

低調な大動脈駆出音の成因 および臨床的意義

Genesis and clinical significance of the "low-pitched" aortic ejection sound

香川 哲也
福田 信夫
河野 和弘
奥本 哲生
恵美 滋文
富永 俊彦
内田 知行
河野 智彦
大木 崇
森 博愛

Tetsuya KAGAWA
Nobuo FUKUDA
Kazuhiro KAWANO
Tetsuo OKUMOTO
Shigefumi EMI
Toshihiko TOMINAGA
Tomoyuki UCHIDA
Tomohiko KAWANO
Takashi OKI
Hiroyoshi MORI

Summary

The genesis and clinical significance of the aortic ejection sound with a low-frequency predominance and delayed appearance were studied. This is recorded on the phonocardiogram in some patients with left ventricular dysfunction. Subjects studied consisted of 10 patients with a low-pitched ejection sound and seven patients with an ordinary high-pitched aortic ejection sound. No patients had echocardiographic findings suggestive of organic lesions of the aortic valve. Time relationships among the ejection sounds, aortic valve echograms and carotid artery pulses, and then movements of the aortic valve cusps and non-invasively estimated left ventricular systolic function were compared between the two groups.

Results were as follows:

1. The low-pitched ejection sound:

1) The beginning of the sound was nearly coincident with the onset of the upstroke of the carotid artery pulse and the initial full opening of the aortic valve cusps. 2) The beginning of the ejection systolic murmur followed immediately after the ejection sound. 3) The amplitude of the sound was closely related to the height of the carotid artery pulse in a case of atrial fibrillation.

2. The low-pitched ejection sound vs the high-pitched ejection sound:

1) The onset of the low-pitched ejection sound was significantly delayed. 2) The amplitude and the velocity of the initial opening of the aortic valve cusps were significantly decreased. 3) The pre-ejection period (PEP) was significantly prolonged; the ejection time (ET) was significantly short-

徳島大学医学部 第二内科
徳島市蔵本町 2-50 (〒770)

The Second Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, Tokushima University, Kuramotocho 2-50, Tokushima 770

Received for publication May 13, 1987; accepted June 6, 1987 (Ref. No. 32-5)

ened; and the PEP/ET ratio was significantly increased. 4) Left ventricular dimension increased significantly, and the fractional shortening and the mean rate of circumferential fiber shortening (mean Vcf) of the left ventricle were significantly decreased.

From these results, it was considered that the low-pitched ejection sound occurs in usual association with the opening movement of the aortic valve, and that the diminution of motion energy on initial opening of the aortic valve cusps due to decreased left ventricular contractility may be the main contributing factor in production of the low-pitched quality of this sound.

In conclusion, the aortic ejection sound with low-pitched quality and delayed appearance can be a clinically useful phonocardiographic sign for detecting decreased systolic function of the left ventricle.

Key words

“Low-pitched” aortic ejection sound Echophonocardiography Left ventricular dysfunction Aortic valve echogram

はじめに

大動脈駆出音は大動脈弁に器質的变化を来す疾患や、高血圧症あるいは高心拍出量状態、すなわち甲状腺機能亢進症や貧血などにおいてしばしば認められる。その成因は大動脈弁狭窄では弁の開放に際して生じる弁開放音¹⁻⁵⁾と考えられ、非狭窄例では、左室から勢いよく血液が駆出されることにより生じる大動脈の伸展音^{3,4,6,7)}と考えられている。聴診上での性状は一般に高調で、クリック様に聴取され、心音図上も高調成分に富む。

一方、左室収縮能低下状態においては、高調性駆出音ではなく、低調成分主体の過剰心音を頸動脈波の立ち上がり点付近に認めることがある。

本研究ではこの低調性収縮早～中期過剰心音を大動脈駆出音の一特殊型であると考え、その発生機序および臨床的意義について非観血的検査法を用いて検討した。

対象および方法

1. 対象

研究対象は1984年11月から1985年11月までの間に心音図検査を施行した症例の中で、低調性の駆出音を認めた10例(低調群: 男8名, 女2名, 平均年齢53.7歳)である。対照群として通常の高調性の駆出音を認めた7例(高調群: 男5名,

女2名, 平均年齢49.0歳)を用いた。

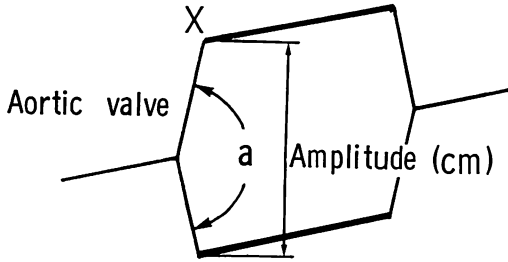
両群の年齢には有意差を認めず、いずれの群も大動脈弁エコーを明瞭に記録し得た例を対象として用いた。また、大動脈弁の器質的变化に関連する因子を除くため、大動脈弁疾患を有する例や断層心エコー図にて大動脈弁のエコー輝度が明らかに増強を示した例は除外した。

基礎疾患としては、低調群が拡張型心筋症6例、高血圧性心臓病2例、陈旧性心筋梗塞1例、虚血性心臓病1例で、高調群が高血圧症3例、糖尿病2例、甲状腺機能亢進症1例、心室性期外収縮1例である。心調律は低調群1例が心房細動を示した以外、すべて洞調律であった。

2. 記録方法および計測方法

患者を左半側臥位とし、駆出音が最もよく聴取あるいは記録される部位に心音用マイクロホンを装着し、心音図とMモード法の大動脈弁エコーを第II誘導心電図とともに50または100mm/秒の速度で同時記録した。

大動脈弁エコーの記録は、傍胸骨アプローチで左室長軸断層図を描出し、大動脈基部にはほぼ直角で、かつ右冠尖と無冠尖エコーを明瞭に描出し得る方向にカーソルを移動して行った。得られた記録より、Fig. 1に示す方法を用いて大動脈弁開放速度および大動脈弁開放振幅を計測した。すなわち、右冠尖と無冠尖の開放する角度 α を求め、2



Opening velocity = $2 \times \text{paper speed} \times \tan a/2$ (cm/sec)

Fig. 1. Schematic representation of the methods for deriving velocity and amplitude of initial opening movements of the aortic valve cusps on the M-mode echocardiogram.

X = completion of initial full opening of the aortic valve cusps; a = opening angle between the right coronary and the non-coronary cusps of the aortic valve.

$\times \text{paper speed} \times \tan a/2$ (cm/sec) の式により開放速度を算出した。また両弁尖の最大開放距離 (amplitude) を大動脈弁開放振幅として求めた。

また別にフクダ電子製ポリグラフ MCM 8000 とエレマ製ミンゴグラフを用いて、大動脈駆出音と頸動脈波を 100 mm/秒の紙送り速度で同時記録した。

心エコー装置は東芝製超音波心断層装置 SSH-11A, 心音用マイクロホンはフクダ電子製 MA-250, 頸動脈波記録にはフクダ電子製脈波用ピックアップ TY303 (時定数 2 秒) をそれぞれ使用した。

両群間における各測定値の有意差検定には t 検定を用いた。

成 績

1. 一般的観察

通常の高調性駆出音は心尖部から Erb の領域

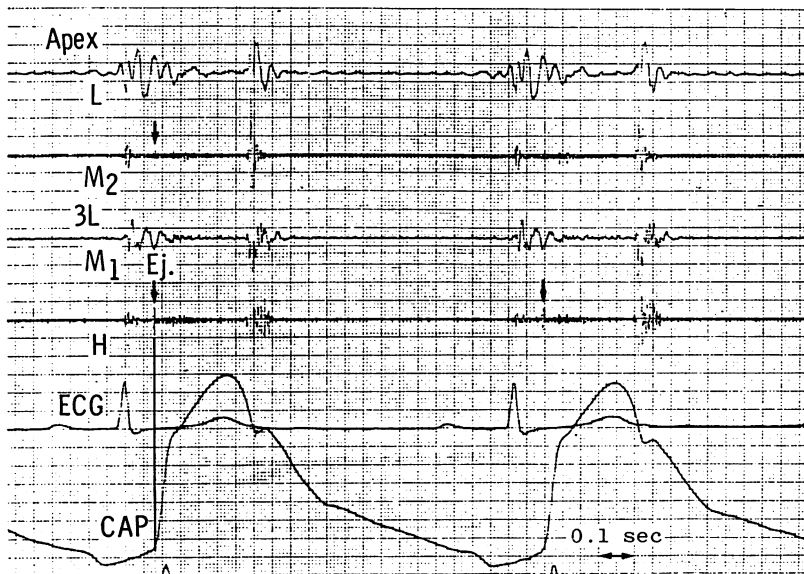


Fig. 2. Simultaneous recording of the phonocardiogram, carotid artery pulse (CAP) and electrocardiogram (ECG) in a patient with renal hypertension (40-year-old man).

An aortic ejection sound (Ej.) with high-pitched quality (arrows) can be seen at the apex and the third intercostal space at the left sternal border (3L). The beginning of the sound nearly coincides with the onset of the upstroke of the CAP.

にかけて聴取あるいは記録され, その出現時相は頸動脈波の立ち上がり点とほぼ一致していた (Fig. 2).

低調性駆出音の出現部位もほぼ同様であったが, 心尖部においてより明瞭に記録し得る傾向を示した. その出現時相は高調性駆出音より明らかに遅延し, 極端に遅い例では収縮中期に認められたが, 頸動脈波の立ち上がり点とほぼ一致するのは高調性駆出音と同様であった. 心房細動例においては, 本心音の振幅と頸動脈波高は良好な正の対応を示した (Fig. 3). また, 駆出性収縮期雑音のみられた例では, 収縮期雑音は本心音から開始していた (Fig. 4).

2. 駆出音出現時相の比較

両群における駆出音 (Ej) の出現時相および大動脈弁の初期最大開放点 (X) の出現時相の比較

を Table 1 に示す.

心電図 Q 波から駆出音の開始までの時間 (Q-Ej. 時間) および Q 波から大動脈弁の初期最大開放点 (X) までの時間 (Q-X 時間) は, いずれも低調群が高調群に比し有意な延長を示した (おのこの $p < 0.01$, $p < 0.001$). また心音図から測定した Q-Ej. 時間と心エコー図から測定した Q-X 時間はほぼ同値を示し, 両者の間には有意の正相関 ($r = 0.91$, $p < 0.001$) を認めた (Fig. 5).

3. 大動脈弁動態の比較

両群における大動脈弁開放速度および大動脈弁開放振幅の比較を Table 2 に示す.

開放速度および開放振幅は, いずれも低調群が高調群に比し有意に減少していた (おのこの $p < 0.001$, $p < 0.01$).

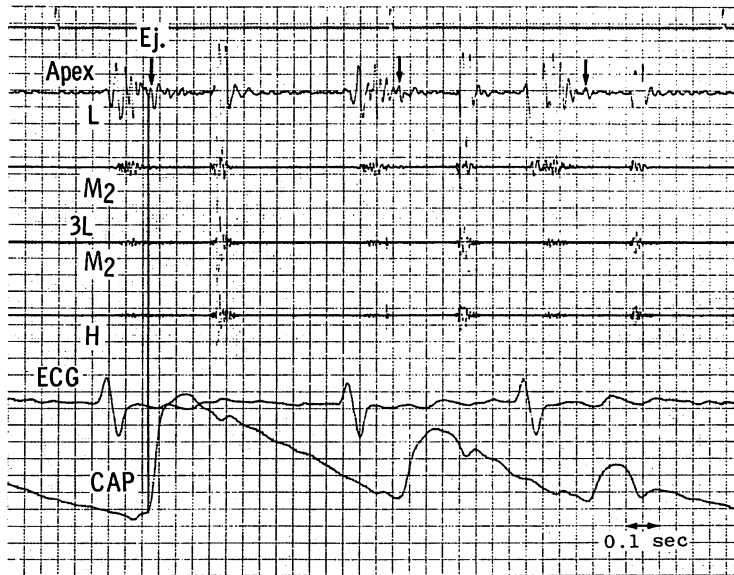


Fig. 3. Simultaneous recording of the phonocardiogram, carotid artery pulse (CAP) and electrocardiogram (ECG) in a patient with left ventricular dysfunction and atrial fibrillation (74-year-old man).

An aortic ejection sound (Ej.) shows low-pitched quality and delayed onset (arrows). The beginning of the sound and the onset of upstroke of the CAP are nearly synchronous in every beats. The ejection sound is closely related in amplitude to the CAP.

3L=3rd intercostal space at the left sternal border.

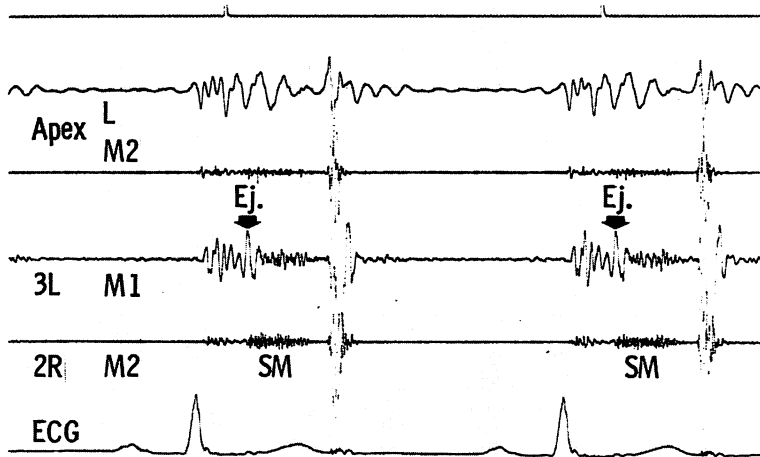


Fig. 4. Phonocardiogram of a patient of left ventricular dysfunction with a low-pitched aortic ejection sound (49-year-old man).

An ejection systolic murmur (SM) follows immediately after the aortic ejection sound (Ej.) with low-pitched quality and delayed onset.

3L=3rd intercostal space at the left sternal border; 2R=2nd intercostal space at the right sternal border; ECG=electrocardiogram.

Table 1. Temporal relationships between the ejection sounds and aortic valve echograms

	Low-pitched sound (n=10)	High-pitched sound (n=7)	p value
HR	66.9±12.7	63.8±11.9	ns
Q-Ej. (msec)	158.5±12.0	126.4± 8.5	<0.01
Q-X (msec)	158.4±18.1	120.9±11.1	<0.001

Values are mean±SD.

Q-Ej.=interval from the onset of QRS on the electrocardiogram to the beginning of the aortic ejection sound; Q-X=interval from the onset of QRS to the completion of initial full opening of the aortic valve cusps; n=number of cases.

4. 左室収縮機能の比較

Table 3 は心エコー図より求めた左室拡張末期径 (LVDd), 左室収縮末期径 (LVDs), 左室内径短縮率 (fractional shortening: FS), 平均左室円周方向心筋線維短縮速度 (mean Vcf), および心機図より求めた PEP, PEP/ET (PEP: 前駆出時間, ET: 左室駆出時間) の両群における比較を示す。

す。

LVDd および LVDs はいずれも低調群が高調群に比し, 有意に高値を示した (各々 $p < 0.05$, $p < 0.01$). FS および mean Vcf はいずれも低調群が高調群に比し有意に低値を示した (各々 $p < 0.001$, $p < 0.01$). また, 低調群では高調群に比し, PEP の有意な延長と ET の有意な短縮を示し (いずれも $p < 0.001$), PEP/ET の有意な増大を示した ($p < 0.001$).

なお, 低調群の1例では, 心エコー図および心機図より求めた左室収縮性指標が正常範囲の値を示した。この例は左室壁運動異常を伴った陳旧性心筋梗塞例であり, 心プールスキャン法による左室駆出率は明らかに低下 (37%) を示した。

5. 代表例の呈示

Fig. 6 は両群の代表例における大動脈弁エコーと駆出音の同時記録であり, 上段 (A) は高調性駆出音を, 下段 (B) は低調性駆出音を有する例を示す。駆出音の開始は両群ともに大動脈弁の初期最大開放点に一致している。大動脈弁開放速

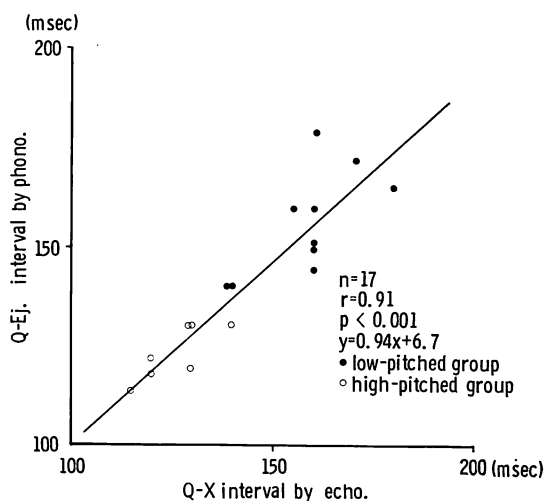


Fig. 5. Relation between the interval from the onset of QRS on the electrocardiogram to the beginning of the ejection sound (Q-Ej. interval) and the interval from the onset of the QRS to the full opening point of the aortic valve cusps (Q-X interval).

phono. = phonocardiogram; echo. = echocardiogram; n=number of cases.

Table 2. Comparisons of the velocity and amplitude of initial opening movements of the aortic valve cusps between the two kinds of aortic ejection sound

	Low-pitched sound (n=10)	High-pitched sound (n=7)	p value
Aortic valve opening velocity (cm/sec)	42.3±8.1	64.2±9.2	<0.001
Aortic valve opening amplitude (cm)	1.85±0.17	2.27±0.31	<0.01

Values are mean±SD.
n=number of cases.

度は高調群例 63.0 cm/sec に対して低調群例では 38.0 cm/sec を示し, また大動脈弁開放振幅は高調群例 2.5 cm に対して低調群例 2.0 cm と, それぞれ低調群例で明らかな減少を認めた.

Table 3. Comparisons of echocardiographic data and left ventricular systolic time intervals between the two kinds of aortic ejection sound

	Low-pitched sound (n=10)	High-pitched sound (n=7)	p value
LVDd (cm)	5.8±1.4	4.6±0.3	<0.05
LVDs (cm)	4.9±1.7	3.0±0.4	<0.01
FS (%)	17.6±10.6	35.6±5.6	<0.001
mean Vcf (circ/sec)	0.68±0.41	1.10±0.23	<0.01
PEP (msec)	139±26	102±9	<0.001
ET (msec)	257±25	314±22	<0.001
PEP/ET	0.46±0.09	0.32±0.04	<0.001

Values are mean±SD.

LVDd and LVDs=end-diastolic and end-systolic dimensions of the left ventricle, respectively; FS=fractional shortening of the left ventricle; mean Vcf=mean rate of circumferential fiber shortening of the left ventricle; PEP=preejection period; ET=ejection time; n=number of cases.

考 察

大動脈駆出音の成因については, 現在のところ二つの大きな考え方がある. 一つは大動脈弁の開放音, 他の一つは駆出に伴う大動脈の伸展音とするものである.

大動脈弁狭窄例にみられる駆出音が, 大動脈弁の開放音であることは, 心エコー図^{5,8,9)}やシネアンジオグラフィ^{1,2)}, 圧波型^{3,4)}の検討により多くの研究者の意見の一致をみており, 僧帽弁狭窄における opening snap の発生機序と同様に考えてよい. しかしながら, 非狭窄例にみられる駆出音については, 開放音説, 伸展音説の両者が対立しており, 未だ結論が得られていない.

開放音説^{8,9)}は, 駆出音が心エコー図上の大動脈弁の初期最大開放点に時間的に一致することをその根拠としている. 一方, 伸展音説^{3,4,6,7)}は, 正常な大動脈弁が開放時に聴取し得るような心音を発生するとは考え難いこと, 心エコー図上の最大開放点と駆出音の一致性には例外もあること, および駆出音が大動脈圧の立ち上がり点と時間的に

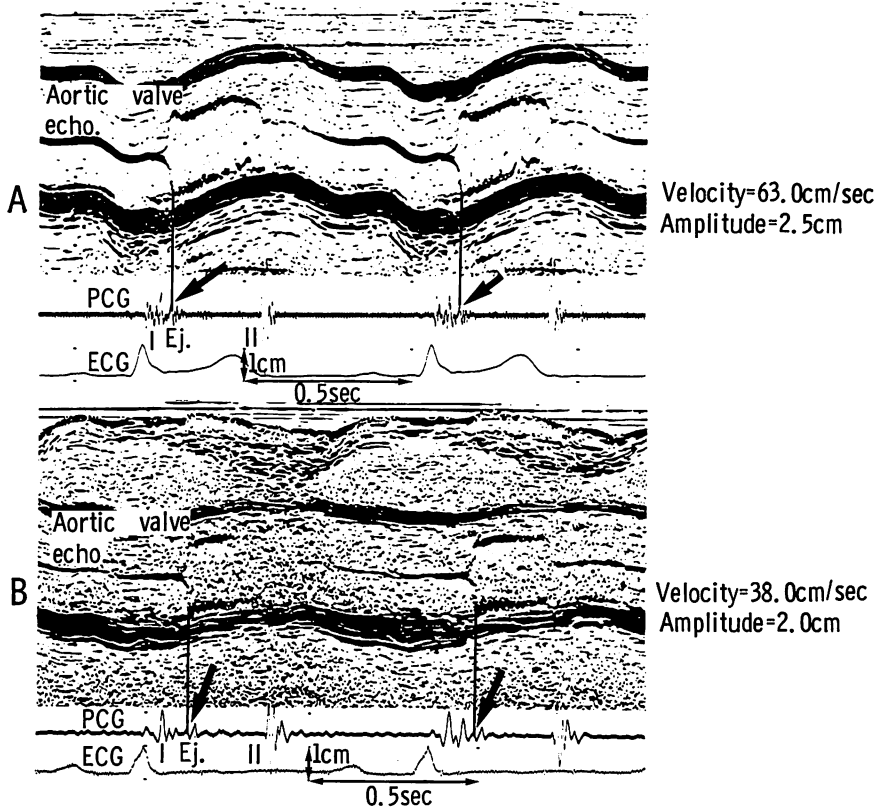


Fig. 6. Simultaneous recordings of the aortic valve echogram (echo) and phonocardiogram (PCG) in patients with a high-pitched aortic ejection sound (panel A) and with a low-pitched aortic ejection sound (panel B).

Both panels show exact coincidence between the beginning of the ejection sounds (Ej., arrows) and completion of initial full opening of the aortic valve cusps. The amplitude and velocity of initial opening movements of the aortic valve cusps are significantly decreased in the latter compared to the former.

I=first heart sound; II=second heart sound; ECG=electrocardiogram.

一致して発生することなどを根拠としている。

通常、非狭窄例でみられる大動脈駆出音は高調成分に富み、持続の短い性質を示す。しかも、今回我々が検討した7例では、この高調性駆出音はいずれも大動脈弁エコー図の初期開放停止点と時間的な一致を認めた。したがって、これらの例での大動脈駆出音は大動脈弁の開放音と考えると異論がないと思われる。

このような高調性駆出音は Mills ら⁹⁾の指摘す

るごとく、高血圧や動脈硬化により大動脈弁自体に何らかの構造上の変化をきたしている場合に出現し、全くの健常例にはみられ難い。しかし、高心拍出状態では、器質的変化のない僧帽弁でも僧帽弁開放音を発生することがある¹⁰⁾のと同様の機序により、大動脈駆出音を生じてよいと考えられる。

本研究で提示した収縮早～中期の低調性過剰心音は、大動脈弁の初期開放停止点と時間的な一致

を認めた点, 駆出性収縮期雑音がこの心音から開始している点, および心房細動例において本心音の振幅が頸動脈波高と正の対応を示した点より, 大動脈駆出音が低調化したものであると考えられる。

大動脈駆出音が大動脈弁の開放運動の急激な停止により生じるとすると, 弁性状が一定であるならば, その音量および周波数が大動脈弁尖の持つ運動エネルギーの大小により影響をうけることは容易に推察される。本研究において, 大動脈弁の開放速度および最大開放振幅はいずれも低調群が高調群に比較して有意に低値であったことより, 低調群における大動脈弁尖の持つ運動エネルギーは高調群に比較して小さいと考えられる。運動エネルギーが速度の二乗に比例することを考慮すれば, 発生する駆出音の音量や周波数に大きな相違を生じることとも理解し得る。

Laniado ら⁷⁾は, 大動脈駆出音の振幅が大動脈血流最大加速度と良好な正相関を示し, 大動脈弁の開放速度が大動脈血流最大加速度および一回拍出量と良好な正相関を示すことを報告している。また, Kolletis ら¹¹⁾, Jugdutt ら¹²⁾は, 大動脈血流最大加速度および大動脈最大血流速度は一回拍出量および左室圧の peak dp/dt とそれぞれ良好な正相関を示すと報告している。これらの諸家の報告を総合すると, 大動脈駆出音の振幅および大動脈弁の開放速度は, いずれも左室収縮能および一回心拍出量と密接な関係を有していると考えられ, 特に等容収縮期を含む収縮早期の左室収縮能が強く関与していると思われる。

本研究において, 低調群では高調群に比し前駆出時間の有意な延長, 左室駆出時間の有意な短縮, PEP/ET の有意な増大, および FS と mean Vcf の有意な低下を認め, 低調群が左室収縮能および一回心拍出量の低下状態にあることが示唆された。特に mean Vcf は最大張力発生時の Vcf とよく相関し¹³⁾, 収縮早期の左室収縮力を比較的良く反映するとされる。したがって, mean Vcf の低下は駆出音発生時に大動脈弁尖の有するエネ

ルギーが低いことを示すと考えられる。

以上より, 左室収縮能が低下した状態では, 大動脈弁の開放速度および最大開放振幅が減少することにより, 心音発生エネルギーが減少し, 本来高調な駆出音が低調化するのではないかと考えられた。したがって, 低調成分主体であり, かつ出現の遅延した大動脈駆出音の存在は, 左室収縮能低下を示す心音図上の重要な指標になり得, 臨床的に有用であると考えられた。

しかし, 高調性駆出音を有する例の中にも左室収縮性指標の軽度低下例が認められた。このことは駆出音の音調には左室収縮能機能低下の程度とともに, 心エコー図では把え難い大動脈弁の器質的変化の程度などが複雑に影響していることを示し, 駆出音が高調であるからといって必ずしも左室収縮能低下が存在しないとはいえない。このような場合には, むしろ出現時相の遅延の方を重視すべきである。

要 約

左室機能低下例において, 心音図上まれに記録される収縮期心音, すなわち低周波成分主体で, 出現の遅延した大動脈駆出音(低調性駆出音)の発生機序, および臨床的意義について検討した。対象は本心音を有する 10 例(低調群)および通常の高調な大動脈駆出音(高調性駆出音)を有する 7 例(高調群)で, 大動脈弁に器質的病変を有する例は除外した。駆出音と大動脈弁エコー, 頸動脈波との時間関係, 大動脈弁動態および非観血的な左室収縮性指標を両群間で比較し, 以下の成績を得た。

1. 低調性駆出音

1) 駆出音の開始は, 大動脈弁の初期開放停止点および頸動脈波の立ち上がり点と時間的にほぼ一致していた。 2) 駆出性収縮期雑音は駆出音直後から開始していた。 3) 心房細動例では, 駆出音の振幅と頸動脈波高が良好な正の対応を示した。

2. 低調群では高調群に比して,

1) 駆出音の出現時相が有意に遅延していた。 2)

大動脈弁の開放速度および開放振幅は有意な減少を示した。3) 心機図上、前駆出時間 (PEP) は有意な延長を、駆出時間 (ET) は有意な短縮を、また両者の比 (PEP/ET) は有意な増大を示した。4) 心エコー図上、左室内径は有意に増大、また左室内径短縮率 (FS) および平均円周方向心筋線維短縮速度 (mean Vcf) は有意な減少を示した。

以上の成績より、低調性駆出音は通常の高調性駆出音と同様、大動脈弁の開放に由来する心音であるが、左室収縮力の低下により大動脈弁開放時に弁尖の有する運動エネルギーが減少するため、低調化するものと考えられた。低調化した大動脈駆出音の存在は、その出現時相の遅延とともに、左室収縮能低下を示す心音図の一指標として、臨床上有用であると結論した。

文 献

- 1) Ross RS, Criley JM: Cineangiographic studies of the origin of cardiovascular physical signs. *Circulation* **30**: 255, 1964
- 2) Epstein EJ, Criley JM, Raftery EB, Humphries JO, Ross RS: Cineradiographic studies of early systolic click in aortic valve stenosis. *Circulation* **31**: 842, 1965
- 3) Hancock EW: The ejection sound in aortic stenosis. *Am J Med* **40**: 569, 1966
- 4) Whittaker AV, Shaver JA, Gray S III, Leonard JJ: Sound-pressure correlates of the aortic ejection sound: An intracardiac sound study. *Circulation* **39**: 475, 1969
- 5) Waider W, Craige E: First heart sound and ejection sounds: Echocardiographic and phonocardiographic correlation with valvular events. *Am J Cardiol* **35**: 346, 1975
- 6) Shah PM, Mori M, MacCanon DM, Luisada AA: Hemodynamic correlates of the various components of the first heart sounds. *Circ Res* **12**: 386, 1963
- 7) Laniado S, Yellin E, Terdiman R, Meytes I, Stadler J: Hemodynamic correlates of the normal aortic valve echogram. A study of sound, flow and motion. *Circulation* **54**: 729, 1976
- 8) Mills PG, Brodie B, MacLaurin L, Schall S, Craige E: Echocardiographic and hemodynamic relationships of ejection sounds. *Circulation* **56**: 430, 1977
- 9) Mills PG, Craige E: Echophonocardiography. *Prog Cardiovasc Dis* **20**: 337, 1978
- 10) Millward DK, McLaurin LP, Craige E: Echocardiographic studies to explain opening snaps in presence of nonstenotic mitral valves. *Am J Cardiol* **31**: 64, 1973
- 11) Kolletis M, Jenkins BS, Welb-Peploe MM: Assessment of left ventricular function by indices derived from aortic flow velocity. *Br Heart J* **38**: 18, 1976
- 12) Jugdutt BI, Lee SJK, McFarlane D: Noninvasive assessment of left ventricular function from the mitral valve echogram: Relation of final anterior mitral leaflet closing velocity to peak dp/dt and aortic velocity. *Circulation* **58**: 861, 1978
- 13) Karliner JS, Eckberg DL, Mullins CB, Ross J Jr: Mean velocity of fiber shortening: A simplified measure of left ventricular myocardial contractility. *Circulation* **44**: 323, 1971