

胸廓内における正常心および左室肥大心の動き

Intrathoracic movement of the normal and hypertrophied hearts measured by biplane coronary cineangiography

大里修一郎
石川 欽司
金政 健
大貝 俊弘
小田 明夫
香取 瞭

Shuichiro OSATO
Kinji ISHIKAWA
Ken KANAMASA
Toshihiro OGAI
Akio ODA
Ryo KATORI

Summary

The shift of the heart during systole within the thorax was measured using bifurcations of the left coronary artery as cineangiographic markers.

Biplane coronary cineangiography was performed in 13 normal subjects and 6 patients with non-obstructive hypertrophic cardiomyopathy (HCM). The spatial coordinates (X, Y, Z) of the bifurcations on the cineangiograms were measured using a motion analyzer-digitizer-computer system. The systolic excursion of the motion of a bifurcation located at the anterior-basal point of the heart was 1.4 ± 0.1 (\pm SD) cm leftward, 3.0 ± 0.3 cm caudally and 2.5 ± 0.1 cm anteriorly in normal subjects. In the cases with HCM, on the other hand, the bifurcation moved 2.2 ± 1.1 , 2.7 ± 1.2 and 2.2 ± 0.6 cm during systole, respectively. The movement at the apex in the normal subjects was 1.7 ± 0.2 cm rightward, 1.5 ± 0.2 cm caudally and 1.5 ± 0.2 cm posteriorly, although the direction was reversed as compared to that of the anterior wall of the cardiac base. The amplitude of the excursion was also reduced at the apex, suggesting the systolic twist of the ventricular wall. The excursion of the apex in HCM was 0.6 ± 1.7 , 1.5 ± 1.8 and 2.5 ± 1.4 cm, respectively, toward the base of the heart as in the normal subjects. The maximum speeds of these motions were 34.0 ± 9.2 cm/sec leftward, caudally and anteriorly at the anterior-basal point and 36.2 ± 7.3 cm/sec rightward, caudally and posteriorly in the normal subjects. The maximum speeds corresponding to these points in HCM were 34.3 ± 5.1 and 26.2 ± 10.1 cm/sec, similar to those in normal subjects. During systole, the cardiac motion was complicated, but the heart moved ap-

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, Nishiyama 380, Sayama, Minamikawachi, Osaka 589

Received for publication August 4, 1983 (Ref. No. 24-53)

proximately 3 cm with the instantaneous velocity of approximately 35 cm/sec. There was also a small difference in the distance and direction between the normal persons and the patients with HCM.

In conclusion, this considerably great motion of the heart in the thorax must be considered when its excursion is analyzed non-invasively using echocardiography or angiocardiography.

Key words

Coronary artery

Hypertrophic cardiomyopathy

Coronary cineangiography

Cardiac movement

はじめに

心臓は大動脈起始部で縦隔洞の組織によって固定されているが、心房、心室は周囲組織との結合がないため、自由に収縮・拡張運動が行えるようになっている¹⁾。この動きは正常心と種々の異常をもつ病的心では差があると予想され、事実、心尖拍動図はある種の心疾患の診断に有用である。心臓の胸廓内における動きについて、古くは1628年、William Harveyが心収縮時に心尖の起立することを観測している²⁾。その後、非開胸下において、心臓の心尖部が心拍動にともなって前胸壁にどのような衝撃を与えるかを記録するために、心尖拍動図が利用されている。またX線の発展にともなって、手術時に金属マーカの植込みを受けた例³⁻⁵⁾や大動脈弁輪部の石灰化を有する症例⁶⁾で、これらをマーカースとして胸廓外より観測し、心表面の局所伸縮様式が観測された^{7,8)}。しかし、これらの報告では、いずれも胸廓内の心臓の動きを詳細に解析するには、症例数やマーカの部位の関係で十分ではなかった。我々は冠動脈分枝点于心表面に点在するマーカースと見做し得ることを利用し、その空間位置を計測すれば、胸廓内の心臓表面の生理的な動きを観察できることに着目、心表面の位置の移動を観測した。

今回、まず我々は正常心の動きを解析し、左室肥大ではこの動きがどのように変わるかを比較観測した。

対象および方法

対象は、胸痛、心雑音および一過性不整脈等のために冠動脈造影、左室造影および圧計測を行っ

たが、心血行動態に異常を認めなかった13例(男性11例、女性2例)と、心電図、胸部X線および心エコー図法によって非閉塞性肥大型心筋症(HCM)の診断をうけ、左室造影および冠動脈造影法を施行した6例(男性5例、女性1例)である。HCM群は、安静時および負荷時ともに左室流出路に圧較差を認めず、また心エコー図法にても心室中隔の非対称性肥大を認めず、左室造影では心筋肥大を認め、非閉塞性肥大型心筋症と診断されたものである。

これらの症例について、食餌摂取約5時間後、フェノバルビタール100mg筋肉内注射による前処置を行った。その後、左鼠径部よりSeldinger法によりMillarカテ先マンオメーターを左室内に進め、右鼠径部より同じくSeldinger法によりJudkinsカテーテルを挿入し、造影剤(76% urografin)5~7mlを注入し、選択的2方向同時冠動脈造影を施行した。使用したX線装置はSiemens製biplane方式Gigantos, RGS-100G(焦点0.6×0.6, 1.2×1.2mm)(西独)、イメージインテンシファイアーは、同じくSiemens製Sirecon-2-duplex 25/15-high resolution(西独)、またカメラはArnold-Richter製アリテクノ35R-150(西独)であり、毎秒50フレームで正・側面2方向同時撮影を行った。撮影したフィルムに基づき、コンピューター(HP 2100A, Hewlett Packard製)に連動したソナーペン(GP-3, Science Accessories製)を用いて、モーションアナライザー(Vanguard製)上で冠動脈分枝点の3次元空間座標(X, Y, Z)を算出し、それぞれの分枝点の心周期に伴う変化を計測した(Fig. 1)。

冠動脈分枝点は、Fig. 2のごとく、左冠動脈上

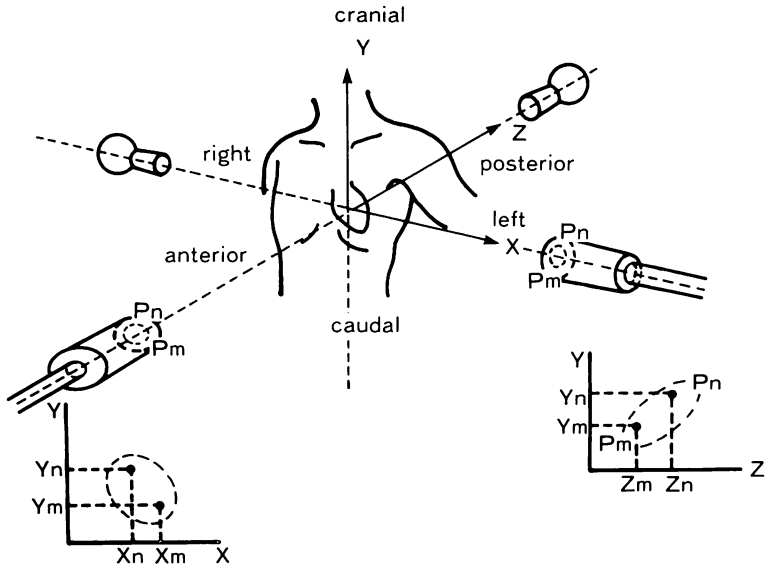


Fig. 1. Schematic representation of the method of calculation of the coordinates (X, Y, Z) from biplane coronary cineangiograms.

Antero-posterior (A-P) and lateral films are used.

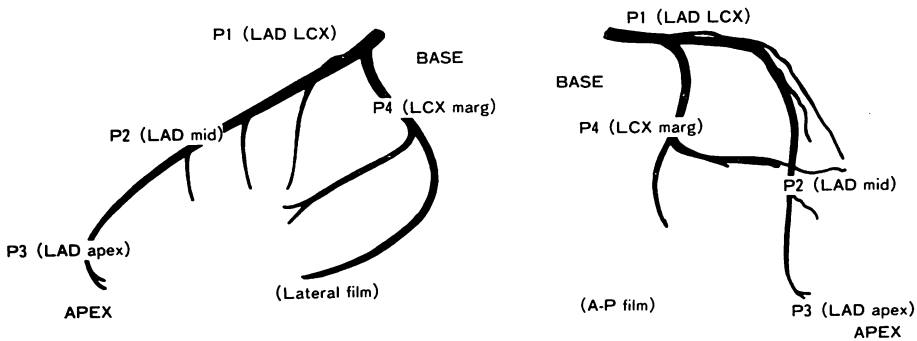


Fig. 2. Schematic representation of bifurcations digitized on the biplane coronary cineangiograms (A-P and lateral films).

P1-P3 are labelled on the left anterior descending artery (LAD), and P4 is the bifurcation of the marginal branch from the left circumflex.

のおおのこの位置により, P1 (左前下行枝と左回旋枝分岐点; LAD・LCX), P2 (左前下行枝の中央付近の分岐点; LAD mid), P3 (左前下行枝の心尖部付近の分岐点; LAD apex), P4 (左回旋枝からの辺縁枝分岐点; LCX marg) を選んで利用した。ここで P1 は, 心臓の心基部前面 (anterior

base), P2 は前壁中隔中央 (anterior mid), P3 は心尖部 (apex), また P4 は心基部側面 (lateral base) をそれぞれ示すものと考えられる。またこの際に使用した座標軸 X, Y, Z はそれぞれ体幹の左右方向(左方を正とする)を X 軸, 頭足方向(頭方を正とする)を Y 軸, 背腹方向(背方を正とす

Table 1. Direction and amount of movement on each axis connecting the points on the left ventricular surface during systole in normals and patients with hypertrophic cardiomyopathy (HCM)

		P1 Anterior Base (LAD LCX)	P2 Anterior Mid (LAD mid)	P3 Apex (LAD apex)	P4 Lateral Base (LCX marg)
X axis (left / right)					
Normal	(Direction)	(left)	(right)	(right)	(left)
	(Amount of movement)	1.4±0.1*	1.3±0.2	1.7±0.2	2.9±0.1
Hypertrophic cardiomyopathy	(Direction)	(left)	(right)	(right)	(left)
	(Amount of movement)	2.2±1.1	2.1±0.9	0.6±1.7	1.8±2.7
Y axis (cranial / caudal)					
Normal	(Direction)	(caudal)	(caudal)	(caudal)	(caudal)
	(Amount of movement)	3.0±0.3	2.3±0.2	1.5±0.2	2.9±0.1
Hypertrophic cardiomyopathy	(Direction)	(caudal)	(caudal)	(caudal)	(caudal)
	(Amount of movement)	2.7±1.2	2.8±1.0	1.5±1.8	2.4±0.8
Z axis (posterior / anterior)					
Normal	(Direction)	(anterior)	(anterior)	(posterior)	(anterior)
	(Amount of movement)	2.5±0.1	1.6±0.3	1.5±0.2	2.4±0.8
Hypertrophic cardiomyopathy	(Direction)	(anterior)	(anterior)	(posterior)	(anterior)
	(Amount of movement)	2.2±0.6	1.6±1.3	2.5±1.4	3.3±1.6

*: mean±SD, cm.

る)を Z 軸とした。またこの 3 つの空間座標軸は互いに直交する (Fig. 1) ものとした。これらの座標軸により求めた各分岐点の空間座標値 (x_1, y_1, z_1) が別の位置 (x_2, y_2, z_2) へ移動した場合、その移動の 3 方向での動き (成分) は次のようになる。

X 軸 (左右方向): $\bar{x} = x_2 - x_1$ ($\bar{x} > 0$ なら左方 (left) へ動いたことを示す)

Y 軸 (頭足方向): $\bar{y} = y_2 - y_1$ ($\bar{y} > 0$ なら頭方 (cranial) へ動いたことを示す)

Z 軸 (背腹方向): $\bar{z} = z_2 - z_1$ ($\bar{z} > 0$ なら背方 (posterior) へ動いたことを示す)

それぞれの値の正負はそのまますを示す。また移動の空間上の距離 d は次の式により求められる。

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

$$= \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2}$$

移動に要した時間 t を用いて移動の速度 v は、

$$v = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} / t$$

$$= \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2} / t$$

$$= d / t$$

このような分岐点 P の動きはお互いの位置関係にも変化をもたらす。P1 (LAD・LCX), P2 (LAD mid), P3 (LAD apex) の 3 点を取り、立体的位置関係の変化をみる為に $\overline{P1P2}$, $\overline{P2P3}$, $\overline{P1P3}$ の 3 つのベクトルの水平面 (XZ 平面) との間に成す角度 θ , また水平面 (XZ 平面) への投影像が Z 軸との間に成す角度 φ として、P1 から観た P2 の空間上の位置関係を表わした。この解析に

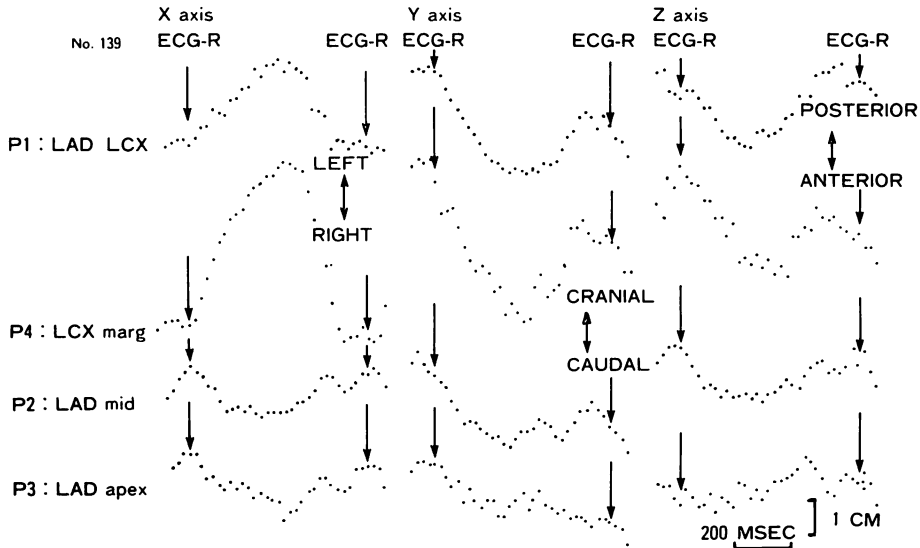


Fig. 3. Changes in the coordinates of bifurcations of the left coronary arteries during a cardiac cycle.

P1; LAD-LCX, P2; LAD mid, P3; LAD apex, P4; LCX marginal.
Arrows indicate the R wave of ECG.

Table 2. The maximal spatial speed of the movement of the left ventricular surface points

	P1 Anterior base (LAD-LCX)	P2 Anterior mid (LAD mid)	P3 Apex (LAD apex)	P4 Lateral base (LCX marg)
Normal	34.0±9.2*	36.5±8.8	36.2±7.3	47.1±6.5
Hypertrophic cardiomyopathy	34.3±5.1	46.8±17.6	26.2±10.1	54.8±22.8

*: mean±SD, cm/sec.

より心周期にともなう2点間の位置の歪みが観測できる。

結 果

このような方法により、左室各部位の外壁上に位置する冠動脈分岐点の左室収縮開始時から終了時までの動きを計測した。Table 1 に示すごとく、正常心における心基部前壁にあたる P1 (LAD-LCX) では、左右方向 (X 軸) で左へ 1.4±0.1 (mean±SD) cm、頭足方向 (Y 軸) で下へ 3.0±0.3 cm、および背腹方向 (Z 軸) で前へ 2.5±0.1 cm

動いた。同部位での肥大型心筋症 (HCM) での動きはそれぞれ、左へ 2.2±1.1 (SD) cm、下へ 2.7±1.2 cm、および前へ 2.2±0.6 cm と、向きは同一ながら、正常心に比べて左への動きが少し大きく、下方への動きが良かった。このように心基部の2点 (P1 と P4) の動きは他の2点 (P2 と P3) に比べて大きく、動きの向きも左右方向 (X 軸) でみると、P1 と P4 ではともに左へ向うが、P2、P3 ではともに右へ動いた。また他の方向をみると、背腹方向 (Z 軸) では心尖部 (P3) のみが背方へ向い、他の3点は腹方へ動いた。頭足方向

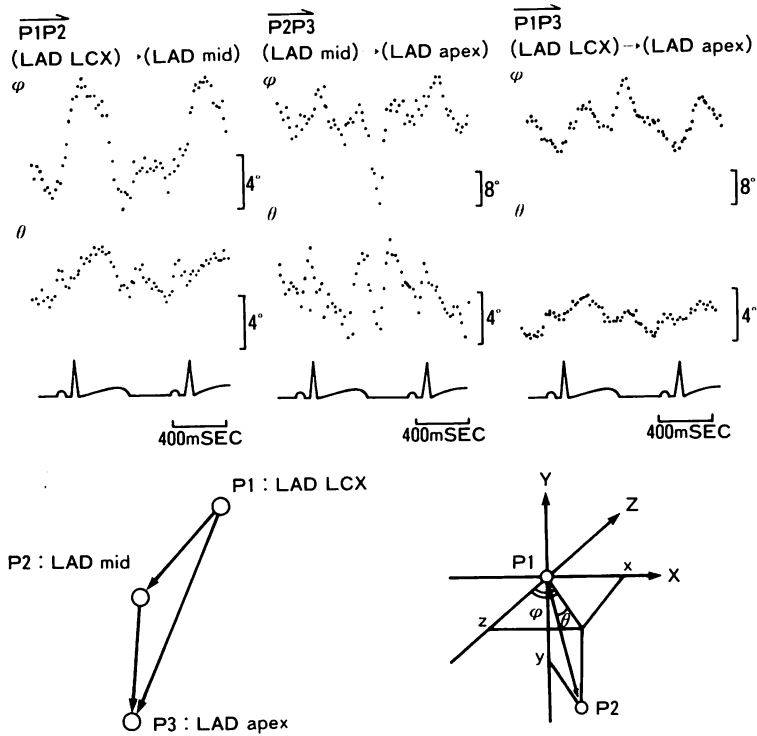


Fig. 4. Changes in the spatial vectors among points on the left anterior descending artery during cardiac cycle.

(Y 軸) ではすべての点が下方 (caudal) に動いたが、動きの大きさでは心基部の点 (P1, P4) は約 3 cm と大きく下方へ動いたが、心尖部 (P3) は 1.5 cm の動きであった。このため収縮期には心尖部と心基部の距離は平均で約 1.5 cm 短縮した。このように 4 点 (P1-P4) にわけて心臓の動きをみると、心収縮に伴ってすべての点と同じ方向に同じだけ動くのではないことがわかった。このため、4 点相互の位置関係が変化することになり、 $\overrightarrow{P1P2}$ など、ベクトルでこの変化を表わすことができた。

正常心 1 例について、LAD 上の 3 点 (P1, P2, P3) の間の 2 点間のベクトルが XZ 平面となす角度 θ 、および XZ 平面投影像の Z 軸となす角度 φ を計測したところ、Fig. 3 のように、心周期に伴って規則正しく動き、角度 φ についてみれ

ば、 $\overrightarrow{P1P2}$ で約 8 度、 $\overrightarrow{P2P3}$ でも 24 度の動きを示した。また各部位 4 点 (P1-P4) の心収縮に伴う動きの瞬間の最大速度を算出すると、Table 2 に示すごとくである。正常心では心基部、心尖部ともほぼ同程度であった。正常心では心基部側面の P4 では 47.1 cm/sec とかなり速い動きを示し、それは (P1-P4) の各部位でほとんど同等の値を示した。HCM では P2 および P4 に対して、心尖部でいくぶん遅い動きに留った。

考 察

通常我々は、胸廓外より胸廓内における心臓の動きを超音波法等によって観測し、収縮様式の異常等を診断しているが、計測された動きは、心臓自体の動きと、胸廓に対して心臓の位置が移動したために生じた動きとの 2 つから成っている。

したがって胸壁に対して心臓がどの程度移動しているかを知ることは、超音波法で計測された値から心臓自体の収縮を伺い知る上で重要となる。この目的で、心臓の胸壁に対する動きを観測した報告はいくつか散見される。その1つに、心表面に金属片をマーカーとして植え込み、X線で観測する方法がある^{3-5,8)}。この方法は心臓手術例など、きわめて限られた例でのみ可能であり、またそのマーカーの数や挿着部位の選定にも限界がある。これに対し、1971年、Kongらにより、2方向冠動脈造影における冠動脈分岐点を心表面マーカーとして利用する方法が報告された⁹⁾。この冠動脈分岐点は心表面に固定し、心周期に伴う動きは心表面各部位の自然な動きを表わしているものであることが、彼らによって証明されている。我々もこの方法を用いて2方向同時冠動脈造影を施行し、コンピュータ・ジグタイザー装置により、冠動脈分岐点の3次元空間座標を計測している^{10,11)}。この方法により、多数の臨床例で、心表面の胸廓内での位置の移動を分析することが可能となった。

臥位での胸廓内において観測した正常心における今回の結果をみると、収縮期における心基部2点の足方への動きは約3.0 cm、これに対して心尖部は約1.5 cmのみ足方へ移動している。すなわち、収縮期に心基部と心尖部の間で距離が短縮しており、心基部が心尖部に近づいている。また左右方向(X軸)でみると、心基部の2点が心収縮に伴って左方へ移動し、前壁中央と心尖部の2点は右方へと逆の動きをしているのが認められた。これは1970年、McDonaldらが指摘した心尖部の反時計方向への捻れ¹²⁾と一致するものであった。また動きの大きさでも、心基部側壁で左へ2.9 cm動いたのに対し、心基部前壁では左へ1.4 cm、前壁中央では動きの向きは逆で、右へ1.3 cm、心尖部でも同じく右へ1.7 cmと、やや複雑であるが、一定の関係を保ちながら偏位した。このことは、Fig. 3に示した心臓表面の2点間の相互関係を示すベクトルの偏向からも知り得

た。背腹方向(Z軸)でみると、心基部2点と前壁中央で腹方に動き、心尖部は収縮期に前胸壁から離れ、背方に向って約1.5 cm移動している。このように、3方向でみると、心尖部の動きは心基部の動きに比べて小さく、心収縮に伴う主要な動きは、心基部の心尖部に近づくような動きであった。正常心では心基部の前壁と側壁、前壁中央、心尖部のそれぞれが異なった動きをすることがわかった。

これに対して左室肥大の著明な肥大型心筋症(HCM)では、正常と異なった動きをすることが予想される。我々は、HCMでは心筋自体に不均等肥大と錯綜配列があるため¹³⁾、心室表面の2点間の距離(segment length)の短縮率は低下し、殊に左前下行枝(LAD)上の冠動脈分岐点を結ぶ部分の短縮率が著しく減少していることを報告した¹⁴⁾。今回の結果でも、HCMでは左右方向(X軸)において心尖部の動きは正常に比して一層小さく、心尖部での動きが小さいという正常でみられた特徴がさらに鮮明になった。頭足方向(Y軸)ではほとんど正常心と同様の動きを示したが、背腹方向(Z軸)では左右方向(X軸)と逆に、心尖部の動きが正常心より大きく、心基部側壁の動きは正常心の2倍以上の値であった。この結果、HCMでは、正常心に比べて、心尖部の心収縮に伴う動きでは、右方への動きが小さくなった代りに、後方への動きが大きくなっている。

心基部における心収縮に伴う最大移動速度は50 cm/sec近くに達し、これは心収縮時における拍出血流速度55 cm/secとほぼ同等の値である¹⁵⁾ことは興味深い。このようなことから、超音波法等で胸廓外より経時的に心臓の諸径を計測するさい、心収縮に伴う心臓全体の位置の変化を考慮することが、正しい測定には絶対必要であるといえる。冠動脈分岐点は左室表面に均等分布して存在し、それぞれの部位の動きを自然な形で観測することができる、優れた利点を有するマーカーである。

要 約

心臓が動くのに伴い, 左室表面の左冠動脈分岐点も動く. 心収縮により胸廓内で心臓が変位するが, これは冠動脈造影によって捉えることができる.

二方向同時冠動脈造影を正常 13 例, 非閉塞性肥大型心筋症 (HCM) 6 例について施行した. 冠動脈分岐点造影像の空間座標をモーションアナライザー・ジグタイザー・コンピューター装置を用いて計測した.

正常心の心基部前壁にある冠動脈分岐点は, 正常心で心収縮の開始から終了までに, 左方へ 1.4 ± 0.1 (mean \pm SD) cm, 足方へ 3.0 ± 3.0 cm, および腹方へ 2.5 ± 0.1 cm 動いた. HCM では, この部位の動きはそれぞれの方向に 2.2 ± 1.1 , 2.7 ± 1.2 , および 2.2 ± 0.6 cm で, 正常心と同じ方向に動いていた. 正常心における心尖部の冠動脈分岐点は, 心収縮時に右方へ 1.7 ± 0.2 cm, 足方へ 1.5 ± 0.2 cm, および背方へ 1.5 ± 0.2 cm 動き, 心基部前壁の点に比べて向きがそれぞれ左方が右方に, 腹方が背方にと逆転していた. また, 動きの大きさも小であった. このことは左室壁が心収縮時に捻れることを示唆している. HCM においても, 心尖部の点は正常心のそれと同様の方向にそれぞれ, 0.6 ± 1.7 , 1.5 ± 1.8 , 2.5 ± 1.4 cm 心基部に向いていた. これらの動きの最大速度は, 心基部前壁の点で左・足・腹の方向に 34.0 ± 9.2 cm/sec, 心尖部の点でも右・足・背の方向に 36.2 ± 7.3 cm/sec に達した. 同様に HCM でも, 心基部前壁の点は正常心と同じ向きに 34.3 ± 5.1 cm/sec, 心尖部の点は 26.2 ± 10.1 cm/sec に達した.

心収縮における心臓の動きは複雑であるが, 本研究では心臓は一定の動きで約 3 cm 動き, その速度は瞬間的に約 35 cm/sec に達することがわかった. また正常心と HCM とでは僅かな相違が認められた.

胸廓外より超音波法や心血管造影法で心臓のディメンジョンを計測する場合, 胸廓内における上

述の心臓の動きを十分に考慮すべきであると考え

文 献

- 1) Starling EH: Physiology of the Heart in Human. Physiology. 5th ed, Lea & Febiger, Philadelphia 1930, p 722-723
- 2) Harvey W: Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis animalibus. Francofurti, Sumptibus G. Fitzel, 1628 (日本語版. 岩波書店, 1961)
- 3) Caldwell JH, Stewart DK, Dodge HT, Frimer M, Kennedy JW: Left ventricular volume during maximal supine exercise: A study using metallic epicardial markers. Circulation 58: 732, 1978
- 4) Brower RW, ten Katen HJ, Meester GT: Direct method for determining regional myocardial shortening after bypass surgery from radiopaque markers in man. Am Heart J 41: 1222, 1978
- 5) Harrison DC, Goldblatt A, Braunwald EB: Studies on cardiac dimensions in intact, anesthetized man. Circulat Res 13: 448, 1963
- 6) Mercer JL: Movement of the aortic annulus. Br J Radiol 42: 623, 1969
- 7) Sandler H, Dodge HT: Angiocardiographic methods for determination of left ventricular geometry and volume. in Cardiac Mechanics (Mirsky I, Ghista DN, Sandler H ed.), John Wiley & Sons Inc., New York, 1974, p 141-170
- 8) Carlsson E, Milne ENC: Permanent implantation of endocardial tantalum screws. J Canad Radiol 19: 304, 1967
- 9) Kong Y, Morris JJ, McIntosh HD: Assessment of regional myocardial performance from biplane coronary cineangiograms. Am Heart J 27: 529, 1971
- 10) Ishikawa K, Hayashi T, Kohashi Y, Otani S, Kanamasa K, Yamakado T, Kohashi N, Tashi M, Osato S, Katori R, Ishida O, Tsuyama Y, Yamamoto Y, Murakawa S: Regional shortening characteristics of left ventricle as measured by biplane coronary cineangiograms. Med J Kinki Univ 5: 67, 1980 (in Japanese)
- 11) Ishikawa K, Hayashi T, Kohashi Y, Otani S, Kanamasa K, Yamakado T, Tashi M, Osato S, Katori R: Contractile behavior of the left ventricular outer wall assessed by biplane coronary cineangiograms in man. J Cardiology 9: 293, 1979 (in Japanese)
- 12) McDonald IG: The shape and movements of the human left ventricle during systole. Am J Cardiol

- 26: 221, 1970
- 13) Wigle ED, Silver MD: Myocardial fiber disarray and ventricular septal hypertrophy of the heart. *Circulation* **58**: 398, 1978
- 14) Osato S, Ishikawa K, Kanamasa K, Ogai T, Katori R: Left ventricular outer wall motion in hypertrophic cardiomyopathy assessed by biplane coronary cineangiograms. *J Cardiology* **12**: 165, 1982 (in Japanese)
- 15) Rushmer FR: *Functional Anatomy of Cardiac Contraction in Cardiovascular Dynamics*. 3rd ed, WB Saunders Co, Philadelphia, 1970, p 64,