

健常者における房室弁開放
時相の心エコー図学的検討

Echocardiographic study
of mitral and tricuspid
valve openings in nor-
mal subjects

羽田 勝征
坂本 二哉
天野 恵子
山口 経男
石光 敏行
竹中 克

Yoshiyuki HADA
Tsuguya SAKAMOTO
Keiko AMANO
Tsuneo YAMAGUCHI
Toshiyuki ISHIMITSU
Katsu TAKENAKA

Summary

The purpose of the present echocardiographic study is to determine the timing and order of both mitral and tricuspid valve openings in normal subjects and to provide the basic data for evaluating diastolic hemodynamics in cardiac patients.

The subjects consisted of three groups: (i) 30 normal young cases in which the opening of both valves was recorded, (ii) 8 cases with idiopathic atrial fibrillation in which the relationship between preceding R-R and early diastolic intervals was determined, and (iii) 10 cases in which the effect of the direction of the ultrasonic beam on mitral valve echograms was evaluated. By applying dual echocardiography or phonoechocardiography, the interval from the aortic component of the second heart sound (IIA) to the point of maximal anterior opening (E), the isovolumic relaxation period from IIA to the onset of opening (D') and opening slope of the anterior leaflet were measured in each valve echogram.

Careful recording was mandatory for measurements because even slight angulation of the transducer toward the mitral ring induced the timing of D' point and opening slope to vary. Respiratory variation was observed on the movements of both valves. During inspiration mitral valve opening occurred further from IIA or did not change in timing, but the tricuspid valve opened prematurely. During expiratory phase, the mitral valve opened nearly simultaneously with the tricuspid valve. The measurements were: IIA-E interval = 99.8 ± 13.1 (mean \pm SD), 104.5 ± 20.6 msec; IIA-D' interval = 47.2 ± 9.9 , 48.3 ± 13.1 msec; opening slope = 301 ± 76 , 264 ± 59 mm/sec, in mitral and tricuspid valve echograms, respectively. In cases with atrial fibrillation, these measurements were nearly constant regardless of varied preceding R-R intervals in 8 mitral and in one tricuspid valve echograms.

It was expected from observing the effect of R-R intervals on valve opening in a case of valvular disease that diastolic hemodynamics could be evaluated by analysing the timing and order of both valvular openings, especially in relation to the preceding R-R intervals in atrial fibrillation.

東京大学医学部 第二内科
東京都文京区本郷 7-3-1 (〒113)

The Second Department of Internal Medicine,
Faculty of Medicine, University of Tokyo, Hongo
7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113

Presented at the 21st Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, September 14-15, 1980
Received for publication August 17, 1981

Key words

Dual echocardiography
intervals

Phonoechocardiography

Isovolumic relaxation period

Diastolic time

はじめに

房室弁の開放は一般に三尖弁, 僧帽弁の順に生じるとされている¹⁻⁴⁾. この開放順序の問題はおもに僧帽弁膜症で両房室弁の開放音が存在する例⁵⁾や, 人工弁置換例⁶⁻⁸⁾でのみ, 体表面からの心音図記録により決定されていたにすぎない. 健常例をはじめ, 開放音の存在しない例での房室弁開放時相については, 決定方法の欠如から未解決のままであった.

近年, 心エコー図法の導入により, 各弁の開鎖と開放の観察が可能になり, 収縮期, 拡張期時相が測定されるようになったが, 両弁の開放運動に

ついで分析はまだ不十分である. 最近, Reddyらは健常者で三尖弁が僧帽弁より先に開くことを心エコー図にて観察しているが, 詳細は不明である⁹⁾. 一方, 日常の心エコー図検査において, 三尖弁の開放が遅れる例を経験することもまれでない (Fig. 1).

以上の観点から, 本研究は心エコー図法により健常者の僧帽弁, 三尖弁開放時相と開放順序を決定し, 今後の各種心疾患における両房室弁開放運動の分析に役立てようとするものである¹⁰⁾.

対象ならびに方法

対象は 1) 僧帽弁と三尖弁, 両弁の記録が可能

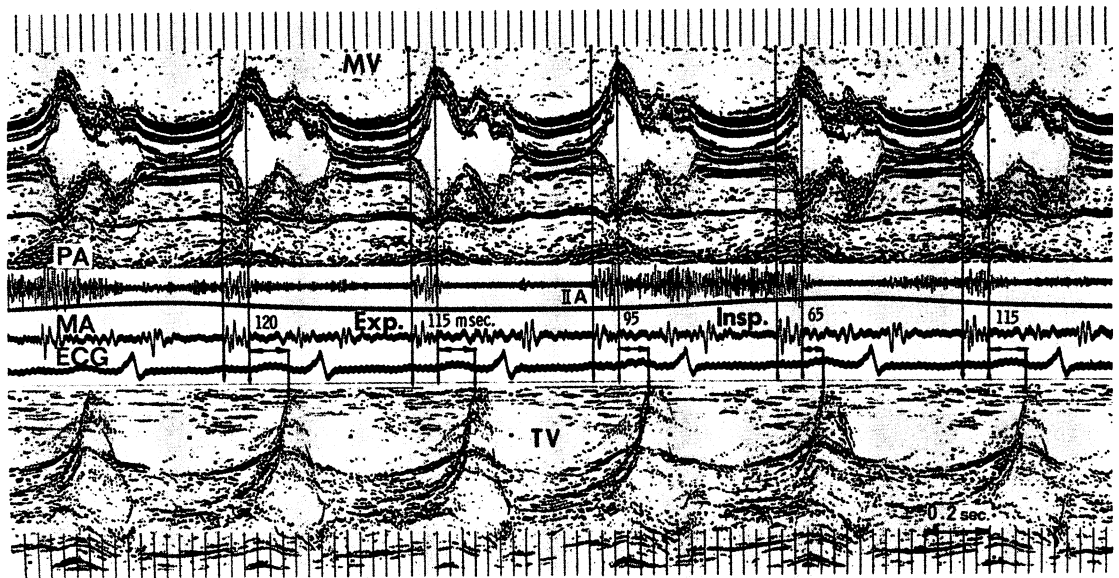


Fig. 1. Dual echocardiogram from a case of congestive cardiomyopathy (courtesy of Dr. Ernest Craigie).

It is shown that tricuspid valve (TV) has a delayed opening comparing to that of the mitral valve (MV), and that inspiration (Insp.) induces TV opening to occur slightly earlier but has no effect on MV opening. Paradoxical pulse is not observed in this case. Figures show the time intervals between both maximal opening points of MV and TV.

PA and MA=phonocardiogram at the pulmonary and mitral area; Exp.=expiration; IIA=aortic component of the second heart sound.

だった健常者 30 例 (年齢 9~43 歳, 平均 13.8 歳), 2) 孤立性心房細動の 8 例 (28~60 歳, 平均 38.6 歳), および 3) ビーム方向による僧帽弁開放動態の変化を検討しえた健常者 10 例 (20~46 歳, 平均 33.9 歳) の計 48 例である. 狭心症, 高血圧, 心拡大のある例は対象に含まれていない.

使用した超音波装置は Aloka 製 SSD 110, 800 であり, 心音図とともにストリップチャートにて記録した. 紙送り速度は毎秒 50 か 100 mm である. Dual echocardiogram の記録には

Aloka 製 SSD 800 を用いた. I 群における僧帽弁, 三尖弁の開放時相と順序の決定は以下のごとく行った. 12 例については, 僧帽弁, 三尖弁が同時にとらえられる任意の断面を Fig. 2のごとく選び, 両弁前尖の先端を通過する 2 本のビーム方向を定め, dual echocardiogram を記録した. 残り 18 例については, 通常の M モード心エコー図にて心電図上, 先行 R-R 間隔の等しい部位での僧帽弁, 三尖弁エコーを比較した. 計測に用いた房室弁はいずれも最大振幅の得られた前尖であ

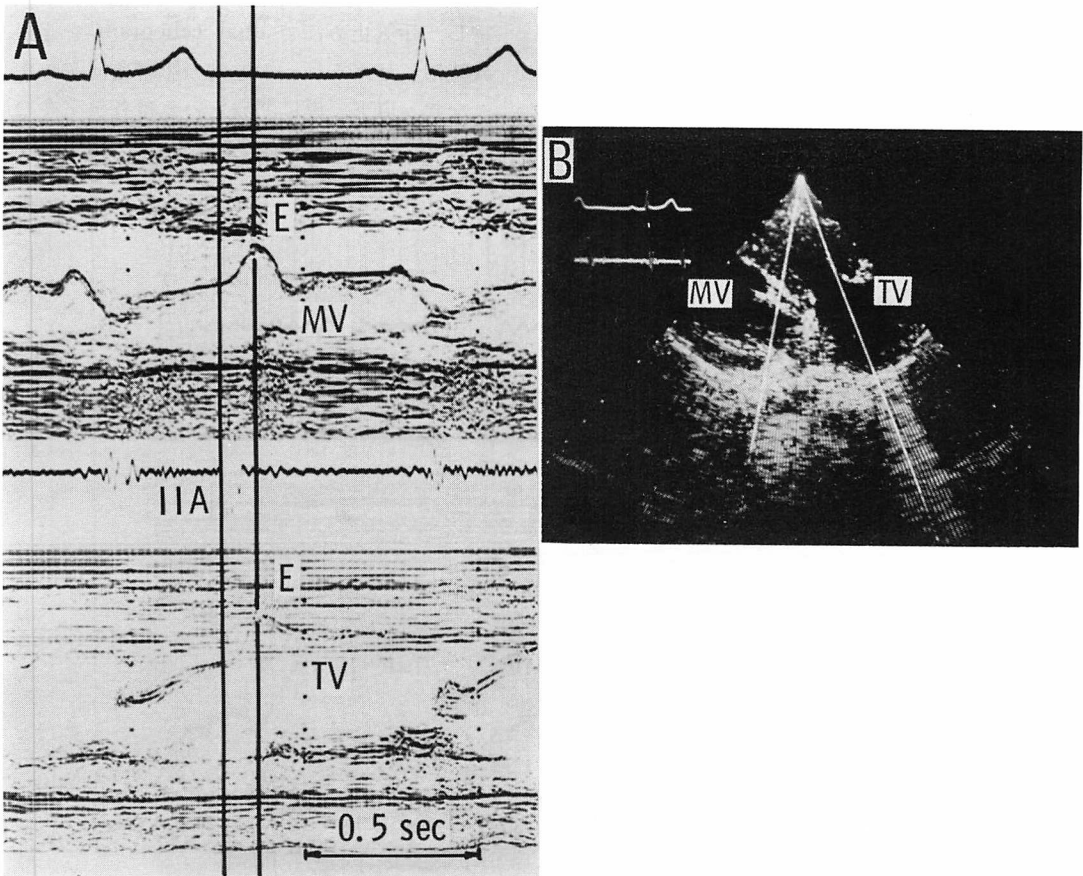


Fig. 2. Representative dual M-mode (A) and two-dimensional (B) echograms showing the determination of the timing of both valvular openings.

Two straight lines in a parasternal three-chamber view (B) reveals the direction of the two ultrasonic beams for recording dual echograms of MV and TV (A). It was recorded from a 10-year-old healthy boy. It is shown that both valves open simultaneously in this case.

り, 特に三尖弁エコーについては最大開放点, E の検出に留意した.

計測方法は Fig. 3 のごとく, 両房室弁について行った.

1) IIA-E 間隔: 同時記録した心音図の II 音大動脈成分 (IIA) から僧帽弁 (MV), 三尖弁 (TV) エコーの E 点まで (IIA-ME, IIA-TE).

2) 開放スロープ (opening slope): 接線法にて求めた.

3) IIA-D' 間隔: 開放する房室弁前尖エコーが接線と離れる点を D' と定め, IIA-MD', IIA-TD' を測定した. D' 点は弁尖が離開する点 D よりやや遅れ, IIA-D' 間隔は等容拡張期 (isovolumic relaxation period: IRP) に相当する時間である¹¹⁾.

また, 同時記録の心音図にて II 音肺動脈成分

(IIP) が同定できない時は, 心エコー図と相前後して記録した多チャンネル誘導心音図を用い, 先行 R-R 間隔の等しい部位で II 音分裂間隔 (IIA-IIP) をも測定した.

対象とした I, II 群の 38 例中, dual echocardiography を施行した 12 例と心房細動 8 例を含む 26 例と III 群の 10 例は, prospective study によるものであり, 残り 12 例は過去の心エコー図記録から抽出したものである.

III 群については, 最大解放の得られる僧帽弁前尖の先端部とそれよりやや弁輪部寄りの 2 点を通過するビーム方向を断層心エコー図装置にて設定し, 呼吸止めにて dual echogram を記録, 開放時相に与えるビーム方向の影響を検討した.

なお, 以下, 単に開放といえは各房室弁の最大開放 E 点を意味するものとする.

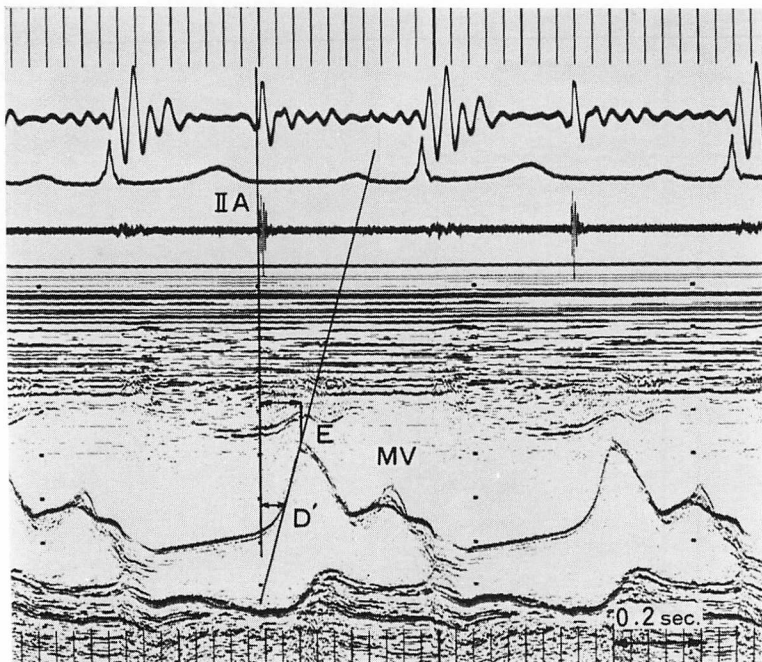


Fig. 3. Measurements technique in the normal mitral valve echogram (MV).

E is the point of maximal opening and D' is the point of the onset of rapid anterior motion determined by tangent line (opening slope). The interval from the aortic component of the second heart sound (IIA) to D' is left ventricular isovolumic relaxation period. The same measurements are made also on the tracing of the tricuspid valve echogram.

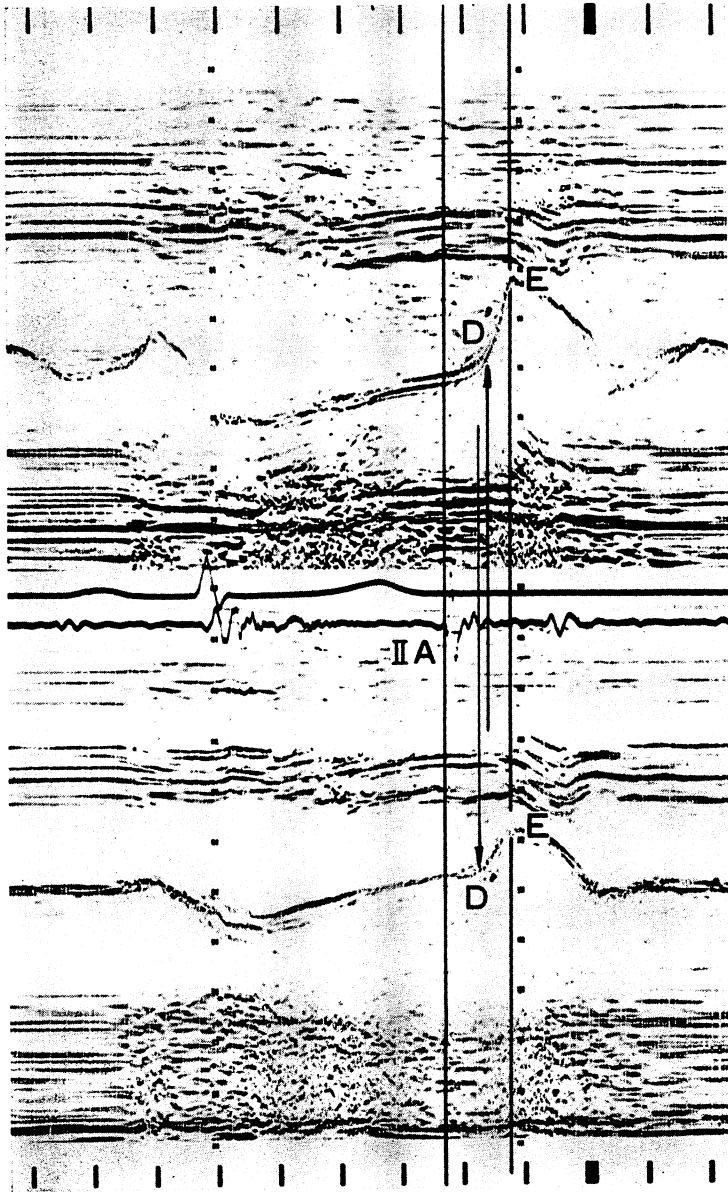


Fig. 4. Dual echocardiogram showing the effect of the direction of the ultrasonic beam on diastolic time intervals of normal mitral valve echogram.

It is taken from a 28-year-old male. Upper recording reveals the standard echogram and lower recording is made by angulating the another beam toward the mitral ring. Both points E occur simultaneously but points D' are not coincident, 15 msec apart in this case.

結 果

1. ビーム方向の計測に与える影響

E 点出現のタイミングはビーム方向の影響を受けなかったが, 開放スロープは弁輪に近づくほどゆるやかとなり, D' 点は早期に出現する傾向にあった (Fig. 4).

したがって, 以下の計測は最大開放の得られた心エコー図で行った.

2. 僧帽弁, 三尖弁エコーの呼吸性変動

Dual echocardiography により, 両弁の呼吸性変動を検討し得たのは2例のみである (Fig. 5). 吸気により僧帽弁エコーの開放スロープは2例とも低下し, E 点は IIA より遠ざかるか, 不変であった. 一方, 三尖弁エコーの開放スロープは吸気で急峻化し, E 点は2例とも IIA に近づいた. したがってこの2例では僧帽弁, 三尖弁の開放順序は呼気で前者が早く, 吸気では逆転した. 一方, 僧帽弁エコーのみの呼吸性変動を検討した他の6例については, 吸気により前尖の開放は遅れ

るか (最高 30 msec) 不変であった. 以上の事実から, 以下の計測はすべて平静呼吸時の呼気止めの心エコー図を用いて行ったものである.

3. 健常者における 僧帽弁, 三尖弁エコーの 開放時相と開放順序の決定

各計測値は Table 1 に示してある. IIA より僧帽弁, 三尖弁エコーの各 E 点までの時間はそれぞれ 99.8 ± 13.1 (mean \pm SD), 104.5 ± 20.6 msec である. 開放開始点 D' もほぼ同時であったが, IIA-IIP 間隔 26.8 msec を考慮すると,

Table 1. Normal values of early diastolic time intervals in normal subjects

	MV	TV
IIA-E	99.8 ± 13.1	104.5 ± 20.6 msec
IIA-D'	47.2 ± 9.9	48.3 ± 13.1 msec
Opening slope	301 ± 76	264 ± 59 mm/sec

n=30; age= 13.8 ± 6.5 years old.

Heart rate averaged 73.1 ± 9.9 /min. and IIA-IIP interval is 26.8 ± 7.4 msec.

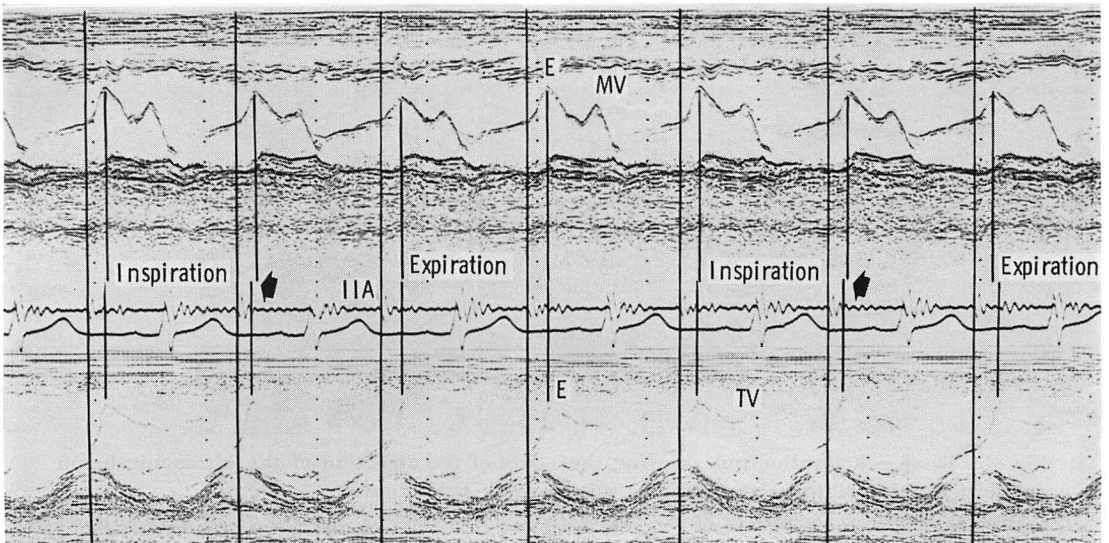


Fig. 5. Dual echogram demonstrating the respiratory effect on the movements of both atrioventricular valves in a normal subject.

The tricuspid valve (TV) opening which occurs following that of mitral valve (MV) during expiration is shown to become reversed with inspiration (arrows).

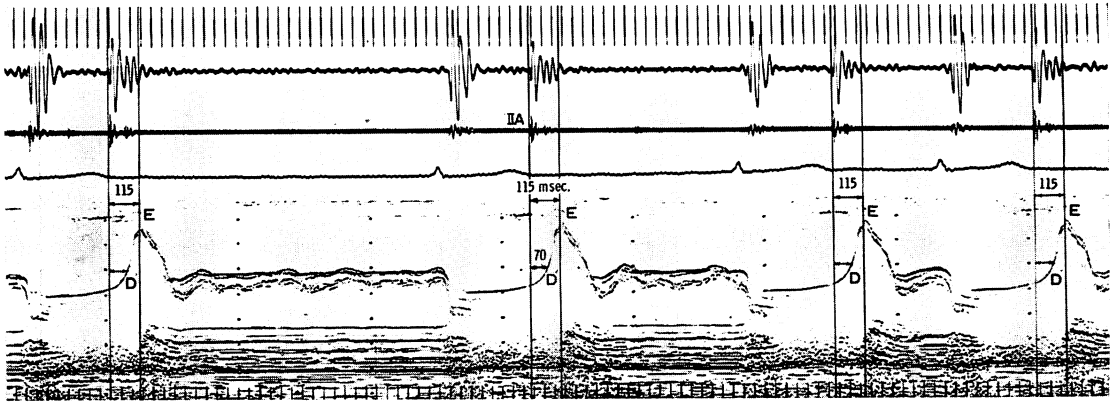


Fig. 6. Phonoechocardiogram of the mitral valve from a case with isolated atrial fibrillation.

The IIA-E and IIA-D' intervals are constantly 115, 70 msec. respectively and have no correlation with the length of the preceding R-R intervals throughout one cycle of the expiratory apnea. It should be noted that opening slope is also constant.

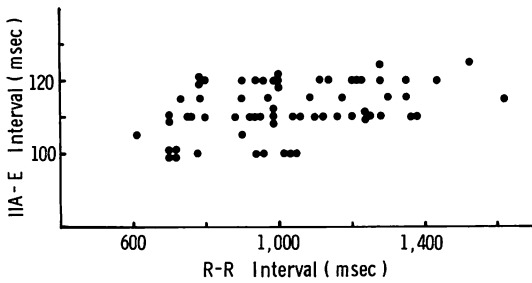


Fig. 7. Relationship between the IIA-E and preceding R-R intervals determined from mitral valve echograms of the same case as in Fig. 6.

The IIA-E interval is nearly constant within the range of 100 to 125 msec. regardless of the variation of the R-R intervals.

左心 IRP は右心 IRP よりも有意に延長していた。両弁の開放スロープには有意差がなかった。

4. 心房細動時の先行 R-R 間隔と開放時相との関係
1 回の呼気相における IIA-ME, IIA-MD' 間隔は先行 R-R 間隔の変動にかかわらずほぼ一定であったが、最高 25 msec の変動をみた症例もあった (Figs. 6, 7)。開放スロープもほぼ一定であった。三尖弁エコーが記録された孤立性心房細動の 1 例でも、先行 R-R 間隔の長さとは無関係

に三尖弁エコーの諸計測値はほぼ一定していた。

考 案

健常例で僧帽弁、三尖弁のどちらが先に開くかは大きな問題である。一般には三尖弁が先行するとされ、また、そのような模式図が成書に記載^{1,2,4)}されているが、今日まで系統的検討はなされていない。この問題に関しては先行に述べた Reddy ら⁹⁾のほか、Arevalo と Sakamoto らの報告¹²⁾がある。彼らは心カテーテル検査で異常を認めなかった症例について、II 音より心室、心房圧交差点までの IRP を測定し、左心の IRP が右心のそれよりも長いことを報告している (81.6 msec vs 49.2 msec)。しかし、II 音分裂間隔 30~40 msec を考慮すれば、両房室弁の開放は同時であろうと推論している。

今回の我々の成績から明らかなごとく、心エコー図法で求めた IRP についても左心の方が長く、開放はほぼ同時であった。Arevalo らは圧交差後に始まる僧帽弁開放の運動については考慮していないが、左心圧・左房圧交差より D' 点までのズレを 27~30 msec としても¹¹⁾、我々の左心 IRP の値とは一致しない。一般的に報告者により、IRP の値は一定していない。心カテーテル法で

は先に述べたごとく 81.6 msec¹²⁾, 心尖拍動図の O 波を用いたもので 103 msec¹³⁾, パルス・ドプラー法で 60~110 msec¹⁴⁾, 心エコー図法で 30~120 msec¹¹⁾, 60.9 msec¹⁵⁾, 58 msec¹⁶⁾ 等の値が得られている。我々の値と一致しないのは定義や測定方法だけの問題ではなく, 年齢と記録時の心拍数の影響かも知れない。IRP におよぼすこれらの影響については結論が得られていない。Harrison らは年齢とともに左心 IRP は増加するとし¹⁷⁾, Benchimol らは IRP は年齢の影響を受けず, 心拍数の増加で減少すると報告している¹³⁾。また宮武らは心拍数によっては不変で, 年齢とともに増加するとしている¹⁴⁾。我々の症例は両房室弁の検出されることを条件としたため, 平均年齢 13.8 歳とほとんど若年者に限られていたことは考慮しておく必要がある。

最近の Lewis ら¹⁶⁾の心エコー図法を用いた成績では, わずか 10 例の健常例であるが心拍数の増加に従い, IRP もわずかに延長するという。しかし, 彼らは年齢との相関には触れていない。

呼吸による房室弁運動の影響はあまり注目されていないが, 無視し得ないものである。心エコー図法にて両房室弁を同時に呼吸を通じて記録することはきわめて困難であるが, 今回の 2 例の観察から明らかなごとく, 健常例の両房室弁の開放順序が時に絶対的でないことが明らかになった。我々はルチンには呼吸止めの記録も行っているが, 房室弁をシングルビームで個々に記録するさい, 同一の呼吸相であるという保障はないため, 両弁の dual-echocardiography を用いない限り, 開放時相と開放順序にわずかな変動があることは十分熟知しておく必要がある。

心エコー図計測上, 留意すべきもう 1 つの点は D' の同定であろう。両弁尖の離開する D 点は全例で同定可能ではなく, 我々は便宜上 D' 点を開放開始点としたが, 呼吸によりビーム方向と心臓との位置関係がズレることから, 時相の変動する可能性がある。吸気時心臓が足側に移動し, したがって, エコービームが相対的に僧帽弁弁輪部

寄りを通る結果になるのは日常経験されるからである。しかし, Fig. 4 で明らかなように, 最大開放 E 点に関する限り, ビーム方向の影響は無視することができる。

以上, 心エコー図法により時相分析を行うには, 左室, 右室の dimension のみならず¹⁸⁾, 僧帽弁, 三尖弁エコーにおいても呼吸性変動を十分に評価する必要があることを示すものである。今回の我々の所見, すなわち吸気時三尖弁が早く開き, 僧帽弁が遅く開くという事実は血行動態的にも説明可能と思われる。健常例では吸気により収縮期圧, 脈圧ともわずかに小さくなるが, 収縮性心膜炎や心タンポナーデではその変動が大きく, 奇異脈といわれる現象が観察されることがある¹⁹⁾。この時, 吸気時僧帽弁の開放が遅れ, 左室駆出時間が短縮することはすでに報告されており²⁰⁾, また, 心不全時に三尖弁開放が吸気により早まることも時に観察されている (Fig. 1)。これらの事実により, 健常例にあっても, 収縮性心膜炎や心不全のさいの呼吸による血行動態上の変化が, 程度の差はあれおこりうるものと思われる。吸気により体静脈から右心へ, したがって三尖弁口への静脈環流が増加するという生理的条件下で, 三尖弁開放が早くおこるのであろう。一方, 左心系にあっては, 吸気時胸腔内の陰圧が強まり, 肺血管床への血液のプーリングがおこることから, 一回拍出量が減少すること^{18,21)}は知られており, 奇異脈時と同様な現象が僧帽弁エコーにも反映されるものと解される。

一般には吸気時 R-R 間隔は早くなるが, この変化による房室弁開放の影響は考えにくい。なぜなら, 孤立性心房細動で明らかなように, 先行 R-R 間隔の変動によらず, 開放時相がほぼ一定だからである (Figs. 5, 6)。

心房細動における房室弁開放運動の分析は, 今後, 心疾患の心機能評価の一指標になるものと思われる。この意味で次の症例は示唆に富んだエコー所見を呈している。Fig. 8A は 40 歳, 女性の僧帽弁エコー図である。僧帽弁狭窄症のため過去

に交連切開術をうけており、現在、軽い心不全を有している。同時記録の心音図から明らかなように、三尖弁開放音は僧帽弁開放 (E) に先行しており、また IIA-T-OS 間隔が先行 R-R 間隔と正の相関をもっていることは注目しなければなら

ない。すなわち、先行 R-R の長い心拍の後では IIA-T-OS は延長し、先行 R-R の短い心拍の後では短縮していることである。これは僧帽弁狭窄時における先行 R-R 間隔と IIA-M-OS との関係と同一のものであり²²⁾、拡張期の右房・右室圧

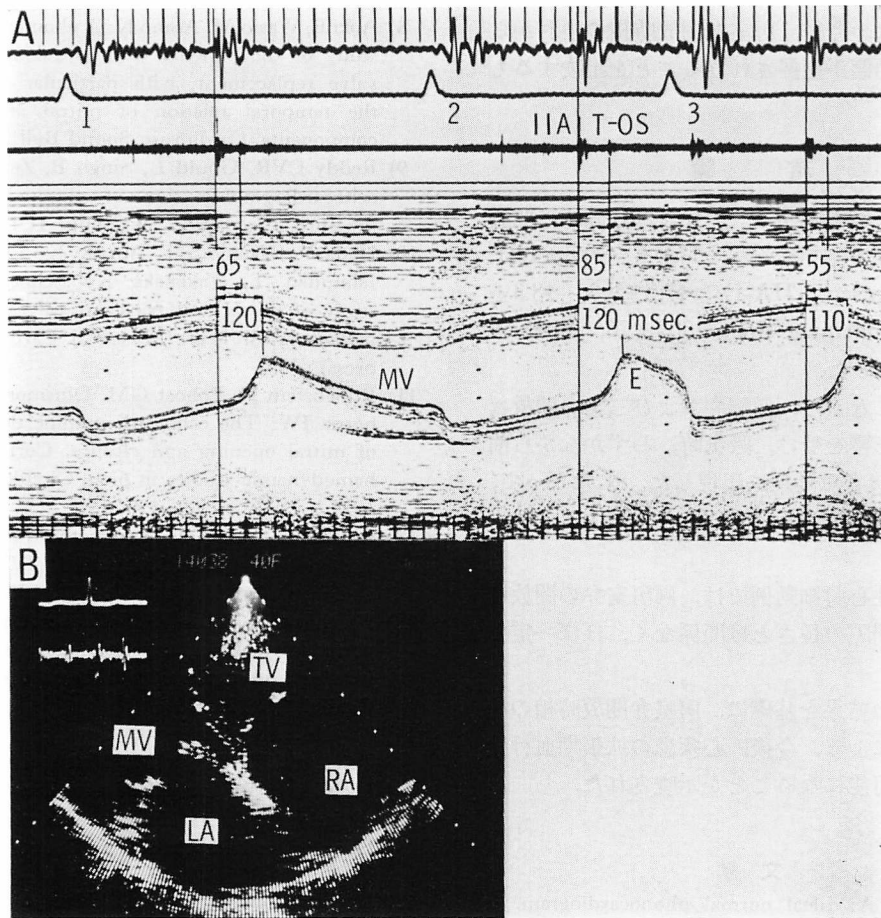


Fig. 8. Phonoechocardiogram (A) and two-dimensional (B) echocardiogram from a 40-year-old female with mitral and tricuspid valve disease.

The mitral valve echogram shows stenotic pattern reflecting rheumatic mitral stenosis with previous commissurotomy. Tricuspid opening snap (T-OS) is observed to precede that of the mitral valve (E). It should be noted that the length of IIA-T-OS interval has a positive relationship with that of the preceding R-R interval. IIA-T-OS of the heart beat, 3 after the shorter preceding R-R interval becomes abbreviated to 55 msec. comparing to 85 msec. of the beat, 2 after the long diastolic interval. On the other hand, left-sided corresponding interval (IIA-ME) does not vary so much. This finding appears to suggest the presence of significant tricuspid transvalvular pressure gradient comparing to probably mild mitral pressure gradient. Panel B is a parasternal four-chamber view demonstrating the stenosis of both mitral and tricuspid valves. Association with tricuspid regurgitation is also confirmed by contrast echocardiography in this case.

較差の存在を裏づけるものであろう。事実、この症例は断層心エコー図, Fig. 8B で明らかのように、三尖弁狭窄が確認されている。なお、この症例の先行 R-R 間隔と IIA-M-OS (IIA-E) 間隔との関係は過去の交連切開術による左房圧低下を反映して、右心系ほど著明なものではない。

この症例は、今後、房室弁開放時相の検討から拡張期血行動態が把握されうることを示唆するものである。

結 論

1) 健常者の僧帽弁、三尖弁はほぼ同時に開放した。開放時相はそれぞれ、IIA-E=99.8±13.1, 104.5±20.6 msec, IIA-D'=47.2±9.9, 48.3±13.1 msec, opening slope=301±76, 264±59 mm/sec であった。

2) しかしながら、僧帽弁および三尖弁開放は呼吸による影響を受け、吸気時、わずかながら前者は遅れ、後者は早期に出現した。したがって、健常者では開放順序が呼吸により逆転することがあった。

3) 孤立性心房細動例では、両房室弁の開放は先行 R-R 間隔の長さとは関係なく、ほぼ一定であった。

4) 以上の結果を基礎に、房室弁開放時相の検討することにより、今後、心疾患の拡張期血行動態の評価が可能になることが示唆された。

文 献

- 1) Leatham A: Ideal normal phonocardiogram. *in* Auscultation of the Heart and Phonocardiography. 2nd ed, Churchill Livingstone, Edinburgh, London and New York, 1975
- 2) Irex Medical Systems: Time relationships in the cardiac cycle. Application Notes for Cardiovascular Instrumentation. 2: 4, 1975
- 3) Constant J: Bedside Cardiology. 2nd ed, Little, Brown and Co, Boston, 1976, p 219
- 4) Hurst JW: The Heart. 4th ed., McGraw-Hill Book Co, 1978 plates 1, 2
- 5) Luisada AA, Slodki SJ, Krol B: Double (mitral and tricuspid) opening snap in patients with valvular lesions. *Am J Cardiol* 16: 800, 1965
- 6) Tavel ME: Clinical Phonocardiography and External Pulse Recording. 3rd ed., Year Book Med Publ, Inc, Chicago, 1978, p 303
- 7) Boicourt OW, Bristow JD, Starr A, Griswold HE: A phonocardiographic study of patients with multiple Starr-Edwards prosthetic valves. *Br Heart J* 28: 531, 1966
- 8) Aoki E, Wasio M, Asano K: A phonocardiographic study of the patients with mitral and tricuspid valve replacement, with particular reference to the temporal relation of mitral and tricuspid components. *Cardiovasc Sound Bull* 5: 511, 1975
- 9) Reddy CVR, Gould L, Singh B, Zen B: A new echocardiographic sign of elevated left atrial pressure. *Circulation* 59 (Suppl II): 25, 1979
- 10) Hada Y, Sakamoto T, Amano K, Yamaguchi T, Ishimitsu T, Takenaka K: Echocardiographic study of mitral and tricuspid valves opening in patients with heart disease. *J Cardiography* (in press)
- 11) Rubenstein JJ, Pohost GM, Dinsmore RE, Hart-horne JW: The echocardiographic determination of mitral opening and closure. Correlation with hemodynamic studies in man. *Circulation* 51: 98, 1975
- 12) Arevalo F, Sakamoto T: On the duration of the isovolumetric relaxation period (IVRP) in dog and man. *Am Heart J* 67: 651, 1964
- 13) Benchimol A, Ellis JG, Jolla L: A study of the period of isovolumic relaxation in normal subjects and in patients with heart disease. *Am J Cardiol* 19: 196, 1967
- 14) Miyatake K, Tsuda S, Kawamura S, Ono J, Takahashi Y, Sugita M, Matsuo H, Sakakibara H, Nimura Y: Analysis of a cardiac cycle in cases of ischemic heart disease with the ultrasonic Doppler method. *Cardiovasc Sound Bull* 3: 411, 1973
- 15) Ito M, Fujino T, Kurata E, Kanaya S, Fujino M, Imanishi S, Yasuda H, Ueno T: Isovolumic contraction and relaxation times of the right and left ventricles in normal subjects and in patients with right ventricular overloading measured with bidirectional echocardiography. *Jpn Heart J* 19: 193, 1978
- 16) Lewis BS, Lewis N, Sapoznikov D, Gotsman MS: Isovolumic relaxation period in man. *Am Heart J* 100: 490, 1980
- 17) Harrison TR, Dixon K, Russell RO Jr, Bidwai PS, Coleman HN: The relation of age to the duration of contraction, ejection, and relaxation of

- the normal human heart. *Am Heart J* **67**: 189, 1964
- 18) Brenner JI, Waugh RA: Effect of phasic respiration on left ventricular dimension and performance in a normal population. An echocardiographic study. *Circulation* **57**: 122, 1978
- 19) Darsee JR, Braunwald E: Disease of the pericardium. *in* Heart Disease ed by Braunwald E. WB Saunders Co, Philadelphia, London and Toronto, 1980, pp 1530-1531
- 20) Sakamoto T, Tei C, Hayashi T, Ichiyasu H, Amano K, Hada Y, Serizawa T: Echocardiogram in pulsus paradoxus. Respiration dependent cyclic changes in mitral and aortic valve motion. A case report. *Jpn Heart J* **18**: 883, 1977
- 21) Ruskin J, Bache RJ, Rembert JC, Greenfield JC Jr: Pressure-flow studies in man. Effect of respiration on left ventricular stroke volume. *Circulation* **48**: 79, 1973
- 22) Reference 6) p 72