

胸部診断支援システムの基礎的検討

Computer-aided diagnosis system for suspicious regions based on helical chest CT images : first report

佐藤 均、仁木 登*、江口研二**、増田英夫***、町田 優***、笹川道三***
国立小山高専、*徳島大学、**東海大学医学部、***栃木県保健衛生事業団

H.SATO, N.NIKI, K.EGUCHI, H.MASUDA, S.MACHIDA, M.SASAGAWA
Oyama National College, Tokushima Univ., Tokai Univ., Tochigi Public Health Service Association

Abstract : It is time-consuming step that makes the use of helical CT for mass screening. To overcome this problem, our group has developed a computer-aided diagnosis algorithm to automatically detect suspicious regions of lung cancer and coronary calcifications in chest CT images. And in this time, our group has developed a newly computer-aided diagnosis workstation and database.

1. はじめに

現在、肺がんは日本人男性の死亡原因の第1位で、早期発見、早期治療が最も重要である。よって増加を続ける肺がんの死亡者の減少を図るため、肺がんの早期発見に限界の見え始めた胸部単純X線写真による検診にかわり、ヘリカルCT画像が検診に利用され始め、大きな期待が寄せられている。また心筋梗塞も死亡者数が癌と同様に高く、恐ろしい成人病として知られている。肺がんの検診に利用されるヘリカルCT画像は、この心筋梗塞の原因となる心臓の冠状動脈石灰化の検診にも用いることができる。これらの検診に用いるヘリカルCT画像は肺野全体を撮影領域とするため大量の画像枚数になる。よってCT画像を読影する専門医の負担は大きなものとなり、膨大な時間を消費することになる。

そこで我々はこれまで、ヘリカルCT画像から肺がんの候補陰影を自動検出する肺がん検診アルゴリズム、及び冠状動脈石灰化の候補陰影を自動検出する冠状動脈石灰化検診アルゴリズムを開発し、専門医の診断を支援する診断支援法を提案してきた。そして今回我々は、従来の支援法をベースに気管支領域、肺動脈領域、肺静脈領域及びCT画像上の疑わしい陰影を高速に抽出表示する新しい胸部診断支援用システムを開発し、基礎的検討を行ったので報告する。

2. アルゴリズム概要

集団検診におけるヘリカルCT画像は表1に示す撮影条件で得られる。これらの撮影条件は、撮影時間、被曝線量、画質、読影の効率などを考慮したうえで決定されたもので、現在東京都予防医学協会(東京から肺がんをなくす会)、その他多くのサイトの肺がん検診の撮影条件として採用されるようになった。本項では表1の撮影条件で得たCT画像等を用いた肺がん候補陰影検出アルゴリズム、冠状動脈石灰化の候補陰影検出アルゴリズム、CT画像を用いて任意断面を表示するMultiplanar Reconstruction、及び疑わしい陰影を3次元可視化して表示する手法について述べる。

表1 ヘリカルCT画像の撮影条件

| | |
|--------|------------|
| ビーム幅 | 10.0mm |
| 寝台移動速度 | 20.0mm/sec |
| 管電圧 | 120kV |
| 管電流 | 50mA |
| 再構成間隔 | 10.0mm |

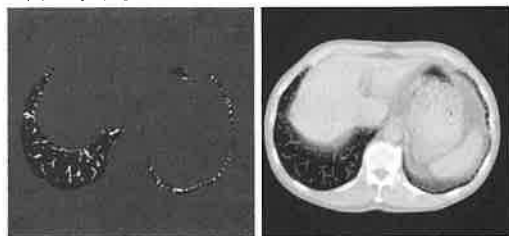
2.1 肺癌候補陰影検出アルゴリズム概要

CT画像では肺癌陰影と血管影のCT値に顕著な差は認められず、肺癌陰影をCT値だけで識別することは困難である。より正確な自動診断を目指すには、人体の構造を画像処理技術により認識し診断に組み込む必要がある。本アルゴリズムでは、

肺野領域の特定、さらに肺野領域の陰影、病変など高い濃度の領域を検診の対象領域として絞り込む。次に個々の対象領域に対して幾つの特徴量を定量化する。最後に、これらの特徴量を用いた診断規則を定義し、異常陰影の検出を行う。肺野内部の血管や肺癌病変は肺野内の空気部分よりも高い濃度値を示す。以下に肺がん候補陰影(ROI)の抽出処理手順を示す。

2.1.1 ROIの抽出処理手順

- (1) 肺野内を空気部分と病変を含む血管部分の2クラスに濃度分解する。
- (2) クラスタリングされた高濃度のクラスに対して、濃度重み付き距離変換を適用する。濃度距離値が閾値以上の領域を抽出して、その領域の輪郭上で逆距離変換を行い図1(a)に示すROIを得る。ここでは、図1(b)にROIの抽出例を示す。



(a)ROI抽出結果 (b)ROIのクラス分け
図1. ROIの抽出とクラス分け

2.1.2 ROIの特徴解析

ここでは、診断規則に用いるためのROIの特徴を解析する。抽出された各レベルのROIに関して以下の特徴量を求める。

- 1)面積：各ROIの画素数を面積とする。
- 2)太さ：各ROI中の最大の濃度距離値。
- 3)円形度：面積/ROIの外接円の画素数。
- 4)平均濃度値：各ROIのCT値の平均。
- 5)濃度分散値：各ROIのCT値の分散値。
- 6)孤立度：各ROIの1Lv下のROIの面積との比。
- 7)輪郭勾配分散：各ROIの輪郭上の濃度勾配分散。
- 8)胸壁からの距離：各ROIの外接円の中心から胸壁までの最短距離。
- 9)勾配平均値：各ROIの画素における平均勾配値

2.1.3 診断ルール

ヘリカルCT画像に関する以下の知識をベースに前節で抽出した特徴量を用いて異常陰影を特定する診断規則を作成する。診断規則は以下の知識を使って定義する。

- 【知識1】肺癌陰影は一般に球形で、スライス画像では円形に観測される。
- 【知識2】血管影は一般に細長い。
- 【知識3】体軸方向に走行する血管影は、同径の肺癌病変よりも高いCT値を示す。
- 【知識4】一般に肺癌病変は均一なCT値を示す。
- 【知識5】肺血管は胸壁付近ではCT画像で確認できない程細くなる。
- 【知識6】骨など高いCT値の物体の上下にはpartial volume effectの影響で濃度が上昇する。
- 【知識7】同様の理由で連続スライス間で極端にCT値の異なる場合(胸壁・心臓・横隔膜の周辺)partial volume effectの影響による陰影が残る。

図2に本診断アルゴリズムを用いた検出例を示す。左の画像の円で示した位置に肺がんの病変がある。病変は直径約5mmの肺癌である。同時期に撮影した単純X線写真ではこの陰影はがんの専門医でも全く指摘することができない。この症例に診断アルゴリズムを適用したところ右側の画像に示すように肺がん病変を正確に検出した。

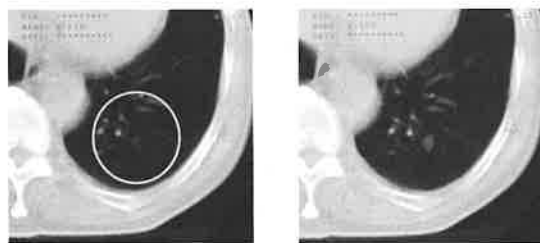


図2 肺がんの検出結果例

2.2 冠状動脈石灰化候補陰影検出アルゴリズム概要

本アルゴリズムに入力するCT画像は肺がんの集

胸部診断支援システムの基礎的検討

団検診において撮影されたものと同一の画像で、肺野全体が撮影されている。まず診断の対象となる心臓が存在するスライス区間を予め特定する。心臓の最上位スライスは左右の距離情報、鎖骨情報、形状、面積をもとに、最下部スライスは横隔膜の認識をもとにして特定する。冠状動脈の走行はスライスごとでほぼ決まっているので、心臓の形状や濃度分布、気管、骨格情報をもとに冠状動脈の走行が異なる3つの区間にスライスを分類する。

2.2.1 心臓領域抽出

次に、特定されたスライス区間において心臓領域の抽出を行う。まず閾値処理やラベリング処理などを用いて心臓領域を抽出する。次に膨張、収縮処理等を用いて細い線状の領域である肺野内の血管や気管領域、及び下降大動脈領域を削除する。

2.2.2 冠状動脈石灰化候補領域の抽出

80症例の冠状動脈の走行分布を区間毎に求め、その分布をもとに冠状動脈の存在頻度を表す検査領域重みを作成した。この重みと心臓内の濃度情報により冠状動脈石灰化の候補領域の抽出を行う。ここで求めた候補領域に対して6つの特徴パラメータ(面積、脂肪、最大/平均CT値、濃度勾配、位置)を求め、診断規則を用いて石灰化候補陰影を識別する。診断規則は次に示す2つのルールから成つ

1) RULE-1: 候補領域の限定

1. 最大CT値80以下の領域を削除
2. 候補領域の面積が 1.5mm^2 以下の領域を削除

2) RULE-2: ニューラルネットワーク

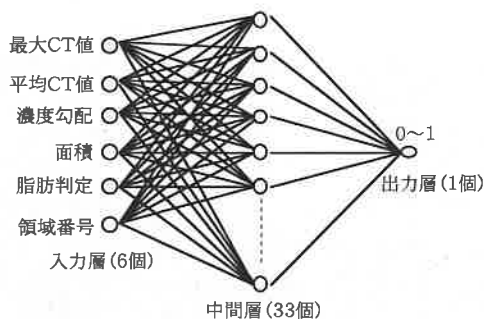


図3 診断規則

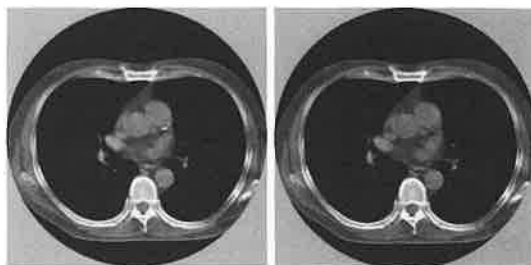


図4. 診断画像例

ており、全ての候補領域に対しRULE1を適用し、限定条件を2つともクリアした候補領域をRULE2に示すようなニューラルネットワークで診断する。集団検診において撮影された1人あたり35枚からなるヘリカルCT画像の症例に本アルゴリズムを適用した結果を図4に示す。

2.3 Multiplanar Reconstructionの表示法概要

X線マルチヘリカルCTスキャナーによって得られる画像は、体軸に直行する横断面画像(Axial)である。これらの画像はCTスキャナーの寝台を一定速度で移動させながら螺旋状に撮影し複数枚の画像を得る。これら多数の画像から必要なデータ、画素値を抽出し、再構成法(Multiplanar Reconstruction)を用いて図5に示すような画像を得る。切断方法として、冠状断面(Coronal Section)、矢状断面(Sagittal Section)、斜断面(Oblique Section)があり、これらを表示することをMPR表示と言う。医療用Dicomファイルから得られる画素データは縦横比がっていないため、線形1次補間処理で3次元ボクセルデータを作成する。

2.3.1 Axial・Sagittal・Coronal・Oblique Section

各ボクセルのCT値は三次元座標を用いたアドレスを指定して得ることができる。sagittal section, coronal sectionはこの座標系を体軸方向に直角に切断したい方向に変換すれば任意の断面画像を得ることができる。

Oblique Sectionは3次元ボリュームデータを任意の位置、角度で切った断面画像である。この座標の相当位置のCT値を利用し画像を再構成することにより求める。処理、表示の結果例を図5に示す。

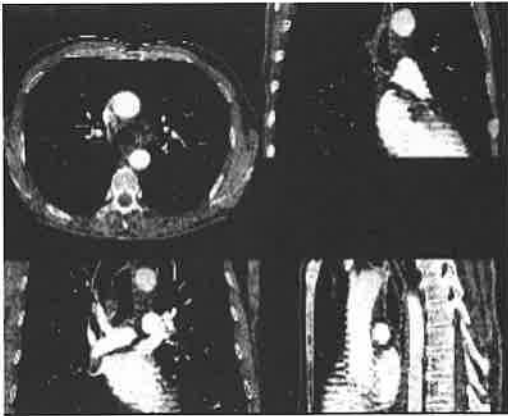


図5 MPR表示

2.4 気管支、肺血管の自動抽出と表示法概要

胸部マルチヘリカルCT画像において、肺動脈、肺静脈、気管支の管状に連続した領域を予め定めた起点から順に比較演算する方法で自動抽出する。この自動抽出法は“あいまいさ”を考慮した手法で、約1mm径程度の細い領域を抽出した。

2.4.1 肺動脈、肺静脈、気管支の三次元表示

自動抽出した肺動脈、肺静脈、気管支を識別し、自動抽出した肺動脈、肺静脈、気管支に選択的に色付け立体表示して異常陰影の検出を支援するカラーの3次元表示を行う。



図6 肺血管、気管支の3次元表示

2.4.2 気管支の仮想内視鏡

気管支の内腔を三次元表示した画像を仮想内視鏡画像と言う。自動抽出した、肺領域、気管支の内腔に視点を設定して得た図7の画像が仮想内視鏡である。実際に気管支のなかを内視鏡を使って見た場合と同様の画像がCT画像から求めることが

できる。肺門部の癌の検査に有効である。



図7 肺領域、気管支内腔の仮想内視鏡

3. システムの構築

今回提案する胸部診断支援用システムは、胸部マルチヘリカルCT画像の大容量データを保管、検索、処理、表示するシステムで、各種読影を支援するヒューマンインタフェースを備え、主に3つの部分からなる。第一は気管支領域、肺動脈領域、肺静脈領域及びCT画像上の疑わしい陰影を高速に抽出表示する処理部、第二はCT画像を入力、保管する専用データベースから画像を検索して2台の1600×1200マトリクス白黒液晶モニタ上に選択的に表示することが可能な表示部、第三はオートチェンジャ式CD-R(Jukebox)の東芝製大容量画像保管検索システム(TFS-3000)部である。これらはネットワークで相互に接続されている。このシステムは、2台の1600×1200マトリクス白黒液晶モニタ上に、疾病が疑われる陰影を含むCT画像と疑わしい陰影を3次元可視化して読影し易くした画像を同時表示することが可能で、これによって専門医の診断を容易にする。さらに前記2.1項、2.2項で述べた肺がん候補陰影自動検出アルゴリズム、冠状動脈石灰化候補陰影自動検出アルゴリズムもシステムに搭載することが可能である。図8に2台の1600×1200白黒液晶モニター外観を示す。



図8 2台の1600×1200白黒液晶モニター外観

胸部診断支援システムの基礎的検討

CPUは、DELL製PRECISION340 Pentium4 2.4GHz、Windows 2000で、2台のマトリクスサイズ1600×1200白黒液晶モニタ(TOTOKU製)が接続されている。このシステムは現在臨床試用中である。

4. まとめ

マルチメリカルCT装置の著しい技術進歩にともない画像収集の高速化、画像の高画質化が進み、肺がん検診や心筋梗塞の原因となる心臓の冠状動脈石灰化の検診に用いるCT画像が肺野全体と広範囲を撮影領域とすることもあり、専門医に今まで以上に高度な読影が求められ、そのため読影に必要な画像の枚数は今後ますます増大する方向にある。よってCT画像を読影する専門医の負担は大きなものとなり、膨大な時間を消費することになる。

この問題を解決するため、今回我々はマルチヘリカルCT画像を用いた胸部診断支援システムに求められる機能の基礎的検討と評価を行った。その結果、今回提案した胸部診断支援システムを使うことにより診断の迅速性と正確度が増すことが期待され、これらは胸部診断支援システムが臨床の場で効果的に使用されることを示している。

将来展望として、現在行われている医師2人による二重読影は、1人の医師がコンピュータによる診断支援を受けながら1人読影で代替えて読影医師不足を補い、診断支援システムの普及を促進するものと期待される。

参考文献

- [1] 館野之男, 飯沼武, 松本徹, 山本真司, 松本満臣, “肺癌検診のためのX線CTの開発”, 新医療, 10, pp.28-32, 1991.
- [2] 飯沼武, 館野之男, 松本徹, 山本真司, 松本満臣, “肺癌検診用CT(LSCT)の基本構想とその事前評価”, 日本医放会誌, 52(2), PP.182-190, 1992.
- [3] J.-P. Thirion and A. Gourdon : Computing the differential characteristics of iso-intensity surfaces, Comput. Vision and Image Understanding, vol. 61, pp.190-202,1995.
- [4] 金沢啓三, 久保満, 仁木登, 佐藤均, 大松広伸, 森山紀之, “集検用ヘリカルCT画像を用

いた肺がん検診システム”, JAMIT Frontier'95 講演論文集, pp.74-79, 1995.

- [5] 佐藤均, 仁木登, 金子昌弘, 江口研二, 三沢潤, 大松広伸, 柿沼龍太郎, 森山紀之, “これからの胸部検診を考慮したCT装置の開発—現状と展望—, コンピュータ支援診断を用いたCT肺癌検診システム” 第5回胸部検診研究会大会, シンポジウム, S3, p.4, 1998.
- [6] 鶴飼裕司, 佐藤均, 仁木登, 渡辺茂, 他, “ヘリカルCT画像を用いた冠動脈石灰化検診支援システム” 日本医用画像工学会第18回大会, pp.463-464, 1999.
- [7] 佐藤均, 松林孝行, 仁木登, 金子昌弘, 江口研二, 森清志, 大松広伸, 柿沼龍太郎, 森山紀之, “マルチスライスCTによる新しい胸部検診の可能性” 第19回日本医用画像工学会大会, オーガナイズドセッション, pp.469-470, 2000.
- [8] H.Satoh, Y.Ukai, N.Niki, K.Eguchi, K.Mori, H.Ohmatsu, R.Kakinuma, M.Kaneko, N.Moriyama, “Computer-Aided Diagnosis System for Comparative Reading of Helical CT Images for the Detection of Lung Cancer,” IEICE Trans. on Information and Systems, VOL. E84-D, NO.1, pp.161-170, January, 2001.
- [9] H.Satoh, N.Niki, K.Mori, K.Eguchi, M.Kaneko, N.Moriyama, H.Ohmatsu, R.Kakinuma, H.Masuda, S.Machida, M.Sasagawa, “Innovation of PACS for computer aided diagnosis with functions to assist comparative reading for lung cancer based on multi-helical CT images,” SPIE Medical Imaging, San Diego, VOL. 5033, pp.413-423, 2003.

〔受理年月日 2003年9月30日〕

