

希釈 TBT を用いた肺動静脈 CTA の検討

○武智 祐誠、河田 阜、黒河 寛之、岡本 隆

愛媛県立中央病院放射線部

【背景】

肺腫瘍の手術には胸腔鏡を用いた切除術 (video-assisted thoracic surgery: VATS) が行われている。術前に肺動脈 (pulmonary artery: PA), 肺静脈 (pulmonary vein: PV) の分岐・走行を把握することで迅速かつ安全に手術を行う上で重要となる。そのため three-dimensional computed tomography-angiography (3D-CTA) を撮影している。呼吸停止不良の不確実から起こる位置ズレや被ばく線量を考慮し、当院では希釈 Test Injection 法 (TI 法) を用いた 1 相撮影を行ってきたが手技が煩雑であった。希釈 TI 法の結果を用いて希釈 Test Bolus Tracking 法 (TBT 法) を考案した。

【目的】

考案した希釈 TBT 法の有用性について評価を行う。

【方法】

本研究の protocol および臨床画像の使用については当院の倫理委員会にて承認された。2020 年 11 月～2023 年 11 月の間に希釈 TI 法または希釈 TBT 法で肺動静脈 3D-CTA 撮影を行った 108 症例 (希釈 TI 法: 51 症例, 希釈 TBT 法: 57 症例) を対象にした。(Table 1)

希釈 TI 法

造影剤注入には、造影剤自動注入器 (Dual shot GX7, 根本杏林堂) を用い、原則として造影剤の注入ルートは 20 G の留置針を留置し、370 mgI/kg を使用し生理食塩水で後押しした。造影方法は test injection 法を用いて、注入速度 5.0 ml/s, 注入量 50 ml, 造影剤と生理食塩水を 20%:80% の混和注入した。生理食塩水も動速度にて 5 秒注入した。test injection から得られた Time Enhance Curve から造影剤希釈率, 撮影時間, 注入時間を求めた。main bolus として 2 段階注入を行い, 1 段目に肺静脈, 2 段目に肺動脈が目標 CT 値になるように調整し撮影を行った。撮影には 64 列 MDCT (SOMATOM Definition Edge, Flash, SIEMENS 社) を使用し, 管電圧は 120 kV, 管電流は Care Dose 4D (CT-Auto exposure control) を使用した。収集検出器は 0.6mm × 64 row, ガントリ回転速度は 0.28 s/rot, ピッチは 1.1-1.3, ヘリカル撮影で撮影範囲は全肺として尾頭方向で撮影した。(Table 2)

希釈 TBT 法

造影剤注入ルートは 20 G もしくは 22 G の留置針を留置し, 注入速度は 26 mgI/kg/sec とした。希釈 TBT 法の造影剤プロトコルを Fig. 1 に示す。test bolus として造影剤と生理食塩水を 20%:80% の混和注入で注入時間を 10 秒, そのあと生理食塩水注入時間を 5 秒, インターバル時間を 15 秒, その後 main bolus として造影剤注入時間を 13 秒, 造影剤と生理食塩水を

(15/26mgI/kg/sec):{1-(15/26mgI/kg/sec)}% の混和注入で注入時間を 13 秒, 生理食塩水注入時間を 5 秒とした。Monitoring 位置は左房 (Left atrium: LA) とし, test bolus のピークをトリガーとして 32 秒後に撮影を開始した。管電圧は A:100kV, B:Sn140kV の Dual Energy 撮影, 管電流は Care Dose 4D (CT-Auto exposure control) を使用した。収集検出器は 0.6mm × 64row, ガントリ回転速度は 0.28s/rot, ピッチは 0.9-1.1, ヘリカル撮影で撮影範囲は全肺として尾頭方向で撮影した。

Table 1 Comparison of patient characteristics between diluted test injection method and diluted test bolus tracking method

	希釈 TI 法	希釈 TBT 法	ρ value
Sex, no. of patients	51	57	
(Male, Female)	(33, 18)	(31, 25)	
Age (years)	68.10 (30-84)	69.58 (41-87)	.887
Height (cm)	162.15 (141.4-179.6)	159.26 (143.2-184.5)	.103
Weight (kg)	59.30 (37-86)	59.31 (42-85)	.786
Body surface area (cm ²)	1.62 (1.25-2.02)	1.61 (1.3-2.05)	.703
Body mass index (kg/m ²)	22.49 (15.91-31.56)	23.28 (17.74-31.53)	.177

検討項目

希釈 TI 法と希釈 TBT 法で撮影した PA と PV, 上行大動脈 (Ascending aorta: A-Ao), 下行大動脈 (Descending aorta: D-Ao) の CT 値を計測した。PA の測定位置は主肺動脈 (main PA: MPA), 左右の上葉枝 (upper lobe PA: UPA) と下葉枝 (lower lobe PA: LPA), PV の測定位置は LA, 左右の上葉枝 (upper lobe PV: UPA) と下葉枝 (lower lobe PV: LPV) とした。また A-Ao, D-Ao の測定位置は右冠動脈起始部とした。測定血管の region of interest (ROI) の大きさは MPA と LA と A-Ao, D-Ao は 100-110 mm², UPA と LPA, UPV と LPV は 5-6 mm² として計測を行った。(Fig. 2)

造影効果は PA, PV の各測定位置での平均値, また分離表示の評価は PA と PV の CT 値差 (PA-PV: Δ CT 値) で行い, 比較した。CT 値均一性は PA, PV の各測定位置での CT 値のバラツキを standard deviation: SD で評価し, 比較した。

統計解析には R を用いて Mann-Whitney U 検定を行い, 有意水準を 5% とした。

Table 2 Scan parameters of diluted test injection method and diluted test bolus tracking method

	希釈TI法	希釈TBT法
Tube voltage[kV]	120	A:100 B:Sn140 (DE Comp:0.6)
Tube current[mAs]	Care Dose 4D(CT-AEC) 160	A:250 B:213
Detector collimation	0.6mm×64rows	
Rotation Time[sec/rot]	0.28	
Pitch Factor	1.1-1.3	0.9-1.1
Scan direction	Caudo-cranial	

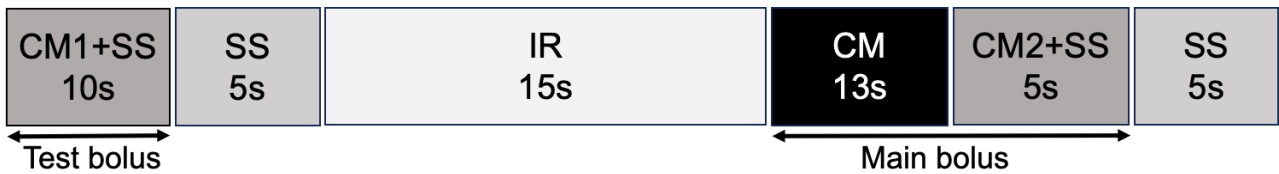


Fig. 1 Injection procedure of diluted test bolus tracking method

CM: contrast material, SS: saline solution, CM1+SS: 20%: 80% saline-to-contrast -medium mixture, CM2+SS: (15/26mgI/kg/sec)%: {1-(15/26mgI/kg/sec)}% saline-to-contrast medium mixture,IR: Interruption

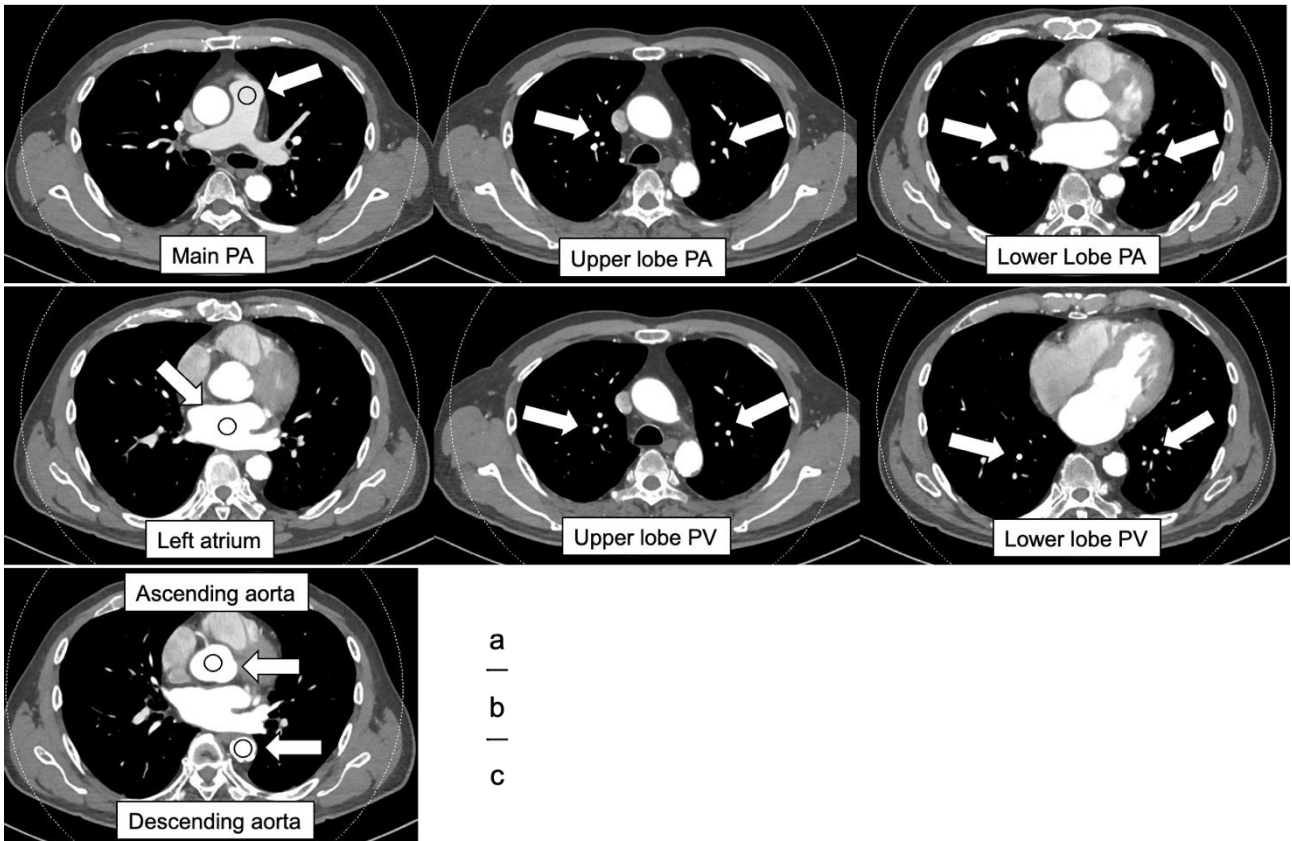


Fig. 2 Measurement position of pulmonary artery, vein, and thoracic aorta.

(a) region of interest setting for pulmonary artery, (b) region of interest setting for pulmonary vein ,(c) Thoracic aorta

【結果】

各測定結果をFig. 3に示す.造影効果の比較をFig. 4, Δ CT値の比較をFig. 5に示す.PAのCT値は希釈TI法: 233.4 ± 27.8 Hounsfield unit (HU), 希釈TBT法: 220.6 ± 51.3 HUであり希釈TI法が高くなった($p < 0.05$).PVのCT値は希釈TI法: 355.2 ± 30.5 HU, 希釈TBT法: 379.8 ± 49.8 HUであり希釈TBT法が高くなった($p < 0.05$). A-AoのCT値は希釈TI法: 375.3 ± 28.2 HU, 希釈TBT法: 388.63 ± 43.7 HUであり希釈TBT法が高くなった($p < 0.05$).D-AoのCT値は希釈TI: 356.3 ± 28.9 HU, 希釈TBT法: 380.7 ± 43.2 HUであり希釈TBT法が高くなった($p < 0.05$). Δ CT値は希釈TI法: 114.3 ± 21.3 HU, 希釈TBT法: 159.2 ± 53.2 HUであり希釈TBT法が大きくなった($p < 0.05$) (Table 3).CT値均一性の比較をFig. 6に示す.PAの均一性は希釈TI法: 18.7 ± 9.1 HU, 希釈TBT法: 19.7 ± 8.0 HUであり, PVの均一性は希釈TI法: 17.9 ± 7.9 HU, 希釈TBT法: 20.0 ± 6.7 HUとなり, PAとPVの均一性に有意差は認められなかった

【考察】

肺動静脈の分離表示にはCT値差が200 HU以上あれば極めて良好で, 200 HU以下であっても100 HU以上のCT値差があれば概ね良好な分離表示が作成可能であるという報告があり, CT値差100 HU以上を基準とすると, 希釈TBT法では100 HU以下が8/57症例であった.左房でMonitoringを行うため, 心周期や呼吸によりTime Enhance Curveが安定せず, 正確なピークが捉えることができなかったと考える.

本研究のリミテーションとして, 希釈TI法と希釈TBT法における造影剤の注入時間や注入速度, 撮影管電圧が異なるため, PAやPVのCT値に大きく影響してしまう.しかし, 本研究は肺動静脈の分離を目的としており, PAとPVの個々のCT値よりも Δ CT値が重要であるため, 造影剤の注入時間や注入速度, 撮影管電圧の違いが大きな問題にならないと考える.二つ目として, 肺循環が極端に異なる場合やTest Injectionのタイミング不良などにより上大静脈(superior vena cava)に残存する造影剤によるアーチファクトが血管描出の影響については評価をしていない.

【参考文献】

北野哲哉, 金子雅一, 山田茂樹. 肺がん胸腔鏡補助手術前の肺動静脈分離 3D-CTA における多段階注入による 1 相撮影法の有用性. 日放技学誌 2019; 75(10): 1165-1172.

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-CTangiography の有用性. 日呼外会誌 2005; 19 (1): 8-11.

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.

Yamashita H. Variation in the pulmonary segments and the bronchovascular trees. Roentgenologic Anatomy of the Lung Tokyo, New York: Igaku-Shoin; 1978: 46-58.

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.

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.

Oizumi H, Endoh M, Takeda S, et al. Anatomical lung segmentectomy simulated by computed tomographic angiography. Ann Thorac Surg 2010; 90(4): 1382-1383.

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.

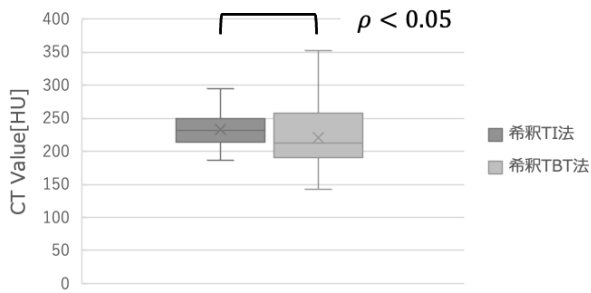
Shimizu K, Nakano T, Kamiyoshihara M, et al. Segmentectomy guided by three-dimensional computed tomographic angiography and bronchography. Interact Cardiovasc Thorac Surg 2012; 15(2): 194-196.

Watanabe S, Arai K, Watanabe T, et al. Use of three-dimensional computed tomographic angiography of pulmonary vessels for lung resections. Ann Thorac Surg 2003; 75(2): 388-392; discussion 392.

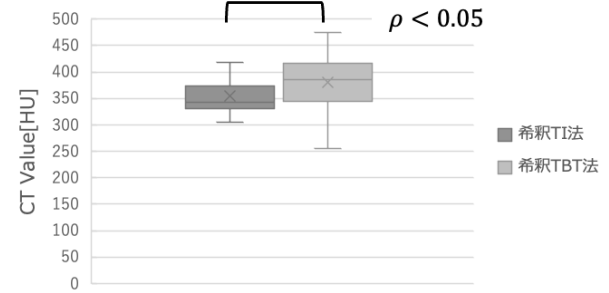
Yamada S, Suga A, Inoue Y, et al. Use of multidetector row angiography for the arrangement of video-assisted modified segmental resection. Eur J Cardiothorac Surg 2009; 36(4): 727-730.

山口隆義, 高橋大地. 新しい造影方法である test bolus tracking 法の開発と, 冠状動脈 CT 造影検査における有用性について. 日放技学誌 2009; 65(8): 1032-1040.

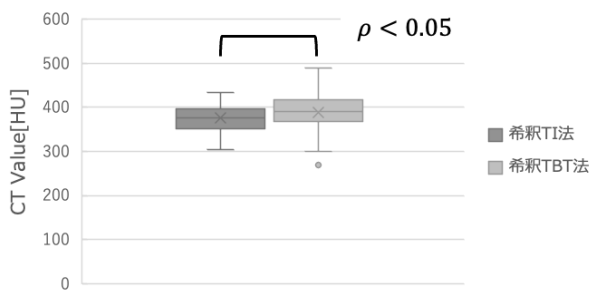
Pulmonary artery



Pulmonary vein



Ascending aorta



Descending aorta

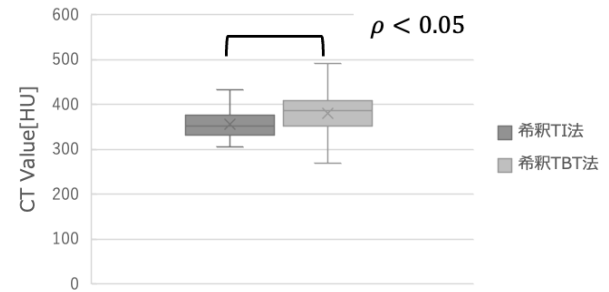


Fig. 3 Comparison of CT value between diluted test injection method and diluted test bolus tracking method

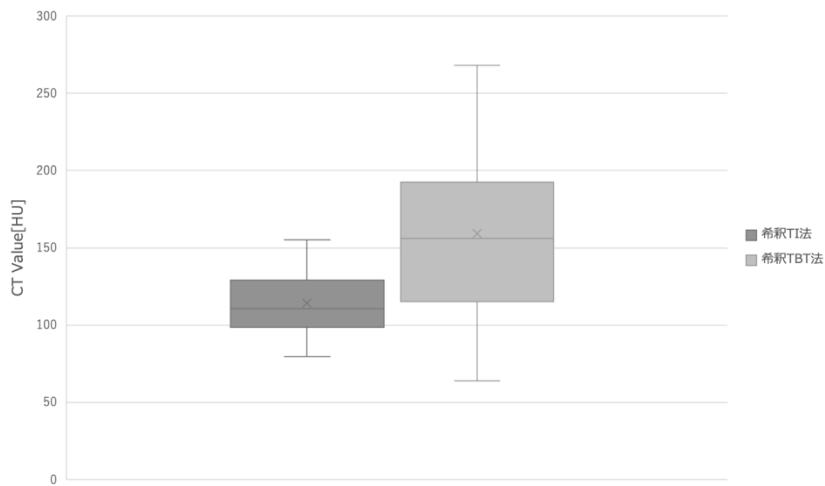


Fig.4 Comparison of CT value of PA-PV between diluted test injection method and diluted test bolus tracking method

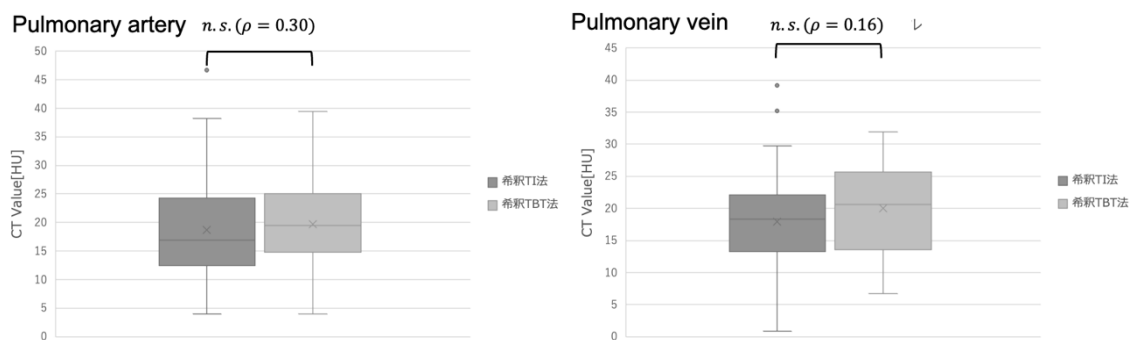


Fig.5 Comparison of uniformity of CT value between diluted test injection method and diluted test bolus tracking method

Table 3 Comparison of CT value and uniformity between diluted test injection method and diluted test bolus tracking method

	希釈TI法	希釈TBT法	ρ value
CT Value(HU)			
PA	233.4±27.8	220.6±51.3	< 0.05
PV	355.2±30.5	379.8±49.8	< 0.05
PV-PA	114.3±21.3	159.2±53.2	< 0.05
A-Ao	375.3±28.2	388.6±43.7	< 0.05
D-Ao	356.3±28.9	380.7±43.2	< 0.05
Uniformity(HU)			
PA	18.7±9.1	19.7±8.0	n.s.
PV	17.9±7.9	20.0±6.7	n.s.