

ヒト冠動脈二方向同時撮影
による左心室外壁収縮様式
の検索

Contractile behavior of
the left ventricular outer
wall assessed by biplane
coronary cineangiograms
in man

石川 欽司
林 健郎
小橋 泰之
大谷 昌平
金政 健
山門 徹
田仕 雅洋
大里修一郎
香取 瞭

Kinji ISHIKAWA
Takeo HAYASHI
Yasuyuki KOHASHI
Shohei OTANI
Ken KANAMASA
Tetsu YAMAKADO
Masayuki TASHI
Shuichiro OSATO
Ryo KATORI

Summary

Biplane coronary cineangiograms were analyzed in 6 patients with normal coronary arteries. The spatial distances between bifurcations of the coronary artery were calculated using digitizer-computer-plotter system according to Kong et al. The accuracy of calculation was tested using a phantom which revealed a good correlation with the actual value without systemic difference and a hardware consistency of ± 0.25 mm. The effect of contrast media was not evident until 3-4 beats after injection as measured by left ventricular systolic and diastolic pressures or dp/dt . Five to 15 segments were obtained from a single pair of cineangiograms. Systolic shortening of the segment (calculated as $(LECG R - Lmin)/LECG R$; where $LECG R$ was the length at the peak of ECG R and $Lmin$ was the shortest length) was $11.6 \pm 4.9\%$, ranging from -2.6 to 24.5% , including one segment at the basal posterior wall in a patient with sportsman heart, where there was a systolic expansion. A wide variety in the degree of systolic shortening of the left ventricular myocardium was consistent with the previous study. There was no regional difference in the degree of shortening. The shortening began 9.2 ± 67.0 msec following R wave of ECG, the anterior wall along the left anterior descending coronary artery near the apex contracted earlier and the basal posterior wall along the left circumflex coronary artery contracted thereafter. These findings were consistent with the previous report and the order in the electrical excitation of the myocardium was considered as a possible reason. Pressure-

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, Sayama-cho 380,
Minamikawachi-gun, Osaka 589

Presented at the 17th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Sendai, October 20-21, 1978
Received for publication January 26, 1979

length loop was constructed, where left ventricular pressure (mmHg) was on ordinate and segment length (% of LECG R) on abscissa. The area of the loop between the lengths on the left anterior descending artery was smaller than that on the left circumflex artery. It was considered that the myocardium along the left anterior descending artery contributes to increase left ventricular pressure because it contracts earlier, while that along the left circumflex artery contributes to perform more external work because it contracts after the left ventricular pressure is elevated, resulting larger area of the loop.

Key words

Contractile behavior of left ventricular myocardium

Coronary angiogram

はじめに

左心室壁の収縮異常は心室のポンプ機能を著しく低下させるが¹⁻³⁾, とくに冠動脈疾患では, 心臓全体のポンプ機能の表現としての心拍出量よりは, 局所心筋の収縮異常の有無や駆出率の大小のほうが重要な知見とされている. これらの目的に対し, 左心室造影法は標準的な検査法であるが, この方法は左心室内腔を形成する面のうち, ある投影面で, 最外殻となった面の総和を観察しており, ある特定の部位における心筋収縮様式を正しく伝

えるものではない. 1971年, Kong ら⁴⁾は冠動脈造影を二方向同時撮影で行い, 二点間の距離を計測してヒトにおける心筋収縮様式を検討したが, その後発展がみられていない. そこで本研究では Kong ら⁴⁾の方法を応用し, 冠動脈に狭窄性病変を認めない例についての収縮様式を分析した.

対象および方法

虚血性心疾患の診断の目的で, Judkins 法により冠動脈造影(ウログライン 5~7 ml 注入)を行った症例のうち, 冠動脈狭窄がないと診断された

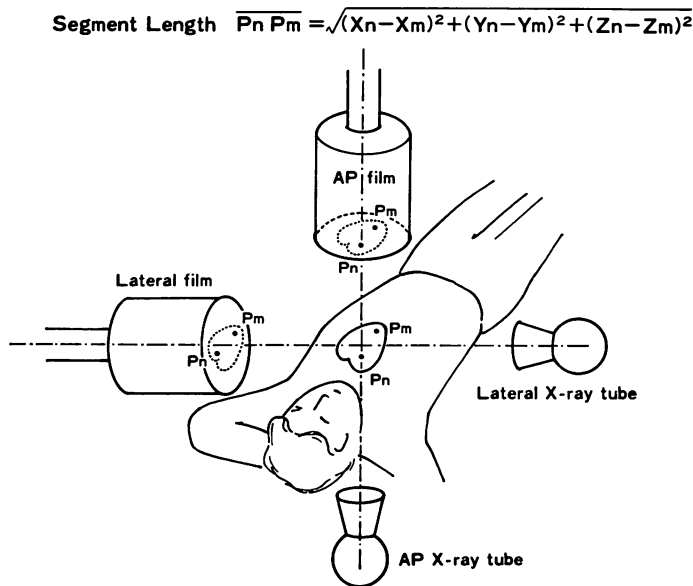


Fig. 1. Computation of segment length using biplane coronary cineangiograms.

6 症例につき分析を加えた。使用したレ線装置は Siemens (西独) 製 Biplane 150/30/50, RGS-100G, Sirecon-2 duplex 25/15 high resolution, カメラは Arnold-Richter (西独) 製アリテクノ 35 である。現像された 35 mm フィルムはコンピューター、プロッター付モーションアナライザー

(HP Angioanalyzer 5693A) を用いて、冠動脈上の認識しやすい点 p_n の立体座標値 (x_n, y_n, z_n) を入力させた (Fig. 1)⁴⁾。1 コマのフィルム上の点 6 箇所 ($P_1 \sim P_6$) まで入力可能で、この場合 15 本の冠動脈分枝間距離 segment length が計算でき、150 コマまで格納可能である。立体座標値は

Segment length calculation flowchart

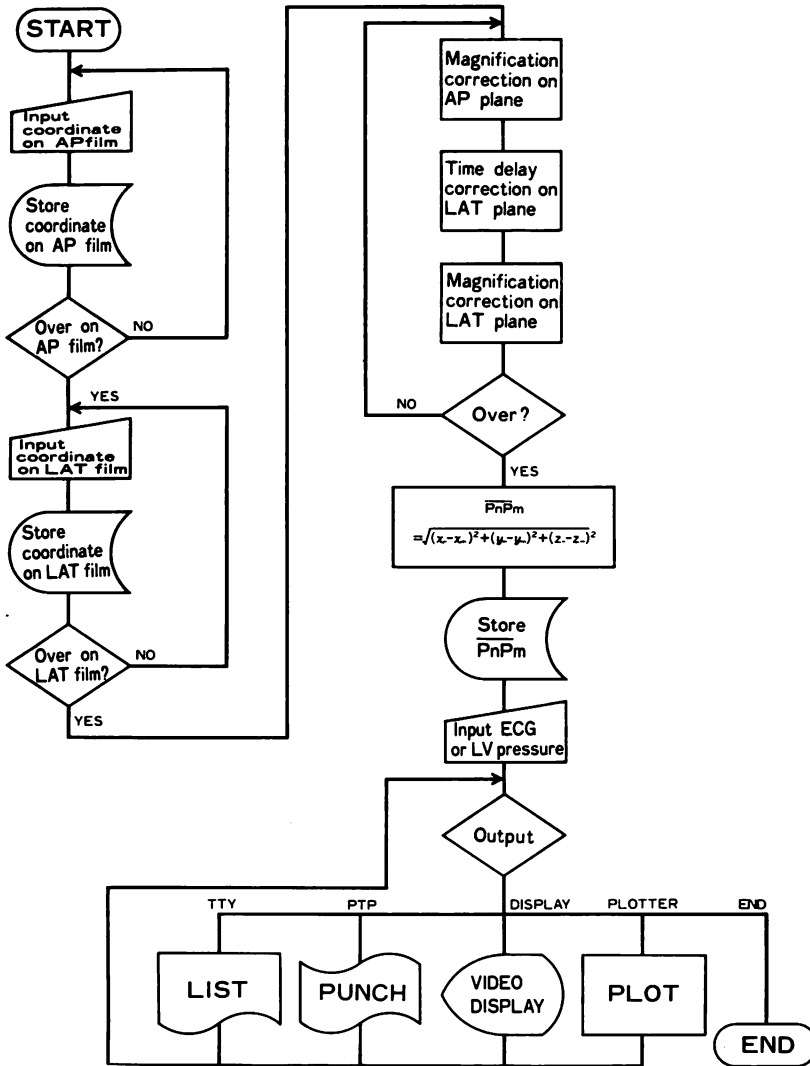


Fig. 2. Segment length calculation flow chart.

拡大率補正, 正面・側面レ線曝写時間補正を行ってから, segment length が出力される. 心電図や左心室圧など同期信号は同じくディスクに格納されて, segment length と同期させて出力できる (Fig. 2).

結 果

1. 精度に関する成績

直径 1~5 mm の鉛球をヒトの心臓とほぼ同じ大きさに立体的に配置した骸子の中にいれ, これを種々の速度で回転させ, 二方向撮影し, 本法にて鉛球間の距離を算出したところ, 実測値と良く一致した(実測値 (mm)=0.9988×算出値+0.4477, n=36, $r=0.9984$, SEE=±0.426). デジタイザーの電氣的分解能は物体上の距離に換算すると 0.25 mm 前後となった. 直径約 2 mm の鉛球 2 個を撮影したコマにつき 12 回デジタイザーを用いて計測したところ, 先行した計測距離との差の平均値は 0.15±0.03 mm であった. レ線管球とイメージンスファイアーまでの距離は, 通常 90 cm に固定, 側面レ線管球中心線とイメージンスファイアーまでの距離は 10~15 cm であった. 前者の距離の計測誤差 5 cm, 後者の 0.5 cm は, 物体のそれぞれ 0.5 mm の誤差に相応した. 物体からイメージンスファイアー, レンズ系, デジタイザーまでの歪みは, 実測したところ捕捉できない程度であり, 補正しなかった.

造影剤注入中の大動脈圧, 左室圧, および左室圧一次微分 (dP/dt)

注入開始後 3 心拍目に左室圧 peak dP/dt は 95.3±10.6% を示し, 4 心拍目には 92.5±9.7% に減少, 10 心拍目には 71.8±5.1% となった. 左心室圧 negative dP/dt は 7 心拍目で初めて 91.6±7.4% に減じた. 左室収縮期圧は 4, 5, 6 心拍目でそれぞれ 1.8±4.6, 2.8±4.7, 5.2±3.5 mmHg 下降し, 10 心拍目で 20.3±4.4 mmHg の低下を示した. 左室拡張末期圧は 7 心拍目で 1.2±1.3 mmHg, 10 心拍目で 3.5±0.6 mmHg 上昇した. 大動脈収縮期, 拡張期圧は左室収縮期圧とほぼ平

行して変動した.

2. 臨床例における成績

合計 63 本の segment について, 心周期による変動を観察した (Fig. 3, 4). もっとも短い長さ Lmin から, 拡張期を通じ上方にやや凸に弓なりになって延長し, 拡張中期から末期にかけて notch を形成する場合もみられ, 最長 (Lmax) に達した. Lmax を形成する時点は, 心電図 R 波頂点と比べると, これより 9.2±67.0 msec 後であった. 心電図上の R 波頂点での長さ LECG R は, 11.6~124.5 mm (56.5±22.8 mm) であった. Lmax から収縮期にかけてはやや下方に凸に弓なりに短縮したが, その短縮率 (segment shortening (%): $\Delta L/LECG R$; Fig. 3) は 4.8~24.5%, 平均 11.4% であった (Table 1, Fig. 5). スポーツ心と最終診断された 1 例で, 左回旋枝から辺縁枝が分枝する点と回旋枝末梢の点との間の segment で, 収縮期に 2.6% 延長した (Fig. 5). Segment length は心電図 R 波頂点から 100 msec で 23.1%, 200 msec で 63.7% 短縮した.

短縮率の大小を部位別に区別すると, 左前下行枝同志を結んだ segment は 8.8±2.9%, 左回旋枝同志では 2.8±6.4% で, 両者間に有意差はなかった (Fig. 5). 長軸に平行な segment のうち, 心基部に近い半分と心尖部に近い半分ではそれぞれ 9.3±5.6, 13.4±4.7% で, 同様に差異はなかった. 心室中隔上の segment 以外で, 長軸に平行な segment と短軸に平行な segment では, それぞれ 10.8±5.1, 11.9±8.0% と差異はなかった (Fig. 5).

各症例の各 segment のうち, 短縮が一番早く起こったもの 2 本を黒丸, 一番遅れて起こったもの 2 本を白丸で示し, それらの部位を冠動脈上に配置したものが Fig. 6 である. 冠動脈左前下行枝の心尖部寄りではすべて黒丸であり, 左回旋枝領域では収縮開始が遅れ, 白丸が多く分配している.

縦軸に左室圧 (mmHg), 横軸に segment length (LECG R を 100 とした % 表示) をとり, pressure-

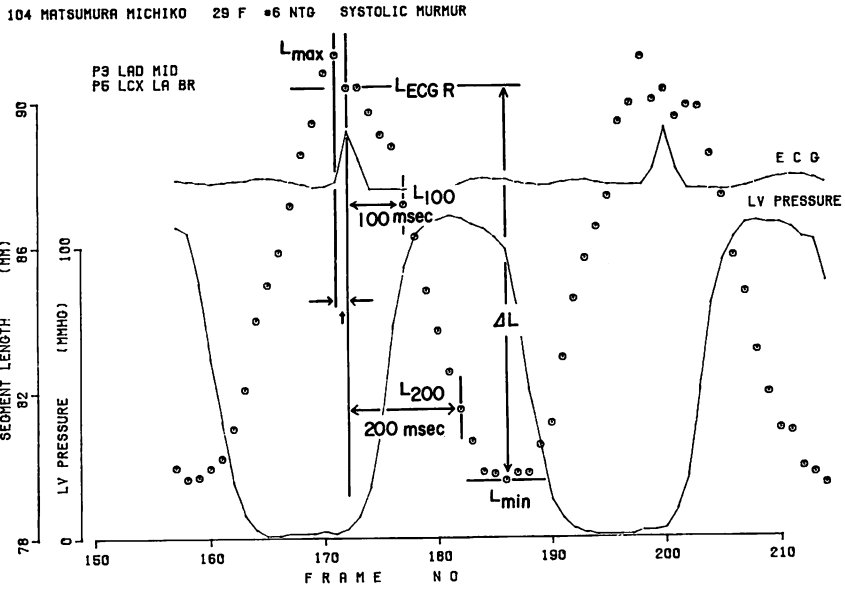


Fig. 3. One of the examples of segment length curves.

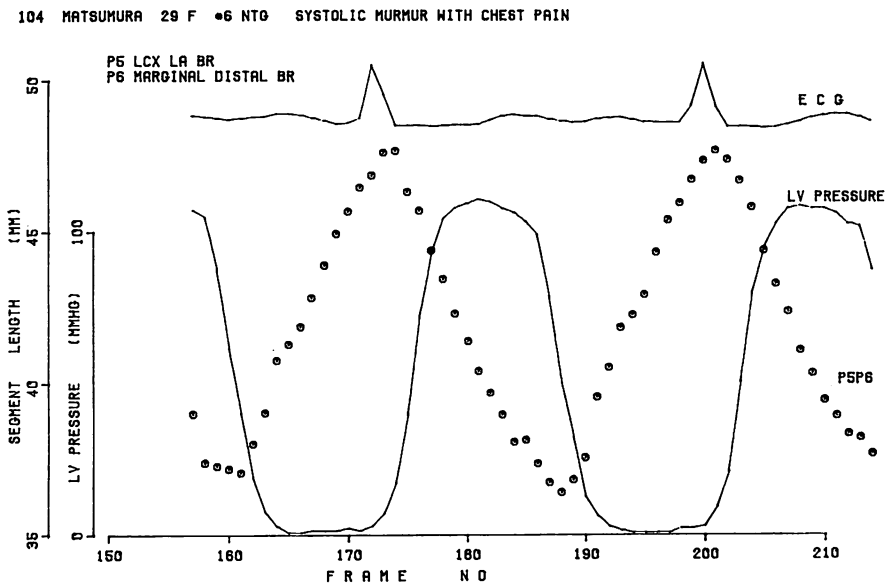


Fig. 4. Another one of the examples of segment length curves.

Table 1. Percent shortening of segment length in 6 patients with normal coronary arteries

		mean±SD
$L_{max}/L_{ECG R}$	(%)	101.1± 1.8
$(L_{ECG R} - L_{100})/(L_{ECG R} - L_{min})$	(%)	23.1±13.3
$(L_{ECG R} - L_{200})/(L_{ECG R} - L_{min})$	(%)	63.7±13.5
$(L_{100} - L_{200})/(L_{ECG R} - L_{min})$	(%)	41.7±10.1
$(L_{200} - L_{min})/(L_{ECG R} - L_{min})$	(%)	36.9±14.5
$(L_{ECG R} - L_{min})/L_{ECG R}$	(%)	11.6± 4.9

for abbreviations, see Figure 3.

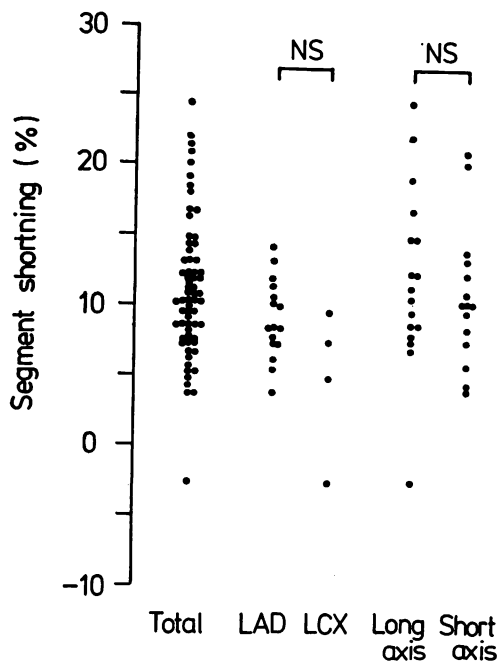


Fig. 5. Percentage shortening of the segment length.

length loop を画いた (Fig. 7). Loop に囲まれた面積は, その segment の外的仕事量を表わす. 各 segment ごとの loop の面積は大小さまざまであり, 外的仕事量は segment によりかなりの差があることがわかる. この loop 面積のうち最大のものを 100 として他の loop の面積を % 表示し, 各症例について並べたものが Fig. 8 である. 左回旋枝 (辺縁枝を含む) 間での loop は大きく,

前下行枝間の loop は小さかった.

考 案

ヒト心筋の点と点の収縮様式を計測する方法として, 古くから金属クリップ縫合法⁵⁻¹⁰⁾がある. 心臓手術時にクリップを外壁に縫合しておけば, 以後すべて非侵襲的に計測できる利点がある. しかしこの方法は限定された症例にのみしか利用できない方法である. Pieper¹¹⁾は先尖が二叉に別かれる針をカテーテルを通して挿入, イヌ心筋内へ穿刺し, 先尖の動きから心筋の動きを計測した. この方法はヒトでも右心室で応用できる利点があるが, 計測部位を自由に選ばないと考えられる. 超音波クリスタルを心室壁に埋め込む方法¹²⁾は, 連続的, かつ非侵襲的な計測法であるが, ヒトには使用できない.

本報告における方法では, 造影剤注入の 3 心拍以内に計測したものであれば, 造影剤の影響はないと考えられる. Kong ら⁴⁾は 5~6 心拍目では造影剤の影響はないとしている. いずれにせよ, 冠動脈が一番明瞭にみえるのは, 通常注入の開始後 2~3 心拍目であり, この範囲内の計測であれば支障はないと思われる.

本法ではデジタイザーの電氣的分解能 (0.25 mm) を越えて精度をあげることはできないが, 実際上の誤差の主体は冠動脈造影が鮮明でないため同定が困難な場合や, 前後フィルム上で同定していたある点を側面フィルム上で異なった点と誤認するためのものであり, いずれの場合でも segment length として算出された場合, 規則性のある曲線を形成しないので鑑別は容易である.

冠動脈に異常のない 6 症例での短縮率は, 25% 以下の範囲に広く分散していた. また, ある segment で systolic lengthening が認められたことは注目に与する. これまでの報告をみても短縮率は大小さまざまであり, Kong ら⁴⁾は 1~27%, Harrison ら^{6,7)}は 8.2~24%, Glick ら⁷⁾は 17.8~20.5%, McDonald ら^{8,9)}は 14.7~15.4%, Brower ら¹⁰⁾は 11.5~13.7% というごとくである. これは

Segments where shortening begins relatively early (●)
and relatively late (○)

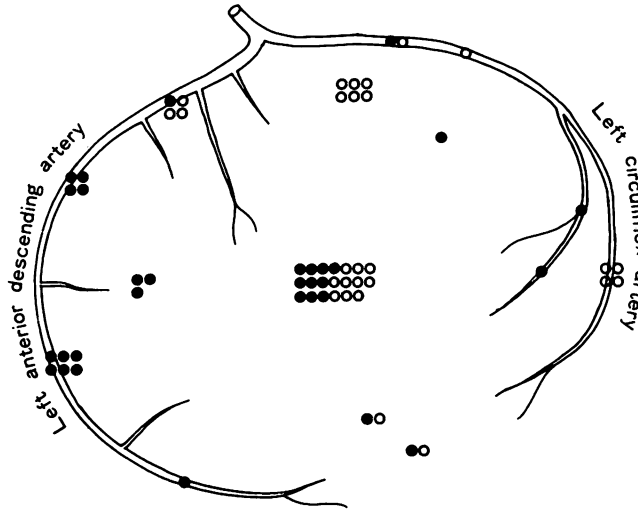


Fig. 6. Onset of segment length shortening.

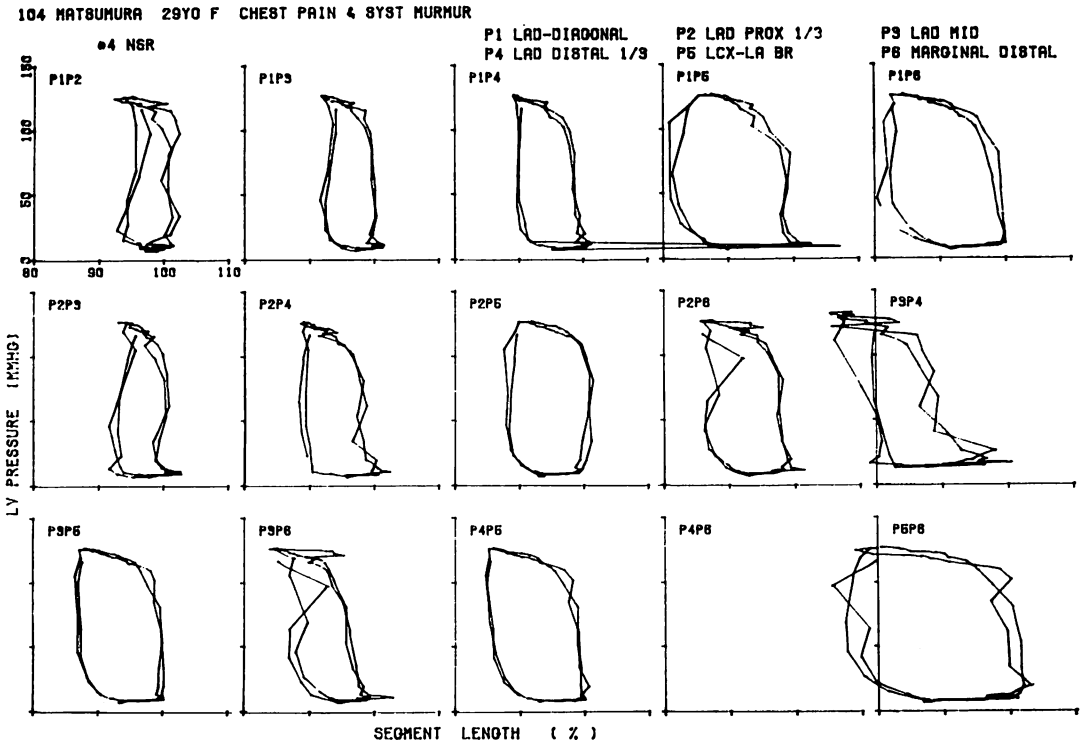


Fig. 7. Pressure-length loop.

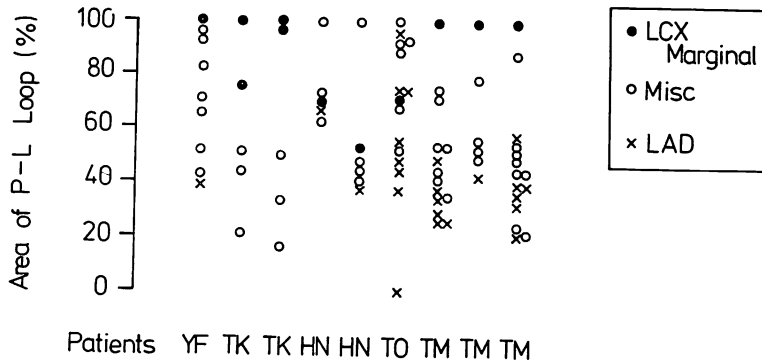


Fig. 8. Comparison of the areas of the loop at different location.

1つには対象が冠動脈狭窄がない群⁴⁾, ある群¹⁰⁾, 弁膜症や先天性心疾患など⁵⁻⁹⁾と, まちまちであることがあげられよう。また, 今回の成績では同一個人内での部位別短縮率は著明な差があるが, この部位差は他の症例にはあてはまらず, その多様性がうかがわれる。したがって Kong ら⁴⁾の成績のごとく, 短縮率が心尖部および自由壁で大きく, 心基部心室中隔部で少ないというごとき傾向は認められなかった。しかし, 短縮が起こる時点は心室前壁中隔の心尖部で早く, 心基部後壁の左回旋枝領域で遅いという結果は, Kong ら⁴⁾の報告と一致する。これは心筋刺激伝導は心室中隔から起こり, 後壁に終るといふことと関連するものと解釈される。

このような収縮時相のずれは, 局所心筋の外的仕事達成の効率を決めているかのようである。Fig. 7 で P_1P_2 と P_5P_6 の loop の面積は, 後者ではるかに大きく, これは横軸 (segment length) の振幅の差による。しかし P_3P_4 と P_5P_6 とは短縮率はほぼ等しいが, loop の面積にはかなりの差がある。これは P_3P_4 (左前下行枝心尖部寄りの2点間の segment) は左心室圧の立ち上がりと同時に短縮しているため, loop が左に倒れ, 一方, 左回旋枝間の2点を結んだ P_5P_6 では, 圧が立ち上ってから短縮が開始するため, loop は正方形に近く立っていることによる相異である。この傾向

はすべての症例にみられた (Fig. 8)。このことは左前下行枝領域は早く収縮を起こし, 圧の産生に加担し, 一方 loop としては左に倒れるため, 外的仕事の達成は少なくなる。これに反し, 左回旋枝領域では圧が立ち上ってから収縮するため, loop の面積は大きくなり, 外的仕事をより多く達成するものと解釈された。

文 献

- 1) Prinzmetal M, Schwartz LL, Corday E, Spritzler R, Bergman HC, Kruger HE: Studies on the coronary circulation. VI. Loss of myocardial contractility after coronary artery occlusion. *Ann Intern Med* 31: 429, 1949
- 2) Klein MD, Herman MV, Gorlin R: A hemodynamic study of left ventricular aneurysm. *Circulation* 35: 614, 1967
- 3) Baxley WA, Reeves TJ: Abnormal regional myocardial performance in coronary artery disease. *Prog Cardiovas Dis* 13: 405, 1971
- 4) Kong Y, Morris JJ Jr, McIntosh HD: Assessment of regional myocardial performance from biplane coronary cineangiograms. *Amer J Cardiol* 27: 529, 1971
- 5) Harrison DC, Goldblatt A, Braunwald E: Studies on cardiac dimensions in intact, unanesthetized man. I, II, III. *Circulat Res* 13: 448, 1963
- 6) Harrison DC, Glick G, Goldblatt A, Braunwald E: Studies on cardiac dimensions in intact, unanesthetized man. IV. Effects of isoproterenol and methoxamine. *Circulation* 29: 186, 1964

- 7) Glick G, Williams JF Jr, Harrison DC, Morrow AG, Braunwald E: Cardiac dimensions in intact unanesthetized man. VI. Effects of changes in heart rate. *J Appl Physiol* **21**: 947, 1966
- 8) McDonald IG: The shape and movements of the human left ventricle during systole. A study by cineangiography and by cineradiography of epicardial markers. *Amer J Cardiol* **26**: 221, 1970
- 9) McDonald IG: Contraction of the hypertrophied left ventricle in man studied by cineradiography of epicardial markers. *Amer J Cardiol* **30**: 587, 1972
- 10) Brower RW, tenKaten HJ, Meester GT: Direct method for determining regional myocardial shortening after bypass surgery from radiopaque markers in man. *Amer J Cardiol* **41**: 1222, 1978
- 11) Pieper HP: Catheter-tip instrument for measuring left ventricular diameter in closed-chest dogs. *J Appl Physiol* **21**: 1412, 1966
- 12) Theroux P, Ross J Jr, Franklin D, Covell JW, Bloor CM, Sasayama S: Regional myocardial function and dimensions early and late after myocardial infarction in the unanesthetized dog. *Circulat Res* **40**: 158, 1977