

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750182

研究課題名(和文) 画像データの多様性と医師の診断傾向の変化を考慮した画像診断支援システムの高性能化

研究課題名(英文) Performance improvement of computer-assisted detection/diagnosis system by considering diversity of image data and temporal change of radiologists' reading characteristics

研究代表者

野村 行弘 (Nomura, Yukihiro)

東京大学・医学部附属病院・特任研究員

研究者番号：60436491

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、画像データの多様性および医師の診断傾向の変化を考慮したCADソフトウェアの継続的な高性能化の方法論について検討した。データの多様性に対応したCADソフトウェアの再学習方法の構築についてシミュレーションによる検討を行い、再学習により施設毎のCADソフトウェアの性能改善できることを確認した。また、日常業務下でCADソフトウェア併用による脳動脈瘤検出傾向の経時変化についても検討を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, a performance improvement of computer-assisted detection/diagnosis (CAD) software by considering diversity of image data and temporal change of reading characteristics was investigated. We investigated the performance improvement of CAD software for each institution based on retraining through a simulation-based study. According to the results, the performance of CAD software for each institution was improved by retraining. We also investigated a temporal variation of detecting characteristics for cerebral aneurysms in a routine work.

研究分野：医用画像処理

キーワード：医用画像 診断支援システム 機械学習 遠隔読影環境 診断傾向

1. 研究開始当初の背景

病変の自動検出をはじめとする医用画像のコンピュータ支援検出/診断 (computer-assisted detection/diagnosis, CAD) ソフトウェアの開発は画像診断の効率・精度の向上を期待して進められており、大きな臨床的意義があると考えられている。

一般に、CAD ソフトウェアはパターン認識技術、特に機械学習技術によるところが大きく、システム開発初期には量・質ともに十分なデータが必要であるが、実際には質・量ともに限られている。このため、臨床使用では装置や撮像条件の違いによる画像データの多様性により期待される性能が得られないことがある。従って、CAD ソフトウェアを臨床使用しながら症例データを継続的に収集し、収集したデータを用いた再学習を行うことができれば、施設毎の CAD ソフトウェアの性能改善が図れると考える。

また、研究代表者は医師と CAD ソフトウェアとの協調により最高の診断性能を得るための方法として、医師の見落としを含む診断傾向に基づく CAD ソフトウェアの処理結果提示方法の構築を進めている。医師の診断傾向は経験などにより経時的に変化するため、診断傾向の経時変化を把握することは個々の医師への診断支援効果の継続的な最適化を図る上で重要と考える。

2. 研究の目的

本研究は、画像データの多様性および医師の診断傾向の変化を考慮した CAD ソフトウェアの継続的な高性能化の方法論を構築することが目的であり、実現に向けて以下の項目について研究を実施した。

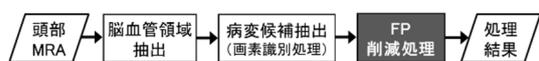
- (1) 画像データの多様性に対応した CAD ソフトウェアの再学習方法の構築
- (2) 日常業務下での CAD ソフトウェア併用による脳動脈瘤検出傾向の経時変化

3. 研究の方法

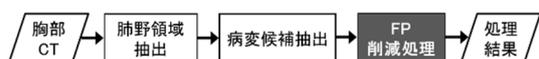
- (1) 画像データの多様性に対応した CAD ソフトウェアの再学習方法

① 偽陽性 (FP) 削減処理用識別器の再学習による施設毎の CAD ソフトウェア性能改善

東大病院 CAD ソフトウェア開発用データベースで学習した2種類の CAD ソフトウェア (胸部 CT 画像の肺結節自動検出、頭部 MRA 画像の脳動脈瘤検出、図 1) を遠隔読影環境にて5施設の症例に対して使用して評価データを収集した (表 1, 2)。収集したデータを用いた再学習による施設毎の CAD ソフトウェアの性能改善についてシミュレーション実験を行った。



(a) 頭部 MRA 画像の脳動脈瘤検出



(b) 胸部 CT 画像の肺結節検出

図 1 CAD ソフトウェアのフローチャート

表 1 症例数内訳 (頭部 MRA)

施設	症例数		
	総数	有病症例	
東大病院	180	82	
遠隔読影環境	A ₁	2,219	217
	A ₂	883	35
	B	676	20
	C	2,052	133
	D	718	23
E	212	4	

※ A₁, A₂ は同一施設 (別装置)

表 2 症例数内訳 (胸部 CT)

施設	症例数		
	総数	有病症例	
東大病院	210	95	
遠隔読影環境	B	5,058	811
	C	1,988	238
	D	686	54
	E	1,408	114

図 2 に再学習における学習症例と評価症例との関係を示す。なお、他施設症例は遠隔読影環境で収集したデータのうち使用施設症例を除いたものである。識別器の学習は図 2 の3種類のデータセットを比較した。このうち、Add all は多施設症例による汎用的な学習を想定しており、Replace は施設毎のカスタマイズを想定している。使用施設症例は有病症例ならびに正常症例数が均等になるようにランダムに5分割し、評価用サブセットを除いた4サブセットを学習用とする。また、Add all の場合は、他施設症例をランダムに4分割した上で使用施設症例の学習用サブセットに加える。なお、サブセットの分割は1,000回試行した。再学習および評価は各サブセットの症例を加える毎に行い (計4 steps)、東大病院データベースのみで学習した場合をベースラインとした。



図 2 学習用症例と評価用症例との関係 (施設毎の CAD ソフトウェア性能改善)

② 画素識別器の再学習による脳動脈瘤自動検出ソフトウェアの性能改善

脳動脈瘤自動検出ソフトウェア (図 1(a)) は病変候補抽出処理に画素識別器 (voxel-based classifier, VBC) を用いている。このため、FP 削減処理用識別器だけでなく、VBC も再学習を行った場合の性能改善についてシミュレーション実験を行った。

表 3 に実験に使用した症例データの内訳を

示す。なお、有病症例は全ての病変に対して形状をペイント入力している。識別器の学習は図3に示す2種類のデータセットを比較する。再学習および評価は各サブセットの症例を加える毎に行い（計2 steps）、東大病院データベースのみで学習した場合をベースラインとした。施設A₁および施設Bのデータは有病症例ならびに正常症例の数が均等になるように3サブセットに分割する。ただし、サブセットの分割は1通りとした。各サブセットは追加症例（step 1/2）、評価用症例のいずれかに割り当てる（計6回試行）。

表3 症例数内訳（VBC再学習）

施設	症例数	
	総数	有病症例
東大病院	180	82
A ₁	180	101
C	180	90

※ 施設名は表1と共通

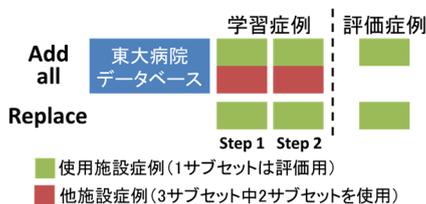


図3 学習用症例と評価用症例との関係（VBC再学習）

③ 識別器の学習アルゴリズムの違いによる性能改善効果の変化

脳動脈瘤検出ソフトウェアのFP削減処理用識別器の再学習について、学習に使用するBoostingアルゴリズムを変えた場合の性能変化についてシミュレーション実験を行った。

症例は東大病院症例のみを使用し（表4）、学習は初期学習（Baseline）、および症例を追加した際の再学習2回の計3回行った。比較する学習アルゴリズムはAdaBoost, MadaBoost, cost sensitive AdaBoost, cost sensitive MadaBoostの4種類とした。

表4 症例数内訳（学習アルゴリズム比較）

データセット	症例数	
	総数	有病症例
初期学習症例	180	83
追加症例(step 1)	155	155
追加症例(step 2)	154	154
評価症例	1,779	110

(2) 日常業務下でのCADソフトウェア併用による脳動脈瘤検出傾向の経時変化

2014年4月～12月に練馬光が丘病院にて日勤帯に施行された頭部MRA検査1,456件中解析可能であった1,355件を対象とした。図4に観察手順を示す。MRI検査担当診療放射線技師9名（経験年数2年～16年）のうち1名が検査中にコンソール画面上で元画像および最大値投影画像を見て脳動脈瘤の有無を判定

した（初期判定）。検査終了後、CADソフトウェアの結果を参照して再判定を行った（CAD後判定）。これと独立して放射線科診断専門医が同様の手順でCADソフトウェア併用の読影を行い、両者の結果を統合したものをgold standardとした。

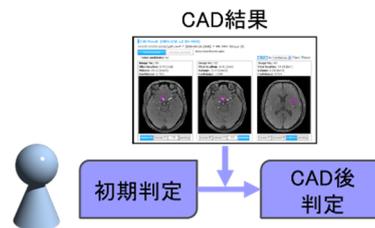


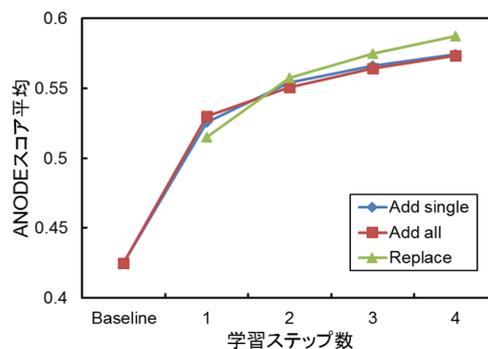
図4 観察手順

4. 研究成果

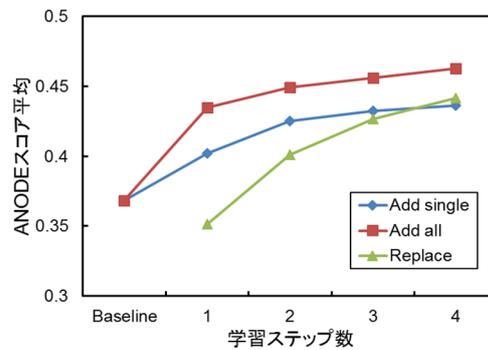
(1) 画像データの多様性に対応したCADソフトウェアの再学習

① FP削減処理用識別器の再学習による施設毎のCADソフトウェア性能改善

図5に脳動脈瘤検出における学習ステップ数とANODEスコアの平均との関係（学習曲線）を示す。ANODEスコアは[0, 1]の範囲で高いほど性能が良い。施設A₁は図5(a)より、step2以降でReplaceが最も性能が良かった。一方、施設Cは図5(b)より、全stepでAdd allが最も性能が良かった。また、step数が増えるにつれAdd allとReplaceとの性能差が減少した。各stepのANODEスコアの差について両側ペアt-検定を行ったところ、施設A₁・step4のAll allとAdd singleとの間を除いて有意水準5%で有意差を認めた。

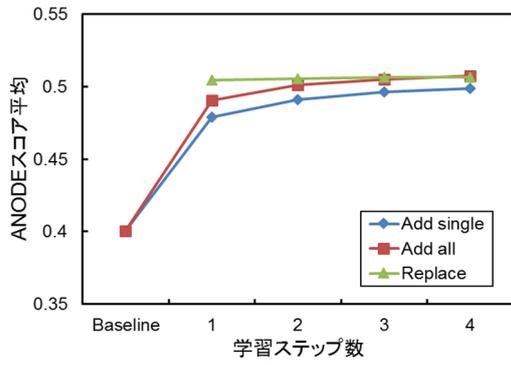


(a) 施設A₁

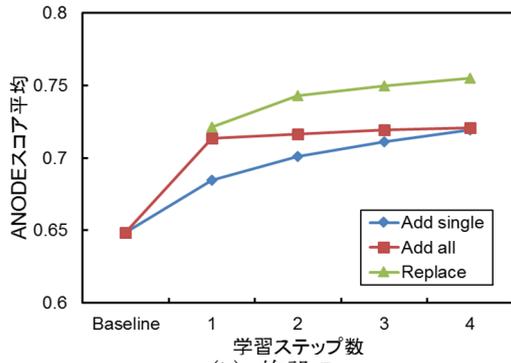


(b) 施設C

図5 学習曲線（脳動脈瘤検出）



(a) 施設 B



(b) 施設 E

図 6 学習曲線 (肺結節検出)

図 6 に肺結節検出における学習曲線を示す。施設 B の step 4 を除いて Replace が最も性能が良かった。各 step の ANODE スコアの差について両側ペア t -検定を行ったところ、全施設・step にて有意水準 5% で有意差を認めた。

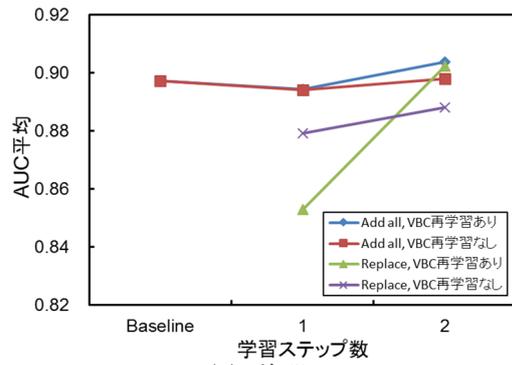
以上より、CAD ソフトウェア使用施設で収集したデータを用いた再学習を行うことで、施設毎の CAD ソフトウェアの性能が改善されることが示されたが、最も性能の良かったデータセットは施設毎に異なった。これらの結果を基に施設毎に最適なデータセットを用いて再学習を行った CAD ソフトウェアを臨床使用している。

② VBC の再学習による脳動脈瘤自動検出ソフトウェアの性能改善

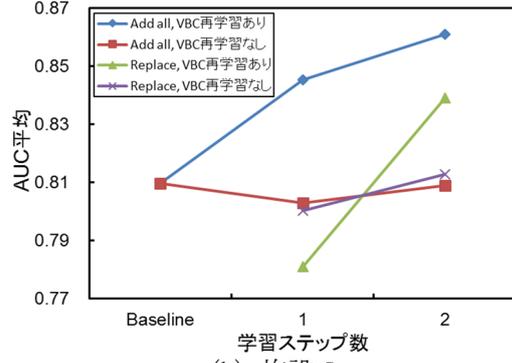
図 7 に各施設の学習ステップ数と ROC 曲線の下面積 (AUC) の平均との関係 (学習曲線) を、表 5 に VBC を再学習した場合の病変候補抽出処理の検出感度の変化を示す。図 7 より、Replace の step 1 を除いて、各施設・データセットとも FP 削減処理用識別器だけでなく VBC も再学習することによりさらなる性能改善が図れることが示された。これらは、VBC の再学習による病変候補抽出処理の検出感度向上によるもの大きいと考える。

表 5 VBC の再学習による病変候補抽出処理の検出感度変化 (単位: %)

施設	Baseline	再学習 (step 2)	
		Add all	Replace
A ₁	92.3	92.3	93.2
C	85.8	90.2	90.2



(a) 施設 A₁



(b) 施設 C

図 7 学習曲線 (VBC 再学習)

③ 識別器の学習アルゴリズムの違いによる性能改善効果の変化

図 8 に学習アルゴリズム毎の学習曲線を示す。各学習アルゴリズムとも症例数が増えると性能が上昇した。Bootstrap test の結果より、Baseline と再学習 (Step1/2) との間には各学習アルゴリズムとも有意水準 5% で有意差が認められ。一方、学習アルゴリズムによる性能差については Baseline で Base の MadaBoost と他のアルゴリズムとの間は有意水準 5% で有意差が認められたものの、Step1/2 では有意差が認められなかった。以上より、検討の範囲内では学習アルゴリズム変更より学習症例追加の方が性能改善効果が高いことを示された。

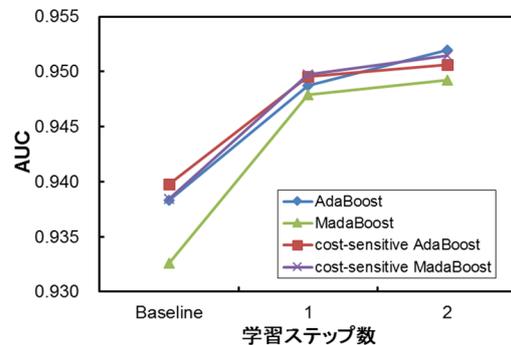


図 8 学習曲線 (学習アルゴリズム毎)

(2) 日常業務下での CAD ソフトウェア併用による脳動脈瘤検出傾向の経時変化

診療放射線技師全体では CAD ソフトウェアを参照することで病変検出率が 69.3% から 72.9% と向上した。個別にみると、9 名中 5 名で検出率向上が認められた。3 ヶ月毎の検出傾

向の変化をみたところ、最初の3ヶ月ではCADソフトウェアの結果を参照することで新たに生じた拾いすぎが7個あったが、期間を経るにつれて拾い過ぎの数は減少した。

一方、放射線科診断専門医については、CADソフトウェア参照により病変検出率が88.5%から94.8%と向上した。3ヶ月毎の検出傾向の変化は期間毎の差がみられなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① Nomura Y, Masutani Y, Miki S, et al., Performance improvement in computerized detection of cerebral aneurysms by retraining classifier using feedback data collected in routine reading environment, Journal of Biomedical Graphics and Computing, 査読有, 2014, Vol.4, No.4, pp.12-21
DOI:10.5430/jbgc.v4n4p12
- ② 野村行弘, 増谷佳孝, 三木聡一郎 他, 遠隔読影環境における多施設連携型CAD開発, 実運用, および継続的性能改善, Medical Imaging Technology, 査読有, Vol.32, No.2, 2014, pp.98-108
DOI:10.11409/mit.32.98.

〔学会発表〕(計8件)

- ① 石田敏哉, 野村行弘 他, 通常業務におけるCADを併用した放射線技師の脳動脈瘤検出に関する初期検討, 第71回日本放射線技術学会総会学術大会, 2015年4月16日~19日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)
- ② 野村行弘 他, 画素識別器の再学習による頭部MRA画像の脳動脈瘤自動検出の性能改善, 第33回日本医用画像工学会, 2014年7月24日~26日, 東京慈恵会医科大学(東京都・港区)
- ③ Nomura Y et al., Training strategy for performance improvement in computer-assisted detection of lesions: based on multi-institutional study in teleradiology environment, 1st International Workshop on BioImage Recognition, 2013年12月4日~6日, ひめぎんホール(愛媛県・松山市)
- ④ 野村行弘 他, 臨床における統合的CAD開発環境の構築(第六報):再学習処理による施設毎のCAD性能改善, 第72回日本医学放射線学会総会, 2013年4月11日~14日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)

〔その他〕

統合的診断支援開発プラットフォーム
CIRCUSウェブサイト

<http://www.ut-radiology.umin.jp/ical/CIRCUS/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 行弘 (NOMURA, Yukihiro)

東京大学・医学部附属病院・特任研究員

研究者番号: 60436491