

# Digital subtraction angiography による心筋灌流状態可視化の試み

# Myocardial perfusion imaging by digital subtraction angiography

門脇 宏之  
石川 欽司  
大貝 俊弘  
香取 瞭

Hiroyuki KADOWAKI  
Kinji ISHIKAWA  
Toshihiro OGAI  
Ryo KATORI

## Summary

Several methods of digital subtraction angiography (DSA) were compared to determine which could better visualize regional myocardial perfusion using coronary angiography in seven patients with myocardial infarction, two with angina pectoris and five with normal coronary arteries. Satisfactory DSA was judged to be achieved if the shape of the heart on the mask film was identical to that on the live film and if both films were exactly superimposed. To obtain an identical mask film in the shape of each live film, both films were selected from the following three phases of the cardiac cycle; 1) at the R wave of the electrocardiogram, 2) 100 msec before the R wave, and 3) 200 msec before the R wave. The last two were superior for obtaining mask and live films which were similar in shape, because the cardiac motion in these phases was relatively small. Using these mask and live films, DSA was performed either with the continuous image mode (CI mode) or the time interval difference mode (TID mode). The overall perfusion of contrast medium through the artery to the vein was adequately visualized using the CI mode. Passage of contrast medium through the artery, capillary and vein was visualized at each phase using TID mode. Subtracted images were displayed and photographed, and the density of the contrast medium was adequate to display contour lines as in a relief map. Using this DSA, it was found that regional perfusion of the contrast medium was not always uniform in normal subjects, depending on the topography of the coronary artery. In all patients with anterior myocardial infarction, low perfusion was observed at the infarcted portion compared to the non-infarcted myocardium. In patients with inferior myocardial infarction, this low perfusion area was not observed because right coronary angiography was not subjected to DSA in this study. Several technical difficulties in performing coronary DSA were discussed and we proposed its application to detect myocardial perfusion defects in coronary arteriograms of clinical patients.

## Key words

Myocardial perfusion      Digital subtraction angiography

近畿大学医学部 第一内科  
大阪府南河内郡狭山町西山 380 (〒589)

The First Department of Internal Medicine, Kinki  
University School of Medicine, Nishiyama 380,  
Sayama, Minamikawachi, Osaka 589

Received for publication June 4, 1985; accepted July 2, 1985 (Ref. No. 29-32)

## 目 的

現在, 臨床的に心筋虚血状態を把握するためには, 冠動脈造影による動脈狭窄の程度<sup>1)</sup>, 左室造影<sup>2,3)</sup>や心エコー図法による壁運動異常<sup>4)</sup>, radioisotope 法による 201-Tl 心筋シンチグラフィ<sup>5)</sup>などが使用されている。しかし, これらの方法では局所心筋灌流状態を経時的に可視化することはできない。我々は, digital subtraction angiography (DSA) を用いて心筋灌流状態を可視化しようと試みた。

DSA は, 元来腹部臓器や脳など, 比較的動きの少ない臓器を, より少ない造影剤<sup>6,7)</sup>, 侵襲の少ない静脈注入<sup>8,9)</sup>により観察するために開発されたもので, 心臓のように動きの激しい臓器では, 安定した像を得ることは困難である<sup>10,11)</sup>。この点について, 我々は DSA を施行するにあたり, マスク像 (mask image: 造影前の生体透視像) とライブ像 (live image: 造影された血管を含む生体透視像) を種々選択し, どの方法が心筋灌流状態の可視化に適するか検討した。

## 方 法

対象は虚血性心疾患の診断目的にて冠動脈造影を施行した症例のうち, 正常洞調律で, 心電図が同時記録されており, DSA に大きな支障のないと考えられる心筋梗塞症 21 例, 狭心症 13 例, 正常冠動脈 9 例, 計 43 例で, これらに DSA を施行した。

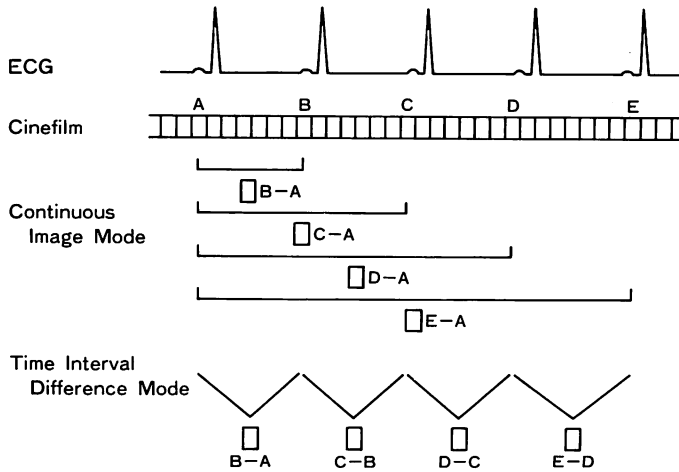
左冠動脈造影は, 右鼠径部より Seldinger 法により Judkins カテーテルを挿入し, 造影剤 (76% Urografin) 5~8 ml を用手的に注入し, 施行した。使用した X 線装置は Siemens 製 biplane 方式 Gigantos, RGS-100G (焦点: 0.6×0.6, 1.2×1.2 mm), イメージインテンシファイアーは, 同じく Siemens 製 Sirecon-2-duplex 25/15-high resolution, またカメラは Arnold-Richter 製にアリテクノ 35R-150 を用い, 毎秒 50 フレームで撮影を行った。

記録された 35 mm シネフィルムを, エルク製シネアングイオプロジェクター CAP-35B を用い, 1コマごとにビデオ信号に変換, アビオニスク製汎用画像処理装置, TVIP-2100 に入力した。画像は 512×512 画素, 256 階調に AD 変換され, メモリーされる。入力された画像は冠動脈造影時同時記録された心電図により, 心時相を合わせサブトラクションを施行, その結果をテレビモニター上で観察し, またビデオディスク・レコーダーに記録した。

しかし, 被検者の僅かな体動, 呼吸時相の差異により, 単純にサブトラクションしたのでは必ずしも綺麗な像が得られるとは限らない。今回の我々の方法では, 一般の DSA 専用装置と異なり, 一度シネフィルム上に記録された像をビデオ信号に変換入力しているため, 後処理がしやすい。すなわち, 光学的に像を移動させることで, 心臓の位置移動によるこれらの誤差に対応することができる。今回は, 位置ぎめの指標として, 椎体ならびに肋骨を用いた。

完全な DSA 像を得るには, 心周期を一致させることが必要である。しかし, X 線の曝射は間欠的で, 当施設では 20 msec ごとに行っており, 最大 10 msec の心周期のズレが生じてくる。このズレが生じても良好な DSA 像を得るには, この間の心筋の形の変化が少ない時相を選べばよいことになる。そこで, 心臓の形の変化が少ないと考えられる拡張期に着目し, 心電図 R 波頂点, R 波頂点より 100 msec 前 (R-100 msec), R 波頂点より 200 msec 前 (R-200 msec) の 3 時相を選び, DSA を施行した。

次に, 以下に説明する continuous image (CI) mode と, time interval difference (TID) mode<sup>10,11)</sup> のいずれが適しているかについて検討した。CI モードは, マスク像を造影剤注入前の像に固定し, 造影剤が注入されてから, 1 心拍目, 2 心拍目, あるいは 3 心拍目と, 造影剤注入後の像の同じ心時相のものをライブ像とし, 注入前のマスク像から順次サブトラクションを施行する方



**Fig. 1. Diagrammatic representation of subtraction mode.**

Continuous image (CI) mode: The mask image is the frame before the contrast medium injection.

Time interval difference (TID) mode: The mask image is the antecedent frame with the constant time interval before the live image.

法である。TID モードは、動きの早い臓器に対し、その時間的経過に対する差を観察するのに適しているとされており<sup>11)</sup>、ライブ像に対し、マスク像をその一心拍前の同じ心時相の像としたものである。したがってこの方法では、上の CI モードと違い、マスク像が次々と変わることになり、一心拍の間に造影剤がどのように移動したかを知るのに適している (Fig. 1)。

このようにして得られた DSA 像の造影剤の濃度は、心筋灌流状態に関連した値と考えられる。しかし、DSA 像を肉眼的に観察しても、客観的に評価することは困難である。そこで、像のグレーレベルを垂直軸にとり、三次元的に表示し、評価した。

### 結 果

DSA を施行した 43 例中、心筋灌流像が得られたものは 14 例で、その内訳は心筋梗塞症 7 例(下壁 4 例, 前壁 3 例), 狭心症 2 例, 正常 5 例であった。心筋灌流像が得られた症例が少ないのは、心筋灌流相が比較的造影の終わりに近く、不整脈、徐脈の出現による造影の中止により、心筋灌

流相が得られなかった例があること、また、この時期には患者の咳嗽発作や深呼吸が起こり、マスク像とライブ像との形が異なったり、位置移動が大きいため、光学的な像の移動のみでは適切なマスク像を得られなかったことなどによる。

まず同期心時相による変化を検討した。Fig. 2 は、左より心電図 R 波頂点, R-100 msec, R-200 msec に同期心時相をとり、DSA を施行したものである。左の像は右二つの像に比し、DSA 像にボケがみられた。

Fig. 3 に CI モードと TID モードで得られた DSA 像を示す。左より注入開始より 2 心拍目, 5 心拍目, 7 心拍目の像である。図上段の CI モードでは、造影の初めでは、左側のように、動脈相のみが描出されているが、造影剤の進行につれ、図右のように、心筋相、静脈相すべてが同じ像の上に描出されてしまっている。これに対し、下に示した TID モードでは、造影の初めには、CI モードと同じく動脈相のみが描出されているが、中央では造影剤はちょうど心筋相から静脈相に移ったところであり、CI モードに比べ、心筋相が比較的よく強調されている。図右は造影剤が

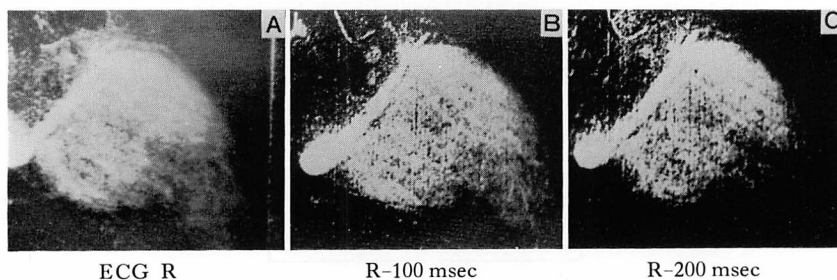


Fig. 2. Comparison of the DSA images at three synchronous times; at the peak of the R wave (A), 100 msec (B) and 200 msec (C) before the R wave in a 49-year-old patient with old anterior myocardial infarction.

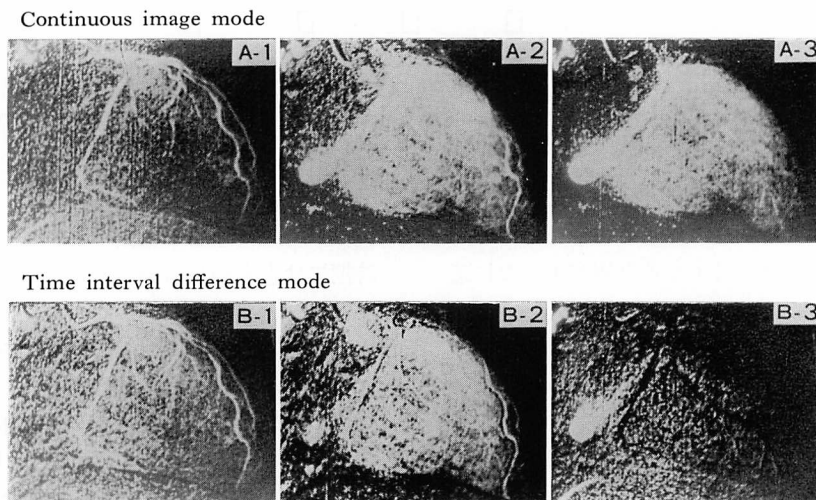


Fig. 3. Comparison of the DSA images obtained with two different DSA modes.

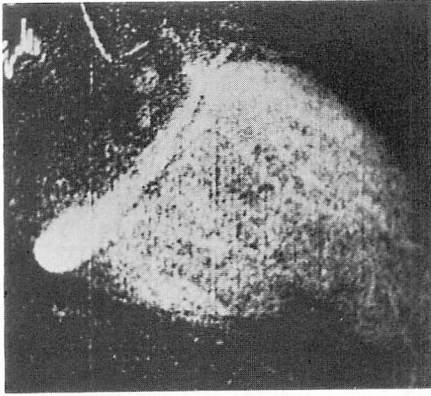
Three pictures in the upper panel (A) are obtained with the CI mode; the lower (B), with the TID mode. The numbers of each picture ((1), (2), (3)) indicate the timing of live images; (1) utilized the live image of the second beat, (2) 5th beat, and (3) 7th beat after the contrast medium injection. The subject is the same as in Fig. 2.

冠静脈洞に移ったところであり, 下の TID モードではマスク像を 1 心拍前の像にしたため, 動脈相, 心筋相は消去され, 冠静脈洞のみが描出される結果になっている。

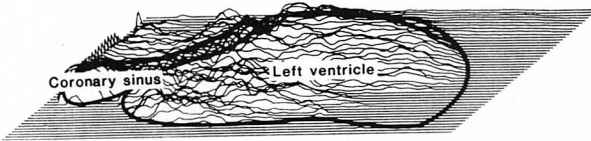
得られた像のグレーレベルを垂直軸にとり, 三次元的に表示すると (Fig. 4) の如くなる。この方法では, 像の濃度が山の高さとして立体的に表現される。これにより, 心尖部のサブトラクション像の欠損像が山の欠如として表現され, 山の

高さを比較することで, 像の濃度を客観的に評価できた。

得られた像は, 正常例でもその濃度は完全には均一ではなかった。前壁梗塞症例では 3 例中全例に, 梗塞部に一致した濃度低下を見, 狭心症例では 2 例中 1 例に, 狭窄冠動脈支配領域に一致した濃度低下が観察された。



Subtraction image



Three dimensional Display

Fig. 4. Three-dimensional display of the subtraction image in the same patient as in Fig. 2.

### 考 按

DSA を用い心筋灌流状態の可視化を試みたが、以下に述べる種々の問題があった。

第一に、マスク像とライブ像の位置合わせの問題である。我々の方法では、一般の DSA 専用装置と異なり、光学的に像を移動させることができるので、呼吸や他の動きに対応し、ある程度の範囲内であれば、一コマごとに補正することが可能である。しかし、ある程度以上の動き、すなわち咳嗽、深呼吸などには対応できなかった。位置ぎめの指標として椎体や肋骨を用いたが、これは心外のマーカーであり、心嚢内で自由に動く心臓の確かな位置ぎめとはならないだろう。理想的には心内または心表面マーカーを用いることが考えられる。すなわち冠動脈分岐点などの心表面マーカーを利用する方法も、今後検討する必要がある。

第二に同期心時相については、心臓の動きの変

化の少ないと考えられる拡張期に着目し、心電図 R 波、R-100 msec、R-200 msec の 3 時相について検討した。視覚的に三時相を比較した範囲では、R 波同期の像にボケが観察された。すなわち、R 波の時点では他の二つの時相に比べ、わずかな時間的ズレに対する心臓の動きが大きい<sup>12)</sup>と考えられる。すなわち、心周期同期で DSA を行う場合、心房収縮の始まる直前の R-100~200 msec に同期をとる法が、より良好なサブトラクション像を得ることができた。

しかし、今回の検討は心周期のうち、R~R-200 msec と限られた範囲のみで、同期心時相を収縮期に取った DSA は試みていない。今後全心周期にわたり検討する必要がある。これによって、time-density curve が記録でき、心周期内での心筋灌流が、収縮期と拡張期に、どのように変化するかを検討されるであろう。

サブトラクション・モードについては、CI モードと TID モードを比較検討した。前者では、ライブ像は造影剤注入後の種々の時相の像であり、マスク像は一定心時相の造影剤注入前の像である。このため得られたサブトラクション像は、造影剤注入開始よりライブ像を得た時相までの変化が、同一像の上に観察される。これに対し TID モードでは、ライブ像に対しマスク像はその時相のある一定時間(今回は一心拍)前にとるため、ある限られた範囲の変化のみを観察することができる。すなわち、TID モードではある一定の血管相の像のみを得ること、経時的な変化を強調するには適した方法であると考えられた。

心筋灌流像の評価法として、瞬時瞬時のデータを三次元的に表示し、部位的検討を加えた。この方法では、虚血部と正常部の心筋灌流量の差が山の高さとして客観的に評価、比較することが可能となった。得られた像は、正常例でもその濃度は完全には均一ではなく、これは冠血管支配の優劣によるものと考えられた。前壁梗塞症例では、3 例中全例に梗塞部に一致した濃度低下が観察され、梗塞部には心筋灌流が低下していることが示

唆された。なお今回は、右冠動脈造影は行っていないので、4例の下壁梗塞症例は評価しなかった。

右冠動脈灌流域も含めた心筋全体の灌流を評価するには、左右冠動脈造影を合わせた検討が必要となる。この場合、左右冠動脈内への造影剤の注入量、注入速度の差などの因子が加わるため、心筋灌流量の定量的評価法には特別な工夫が必要である。

### 要 約

冠動脈造影に DSA の手法を応用し、心筋灌流状態の可視化にはどのような方法がよいかを検討した。DSA にて心筋灌流像が得られた症例は、心筋梗塞症 7 例(下壁 4 例, 前壁 3 例)狭心症 2 例, 正常 5 例, 計 14 例であった。良好な DSA 像を得るには、マスク像とライブ像の心臓の形が同じものを選び、なおかつ位置合わせを行うことが必要であった。ライブ像に適合したマスク像を選ぶため、心時相のうち、心電図 R 波頂点、R 波の 100 msec 前、R 波の 200 msec 前に同期心時相をとり、DSA を施行した。後者の二心時相の方が良好な DSA 像を得ることができた。これは、これらの心時相での心臓の動きが比較的小さいことによると考えられた。

DSA モードでは、CI モードと TID モードを比較した。CI モードは心筋灌流全体を評価するのに適しており、TID モードは、動脈から細動脈、静脈への造影剤の通過のうち、一定の血管相のみの状態を観察するのに適していた。また、得られた像の濃度を垂直軸にとり、三次元的に表現することも可能である。

得られた像は、正常例でも、その濃度は完全には均一ではなく、これは冠血管支配の不均一性によるものと考えられた。前壁心筋梗塞例では全例に梗塞部に一致した濃度低下が観察された。下壁梗塞例では今回の検討が右冠動脈造影によるものではないので評価し得なかった。

### 文 献

- 1) Rentrop P, Petersen J, Roskamm H: Left ventricular function in relation to the severity of coronary artery disease. *in* Left Ventricular Function at Rest and During Exercise. ed by Roskamm H, Hahn CH, Berlin, Springer, 1976, pp 69-71
- 2) Sharma B, Taylor SH: Localization of left ventricular ischaemia in angina pectoris by cineangiography during exercise. *Br Heart J* **37**: 963-970, 1975
- 3) Herman MV, Heinle RA, Klein MD, Gorlin R: Localized disorders in myocardial contraction: Asynergy and its role in congestive heart failure. *New Engl J Med* **277**: 222-232, 1967
- 4) Weiss JL, Bulkley BH, Hutchins GM, Mason SJ: Two-dimensional echocardiographic recognition of myocardial injury in man: Comparison with postmortem studies. *Circulation* **63**: 401-408, 1981
- 5) Niess GS, Logic JR, Russell RO Jr, Rackley CE, Rogers WJ: Usefulness and limitation of thallium-201 myocardial scintigraphy in delineating location and size of prior myocardial infarction. *Circulation* **59**: 1010-1019, 1979
- 6) Tobis JM, Nalcioglu O, Johnston WD, Seibert A, Roeck W, Iseri LT, Elkayam U, Henry WL: Correlation of 10-milliliter digital subtraction ventriculograms. *Am Heart J* **105**: 946-952, 1983
- 7) Tobis J, Nalcioglu O, Johnston WD, Seibert A, Iseri LT, Roeck W, Henry WL: Digital angiography in assessment of ventricular function and wall motion during pacing in patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol* **51**: 668-675, 1983
- 8) Nissen SE, Booth D, Waters J, Fassas T, DeMaria AN: Evaluation of left ventricular contractile pattern by intravenous digital subtraction ventriculography: Comparison with cineangiography and assessment of interobserver variability. *Am J Cardiol* **52**: 1293-1298, 1983
- 9) Ovitt TW, Christenson PC, Fisher HD, Frost MM, Nudelman S, Roehrig H, Seeley G: Intravenous angiography using digital video subtraction: X-ray imaging system. *Am J Radiol* **135**: 1141-1144, 1980
- 10) Kruger RA, Mistretta CA, Houk TL, Riederer SJ, Shaw CG, Goodsitt MM, Crummy AB, Zwiebel W, Lancaster JC, Rowe GG, Flemming D: Computerized fluoroscopy in real time for noninvasive visualization of the cardiovascular system. *Radiology* **130**: 49-57, 1979
- 11) 常岡雅幸: 画像処理技術ソフトウェアを中心とし

- て. 2. 画像処理のハードウェアとソフトウェア.  
3. デジタルフルオログラフィ: 医用電子と生体工学 **22**: 137-147, 1984  
12) Osato S, Ishikawa K, Kanamasa K, Ogai T, Oda

A, Katori R: Intrathoracic movement of the normal and hypertrophied hearts measured by biplane coronary cineangiography. *J Cardiology* **14**: 105-113, 1984 (in Japanese)