

16 列 multidetector-row CT (MDCT) による 冠動脈画像診断の透析患者への応用

古賀伸彦* 福成健一* 吉戒 勝** 川崎友裕** 加藤曜子*

* 古賀病院 21 ** 新古賀病院

key words : multidetector-row CT, 冠動脈診断, 冠動脈疾患, 維持透析

要 旨

慢性透析療法において、透析患者の高齢化、長期化、糖尿病の増加に伴い冠動脈疾患対策はますます重要になってきている。最近の X 線 CT 診断装置の進歩には目覚しいものがあり、昨年発売された 16 列多列検出器搭載ヘリカル CT (multidetector-row CT; MDCT) は、不整脈がなく、20 秒間の息止め可能な患者であれば、鮮明な冠動脈画像を描出できるようになった。従来より、冠動脈診断の gold standard とされた CAG は侵襲的検査であるために、透析患者への適用は躊躇されることも多かった。MDCT は透析患者において、冠動脈狭窄のスクリーニング、冠動脈石灰化の診断、冠動脈プラークの存在や性状診断、CABG 後のバイパスグラフト開存の判定、PCI 後の経過観察などに用いることができる。MDCT は、CAG の代替やあるいはそれを超える診断法として、透析患者の身体的、経済的負担を減らし、早期診断による生命予後や QOL の改善、冠動脈硬化の発症や進行の解明などに有用性が期待される。

はじめに

日本透析医学会の統計調査¹⁾によると、2002 年 12 月 31 日現在、わが国の慢性透析患者数は 22.9 万人を超え、死因の第一位は心不全 (25.1%) で、心筋梗塞

(7.4%) を合わせると心臓合併症は 32.5% に達している。また、脳血管障害の 11.2% を加えると、実に 43.7% が心臓血管障害で死亡している。このように心血管合併症は慢性透析患者の生命予後や QOL に大きな影響を及ぼしている。とりわけ冠動脈疾患は、透析の長期化、患者の高齢化、糖尿病患者の増加に加えて、冠動脈インターベンション (PCI) やバイパス手術 (CABG) の進歩と普及により、ますます増加傾向にあり、その対策は維持透析患者の管理上、重要な課題といえる。

従来より、冠動脈疾患のスクリーニングには、心電図、負荷心電図、24 時間心電図、心エコー図、ドプラー検査、心筋シンチグラフィなどの非侵襲的検査が行われ、確定診断には CAG が観血的に施行されてきた。CAG は冠動脈疾患診断の gold standard であり、機器や技術の進歩により安全性が増したが、透析患者においてはその侵襲性のために躊躇されることも多い。そのため、透析患者では急性冠症候群 (心筋梗塞、不安定狭心症など) を発症して初めて発見される場合も多く、生命予後に重大な影響を及ぼしている。非侵襲的な冠動脈診断が可能になれば、早期対策が可能になり、患者の生命予後や QOL の改善に寄与することが期待される。

最近の X 線 CT 装置の進歩には目覚しいものがあり、多列検出器搭載ヘリカル CT (multidetector-row

CT; MDCT), 特に 16 列 MDCT は冠動脈画像の非侵襲的診断を可能にした画期的な診断装置である。MDCT は心拍変動が少なく, 20 秒間の呼吸停止が可能な患者においては, 高率に冠動脈画像の描出が可能である。透析患者特有の高度石灰化を伴う症例では狭窄度の判定が困難であるが, その一方では石灰化の詳細な診断が可能である。本稿ではこの新しい画像診断法の透析患者の冠動脈疾患への応用について, 自験例を中心に述べる。

1 MDCT による冠動脈造影の実際

冠動脈 CT の実用化を可能にしたのは, 検出器の多列化, ガントリ回転速度の高速化, 画像再構成法の進歩による。ちなみに当院で使用している GE 社の 16

列 MDCT 装置 (図 1) では, 心拍変動の少ない状態で, 20 秒程度の呼吸停止下に, 造影剤 60~75 ml を注入速度 3 ml/分で末梢静脈より注入し, 生理食塩液 20 ml で後押ししている。ガントリ回転速度 0.5 秒で得られたスライス厚 0.625 mm の 200 枚ほどの画像を再構成して冠動脈造影画像を表示している。画像再構成法は低心拍数の場合にはハーフ再構成法を用いるが, 高心拍数の場合にはマルチセクタ再構成法を用いる²⁾。

2 冠動脈画像表示法

冠動脈画像表示法として, 通常の axial 画像のほかにも volume rendering (VR) 法, multiplaner reformation (MPR) などが用いられる。

VR 画像では心臓や冠動脈の全体を表示することが



図 1 多列検出器搭載ヘリカル CT 装置 Light Speed Ultra (GE 社製)



図 2 volume rendering 画像
左図: 右冠動脈, 右図: 左冠動脈

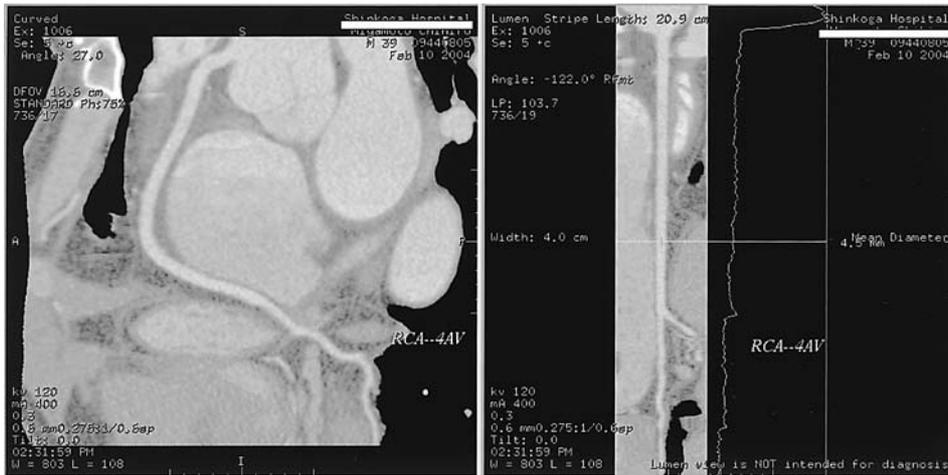


図3 multiplaner reformation (MPR) 画像 (正常右冠動脈)
 左図: curved MPR 画像, 右図: vessel analysis

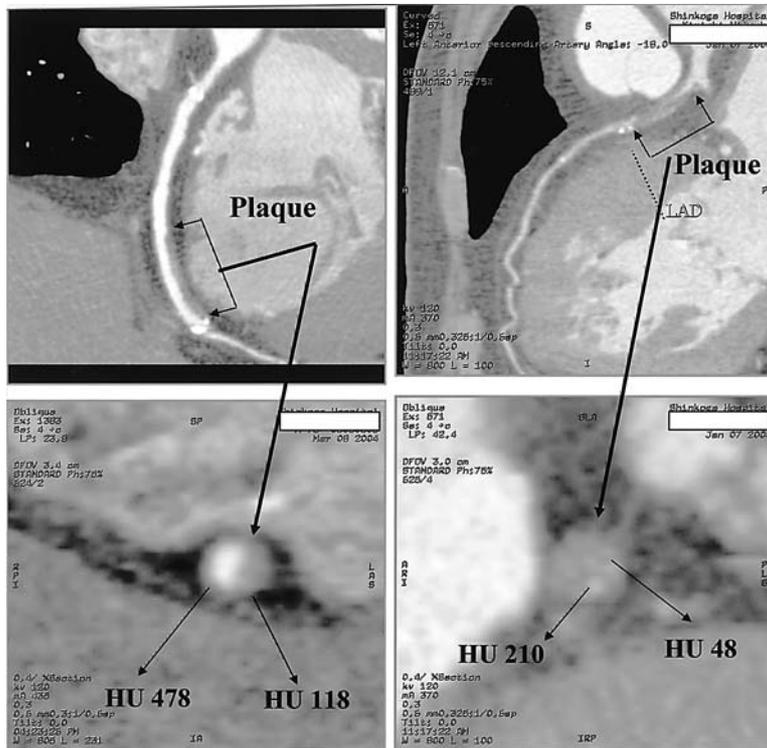


図4 冠動脈プラークの2症例

左図: 上段 curved MPR 画像では右冠動脈中位部に長区間のプラークを認める。下段の cross-sectional MPR 画像では HU 値 118 であり, 線維性プラークが示唆される。
 右図: 上段 curved MPR 画像では, 左冠動脈近位部にプラークを認める。下段の cross-sectional MPR 画像では HU 値 48 であり, 血栓や脂質に富むプラークの可能性がある。

可能である。洞房結節枝, 房室結節枝, 円錐枝なども高率に描出可能であり, CAG では平面的にしか認識できない画像を立体的に認識することができる (図2)。

冠動脈の詳細や病変の評価には, 蛇行する冠動脈を1平面に描出する curved MPR や冠動脈を直線的に

展開して断面積や径を表示する vessel analysis を用いる (図3)。

狭窄病変の狭窄率の評価やプラークの性状診断には, 冠動脈走行に直行する短軸断面 (cross-sectional MPR) を活用する (図4)。

3 冠動脈狭窄度の評価

現在の冠動脈 MDCT は、AHA（米国心臓協会）分類の末梢枝を含むすべての分節の描出が可能であるが、冠動脈狭窄に関しては不整脈、モーションアーチファクト、石灰化などのために CAG と同様に安定して評価できるわけではない。Sato らは連続 54 例にお

ける CAG との対比では、50% 以上の狭窄を検出する MDCT の診断感度は 94%、診断特異度は 97% と良好な相関を報告している³⁾。当院での非透析例 38 症例、透析症例 7 例の初期成績では、診断感度はそれぞれ 82% と 78% であり、診断特異度はそれぞれ 94% と 87% であった（表 1）。まだ経験の浅い初期の成績であるので、Sato らの報告に較べて診断感度、特異

表 1 16 列 MDCT の診断成績と特異性

	佐藤ら ³⁾	自験例	
	非透析例 (54)	非透析例 (38)	透析例 (7)
診断感度	94%	82%	78%
診断特異度	97%	94%	87%

() 内は症例数

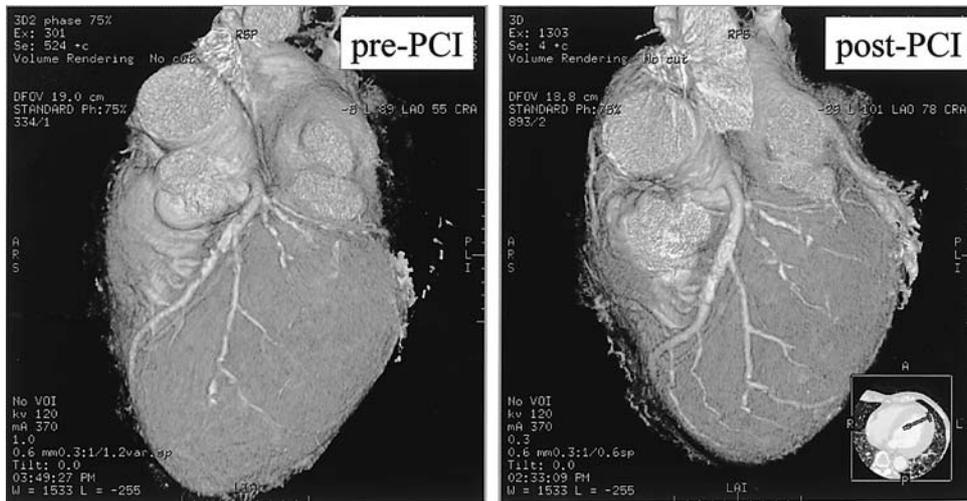


図 5 左冠動脈のステント留置前後の VR 画像

左図：PCI 施行前。左前下行枝近位部に石灰化と狭窄を認める。
右図：同部位のステント留置後の VR 画像。

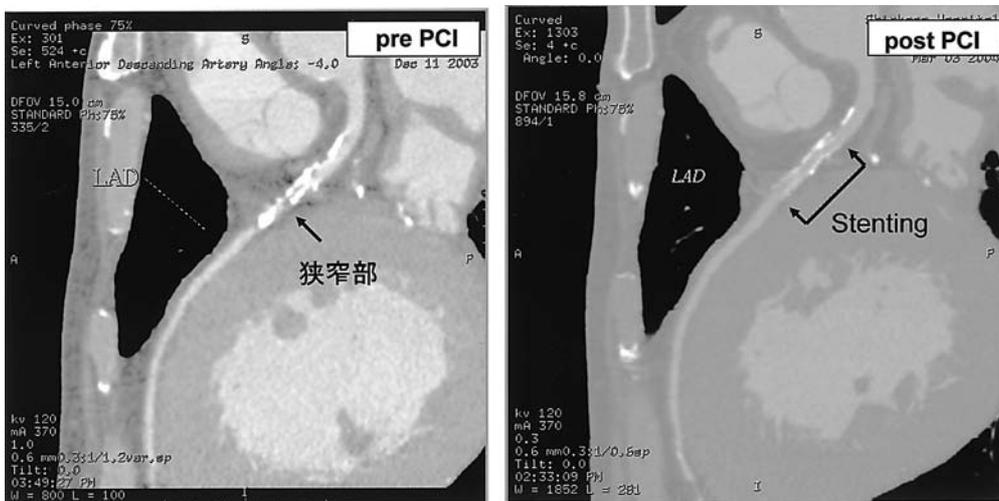


図 6 左冠動脈のステント留置前後の curved MPR 画像

左図：PCI 施行前。左前下行枝の狭窄部に石灰化を認める。
右図：同部位のステント留置後の curved MPR 画像では留置したステントにより、内腔の拡張が得られている。

度ともに低値であるが、透析例は非透析例に比較してさらに低値であった。

Kitagawaらは、一般の冠動脈疾患が疑われた患者70例のMDCTのAHA分類基準の冠動脈14分節別に画像の良否を検討した。70例の14分節計980分節中821分節(83.8%)が評価可能であったが、159分節(16.2%)は判読不可能であった。分節別に見ると#5, #8, #11, #1, #3などの左主幹部, 左回旋枝近位部, 右冠動脈近位部などは90%以上評価可能であった。#7, #2, #4 PD, #4 AVなどは90~80%であり, #6, #9, #13は80~70%, そして, #12, #14は70~60%程度, 判読可能な良好な画像が得られた。判読不可能な理由として, 血管が小さく描出されない場合, 心拍動によるアーチファクト (bounding artifact), 石灰化, 完全閉塞部やステント留置部などが評価不能であった。右冠動脈#2は心拍動のため, 左前下行枝#6は石灰化のために評価不能になる傾向が見られた⁴⁾。

自験例の透析患者では, 冠動脈石灰化や過剰な心拍動によるアーチファクトなどが狭窄度の評価を困難にしていた。特に, #2や#6などの主要冠動脈の評価が困難であることは臨床的に看過できない問題である。

[症例]

62歳男性, 透析歴8年, 維持透析中に心不全を発症。狭心痛は伴わなかったが, ECGで心筋虚血が疑われたため, 症状改善後にMDCTを実施。VR画像で左前下行枝近位部に石灰化を伴う高度狭

窄性病変を認めたためCAGを施行。同部位に90%狭窄を認めPCIの適応と診断し, 同部位にステント留置を行った(図5, 6)。

透析患者では, 心不全やECG異常を呈する症例は多く, 本例は狭心症もなかったため, 従来ならばCAGまでは行わないケースであったが, MDCTが診断の確定に寄与し, その臨床的有用性が示された症例であった。

4 冠動脈石灰化

透析患者では血管石灰化が高頻度に認められ, 加齢, 透析期間, PTH高値, 高P血症, Ca含有P吸着剤投与による高Ca血症などにより進行し, 生命予後と関連することが指摘されている^{5, 6)}。従来より冠動脈石灰化の画像診断には電子ビーム (electron beam; EB) CTが用いられてきた。Baumgart⁷⁾によればEBCTによる冠動脈石灰化の診断感度は97%, 精度は80%, 診断率82%だが, 冠動脈狭窄の診断感度は66%と低い。EBCTはMDCTに比べて空間分解能 (スライス厚3mmに対して0.5mm) が低いことや時間分解能も低いことから, 血管石灰化の診断にもMDCTのほうが優れている。

[冠動脈の高度石灰化症例]

透析歴(5年, 痛風腎61歳男性)不安定狭心症の症状を呈したが, 冠動脈CTでは左前下行枝起始部の狭窄を確定診断できなかった(図7)。

[長期透析2症例のcurved MPR画像]

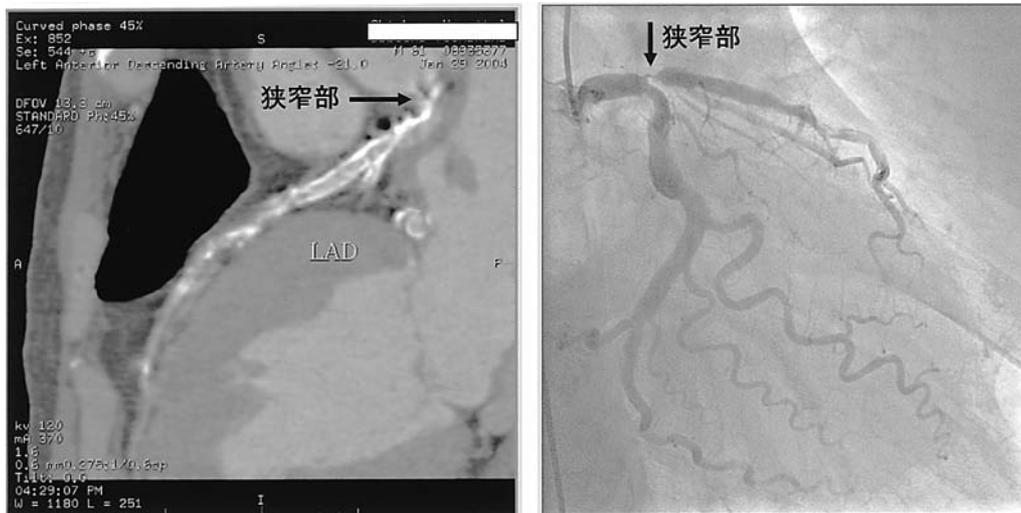


図7 冠動脈の高度石灰化症例, 透析歴5年, 61歳男性

左図: 左前下行枝のcurved MPR画像では, 瀰漫性に石灰化を認めるが, 近位部の狭窄は明らかではない。
右図: CAGでは近位部の狭窄は明瞭だが, 石灰化所見には乏しい。

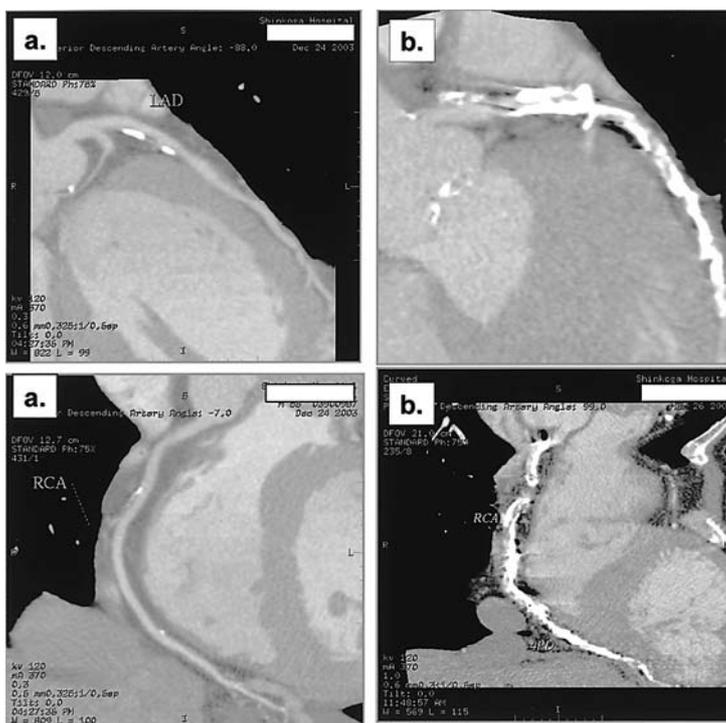


図8 対照的な冠動脈石灰化所見を呈した長期透析の2症例

左図：57歳男性，CGN，透析歴22年．6年前PTX，iPTH 230，Ca 8.4，P 6.4，アルファロール0.25 μ g/日，カルタン6錠/日．curved MPR画像では石灰化所見は軽度．

右図：54歳男性，CGN，透析歴26年．PTX（-），iPTH 260，Ca 11，P 6.1，オキサロール7.5 μ g \times 3/週，レナジェル12錠/日．curved MPR画像では冠動脈は瀰漫性に高度の石灰化を示している．

図8に長期透析2症例のcurved MPR画像を示した．いずれも慢性糸球体腎炎による腎不全で，透析歴22年の57歳男性と透析歴26年の54歳男性の症例である．一見，同様の経過をたどった2症例であるが，冠動脈石灰化の程度は対照的であった．冠動脈石灰化の病因と治療法の解明が，今後の透析療法の重要な課題であることを再認識させられる所見であった．

5 プラークの検出と性状評価

急性心筋梗塞や不安定狭心症などの急性冠症候群の原因は突然のプラークの破綻とそれに続いて起きる血栓形成による動脈閉塞であり，必ずしも高度狭窄部位が閉塞するのではないことが知られている．破綻しやすい脂質に富む，線維性被膜の薄い，炎症性細胞浸潤の盛んなプラーク（不安定プラーク）の診断は急性冠症候群の発症予防の観点からきわめて重要な臨床的課題である．このようなプラークの診断は，CAGでは不可能であり，冠動脈内エコーや血管内視鏡で診断が

試みられている．MDCTによる非侵襲的冠動脈プラーク診断の可能性には大きな期待が寄せられている．冠動脈プラークの質的，量的な診断が可能になれば，急性冠症候群の発症予測，個々の患者に適した脂質低下療法の決定や治療効果の判定など，動脈硬化の診療に革新的変化が生まれるものと思われる．

MDCTではプラークの性状評価にCT値（hounsfield値；HU）を用いるが，冠動脈内エコーと対比した研究では脂質に富むプラークは-42～47 HU，線維性プラークは61～112 HU，石灰化は126～736 HUであった⁸⁾．

[症例]

図4に冠動脈プラークの2症例を提示した．図左上段のcurved MPR像では，右冠動脈中位部位にプラークを認める．下段のcross-sectional MPR像ではHU値118であり線維性プラークが示唆される．図右の上段のcurved MPR像では，左冠動脈近位部位にプラークを認める．下段のcross-sectional MPR像ではHU値48であり血栓や脂質

に富むプラークの可能性が高い。

このように CT 値でプラーク性状を大まかに評価することは可能であるが、冠動脈プラークのように心拍動下に小さなサイズのものを評価する場合には多くの考慮すべき要因があり、陣崎らは以下のように述べている⁹⁾。

partial volume effect：病変部とそれに接する非病変部が同じスライス中に含まれると、その部位の CT 値は両者の中間的な値になる。この効果を除外するにはできるだけ薄いスライスでの撮像が望ましい。

造影による pseudoenhancement：周囲に極端に異なる濃度が存在すると CT 値に影響を与えることがある。冠動脈の場合、プラーク周囲の血管腔は造影後 250～300 HU に達するため、造影によりプラークに pseudoenhancement を生じる可能性がある。

心拍動による影響：心拍数により画像再構成法を使い分けているため、時間分解能が心拍毎に変動して CT 値に誤差を生じる可能性もある。

石灰化による undershooting：プラークの一部に石灰化が存在すると、石灰化辺縁に生じるプラークの undershooting artifact により、プラークの非石灰化部の濃度が低く表示されやすい。透析患者では重度の石灰化プラークが存在することが多く、内腔の開存性の評価を困難にしている。

プラークの不均一性：プラーク内には脂質、線維成分、炎症細胞浸潤などの種々の成分が混在しており、ROI を用いて計測しても各成分を認識するのは困難である。

冠動脈プラークの造影効果：プラーク内に炎症の存

在する場合には、造影剤により増強効果を呈する可能性がある。

一般人における冠動脈プラーク診断の重要性について述べたが、透析患者では高度石灰化病変を示す症例が多く、一般人に見られるプラーク診断をそのまま適用することは困難である。しかし、MDCT による透析導入期からの長期的な経過観察が、透析患者の冠動脈硬化の発症や進行の解明に寄与するものと期待したい。

6 冠動脈バイパスグラフトの評価

最近の CABG の進歩には目覚ましいものがあり、特に人工心肺を用いない低侵襲性心拍動下手術の普及により、透析患者のようなハイリスク症例においても安定した手術成績が得られるようになった。CABG 後のグラフト開存性の評価には CAG が用いられているが、MDCT で可能であれば患者の負担の軽減、グラフト閉塞の早期発見など透析患者にとってメリットは大きい。

木村らは吻合部の評価を行い吻合部の有意狭窄無に関して、診断感度 84%、診断特異度 90% の良好な結果を報告している¹⁰⁾。

[症例]

IABP 下に無輸血準緊急的に心拍動下冠動脈 5 枝バイパス術 (off pump CABG) 施行した糖尿病性腎不全による透析歴 2 年の 56 歳男性。

図 9 は術後の MDCT である。内胸動脈がそれぞれ左前下行枝と対角枝に良好に吻合されている。

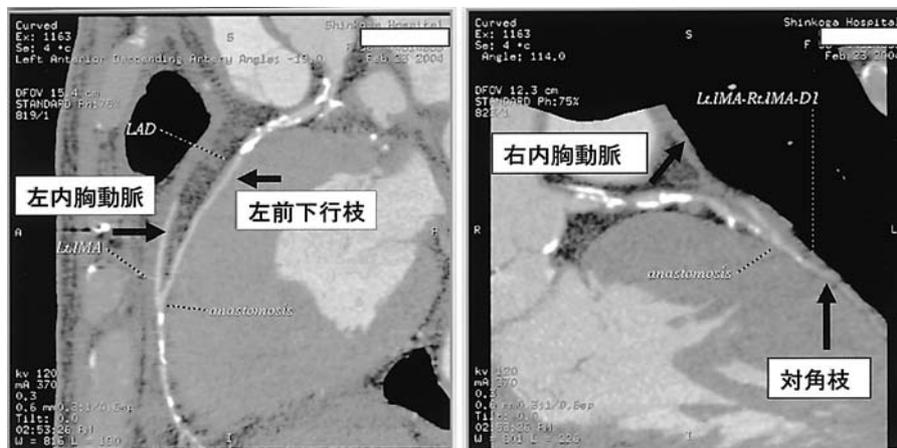


図 9 CABG 後の curved MPR 画像

左内胸動脈を左前下行枝に、右内胸動脈を対角枝に良好に吻合されている。

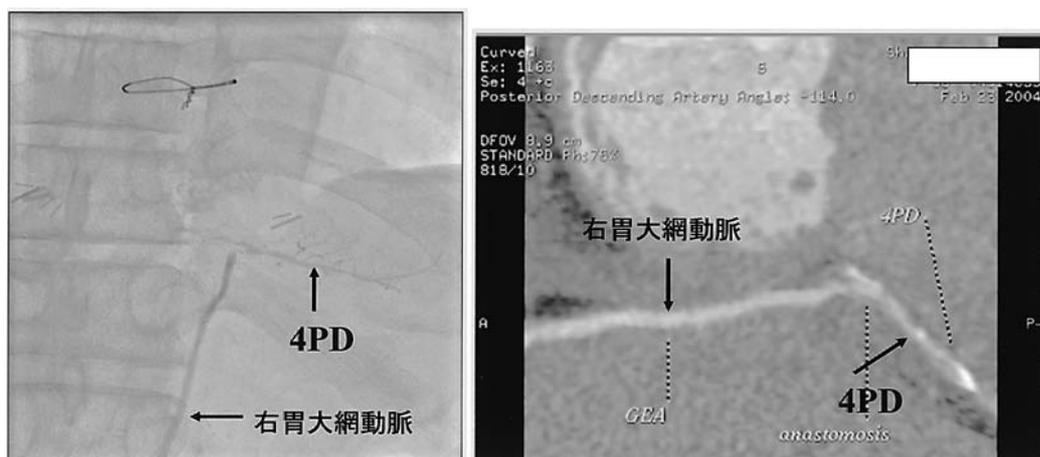


図10 胃大網動脈を右冠動脈後下行枝(4PD)に吻合
curved MPR 画像(右図)がCAG(左図)よりも、吻合部を明瞭に描出している。

図10に示されるように胃大網動脈と右冠動脈後下行枝の吻合部はCAGよりもMDCTで明瞭に描出されている。このようにMDCTはバイパス吻合部の開存状態の診断に有用であり、時にはCAG以上に詳細な情報を提供することが示された。

今後の課題としては、内胸動脈グラフト手術の増加に伴い、心臓部位だけでなく内胸動脈の起始部から冠動脈吻合部までの広範囲の画像を描出することが求められており、それには16列MDCTでは限界があり、さらなる技術の進歩が望まれる。

7 透析患者の経皮的冠動脈拡張術(PCI)の現状とMDCTによる経過観察

1977年、スイスのGruenzigがカテーテルで経皮的バルーン冠動脈拡張術(plain old balloon angioplasty; POBA)を開始して以来4半世紀が過ぎたが、この間percutaneous coronary intervention(PCI)の進歩と普及には目覚ましいものがある。1997年の日本心血管インターベンション学会の統計では、全国412施設で5万8,783件のPCIが行われ、CABGの6倍以上の治療が行われるまでに普及した。デバイスの進歩としては、1993年には方向性粥腫切除術(DCA)が登場し、1994年にはステント、カッティングバルーンが、1997年にはロータブレーターが、そして2004年には再狭窄を抑制する薬剤をコーティングした薬剤溶出性ステント(drug eluting stent; DES)が認可される予定である。

当施設での透析患者に対するPCIの成績(未発表データ)を述べると、1999年1月1日から2003年12

月31日までの5年間に186症例258病変にPCIを行った。男性126症例(67.7%)で、平均年齢:67.7±10.3歳、初期成功率:94.6%、再狭窄率:46.0%、再血行再建(TLR)率:32.6%であった。

透析群の冠動脈疾患には基礎疾患に糖尿病が有意に多く、多枝病変、石灰化病変、入口部病変などの複雑病変を多く認めた。初期成功率は比較的良好であったが、慢性期の再狭窄率と再血行再建(TLR)率は非透析群に比べ有意に高かった。

透析患者におけるPCIの問題点は、石灰化病変が多いため拡張不十分で、再狭窄率が高いことである。われわれの治療手段別の成績では、特にロータブレーター後にステントを留置した症例群で良好な結果が得られており、積極的にロータブレーターによる石灰化のアブレーション(切削)とステント留置による大きな内腔の保持を行うことで治療効果が改善する可能性が示唆された。しかし、それでも高率にステント再狭窄が生じており、DESの使用による再狭窄の低減に期待したい。

[症例]

図5,6に冠動脈ステント留置前後のMDCTを示した。ステント部位は金属の存在によるアーチファクトのため判定が困難なことも多いが、本例はstrutが薄いためか、内腔が良好に描出されている。ステントは種類によってステント内面の描出能が異なっており、ステント再狭窄の診断は今後の検討課題である。

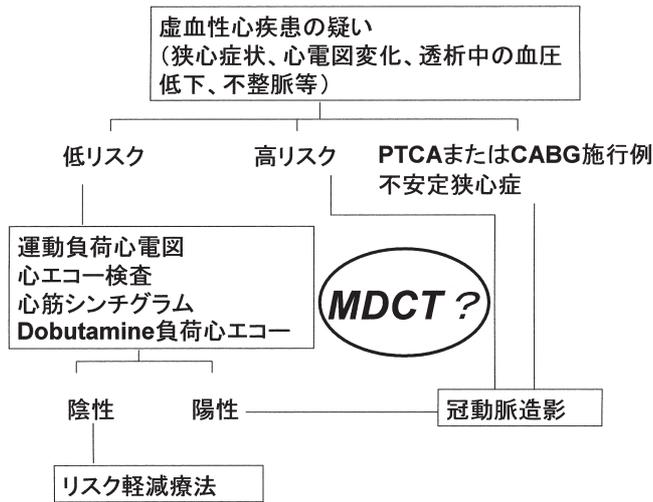


図 11 診断手順フローチャート

おわりに

この 30 年間、侵襲的な CAG により独占されていた冠動脈画像を、MDCT によって非侵襲的に鮮明に描出できるようになった。MDCT は、画像再構成上にいくつかの課題が残されているが、維持透析患者の心疾患管理において画期的な診断法である。この診断法を、従来からの冠動脈疾患の診断の手順¹¹⁾(図 11)にどのように組み入れていくのか、また限られた医療保険財政の中でどのように活用していくのか、医学面からまた医療面から多くの検討すべき課題がある。

文 献

- 1) 日本透析医学会統計調査委員会：わが国の慢性透析療法の現況 (2002 年 12 月 31 日現在)。透析会誌, 37(1); 1, 2004.

- 2) 栗林幸夫：マルチスライス CT による冠動脈疾患の診断。循環器専門医, 11; 46, 2004.
- 3) Sato Y, Matsumoto N, Kato M, et al.: Noninvasive assessment of coronary artery disease by multislice spiral computed tomography using a new retrospectively ECG-gated image construction technique: Comparison with angiographic results. *Circ J*, 67; 401, 2003.
- 4) Kitagawa T, Fujii T, Tomohiro Y, et al.: Coronary arteries visualization by 16 slice multidetector-row helical computed tomography (MDCT). *Jap Circ J*, 68(suppl); PJ 261, 2004.
- 5) 横山啓太郎：透析患者における血管石灰化の評価。骨と骨代謝, 16; 335, 2003.
- 6) 宇都宮正範：維持透析患者における冠動脈病変と石灰化に関する研究—冠動脈造影所見と背景因子の解析—。日腎会誌, 38; 155, 1996.
- 7) Baumgart D, Schmermund A, Goerge G, et al.: Comparison of electron beam computed tomography for detection of coronary atherosclerosis. *J Am Coll Cardiol*, 30; 57, 1997.
- 8) Schroeder S, Kopp AF, Baumbach A, et al.: Noninvasive detection and evaluation of atherosclerotic coronary plaques with multislice computed tomography. *J Am Coll Cardiol*, 37; 1430, 2001.
- 9) 陣崎雅弘, 佐藤浩三, 田波 穰, 他：16 スライス CT による冠動脈プラークの診断。映像情報, 36; 22, 2004.
- 10) 木村文子, 山本真人, 寺田茂彦, 他：16 列 MDCT による冠動脈バイパスグラフとの評価：冠動脈造影との比較。第 58 回心臓血管放射線研究会抄録集, 2004.
- 11) 大本由樹, 田村 勤：透析患者の虚血性心疾患治療。透析患者の循環器合併症; 丸茂文昭編, 中外医学社, 東京, p. 113, 1999.