

《原 著》

因子分析法の運動負荷心プールシンチグラフィへの応用: 各種functional imageとの比較

松成 一朗* 分校 久志* 中嶋 憲一* 滝 淳一*
四位例 靖* 久田 欣一*

要旨 心電図同期心プールシンチグラフィにおいて因子分析法を中心とした各種functional imageについて比較検討した。因子分析には左室のみをマスキングにより抽出する解析法（因子分析左室法）を用いた。この因子分析左室法における3因子分析では生理的意味づけの不能な因子がしばしば出現し、2因子分析の方が良好な結果が得られた。本法による虚血性心疾患患者を対象とした壁運動評価の成績は、シネモード表示にて壁運動異常を示した20例中17例、壁運動正常であった28例全例にて所見が一致し（感度85%、特異度100%）、他のfunctional image（EF像、SV像、位相像）に比べ優れていた。更に運動負荷心プールシンチグラフィに応用することにより、各因子画像の変化から壁運動異常の検出が容易になった。本法は比較的簡便であり日常の臨床にも適している。

I. はじめに

心電図同期心プールシンチグラフィは簡便に心室壁運動評価を行うことができ各種心疾患の心機能評価に広く用いられている。その最大の特徴の一つは運動負荷時における心室壁運動を評価することであり、造影剤を用いる方法に比べ生理的かつ非侵襲的であり、心エコー法に比べてもデータの信頼性において優れている。近年この心電図同期心プールシンチグラフィにおいて各種functional imageによる壁運動の客観的評価が試みられている¹⁻⁴⁾。これらのfunctional imageに加え因子分析法⁵⁻⁸⁾が近年登場したがその評価は未だに定まっていないのが現状である。また、これらを運動負荷心電図同期心プールシンチグラフィに応用した報告はほとんどない。そこでわれわれは虚血性心疾患において運動負荷心プールシンチグラフィを施行し、客観的壁運動評価法としての因

子分析法の診断精度を評価するとともに、従来からの各種functional imageとの比較を行った。

II. 対 象

金沢大学医学部附属病院核医学科にて運動負荷心電図同期心プールシンチグラフィを施行した虚血性心疾患疑いの24例を対象とした。これらの症例には不整脈を有するものは含まれていない。年齢は40歳から75歳まで平均56歳で、男性14例、女性10例である。これらのうち19例においては冠動脈造影が施行され、15例にて有意狭窄が証明されている。その内訳は左前下行枝単独狭窄9例、左前下行枝および左回旋枝に狭窄を有するもの2例、左前下行枝および右冠動脈に狭窄を有するもの1例、3枝共に狭窄を有するもの3例である。また運動負荷心筋シンチグラフィは21例にて施行し、このうち14例にて有意の負荷時灌流低下を認めた。

III. 方 法

1) データ収集

In vivo 標識法によるTc-99m赤血球740 MBq (20 m Ci)を用い、心電図同期心プール像の撮像

* 金沢大学医学部核医学科

受付: 2年6月1日

最終稿受付: 2年7月27日

別刷請求先: 金沢市宝町13-1 (☎ 920)

金沢大学医学部核医学科

松 成 一 朗

を施行した。データ収集はシンチレーションカメラ (Ohio-Nuclear 社製 sigma 410S) に低エネルギー汎用スラントホールコリメータを装着して、35 度修正左前斜位 (MLAO, 頭側に 35 度傾斜) から行った。心電図 R 波同期により 1 心周期を 24 分割し、64×64 画素でマルチゲート法により収集した。データ処理装置は Technicare 社製 VIP-450 を用いた。

2) 負荷方法

負荷は臥位にて、自転車エルゴメータ (健部清洲堂製) を用いた多段階負荷法を行った。原則として 25 Watt より開始し、2 分毎に 25 Watt ずつ増加させた。最高運動負荷時のデータ収集は心拍数の安定した 90 秒間とした。運動負荷の終点は胸痛等の臨床症状もしくは有意の虚血性心電図変化とした。

3) Ejection fraction(EF) image および stroke volume (SV) image の作製

得られた 1 心周期の心電図同期プール像のデータを 9 点加重スムージングにより空間および時間スムージングした後、VIP-450 にて SV image, および EF image を作製した。

4) 因子分析

以上のデータを SCINTIPAD 2400S (島津製作所社製) に転送し以下に示す 2 つの方法にて因子分析を施行した (Fig. 1)。

a) 全体法 (従来法)

肺を含む全視野を解析の対象としたもの

b) 左室法

左室のみを解析の対象とし他の部位をマスク処理により解析の対象から外し、更にズーム処理をかけたもの

特に左室法に関しては 3 因子分析および 2 因子分析を施行したが 3 因子分析に関しては生理的意味づけの困難な因子が数多く出現したため今回の検討から除外した。また因子分析法を施行するに当たり、画素数は 8×8 に圧縮し、計算に使用する dixel 数は全体法では 32 としたが、左室法では dixel 数が多いと計算不能になる場合があり、24 から 32 の間で適宜選択した。

5) 位相解析

次に SCINTIPAC 2400 S の位相解析プログラムによる位相解析を全ての症例に施行した。本法にて心全体が確実に解析の対象となるようにカットレベルは 30% に設定し基本波成分の位相の functional image (pH image) を作製した。異常の判定は位相が 0-360 度の範囲と、左室内位相の分布範囲にのみウインドウを絞った 2 つの表示から視覚的に判定した。

6) シネモード表示との比較

全ての症例を心電図同期心プール像のシネモード表示と比較した。左室の左前斜位像を中隔、心尖部、下側壁、高位側壁に分け、壁運動異常の程度を正常、hypokinesis, akinesis, dyskinesis の 4 段階に分類した。その壁運動異常の判定に当たっては心臓核医学の熟練者 3 人が読影し、一致しない場合は協議の上所見をまとめた。

WHOLE ROI

LV ROI

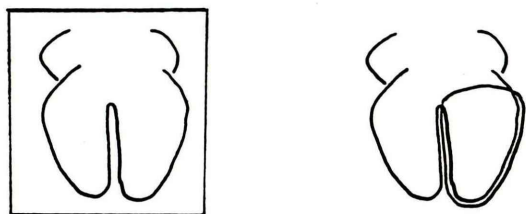


Fig. 1 Scheme of region of interest (ROI) in the factor analysis. Left; whole region-of-interest (ROI) method. Right; left ventricular region-of-interest (LVROI) method.

IV. 結 果

1) シネモード表示との比較

a) シネモード表示の観察では、壁運動正常が 10 例 (正常群), 少なくとも 1 つのセグメントに異常を有する異常例が 14 例 (異常群) であった。ここでシネモード表示と各種 functional image との一致率とは安静時および負荷時の両方が一致したもののみで数字であり、安静時、負荷時のどちらか一方でも一致しなかったものは一致せずとした (Table 1)。因子分析左室法では壁運動異常群

Table 1 Diagnostic agreement of functional images with cine-mode display in 24 rest-exercise studies

Functional image	Exercise gated blood pool study		
	Asynergy (+) n=14	Asynergy (-) n=10	Total n=24
Factor analysis			
LV ROI	12 (86%)	10 (100%)	22 (92%)
Whole ROI	7 (50%)	6 (60%)	13 (54%)
EF image	4 (29%)	7 (70%)	11 (46%)
SV image	7 (50%)	8 (80%)	15 (63%)
PH image	6 (43%)	4 (40%)	10 (42%)

Table 2 Diagnostic agreement of functional images with cine-mode display of gated blood-pool study (n=48)

Functional image	Exercise gated blood pool study		
	Asynergy (+) n=20	Asynergy (-) n=28	Total n=48
Factor analysis			
LV ROI	17 (85%)	28 (100%)	45 (94%)
Whole ROI	12 (60%)	22 (79%)	34 (71%)
EF image	8 (40%)	22 (79%)	30 (63%)
SV image	11 (55%)	24 (86%)	35 (73%)
PH image	14 (70%)	17 (61%)	31 (65%)

Table 3 Diagnostic agreement with exercise Tl-201 scintigraphy

Functional image	Exercise Tl scintigraphy		
	Defect (+) n=14	Defect (-) n=7	Total n=21
Factor analysis			
LV ROI	8 (57%)	6 (86%)	14 (67%)
Whole ROI	5 (36%)	6 (86%)	11 (52%)
EF image	6 (43%)	5 (71%)	11 (52%)
SV image	7 (50%)	5 (71%)	12 (57%)
PH image	7 (50%)	2 (29%)	9 (43%)

Table 4 Diagnostic agreement with coronary angiography

Functional image	Coronary angiography		
	Stenosis (+) n=15	Stenosis (-) n=4	Total n=19
Factor analysis			
LV ROI	8 (53%)	3 (75%)	11 (58%)
Whole ROI	8 (53%)	3 (75%)	11 (58%)
EF image	6 (40%)	2 (50%)	8 (42%)
SV image	7 (47%)	2 (50%)	9 (47%)
PH image	12 (80%)	2 (50%)	14 (74%)

14 例中 12 例 (86%), 壁運動正常群 10 例中 10 例 (100%) にて一致した。一方, 因子分析全体法では異常群 14 例中 7 例 (50%), 正常群 10 例中 6 例 (60%) にて一致した。EF, SV および PH image に関しては因子分析左室法を凌駕する結果は得られなかった (Table 1)。

b) 次にシネモード表示と各種 functional image との一致率を安静時および負荷時の計 48 回の検査について, 個別にみた場合の成績を示す (Table 2)。シネモード表示にて計 48 例中 20 例は壁運動異常が認められ (異常群), 28 例では正常であった (正常群)。因子分析左室法では異常群 20 例中 17 例 (85%), 正常群 28 例中 28 例 (100%) にて一致していた。因子分析全体法では異常群 20 例中 12 例 (60%), 正常群 28 例中 22 例 (79%) にて一致していた。また SV image では異常群 20 例中 11 例 (55%), 正常群 28 例中 24 例 (86%) にて一致していた。

2) 負荷心筋スキャンとの比較

負荷心筋スキャンとの各種 functional image における異常壁運動出現との一致率を示す (Table 3)。負荷心筋スキャンにて有意の運動時灌流低下を示した 14 例中最も高い一致率を示したのは因子分析左室法で 8 例 (57%) であった。一方, SV image および PH image ではともに 7 例 (50%) であった。負荷心筋スキャンにて有意の灌流低下を示さなかった 7 例中最も高い一致率を示したのは因子分析左室法および因子分析全体法でともに 6 例 (86%) であった。

3) 冠動脈造影所見との比較

冠動脈所見と各種 functional image との一致率を示す (Table 4)。冠動脈造影にて有意狭窄 (75% 以上) の認められた 15 例中因子分析左室法, および因子分析全体法にて運動時に新たに異常因子が出現したのはともに 8 例 (53%) であった。また EF, SV, PH image にて異常壁運動が出現したのはそれぞれ 6 例, 7 例および 12 例であった。

4) 因子分析左室法における異常因子出現と EF との関係

因子分析左室法にて運動負荷時に異常因子の出

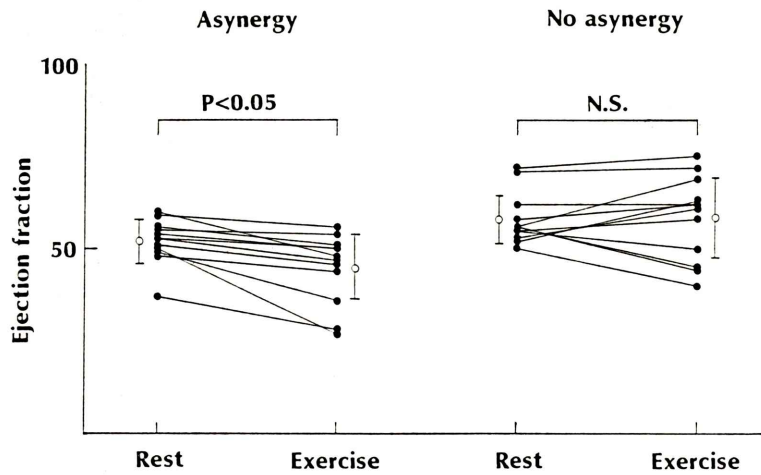


Fig. 2 A comparison of changes in ejection fraction (EF) after exercise between cases with and without asynergy. The EF was significantly decreased in the group with asynergy that was detected by the factor analysis.

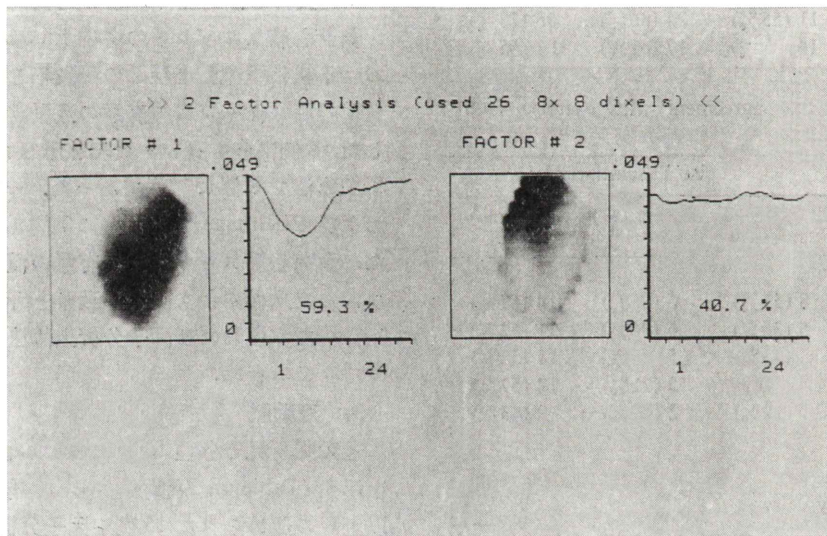


Fig. 3 The rest image of 2-factor analysis by the LVROI method in a patient who had 90% stenosis of left anterior descending artery (LAD). The factors were divided into a basal factor with flat time-activity curve (right) and a left ventricular factor (left). Both of the factor analysis and cine-mode display showed typical normal patterns at rest, which was confirmed by left ventriculography using contrast media.

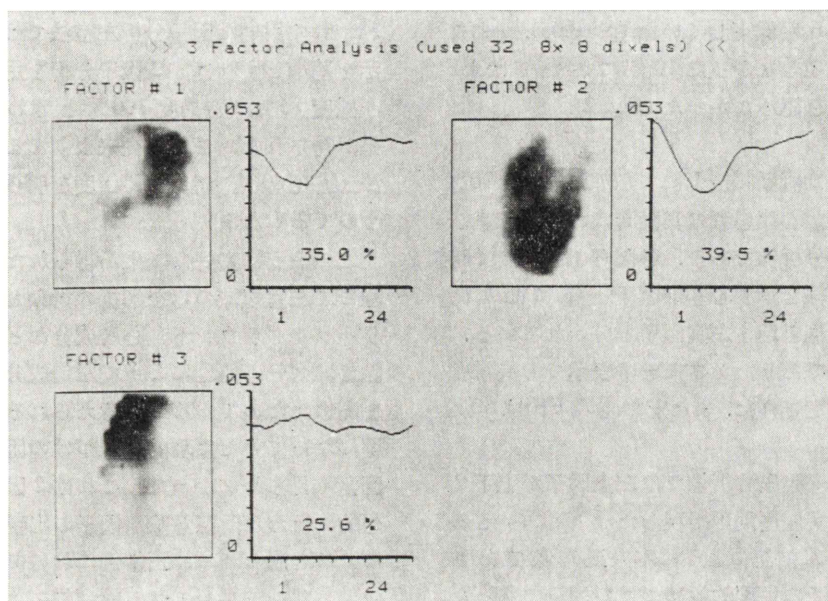


Fig. 4 The rest image of 3-factor analysis by the LVROI method in the same patient presented on Fig 3. The left ventricular factor, the first factor in Fig 3, was divided into 2 different factors, indicating some asynergy in left ventricle. The wall motion was quite normal on cine-mode display.

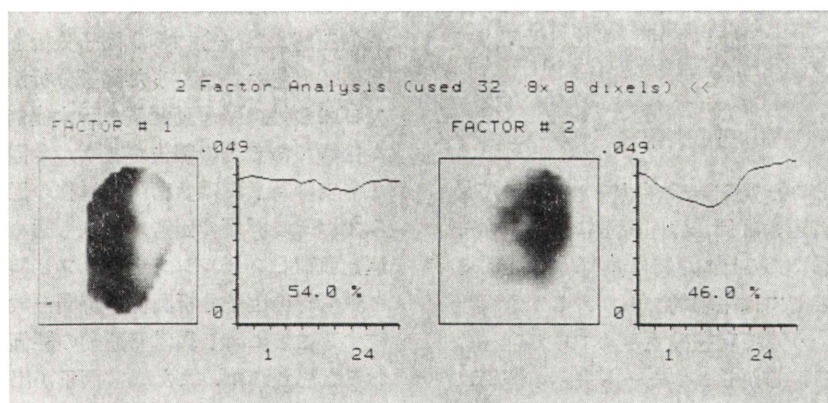


Fig. 5 The exercise image of 2-factor analysis by the LVROI method in the same patient presented on Fig 3. Akinetic factor was demonstrated in antero-septal to apical wall (left).

現した 12 例においては全例にて安静時と比較して運動時に EF が低下していた ($p > 0.05$)。一方、異常因子の出現しなかった 10 例においては EF の有意の変化を認めなかった (Fig. 2)。

5) 症例

a) Figure 3 は冠動脈造影にて左前下向枝に 90% 狭窄を認めた狭心症患者の安静時における左室法による 2 因子分析像である。各因子は平坦な時間-放射能曲線を示す心基部因子と下に凸な時間-放射能曲線を示す左室因子と分かれている。これは正常像であり、シネモード表示でも異常壁運動無しと判定された。また安静時の EF は 50% であった。

同一症例の 3 因子分析像では左室因子が上下 2 つに分かれ異常壁運動が出現したように見える (Fig. 4)。しかし前記のように本来正常像であり出現した各因子の生理的意義づけが困難であった。このように 3 因子分析では偽陽性または判定困難例が多く出現した。

負荷時の 2 因子分析像 (Fig. 5) では前壁中隔から心尖部にかけて平坦な時間放射能曲線を示す異常因子の出現が明らかである。シネモード表示ではこの部位に akinesis を認めた。また負荷時における EF は 27% と安静時の 50% に比べ低下していた。

V. 考 察

心電図同期心プールシンチグラフィにおいて最も基本となる壁運動評価法は熟練者によるシネモード表示の読影である^{9,10}。特に負荷時における壁運動評価法としては生理的であり、しかも再現性に優れるという点で現在確立されている唯一の方法と思われる。しかしシネモード表示の読影には熟練を要し、またフィルム上のプール像のみでは客観的評価が難しいという欠点がある。そこで従来より EF image, SV image 等の各種 functional image に加えて因子分析法が壁運動の客観的評価法として試みられてきた。因子分析法に関しては各因子の生理的意義づけが困難な場合が多く、このことが因子分析法の普及に関しての障害のひとつ

であったことは否定できない。しかし今回のわれわれの用いた因子分析左室法ではシネモード表示を基準とすれば、2 因子分析を用いることにより感度 85%、特異度 100% ときわめて良好な結果が得られた。これは従来よりある因子分析全体法 (感度 60%、特異 79%) を明らかに凌駕するものであった。

このように良好な結果が得られたのはマスク処理にて左室領域のみを解析の対象とすることによりバックグラウンド、心房成分などの影響を取り除き、ズーム処理によって左室成分による寄与率を高めたためであろうと考えられる。特に従来問題になっていた生理的意義づけの困難な症例は今回全く見られなかった。これは 2 因子の抽出が理想的に行われ、無意味な因子の出現を抑えたことによると思われる。正常例においては 2 因子分析にて心基部因子および心室部因子に分かれるのであるが、異常壁運動が存在する場合、異常部位は心基部因子として表現される。2 因子分析法では検出した異常壁運動が hypokinesis か、または dyskinesis など異常の段階の評価は困難な症例もあるが、その鑑別には 3 因子分析を施行すれば良いものと思われる。したがって 2 因子分析にて異常を認めた場合のみ 3 因子分析を施行する意義があると思われた。また因子分析法は 3 枝病変等ではまん性の壁運動低下を示す症例ではその評価が困難であるとの報告があり、今回の研究においても安静時または負荷時の単独の因子分析画像のみではその評価の困難な症例も認めた。しかし、運動負荷心プールシンチグラフィにおいて安静時と負荷時の因子分析画像の時間-放射能曲線を比較することにより異常壁運動の評価は十分可能であると思われた。また異常因子が出現した場合には EF は有意に低下しており、このことは虚血により生じた異常壁運動を因子分析がよく抽出していることを示している。

他の functional image についてはシネモード表示を基準として SV image (感度 55%、特異度 86%) が比較的良好な結果を示し、EF image (感度 40%、特異度 79%) よりも優れていた。これ

は従来の報告と比較してやや劣る結果であるが症例が異なること、また中隔側の壁運動異常の評価が難しい症例が含まれていることも原因となっている。また PH image (感度 70%, 特異度 61%) に関しては、鋭敏ではあるが偽陽性も多いとの結果が得られた。これも従来の報告と比較して成績は劣っているが症例の違いに加えて、画像だけから視覚的に判定し、定量的解析を施行していないためであろうと思われる。functional image の一つである因子分析左室法はシネモード表示との比較において最も良好な一致率を示し、運動負荷心筋スキャン、あるいは冠動脈造影所見との比較では一致率が低下した (Table 1, 3, 4)。これは運動負荷心筋スキャン上の灌流低下、あるいは冠動脈造影上の狭窄が必ずしもシネモード表示上の壁運動異常と一致しないためであり、この一致率の低下が直ちに因子分析法などの functional image の限界を示すものではないと考えられる。

VI. 結 論

因子分析左室法は異常壁運動の客観的評価法として優れた方法であり、シネモード表示との一致率は他の functional image と比較して優れていることが結論された。特に運動負荷心プールシンチグラフィに本法を施行し、安静時と負荷時の 2 因子分析の画像を比較することにより、異常壁運動出現の評価が更に容易になった。またこの方法は比較的簡便であり日常的な臨床において有用であると思われる。

文 献

- 1) 中嶋憲一：心電図同期心プールシンチグラフィを用いた functional imaging による心機能評価 (I)：心室容積曲線のシュミレーションによるフーリエ解析法の検討。核医学 20: 1-10, 1983
- 2) 中嶋憲一：心電図同期心プールシンチグラフィを用いた functional imaging による心機能評価 (II)：特に冠動脈疾患における臨床的意義。核医学 20: 11-21, 1983
- 3) Maddox DE, Holman BL, Wynne J, et al: Ejection fraction image: A non-invasive index of regional left ventricular wall motion. Am J Cardiol 41: 1230-1237, 1978
- 4) Adam WE, Tarkowska A, Bitter F: Equilibrium (gated) radionuclide ventriculography. Cardiovasc Radiol 2: 161-173, 1979
- 5) Di Paola R, Bazin JP, Aubry F, et al: Handling of dynamic sequence in nuclear medicine. IEEE Trans Nucl Sci NS-29: 1310-1321, 1982
- 6) Cavaillolles F, Bazin JP, Di Paola R: Factor analysis in gated cardiac studies. J Nucl Med 25: 1067-1079, 1984
- 7) 浅原 朗, 吉武 晃, 大久保哲男, 他: Factor Analysis による心疾患解析の検討。映像情報 17: 979-987, 1985
- 8) 中嶋憲一, 山田正人, 松平正道, 他: 心ファントムおよび数学的モデルによる因子分析法の検討。核医学 23: 1423-1434, 1986
- 9) Strauss HW, Zaret BL, Hurley PJ, et al: A scintiphotographic method for measuring left ventricular ejection fraction in man without cardiac catheterization. Am J Cardiol 28: 575-580, 1971
- 10) Zaret BL, Strauss HW, Hurley PJ, et al: A non-invasive scintiphotographic method for detecting regional ventricular dysfunction in man. N Engl J Med 284: 1165-1170, 1971

Summary

Evaluation of Factor Analysis and Other Functional Images in Exercise Gated Blood-Pool Study

**Ichiro MATSUNARI, Hisashi BUNKO, Kenichi NAKAJIMA, Junichi TAKI,
Yasushi SHIIRE and Kinichi HISADA**

The Department of Nuclear Medicine, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa

Factor analysis, a new method of functional imaging, has been applied to cardiovascular nuclear medicine. Because of the difficulty of its interpretation, it has not been popular as a method for detecting abnormal wall motion. The purpose of this study was to evaluate the usefulness of factor analysis in exercise gated blood-pool study in patients with ischemic heart disease. In our factor analysis, left ventricular region of interest (LVROI) was extracted to exclude the surrounding radioactivities. The new method was compared with 1) the conventional factor analysis using whole region (whole ROI method), and with 2) the other functional images, i.e. stroke volume, ejection fraction and phase images. At first we tried 3-factor analysis of the LVROI method, which

resulted in many uninterpretable factors. Whereas in 2-factor analysis no uninterpretable factors were extracted. In comparison with cine-mode display, the LVROI method with 2-factor analysis showed the best sensitivity (85%) and specificity (100%). In exercise gated blood-pool study, it became easier to detect abnormal wall motion by comparing the factor image at exercise with resting image. In conclusion, the 2-factor analysis using the LVROI method greatly improved the limitation of conventional factor analysis, and will be useful in detecting wall motion abnormality in patients with ischemic heart disease.

Key words: Gated blood pool study, Functional image, Factor analysis, Ischemic heart disease.