

冠動脈 CT における石灰化とステントの自動分類のための 最適な深層学習モデルとパラメータの検証

新潟大学大学院保健学研究科 ○二木 来菜(Futatsugi Raina)

李 鎔範

新潟医療福祉大学医療技術学部診療放射線学科 長谷川 晃

新潟大学医歯学総合病院放射線医学分野 吉村 宣彦

【はじめに】

冠動脈CT(computed tomography coronary angiography:CTCA)は近年、冠動脈の狭窄診断が可能な検査方法として臨床で確立された検査方法となった¹⁾。我が国のガイドラインでは、CTCAは中等度リスクを有する冠動脈狭窄症への適用が推奨され、狭窄の評価に有用であると考えられている²⁾。一方で、CTCAは冠動脈狭窄症に対して陽性的中率が低いことが指摘されている³⁾。石灰化やステントが存在すると、そのアーチファクトにより冠動脈の血管内腔評価が困難となるためであると考えられる。したがって、冠動脈の異常部を自動で検出し、さらに冠動脈内の狭窄を自動解析するコンピュータ支援診断(computer-aided diagnosis:CAD)システムの開発が期待されている。そこで我々はCTCAにおけるコンピュータ支援診断システムの要素技術として、石灰化またはステントを有する冠動脈と通常の冠動脈(正常と表現する)の断面像を深層学習によって自動分類する方法を提案した⁴⁾。今回はその提案法におけるパラメータ及びDCNN(deep convolutional neural network)モデルの最適化について検証した。

【方法】

対象画像は24症例の冠動脈CT画像から再構成した冠動脈の直交断面画像27162枚(石灰化5254枚、ステント1458枚、正常20450枚)で冠動脈に合わせて画像のトリミングを行った。対象画像例をFig. 1に示す。今回調整したDCNNのパラメータは学習係数とバッチサイズであり、学習係数は4種類(10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5})、バッチサイズは3種類(8, 16, 32)で分類精度の比較を行った。また、DCNNモデルとして

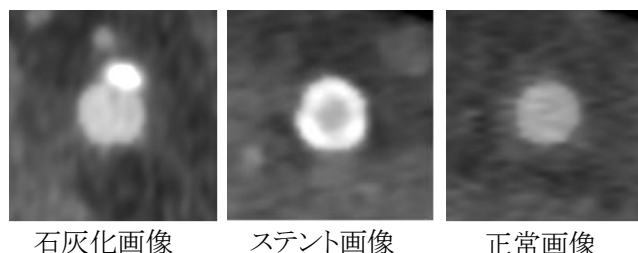


Fig.1 対象画像例

GoogLeNet⁵⁾, VGG-16⁶⁾, VGG-22, VGG-28の4種類を使用し比較した。まず、GoogLeNetによりホールドアウト検証を3回繰り返し施行した後に交差検証を行い、本研究の画像分類に適したパラメータを導出した。その後、導出したパラメータを各DCNNに適用して交差検証にて分類精度の比較を行った。

【結果】

Table 1にGoogLeNetによる学習係数ごと及びバッチサイズ別の分類精度の結果を示す。縦軸は学習係数、横軸はバッチサイズである。上段は対象画像の的中率を示し、下段は(正しく分類した画像の枚数/対象群の画像枚数)を示す。この結果より、学習係数 10^{-3} 、バッチサイズ16のとき、及び学習係数 10^{-2} 、バッチサイズ32のときの的中率が97.9%となり、ほぼ同じ値を示した。そこで、症例単位の検証で12-fold cross validationを追加で実施した。その結果、学習係数 10^{-3} 、バッチサイズ16のときの的中率は92.6%となり、学習係数 10^{-2} 、バッチサイズ32のときの的中率は97.9%となった。そこで4種類のDCNNの分類精度比較では学習係数 10^{-2} 、バッチサイズ32を採用した。Table 2に各DCNNにおける画像群ごとの分類精度の結果を示す。VGG-22で石灰化群、正常群、トータルの的中率が最も高くなった。ステント群の的中率はVGG-28で最も精度が高く75.3%となった。

Table 1 GoogLeNet による学習係数ごと及びバッチサイズ別の分類精度

バッチサイズ/学習係数	8	16	32
10^{-2}	64.1% (5225/8151)	97.4% (7942/8151)	97.9% (7980/8151)
10^{-3}	97.8% (7971/8151)	97.9% (7977/8151)	97.8% (7970/8151)
10^{-4}	97.6% (7954/8151)	97.4% (7940/8151)	97.1% (7912/8151)
10^{-5}	96.7% (7880/8151)	95.8% (7811/8151)	93.3% (7692/8151)

Table 2 4 種類の DCNN の各画像群における分類精度

DCNN/ 対象	GoogLeNet	VGG-16	VGG-22	VGG-28
石灰化	86.9% (4564/5254)	87.0% (4570/5254)	89.3% (4690/5254)	88.0% (4625/5254)
ステント	53.8% (785/1458)	47.9% (699/1458)	71.0% (1035/1458)	75.3% (1098/1458)
正常	96.9% (19814/20450)	97.6% (19965/20450)	98.4% (20127/20450)	98.1% (20052/20450)
トータル	92.6% (25163/27162)	92.9% (25234/27162)	95.2% (25852/27162)	94.9% (25775/27162)

【考察】

全体的中率が高かったVGG-22を使用した時の誤分類例を示す。Fig.2に石灰化群の誤分類例, Fig. 3にステント群の誤分類例, Fig. 4に正常群の誤分類例を示す。石灰化群では, 冠動脈壁に沿った石灰化をステントと分類し, 石灰化が微小なものは正常と分類された (Fig.2)。ステント群では, ステントが石灰化で覆われているものが石灰化画像と誤分類された (Fig.3)。これらの画像を正しく分類させるためには, 石灰化やステントの領域抽出が必要であると考えられる。正常群では, 冠動脈内の造影効果が均一でないものがステントと誤分類され, アーチファクトにより冠動脈が欠けている画像は石灰化と分類された (Fig.4)。

ステント画像の的中率は, 今回使用したDCNNの中で畳み込み層を最も多く備えるVGG-28で最高値を示した。この結果より, ステント画像の特徴をより掴むことのできるDCNNは, 畳み込み層を多く連ねた構造であると考えられる。

今回は, 症例ごとに各群の画像枚数に偏りがあったため, 画像枚数の少なかった石灰化群やステント群の分類精度が低くなったと考えられる。そのため, この2つの群の分類精度を向上させるためには画像枚数の増加が必要であると考えられる。また, 交差検証は症例単位の検証のため, 症例ごとに石灰化やステントの状態が大きく異なり, 学習画像には見られないような特徴を持つ画像をテストに使用すると分類が困難になると推察された。そのためホールアウト検証と比べ分類精度が低下したと考えられる。

【まとめ】

CTCAにおいてDCNNを用いて石灰化群, ステント群, 正常群の自動分類を行い, DCNNのパラメータ調整及びDCNNモデルの最適化を行った。24症例に適用した結果, 学習係数 10^{-3} , バッチサイズ16のVGG-22を使用したとき, 的中率が最も高く95.2%となった。

【参考文献・図書】

- 1) 元山貞子. 循環器疾患における画像診断の進歩～CT・MRI編 MSCTによる冠動脈評価. CIRCULATION 4(1):4-11, (2014)
- 2) 循環器診断と治療に関するガイドライン(2007-2008年度合同研究班報告), 冠動脈病変の非侵襲的診断法に関するガイドライン. Circulation Journal 73(3):1096-1110, (2009)
- 3) 高岡浩之, 佐野剛一, 石橋巖, 他. 冠動脈CTにおける心臓CTの現状と今後の展望. 冠疾患誌, 23(1):55-61, (2017)
- 4) 長谷川晃, 他: 深層学習を用いた冠動脈CTにおける石灰化とステントの自動分類, 日本放射線技術学会雑誌, 74(10):1138-1143, (2018)
- 5) Szegedy C, Liu W, Jia Y, et al. Going deeper with convolutions. Proc of IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp.1-9, (2015)
- 6) Simonyan K and Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. International Conference on Learning Representation, arXiv:1409.1556, (2015)

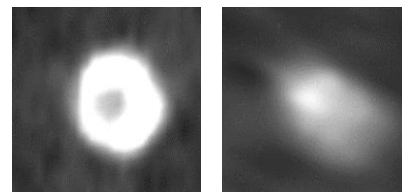


Fig.2 石灰化群の誤分類例

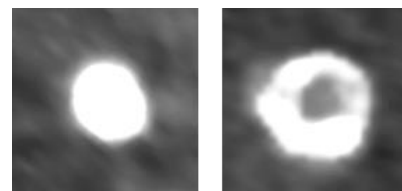


Fig.3 ステント群の誤分類例

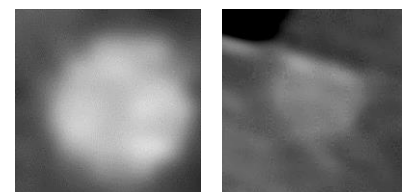


Fig.4 正常群の誤分類例