臨床技術

論文受付

2020年3月12日

論文受理

2021年3月25日

Code Nos. 200

250

251

大動脈 3D-CTA における台形クロス注入法の有用性

村松 駿

一般財団法人 大原記念財団 大原総合病院 画像診断センター

緒言

近年, computed tomography (CT) 装置の進歩によって高分解能で短時間撮影が可能となったことから, 大動脈 three dimensional-CT angiography (3D-CTA) においては造影剤注入持続時間の短縮が図られ, 25 秒以下の造影剤注入持続時間が用いられている^{1~3)}. 梁川らが報告した X 線 CT 撮影における標準化では, 大動脈 3D-CTA における造影剤注入持続時間を, 列数が異なる CT 装置の撮影時間を考慮して 30 秒前後と示している⁴⁾. また, 生理食塩水による後押

しは造影剤使用量の低減を図るために必要な注入方法となっている. 胸部 computed tomography angiography (CTA) に関するいくつかの報告では, 中心静脈への造影剤注入後の生理食塩水による後押しが鎖骨下静脈, 上大静脈および右心系の静脈周囲から発生する造影剤からのストリークアーチファクト低減に役立つと報告されている^{2~12)}. ストリークアーチファクトの発生により, 大動脈の形態および解離の有無の診断能に影響を及ぼす可能性があるため, 可能な限り生理食塩水による後押しを行い, 静脈路に高濃度の造影剤を停

Usefulness of Trapezoidal Cross-injection in Aortic 3D-CTA

Shun Muramatsu

Department of Radiology, Ohara General Hospital

Received March 12, 2020; Revision accepted March 25, 2021

Code Nos. 200, 250, 251

Summary

Purpose: This study aimed to compare the contrast effects of administration via the subclavian vein, the superior vena cava and right ventricular venous tract, and the aorta in three-dimensional computed tomography angiography (3D-CTA) using one-step injection and trapezoidal cross-injection. **Method:** The subjects were 56 patients who underwent aortic 3D-CTA. In the one-step injection method, a 30-second injection of contrast medium was followed by saline injected at the same rate as the 30-ml contrast medium. In the trapezoidal cross-injection method, after injecting the contrast agent for 15 seconds, a variable mixture of the contrast agent and saline was injected for 15 seconds, followed by 20 ml saline injected at the same rate as the initial contrast agent injection. CT values were measured in the subclavian vein, superior vena cava, right ventricle, and aorta. **Result:** A significant difference was found in the subclavian vein and right ventricle, with the trapezoidal cross-injection method showing a lower CT value than the one-step injection method ($p < 0.01$). There were no significant differences in the CT values in the superior vena cava and the aorta. **Conclusion:** The trapezoidal cross-injection method for aortic 3D-CTA produced lower CT values in venous pathways than those via the one-step injection method, but no changes were observed in the aortic CT values. These results suggest that the trapezoidal cross-injection method is useful in aortic 3D-CTA.

Key words: computed tomography angiography (CTA), contrast enhancement, the trapezoidal cross-injection, three-dimensional-computed tomography angiography (3D-CTA)

滞させないようにする必要があると考える。Awaiらは、造影剤注入終了後に生理食塩水による後押しをしない場合、約20–30 mlの造影剤が使用されず、上腕静脈と上大静脈の間の死腔に約10–20 ml、インジェクターと前肘静脈に挿入されたカテーテルの間に約10 mlが停滞していることを報告した¹³⁾。胸部CTAにおける研究において使用されている生理食塩水の容量は、15–50 mlの範囲である^{5–10)}が、静脈周囲の造影剤から発生するアーチファクト画像を改善するためには、造影剤注入と同じ速度で注入された30–40 mlの生理食塩水による後押しが有効であると報告されている¹¹⁾。しかし、造影剤注入後に生理食塩水を後押しする方法(以下、一段注入法)でbolus tracking法を使用し、大動脈の最適な撮影タイミングを狙ったとしても患者ごとに心拍出量が異なるなどの問題から、鎖骨下静脈、上大静脈、右心室の静脈路は生理食塩水による造影剤の後押しが十分にできていないタイミングで撮影されている可能性がある。または、造影剤注入中に撮影されている場合がある。室賀らは、自作のtime enhancement curve(TEC)測定ファントム¹⁴⁾を使用して、25秒以下の造影剤注入持続時間において、一段注入法は造影剤から生理食塩水へ注入が切り替わる時点にてTECが変曲して2相性の曲線となり、これに対して、造影剤注入後、造影剤と生理食塩水を混和可変注入(以下、台形クロス注入法)してから生理食塩水を後押しする方法はTECの変曲を低減でき、安定したTECを得ることができると報告した¹⁴⁾。また、台形クロス注入法は一段注入法と比較して造影効果持続時間が短いことを報告している¹⁴⁾。この造影効果持続時間が短くなったことで、生理食塩水による造影剤の後押しが十分にされているタイミングで撮影が可能となり、静脈路のCT値が低下することからアーチファクト低減につながる可能性がある。われわれが調査した限り、台形クロス注入法を大動脈3D-CTAに応用し、一段注入法と比較検討した報告は未だにない。そこで本研究は、大動脈3D-CTAの臨床症例において鎖骨下静脈・上大静脈・右心室のCT値低下によるアーチファクトの低減、および大動脈の造影効果を一段注入法と台形クロス注入法で比較検討したので報告する。

1. 方法

1-1 対象

2018年5月から2019年12月の期間に、大動脈解離や大動脈瘤を疑われ施行された大動脈3D-CTAおよび、それら疾患と診断され、定期的なフォローアップのために施行された大動脈3D-CTAを合わせた56例

(一段注入法:24例, 台形クロス注入法:32例)を後ろ向きに検討した。56例のうち、5例が大動脈解離、20例が大動脈瘤、14例が所見なしと診断された。そのほか、8例が大動脈解離のフォローアップ、9例が大動脈瘤のフォローアップであった。対象基準は、(1)20ゲージの留置針で右正中皮静脈からの造影であること、(2)両手が挙上できること、(3)息止めアナウンスに合わせて呼吸停止が可能であること、(4)撮影範囲が胸部～骨盤部であること、(5)大動脈の第3腰椎レベルに血管の7割程度の大きさの関心領域が設定できる症例とした。2018年5月から2018年12月においては一段注入法を使用し、2019年1月から2019年12月においては台形クロス注入法を使用した。なお、本研究は施設の倫理審査委員会にて審査され承認を得ている。

1-2 CT装置と撮影プロトコル

CT装置はAquilion Precision(キヤノンメディカルシステムズ、栃木)を使用した。撮影プロトコルは、撮影モード:high resolution(HR)モード、管電圧:120 kV、管電流:60–500 mA(自動管電流制御機構を使用しSD14に設定)、ビーム幅:40 mm(0.5 mm×80列)、ピッチファクタ:0.806、ローテーションタイム:0.35 s/rot、焦点サイズ:L3(0.6×1.3 mm)とした。全症例において同一撮影プロトコルを使用した。本研究で使用した撮影プロトコルでのcomputed tomography dose index volume (CTDI_{vol})値は、8.2±2.7 mGy、dose length product (DLP)値は、601.9±251.5 mGy・cmであった。

1-3 画像再構成

画像再構成は、マトリックスサイズ:512×512、スライス厚:5 mm、スライス間隔:5 mm、display field of view (D-FOV)は300–350 mmとした。再構成処理は、adaptive iterative dose reduction 3D enhanced (eAIDR3D)を使用し、強度はMildを適用した。再構成関数はFC14(腹部標準関数)とした。

1-4 造影剤注入プロトコル

造影剤注入は造影剤自動注入器Dual shot GX7(根本杏林堂、東京)を使用した。造影剤は体重が55 kg以下は300 mgI/ml(100 ml シリンジ)、55 kgから60 kgは320 mgI/ml(100 ml シリンジ)、60 kg以上は350 mgI/ml(135 ml シリンジ)を使用した。造影剤混合注入用チューブは、spiral flow tube(根本杏林堂)を使用した。一段注入法と台形クロス注入法の造影剤注

Fig. 1 Contrast enhancement protocol for the aorta in three-dimensional-computed tomography angiography.
(a) One-step injection method
(b) Trapezoidal cross-injection method

入プロトコルを Fig. 1 に示す。一段注入法は、造影剤を 30 秒間注入後、生理食塩水を 30 ml 造影剤と同じ速度で追従させた。台形クロス注入法は、造影剤を 15 秒間注入後、造影剤と生理食塩水の可変注入を 15 秒間行い、その後生理食塩水を 20 ml、初めの造影剤注入時と同じ速度で追従させた。一段注入法および台形クロス注入法のヨード量は、それぞれ 600 mgI/kg, 450 mgI/kg に設定した。人体組織では 5 ml/s 以上で注入した場合、造影剤の多くが心腔内に直接入らず下大静脈に突き抜けるために、大動脈の TEC は注入速度に比例せず最大 CT 値が上昇しないと報告されている¹⁵⁾。この報告を参考に、本研究においては最大の注入速度を 5 ml/s に設定した。撮影タイミングは bolus tracking 法を使用し、大動脈の第 3 腰椎レベルに関心領域をおき CT 値が 250 Hounsfield unit (HU) 以上に達した後、約 4 秒後(息止めアナウンスと寝台移動)に頭尾方向に撮影を行った。

1-5 データ解析

一段注入法と台形クロス注入法の症例について、身長、体重、撮影開始時間、撮影時間、造影剤投与量について比較した。

注入法の違いによる造影効果を比較するために、得られた造影 CT 画像に各血管の 7 割程度の大きさの関心領域を設定して、軸位断面で CT 値を計測した。CT 値の計測位置を Fig. 2 に示す。CT 値の計測位置は、鎖骨下静脈、上大静脈、右心室、左心室、上行大動脈、下行大動脈、腎動脈分岐部の大動脈、下腸間膜動脈分岐部の大動脈、右の浅大腿動脈とし、一段注入法と台形クロス注入法の各血管の CT 値を比較した。

1-6 視覚評価

注入法の違いによる静脈路に停滞する造影剤量とス

トリークアーチファクトの有無を比較するために視覚評価を行った。部位は、鎖骨下静脈、上大静脈、右心室の 3 部位として、CT 検査が 3 年以上経験のある診療放射線技師 3 名の協議により評価した。造影剤とストリークアーチファクトの程度を A：造影剤の残存が認められない、または軽度の造影剤の残存は認められるがストリークアーチファクトがないもの、B：高度の造影剤の残存が認められるがストリークアーチファクトのないもの、C：高度の造影剤の残存が認められ、ストリークアーチファクトが発生しているものの 3 段階に評価した (Fig. 3)。また造影剤の残存について、造影剤の残存が認められない、または軽度の造影剤の残存は認められるもの、高度の造影剤の残存が認められるものに分類し、比較した。評価する際、画像の window level (WL) は 100 HU, window width (WW) は 350 HU に設定して行った。

1-7 統計解析

2 群間の比較は、Mann-Whitney U test を使用した。視覚評価における造影剤の残存の有無の比較には、Fisher's exact probability test を用いた。統計解析ソフトは、JMP 14.0 software (SAS Institute, Cary, NC, USA) を使用し、統計学的有意水準を 5% とした。

2. 結果

2-1 各血管の CT 値と撮影開始時間の比較

一段注入法と台形クロス注入法において、造影剤投与量に有意差が認められ、台形クロス注入法は一段注入法と比較して有意に造影剤投与量が少なかった。その他、身長、体重、撮影開始時間、撮影時間に有意差は認めなかった (Table 1)。

Table 2 に一段注入法と台形クロス注入法における各血管の CT 値の比較結果を示す。鎖骨下静脈、右心

Fig. 2 Anatomical regions to be evaluated.

- (a) SCV: subclavian veins
- (b) SVC: superior vena cava, AA: ascending aorta, DA: descending aorta
- (c) RV: right ventricle, LV: left ventricle
- (d) RAb: renal artery bifurcation
- (e) IMAb: inferior mesenteric artery bifurcation
- (f) rSFA: right superficial femoral artery

Fig. 3 Grading of severity of contrast enhancement and streak artifact.

- (A) Low density contrast and no artifact
- (B) High density contrast and no artifact
- (C) High density contrast and severe artifact

室は有意差が認められ、台形クロス注入法は一段注入法と比較してCT値が低値を示した($p < 0.01$)。他の計測部位のCT値に、有意差は認められなかった。

2-2 視覚評価の比較

一段注入法と台形クロス注入法の鎖骨下静脈、上大静脈、右心室における視覚評価の比較をFig. 4に、造影剤の残存の比較をFig. 5に示す。台形クロス注入

Table 1 Clinical characteristics of the 56 study participants

	One-step injection method (n=24)	Trapezoidal cross-injection method (n=32)	p value
Sex (M/F)	13/11	17/15	0.51
Age (y)	73.4±13.7	69.1±12.7	0.12
Height (cm)	164.5±9.7	161.3±10.4	0.27
Weight (kg)	65.9±14.7	60.9±14.4	0.19
Scan delay (s)	31.7±4.2	31.4±5.2	0.54
Scan time (s)	10.9±1.7	11.0±1.6	0.69
Contrast agent dose (ml)	112.7±16.6	82.8±15.0	<0.01

Table 2 Comparison of the CT number in the one-step injection method and the trapezoidal cross-injection method

	One-step injection method	Trapezoidal cross-injection method	p value
Subclavian veins	1402.7±756.3	924.7±593.9	<0.01
Superior vena cava	745.8±410.7	537.5±324.5	0.06
Right ventricle	355.0±101.1	285.5±75.4	<0.01
Left ventricle	322.7±60.6	316.9±54.8	0.40
Ascending aorta	343.7±60.4	356.1±51.1	0.69
Descending aorta	335.7±58.8	346.8±48.9	0.64
Renal artery bifurcation	332.4±58.0	340.3±55.8	0.92
Inferior mesenteric artery bifurcation	338.6±61.9	339.9±55.2	0.63
Right superficial femoral artery	350.9±49.4	360.5±52.5	0.80

Fig. 4 Subjective image quality assessment of two injection methods.

- (a) Comparison of the subjective image quality in the subclavian veins between the one-step injection method and the trapezoidal cross-injection method
- (b) Comparison of the subjective image quality in the superior vena cava between the one-step injection method and the trapezoidal cross-injection method
- (c) Comparison of the subjective image quality in the right ventricle between the one-step injection method and the trapezoidal cross-injection method

Fig. 5 Comparison of the subjective remaining contrast enhancement between the one-step injection method and the trapezoidal cross-injection method.

SCV: subclavian veins, SVC: superior vena cava, RV: right ventricle

法は、鎖骨下静脈、上大静脈、右心室とも A 評価が 80% 以上であり、一段注入法と比較して有意差が認められ、造影剤の残存が少なかった。

3. 考 察

本研究は、大動脈 3D-CTA において造影剤注入の異なる方法で各血管の造影効果を比較した。Takeyama らは、造影剤注入後に生理食塩水を同速度で 40 ml 追従させることで、25 ml の生理食塩水よりも静脈周囲から発生するアーチファクトを低減できることを報告している¹⁶⁾。生理食塩水の量が、造影剤と生理食塩水の可変注入分、一段注入法よりも多い台形クロス注入法の方がアーチファクトを低減できたことは本研究の結果と合致する。また、造影剤と生理食塩水ではその特性(密度、粘度、および浸透圧)が異なる。血管モデルを模擬したファントムの研究では、造影剤を後押しする生理食塩水は接続チューブ内で上側の造影剤のみを押し出し、下側の造影剤が残存していたと報告されている^{17, 18)}。これは造影剤の密度と粘度および浸透圧が生理食塩水よりも高いためだと考える。本研究においても、この現象は主に上大静脈で確認された。Figure 6 は、台形クロス注入法で撮影された症例で上大静脈に造影剤の残存が認められた 1 例を示す。そのため、視覚評価においては台形クロス注入法が一

段注入法よりも優れていたが、計測による CT 値に有意差はなかったと考える。

本研究では、全症例で造影剤は右腕の正中皮静脈から投与した。複数の著者が、異なる解剖学的領域の造影 CT の研究において、造影剤を静脈内投与するために右腕静脈を優先的に使用することを提案している^{2, 19~21)}。彼らは、左腕の静脈系を通る造影剤の経路が長いこと²⁾、左腕頭静脈の生理学的狭窄により、左腕の注射は右腕の注射よりも画質が低いことを報告している²²⁾。したがって、左腕からの造影剤投与の場合は本研究と異なる結果になる可能性がある。また、本研究では全症例で、両手を CT 装置付属の台に挙上させて造影剤を投与した。造影剤が鎖骨下静脈に停滞する原因の一つに、肋鎖関節腔の存在が挙げられる。鎖骨下静脈は胸部入口に降りるまで解剖学的にも非常に狭い肋鎖関節腔を通過する必要がある。この肋鎖関節腔の大きさには個人差があり、手の挙上などで狭窄するケースもあると報告されている^{23, 24)}。本研究で、台形クロス注入法においても鎖骨下静脈に高濃度の造影剤が停滞している症例があった原因としてはこれらのことが考えられる。

本研究の結果、鎖骨下静脈、右心室において台形クロス注入法が有意差をもって一段注入群よりも CT 値が低下した。これは右心系においてヨード濃度は血液

Fig. 6 Contrast agent remaining in the superior vena cava.

(a) Axial image

(b) Coronal image

Contrast enhancement fills more than one-half of the superior vena cava lumen and moderate artifacts are recognized.

による攪拌をほとんど受けず、直接ヨード濃度の変化を反映している可能性がある。対して、左心室および大動脈においてはクロス注入法と一段注入法に有意差はなかった。これは肺循環により大量の血液によって攪拌希釈される過程で、ヨード濃度の大きな変化もある程度平滑化されたからだと考える。Bae らは、造影剤注入を多相性に第一相の注入速度を指数関数的に減少させていくと、ほぼ均一なプラトーを保つと報告している^{25, 26)}。したがって、台形クロス注入法と一段注入法の左心系および大動脈の造影効果においては変わらないといえる。

大動脈 3D-CTA の目標 CT 値として、Bae らは、血管内 CT 値が 300–350 HU であれば診断するうえで問題ないと報告している^{27, 28)}。また、造影剤注入持続時間 10 秒以上の場合、大動脈における TEC の立ち上がり時間は造影剤注入持続時間とほぼ同じ時間になると報告されている^{17, 29)}。これらの報告を参考にして本研究に用いた台形クロス注入法のプロトコルでは、大動脈の血管内 CT 値を 300 HU 以上を目標とした。造影剤のみの注入持続時間を 15 秒に設定し、250 HU をトリガーとして約 4 秒後(息止めアナウンスと寝台移動)に撮影をした。結果、両注入法に有意差はなかったが、左心室～浅大腿動脈にかけて平均 300 HU 以上の CT 値を担保できていた。本研究において台形クロス注入法の造影剤投与量は、一段注入法と比較して 25% 少なく設定したが、両注入法の左心室～浅大腿動脈の CT 値に差がなかった。このことより、本研究で用いた一段注入法は、台形クロス注入法よりも造影剤投与量が多いにもかかわらず、有効に利用されていない可能性がある。

本研究の一段注入法の造影プロトコルは、造影剤注入時間 30 秒に対し、撮影開始時間が 31.7 秒であったことから生理食塩水の後押しが有効に活用できていない可能性がある。台形クロス注入法による造影剤投与量の減量については、今後より詳細な検討が行われることが望まれる。また、本研究で使用した CT 装置より、高速かつ高分解能で撮影できる装置であれば、台形クロス注入法の可変注入部分を 15 秒より短い時間に設定することで、本研究よりも造影剤投与量の減量が期待できる可能性がある。

本研究の limitations として、施設の関係上、低濃度の造影剤を選択できなかった点が挙げられる。同じヨード量で注入する場合、低濃度造影剤の方が静脈周囲のアーチファクトを低減できると報告されている³⁰⁾。しかし、造影剤量の問題(シリンジ上限: 100 ml)で低濃度造影剤を選択するのには限界があった。より低濃度造影剤を選択することで本研究の結果よりもアーチファクトを低減できる可能性がある。

4. 結 語

大動脈 3D-CTA において、一段注入法より台形クロス注入法を使用した方が静脈路の CT 値は低値を示した。そのため、一段注入法よりも静脈周囲からのアーチファクトを低減させることができると示唆される。また、両注入法において大動脈の CT 値は変わらない。これらのことから、大動脈 3D-CTA において台形クロス注入法は有用である。

謝 辞

本研究にご協力いただいた大原綜合病院画像診断

センターの小林貴氏、および同センターの皆様、根本杏林堂の大久保俊司氏に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Schoellnast H, Tillich M, Deutschmann MJ, et al. Aortoiliac enhancement during computed tomography angiography with reduced contrast material dose and saline solution flush: influence on magnitude and uniformity of the contrast column. *Invest Radiol* 2004; 39(1): 20-26.
- 2) de Monyé C, Cademartiri F, de Weert TT, et al. Sixteen-detector row CT angiography of carotid arteries: comparison of different volumes of contrast material with and without a bolus chaser. *Radiology* 2005; 237(2): 555-562.
- 3) Tamura Y, Utsunomiya D, Sakamoto T, et al. Reduction of contrast material volume in 3D angiography of the brain using MDCT. *AJR Am J Roentgenol* 2010; 195(2): 455-458.
- 4) 日本放射線技術学会 編. 放射線医療技術学叢書(27) X線 CT 撮影における標準化～GALACTIC～(改訂 2 版). 京都: 日本放射線技術学会出版委員会, 2015.
- 5) Tseng YC, Hsu HL, Lee TH, et al. Venous reflux on carotid computed tomography angiography: relationship with left-arm injection. *J Comput Assist Tomogr* 2007; 31(3): 360-364.
- 6) Hopper KD, Mosher TJ, Kasales CJ, et al. Thoracic spiral CT: delivery of contrast material pushed with injectable saline solution in a power injector. *Radiology* 1997; 205(1): 269-271.
- 7) Cademartiri F, Mollet N, van der Lugt A, et al. Non-invasive 16-row multislice CT coronary angiography: usefulness of saline chaser. *Eur Radiol* 2004; 14(2): 178-183.
- 8) Kubo S, Tadamura E, Yamamuro M, et al. Thoracoabdominal-aortoiliac MDCT angiography using reduced dose of contrast material. *AJR Am J Roentgenol* 2006; 187(2): 548-554.
- 9) Fleischmann D. Contrast medium administration in computed tomographic angiography. In: Rubin GD, Rofsky NM, eds. *CT and MR angiography: comprehensive vascular assessment*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2007: 129-153.
- 10) Yoon DY, You SY, Choi CS, et al. Multi-detector row CT of the head and neck: comparison of different volumes of contrast material with and without a saline chaser. *Neuroradiology* 2006; 48(12): 935-942.
- 11) Leiner T, Hellinger JC, Rofsky NM. Upper extremities vasculature. In: Rubin GD, Rofsky NM, eds. *CT and MR angiography comprehensive vascular assessment*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2007: 1017-1110.
- 12) Haage P, Schmitz-Rode T, Hübner D, et al. Reduction of contrast material dose and artifacts by a saline flush using a double power injector in helical CT of the thorax. *AJR Am J Roentgenol* 2000; 174(4): 1049-1053.
- 13) Awai K, Hacho A, Nakayama Y, et al. Simulation of aortic peak enhancement on MDCT using a contrast material flow phantom: feasibility study. *AJR Am J Roentgenol* 2006; 186(2): 379-385.
- 14) 室賀浩二, 八町淳, 大塚亨, 他. 造影剤注入持続時間および生理食塩水後押し方法の違いにおける生理食塩水後押し効果の検討. *日放技学誌* 2012; 68(6): 711-719.
- 15) 市川智章 編. *CT 造影理論*. 東京: 医学書院, 2004.
- 16) Takeyama N, Ohgiya Y, Hayashi T, et al. Comparison of different volumes of saline flush in the assessment of

利益相反

筆頭著者および共著者全員が開示すべき利益相反はない。

- perivenous artefacts in the subclavian vein during cervical CT angiography. *Br J Radiol* 2011; 84(1001): 427-434.
- 17) Yamaguchi T, Yamashita Y, eds. *Discussion of optimal technique in contrast-enhanced MDCT. Efficiency of saline flush effect. The Third Workshop: Technique of 64 detector coronary MDCT*. Tokyo: Medical Tribune, 2008.
 - 18) 山口功, 石田智一, 木戸屋栄次, 他. Time-density curve の形成過程分析から考察する撮影タイミングの決定方法. *日放技学誌* 2005; 61(2): 260-267.
 - 19) Suzuki H, Oshima H, Shiraki N, et al. Comparison of two contrast materials with different iodine concentrations in enhancing the density of the the aorta, portal vein and liver at multi-detector row CT: a randomized study. *Eur Radiol* 2004; 14(11): 2099-2104.
 - 20) Ertl-Wagner BB, Hoffmann RT, Bruning R, et al. Multi-detector row CT angiography of the brain at various kilovoltage settings. *Radiology* 2004; 231(2): 528-535.
 - 21) Ertl-Wagner BB, Bruening R, Blume J, et al. Prospective, multireader evaluation of image quality and vascular delineation of multislice CT angiography of the brain. *Eur Radiol* 2005; 15(5): 1051-1059.
 - 22) Tanaka T, Uemura K, Takahashi M, et al. Compression of the left brachiocephalic vein: cause of high signal intensity of the left sigmoid sinus and internal jugular vein on MR images. *Radiology* 1993; 188(2): 355-361.
 - 23) Demondion X, Herbinet P, Van Sint Jan S, et al. Imaging assessment of thoracic outlet syndrome. *Radiographics* 2006; 26(6): 1735-1750.
 - 24) Hinke DH, Zandt-Stastny DA, Goodman LR, et al. Pinch-off syndrome: a complication of implantable subclavian venous access devices. *Radiology* 1990; 177(2): 353-356.
 - 25) Bae KT, Tran HQ, Heiken JP. Uniform vascular contrast enhancement and reduced contrast medium volume achieved by using exponentially decelerated contrast material injection method. *Radiology* 2004; 231(3): 732-736.
 - 26) Bae KT, Tran HQ, Heiken JP. Multiphasic injection method for uniform prolonged vascular enhancement at CT angiography: pharmacokinetic analysis and experimental porcine model. *Radiology* 2000; 216(3): 872-880.
 - 27) Bae KT, Heiken JP. Scan and contrast administration principles of MDCT. *Eur Radiol* 2005; 15(Suppl 5): E46-E59.
 - 28) Bae KT, Seeck BA, Hildebolt CF, et al. Contrast enhancement in cardiovascular MDCT: effect of body weight, height, body surface area, body mass index, and obesity. *AJR Am J Roentgenol* 2008; 190(3): 777-784.
 - 29) Bae KT. Peak contrast enhancement in CT and MR angiography: when does it occur and why? *Pharmacokinetic study in a porcine model*. *Radiology* 2003; 227(3): 809-816.
 - 30) Masui T, Katayama M, Kobayashi S, et al. Intravenous injection of high and medium concentrations of computed tomography contrast media and related heat sensation, local pain, and adverse reactions. *J Comput Assist Tomogr* 2005; 29(5): 704-708.

問合せ

〒960-8611 福島市上町 6 番 1 号
一般財団法人 大原記念財団 大原総合病院 画像診断センター 村松 駿