

CT

心臓 CT に変革をもたらす最新技術

Discovery CT750 HD FREEdom Edition の初期使用経験

東京女子医科大学東医療センター 放射線科

町田治彦 田中 功 福井利佳 西野拓也 上野恵子

心臓 CT の問題点

2009 年に日本循環器学会より発表された『冠動脈病変の非侵襲的診断法に関するガイドライン』では、条件付きではあるが、安定狭心症の診断樹において、冠動脈 CT は負荷心筋血流 SPECT と肩を並べるレベルに至っている。ただし、高度石灰化、motion artifact、境界の狭窄、末梢の細い枝の狭窄、径 3mm 未満のステントなどでは、冠動脈 CT は判定困難となる場合がある。急性冠症候群の非侵襲的なリスク評価法として、冠動脈 CT によるプラークの性状評価にも大きな期待が寄せられているが、現状の空間分解能での CT 値による評価では限界があると言わざるをえない。心臓 CT では冠動脈の評価のみならず、心筋灌流やバイアピリティの評価も行えるが、前者は beam-hardening artifact、後者は低いコントラスト分解能などが問題となる。このうち、末梢の細い枝の狭窄や径 3mm 未満のステントに対する診断可能性と正診率の向上、石灰化の blooming の低減、CT 値によるプラーク性状評価における精度向上などの対策として、HD モードによる空間分解能の向上が一定の効果を挙げつつある。一方、この度の FREEdom Edition の導入により、上記の大部分の問題点が解決されようとしている。

Snapshot Freeze

冠動脈 CT における至適心位相は、撮影時の心拍数や使用 CT 機種種の時間分解能により異なる。通常、心拍数が 60 ないし 65bpm 未満であれば、至適心位相は拡張中期に限定される。心電図同期電流変調法やプロスペクティブ心電図同期撮影により、その他の心位相における被曝を低減もしくは省略でき、50% もしくは 90% 程度までの合理的な被曝低減が可能となる。一方、心拍数が高くなると、収縮期に比し拡張期が短縮するため、収縮期が相対的に延長し、至適心位相は収縮末期に移行していく。また、至適心位相は三枝で異なり、単一の心位相にならなくなると共に、冠動脈の最低移動速度が上昇し、motion artifact の影響が大きくなってしまふ。Auchenbach らによる二管球 CT を用いた検討によると、motion artifact の影響を受けず、冠動脈内腔の評価が十分可能な画像データを 95% の症例で取得するためには、心拍数が 61bpm 以上の場合、R-R 間隔の 25-75% のデータが必要となる¹⁾。これは拡張期または収縮期のみでは不十分であり、両方のデータが必須であることを意味し、被曝の増加が避けられない。

Snapshot Freeze (SSF) は、冠動脈の軌跡・速度を検出して、その動きを補正する画像再構成・処理技術である。原理的には、最初に、80msec 前後の冠動脈 CT の 4 次元データを用いて、冠動脈の自動認識を行う。次いで、認識された冠動脈の位置情報の変化を基にベクトル演算を行い、X-Y-Z 方向へボクセルデータがどのくらいの速度で移動しているかを解析し、目的とする心位相における冠動脈の動き（軌跡及び速度）の特徴付けを行う。最後に、その心位相における冠動脈の正確な位置を決定し、動きの補正を行う。こうして冠動脈 CT における motion artifact の低減が可能となり、判定困難例の減少や診断能の向上が期待できる (図 1)。

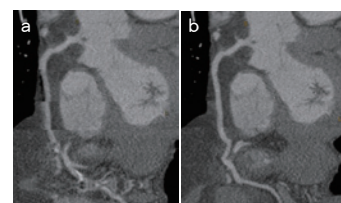


図 1：右冠動脈の著明な motion artifact の改善症例 (撮影時心拍数：74-77bpm) レトロスペクティブ心電図同期ヘリカル撮影。R-R 間隔の 40% (収縮期) で再構成。(a) Snapshot Freeze 非使用 / (b) Snapshot Freeze 使用。右冠動脈は著明な motion artifact (a) のため判定困難であるが、Snapshot Freeze を使用 (b) することにより画質が改善している。

我々は同一の生データを SSF 併用下でも画像再構成しえた連続 19 例に対して、冠動脈三枝 (LAD、LCX、RCA) について motion artifact に関する画質評価を 5 点法 (5 点：極めて良好；1 点：診断不可能；5-2 点：診断可能) にて行い、SSF 併用の有無と比較し、SSF の有用性をレトロスペクティブに検討した。来院時心拍数が 60bpm 以上の場合、セロケン (1mg/kg 体重) の経口投与により心拍数コントロールを行い、検査時平均心拍数は 63.5 ± 9.4bpm (49-77bpm) であった。結果を表 1 に示す。三枝とも SSF 併用下で画質スコアは有意に改善した (P < 0.05) が、特に RCA で顕著であった (表 1)。画質悪化例は皆無であり、高心拍ほどより改善される傾向を示した。また、RCA、LCX、LAD の順で画質は改善した (表 1)。画質スコアが 2 点以上の診断可能率は RCA と LAD にて改善を認め、SSF 併用下では三枝とも 100% となった (表 1)。Leipsic らは、β 遮断薬による心拍数コントロールを行わない場合 (検査時平均心拍数：71.8 ± 12.7bpm) も、冠動脈 CT の画質、診断可能率、診断

	画質スコア			SSF による画質改善率	診断可能率	
	SSF (-)	SSF (+)	P value		SSF (-)	SSF (+)
LAD	3.7 ± 0.9	4.3 ± 0.7	0.0057	47% (9/19)	95% (18/19)	100% (19/19)
LCX	3.8 ± 0.7	4.5 ± 0.6	0.0011	63% (12/19)	100% (19/19)	100% (19/19)
RCA	3.1 ± 1.2	4.3 ± 0.7	0.0005	79% (15/19)	84% (16/19)	100% (19/19)
Total	3.5 ± 1.0	4.4 ± 0.7	< 0.0001	63% (36/57)	95% (54/57)	100% (57/57)

表 1：当施設における冠動脈 CT の motion artifact に関する画質評価 (n=19 例)

精度の改善に SSF は有用と報告している²⁾。今後、冠動脈 CT 検査における β 遮断薬投与の適応について再検討していく予定である。

低心拍症例でも、症例毎に、冠動脈は三次元もしくは四次元的に複雑な動きをし、移動速度も異なるため、motion artifact が発生するリスクがある点は注意を要するが、SSF はそのような不安も解消しうる。一方、心拍数が 61bpm 以上でも拡張期または収縮期だけのデータで十分となり、高心拍症例におけるプロスペクティブ心電図同期アキシャル撮影の適応が増加しうるため、SSF は被曝低減にも寄与する。それだけでなく、至適心位相の検索が不要となり、ワークフローの向上にもつながる。

GSI Cardiac

高度石灰化、径 3mm 未満のステント、境界の狭窄などによる冠動脈 CT の判定困難例に対する対策の 1 つとして、心筋灌流 CT による虚血評価が挙げられる。この際、左室と下行大動脈内の造影剤により、左室基部後壁心筋内に beam-hardening artifact による低吸収域を生じ、ときに心筋虚血との区別に難渋するが、GSI Cardiac の beam-hardening 補正により、このような問題も解決される^{3,4)}。そのうえ、MDI によるヨード密度画像を使用すれば、心筋内に到達したヨード量を正確に計測でき、心筋灌流の正確な定量評価も可能である (図 2)。

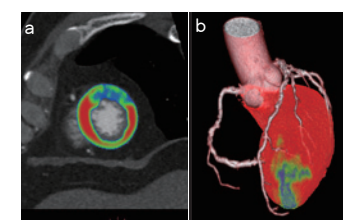


図 2：GSI Cardiac を用いた心筋灌流評価 (a) ヨード密度画像のカラー表示 / (b) Volume rendering による冠動脈 CT と心筋灌流 CT の融合画像。ヨード密度画像 (a) により心尖部寄りの左室前壁に心筋灌流低下を明瞭に認める。冠動脈 CT との融合画像 (b) を作成することによりその責任血管の評価も容易となっている。

また、心筋灌流 CT と冠動脈 CT の三次元融合画像も作成でき、心筋虚血の責任血管の同定にも役立つ。

また、Deseive らは、造影剤静注 10 分後画像により、陈旧性心筋梗塞を遅延造影効果として高精度で検出できることを報告している⁵⁾。同様に、GSI Cardiac によるヨード密度画像を用いることで、梗塞巣を反映する遅延造影部位のコントラストが通常の MDCT と比較して上昇し、正確な心筋バイアピリティ評価が期待できる。

高度石灰化症例において、高エネルギーの MI (例えば、120kVp の実効エネルギーに相当する 65-70keV より高いエネルギー) を利用することにより、beam-hardening 効果が低減し、石灰化の blooming が軽減されれば、冠動脈内腔の描出能が改善し、冠動脈 CT の判定困難例の減少につながる⁶⁾。この際、冠動脈内腔の CT 値も低下することを考慮して、適切なエネルギーに設定する必要がある。一方、我々は、高度石灰化症例に対して MDI の有用性に大きな期待を寄せている。冠動脈内腔のヨードと石灰化プラークの主成分と考えられているハイドロキシアパタイトを併列し、後者を除去することにより、冠動脈内腔の正確な評価が可能となる⁶⁾。

低エネルギーの MI (例えば、40-50keV) を利用すれば、冠動脈内腔のヨードの CT 値が上昇することにより、末梢の細い枝や側副血行路の描出が改善しうる。また、腎機能低下症例などでは、冠動脈の描出能を維持しつつ、造影剤量も低減しうる。この際、X 線エネルギー低減に伴う画像ノイズの上昇が懸念されるが、adaptive statistical iterative reconstruction (ASiR) を併用できる

め画質が維持される。一方、ヨード密度画像も冠動脈内腔のコントラストが上昇するため、同様の用途に応用可能と思われる。

冠動脈プラークを詳細に解析することにより、急性冠症候群の高リスクとなる vulnerable plaque の検出を高精度で行えるようになる可能性がある⁷⁾。例えば、脂肪密度画像により、lipid-rich plaque の検出能が向上しうる。また、X 線エネルギーを 40-140keV で変化させた場合の関心領域内の CT 値の変化を曲線 (Spectral HU curve) として表示し、その形状パターンからもプラークの組織性状を類推できる (図 3)。石灰化や線維性プラークは低エネルギーほど CT 値が上昇し左上向きの曲線となるが、前者の方が急峻になりやすい。一方、lipid-rich plaque は低エネルギーほど CT 値が低下し左下向きの曲線となるので、鑑別が可能となる。更に、実効原子番号を利用したヒストグラムにより、より正確な評価も可能である (図 3)。

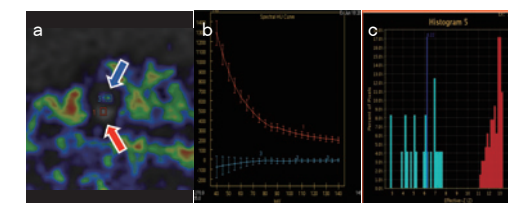


図 3：GSI Cardiac による冠動脈プラークの性状評価 (a) 脂肪密度画像による冠動脈 CT 短軸像 / (b) Spectral HU curve / (c) 実効原子番号によるヒストグラム。脂肪密度画像 (a) において冠動脈周囲にみられる心臓周囲脂肪とともに冠動脈の lipid-rich plaque (青矢印) がカラー表示されており、これを青丸、冠動脈内腔のヨード (赤矢印) を赤丸で関心領域を設定している。Spectral HU curve (b) はヨード (赤線) の場合、低エネルギーほど CT 値が上昇する左上向きの曲線を示すのに対し、lipid-rich plaque (青線) は左下向きの曲線を呈するので診断が容易である。横軸を実効原子番号としたヒストグラム (c) では、lipid-rich plaque (水色のグラフ) は脂肪の実効原子番号 (青線) を中心に分布しており、ヨード (赤色のグラフ) の分布とは明らかに異なっている。

まとめ

Discovery CT750 HD による心臓 CT では、高分解能撮影に加え、この度の FREEdom Edition の導入により Snapshot Freeze、GSI Cardiac が可能となり、現時点における心臓 CT の問題点の大部分を克服しうようになった。また、冠動脈の形態評価のみならず、心筋灌流やバイアピリティなどの機能評価もより現実的になり、両者の融合画像も容易に取得できるようになる。従来 CT 値ではどうしても限界があった冠動脈のプラーク性状評価においては、有用と思われる各種評価法が新たに導入されることになる。こうして、心臓 CT に変革をもたらす、理想的な one-stop shop 検査を可能とするラインナップが出揃ったことになる。

GEtoday

参考文献

- 1) Auchenbach S, et al. Influence of heart rate and phase of the cardiac cycle on the accurate of motion artifact in dual-source CT angiography of the coronary arteries. J Cardiovasc Comput Tomogr 2012; 6:91-8.
- 2) Leipsic J, et al. Effect of a novel vendor-specific motion-correction algorithm on image quality and diagnostic accuracy in persons undergoing coronary CT angiography without rate-control medications. J Cardiovasc Comput Tomogr 2012; 6:164-71.
- 3) Rodriguez-Granillo GA, et al. Signal density of left ventricular myocardial segments and impact of beam hardening artifact: implications for myocardial perfusion assessment by multidetector CT coronary angiography. Int J Cardiovasc Imaging 2010; 26:345-54.
- 4) Kitagawa K, et al. Characterization and correction of beam-hardening artifacts during dynamic volume CT assessment of myocardial perfusion. Radiology 2010; 256:111-8.
- 5) Deseive S, et al. Dual-energy computed tomography for the detection of late enhancement in reperfused chronic infarction. Invest Radiol 2011; 46:450-6.
- 6) Hoffmann U, et al. Vascular calcification in ex vivo carotid specimens: precision and accuracy of measurements with multi-detector row CT. Radiology 2003; 229:375-81.
- 7) Tanami Y, et al. Computed tomographic attenuation value of coronary atherosclerotic plaques with different tube voltage: an ex vivo study. J Comput Assist Tomogr 2010; 34:58-63.

販売名称：マルチスライス CT スキャナ LightSpeed

医療機器承認番号：21100BZY00104000

Discovery CT750 HD FREEdom Edition は、類型 Discovery CT750 HD に Gemstone Spectral Imagingなどを搭載した Snapshot Freeze 対応モデルです。