

人体解剖モデルを用いた CT 画像からの下大静脈抽出

Automatic Extraction of Inferior Vena Cava Using Human Anatomical Model from CT images

○山田駿平*, 張山昌論*, 亀山充隆*, 小林康浩**, 下田貢***

○ Shunpei Yamada*, Masanori Hariyama*, Michitaka Kameyama*,
Yasuhiro Kobayashi**, Mitsugi Shimoda***,

*東北大学, **小山工業高等専門学校, ***獨協医科大学

*Tohoku University, **Oyama National College of Technology,
***Dokkyo Medical University.

キーワード: 3次元画像処理 (3-D image processing), コンピューター支援手術計画 (Computer-Assisted Surgical Planning) 血管抽出 (vessel extraction), ハフ変換 (Hough transform),

連絡先: 〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3
東北大学大学院 情報科学研究科 情報基礎科学専攻 亀山・張山研究室
山田駿平, Tel.:(022)795-7155, Fax.:(022)2639167, E-mail: shunpei-y@ceci.tohoku.ac.jp

1. はじめに

近年の医療現場において, 多くの外科手術が CT 画像から得られる情報を基に行われている。しかし患者一人につき何百枚にも及ぶ CT 画像は医師が直接扱うには負担が大きいため, その負担を軽減するための研究が現在盛んに進められている。

本研究グループでも肝臓外科手術を対象として, 精度の高い臓器抽出, 血管抽出, 術式を考慮した支配領域推定等の自動化に向けて研究を行っている 1)-3)。

本研究はその一環として, 下大静脈の自動抽出を目的としたものである。下大静脈は肝臓・腎臓といった重要な臓器に流れる静脈と繋がっており, それらの血管を抽出する際の出発点となると考えられる血管である。また, 肝臓との

接触面積も大きく, 正確な肝臓抽出を行う際の誤抽出箇所となり得ることから, 先に抽出しておくことが望ましい。しかしながら, CT 画像上において下大静脈は心臓から遠ざかるほど輝度値が落ちる傾向にあり, また各部位の輝度値や全体の形状も個人差が大きいため単一の輝度値や形状モデルを用いた抽出は難しいという問題点も存在する。

そこで本研究ではこの下大静脈を, 人体解剖モデルを用いて抽出する手法を提案する。解剖モデルとは臓器や骨といった体内器官のあらゆる情報の総称である。この提案手法では下大静脈のみでなく肝臓や心臓の位置・形状・輝度値的特徴を用いることで下大静脈と似た輝度値・形状を示す部位を除去し, 輝度値や形状の個人差に対するロバスト性を保ちながら正確に自動抽出を行うことができる。

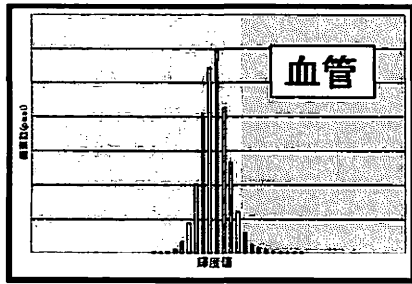


Fig. 1 肝臓ヒストグラムの例.

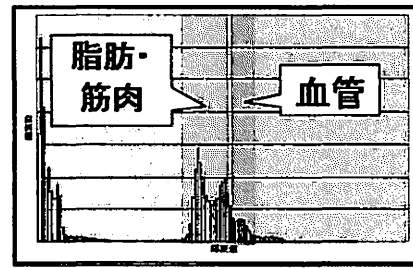


Fig. 2 下部ヒストグラムの例.

2. 下大静脈の候補領域抽出

2.1 下大静脈の輝度値推定

まずは下大静脈の周辺輝度値で二値化を行う。この際、心臓から遠ざかるにつれて輝度値が下がる下大静脈を抽出するため、下大静脈を上部・下部の2つの領域に分けて閾値を別々に設定する。その際、上部では Fig.1 のような肝臓のヒストグラムを、下部では Fig.2 ような CT 画像の下半分から肝臓と骨を取り除いたもののヒストグラムを用いて各部の下大静脈の輝度値を推定し、それぞれの領域での閾値としている。具体的には、肝臓ヒストグラムにおいては頂点から高輝度値側に画素数の減少数を測定し、最大値の 50% を下回った点以降の輝度値を肝臓中の血管の輝度値とする。下大静脈上部の輝度値はこれに近い値だと推測できるので、この値を閾値とする。下部ヒストグラムにおいては中央付近に現れる二つの極大点をそれぞれ輝度値の低いほうから脂肪・筋肉によるものだとし、筋肉側の画素数の減少数が最大値の最大値の 50% を下回った点の輝度値を閾値 1 とする。肝臓ヒストグラムから導出した上部の閾値を閾値 2 とし、閾値 1 と 2 のよって挟まれた輝度値で下部の二値化を行う。

なお、この際用いる心臓・肝臓の情報はヒストグラムの特徴が分かる程度の大まかなもので構わない。

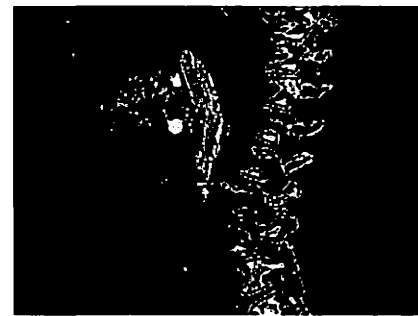


Fig. 3 線分抽出例.

2.2 線分抽出

得られた二値化画像から下大静脈らしい部分を抽出するため、画像全体にハフ変換をかけて線分抽出を行う。この際、二値化画像は体を左側から見るようにリスライスしたものをを用いる。この処理により細かいノイズは除去され、縦方向に繋がりを持った領域だけを抽出できる。抽出結果は Fig.3 の様になる。この際、体内を縦に走っている下大静脈のみを抽出するため、抽出する線分の角度は垂直より $\pm 30^\circ$ 以内、長さは 30 ピクセル以上のもののみとする。

こうして抽出した線分の密度の高い領域を調べ、下大静脈の候補領域として抽出すると、Fig.4 のような領域が得られる。この処理を下大静脈上部・下部の二値化画像についてそれぞれ行う。

3. 誤抽出除去

ここまでの処理で得られた下大静脈候補領域には、ノイズや他の臓器のような誤抽出が含まれている場合があるため、それらを除去する必要がある。



Fig. 4 候補領域例.

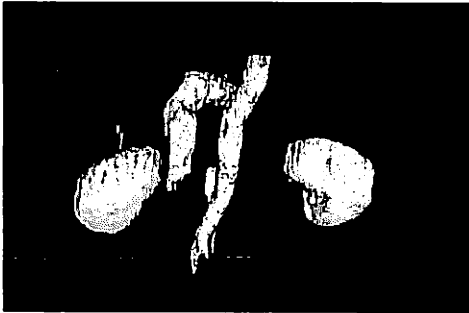


Fig. 5 上部誤抽出の例.

上部には Fig. 5 のように主に腎臓・下行大動脈といった誤抽出が含まれているが、下大静脈は比較的抽出が容易な心臓と繋がっているという特徴を持つ。そのため心臓からのリージョングローイングによって Fig. 6 のように誤抽出を除去することができる。

下部には Fig. 7 のように、多くのノイズと下大静脈領域が肝臓や腸の一部に染み出しているといった誤抽出が含まれている。ここで下大静脈上部と下部は当然繋がるので、上部の抽出結果と重なる最も低い点からリージョングローイングを行うことで、ノイズを除去し、Fig. 8 のような下大静脈を含む領域を得る。下大静脈領域が肝臓や腸に染み出している場合もあるため、ローカルシクネスの値を用いて他の物体と思われる領域を除去すると Fig. 9 のように誤抽出を除去することができる⁴⁾。

これらの処理を下大静脈上部・下部でそれぞれ行った後、それらの領域を重なることによって Fig. 10 のような完全な下大静脈領域を得る。

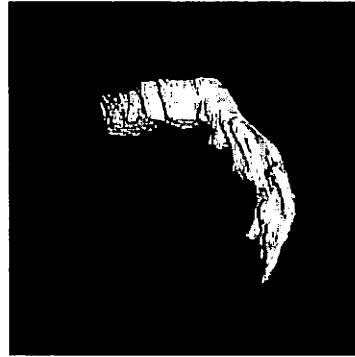


Fig. 6 上部抽出結果.

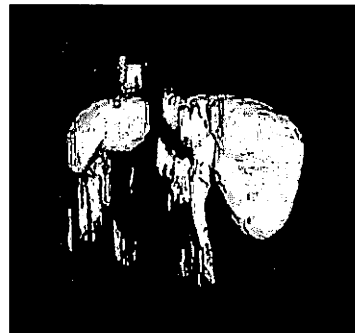


Fig. 7 下部誤抽出の例.

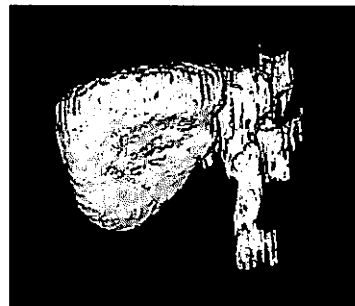


Fig. 8 下部ノイズ除去結果.

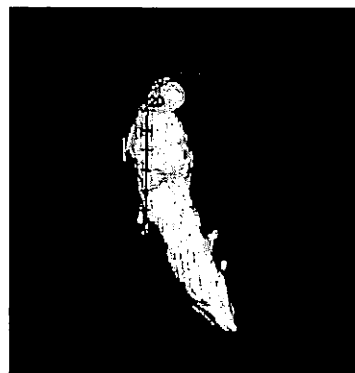


Fig. 9 下部抽出結果.

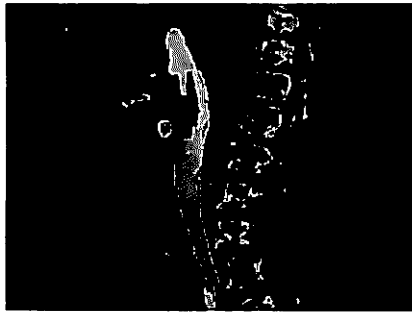


Fig. 10 下大静脈抽出例.



Fig. 11 下大静脈の一部が除去された例.

4. 評価・考察

人体解剖モデルを用いた下大静脈の自動抽出について、一定の成果を得た。一方で Fig. 11 のように下大静脈の一部が欠けるといった例も存在した。これはローカルシックネスによる肝臓領域除去時に下大静脈の一部も除去してしまったからだと思われる。

小さな輝度値の差や下大静脈の形を考慮しないローカルシックネスによる肝臓除去のみでは、過剰に除去が行われる可能性が高い。それらを考慮したさらに正確な肝臓除去の手法が必要だと思われる。肝臓と下大静脈を差別化するための手法にはまだ考察の余地があるといえる。

5. まとめ

人体解剖モデルを用いた下大静脈の自動抽出について、その手法・有用性・課題点について述べた。ヒストグラムからの閾値決定や線分抽出による領域画像生成についてある程度の正確性・ロバスト性を確かめることができたが、特に肝臓との分離の面について課題が残った。

また、将来的にはこの抽出結果を肝臓抽出や肝静脈抽出に生かすことが目標となる。今後は課題点の改善とこの抽出結果を基にした肝静脈との合流点検出を目指したい。

参考文献

- 1) 岡田萌, 張山昌論, 亀山充隆, 下田貢, 小林康浩: 高精度血管抽出に基づく門脈支配領域推定, 電気関係学会東北支部連合大会, Oct, 2012
- 2) 尾形吉隆, 張山昌論, 亀山充隆, 下田貢: グラフ構造解析に基づく肝臓血管の自動抽出, 電気関係学会東北支部連合大会, Oct, 2012
- 3) 下田貢, 清水崇行, 張山昌論, 窪田敬一: 血管グラフ構造を用いた門脈自動追跡の使用経験, 第7回肝癌治療シミュレーション研究会, I-1,p.18(2012-10-06, ホテル日航 熊本)
- 4) T Hildebrand, P. Ru"egsegger: A new method for the model-independent/assessment of thickness in three-dimensional images, Journal of Microscopy Volume 185, Issue 1, pages 67-75, January 1997