

検診用 PET/CT 画像を対象とした肺がん自動検出システムの開発

Development of automated scheme for lung cancer detection in screening PET/CT images

2021018



研究代表者	藤田保健衛生大学 医療科学部 放射線学科	准教授	寺本 篤司
共同研究者	岐阜大学大学院 医学系研究科	教授	藤田 広志

[研究の目的]

肺がんは日本人の主たる死因になっており、生存率を高めるためには早期発見が必要不可欠である。本邦では欧米に先行し、PET/CT装置を用いたがん検診が多くの医療施設で行われている。PET/CT装置は、CT装置から得られる形態情報に加え、PET装置から得られる組織の糖代謝情報を同時に収集するため、糖代謝が盛んである悪性腫瘍を高い精度で検出することができる。肺野の画像診断においては、この特徴を利用して良悪性の鑑別を行うことができるほか、血管や気管支などの正常組織が密集している肺門部などの、CT画像を用いるだけでは発見しにくい病巣も正確に検出することができる。

このようにPET/CTは診断上有効な情報が得られるものの、1回の撮影で得られる画像枚数が1,000枚以上と膨大である。特に、健康診断ではほとんどの画像が正常であり、読影際には膨大な画像群から異常部位を的確に指摘することが求められる。この作業は読影医にかかる負担が大きいと見られ、見落としや医師間の診断結果の相違など、診断精度の低下が懸念される。

本研究では、医師の診断を支援するために、検診用に撮影されたPET/CT画像を用いて肺がんを自動検出するシステムを開発することを目的とする。

[研究の内容、成果]

1. 画像データベース

本研究では検診目的で撮影された105症例のPET/CT画像を利用した。全症例中、84症例は肺野内に肺がんの存在が認められたものであり、残りの21症例は正常症例である。医師の診断結果を元に84症例から217個の肺がん部位をリストアップし、データベース化した。

2. 検出手法

2.1 手法概要

与えられたPETおよびCT画像に対して、それぞれの画像特徴を利用した検出アルゴリズムを適用し肺がんを独立に検出する。その後、2つの検出結果を統合し、最終的な候補領域とする。

2.2 CT画像を用いた結節検出

CT画像を用いて肺野領域内に存在する肺がん（主に孤立状結節）を検出する。

まず、肺野領域を抽出し、得られた領域を検出対象領域とする。本研究では、CT値が-400未満を白、-400以上を黒にする2値化処理を行い、続いて寝台などの背景領域を消去する。そしてクロージング処理を用いて末梢気管支や血管を含む領域を塗りつぶす処理を行った結果を肺野領域とした。

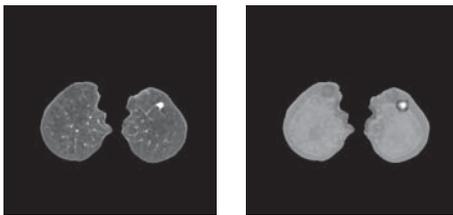
抽出された肺野において、塊状構造をもつ結

節を強調した後にしきい値処理を適用し初期候補領域を得る。塊状構造の強調には、我々が開発した円筒型フィルタ (Cylindrical filter, CF) を利用した。CF は半径 r_1 、高さ $2r_1$ を有する円筒形であり、1 画素毎に次式の演算を行うことでフィルタ処理画像が得られる。

$$c(x, y, g) = f(x, y, z) - \max_{(x_c, y_c, z_c \in K_{CF})} \left\{ f(x-x_c, y-y_c, z-z_c) \right. \\ \left. \begin{array}{l} x_c^2 + y_c^2 \leq r_1^2 \text{ and } z_c = \pm r_1 \\ x_c^2 + y_c^2 = r_1^2 \text{ and } -r_1 < z_c < r_1 \end{array} \right\}$$

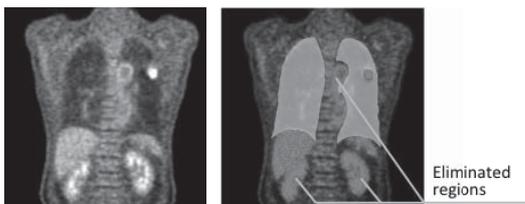
ここで、 $f(x, y, z)$ 、 $c(x, y, z)$ はそれぞれ入力画像、フィルタ処理画像を示し、 K_{CF} は円筒型のフィルタカーネルを示す。CF を胸部 CT 画像に適用した結果を図 1 に示す。図中、矢印で示した領域が充実性結節であり、同図 (a) の原画像では血管などの正常組織とほぼ同等の CT 値を有する。CF を適用した同図 (b) においては、血管などの陰影が抑制され、結節が選択的に白く描出されている。

次に強調処理画像に対して 2 値化処理とラベリング処理を行うことで候補領域を得る。



(a) 原画像 (b) 結節強調画像

図 1 結節強調画像



(a) PET 画像 (b) 検出結果

図 2 PET 画像における結節検出結果

2.3 PET 画像を用いた結節検出

PET 装置による画像収集では、グルコースに放射性核種を結合して作成された 2-deoxy-2-[18F]fluoro-D-glucose (FDG) を体内に投与し、体内の集積分布を画像化する。集積が高いほど糖代謝が活発であることを示しており、糖代謝と腫瘍の悪性度には相関があることが報告されている。PET 検査ではこの性質を利用して悪性腫瘍の診断を行っている。

本手法では、PET 画像の画素値を体重と投与された放射能で規格化した後、しきい値処理とラベリング処理によって FDG が集積した部位、すなわち腫瘍の候補領域を得る。このとき、肺に近接する臓器 (心臓や肝臓) は正常な状態でも FDG が集積するため、2.2 節にて述べた CT 画像の処理にて検出した肺野領域を利用して、肺の外部に存在する候補領域は削除する。

2.4 候補領域の統合と偽陽性削除

CT 画像および PET 画像から得られた肺がん候補領域を論理和により統合し、少なくともいずれかの画像から検出されたものを候補領域とする。このようにして得られた候補領域には 1 症例あたり 50 個程度の偽陽性 (過剰検出) が含まれるため、それぞれの候補領域にて形状や画素値に関する特徴量を算出し、それらを複数の識別器にて偽陽性と真陽性に分類する。識別器は多段構造とし、最初に単一の特徴量によって容易に真陽性と偽陽性に分類できるものをルールベース識別器にて選別する。この作業にて候補領域の約半数が識別される。残りの候補領域については、3 種類のサポートベクターマシンにて真陽性と偽陽性を識別する。これらの処理にて、最終的な候補領域が得られる。

2.5 肺がん自動検出ソフトウェア

上述の検出アルゴリズムを用いた、肺がん自動検出ソフトウェアを開発した。図 3 にその画面レイアウトを示す。

症例データは医用画像の標準フォーマットである DICOM 形式にて読み込まれ、肺がん検出処理はすべて自動で行われる。検出処理は

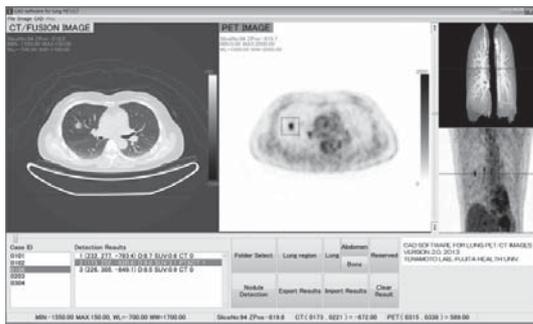


図3 肺がん自動検出ソフトウェア

パーソナルコンピュータ (Apple 社製 MacPro) にて約1分で終了する。この時間は画像収集に要する時間の1/30程度であり、日常の検査業務において全く支障なく自動検出処理を導入できるレベルに達している。ここで自動検出した結果は一覧形式で表示され、それぞれの候補領域に関する解析結果(検出した物体の面積、体積、CT値、FDG集積値など)を医師が診断時に確認できる。

3. 検出性能の評価

開発したシステムにて肺がんを自動検出した結果を図4に示す。2枚の画像は同一の位置でスライスした画像である。同図(a)のCT画像では、直径10mm以下の結節が正しく検出されている。本症例は画像中央付近の肺門部にも腫瘍が存在しているものであるが、CT画像からは検出されなかった。一方、同図(b)に示したPET画像では、肺門部の腫瘍にて高い集積を呈しており、これが候補領域として自動検出された。このように、2種類の画像を利用することで補完的な検出が行われることが確認さ

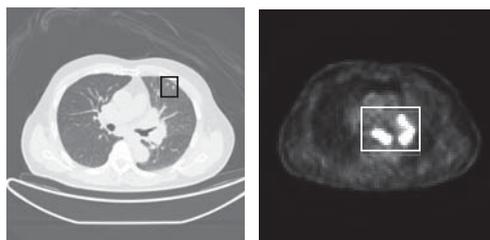


図4 肺がん検出結果

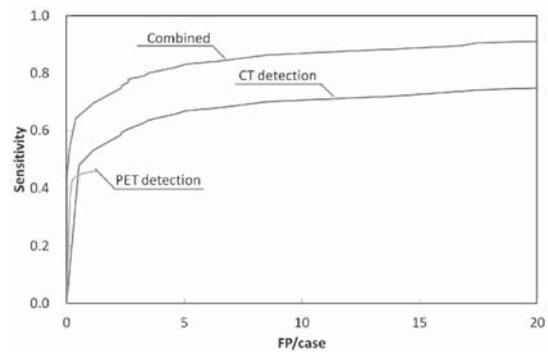


図5 検出特性 (FROC カーブ)

れた。

また、画像データベースの全症例について、検出パラメータを変化させながら真陽性率と1症例あたりの偽陽性数を算出しグラフ化したものを図5に示す。同図はCT単体、PET単体で検出した際の特性も示されている。2つの画像を利用した結果はCT単独で検出した場合に比べ15%程度高い検出能力を示した。トータルの肺がん検出率は偽陽性数が1症例あたり5個のときに83%であり、十分な検出性能が得られていることが明らかとなった。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、医師の診断を支援するために、検診用に撮影されたPET/CT画像を用いて肺がんを自動検出するシステムを開発した。今後は本システムを臨床応用するために、大規模データベースを用いた評価を進める予定である。

[成果の発表, 論文等]

- [1] 寺本篤司, 池谷 愛, 藤田広志, 富田陽也, 高橋克彰, 山室 修, 玉木恒男, “PET/CT画像における肺結節の自動検出～偽陽性削除手法の改良と検診用画像データベースを用いた性能評価～,” 第68回日本放射線技術学会総会学術大会, April, 2012.
- [2] 寺本篤司, 藤田広志, 高橋克彰, 尾崎香帆, 村田誠也, 山室 修, 玉木恒男, “PET/CTにおける肺結節の自動検出～確率的検出感度マップを用いた検出能力の改善～,” 第69回日本放射線技術学会総会学術大会, April, 2013.

- [3] A. Teramoto, H. Fujita, K. Takahashi, K. Ozaki, S. Murata, O. Yamamuro, T. Kobayashi, T. Tamaki, M. Nishio, "Development and evaluation of automated nodule detection in lung PET/CT images," IFMIA 2012, Nov. 2012.
- [4] A. Teramoto, H. Fujita, K. Takahashi, O. Yamamuro, T. Tamaki, M. Nishio, T. Kobayashi, "Hybrid method for the detection of pulmonary nodules using positron emission tomography/computed tomography: A preliminary study," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2013, online first.