

《原 著》

左室はいつ最大拡張となるか

R 波逆方向収集心プールシンチグラフィによる検討

堀ノ内 治*

要旨 左室が最大拡張となる時点は拡張末期，心電図上では Q 波の始まりとされるが，完全に一致しているのか，心プールシンチグラフィを用いてその時相を検討した．壁運動異常を認めない狭心症 33 例を対象に，R 波からの順方向収集法に加え逆方向収集心プールシンチグラフィを 1 フレーム 30 msec にて施行した．全例で最大拡張となるフレームは R 波に先行し，R 波頂点より平均 105 ± 29 msec 前，P 波の始まりからは平均 88 ± 25 msec 後であった．この時相は僧帽弁が心房収縮に基づく左室への血液流入により最大に開く時点に相応し，その後の閉鎖に伴う左房側への偏位により左室容量の減少がななくとも左室壁が求心性に動くものと考えられた．以上より，左室が最大拡張となる時点は R 波に先行し，P 波の始まりより 88 ± 25 msec 後であり，従来拡張末期とされる時点とずれていることと，心房収縮に対する左室の反衝性の動きの存在が示唆された．

(核医学 39: 111-115, 2002)

I. はじめに

左室拡張期は，心臓病学では僧帽弁閉鎖に，生理学的には左室圧が左房圧を超える時点 (cross-over point) に終わる¹⁾とされ，臨床では心電図での R 波頂点が汎用されているが，左室が最大拡張となる時相と完全に一致しているのでしょうか．

心プールシンチグラフィは 3 次元の情報を得られ，左室の容量変化の計測が容易で，時間分解能が高いという特徴を持ち，壁運動も等高線画像により評価できる．しかし拡張後期の評価にあたっては R-R 間隔変動の影響を受けるため，R 波から逆方向に編集する R 波逆方向収集法が正確であり²⁻⁵⁾，左室充満に対する左房収縮の寄与につい

て報告されている²⁻⁴⁾．近藤ら²⁾，稲垣ら⁵⁾の報告の中で左室カウントの最高となる時点と R 波の頂点がずれている左室容量曲線も示されているが，容量が最大となる時点についての検討はみられない．そこで今回，通常の R 波から順方向に収集する方法に加え逆方向に収集する心プール法を用いて，左室壁運動異常を認めない狭心症患者において左室が最大となる時相について容量と壁運動の両面より検討した．

II. 対象および方法

対象は，心エコー図，左室造影にて壁運動異常および中等度以上の弁膜症を認めない狭心症 33 名，男性 22 名，女性 11 名，平均年齢 63 ± 10 歳 (40-79 歳) である．被験者に ^{99m}Tc -HSA を約 925 MBq (25 mCi) 静注し，平衡に達した 10 分後より，左前斜位 30° ，頭側に 15° 傾けた方向より，低エネルギー高分解能平行孔型コリメータを装着したシンチカメラにて心プールイメージングを施行した．R 波からの順方向，逆方向のイメージ解

* 鹿児島大学医学部第二内科

受付：13 年 10 月 3 日

最終稿受付：13 年 12 月 21 日

別刷請求先：鹿児島市桜ヶ丘 8-35-1 (☎ 890-8520)

鹿児島大学医学部第二内科

堀ノ内 治

析はデータ処理装置(島津製作所製 SNC-5100R)にすでに組み込まれているプログラムを用い、1 フレーム 30 msec で 500 心拍の収集を行った。このプログラムでは、順方向の解析は加算心拍が 1/2 (250 心拍) 以上であるフレームまでを採用し、500 心拍に満たない分を心拍数で補正するものであり、また逆方向については R 波より 240 msec 前方 (8 フレーム) までを収集した。左室の関心領域 (固定 ROI) は、カットオフ値を 40% として作成した位相解析画像を参照し、9 点スムージング処理を行った順方向の第 1 フレームにおいて手動で設定し、バックグラウンド ROI は左室 ROI の左下方最外側に面積比約 15% で設定した。

以上により左室の時間容量曲線と二重等高線画像を作成し、最大カウントおよび最大拡張となるフレームを求めた。なお時間容量曲線の作成にあたってフーリエ級数等による近似は行わなかった。また心プールのイメージングの直前に記録した心電図より、P 波の始まりから R 波の頂点までの時間 (P-R 時間) を計測し、左室最大カウントとなるフレームとの関係を検討した。前述のように 1 フレームは 30 msec の間隔があるが、各フレームの時点を示す値としてその中央値を用い、例えば R 波より逆方向へ 2 フレーム目は -45 msec とした。R 波前後各 1 フレームのカウントの平均を R 波頂点時の左室カウントとした。

数値は平均 \pm 標準偏差で示した。

III. 結 果

逆方向、順方向収集とも全例で左室が最大カウントとなるフレーム (以下 F_{max}) は R 波より先行した。逆方向収集では R 波より前方に、3 フレーム目 (3F) 13 例、以下 4F: 9 例、5F: 9 例、6F: 2 例であり、時間になおすと R 波頂点より 105 ± 29 msec 前であった。これを P-R 時間より減算すると P 波の始まりからは 55 ~ 125 msec の範囲にあり、 88 ± 25 msec 後であった。このうち 15 例 (45.5%) が順方向収集によるフレーム数と一致し、両方法による差異は前後各 2 フレーム以内であった (Table 1)。

Table 1 Comparison of frame number which has maximum count from the peak of the R wave between forward and reverse gating

	reverse gating				
	No.	3	4	5	6
forward gating	2	1	2	0	0
	3	5	3	2	0
	4	7	4	3	0
	5	0	0	4	1
	6	0	0	0	1
Total	13	9	9	2	

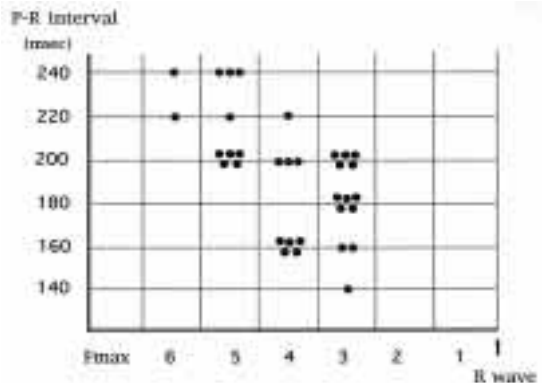


Fig. 1 Relation between F_{max} in reverse gating image and P-R interval of ECG. F_{max} : frame number from R wave having maximal count.

二重等高線像では、 F_{max} における左室画像は大動脈弁切片方向を除いて左室の全周性に最大拡張であり、それに続く求心性の動きを認めた。

逆方向収集による F_{max} は、P-R 時間が長いほど大きい傾向にあった (Fig. 1)。しかし R 波よりも P 波の出現時間との関連が強いことを示す結果は得られなかった。 F_{max} の容量は R 波頂点時と比べ $13.8 \pm 6.9\%$ 大であった。

【症例呈示】

Fig. 2 に 70 歳、男性例を示した。左室容量曲線では最大カウントは R 波より前方 4 フレーム目 (a) にあり、順方向でもカウント数は異なるものの後方より同じく 4 フレーム目にあった。収縮末期のフレームを (b) とし、(a)、(b) 各時点に

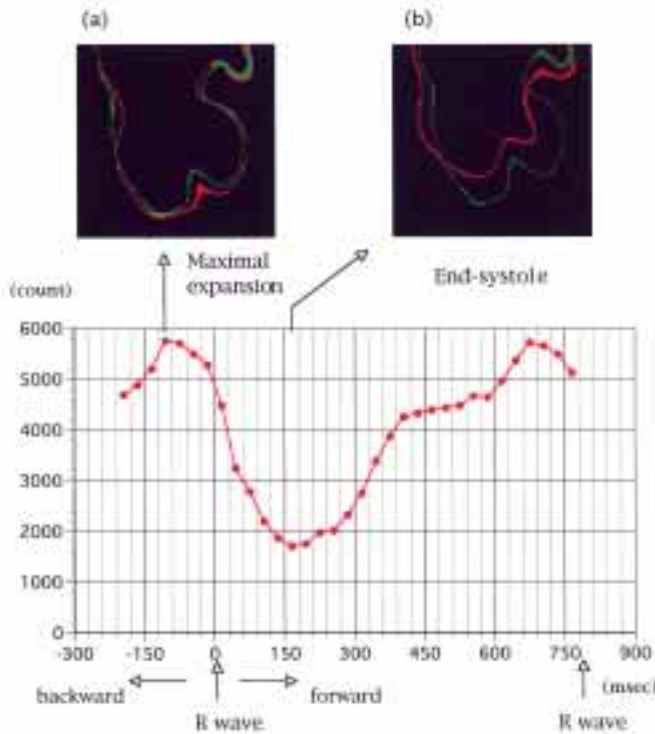


Fig. 2 Upper; Double contour images in a 70-year-old male, red contour represents image at the frame which has maximal (a) and minimal (b) count, and green contour represents it at first frame after the peak of R wave. Lower; Left ventricular time activity curve obtained from every 30 ms forward and backward frame from the peak of R wave.

おける等高線像 (赤色) と順方向第 1 フレームにおける等高線 (緑色) を示した。(a) に示されたように、大動脈弁切片方向を除いて左室の全周性に拡張を確認できた。また (b) に示すように、左室の収縮は良好 (駆出率 70.3%) であった。

IV. 考 案

左室腔が最大限に拡張し、これから収縮を開始しようとする時点を拡張末期とよび、左室圧が左房圧と交差する点に一致し、心電図の Q 波の始まりで近似することができる⁶⁾。また左室が最大拡張となる時に最大容量を持つと一般に考えられている。

しかし今回の検討では、左室の容量、拡張とも R 波に先行して最大となることが示された。その時点は P 波と R 波の中間点付近に位置し、R 波

頂点より 105 ± 29 msec 前、P 波の始まりより 88 ± 25 msec 後であった。

まず左室容量に関しては、正しくは大動脈弁の開放までは僧帽弁逆流が存在しない限り左室容量の減少は起こらないと考えられ、今回作成した容量曲線は誤りを含んでいると言える。しかし等高線像については明らかな疑問点を指摘できない。

そこで容量の減少がないにもかかわらず左室壁が求心性に動いている可能性があると考えられ、僧帽弁の動きに着目した。急速流入期の後、半閉鎖となった僧帽弁は心房収縮に基づく左室への血液流入により再び開くが、ただちに反転して閉鎖に向かい⁷⁾、左房側へ偏位することにより、左室壁が求心性に動くと考えた。左室が最大拡張となる時点と容量が最大となる時点とは乖離していると考えられ、僧帽弁の偏位が原因と思われた。

Pohost ら⁸⁾は僧帽弁は閉鎖に際し左室に対して相対的に左房側へ動くこと、また M モード心エコーでの僧帽弁前尖エコーの A 点は左房圧のピークに相応しており、心房収縮により僧帽弁が最も開放するのは P 波と R 波との中間点付近に位置することを示しており、本研究で求めた時相と矛盾しないと思われた。

最大拡張となる時点と P 波との関連をみるため P-R 間隔の計測を行ったが、R 波との関連より強いことは見いだせなかった。1 フレームの収集時間を 30 msec より短くすること、さらに症例を重ねることが必要と思われた。

王ら⁹⁾は、急速流入期の後半には一時的に左室圧が左房圧より高くなる圧の逆転(負圧差)を生じ、心房性期外収縮後にも認められ、これにより弁尖が押し戻されて閉じる方向に動くことと報告し、急速伸展されたことによる心室筋の跳ね返りの存在を示唆している。今回認められた求心性の動きは、このような反衝性の動きを捉えたものと考えられる。今後さらに急速流入期後半の左室壁運動の検討も必要と思われた。

本研究で用いた左前斜位に caudal tilt をかけた撮像方向は左右心室をよく分離し、左室機能評価に用いられる方向である。caudal tilt をかけることにより左室 ROI への左房の入り込みを最小にできる¹⁰⁾が、完全に分離できないこと、また僧帽弁の弁尖自由端は左室内に陥入しており左室側で閉閉がなされるため、僧帽弁についても正確な分離が困難であり、空間分解能に問題はあがるが、今回認められた R 波に先行する容量減少は、僧帽弁の左房側への偏位に伴う分が左室 ROI からはずれて反映されている可能性が考えられた。

R 波逆方向収集法を用いて、これまで主に左室充満に対する左房収縮の寄与あるいは代償など左房機能の検討がなされている²⁻⁴⁾が、最大容量となる時点については論じられていない。

心室充満や心拍出量を維持するための心室収縮に対する最適な心房収縮のタイミングに関しては多くの研究がなされているが、その値は概ね 100 から 200 msec の間にあり幅広い¹¹⁾。この理由と

して Leonelli ら¹¹⁾は、対象とした患者群の心機能や房室伝導の障害の程度が異なることにありと考察し、個人でも違いがあること、また年齢の影響も指摘している。Meisner ら¹²⁾は左室容量が最大となる AV delay はコンピュータ解析で 100 msec、イヌでの検討で 80 msec であり、AV delay が最適である時、僧帽弁は閉鎖に向かって速く動くこと、しかし心室収縮の開始時には未だ閉鎖していないと報告し、僧帽弁の動きも関わっていることが示されている。至適 AV delay の値は結論が出ていないが、正常 P-R 間隔とされる 170~200 msec より短い時間で、左室の十分な拡張が得られることが示唆された。

V. まとめ

左室が最大拡張となる時点は R 波に先行しており、P 波の始まりより 88 ± 25 msec 後であることが示唆された。これは心房収縮に対する左室の反衝性の動きを示しており、僧帽弁の閉鎖に伴う左房側への偏位により説明できると考えられた。

謝辞：稿を終えるにあたり、終始ご指導、ご校閲を賜りました鹿児島大学第二内科学教室有馬暉勝教授に深甚なる謝意を表します。また、直接ご指導いただきました第二内科学教室田中康博助手に深謝いたします。

なお本研究の一部は、第 62 回日本循環器学会総会(1998 年、東京)にて発表した。

文 献

- Opie LH: Mechanisms of cardiac contraction and relaxation. In: Braunwald E, ed. *Heart Disease*. W.B. Saunders, Philadelphia, 1997: 360-393.
- 近藤 武, 菱田 仁, 根岸幸男, 金子堅三, 加藤善久, 高亀良治, 他: 心電図同期心プルシンチグラフィーによる前収縮期における左室充満の評価. *J Cardiography* 1982; 12: 189-202.
- 石田良雄: 心音 II 音同期・心電図 R 波逆同期 RI 心プルイメージング法による冠動脈疾患の左室拡張期充満動態の解析 拡張早期充満異常と左房収縮の役割. *核医学* 1984; 21: 831-843.
- 玉木長良, 児玉秋生, 米倉義晴, 千田道雄, 藤田透, 鳥塚莞爾, 他: R 波前後方向同期心プルイメージングによる虚血性心疾患の検討 左室機

- 能および左室局所機能の解析 . 核医学 1985; 22: 147-155.
- 5) 稲垣末次, 杉原洋樹, 中川達哉, 片平敏雄, 窪田靖志, 勝目 紘, 他: 心電図同期心プールシンチグラフィによる左室圧・容量曲線の作成と心機能解析 . リストモードデータ・生体アナログデータの順方向および逆方向編集法の開発 . 核医学 1989; 26: 177-187.
 - 6) 矢吹正典, 豊福利彦, 堀 正二: 心臓の収縮・弛緩と心拍出量の調節. 杉本恒明, 小俣政男編, 内科学. 朝倉書店, 東京, 1999: 411-418.
 - 7) 藤井諄一: 健常例の M モード心エコー図およびその計測法と正常値について. 心エコー法. 南江堂, 東京, 1985: 31-44.
 - 8) Pohost GM, Dinsmore RE, Rubenstein JJ, O'Keefe DD, Grantham RN, Scully HE, et al: The echocardiogram of the anterior leaflet of the mitral valve. *Circulation* 1975; 51: 88-97.
 - 9) 王 楽民, 盛 英三, 峯崎賢亮, 篠崎芳郎, 沖野 遥: 僧帽弁運動に伴う房室間内圧差. 呼吸と循環 1990; 38: 435-440.
 - 10) Kinoshita S: Radionuclide left ventricular absolute volume determination by ejection fraction measurement data and a left posterior oblique blood pool image. *Jpn Heart J* 1989; 30: 665-678.
 - 11) Leonelli FM, Wang K, Youssef M, Hall R, Brown D: Systolic and diastolic effects of variable atrioventricular delay in patients with complete heart block and normal ventricular function. *Am J Cardiol* 1997; 80: 294-298.
 - 12) Meisner JS, McQueen DM, Ishida Y, Vetter HO, Bortolotti U, Strom JA, et al: Effects of timing of atrial systole on LV filling and valve closure: computer and dog studies. *Am J Physiol* 1985; 249: H604-H619.

Summary

Left Ventricle Expands Maximally Preceding End-diastole —Radionuclide Ventriculography Study—

Osamu HORINOCHI

Second Department of Internal Medicine, Kagoshima University School of Medicine

It has been considered that left ventricle (LV) expands maximally at the end-diastole. However, is it exactly coincident with this point? This study was aimed to determine whether the maximal expansion of LV coincides with the peak of R wave on electrocardiogram. Thirty-three angina pectoris patients with normal LV motion were examined using radionuclide ventriculography. Data were obtained from every 30 ms backward frame from the peak of R wave. All patients showed the time of maximal expansion preceded the peak of R wave. The intervals from the peak of R wave and the onset of P wave to maximal expansion of LV was 105 ± 29 ms and 88 ± 25 ms, respec-

tively. This period corresponds to the timing of maximal excursion of mitral valve by atrial contraction, and the centripetal motion of LV without losing its volume before end-diastole may be interpreted on account of the movement of mitral valve toward closure. These findings suggest that LV expands maximally between P and R wave after atrial contraction, preceding the peak of R wave thought conventionally as the end-diastole.

Key words: Maximal expansion of left ventricle, End-diastole, Radionuclide ventriculography, Backward gating.