

『高度先進医療 (INTERVENTION) に携わる放射線技師の役割』 冠動脈造影法による冠動脈狭窄の定量化

小倉記念病院 放射線部 川 中 秀 文、古 田 求

【はじめに】

Coronary Intervention の進歩とともに、冠動脈造影法は虚血性心疾患の診断、治療において重要な検査方法となり広く普及している。しかし冠動脈造影画像の冠動脈狭窄の判定は多くの施設において、AHA 分類による視覚的判定法が用いられている。視覚的判定法は迅速かつ簡便であるが、正確性、再現性に大きな問題がある。そこで近年、より精密かつ客観性の高い冠動脈狭窄の定量化を行うため、種々の方法で定量的冠動脈造影法 (Quantitative Coronary Angiography: QCA) が施行されている。

当院では、1994年2月に Edge detection 法を用いた pie medical 社製の心血管解析装置 CAAS II が導入され、それにともない医師の判断でなく、第三者的立場のとれる技師 (診療放射線技師、臨床検査技師) による定量解析が行われている。本稿では我々の経験をもとに定量的冠動脈解析の現状、適応と限界について述べることにする。

【冠動脈狭窄度判定法】

1. 視覚的判定法

狭窄度の程度は、隣接している正常血管径に対する相対的な径の減少によって視覚的に評価し、AHA 分類による7段階判定 (0, 25, 50, 75, 90, 99, 100%) で表わされる。狭窄部、正常部は主観的な判断で決定され、病変の重症度を迅速かつ、簡便に判定することができ治療方針 (PTCA、CABG など) を速やかに決定することが可能である。しかし狭窄度がきわめて軽度、あるいは逆にきわめて高度な場合には、ある程度の正確性があるが、中程度 (40 ~ 80%) の評価の際には計測者間の変動はさげられない。

2. Caliper 法

デジタル目盛付ノギスや網目レンズなどを用い

て計測者が主観的判断によって正常部、狭窄部を決定し、それぞれの部位の血管径を計測し狭窄度を算出する。Kalbfleisch らは、Caliper 法は高度狭窄を過小評価し中等度狭窄を過大評価しており再現性は不良であったと報告している。この方法は、計測値に主観的要素が多く正確性、再現性に乏しいといえる。

3. Densitometry 法

正常部、狭窄部の濃度 (黒化度) をもとに正常部を基準とした狭窄部の輝度の相対的比率により断面積狭窄度が得られる。この方法は、理論的には狭窄部が高度偏心性病変であっても一方向の造影のみで狭窄度を決定できる。ファントムを用いた invitro study では、狭窄形態や観察方向にほとんど影響されず、真の断面積狭窄率と高い相関を認め再現性も良好である。しかし実際の冠動脈狭窄の判定にはいくつかの問題がある。この方法では、正常部、狭窄部の長軸方向に対して垂直の観察方向でなければ計測部の輝度を過大評価し正確な断面積狭窄度は得られない。また、正常部や狭窄部に側枝や骨、カテーテルなどが重なると正確な計測は不可能となる。Sanz らは、PTCA 前後の狭窄病変を Densitometry 法を用いて直交する2方向より計測したところ、相関は非常に乏しかったと報告している。したがって、臨床的に冠動脈狭窄の判定に有用であるとはいえない。

4. Edge detection 法

コンピュータにより自動的に血管辺縁を抽出させ既知の対象物 (カテーテル先端) を基準として、正常部、狭窄部の血管径を得る。得られた血管径より、管径狭窄度、断面積狭窄度を算出できる。計測領域は計測者が決定するが、正常部、狭窄部の同定、血管辺縁の抽出はすべてコンピュータで自動的に行われており、当院で行った再現性の検討でも同一計測者間、異なる計測者間においても

高い再現性がみられた。(図1)

また、血管辺縁抽出アルゴリズムには一次微分と二次微分の加重和アルゴリズムを採用している機種が最も多く、画像解析システムでは Erasmus University Group の Cardiovascular Angiographic Analysis System II (CAAS II)、Riber らの Cardio measurement System (CMS)、Michigann University Group の ARTREK System、Duke University Group の DUAUES System が有名である。現在、我々が使用している CAAS II system は: Pw.serruys らによって開発され、近年多くの Interventional Ranzimized Trial (BENESTENT trial, MERCATOR study など) に使用され、世界的に最も信頼されているシステムの中の一機種である。

CAAS II System はシネアンギオプロジェクタ、高精細シネデジタルイザ、フォトグレードレーザープリンタ、コンピュータ本体 (マッキントッシュ)、20 インチモニタから構成されている。CAAS II への画像入力通常 35mm シネフィルムが用いられ、シネアンギオプロジェクタより高精細シネアンギオデジタルイザでデジタル変換され、その画像は 1300 × 1000 ピクセル、各ピクセルのデータは 8 ビット、0 (100%・黒) から 255 (100%・白) の幅をもっている。また、画像入力は 35mm シネフィルムの他、ビデオテープま

たはシネアンギオ装置のビデオチェインから直接ビデオフレームをデジタル化できる。しかし、満足できるビデオ画像を得るためには、ビデオ画像のもつノイズを time base corrector 等で除去する必要がある。尾崎らは、記録媒体における信頼度の研究の中で、シネフィルムとビデオテープ(辺縁強調処理の有無)を既知の血管ファントムと PTCA 前後の冠動脈造影で計測値の精度を比較検討し、既知の血管ファントムを用いた実験ではビデオテープと比較してシネフィルムの方が真の値に最も近く、ビデオテープでは、辺縁強調処理を行ったものの方が、この処理を行わなかったものに比べシネフィルムにより近い値が得られ、すべての血管径においてビデオテープから得られた値はシネフィルムに比べばらついていたと報告している。

【Edge detection 法の問題点】

血管辺縁を濃度曲線として抽出するため、1.0mm 以下 (特に 0.5mm 以下) の高度狭窄病変では、辺縁が不鮮明となり、狭窄度の判定に誤差が生じ、完全閉塞、亜完全閉塞病変では計測不能となる。さらに、潰瘍形成を伴う複雑病変、PTCA 後の haziness、dissection を有する血管辺縁不整病変は正確な抽出が不能となる。正常部の同

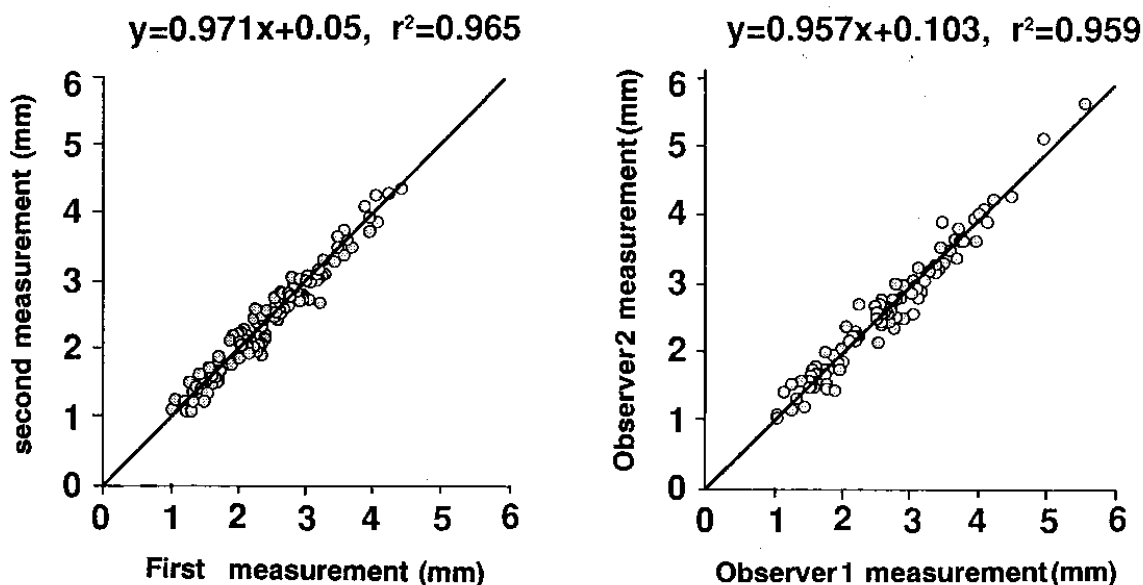


図1 再現性の検討

定が困難な入口部病変、びまん性病変では計測者のマニュアル補正が必要となるため、計測値に主観的要素が参入する。また、pincushion distortion (I.I. レンズ系の歪)、心拍動、呼吸性変動の影響も無視できない。偏心性病変では、densitometry 法と異なり、多方向からの撮影が必要となる。当院では、最も狭窄度の強い方向にて計測を行っているが、Serruys らは、直交する2方向より計測しその平均値を使用している。Lesperance らは病変部の計測を、Edge detection 法を用いて最も狭窄度の強い1方向と直交する2方向より計測し、両者の相関は非常に良好であったと報告している。

Calibration に使用するカテーテルは計測部の絶対値を決定する上で重要である。高精度マイクロメータによる実測値と比較すると、同一種類間ではその誤差は、ほとんど無視してよいが、異なる種類間では誤差が生じ実測値は公称値に比べすべてのカテーテルにおいて過小評価した。PTCA 用 8F ガイドカテーテルでは、内径の異なる種類が数多く発売されており、カテーテルの種類の違いで X 線透過性が異なり calibration に用いた場合、約 25% の誤差が生じるとの報告がある。当院では、calibration はカテーテルを実測し、造影剤の充満していない empty を推奨している。このように、Edge detection 法においても、多くの問題点を含

んでいるが、現在では、最も計測者の主観的要素が少なく、再現性、正確性の高い方法といえる。

【pincushion distortion の補正】

シネアンギオ装置の I.I. レンズ系では固有の歪みを有し、それは画面の中心部から周辺部に向かって拡大している。実測値 2.0mm のステンレス板を用いて歪みの程度を研究した結果を示す。

(図 2、3) I.I. の full size である 9inch では中心部に比し周辺部では、約 14% 拡大し冠動脈造影に使用される 6inch でも、約 4% の拡大を認めた。このためにカテーテルと計測血管の位置関係より、計測値は変化することになる。

CAAS II は pincushion distortion の補正機能があり、周辺部の歪を補正することが可能である。その補正方法は、次のように行う。

1. 補正用 cm grid を I.I. 前面に装着する。
2. シネフィルム面に grid の縦、横の線を水平、垂直にし、絞りが入らないようにする。
3. X 線システムは A-P にて 50kV ~ 70kV の X 線管電圧、SID 100cm で 35mm シネフィルムに撮影する。
4. 得られた画像を CAAS II の geometric calibration mode に入力する。
5. I.I. の交換の際は、すみやかにこれらを施行する。

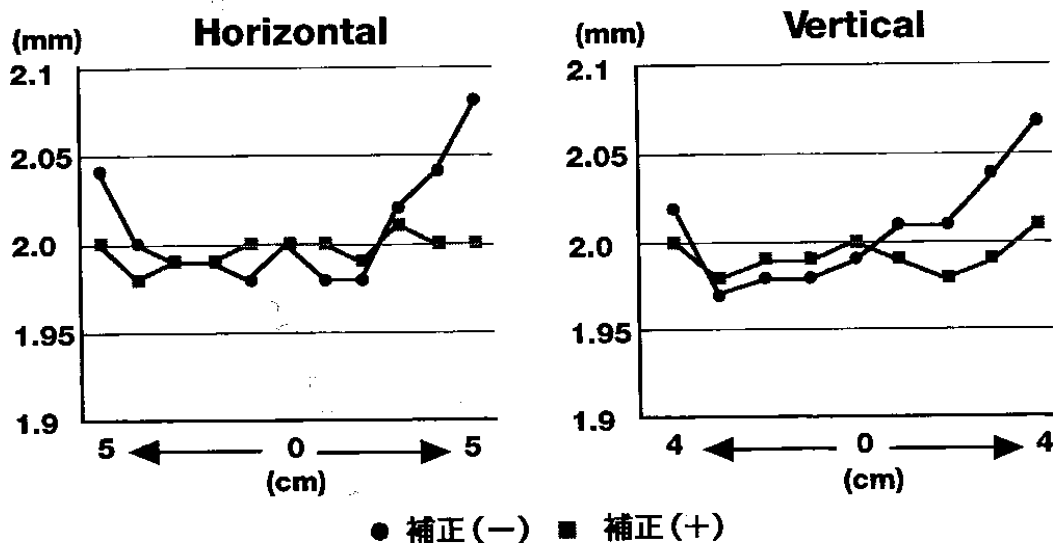


図 2 I.I. field size : 6 inch

※ただし、可変型のII.では各 field size ごとに、複数のカテ室を有する施設では、各部屋で補正を行う。また、地磁気の影響を各撮影方向においてその程度を認識する必要がある。当院での invitro study のよる計測値からみると、影響はほとんどなかった。

【定量解析の臨床利用】

定量的冠動脈解析は、その目的により、PTCA 時のサポートをする on line QCA と、短期、長期的に治療効果の判定に用いる off line QCA に二分される。前者はデジタルシネアンギオ装置付属

の画像解析ソフトを用いて血管径を算出し、バルーン、ステントなどの至適サイズをすみやかに決定し、より高度な Intervention を可能とする。一方、後者は 35mm シネフィルムを記録媒体とし、ステントをはじめとする New device の治療効果の判定、動脈硬化の進展と退縮の評価、あるいは薬剤治療の効果など長期予後の判定に適している。多施設間の共同研究では冠動脈造影を一定の方法で行い、参加施設よりシネフィルムを一ヶ所に集め解析する方法がとられている。(Core Laboratory)、当院では後者の off line QCA を採用している。

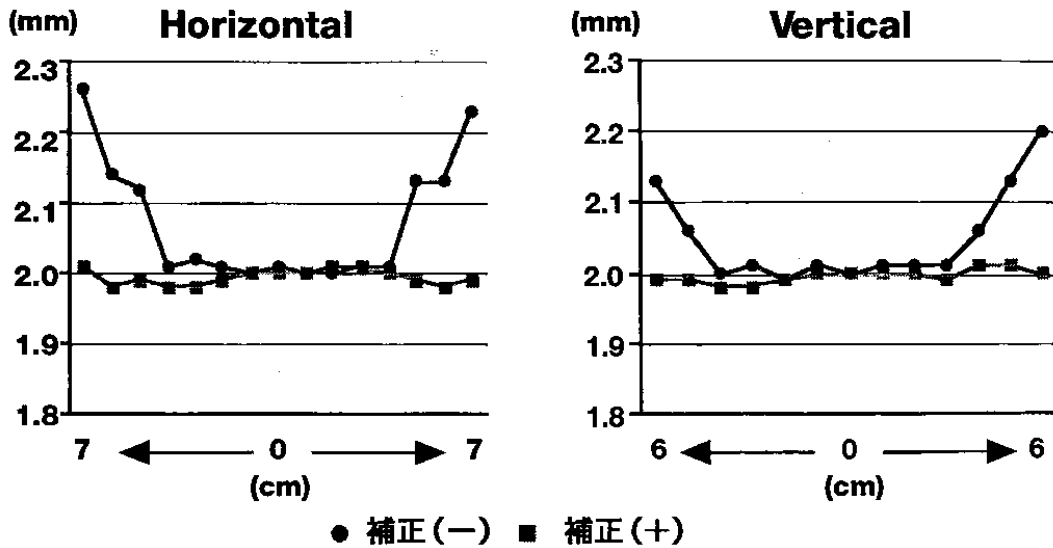


図 3 I. I field size : 9 inch

type A 成功率>85%	type B 成功率60~85%	type C 成功率<60%
1. 限局性 (<10mm)	1. 管状 (10~20mm)	1. びまん性 (>20mm)
2. 同心性	2. 偏心性	
3. 近位部の屈曲がない	3. 近位部の屈曲中等度	3. 近位部の屈曲高度
4. 病変の屈曲<45°	4. 病変の屈曲45~90°	4. 病変の屈曲>90°
5. 壁は整	5. 壁は不整	
6. 石灰化はあっても軽度	6. 石灰化は中等度以上	
7. 完全閉塞でない	7. 3ヶ月以上の完全閉塞	7. 3ヶ月以上の完全閉塞
8. 入口部でない	8. 入口部病変	
9. 主要分枝にかからない	9. 主要分枝にかかるが保護可能	9. 主要分枝の保護は不可能
10. 血栓がない	10. 血栓がある	
		11. 変性した静脈グラフト

表 1 ACC/AHA病変形態分類

【定量解析の実際】

当院における冠動脈狭窄の画像解析は、各撮影方向の冠動脈造影画像を十分観察し、ACC/AHAの病変形態分類(表1)をもとにその状態を把握する定性的評価とQCAによる定量的評価からなる。冠動脈造影では各撮影方向(少しの角度変化も同様)によって、その病変形態は変化し、Edge detection法を用いた画像解析装置による画像解析では、その計測値は異なることになる。(写真1-a, 1-b) その計測結果は、正常血管径(Ref.) caudal 2.99mm、cranial 3.21mm、最小血管径(MLD) 1.12mm、0.59mm、狭窄率61%、79%となっている。(表2, 3)

当院では、最も狭窄度の強い方向で撮影された画像をQCAに採用しており、この症例では、cranial viewとなる。また、QCAの精度を高めるために撮影角度、拡大率、心拍同期などの撮影条件を同一とした上で治療前後、短期、長期の血管径の変化の比較を行っている。この症例はLAD(seg.7)に対角枝を含んだ偏心性分岐部狭窄を認めPalmaz-Schatz stentの植え込みを施行した解析例である。ステントは植え込み後、非常に内面が平滑に形成されるためQCAの計測は容易である。しかし、バルーンによる追加拡張のため、病変部の径が正常部より大きくなることが多く、正

常部を病変部と誤認することがある。(写真2-a, 2-b)

【より精度の高い計測値を得るために】

QCAによる高精度な計測値を得るためには、カテーテル検査時より次のような細かい配慮が必須条件となる。

1. 十分な冠拡張剤の投与下で、冠動脈の拡張を確認の上、吸気で撮影する。
2. 病変部、カテーテル先端部などの計測部ではできるだけ、画面の中心部に配置する。
3. 撮影方向は多方向より行い、LCAは5~6方向、RCAは3~4方向撮影する。なお、追跡のための再撮影時には必ず初回撮影時と同一(カテ室、撮影方向、II. field size、SID)条件下で撮影する。(データの記録、保存)
4. 各撮影方向毎に一連の造影手技の中でemptyカテーテルを撮影する。
5. 造影剤の注入は一定速度で行い、2~3心拍の冠動脈の充満像を得る。
6. 造影時使用カテーテルはできるだけ1種類とし、calibrationに利用するため種類、sizeを記載の上、micro meterで実測する。
7. 画像解析時には、最も狭窄度の強い方向で、なおかつ側枝が妨げにならない、正確で再現性が得られる心拍拡張末期像を選択する。

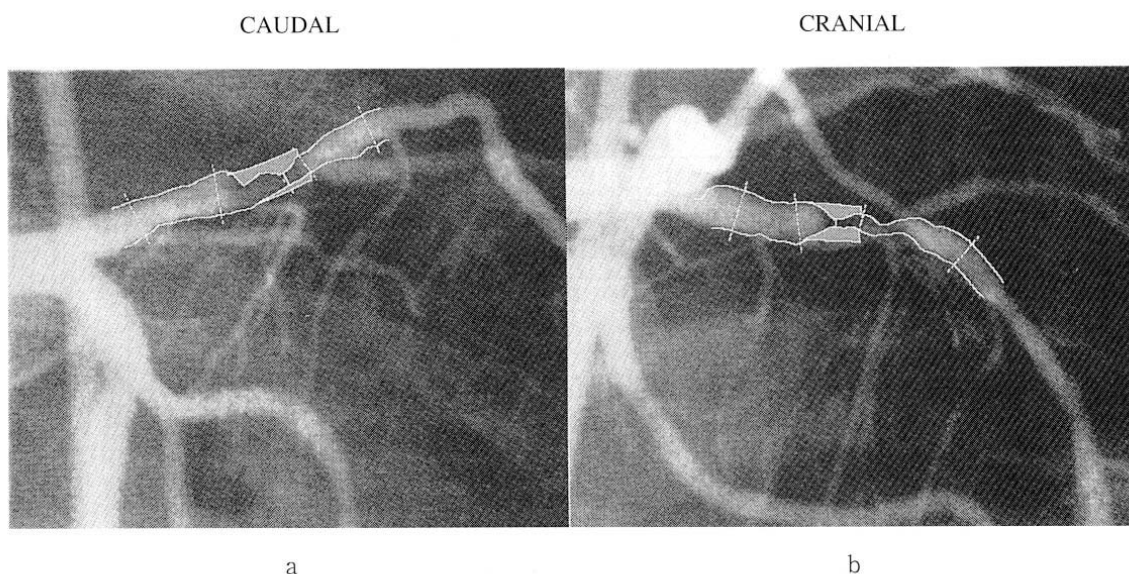


写真1 撮影角度による病変形態の変化

Core Angiographic laboratory Kokura Memorial Hospital
Pre-Procedure

Trial Name **BENESTENT-II** Institute **KMH** Patient Name **S. Y.**
 Trial ID **xz - 15** Hospital ID **03402573** Film No. **65755**
 Date **'96.2.20** Target Lesion **LAD Prox** Tx **AP**

Pre-Procedural Morphology

Lesion Location	1	CR	1-Prox 2-Distal 3-Mid 4-Coronal	Total Occlusion	0	0-Absent 1-Pres
Eccentric	1		0-Conc 1-Ecc (angle)	Pre TIMI	3	TIMI 0-3
Bend	0		0-Absent 1-Pres	Haziness	0	0-Absent 1-Pres
Thrombus	0		0-Absent 1-Pres	Bifurcation	D	0-Absent 1-Pres
Tortuosity	0		0-None 1-Mod 2-Severe	Side branch		CASS
Calcification	0		0-Absent 1-Pres	SB Pre DS		B-100%
Ulcerated	0		0-None/Mild 1-Mod 2-Severe	Supplies Colls	0	0-None 1-Mild 2-Seal 3-Excellent
Sawtooth	0		0-Absent 1-Pres	Receives Colls	0	0-None 1-Mild 2-Seal 3-Excellent
Aneurysm	0		0-Absent 1-Pres	Vessel Length	2	1-Small 2-Mid/Pres 3-Large
Intimal Flap	0		0-Absent 1-Pres	Distal Sten(>50%)	0	0-Absent 1-Pres
				ACC-AHA	B-2	

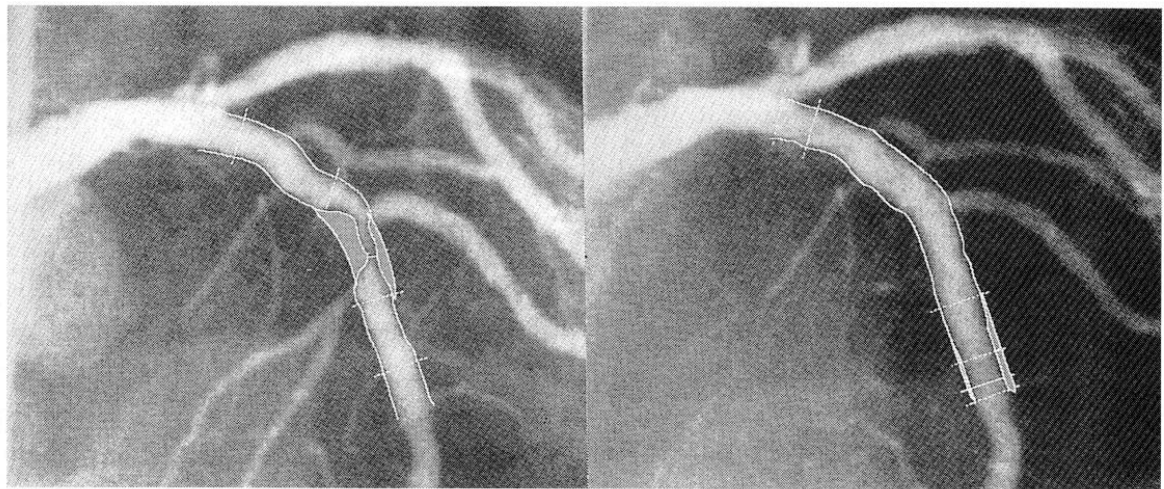
表 2

Quantitative Analysis (Benestent II)

	Projection 1 Caudal	Projection 2 Cranial
Frame Analyzed		
Catheter	5 (312)	14 (474)
Lesion	65 (372)	95 (555)
Catheter	Terumo JL4.0	Terumo JL4.0
Nominal(Fr)	8F	8F
Mesured(Fr)	7.81	7.81
Cathe Contrast	Empty	Empty
Length(C.D.)	7.8	4.81
Length(U.D.)	11.6	11.77
Prox Ref	2.99	3.21
Dist Ref	2.70	2.11
Inter Ref	2.84	2.76
MLD(C.D.)	1.12	0.59
% DS	61	79
Film Quality	1	1

1=Excellent 2=Fair 3=Poor 4=Not Analyzable

表 3



a

b

写真 2 Palmaz-Schatz 植込み前後

【ま と め】

冠動脈の画像解析では、努力工夫しても、得られる計測値は真の冠動脈径と一致することはなく、当院で、PTCA、ステント前後の66病変にIVUSと冠動脈造影より得られた血管径を比較したところQCAの方がIVUSに比し過大評価する傾向がみられた。QCA本来の目的は、信頼される計測値を提供できる冠動脈造影法と画像解析システムにあるといえる。満足したQCAを得るためには冠動脈造影時より造影方法、撮影方法に細かい配慮が必要であり、検者がその適応と限界を十分認識して使用すべきである。多施設間の共同研究の場合、LIのfield sizeが同一であっても、35mmシネフィルム上に写される画像の大きさは異なることが多く、QCAの精度は同一であるとはいえない。今後、画像解析に適応したシネフィルム画像のクオリティについて検討していきたい。

最後に、QCAは虚血性心疾患の狭窄病変の機能的評価はできず、むしろ評価するのは絶対径ではなく、狭窄部圧較差、狭窄部冠血管予備能である。Gouldらの研究では、これらの指標とQCAで得られる計測値に相関はみられないと報告している。したがってQCAは、虚血性心疾患の冠動脈造影による臨床研究を進める上では重要な意義をもつが、その計測値が個々の患者の診断、治療に必須なものではないと思われる。虚血性心疾患の臨床研究をみると不安定狭心症、心筋梗塞の発症は狭窄度ではなく定性的指標であり辺縁不整やflapなどの造影剤によるぬけがよく相関していると報告されている。急性心筋梗塞の予後の規定は、TIMI gradeであり、また、PTCAでは術前の狭窄形態が短期、長期の予後に大きな影響を及ぼす。

参考文献

- 1) Kelbfleish SJ, et al : Comparison of automated quantitative coronary angiography with caliper measurement of percent diameter stenosis. *Am J cardiol* 65 : 1181-1184 (1990)
- 2) Sanz ML, et al : Variability of quantitative digital subtraction coronary angiography before and after percutaneous transluminal coronary angiography. *Am J cardiol* 60 : 55-60 (1987)
- 3) Reiber JHC, et al : Assessment of short-medium-and long-term variation in arterial dimensions from computed-assisted quantitation of coronary cineangiograms. *Circulation* 71 : 280-288 (1985)
- 4) Reiber JHC, Serruys Pw : *Quantitative coronary angiography*. Klumer Academic publisher (1991)
- 5) Lesperance J, et al : Comparison by quantitative angiographic assessment of coronary stenosis of one view showing the severest narrowing to two orthogonal views. *Am J cardiol* 64 : 462-465 (1989)
- 6) Nissen SE, et al : Application of a new phased array ultra sound imaging catheter in the assessment of vascular dimensions. *Circulation* 81 : 660-666 (1990)
- 7) Gould KL , et al : Experimental validation of quantitative coronary arteriography of determining pressure-flow characteristics of coronary stenosis. *Circulation* 66 : 930-937 (1982)
- 8) Black AJR , et al : Tear or dissection after coronary angioplasty ; morphologic correlates of an ischemic complication. *Circulation* 79 : 1035-1042 (1994)
- 9) 延吉正清, 横井宏佳 : CAGにより冠動脈狭窄を定量化するには. *カレントセラピー* Vol12. No8 : 51-58 (1994)
- 10) Yukio Ozaki , David KEANE , Patrick W Serruys : 定量的冠動脈造影 (QCA) の近年の進歩 - 記録媒体に起因するQCAの信頼度低下の問題を中心として -. *JJIC* Vol10 No5 : 506-510 (1995)
- 11) Arnett E, et al : Coronary artery narrowing in coronary heart disease ; Comparison of cineangiography and necropsy findings. *Ann Intern Med* 91 : 350 (1979)
- 12) AHA committee report : A reporting System on patients evaluated for coronary artery disease. *Circulation* 51 : (1975)
- 13) Zir LM, et al : Interobserver variability in coronary angiography. *Circulation* 54 : 627 (1976)
- 14) Ryan TJ , et al : Guideline for percutaneous transluminal coronary angioplasty. A report of the

American College of Cardiology/American Heart Association task force on assessment of diagnostic and therapeutic cardiovascular procedures. (committee on percutaneous transluminal coronary angioplasty) *J. Am. Coll. Cardiol.* 1988 ; 12 : 529-545

- 15) Ryan TJ , et al : Guideline for percutaneous transluminal coronary angioplasty. A report of the

American College of Cardiology/American Heart Association task force on assessment of diagnostic and therapeutic cardiovascular procedures. (committee on percutaneous transluminal coronary angioplasty) *J. Am. Coll. Cardiol.* 1993 ; 22 : 2033-2054

[パネルディスカッション]

『高度先進医療 (INTERVENTION) に携わる放射線技師の役割』

座 長 集 約

横浜市立大学医学部附属病院 天 内 廣

近年の心臓血管 INTERVENTION は急速に進展発展し、心臓カテーテル室の作業環境や機器性能は飛躍的に変化してきている。

今回のパネルディスカッションは INTERVENTION を取り巻く放射線技師業務の現状と今後のあり方について討論し、問題点を共通認識するために企画した。パネラーは以下の5名で、発表内容の詳細は抄録を御覧いただきたい。

【パネラー紹介 (発表順)】

◎相沢忠範先生 (財・心臓血管研究所：医師)

「INTERVENTION の現状の問題点と将来展望について」お話しいただき、QCA の限界と IVUS の有用性、再狭窄の問題、将来展望として local drug delivery と外来 angioplasty の可能性を示された。(注. 原稿が届きませんでした…編集局)

◎宇都宮明美氏 (国立循環器病センター：看護婦)

「カテ室の看護業務の現状」をお話しいただき、放射線技師への要望として定期的に装置や放射線に対する勉強会を行ってほしいと結ばれた。

◎新谷光夫氏 (富山医科薬科大学：放射線技師)

「カテ室における放射線技師のペーシェントケアの実際とその意義」を発表していただき、落雷による停電事故の経験から装置を改善した具体例の報告や、放射線防護に関する具体的な行動と啓蒙活動を紹介された。又、現状の設備面の不備も指摘された。

◎中澤靖夫氏 (昭和大学：放射線技師)

「放射線技師が取り組まなければならない機器管理と放射線被曝管理への提言」をお話しいただき、被曝と機器にかかるコストを出来るだけ少なくして診断情報量の多い画像を提供するということが放射線技師の第一の仕事だ。又、将来的には循環器装置の機器管理プログラムを発表し普及させて

いく仕事や、被曝防護具の合理的な推奨品などについて統一見解を示し一般化させていくことも、国民の健康を守り医療被曝を低減することにつながる研究会活動の重要な仕事のひとつだ、と結ばれた。

◎川中秀文氏 (小倉記念病院：放射線技師)

「責任ある画像情報を臨床に提供する上で現在取り組んでいること」として QCA (CAAS II) の実際を発表していただいた。拡大率補正はシネ画像上のカテの empty 像を計測し、検査終了後に使用カテの先端外径を実測して計測値の校正を行っていることや、QCA は医師以外の技師4名が行っている事を話された。再現性の高い QCA を行うためには造影手技にも気を配る必要があると結ばれた。

【ディスカッション】

Q> 高須賀 (済生会中央病院)：全症例に IVUS を使うべきか？

A> 相沢：コスト、作業時間、合併症の誘因となるなどの理由から INTERVENTION の全症例に IVUS が必要とは考えていない。

Q> 司会：INTERVENTION を行う上で現状のモニター画像のクオリティーに不満はないか？

A> 相沢：“調整が完全になされているシステム”なら現在のハイラインの画質性能で問題は無いと考えるが、現実の透視像にはまだまだ問題がある。透視で見えにくい部分に対してわざわざ撮影を追加して病変部をチェックしている現実があり、被曝低減の意味からも改善される必要がある。

Q> 古田 (小倉記念病院)：hyperplasia の治療法についてどの様にお考えか？

A> 相沢：幾つかの治療薬のトライアルが現在進行中であるが、DCA でもステントでも閉塞性病