

MDCTによる冠動脈評価

近藤 武, 安野 泰史¹

Kondo T, Anno H: **Evaluation of coronary artery by multidetector-row computed tomography (MDCT)**. J Jpn Coron Assoc 2005; 11: 167-173

I. はじめに

約50年前から現在に至るまで、冠動脈の描出と評価には冠動脈造影法が標準的方法とされ、臨床応用されてきた¹⁻⁴⁾。冠動脈造影は空間分解能が高く、冠動脈全体を見渡せる点が優れているが万能とはいえない。冠動脈造影で得られる画像は二次元の透視画像で、冠動脈内腔を描出しているだけであり、冠動脈壁の情報はほとんど得られない。また、冠動脈造影は観血的方法であり、時には重大な合併症も起こり得る。

急性冠症候群の発症は必ずしも有意狭窄病変の破綻から生ずるわけではなく、比較的狭窄度の低い病変が破綻し発症することが解明されている⁵⁾。また、初期の冠動脈動脈硬化病変では血管外径が拡大 (positive remodeling) し、内径の狭窄は起こらないことが確かめられている⁶⁾。したがって、冠動脈動脈硬化病変を早期に発見するには、冠動脈造影だけでは不十分である。血管内超音波、血管内視鏡、optical coherence tomography (OCT) は動脈硬化性プラークを直接観察できる優れた方法であるが、やはり観血的方法であるため無症候性虚血性心疾患の発見、経過観察には適さない⁷⁾。したがって、冠動脈壁の動脈硬化性プラークの情報を非観血的に得られるような検査法の開発が望まれてきた。

循環器系の臓器、とくに心臓は周期的に拍動し続けているため、CT (computed tomography) にとっては最も苦手な領域であった。しかし、近年、高速撮影、高分解能撮影ができる multidetector-row CT (MDCT)、別名 multislice CT (MSCT) が登場し、冠動脈も描出可能となり、大きな期待を担って普及し始めた。本稿ではMDCTの歴史を簡単に述べ、MDCTにより冠動脈病変をどの程度評価可能か論ずるとともに、さらにMDCTの問題点についても概説する。

II. 循環器領域におけるCTの歴史

1973年にX線CTスキャナーが登場したが、撮像に長時

間を要し、拍動する心臓には適さなかった。1983年にelectron beam CT (EBT) がアメリカの Food and Drug Administration (FDA) から認可を受け、臨床応用が始まった⁸⁾。このEBTは電氣的にX線の方向をスイングさせて断層像を得る方法で、超高速撮像が可能であり、循環器領域にも広く臨床応用された。ことに冠動脈の石灰化の検出に関しては多くの研究がなされた^{9, 10)}。しかし、装置が高価で、日本では普及しなかった。一方、メカニカル・スキャナーの分野では、1985年に高速スリッピングCT¹¹⁾が、1990年にはヘリカルスキャンCT¹²⁻¹⁴⁾が開発され、これらの進歩により冠動脈の描出もある程度可能になった¹⁵⁻¹⁷⁾。1998年に0.5秒/回転のCTが実現し¹⁸⁾、1999年にはMDCTが出現し多断面の画像が一度に収集できるようになった^{19, 20)}。現在では1回転0.5もしくは0.4秒以下で、0.5 mm スライス×16~64列のデータ収集が可能となり、冠動脈造影に匹敵、もしくはそれを凌駕するような画像が得られるようになってきた。

III. 冠動脈狭窄の評価

MDCTにより、どの程度冠動脈狭窄が診断できるかは臨床的に最も興味ある問題である。Gibbons & Araoz は “The year in cardiac imaging” と題する review²¹⁾ で、冠動脈造影と対比して、冠動脈狭窄病変検出に対する16列MDCTの感度、特異度を検討したこれまでの報告をまとめている。MDCTで評価できない冠動脈セグメントは0~22%とされ、その主な原因は高度石灰化、ステント、大きなモーション・アーティファクトであった。われわれの施設における検討では、検討した10%のセグメントが評価不能であった²²⁾。感度、特異度の算出に、この評価不能のセグメントを入れるか否かで、感度は大きく左右される。Gibbons & Araoz の報告²¹⁾ では評価不能のセグメントを入れた場合、感度は59~95%とばらついているが、入れない場合は81~95%と高値を呈した。特異度は評価不能のセグメントを入れても入れなくても87~98%と良好で、negative predictive value (NPV) は87~99%にも達する。われわれの検討では評価不能のセグメントを入れない場合、50%以上を有意狭窄とすると、MDCTの感度は81.0%、特

藤田保健衛生大学医学部循環器内科、¹ 衛生学部診療放射線技術学科 (〒470-1192 豊明市沓掛町田楽ケ窪 1-98)

異度は93.8%で、75%以上を有意狭窄とすると、感度は91.7%、特異度は96.2%であった²²⁾。

冠動脈造影とMDCT所見が異なった症例の中には、MDCTが正しく、冠動脈造影所見に誤りがあると思われた症例も多々ある。例えば、症例1(図1)では、冠動脈造影において左前下行枝(LAD)は正常と判定されたが、MDCTでは左主幹部(LMT)とLAD #6にソフト・プラークを認めた。また、症例2(図2)は、下壁梗塞、66歳、男性であるが、冠動脈造影でLAD #6に25%狭窄があると診断され、MDCT垂直断面でも25%狭窄と判定された。しかし、MDCT水平断面のcurved MPR(multiplanar reconstruction)ではLAD #6に石灰化を伴うソフト・プラークを認め、75%狭窄が存在した。MDCTは三次元情報をもって

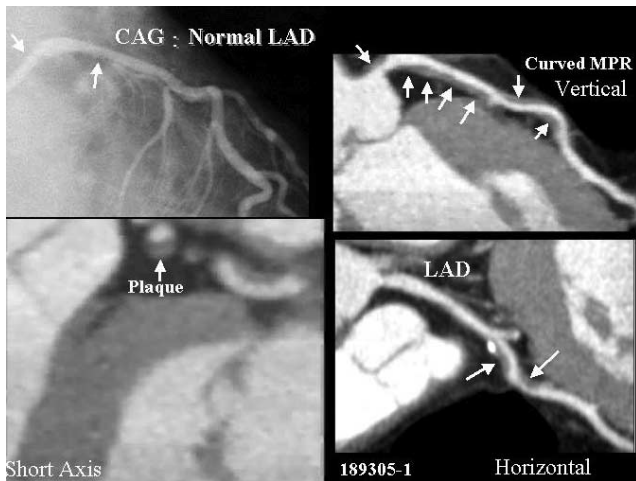


図1 冠動脈造影とMDCT所見不一致例(症例1) 後壁心筋梗塞、57歳、男性。冠動脈造影においてLADは正常と判定されたが、MDCTではLMTとLAD #6にソフト・プラークを認めた。MDCTの撮像条件は0.5 s/rot, 8 DAS, 0.5 mmスライス, 2.2 HP, HR 55~58 bpm. 側枝の入口部も見えている。

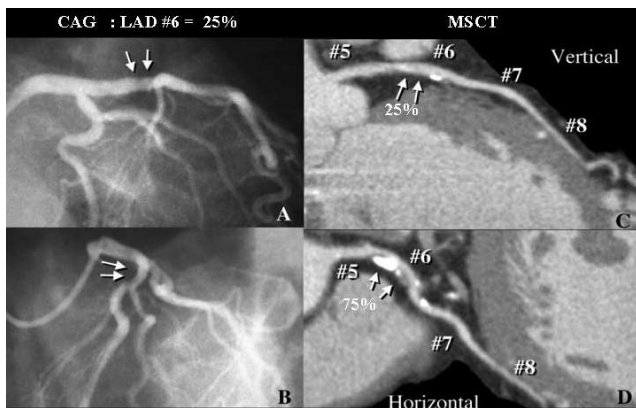


図2 冠動脈造影とMDCT所見不一致例(症例2) 下壁梗塞、66歳、男性。冠動脈造影(A, B)ではLAD #6に25%狭窄、MDCT垂直断面(C)でも25%狭窄と診断されたが、MDCT水平断面(D)のcurved MPRではLAD #6にソフト・プラークを認め、75%狭窄が存在した。

ため、いかなる方向の断面も作成可能で、この点では冠動脈造影より優っている。

IV. 冠動脈ステントの評価

最近の冠動脈インターベンションでは、再狭窄率の低減と経皮的冠動脈形成術(PTCA)による冠動脈解離の修復などを目的にステントが多用されている。MDCTにより冠動脈内腔を評価する場合、最も大きな障害は高度の冠動脈石灰化病変であるが、ステントも冠動脈狭窄度評価における障害の一つである。しかし、このようにステントが多用される時代では、ステントを避けて通るわけにはいかない。われわれの行ったファントム実験²²⁾(図3)では、タンタルムの場合、内腔は全く観察不能であったが、ステンレス・スティールでは内腔観察が可能であった。また、1.0 mmスライスでは内腔観察は困難と思われたが、直径3 mm以上のステンレス・スティール・ステントならば0.5 mmスライスで内腔観察が可能であった(図4)。

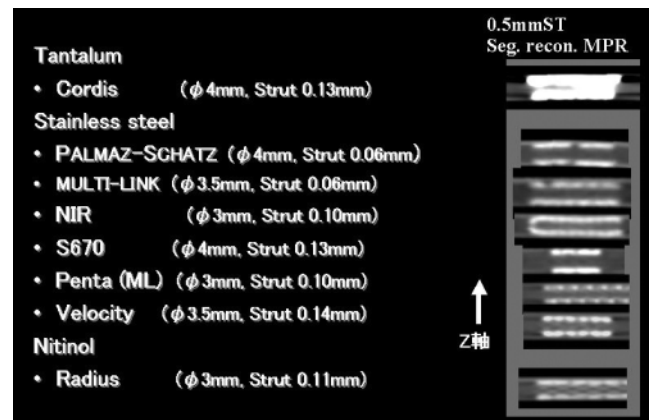


図3 各種冠動脈ステントのMDCT像 ステンレス・スティール製のステントでは内腔観察が可能であったが、ステントの材質がタンタルムの場合(最上段)、内腔は全く観察不能であった。

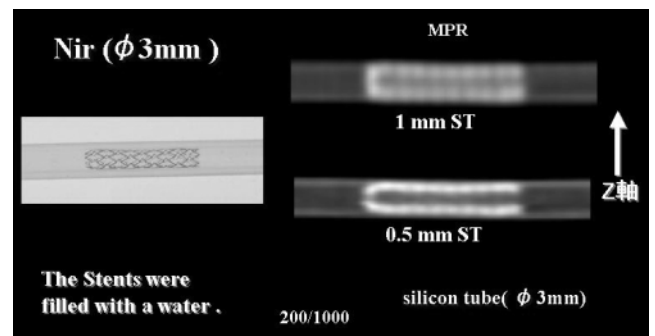


図4 ステントMDCT像における1.0 mmスライスと0.5 mmスライスの比較 1.0 mmスライスでは内腔観察は困難と思われたが、直径3 mm以上のステントならば0.5 mmスライスで内腔観察が可能であった。撮像は0.4 s/rot, 4 DASでECG gated segment reconstruction法を用いた。

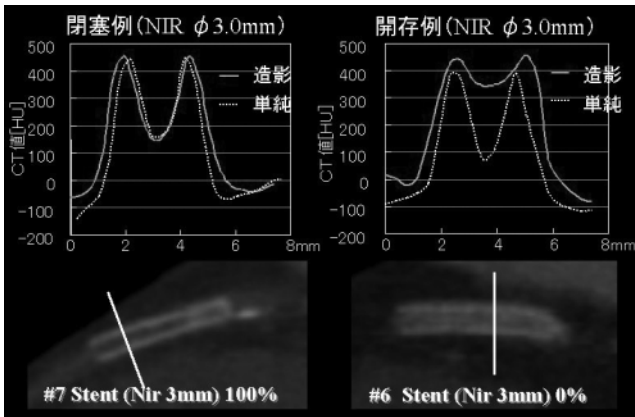


図5 スtent閉塞例と開存例における造影前後のプロファイルカーブ
 左はStent内完全閉塞で、造影後もStent内に造影効果を認めない。右は開存例で、造影後Stent内に造影効果を認める。

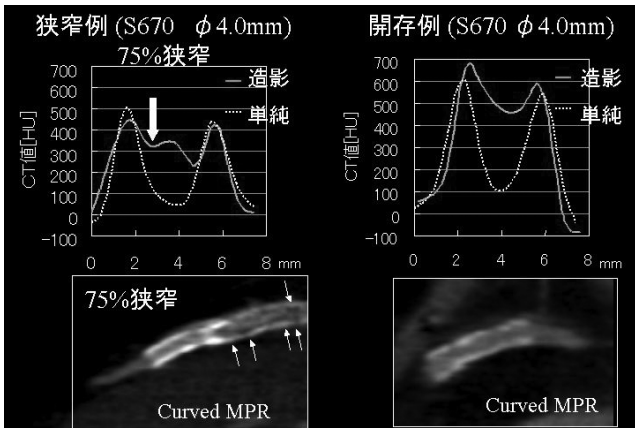


図6 スtent内狭窄例と開存例における造影前後のプロファイルカーブ
 左にStent内狭窄例を示す。左下のcurved MPR像でStent内の中心部に存在する白い帯状の部分が内腔で、その両外側に黒い帯状の部分があるが、これが内膜増成、もしくは血栓である。右に開存例のプロファイルカーブを示す。

Kitagawaら²³⁾は16列MDCT(0.5-s rotation time, 16×0.625-mm detector collimation)を用いて臨床例で61個のStentを評価し、42個(68.9%)で内腔が観察可能であり、φ3.5 mm以上では88.6%(31/35)で、φ3 mmでは57.9%(11/19)で内腔の観察が可能であり、φ2.5 mmでは内腔の観察は不可能であったとしている。また、われわれは造影前後にMDCTを施行し、Stent内のCT値のプロファイルカーブを比較して、Stentの開存性を客観的に判定した(図5)。この方法によりStent内の内膜増成も客観的に評価可能であった²⁴⁾(図6)。

V. CABG の評価

従来のCTでも冠動脈バイパス・グラフト(CABG)の開存に関しては評価可能とされていたが、吻合部の状態はわからなかった。MDCTにより、CABGの開存性はもち

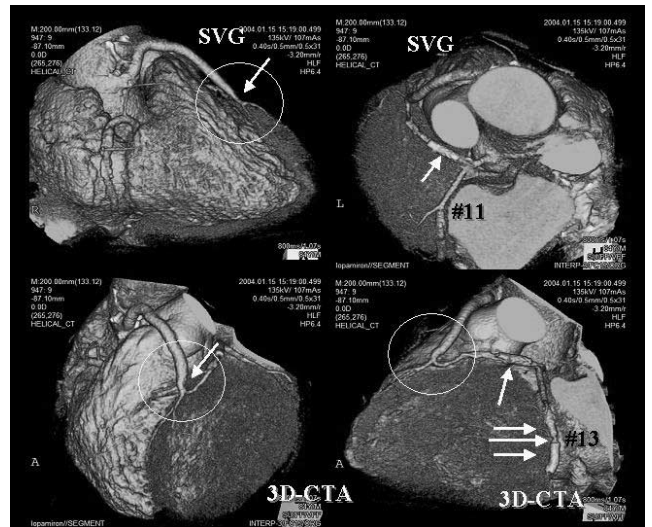


図7 スtentおよび静脈グラフト(SVG)によるCABG術後症例(3D画像)(症例3)

84歳、男性、前壁梗塞、SVGによるCABG術後症例。32列MDCTで撮像された3D画像である。冠動脈造影では#2:25%、#3:25%、#6:Stent(φ3.5)100%、#13:Stent(φ3.5×15 mm NIR, φ3.5×15 mm S670)が植え込まれているが、StentとStentの間に狭窄を認める。LAD #7に吻合されたSVGは開存しており、吻合部およびその末梢に狭窄を認めないが、吻合部直前のグラフトに軽度の狭窄を認める。LCX #14に吻合されたSVGは完全閉塞し描出されていない。撮像条件は0.4 s/rot, 32 DAS, 0.5 mm, 6.4 HP, 0.2 BP, HR 55~59 bpm, 136 mm, 17 sであった。

ろんのこと、吻合部の状態、その末梢の冠動脈の状態も評価できるようになってきた。当然ではあるが、CABGの開存性について、MDCTは100%近い感度と特異度を有する^{25, 26)}。CABGの高度狭窄の診断では感度が96%、特異度が100%と報告されている^{27, 28)}。Gastro-epiploic artery grafts(GEA)では血管造影が困難で、MDCTで開存性が評価できればその有用性は高い。Dorgeleroら²⁹⁾はL3まで含むthoracoabdominal scanを加えることによりMDCTで評価可能と報告している。

32列MDCTで撮像された自験例(症例3)を示す(図7)。LAD #7に吻合した静脈グラフトは開存しており、吻合部およびその末梢に狭窄を認めないが、吻合部直前のグラフトに軽度の狭窄を認める。左回旋枝(LCX) #14に吻合した静脈グラフトは完全閉塞し、描出されていない。図8に同症例3のcurved MPR像を示すが、グラフト内の狭窄、プラーク、およびStent前後のプラークの診断が可能である。

以上のようにバイパス・グラフト治療効果判定、経過観察にもMDCTは有効な手段である。

VI. 冠動脈粥腫(プラーク)の評価

1. 不安定プラークの病理学的特徴

近年、急性心筋梗塞、不安定狭心症などの急性冠症候群

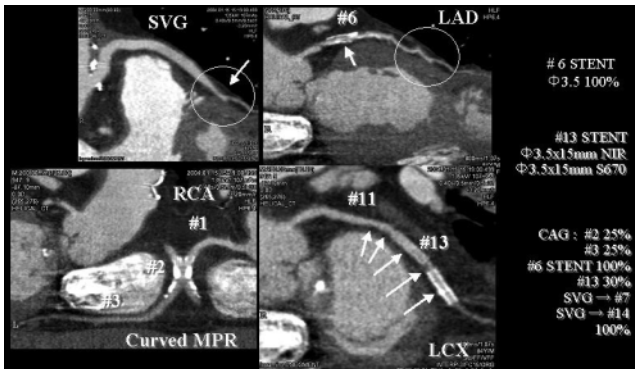


図8 スtentおよび静脈グラフトによるCABG術後症例(症例3)

MDCTではLAD #7に吻合された静脈グラフトは開存しており、吻合部およびその末梢に狭窄を認めないが、吻合部直前のグラフトにプラークを認め、軽度の狭窄が示されている。右下にLCXを示すが、stentが2本植え込まれている。stentとstentの間と中枢側のstentの直上にソフト・プラークを認める。撮像は0.4 s/rot, 32 DASで、0.5 mmスライス、6.4 HP, 0.2 BPで行った。HR 55~59 bpmで、撮像範囲は136 mm、呼吸停止時間は17 sであった。

(acute coronary syndrome)の発症機序が解明され、不安定プラーク(vulnerable plaque)の破綻が注目されている。Libby^{30, 31)}によれば、vulnerable plaqueは、1) 薄い線維性被膜(thin-cap fibroatheroma; TCFA)、2) 大量の脂質蓄積、3) 軽度の狭窄、4) 血管の拡大(positive remodeling)、5) TCFAへの細胞浸潤、が特徴であるとされている。しかし、不安定プラークについて、culprit lesion, eroded plaque, vulnerable plaque, thrombosed plaque, inflamed TCFAなどの種々の言葉が使用され混乱があったため、世界の著名な研究者が2003年6月にギリシャのサントリーニ島に集まって2日間の討議を行い、Schaarら³²⁾はその結果をEuropean Heart Journalに報告した。彼らによれば、acute coronary syndromesの原因になるようなプラークは、1) inflamed TCFAのみではなく、2) fibrous capが厚くても血管内側にerosionのあるもの(eroded plaque)や、3) calcified noduleを覆う血管内皮細胞が機能低下を起こしているか、もしくは血管内皮細胞が欠落しているような重篤な石灰化病変も含まれるとしている。このcalcified noduleは顕微鏡でしか見えないほど小さいのでMDCTでは検出困難であるが、しばしばMDCT検出可能な石灰化病変を伴っている。さらに、Eharaら³³⁾は血管内超音波(IVUS)を用いて、急性心筋梗塞、不安定狭心症のculprit lesionにはIVUSで観察できる程度の小さな石灰化(spotty calcification)が多く、安定狭心症では大きな石灰化が多いことを報告している。また、動脈硬化巣では冠動脈壁を栄養するvasa vasorumが有意に多く³⁴⁾、しかもTCFAではプラーク内出血が認められることが多いとも報告されている³⁵⁾。

以上、まとめると、vulnerable plaqueの特徴は、1) 薄い線維性被膜(thin-cap fibroatheroma; TCFA)、2) 大量の

脂質蓄積、3) 軽度の狭窄、4) 血管の拡大(positive remodeling)、5) TCFAへの細胞浸潤、6) eroded plaque、7) calcified nodule、8) spotty calcification、9) 豊富なvasa vasorum、10) プラーク内出血、などとなる。これらの特徴をMDCTでどの程度評価できるかが次の重要課題となる。

2. MDCTによる不安定プラークの診断

CT画像はCT値の違いから成り立っている。Schroederら³⁶⁾はIVUSにより冠動脈硬化性粥腫をsoft, intermediate, calcifiedに分類し、そのCT値を計測した。その結果、soft plaqueは-42~+47 HU, intermediateは61~112 HU, calcifiedは126~736 HUとしている²⁹⁾。しかし、彼らの使用したCT装置(4列Somatom Volume Zoom; Siemens)では、時間分解能は最大125 ms, スライス厚は1 mmであり、現在汎用されているスライス厚0.5~0.7 mmの装置とはパーシャル・ボリューム・エフェクトの影響が異なる。16列、スライス厚0.5 mmの装置を用いたわれわれの結果では、soft plaqueは-8~29 HU, intermediateは31~118 HU, calcifiedは241~1002 HUであった。Inoueら³⁷⁾は急性冠症候群における責任病変プラークの最小CT値は25±15 HUで、安定狭心症のそれは71±16 HUであったと報告している。また、Motoyamaら³⁸⁾は、MDCTで診断できる急性冠症候群における責任病変の特徴は、1) positive remodeling、2) soft plaque、3) spotty calcificationであり、それらの頻度は安定狭心症に比べ有意に高かったと報告している。すなわち、不安定プラークの診断において、MDCTでわかることは、1) 大量の脂質蓄積、2) より軽度の狭窄、3) positive remodeling、4) spotty calcificationであると考えられる。

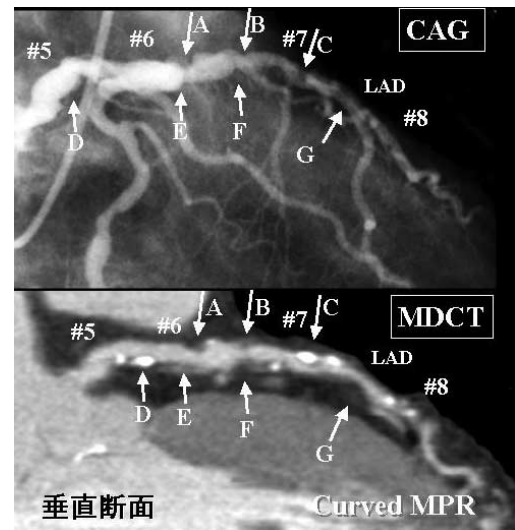


図9 重症冠動脈硬化症、安定労作性狭心症(症例4) 64歳、男性、安定労作性狭心症である。冠動脈造影上LAD #6(A)に75%狭窄と潰瘍を、#7(C, G)にも狭窄を認めるが、どの病変が不安定プラークか判定することは困難である。本例ではMDCT上、LAD #6(A)と#7(G)にCT値の低い大量の脂質が蓄積したプラークを認め、これらの病変をターゲットに治療が行われるべきであると思われる。

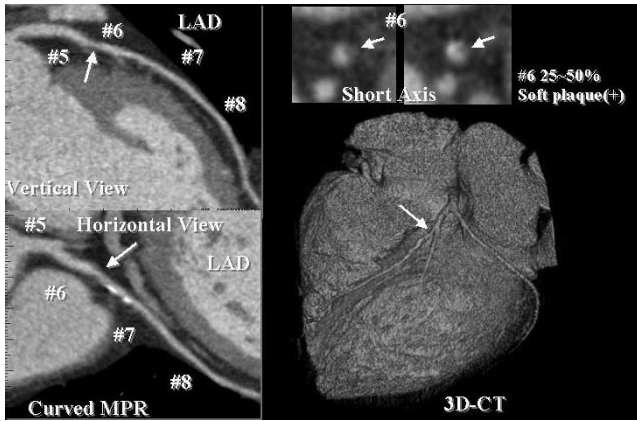


図10 症例5

45歳，男．父親に虚血性心疾患が認められ，ストレスの多い生活を送っているが，他の危険因子（高脂血症，高血圧症，喫煙歴，糖尿病，肥満）を全く認めない．たまたま検診のつもりで冠動脈 MDCT 検査を受けたところ，LAD #6 に小さな石灰化を認め，1 年後に行われた造影冠動脈 MDCT では，石灰化の近位部側にソフト・プラークを認め，25%狭窄が検出された．

症例4 (図9) は，冠動脈造影法 (CAG) 上で LAD #6 (A) に 75%狭窄と潰瘍を，#7 (C, G) にも狭窄を認めるが，どの病変が不安定プラークかを判定することは困難である．本例では MDCT 上，LAD #6 (A) と #7 (G) に CT 値の低い大量の脂質が蓄積したプラークを認め，これらの病変をターゲットに治療が行われるべきであると思われる．このように MDCT では CAG からだけでは判定できないプラーク性状に関する情報を提供し得る．

3. 無症候性冠動脈疾患の診断

全く無症候であっても，MDCT で冠動脈の石灰化が発見されることがある．症例5 (図10) は，ほとんど冠動脈危険因子を有さない45歳，男性であるが，LAD #6 に小さな石灰化を認め，1年後にこの造影冠動脈 MDCT が実施され，LAD #6 に小さなソフト・プラークを認めた．

このように狭心痛がなくても冠危険因子を複数もつ場合は冠動脈 MDCT を行い，冠動脈石灰化，ソフト・プラークがあれば，積極的な検査と治療を行う必要があると思われる．ただ，MDCT は放射線被曝を伴うので，安易に検査は行うべきでないと考えられる．

VII. MDCT の問題点と将来像

機器に関しては，現在，各社から 64 列 MDCT が発売され普及しつつある．撮像時間（息止め時間）は多列化に伴い，16 列で約 30 秒，64 列で 7 秒と短縮されてきた．今後 128 列，256 列と多列化が進むと思われるが，検出器が薄くならなければ空間分解能は改善しない．検出器が薄くなれば検出器の感度を上げる必要があり，これができなければ X 線の出力を増加させなければならず，被曝が重要な問題となってくる，また，多列化すればするほどコーン角は広がり歪んだ画像を補正する必要が出てくる．画質を落とさず被曝量を低減させる方法や，画像再構成に必要な時相だ

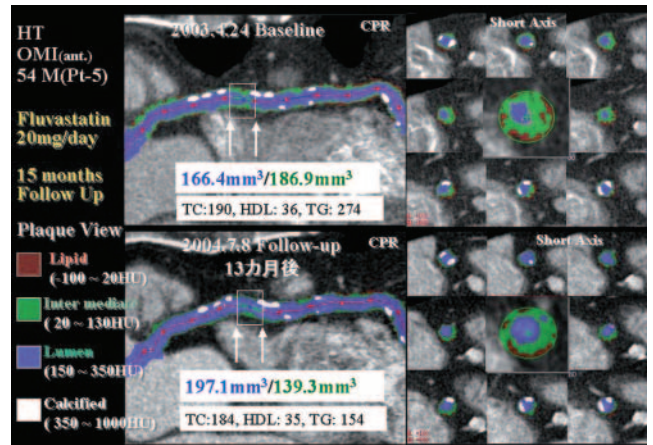


図11 閾値処理によるプラークの定性的/定量的評価
フルバスタチン（ローコール®）20 mg を 13 カ月投与し，その前後で MDCT 検査を行い，冠動脈プラークの体積を定量的に解析した．Soft plaque (赤) は -100~20 HU, fibrous plaque (緑) は 20~130 HU (この設定では血管とのオーバーラップがあり得る)，血管内腔 (lumen) (青) 150~350 HU, calcified plaque (白) は 350~1000 HU として表示した．プラークの部分では血管内容積は 166.4 mm³ から 197.1 mm³ に増加(狭窄度が軽減)し，プラーク容積は 186.9 mm³ から 139.3 mm³ に減少した．血管壁には多数の spotty calcification が認められる．また，投与前にあった血管壁内のソフト・プラークが投与後消失した．ただし，血管外側周囲の赤で示されている部分は血管周囲の脂肪組織である．

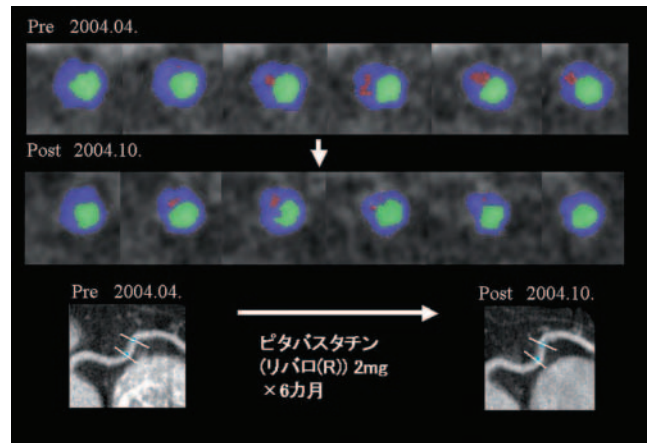


図12 特殊なフィルタリング処理により得られたプラークの退縮
ピタバスタチン（リパロ®）2 mg 投与前と 6 カ月後の MDCT 像である．この画像は現在開発中の特殊なフィルタリング処理により得られたもので，赤で示すプラークの退縮が明瞭に示されている．

け曝射して被曝を低減させる方法が考案されているが，まだ実用化の段階ではない．また，時間分解能を上げるには X 線管球の回転速度をさらに上げる必要があるが，これも簡単には実現しない．

一方，MDCT の導入により多量（1 患者当たり 500~1000 枚の断面像）の情報が入手可能となったが，この膨大な情報を後処理するソフトウェアの開発は十分とはいえない．心機能解析，冠動脈 MPR 画像，volume rendering 3-D 画

像などを作成すると通常1患者当たり20~40分を要する。さらにプラークを定量的に評価できるソフトの開発も重要課題である。われわれは東芝メディカルシステムズと協力して、2002年から“Plaque View®”ソフトウェアの開発を行っている³⁹⁾。プラークを定性的/定量的に解析するには、単純にCT値で各組織の閾値設定を行い、1) soft plaque, 2) intermediate plaque, 3) calcified plaque, 4) 正常血管壁, 5) 血栓, 6) 血管内腔, が区別できれば簡単である。しかし、1)と5), 2)と4), 3)と6)はCT値にオーバーラップがあり得るので識別は困難である。また、プラークは小さく、血管内側に存在し、血液(造影剤)に隣接しているので、造影剤濃度の影響を受ける可能性があるが、造影剤の濃度を各症例で一定にすることは困難である。また、プラークはしばしば高輝度の石灰化と隣り合わせに存在するので、プラークのCT値は石灰化病変の影響を受ける。したがって、どの症例にも適合する一定の閾値設定は困難である。そこで、開発中の“Plaque View®”ソフトウェアでは、症例によって、もしくは施設の撮影条件によって閾値設定を可変とした。われわれは、この“Plaque View®”ソフトウェアを用いFulvastatinのプラーク退縮効果を検討中である(図11)。さらにCT値の閾値だけによらない特殊なフィルタリング処理ソフトウェアも開発中である。図12にピタバスタチン(リバロ®)2mg投与前と6カ月後のMDCT像を示すが、これは特殊なフィルタリング処理を行ったものである。今後、これらのソフトが完成すれば、薬剤治療効果判定にもMDCTは役立つものと確信している。

文 献

- Ryan TJ: The coronary angiogram and its seminal contribution to cardiovascular medicine over five decades. *Circulation* 2002; **106**: 752-756
- Sones FM Jr, Shirey EK: Cine coronary arteriography. *Mod Concepts Cardiovasc Dis* 1962; **31**: 735-738
- Ricketts HJ, Abrams HL: Percutaneous selective coronary cine arteriography. *JAMA* 1962; **181**: 620-624
- Judkins MP: Selective coronary arteriography: I. a percutaneous transfemoral technic. *Radiology* 1967; **89**: 815-824
- Ross R: The pathogenesis of atherosclerosis: a perspective for the 1990s. *Nature* 1993; **362**: 801-809
- Topol EJ, Nissen SE: Our preoccupation with coronary luminology. The dissociation between clinical and angiographic findings in ischemic heart disease. *Circulation* 1995; **92**: 2333-2342
- Fayad ZA, Fuster V: Clinical imaging of the high-risk or vulnerable atherosclerotic plaque. *Circ Res* 2001; **89**: 305-316
- Boyd DP: Computerized transmission tomography of the heart using scanning electron beams. *in CT of the Heart and Great Vessels: Experimental Evaluation and Clinical Application*, ed by Higgins CB, Futura Publishing, Mt Kisko, 1983, 45-60
- Committee on Advanced Cardiac Imaging and Technology, Council on Clinical Cardiology, and Committee on Newer Imaging Modalities, Council on Cardiovascular Radiology, American Heart Association: Potential value of ultrafast computed tomography to screen for coronary artery disease. *Circulation* 1993; **87**: 2071-2074
- Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, Zusmer NR, Viamonte M Jr, Detrano R: Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1990; **15**: 827-832
- 森 一生, 齋藤清人, 朝比奈清敬: 全身用X線CT TCT-900S. *メディカルレビュー* 1987; **42**: 80-82
- Mori I: Computerized tomographic apparatus utilizing a radiation source. US Patent 4: 630, 202, 1986
- 安野泰史, 片田和廣, 駒井哲之, 藤井直子, 古賀佑彦, 岩瀬秋吉, 井田義宏: 螺旋走査型CTにおける実践的造影法—心・大血管領域の造影ヘリカルスキャン法. *日獨医報* 1999; **44**: 284-291
- 東木裕介: ヘリカルスキャンの原理. ヘリカルスキャンの基礎と臨床—連続回転型CTの応用, 木村和衛, 古賀佑彦監修, 医療科学社, 東京, 1993, 110-120
- 安野泰史, 近藤 武, 片田和廣, 竹内 昭, 辻岡勝美, 井田義宏, 古賀佑彦: Helical scanning CTにおける冠動脈の描出—心拡張期再構成法—. *日医放会誌* 1993; **53**: 1033-1039
- 安野泰史: ヘリカルスキャンの心臓への応用. ヘリカルスキャンの基礎と臨床—連続回転型CTの応用, 木村和衛, 古賀佑彦監修, 医療科学社, 東京, 1993, 195-204
- 安野泰史, 長谷川 裕, 近藤 武, 古賀佑彦: ヘリカルスキャンCTによる冠動脈病変の描出—冠動脈造影との比較—. *日本臨床* 1994; **52**: 447-451
- 渡邊尚史: Half-Second Real Time Helical CT Scanner, Aquilion™の開発. *メディカルレビュー* 1999; **72**: 56-61
- 齋藤泰男: マルチスライスX線CTスキャナ. *メディカルレビュー* 1998; **71**: 12-20
- 片田和廣: Half-Second Submillimeter Real-Time Multirow Helical CT. *メディカルレビュー* 1999; **72**: 62-70
- Gibbons RJ, Araoz PA: The year in cardiac imaging. *J Am Coll Cardiol* 2004; **44**: 1937-1944
- 近藤 武: マルチスライス・ヘリカルCTによる循環器疾患の診断(臨床編)「循環器病への挑戦」シリーズ23, ライフメディコム, 名古屋, 2004
- Kitagawa T, Fujii T, Tomohiro Y, Maeda K, Kobayashi M, Kunita E, Sekiguchi Y: Noninvasive assessment of coronary stents in patients by 16-slice computed tomography. *Int J Cardiol* 2005; in press
- 佐藤貴久, 安野泰史, 近藤 武: マルチスライスCT. *Mebio* 2005; **22**(4): 57-65
- Song MH, Ito T, Watanabe T, Nakamura H: Multidetector computed tomography versus coronary angiogram in evaluation of coronary artery bypass grafts. *Ann Thorac Surg* 2005; **79**: 585-588
- Khan MF, Herzog C, Landenberger K, Maataoui A, Martens S, Ackermann H, Moritz A, Vogl TJ: Visualisation of non-invasive coronary bypass imaging: 4-row vs. 16-row multidetector computed tomography. *Eur Radiol* 2005; **15**: 118-126
- Chiurlia E, Menozzi M, Ratti C, Romagnoli R, Modena MG: Follow-up of coronary artery bypass graft patency by multislice computed tomography. *Am J Cardiol* 2005; **95**: 1094-1097
- Martuscelli E, Romagnoli A, D'Eliseo A, Tomassini M, Razzini C, Sperandio M, Simonetti G, Romeo F, Mehta JL:

- Evaluation of venous and arterial conduit patency by 16-slice spiral computed tomography. *Circulation* 2004; **110**: 3234-3238
- 29) Dorgelo J, Willems TP, van Ooijen PM, Panday GF, Boonstra PW, Zijlstra F, Oudkerk M: A 16-slice multidetector computed tomography protocol for evaluation of the gastroepiploic artery grafts in patients after coronary artery bypass surgery. *Eur Radiol* 2005; in press
- 30) Libby P: Current concepts of the pathogenesis of the acute coronary syndromes. *Circulation* 2001; **104**: 365-372
- 31) Libby P: Molecular bases of the acute coronary syndromes. *Circulation* 1995; **91**: 2844-2850
- 32) Schaar JA, Muller JE, Falk E, Virmani R, Fuster V, Seruys PW, Colombo A, Stefanadis C, Ward Casscells S, Moreno PR, Maseri A, van der Steen AF: Terminology for high-risk and vulnerable coronary artery plaques. *Eur Heart J* 2004; **25**: 1077-1082
- 33) Ehara S, Kobayashi Y, Yoshiyama M, Shimada K, Shimada Y, Fukuda D, Nakamura Y, Yamashita H, Yamagishi H, Takeuchi K, Naruko T, Haze K, Becker AE, Yoshikawa J, Ueda M: Spotty calcification typifies the culprit plaque in patients with acute myocardial infarction: an intravascular ultrasound study. *Circulation* 2004; **110**: 3424-3429
- 34) Wilson SH, Herrmann J, Lerman LO, Holmes DR Jr, Napoli C, Ritman EL, Lerman A: Simvastatin preserves the structure of coronary adventitial vasa vasorum in experimental hypercholesterolemia independent of lipid lowering. *Circulation* 2002; **105**: 415-418
- 35) Kolodgie FD, Gold HK, Burke AP, Fowler DR, Kruth HS, Weber DK, Farb A, Guerrero LJ, Hayase M, Kutys R, Narula J, Finn AV, Virmani R: Intraplaque hemorrhage and progression of coronary atheroma. *N Engl J Med* 2003; **349**: 2316-2325
- 36) Schroeder S, Kopp AF, Baumbach A, Meisner C, Kuettner A, Georg C, Ohnesorge B, Herdeg C, Claussen CD, Karsch KR: Noninvasive detection and evaluation of atherosclerotic coronary plaques with multislice computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2001; **37**: 1430-1435
- 37) Inoue F, Sato Y, Matsumoto N, Tani S, Uchiyama T: Evaluation of plaque texture by means of multislice computed tomography in patients with acute coronary syndrome and stable angina. *Circ J* 2004; **68**: 840-844
- 38) Motoyama S, Kondo T, Ito Y, Mori K, Sugiura A, Okamura M, Ishii J, Harigaya H, Inoue K, Sato T, Ohshima K, Kakiyama S, Hishida H: 0.5 mm-slice multi-detector row spiral computed tomography can detect vulnerable plaques. *Circ J* 2005; **69** (Suppl 1): 213
- 39) 近藤 武, 安野泰史, 成田 翔, 佐藤貴久, 藤澤恭子, 奥村美和: "Plaque View®" による冠動脈粥腫 (プラーク) の評価. 特集: 最新 CT/MRI データを活用した解析・CAD ソフト. *RadFan* 2005; **3** (3): 83-85