

虚血性心疾患における冠動脈画像診断の進歩： CT angiography による画像診断

元山 貞子, 尾崎 行男

Motoyama S, Ozaki Y: Usefulness of cardiac CT angiography for diagnosis of ischemic heart disease. J Jpn Coron Assoc 2010; 16: 55-63

I. はじめに

冠動脈狭窄の評価には長年、侵襲的手技法である冠動脈造影(CAG)が用いられてきた。CAGは時間分解能、空間分解能が高く、冠動脈狭窄の診断には優れている。しかし、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。

冠動脈の非侵襲的な評価方法として冠動脈CT angiography(CTA)が登場した。4列マルチスライスCT(MDCT)のスライス厚は1.25 mmだったが、最近では0.5~0.625 mmを用いることができるようになり、空間分解能の向上に寄与している。また、スキャンスピードは0.5秒/回転から最短で0.27秒/回転まで短縮され、時間分解能が向上した。検出器の列数は年々増加の一途をたどり、16列以上のMDCTでは1回の息止めで心臓全体を非侵襲的に画像化することが容易となった。現在では、64列MDCTが広く普及し、臨床に用いられている。16列MDCTに比較して64列MDCTは、スキャン時間と息止め時間の短縮、心拍変動の減少、また造影剤量の低減など多くのメリットをもたらした。冠動脈CTA検査の精度が向上したという報告が散見される。さらに多列化は320列まで進み、1心拍の撮影データから心臓全体の画像化が可能となった。薄いスライス厚、ガントリー回転速度の向上により冠動脈の画像化が可能となり、多列化がCTAの急激な普及に拍車をかけたといえるであろう。ここでは、虚血性心疾患の診断における冠動脈CTAの有用性を、冠動脈狭窄評価、プラーク評価を中心に述べる。

II. 冠動脈狭窄の評価

CTAによる冠動脈狭窄評価の多くは、CAGを真とした場合のCTAの診断精度として報告されている¹⁻³⁾(表

1)。Hamonら¹⁾は、16列および64列MDCTの報告を以下のようにまとめている。16列MDCTを用いた20の研究報告(16510セグメント)では感度77%、特異度91%、陽性適中率60%、陰性適中率96%であった。64列MDCTを用いた13の研究報告(10388セグメント)では感度88%、特異度96%、陽性適中率79%、陰性適中率98%であった。また、64列MDCTを用いて、最近報告された多施設共同研究としてはACCURACY²⁾とCoRE64³⁾が挙げられる。ACCURACYは230症例、910枝の検討で、有病率は24.8%、感度84%、特異度90%、陽性適中率51%、陰性適中率99%であった。CoRE64は291症例、3782セグメントでの検討で、感度85%、特異度90%、陽性適中率91%、陰性適中率83%であった。CoRE64ではカルシウムスコア>600を検討から除外していることと>50%狭窄の有病率が56%と高率に認められたことが他の報告と比較して陽性適中率が高値、陰性適中率が低値になった原因と考えられている。

一般的に、CTAでは石灰化病変、モーションアーチファクトやCAGでは検出できないプラークの描出などが陽性適中率低値の要因となると考えられる。一方で、上述のように陰性適中率に優れるため、虚血性心疾患の除外診断に有用な、非侵襲的検査方法として広く臨床に用いられている。

III. 冠動脈プラーク性状の評価

冠動脈CTAの登場により、冠動脈狭窄のみならず、CAGでは評価困難な冠動脈プラークを非侵襲的に観察可能となった。冠動脈プラーク性状評価についての報告の多くは、血管内超音波(intravascular ultrasound; IVUS)との比較検討である。すなわち、冠動脈プラークをIVUS所見からソフトプラーク、線維性プラーク、石灰化に分類し、IVUS所見を基準として、CTAでそれぞれのプラークのCT値[Hounsfield Unit; HU]を検討したものである。われわれは0.5 mmスライスCTを用いて、331関心領域(region of interest; ROI)を98プラークおよび血管

藤田保健衛生大学循環器内科(〒470-1192 豊明市沓掛町田楽ヶ窪1-98)

表1 CT angiography の冠動脈狭窄診断精度

著者	列数	症例数	セグメント	感度 (%)	特異度 (%)	陽性適中率 (%)	陰性適中率 (%)
Hamon	16		16510	77	91	60	96
	64		10388	88	96	79	98
ACCURACY	64	230	910	84	90	51	99
CoRE64	64	291	3782	85	90	91	83

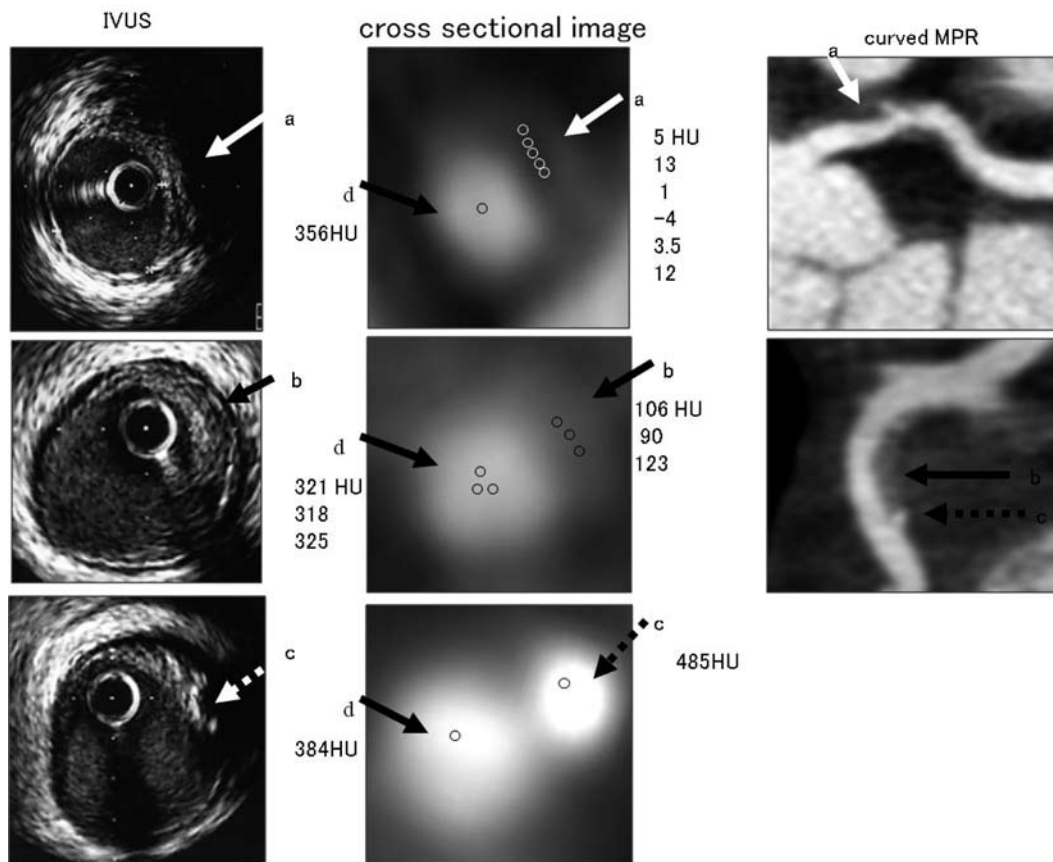
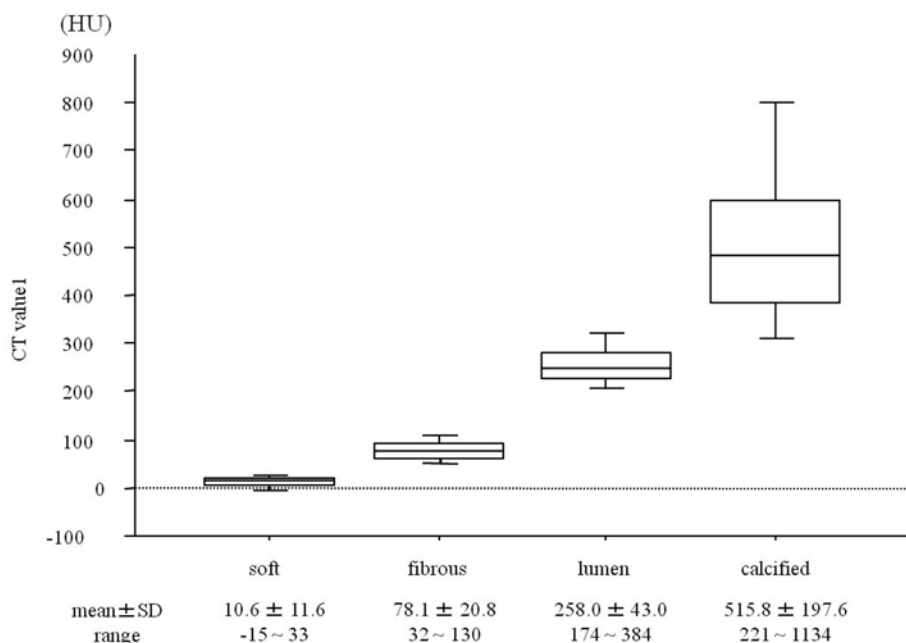


図1 CTAとIVUSによるプラーク性状評価⁴⁾
 a: ソフトプラーク, b: 線維性プラーク, c: 石灰化, d: 血管内腔
 左: IVUS 画像, 中央: CTA 冠動脈短軸断. ソフトプラークのCT値は-4~13 HU, 線維性プラークは90~123 HU, 石灰化は485 HU, 血管内腔は318~384 HU. 右: 冠動脈 curved MPR.
 CTA, computed tomography angiography; IVUS, intravascular ultrasound; HU, Hounsfield unit.

内腔に設定し, IVUS 所見と比較した⁴⁾. その結果, IVUS でソフトプラークと定義した病変(39 ROI)は 11 ± 12 HU (range, -15 to +33 HU), 線維性プラーク(88 ROI)は 78 ± 21 HU (range, 32-130 HU), 石灰化(92 ROI)は 516 ± 198 HU (range, 221-1134 HU), そして血管内腔(112 ROI)は 258 ± 43 HU (range, 174-384 HU)であり, 4 群間には有意差を認めた(図1, 2) ($p < 0.0001$).

その他の報告からも, ソフトプラークは線維性プラーク, 石灰化よりもCT値が低いとの結果が得られている⁴⁻⁵⁾

(表2). しかし, それぞれの報告によるソフトプラークのCT値はばらつきがあり, ソフトプラークと線維性プラークにはCT値のオーバーラップも認められる. プラークのCT値に影響する要因として, 以下が考えられる. 1) プラーク内の成分は均一ではない. 2) 冠動脈は直径3 mm 前後と細いうえに, 空間分解能の限界から, パーシャルボリュームエフェクトを受ける. 3) 空間分解能は用いる機種によって異なる. 4) 画像の精度には機械そのものの空間分解能に加え, 心拍動や呼吸によるモーショ



p < 0.0001, Nonparametric Kruskal-Wallis test

図2 IVUSとCTAのプラーク性状の比較⁴⁾
 IVUSで分類したプラークをソフトプラーク、線維性プラーク、石灰化部位と血管内腔の4群間にCT値(mean±SD)に有意差を認めた。
 IVUS, intravascular ultrasound; CTA, computed tomography angiography; HU, hounsfield unit.

表2 CT angiographyによる冠動脈プラーク性状評価

Study	Slice thickness (mm)	Rotation speed (ms)	Slice	CT attenuation (mean±SD [HU])		
				Soft	Fibrous	Calcification
Schroeder et al	1.0	500	4	14±26	91±21	419±194
Leber et al	0.75	420	12	49±22	91±22	391±156
Pohle et al	0.75	375/420	16	58±43	121±39	
Motoyama et al	0.5	400	16	11±12	78±21	516±198
Hur et al	1.0	330	64	54±13	82±17	392±155

CT, computed tomography; IVUS, intravascular ultrasound; SD, standard deviation; HU, Hounsfield unit

ンアーチファクトによるブレも影響する。5)CTAで石灰化はアーチファクトにより実際よりも大きく写ってしまい、冠動脈内腔の評価が困難になるばかりでなく、石灰化に接したプラーク情報も評価困難となる。6)血管内腔は検査時の造影方法により変化しうる。時にプラークとのオーバーラップ、特に石灰化との区別が困難なことがある。7)プラークのCT値は内腔の造影濃度に効果に影響される。8)撮影時の電圧(kV)の違いによりプラークのCT値が変動する。そして、9)IVUSを基準として比較検討している点にも疑問は残る。

一方、CTAで計測された冠動脈のサイズはIVUSとあ

る程度相関すると報告されている⁹⁻¹¹⁾。しかし、CTAはIVUSよりもプラーク面積を過大評価する¹⁰⁾、もしくは体積計測においては interobserver variability は37%と低値である¹¹⁾との報告もあり、その限界も認識しておく必要があるだろう。

これら、プラークをCTAで定義することの限界をふまえ、ガイドラインはプラーク性状をCT値で評価することを推奨していない。AHA(American Heart Association)のガイドライン¹²⁾では、冠動脈プラーク性状は報告すべき項目に挙げられていない。しかし、Further Directionとして示されている。そこでは、CTで、1)脂

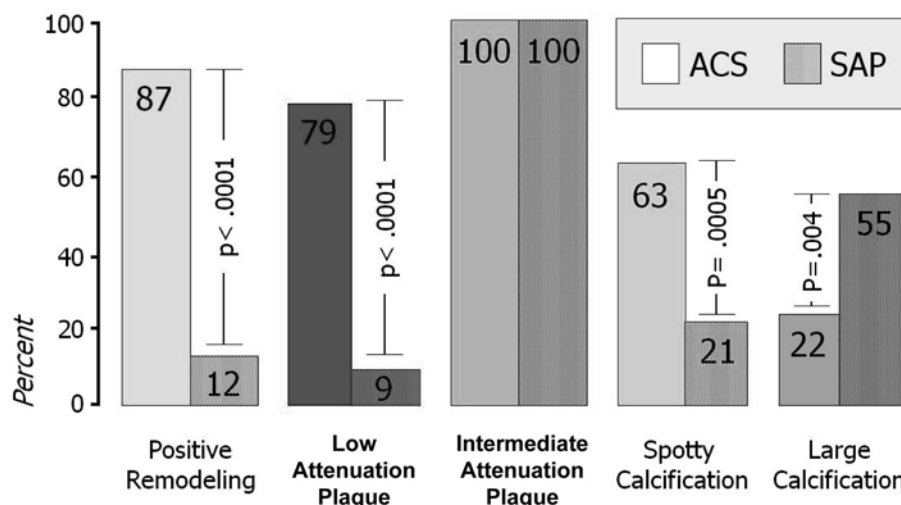


図3 急性冠症候群と安定狭心症の責任病変の特徴¹⁷⁾

急性冠症候群は安定狭心症と比較してポジティブリモデリング, low attenuation plaque, 微小石灰化が有意に多く認められた。

ACS, acute coronary syndrome; SAP, stable angina pectoris.

質, 2)線維性プラーク, 3)石灰化, に分類でき, 最も低吸収域のプラークはIVUSでの脂質に富んだプラークと相関する。しかし, ソフトプラークと線維性プラークにはオーバーラップがあり, 現時点では, 非石灰化プラークの評価は高精度の画像に限られ, 一般臨床においてはふさわしくないと示唆している。また, SCCT(Society of Cardiovascular Computed Tomography)のガイドライン¹³⁾によると, 冠動脈の動脈硬化病変について狭窄度以外に記述すべき項目としてポジティブリモデリングの有無とプラーク性状, すなわち, 1)石灰化, 2)非石灰化, もしくは, 3)混合型, が挙げられている。さらに, 十分な画像精度が得られていれば, 潰瘍形成 ulceration, 解離 dissection, 亀裂 fissuring も記載することが推奨されている。しかし, 冠動脈CTAにおいて, プラークの性状評価の定義のためのガイドラインは確立されていない。

CTAでプラーク性状の評価はある程度可能になり, CT値はプラーク性状を評価する上での目安となると考えられ, 上記の限界を知った上で注意して用いるべきであろうと思われる。

IV. 急性冠症候群の責任病変の特徴

Schaarら¹⁴⁾は急性冠症候群の責任病変, すなわち不安定プラーク(vulnerable plaque)を1)A plaque prone to rupture(60~75%), すなわち薄い線維性被膜をもつプラーク, 2)A plaque prone to erosion(20~40%), 3)A plaque with a calcified nodule(2~7%)に分類した。また, 最近, Narulaら¹⁵⁾は不安定プラークの特徴を次のようにまとめて報告している。1)プラークの25%以上を占める大きな脂質コアがあり, 2)血管リモデリングを認

め, 3)4/5の病変でプラーク自体も狭窄部の半分以上を占める大きさであり, 4)neovascularizationがあつて vasa vasorumが発達している, 5)プラーク内出血がある, 6)薄い線維性被膜は65 μm以下で, そこに, 7)泡沫細胞を認める, 8)4割にアポトーシスが存在する, そして, 9)MMP(matrix metalloproteinase)発現が増加している, ことなどである。さらに, IVUSによる検討では, 急性冠症候群病変では spotty calcification(微小石灰化)が認められると報告されている¹⁶⁾。

われわれは, CTAでの急性冠症候群の責任病変の特徴を同定するために, 上記の特徴のうち, CTAで検出可能と考えられる, 血管リモデリング, プラーク性状(脂質コア), 石灰化形態について, 急性冠症候群(n=38)と安定狭心症(n=33)の責任病変とを比較検討した¹⁷⁾。この時, 上述の報告⁴⁾を参考に, 脂質コアに一致すると考えられる低吸収プラーク(low attenuation plaque; LAP)は <30 HUと, 線維性プラークに一致すると考えられる intermediate attenuation plaqueは30~150 HUと定義して用いた。急性冠症候群の責任病変には安定狭心症と比較して, ポジティブリモデリング(87% vs 12%; p<0.0001), LAP(79% vs 9%; p<0.0001), 微小石灰化(63% vs 21%; p=0.0005)が, 有意に高頻度に認められた(図3~5)。それぞれの特徴が急性冠症候群の責任病変を同定する診断能は表3に示すとおりで, ポジティブリモデリングが最も診断精度が高かった(感度87%, 特異度88%, 陽性適中率89%, 陰性適中率85%)。LAPではそれぞれ79%, 91%, 91%, 79%, 79%, 微小石灰化は63%, 79%, 77%, 65%であった。3つの特徴がそろっている病変での陽性適中率は95%と高値で, ポジティブリモデリングとLAPのどちら

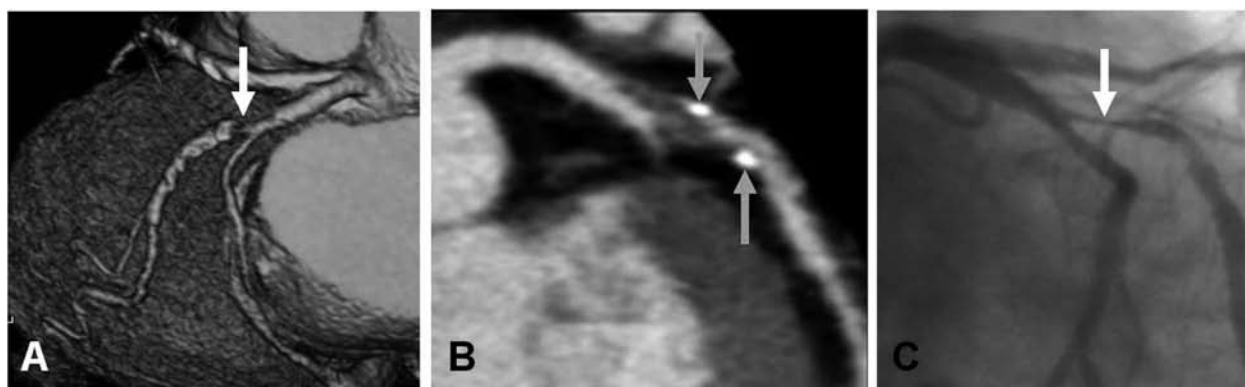


図4 急性冠症候群の1症例¹⁷⁾

A : volume rendering, B : curved multiplanar reformation image, C : 冠動脈造影.

左回旋枝に責任病変を有する(白矢印 A C). 同部位(B)にはポジティブリモデリング, low attenuation plaque, 微小石灰化を認めた.

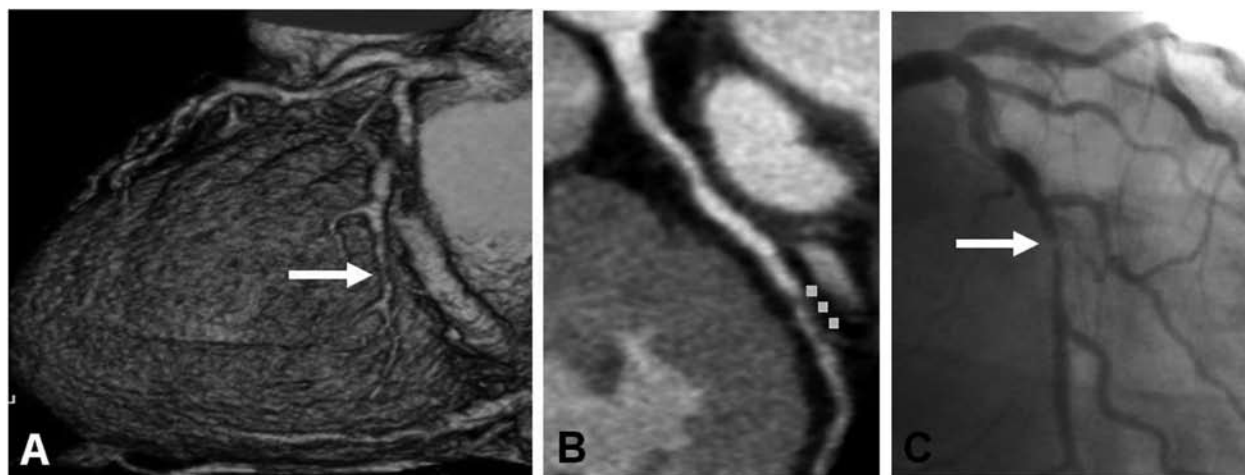


図5 安定狭心症の1症例¹⁷⁾

左回旋枝に責任病変を有する(白矢印 A C). 同部位(B)には intermediate attenuation plaque を認めるも, ポジティブリモデリング, low attenuation plaque, 微小石灰化は認めなかった.

表3 CT angiography による急性冠症候群の診断精度¹⁷⁾

	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Diagnostic accuracy (%)
PR	87	88	89	85	88
LAP	79	91	91	79	85
Ca	63	79	77	65	72
PR+LAP	74	93	93	76	83
PR+LAP+Ca	47	97	95	60	70
PR or LAP	92	85	89	90	89
No PR, LAP or Ca	100	67	78	100	85

PPV, positive predictive value; NPV, negative predictive value; PR, positive remodeling; LAP, low attenuation plaque; Ca, spotty calcification

表4 CT angiography での不安定プラークの特徴

Study		ACS	SAP	p value	
Motoyama	positive remodeling (%)	87	12	<0.0001	
	low attenuation plaque (%)	79	9	<0.0001	
	spotty calcification (%)	63	21	<0.005	
Inoue	minimum CT density (HU)	25±15	76±16	<0.001	
Imazeki	positive remodeling (%)	61.3	0	<0.0001	
Kitagawa	remodeling index	1.14±0.18	1.08±0.19	<0.01	
	minimum CT density (HU)	24±22	42±29	<0.01	
	spotty calcium (%)	60	38	<0.01	
		Culprit lesion in ACS	Stable lesion in ACS	Lesion in SAP	p value
Hoffmann	plaque area (mm ²)	17.5±5.9	9.1±4.8	13.5±10.7	0.02
	outer vessel area (mm ²)	21.2±7.0	11.8±5.7	15.6±10.5	0.01
	remodeling index	1.4±0.3	1.0±0.4	1.2±0.3	0.04
		ruptured	non-ruptured		p value
Tanaka	ulcer-like enhanced space (%)	37	5		<0.01
	ring-like sign (%)	41	18		0.04
	maximum plaque thickness (mm)	21±0.9	1.6±1.0		0.04
	outer vessel area (mm ²)	17.6±4.9	13.4±5.0		<0.01
	percentage plaque area (%)	82.3±9.1	73.4±15.4		0.01
	remodeling index	1.11±0.18	1.01±0.15		0.04

ACS, acute coronary syndrome; SAP, stable angina pectoris

かを有する病変での正診率が最も高値で89%であった。

急性冠症候群の責任病変、もしくは ruptured plaque の特徴は他にも報告が散見される¹⁷⁻²²⁾(表4)。Inoue ら¹⁸⁾はプラーク内のもっとも低いCT値が安定狭心症と比較して急性冠症候群の責任病変では有意に低値であると報告している。Imazeki ら¹⁹⁾はポジティブリモデリングが急性冠症候群に有意に多く認められると報告している。Kitagawa ら²⁰⁾はACSの責任病変にはポジティブリモデリングと微小石灰化が多く認められ、プラーク内のもっとも低いCT値がより低値であったと報告している。Hoffmann ら²¹⁾はプラークの大きさおよびリモデリングの程度について検討しており、急性冠症候群の責任病変は責任病変以外の病変や安定狭心症の責任病変よりもプラークサイズとリモデリング指数が大きかったと報告している。Tanaka ら²²⁾はIVUS所見から ruptured plaque と non-ruptured plaque に分類し、前者ではリモデリングインデックスが大きいことを報告している。これらの報告より、急性冠症候群の責任病変のCTAでの特徴はポジティブリモデリング、低いCT値のプラーク、微小石灰化であると考えられる。すなわち、CTAで、非侵襲的に急性冠症候群の責任病変の同定が可能となったと思われる。

V. 不安定プラークの検出

CTAで急性冠症候群の責任病変の同定が可能となった

ものの、どのような病変がその後、急性冠症候群を発症するかはこれまで報告がなかった。そこでわれわれは、CTAで不安定プラークを検出することを目的に、CTA後に急性冠症候群を発症した病変の特徴を検討した²³⁾。前述の研究から、急性冠症候群の責任病変の特徴である、ポジティブリモデリングもしくはLAPを有する病変がその後急性冠症候群を発症するかどうかを検討した。CTA後に1年以上の経過観察が可能であった1059例のうち、経皮的冠動脈形成術歴のない10037セグメントを検討したところ、ポジティブリモデリングもしくはLAPを認める74セグメントのうち11セグメント(15%)で急性冠症候群をその後2年以内に発症した(図6, 7)。プラークを認めるも、どちらの特徴も有さない場合の急性冠症候群の発症率は0.1%(4/2853)であり、CTAでプラークを認めないセグメントでは急性冠症候群を発症しなかった(0%:0/7110)。ポジティブリモデリングもしくはLAPを認める病変は急性冠症候群発症の独立した危険因子(hazard ratio=22.8, CI=6.9-75.2, p<0.001)であり(表5)、これらの特徴を有さないプラークやプラークを有さない部位よりも有意にACSを発症する頻度が高値であった(logrank test p<0.001)。すなわち、冠動脈にポジティブリモデリングおよびLAPを認める病変はその後急性冠症候群を発症する危険を有する、不安定プラークであると考えられた。これまでのところ、プラーク性状と予後の報告は他にないが、今後、さらに大規模な検討を行

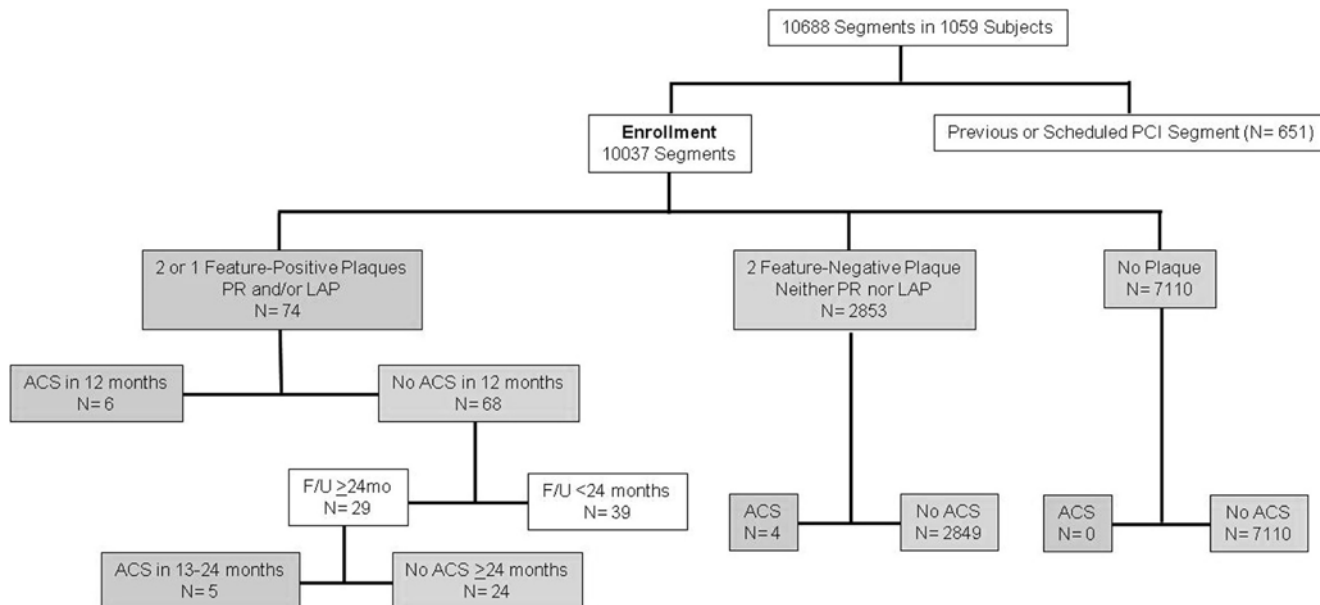


図6 冠動脈プラーク性状による急性冠症候群の発症率²³⁾
 1059例, 10037セグメントで検討した. ポジティブリモデリングまたはlow attenuation plaqueを有する74セグメントのうち11セグメント(15%)で急性冠症候群をその後2年以内に発症した. プラークを認めるも, どちらの特徴も有さない場合の急性冠症候群の発症率は0.1%(4/2853)であり, CTAでプラークを認めないセグメントでは急性冠症候群を発症しなかった(0%: 0/7110).
 PR, positive remodeling; LAP, low attenuation plaque; ACS, acute coronary syndrome.

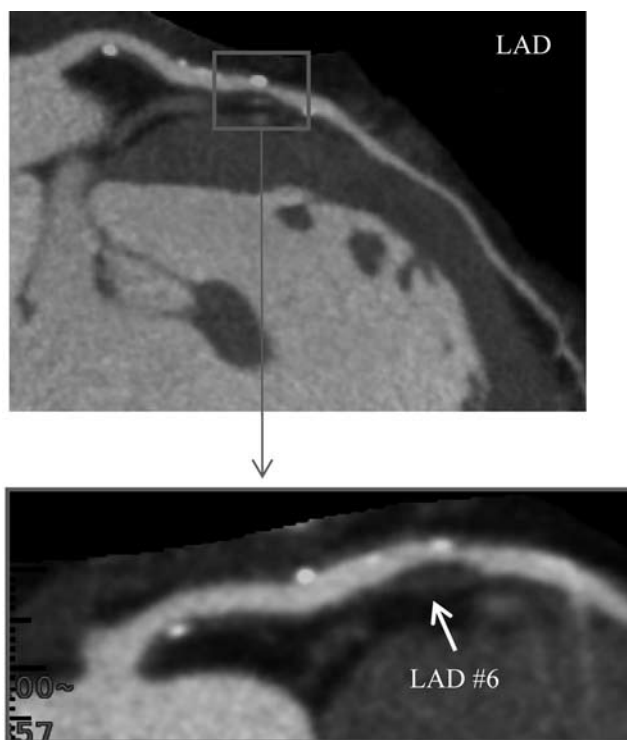


図7 CT angiography後に急性冠症候群を発症した1例²³⁾
 CT angiographyで左前下行枝にポジティブリモデリング, low attenuation plaque, 微小石灰化を認める. 6カ月後に急性冠症候群を発症した.

表5 急性冠症候群の発症予測因子

Variables	β	SE	p value	HR	95% CI
Hypertension	0.687	0.575	0.233	1.99	0.64-6.14
Hyperlipidemia	1.293	0.679	0.057	3.65	0.96-13.79
Previous MI	0.806	0.575	0.154	2.24	0.74-6.79
2 or 1 feature-positive plaques	3.126	0.609	<0.001	22.79	6.91-75.17

HR, hazard ratio; CI, confidence interval; MI, myocardial infarction

い、エビデンスを重ねることで、CTAで急性冠症候群の予測がより確実になると期待される。

VI. おわりに

冠動脈CTAはここ数年の飛躍的な技術の進歩に伴い、臨床の現場に急激に普及した。冠動脈狭窄診断、プラーク性状診断、不安定プラークの同定、検出に有用で、今では虚血性心疾患の診断、治療方針の決定に欠かせない非侵襲的検査方法として、その地位を確立したものである。今後の課題として、一つに放射線被曝が挙げられる。これには、320列CTやprospective gated scanという方法などを用いて被曝線量の低減が試みられている。また、不整脈、息止め困難な症例にも320列CTを用いて1心拍のデータから画像再構成ができるようになったことで実現可能となった。頻拍症例にはdual-source CTの登場により時間分解能の向上が得られている。さらにDual Energyなど、機器はさらなる進化を遂げている。これに伴い、今後、より一層診断能が向上し、臨床に有益な検査方法となることだろう。とどまることを知らない、CTの進歩に今後も大いに期待したい。

文 献

- Hamon M, Morello R, Riddell JW, Hamon M. Coronary arteries: diagnostic performance of 16- versus 64-section spiral CT compared with invasive coronary angiography-meta-analysis. *Radiology* 2007; **245**: 720-731
- Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, Gitter M, Sutherland J, Halamert E, Scherer M, Bellinger R, Martin A, Benton R, Delago A, Min JK: Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial. *J Am Coll Cardiol* 2008; **52**: 1724-1732
- Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, Arbab-Zadeh A, Niinuma H, Gottlieb I, Paul N, Clouse ME, Shapiro EP, Hoe J, Lardo AC, Bush DE, de Roos A, Cox C, Brinker J, Lima JA: Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT. *N Engl J Med* 2008; **359**: 2324-2336
- Motoyama S, Kondo T, Anno H, Sugiura A, Ito Y, Mori K, Ishii J, Sato T, Inoue K, Sarai M, Hishida H, Narula J: Atherosclerotic plaque characterization by 0.5-mm-slice multislice computed tomographic imaging. *Circ J* 2007; **71**: 363-366
- 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
- Leber AW, Knez A, Becker A, Becker C, von Ziegler F, Nikolaou K, Rist C, Reiser M, White C, Steinbeck G, Boekstegers P: 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**: 1241-1247
- Pohle K, Achenbach S, Macneil B, Ropers D, Ferencik M, Moselewski F, Hoffmann U, Brady TJ, Jang IK, Daniel WG: Characterization of non-calcified coronary atherosclerotic plaque by multi-detector row CT: comparison to IVUS. *Atherosclerosis* 2007; **190**: 174-180
- Hur J, Kim YJ, Lee HJ, Nam JE, Choe KO, Seo JS, Choi DH, Kim JS, Choi BW: Quantification and characterization of obstructive coronary plaques using 64-slice computed tomography: a comparison with intravascular ultrasound. *J Comput Assist Tomogr* 2009; **33**: 186-192
- Achenbach S, Moselewski F, Ropers D, Ferencik M, Hoffmann U, MacNeill B, Pohle K, Baum U, Anders K, Jang IK, Daniel WG, Brady TJ: Detection of calcified and noncalcified coronary atherosclerotic plaque by contrast-enhanced, submillimeter multidetector spiral computed tomography: a segment-based comparison with intravascular ultrasound. *Circulation* 2004; **109**: 14-17
- Moselewski F, Ropers D, Pohle K, Hoffmann U, Ferencik M, Chan RC, Cury RC, Abbara S, Jang IK, Brady TJ, Daniel WG, Achenbach S: Comparison of measurement of cross-sectional coronary atherosclerotic plaque and vessel areas by 16-slice multidetector computed tomography versus intravascular ultrasound. *Am J Cardiol* 2004; **94**: 1294-1297
- Leber AW, Becker A, Knez A, von Ziegler F, Sirol M, Nikolaou K, Ohnesorge B, Fayad ZA, Becker CR, Reiser M, Steinbeck G, Boekstegers P: Accuracy of 64-slice computed tomography to classify and quantify plaque volumes in the proximal coronary system: a comparative study using intravascular ultrasound. *J Am Coll Cardiol*

- 2006; **47**: 672–677
- 12) Bluemke DA, Achenbach S, Budoff M, Gerber TC, Gersh B, Hillis LD, Hundley WG, Manning WJ, Printz BF, Stuber M, Woodard PK: Noninvasive coronary artery imaging: magnetic resonance angiography and multidetector computed tomography angiography: a scientific statement from the american heart association committee on cardiovascular imaging and intervention of the council on cardiovascular radiology and intervention, and the councils on clinical cardiology and cardiovascular disease in the young. *Circulation* 2008; **118**: 586–606
 - 13) Raff GL, Abidov A, Achenbach S, Berman DS, Boxt LM, Budoff MJ, Cheng V, DeFrance T, Hellinger JC, Karlsberg RP; Society of Cardiovascular Computed Tomography: SCCT guidelines for the interpretation and reporting of coronary computed tomographic angiography. *J Cardivasc Comput Tomogr* 2009; **3**: 122–136
 - 14) Schaar JA, Muller JE, Falk E, Virmani R, Fuster V, Serruys 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: report of a meeting on the vulnerable plaque, June 17 and 18, 2003, Santorini, Greece. *Eur Heart J* 2004; **25**: 1077–1082
 - 15) Narula J, Finn AV, Demaria AN. Picking plaques that pop-. *J Am Coll Cardiol* 2005; **45**: 1970–1973
 - 16) 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
 - 17) Motoyama S, Kondo T, Sarai M, Sugiura A, Harigaya H, Sato T, Inoue K, Okumura M, Ishii J, Anno H, Virmani R, Ozaki Y, Hishida H, Narula J: Multislice computed tomographic characteristics of coronary lesions in acute coronary syndromes. *J Am Coll Cardiol* 2007; **50**: 319–326
 - 18) 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
 - 19) Imazeki T, Sato Y, Inoue F, Anazawa T, Tani S, Matsumoto N, Takayama T, Uchiyama T, Saito S: Evaluation of coronary artery remodeling in patients with acute coronary syndrome and stable angina by multislice computed tomography. *Circ J* 2004; **68**: 1045–1050
 - 20) Kitagawa T, Yamamoto H, Horiguchi J, Ohhashi N, Tadehara F, Shokawa T, Dohi Y, Kunita E, Utsunomiya H, Kohno N, Kihara Y: Characterization of noncalcified coronary plaques and identification of culprit lesions in patients with acute coronary syndrome by 64-slice computed tomography. *J Am Coll Cardiol Imag* 2009; **2**: 153–160
 - 21) Hoffmann U, Moselewski F, Nieman K, Jang IK, Ferencik M, Rahman AM, Cury RC, Abbara S, Joneidi-Jafari H, Achenbach S, Brady TJ: Noninvasive assessment of plaque morphology and composition in culprit and stable lesions in acute coronary syndrome and stable lesions in stable angina by multidetector computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2006; **47**: 1655–1662
 - 22) Tanaka A, Shimada K, Yoshida K, Jissyo S, Tanaka H, Sakamoto M, Matsuba K, Imanishi T, Akasaka T, Yoshikawa J: Non-invasive assessment of plaque rupture by 64-slice multidetector computed tomography-comparison with intravascular ultrasound. *Circ J* 2008; **72**: 1276–1281
 - 23) Motoyama S, Sarai M, Harigaya H, Anno H, Inoue K, Hara T, Naruse H, Ishii J, Hishida H, Wong ND, Virmani R, Kondo T, Ozaki Y, Narula J: Computed tomographic angiography characteristics of atherosclerotic plaques subsequently resulting in acute coronary syndrome. *J Am Coll Cardiol* 2009; **54**: 49–57