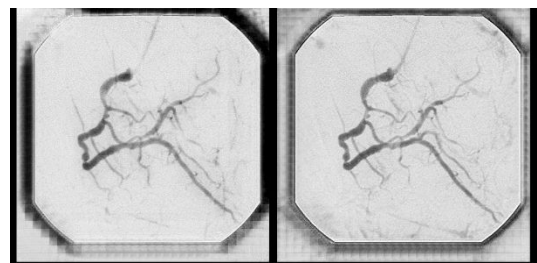
Fig.7 U-net と Seg-Net による出力の比較

2) U-Net を用いた転移学習

Fig.8 に(a)従来法の DSA 像, (b)から(d)に冠動脈造影画像に対し転移学習を行った出力結果の像を示す . (b)は頭部と腹部の混合モデル, (c)は頭部モデル, (d)は腹部モデルを用いた出力像である .



(a) 従来法による DSA (b) 混合モデル



(c) 頭部モデル (d) 腹部モデル

Fig.8 学習データの違いによる出力の比較

続いて放射線技師 4 名が冠動脈造影画像に対し、従来の DSA 法と本手法による出力画像について主観評価を行った。評価は次の 5 段階で行った。1: 従来法 DSA のアーチファクト量がよりかなり増えた, 2: 従来法 DSA のアーチファクト量がより少し増えた, 3: 従来法 DSA のアーチファクト量と同等である, 4: 従来法 DSA のアーチファクト量がより少し減った, 5: 従来法 DSA のアーチファクト量がよりかなり減った。Fig.9 の結果より, 本手法による U-net を用いた方が従来法よりアーチファクトが減った結果が得られた。続いてモデルの検証を行った。

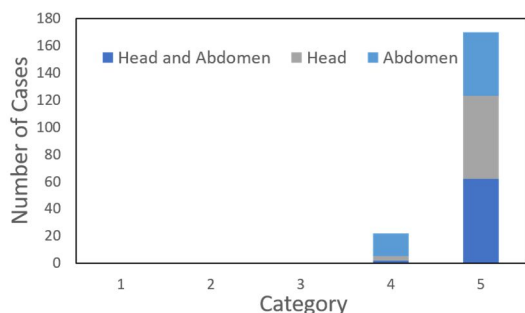


Fig.9 5段階主観評価の結果

今回使用したモデルは頭部と腹部の混合モデル, 頭部モデル, 腹部モデルの 3 つであった。そこで, この 3 つのモデルに対し, 順位法を用いてどのモデルが冠動脈造影 DSA に効果的であるかの検証を行った。最もアーチファクトの少ないモデルを 1 位, 次にアーチファクトの少なモデルを 2 位, 最もアーチファクトの多いモデルを 3 位とした。

1: 1 位頭部と腹部の混合モデル, 2: 2 位頭部モデル, 3: 3 位腹部モデルと仮定した。その結果, 仮説が Fig.10 より採択された。

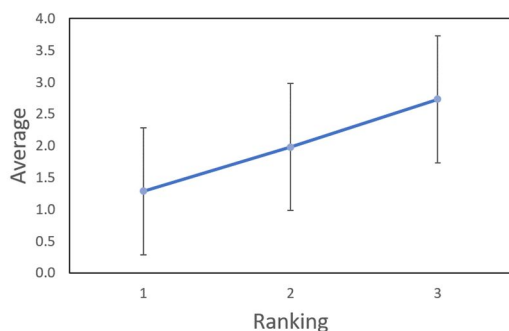


Fig.10 順位法による評価結果

深層学習の転移学習を使用して, 冠動脈造影におけるアーチファクトを低減する DSA 法を開発した。これらの結果は腹部血管造影などの身体の軟部組織領域と頭部血管造影などの骨領域の両方を含む血管造影画像が, 転移学習に基づく冠動脈 DSA のトレーニングデータセットは腹部血管造影および頭部血管造影の両方を使用した方が役に立つことを示した。その理由として, 冠動脈造影画像は軟部組織と骨組織を持つためであると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7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 0件）

1. 著者名 M.Yamamoto, Y.Okura, H.kawata, N.Yamamoto	4. 巻 volume14/spplement1
2. 論文標題 A new method for reducing large motion artifacts of DSA based on deep learning technique	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the International Foundation for Computer Assisted Radiology and Surgery	6. 最初と最後の頁 s4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 山本めぐみ 大倉保彦	4. 巻 -
2. 論文標題 機械学習を用いた冠動脈DSAに関する研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第36回日本医用画像工学会大会	6. 最初と最後の頁 249-252
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 山口雄貴 大倉保彦 山本めぐみ	4. 巻 -
2. 論文標題 対向データを利用した補間法によるSPECT再構成法の開発	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第36回日本医用画像工学会大会	6. 最初と最後の頁 365-371
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Megumi Yamamoto, Yasuhiko Okura	4. 巻 37, sup3
2. 論文標題 A method for reducing motion artifacts of DSA using deep learning technique	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 医学物理	6. 最初と最後の頁 184-184
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 H.Yamanaka,M.Yamamoto,Y.Okura,R.Hashimoto,H.Kawata,N.Yamamoto	4. 巻 CARS(2020)15(Suppl 1)
2. 論文標題 Digital Subtraction Angiography using Semantic Segmentation Model of Deep Learning Technique to reduce Motion Artifacts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Int J CARS(2020)15(Suppl 1)	6. 最初と最後の頁 s16-s17
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 M.Yamamoto,Y.Okura,H.Yamanaka,R.Hashimoto,H.Kawata,N.Yamamoto	4. 巻 CARS(2020)15(Suppl 1)
2. 論文標題 Development of Advanced Deep Learning DSA Method for Coronary Artery using U-Net based Model with Transfer Learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Int J CARS(2020)15(Suppl 1)	6. 最初と最後の頁 s145
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 山本めぐみ,大倉保彦	4. 巻 78(2)
2. 論文標題 深層学習を用いた冠動脈造影におけるDSA法の開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本放射線技術学会雑誌	6. 最初と最後の頁 129-139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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11件(うち招待講演 0件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 山本めぐみ,大倉保彦,川田秀道,山本直樹
2. 発表標題 A method for reducing large motion artifacts of DSA based on deep learning technique
3. 学会等名 日本放射線技術学会第75回総会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M.Yamamoto, Y.Okura, H.kawata, N.Yamamoto
2. 発表標題 A new method for reducing large motion artifacts of DSA based on deep learning technique
3. 学会等名 International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Megumi Yamamoto, Y.Okura
2. 発表標題 Development of a new method to reduce large motion artifacts for DSA used by Deep Learning
3. 学会等名 IUPESM2018-World Congress on Medical Physics & Biomedical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本めぐみ, 大倉保彦
2. 発表標題 機械学習を用いた冠動脈DSAに関する研究
3. 学会等名 第36回日本医用画像工学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山口雄貴, 大倉保彦, 山本めぐみ
2. 発表標題 対向データを利用した補間法によるSPECT再構成法の開発
3. 学会等名 第36回日本医用画像工学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Megumi Yamamoto, Yasuhiko Okura
2. 発表標題 A method for reducing motion artifacts of DSA using deep learning technique
3. 学会等名 114th Scientific Meeting of JSMP (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Megumi Yamamoto, Yasuhiko Okura
2. 発表標題 Development of a New Digital Subtraction Angiography Technique for Coronary Artery via Machine Learning
3. 学会等名 第73回日本放射線技術学会総会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本めぐみ, 大倉保彦
2. 発表標題 DSAへの深層学習の応用
3. 学会等名 第45回日本放射線技術学会秋季学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M.Yamamoto,Y.Okura,H.Yamanaka,R.Hashimoto,H.Kawata,N.Yamamoto
2. 発表標題 Development of Advanced Deep Learning DSA Method for Coronary Artery using U-Net based Model with Transfer Learning
3. 学会等名 CARS(2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H.Yamanaka,M.Yamamoto,Y.Okura,R.Hashimoto,H.Kawata,N.Yamamoto
2. 発表標題 Digital Subtraction Angiography using Semantic Segmentation Model of Deep Learning Technique to reduce Motion Artifacts
3. 学会等名 CARS(2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M.Yamamoto,Y.Okura,H.Yamanaka,R.Hashimoto,H.Kawata,N.Yamamoto
2. 発表標題 Development of coronary DSA method by U-net based model with transfer learning
3. 学会等名 第76回日本放射線技術学会総会学術大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 村垣善浩	4. 発行年 2019年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 第2章第4節
3. 書名 スマート医療テクノロジー	

〔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
---------	---------