臨床技術

Bolus Tracking法を用いたCoronary Angio CTにおける
造影剤濃染濃度を捉えた撮影タイミングの検討論文受付
2006年9月8日論文受理
2007年4月26日

Code No. 251

北井孝明・小川 武・野口 潤・原 宗義
大塚等士・山本文明・川上悟司・山田弘樹

国家公務員共済組合連合会舞鶴共済病院放射線科

緒 言

近年computed tomography(以下CT)の進歩はめざましく、時間分解能、空間分解能の向上により冠動脈の形状や性状の描出が可能となった。またdetectorの多列化により撮影時間の短縮や造影剤使用量の低減にもつながった。

64 rows coronary angio CTでは、冠動脈病変のnegative product valueが98～99%を示すため、冠動脈検査でのCTの有用性は高まり、不要なカテーテル検査が減少傾向にある¹⁻³⁾。冠動脈を精度良く描出するためには、患者の確実な呼吸停止、安定した脈拍、造影剤

濃染濃度を捉えたタイミングの撮影が重要なfactorとなる。また、一概には言えないが、冠動脈CT値は、非石灰化プラークへの浸潤を考慮すればCT値300Hounsfield Unit(以下HU)以下では、3D構築時の末梢血管の形状再現性が悪化するために300HU以上が望ましい⁴⁾。

安定した脈拍と低心拍数への誘導のための前処置としては、心拍数70以上などの条件付を含めると73%の施設で β -blockerの投与を行っている⁵⁾。また呼吸停止後に心拍数変動が起こり、2～3秒程度で安定する場合が多いために、あらかじめ呼吸停止の練習を行い、

Optimal Timing of Contrast Enhancement in Coronary CT Angiography Using the Bolus-tracking Method

Takaaki Kitai, Takeshi Ogawa, Jun Noguti, Muneyoshi Hara, Hitoshi Otuka, Fumiaki Yamamoto, Satoshi Kawakami, and Hiroki Yamada

Department of Radiology, Maizuru Kyosai Hospital

Received Sept. 8, 2006; Revision accepted April 26, 2007; Code No. 251

Summary

Negative product value for coronary artery disease is 98% to 99%. Therefore, the number of unnecessary cardiac catheterization procedures is reduced as the usefulness of CT systems for examination of the coronary arteries improves. In the bolus-tracking method, in which an ROI is placed in the ascending aorta to trigger scanning, scanning may not be performed at the optimal time of contrast enhancement depending on the patient. In addition to identifying the causes of this problem, we have developed a new method in which ROIs are placed in the right ventricle and left atrium to trigger scanning when the concentrations of contrast medium in the right ventricle and left atrium become equal. The two methods were then compared and evaluated. In the scan method, in which an ROI is placed in the ascending aorta, the reason for non-optimal scan timing is considered to be that the time required for contrast medium injected via an antecubital vein to reach the heart varies depending on the individual patient (approximately 3 times the variation of our method) followed by a delay of approximately 5 seconds between the scan trigger time and the actual scan start time. In the scan method in which scanning is triggered when the concentrations of contrast medium in the right ventricle and left atrium become equal, scanning can be performed at the time of peak enhancement regardless of differences in the time required for the injected contrast medium to reach the target region or differences in the injection rate, demonstrating the usefulness of this method.

Key words: coronary angio CT, bolus tracking, contrast medium, two-point ROI

別刷資料請求先：〒625-8585

京都府舞鶴市浜1035

国家公務員共済組合連合会舞鶴共済病院 放射線科 北井孝明 宛

患者ごとの心拍数変動を観察して必要に応じたdelay timeを設定することが望ましい。しかし、われわれは β -blockerとdelay timeは設定していない。その理由は以下のとおりである。 β -blockerの投与を受けた患者は有意にアナフィラキシー様反応のリスクが高いとの報告がある⁶⁻⁸⁾。また β -blockerを用いていないために、呼吸停止後の心拍上昇が認められることと、delay timeによる造影剤投与量の増加を考慮してdelay timeは設定していない。

冠動脈の造影剤濃染濃度を捉えた撮影タイミングにおいては、検査前に造影剤到達時間が分かれば、造影剤濃染濃度を捉えた撮影開始が可能であるが、患者の体重、血行動態、心機能などさまざまな患者因子が複雑に絡みあっており造影剤到達時間の予測は不可能である。造影剤注入レートに関しても、体重当たりの用量を一定とした場合、造影剤濃染濃度の到達時間はレートが高いほど早く、低いほど遅くなる。このあたりもなおさらに患者ごとの造影剤到達時間の予測を不可能にしている原因である。

したがって、多くの施設がbolus tracking法を採用して造影剤濃染濃度を捉えた撮影タイミングを図っており、当施設でも被曝低減と造影剤投与量低減の目的からtest injectionを用いないbolus tracking法を採用している。撮影方法は大動脈起始部(以下A-Ao)にROIを設定して、200HUで呼吸制御3秒にて撮影開始としているが(以下1点ROI感知法)、200HUまで上昇せずに慌てて撮影開始した症例や、撮影開始がもう少し遅いほうが、造影剤濃染濃度を捉えたであろうと判断した症例があった。このあたりが施設によって、ROIの設定部位やスタートCT値設定の意見が分かれる原因であると思われる。

そこで冠動脈の造影剤濃染濃度を捉えた撮影タイミングを図る目的で、ROIを右室(以下RV)と左房(以下LA)の2点設定して、LAのCT値がRVのCT値と同等になった瞬間に撮影を開始する方法を考案し(以下2点ROI感知法)、患者を無作為に選出して、1点ROI感知法と2点ROI感知法の2通りのbolus tracking法を、撮影開始時のRV、LA、A-Ao、下行大動脈(以下D-Ao)におけるCT値の関係から、比較検討を行ったのでここに報告する。

1. 使用機器

CTシステム Aquilion 64(東芝メディカルシステムズ株式会社)

dual injector デュアルショットGX(根本杏林堂株式会社)

Aquarius Net station(TERARECON, Inc.)

Iopamiron 370シリンジ 日本シエリング株式会社

2. 方法

造影剤投与量、造影剤濃度、注入速度はアレルギー反応発生率と関係はないが、Cigarroaの造影剤投与量の上限値が示すとおり、腎機能障害は投与量と体重に依存するために⁹⁾、造影剤投与量低減の目的で、当施設では体重60kg以下は60cc、60kg以上は100ccを造影剤投与量の上限值とした。

造影剤注入方法は、dual injectorを用いて、正中肘静脈からヨード造影剤(370mgI/mLを4mL/s)を注入し、撮影開始から3秒後に生理食塩水(以下、生食)(4mL/s, total 30mL)に切り替えた。心電同期を用いて、管電圧135kV、管電流400mA、スキャン速度0.35sec/回転、ピッチ11.2の撮影条件にて、coronary angio CTを行った。

撮影開始動作から冠動脈起始部の撮影が開始されるまでの時間は、冠動脈が欠損する危険を避けるために2~3cm頭側から撮影を開始しているため、その分の撮影時間とテーブル移動時間、および呼吸制動3秒間の合計約5秒間を要する。本稿ではその時間を撮影準備時間と定義する。

冠動脈の造影剤濃染濃度を捉えた撮影タイミングを評価するにあたり、当施設では頭尾方向に撮影を行っているため、撮影開始部位である冠動脈のCT値が、タイミング評価の基準値となる。しかし、冠動脈のCT値測定はROIが大きく設定できないため、測定値に誤差が生じる可能性がある。そこで、冠動脈のCT値と冠動脈起始部に位置するA-AoにおけるCT値の相関関係を求めた。

2-1 1点ROI感知法の撮影タイミング評価

対象は男性13名、女性15名、平均年齢 67.8 ± 11.5 歳、体重 61.9 ± 16.3 kgの患者を1点ROI感知法で撮影した。撮影方法はROIをA-Aoに設定し、CT値200HUで撮影開始動作を行い、撮影準備時間5秒後に撮影開始とした。

その撮影開始時のaxial断面画像にて、RV、LA、A-Ao、D-AoのCT値を計測し、それぞれの相関関係より撮影タイミング評価を行った。

2-2 2点ROI感知法の撮影タイミング評価

対象は男性19名、女性22名、平均年齢 66.6 ± 12.5 歳、体重 60.6 ± 12.3 kgの患者を2点ROI感知法で撮影した。撮影方法はROIをRVとLAに設定し、RVとLAのCT値が同等になった瞬間に撮影開始動作を行い、撮影準備時間5秒経過後に撮影開始とした。1点ROI感知法と同様に、撮影開始時のaxial断面画像にて、RV、LA、A-Ao、D-AoのCT値を計測し、撮影タイミング評価を行った。

2-3 患者因子とA-AoにおけるCT値の関係

2点ROI感知法を用いて撮影を行った撮像データにて、正中肘静脈からLAまでの造影剤到達時間と、Aquarius Net station(以下、解析ソフト)により求めた心拍出量をそれぞれ、A-AoのCT値との相関関係について検証した。

対象は男性14名、女性13名、平均年齢 65.3 ± 16.4 歳、体重 58.9 ± 13.2 kgの患者である。

2-3-1 正中肘静脈からLAへの造影剤到達時間とA-AoにおけるCT値の関係

心臓4腔が観察できるaxial断面にROIを設定し、time density curveによりCT値が100HUを示した時点造影剤到達時間とした。そして正中肘静脈RV、RV LA、LA A-Aoへの到達時間をそれぞれ計測した。

A-AoのCT値と正中肘静脈からLAまでの造影剤到達時間との相関関係を検証した。axial断面画像をFig. 1に示す。

2-3-2 心拍出量と体重およびA-AoにおけるCT値の関係

撮影データから解析ソフトを用いて、心拍出量を求め、体重およびA-AoのCT値との関係を求めた。

3. 結果

coronary angio CTにおけるaxial断面画像の#1、#5およびA-AoのCT値に有意差はなかった($t=-0.12$, $p>0.05$)(Fig. 2)。

RAは上大静脈(以下SVC)と下大静脈(以下IVC)の合流直後であり、造影剤が不均一であるために計測は行わなかった。

3-1 1点ROI感知法の撮影タイミング評価

対象症例は $HR=73.5 \pm 17.0$ bpm, $EF=69.5 \pm 7.3\%$

1点ROI感知法で撮影した症例ごとのRV, LA, A-Ao, D-AoのCT値を示す(Fig. 3)。

$RV=344 \pm 125$ HU, $LA=349 \pm 80$, $A-Ao=354 \pm 72$ HU, $D-Ao=378 \pm 82$ HU。

3-2 2点ROI感知法の撮影タイミング評価

対象症例は $HR=73.5 \pm 17.0$, $EF=69.5 \pm 7.3\%$

2点ROI感知法で撮影開始した症例ごとのRV, LA, A-Ao, D-AoのCT値を示す(Fig. 4)。

$RV=331 \pm 129$ HU, $LA=388 \pm 75$, $A-Ao=393 \pm 63$ HU, $D-Ao=385 \pm 61$ HU。冠動脈起始部であるA-AoのCT値は、1点ROI感知法と比較して有意にCT値が上昇した($t=-0.12$, $p>0.05$)(Fig. 5)。

3-3 患者因子とA-AoにおけるCT値の関係

対象症例は $HR=74.8 \pm 17.5$ bpm, $EF=69.8 \pm 7.1\%$

Fig. 1 Axial images of the ascending and descending aorta, and a cardiac axial slice showing a four-chamber view.

Fig. 2 Significant difference in contrast medium concentrations between #1, #5, and ascending aorta.

3-3-1 正中肘静脈からLAへの造影剤到達時間とA-AoにおけるCT値の関係

正中肘静脈からRVまでの造影剤到達時間は、 5.8 ± 2.8 秒、正中肘静脈からLAまでは 11.4 ± 4.7 秒であった(Fig. 6)。正中肘静脈からLAまでの造影剤到達時間の約半分の部位がRVとなった。

正中肘静脈からLAまでの造影剤到達時間が長くなるほど、A-AoのCT値は低下する傾向にあった($p=0.004$)。しかし、正中肘静脈からLAまでの到達時間が9秒と27秒の症例においては、3倍の時間差があるにもかかわらず、A-AoのCT値が同等の症例があった(Fig. 7)。

Average 397 ± 51 HU

$y=-3.9544x+450.44$

$R^2=0.117$

Fig. 3 Contrast medium concentrations in the right ventricle, left atrium, ascending aorta, and descending aorta when one ROI is placed to trigger scanning.

Fig. 4 Contrast medium concentrations in the right ventricle, left atrium, ascending aorta, and descending aorta when two ROIs are placed to trigger scanning.

Fig. 5 Difference in CT values of ascending aorta in one-point ROI to two-point ROI.

Fig. 6 Time required for contrast medium injected via an antecubital vein to reach the right ventricle and left atrium.

Fig. 7 Relationship between the time required for injected contrast medium to reach the target region and peak enhancement.

Fig. 8 Relationship between cardiac output and body weight.

3-3-2 心拍出量と体重およびA-AoにおけるCT値の関係

体重の増加とともに心拍出量も増大した($p=0.002$) (Fig. 8).

$$y=0.0327x+554.7$$

$$R^2=0.43$$

心拍出量の増大とともにA-AoのCT値は低下した($p=0.000$)(Fig. 9).

$$y=554.7-0.03267x$$

$$R^2=0.43$$

4. 考 察

今回の研究にあたり、撮影開始部位である、冠動脈#1、#5のCT値測定は重要である。しかし#1、#5のCT値は、ROIの大きさによる誤差やcalcification、atheromeを含む危険がある。そこで#1、#5のCT値と有意差がないA-AoのCT値を、冠動脈#1、#5のCT値とした。

4-1 1点ROI感知法の撮影タイミング評価

撮影開始時のRV、LA、A-Ao、D-AoのCT値のグラフが示すとおり、各部位のCT値における相関関係は

Fig. 9 Relationship between cardiac output and contrast medium concentration in the coronary arteries.

Fig. 10 Changes in contrast medium concentrations in the right ventricle and left atrium.

症例によってさまざまである。A-AoのCT値より、D-AoのCT値が高い症例では、撮影開始が遅いために冠動脈の造影剤濃染濃度を逃してしまったと考えられる。反対にRVのCT値が相対的に高い症例においては、撮影開始がもう少し遅かったほうが、冠動脈の造影剤濃染濃度が高くなったであろうと推測できる。またROIの撮影開始CT値を上げた場合は、症例によって造影剤濃染濃度が到達せずに撮影開始できない可能性もある。また低く設定すると、造影剤濃染濃度が到達する前に撮影開始となる可能性がある。

患者因子とA-AoにおけるCT値の関係が示すとおり、A-Aoの造影剤濃染濃度は症例によってさまざまである。また造影剤到達時間の結果が示すとおり、造影剤濃染濃度に到達する時間もさまざまであるにもかかわらず、ある一定のCT値および、一定の撮影準備時間を経て撮影を開始していることが、1点ROI感知

法で造影剤濃染濃度になった瞬間に撮影開始することが難しい原因であり欠点である。

4-2 2点ROI感知法の撮影タイミング評価

2点ROI感知法を考案した根拠を述べる。

ボランティアにヨード造影剤370mgI/mLを4mL/sで60mLと、生食4mL/sで30mL注入したRVとLAのtime density curveを示す(Fig. 10)。RVのCT値は造影剤濃染濃度に到達し平衡相を示した後、冠動脈へ流入した造影剤が肺循環を経て、RVに再還流することにより、CT値は若干上昇する。RVからLAへの造影剤到達時間経過後に、LAのCT値の経時的变化もRVとほぼ同様の経緯をたどる。この結果から、患者因子や造影剤注入方法により冠動脈の造影剤濃染濃度は異なっても、LAの造影剤濃染濃度はRVの平衡相のCT値により予測が可能であり、LAがRVの平衡相のCT値と

Fig. 11 Two-point ROI schematic.

同等のCT値を示した瞬間に撮影開始することが、造影剤濃染濃度を捉えた撮影タイミングであると考えた。

次に2点ROI感知法の撮影手順を述べる(Fig. 11)。

RVにROIを設定し平衡相のCT値より、A-Aoの造影剤濃染濃度を推定する。次にA-AoのCT値がRVのCT値と同等になった瞬間(t_1 A-Ao)が、冠動脈の造影剤濃染濃度を捉えた撮影タイミングであるが、A-AoにROIを設定した場合、撮影準備時間の5秒間の経過が、無駄な造影剤投与を招く。そこでA-Aoより約2秒造影剤が早く到達するLAにROIを設定することが(t_1 LA)，造影剤投与量の低減につながると考えた。

さらに造影剤投与量の低減を図るためには、(t_2 A-Ao) - (t_1 A-Ao) = exposure timesが理想である。つまり撮影終了と同時に造影剤濃染濃度が低下する造影剤注入量が望ましい。造影効果に寄与しない造影剤の注入は極力避けることが大切である。正中肘静脈からA-Aoまでの造影剤到達時間が平均14秒であり、平均撮影時間が8秒であることを考慮すると、撮影開始と同時に造影剤を生食に切り替えても、冠動脈の造影剤濃染濃度が低下する可能性は低い。しかし、患者因子の造影剤到達時間の結果によると、正中肘静脈からA-Aoまで約6秒で到達した症例もある。そのような症例で撮影開始と同時に造影剤を生食に切り替えた場合、撮影中に造影剤濃染濃度が低下する可能性がある。検査前に造影剤の到達時間は推定できないため、造影剤を生食に切り替えるタイミングを撮影開始と同

時ではなく、3秒程度の余裕を持たせたほうが安全である。このあたりは今後の研究課題としたい。

2点ROI感知法の撮影タイミング評価は、撮影開始時の心臓の各部位におけるCT値の相関関係が示すところ、撮影タイミングのばらつきが少ない。また、A-AoとRA、D-AoのCT値の関係から、造影剤濃染濃度を捉えた撮影であることが推測できる。この結果、1点ROI感知法よりもA-AoのCT値が約12%高くなった理由であると考ええる。

また今回の研究の目的は、造影剤濃染濃度を捉えることにより低濃度撮影による失敗を避けることにある。A-Aoにおいて、3D構築時の末梢血管の形状再現性が悪化する300HU以下のCT値の症例数が、26%から8%と低下したことから、2点ROI感知法は、造影剤注入方法や造影剤到達時間および患者因子に左右されずに、症例ごとの造影剤濃染濃度を捉えた撮影方法であると考ええる。

4-3 患者因子とA-AoにおけるCT値の関係

造影剤到達時間と造影剤濃染濃度の関係から、到達時間が遅いほど造影剤濃染濃度は低くなった。その理由は造影剤を含むSVCがIVCにより希釈される時間が長くなった結果、造影剤の希釈率が高くなったと考えられる。しかし到達時間が3倍違うにもかかわらず造影剤濃染濃度が同等であった症例もあった。これはcoronary angio CTの撮影タイミングが体循環ではなく、肺循環の一巡目の動脈相であることに起因すると

考えられた。つまりこのケースでは、造影剤注入側の正中肘静脈の流速のみが遅く、正中肘静脈に造影剤のたまりが生じて、結果的に造影剤到達時間が長くなったと推測する。

体重の増加に伴う心拍出量の増加と、A-AoのCT値低下には相関関係があった。つまりこの場合も血流量の増大が、造影剤の希釈率に反映したと考える。このことは、体重別に造影剤注入レートを変えると、期待した冠動脈の造影剤濃染濃度が得られる可能性を示唆していると考ええる。このあたりも今後の研究課題としたい。

5. 結 語

coronary angio CTでは造影剤注入方法や患者因子により、造影剤到達時間や冠動脈の造影剤濃染濃度が異なる。そのために、従来法であるROI設定部位やスタートCT値を固定する1点ROI感知法は、冠動脈濃染濃度を捉えきれていないケースがあることが判明した。しかし2点ROI感知法は、造影剤到達時間や冠動脈の造影剤濃染濃度に関係なく、患者ごとの冠動脈の造影剤濃染濃度を捉える撮影方法であった。

参考文献

- 1) Ropers D, Rixe J, Anders K, et al.: Usefulness of multidetector row spiral computed tomography with 64-x0.6-mm collimation and 330-ms rotation for the noninvasive detection of significant coronary artery stenoses. *Am J Cardiol*, 97(3) 343-348(2006)
- 2) Leschka S, Alkadhi H, Plass A, et al.: Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience. *Eur Heart J*, 26(15) 1482-1487(2005)
- 3) Mollet NR, Cademartiri F, van Mieghem CA, et al.: High-resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic conventional coronary angiography. *Circulation*, 112(15) 2318-2323(2005)
- 4) 坂本 崇: 64列MSCTを用いた脳血管領域における造影剤減量の基礎的検討。日放技学誌付録, 62(3), 10-17, (2006)。
- 5) 中島康雄: 64列・40列マルチスライスCT造影プロトコル。Rad Fan, Vol.1, (2006)。
- 6) Lang DM, Alpern MB, Visintainer PF, et al.: Increased risk for anaphylactoid reaction from contrast media in patients on beta-adrenergic blockers or with asthma. *Ann Internal Med*, 115(4) 270-276(1991)
- 7) Wittbrodt ET, and Spinler SA: Prevention of anaphylactoid reactions in high-risk patients receiving radiographic contrast media. *Ann Pharmacother*, 28(2) 236-241(1994)
- 8) Toogood JH: Risk of anaphylaxis in patients receiving beta-blocker drugs. *J Allergy Clin Immunol*, 81(1) 1-5(1988)
- 9) Contrast Media in Practice(ver.11) 21-54(2007)

図表の説明

- Fig. 1 axial画像におけるA-Ao, D-Aoおよび心臓4腔断面像
 Fig. 2 #1, #5, A-AoにおけるCT値比較
 Fig. 3 1点ROI感知法で撮影開始したときのRV, LA, A-Ao, D-AoのCT値
 Fig. 4 2点ROI感知法で撮影開始したときのRV, LA, A-Ao, D-AoのCT値
 Fig. 5 1点ROI感知法と2点ROI感知法におけるA-AoのCT値比較
 Fig. 6 正中肘静脈からRVおよびLAまでの造影剤到達時間
 Fig. 7 造影剤到達時間とA-AoにおけるCT値の関係
 Fig. 8 心拍出量と体重の関係
 Fig. 9 心拍出量とA-AoにおけるCT値の関係
 Fig. 10 RVとLAにおけるCT値の推移
 Fig. 11 2点ROI感知法説明図