

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23700573

研究課題名（和文） 臨床画像診断における医師と診断支援システムの協調的高性能化の研究

研究課題名（英文） Study for synergic performance improvement of computer-assisted detection/diagnosis system and radiologists in clinical reading environment

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

研究成果の概要（和文）：本研究は、病変の自動検出をはじめとする診断支援システムを併用した臨床画像診断において、医師と診断支援システムとの協調により最高の診断性能を得るための方法論について検討した。具体的には、日常臨床環境下で診断支援システム併用による診断傾向を解析した上で、見落とし統計モデルを用いた診断支援システムの処理結果提示方法を構築した。

研究成果の概要（英文）：In order to maximize synergic performance of computer-assisted detection/diagnosis (CAD) system and the radiologists, we clarified reading characteristics of radiologists in a routine reading environment integrated with CAD. We also realized adaptive CAD result presentation for each radiologist based on reading characteristics of the radiologists.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：画像診断システム

1. 研究開始当初の背景

近年、CTやMRなどの各種画像診断装置の高速化・高機能化に伴う画像データの飛躍的増加により、医師の画像診断に対する負担が増大している。負担の大きい作業を長時間続けることは見落としなどを招くことにもなる。また、所見の位置や種類によっては、ヒトの目では検出が難しいものもある。このような背景から、病変の自動検出をはじめとするコンピュータ支援検出/診断 (computer-assisted detection/diagnosis; CAD) システムの開発が診断の効率・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る。

一般に、医師がCADを併用して画像診断を行う場合、システムが提示する処理結果の他に、年齢や既往歴などの臨床情報を考慮して

最終的な診断を下す。しかし、時間的制約から医師がCADの処理結果を全て参照できないため、実際には画像特徴量に基づく識別処理で得られる尤度が高いもののみを処理結果として提示している。しかし、画像特徴量から得られる尤度は医師の経験や見落としを含む診断傾向は考慮されていないため、CAD併用による効果には個人差がある。効果が小さすぎると医師がCADの処理結果を信用しなくなり、逆に効果が大きすぎるとCADの処理結果を過信することがある。従って、個々の医師の経験や診断傾向に応じたCADの処理結果提示方法を構築することで個々の医師への診断支援効果の最適化を図る必要があるが、これまでに検討がなされていない。

臨床画像診断における医師の病変の見落としは認知心理学の知見と関連する。例えば、

病変の出現頻度が低くなると見落とし確率が上昇する，という頻度効果が挙げられる．このため，過去に見落としした病変を繰り返し提示することで見落としに対する注意を促すなどの認知心理学知見に基づいた診断支援インターフェイスを構築することで医師の診断能力の向上が期待できる．

2. 研究の目的

CAD システムを併用した臨床画像診断において，医師と CAD システムとの協調により最高の診断性能を得るための方法論を構築することが目的である．実現に向けた具体的な内容は以下の通りである．

- (1) 日常臨床環境における CAD 併用による医師の診断傾向を解析する．
- (2) 見落とし統計モデルを用いた医師の診断傾向に基づく CAD の処理結果提示方法の構築する．
- (3) 認知心理学における頻度効果に基づく診断支援インターフェイスを構築する．

3. 研究の方法

- (1) 日常臨床環境における CAD 併用による医師の診断傾向解析

研究代表者所属施設の検診（以下，当施設）では，Web ベースの CAD 実行／評価環境（以下，CIRCUS CS）に実装した CAD（頭部 MRA 画像の脳動脈検出，胸部 CT 画像の肺結節検出）を併用した二重読影を行っている．その際，CAD の処理結果に対する評価（フィードバック）データを収集している．具体的な手順は以下の通りである（図 1）．

- ① 2 名の放射線科医が独立に画像診断を行う（初期診断）．
- ② CIRCUS CS を用いて 2 名の放射線科医が独立に CAD 処理結果を参照し，参照後の診断結果を個人フィードバックとして CIRCUS CS に登録する（CAD 後診断）．
- ③ 2 名の放射線科医が合議して最終診断を決定する．そして，その結果を合議フィードバックとして CIRCUS CS に登録する．

画像診断を行う 2 名の放射線科医は原則として曜日や受診順をベースとしており，特にランダム化は行わなかった．

本研究では，当施設で臨床使用を行っている

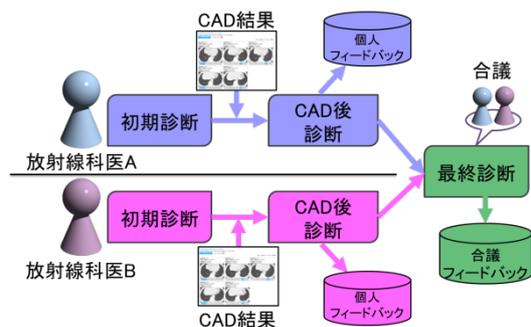


図 1 当施設の CAD 併用二重読影の手順

る 2 種類の CAD（頭部 MRA 画像の脳動脈検出，胸部 CT 画像の肺結節検出）について，蓄積したフィードバック情報を用いた診断傾向解析を行った．

(A) 頭部 MRA 画像の脳動脈検出

CAD 参照前後の医師の診断の変化について解析を行った．対象は 2010 年 10 月～2012 年 1 月の期間中に当施設の初回受診者のうち，既知の脳動脈瘤（疑い病変も含む）が存在しない（未治療・治療後に関わらず）などの条件を満たした 843 名（男性 480 名，女性 363 名）である．対象期間中，15 名の放射線科医（経験年数 2～21 年，平均 6.5 年）が画像診断を行った．

(B) 胸部 CT 画像の肺結節検出

医師全体および各医師の見落とし部位の局在について解析を行った．具体的には，CAD が自動抽出した左右の肺野領域をそれぞれ体積ベースで 6 部位に分割する（図 2）．分割した 12 部位を「特定の部位」と「その他の部位」に分けた上で，初期診断で検出した病変（以下，検出）と見落としの度数分布に偏りがあるかについて Fisher の正確確率検定を行った．対象は 2010 年 10 月～2012 年 9 月の間に当施設で胸部 CT を施行した，3,601 名（男性 2,296 名，女性 1,305 名）である．対象期間中，21 名の放射線科医（経験年数 2～21 年，平均 5.5 年）が画像診断を行った．

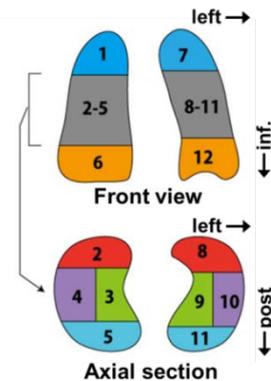


図 2 肺野領域の部位分割

- (2) 見落とし統計モデルを用いた CAD 処理結果提示方法の構築

(A) 医師の見落とし統計モデルの構築

(1) (B) の肺結節検出の診断傾向解析で用いたフィードバック情報を用いて見落とし統計モデルを構築する．具体的にはまず，肺結節検出 CAD で抽出された肺野領域に対してサイズの正規化を行う．次に，正規化後の各ボックス \mathbf{x} において，カーネル密度推定法を用いて病変分布モデル $p_{lesion}(\mathbf{x})$ および見落とし分布モデル $p_{missed}(\mathbf{x})$ を次式により作成する．

$$p_{lesion}(\mathbf{x}) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{\|\mathbf{x}-\mathbf{x}_i\|^2}{2\sigma^2} \right\}$$

$$p_{\text{missed}}(\mathbf{x}) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{\|\mathbf{x}-\mathbf{x}_j\|^2}{2\sigma^2}\right\}$$

なお、各分布モデルは左右別に作成する。そして、ボクセル \mathbf{x} における見落とし割合 $p(\mathbf{x})$ を次式により求める。

$$p(\mathbf{x}) = \frac{p_{\text{missed}}(\mathbf{x})}{p_{\text{lesion}}(\mathbf{x})}$$

(B) 見落とし統計モデルを用いた CAD 処理結果提示方法

画像特徴量に基づく識別処理から得られる尤度 $L_{\text{classifier}}$ および見落とし統計モデル $p(\mathbf{x})$ を統合した尤度に基づく CAD 処理結果提示方法についてシミュレーションにより検討した。本研究では、 i 番目の候補領域における統合した尤度を

$$L_{\text{combined}}(i) = L_{\text{classifier}}(i) + \alpha p(\mathbf{x}_i)$$

と定義した。ここで、 \mathbf{x}_i は i 番目の候補領域の位置であり、 α は実験的に 0.085 とした。

2 種類の尤度 ($L_{\text{classifier}}$, L_{combined}) について、症例毎に上位 5 位以内に提示される病変の個数で比較した。対象は 2010 年 12 月～2012 年 9 月に 400 例以上診断を行った 6 名の放射線科医が見落としした肺結節 325 個とした。

(3) 頻度効果に基づく診断支援インターフェイス構築

過去に見落としした病変を繰り返し提示することで見落としに対する注意を促すことを目的としたインターフェイスを CIRCUS CS に実装した。

4. 研究成果

(1) CAD 併用による医師の診断傾向解析

(A) 頭部 MRA 画像の脳動脈瘤検出

表 1 に CAD 参照前後の診断の変化と最終診断との関係を示す。表 1 の青字、赤字はともに見落としを示しているが、青字は合議の際に別の放射線科医の意見で診断を変更した場合であり、赤字は CAD 参照後に診断を変更した場合、すなわち CAD が有用に働いた場合である。CAD が有用に働いた 9 例の部位の内訳は、前交通動脈付近 3 例、内頸動脈領域 4 例、中大脳動脈領域 2 例であり、部位の局在に関して傾向が見られなかった。

表 1 CAD 参照前後の診断の変化と最終診断との関係

初期診断		CAD 後診断		最終診断	
なし	1,581	なし	1,572	なし	1,527
				あり	45
		あり	9	なし	1
				あり	8
あり	105	—	—	なし	20
				あり	85

(B) 胸部 CT 画像の肺結節検出

表 2 に放射線科医全体の部位毎の病変数の集計および検出感度を、表 3 に放射線科医全体ならびに 300 例以上画像診断を行った 10 名の放射線科医のうち有意な見落とし部位が認められた 4 名の Fisher の正確確率検定の p 値を示す。表 2 より、検出感度が部位により異なることがわかる。表 3 より、放射線科医全体では左右の肺門部 (部位 3・9) で有意に見落としが多い傾向が示された。一方、個々の放射線科医では有意に見落としが多い傾向を示した区域が異なる。例えば、放射線科医 B は左肺舌区付近 (部位 8) で有意に見落としが多い傾向が示された。

表 2 部位毎の病変数の集計および医師の検出感度 (放射線科医全体)

部位	肺結節		感度 [%]	
	検出	見落とし		
右	1	255	55	80
	2	249	53	82
	3	61	41	60
	4	140	48	74
	5	187	51	79
	6	108	32	77
左	7	113	37	75
	8	72	24	75
	9	61	37	62
	10	136	34	80
	11	75	25	75
	12	142	44	76
合計	1,569	481	—	—

表 3 部位毎の Fisher の正確確率検定の p 値 (赤字: $p < 0.05$)

部位	全体	放射線科医 (経験年数)				
		A(3)	B(3)	C(7)	D(4)	
右	3	0.0001	1.000	0.115	0.021	0.041
	4	0.4713	0.409	1.000	0.033	0.384
左	8	0.7120	0.733	0.046	1.000	0.593
	9	0.0013	0.016	0.255	1.000	0.555

(2) 医師の見落とし部位の確率分布に基づく統計モデルを併用した CAD 結果提示

図 1 に放射線科医全体およびの 2 名の放射線科医の見落とし統計モデルの 3 次元表示をそれぞれ示す。なお、図 1 は $p(\mathbf{x})$ と平均肺野形状を重ね合わせたものであり、 $p(\mathbf{x})$ が大きいほど赤く表示されている。放射線科医全体では両肺の肺門部、および右肺の奇静脈食道陥凹部で $p(\mathbf{x})$ が大きい、すなわち見落とししやすい傾向が示された。一方、個々の放射線科医では見落とし傾向が全体と異なることが示された。例えば、放射線科医 A では左肺門部ならびに左右肺底部縦隔側で見落とししやすい傾向が示された。

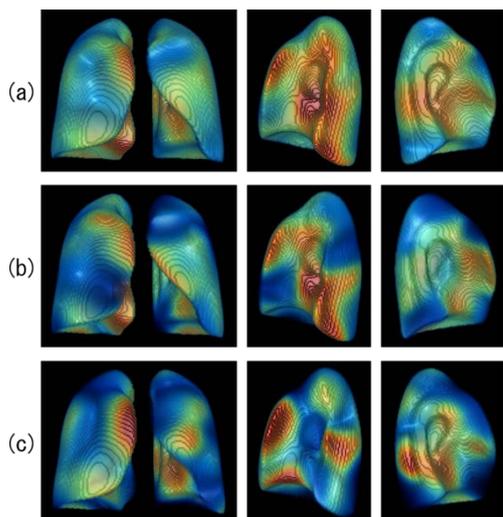


図1 見落とし統計モデル
 (a)放射線科医全体, (b)放射線科医A(経験年数3年), (c)放射線科医E(経験年数21年), 3次元表示, 各段左から順に正面より, 右肺内側より, 左肺内側より)

表4 2種類の尤度による見落とし病変の提示個数の比較

		$L_{classifier}$	
		提示	非提示
$L_{combined}$	提示	241	12
	非提示	3	69

表4に対象期間中400例以上画像診断を行った6名の放射線科医が見落としした325個について, 2種類の尤度による提示個数の変化を示す。表4より, $L_{combined}$ を用いることで見落としがより多く提示された。また, McNemar検定を行ったところ, 両者に有意差がみられた($p=0.039$)。このことから, 医師の診断傾向に基づいたCAD処理結果提示の実現可能性が示唆された。

(3) 頻度効果に基づく診断支援インターフェイス構築

図2に直近に見落としした病変の提示機能を実装したCIRCUS CSのログイン直後の画面を示す。この機能により, 医師が自分の見落としを含めた診断傾向を把握することができ, 見落としに対する注意喚起につながると考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計12件)

- (1) Y. Nomura, Masutani Y, Miki S et al., Probability map of radiologists' detection failures of lung nodules and its application for adaptive presentation of lesion candidates for

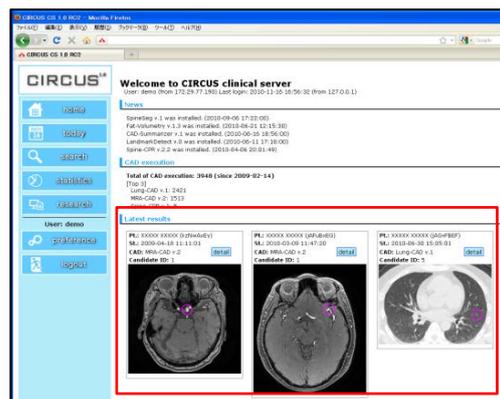


図2 CIRCUS CSのログイン直後の画面
 (赤囲: 直近に見落としした病変候補を表示)

each radiologist, CARS 2013, 2013年6月26日~29日, ハイデルベルク(ドイツ)(発表予定)。

- (2) 野村行弘, 増谷佳孝, 根本充貴 他, 日常診療環境における読影医の見落とし統計モデルの構築, 電子情報通信学会医用画像研究会, 2013年1月24日~25日, 沖縄。
- (3) Nomura Y, Miki S, Masutani Y, et al., Reading characteristics of radiologists in screening lung CT: long-term evaluation in routine reading environment integrated with CAD software, IWPRHA 2012, 2012年11月11日, つくば。
- (4) Miki S, Nomura Y, Hayashi N, et al., Do radiologists have confidence in CAD for cerebral aneurysms? Evaluation in routine reading environment, RSNA 2011, 2011年11月27日~12月2日, シカゴ(アメリカ合衆国)。
- (5) 野村行弘, 林直人, 増谷佳孝 他, 臨床における統合的CAD開発環境の構築(第四報): 読影医とCADの協調的パフォーマンス向上, 第70回日本医学放射線学会総会, 2011年5月9日~20日, Web開催。

[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