

冠状動脈 CT アンギオグラフィ — 確実かつ安全な検査のために —

中原 健裕¹⁾³⁾ 根岸 幾²⁾ 高田 敦子²⁾ 鈴木 健一²⁾ 芝原 史門²⁾
小笠原 哲²⁾ 静 毅人¹⁾ 佐々木 豊志¹⁾ 金澤 紀雄¹⁾ 倉林 正彦³⁾

IRYO Vol. 63 No. 5 (304-311) 2009

要旨 近年 CT で冠状動脈を撮影することが広く行われるようになってきた。撮影は①検査申し込み、②検査前準備、③静脈確保・心電図装着、④呼吸練習、⑤β遮断薬投与、⑥ニトログリセリン投与、⑦撮影（1. スカウト撮影、2. 単純撮影、3. テスト撮影、4. 本撮影）、⑧画像再構成・解析という手順で行っている。

その評価はイ. Volume rendering 像、ロ. Maximum intensity projection (含む Angio-graphic view)、ハ. Curved planar reconstruction、ニ. Cross-section 像が挙げられ、効率よい診断のため Angio graphic view を作成し、そこで問題がありそうなところを Curved planar reconstruction および Cross-section で解析している。Volume Rendering 像は、患者説明に役立つが、診断には適さない。

CT の弱点として①被曝量が多いこと、②不整脈に弱いこと、③人工物に弱いこと、④石灰化に弱いこと、⑤息止め不良では評価できないことが挙げられる。技術の進歩でこれら弱点は解消されていくと考えられるが、現状ではそれらの弱点を念頭に入れ検査を予定することがよいと思われる。

キーワード 心臓 CT, 冠状動脈, 手順, 放射線技師, 看護師

はじめに

近年 CT 装置 MDCT (multi detector-row computed tomography) の多列化が64列まで進み、その普及にともない心臓の撮影が臨床レベルで急速に広まりつつある。

心臓の CT (Cardiac CT) を行うことでさまざま

な情報を得られる。

- イ. 冠状動脈の評価
 - ロ. 左室収縮能の評価
 - ハ. 弁の評価
 - ニ. 肺静脈の評価
 - ホ. 冠静脈の評価¹⁾
- など、多岐にわたる。

1) 国立病院機構高崎病院 循環器科 2) 同 診療放射線科 3) 群馬大学大学院医学系研究科 臓器病態内科学
別刷請求先：中原健裕 国立病院機構高崎病院 循環器科 〒370-0829 高崎市高松町36
(平成20年9月5日受付，平成21年1月16日受理)

Coronary CT Angiography: For Sure and Safe Test

Takehiro Nakahara, Negishi Chikashi²⁾, Atsuko Takata²⁾, Kenichi Suzuki²⁾, Shimon Shibahara²⁾, Satoru Ogasawara²⁾, Takahito Shizuka¹⁾, Toyoshi Sasaki¹⁾, Noriko Kanesawa¹⁾ and Masahiko Kurabayashi³⁾, 1) Division of Cardiology, NHO Takasaki National Hospital, 2) Division of Radiology, NHO Takasaki National Hospital, 3) Department of Medicine and Biological Science, Gunma University Graduate School of Medicine

Key Words: cardiac CT, coronary artery, procedure, radiological technologist, nurse

今回は数ある心臓検査のモダリティの中でCTが最も優れ、必要とされる頻度が最も多いと考えられる、イ。冠状動脈の評価に焦点をあて、撮影手順、評価法、弱点、実際の症例の順で説明する。

撮影手順

まず、高崎病院における東芝 Aquillion64を用いた撮影の流れを説明する。

手順としては、

- ①検査申し込み
- ②検査前準備
- ③静脈確保・心電図装着
- ④呼吸練習
- ⑤ β 遮断薬投与
- ⑥ニトログリセリン投与
- ⑦撮影（1.スカウトの撮影，2.単純撮影，3.テスト撮影，4.本撮影）
- ⑧画像再構成・解析
としている。

それぞれの手順のポイントを述べていく。

①検査申し込み

外来主治医が検査を依頼する際に、心臓撮影用の依頼用紙を作成している。

②検査前準備

造影剤は温めた高濃度造影剤と生理食塩水を十分なエア抜きをした後にデュアルショットインジェクターにセットする。造影剤を37℃前後に温めると、投与時の抵抗が少なくなり、造影剤漏出のリスクが減るうえ、造影剤をセットする際もスムーズにエア抜きができ、細かい気泡が目立たなくなる。

③静脈確保・心電図装着

後述する β 遮断薬やニトログリセリンの使用の可否や、撮影後のバイタル測定の基準として、バイタルを測定する。血圧が低い場合などは、それら薬剤の投与を差し控えることもある。また、ルートは3-5 ml/sec 前後という高速で注入するために20Gのサーフロ針を基本としている。

④呼吸練習

呼吸練習は重要なステップの一つで、体を固定す

るバンドをややきつめに締めた後、呼吸を止めていただき、被験者の腹部に手を当てて呼吸がしっかり止められているか否かを確認する。肺野の検査同様の強い吸気では、バルサルバ効果により一過性に徐脈となり、その後徐々に心拍数が増加する。この心拍変動が撮影中の motion artifact 増加につながるため、筆者は「思い切りの半分以下の息を吸ってください」とお願いしている。心拍が安定するまでに数秒の遅延時間をおくこともある。撮影時間は10秒程度なので、息を吸わずにそのまま止めていただくこともある。

息止め不良例に対して解析を行う施設もあるようだが、筆者の考え方としては、誤診につながると考え行っていない。

⑤ β 遮断薬投与

心拍数が遅ければ遅いほど、時間分解能が向上する。そのため、16列の時代までは、 β 遮断薬の投与が必要不可欠であった。64列が標準となりつつある現在、回転速度も上昇したため、 β 遮断薬なしでも撮影は可能である。しかし、安定した画質を求めるとすれば、できる限り β 遮断薬の投与をした方がよいと思われる。

⑥ニトログリセリン投与

禁忌ではない限り、冠動脈造影に準じて使用している。冠動脈を拡張させることで、診断精度を上げる。ニトログリセリンを1 puff 投与している。また、投与後一過性に心拍数が上昇するので、本撮影は投与後5-10分程度時間をおくことにしている。

⑦撮影

心臓のCTを撮影する方法にはa. テスト造影法とb. ボーラストラッキング法がある。

a. テスト造影法は少量の造影剤（約10ml）と本撮影と同量の生理食塩水を用いて、低い線量で大動脈を連続的に撮影し、到達時間を予想する方法である。確実にタイミングをつかむという利点があるが、検査時間が長くなることなどが欠点として挙げられる。

b. ボーラストラッキング法は、造影剤を注入しながら、大動脈の濃度上昇を観察し、ある一定の閾値に達してから撮影を開始する方法である。簡便にできるが、撮影に適した時期から前後にずれてしまわないように造影剤投与

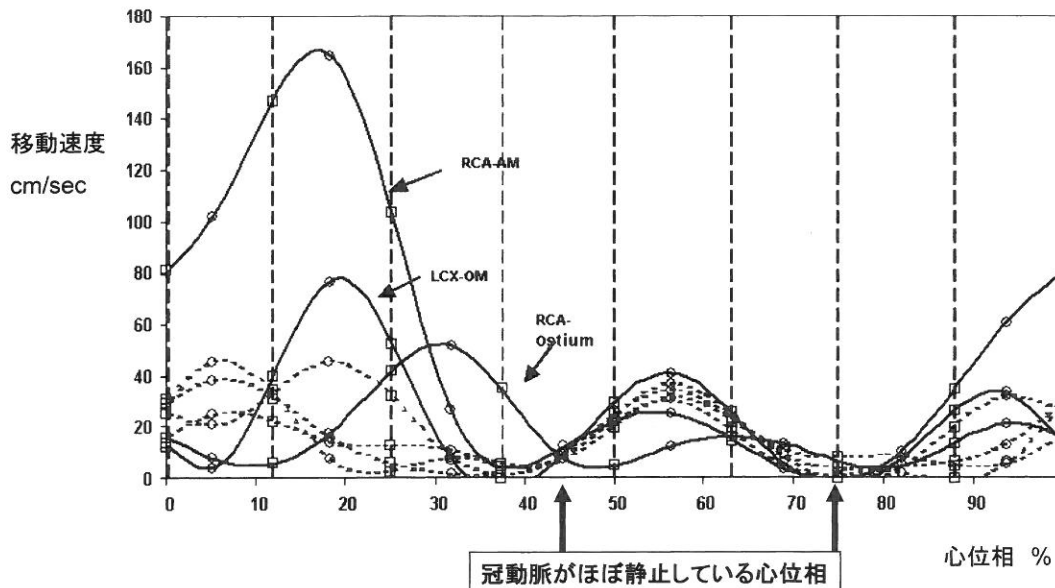


図1 冠動脈の移動速度 (文献5より引用改変)

ある患者(心拍数59回/分)における、冠動脈自体の移動速度。RCA-AM(右冠動脈鋭縁枝分岐部)、LCX-OM(左冠動脈回縁枝鈍縁枝分岐部)、RCA-ostium(右冠動脈入口部)の移動速度が速いことがわかる。さらに、それらの移動速度がほぼ0となる(ほぼ静止している)心位相がR-Rの40-50%および70-80%前後ということがわかる。ただし、個人差があるので、これ以外の位相がよいこともある。

量を増やす必要がある。しかも症例によっては良好な造影効果が得られないという欠点がある。その手順は以下の通りである。

高崎病院では心機能が低下した症例に対しても撮影を行っていることもあり、確実に一定以上の造影効果が得られるaのテスト造影法を用いて撮影している。

1. スカウト撮影：心臓の位置を正面と側面からおおまかに捉える。
2. 単純撮影：心臓全体が入るように撮影する。心臓の正確な位置の把握、石灰化の局在を知る(とくに造影後では、微小石灰化とプラークか判別困難になる症例が存在する)および、脂肪変性検出が主な目的である。
3. テスト撮影：右肘窩より少量の造影剤、続いて本撮影と同量の生理食塩水を、注入速度を体重可変で静脈注射し、造影開始10秒後より低い線量で左冠動脈主幹部(LMT)レベル大動脈を連続的に撮影する。同レベルの造影剤濃度が最も高値になる時間を測定する
4. 本撮影：本撮影は、テスト撮影と同じ速度で右肘窩より造影剤を10秒注入し、続いて同じ速度でテスト撮影と同量の生理食塩水を注入している²⁾。

⑧画像再構成・解析

画像解析は複数心位相から最も冠動脈の動きが少ない位相を選択する。動きが少ない位相に関してはそれぞれの冠動脈の移動速度を検討した研究³⁾がある。図1に示すように冠動脈の移動速度が最もゼロに近づく心位相、主に収縮末期もしくは拡張中期の位相を用いる。しかし、症例によってはそれ以外の心位相のほうが、動きが少ないこともあり、その心位相を探す必要がある。

解析は一般に最新のワークステーションにより行う。細かな操作方法は各社により異なるので、ここでは触れないが、ワークステーションの性能や解析者との相性で解析者の負担(時間やストレス等)が大きく異なるので、購入の際には実際解析する者の意見を尊重したほうが、あとあと件数を増やしやすと思われる。

看護師の協力

近年CTの多列化にともない、dynamic studyが行えるようになり、被検者にとっては、多くの情報を得られるようになった。それにともないそれまで、造影剤を1-2 ml/secのゆっくりとした速度で投与し、遅延像しか撮影できなかったが、3-5 ml/sec

という早い速度で投与する機会が増えた。その投与速度では、得られる情報量が飛躍的に増加した反面、造影剤アレルギーに加え、造影剤漏出の危険性が増加してしまうので、近年 CT 室においても看護師の存在が重要視されるようになってきた。とくに心臓の CT 撮影には、患者背景として、心臓自体になんらかの異常をもった、もしくは異常が疑われる患者が多いという高リスクである上、β遮断薬やニトロ投与という行為が、集積され通常の dynamic study よりも危険性は高いと思われる。通常の看護に加え、バイタル測定や急変時の対応なども加わるのでより重要であると思われる。

評価法

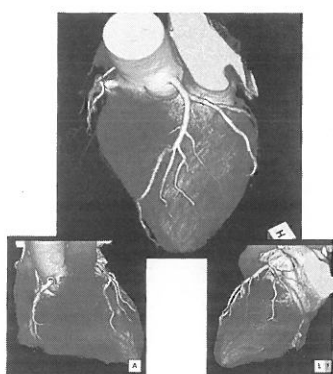
画像処理・解析によって得られる代表的な画像として

- イ. volume rendering 像
- ロ. maximum intensity projection (MIP)
- ハ. curved planar reconstruction
- ニ. cross-section 像

が挙げられ、それらを用いて総合的に評価を行う。個々の像について詳細を下に示す。

イ. volume rendering (VR) 像 (図 2)

3次元画像であり、心臓の全体像や冠状動脈を立体的に把握することに優れている。患者への説明を行う際に非常に優れていると思われる。しかし、各種パラメーターを変更するだけで、見た目が大きく変わるので、正確な診断を行うことには適さない。

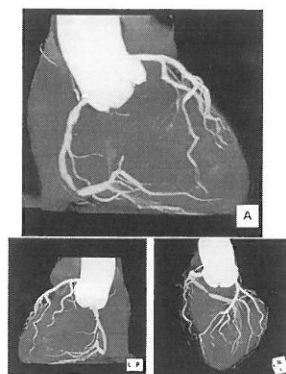


- 利点
- ・立体的に把握しやすい
 - ・説明しやすい
- 欠点
- ・正確な狭窄率は不明

図 2 VR (volume rendering) 像

ロ. maximum intensity projection (MIP) (図 3)

ある方向からの最大投影値を持つボクセル値を反



- 利点
- ・冠動脈造影に似ている
- 欠点
- ・最大値以外は消去
 - ・石灰化は過大評価

図 3 MIP (maximum intensity projection)

映させた方法である。これを応用し心腔内のボクセル値を除去し、左右冠状動脈のみを抽出した Angiographic view⁴⁾を作成できる。冠動脈造影の像に酷似するためわれわれ循環器内科医には親しみやすい。しかし、石灰化を過大評価するなど弱点があるため、注意が必要である。

ハ. curved planar reconstruction (CPR) (図 4・5)

蛇行した冠状動脈を 1 本ずつひとつの平面に描出する方法である。目的とする冠状動脈を連続的に血管壁の情報を含めた状態で評価できる。直線状に伸ばしたものは stretched CPR と呼ばれる。しかし、冠動脈の中心を通る断面から再構成しなくては誤診につながる (図 5)、1 枚の CPR では冠動脈の 1 断面を表示できないので、複数方向からの観察が必要であることなど弱点がある。

ニ. cross-section 像 (図 6)

血管内超音波 (IVUS) と酷似した画像が得られ、冠動脈の狭窄率やプラークの性状を正確に評価するのに適した方法である。ただし、上記の CPR 像の作成がその精度に反映される。

以上を主に用いる。手順としては、効率よい診断のため、まず angiographic view を作成し、そこで問題ありそうところを CPR 像や cross-section 像で解析するというスタンスを取っている⁴⁾。

Cardiac CT とこれまでのモダリティを比較したものとして、これまでの golden standard である冠動脈造影との比較では 64 列 MDCT を用いた診断精度は感度 94-95%、特異度 96-97% と高い⁵⁾⁶⁾。ただし、

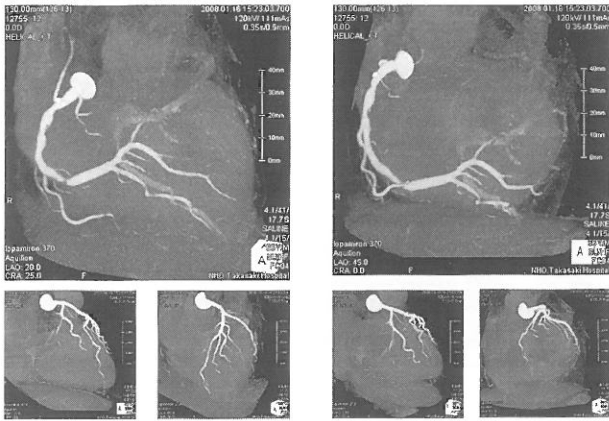


図4 angiographic view

狭窄率を出す際に、参照径を測定する部分にまでび慢性にプラークが沈着していると、CTでは狭窄していることが把握できるが、現在の golden standard である冠動脈造影では狭窄にみえないということがあるので、注意が必要である（これは弱点というよりもむしろ利点と考えられる）。

IVUS（血管内超音波法）とも相関があるとされ、プラーク容積を両者で測定した相関係数は $r^2=0.69$ と高値である⁷⁾。他にもプラークの性状を含め、他のモダリティと比較検討した文献があるが、ここでは紙面の都合で割愛する。

Cardiac CT の弱点

Cardiac CT には弱点として、①被曝量が多いこと

と ②不整脈に弱いこと ③人工物に弱いこと ④石灰化に弱いこと⑤息止めができないと検査にならない。などが挙げられる。

①被曝量が多いこと

被曝量に関しては、過去の報告をまとめると 8-15mSv. 64列では 9-21mSV⁷⁾⁻⁹⁾ という報告もあるように冠動脈造影（3-6 mSV）に比べて多い。日本循環器学会の被曝のガイドラインでは50mSv 以下では通常の放射線診断で受ける線量（50mSv 以下）では、今までに行われた疫学調査によるがん発症の増加は確認されていないとされる。しかし、FDA のレポートには2000分の1の確率でがん発症の増加があるとされている。いずれにしろ被曝量は低減されたほうがよい。被曝低減は各種機械の進歩で進んできており、たとえば、GE の snap shot pulse を

利点

- ・内腔・血管壁がわかる

欠点

- ・複数方向の観察

- ・中心軸の正確な定義

を要す

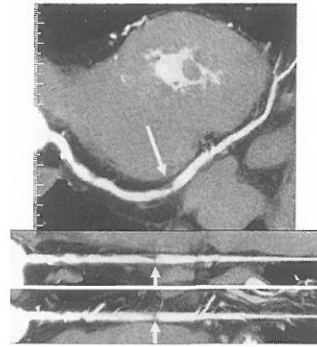


図5 curved planar reconstruction (CPR) と stretched CPR

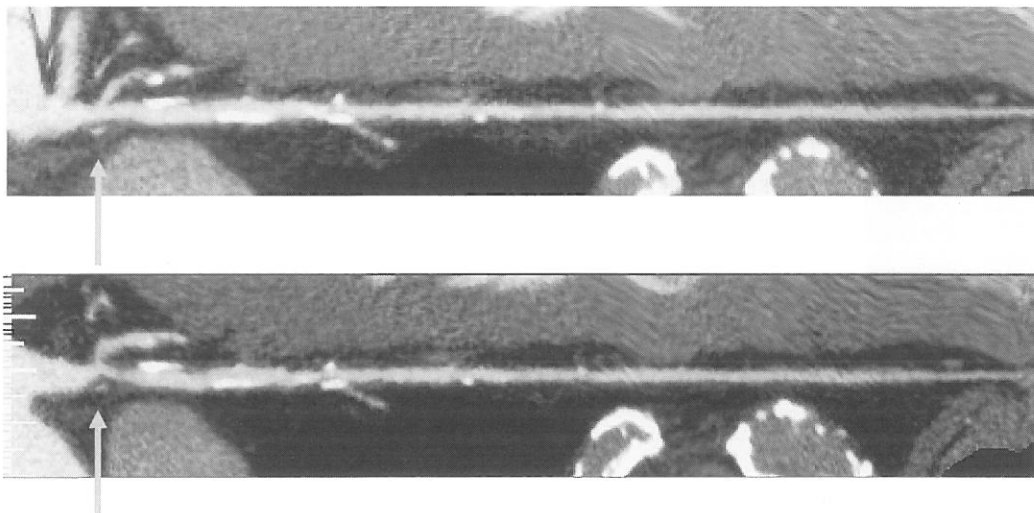


図6 ある症例の LAD に対する stretched CPR.

上段は血管腔の中心を通る断面から作成し、下段は冠動脈の中心を通る断面から作成したもの。上段の画像では、有意狭窄とは捉えられないが、実際は心筋シンチでも LAD 領域の虚血が示された（症例 4 参照）。

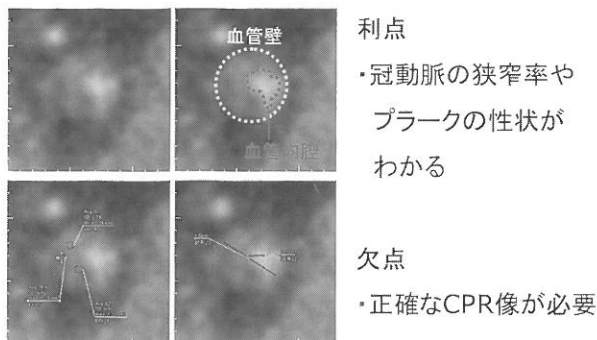


図7 Cross-section 像 (図5の矢印部分)

利点
 ・冠動脈の狭窄率や
 プラークの性状が
 わかる

欠点
 ・正確なCPR像が必要

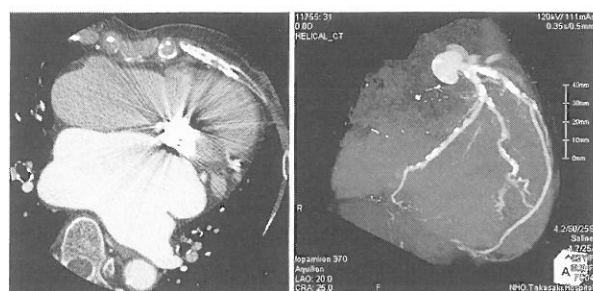


図9 心房細動の症例

うまく評価するには、ピッチをつめるなど工夫が必要である。ちなみにこの症例は人工弁置換術後である。

使用すると通常の1/3 (平均2.8mSV という文献もある¹⁰⁾) で撮影ができ (図8), 256列以上の多列化したCT (Toshiba Aquillion one など) で2-4 mSV程度で撮影ができるようである。

②不整脈に弱いこと

複数心拍から画像再構成をするので、一定の心臓の収縮・拡張をしない不整脈の存在は、画質の低下をもたらす。ヘリカルピッチを下げ、重ね撮りの回数を増やす工夫や、一部の心拍を除外して再構成する工夫¹¹⁾を行わなくてはならない (図9)。

③人工物に弱いこと

近くにペースメーカーのリードや人工弁の存在によるアーチファクトが問題となる。また、症例数が最も多いと予想される人工物はステントである。ステントの種類 (材質・厚み・ストラットの形状) により異なるが、現在の空間分解能では3.5mm 以下では難しくなりステント径3.0mm 程度が限界、それ以下は評価できないと考えられている。さらに後述の石灰化をともなった部位にステントが留置されていると評価が困難になる。CT の空間分解能が上



図8 被曝低減技術を使用し作成した画像
 低被曝ながらもプラークまで鮮明に判別できる。GEのVCTを用いて、群馬大学医学部附属病院放射線部にて撮影された一症例。

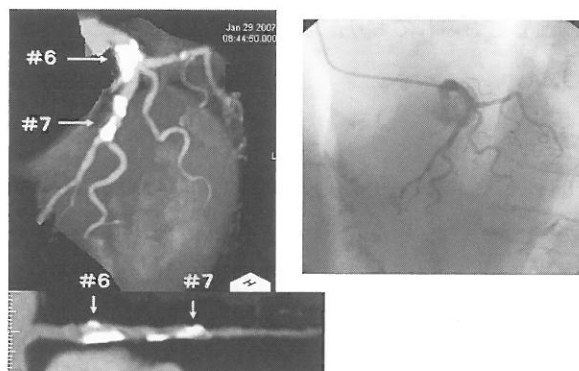


図10 石灰化が強い病変

CPR 像で左冠状動脈# 6の評価はできたが、# 7は石灰化が強く評価不能であった。冠動脈造影では狭窄がないことがわかる。

昇すれば、ある程度解消が見込めると思われる (図9)。

④石灰化に弱いこと

高度石灰化があると、内腔の評価が困難になる。一つの方法としては単純CT の段階で石灰化が高度であれば、そこで検査を終了し他のモダリティを選択するということがある。しかし、虚血が疑われる責任血管の石灰化が高度でなければ、そのまま検査を施行し、評価するという事も可能である。また、バイパス術を施行するに至った際、石灰化の情報を事前に把握しておく手術の戦略に役立つという心臓外科医の意見もあるので、その適応は施設によると考えられる。

異なる電圧で撮影するとCT 値が変化することから、二つの異なる電圧で撮影することで、造影剤と石灰化を区別できる技術が実用化されつつある。

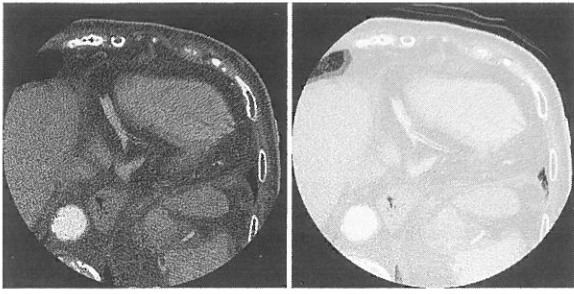


図11 息止め不良の症例

さまざまな心位相で画像再構成しても、右冠状動脈#3から#4にかけての画像のぶれが残った。その為、axial像のウィンドウレベルを変えると心臓以外の肝臓や肺血管影もぶれており、息止め不良ということがわかる。

⑤息止め不良

64列とCTが進化したため、息止め時間は10秒弱と短くなってきたが、しっかり息止めができない被検者もいる。その状況下で評価する施設もあるようであるが、もともとのデータ採取時点で不正確であるので、正確な評価不能と考え、当施設ではその後の解析も行っていない。

これらの弱点を念頭に入れ、検査を予定することが最もよいと考えられる。

おわりに

現在、CTの進歩により冠動脈評価は冠動脈造影からCTにシフトしつつある。今後CTの弱点も空間分解能・時間分解能の向上、被曝量の低減が進むことで解消され、冠動脈評価をCTで行う傾向はさらに進むと思われる。さらにDrug Eluting Stentの登場によりカテーテルインターベンションにある一定の区切りが付き、薬物によるインターベンションが再度注目を集めるようになってきた現在、CTによる無侵襲なプラーク評価の重要性が増していくと思われる。その円滑かつ安全な検査には、放射線技師、看護師の協力も必要不可欠であるので、コメディカルの方のご協力もいただきたいと思う。

〈謝辞〉

最後に Cardiac CT についてご教授いただいた、慶應義塾大学医学部放射線診断科：栗林幸夫教授、陣崎雅弘先生、佐藤浩三先生、田波穰先生、山田稔先生に深謝いたします。

〔文献〕

- 1) Yamada M, Jinzaki M, Kuribayashi S et al. Novel Post-Processing Image for the Visualization of the Coronary Sinus by Multidetector-Row Computed Tomography Before Cardiac Resynchronization Therapy. *Circ J* 2008 ; 72 : 487-8 .
- 2) 陣崎雅弘. 検査のプロトコール. In. 栗林幸夫編. 新・心臓病診療プラクティス8 画像で心臓を診る. CT・MRI・核医学を中心にして. 東京：文光堂；2006：p32-4 .
- 3) Vembar M, Garcia MJ, Heuscher DJ et al. A dynamic approach to identifying desired physiological phases for cardiac imaging using multislice spiral CT. *Med Phys* 2003 : 30 ; 1683-93.
- 4) Jinzaki M, Sato K, Tanami Y et al. Novel Method of Displaying Coronary CT Angiography Angiographic View. *Circ J* 2006 ; 70 : 1661-2 .
- 5) Leschka S, Alkadhi H, Plass A et al. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology : first experience. *Eur Heart J* 2005 26 : 1482-7 .
- 6) Fine JJ, Hopkins CB, Ruff N et al. Comparison of Accuracy of 64-Slice Cardiovascular Computed Tomography With Coronary Angiography in atients With Suspected Coronary Artery Disease. *Am J Cardiol* 2006 ; 97 : 173-4 .
- 7) Leber AW, Knez A, Becker A et al. Accuracy of Multidetector Spiral Computed Tomography in Identifying and Differentiating the Composition of Coronary Atherosclerotic Plaques A Comparative Study With Intracoronary Ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 2004 ; 43 : 1241-7 .
- 8) 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* 2005 ; 112 : 2318-23.
- 9) Raff GL, Gallagher MJ, O'Neill WW et al. Diagnostic Accuracy of Noninvasive Coronary Angiography Using 64-Slice Spiral Computed Tomography. *J Am Coll Cardiol* 2005 ; 46 : 552-7
- 10) Earls JP, Berman EL, Urban BA et al. Prospectively Gated Transverse Coronary CT Angiogra-

phy versus Retrospectively Gated Helical Technique: Improved Image Quality and Reduced Radiation Dose. *Radiology* 2008 ; 246 : 742-53.

11) Matsutani H, Sano T, Kondo T. ECG-Edit Func-

tion in Multidetector-Row Computed Tomography Coronary Arteriography for Patients With Arrhythmias. *Circ J* 2008 ; 72 : 1071-8 .