

学術調査研究班報告

救急CT画像のCADシステムに関する研究班報告書

坂下恵治・藤田広志・原 武史 西原貞光
小林宏之・石井 勉・溝端康光・中島義和

日本放射線技術学会雑誌第65巻第7号所載

別 刷

2009. 7. 20

日本放射線技術学会

学術調査研究班報告

救急CT画像のCADシステムに関する研究班報告書

平成15, 16年度 救急CT画像のCADシステムに関する研究班

班長	坂下恵治	大阪府立泉州救命救急センター
班員	藤田広志	岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野
	原 武史	岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野
	西原貞光	広島県立保健福祉大学(現 徳島大学大学院)
	小林宏之	日本医科大学附属病院
	石井 勉	日本大学医学部附属板橋病院(現 駿河台日本大学病院)
	溝端康光	大阪府立泉州救命救急センター(現 大阪市立大学大学院)
	中島義和	大阪大学大学院神経機能制御外科学(現 市立泉佐野病院)

はじめに

今日の救急医療において、CT撮影は患者の損傷部位や疾患を正確に把握するため、欠くことのできない検査となっている。しかしながら多様な急性期患者が搬入される実際の救急現場において、夜間や休日などはCT画像を正しく診断できる放射線科医や各分野の専門医が充足していない状態であり、救急診療を担当する医師の負担となっている。

このような状況において本研究は、コンピュータを用いて救急CT画像の解析を行い特徴的な所見を抽出し、診療情報を提供することを目標とする。その基礎となる研究として、頭部と腹部の救急CT画像に関し病変を抽出するための技術を検討する。頭部では頭蓋内組織の左右対称性に関する評価、頭蓋内血腫の形状計測、脳脊髄液と脳実質の分布の異常検出を主に行い、腹部では各臓器の輪郭検出とその体積、形状の評価、臓器内の造影欠損範囲の検出、臓器周辺の液体貯留物質の検出を行った。

1. 頭部CT画像のCAD

1-1 脳室圧迫の評価

正常なCT画像では、脳は左右対称な形状を保つが、占拠性病変の出現によりその対称性は崩壊する。その徴候を検出する際、脳室は指標として適している。

脳の正中線の検出には、大脳鎌と前頭稜、内後頭隆起を用いた。基準とするスライスから、前頭稜と内後頭隆起を検出し、それに平行で骨領域の重心を通る直線をそのスライスにおける正中線とした。

1-2 脳室の左右比較

前記の正中線を元に左右比較を行い、アフィン変

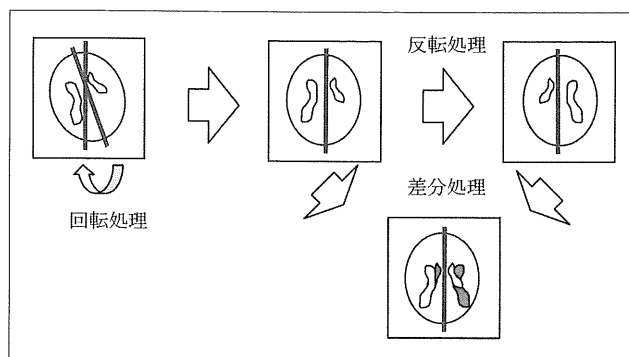


Fig. 1 脳室の左右比較処理

換(回転処理)による補正後、差分により左右比較を行う(Fig. 1)。

差分結果から、左右脳室の一致度： l を測定する。

$$l = (\text{agreement_pixel} / \text{all_pixel}) \dots\dots\dots (1)$$

agreement_pixel : 左右一致する脳室ピクセル数

all_pixel : 全体の脳室ピクセル数

閾値によって抽出された脳室領域に対し、左右の差分による比較結果をFig. 2に示す。重度の脳室圧迫は識別できたが、軽度、中等度の脳室圧迫は一部を除き困難であった。

1-3 頭蓋内左右対称性の補正

脳の左右対称性に関し、ピクセル単位で評価した場合には視認による評価とは異なり、ヒトが個体ごとに有する左右差を異常所見ととらえる場合がある。すべての症例に対し左右比較を実施するため、変形手法としてthin-plate splines (以後、TPS)を用いる。TPSによる頭部形状の変形をFig. 3に示す。

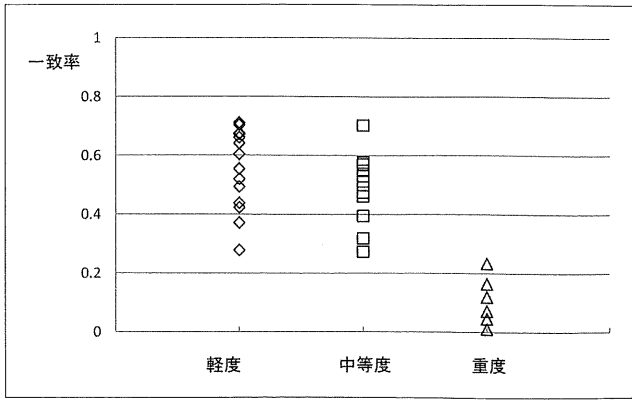


Fig. 2 重傷度別にみた左右比較による脳室形状の一致率

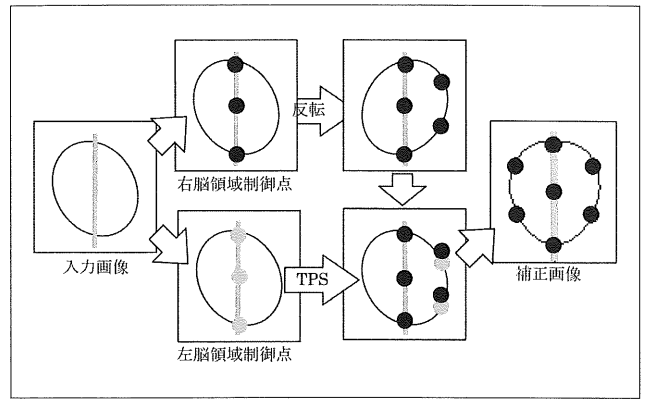


Fig. 3 TPSによる頭部形状の補正

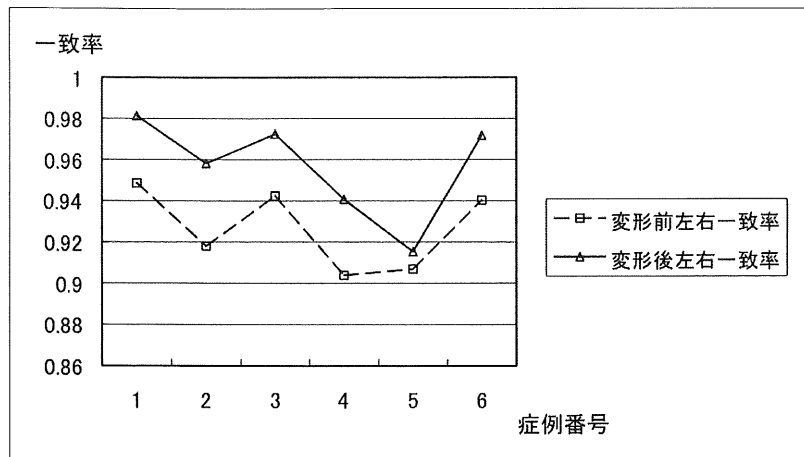


Fig. 4 TPSによる脳領域補正結果

脳領域の左右差が比較的大きい6症例について実験を行った結果、一致率は変形後に向上した(Fig. 4).

1-4 くも膜下出血の認識

本研究では、くも膜下出血を認識する一要素として、脳動脈部の動脈瘤破裂により生じやすいシルビウス裂に貯留する血腫を認識することを目標とする。シルビウス裂を認識するため、蝶形骨大翼先端部の検出を行った。手動で抽出したシルビウス裂領域23症例を重ね合わせて存在確率モデルを作成する。

存在確率モデルの表現を式(2)に示す。

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

シルビウス裂の大きさや位置にはばらつきがあり、アフィン変換により大きさ・位置の正規化を行う。正規化を行った存在確率モデルに関し、妥当性を検証する。モデルにおける存在確率を変化して得られる各2値画像モデルと、手動抽出領域との一致度を比

較検討することで妥当性を評価する。一致度の計算には式(3)を用い、マッチング率の計算には式(4)の類似度評価関数を用いる。

$$m = (agreement_pixel / all_pixel) \dots\dots\dots (3)$$

agreement_pixel : 存在確率pで表すことが可能な手動抽出領域のピクセル数

all_pixel : 手動抽出領域全体のピクセル数

$$e(x,y) = \sum_{j=1}^N \frac{I_j(x,y) \times p}{N} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、Nは手動で抽出した領域のピクセル数、I_j(x, y)は抽出領域のピクセル値(0 or 1)とする。

存在確率pの値を閾値として作成した2値画像モデルの手動抽出領域に対するマッチング結果(Fig. 5)をもとに、対応する点における一致度を調査した結果、閾値を0.6以上とすることで7割以上の領域を認識できた。これを用いてくも膜下出血症例を検証し、24領域の異常所見に対し、22領域を検出できた。

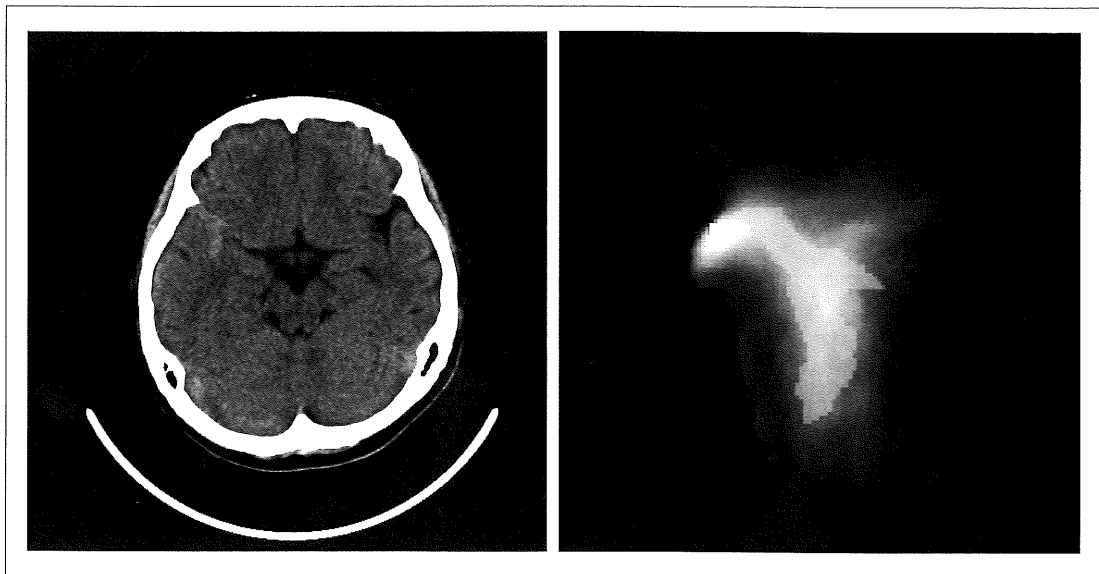


Fig. 5 シルビウス裂の手動抽出領域に対するマッチング結果
 (a) 手動抽出領域
 (b) モデルとのマッチング結果

a | b

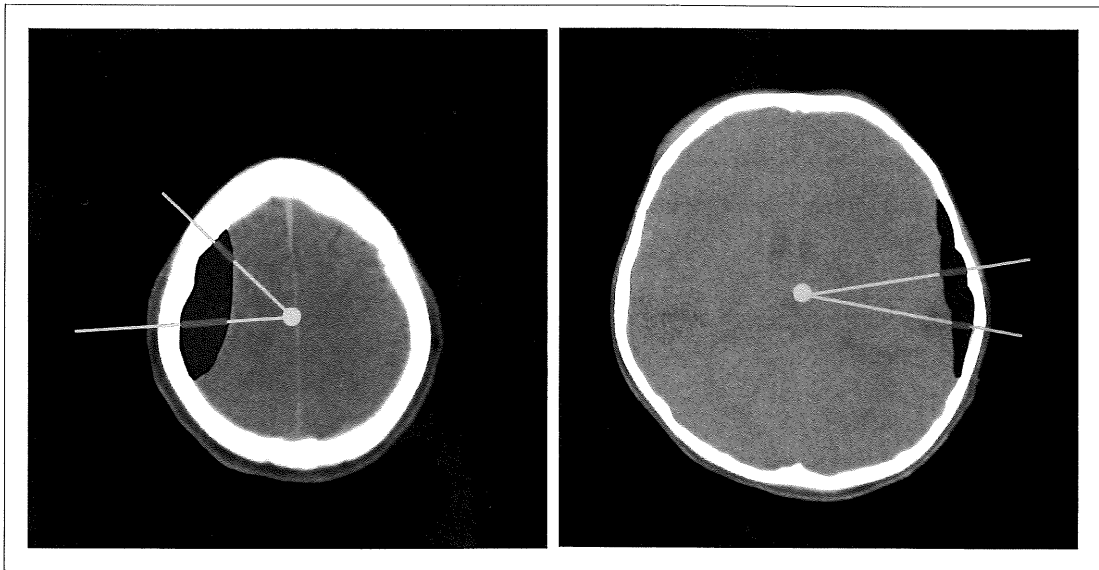


Fig. 6 頭蓋骨内板からの血腫の厚さ計測
 (a) 硬膜外血腫
 (b) 硬膜下血腫

a | b

1-5 硬膜外血腫・硬膜下血腫の識別

硬膜外血腫と硬膜下血腫の形状の異なりから、頭蓋骨内板からの血腫の厚さを計測し(Fig. 6)、双方の血腫の厚さの分散(Fig. 7)を用いて判断する。識別率は91%で、発症早期の硬膜外血腫についてその特徴を認識できなかった。

2. 腹部CT画像のCAD

2-1 肝臓の臓器認識アルゴリズム

損傷が存在する肝臓の場合、正常な肝臓とは画像の特性が異なるため正常組織部分の抽出を目的としたアルゴリズムを作成する(Fig. 8)。正常肝では、臓

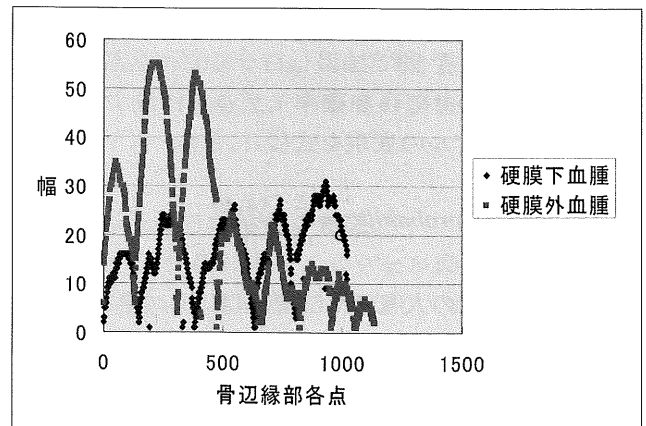


Fig. 7 頭蓋骨内板から血腫の厚さ分布

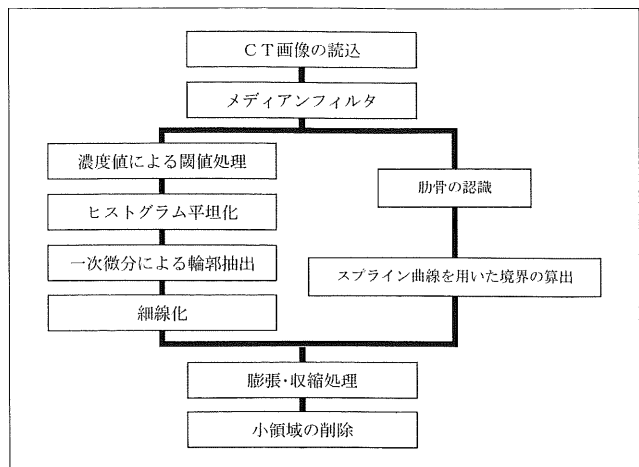


Fig. 8 正常肝臓抽出アルゴリズム

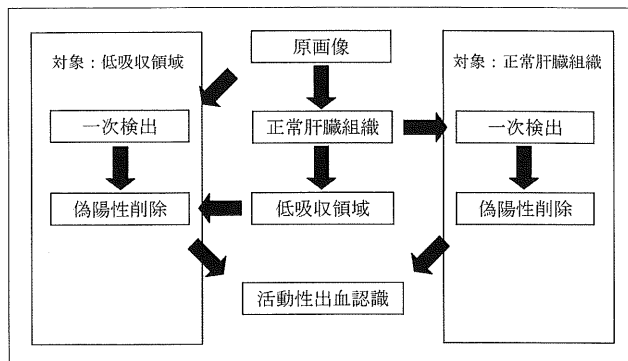


Fig. 9 肝内活動性出血の抽出アルゴリズム

器全体が皮膜に覆われているが、皮膜に損傷のある患者や、皮膜に沿って血腫のある患者では、抽出に誤差がみられた。

2-2 肝臓の損傷部位認識アルゴリズム

肝外傷に伴う画像所見では、peri-portal tracking (以後、PPT)、肝損傷、活動性出血についてそれぞれが持つ画像特性に対する認識アルゴリズムを検討した。

PPTの候補は二重リングフィルタにより抽出し、その中心から外側に向かって濃度がいったん低くなり再度上昇する変化を8方向のうち4方向以上がこのような変化をする場合にPPTと決定した。検出率は89%、偽陽性は1.47個/枚(112/76)となった。

2-3 肝損傷部(活動性出血)の抽出

活動性出血には低吸収領域と正常組織内部に出現する場合があるので、それぞれ異なった手法を用いて抽出する。肝臓内の活動性出血の特徴は、高吸収領域(造影剤血管外漏出像)の周辺に低吸収領域(肝実質虚血部位もしくは正常肝組織)がある。このことを考慮しFig. 9の処理を行う。

2-3-1 低吸収領域に存在する活動性出血の認識

肝実質の一次検出に続き、低吸収領域(Fig. 10)を認識する。ここで低吸収領域とは、3×3画素のROIにおいて、次の条件を両方満たす場合とする。

$$CT値50 \leq A < B-15$$

$$CT値40 < C[0] \sim C[8]$$

ここで、ROIの平均CT値をA、正常肝臓組織の平均CT値をB、ROIのなかのすべてのCT値をC[0]~C[8]とする。

偽陽性領域の削除は、一次検出した偽陽性候補領



Fig. 10 肝臓低吸収領域(枠内)の抽出結果

域にラベリングし、その面積と平均CT値を測定し対象外の候補を除去する。領域の膨張処理を行い、低吸収領域に接する領域のみを残し、円形度と分散を用いて偽陽性候補を削除する。これで残った部分を低吸収領域に存在する活動性出血とする。

2-3-2 正常肝臓組織に存在する活動性出血の認識

先に求めた肝臓組織抽出画像から一次検出を行い、活動性出血の候補を検出する。一次検出では、ヒストグラムの平坦化とプレートマッチングを用い、エッジの強さを表す2値画像を作成する(Fig. 11)。その後、偽陽性削除を行い活動性出血の認識を行う。低吸収領域の場合と同様に、偽陽性削除処理

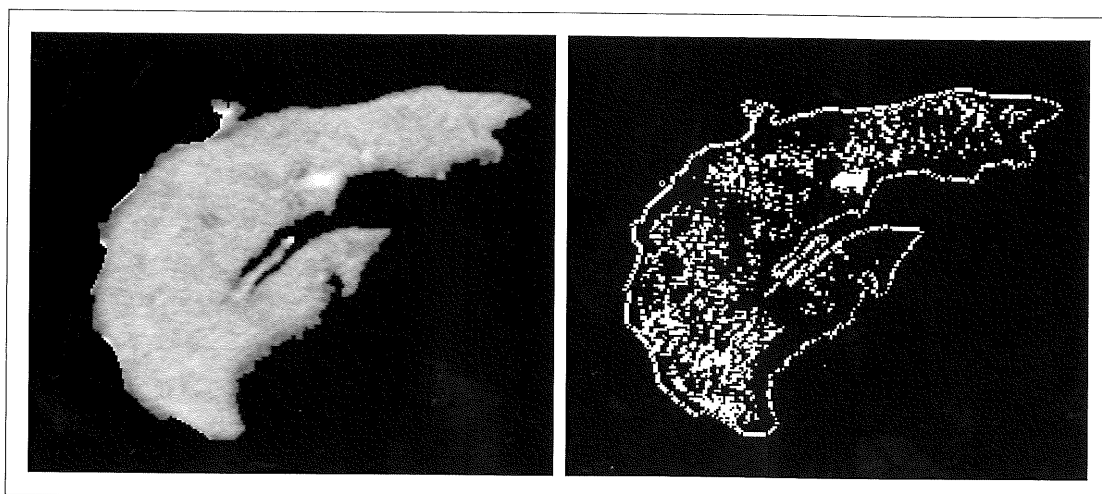


Fig. 11 肝臓組織抽出画像における活動性出血の一次検出
 (a) 肝臓組織の抽出画像
 (b) テンプレートマッチングによる2値画像

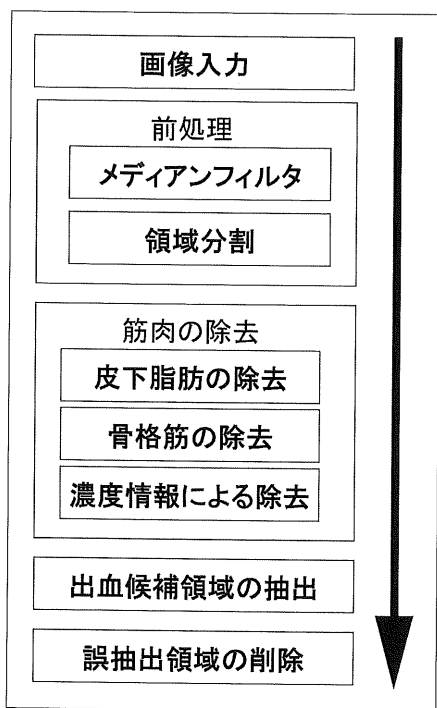


Fig. 12 腹腔内血腫抽出処理の流れ

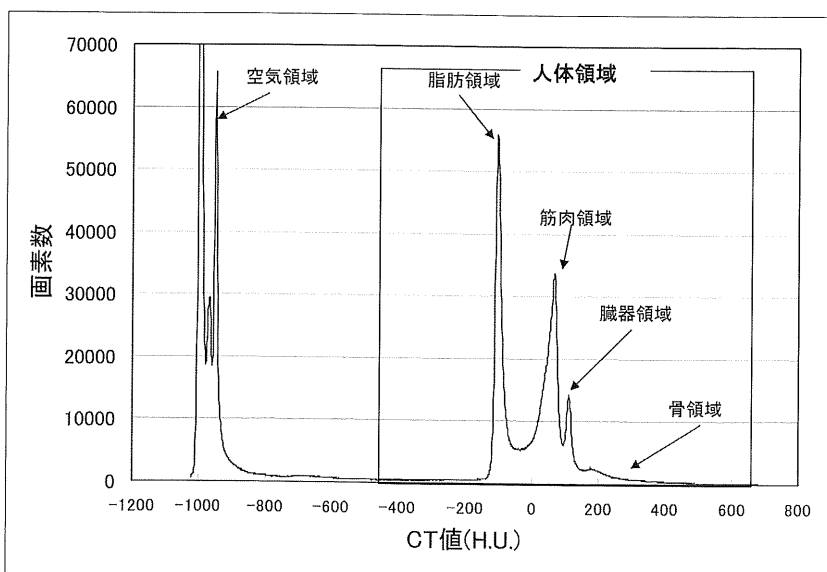


Fig. 13 CT画像データを構成する濃度ヒストグラムの一例

を行い、残ったものを正常肝組織中に存在する活動性出血とする。

これらにより、活動性出血の認識に関して、TP : 86%, FP : 3.3個/枚となった。

2-4 腹腔内血腫の抽出

救急診療で得られる腹部CT画像には、臓器内外の血腫をはじめとして腹水や腹部遊離腔内の腹腔内出血がある。本項では、異常とみられる液体貯留陰影を検出し、血液とみられる領域の抽出を行う。処理の流れは、Fig. 12に示すように、前処理、筋肉の除去、

出血候補領域の抽出、誤抽出領域の削除となる。

人体の構造を画像上で認識しやすくするために行う領域の分割は、CT画像を構成する全データの濃度ヒストグラムから5つのクラスを認識した(Fig. 13)。これらクラスを分離する基準となる閾値は、各クラス間の分離度の合計が最大となるような閾値の組み合わせを求めることによって得られる。閾値によって分類される臓器の分類をTable 1に示す。これによって、皮下脂肪領域、骨格筋領域、骨領域、筋組織を除去し、血腫候補領域を抽出する(Fig. 14)。

Table 1 CT画像ヒストグラムの閾値による臓器分類表

条件		対応領域
入力画素 \leq T1	→	空気領域
T1<入力画素 \leq T2	→	脂肪領域
T2<入力画素 \leq T3	→	筋肉&血腫領域
T3<入力画素 \leq T4	→	臓器領域
T4<入力画素	→	骨領域

まとめ

救急領域のCT画像におけるCADの基礎研究を頭部領域と腹部領域にわたって行った。外傷のような突発の急性期疾患は、その病態が多様であり、臓器そのものが破格な形状をしていることや、異常な血行動態であることから、正確な抽出は困難な状況である。しかし、報告したように、検討を加えることにより、ある程度の精度をもって臓器や出血の機械的な抽出は可能となった。これを踏まえ、今後の問題点を次に挙げる。

頭部では、1)シルビウス裂以外の箇所を確認可能なくも膜下出血に対する認識の検討を行うため、脳室全体のモデル化、また頭蓋内領域全体の三次元的なモデル化を検討し、病変の識別を行っていく必要がある。2)他の病変と結合した領域を持つ場合、つまり硬膜外血腫・硬膜下血腫が複合して存在する場合の識別が課題である。

腹部では、1)PPTの大きさにばらつきがあり、すべ



Fig. 14 閾値による臓器成分を除去した血腫の画像

てのPPTをとるための閾値を用いたフィルタを重ねて偽陽性を減らすように処理したが、肝損傷部位の高濃度領域をFP領域として認識する場合があった。2)認識不能であった活動性出血は、一次検出の段階で漏れていたため、一次検出の新手法の開発が必須であった。

謝辞

本研究実施にあたり、多くのご協力をいただきました岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野の小桑健太郎様、後藤弘明様、相澤宏明様、横井慎也様、的場直人様はじめ研究室諸氏に感謝申し上げます。