

心収縮の不均等性とその評価

森田茂穂*

はじめに

心臓の主たる働きは血液を駆出するポンプ作用にある。そのためには、十分な心内圧を生じさせるのに必要な局所心筋の順序正しい同期的かつ能率的な収縮と、すみやかな拡張が必要となる。もし局所心筋が同期せずに収縮したり、局所的に心筋発生張力の差が生じると、心収縮の不均等が起こり、それがさらに重症化するとポンプとしての効率が減少し、ポンプ機能不全に陥る。その極端な例が心室細動である。心室細動では、心筋は収縮している（心筋機能としてはゼロではない）にもかかわらず、心筋収縮の同期性、均等性がまったく失われ、心室からの血液駆出がなくなってしまう（ポンプ機能としてはゼロ）状態にある。このような極端な例は別としても、心収縮の不均等がみられる例に心筋梗塞や狭心症などの虚血性心疾患、拡張型心筋症や心筋炎、心室内伝導障害などがある。

本稿では虚血性心疾患にみられる心収縮の不均等性に焦点をあて、その評価法、動物実験から得られる情報とその臨床的意義、将来の展望などに言及する。

局所心筋の不均等収縮

心ポンプ機能を維持するためには、局所心筋が局所心室壁にかかる応力 *stress* が等しくなるように均等にしかも同期的に秩序正しく収縮することが重要である。正常ではほぼそれらのバランスが保たれていると考えられるが、病態によっては局所心筋収縮の不均等がみられる。一方、そのような局所心筋収縮の不均等を実験的に作成するこ

とも可能である。

動物実験

心筋虚血が起こると数秒後に心筋の張力発生能力が減退する。正確な機能は明らかになっていないが、虚血による筋線維のカルシウムに対する感受性の低下、筋小胞体からのカルシウム放出低下、などが考えられている¹⁾。また、それにより収縮機能のみでなく拡張機能も障害される。しかも虚血発生後、拡張機能低下の方が収縮機能低下よりも早期に出現するのが一般的である²⁾。

イヌを用いた実験において超音波クリスタル

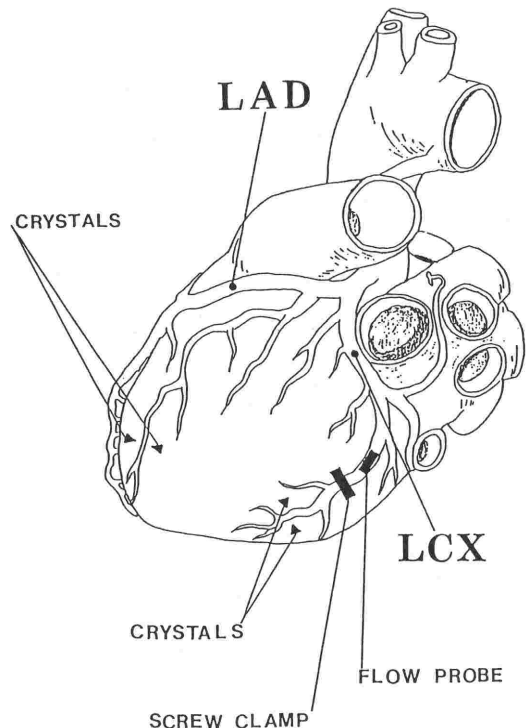


図1 局所心筋機能を調べる実験手技

*帝京大学医学部附属市原病院麻酔科

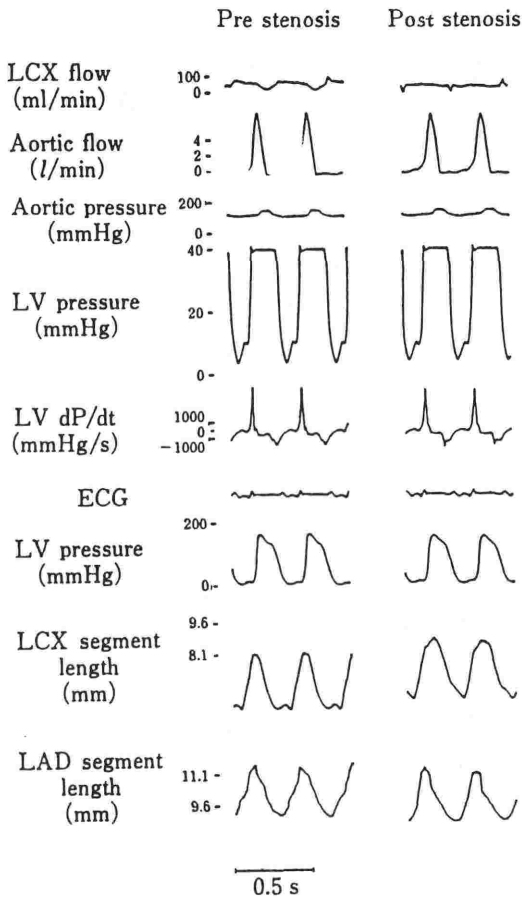


図2 狭窄による局所心筋長の変化 (文献3より引用)

(sonomicrometry microcrystals) を心筋内に埋め込み、局所心筋長(セグメント長, segment length)を持続的に測定することが可能である(図1)。冠動脈回旋枝を狭窄すると回旋枝領域の心筋の収縮性の減弱と局所心筋長の伸長がみられる(図2)³⁾。

一方健全域(前下行枝領域)の心筋では正常もしくは代償性に収縮性が増大する。

収縮性のパラメータとして収縮率 systolic shortening %SS

ただし

$$\%SS = \frac{\text{拡張期末心筋長} - \text{収縮期末心筋長}}{\text{拡張期末心筋長}}$$

を用いることがある。また虚血心筋では大動脈弁閉鎖後も収縮が起こり(post systolic shortening), 虚血の程度が悪化するほどこの post systolic shortening の割合が増大する傾向にあることか

ら、これを局所心筋虚血のパラメータとすることもある⁴⁾。いずれにしろ虚血モデルを作成することにより心収縮の不均衡性を示すことができる。ニトロプルシド⁵⁾、ハロセン⁶⁾、イソフルレン⁷⁾などの吸入麻酔薬、ドブタミン⁸⁾などの陽性変力作用薬はすでに存在する局所心筋機能不全を更に悪化させ、その結果心収縮の不均衡性をも増悪させる。一方ニトログリセリン⁹⁾やβ-遮断薬¹⁰⁾は冠側副血行増大などによる心筋酸素供給バランスの改善により、局所心筋機能を増悪させることなく、ときに改善させる作用を有する。

圧-長さループ pressure-length loop

Suga らの圧-容積曲線¹¹⁾にちなんで局所心筋においても超音波クリスタルで測定される心筋長と圧トランスデューサ先端付着型カテーテルにより測定された心内圧とを1心周期の間、平面にプロットすると反時計回りの閉ループ (pressure-length loop) が描かれる(図3)。これによって

- 1) 充満期
- 2) 等容収縮期
- 3) 駆出期
- 4) 等容弛緩期

のそれぞれの圧-長さ関係をみる事ができる。但しこの閉ループで囲まれた領域の面積は $\text{dyn} \cdot \text{m}^{-1}$ の単位であり仕事量を表わさない。一方、圧-容積ループで囲まれた面積の単位は $\text{dyn} \cdot \text{m}$ であり、仕事量を表わす(Pdv/dt は仕事量を表わすが、pdl/dt は仕事量を表わさない)。また、圧-容積ループでは通常曲線が交差することはな

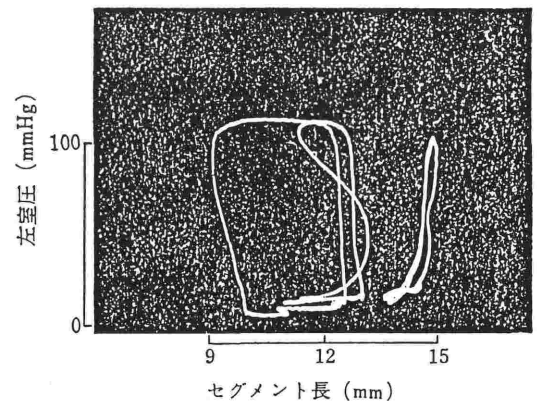


図3 圧-長さループ

いが、圧-長さループでは局所心筋の不均等収縮にともなって交差したり、8の字型になったりする。これによって局所心筋収縮の不均等性を示すことができる。しかし圧-容積ループの場合とは異なり圧-長さループから一定の心収縮性を評価することは困難であり、現時点では圧-長さループからの収縮性の評価にはいまだ議論があるのが実状である¹²⁾。

局所心筋動態の三次元的評価

以上述べてきた長さという一次元のパラメータのみをとらえるだけではなく、局所心筋収縮を三次元的にとらえ、その評価を行なう試みが近年なされている(図4)¹³⁾。この際、図5のように回転行列(rotation matrix)を用いて収縮、弛緩方向を自動的にコンピュータで計算し解析することにより、局所心筋動態をより正確に空間的に把握することが可能になってきている。

臨 床

心収縮の不均等壁運動異常

心収縮の不均等性は、局所心筋運動障害 regional myocardial dysfunction として、既に述べたように心筋梗塞や狭心症などの虚血性心疾患以外に、拡張型心筋症や心筋炎、心室内伝導障害例などでもみられる。臨床的には局所心筋運動障害は局所心室壁運動異常 regional wall motion ab-

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

図5 Rotation Matrix (文献13より引用)

normality を心室造影、心エコー図法、RI アンジオグラフィなどでとらえることにより評価できる。これらでとらえた心室壁運動異常を正常の壁運動と比較することにより、

- 1) hypokinesis
- 2) akinesis
- 3) dyskinesis
- 4) asynchrony

などの段階に分けて定性的に評価することが一般的である。但し、これら評価は検者の肉眼視による定性的評価であるため、とくに hypokinesis の評価には一定の基準をもうけにくく、主観が入り込みやすい。定量的には左室壁をいくつかの局所壁に区分し、ある基準点が局所壁に到る距離の変化率で評価しようとするもの、局所壁と基準点で囲まれた扇形の面積変化率で評価しようとするものなど、ある基準点をもうけて評価する方法(fixed reference 法)がある。一方心全体の動きや体動による影響を除く目的で各瞬時における面積重心など刻々と変化する基準より評価する方法(floating reference 法)がある。この方法では

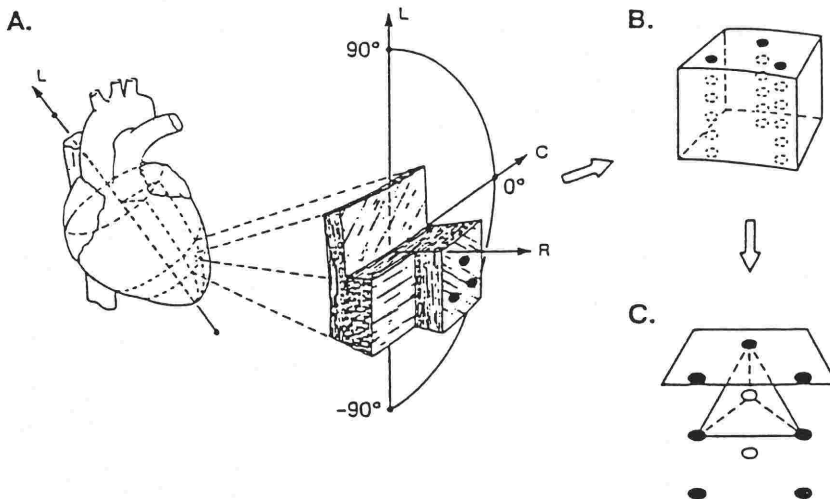


図4 心筋収縮の三次元的解析 (文献13より引用)

asynergy の評価に際して重心が壁運動異常部位の方向に移動するため fixed reference 法に比べ壁運動異常の程度を過小評価することになる¹⁴⁾。

壁厚変化

近年心エコー図法により壁運動のみでなく収縮拡張に伴う壁厚の変化もとらえられるようになってきた。収縮期壁厚増加率は局所心筋収縮性をよく反映すること¹⁵⁾、判定のための基準点を必要としないなどのため有用性が高いと考えられる。但し変化自体が小さいため測定誤差が大きい欠点を有する。将来的にはコンピュータ画像処理の発達によりその多くは解決されるであろう。

局所壁の曲率

左室の収縮に伴い局所壁の曲率が変化するが、これをコンピュータ画像処理によって測定し、局所壁の収縮性を定量的に評価しようとする試みもなされている。

将来への動向

総じて定性的評価はほぼ確立されているものの、将来的には臨床的に定量的評価が確立されるべきものと考えられ、その努力がなされている。またこれらはいずれも一次元的解析を基にしているが、コンピュータ解析を応用し、心収縮の不均等性に関する三次元的定量解析の開発が進むものと考えられる¹⁶⁾。

心収縮の不均等性の臨床的意義

心収縮の不均等性は虚血などの異常によって顕著となるが、心収縮の不均等性評価の定性化、更には定量化をはかることにより、病態の悪化もしくは改善を判定でき、ひいては薬物療法その他の治療効果判定に用いることが可能である。虚血発生に際して、心収縮の不均等性は心電図異常よりも早期に出現する。一方、心収縮の不均等性は心電図上 ST 上昇の原因となるとする知見もあり¹⁷⁾、虚血のモニタとして心収縮の不均等性を評価することは非常に有用であることは論を待たない。虚血によってもたらされる心収縮の不均等性は血流不足による心筋細胞内代謝異常、細胞機能異常の結果とも考えられるから¹⁸⁾、これら細胞内代謝異常をとらえることのできる診断法(例 NMR: nuclear magnetic resonance¹⁹⁾²⁰⁾、PET: positron emission tomography²¹⁾、超電導物質を用いた SQUID: superconducting interference device²²⁾、など)から得られる情報を取り入れ、

かつコンピュータ処理を行えば、それらを含めてより統合された循環管理が模索されることになる。

参考文献

- 1) Braunwald, E., Sobel, B. E.: Myocardial ischemia and ischemic injury In Braunwald E. ed. Heart Disease. 1203-1204, 1988.
- 2) Nest, R. W., Kowalchuk, G. J.: The ischemic cascade: Temporal sequence of hemodynamic, electrocardiographic and symptomatic expressions of ischemia. Am J Cardiol. 57:23C-30C, 1987.
- 3) 鎮西美栄子, 森田茂穂, 豊岡秀訓, 他: 冠動脈狭窄犬において, 侵害刺激による循環系反応に麻酔薬が及ぼす影響. 麻酔 36: 509-526, 1987.
- 4) Philbin, D. M., Foex, P., Drummond, G., et al: Post-systolic shortening of canine left ventricle supplied by a stenotic coronary artery when nitrous oxide is added in the presence of narcotics. Anesthesiology. 62:166-174, 1985.
- 5) Cohn, J. N., Franciosa, J. A.: Effect of short-term infusion of sodium nitroprusside on mortality rate in acute myocardial infarction complicated by left ventricular failure. N Engl J Med. 306: 1129-1135, 1982.
- 6) Lowenstein, E., Foex, P., Phil D., et al: Regional ischemic ventricular dysfunction in myocardium supplied by a narrowed coronary artery with increasing halothane concentration in the dog. Anesthesiology. 55:349-359, 1981.
- 7) Priebe, H. J., Foex, P.: Isoflurane causes regional myocardial dysfunction in dogs with critical coronary artery stenoses. Anesthesiology. 66: 293-300, 1987.
- 8) Schulz, R., Miyazaki, S., Miller, M., et al: Consequences of regional inotropic stimulation of ischemic myocardium on regional myocardial blood flow and function in anesthetized swine. Circ Res. 64(6):1116-1126, 1989.
- 9) Flaherty, J. T.: Comparison of intravenous nitroglycerin and sodium nitroprusside in acute myocardial infarction. Am J Med. 74(suppl): 53-60, 1983.
- 10) Mohri, M., Tomoike, H., Inoue, T., et al: Amerlioration by β -adrenergic blockade of regional myocardial dysfunction induced by coronary artery occlusion after, but not before collateral development in conscious dogs. Am Heart J. 117(1):43-52, 1989.
- 11) Suga, H., Sagawa, K.: Instantaneous pressure volume relationships and their ratio in the exercised, supported canine left ventricle. Circ. Res, 35: 117-126, 1974.
- 12) Aversano, T., Maughan, W. L., Hunter, W. C., et al: End-systolic measures of regional ventricular performance. Circulation 73:938-950, 1986.
- 13) Waldman, L. K., Nosan, D., Villarreal, F., et al: Relation between transmural deformation and local myofiber direction in caine left ventricle.

- Circ. Res 63(3):550-562, 1988.
- 14) 藤井諄一, 澤田 準, 久保木正夫, 他: 超音波心断層法による心筋梗塞症の Asynergy の定性的・定量的評価. 呼と循 30(3): 301-308, 1982.
 - 15) Osakada, G., Hess, O. M., Gallagher, K. P., et al: End-systolic dimension-wall thickness relations during myocardial ischemia in conscious dogs. A new approach for defining regional function. Am J Cardiol. 51:1750-1758, 1983.
 - 16) Martin, R. W., Graham, M. M., Kao, R., et al: Measurement of left ventricular ejection fraction and volumes with three-dimensional reconstructed transesophageal ultrasound scans: Comparison to radionuclear and thermal dilution measurements. J Cardiothorac Anesth. 3:257-259, 1989.
 - 17) Arora, R., Ioachim, L., Matza, D., et al: The role of ischemia and ventricular asynergy in the genesis of exercise-induced ST elevation. Clin. Cardiol. 11:127-131, 1988.
 - 18) Ferrara, N., Vigorito, C., Leosco, D., et al: Regional left ventricular mechanical function during isometric exercise in patients with coronary artery disease: Correlation with regional coronary blood flow changes. JACC. 12(5):1215-21, 1988.
 - 19) Higgins, C. B., McNamara, M. T.: Magnetic resonance imaging of ischemic heart disease. Progr Cardiovasc Dis. 28:257-266, 1986.
 - 20) Shapiro, E. P., Rogers, W. J., Beyar, R., et al: Determination of left ventricular mass by magnetic resonance imaging in hearts deformed by acute infarction. Circulation. 79(3):706-711, 1989.
 - 21) Osakada, G., Hess, O. M., Gallagher, K. P., et al: Current and future directions for clinical investigation of the heart with position emission tomography. Circulation. 72(suppl IV):31-38, 1985.
 - 22) 中嶋貞雄: ジョセフソン効果の発見と意義. 超伝導, 岩波書店, 156-176, 1988

* * * * *

* * * * *

* * * * *