

# 2次元流体方程式を用いた心筋収縮測定法 による局所心機能評価の有用性

新美 孝永<sup>\*1)</sup>, 前田 尚利 <sup>\*2)</sup>, 七里 守<sup>\*3)</sup>, 杉本 美津夫<sup>\*1)</sup>

\*1 名古屋第二赤十字病院 医療技術部 放射線科

\*2 名古屋大学医学部 保健学科

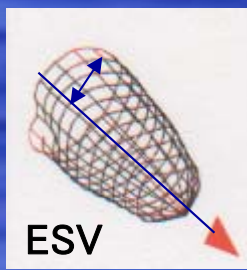
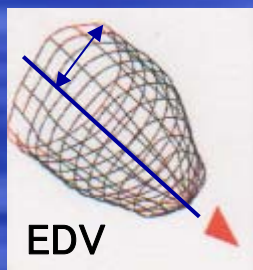
\*3 名古屋第二赤十字病院 循環器科

## 研究背景

近年、心筋収縮の同期性など局所心機能評価に関する報告が活発

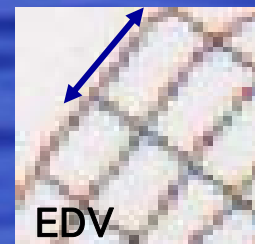
➡ 心臓再同期療法 (CRT) の適応判断, 効果の判定指標の必要性

一般に同期性等の壁運動解析とは心臓の壁面に垂直な壁運動特性を対象



心筋の壁運動 (壁面と垂直)

しかしながら、心筋は解剖学的に壁面と平行に走行



心筋の収縮方向 (壁面と平行)

壁に垂直な運動の異常部位が必ずしも心筋の収縮異常を反映しているとは限らない (Herman et al, N Engl J Med 277(5): 222-232, 1967)

# 研究目的

Maeda H, et al

Segmental cardiac function computed from ECG-gated SPECT images through solution of equations of continuity for fluids.

Phys Med Biol 46: 347-367, 2001

2次元流体方程式を用いた心筋収縮測定法の提唱

Quantification of segmental function by solving poisson equation: QSFP



数学的に心臓壁にマス目を描き、そのマス目の変形(四角形の辺縁の伸び縮み)を計算することによって心筋の収縮を測定する方法.



心筋収縮の同期性と振幅から局所評価の指標となる収縮同期係数を求め、収縮の効率性(心筋がどの程度心室の駆出と同期して協調的に収縮を行っているのか)の評価.

QSFPの理論と臨床的有用性について報告

# QSFP法の理論

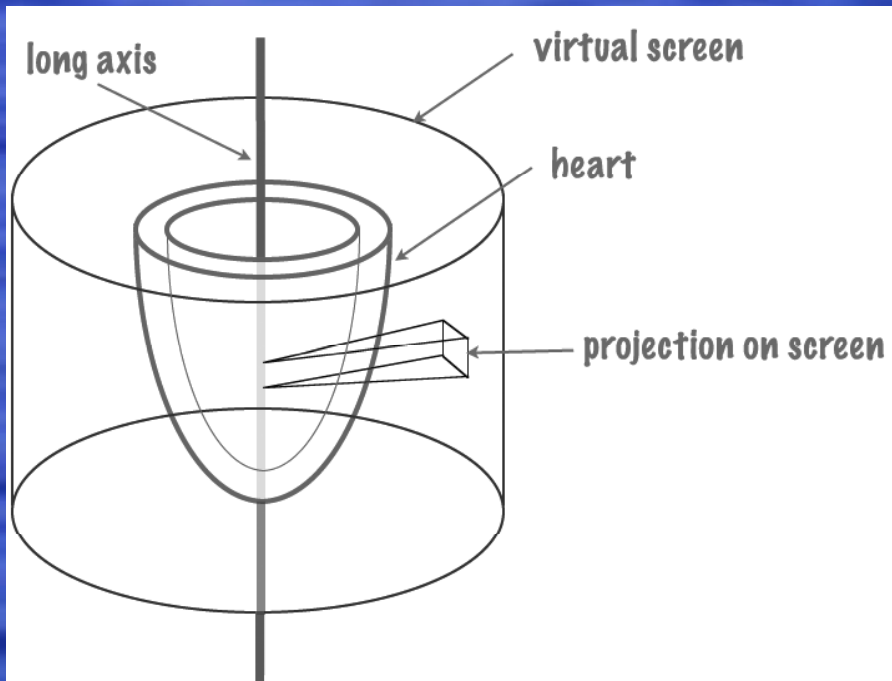


図1.円筒スクリーンへのカウントの投影

心筋に集まったRIカウント分布の変化

$$-\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial s^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \quad \dots (1)$$

$\rho$  はスクリーン上のカウント密度,  $s$ と $z$ はそれぞれ仮想スクリーンの円周方向と長軸方向の距離,  $t$ は時間,  $\psi$ は流れのポテンシャル

拡張期

収縮期

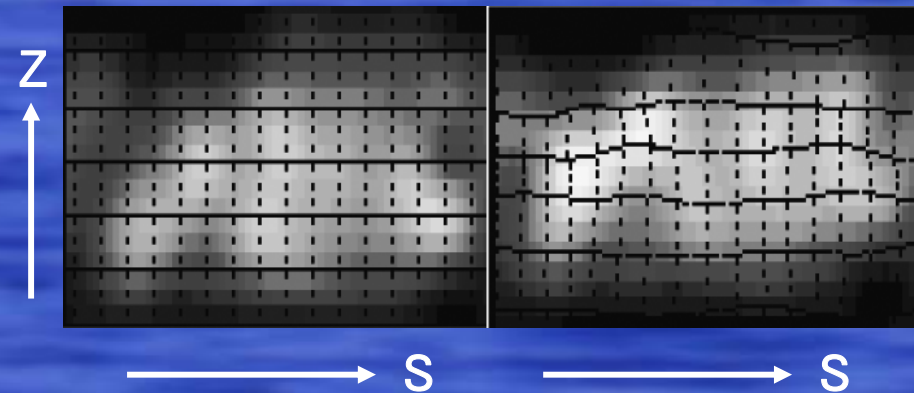


図2.円筒スクリーンのカウント分布変化

流れの方向とスピード

$$v_s = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi}{\partial s}, \quad v_z = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad \dots (2)$$

$v_s$ と $v_z$ を用いて, 微小時間における移動量を連続加算し, 粒子の移動した軌跡(図2に示すマス目の変化)を計算

軌跡の心筋上への逆投影

心筋上に固定された点の軌跡を3次的に計算

# 収縮同期係数 (synchronous contraction index: SCI) の計算

SCIの算出とは、心筋上に固定された点の軌跡(心筋収縮)を計算すること

$$SCI = -100 \times \frac{\sum_{k=1}^n (V_{av} - V_k)(X_{av} - X_k)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (V_{av} - V_k)^2 \sum_{k=1}^n (X_{av} - X_k)^2}} \dots (3)$$

$n$  は1心拍の分割数 ( $n = 8$  or  $16$ ),  $V_k$  は時相 $k$ における左室内腔容積,  $V_{av}$  はその平均,  $X_k$  は時相 $k$ におけるマス目の面積またはマス目の一辺の長さ,  $X_{av}$  はその時間平均 (SCIは $V$ と $X$ の時間相関)を示す.

SCIは、心筋がどの程度心室の駆出と同期して協調的に収縮を行っているのか示す指標. **+100%で完全協調, -100%で心室瘤**

# 方法

使用SPECT装置 2検出器型Millennium (GE社製)

解析 QSFPのプログラムは, Xcode v 2.0で書かれたもので解析は汎用コンピュータ(iMac)を使用.  
必要なファイルは, QGSと同様に短軸断層像のみで, Millenniumで画像処理された短軸断層像をiMacへ転送し解析を実行.

結果 米国心臓協会(AHA)が推奨する心筋を2次元の17セグメントに分類したpolar mapで表示し, セグメント毎のSCI値から局所心筋の収縮の効率性を評価

QGSとの比較 Millenniumで画像処理された同一の短軸断層像を利用

## 臨床評価

(1) QSFPで算出した心機能諸値の信頼性評価

(2) 収縮同期係数(SCI)の臨床的有用性

対象 虚血の有無を目的とした  $^{201}\text{Tl}$ CLを用いたに運動またはアデノシン薬物負荷の56例

撮像  $^{201}\text{Tl}$ を74~148MBq投与し, 心電図同期SPECT法にて約10分後に早期像, 3時間後に後期像を撮像.  
64 × 64画素, 6度毎に32ステップ, R-R分割数は8分割

対象  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBIによる心筋梗塞患者の心壁運動異常からの回復判定を目的とした10例中1例

撮像  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBIを600MBq投与し, 心電図同期SPECT法にて約60分後に撮像.  
64 × 64画素, 6度毎に32ステップ, R-R分割数は16分割

# 結果

## 1. QSFPで算出した心機能諸値の信頼性評価

### $^{201}\text{TICL}$ 負荷心筋シンチの56例QGS解析値との比較

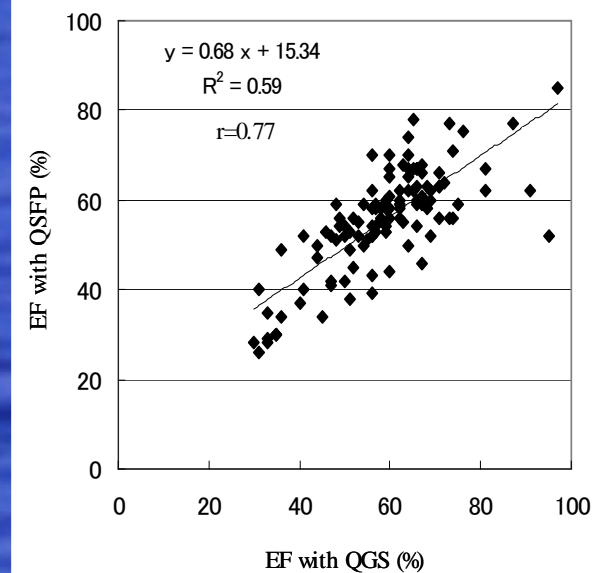
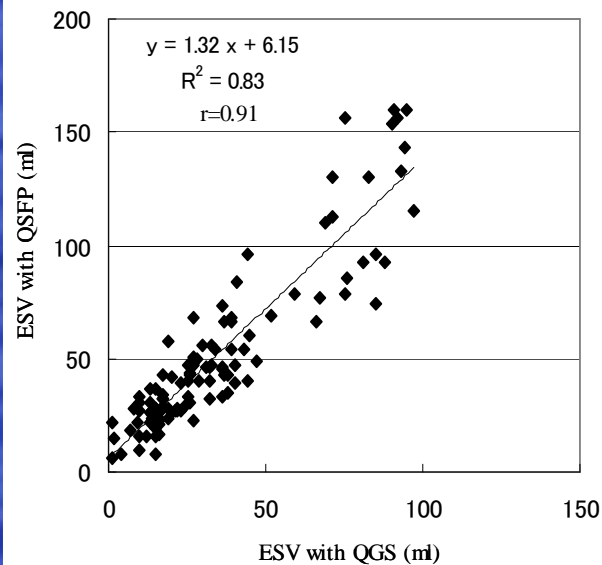
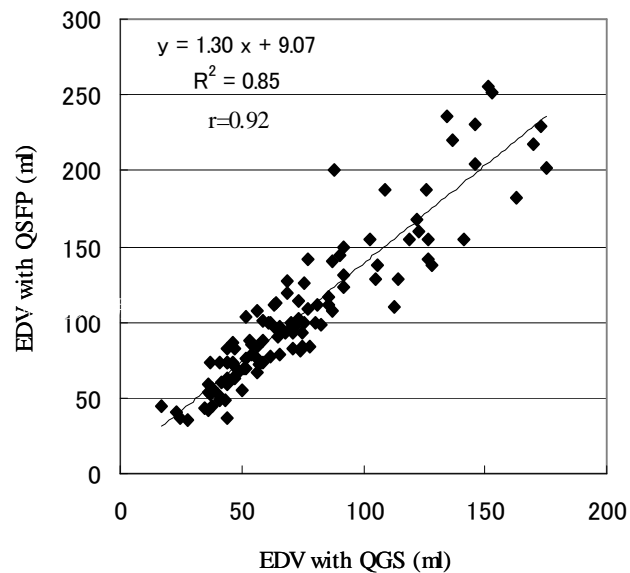


図3-a. 拡張末期(EDV)の左室容量

図3-b. 収縮末期(ESV)の左室容量

図3-c. 駆出率(EF)

EDV, ESVともQSFPがやや高い値を示したが両者間に良い相関(相関係数 $>0.9$ )を示した。

EFは, 両者の相関係数は0.77, QGSに比べてQSFPが全体的にやや低い値を示した。

## 2. 収縮同期係数 (SCI) の臨床的有用性

### (1) <sup>201</sup>TICL 負荷心筋シンチでの評価

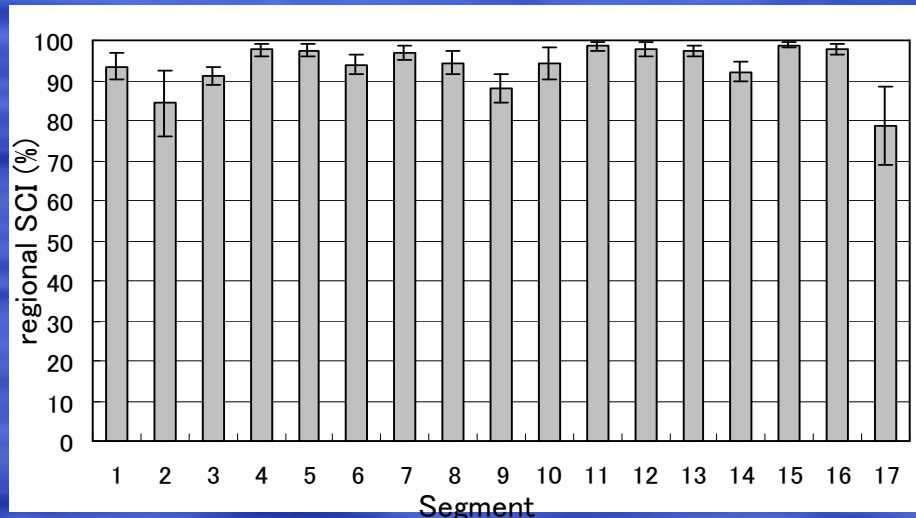
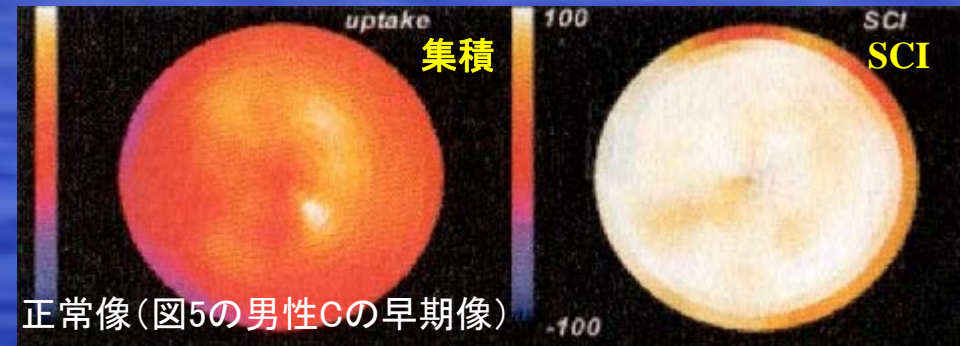


図4. 正常患者のセグメント別SCI (regional SCI)



正常像 (図5の男性Cの早期像)

EDV: 98.6 ml    ESV: 32.4 ml  
EF : 67.1%    **Global SCI: 97.4**

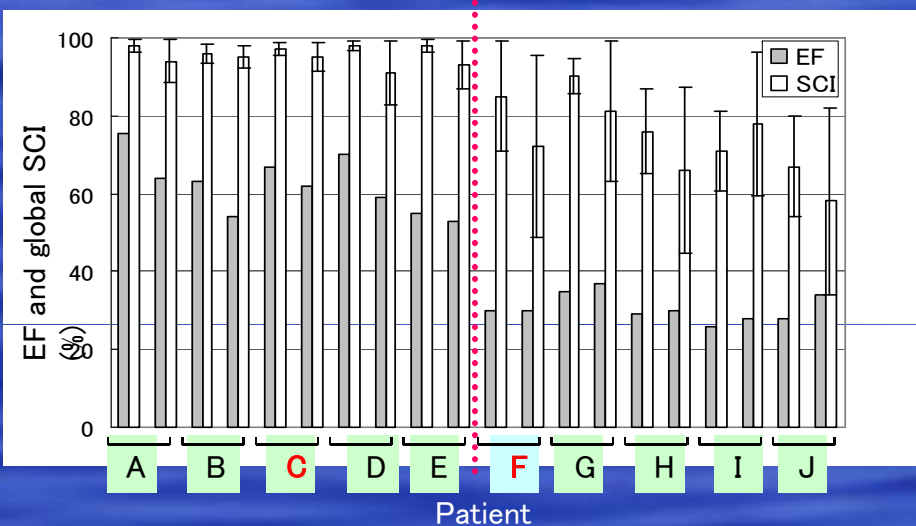
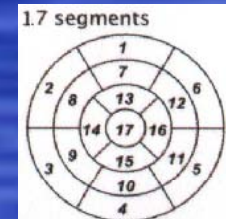
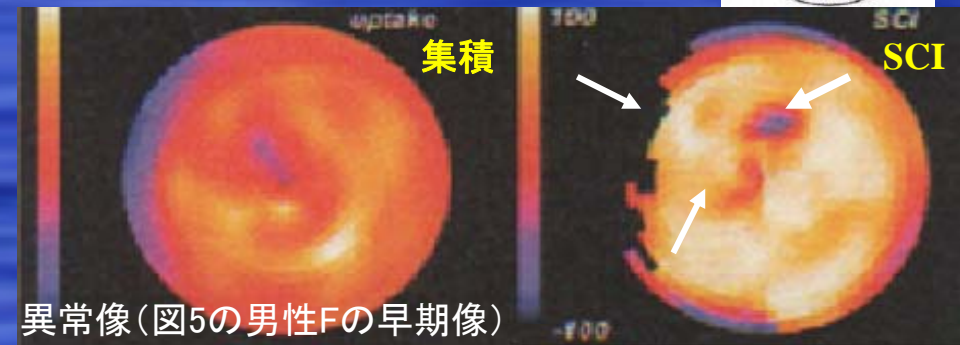


図5. 正常例5名 (A-E), およびEF値40%未満5名 (F-J) の早期像と後期像をQSFPで解析した場合の17セグメントの平均SCI(global SCI)とEFとの関係



異常像 (図5の男性Fの早期像)

EDV: 186.8 ml    ESV: 130.3 ml  
EF : 30.3%    **Global SCI: 85.1**

- ・ 正常例5名 (A-E) の global SCI : **95.5 ± 2.4%**
- ・ EF < 40% の5名 (F-J) の global SCI : **74.4 ± 9.6%**
- ・ 両者間に有意差有り (**P < 0.01**)



## (2) <sup>99m</sup>Tc-MIBIによる心筋梗塞患者の心壁運動異常の治療効果判定

72歳 男性 陳旧性心筋梗塞

術前

血行再建術後 (#6, #7にステント挿入)

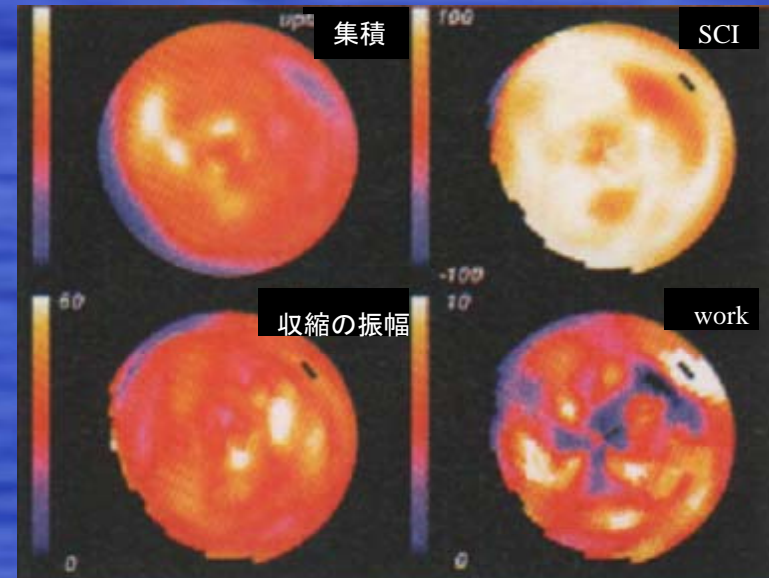
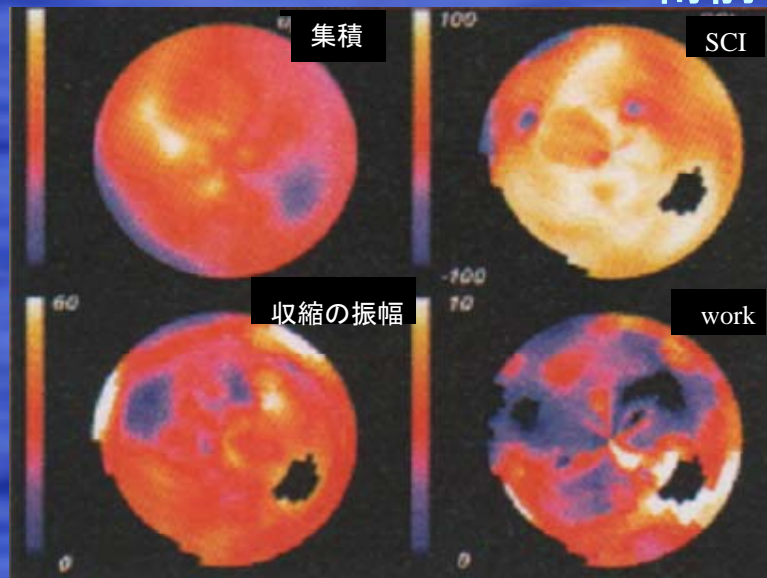


図6. SCIによる心壁運動異常の治療効果の確認

	area	uptake	amplitude	SCI	work
1:	8.75	246.34	17.64	92.91	4.79
2:	7.95	334.29	15.49	31.29	2.51
3:	5.77	254.49	33.17	88.50	7.89
4:	7.00	252.25	34.17	93.55	8.33
5:	6.90	171.09	35.83	91.64	11.59
6:	8.39	184.67	21.80	78.12	5.24
7:	8.73	252.50	18.60	90.24	4.65
8:	8.46	370.48	15.06	83.47	2.46
9:	6.91	359.41	32.02	93.80	5.01
10:	7.00	292.55	29.77	97.47	6.84
11:	6.22	174.20	37.58	89.20	11.12
12:	8.51	215.09	31.68	33.21	0.65
13:	9.31	357.58	19.78	88.80	4.45
14:	9.07	421.12	23.21	79.94	3.87
15:	9.89	304.05	33.22	96.78	7.15
16:	9.67	260.56	29.78	95.20	5.25
17:	3.96	551.53	18.73	66.99	7.77
ave:	132.50	290.00	26.01	82.06	5.56

area: cm2, uptake: count/cm2  
contraction: percentile change in area  
SCI: given in %, and work: in unit mj/cm2

部位	4PD	6	7	12	13
術前狭窄率 %	50	50	75	25	100
術後狭窄率 %	50	0	0	25	100

EDV: 153.9 ml

ESV: 81.0 ml

EF : 47.4%

Global SCI: 82.1

SCI of LAD area: 76.2 ± 21.6

	area	uptake	amplitude	SCI	work
1:	8.69	395.50	30.20	97.59	7.41
2:	8.19	457.83	21.25	82.76	5.21
3:	5.58	362.44	31.25	94.18	8.60
4:	7.74	361.44	30.65	97.74	8.75
5:	8.89	307.83	33.02	97.92	9.95
6:	9.04	237.39	30.27	87.52	9.72
7:	8.91	394.21	31.41	98.25	7.63
8:	9.43	484.84	34.07	95.61	7.67
9:	7.71	526.48	39.42	97.69	10.67
10:	7.13	556.93	32.74	86.30	8.18
11:	8.58	355.69	38.18	94.67	9.69
12:	8.68	329.84	34.14	70.80	4.17
13:	8.02	713.21	30.03	89.97	5.05
14:	9.06	604.49	35.44	93.50	6.36
15:	8.76	570.11	44.45	96.64	7.41
16:	8.58	537.54	40.32	96.96	7.05
17:	2.84	971.56	17.63	86.25	2.70
ave:	135.83	459.98	33.31	92.28	7.59

area: cm2, uptake: count/cm2  
contraction: percentile change in area  
SCI: given in %, and work: in unit mj/cm2

LAD領域のSCI: 21%改善  
全体的なSCI: 12.4%改善  
EF: 12.5%改善

EDV: 135.7 ml

ESV: 54.4 ml

EF : 59.9%

Global SCI: 92.3

SCI of LAD area: 92.0 ± 5.9

# まとめ

## ● QSFPで算出した心機能諸値の信頼性

<sup>201</sup>TICLを用いた負荷心筋シンチの56例QGS解析値との比較

- EDV, ESVは両者の間に良い相関(相関係数 $>0.9$ )を示した.

→ SCIの計算に問題無い

## ● 収縮同期係数(SCI)の臨床的有用性

- <sup>201</sup>TICL負荷心筋シンチの正常患者では, ほぼ全てのregional SCIが90%以上.  
global SCIは  $95.5 \pm 2.4\%$ . 心筋は心室の駆出と完全に同期して協調的に収縮.
- 左室収縮機能障害(  $EF < 40\%$  )のglobal SCI:  $74.4 \pm 9.6\%$   
正常者との間に統計的有意差有り( $P < 0.01$ )
- <sup>99m</sup>Tc-MIBIによる心筋梗塞患者の心壁運動異常の治療効果判定では従来の心機能諸値に加え, SCIによる心壁運動異常の治療効果の確認ができた.

EFとSCIの関係 ⇒ SCIからEFの低下および改善部位の特定が可能

## 結論

2次元流体方程式を用いた**心筋収縮測定法(QSFP)**を利用し、心筋収縮の同期性と振幅から局所評価の指標となる**収縮同期係数(SCI)**を求め、収縮の効率性を評価した。

SCIは従来の心臓核医学解析にない新たな指標でありEF(駆出率)との併用で診断能をさらに向上できると考えられる。

心臓再同期療法(CRT)の適応の可否判定や治療効果の判定指標の一つになる可能性があることが示唆された。

本研究は、名古屋大学倫理委員会および名古屋第二赤十字病院治験審査委員会の承認を得て実施したものである。