

音源を探知しえた大動脈 弁閉鎖不全症における楽 音様雑音

—拡張期楽音様雑音の発生機序に関する
—考察—

A new concept concerning the mechanism producing the diastolic musical murmur (sea-gull cry) in aortic insufficiency

田中 元直
香坂 茂美
寺沢 良夫
海野 金次郎
仁田 桂子
柏木 誠

Motonao TANAKA
Shigemi KOSAKA
Yoshio TERASAWA*
Kinjiro UNNO*
Keiko NITTA*
Makoto KASHIWAGI*

Summary

By the use of various kinds of phonocardiography and ultrasonic techniques, a source responsible for the occurrence as well as a mechanism of production of a musical diastolic murmur in aortic regurgitation were investigated. In a case with organic lesions limited to the right and left aortic cusps, a sine wave flutter of the posterior cusp echo was observed in diastolic phase on UCG. The frequency components and time course of this flutter were in good agreement with those of the fundamental of the musical murmur recorded on the precordium (Figure 7,8). From these facts, it was concluded that the presumably intact posterior cusp with good mobility functioned as a generator of the musical diastolic murmur in aortic insufficiency.

In order to investigate the mechanism producing the murmur, intracardiac blood stream was studied by the M sequence modulated ultrasonic Doppler method. The results of these studies (Figure 9,11) indicate that the distorted right and left aortic cusps functioned as a contributory factor for changing the directions of the regurgitant stream and producing the regurgitant stream parallel to the posterior cusp. Thus, it was considered that the free margin of the stretched posterior cusp was put into vibration as a reed of the musical instrument during diastole by such a parallel regurgitant stream.

Key words

retroverted aortic cusp
sea-gull cry
ultrason-cardiotomography
ultrasound-cardiotomography
fluttering of aortic valve
mechanism of production of murmur

東北大学抗酸菌病研究所
仙台市広瀬町4-12 (〒980)
*仙台厚生病院

The Research Institute for Tuberculosis, Lep-
tosp and Cancer, Tohoku University, Hirose-
machi 4-12, Sendai, 980
*Sendai Kosei Hospital, Sendai, 980

緒 言

心音図上に記録される心雑音の発生機序、音源とその音響学的特徴、伝搬媒体の特性等を明らかにすることは、心音図の理論的解釈のために重要なことであるが、これらの点に関しては今なお不明確な所が多い。楽音様雑音においては、それが harmonic を伴う場合には、音源として、比較的弾性に豊かな固体が、血流によって振動させられていると考えることができる。

大動脈弁閉鎖不全症でみられる拡張期楽音様雑音の振動源として、McKusick¹⁾ は後反した右半月帆ないし石灰化した弁尖を強調しているが、生前にこれらが音源になっていたという確実な根拠には乏しい。しかし、実際にかかる雑音の音源と、その音響学的特徴、発生機序、媒体の特性を、生体において証明することは必ずしも容易ではない。われわれは心音図法におけるこれらの本質的な問題を解明するために、諸種の方法の開発を行ってきたが、最近これらの手法が実用的方法として用いられる段階に達したので、これらを用いて、大動脈弁閉鎖不全症における拡張期楽音様雑音 (sea-gull cry) の音源と、その音響的特徴、発生機序の解明を行ない、興味ある結果が得られたので報告する。

方法と症例

使用せる方法は、心雑音の音響学的分析にはオシログラム心音図法、スペクトル心音図法、強度分布心音図法、ベクトル心音図法²⁾ で行ない、音源の確定と雑音発生機序の解明のためにはさらに超音波心臓断層法³⁾、断層法と UCG 法との併用法³⁾⁴⁾、および断層法と超音波ドブラ法との併用法⁵⁾ (ここではM系列変調超音波ドブラ法を用いている) 等を用いた。すべて音響学的手法であり、非観血的手法である。方法の詳細は略する。

対象とした患者は48才男子、農夫であり、過去にマラリヤの既往がある他、リウマチ熱、梅毒の既往はなく、検査成績でも陰性である。自覚症状としては、時々軽い前胸部不快感がある程度で、仕事は普通に行なっている。

結果および考案

1. 拡張期雑音の音響学的特徴

本例における心雑音は、Figure 1 に示した如く、II音直後に発生し、急速に振幅および周波数が最大に達し、ついで振幅、周波数ともに漸減する雑音で、一見して大動脈弁閉鎖不全症の雑音の特徴を示す⁶⁾。その周波数スペクトラムは Figure 2 および7に示す如く、50 Hz~100 Hz の fundamental をもち、約100 Hz 間隔の高調波が含まれており、約600 Hzに達する。楽音性で、McKusick が指摘しているいわゆる sea-gull cry の特徴を示している¹⁾⁶⁾。胸壁上の強度分布は、Figure 3

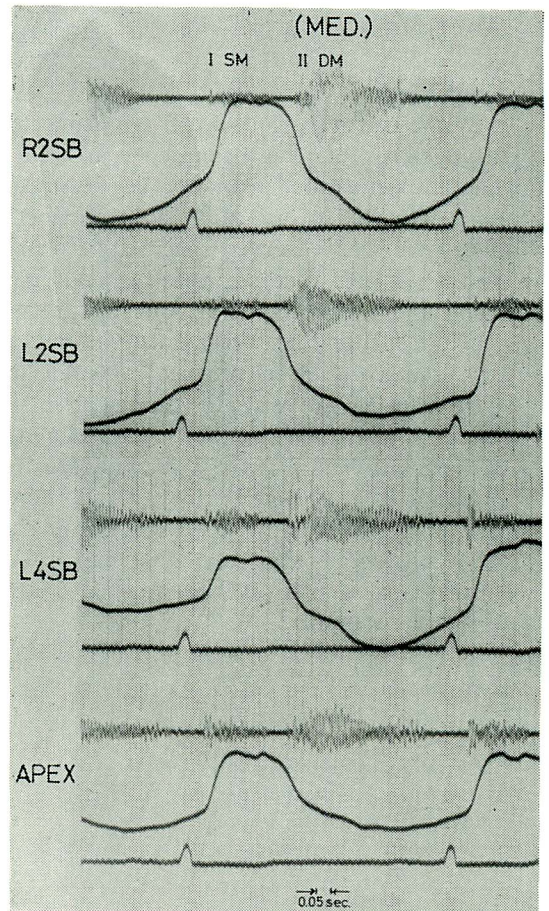


Figure 1. Medium-frequency phonocardiogram (PCG) showing musical diastolic murmur

R : right, L : left, SB : sternal border.

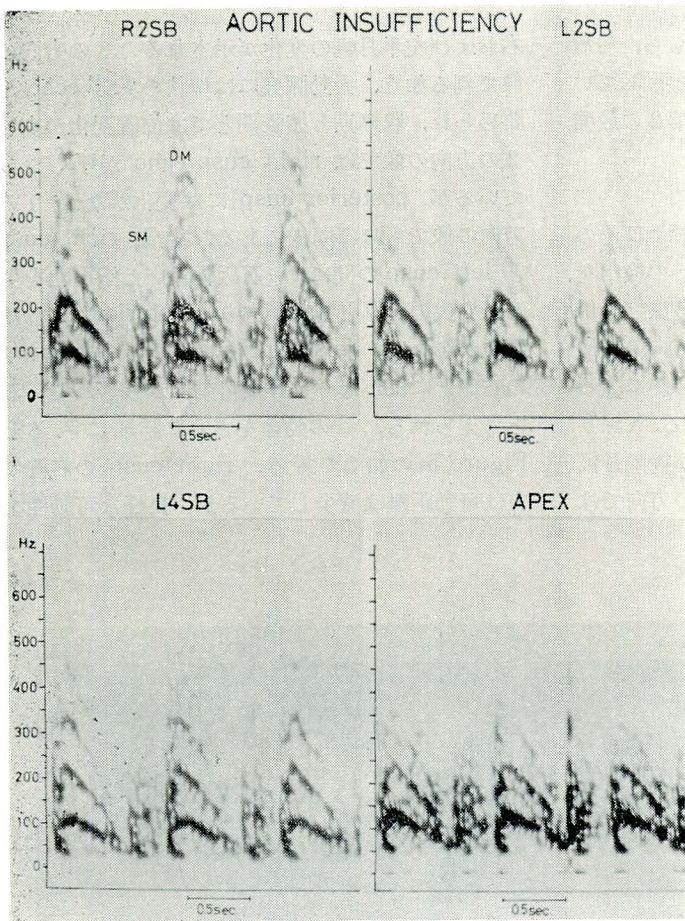


Figure 2. Spectral phonocardiogram (SPCG) showing musical note

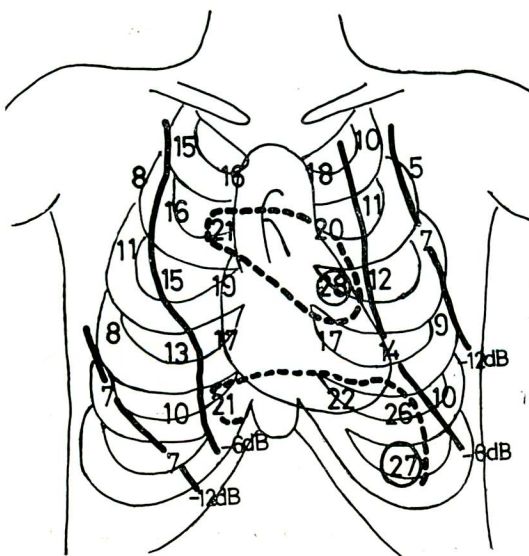


Figure 3. Intensity distribution mapping
Numerals indicate the relative value of the amplitude of the murmur. Black lines represent -6dB contour line.

の如く、第3肋間胸骨左縁に最強点を持ち、右肩および心尖方向に広く伝搬する性質を示している。しかし Figure 3 の心尖部付近の第2の最強点での音質は異なったものである。

2. 音源（振動源）の検出

このような心雑音の音源は大動脈弁およびその近傍にあると考えられるところから、その検出を、超音波心臓断層法および断層法と UCG 法との併用法で行なった。Figure 4 は左室長軸方向の断層像であり、大動脈弁の器質的变化を明らかにするために、方位断層法を行なったものである。X線写真上、黒線1の方向の断面では右および後半月帆の右側が、2の方向ではほぼ中央、3の方向では

右および左半月帆の変化が示される。3の方向の像で判る如く、大動脈弁には塊状の異常 echo が認められ、収縮期と拡張期とでは位置変化が少い。2の方向の像では right cusp echo が厚くなっているが、posterior cusp には変化がなく、1の方向の像でもほぼ同様である。結局、right cusp と left cusp の間には、石灰化ないし癒着を生じた弁尖の肥厚と癒合があり、posterior cusp は変化が少なく、posterior cusp と right cusp の右側とにはかなり良好な可動性が残されていると考えられる。この動きをさらに詳細にみると Figure 5 の如くである。right cusp の右側の方は可動距離は減少しているが、良好な可動性を

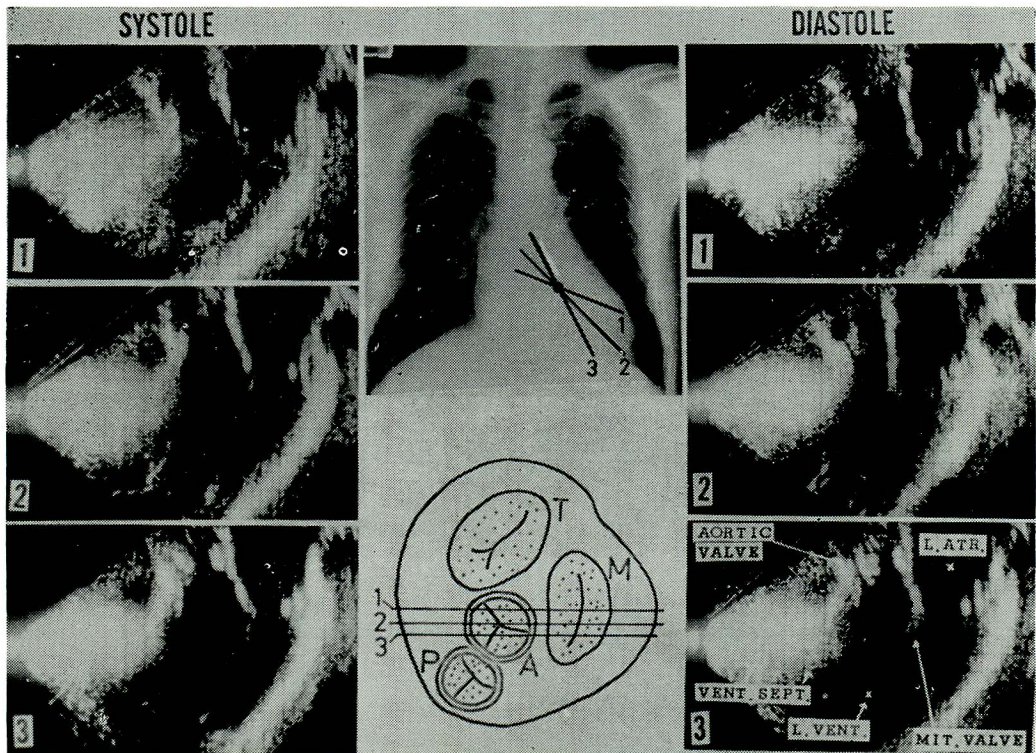


Figure 4. Ultrasono-cardiotomograms

1, 2 and 3 of each tomogram correspond to the cross-section of the heart along the lines indicated in the middle figures. Echo pattern on the left side of each tomogram represents the anterior and that on the right side the posterior chest wall. Top of each tomogram represents right side of the patient, bottom represents left side.

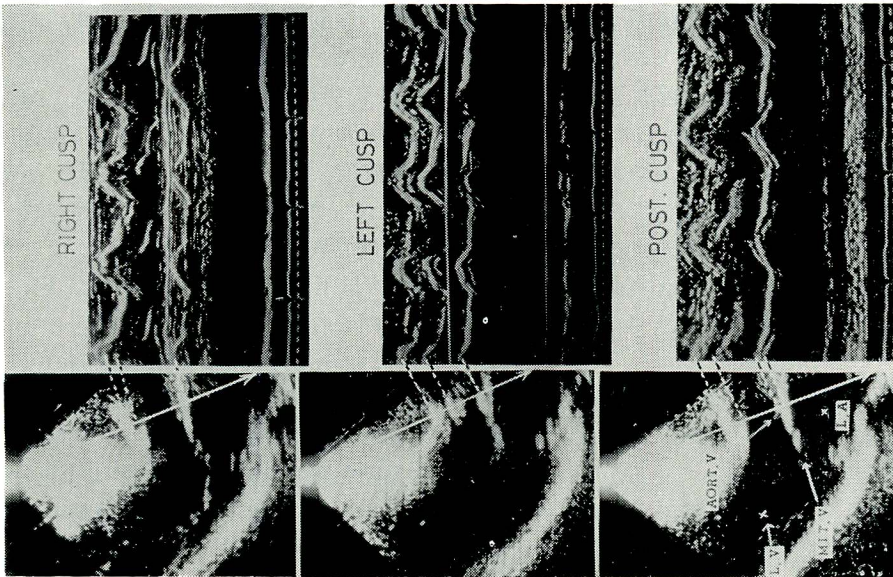


Figure 5. Ultrasono-tomograms and the echogram (UCG) directed to the line depicted in the tomogram of each aortic cusp

Diastolic flutter of sine wave is inscribed in the UCG of the posterior cusp.

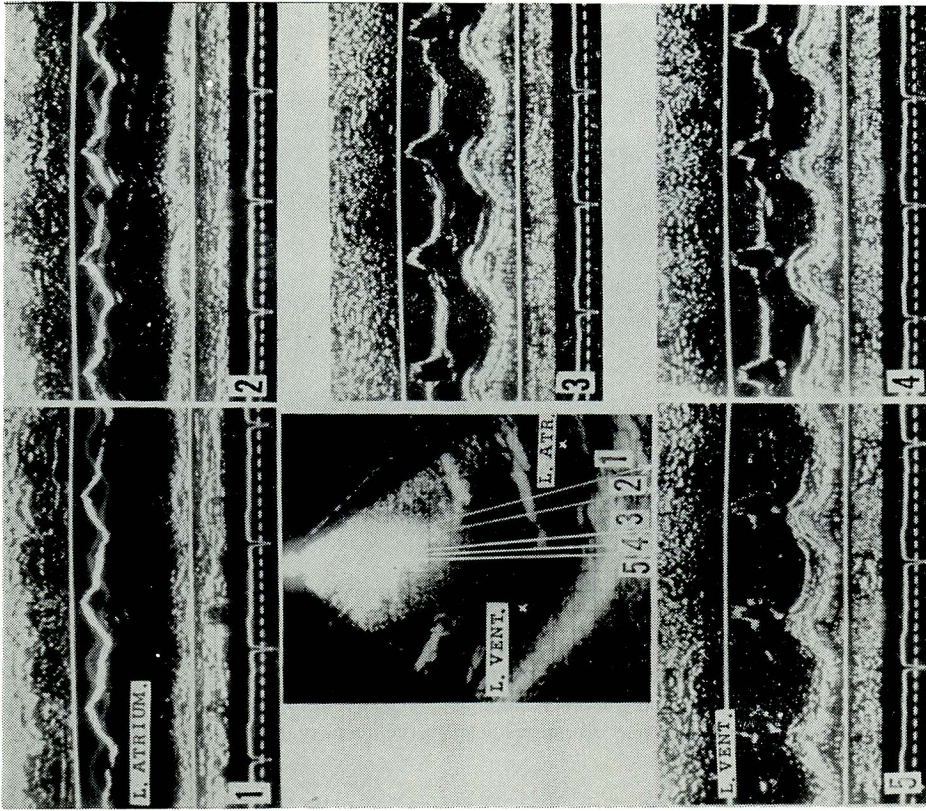


Figure 6. UCG and tomogram of the mitral valve

The lines 1, 2... and 5 represent the direction, to which each UCG was recorded. The distance of the opening of anterior cusp is small and the fluttering is observed immediately after the opening. Early diastolic closure of the valve is observed. The behaviour of the posterior cups is almost the same.

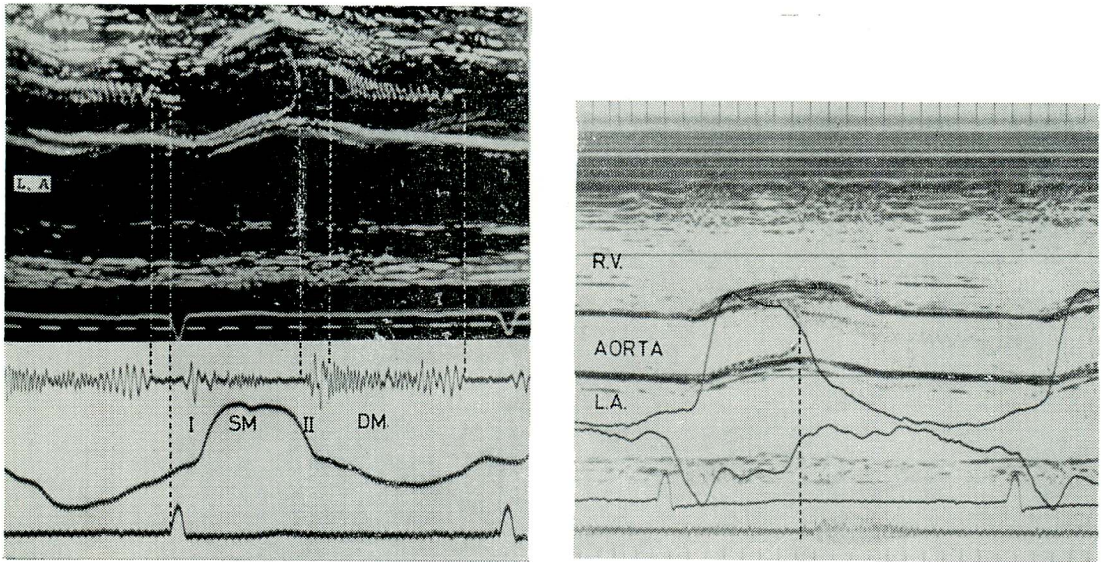


Figure 7. The time relationship between the fluttering of the posterior aortic cusp and the musical murmur on the PCG.

Left figure: High-speed recording of UCG and PCG (low-frequency). Right figure: Polygraphic UCG and other cardiac events. RV, AORTA and L. A. were represented on the UCG. UCG, carotid pulse, apex cardiogram, ECG and medium-frequency PCG were simultaneously inscribed. Note the similarity of the frequency and the timing of both diastolic vibrations seen in the aortic valve movements and PCG.

示しており、left cusp は輝度の強い echo で示され、可動性の低下を示している。また posterior cusp では開放は極めて良好である。しかし、拡張期で閉鎖しているはずの時期に、振幅約 6~8 mm の正弦波状の flutter が認められる。この flutter は right および left cusp、大動脈壁とその周辺部には認められない、僧帽弁前尖には flutter が認められるが振幅は小さく、かつ波形は不規則である (Figure 6)。本例においては、拡張期に楽音様雑音の音源となりうる程度の振動を示す組織部分は、大動脈弁後半月帆と僧帽弁前尖とであり、そのいずれかが音源であると考えられる。

3. 音源 (振動源) の確定

大動脈弁後半月帆あるいは僧帽弁前尖に認められる振動が、楽音様雑音の音源になっているか否かの確定には、弁振動と胸壁上心雑音との音響的性質の間の関連を明らかにすればよいと考えられる。そこでその検討を行なった。まず僧帽弁前尖

に認められる flutter については、これが不規則な波形であり、雑音の開始、終了時期と一致しないことから、音源である可能性は極めて少い。大動脈弁後半月帆の振動について、UCG 多素子記録方式を用いて検討した。Figure 7 に示した如く、fundamental 付近の低い振動数の成分は、胸壁上での心雑音と弁振動とで、開始、終了時点がよく一致し、周波数も拡張期中期は約 100 Hz、後期は 50 Hz でよく一致する。UCG 法では超音波パルスの繰返し周波数が 1000 Hz であるので、理論上約 100 Hz 以下、実際には 70~80 Hz 以下の振動でなければこのような連続した波形としては記録できない。これ以上の高い周波数成分の振動については超音波ドプラ法で測定するほうが便利である。そこで M 系列変調超音波ドプラ法を用い、後半月帆の振動を検討した。その結果は Figure 8 の如くで、周波数分析結果では、弁振動によるドプラ信号の fundamental と harmonic の周波数は、スペクトル心音図上のそれとよく一致す

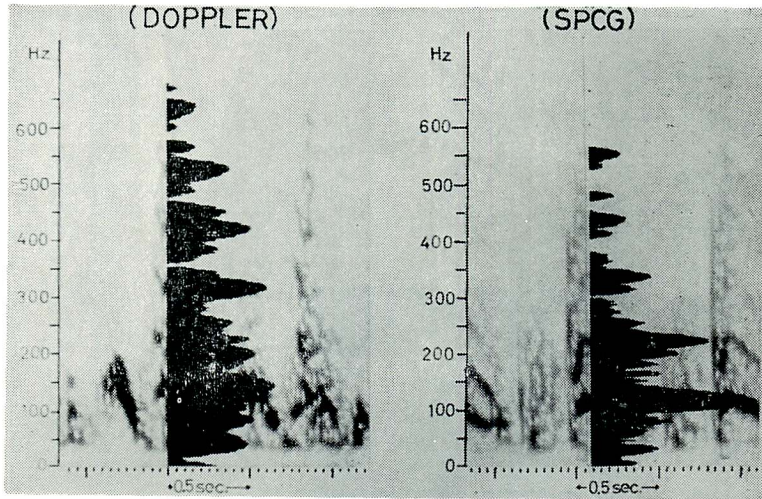


Figure 8. Comparison between the frequency spectrum of the Doppler signals obtained at the semilunar valve area in aorta by the M sequence modulated ultrasonic Doppler method and that of the diastolic murmur recorded on the anterior chest surface. Both the fundamental and harmonics are in good agreement with each other.

る。すなわち、低い成分、高い成分ともに両者はよく一致し、また時間的關係も一致するところから、胸壁上に伝搬された楽音様雑音の音源は、大動脈弁後半月帆であるといえる。また超音波心臓断層法と UCG 法、および M 系列変調超音波ドプラ法との併用法により追求し得た音源位置は、走査支点の位置(第4肋骨間で胸骨縁から約2横指外方の点)からみると、左室長軸を含む断面上、垂直線から頭側へ約18~20°の方向で、体表上から約 10.8 cm 付近のところにある。この音源位置の体表上への投影点は、走査支点から右斜上方約 3.5 cm の所になり、この点は Figure 3 の強度分布心音図上の最強点の位置に全く一致する。上述のような事実は、振動源自体が高調波を含んだ振動をしており、それが体表上に忠実かつ直進的に伝搬されることを示している。また従来かかる楽音様雑音は、器質的变化を生じた弁の後反あるいは石灰化が血流によって振動させられるためと考えられてきたが、実際には可動性がよく、障害の少ない posterior cusp が振動源になりうるという事実が示された。

4. 楽音様雑音の発生機序

本症における楽音様雑音の発生には、いずれにしても血流が関与していることは間違いないと考

えられるので、この血流状況の変化を、M 系列変調超音波ドプラ法と断層法との併用法で検討した。Figure 9 は体表上から 10.8 cm の深さで、左室長軸を含む断層上において、大動脈から拍出路を経て左室中央までのほぼ中央付近における流れの変化をみたものであり、断層像上の白印部で、各番号に示した pattern が得られた。1 および 2 の場所は大動脈弁上部であり、拡張期に逆流とともに弁運動による高調波がみられる。3 を境として、これより拍出路内部ではプラス方向とマイナス方向とに、同時かつ同程度の高さの血流信号が得られており、jet 状の乱流に変化しているのが認められる。この乱流の存在部位と方向とを、超音波入射角度と前胸壁からの距離とを変えつつ検討すると、Figure 10 の如く、弁直下ではほぼ中央付近(10.2~10.8cm)に強い乱流がある。それより心尖部寄りでは後方(10.8~11.4 cm)へと移動しており、僧帽弁前尖背面向かい、これに沿う方向をとっている。その結果として、本例では明らかな僧帽弁 flutter と弁の早期閉鎖が UCG 上に認められている。

この乱流存在位置を詳細に検討した結果を模式的に示すと、Figure 11 の如くである。本症で

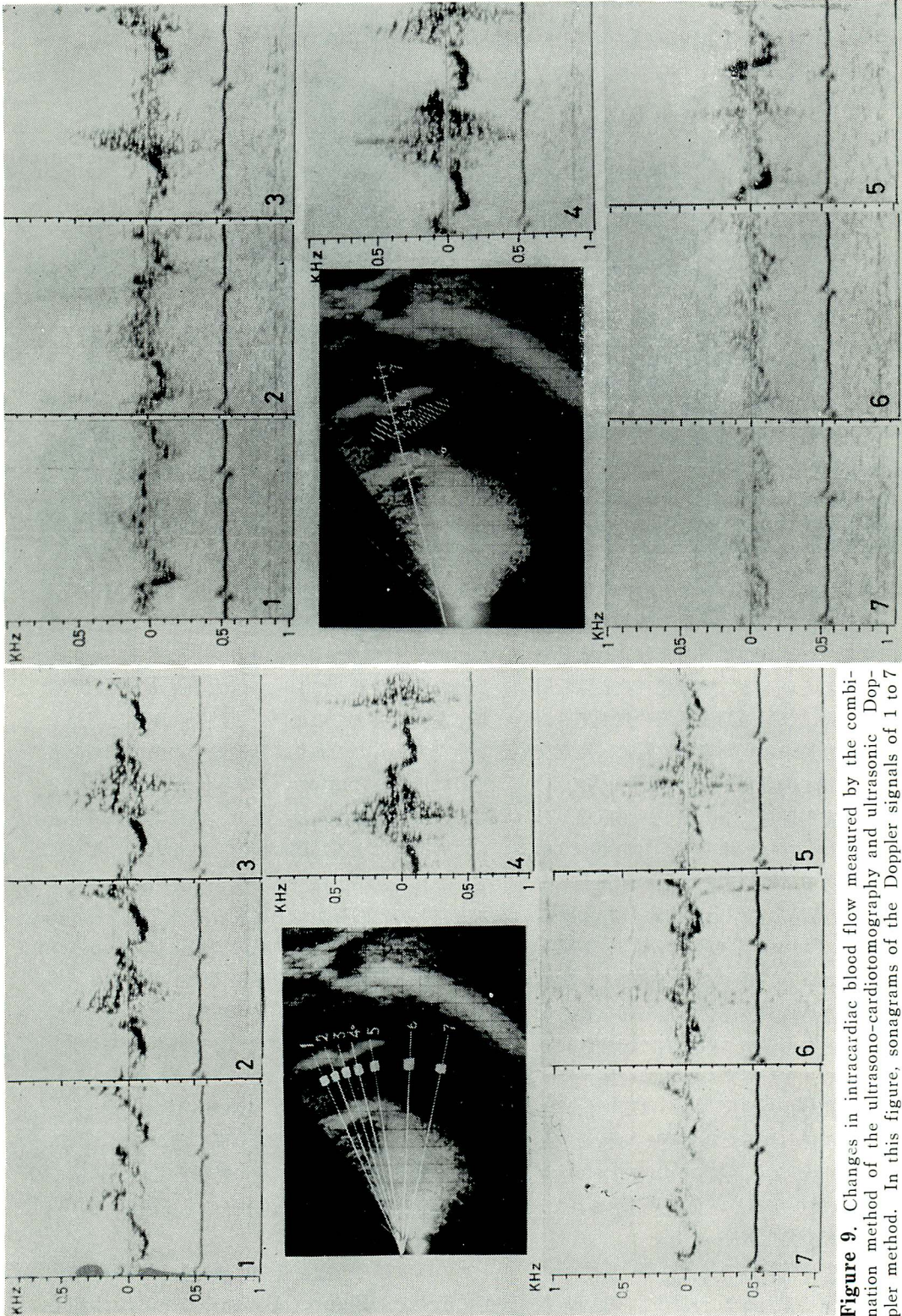


Figure 9. Changes in intracardiac blood flow measured by the combination method of the ultrasono-cardiotomography and ultrasonic Doppler method. In this figure, sonograms of the Doppler signals of 1 to 7 are obtained at the area shown by the white dots of 1 to 7 illustrated on the ultrasono-cardiotomogram. Frequency component above zero KHz shows a reverse flow and below a forward flow, and the reverse flow are recognized at the areas of 1 and 2 and the turbulent flow at the area of 3 to 5.

Figure 10. The patterns of the intracardiac blood flow measured by changing the distance from the chest wall to the measured point.

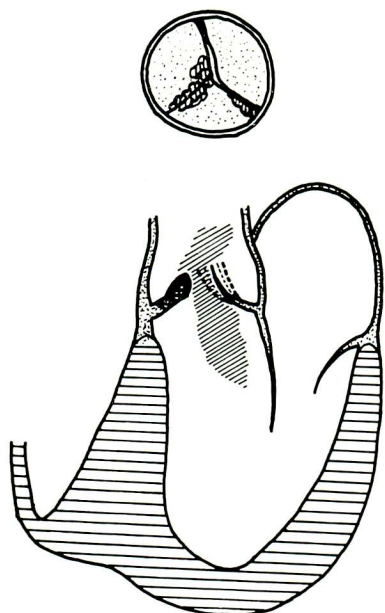


Figure 11. Schematic illustration of the site and direction of the regurgitant flow in the left ventricular outflow tract. Top figure shows the schematic figure of the changes of the aortic valve suspected from the findings of the ultrasono-cardiotomograms.

は自覚的に大きな所見がないため、手術等で弁尖の器質的变化の確認は行っていない。しかし上述の如き所見を総合すると、模式図に示した如き場所に石灰化ないし癒痕化があり、ほぼ中央部付近で逆流が生じ、下図の斜線の如き方向と場所に jet 状の乱流が生じているといえる。すなわち、逆流は弁接合部から斜め後方に、僧帽弁弁尖背面に向かっており、この逆流は posterior aortic

cusps に沿って平行に進む形で生じていると判断できる。後半月帆に対するかかる方向の逆流は、弾性を保持した後半月帆が拡張期に張られた状態になっているところに、その先端および半月帆の走行に平行な流れが加わることになるので、半月帆は管楽器の reed の如く作用して振動し、楽音様雑音を生じていると考えられる。

結 び

大動脈弁閉鎖不全症における拡張期楽音様雑音の発生については、後反せる大動脈弁、石灰化、あるいは有茎疣状物が振動源になっていると考えられていたが、症例によっては、比較的柔軟性を保持している後半月帆が音源になっていることがあることを示した。そして変形ないし硬化した弁尖は、むしろ逆流流の流れの方向を決定付けるための働きをし、必ずしも音源とはならないと考えられた。また心音図の理論的解析のためには、あらゆる種類の心音図を利用して、その音響学的性質を明確に把握することが必要であり、音響学的手法を駆使することで、非観血的に重要な診断情報を得ることができると示した。

文 献

- 1) McKusick VA: Cardiovascular Sound in Health and Disease. Williams & Wilkins Co. Baltimore, 1958
- 2) 田中元直, 他: 臨床心音図 1: 159, 1971
- 3) 田中元直, 他: 呼吸と循環 16: 939, 1968
- 4) 田中元直, 他: 心臓 2: 119, 1970
- 5) 田中元直, 他: 日超医論文集 19: 41, 1971
- 6) 上田英雄, 他: 臨床心音図学, 南山堂, 東京, 1970

討 論

山本(九州厚生年金病院内科): 今お示しになった musical murmur の図をみてみますと、early diastolic の成分は high-pitched なのに、後の成分、つまり late diastolic の方は、どっちかという low-pitched のように思いまし

た。つまり雑音自体の周波数に時期的なずれがあったようです。それはいろいろな波特性の心音図を同時に記録しなかったための問題なのか、それとも高調な前成分と低調な後成分とで、それに関与する因子が違っているのかという点について、

先生のお考えをお聞かせ願いたいと思います。

演者 (田中) : 胸壁上から記録したスペクトル心音図をお見せしたわけですが、それでおわかりのことと思いますが、拡張期の始めのころは100ヘルツ以上の振動になっており、それが拡張期の後半のほうでは50ヘルツぐらいに落ちております。それを低音心音図で撮りますと、同じように拡張期の始めのほうが100ヘルツぐらい、あとのほうが50ヘルツになっており、またUCGで数えてみても、だいたいその位の振動数になって、非常によく一致しております。ただそれがどうしてそうなるかということになりますと、明解なお答えができないのですが、1つの理由は、おそらく血流速度の関係じゃないかというふうに考えております。もう1つの理由は、拡張期に心臓の位置が少しずつ変わって来ますので、そのようなことが血流の方向に変化を与えているからではないか、というふうに考えております。

坂本 (東大第二内科) : たいへん綺麗なスライドをお見せ戴いてびっくりしたんですけれども、こういうmusical murmur はなかなか音源が確かめられなくていつも困るのですが、あまり見事な研究結果で、2度びっくりしました。1つ理解し難いことは、ちょうどいい症例といえますか、この会の機関誌である臨床心音図の2号目の表紙(Vol 1. No. 2)に使った例ですけれども、そういうようなmusical murmur で、記録する場所で振幅の時間的推移が違うという現象がみられることがあります。とくに心尖部でpresystoleにmusicalの成分がちょっと大きくなるのは、僧帽弁が振動する成分が関係していると思いますし、Zuckermann (Zeit Kreislaufforsch 46: 477, 1957) もそのように書いておりますけれども、もっと近くで、たとえば第2肋間と第3肋間で、雑音のtime courseが違うというような場合は、どういうふうに考えたらよろしいでしょうか。

演者 : 私も実際にこの患者を3回ほど時期をおいて撮ってみたんですが、確かにそういう記録部位による波形の変化があるんです。どうしてそう

なるかということについて、一番考えられそうなことは、雑音の伝播性ではないかと思います。こういう場合には、どうしても音源が2つあると考えたいところなんです。従来の灌水様雑音のような逆流性雑音と、それから楽音性雑音の音源が2つある。それがそのときの逆流の仕方によって、騒音性雑音が大きくなってくると、どうもあとのほうにまで影響してくる。楽音様雑音が強いと前のほうだけに出てくるようです。ですからaortic stenosisでみられるGallaviridin現象というのが、ちょうど収縮期における騒音性雑音と楽音様雑音の解離現象をみているように、こういうような拡張期雑音のときでも、楽音様雑音があれば、何かそういった解離現象が起こりうる可能性があるんじゃないかと思うわけです。結局、楽音様雑音と騒音性雑音の組み合わせ方、それによって、普通の心音図で書かせると、楽音成分が拡張期の後のほうまで出たり、前のほうで終わったり、いろいろなvarietyが出てくるんじゃないか、という想像をしているんです。

坂本 : 1人の症例で、全くsimultaneousに、胸壁上の数箇所から同じフィルター特性で、いっぺんにいくつかの心音図を撮った場合、記録された楽音様雑音の振幅の時間的経過が違うというのは、やはり雑音が伝達してくる時の性状で、あるところではdämpfenされ、あるところでは逆に共振してかえって大きくなるとか、そういうようなことが原因と考えたほうがいいんですか。

演者 : 何かそういうような感じを受けているんですけれども.....

坂本 : presystoleで振幅がより大きくなる例がありますね。あれはmitral valveが振動するというように解釈してよろしいんですか。

演者 : さあ、どうでしょうか。この症例の場合には、さきほどもちょっと申し上げたんですが、拡張期の非常に早い時期に僧帽弁の閉鎖があるんですね。スライドは枚数の都合で省きましたが(Figure 6参照)、僧帽弁が開いてからすぐにUCG上にフラッターが乗ってそのすぐあとに弁が閉じた位置になり、そのままずっと閉鎖に移行

してしまうという UCG を示しているんですね。そうしますと、どうも僧帽弁の動きがあのほうの楽音様雑音に反映されているというのは考えにくい。しかも波形が楽音性で、非常にきれいに出るという点からみると、雑音の伝播性ということ、一番中心に考えざるをえないんじゃないか、というふうに考えておりましたけれども。

坂本：Zuckermann が M \ddot{o} wenschrei の剖検例で、mitral valve に aneurysm があった例

を報告しているんですね。そのさい左房側に突出した aneurysm が何か特殊な振動を起こして、presystole の musical murmur をおこすのだらうと書いておりますが、そういう場合、騒音性雑音は起こるかもしれませんが、どうしても musical の雑音が起こらなければならないという理由がないものですから、その考えはちょっとおかしいのではないかと思っておりました。それで先生のお考えが大変参考になりました。