

# マルチデテクタ CT 画像におけるコンピュータを用いた Tracheal Bronchus の自動検出アルゴリズムの開発

武村哲浩, 鈴木正行, 奥村悠祐<sup>†</sup>

金沢大学大学院医学系研究科保健学専攻 〒920-0942 金沢市小立野 5-11-80

<sup>†</sup>石川済生会金沢病院 〒920-0353 石川県金沢市赤土町ニ 13-6

(2006年6月2日, 最終2006年7月24日)

## Computer-aided detection of tracheal bronchus in multi-detector computed tomography images

Akihiro TAKEMURA, Masayuki SUZUKI, and Yusuke OKUMURA<sup>†</sup>

Division of Health Sciences, Graduate School of Medical Science, Kanazawa University

5-11-80 Kodatsuno, Kanazawa 920-0942, Japan

<sup>†</sup>Saiseikai Kanazawa Hospital, 13-6 Akado, Kanazawa 920-0353, Japan

(Received June 2, 2006, In final form July 24, 2006)

**Abstract:** Tracheal bronchus (TB) is a rare bronchial anomaly, which should be non-invasively diagnosed in chest computed tomography (CT) images. However, it can remain undetected because of its low frequency. A small tool to detect this anomaly in chest CT images will be useful to reduce the incidence of cases in which it goes undetected. We developed a scheme for detection of tracheal bronchus consisting of a two-dimensional rule-based scheme that indicates a slice including TB. Criteria applied to identify tracheal bronchus are: in the slice 1) the trachea region is split into two or more regions, and the area of the larger of the largest two regions is four or more times that of the smaller region, and 2) the circularity of the trachea region is lower than 0.65 and recovers in the next slice. Once one of the criteria is satisfied, the slice is determined to include TB. The scheme was applied to 30 cases (three with and 27 without TB) retrospectively. The sensitivity and specificity was 66.7% and 92.6%, respectively.

**Key words:** Tracheal bronchus, Bronchi anomaly, Computer aided detection, Multi-detector computed tomography, rule based method

### 1. はじめに

近年, Multi-Detector Computed Tomography (MDCT) の発展より, 薄いスライス厚による詳細な横断像が撮影されるようになった. 胸部では, シングルスライスのヘリカル CT では難しかった, 一度の息止めで肺全体をスキャンすることが可能となり, その有用性は高い. また, 通常の胸部 X 線画像を対象とした Computer Aided Diagnosis (CAD) が研究開発されて来たように, 胸部 CT 画像を対象とした CAD も研究されてきている. それらは肺野内の病変 (主に肺がん) を自動検出することを目的としている [1-3]. その他には, 胸部 CT 画像を用いて気管支鏡検査を支援するシステムの研究も行われている [4]. そのシステムでは, 気管支鏡により得られる画像と胸部 CT 画像を用いた仮想気管支内視鏡像から, 胸部 CT 画像内での現実の内視鏡の位置および進む方向をナビゲートする.

胸部 CT 画像においてまれに気管支の分岐の先天的な異常が見付けられることがある. それら気管支分岐の先天性異常には, Tracheal Bronchus (TB) と Accessory Cardiac Bronchus (ACB) がある [5]. その頻度はそれぞれ 0.1-2%, 0.08-0.8% 程度と報告されている [5, 6]. これら異常気管支は炎症や咯血の原因となる可能性がある [7]. しかしながら, 炎症などを起こさなければ特に症状はなく, かつそのような患者は極めてまれであり, 断層像では注意して診なければわかりにくい場合も多くあるため, 指摘されずに見過ごされやすい. そこで, 我々は, 胸部 CT 画像の読影の直前にこれら先天性の気管支分岐異常を検出するツール

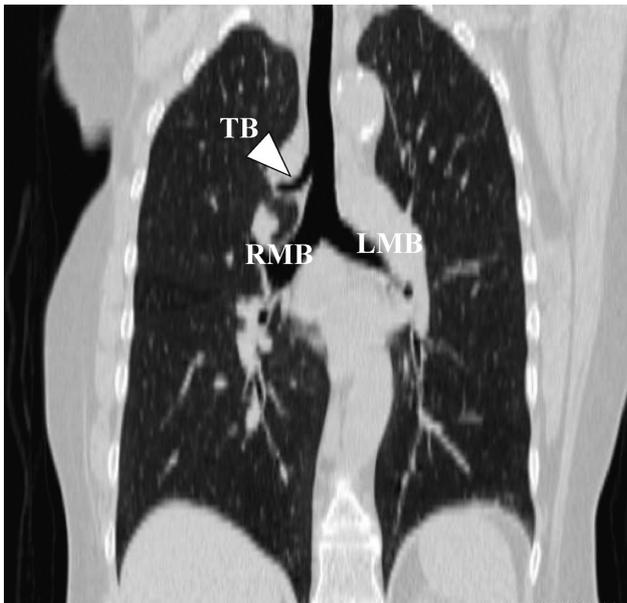
があれば有用であると考えた.

先の気管支鏡検査を支援するシステムや Tschirren らの論文 [8] では胸部 CT 画像のボリュームデータから気管及び気管支腔を抜き出し, それぞれの気管支の名前を認識している. しかし, それらの手技で用いられている 3 次元画像の細線化処理は, コンピュータの高い処理能力と多くの処理時間を必要とする. そのため読影前に用いるツールとしては不向きであると考えた.

この論文では, MDCT で得られた胸部 CT 画像を対象に, 放射線科医が実際の読影前のチェックに用いるための TB の自動検出アルゴリズムを提案する. ACB についてはこの研究と平行して自動検出アルゴリズムの開発を行っている [9].

### 2. Tracheal Bronchus

当初, TB は気管から直接分岐する右上葉気管支とされていた. 後に気管もしくは主気管支から分岐し直接上葉に繋がる気管支とされ, 近年では Ghaye らにより直接, 上葉に繋がる異常な気管支とされた. Fig.1 に TB の一例を示す. 分岐の種類としては, 気管から直接分岐し左右いずれかの上葉に繋がるもの, 気管分岐部もしくは左右主気管支から分岐し同様に左右どちらかの上葉に繋がるもの, その他, 中間気管支幹, 下葉気管支から分岐するものもある. 中間気管支幹や下葉気管支から分岐する TB を認識することは, 分岐をたどり上葉に繋がることを確認しなければならず, その処理は複雑なものとなり処理時間をかけなければならなくなるのが考えられる. しかも, TB の約 94%



**Fig.1** Example of tracheal bronchus. The white triangle indicates tracheal bronchus in a coronal multi-planar reformation image of chest CT images. This tracheal bronchus originates from the trachea.

は気管もしくは主気管支から分岐すると報告されている [4] ため、その処理により得られる検出率の上昇は最大で 6% 程度でしかない。そのため我々は気管及び主気管支から分岐する TB にのみを検出対象とした。

### 3. 検出方法

我々は、読影直前に用いられること考え、2D based かつ rule based のアルゴリズムを考案した。この手法では、スライス面内に TB があるかどうかを判断し、ある場合にはそのスライス番号を提示する。

気管は、前面及び側面を馬蹄形をした気管軟骨とそれを上下に繋ぐ輪状靭帯および後面を膜性壁によって形作られている。断面は馬蹄形から楕円形をしている。そのため正常な（気管に形態的な異常がない）気管断面の円形度は高い値を示す。円形度は以下の式で表される。

$$C = \frac{4\pi \cdot A}{L^2} \dots\dots\dots (1)$$

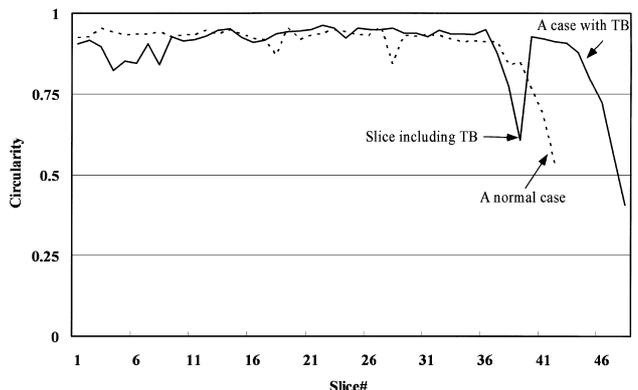
ここで、 $C$  は円形度、 $A$  は領域の面積、 $L$  は領域の外周長である。

一方 TB がある場合には、TB の分岐部分が気管内腔の出っ張りとして認められるため、そのスライスで円形度が下がる。Fig.2 に正常症例と TB がある症例の気管内腔領域の円形度の変化を示す。正常症例では、スライス毎の円形度の値は、0.8 以上の高い値となり気管分岐部あたりで急激に低下する。TB のある場合は、TB が確認できるスライス以外では正常症例と同様であるが、TB があるスライスでは円形度がいったん下がり、また元に戻る。また、コンピュータにより気管から TB が明らかに分岐するのが認識できる場合、つまり上から気管内腔領域をたどっていった際に内腔領域が 2 つに分離した場合、気管分岐部との区別が必要となる。通常 TB は上葉枝もしくはさらに細かい亜区域枝であるため、その太さは気管よりも十分に小さい。我々の計測によると、気管内腔領域が気管分岐部により 2 つの領域に分かれるスライスで、それぞれ 2 つの領域の面積の比率は大きい方の領域が小さい方の領域の 4 倍

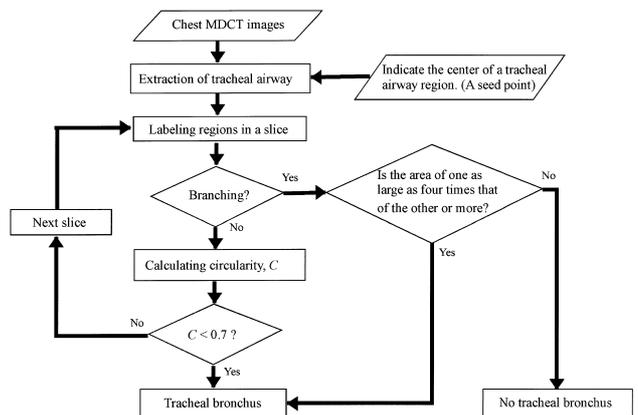
に満たなかった。TB ではその比率は十分に 4 倍以上となると考えられる。

これらのことから、TB を判断する基準は、CT 画像上の気管内腔の領域を胸部の上から下へとたどった際に、1) 領域が分離し大きい方の面積が小さい方の 4 倍以上である、2) 円形度が基準以下となりかつ次のスライスでその円形度が改善する、この 2 つの条件のうちどちらかを満足する場合、そのスライスに TB があると認識するとした。ここで円形度の基準は 0.65 とした。それは、手動により気管内腔領域の円形度を測った際に、TB のある場合には 0.6 前後となったことより決定した。

Fig.3 に TB の自動検出アルゴリズムを示す。最初に気管支内腔のツリー構造をリージョンローイングを用いて抽出する。その際のシード点は、スライス内の気管内腔中心あたりを手動で指定する必要がある。リージョンローイングの処理は 3 次元的に行き、注目画素と隣り合う上下前後左右 6 近傍の画素の平均画素値を計算し、その値がある閾値より小さい場合に注目画素を抽出した。ここでは、気管支内腔つまり空気の領域を抽出するため閾値は CT 値で -800 とした。一般にリージョンローイングにより気管支を抽出する場合、肺野内へリージョンローイングの処理が広がるいわゆるリークが問題になる。しかしこの研究において、気管、主気管支および TB の分岐起始部が問題であり、また開発された手法ではリージョンローイングでのシード点の座標を用いて気管支をスライス毎にたどるため、気管及び主気管支からリークが起こらない限り問題とならない。ただし、リークが起こると無駄な処理時間



**Fig.2** Circularity of trachea airway region in chest CT images. Graphs show circularity of the tracheal airway region in each CT image as a function of image number. The circularity value of tracheal bronchus case in slice #39 dropped to about 0.6 and then returned to normal in the next slice. TB was detected in this slice.



**Fig.3** Rule-based scheme of tracheal bronchus detection

が増えるため、抽出した画素数が10万画素を超えるとリージョンローイングを強制的に終了させるようにした。

また、さらに処理時間を抑えるために、シード点の座標を原点として、人体の前後方向に+60から-120画素まで、左右方向に±60画素の領域、つまり121x181x(スライス枚数)の領域を抜き出す。

リージョンローイングにより抽出および2値化され、さらに切り抜かれたデータを、次はスライス毎にラベリング処理しスライス内で分割されている領域毎にラベル番号を与える。リージョンローイングのシード点を含む(気管内腔)領域を最初の注目範囲とし、次のスライスでその注目範囲と同じ範囲内に複数のラベルが存在するかを確認する。含まれるラベルが2つ以上ある場合、それぞれのラベルを持つ領域の面積が大きいものから順に2つ選択する。そしてその2つの領域の面積比が、基準1)に当てはまればTBと判断する。当てはまらなければ気管が分岐したスライスと認識され処理が終了する。

含まれるラベルが1つの場合には、その領域の円形度を計算し0.65以下となればTBの候補スライスとなる。更に次のスライスで円形度がTB候補のスライスより大きくなればその候補スライスがTBの含まれるスライスであると判断される。Fig.2に示したとおり、円形度が戻ることになれば、TBが含まれるスライスとは判断されない。

#### 4. 実験方法および結果

TBをもつ症例3例およびTBのない症例27例を用いて感度と特異度、および平均処理時間を求めた。全ての症例はレトロスペクティブに得た臨床画像である。

用いた胸部CT画像は、GE社製LightSpeed Ultra 16およびLightSpeed PlusのMDCTをもちいてスライス厚2.5mmで撮影された。マトリックスサイズは512x512、画素サイズは症例によりField Of Viewの大きさが異なるため0.586, 0.6836, 0.781mmのいずれかである。1症例あたり68-143枚のスライス画像がある。

感度の評価においては、自動検出アルゴリズムによりTBが含まれるスライスであると判断されたスライスが、放射線科医が指摘したTBの起始部が写るスライス範囲に含まれていれば正診とした。

開発した手法では3例中2例で正しくTBを含むスライスを指摘でき、感度は66.7%であった。Fig.4に正しくTBのあるスライスと指摘されたスライスの原画像を示す。図中矢印で示す部分にTBの分岐部分が確認できる。

Fig.5はTBがある症例で間違っただけでTBがないと認識された症例のTBが含まれるスライスである。この症例では、正しいTBの枝は他の2例と違い分岐直後のTBに内腔がなく、平たく押しつぶされた形をしていた(Fig.5内矢印)。そのため、リージョンローイングにより気管内腔を抽出した際に抽出できておらず、またそのスライスでの気管内腔領域の円形度は0.65以上の値となっていたため認識できずTBが無いと判断された。

特異度については、TBのない症例27例中25例でTBはないと判断しており特異度は92.6%であった。TBのない症例群においてTBがあると判断された2症例のうち1例については、TBのある症例で間違っただけのスライスをTBと認識した症例と同様、気管の一部が縦長の形状であったため、その部分での円形度が下がり間違っただけでTBであると検出した。残りの1例では右上葉気管支が主気管支分岐直後に分岐しており、その枝による円形度の低下によりTBの含むスライスだと認識していた。

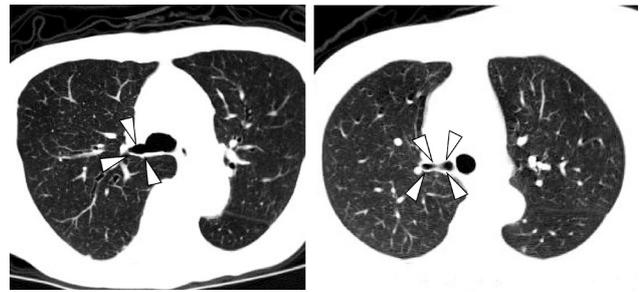


Fig.4 Cases in which tracheal bronchus detection succeeded. White triangles indicate tracheal bronchus in each case. Using the present detection scheme, these slices were successfully found to include tracheal bronchus.

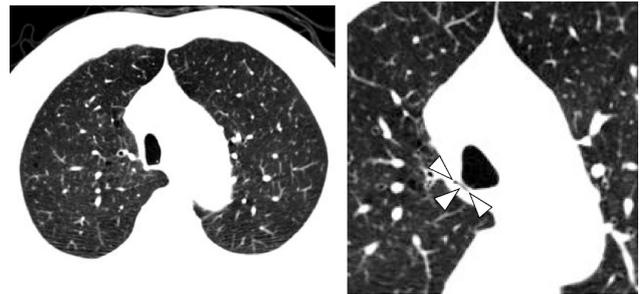


Fig.5 A case of failed tracheal bronchus detection. The image is the true slice including tracheal bronchus in the failed case. White triangles indicate the tracheal bronchus. The tracheal bronchus had the appearance of a flattened and non-cavitary branch.

全30例を、CPU Intel社製Pentium4 2.4GHz、メモリ1GBのコンピュータで処理させた際の平均処理時間は9.72秒(SD 4.26)であった。最も処理時間が短かった症例では1.58秒であり、逆に最も時間のかかった症例でも13.7秒であった。処理時間のほとんどが気管および気管支内腔の抽出処理で平均8.08秒(SD 3.65)、その他のTBの検出処理等が平均1.65秒(SD 0.659)であった。

#### 5. 考察

本アルゴリズムは、読影直前に簡便にTBの存在をチェックできることをめざし開発された。処理時間が平均で9.72秒、最大でも13.7秒で処理できており、読影前に待つことのできる時間と考える。今回作成したプログラムはアルゴリズムの検証用であるため、今後ユーザーインターフェイスなども加え、臨床応用ができるように構築していく必要がある。

TBを持つ症例のうち検出に失敗した症例では、分岐直後のTBの内腔が1画素程度の幅となっており、その内腔のCT値も-600程度であったため、リージョンローイングでそのTBの枝を抽出することができなかった(しかしその先では内腔を持ったTBが認識できる)。リージョンローイングを用いて気管及び気管支内腔を抽出する本手法では、このような症例に対する検出能は限界があるだろう。

今回は、その頻度の少なさのため、TBを持つ症例は3症例しか集めることができなかった。今回の感度は66.7%であったが、この手法の感度をより正しく評価するにはさらに症例を集める必要がある。

特異度に関しては92.6%であり、27症例中2例で間違っただけでTBはないスライスをTBがあると判断した。使用した27例はすべて無作為に得られた症例であり、これらの症例による特異度は現実の性能と差がないと考える。

TBがあると誤認識したうちの1例は右上葉気管支が気管分岐直後に出ている症例であり、この右上葉気管支があるスライスをTBがあるスライスだと誤って認識した。しかしながら、気管分岐部を起点とするTBもあり、このようなTBと誤認識した症例のような右上葉気管支を区別することは本手法で用いている基準だけでは難しい。このような診断支援手法において、誤認識の数が許容できる範囲である場合、誤ってTBがないと判断するよりむしろ誤ってTBがあると判断するほうが診断医に対するより良い支援となる。このような右上葉気管支の頻度は今回評価に用いた27例中1例であり4%以下である。そのため、現時点ではこの誤認識については許容すべきものだと考える。

TBを判断する円形度の閾値は、評価にもちいた症例においてもっとも良い結果を出すものであったが、すべてのTBに対応できるような閾値についてはTBを持つ症例を集め今後検討する必要がある。特に、肺気腫が存在する場合、ザーベル鞘と形容される前後に長く、左右に短い径の気管がみられることがあり、その場合、気管内腔領域の円形度が低くなる。TBのない症例群で誤認識した症例は気管の一部でザーベル鞘と同様な気管の形状をしていたため誤認識となった。今後このような症例に対する考慮・検討も必要になると考える。

## 6. まとめ

MDCTを用いて撮影された胸部CT画像を対象とするTracheal Bronchus自動検出アルゴリズムを開発した。TBを持つ症例3例およびTBのない症例27例を用いた際の本アルゴリズムの感度および特異度はそれぞれ66.7%と92.6%であった。今後、TBを持つ症例の数を増やし、TBを認識するためのパラメータの調整とそれに伴う感度特異度の評価を行う必要がある。

## 参考文献

- [1] Yuan R, Vos PM, Cooperberg PL.: Computer-aided detection in screening CT for pulmonary nodules. *Am J Roentgenol.* 186(5), 1280-1287, 2006.
- [2] Li F, Arimura H, Suzuki K, et al.: Computer-aided detection of peripheral lung cancers missed at CT: ROC analyses without and with localization. *Radiology*, 237(2), 684-90, 2005.
- [3] Yamamoto M, Ishida T, Kawashita I, et al.: Development of Computer-aided Diagnostic System for Detection of Lung Nodules in Three-dimensional Computed Tomography Images. *日放技誌* 62(4), 555-564, 2006.
- [4] Mori K, Hasegawa J, Suenaga Y, et al.: Automated anatomical labeling of the bronchial branch and its application to the virtual bronchoscopy system. *IEEE Trans. Med. Imag.* 19(2), 103-110, 2000
- [5] Ghaye B, Szapiro D, Fanchamps J, et al.: Congenital Bronchial Abnormalities Revisited. *Radiographic* 21, 105-119, 2001.
- [6] Suzuki M, Matsui O, Takemura A, et al.: Four cases of accessory cardiac bronchus incidentally detected on multi-detector CT. *Euro. J. Radio. Extra* 57(2), 47-50, 2006.
- [7] McGuinness G, Naidish DP, Garay SM, et al.: Accessory cardiac bronchus: CT features and clinical significance. *Radiology* 189, 563-566, 1993.
- [8] Tschirren J, MacLennan, Palagyi K, et al.: Matching and anatomical labeling of human airway tree. *IEEE trans. Med. Imaging.* 24(12), 1540-1547, 2005.
- [9] Takemura A, Suzuki M, Harauchi H, et al.: A rule-based scheme for detection of accessory cardiac bronchus in chest computed tomography images. *Int Comput Assist Radiol Surg* 1 Suppl 1, 362-365, 2006.