

課題研究

QCA の精度を左右する要因と基本技術

千葉県循環器病センター 景山 貴洋／佐藤 次男／今関 雅晴
 昭和大学病院 中澤 靖夫／佐藤 久弥
 石心会狭山病院 植木 茂樹
 小倉記念病院 川中 秀文
 N T T 東日本関東病院 若松 修

【目的】

近年、QCA はデジタルシネ画像の発展と相まって、冠インターベンション時のバルーンやステントサイズなどの決定支援に重要な役割を担うようになった。シネ画像の記録媒体もシネフィルムからデジタルテープ、CD-R、さらには RAID DISK へと確実に移行してきている。QCA も Film-based QCA からデジタルテープあるいは CD-R に記録されたデジタルシネ画像を用いる off line Digital QCA、デジタルシネ撮影した画像を直接 QCA 解析装置に取り込み行う on line Digital QCA が発展し、いわゆる Digital QCA が主流になりつつある^{1,2)}。年々 QCA ソフトウェアのユーザーインターフェースも優れたものとなり、計測範囲を設定することによって、大概是オートメーションで解析結果が得られ計測の迅速化が図られている。一方、計測者は解析結果が限りなく真の血管径に近くなるよう正確に計測する技術が重要となる。このためには、冠動脈造影から QCA ソフトウェアによる計測まで計測精度を左右する因子を理解し、計測に関わる誤差を小さくする努力と工夫が必要となる。そこで、本研究では Digital QCA に絞り、Digital QCA の計測精度に影響を及ぼす因子を整理し、計測精度を高めるための基本技術を検討した。

【方法】

Digital QCA の計測精度に影響を及ぼす因子を文献調査およびブレイクダウン法で調べた。次に QCA に携わる計測者が計測誤差を小さくできる手法を検討した。QCA ソフトウェアは

QCA-CMS(MEDIS)、ACA(PHILIPS)を使用した。また、血管狭窄ファントムはアクリルに 3mm の円柱管をくりぬき、これに 0.2,0.6,1.0,1.3,2.0,2.5 mm の狭窄径を有したものを使用した。造影剤は Iopamiron 370(SHERING)を用い血管狭窄ファントムに充填した。QCA の精度評価には Bland と Altman³⁾が提唱した方法に基づいて、QCA システムによる計測値からファントムの実測値の差をプロットしたグラフを用いた。統計解析プログラムは Stat Vew 5.0(SAS Institute inc.)を使用し $p < 0.05$ を統計学的に有意と判定した。

【結果および考察】

QCA の精度に影響を及ぼす要因⁴⁾を表 1 に示した。大因子は 12 項目であった。QCA 解析に携わる計測者が、計測誤差をコントロールできる因子としては、I.I.、キャリブレーション、画質、画像フォーマットが考えられた。また、これらの因子に対する検討課題は表 2 の通りであった。以下に検討結果を示す。

表 1. QCA の精度に影響を及ぼす要因

・冠動脈	・散乱線
・キャリブレーション	・造影剤
・画質	・画像観察系
・計測方法	・撮像素子
・I.I.	・画像フォーマット
・視覚	・狭窄率判定方法

表 2. QCA の計測精度をコントロールできる因子とその検討課題

1. I.I.	I.I. 光学系の歪み
2. キャリブレーション	カテーテルサイズ, カテーテル内の造影剤の有無
3. 画像処理	画像収集マトリックス エッジ強調
4. 画像フォーマット	DICOM 画像を用いた解析精度
5. 撮影技術	フィルター, コリメーション
6. 患者	心拍動

1. I.I.

1-1. I.I.光学系の歪み

シネ画像には I.I.光学系に起因する歪みが存在し、画角の中心と辺縁では歪みの度合いが異なり、周辺に行くほど歪みは大きくなる。また、歪みはイメージサイズにより異なり、イメージサイズ 9 インチでは最大で 14%の歪みを認めたとする報告がある⁵⁾。臨床においては、キャリブレーションとなるカテーテルが画角周辺にあり、病変部が画角中心に位置する場合は、この歪みに起因する誤差が計測に影響するものと考えられる。このことから、まず使用する I.I.光学系の歪みを調べておく必要がある。その測定方法は、I.I.グリッド前面に 10mm 格子のグリッドを配置しデジタルシネ撮影する。歪みの算出方法は、グリッド像の中心から 10mm のグリッドまでの距離を計測し A とする。次に別のポイントでの距離を求めて B とする。ここで B の位置での歪み率は、 $(B-A)/A \times 100$ で算出され、同様にして各々のポイント間を求める (図 1)。本法で算出した I.I.光学系の歪み率の結果を図 2 に示した。また、図 3 にカテーテルと冠動脈を I.I.光学系の歪み率が 0%の区域で撮影した臨床例を示した。このように QCA ではカテーテルと冠動脈を I.I.光学系の歪み率が 0%の区域で撮影し解析することで I.I.光学系の歪みの影響を抑えることができると考える。

2. キャリブレーション

キャリブレーションにおける問題点は、現在、大きくは二つあると考える。第一にカテーテル径を QCA システムへ入力する際に、公称サイズでも良いのか、カテーテル外径の実測値を用いるべきかである。第二に造影剤を満たしたカテーテル像を用いるか、空のカテーテル像を用いるかである。第三にカテーテルサイズの下限值である。

$$\text{歪み率(\%)} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

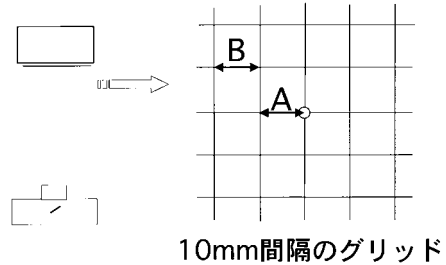


図 1. I.I.光学系の歪み率の計測方法

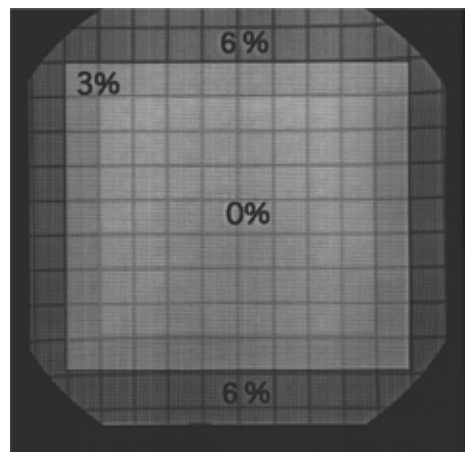


図 2. I.I.光学系の歪み率の計測結果

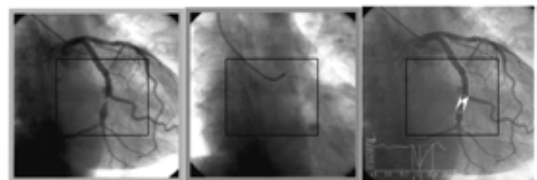


図 3. 冠動脈造影への適応例

2-1. カテーテル径の QCA システムへの入力

この点については、公称サイズが同一のカテーテルでも実測値が異なるカテーテルがあることから、キャリブレーションに用いるカテーテルサイズはマイクロメータで計測した値を用いるべきとする報告^{5,6,7)}がある。一方、Reiber は 6Fr-7Fr のカテーテル外径を実際に測定し、同 1 種類のカテーテルの外径のパラツキは 0.02-0.03mm と小さいことから、個々のカテーテル外径を測定する必要はないと述べ、カテーテル外径の平均値を用

いてよいとしている⁸⁾。このことからカテーテル径の QCA システムへの入力は、公称値は使用せず施設使用のカテーテル外径の平均値を求めておき、この平均値を入力することがよいと考える。

2-2. カテーテルに造影剤を満たすか空のカテーテルを用いるか

図 4 は 4, 5, 6, 7F の同一カテーテルに造影剤を満たした時と空の時とでカテーテル外径の実測値との差をみたものを示す。このときの QCA システムは QCA-CMS(MEDIS)を用いた。これらのサイズの中で、6F の空のカテーテルは管電圧が 80,90kV のとき、実測値との間に 0.1mm 以上の誤差を生じた。原因は管電圧が高くなることにより、カテーテル辺縁のコントラストの低下が考えられた。コントラスト低下によって、エッジディテクションが不安定となり 0.1mm 以上の誤差を生じたものと推測された。また、他のカテーテルは誤差が 0.1mm 以下であることから、カテーテルの材質や壁厚が影響したものとも考える。造影剤を満たしたカテーテルは、管電圧の変化に対して誤差が全て 0.1mm 未満であった。以上から、QCA-CMS によるカテーテル・キャリブレーションでは、カテーテルに造影剤を満たす必要があると考える^{6,7)}。表 3 は解析装置別に造影剤を満たすか、空にするか、現在までに明らかにされている見解を示した。

2-3. カテーテルサイズの下限值

カテーテルサイズの下限值は、QCA システムへの画像入力時の 1 ピクセル当りの距離で決定される。Rieber らはカテーテルのエッジディテクションの誤差が 5%を越えた場合は、狭窄径の計測に影響を及ぼすとし、5F のカテーテルはエッジディテクションの誤差が 5%ぎりぎりであると報告している⁸⁾。一方、4Fr のカテーテルでも辺縁検出のばらつきの少ないカテーテルを用いた QCA は、6Fr と同程度の精度が得られたとする報告がある¹⁰⁾。このことから、一般にはキャリブレーションに用いるカテーテルサイズの下限值は 5F のカテーテルと考えられる。細径の 4Fr カテーテルはエッジディテクションの誤差が 5%以内であることを検証し使用すべきと考える。

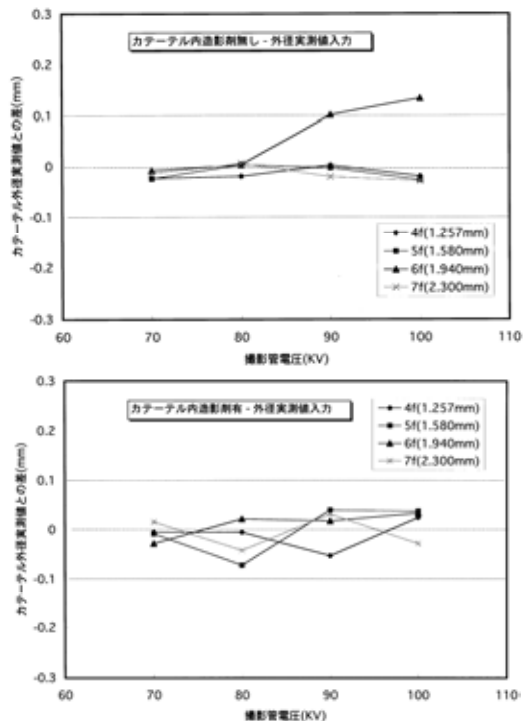


図 4.カテーテル内の造影剤有無によるカテーテル径の計測結果

表 3. QCA システムにおけるカテーテル・キャリブレーション時の造影剤の有無

・QCA-CMS (Medis)	造影剤有
・CASS (Pie Medical)	造影剤なし
・AWOS (Siemens)	造影剤有
・ACA (Philips)	造影剤有

3. 画質

3-1. 収集マトリクス

デジタルシネ画像撮影時の収集マトリクス数が計測精度に影響を及ぼすか調べるため、血管狭窄ファントムを 1024×1024、1024×512 のマトリクスで撮影し、on line QCA で計測した。QCA のソフトウェアは ACA(PHILIPS)を使用した。結果を図 5 に示した。

血管ファントム径の実測値と QCA システムでの計測値との相関は 1024×1024 では正の強い相関を示した。しかし 1025×512 では相関は低い結果となった。これは実測値 0.3mm に対する計測値が 1024×1024 と比較し過大に計測され、相関係数が低くなったものとする。今回の実験は血管狭窄ファントムを水平よりも右下方に 30° 傾

けて配置した。1025×512 の 1 マトリクスは長方形でありマトリクスの配列が縦長である。このために過大に計測されたものとする。ゆえに、on line QCA またはデジタルシネ画像を DICOM 記録しこれらの画像を計測する場合は、その前段階として撮影時の収集マトリクスを正方形とし、1024×1024 にすることが計測精度を高めることになる¹¹⁾。

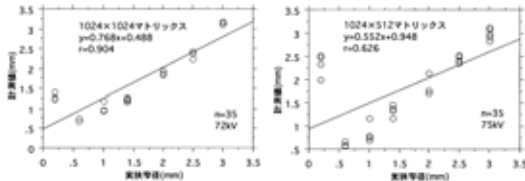


図 5.画像収集マトリクス数を変化させたときの QCA の精度

3-2. エッジ強調

次にエッジ強調処理が解析値へ与える影響を調べた。図 6 は左前下行枝#6 に狭窄を有する冠動脈造影像を用いて、この画像にエッジ強調処理なし、エッジ強調度 6、エッジ強調度 12 と強調の度合を変化させたときの on line QCA の結果を示した。撮影装置は INTEGRIS BH3000(PHILIPS)、QCA システムは QCA-CMS(MEDIS)を使用した。

結果はエッジ強調なしと強調度 6 では、狭窄径、リファレンスおよび狭窄長はほぼ同様の結果であった。強調度 12 ではエッジ強調なしと比較し、狭窄径で+0.89mm、リファレンス径で-0.99mm、狭窄長で-11.12mm の差を生じ過小評価した。ゆえに強調度の強い画像処理は解析値に影響を及ぼすことから避ける必要がある。また、エッジ強調処理の程度を毎回同じくする必要があると考える。

4. 画像フォーマット

4-1. DICOM 画像を用いた解析精度

DICOM フォーマットは 512×512、8bit、JPEG 2:1 で記録する。ここでは、DICOM で記録された画像(DICOM 画像)を用いた QCA 解析の精度を調べた。図 7 に 3 施設を調査対象とした DICOM 画像の QCA の精度を示した。実狭窄径が 1-3mm の範囲では計測精度が 0.2mm 以下であった。実狭窄径が 1mm 未満では 0.2mm 以上の計測誤差を生じた。QCA システムの精度は、測定値と実際の値の差が 0.1-0.2mm 以内であれば、理想的な QCA システムである^{2,12)}ことを考えると、

DICOM 画像を用いた QCA システムの精度は、実狭窄径が 1-3mm の範囲では満足すべきものとする¹³⁾。

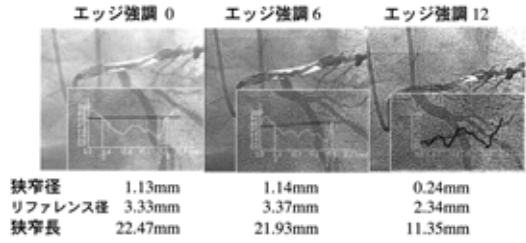


図 6.エッジ強調処理が解析値に与える影響

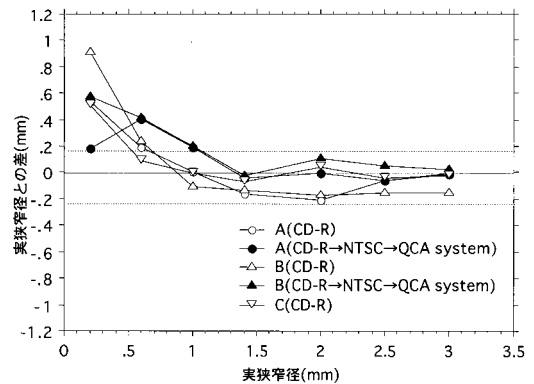


図 7.3 施設を調査対象とした DICOM 画像の QCA の精度

図中の A,B 施設の CD-R→NTSC→QCA system は、CD-R に記録された DICOM 画像をアナログ変換し NTSC を介して QCA system に画像入力した。

5. 撮影技術

5-1. フィルター、コリメーション

冠動脈撮影時にハレーション防止にフィルターは重要な技術である。フィルターの有無が計測値に与える影響を血管ファントムを用いて調べた。血管狭窄ファントムはリファレンス径 3mm、狭窄径 1.5mm を使い、撮影管電圧 69kV、イメージサイズ 7 インチで撮影し計測した。

結果を図 8 に示した。リファレンス径はフィルターなしとフィルターありで差を認めなかった(3.04±0.028mm vs 2.95±0.139mm, ns)。狭窄径はフィルターなしはフィルターありと比較し小さく計測した(1.23±0.085mm vs 1.47±0.057mm, p<0.05)。フィルターなしでは血管狭窄ファントムへのハレーションが増加し、狭窄部のコントラスト低下をきたし狭窄径を小さく評価したものとする。よって、冠動脈造影時に的確なフィルター挿入およびコリメーションが重要と考える。

6. 患者

6-1. 心拍動

図9は右冠動脈#3の症例にQCAを施行し、心周期の違いがQCA解析に与える影響を調べたものである。狭窄径は心周期の違いによって最大で0.24mmの差を生じた。また、リファレンス径は0.16mm、狭窄長には0.48mmの差が生じた。バルーンサイズは0.25mmステップであることから、リファレンス径で0.16mmの差はバルーンサイズの決定支援に支障ないものと考えられる。しかし、狭窄径の0.24mmの差は、狭窄径を経時的に追跡評価する場合には無視できない結果であると考えられる。よって、いつも同じ心位相における冠動脈造影でQCAを施行し、再現性を高める必要があると考える。さらに、QCAは静止画像を用いることから、ボケのない画像が必要となる。この点に関しては正常者の左室後壁の平均収縮速度は26-64mm/secであるとCooperらの報告がある。また、右冠動脈の瞬間的な動きは20-200mm/secとなるとも言われている。右冠動脈の移動距離が最も大きくなる撮影角度はRAO系であり。この撮影角度はパルス幅に注意を要する。具体的にはパルス幅は4msecがボケのない静止画像を得るのに必要な条件であると考えられる。

【結論】

QCAの計測精度に影響を及ぼす主な因子を取上げ、計測精度を高める方法を検討した。

- 1) I.I.光学径の歪みを調べ、歪み率の小さい区域でカテーテルと病変部を撮影する。
- 2) キャリブレーションはカテーテル外径の平均値を求めてこの値を入力する。
- 3) 画像収集マトリクスは1024×1024以上、正方形マトリクスで撮影しDICOMフォーマットする。
- 4) 強度のエッジ強調処理はせず毎回同様の処理画像を用いる。
- 5) 撮影時にフィルターやコリメーションを的確に行い病変部へのハレーションを防止する。
- 6) 計測する心位相をいつも同じくする。
- 7) 右冠動脈造影はパルス幅を4msecとして撮影する。

が重要であると考えられる。

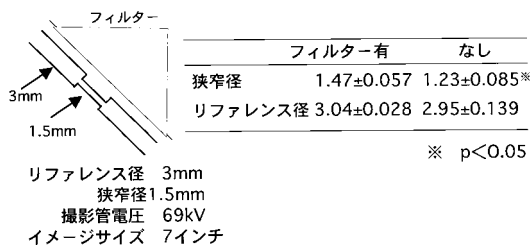


図8.フィルタ - の有無によるQCA解析値への影響

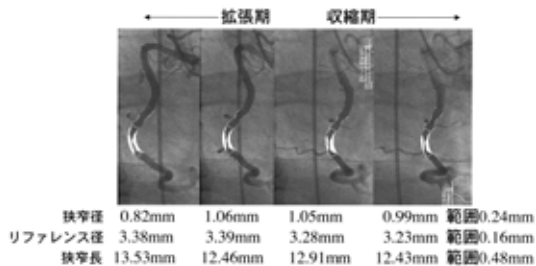


図9.心周期の違いがQCA解析に与える影響 (右冠動脈#3に対しQCAを施行)

参考文献

- 1) J.H.C. Reiber, Ernst E.van der Wall: CardiovascularImaging pp1-574, Kluwer Academic Publishers, 1996
- 2) 孫崎信久, 石井康弘, 市川健一郎, 細田瑛一: 冠動脈解析(X線)の精度, 循環器科. 41. No.4:347-354, 1997
- 3) Bland JM. Altman DG. Statistical method for assessing agreement btween two method of clinical treatment. Lancet. 2: 307-310,1986
- 4) 佐藤久弥, 加藤京一, 武俊夫, 中澤靖夫 他: 冠状動脈脈管計測の計測精度に影響を及ぼす因子の検討, 循環器画像技術研究. 16: 5-10,1998
- 5) 川中秀文, 古田求: 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, 全国循環器撮影研究会誌. 9: 70-77, 1997
- 6) 景山貴洋, 佐藤次男, 植木茂樹, 山口雅宗: 定量的冠動脈造影法におけるカテーテル・キャリブレーションの精度について, 全国循環器撮影研究会誌. 10: 27-30, 1998
- 7) 植木茂樹, 景山貴洋, 佐藤久弥, 山口雅宗 他: 定量的冠動脈造影法におけるカテーテル・

- キャリブレーションの計測精度についての検討, 循環器画像技術研究. 16 : 11-15, 1998
- 8) J.H.C. Reiber. PhD, Wouter Jukema. MD et al. : Catheter Sizes for Quantitative Coronary Arteriography, Cathet.Cardiovasc.Diagn. 33 : 153 - 155, 1994
- 9) P.W.Serruys, D.P.Foley, P.J.de Feyter: Quantitative Coronary Angiography in Clinical Practice pp1-715, Kluwer Academic Publishers, 1994
- 10) 武田和也, 高梨昇, 伊山篤, 飯山利健 他 : 4Fr カテーテルを使用した定量的冠動脈造影法 (QCA) の検討 第2報 (臨床例での 6Fr カテーテルとの比較, 心血管インターベンション. 16 Supplement 1 : 228, 2001
- 11) 景山貴洋, 佐藤次男, 植木茂樹他 : DICOM フォーマット画像による定量的冠動脈造影法の精度, 全国循環器撮影研究会誌. 12 : 34 - 37, 2000
- 12) J.H.C. Reiber, Patrick W.Serruys: Progress in Quantitative Coronary Arteriography pp1-420, Kluwer Academic Publishers, 1994
- 13) 景山貴洋, 今関雅晴, 佐藤次男, 植木茂樹他 : 定量的冠動脈造影法(Quantitative Coronary Angiography)における施設間差の実態調査, 全国循環器撮影研究会誌. 13 : 10 - 14, 2001