

Digital subtraction angiographyによる左室機能の評価：造影剤量，投与方法に関する検討および直接左室造影法との比較

Evaluation of left ventricular function by digital subtraction angiography: Effect of dose and administration mode of contrast medium, and comparison with direct ventriculography

栗林 幸夫
大滝 誠
松山 正也
兼本 成斌*
古屋 秀夫*

Sachio KURIBAYASHI
Makoto OOTAKI
Seiya MATSUYAMA
Nariaki KANEMOTO*
Hideo FURUYA*

Summary

Effects of contrast medium doses on left ventriculographic images using intravenous digital subtraction angiography (IVDSA-LVG) were assessed. The validity of IVDSA-LVG in evaluating ejection fraction (EF) and left ventricular regional wall motion was determined by comparison with conventional left ventriculography using direct injection (direct LVG). The advantages of left ventriculography using intraarterial subtraction angiography (IADSA-LVG) performed by injecting small doses of contrast media directly into the left ventricle were stressed.

1. To assess the effects of doses of contrast media on IVDSA-LVG, 10, 20, and 30 ml Urografin-76 were injected into the superior vena cava in 16 patients, and the resulting images were compared in each patient. With only 10 ml contrast medium, left ventricular opacification was fairly good, and regional wall motion was evaluated in many cases, but 30 ml were needed to calculate ventricular volume and EF.

2. To determine the validity of IVDSA-LVG in evaluating EF and regional wall motion, we compared IVDSA-LVG using 30 ml of contrast medium with direct LVG in 18 patients. There was a good correlation between the two methods in determining EF ($r=0.877$), and 90% of the interpretations of regional wall motion were in agreement by the two methods. IVDSA-LVG was useful and accurate in evaluating EF and regional wall motion of the left ventricle.

3. IADSA-LVG was performed for five patients, and good quality images were obtained in

東海大学医学部 放射線科

*同 第一内科

伊勢原市望星台 (〒259-11)

Department of Radiology, and* the First Department
of Internal Medicine, Tokai University School of
Medicine, Bohseidai, Isehara 259-11

Received for publication October 13, 1984; accepted December 3, 1984 (Ref. No. 27-65)

many cases, even with relatively small doses (10 ml) of contrast media. These results suggested that this method may be used in cases with impaired LV function, to avoid hemodynamic derangement induced by conventional direct LVG using large doses of contrast medium.

Key words

Digital subtraction angiography Cardiac radiography Left ventriculography Ejection fraction
Cardiac physiology

はじめに

Digital subtraction angiography (DSA) は新しい心血管系の画像診断法として注目されているが、最近、その濃度分解能に秀れていることを利用し、左室内にカテーテルを挿入せず、経静脈性の造影剤投与による DSA を用いて、左室の形態および機能の評価が行なわれるようになってきている¹⁻⁸⁾。

経静脈性 DSA (intravenous DSA: IVDSA) によるそれらの評価には、通常 30~40 ml という比較的少量、かつ高浸透圧造影剤が使用されているが^{1,2,4,5,7)}、評価に支障をきたすことなく、どの程度まで造影剤量の減量が可能か、さらに造影剤量の多少が DSA 画像および心機能の評価に対し、どのような影響を与えるかについて検討した報告は見当らない。

本研究の目的は、これらのことに検討を加えるとともに、左室形態、機能評価における IVDSA の有用性に関する我々の経験を述べることである。また駆出率および左室壁運動の評価につき、IVDSA による左室造影法 (IVDSA-LVG) と、シネ撮影による通常の直接左室造影法 (direct LVG) とを比較検討した。さらに左心室内に挿入したカテーテルを通じ、少量の造影剤を注入して得られた経動脈性 DSA (intraarterial DSA: IADSA) による左室造影法 (IADSA-LVG) の意義についても検討を加えた。

対 象

虚血性心疾患を疑われ、心臓カテーテル検査が行なわれた 25 例において、direct LVG および

IVDSA-LVG の両者を施行した。このうち direct LVG に際し期外収縮を認めた 3 例、および DSA 装置設置後初期の例のため画質が悪く、検討対象に含めなかった 4 例を除き、18 例を今回の検討対象とした。また、この 18 例中 5 例には、心臓カテーテル検査時、左室内に挿入されたカテーテルを通じ少量の造影剤を注入して、IADSA-LVG を施行した。

18 例は男性 17 名、女性 1 名で、年齢は 37~66 歳、平均 51 歳であった。

装置と方法

使用した DSA 装置は Philips 製の心臓血管診断装置 Poly Diagnost C に装着した digital vascular imaging (DVI) system で、U-arm を有している。

X 線発生装置は Optimus M200 (出力 125 kV, 3000 mA) で、X 線管は許容負荷 500 kW, 熱容量 800,000 HU と大容量を有し、焦点の大きさは 0.5, 0.8 mm である。蛍光増倍管 (II) は 6.5 inch, 9 inch の切替が可能であり、撮像管 (TV カメラ) は Plumbicon を使用した。Analog-digital 変換器 (A/D converter) は 8 bits, 10 MHz, digital memory size は 512×512×12 bits の性能を有している。画像の階調は 8 bits (256 階調) で、analog storage は video disc に 300 画像まで録画可能である。

本装置のブロックダイアグラムは Fig. 1 に示すごとくである。システムに入力された X 線 TV からの video 信号は増幅器により対数増幅され、A/D converter により digital 化される。Digital 化された造影剤注入前の画像 (mask 像)

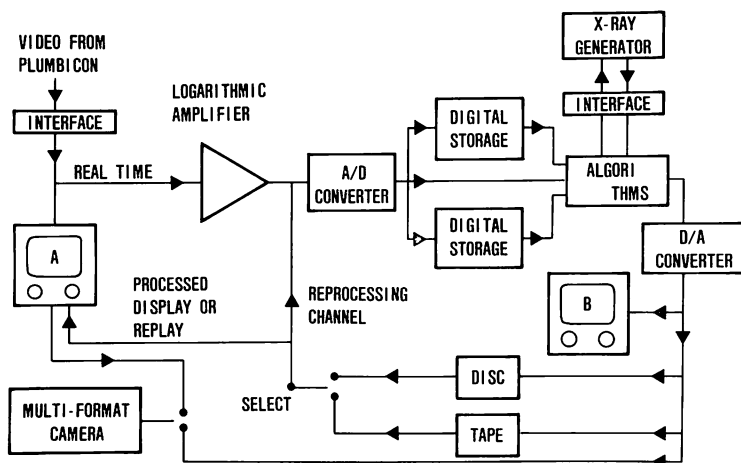


Fig. 1. Block diagram of Philips DVI system.

A/D converter=analog-to-digital converter, D/A converter=digital-to-analog converter, A, B=TV monitors.

と造影剤注入後の像は、2個の別々の digital storage に蓄積され、コンピューターにより演算、画像処理が行なわれ、subtraction された画像は再び D/A converter により analog 化され、TV モニター上に投影されると同時に、video disc や video tape にも録画した。

IVDSA-LVG

Philips DVI system を用い、心臓カテーテル検査施行より2日後に IVDSA-LVG を行った。画像は秒間 30 frames の continuous imaging mode により、管電圧 60~70 kVp にて撮像され、蛍光増倍管の視野は 6.5 inch である。患者の体位は direct LVG と同一で、右前斜位 30 度とした。造影剤には 76% ウログラフィンを用い、同一患者に 10 ml, 20 ml, および 30 ml の3種類の造影剤を用い、DSA を施行した。各々の造影剤注入には 10~15 分の間隔を設け、注入筒内に造影剤と 5% ブドウ糖液 15 ml の層を作り、注入速度を秒間 20 ml に統一、経皮的に肘静脈から上大静脈に挿入した 5 French pigtail カテーテルを通じ注入した。

IADSA-LVG

心臓カテーテル検査施行時、左室内に挿入した

7 French pigtail カテーテルを通じ、76% ウログラフィン 10 ml を秒間 5 ml の注入速度にて注入し、continuous mode にて撮像して、右前斜位 30 度における左室 DSA 像を得た。

Direct LVG

撮影には Poly Diagnost C を用い、9 inch の蛍光増倍管の視野で、秒間 50 frames にて 35 mm cine フィルムに撮像した。患者の体位は右前斜位 30 度とし、左室内に挿入された 7 French pigtail カテーテルを通じて、76% ウログラフィンを秒間 13 ml, 総量 40 ml を標準として注入した。

画像解析

造影剤量の DSA 画像に与える影響

造影剤量が DSA 画像に対し与える影響については、1) 左室の造影の程度、2) 左室壁運動の評価の難易度、3) 左室容積や駆出率算出に必要な静止画像における輪郭描画の難易度の3項目を検討する必要がある。検討例は IVDSA-LVG 16 例、IADSA-LVG 5 例で各々の項目は、video tape に録画された画像を繰り返し参照し、評価した。

左室造影の程度の評価は good, fair, および

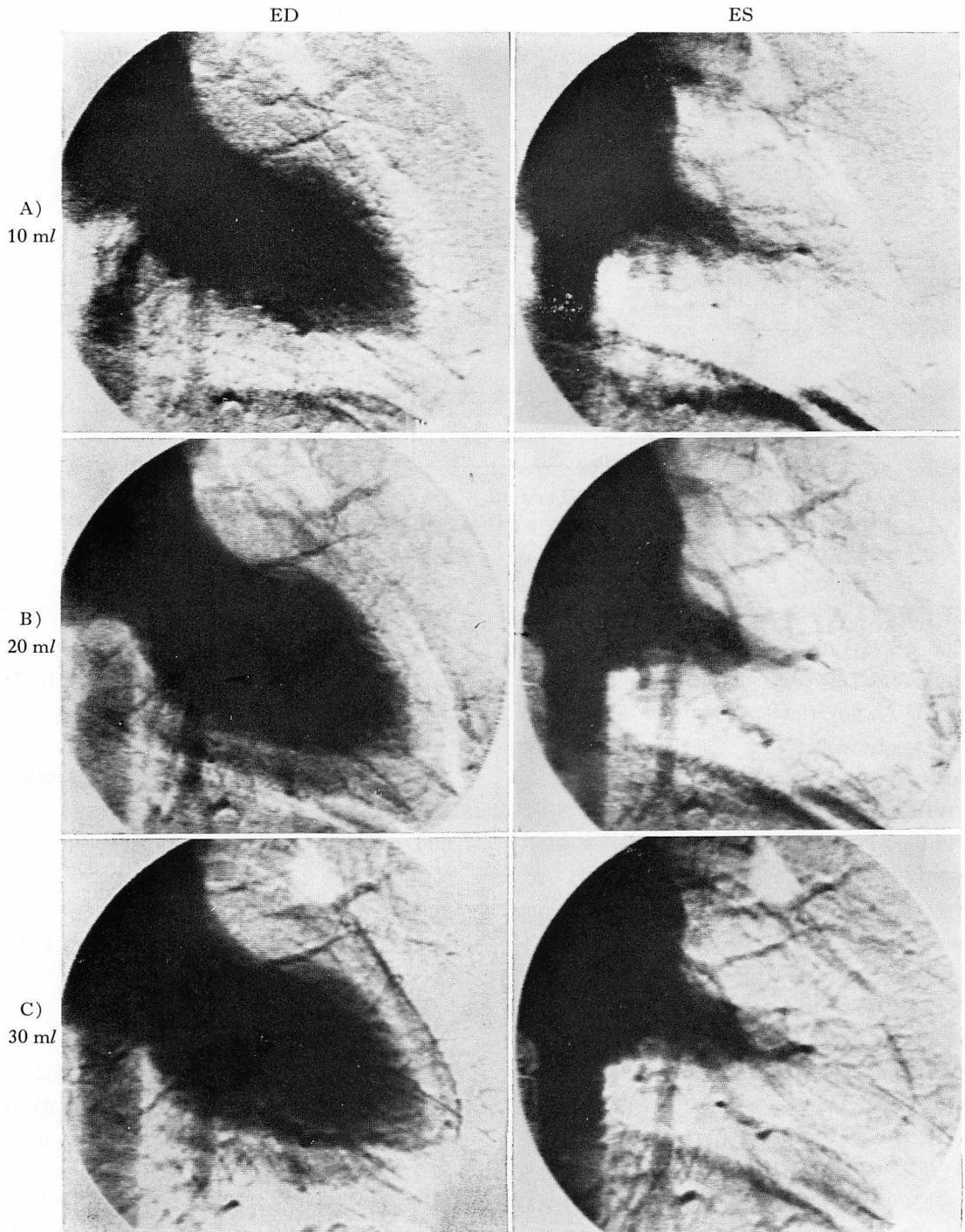


Fig. 2. End-diastolic and end-systolic images of IVDSA-LVG in the 30° right anterior oblique position with three different doses of contrast media.

A: Images using 10 ml of Urografin-76, B: 20 ml, C: 30 ml with the same injection rate (20 ml/sec).

ED=end-diastole; ES=end-systole.

Table 1. Degree of opacification of the left ventricle (LV)

Contrast volume	IVDSA-LVG (16 cases)			IADSA-LVG (5 cases)
	10 ml	20 ml	30 ml	10 ml
Good	6	11	16	3
Fair	8	5	0	2
Poor	2	0	0	0

Abbreviations (Table 1-3): LV=left ventricle; IVDSA-LVG=left ventriculography using intravenous digital subtraction angiography; IADSA-LVG=left ventriculography using intraarterial digital subtraction angiography.

Table 2. Evaluation of LV wall motion by two methods

Contrast volume	IVDSA-LVG (16 cases)			IADSA-LVG (5 cases)
	10 ml	20 ml	30 ml	10 ml
A	12	16	16	3
B	3	0	0	2
C	1	0	0	0

A: can be done easily, B: slightly difficult, but can be done, C: difficult.

poor の3段階に分けた。左室壁運動の評価の難易度は、非常に容易に評価できるもの、多少難しいが評価可能なもの、評価が困難であるものと3段階に分けて判定した。静止画像における輪郭描画の難易度は、簡単に輪郭を追えるもの、やや難しいもの、かなり難しいもの、非常に困難であるものの4段階とした。

IVDSA-LVG と direct LVG の比較

IVDSA-LVG と direct LVG との比較は、駆出率と壁運動の評価に関し、18症例で行なった。この際、造影剤量 30 ml 投与の IVDSA-LVG 画像のみを対象とした。左室容量および駆出率の算出には、メディカルシステムズリサーチ製 picture analyser を使用した。DSA の場合、得られた video 画像を on-line で本解析装置に入力し、TV モニター上の左室拡張終期と収縮終期像の輪郭を digitizer を用いてトレースした。かくして、area-length 法に基づく Kasser の補正式⁹⁾により左室拡張終期および収縮終期容量を算出し、駆出率を求めた。シネフィルムの場合は Vanguard 製投影器を用い、左室輪郭をトレーシ

ングペーパー上に描画、これを digitizer を用いて picture analyser に入力し、DSA の場合と同一の計算式により左室容量と駆出率を求めた。

左室壁運動評価は、左室輪郭を anterobasal, anterolateral, apical, diaphragmatic, posterobasal の5部分に分け¹⁰⁾、それぞれの部分で18症例、総数 90 segments につき、IVDSA-LVG と direct LVG の評価を比較した。シネフィルムは投影器上で、DSA 画像は TV モニター上で参照し評価したが、その際、両者は別個に、かつ順不同に検討した。壁運動の評価は dyskinesis, akinesis, hypokinesis, normal と4段階に分類した。

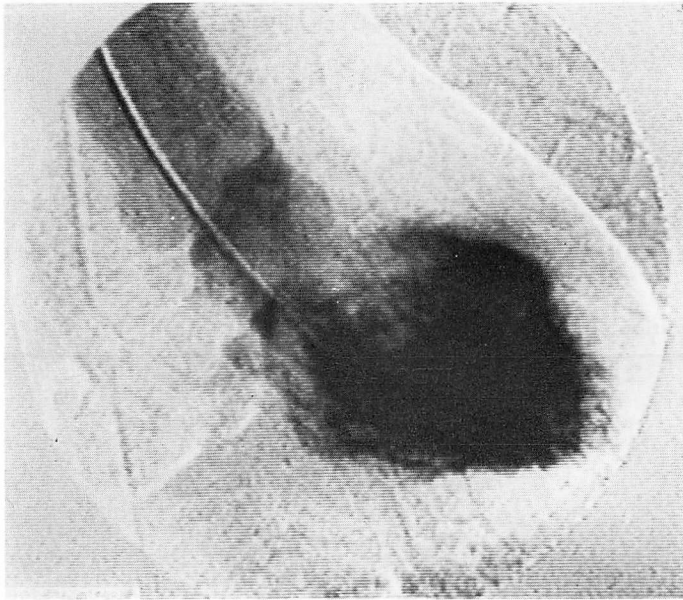
結 果

1. 造影剤量の DSA 画像に与える影響

1) IVDSA-LVG

左室の造影程度は、30 ml の造影剤では全例で良好な濃度の造影であったが、10 ml でも、機械的に画像濃度を強調することにより、かなりの例で比較的良好的な濃度の造影が得られた (Table 1)。検討症例中、最も良好な DSA 画像を Fig. 2 に

ED



ES

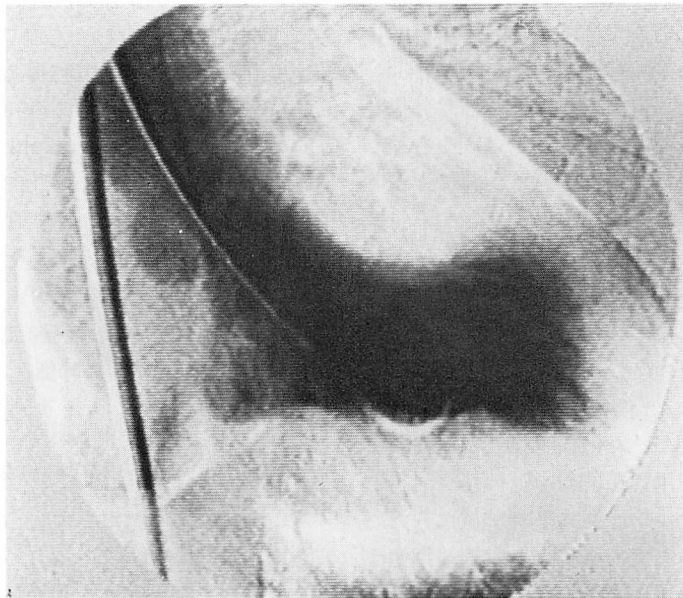


Fig. 3. End-diastolic and end-systolic images of IADSA-LVG using 10 ml of Urografin-76 (5 ml/sec) in a patient with anterior wall myocardial infarction and ventricular aneurysm.

Dyskinetic protrusion of the anterolateral wall is well visualized.

ED=end-diastole; ES=end-systole.

Table 3. Comparison of the capability in delineating the LV free wall on static images by different doses of contrast media and the methods used

Contrast volume	IVDSA-LVG (16 cases)			IADSA-LVG (5 cases)
	10 ml	20 ml	30 ml	10 ml
A	1	5	11	3
B	3	5	5	1
C	7	6	0	1
D	5	0	0	0

A: easy to be followed, B: slightly difficult but can be followed, C: considerably difficult, but can be followed, D: quite difficult to be followed.

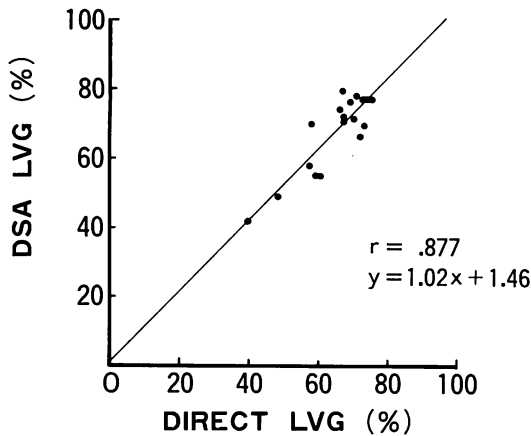


Fig. 4. Correlation between ejection fractions determined from IVDSA-LVG and conventional direct LVG.

示す。

左室壁運動評価は、造影剤を 30 ml 使用した場合には容易であったが、10 ml でも、多くの例で評価可能であった (Table 2)。

静止画像における輪郭描画の難易度には造影剤量による相違が顕著に認められ、30 ml ではほとんどの例で左室輪郭を追いえたが、造影剤量が少なくなるに従って描画が困難となった (Table 3)。

2) IADSA-LVG

IADSA-LVG では、注入量が 10 ml (秒間 5 ml) と少量でも比較的良好的な左室造影像が得ら

Table 4. Comparison of regional wall motion determinations by IVDSA-LVG and direct LVG

IVDSA-LVG \ Direct LVG	Dyskinesis	Akinesis	Hypokinesis	Normal
Dyskinesis	2			
Akinesis	1		1	
Hypokinesis		1	1	
Normal			6	78

Numbers represent interpretations of wall motion of the anterobasal, anterolateral, apical, diaphragmatic and posterobasal segments of the LV in 18 patients (total 90 interpretations). Out of 90 interpretations, 81 agreed with each other by the two methods.

れ、特に 5 例中 3 例では非常に良好であった (Table 1, Fig. 3)。壁運動の評価も可能であり (Table 2)、静止画像での輪郭描画も 5 例中 4 例で比較的容易であった (Table 3)。

2. IVDSA-LVG と direct LVG の比較

駆出率に関し、IVDSA-LVG と direct LVG による評価の間には、 $y = 1.02x + 1.46$, $r = 0.877$ と、良好な相関が認められた (Fig. 4)。

壁運動評価の比較結果は Table 4 に示す如くである。表の左上から右下へ向う対角線上の数字は両方法の評価が一致した左室壁の segment を示し、この線から偏位するほど両者の評価が異なることを示す。両者の評価は読影の 90% で一致し、合致しなかった例でも極端には相違していな

かった. また direct LVG にて hypokinesis を示す segment が IVDSA-LVG では normal と評価される傾向があった.

考 察

経静脈性の造影剤投与による心臓大血管の造影診断は, 1939年 Robb と Steinberg により初めて試みられ¹¹⁾, その後の心血管造影の発展の基礎となった. しかし造影剤が左室に到達するまでに希釈され, 良好な造影像が得られず, また他の心室, 大血管との重なりのため, 左室の形態, 機能の造影診断法としては普及しなかった. したがって, 現在までのところ, 左室内にカテーテルを挿入し, シネ撮影を行う直接左室造影法が, そのためには最も秀れた方法とされている.

しかるに, 最近, DSA 装置の開発により, 経静脈性に造影剤を投与した後, 得られた心臓の X 線透視画像を数値化し, コンピューターを利用して画像処理することにより, リアルタイムに background が消去され, 濃度の強調された心臓の subtraction 画像を得ることができるようになった. かくして静注法による左室造影法が再び注目され, 左室の形態, 機能診断における有用性が検討され始めている^{1,2,4,5,7,8)}.

IVDSA-LVG に用いられる造影剤量は, 通常 76% ウログラフィン (1 ml 当り 370 mgI 含有) あるいはこれに相当するヨードを含有する比較的大量の造影剤 (30~40 ml) が用いられている^{1,2,4,5,7)}. しかし造影剤量の多少が IVDSA-LVG 画像に与える影響, さらに左室の形態, 機能診断に支障を来さない最低限量につき検討を加えた文献は見当たらない. IVDSA-LVG は direct LVG に比し侵襲が少ない利点を有し, 血行動態に及ぼす造影剤の影響も, 静脈内投与の方が少ないことが示唆されてきた^{12,13)}. 一方, イオン性造影剤を用いた場合, 引き起される血行動態の変化に関して, IVDSA-LVG と direct LVG 両方法に大差はなく, したがって心機能障害患者の造影検査として, 前者の方がより安全であるとは言い切れない

とする最近の報告もあり¹⁴⁾, 造影剤量減量が可能か否かを検討することは有意義と思われる.

我々の検討結果からは, 76% ウログラフィン 10 ml という比較的少量を用いた IVDSA-LVG でも, 画像の濃度を強調すれば, かなりの例で良好な濃度の造影像が得られ, 壁運動の評価も可能であった. しかし左室容積, 駆出率の算定には静止画像で左室輪郭を描画しなければならず, このためには少くとも 30 ml 程度の造影剤量の投与が必要であると考えられた.

造影剤の血行動態, 心機能に対する影響に関係する因子としては, 造影剤量のほか造影剤の種類も重要である. Iohexol, Iopamidol などの非イオン性造影剤はウログラフィンなど, 従来のイオン性造影剤よりも心機能, 血行動態に及ぼす影響が少なく^{15,16)}, IVDSA-LVG にはより安全で, 好ましい造影剤と言える.

カテーテルを左室内に挿入し, 少量 (10 ml 程度) の造影剤を短時間に注入して得られる IADSA-LVG では, 多くの例で比較的良好な造影像が得られた. また静止画像での輪郭描画も比較的容易で, 左室の形態, 機能の評価が可能であり, 血行動態, 心機能に与える影響も direct LVG より少ない¹⁷⁾と考えられた. したがって, 左室機能が悪く, 肺動脈楔入圧, 左室拡張期圧の高い症例では, IADSA-LVG は有用な方法であると思われる.

左室機能評価に関し, IVDSA-LVG と direct LVG とを比較検討した結果では, 駆出率について両者に良好な相関関係があり, また壁運動評価は読影の 90% において一致する結果を得た. 本研究では駆出率 50% 以上の例が大部分を占め, 壁運動も正常のものが多く, それが結果に多少影響している可能性を否定し得ない. 諸家の報告では駆出率に関し, 両者の間に良好な相関が認められており^{1,4,5,8)}, 検者間の相違も少ないとされている^{4,8)}. 壁運動の評価も Nissen ら⁴⁾は両者に良好な相関を認め, 検者間の相違も少ないと報告している. 一方, Vas ら⁸⁾は逆に両者の相関は

良好とはいえず、検者間の相違も大きいと述べており、その原因は読影の際の主観的要素の混入にあるとしている。壁運動評価の際の主観的要素による誤差の混入は、IVDSA-LVG のみならず、direct LVG の読影に際しても同様に存在するものであり^{18,19)}、これら主観的要素の混入を排除すべく、より客観的な解析の方法が検討されている^{8,18,20)}。DSA-LVG による壁運動の評価に対し、より客観性を持たせる本法特有の手法に TID mode がある^{1,3)}。今回の我々の検討ではシネフィルムにおける direct LVG の読影と条件を同一にするため、IVDSA-LVG の読影に際してその手法をあえて用いなかったが、その手法はある一定の時間差を有する二つの画像を subtraction して画像表示する方法であり、壁運動評価の際の主観的要素の混入を軽減する上に有用な方法であると思われる。Engels ら¹⁾は TID mode を用いての IVDSA-LVG による壁運動の評価は、direct LVG による評価と良好な相関を示し、特に前壁、心尖部における評価に秀れていると報告しているが、下壁では横隔膜が重なり、両者の分離が困難な症例があり、前壁、心尖部での評価に比し、相関はそれほど良好でないのが欠点である。

要 約

IVDSA-LVG に際して用いられる造影剤の量が DSA 画像に与える影響を検討し、また本法による左室機能評価の有用性を、駆出率、壁運動の評価に関し、direct LVG と比較検討した。さらに左室内に挿入されたカテーテルを通じ、少量の造影剤を注入して得られる IADSA-LVG の意義についても検討を加えた。

1. IVDSA-LVG における造影剤量の影響に関し、16 症例にそれぞれ 10 ml, 20 ml, および 30 ml の 76% ウログラフィンを上大静脈内に注入し、DSA 画像に与える影響を検討した。その結果、比較的少量 (10 ml) でも多くの例で比較的良好な濃度の造影像が得られ、また壁運動の評価

は可能であった。しかし左室容量や駆出率の算出には少くとも 30 ml の投与が必要と考えられた。

2. IVDSA-LVG による左室機能評価の有用性に関し、30 ml の造影剤を用いた IVDSA-LVG と direct LVG とを虚血性心疾患の疑われる 18 症例にそれぞれ施行し、駆出率、壁運動の評価に関し両者を比較検討した。両者間には駆出率に関し良好な相関が得られ ($r=0.877$)、壁運動に関しても読影の 90% において評価が一致し、IVDSA-LVG は侵襲の少ない左室機能の評価法として有用であると考えられた。

3. IADSA-LVG は 5 例に施行したが、少量 (10 ml: 秒間 5 ml) の造影剤注入でも、多くの例で良好な造影像を得ることが可能であった。左室機能、血行動態に与える影響が少ないことを考えると、左室機能が障害され、従来の直接左室造影法が危険と考えられる症例では、本法は有用な方法となり得ることが示唆された。

稿を終えるにあたり、多大な御協力をいただいた当放射線科原口信次、森川 章の両氏に深謝致します。

文 献

- 1) Engels PHC, Ludwig JW, Verhoeven LAJ: Left ventricle evaluation by digital video subtraction angiography. *Radiology* **144**: 471-474, 1982
- 2) Higgins CB, Norris SL, Gerber KH, Slutsky RA, Ashburn WL, Baily N: Quantitation of left ventricular dimensions and function by digital video subtraction angiography. *Radiology* **144**: 461-469, 1982
- 3) Kruger RA, Mistretta CA, Houk TL, Kubal W, Riederer SJ, Ergun DL, Shaw CG, Lancaster JC, Rowe GG: Computerized fluoroscopy techniques for intravenous study of cardiac chamber dynamics. *Invest Radiol* **14**: 279-287, 1979
- 4) 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
- 5) Nonogi H, Sasayama S, Sakurai T, Kawai C, Fujita M, Eiho S, Kuwahara M: Intravenous left

- ventriculography utilizing digital subtraction technique. *Jpn Circ J* **48**: 559–566, 1984
- 6) Slutsky RA, Mancini GBJ, Norris S, Ashburn WL, Higgins CB: Digital intravenous ventriculography: Comparison of volumes from mask-mode and nonsubtracted images with thermodilution and sonocardiometric measurements. *Invest Radiol* **18**: 327–334, 1983
 - 7) Tsuchigame T, Tomiguchi S, Takahashi M: Application of digital subtraction angiography to ischemic heart disease. *J Med Imag* **4**: 167–174, 1984 (in Japanese)
 - 8) Vas R, Diamond GA, Forrester JS, Whiting JS, Pfaff MJ, Levisman JA, Nakano FS, Swan HJC: Computer-enhanced digital angiography: Correlation of clinical assessment of left ventricular ejection fraction and regional wall motion. *Am Heart J* **104**: 732–739, 1982
 - 9) Kasser IS, Kennedy JW: Measurement of left ventricular volumes in man by single-plane cine-angiography. *Invest Radiol* **4**: 83–90, 1969
 - 10) AHA Committee Report: A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. *Circulation* **51**(4): News from the American Heart Association, 5, 1975
 - 11) Robb GP, Steinberg I: Visualization of the chambers of the heart, the pulmonary circulation and the great blood vessels in man. *Am J Roentgenol* **41**: 1–17, 1939
 - 12) Fischer HW: Hemodynamic reactions to angiographic media. A survey and commentary. *Radiology* **91**: 66–73, 1968
 - 13) Krovetz LJ, Mitchell BM, Neumaster T: Hemodynamic effects of rapidly injected hypertonic solutions into the heart and great vessels. *Am Heart J* **74**: 453–462, 1967
 - 14) Mancini GBJ, Ostrander DR, Slutsky RA, Shabetai R, Higgins CB: Intravenous vs. left ventricular injection of ionic contrast material: Hemodynamic implications for digital subtraction angiography. *Am J Roentgenol* **140**: 425–430, 1983
 - 15) Higgins CB, Gerber KH, Mattrey RF, Slutsky RA: Evaluation of the hemodynamic effects of intravenous administration of ionic and nonionic contrast materials. *Radiology* **142**: 681–686, 1982
 - 16) DiDonato M, Bongrani S, Cucchini F, Baldi G, Fappani A, Colla B, Visioli O: Cardiovascular effects induced by the injection of a new nonionic contrast medium (Iopamidol): Experimental study in dogs. *Invest Radiol* **14**: 309–315, 1979
 - 17) Sasayama S, Nonogi H, Kawai C, Fujita M, Eiho S, Kuwahara M: Automated method for left ventricular volume measurement by cineventriculography with minimal doses of contrast medium. *Am J Cardiol* **48**: 746–753, 1981
 - 18) Chaitman BR, DeMots H, Bristow JD, Rösch J, Rahimtoola SH: Objective and subjective analysis of left ventricular angiograms. *Circulation* **52**: 420–425, 1975
 - 19) Zir LM, Miller SW, Dinsmore RE, Gilbert JP, Harthorne JW: Interobserver variability in coronary angiography. *Circulation* **53**: 627–632, 1976
 - 20) Fujita M, Sasayama S, Kawai C, Eiho S, Kuwahara M: Automatic processing of cineventriculograms for analysis of regional myocardial function. *Circulation* **63**: 1065–1074, 1981