臨床技術

三次元画像解析システムによる 肺切除術前 CT angiography の描出精度 —画像再構成法の違いが自動抽出に及ぼす影響—

鈴木千晶^{1,2} 中野 仁¹ 松原孝祐³論文受付
2021 年 6 月 30 日論文受理
2021 年 9 月 5 日

Code No. 251

¹ 聖隷福祉事業団聖隷三方原病院画像診断部² 金沢大学大学院医薬保健学総合研究科³ 金沢大学医薬保健研究域保健学系

緒言

肺区域切除の手術前シミュレーションまたは手術中ナビゲーションとして肺野の血管、気管支などの脈管構造を把握することは重要であり、造影 CT 検査による three-dimensional computed tomographic angiography (3D-CTA) の有用性が数多く報告されている¹⁻⁵⁾。3D 構築には三次元画像解析システムを使用して腫瘍

と血管、気管支の描出を行うことが必須であるが、特に肺動脈(pulmonary artery: PA)と肺静脈(pulmonary vein: PV)の正確な分離は 3D 構築のうえで時間を要する作業である。これらを容易に行うために PA と PV の CT 値に造影濃度差をつけるさまざまな撮影方法や生理食塩水の後押しを併用した造影剤の注入方法が報告されてきたが⁶⁻¹⁰⁾、装置の性能に依存する場合や撮

Effect of Automatic Extraction Accuracy by Different Image Reconstruction Methods Using a Three-dimensional Image Analysis System for Pulmonary Segmentectomy Preoperative CT Angiography

Chiaki Suzuki,^{1,2*} Jin Nakano,¹ and Kosuke Matsubara³¹ Department of Radiological Technology, Seirei Mikatahara Hospital, Seirei Social Welfare Community² Division of Health Science, Graduate School of Medical Sciences, Kanazawa University³ Faculty of Health Sciences, Institute of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University

Received June 30, 2021; Revision accepted September 5, 2021

Code No. 251

Summary

This study aimed to determine the optimal image reconstruction method for preoperative computed tomography (CT) angiography for pulmonary segmentectomy. This study enrolled 20 patients who underwent contrast-enhanced CT examination for pulmonary segmentectomy. The optimal image reconstruction algorithm among four different reconstruction algorithms (filtered back projection, hybrid iterative reconstruction, model-based iterative reconstruction, and deep learning reconstruction [DLR]) was investigated by assessing the CT numbers, vessel extraction ratios, and misclassification ratios. The vessel extraction ratios for main and subsegment branches reconstructed using DLR were significantly higher than those using other reconstruction algorithms (96.7% and 90.8% for pulmonary artery and vein, respectively). The misclassification ratios at the right upper lobe pulmonary vessels (V1 and V2) were especially high because they were close to the superior vena cava, and their CT numbers were similar in all four reconstructions. In conclusion, the DLR allows a high extraction rate of pulmonary blood vessels and a low misclassification rate of automatic extraction.

Key words: three-dimensional computed tomographic angiography, pulmonary segmentectomy, automatic extraction

*Corresponding author

影タイミングや撮影方向を変更するなど煩雑性が検討課題とされてきた。一方、昨今の画像解析システムの機能向上により PA と PV の自動分離が可能となり、簡便に肺切除解析としての 3D-CTA が構築できるようになった^{11, 12)}。肺切除解析の造影剤注入法として、造影剤を注入後に PA と PV それぞれ撮影を行う 2 相撮影が行われてきたが、2 回の撮影から起こる時相による位置ずれや被ばくの増加による不利益が問題となる。都築ら¹²⁾の報告では、PA、PV の自動分離機能を有した三次元画像解析システムを使用することで、1 相撮影で行ったデータにおいて、PA と PV の CT 値差 (Δ CT 値) が 100 Hounsfield unit (HU) 以上であった場合、もしくは Δ CT 値が 50 HU 未満であっても、PA と PV 両方の CT 値が 250 HU 以上であった場合は修正が必要な血管も少ないことが示されている。このような高コントラストな画像を取得するためには、造影剤注入時間を短くした注入法が必要とされるが、CT 検査の目的が肺病変の精査や全身検索の場合は、必ずしも造影剤の急速静注は必要なく、静脈相のみで撮影が行われる。しかしながら、撮影後に肺切除解析が必要になる場合も多く、肺切除解析目的と全身検索を同時に行う場合もある。この場合は、急速静注後に肺切除解析用の撮影を行ったうえで、全身検索を追加した 2 相撮影となるため、被ばくの増加にもつながる。

また、3D 構築の元となる画像データの画像再構成法には従来の filtered back projection (FBP) 法に代わって、画像ノイズ低減効果が認められる逐次近似応用再構成 (hybrid iterative reconstruction: hybrid-IR) 法、逐次近似再構成 (model based iterative reconstruction: MBIR) 法を適用することにより、同一線量において細部の描出能が向上した報告がある^{13, 14)}。更に、新たな画像再構成法として deep learning reconstruction (DLR) 法が登場し、臨床応用されている。肺切除解析としての 3D-CTA には腫瘍形状、肺葉分離に加えて、正確な PA、PV、気管支の区域枝形状が求められているが、画像再構成法の違いによる自動抽出の精度比較を行った検討は報告されていない。

本研究の目的は、肺病変の精査や全身検索の目的の際に使用する造影剤投与量を 420 mgI/kg、注入時間 90 秒の時間固定法を用い、画像再構成法の違いによる肺切除解析の自動抽出精度を比較し、肺切除解析の最適な画像再構成を決定することである。

1. 方 法

本研究は後ろ向き研究として、当施設の倫理委員会で承認された。

対象は 2021 年 3～5 月までに肺切除術の手術前に造影 CT 検査を行い、肺切除解析を行った連続 20 症例 (男性 12 名、女性 8 名)、平均年齢は 69.4 ± 10.5 歳、平均体重は 61.4 ± 9.5 kg であった。腫瘍部位は右上葉 6 例、右中葉 3、右下葉 3 例、左上葉 5 例、左下葉 3 例であり、平均腫瘍容積は 6057.0 mm^3 であった。

1-1 使用機器

CT 装置は Aquilion ONE NATURE Edition (キヤノンメディカルシステムズ、栃木)、造影剤自動注入器は DUAL SHOT GX7 (根本杏林堂、東京)、三次元画像解析システムは SYNAPSE VINCENT Ver. 6.3 (富士フイルムメディカル、東京)、3D 構築には画像解析システムに搭載されたアプリケーションソフトの肺切除解析を使用した。

1-2 撮像プロトコル

撮影は頭尾方向、管電圧: 80 kVp、管電流: 50–800 mA (auto exposure control: AEC) を使用し、スライス厚: 5 mm で standard deviation: SD を 14.0 に設定、X 線管回転時間: 0.5 s/rotation、ビーム幅: 40 mm (0.5×80 列)、ピッチファクタ: 0.813 とした。本研究で使用した撮像プロトコルの CTDI_{vol} は 4.5 ± 0.9 mGy、DLP は 178.6 ± 40.9 mGy·cm であった。使用造影剤はイオパミロン 300 mgI/ml シリンジ (バイエル薬品、大阪) を使用し、造影剤投与量は 420 mgI/kg、注入時間は 90 秒、撮影は 100 秒後の時間固定法で行った。比較検討として 3D 構築に使用した画像再構成法は、FBP 法、hybrid-IR 法、MBIR 法、DLR 法の計 4 種類とし、スライス厚: 1.0 mm、スライス間隔: 0.8 mm、display field of view (DFOV): 320 mm とした。FBP 法は腹部軟部関数: FC13、hybrid-IR 法は FC13、adaptive iterative dose reduction 3D enhanced (eAIDR3D) Mild、MBIR 法は Forward projected model-based Iterative Reconstruction Solution (FIRST) Body Sharp Mild、DLR 法は Advanced intelligent Clear-IQ Engine (AiCE) Body Sharp Mild でそれぞれ画像再構成を行った。

1-3 検討項目

1-3-1 CT 値と standard deviation (SD) の評価

PA の主幹動脈、左心房、上大静脈 (superior vena cava: SVC) に 10×10 mm の円形の関心領域 (region of interest: ROI) を 3 断面で計 3 箇所配置し、各再構成法で得られた画像の同一断面、同一箇所にて、平均 CT 値と PA の主幹動脈、左心房は SD も同時に計測した。

1 Main pulmonary artery
2 Left atrium
3 Inferior vena cava

Main pulmonary artery,
Inferior vena cava position

Left atrium position

Fig. 1 The illustrations of cross-sectional images.
Circles depict the regions of interest (ROIs) for each measurement.

(Fig. 1). また、PA の主幹動脈と左心房の Δ CT 値を算出した。

1-3-2 自動抽出精度

自動抽出精度は、対象とした 20 症例の肺切除解析を行い、医師の行った手術前シミュレーション画像を確認した診療放射線技師 2 名 (経験年数 25 年, 29 年) にて、再度各再構成法による肺切除解析結果を視覚評価にて行った。

肺切除解析の 1 段階目として、肺葉分離の自動抽出精度を各再構成法で比較した。修正が必要なかった症例は 3 点、一部修正が必要であった症例は 2 点、3 葉以上修正が必要であった場合は 1 点、肺葉分離が不能であった場合は 0 点とした。

肺切除解析の 2 段階目として、腫瘍の自動抽出精度を各再構成法で比較した。自動抽出の際に使用する断面は同一断面とし、計 3 回行い、腫瘍容積を算出した。水平断面、矢状断面、冠状断面のそれぞれから抽出面積を確認し、修正が必要でなかった場合は修正し、各再構成法で腫瘍容積を比較した。

肺切除解析の最終段階として、PA と PV を自動抽出した結果、区域枝 A1~10, V1~10 別に、PA と PV が誤って分類され抽出不可であった場合も含めた亜区域枝までの自動機能による抽出率を各再構成法で比較した。また、誤分類のみによる誤分類率も同様に各再構成法で比較した。区域分類は Yamashita らの分類を用いた¹⁵⁾。

1-4 統計学的解析

CT 値と SD、腫瘍容積は各再構成法の値は、対象が 20 症例と少ないため中央値で表し、解析は統計ソフト

ウェア EZR¹⁶⁾ を使用した。各検討項目に対して再構成法間の比較にはフリードマン検定を用い、対比較はウィルコクソンの符号順位和検定を用いた。検定による有意水準は 5% とした。

2. 結果

2-1 CT 値と SD の評価

各再構成法の PA の主幹動脈の CT 値を Table 1 に、症例別の結果を Figure 2 に示す。

FBP 法で 215.8 HU, hybrid-IR 法で 212.4 HU, MBIR 法で 211.0 HU, DLR 法で 218.3 HU であり、DLR 法で最も高値を示し、再構成法間で有意差を認めた。対比較では、FBP 法と hybrid-IR 法, hybrid-IR 法と MBIR 法で有意差を認めなかった。

各再構成法の左房の CT 値を Table 1 に、症例別の結果を Figure 3 に示す。FBP 法で 226.3 HU, hybrid-IR 法で 225.1 HU, MBIR 法で 224.6 HU, DLR 法で 230.7 HU であり、PA の主幹動脈同様に、DLR 法で最も高い値を示し、再構成法間で有意差を認めた。対比較では、hybrid-IR 法と MBIR 法間のみ有意差を認めなかった。

各再構成法の SVC の CT 値を Table 1 に、症例別の結果を Figure 4 に示す。FBP 法で 237.1 HU, hybrid-IR 法で 236.9 HU, MBIR 法で 236.4 HU, DLR 法で 244.5 HU であり、PA の主幹動脈、左房同様に、DLR 法で最も高い値を示し、再構成法間で有意差を認めた。対比較では、hybrid-IR 法と MBIR 法間のみ有意差を認めなかった。

各再構成法の SD を Table 1 に、症例別の結果を Figure 5 に示す。FBP 法で 36.6 HU, hybrid-IR 法で

Table 1 CT number comparing four methods

	FBP	Hybrid-IR	MBIR	DLR
Main pulmonary artery	215.8 (201.2–261.0)	212.4 (200.5–260.0)	211.0 (200.7–258.9)	218.3 (204.2–265.6)
Left atrium	226.3 (214.6–257.9)	225.1 (212.9–252.6)	224.6 (212.7–253.3)	230.7 (217.9–263.6)
Superior vena cava	237.1 (200.9–275.7)	236.9 (200.9–276.1)	236.4 (200.0–276.2)	244.6 (201.3–290.6)
Standard deviation of image noise	36.6 (32.1–39.1)	19.1 (17.1–20.9)	18.3 (16.5–21.3)	16.2 (14.9–17.0)
Difference between main pulmonary artery and left atrium	21.3 (10.1–28.3)	19.5 (10.2–29.4)	21.6 (11.8–28.5)	21.0 (9.8–28.5)

(HU)

Fig. 2 Comparison of CT number of each method at the main pulmonary artery.

Fig. 4 Comparison of CT number of each method at the superior vena cava.

Fig. 3 Comparison of CT number of each method at the left atrium.

19.1 HU, MBIR 法で 18.3 HU, DLR 法で 16.2 HU であり, FBP 法で最も高く, 再構成法間で有意差を認めた. 対比較では, hybrid-IR 法と MBIR 法間のみ有意差を認めなかった.

各再構成法の PA の主幹動脈と左心房の Δ CT 値を Table 1 に, 症例別の結果を Figure 6 に示す. FBP 法で 21.3 HU, hybrid-IR 法で 19.5 HU, MBIR 法で 21.6 HU, DLR 法で 21.0 HU であり, MBIR 法が最も高かったが, 再構成法間で有意差は認められなかった ($p=0.22$).

2-2 肺葉分離の自動抽出精度

肺葉分離精度の各再構成法の合計点はすべて合計 59 点, 平均 2.95 点と高い精度で自動抽出された. 各再構成法共に同一症例 1 症例のみ一部修正が必要であり, 自動抽出精度に差は認められなかった.

2-3 腫瘍の自動抽出精度

各再構成法の自動抽出した腫瘍容積を Figure 7 に示す. FBP 法で 5771.0 mm³, hybrid-IR 法で 5743.3 mm³, MBIR 法で 5593.9 mm³, DLR 法で 5361.9 mm³ であった. 腫瘍の自動抽出は再構成法すべて同一の 9 症例で修正が必要であったが, 各再構成法間に腫瘍容

Fig. 5 Comparison of standard deviation of each method at the main pulmonary artery and left atrium.

Fig. 6 Comparison of CT number of each method at difference between the main pulmonary artery and the left atrium.

積の有意差は認められなかった ($P=0.67$).

2-4 PA と PV の自動抽出精度

各再構成法の PA と PV の自動抽出精度を右肺、左肺別に Table 2, 3 に示す。PA の亜区域枝までの抽出率は、右肺、左肺でそれぞれ FBP 法で 67.0%, 65.6%, hybrid-IR 法で 77.0%, 72.5%, MBIR 法で 96.5%, 95.0%, DLR 法で 97.0%, 96.3% であり、誤分類率は、右肺、左肺でそれぞれ FBP 法で 9.0%, 6.3%, hybrid-IR 法で 6.0%, 6.9%, MBIR 法で 3.5%, 6.3%, DLR 法で 3.0%, 3.1% であり、DLR 法が最も高い抽出率と低い誤分類率を示した。区域枝別では、右 A^1 , A^2 , A^4 , A^6 , A^9 と左 A^{1+2} , A^3 , A^9 , A^{10} で再構成法間に有意差を認め、特に FBP 法と hybrid-IR 法では、右上葉の A^1 , A^2 , 左上葉の A^3 と左下葉の A^9 , A^{10} で 15-55% と抽出率が低かったが、誤分類率に有意差は認められな

Fig. 7 Comparison of tumor volume of each method.

かった。

PV の亜区域枝までの抽出率は、右肺、左肺でそれぞれ FBP 法で 66.0%, 76.7%, hybrid-IR 法で 68.0%, 80.0%, MBIR 法で 88.0%, 95.0%, DLR 法で 87.5%, 94.4% であり、誤分類率は、右肺、左肺でそれぞれ FBP 法で 16.5%, 6.5%, hybrid-IR 法で 14.5%, 5.0%, MBIR 法で 11.5%, 5.0%, DLR 法で 12.0%, 5.6% であり、MBIR 法が最も高い抽出率と低い誤分類率を示した。区域枝別では、右 V^3 , V^5 , V^7 , V^{10} と左 V^2 , V^9 , V^{10} で再構成法間に有意差を認めたが、PA 同様、誤分類率に有意差は認められなかった。PA と比較して右肺と左肺で差が認められ、すべての群において右肺の抽出率が低かった。特に右上葉 V^1 , V^2 で抽出率が低く、各再構成法ともに 50% 以下であった。加えて、誤分類率も非常に高く、同じく各再構成法ともに 50% 以上を示した。

3. 考 察

肺がんの低侵襲手術として、胸腔鏡下手術やロボット支援手術による肺区域切除術が行われており、手術前および手術中の 3D-CTA は手術の精度や安全性を向上させることから、3D 構築の依頼は肺区域切除術予定のすべての患者において行われている。

本研究では三次元画像解析システムボリウムアナライザ SYNAPSE VINCENT Ver. 6.3 のアプリケーションソフトである肺切除解析による肺葉分離、腫瘍抽出、PA と PV の自動抽出機能が選択可能なさまざまな画像再構成法により、どのように影響を及ぼすかを評価した。その結果、肺葉分離と腫瘍抽出には画像再構成法による有意差が認められなかったが、PA と PV の抽出率には画像再構成法による有意差が認めら

Table 2 Comparison of extraction accuracy and miss of each method at pulmonary vessels for the right lung

		FBP	Hybrid- IR	MBIR	DLR				FBP	Hybrid- IR	MBIR	DLR			
		Extraction rates/Miss rates (%) of PA					<i>P</i> -value			Extraction rates/Miss rates (%) of PV					<i>P</i> -value
Upper lobe	A ¹	45/20	55/15	95/5	95/5	<0.05/0.06	V ¹	25/65	25/65	40/60	40/60	0.11/0.75			
	A ²	35/15	35/15	90/10	95/5	<0.05/0.19	V ²	40/55	40/55	50/50	50/50	0.57/0.9			
	A ³	90/0	85/5	100/0	100/0	0.06/0.39	V ³	30/25	40/15	100/0	95/5	<0.05/0.03			
Middle lobe	A ⁴	85/0	80/5	100/0	100/0	<0.05/0.39	V ⁴	85/5	90/0	100/0	100/0	0.06/0.39			
	A ⁵	90/5	90/5	100/0	95/5	0.19/0.39	V ⁵	80/0	80/0	95/5	100/0	<0.05/0.39			
Lower lobe	A ⁶	65/15	70/10	90/10	95/5	<0.05/0.49	V ⁶	85/5	85/5	100/0	95/5	0.06/0.39			
	A ⁷	75/15	85/5	90/10	90/10	0.16/0.26	V ⁷	75/5	75/5	100/0	100/0	<0.05/0.39			
	A ⁸	90/10	100/0	100/0	100/0	0.11/0.11	V ⁸	95/0	95/0	95/0	95/0	—/—			
	A ⁹	60/5	75/0	100/0	100/0	<0.05/0.39	V ⁹	95/0	95/0	100/0	100/0	0.39/—			
	A ¹⁰	90/5	95/0	10/0	100/0	0.18/0.39	V ¹⁰	50/5	55/0	100/0	100/0	<0.05/0.39			
Mean		67.0/9.0	77.0/6.0	96.5/3.5	97.0/3.0			66.0/16.5	68.0/14.5	88.0/11.5	87.5/12.0				

Table 3 Comparison of extraction accuracy and miss of each method at pulmonary vessels for the left lung

		FBP	Hybrid-IR	MBIR	DLR			FBP	Hybrid-IR	MBIR	DLR				
		Extraction rates/Miss rates (%) of PA					<i>P</i> -value		Extraction rates/Miss rates (%) of PV					<i>P</i> -value	
Upper lobe	A ¹⁺²	60/10	65/10	100/0	100/0	<0.01/0.19	V ¹	55/20	65/10	80/20	80/20	0.10/0.46			
							V ²	70/10	75/10	100/0	100/0	<0.01/0.11			
	A ³	35/10	30/15	95/5	90/10	<0.01/0.39	V ³	70/20	75/15	80/20	80/20	0.39/—			
	A ⁴	95/5	100/0	100/0	100/0	0.39/0.39	V ⁴	85/5	90/0	100/0	100/0	0.06/0.39			
	A ⁵	100/0	100/0	100/0	100/0	—/—	V ⁵	95/0	95/0	100/0	100/0	0.39/—			
Lower lobe	A ⁶	100/0	95/5	100/0	95/5	0.39/0.39	V ⁶	95/5	95/5	100/0	95/5	0.39/0.39			
	A ⁸	85/10	85/10	95/5	100/0	0.06/0.19	V ⁸	90/0	90/0	100/0	100/0	0.11/—			
	A ⁹	35/5	85/5	90/5	95/0	<0.01/0.73	V ⁹	50/5	50/5	95/0	95/5	<0.01/—			
	A ¹⁰	15/10	20/10	80/20	90/10	<0.01/0.39	V ¹⁰	80/0	80/0	100/0	100/0	<0.01/—			
Mean		65.6/6.3	72.5/6.9	95.0/6.3	96.3/3.1			76.7/6.5	80.0/5.0	95.0/5.0	94.4/5.6				

れた。

使用した肺切除解析は、機械学習を使用したトレーニングデータにより、PA と PV の根幹である肺動脈幹と左心房の位置を検出した後、血管領域を抽出し、PA と PV に分離する過程で自動抽出される。定量評価において Mekada ら¹⁷⁾ による空間配置機能を使用した従来の自動抽出方法と比較して、抽出精度が平均 13% 向上し、平均誤分類率は 3.3% と低く、臨床データを使用した定性的評価では、PA と PV の CT 値がともに 200 HU 未満の低コントラスト群と 200 HU 以上の高コントラスト群、PA と PV のどちらかの CT 値が 200 HU 以上である混合群の 3 群評価において、高コントラスト群が最も誤分類率が低かったと報告された¹¹⁾。都能ら¹²⁾ による検証では、SYNAPSE VINCENT Ver. 4.1 による肺切除解析の自動描出能は、すべての血管枝が正確に分離できた症例は 200 症例中 5.5% と低い結果であった。本研究は、最新の SYNAPSE VINCENT Ver. 6.3 による検証であるが、PA と PV の

すべての血管枝が正確に分離できた症例は、描出率が高かった DLR 法と MBIR 法においても 20 症例中 2 症例と 10% の描出精度であった。しかしながら、区域枝ごとの評価では、DLR 法の PA で 96.7%、PV で 90.8% の高い描出率であった。MBIR 法は PA で 95.8%、PV で 91.3% と描出率は同等であったが、FBP 法と hybrid-IR 法は、それぞれ PA で 66.4%、75.0%、PV で 71.1%、73.8% と DLR 法、MBIR 法と比較して 20–30% 劣り、肺の上部と下部の末梢の区域枝で特に抽出率が低かった (Figure 8 arrow 1, circle)。各群の PA の主幹動脈、左房の CT 値は、ともに DLR 法が他の群と比べて約 3% 有意に高かったが、本研究の造影剤注入レートは平均 0.94 ml/秒であり、すべての再構成法において 11 症例で PA の主幹動脈、左房の CT 値はともに 250 HU 以下であり、うち 4 症例は 200 HU 以下と、低コントラストの画像が含まれた。更に、低コントラスト症例の描出率は、最も高い描出率であった DLR 法において、PA で 94.1%、PV で

Fig. 8 The segmentation results for each method.
 (a) Filtered back projection, (b) Hybrid iterative reconstruction, (c) Model-based iterative reconstruction, (d) Deep learning reconstruction
 Arrow 1: The methods of c, d achieved higher extraction accuracy, better than a, b.
 The circle represents misclassified V^3 branch.
 The arrow 2 represents misclassified V^1 branch.

91.3%と他の症例と比べても同等であり、CT 値による影響は少ないことが示された。また、各群の PA の主幹動脈と左心房の ΔCT 値に有意差はなく、 ΔCT 値が 10 HU 以下とほとんど差が認められない症例から 100 HU ほど認められた症例までさまざまであったものの、 ΔCT 値が 10 HU 以下の抽出精度は DLR 法において、PA で 94.3%、PV で 91.8%とこちらも他の症例と同等であったことから、 ΔCT 値による影響も少ないことが示唆された。したがって、亜区域枝までの抽出率は主に、末梢側の血管径は非常に小さいことから画像ノイズの影響が考えられ、FBP 法と hybrid-IR 法の抽出率が低かった原因と考えるが、本研究では hybrid-IR 法の SD 値は MBIR 法と有意差は認められなかった。これは、hybrid-IR 法によるノイズ低減効果は SD 値には反映されたが、量子ノイズによる影響が MBIR 法と比較して抽出率が劣った原因と考える。本研究は 80 kVp の低管電圧を使用した。画像ノイズの影響を考えれば、低管電圧での使用は適正ではないことも推測される。本研究では造影プロトコルで使用する 80 kVp において、再構成法の違いが自動抽

出に及ぼす影響を検証したため、管電圧による影響の検証は行っていないが、DLR 法では設定 SD 14 に対して、16.2 HU と低管電圧による画像ノイズの影響は少ないと考えられる。すべての再構成法において右上葉 V^1 と V^2 で抽出率が特に低かった点に関しては、MBIR 法、DLR 法では抽出率の低下がすべて誤分類によるものであることから、先行研究^{11, 12)}でも示されているように、SVC が右上葉 V^1 、 V^2 周囲に位置することによる影響が大きく、SVC の CT 値は PV の CT 値に近いことから、誤分類が起こりやすいと考えられる (Figure 8 arrow 2)。本研究での造影剤注入法は急速注入を必要としないことから、SVC に停滞する造影剤による強いアーチファクトの影響は受けにくく、右上葉に注意しながら 3D 構築を行うことで、短時間で修正が可能であった。また、誤分類率に関しては各群に有意差がなく、ゆえに、画像再構成法の違いによる誤分類に対する影響は少ないことが示された。

MBIR 法は、DLR 法と同等の抽出精度が認められたが、画像再構成処理に時間がかかることが知られており¹⁸⁾、臨床での運用は DLR 法にて行うことが望ま

しいと考える。

本研究のリミテーションは、本施設のCT装置、キヤノンメディカルシステムズ社のAquilion ONE NATUREの1台のみで撮影したデータを用いており、三次元画像解析システムは富士フイルムメディカルのSYNAPSE VINCENT Ver. 6.3の1台のみを使用した研究結果である。

4. 結 語

機械学習を応用させた三次元画像解析システムによる肺切除解析の自動抽出描出機能は、血管のCT値や Δ CT値よりも画像ノイズに影響されることから、抽

出率が高く、誤分類率の低い3D-CTAが抽出可能である、DLR法による画像再構成法が最適である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご協力を賜りました聖隷三方原病院呼吸器外科の棚橋雅幸先生ならびに画像診断部の診療放射線技師諸氏に深く御礼申し上げます。

利益相反

筆頭筆者および共著者全員が開示すべき利益相反はない。

参考文献

- 1) 田中俊樹, 郷良秀典, 古川昭一, 他. 肺癌手術における肺動静脈3D-CT angiographyの有用性. 日呼外会誌 2005; 19(1): 8-11.
- 2) Fukuhara K, Akashi A, Nakane S, et al. Preoperative assessment of the pulmonary artery by three-dimensional computed tomography before video-assisted thoracic surgery lobectomy. Eur J Cardiothorac Surg 2008; 34(4): 875-877.
- 3) 大泉弘幸, 遠藤誠, 太田寛, 他. Multidetector row CT シミュレーションによる肺切除術. 日呼外会誌 2009; 23(7): 912-917.
- 4) 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.
- 5) Chen-Yoshikawa TF, Date H. Update on three-dimensional image reconstruction for preoperative simulation in thoracic surgery. J Thorac Dis 2016; 8(Suppl 3): S295-S301.
- 6) 八柳英治, 勝俣博史, 菊池恵介, 他. 肺切除手術支援を目的とした術前3D-CT撮影法の工夫. 胸部外科 2011; 64(7): 532-536.
- 7) Tane S, Ohno Y, Hokka D, et al. The efficacy of 320-detector row computed tomography for the assessment of preoperative pulmonary vasculature of candidates for pulmonary segmentectomy. Interact Cardiovasc Thorac Surg 2013; 17(6): 974-980.
- 8) 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.
- 9) Fourdrain A, De Dominicis F, Blanchard C, et al. Three-dimensional CT angiography of anatomic variations in the pulmonary arterial tree. Surg Radiol Anat 2018; 40(1): 45-53.
- 10) Nakane J, Honda N, Tsuchiya K. Computed tomography pulmonary angiography and venography with a low dose of contrast medium. Radiol Phys Technol 2019; 12(1): 61-68.
- 11) Kitamura Y, Li Y, Ito W, et al. Data-dependent higher-order clique selection for artery-vein segmentation by energy minimization. Int J Comput Vis 2016; 117(2): 142-158.
- 12) 都能和俊, 橋本幸太郎, 山中良太, 他. 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. 日放技学誌 2019; 75(2): 174-182.
- 13) 高田忠徳, 市川勝弘, 林 弘之, 他. 逐次近似再構成法を応用した新しい画像再構成法に対する画質評価. 日放技学誌 2012; 68(4): 404-412.
- 14) 星野貴志, 市川勝弘, 寺川彰一, 他. 逐次近似再構成法が三次元CT画像の形状再現性に与える影響. 日放技学誌 2012; 68(12): 1624-1630.
- 15) Yamashita H. Nomenclatures and signs of bronchopulmonary anatomy. Roentgenologic Anatomy of the Lung. Igakushoin, Tokyo, 1978: 10-94.
- 16) Kanda Y. Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZ' for medical statistics. Bone Marrow Transplant 2013; 48(3): 452-458.
- 17) Mekada Y, Nakamura S, Ide I, et al. Pulmonary artery and vein classification using spatial arrangement features from X-ray CT images. In Proc of APCCM, Taipei, 2006; 232-235.
- 18) 栗井和夫, 檜垣徹, 立神史稔, 他. 逐次近似画像再構成法の臨床応用. 日放技学誌 2017; 73(12): 1261-1269.

問合せ先

〒433-8558 浜松市三方原町 3453
聖隷福祉事業団聖隷三方原病院画像診断部 鈴木千晶