

速報

肝臓電子アトラスと線強調フィルタによる
体幹部非造影X線CT像からの中肝静脈の自動抽出北川輝彦・周 向荣・原 武史・藤田広志・横山龍二郎¹⁾
近藤浩史²⁾・兼松雅之¹⁾・星 博昭³⁾論文受付
2007年11月9日論文受理
2007年11月10日

Code No. 532

岐阜大学大学院医学系研究科再生医科学専攻知能イメージ情報分野

1 岐阜大学医学部附属病院放射線部

2 岐阜大学医学部附属病院放射線科

3 岐阜大学大学院医学系研究科腫瘍制御学講座放射線医学分野

緒言

X線CT画像を用いた画像診断において、肝臓は腹部臓器のなかで最も重要な臓器の一つである。そのため、CT画像上における肝臓領域の構造を把握し、自動的に正常な肝臓の種々の特徴や構造と比較・分析する機能は、肝臓のCADシステムを構築するうえで必要不可欠な要素である。肝臓は解剖学的にCouinaudの肝区域という区域に分割される。これは、肝静脈および門脈といった肝臓内の血管を基準として、肝臓をS1-S8の8亜区域に分割する分類法である¹⁾。肝臓は、胆のう床と中肝静脈、下大静脈を結ぶCantlie線によ

って分割され、外科的にS1-S4を左葉、S5-S8を右葉と呼ぶ。この区域の分類は、肝臓領域で発生した腫瘍などの病変の位置を特定するために用いられる。さらに、生体肝移植や肝臓癌の摘出などの手術計画において、各亜区域・区域・葉の体積を測定し、外科的に切除する面の決定にも用いられる。このように、Couinaudの肝区域の自動的かつ精密な決定は臨床における肝臓のCADシステムでは非常に重要な要素となると考えられる。

従来の研究においては腹部造影X線CT画像から肝臓内の門脈を抽出し、その血管情報を用いた肝区域の分

Automated Middle Hepatic Vessel Extraction Method Using Electronic Atlas and Line Enhancement Filter on Non-contrast Torso X-ray CT Images

Teruhiko Kitagawa, Xiangrong Zhou, Takeshi Hara, Hiroshi Fujita, Ryujiro Yokoyama,¹⁾ Hiroshi Kondo,²⁾ Masayuki Kanematsu,¹⁾ and Hiroaki Hoshi³⁾

Department of Intelligent Image Information, Division of Regeneration and Advanced Medical Sciences, Graduate School of Medicine, Gifu University

1) Department of Radiology Services, Gifu University School of Medicine and University Hospital

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

3) Department of Radiology, Division of Tumor Control, Graduate School of Medicine, Gifu University

Received Nov. 9, 2007; Revision accepted Nov. 10, 2007; Code No. 532

Summary

Classification of the liver region of the Couinaud segment provides significant information for a computer-aided diagnostic system to localize the position of lesions in the liver region. Hepatic vessels provide essential information to classify the liver region of the Couinaud segment. However, automated segmentation and classification of hepatic vessels are difficult in non-contrast CT images owing to the low contrast between hepatic vessels and liver tissue. In this paper, we propose an automated extraction schema for extracting the middle hepatic vein (MHV) and we employ this schema to classify the liver region into right and left lobes. We applied our method to 22 non-contrast X-ray CT images. All of the cases were normal liver cases. The results for the MHV extraction were evaluated using three parameters for the volume ratio to the correct region of liver. The results show that hepatic vessels extracted using the proposed method were found to be satisfactory in 41% (9/22) of cases.

Key words: CAD, middle hepatic vein, hepatic vessel segmentation, non-contrast X-ray CT images, Hessian matrix

別刷資料請求先：〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸1-1

岐阜大学大学院医学系研究科再生医科学専攻知能イメージ情報分野 北川輝彦 宛

類手法²や、非造影の体幹部CT画像から肝臓内の血管を、線強調フィルタを用いて強調する手法³が報告された。しかし、肝内静脈を自動的に抽出し、その血管を分類し、肝臓の区域の決定を行う研究はまだ報告されていない。そこで本研究では肝臓内部の血管を自動的に抽出し、肝臓を右葉と左葉に分離するうえで重要な中肝静脈を抽出する手法を提案する。

1. 材料および方法

非造影CT画像における血管領域は肝臓実質部と比較してわずかにCT値分布が低い傾向にあるが、その差は小さく、またばらつきは大きいので、肝臓領域内の雑音(ここでは、過抽出領域を“雑音”と呼ぶことにする)との分離が困難である。そこで、肝臓内血管を強調する処理の手順を1-1で説明する。

また、肝臓内血管(肝内静脈、門脈)のCT値はそれぞれほぼ等しいため、CT値のみによる分離は不可能である。そのために、CT値以外の特徴によってこれらを分離する必要がある。そこで、1-1で強調された肝臓内の血管領域とアトラス(位置情報)を用いて中肝静脈の探索範囲を限定し、目標とする血管以外の雑音の削減を試みる。この処理の手順を1-2で説明する。

1-1 肝臓内血管の強調

1-1-1 血管ゆう度画像の生成

始めに原画像から肝臓領域を自動抽出する⁴⁾。抽出された肝臓領域には血管領域による隙間が生じており、モルフォロジ処理によって隙間となった領域を埋める。そして、Pタイル法を用いて、肝臓内の血管の領域を推定する。差分された領域に対し、モルフォロジ処理と体積による小成分除去処理を用いて雑音の除去を行う。これらの処理によって得られた領域を血管の候補領域とする。この血管候補領域からCT値分布のヒストグラムを取得し、このヒストグラムから平均CT値 μ 、標準偏差 σ を推定する。

続いて、ガウシアンフィルタによって平滑化した原画像の各画素が血管であるゆう度を求める。各画素のゆう度の計算には、(1)式で定義されるガウス窓関数を用い、上記で推定されたパラメータ μ と σ をそれぞれ代入する。

$$L_{density}(x, y, z) = \exp\left\{-\frac{(I(x, y, z) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \dots\dots\dots(1)$$

1-1-2 線強調フィルタによる線成分の強調

1-1-1では肝臓内の血管のCT値分布を示す領域をゆう度画像として生成したが、雑音成分も多く含まれている。そこで、血管のような脈管状の構造を強調するフィルタとして線強調フィルタ⁵⁾を利用する。これに



Fig. 1 Gold-standard of right and left lobes of liver region.

よって、雑音成分が相対的に抑制される効果も期待できる。

1-2 中肝静脈の自動抽出

1-2-1 肝右葉・左葉アトラスの生成

肝臓領域を抽出⁴⁾した後に、専門医の指導のもとで、この肝臓領域を肝右葉の領域と肝左葉の領域に手動で分割する。これらを“肝右葉の正解画像(Fig. 1: 明るい領域)”と“肝左葉の正解画像(Fig. 1: 暗い領域)”とそれぞれ定義する。また、このときに中肝静脈の正解画像も半自動で生成する。続いて、肝右葉・左葉の正解画像の位置と形状をそれぞれthin plate splines (TPS)非剛体変形手法^{6,7)}を用いて正規化する⁴⁾。正規化された肝右葉の正解画像と肝左葉の正解画像をそれぞれ画像空間上で加算平均し、二つのアトラスを生成する。本研究ではこれらをそれぞれ“肝右葉アトラス”と“肝左葉アトラス”と定義する。各アトラスは(2)式で定義される。

$$P_{atlas}(x, y, z) = \sum_{i=1}^N \frac{I_i(x, y, z)}{N} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 N はアトラス作成に用いた症例数、 I は症例 i の (x, y, z) 座標に肝臓領域が存在すれば1、存在しなければ0とする関数である。

1-2-2 肝右葉・左葉アトラスの位置合わせ

1-2-1で生成された右葉の肝臓アトラスと左葉の肝臓アトラスをそれぞれ入力画像に対して位置合わせをする。位置合わせによって生成されたこれらのアトラ

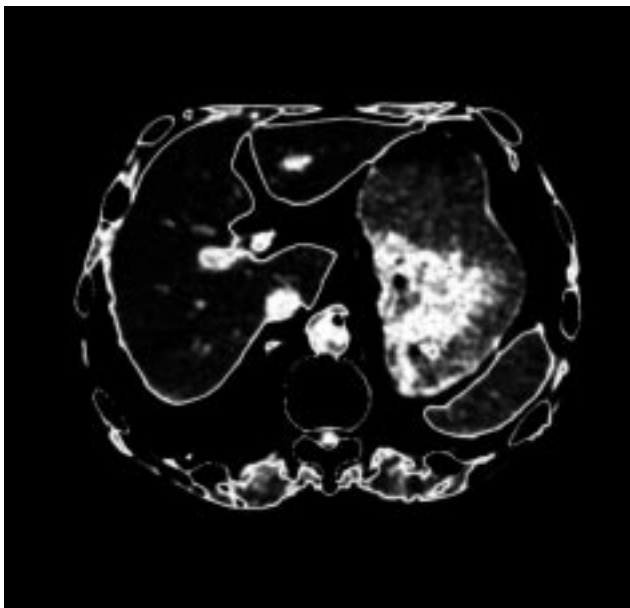


Fig. 2 Image resulting from Gaussian window processing.



Fig. 3 Image resulting from line-enhancement filtering.

スを，それぞれ“右葉位置ゆう度画像”，“左葉位置ゆう度画像”と定義する．

1-2-3 下大静脈の半自動抽出

上述のように，肝内静脈と門脈の領域のCT値分布は等しく，CT値情報のみでの判別は不可能であるため，肝内静脈は下大静脈から発生するという解剖学的な情報を用いて，肝静脈を判別する．そのためには，まず下大静脈の抽出が必要である．下大静脈は肝臓内血管と比較し，若干低い平均CT値分布を示す．そこで，1-1-1で推定した肝臓内血管の平均CT値から経験的に決定した固定値を引き，下大静脈の平均CT値とする．このパラメータをガウス窓関数へ代入し(ただし， σ は1-1-1のものを用いる)下大静脈のゆう度画像を得る．下大静脈は横隔膜と肝臓に接するという解剖学的特徴があるため，この特徴を満たす血管強調領域を下大静脈の候補領域とする．得られた領域に小成分除去処理とモルフォロジ処理の後処理を加え，残った領域を下大静脈として以降の手順で用いる．

1-2-4 雑音除去処理と中肝静脈の推定

中肝静脈はCouinaudの肝区域の決定において，肝右葉と肝左葉を分割するため，右葉位置ゆう度画像と左葉位置ゆう度画像の境界領域のなかに存在していると考えられる．そこで，右葉位置ゆう度と左葉位置ゆう度が同時に発生する画素で構成される領域を中肝静脈の探索領域とする．この探索領域内部で抽出した脈管構造のなかで，下大静脈に接し，最大の体積の領域を中肝静脈とする．抽出された中肝静脈は正解画像との一致率，再現率，適合率によって抽出精度の評価を行い，特に一致率が0.3以上を抽出成功と判断した．

2. 実験

2-1 実験試料

本研究で使用した画像は512×512pixel，スライス枚数850～1192sliceによって構成される(GE社製LightSpeed Ultra)体幹部非造影X線CT画像である．画像の画素間隔およびスライス間隔は0.59～0.82mm，濃度分解能は12bitである．管電圧は，120kV，管電流は，Auto mAである．本実験では正常肝臓を含む22症例を提案手法の検証に用いる．

2-2 血管強調処理の結果

2-2-1 ガウス窓関数による血管ゆう度画像の生成

1-1-1の手法で推定された μ と σ を(1)式のガウス窓関数に代入し，計算されたゆう度画像をFig. 2に示す(ここでは，スライス断面全体を表示)．肝臓内の血管領域の画素が高い値で強調され，逆に肝臓実質などの血管以外の領域が低い値となる．しかしこの時点においては，肝臓内の主要な血管領域以外はほとんど強調されない．

2-2-2 線強調フィルタによる血管の強調

線強調フィルタを適用した結果をFig. 3に示す．ここでは，脈管状の血管領域の画素が高い値となり，ゆう度画像(Fig. 2)の肝臓領域内と比較して主要な血管領域が強調されることが分かる．

2-3 中肝静脈の自動抽出

2-3-1 肝右葉・左葉アトラスの生成

1-2-1で生成した肝右葉アトラスと肝左葉アトラスをFig. 4(a)，(b)それぞれに示す．それぞれにおい



Fig. 4 Liver atlas constructed for right (a) and left (b) lobes.

a | b

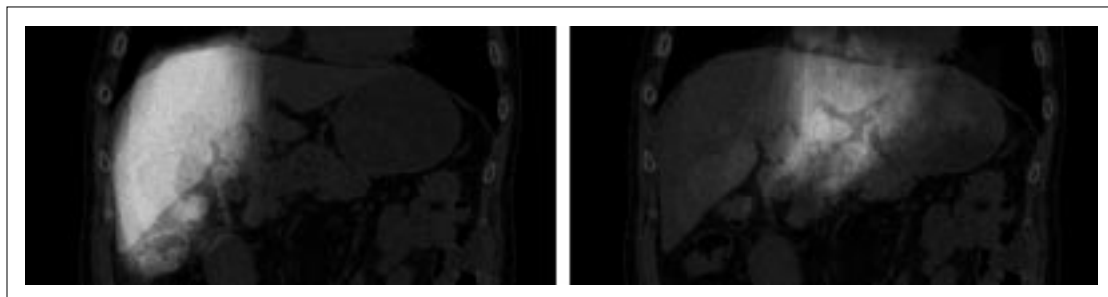


Fig. 5 Likelihood image of right (a) and left (b) lobes.

a | b

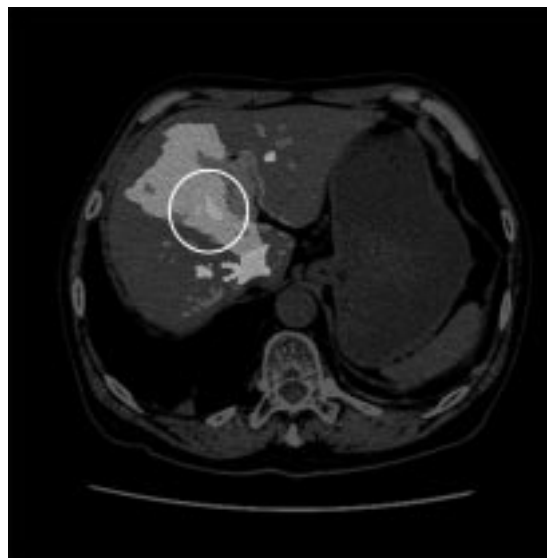


Fig. 6 Candidate location of middle hepatic vein.

て、位置・形状の正規化による各葉の大まかな位置合わせを確認できる。

2-3-2 肝右葉・左葉アトラスの位置合わせ

肝右葉・左葉アトラスを入力画像に対して位置合わせした結果をそれぞれFig. 5(a), (b)に示す。入力画像における肝臓領域の各葉に対するアトラスの位置合わせが確認できる。

2-3-3 中肝静脈の抽出

2-3-2で生成された肝右葉位置ゆう度画像と肝左葉位置ゆう度画像の二つのゆう度画像で、肝右葉、肝左葉の二つの領域のゆう度が同時に発生している領域をFig. 6に示す。この領域は図中では肝臓領域の中央付近に明るい領域で示されており、この領域内に中肝静脈(図中の白丸の内側)が含まれている。そして、この領域内における強調された血管候補領域を抽出する。

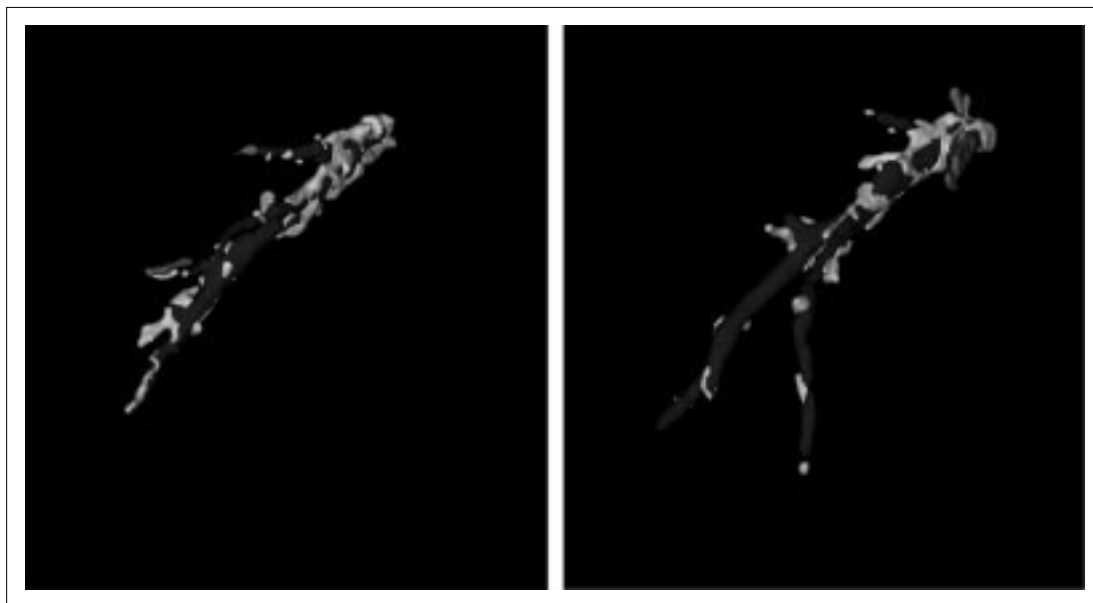


Fig. 7 Examples of extracted middle hepatic vein for two cases.

抽出された結果画像には雑音が含まれているため、小成分除去処理によって雑音成分の削除を試みる。雑音除去をした後に、最大の体積の血管候補領域を中肝静脈として抽出する。抽出された中肝静脈の二つの例を Fig. 7 に示す。図中の暗い領域は正解画像と抽出領域が重なった部分であるが、明るい領域は過抽出の領域を示す。

2-4 結果と考察

抽出された中肝静脈は正解画像との一致率によって評価され、0.3以上の症例数は22症例中9症例(抽出成功率41%)であった。また、平均一致率、平均再現率そして平均適合率はそれぞれ0.238、0.620、0.284であった。これらの結果のなかで平均再現率は比較的高い値を示しており、探索領域内の中肝静脈領域に対する血管強調処理と抽出が良好になされていることを示唆している。それと比較して、平均一致率、平均適合率は低い値を示している。この主な原因は中肝静脈以外の血管領域やその他の肝臓領域の過抽出である。

非造影CT画像においては、肝内静脈と門脈は同等のCT値分布を示すため、血管の強調処理では肝内静脈と門脈、および血管と類似したCT値分布かつ脈管の形状を持つ雑音成分が同等に強調される。本手法では肝臓の右葉・左葉アトラスを用いて、推定範囲の限定と血管の分離、および雑音成分の削減を試みたが、現段階における肝臓アトラスの位置合わせの精度が低く、中肝静脈の探索範囲が広くなり雑音を多く過抽出

する原因となる。これはアトラスの位置合わせに肝臓領域から離れた解剖学的情報を用いるためである。このことから現在よりも肝臓領域に近く確実に推定できる解剖学的な特徴を認識できれば位置合わせの精度が向上し、それに伴い雑音成分の削減が可能であると考えられる。また、中肝静脈と隣接する他の血管を分離する手法が必要であるが、これらの血管はCT値分布に差異が存在しないため、CT値情報に頼らない分離手法の開発が必要である。

3. 結論

本研究は、体幹部非造影X線CT像から肝臓内の血管領域の強調処理と中肝静脈を抽出する手法を検討し、その性能を評価した。肝臓内の血管領域の強調処理は線成分の強調フィルタを用い、実験に使用した正常肝臓を含む22症例で良好な結果を得た。また、血管の強調画像と解剖学的特徴を用いた中肝静脈の自動抽出手順の開発を行い、22症例中9症例の抽出が可能であった。本手法で示した非造影画像における血管領域の推定結果は、非造影画像と造影画像の構造位置合わせに活用できると考えられ、肝臓の多時相検査時における造影効果の解析において有益であると期待できる。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(特定領域研究)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1)平松京一 編:腹部のCT. メディカル・サイエンス・インターナショナル,(2003).
- 2)山本宗主,堀 雅敏,佐藤嘉信,他:3次元CT画像を用いた門脈末梢部の大局位置情報に基づく肝区域の推定. 電子情報通信学会技術研究報告,104(580), pp.169-174,(2005).
- 3)川尻 傑,周 向栄,原 武史,他:単純X線CT画像における肝臓血管の自動抽出手法の開発と性能評価. 電子情報通信学会技術研究報告,106(73), pp.31-36,(2006).
- 4)北川輝彦,奥尾一将,周 向栄,他:体幹部CT画像における横隔膜の変形による肝臓の確率的アトラスの自動生成とその肝臓自動抽出への応用. 電子情報通信学会技術研究報告,105(63), pp.13-18,(2005).
- 5)Sato Y, Nakajima S, Shiraga N, et al.: Three-dimensional multi-scale line filter for segmentation and visualization of curvilinear structures in medical images. Medical Image Analysis, 2(2), 143-168,(1998)
- 6)Park H, Bland PH, and Meyer CR: Construction of an abdominal probabilistic atlas and its application in segmentation. IEEE Trans Med Imaging, 22(4), 483-492,(2003)
- 7)Bookstein FL: Principal Warps: Thin-plate splines and the decomposition of deformations. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11(6), 567-585(1989)

図表の説明

- Fig. 1 肝臓領域における肝右葉と肝左葉の正解領域例
- Fig. 2 ガウス窓関数処理の結果画像(血管ゆう度画像)の例
- Fig. 3 線強調フィルタの結果画像の例
- Fig. 4 葉ごとに構築された肝臓アトラスの例
(a)肝右葉のアトラス,(b)肝左葉のアトラス
- Fig. 5 ゆう度画像の例
(a)肝右葉のゆう度画像,(b)肝左葉のゆう度画像
- Fig. 6 中肝静脈の候補領域の例
- Fig. 7 本手法で抽出した中肝静脈の二つの症例