

資料

論文受付
2017年8月22日

論文受理
2018年11月14日

Code No. 251

医療用ワークステーションの肺動静脈自動抽出機能に CT値とCT値差が与える影響

都能和俊 橋本幸太郎 山中良太 有森秀夫

日本赤十字社岡山赤十字病院放射線科

緒言

近年、呼吸器領域の手術において胸腔鏡下手術 (video-assisted thoracic surgery: VATS) が積極的に行われている¹⁾。VATSは従来の開胸手術と比べて傷が小さく低侵襲であり、術中出血量、術後入院期間、術後合併症発生率、胸腔ドレーン挿入期間において開胸手術よりも有意に優れると報告されている^{2,3)}。このような小さな手術野での手技に対して、術前情報として区域動脈、区域間静脈の分枝様式を把握しておくことは非常に重要となる^{4,5)}。

肺動脈 (pulmonary artery: PA)、肺静脈 (pulmonary vein: PV) の解剖学的走行には個人差を認め、走

行の把握には three dimensional computed tomography (3DCT) が有効である^{4,5)}。肺動静脈 (pulmonary arteriovenous: PAV) を撮影し、3DCTを作成する場合、PAとPVをそれぞれ撮影して重ね合わせる多時相撮影法^{6,7)}と、一度に撮影しPAとPVを分離する一相撮影法^{8,9)}がある。多時相撮影法は time enhancement curve (TEC) の異なるPAとPVのピークを予想して撮影するため、それぞれの至適タイミングが得やすいが、息止めによる位置ずれ、被ばくの観点からは一相撮影法が有効である。

一相撮影法ではPAVを分離するためにPAとPVにCT値差が生まれるようなタイミングで撮影しなけ

Effect of CT Value and CT Value Difference on the Pulmonary Arteriovenous Automatic Extraction Function of the Medical Workstation

Kazutoshi Tsunou,* Kotaro Hashimoto, Ryota Yamanaka, and Hideo Arimori

Department of Radiology, Japanese Red Cross Okayama Hospital

Received August 22, 2017; Revision accepted November 14, 2018

Code No. 251

Summary

This study aimed to evaluate the effect of pulmonary arteriovenous computed tomography (CT) value and CT value difference on the pulmonary arteriovenous automatic extraction ability of a medical workstation. We classified patients who previously underwent contrast-enhanced CT as those with a pulmonary arteriovenous CT value difference of <50 Hounsfield unit (HU) and ≥ 100 HU. The groups were further divided into four subgroups each, with a total of eight groups, based on low pulmonary arteriovenous CT values of 200 or more and <250 HU, 250 or more and <300 HU, 300 or more and <350 HU, and 350 HU or more. A radiographer conducted a visual evaluation, and we judged whether it could extract pulmonary arteries A1–A10 and pulmonary veins V1–V10 without errors. When the CT value difference was <50 HU, the low pulmonary arteriovenous CT value of 200 or more and <250 HU significantly decreased the extraction ability compared with the ≥ 350 HU group ($p < 0.05$), but when the CT value difference was ≥ 100 HU, no difference in the CT value was found. The pulmonary arteriovenous CT value and CT value difference affect the pulmonary arteriovenous automatic extraction ability of the medical workstation, but revision by the creator is necessary because misrecognition is included even if a CT value and CT value difference is high.

Key words: computed tomography (CT), pulmonary arteriovenous, 3D, medical workstation, single phase scan

*Proceeding author

ればならないとされてきた^{8,9)}。一相撮影で PAV を分離する場合、上大静脈(superior vena cava: SVC)からのアーチファクトが PAV の分離に悪影響を与えるため、生食後押しや混合注入を併用した造影法が推奨されている^{8,9)}。

PAV の 3DCT を作成する場合は、撮影された画像を CT 装置より転送し、診断に必要な画像処理を行う必要がある。それらの処理は医療用ワークステーションで行うこととなるが、その中にはさまざまな検査目的に応じたメーカ独自のソフトが搭載されている。近年の医療用ワークステーションの進化は目覚ましく、呼吸器領域の手術前シミュレーション用のソフトでは画像認識機能が搭載され、PA、PV が造影されている 1 シリーズの画像から肺野、肺葉、気管支、PA、PV の自動抽出を行うことが可能であり、その中で PAV の抽出を行うために必要な CT 値は PA、PV とともに 200 Hounsfield unit (HU) 以上とされている¹⁰⁾。しかしながら、それらの性能に関しての検討は今まで報告されていない。PA と PV の CT 値差が小さくとも PAV を抽出、分離することができれば、test injection を用いた Estimated time of arrival 法⁹⁾のような複雑な造影法を用いることなく簡便に PAV の 3DCT を作成することが可能となり、CT 値に依存しない安定した画像が提供できるが、PAV の抽出を行ううえでどの程度の CT 値が必要であるか、PA、PV 間の CT 値差で抽出能が変化するかは明らかになっていない。また、SVC からのアーチファクトも PAV の抽出能を低下させると考えられる。

今回われわれは PA、PV の CT 値および CT 値差、SVC からのアーチファクトが医療用ワークステーションの PAV の抽出能にどのような影響を与えるのか評価した。

1. 方法

1-1 倫理

本研究は後ろ向き研究として当施設の倫理委員会によって倫理規範の妥当性につき審査を受け、承認された。

1-2 使用機器

CT 装置は Aquilion 64 (キヤノンメディカルシステムズ)、造影剤自動注入器は Dual Shot GX (根本杏林堂)、医療用ワークステーションは 3 次元画像解析システム ボリュームアナライザー SYNAPSE VINCENT Ver.4.1 (富士フイルム) に搭載される肺切除解析ソフトを使用した。統計解析には EZR¹¹⁾ を使

用した。

1-3 撮影条件および画像再構成条件

撮影は頭尾方向、管電圧は 120 kV、管電流は auto exposure control (AEC) である Volume EC を使用し、腹部用軟部関数 FC13、スライス厚 5 mm で設定 standard deviation (SD) を 9.0 とした。撮影スライス厚は 1 mm (1 mm×32 slice)、X 線管回転速度は 0.5 s/rot、ビームピッチは 0.844 (ディテクタピッチ 27) に設定した。3DCT 作成の元となる画像再構成は腹部用軟部関数 FC13 を使用し、display field of view (DFOV) は 320 mm、スライス厚 1 mm、再構成間隔 0.8 mm とした。

1-4 検討項目

1-4-1 CT 値、コントラストによる影響

1-4-1-1 造影剤注入条件

造影剤の投与量は 600 mgI/kg とし、注入時間は 30 秒もしくは 50 秒とした。注入時間 30 秒はボーラストラッキング法で撮影した。大動脈弓部に関心領域(region of interest: ROI)を配置し、CT 値 150 HU をトリガとし、delay time 15~18 秒で撮影を開始した。50 秒注入は時間固定法で撮影した。

1-4-1-2 分類方法および対象

PA と左房(left atrium: LA)に面積 60 mm² の ROI を配置した。PA の配置位置は肺動脈幹と右肺動脈、左肺動脈に、LA は横断像 2 断面に計 3 点配置し、平均値を求めた。なお LA で求めた平均値を PV の CT 値とした (Fig. 1)。

先行研究⁸⁾で良好な volume rendering (VR) 画像の作成が可能とされている PAV の CT 値差 100 HU を指標とし、CT 値差が 100 HU 以上 200 HU 未満を高コントラスト群、50 HU 未満を低コントラスト群と分類し、更にそれぞれの群で PAV のうち、低い方の CT 値が 200 HU 以上 250 HU 未満、250 HU 以上 300 HU 未満、300 HU 以上 350 HU 未満、350 HU 以上 4 群の計 8 群に分類した。高コントラスト群の CT 値に関してはすべて LA が高値とした。

2014 年 9 月から 2016 年 10 月まで造影 CT を施行し、各群 25 症例ずつ、計 200 症例抽出した。男性 118 名、女性 82 名であり、平均年齢は 69.32±11.62 歳、平均体重は 56.1±9.61 kg であった。造影剤による SVC からのアーチファクトの影響を除外するために、造影剤注入終了後、5 秒以上経過して胸部の撮影を行った症例のみを対象とした。

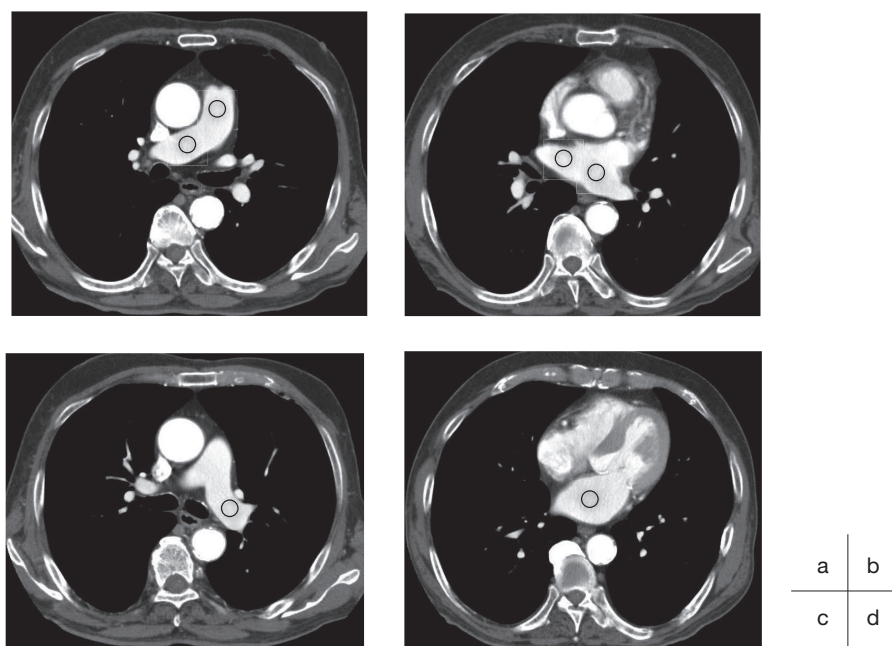


Fig. 1 Region setting in PA and LA.

(a) Right pulmonary artery and pulmonary trunk, (b) Left atrium (Left and right pulmonary vein), (c) Left pulmonary artery, (d) Left atrium

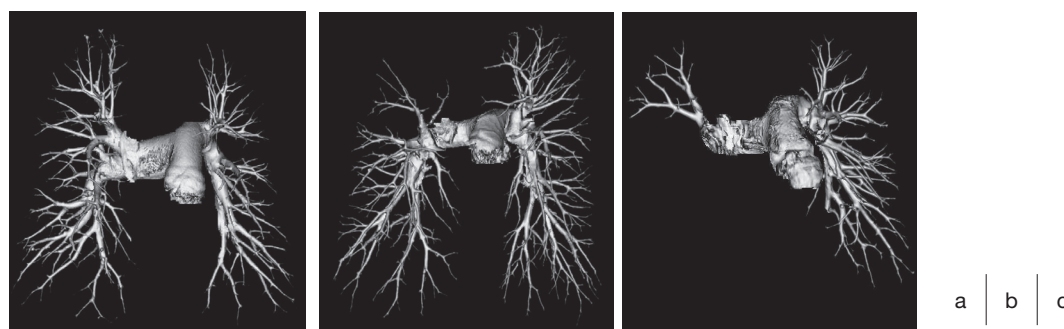


Fig. 2 Pulmonary artery extraction example in the workstation.

(a) Extraction is good. (b) Extraction is poor (right upper lung field). (c) Extraction is poor (right upper lung field and right lower lung field).

1-4-1-3 評価方法

CT値とコントラストで分類された8群を3次元画像解析システムボリュームアナライザー SYNAPSE VINCENT Ver.4.1に搭載される肺切除解析ソフトにてPAVの抽出を行い、観察者による視覚評価を行った。血管の分岐型については福田ら¹²⁾の分類法を用い、PAは区域動脈枝が確認できるA1～A10、PVはV1～V10が確認できるレベルまで分離、抽出ができているか確認した。PA、PVとも1～5を上肺野、6～10を下肺野とし、左右それぞれの肺を右上肺野(right upper: RU)、右下肺野(right lower: RL)、左上肺野(left upper: LU)、左下肺野(left lower: LL)の4区域に分類し、それらの区域にPAVが誤りなく抽出された

ものをgood、PAVが抽出はされているが選択に誤りがある、または血管そのものが抽出されていない場合をpoorとした(Fig. 2)。

視覚評価は当院で医療用ワークステーションでのPAVの3DCT構築を担当している診療放射線技師3名で行い、2名以上の評価結果が同一の場合はその結果を最終評価として採用した。視覚評価を実施した3名の診療放射線技師歴は34年、17年、13年である。視覚評価を実施した3名の診療放射線技師には、事前に視覚評価結果を本論文に掲載することについて同意を得た。

高コントラスト群、低コントラスト群に対し、区域ごとの評価を表記した。また、1症例に対し、4区域

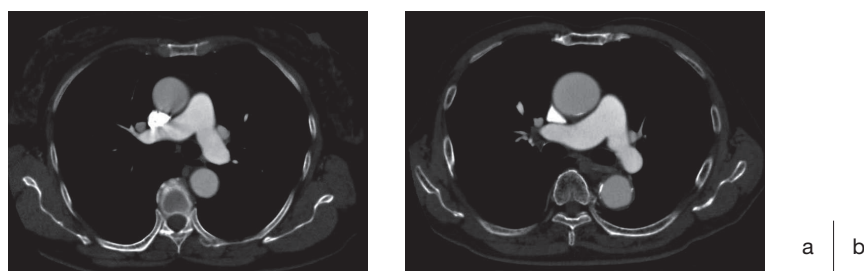


Fig. 3 Artfactual quantity by the difference of the scan timing.
(a) The image during contrast media infusion, (b) The image passed more than 5 s after the contrast media infusion end

すべて誤りなく抽出=4点, 3区域抽出=3点, 2区域抽出=2点, 1区域抽出=1点, すべての区画で描出されず=0点とスコア化した。なお, 視覚評価を行った診療放射線技師3名で異なる点数をつけたことはなかった。

1-4-2 SVCからのアーチファクトによる影響

1-4-2-1 造影剤注入条件

造影剤の投与量は600 mgI/kgとし, 注入時間は25秒, ボーラストラッキング法で撮影した。大動脈弓部にROIを配置し, CT値200 HUをトリガとし, delay time 5秒で撮影を開始した。

1-4-2-2 対象

造影剤注入中に撮影が開始されている症例であればSVCが造影剤で十分満たされていると考え, SVCからのアーチファクトが多い群(Artifact [+])とした。PAとLAのCT値測定方法は1-4-1-2と同様であるが, SVCからのアーチファクトにROIがかからないように測定を行った。CT値とコントラストによる影響を除外するため, PAVのCT値差は100 HU以上200 HU未満とした。造影剤が注入中であるため, CT値はすべてPAが高値とし, LAのCT値が300 HU以上350 HU未満の症例を抽出した。2015年11月から2016年10月まで造影CTを施行した症例を対象とし, CT値とCT値差の条件に当てはまる25症例を抽出した。男性15名, 女性10名であり, 平均年齢は 65.67 ± 10.34 歳, 平均体重は 56.5 ± 7.76 kgであった。Artifact [+]群の一例をFig. 3に示す。

1-4-2-3 評価方法

Artifact [+]群に関して1-4-1-3と同様に視覚評価を行い, 区域ごとの評価を表記した。

1-5 統計解析

1-5-1 CT値, コントラストによる影響

視覚評価の値は順序変数であるため, 有意差を検証するためにノンパラメトリック検定を使用した。RU, RL, LU, LLの4区域に対し, 多重比較検定(Kruskal-

Wallis検定)を行い, 有意差を検証した。CT値とコントラストで分類された4群について, スコアの合計点に対し, 多重比較検定(Kruskal-Wallis検定)を行い, 抽出能の有意差を検証した。なお, 有意水準は5%とした。

1-5-2 SVCからのアーチファクトによる影響

RU, RL, LU, LLの4区域に対し, 多重比較検定(Kruskal-Wallis検定)を行い, 有意差を検証した。Artifact [+]群と1-4-1-2で分類された高コントラスト群でRU, RL, LU, LLのそれぞれ4区域に対し同一の部位でMann-Whitney U検定を行い, 有意差を検証した。なお, 有意水準は5%とした。

2. 結果

2-1 CT値, コントラストによる影響

低コントラスト群におけるPAV抽出の視覚評価(区域ごと)をFig. 4, 高コントラスト群におけるPAV抽出の視覚評価(区域ごと)をFig. 5に示す。低コントラスト群, 高コントラスト群ともにRU区域は他の区域に対し抽出能が有意に低下した($p < 0.05$)。

各スコアごとの人数をTable 1, 各CT値群のスコアの合計をFig. 6およびFig. 7に示す。低コントラスト群はCT値が上がるごとに抽出能が向上した。PAVのうち, 低い方のCT値が350 HU以上の群に対し200 HU以上250 HU未満の群で抽出能が有意に低下した($p < 0.05$)。高コントラスト群ではCT値による抽出能に差はみられなかった。

2-2 SVCからのアーチファクトによる影響

PAV抽出の視覚評価(区域ごと)をFig. 8に示す。RU区域は他の区域に対し抽出能が有意に低下した($p < 0.01$)。また, 高コントラスト群とArtifact [+]群の抽出能の比較をTable 2に示す。RU区域のみ高コントラスト群に対しArtifact [+]群の抽出能は有意に低下した($p < 0.05$)。

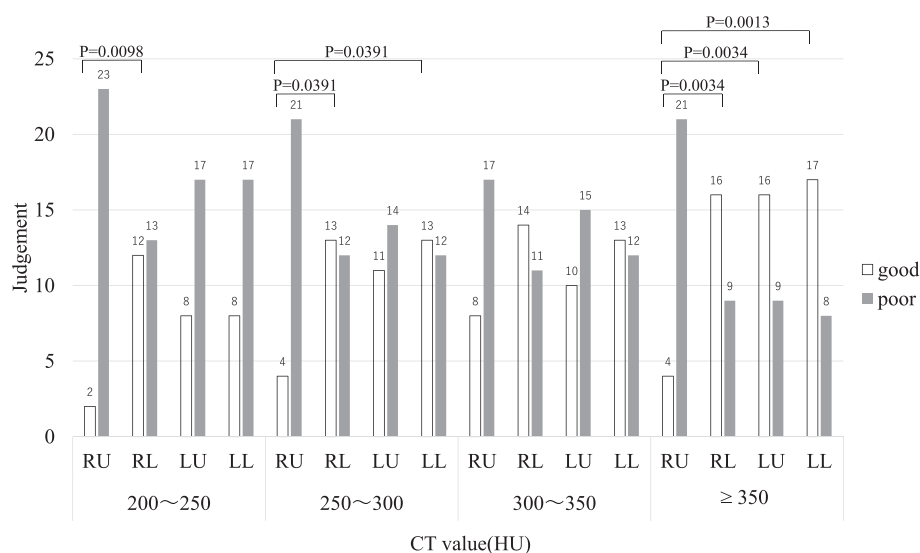


Fig. 4 Visual evaluation of the pulmonary arteriovenous extraction of the low contrast group (division distinction). The right upper lung field significantly had decreased extraction ability for other division ($p<0.05$).

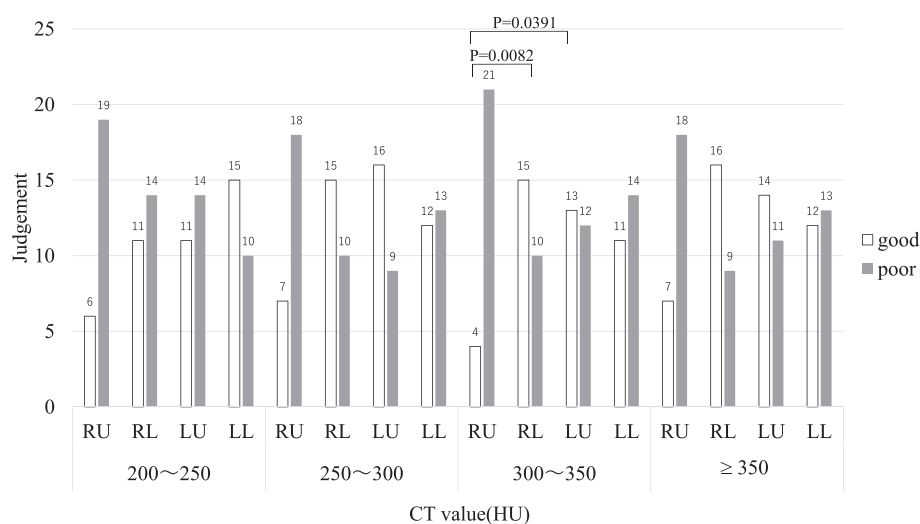


Fig. 5 Visual evaluation of the pulmonary arteriovenous extraction of the high contrast group (division distinction). The right upper lung field significantly had decreased extraction ability for other division ($p<0.05$).

Table 1 The number of people for each score.

Score	Low contrast group				High contrast group			
	CT Value (HU)				CT Value (HU)			
	200~250	250~300	300~350	≥350	200~250	250~300	300~350	≥350
4	1	1	3	1	0	3	0	2
3	5	4	3	4	3	5	5	4
2	3	10	7	17	13	6	11	11
1	5	5	10	3	8	11	6	7
0	11	5	2	0	1	0	3	1

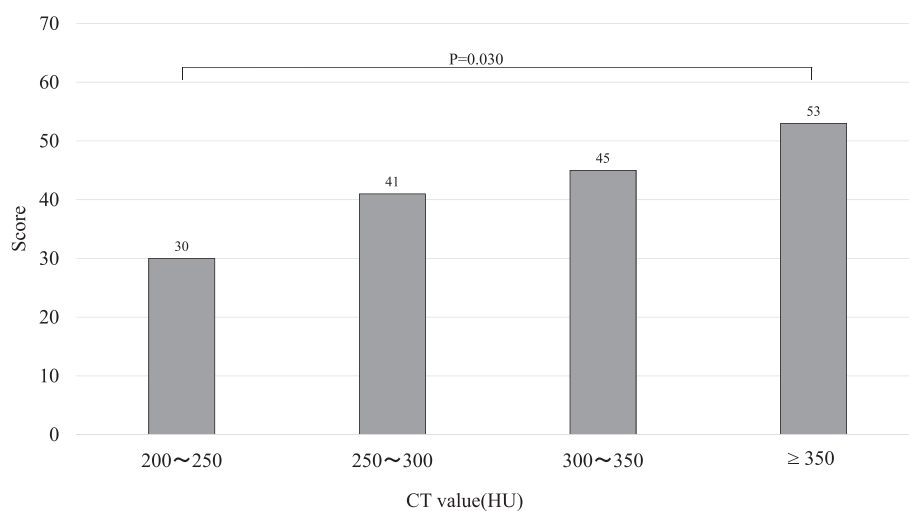


Fig. 6 Total of score of the low contrast group.

When the CT value increased, the extraction ability improved in the low contrast group. The low pulmonary arteriovenous CT value of 200–250 HU significantly decreased the extraction ability compared with the >350 HU group ($p < 0.05$).

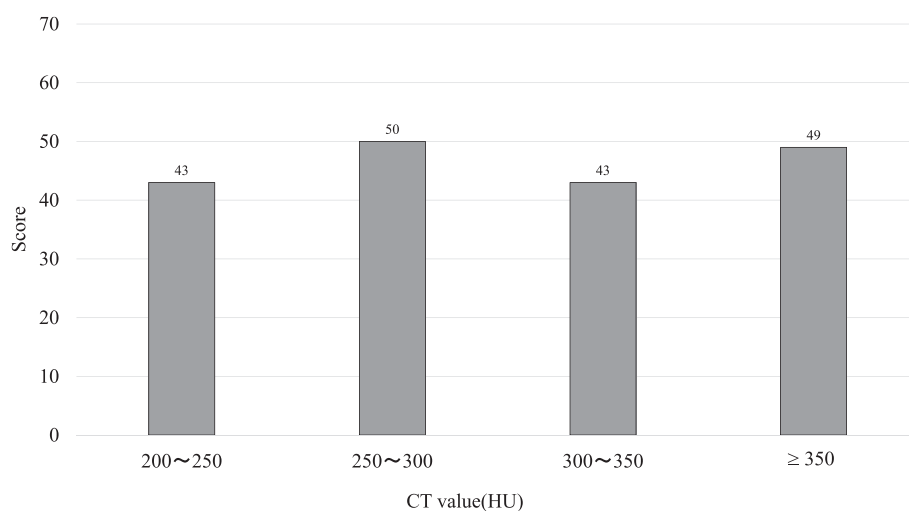


Fig. 7 Total of score of the high contrast group.

The difference was not found in the extraction ability by the CT value.

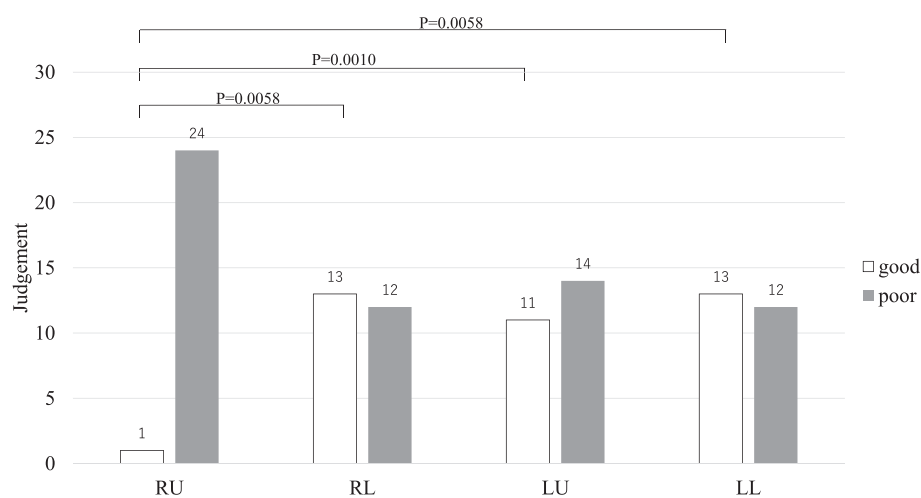


Fig. 8 Visual evaluation of the pulmonary arteriovenous extraction of the Artifact [+] group (division distinction).

The right upper lung field significantly had decreased extraction ability for other division ($p < 0.01$).

Table 2 Comparison of extraction ability between the high contrast group and the Artifact [+] group

Part	High contrast group	Artifact [+]
RU	24/100	1/25
	P=0.0262	
RL	57/100	13/25
LU	52/100	11/25
LL	50/100	13/25

The extraction ability of the Artifact [+] group significantly decreased only the right upper lung field for high contrast group ($p<0.05$).

3. 考 察

先行研究より、良好な VR 画像が作成できるかは PA と PV の CT 値差が重要であり、医療用ワークステーションを使用し、PA と PV の分離を作成者が手動で行う場合は血管の CT 値よりも PA と PV の CT 値差が重要であるといえる^{8,9)}。

本研究は手動での分離ではなく、3次元画像解析システム ボリュームアナライザー SYNAPSE VINCENT Ver.4.1 に搭載される肺切除解析ソフトの PAV の自動抽出能を対象に PA、PV とともに 1~10 レベルの血管までの抽出、分離が正確であるか視覚評価を行ったが、4 区域のすべての血管が完全に抽出、分離できた症例は 200 症例中 11 症例 (5.5%) であった。肺切除解析ソフトには画像認識機能が搭載され、臓器の形状モデルを事前学習し画像認識を行うが、PA と PV の走行は正常例であってもさまざまな分岐形式が存在し¹²⁾、それらの形態をすべて網羅するまでには至っていないと考えられ、ソフトの改善の余地がある。

抽出能は高コントラスト群では CT 値の依存は少なく、PAV のコントラストは重要な因子であるといえる。しかし低コントラスト群では、CT 値が上がるごとに抽出能が向上した。PAV の低い方の CT 値が 350 HU 以上の群と比較して有意に抽出能が低値であったのは 200 HU 以上 250 HU 未満の群のみであり、CT 値が 250 HU 以上であれば有意な差はなく、このソフトの抽出能は CT 値差が 100 HU 以上か、もしくは CT 値差が 50 HU 未満であっても PA と PV の CT 値がどちらも 250 HU 以上であれば、修正が少なく処理が行えることが示された。メーカーの公表値である PA、PV とともに CT 値が 200 HU を超えていることだけでは修正箇所が多く、PA、PV とともに CT 値が 200 HU を超え、更に良好な VR 画像の作成が可能とされている PA と PV の CT 値差 100 HU を確保している高コントラスト群であっても、肺を 4 区域に分けた場合、スコアの値は 400 区域中 185 (46.25%) であり、現

時点では肺切除解析ソフトの自動抽出能の限界である。

区域別でみると、RU 区域は CT 値、CT 値差がいかなる場合でも poor が多い。Fig. 4、Fig. 5 において RU 区域のみ他の区域と有意差が生じ、更に Table. 2 において SVC からのアーチファクトが加わることでより RU 区域のみ抽出能が有意に低下する。Figure 9 に高コントラストでスコアが 2 点であった症例を示す。PA の CT 値は 246 HU、LA の CT 値は 389 HU であり、コントラストは保たれているが、RU 区域および LU 区域は poor の判定である。この症例は RU 区域、LU 区域とも poor の判定の中で PA と PV が抽出はされているが選択に誤りがある場合に相当し、CT 値差が 100 HU 以上確保されているにもかかわらず、PA と PV が交錯している部分で実際は PV である血管が PA と認識されている。具体的には、RU 区域の V1、LU 区域の V2 が PA と認識され、VR 画像では Fig. 9b, d (矢印) で示す部分に相当する。更に RU 区域の V1 に関しては PA と SVC に挟まれる形で走行している。このような血管の走行は解剖学的には正常であると思われる¹²⁾。この症例は造影剤注入終了後 5 秒以上経過しているため、SVC からの明らかなアーチファクトはみられないが、SVC に造影剤が停滞し、SVC 内の CT 値も均一でないことが視覚的にも見てとれる。上肺野は下肺野に比べて正常例であっても分岐形式が多いが¹²⁾、LU 区域と比較しても有意に RU 区域の抽出能が低い原因は、PA と PV が交錯している部分で PA、PV 以外に異なる CT 値の構造物が血管に接する形で存在することが抽出能を低下させている可能性も考えられる。更に Fig. 10 に低コントラストであるがスコアが 4 点であった例を挙げる。PA、LA の CT 値はそれぞれ 361 HU、365 HU であるが、PA と PV が誤りなく抽出されている。RU 区域の V1 に関して、PA と SVC に挟まれる形で走行しているが、SVC に造影剤が停滞して V1 との間に脂肪組織と思われる物質が存在し、そのため Fig. 9 の例よりも SVC と V1 の距離が離れている。本研究では SVC の CT 値や PA と PV との距離についてまでは言及しておらず、この 2 症例のみで SVC に停滞した造影剤が抽出に影響を与えると結論づけることはできないが、少なくとも RU 区域の抽出能は他の区域よりも低く、更に SVC からのアーチファクトが加わることで元々低い RU 区域の抽出能を更に低下させる。血管の走行は個体間で相違し正常範囲内であっても本研究で考慮することは難しいが、先行研究^{8,9)}で示されるように生食後押しや混合注入を行うことで SVC のアーチファクトを低減することは可能である。視覚評価を

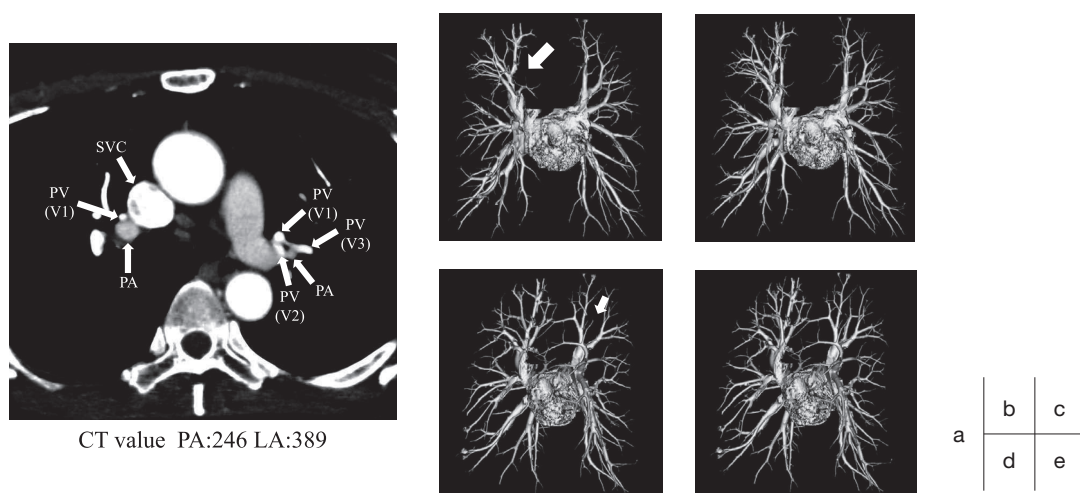


Fig. 9 The case that score two points in the high contrast group.
(a) Axial view, (b) Volume rendering of the pulmonary vein (frontal view), (c) After revision of (b) (frontal view), (d) Volume rendering of the pulmonary vein (LAO 40°), (e) After revision of (d) (LAO 40°)

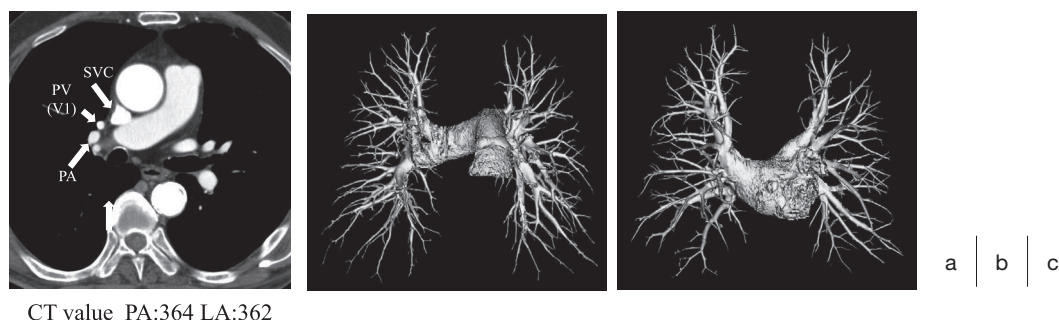


Fig. 10 The case that score four points in the low contrast group.
(a) Axial view, (b) Volume rendering (pulmonary artery), (c) Volume rendering (pulmonary vein)

行った全症例より RU 区域を除くとスコアの値は 675 区域中 349 (51.70%) まで向上することから、SVC のアーチファクトを低減することは重要である。

抽出不良の場合は作成者が修正を行うが、抽出が poor である部分を解剖学的観点から目視で確認し、手動で抽出もしくは分離を行う。その場合、poor である部分が少ない方が画像作成の時間が短縮されることが妥当である。また、修正を行うことを前提とするならば、PA と PV の CT 値差が大きければ修正が容易となり良好な画像作成が行える⁸⁾。つまり、造影技術により PA と PV の CT 値差を保つことが重要であり、その場合、中森⁹⁾の一相撮影法での報告にある、PA と PV に CT 値差をつけるような造影法は、ソフトを用いて PAV を自動抽出するうえでも有効であると考えられる。心房中隔欠損症などの心疾患を有している場合は PA と PV に CT 値差をつけることが困難となる⁹⁾が、CT 値差の少ない画像になった場合

でも PA、PV とともに 350 HU 以上の CT 値を確保していれば CT 値が 200 HU 程度の画像と比べて修正が容易になると考えられる。

本研究では 1-4-1-2 での高コントラスト群に関しては、すべての症例で PV の CT 値が高値であり、1-4-2-2 では、すべての症例で PA の CT 値が高値である。Table 2 に示している高コントラスト群と Artifact [+] 群の抽出能の比較では SVC からのアーチファクトの影響を及ぼす RU 区域以外の 3 区域では抽出能に有意差はない。先行研究では PA の CT 値が高値となるように造影剤を注入する方法⁹⁾と、PV の CT 値が高値となるように造影剤を注入する方法⁸⁾があるが、肺切除解析ソフトを用いて自動抽出を行う場合は CT 値差が保たれていれば RU 区域以外の PAV の CT 値の高低の順序による抽出能に差はないと考えられる。

今回検討した医療用ワークステーションは富士フイルム社の SYNAPSE VINCENT であり、そのパー

ジョンは4.1であった。医療用ワークステーションの進化は目覚ましく、バージョンアップによりこのソフトの抽出能が向上することを期待する。作成者がソフトの性能を理解し、適切な画像処理を行うことで、診断に有用な画像を提供できると考える。

4. 結 語

われわれは医療用ワークステーションの肺動静脈自動抽出能について、肺動静脈のCT値およびCT値差が与える影響を評価した。3次元画像解析システムボリュームアナライザーSYNAPSE VINCENT Ver.4.1に搭載される肺切除解析ソフトの肺動静脈自動抽出能は、メーカー公表値であるPA、PVともにCT値が200 HUを超え、更に良好なVR画像の作成が可能とされているPAとPVのCT値差100 HUを確保しても、全肺を4区域に分類した場合46.25%であった。特に右上肺野の抽出能が低く、その原因は血管の交錯や

SVCによるアーチファクトによるものと考えられ、SVCのアーチファクトを低減することは重要である。CT値差が100 HU以上か、もしくはCT値差が50 HU未満であっても、PAとPVのCT値がどちらも250 HU以上であれば、比較的修正が少なく処理が行えることが示された。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、多くのご助言をいただいた日本放射線技術学会近畿支部会の論文塾チューターの皆様、ならびに観察者としてご協力いただいた日本赤十字社岡山赤十字病院放射線科技師諸兄に感謝いたします。

なお、本研究の要旨は第13回中四国放射線技術フォーラム(2017年、徳島)にて発表した。

参考文献

- 1) Committee for Scientific Affairs, The Japanese Association for Thoracic Surgery, Masuda M, Kuwano H, et al. Thoracic and cardiovascular surgery in Japan during 2013: Annual report by The Japanese Association for Thoracic Surgery. Gen Thorac Cardiovasc Surg 2015; 63(12): 670-701.
- 2) Paul S, Altorki NK, Sheng S, et al. Thoracoscopic lobectomy is associated with lower morbidity than open lobectomy: a propensity-matched analysis from the STS database. J Thorac Cardiovasc Surg 2010; 139(2): 366-378.
- 3) Yamamoto K, Ohsumi A, Kojima F, et al. Long-term survival after video-assisted thoracic surgery lobectomy for primary lung cancer. Ann Thorac Surg 2010; 89(2): 353-359.
- 4) Akiba T, Marushima H, Odaka M, et al. Pulmonary vein analysis using three-dimensional computed tomography angiography for thoracic surgery. Gen Thorac Cardiovasc Surg 2010; 58(7): 331-335.
- 5) Akiba T, Marushima H, Harada J, et al. Importance of preoperative imaging with 64-row three-dimensional multidetector computed tomography for safer video-assisted thoracic surgery in lung cancer. Surg Today 2009; 39(10): 844-847.
- 6) 秋元達也, 中川 学, 山口慶一郎, 他. 320列CT(Dynamic Volume Scan)を用いた肺動静脈分離造影—肺血行動態に関する初期検討結果を含めて—. 映像情報 Medical 2010; 42(1): 52-56.
- 7) 三田祥寛, 片田和広, 安野泰史, 他. 320列ADCTを用いた肺動静脈分離画像の有用性. 映像情報 medical 増刊 2010; 42(7): 85-89.
- 8) 鈴木 潤, 大泉弘幸, 加藤博久, 他. 肺区域切除における術前CTアンギオグラフィー. 日呼外会誌 2012; 26(6): 586-590.
- 9) 中森克敏, 永澤直樹, 山崎暁夫, 他. 肺切除術前3D-CTにおける新しい肺動静脈1相撮影である到達時間推定法の考案. 日放技学誌 2014; 70(11): 1258-1264.
- 10) 小林良一, 斎藤志帆, 長谷川由香, 他. ワークステーションの最新技術—心臓CTを中心に—. 日本赤十字社診療放射線技師会電子会誌 2015; 55(6): 88-105.
- 11) Kanda Y. Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. Bone Marrow Transplant 2013; 48(3): 452-458.
- 12) 福田 保, 橋本義雄. 外科解剖(3) 胸部. 東京: 医学書院. 1977.

問合せ先

〒700-8607 岡山県岡山市北区青江2-1-1
日本赤十字社岡山赤十字病院放射線科 都能和俊