

健常例における心臓内構造物の運動軌跡：扇形電子走査型超音波心臓断層法による研究

Analysis of the cardiac motion by real time cross-sectional echocardiography

松尾 裕英  
浜中 康彦  
北島 顕  
松本 正幸  
大原 龍彦  
千田 彰一  
土井 光徳  
島津 敬  
安井 潔  
山田 義夫\*  
阿部 裕

Hirohide MATSUO  
Yasuhiko HAMANAKA  
Akira KITABATAKE  
Masayuki MATSUMOTO  
Tatsuhiko OHARA  
Shoichi SENDA  
Mitsunori DOI  
Takashi SHIMAZU  
Kiyoshi YASUI  
Yoshio YAMADA\*  
Hiroshi ABE

Summary

We attempted to analyze the motion of the mitral valve leaflet, mitral valve ring and papillary muscle of the left ventricle in 11 healthy subjects by using electronic beam sector scanning. Real time cross-sectional echocardiograms were recorded on 8 mm movie films at the rate of 18 frame per second. Frames from one cardiac cycle were superimposed for analyzing the motion of the mitral apparatus. The configuration of the anterior and posterior mitral valve leaflets was flat in the left ventricular end-diastole and convex toward the left ventricle during the left ventricular systole.

The anterior mitral ring moved slightly during a cardiac cycle but the posterior mitral ring moved markedly inferiorly during the left ventricular systole. The diameter of the mitral ring in end-diastole was shorter than that in end-systole in the long axis cross-sectional echocardiogram. This finding was mainly due to the change of configuration of the mitral valve ring.

The papillary muscles of the left ventricle were clearly visualized by long axis cross-sectional echocardiography. The apex of the papillary muscle was moved inferiorly and anteriorly during the left ventricular systole.

大阪大学医学部 第一内科  
大阪市福島区福島 1-1-50 (〒553)  
\*大阪労災病院 内科  
堺市長曾根町 1179-3 (〒591)

The First Department of Internal Medicine, Osaka University Medical School, Fukushima 1-1-50, Fukushima, Osaka 553

\*Department of Internal Medicine, Osaka Rosai Hospital, Nagasonecho 1179-3, Sakai 591

Presented at the 15th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kyoto, October 15-16, 1977

Received for publication March 22, 1979

Based on these analysis in healthy subjects, we are able to evaluate abnormalities of cardiac motion in clinical cases.

**Key words**

Electronic sector scanning echocardiography  
muscle      Cardiac motion

Mitral valve leaflet

Mitral valve ring

Papillary

**はじめに**

心内構造物の解剖学的な形態, およびその動態を生体において解析することは, 心臓病態生理を把握する上で重要な課題をなす. しかしながら, 従来より生理的な状態でこれを詳細に解析することは, 方法論的困難さからほとんどなされていない. 本稿では, 近年急速な進歩をみたリアルタイム超音波心臓断層法を用いて, 健常例での心内構造物のうち, シネアングジオでは解析の比較的困難とされている僧帽弁尖, 僧帽弁輪部, 乳頭筋部の動態について解析を行った.

**対象ならびに方法**

装置は扇形電子走査型超音波心臓断層装置 (EUB-10) を用いた<sup>1,2)</sup>. 本装置の使用超音波は共振周波数 2.3 MHz, パルス繰り返し周波数 4,608 Hz で, 画面は走査線数 256 本/画面 (毎秒 18 フィールド), あるいは飛び越し走査では 128 本/画面 (毎秒 36 フィールド) で構成される. 走査角度 72°, 最大観測深度 15.5 cm, 固定電子フォーカス深度 7.5 cm である. 実験的に計測した分解能は深度 7.5 cm で, 方位方向 3 mm, 距離方向 2 mm であった<sup>3)</sup>.

撮影はポラロイドフィルムを用い, 心電図 R 波からの遅延回路により任意の時相でオッシロスコープ上に描かれる像を撮影するか, あるいはリアルタイムの映像をシネカメラで連続撮影した. しかし, 本研究では連続的な心内構造物の動きの解析を行うことを目的としたため, 主として 8 mm シネカメラを用いた. シネ撮影はカメラより同期パルスを出して電子走査を制御し, 毎秒 18 コマにて連続撮影を行った. 撮影時相は各コマに

同時撮影された心電図の末尾によって示されている. このようにして撮影されたリアルタイム断層像を, 心臓外部に reference point を定めて重ね合わせ, とくに僧帽弁領域および乳頭筋部について 1 コマごとに一心周期にわたってトレースし, 解析のためのデータとした.

記録は安静仰臥位で, 呼吸による心臓位置の偏位による影響を避けるため, 軽度呼吸停止にて行った.

左室長軸断面像は第 3 または第 4 肋間胸骨左縁に探触子をおき, リアルタイム断層像を観察しながら大動脈弁, 僧帽弁前後尖が一心周期を通じて明瞭に観察され, かつ左室心尖部を通る断面として求めた.

僧帽弁輪部の記録は左室長軸方向で, リアルタイム断層像を観察しながら超音波ビーム方向を軽度変化させ, 前尖弁輪付着部, 後尖弁輪付着部が明瞭に描出されるビーム方向で行った.

乳頭筋部の長軸像は僧帽弁尖の記録部位よりやや心尖方向にビーム方向を向けることにより, 僧帽弁尖先端より連続した腱索によると思われる数条の索状エコーにつづいて, 乳頭筋エコーが出現する断面で得た. また短軸像は長軸像記録部位より探触子を約 90° 回転させることにより求めた.

対象は健常成年男子 11 例 (年齢 19~33 歳, 平均 28 歳) である.

**結 果**

**1. 左室長軸像による僧帽弁の運動解析**

左室長軸像での僧帽弁尖の一心周期の動きを観察すると, 僧帽弁前尖は収縮初期弁閉鎖時にはほぼ直線状で, 前尖弁輪付着部と前尖先端を結んだ線上にあるが, 収縮の進行に伴い左室側に凸の形

状を示した (Fig. 1). 拡張早期には僧帽弁前尖は前方へ大きく開放し、一旦半閉鎖ののち、心房収縮により再開放し、収縮初期に閉鎖する様子が明瞭に観察された。僧帽弁後尖は一心周期を通じて

その全体像を捉えるのはやや困難であったが、収縮期には前尖と同様に左室側に凸の形状を示した。しかしながら拡張早期最大開放時でも弁尖の偏位は少なく、半閉鎖、再開放、閉鎖といった動きも

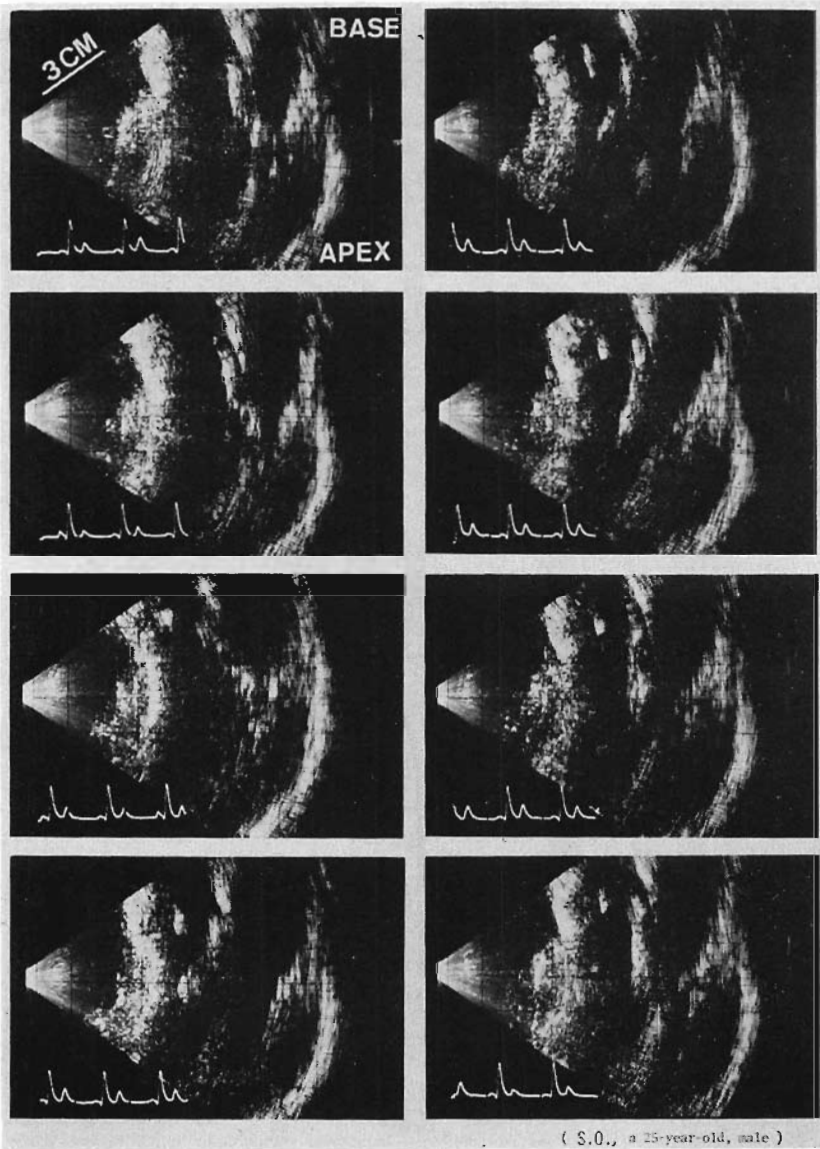


Fig. 1. Serial recording of the long axis cross-sectional echocardiograms.

The configuration of the anterior and posterior mitral valve is flat in end-diastole and convex toward the left ventricle during the left ventricular systole.

前尖に比し軽度であった. このような僧帽弁の動きの特徴は今回検討した対象例全例に認められた.

8 mm シネフィルム左室長軸像を1コマごとに重ね合わせてトレースし, 検討した (Fig. 2). 僧帽弁前尖先端は拡張末期を基準とすると, 収縮早期より収縮の進行に伴い下方やや前方へ偏位を示し, 収縮末期に最下方に位置する. 本例では僧帽弁前尖先端は拡張末期の位置より約 6 mm 心尖方向への偏位を示した. 拡張早期には僧帽弁は最大開口するが, 前尖先端は大きく前方やや心基部方向へ偏位し, 半閉鎖の時期には拡張末期の位置近くまで戻り, 心房収縮によりやや心尖方向へ偏位したのち, 拡張末期の位置に復した.

## 2. 僧帽弁輪部の動きについて

左室長軸方向での前尖弁輪付着部は大動脈後壁, 大動脈弁, 僧帽弁前尖エコーが合致する点とした.

また後尖弁輪付着部は左房後壁, 僧帽弁後尖, 左室後壁心内膜側エコーが合致する点とした. 前尖弁輪付着部は拡張末期を基準とすると, 収縮期に心尖方向, かつ前方への偏位を示したが, その偏位はいずれの方向とも軽微であった (Fig. 3). 一方, 後尖弁輪付着部は拡張末期を基準として, 収縮期に著明に心尖側に偏位し, 拡張早期に急速に拡張末期のレベルにもどり, 心房収縮により一旦上方へ偏位したのち, 再び拡張末期のレベルにもどった.

弁輪径は各コマでの前尖弁輪付着部, 後尖弁輪付着部を結んだ線とし, 一心周期の弁輪径の変化について計測した. 弁輪径は本例では拡張末期を基準とすれば, 心室収縮により次第に延長を認め, 収縮末期に最大径となり心房収縮時に最小となって, 拡張末期の長さにもどった.

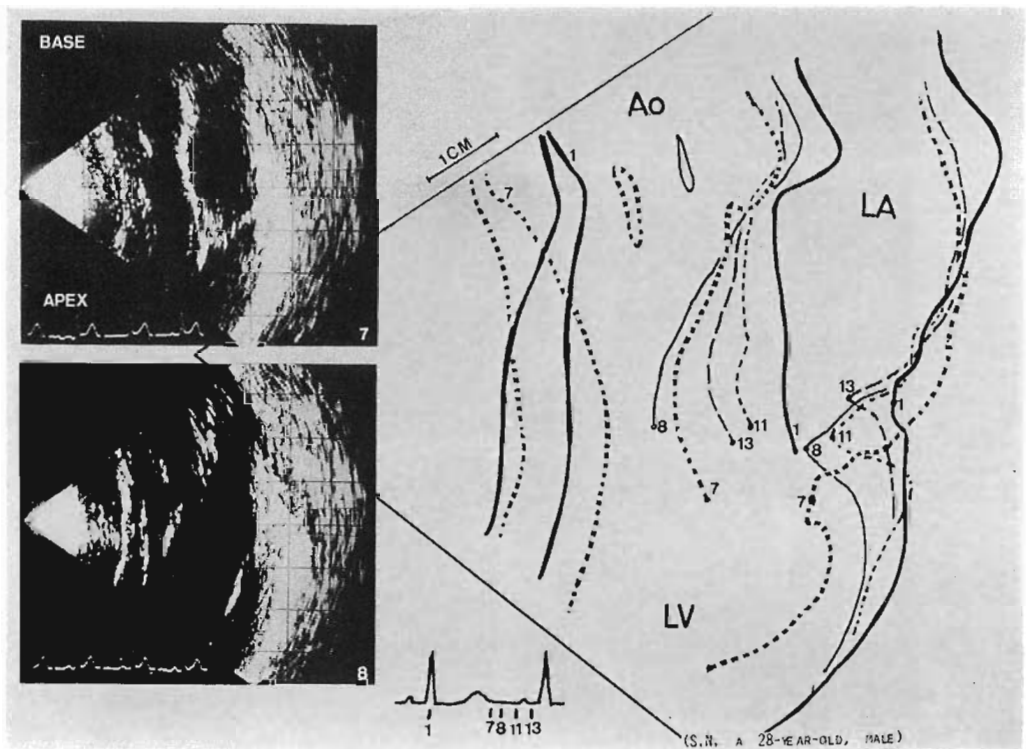


Fig. 2. Superimposed tracing of the long axis cross-sectional echocardiogram.

The tip of the anterior mitral valve leaflet moves inferiorly and slightly anteriorly during left ventricular systole.

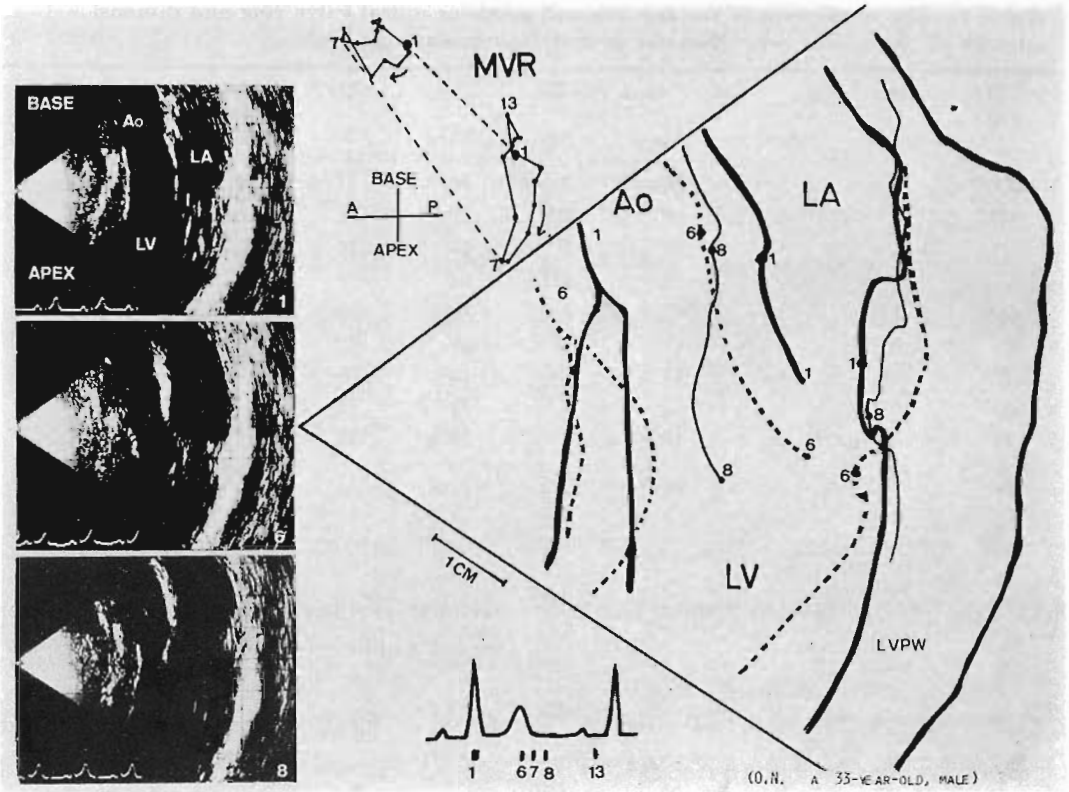


Fig. 3. Superimposed tracing of the mitral ring.

The diameter of the mitral ring is measured as the distance between the anterior mitral valve ring and posterior mitral valve ring. The diameter of the mitral valve ring in end-systole is longer than that in end-diastole.

全対象例について、拡張末期から収縮末期までの前尖弁輪付着部、後尖弁輪付着部の偏位および弁輪径の変化について計測した (Table 1). 全対象例の平均では、前尖弁輪付着部は心尖側へ  $6.3 \pm 3.5$  (mm), 前方へ  $5.2 \pm 2.6$  (mm), 後尖弁輪付着部は心尖側へ  $14.8 \pm 1.9$  (mm), 前方へ  $2.7 \pm 1.1$  (mm) と後尖弁輪付着部の下方への偏位が顕著であった. 弁輪径は全例拡張末期に比し収縮末期のほうが長く、平均では拡張末期  $22.1 \pm 7.7$  (mm), 収縮末期  $33.3 \pm 3.5$  (mm) で、収縮末期に約 40% の延長を示した.

### 3. 乳頭筋部の動きについて

後乳頭筋の動態の解析のためには、可及的に一

心周期を通じて乳頭筋先端が明瞭に記録される部位を選んだ. 乳頭筋は円錐状に認められ、収縮期に若干太さを増す様子が観察された (Fig. 4). 乳頭筋先端部の動きについては、一見先端として捕捉される部位が心収縮につれて若干変化している可能性があるため、二次腱索が乳頭筋へ付着する部位を landmark として、この部の一心周期の動きについて重ね合わせ像で検討した. 一心周期の乳頭筋先端部の軌跡をみると、拡張末期を基準として、収縮の進行に伴い若干背方かつ心尖方向に偏位したのち、収縮中期に最も心尖側で、やや前方へ偏位し、収縮末期では収縮中期よりやや心基部側への偏位を示した (Fig. 5, 6). 拡張期には

**Table 1. The movement of the anterior and posterior mitral valve ring and dimensional change of the mitral ring diameter in end-diastole and end-systole**

Case No.	Ant. MVR		Post. MVR		MVR Diameter			
	Apex	Ant.	Apex	Ant.	ED	ES	ED-ES	%Change
1. TU	9 mm	6 mm	18 mm	2 mm	26 mm	37 mm	11 mm	42%
2. MY	8	4	15	3	25	31	6	24
3. KY	11	3	15	1	28	35	7	25
4. SN	2	10	12	4	18	30	12	67
5. ON	1	8	13	2	18	32	14	78
6. YI	4	5	17	2	27	40	13	48
7. TS	6	6	15	2	20	29	9	45
8. SN	10	3	13	4	32	34	2	6
9. YW	6	2	15	4	25	32	7	28
Mean	6.3	5.2	14.8	2.7	22.1	33.3	9.0	40.3
S.D.	3.5	2.6	1.9	1.1	7.7	3.5	3.9	22.5

先端部は拡張早期から急速に拡張末期の位置にもどった。

一方、僧帽弁前尖端は収縮期に若干心尖方向へ偏位するが、乳頭筋先端部の心尖方向への偏位がより顕著であるため、両点を結んだ長さは Fig. 5 の例では拡張末期 15 mm, 収縮末期 20 mm と収縮末期に長く、腱索の伸展がないとすれば、拡張末期には腱索はたるみ、収縮末期には緊張した状態となると推測される。

つぎに、乳頭筋先端の拡張末期を基準とした収縮期の最大偏位、ならびに拡張末期乳頭筋先端と最大偏位時の乳頭筋先端を結んだ線の方向、両点間の線分の長さ(これを最大偏位ベクトルと呼ぶ)について検討した (Fig. 6)。乳頭筋先端は全例収縮期に心尖方向やや前方へ偏位し、平均で心尖方向へ  $9.3 \pm 1.8$  (mm), 前方へ  $4.6 \pm 1.5$  (mm) 偏位した。また最大偏位ベクトル方向は  $232^\circ$  より  $255^\circ$  の範囲で、平均  $241.1^\circ$  であった。

乳頭筋の横断像では、乳頭筋は左室腔内中央部よりやや背方に左右に相対し、三角ないし円形エコーとして描出され、それぞれ anterolateral papillary muscle, posteromedial papillary muscle に相当した。一心周期の動きは収縮期に、ante-

rolateral papillary muscle は右前方, posteromedial papillary muscle は左前方への動きがみられ、収縮末期に最も前方への偏位がみられ、この時相では乳頭筋が心内腔のかなり大きな部分を占めているのが観察された。

### 考 案

心臓内構造物の運動動態解析に関する報告は、動物実験にて開胸下に得られた成績が多く<sup>4)</sup>、より生理的な状況での解析としては radiopaque marker を縫着して行った解析が 2, 3 みられるにすぎない<sup>5-7)</sup>。生体においては心血管造影法による報告<sup>8)</sup>もあるが、造影剤による影響を無視することはできず、また乳頭筋などの構造物の詳細な解析は困難とされている。心エコー法<sup>9-12)</sup>は現在のところ、ヒトにおいて生理的な条件下での心臓内構造物運動の解析が可能な唯一の方法といえることができ、中でもリアルタイム超音波心臓断層法は心臓の 2 次元像を得ることが可能で、心臓内構造物の動態解析に適した方法といえる。

#### 1. 僧帽弁運動動態について

僧帽弁の心周期による形態変化を心長軸像で見ると、僧帽弁閉鎖直後では僧帽弁前尖は直線状を

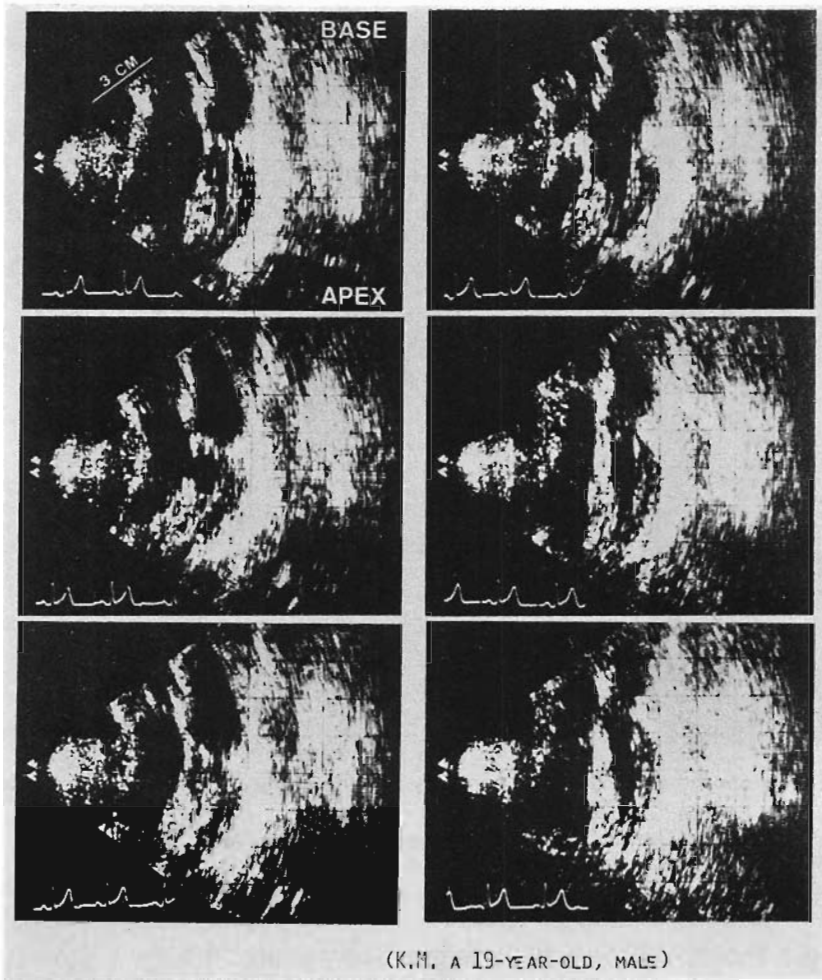


Fig. 4. Serial recording of the papillary muscle along the long axis of the left ventricle.  
The papillary muscle is thickened in systole in comparison with diastole.

呈する。この時相では左房、左室間に圧較差は認められず、また乳頭筋、腱索を介した僧帽弁の索引などの外力も加わっていないため、弁は心房側、心室側いずれにも曲率を有さず、直線状に位置したと解せられる。ついで収縮期に入り収縮が進展するに伴って、左室圧が左房圧を著明に凌駕するようになると、この圧較差により僧帽弁は左房側に凸となることが推定されるが、今回の健常例の成績ではかかる推測とは逆に、僧帽弁前尖、後尖ともむしろ左室側に凸を呈することが示された。従

来からもかかる所見について 2, 3 の報告<sup>13,14)</sup>がみられ、その機作としては僧帽弁自身に存する筋の収縮によるとする説<sup>15)</sup>がその 1 つとしてあげられている。しかし、房室間圧較差より生ずる僧帽弁に加わる張力の大きさを考えた時、僧帽弁に存在する筋収縮のみで左房側への膨隆を防ぐ機作を想定することは難しい。さらに左室側に凸となるのは、僧帽弁の筋の分布が左室側に大きいとすれば機序としては不可能ではないが、一層強力な収縮を必要とするため、まず困難といえる。今回の

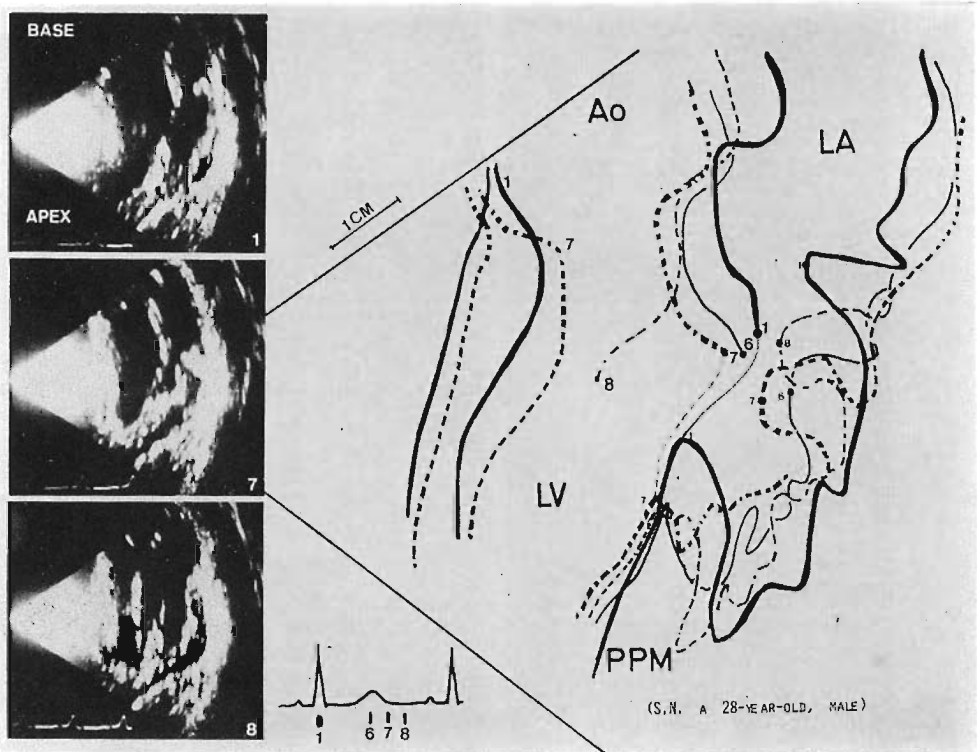


Fig. 5. Superimposed tracing of the papillary muscle along the long axis of the left ventricle.

The apex of the papillary muscle moves inferiorly during left ventricular systole.

検討では、収縮期の進展とともに僧帽弁と乳頭筋先端との距離が延長することが認められた。これは左室腔の縮小以上に乳頭筋が大きく収縮することがその原因と考えられるが、このため腱索は強く牽引されることになる。かかる所見より、僧帽弁の収縮期における左室側への膨隆は弁尖が腱索により強力に引かれ、大きな圧較差に打ち勝った結果と考えるのが妥当であろう。

一方、このような腱索の牽引を主たる機作とする考えに対し、僧帽弁が左室側に凸となるためには、弁腹部に付着している2次腱索が他の部位より強く引かれなければならない、左室の収縮異常がなければ説明できないとする意見<sup>15)</sup>もあるが、拡張末期での腱索のたるみの程度の差を想定すれば、あえて左室収縮異常がなくとも説明は可能である。

今回の検討の対象は成人であるが、小児や若年者では収縮期に僧帽弁が左房側に凸となる場合が多く、心腔の大きさと、腱索、乳頭筋との釣合いが成人と異なるなど、別途の考慮が必要であろう。

## 2. 僧帽弁弁輪部の動きについて

大動脈起始部の動きはシネアンジオによる観察、あるいは今回のリアルタイム断層法による観察でも、収縮期に下方やや前方への動きが認められる。それに付着する前尖弁輪付着部の動きもほぼ同様な動きを示し、その偏位は比較的軽微である。一方、後尖弁輪付着部は収縮期に著明に下方に偏位し、拡張中期にほぼ拡張末期のレベルにもどり、心房収縮によりやや上方への偏位を示す。上下方向への偏位に比し、前後方向への偏位は軽微である。収縮期での下方への偏位は左室心筋の収縮により



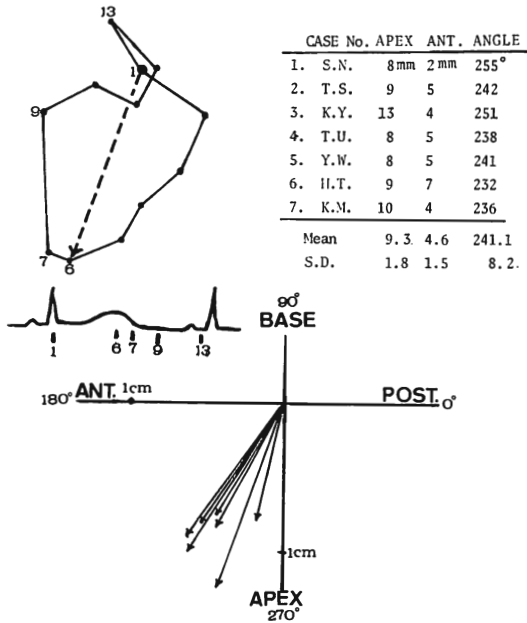


Fig. 6. The movement of the apex of the papillary muscle during a cardiac cycle (upper), and the main vector direction of the movement of the papillary muscle during a cardiac cycle (lower).

もたらされると考えられ、また心房収縮期での上方への偏位は左房の収縮によりもたらされる挙上と考えられる。

前尖弁輪付着部、後尖弁輪付着部を結んだ僧帽弁輪前後径の心周期による変化をみると、拡張末期より収縮の進行とともに前後方向での弁輪径は拡大し、収縮末期に最大となり、心房収縮期に最小となる。Tsakiris ら<sup>5)</sup>はイヌの僧帽弁輪に marker を植込んで、2方向レ線により僧帽弁輪の心周期による面積変化を検討している。それによると弁輪部の面積は拡張末期に最大となり、収縮末期に 19~34% の縮小を示すと述べている。これは弁輪大動脈側で線維性の弁輪が途絶え、筋性部に連続し、この部の収縮によるものとしている。また川副ら<sup>7)</sup>によれば、Tsakiris らとほぼ同様な方法により、弁輪の形態変化について検討し

た結果、弁輪の形態は半円形であるが、心房収縮、心室収縮によって著明に変化すると述べている。

これらの動物実験の成績は弁輪断面を観察したものであり、今回の検討は前後径をみたものではあるが、両者間の差異は大きい。弁輪周囲長は収縮期においては動物実験の成績からみても少なくとも延長はしないと考えられるから、ヒトにおける収縮期前後径が延長する結果は弁輪の形態が変化したものと解釈すべきであろう。すなわち寺沢ら<sup>9)</sup>も指摘するように、拡張末期に前後方向を短径とする長楕円形であったものが、収縮末期では前後方向を長径とするような変化が生じたのである。

### 3. 乳頭筋部の動きについて

乳頭筋部の運動様式を検討するには、乳頭筋部の定まった点を landmark として運動軌跡を捕捉することが要求されるが、一心周期を通じて同一断面でこれをとらえることは困難な場合が多い。乳頭筋の横断像での動きを観察しても、両乳頭筋とも収縮期に左室中央に偏位するので、固定した探触子による心長軸方向超音波断面では、時相により乳頭筋の断面が変化する可能性がある。

本検討ではこのようなことを可及的にさけるような断面に設定し、腱索が乳頭筋へ付着する部位を landmark として、この部の心周期による偏位について検討した。当部位は収縮期に心尖側やや前方へ偏位し、拡張早期にほぼ拡張末期のレベルにもどる動きを示す。この動きに主として関与するものとしては、乳頭筋自身の収縮に基づく心尖側への偏位と、左室後壁の収縮による上方やや前方への偏位とが考えられるが、収縮とともに乳頭筋先端が心尖側へ偏位することは、左室後壁の収縮による乳頭筋全体が上方へおしあげられる影響を凌駕した乳頭筋の著明な短縮が生じることを示している。このような乳頭筋の著明な短縮は、先に述べたように、腱索を介して収縮期に僧帽弁の左房側への翻転を防ぐ効果をもたらしているとする考えを支持する。

### 結 論

扇形電子走査型超音波 心臓断層装置を用いて, 僧帽弁尖, 僧帽弁輪, 左室乳頭筋の動態について解析を行った. 対象は健康成人 11 例である. 方法はリアルタイム心臓断層像を每秒 18 コマにて 8 mm シネフィルムに連続撮影し, 一心周期の像について心臓外部に reference point をおき, 重ね合わせてトレースし, 各構造物の動態について検討した.

僧帽弁の動態解析では, 心長軸断層像にて, 僧帽弁前尖は拡張早期弁閉鎖時にはほぼ直線状であるが, 収縮期には左室側に凸の形状を示した. 後尖もほぼ同様に, 収縮期に左室側に凸の形状を示すが, その偏位は比較的軽微であった.

僧帽弁輪部の動きは, 前尖弁輪付着部は収縮期に心尖側やや前方へ偏位を示すが, その偏位は比較的軽微であった. 一方, 後尖弁輪付着部は収縮期に著明に心尖側へ偏位し, 前方への偏位は軽微であった. 前尖弁輪付着部, 後尖弁輪付着部を結んだ線を弁輪前後径とすると, 弁輪前後径は 11 例の平均で拡張末期 22.1 mm, 収縮末期 33.3 mm と拡張末期に比し収縮末期に約 40% の延長を示した.

左室乳頭筋は左室長軸像では円錐形の像として描出され, 拡張末期を基準とすると, 収縮中期に最も心尖側やや前方への偏位を示し, その後急速に拡張末期のレベルにもどる動きを示した. 拡張末期から収縮中期での乳頭筋尖端の偏位は 11 例の平均で, 心尖側へ 9.3 mm, 前方へ 4.6 mm の動きを示した. 一方, 短軸像では前乳頭筋, 後乳頭筋がほぼ円形の像として描出され, それぞれ収縮期に右前方, 左前方への動きを示した.

健康例についての心内各構造物の動態を解析したことから, 今後各種疾患例での動態異常の評価に役立てうると考える.

### 文 献

1) 黒田正夫, 小野世紀寿郎, 近藤敏郎, 小川俊雄: 電

子走査形超音波撮像装置 (2): 量子化差分コード (QD コード) による送受波制御. 日超医講演論文集 29: 109, 1976

2) 松尾裕英, 千田彰一, 北島 颯, 仁村泰治, 山田義夫, 寺杣昭彦, 小林敬司, 木村 熙, 佐藤 裕, 近藤敏郎: 広角度電子走査型超音波心臓断層法 (第 1 報). 日超医講演論文集 29: 115, 1976

3) 松尾裕英, 松本正幸, 北島 颯, 浜中康彦, 大原龍彦, 土井光徳, 千田彰一, 山田義夫, 寺杣昭彦: 心臓領域における扇形電子走査型超音波断層法の臨床応用に関する検討. 超音波医学 4: 295, 1977

4) Smith HL, Essex HE, Baldes EJ: A study of the movements of heart valves and of heart sound. Ann Intern Med 33: 1357, 1963

5) Tsakiris AJ, von Bernuth G, Rastelli GC, Bourgeois MJ, Titus JL, Wood EH: Size and motion of the mitral valve annulus in anesthetized intact dogs. J Appl Physiol 30: 611, 1971

6) Davis PKB, Kinmonth JB: The movements of the annulus of the mitral valve. J Cardiovas Surg 4: 427, 1963

7) 川副浩平, 北村信夫, 富野哲夫, 和田寿郎: 房室弁輪の動き—その解析と弁閉鎖上の意義について. 呼吸と循環 26: 853, 1978

8) Björk UO, Lodin H, Malers E: The evaluation of the degree of mitral insufficiency by selective left ventricular angiocardiography. Amer Heart J 60: 671, 1960

9) 寺沢良夫: 超音波反射法による僧帽弁運動の解析に関する研究. 抗酸菌病研究雑誌 23: 73, 1971

10) Tanaka M, Neyazaki T, Kosaka S, Sugi H, Oka S, Ebina T, Terasawa Y, Unno K, Nitta K: Ultrasonic evaluation of anatomical abnormalities of heart in congenital and acquired heart diseases. Brit Heart J 33: 686, 1971

11) Edler I: The diagnostic use of ultrasound in heart disease. Acta Med Scand (Suppl) 308: 32, 1955

12) 望月茂樹: 超音波による僧帽弁膜症弁運動動態の研究. 阪大医誌 17: 117, 1965

13) Rushmer RF, Finlayson BL, Nash AA: Movements of the mitral valve. Circulat Res 14: 337, 1956

14) Burch CE, Ray CT, Cronvich MS: Certain mechanical peculiarities of the human cardiac pump in normal and diseased states. Circulation 5: 504, 1952

15) Sonnenblick EH, Napolitano LM, Daggett WM, Cooper T: An intrinsic neuromuscular basis for mitral valve motion in the dog. Circulat Res 21: 9, 1967