

胸部マルチスライス CT 画像における葉間裂の 自動抽出手順の開発と性能評価

林 達郎¹⁾ 周 向栄¹⁾ 原 武史¹⁾ 藤田 広志¹⁾ 横山 龍二郎²⁾ 桐生 拓司²⁾ 星 博昭²⁾

1) 岐阜大学大学院医学研究科再生医科学専攻再生工学講座知能イメージ情報部門

〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

2) 岐阜大学医学部附属病院放射線科 〒500-8705 岐阜県岐阜市司町 40

E-mail: hayashi@fjt.info.gifu-u.ac.jp

あらまし マルチスライス CT の開発によって精密な 3 次元画像解析が可能となり, 3 次元画像に対する様々な処理方法の開発が求められている. 葉間裂は, 肺葉分割に有効な情報を提供することができる. さらに, 葉間裂が完全分葉であるか, 不全分葉であるかにより, 病理所見が異なる場合がある. そのため, 葉間裂を自動的に抽出, 分類することは, 臨床診断においてとても重要である. 本研究では葉間裂の自動抽出を目的とする. まず, 気管, 気管支, 肺血管の構造情報を用いて大まかに葉間裂の存在位置を特定し, その後, 濃度値情報を利用して葉間裂の精密な抽出を行う. また, 実験で 29 症例の CT 画像を解析し, 本手法の性能評価を行った.

キーワード マルチスライス CT, 葉間裂, 気管支, 肺血管

Development of the Procedure for Automatic Extracting Interlobar Fissures and its Performance Evaluation

Tatsuro HAYASHI¹⁾ Xiangrong ZHOU¹⁾ Takeshi HARA¹⁾ Hiroshi FUJITA¹⁾

Ryujiro YOKOYAMA²⁾ Takuji KIRYU²⁾ Hiroaki HOSHI²⁾

1) Department of Intelligent Image Information, Division of Regeneration and Advanced Medical Science

1-1 Yanagido, Gifu, Gifu, 501-1193 Japan

2) Department of Radiology, Gifu University School of Medicine & University Hospital

40 Tsukasamachi, Gifu, Gifu, 500-8705 Japan

E-mail: hayashi@fjt.info.gifu-u.ac.jp

Abstract Due to the remarkable progress of the multi-slice CT scanner, 3 dimensional accurate analyzes for human body using CT images is becoming possible and a lot of image processing procedures need to be developed to support it. Interlobar fissures can provide information for lung lobe extractions. Complete interlobar fissures or incomplete interlobar fissures are also important for clinical diagnosis. So, it is very important to develop a procedure that can extract and classify interlobar fissures automatically. We propose to develop a new method for interlobar fissures. First, we identify interlobar fissure position roughly using trachea, bronchus, and lung blood vessels structures. Second, we extract interlobar fissures precisely using CT value. This method had been applied to twenty-nine cases of multi-slice CT images, and we show performance evaluation of this method finally.

Key words Multi-slice CT Images, Interlobar Fissures, Bronchus, Lung Vessels.

1. まえがき

近年, マルチスライス CT の開発により医用画像における体軸方向の分解能が飛躍的に向上し, より精度の高い 3 次元的な画像解析を行うことができるように

なった. 一方で, 読影する医師の負担が飛躍的に増加するという問題があり, 計算機による画像の支援診断システムの開発が求められている.

本研究では, 葉間裂の自動抽出を目的とする. 葉間

裂を自動的に抽出することは、肺葉分割、肺葉ごとの病変の解析に有意義な情報を提供できる。また、葉間裂には、完全に葉間裂によって肺葉が分離した完全分葉型と、主として縦隔側の一部が癒合した不全分葉型があり、閉塞性肺炎などの病変では、完全分葉、不全分葉で顕著な違いが表れることから、臨床診断において有意義な情報を提供することができる[1]。

従来の研究としては、葉間裂抽出に関する研究として[2]、[3]などが報告されている。

本研究グループにおいても、肺を葉単位に分割する手法を開発した[4]。この研究報告は、肺野内の気管支、肺血管の構造情報に基づいて肺葉分割を行ったものである。各肺葉の境界付近に実際の葉間裂が存在することから、本手法ではこの結果を元に葉間裂を抽出する。しかし、文献[4]では肺門付近では良好な結果が得られたが、肺尖や肺底では大きな誤差になっていた。これは、肺尖、肺底において気管支、肺血管がほとんど抽出されていなかったためである。そこで、本研究では肺血管抽出処理を改善し、肺尖、肺底における誤差の低減を行う。その結果を元にして葉間裂の濃度値に基づいた精密な葉間裂の抽出を行う。最後に本手法の有効性を示す。

2. 肺野構造

右肺は大葉間裂と小葉間裂によって上葉・中葉・下葉の3区域、左肺は大葉間裂によって上葉・下葉の2区域にそれぞれ分けられる。しかし、不全分葉型の葉間裂の場合には、縦隔側の一部が癒合しており、必ずしも葉間裂で完全に分離しているわけではない。

気管支は、気管から分岐し、葉気管支以降は各肺葉に分離している。

肺血管は、第3次肺動脈が各肺葉に分布している。また、気管支と肺動脈には並走するという性質があり、末梢の肺血管の一部は、葉間裂を通過している。

3. 葉間裂抽出手順

3.1. 葉間裂抽出処理の概要

葉間裂は空気領域との濃度差がほとんどなく、肺野内には副葉間裂など葉間裂に似た陰影も存在する。また、葉間裂の位置にはかなり個人差があり、直接濃度値情報のみを利用して抽出を行うことは困難である。そこで、本研究では、まず気管、気管支、肺血管の抽出、葉単位分割を行い、その情報を元に肺野の肺葉分割を行って、大まかな葉間裂の存在範囲を特定する。次に、葉間裂の濃度値に基づく処理によって、精密に葉間裂の抽出を行う。処理の概要を Fig. 1 に示す。

3.2. 気管、気管支、肺血管を用いた肺葉分割

肺野空気領域抽出[5]、気管、気管支抽出[6]、認識[7]、肺血管抽出[8]では様々な研究が報告されている。本手法において、肺野空気領域抽出は、濃度値に基づく判別分析法を元に抽出する。気管、気管支の抽出は、肺野空気領域抽出処理の中で気管上端の位置を取得し、領域拡張法を用いて抽出する。気管支葉単位分割は、気管支抽出時に枝分かれ式リージョンング[9]を用いて枝ごとに認識し、気管からのモデルマッチングで実現する。肺血管葉単位分割は、以下に述べる方法で肺血管を抽出し、葉単位分割を行った気管支に隣接する肺血管を各肺葉の母点として、26近傍における擬似ユークリッド距離値を肺血管の経路のみ拡張するように設定し、その距離値に基づいてポロノイ分割を用いることにより実現する。なお、これらの手法の詳細は文献[4]と同様であるため、詳細はここでは省略し、肺血管抽出、肺血管の葉単位分割処理のみ説明する。

肺血管抽出処理は、文献[4]では、肺野空気領域に濃度値に対して判別分析を行い、抽出した高濃度領域全体に領域拡張法を用いて、最大の連結成分を肺血管としていた。しかし、症例によっては主要な肺血管が複数に分離することがあるため、本手法では、最大の連結成分ではなく葉気管支、区域気管支に隣接する全ての連結成分を抽出した。これを肺血管1次抽出とする。また、気管支葉単位分割の結果を元に肺血管1次抽出の葉単位分割を行う。肺血管1次抽出では、肺尖、肺底部の肺血管はほとんど抽出できなかったことから、肺血管2次抽出として、さらに以下の処理を追加した。

(Step 1) 肺野空気領域に対して closing 処理を行い、肺門領域を埋める

(Step 2) Step1 の画像の輪郭面を抽出し、主気管支との接触点を調べ、肺門部の大まかな位置を調べる。

(Step 3) 肺血管1次抽出領域の中で、肺門部内の領域を領域拡張開始点とする。

(Step 4) 肺血管1次抽出領域のみが領域拡張されるように濃度値を設定し、枝分かれ式リージョンングを用いて肺血管を枝ごとに分類する。

(Step 5) 枝ごとに最適な大域条件を求め、その条件で末梢の肺血管の抽出を行う。

Step3 において、実際には肺血管が肺野内に入る箇所は1箇所ではないが、ここでは肺血管を枝ごとに異なるラベル値を付けることが目的であるため、1箇所以上肺野内に進入する位置が見つかれば良い。Step4 において、末梢の肺血管と葉間裂はかなり濃度値に近いが、葉間裂は非常に大きな曲面であることから、葉

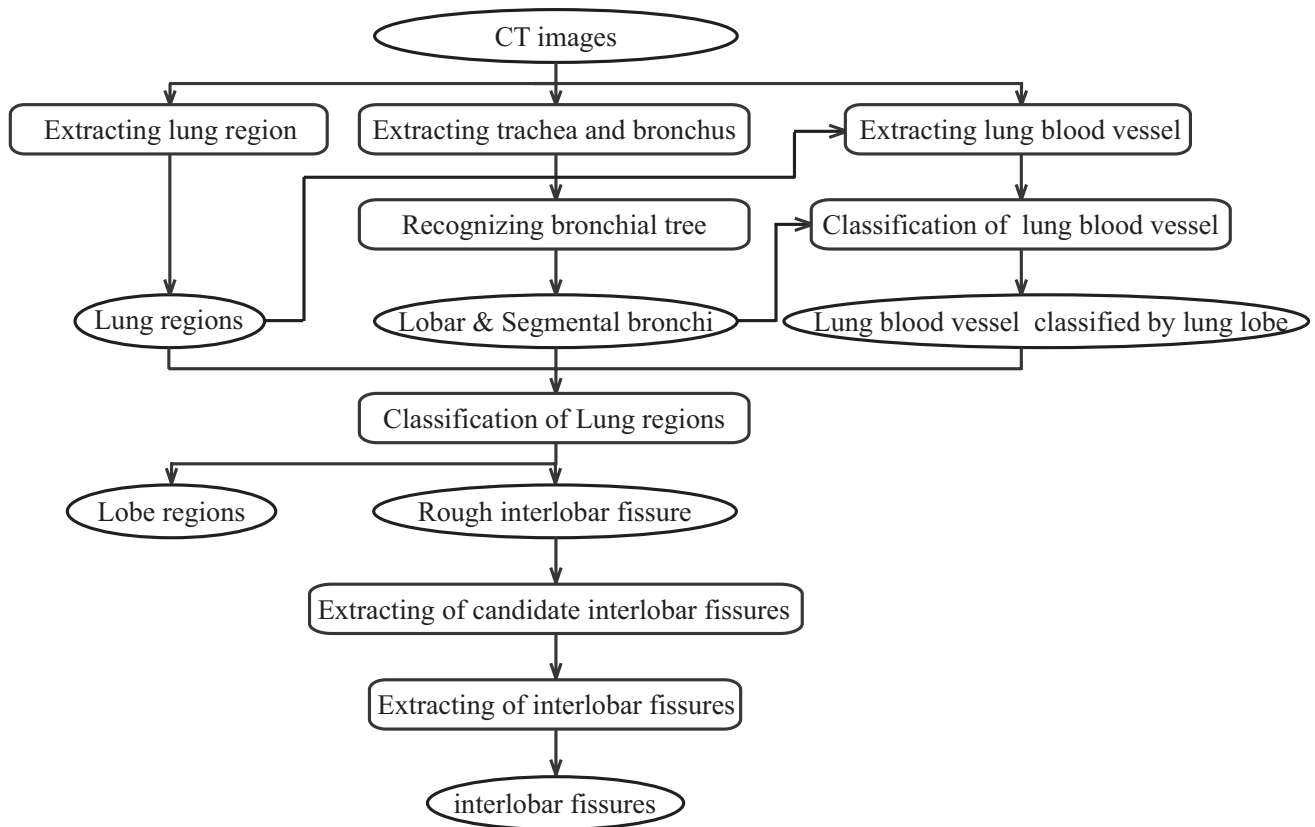


Fig. 1 処理手順の概要.

間裂を抽出しようとする領域溢れになると考えられる。また、Step5 において最適な大域条件を求める方法は、文献[4]における気管支抽出と同様の手法である。

肺血管 2 次抽出を葉単位で分割する手法は、肺血管 1 次抽出結果を各肺葉の母点として、26 近傍における擬似ユークリッド距離値を肺血管の経路のみ拡張するように設定し、その距離値に基づいてポロノイ分割を用いることにより実現する。

3.3. 濃度値に基づく葉間裂の抽出

3.3.1. 葉間裂候補領域抽出

葉間裂を抽出するために、まず、葉間裂候補領域を抽出した。処理手順を以下に示し、葉間裂候補領域を Fig.2 に示す。

(Step 1) 元画像に $3 \times 3 \times 3$ のメディアンフィルタを適用し、ノイズの除去を行う。

(Step 2) 18 近傍でラプラシアンフィルタを適用し、全ての負画素を抽出する(Fig.2(a))。また、ラプラシアンフィルタにおける隣接画素間隔は 3 画素とする。

(Step 3) 3.2 で得られた大まかな葉間裂から半径 r の球を構造要素として dilation を行い、この領域内部の Step2 の領域のみを抽出する(Fig.2(b))。

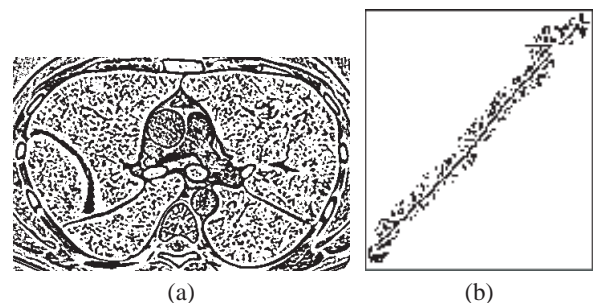


Fig. 2 葉間裂候補領域の抽出:

(a): 横断面から見た step2 の結果.

(b): 矢状面から見た step3 の結果.

Step2 において、隣接画素間隔を 3 画素としたのは、元画像において葉間裂が約 3 画素の厚さで観察されるためである。また、葉間裂候補領域では、葉間裂を通過する末梢の肺血管も抽出されてしまうことから、これを除去し、葉間裂のみを抽出する必要がある。

3.3.2. 葉間裂抽出

横断面(Transverse plane)、矢状面(Sagittal plane)、冠状面(Coronal plane)における葉間裂を Fig.3 に示す。

横断面においては、小葉間裂はほぼ平行である。大葉間裂はたいてい線状に観測される(Fig.3(a))が、一部

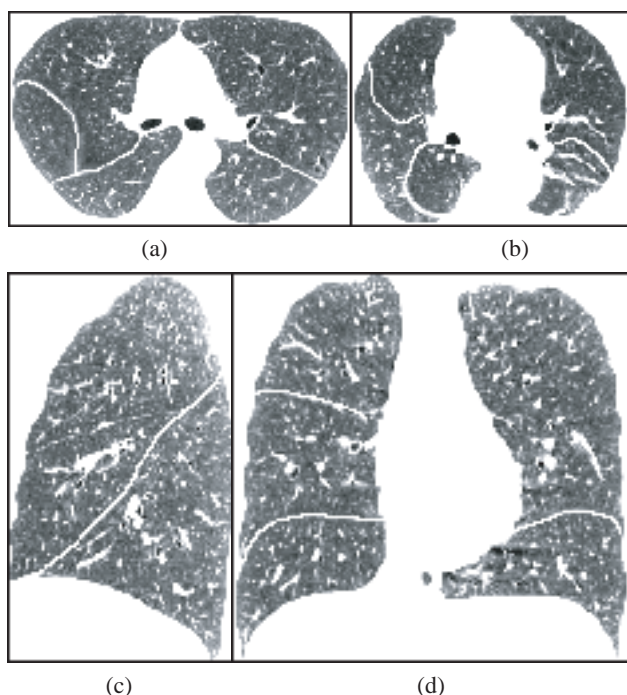


Fig. 3 葉間裂の断面表示:
 (a), (b): 横断面. (c): 矢状面. (d): 冠状面.
 (白線: 葉間裂.)

に平行な症例がある(Fig.3(b))ため、抽出が困難である。

矢状面においては、小葉間裂は左(左下)~右、大葉間裂は左下~右上に線状に観測される。(Fig.3(c))

冠状面においては、小葉間裂は左~右、右肺大葉間裂は左~右または左下~右上、左肺大葉間裂は左~右または左上~右下に線上に観測される。(Fig.3(d))

そこで、本手法では、矢状面、冠状面において葉間裂を線状に抽出し、最後に横断面で調整することで葉間裂抽出を実現する。

まず、矢状面における葉間裂抽出処理手順を以下に示す。また、処理経過を Fig.4 に示す。

(Step 1) 矢状面において、葉間裂候補領域からスライ

スごとに最大の連結成分を抽出し、小葉間裂であれば左右、大葉間裂であれば左下~右上に最も長い連結成分を含む断面を特定する。(Fig.4(a-b))(以下 Step2~4はこの断面のみに実行する)

(Step 2) 細線化を適用する。

(Step 3) 大葉間裂であれば最も左下、右上、小葉間裂では最も左、右の2点を抽出し、その2点を含む最短経路を抽出する。

(Step 4) 半径4程度の構造要素の円を用いて dilation 処理を行い、再度細線化を行う。これをこの断面の葉間裂抽出結果とし、前方、後方の断面を注目スライス(前方 scan, 後方 scan)として、それぞれ Step5~7の処理を行う。

(Step 5) 直前に抽出した葉間裂を、テンプレートとし、5x5の近傍で移動させて葉間裂候補領域の注目スライスと最も一致度の高い位置を求める。そして、注目スライスの中で移動後のテンプレートと重なる連結成分のみを抽出し、細線化を行う。(Fig.4(c))

(Step 6) Step5で得られた領域の中で、大葉間裂であれば最も左下、右上、小葉間裂では最も左、右の2点を抽出し、Step5の領域とテンプレートを重ねあわせた領域から、2点を含む最短経路を抽出する。(Fig.4(d))

(Step 7) 半径4程度の構造要素の円を用いて dilation 処理を行い、再度細線化を行う。これをこの断面の葉間裂抽出結果とする。(Fig.4(e))前方 scanであれば前のスライス、後方 scanであれば後のスライスを注目スライスとして、Step5へ。終了条件は、注目スライスに正画素が存在しない、または葉間裂候補領域にテンプレートを重ねたときに一致する連結成分が全くない場合である。

葉間裂候補領域において、葉間裂の一部が途切れてしまう場合が多いが、数枚のスライスは正確に抽出できているため、Step1ではそのようなスライスを特定することを目的としている。また、Step4, 7において、

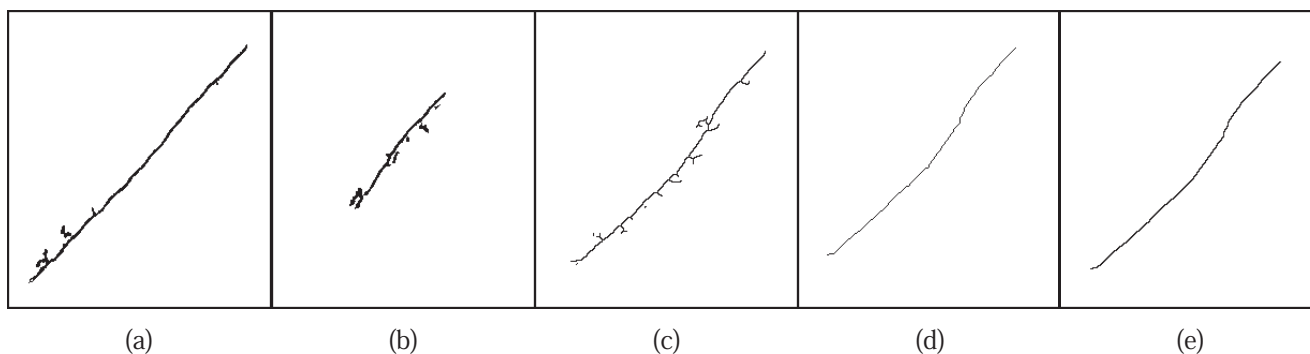


Fig. 4 葉間裂抽出処理:
 (a), (b): 最大の連結成分を抽出(step 1). (c): 細線化処理(step 5). (d): 最短経路の抽出(step 6).
 (e): 細線化処理(step 7).

dilation, 細線化を行っているが, これは最初の細線化では抽出結果が葉間裂と連結した末梢の肺血管によって引き込まれてしまうため, 末梢の肺血管を除去した後で再度細線化を行っている. 肺門付近では, 矢状面において肺野が分離してしまうため, 抽出が困難である. そこで, 冠状面においてスライスごとに以下の処理を行う.

(Step 1) 葉間裂候補領域において, 矢状面で得られた葉間裂と重なる連結成分のみを抽出する.

(Step 2) 細線化を適用する.

(Step 3) 最も左, 右の 2 点を抽出し, Step2 の領域と矢状面で得られた葉間裂を重ねあわせた領域から, 2 点を含む最短経路を抽出する.

(Step 4) 半径 4 程度の構造要素の円を用いて dilation 処理を行い, 再度細線化を行う.

最後に横断面においてスライスごとに微小面積を削除し, dilation 処理を用いて, 葉間裂の厚さを 3 画素に膨張させる. また, 本手法における 2 点間を結ぶ最短経路の求め方を以下に示す. ここで, 2 点を S, G とし, 初期設定として, 最短経路を求める成分の画素値を 0, 残りを十分大きな値とし, S を注目画素とする.

(STEP 1) 注目画素の 8 近傍に 0 画素を発見したら, その画素に注目画素値と近傍のユークリッド距離値の和を画素値として設定し, 同時に注目画素から拡張したことを記憶して, 近傍画素を注目画素に設定する.

(STEP 2) 注目画素の中に G が含まれていれば STEP3, 含まれていなければ STEP1 へ.

(STEP 3) G から S に至るまで拡張前の画素を順番に辿っていく. このときの経路を最短経路とする.

4. 実験

4.1. 実験に用いた症例

本研究で用いた画像は東芝社製 Aquilion で撮影された胸部 X 線 CT 画像 9 症例, 及び GE 社製 Light Speed Ultra で撮影された体幹部 X 線 CT 画像から胸部領域を手動で切り出した 20 症例であり, いずれも肺尖から横隔膜までの肺野全体が撮影された 3 次元画像である. Aquilion は, 空間分解能 $0.625 \times 0.625 \times 0.5$ [mm], 精密検査用に撮影されたものである. Light Speed Ultra は, 空間分解能 $(0.625 \sim 0.742) \times (0.625 \sim 0.742) \times (0.625 \sim 0.63)$, 実際に臨床診断で使用されているものである.

4.2. 実験結果と考察

肺血管の抽出結果, 葉間裂の特定結果を Fig.5 に示す. この結果から, 末梢の肺血管が多く抽出でき, 肺

血管を末梢まで抽出した方が葉間裂特定の精度が向上していることがわかる. また, 肺血管 2 次抽出で一部の症例に葉間裂も抽出している症例が見られたが, このような症例でも葉間裂特定精度は向上していた. このことから, 高精度な画像では末梢の肺血管の抽出が葉間裂の位置の特定に有効であることがわかる.

本手法は 29 症例中 25 症例の 86% に適用が可能であった. また, 失敗した 4 症例の原因としては, 気管支抽出失敗が 1 症例, 肺血管 1 次抽出の葉単位分割失敗が 2 症例, 葉間裂抽出処理失敗が 1 症例であり, 全て Light Speed Ultra で撮影された画像であった. 気管支抽出では, 肺葉の情報をより多く得るため, やや過抽出になるように領域拡張のパラメータを設定していたが, Light Speed Ultra では画像上にアーチファクトが多いことから, アーチファクトを多く誤抽出し, 他の肺葉に拡張してしまった. 肺血管 1 次抽出の葉単位分割失敗は, 肺血管抽出処理において, 右肺小葉間裂付近で葉間裂を貫いた肺血管が多く抽出されたが, 他の肺葉の肺血管とは接触していないために, 実際の葉間裂との誤差が大きくなってしまったため, 正確に肺葉分割処理が行えなかった. ただ, 葉間裂抽出処理失敗の 1 症例に関しては, 元画像を目視で確認しても葉間裂が確認できないため, 濃度値情報を用いた本手法で

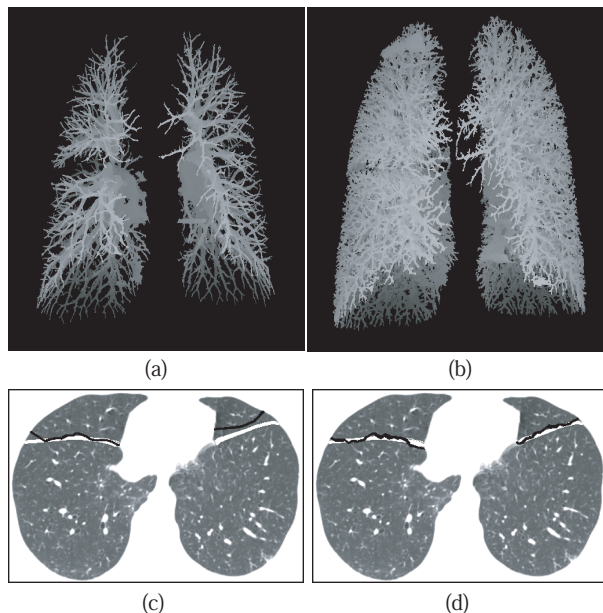


Fig.5 肺血管の抽出結果:

(a): 肺血管 1 次抽出. (b): 肺血管 2 次抽出.

(c), (d): 葉間裂の存在位置の特定.

((c): 肺血管 1 次抽出(a)を使用. (d): 肺血管 2 次抽出(b)を使用.)

(白線: 実際の葉間裂. 黒線: 実験で得られた葉間裂.)

抽出するのは原理的に不可能である。

本手法が適用できた 25 症例のうち 10 症例(Aquilion9 症例 ,Light Speed Ultra1 症例)について手動で葉間裂を抽出し、その点と抽出した葉間裂との距離の平均値を求めことで精度評価を行った。ここで、3.3.1 の step3 で葉間裂候補領域とする半径 の値は、10 に設定した。これは、気管、気管支、肺血管から得られた葉間裂と実際の葉間裂との平均距離は約 2[mm]であったことから、余裕をもたせて最も誤差のある部分でも 10[mm]以内に実際の葉間裂があると仮定したためである。結果を Table 1 に示す。この結果から、ほとんどの症例において誤差が 2[mm]以内であり、良好な結果を得ることができた。誤差が 2[mm]以上の症例に関しては、肺野の大部分に炎症があり、葉間裂の一部も炎症していたものである。このことを考慮すると、妥当な結果が得られたと思われる。

また、残りの 15 症例について目視で確認したところ、これらの症例に関しても良好な結果が得られた。ただ、今回の精度評価方法では、過抽出に関しては評価できるが、未抽出に関しては評価することができない。特に右肺小葉間裂において葉間裂候補領域抽出で葉間裂が欠けている症例が多かった。また、完全に葉間裂から末梢の肺血管を除去することはできなかった。したがって、現状では完全分葉と不全分葉の識別は困難であり、さらに葉間裂抽出精度を向上させることが必要である。

5. まとめ

肺血管を末梢まで抽出することが、葉間裂特定精度の向上に有効であり、葉間裂の濃度値に基づいた処理と併用することにより、概ね良好に葉間裂を抽出することができた。しかし、本手法を適用できない症例も 4 症例存在することから、今後の課題としてアーチファクト低減処理などを組み合わせて、本手法の汎用性を高め、さらに葉間裂の抽出精度を向上させることが必要である。

Table 1 実験で得られた葉間裂と手動で抽出した葉間裂の平均距離。

Mean[mm]	Interlobar fissures[cases]		
	Right major	Right minor	Left major
< 0.20	2	0	0
0.20 - 0.50	2	0	2
0.50 - 1.00	2	6	3
1.00 - 1.50	2	1	2
1.50 - 2.00	1	2	1
2.00 ≤	1	1	2

謝辞 本研究を進めるにあたり、有益なご助言を頂きました藤田研究室の諸氏に感謝いたします。本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金および岐阜大学産官学融合センター重点研究助成金によって行われました。

文 献

- [1] 尾辻 秀章, 甲川 佳代子, 吉矢 和彦, “画像診断のためのピンポイント解剖学”, 画像診断, Vol.21, No.6, pp.666-672, 2001.
- [2] 佐藤 善隆, 瀧田 憲晃, 羽石 秀昭, 土田 大輔, 森 豊, 外山 比南子, 宮本 忠昭, “胸部 X 線 CT 画像における葉間裂抽出とその重粒子線治療評価への応用”, JAMIT Annual Meeting 2003, CD-ROM, PP-05, July, 2003.
- [3] 財田 伸介, 安友 基勝, 久保 満, 河田 佳樹, 仁木 登, 江口 研二, 大松 広伸, 柿沼 龍太郎, 金子 昌弘, 楠本 昌彦, 森山 紀之, 笹川 道三, “葉間裂を用いた肺野区間分類の研究”, JAMIT Annual Meeting 2003, CD-ROM, OP1-05, July, 2003.
- [4] 林 達郎, 周 向榮, 原, 武史, 藤田 広志, 横山 龍二郎, 桐生 拓司, 星 博昭, 佐藤 真知子, “肺野内部の臓器の位置情報に基づく胸部マルチスライス CT 画像における肺野区間の分類に関する研究”, JAMIT Annual Meeting 2003, CD-ROM, OP1-04, July, 2003.
- [5] X.Zhou, T.Hara, H.Fujita, et al: Extraction and Recognition of the Thoracic Organs Based on 3D CT Images and Its Application, Proc. Of the 16th International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery 2002, pp.776-781, 2002.
- [6] K.Mori, J.Hasegawa, J.Toriwaki, et al: Extraction and Visualization of Bronchus from 3D images of Lung, in Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medicine, ed.N.Ayahe, Lecture Note int Computer Science, 905, pp.542-548, Springer, 1995.
- [7] 吉田祐一, 森 健策, 長谷川純一, 他: 複数の知識モデルの利用による仮想化気管支内視鏡システムの気管支枝自動生成手順の改善, 信学技報, PRMU99-242, pp.81-88, 2000.
- [8] F.Iseki, H.Kobatake, T.Baigalmaa, H.Omatsu and R.Kakimuma, "Extraction of 3D Tree Structure of Blood Vessels in Lung Area from Chest CT Images", In Proceeding of CAR'98, pp.45-50, June, 1998.
- [9] 関口 博之, 杉本 直三, 英保 茂, “枝分かれ式リージョングロウイングによる頭部 MRA からの血管抽出”, 信学技報, MI2002-74, pp.29-34, 2002.