

[ハートビュー]

Heart View

循環器専門医のための
診る・識る・治す

ISSN1342-6591 第22巻第11号平成30年11月9日発行
平成9年2月26日第3種郵便物認可（毎月9日発行）

11
2018

特集

慢性閉塞性病変 strategy

企画・構成／及川裕二

診る

- 1 冠動脈CTでここまでわかる 管家鉄平
- 2 心臓MRIを血行再建に活かす 佐藤万基人, 寺島正浩
- 3 心臓核医学検査で何がわかるのか 舘野 円, 工藤 崇
- 4 治療方針選択に役立つ冠動脈造影の撮り方 鈴木孝英, 貴田岡 享, 小川裕二
- 5 患者背景を考慮した治療方針選択 下地顕一郎
- 6 **Expertise** 冠動脈造影と冠動脈CTの双方向連動を血行再建に生かす 高橋茂清

識る

- 7 慢性完全閉塞病変の病理所見を理解する 坂倉建一
- 8 慢性完全閉塞病変に対する血行再建は予後を改善するのか? 坂元 敦
- 9 **Expertise** 日本, および欧米での慢性完全閉塞病変に対するPCI成績 羽原真人

治す

- 10 最新のCTO-PCIテクニックーレトログレードアプローチー 加藤大雅
- 11 Parallel wiringとIntravascular ultrasound-guided wiringの基本 景山倫也
- 12 冠動脈バイパス術のPCIに対する優位性 田岡 誠, 田中正史
- 13 **Expertise** リエントリーデバイスによるCTO-PCI成功率向上は可能か? 松野俊介

連載

【責任冠動脈を追え! PCIエキスパートになるための25カ条】

第10条: IVUS guide PCI: エキスパートの視点を学ぶべし 高山忠輝

【魅せる! 聴かせる! 学会発表プレゼンテーション技法】

10 最終回 印象的な写真を活用する 渡部欣忍



MEDICAL VIEW

診る 1

冠動脈CTでここまでわかる

Potential of coronary computed tomography angiography for chronic total occlusion of coronary artery

冠動脈CTは経皮的冠動脈形成術（percutaneous coronary intervention：PCI）における治療戦略を立てるうえで有用であることがすでに知られている。本稿では冠動脈慢性閉塞病変に対するCTの正しい理解と活用法について解説する。

管 家 鉄 平 （華岡青洲記念心臓血管クリニック）

Point

- 1 冠動脈CTは、冠動脈慢性閉塞性病変においてカテーテルによる血管造影によって得られない閉塞部位の血管形態と性状を明らかにする。
- 2 CTにおけるサブトラクション法は、閉塞部位の組織性状を正確に把握するために有用な手段である。
- 3 CTのもっている情報を正しく活用することで、治療の成功率を上げると同時に、手技時間も短縮することができる。

はじめに

冠動脈CTは、虚血性心疾患の非侵襲的な器質的評価の方法として現在臨床で幅広く使用されているが、PCIにおける治療戦略を立てるうえでも有用なツールであることは、近年、十分に認識されるようになった。特に、最難関とされる慢性冠動脈閉塞を治療するには事前に多くの情報が必要であり、CTを施行することによって、カテーテルによる冠動脈造影（coronary artery angiography：CAG）では得られない有益な情報が得られるため、より詳細な治療戦略を立てることができる。

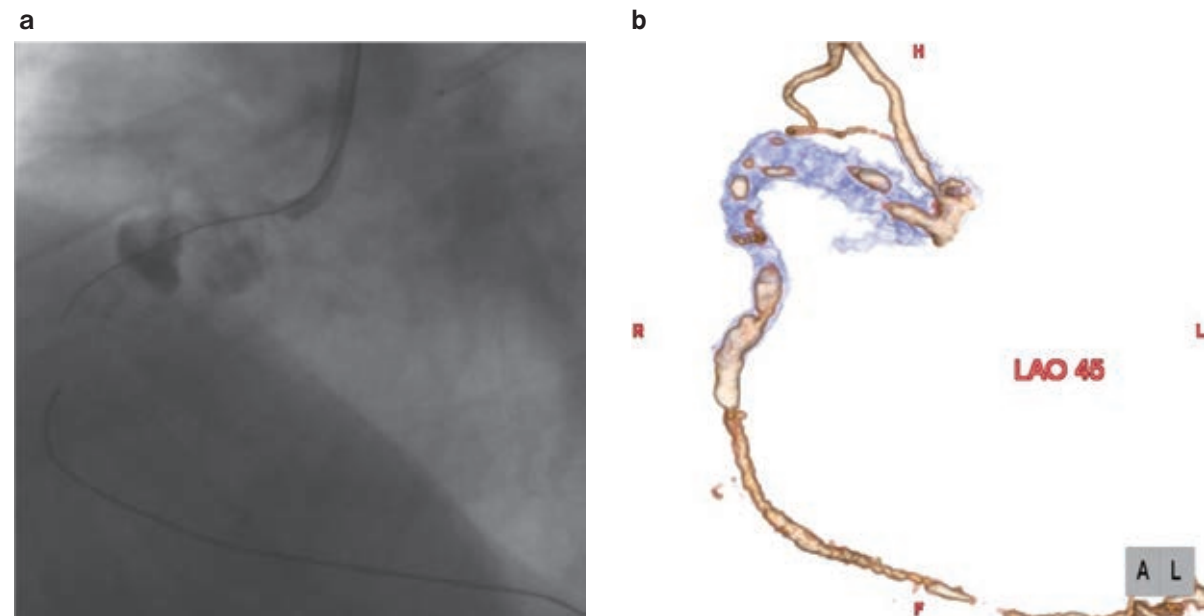
冠動脈CTで把握できる情報

CAGでは得られないが冠動脈CTによって把握できる情報として、まず閉塞部位の血管形態が挙げられる。**図1**の症例のように、CAGでは閉塞部位の血管形態がわからないため、閉塞部位がどのように屈曲しているかわからないまま硬いワイヤーで開通を試みると、血管損傷を起こしてしまうリスクが高まる。また、閉塞部位の血管径を把握することも重要で、ワイヤーの走行が血管閉塞を捉えているかどうかや、バルーン拡張する際のバルーンのサイズ選択を決める際に役に立つ。

また、CTは三次元情報を有するため、カテーテルによる血管造影の二次元画像において、治療対象となる部

図1：右冠動脈の慢性閉塞病変

- a：右冠動脈の慢性閉塞病変に対し、血管走行を把握しないまま硬いワイヤーを使用したところ、ワイヤーによる穿孔が生じた。
b：止血に成功し、術後安定期にCTを撮像したところ、近位部で屈曲している血管走行が明らかになった。



位が短縮しない透視角度を知ることができる。そして、PCI中に閉塞部位内でワイヤー操作をするうえで、ワイヤーの先端がどこにいるかを正確に把握するためには、閉塞血管に平行で、かつ、お互いが直行する2方向から観察することが最も重要である。血管造影装置のCアームは、三次元の動きが可能であり、さらに血管の走行は透視台の常に平行ではないため、上記の2方向の角度を正確に決めることは難しい。しかし、CTのワークステーション上ではその2つの直行する角度を容易に求めることができ、さらに、観察したい部位が他の血管と重ならない2つの直行する角度を選択することができるのも重要な点である。慢性閉塞部位の遠位端がわかっていて、1つの透視方向からワイヤーの左右の位置を合わせながら、同時に直行するもう1つの方向でワイヤーの深さの位置を合わせることができれば、非常に高い確率でワイヤー通過が可能となる（**図2**）。

また、閉塞部位の形態評価をする際は、血管と周囲の脂肪組織のCT値の違いを利用しているので、造影剤を

使用しなくても閉塞部位の血管形態を理解することができる。よって、造影剤を使用することがためられるような腎機能低下患者に対しては、単純CTで血管形態を評価することを積極的に行うべきである。

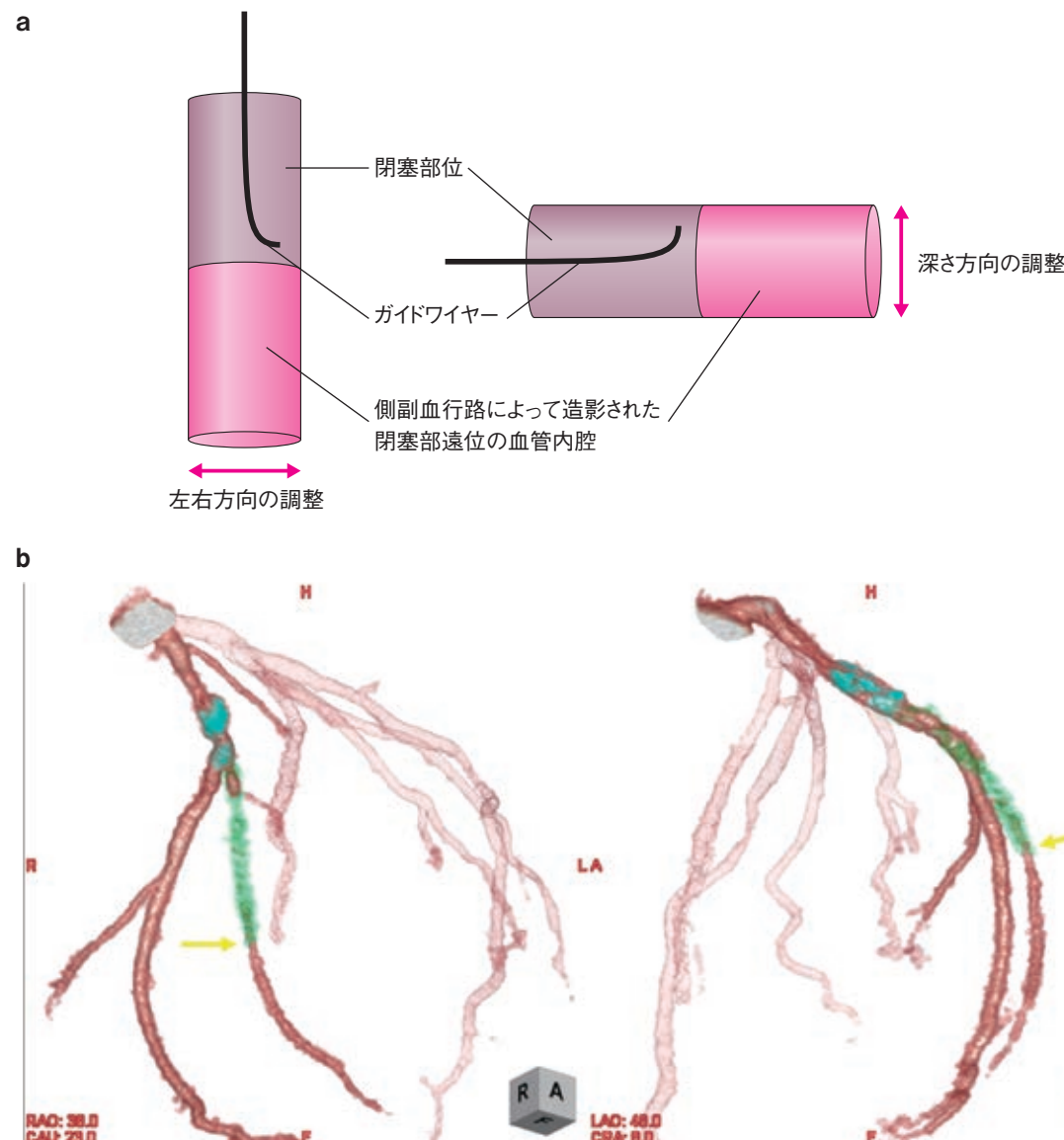
CT値で組織性状を評価する際の注意点とは

次に、CTでは閉塞部位の組織性状に関する情報が得ることができる。従来から、閉塞部位のCT値によって、柔らかい組織であるとか、石灰化の強い硬い組織であるなどと表現されることが多い。しかし、CT値で組織性状を評価する際には注意しなければいけないことがいくつか挙げられる。

まず、閉塞部位内にマイクロチャネルが存在したり、側副血行路により閉塞部位に造影剤の流入が認められたり、また血管壁にも vasa vasorum といわれる微細な栄養血管が存在したりすることがある。いずれの場合も造

図2：ワークステーションでの解析

- a：閉塞部位の遠位端が明らかであれば、血管走行と並行で、お互いが直行する2つの方向からワイヤーを操作できれば、確実に閉塞血管を開通することができる。
- b：左回旋枝の閉塞病変に対するPCIの事前に施行されたCTを、ワークステーションで解析することにより、他の枝と重ならない、血管走行と並行する、お互いが直行する2方向が容易に求められる。



造影剤がそれらを介して閉塞部位に流入するタイミングは、通常の冠動脈が良好に造影されるタイミングとは異なり遅いことが多い。通常、冠動脈CTを撮像するときは、正常の冠動脈が最もよく造影されるタイミングを狙って撮像される。また、造影剤注入ルートの状態がいつも良好とは限らず、目標とする造影効果が得られない

こともある。さらに造影剤注入方法も施設によって異なる。そのため、撮像タイミングや造影剤の流入条件によって、閉塞部位への造影剤流入量は変化してしまう。病変部に流入する造影剤量が多ければ多いほど組織のCT値が上昇するため、CT値のみによって病変部の硬さを判断することは妥当ではない。そのことは、慢性完

全閉塞病変（Chronic Total Occlusion：CTO）の閉塞長をCTで評価する際にも当てはまり、CTでは実際よりも閉塞長が長く見えることが多い。

また、アーチファクトの問題も存在する。CTで認められるアーチファクトとして、モーションアーチファクト、ビームハードニング、ブルーミングアーチファクトなどがあり、それぞれの成因や特徴については理解しておく必要がある。

まず、動きの強い右冠動脈はモーションアーチファクトの影響を受けることが特に多く、その際は組織の辺縁がぼやけ、その周囲のCT値が極端にさがり画像としては黒く抜けてしまう。CT装置の時間分解能が低ければ低いほど、観察部位の動きが強ければ強いほど、その影響は大きく出てしまう。閉塞部位の性状を評価する際は、他の血管部位は無視しても、その部位ができるだけ動いていない位相を選択して画像を再構成する必要性がある。

次に、硬い組織に低エネルギーのX線が吸収され、その近傍の組織には残りの高エネルギーのX線が照射されてしまうためCT値が低下する、ビームハードニン

グ（線質硬化）というアーチファクトも存在する。組織内に石灰化や病変部にステントなどの硬い組織が存在すると、このビームハードニングによって、その周囲の組織は黒く写ってしまう。そのため、図3のようにCTでは石灰化病変に留置されたステント内に閉塞様所見が認められるが、CAGでは良好に開存していた、という事象を経験することがある。

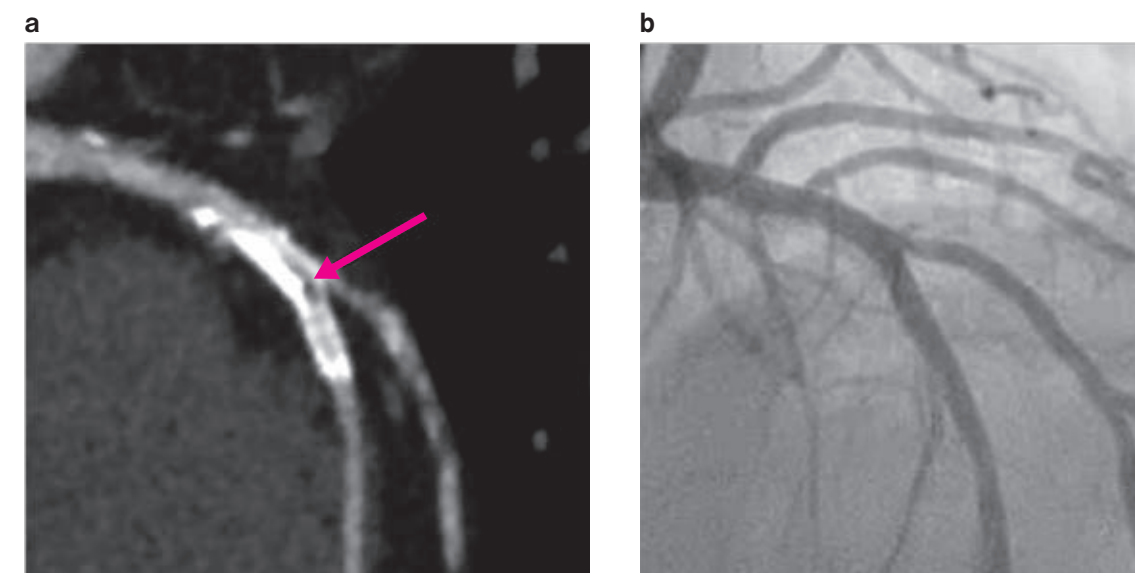
また、ブルーミングアーチファクトというのは、空間分解能が低いことが原因で生じてしまうアーチファクトである。現在のCTの空間分解能は0.6mm程度であり、そのピクセル内の組織のCT値は均一化されて表現されるため、石灰がピクセル内にわずかでも含まれる場合は、そのピクセルのCT値が増大してしまう（部分容積効果）。それによって、石灰化組織は実際よりも大きく見えてしまい、辺縁がぼやけてしまう。

以上のように、種々のアーチファクトによってもCT値が容易に変わってしまうことから、組織性状をCT値のみで評価することは注意が必要であることがわかる。

さらに、病理所見からは石灰のサイズや密度はさまざまであり、CTの空間分解能よりかなり小さい50μ以下

図3：ビームハードニングによるアーチファクト

- a：元々、石灰化病変に対して留置されたステント内に低CT値の構造物がステント内を閉塞させているように見える。
- b：カテーテルによる血管造影を施行したところ、ステント内に閉塞所見は一切認められなかった。この症例は、石灰とステントによって生じたビームハードニングによるアーチファクトと考えられた。



の微小石灰も存在する。そのため、前述の部分容積効果の影響により、微小石灰を含む病変部のCT値が造影剤のCT値と同等やそれ以下のこともある（図4）。そのため、造影剤の流入がある組織と思っていた病変が実際は微小石灰を含む病変の場合がある。

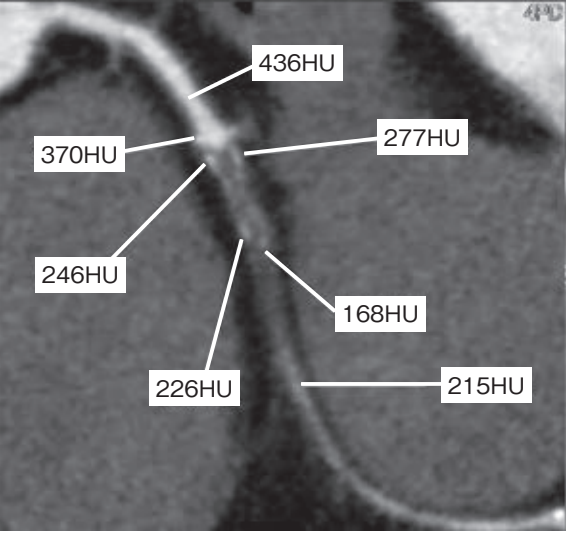
冠動脈CTの問題点を解決する方法とは

しかし、閉塞部位の情報はPCIにとって重要であり、閉塞部位を評価できるCTが魅力的であることは間違いない。前述の問題点を解決する方法としては、まず、装置の時間分解能・空間分解能を上げることが挙げられ、現在各社が競ってその努力をしている。現存の装置でそれらを解決する方法の候補として、サブトラクション法がある。

サブトラクション法は、石灰やステントを除去することが目的で使用されることが多いが、造影剤を含む画像（造影相）から造影剤を含まない画像（単純相）を引き算することによって作られる画像のため、サブトラクションされて残っているのは組織内の造影剤のみであ

図4：サブトラクション法による評価

右冠動脈の慢性閉塞性病変。閉塞病変内にCT値が上昇している部位が散在しているが、いずれも正常血管部位にある造影剤のCT値よりも低いCT値を呈していた。サブトラクション法を用いて評価したところ、それらはすべて消失しており、造影効果によるCT値よりも低いCT値を有する石灰が存在することが理解できる。



る。よって、組織内にどの程度造影剤が流入しているかを把握していることがわかり、その分布も理解することができる。それにより、マイクロチャネルの存在を確認したり、正確な閉塞長を把握したりすることができる。また、サブトラクションによって、閉塞部位の高CT値の組織が造影剤なのか微小な石灰なのかを区別することができる（図4）。さらに、サブトラクション法は、単に通常の画像から石灰やステントの部位を取り除いた画像と勘違いされることが多いが、実際は、石灰やステントによるアーチファクトの影響も取り除いている（図5）。そのため、サブトラクション法を用いることで、石灰やステントの周囲の組織の造影効果を評価することができる（図6）。

さいごに

冠動脈CTは慢性閉塞性病変に対するPCIにおいて有用であるが、間違った解釈をしてしまうと、逆に治療を難しくしてしまうことがある。CTの原理やアーチファクトを理解し、CTの限界を知ること重要である。そのうえでCTを正しく活用することができれば、成功

率が高まるだけでなく、より効率的な治療ができるようになると思われる。

図5：サブトラクション法が有用である理由

CTでは石灰が実際のサイズよりもブルーミングアーチファクトによって拡大されて表現される。サブトラクションは、単にCTで見えている石灰を取り除いたものと誤解されるが、アーチファクトの背景にある造影剤の存在も明らかにする手法である。

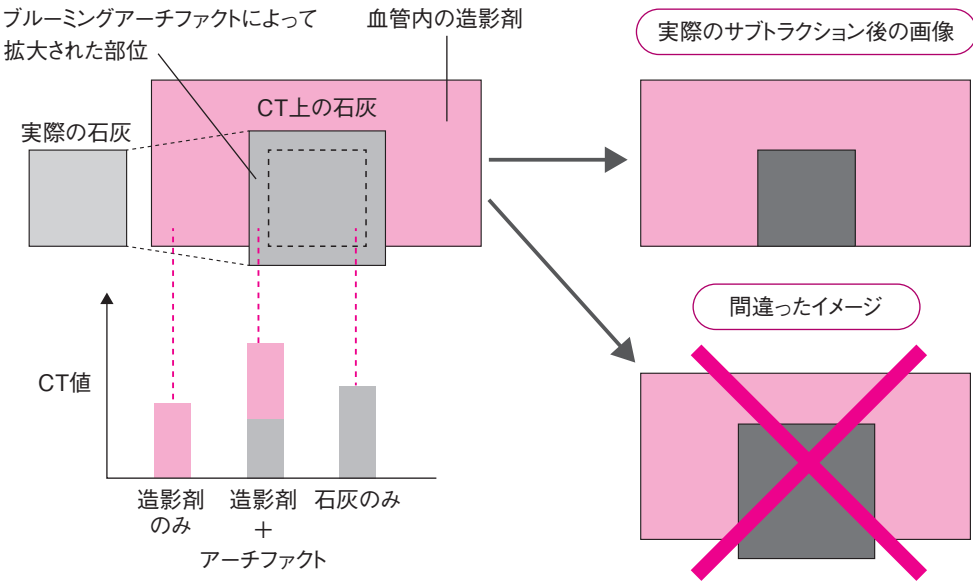


図6：サブトラクション法による評価

通常のCTでは高度の石灰化のため閉塞部位の血流の存在が明らかではない（a）。しかし、サブトラクション法を用いることによって、粗大な石灰化病変の内部に、造影剤が流入し得る血管内腔が存在することがわかり（b）、正しい閉塞長を知ることができる。また、そこに側副血行路を供給している中隔枝の分岐部と閉塞病変の遠位端の間に十分な距離があることがわかるため、この中隔枝から閉塞病変にアプローチする際に近位部に折り返すことが可能であり、レトログレードアプローチに適した側副血行路であることがわかる。

