

高血壓性 心臟病에 있어서 心室擴張期 大動脈根後壁의 運動速度에 關한 研究

圓光大學校 醫科大學 內科學教室

朴 良 圭

= ABSTRACT =

The Changes of the Velocities of the Motions of the Posterior Aortic Wall in Hypertensive Heart Disease

Yang Kyu Park, M.D.

Department of Internal Medicine, Wonkwang University Medical School

To analyse the rate of changes of left atrial demension in ventricular diastole in hypertensive heart disease, the velocities of early diastolic(OR) slope and presystolic (AV) slope of the motions of the posterior aortic wall were measured using M-mode echocardiogram. 18 normal subjects (Group I), 17 hypertensive patients without left ventricular thickening (Group II), 16 hypertensive patients with thickening of either interventricular septum or left ventricular posterior wall (Group III), 15 hypertensive patients with both interventricular septum and left ventricular posterior wall without dilation of left ventricle (Group IV) and 5 hypertensive patients with thickening and dilation of left ventricle (Group V) were compared.

Whereas %fractional shortening and AV slope decreased in only Group V, there was a progressive increase in left atrial dimension and a progressive decrease in the OR slope and patients without left atrial dilation in Group I also decrease in OR slope. The velocity of OR slope was correlated strongly with the thickness of left ventricular posterior wall ($r = -0.62$, $p < 0.001$), and weakly with left atrial dimension ($r = 0.379$, $p < 0.01$) but not with heart rate and %fractional shortening and the velocity of AV slope with %fractional shortening ($r = 0.433$, $p < 0.001$).

These data suggest that the velocity of OR slope appears to be an early indicator of abnormalities of left ventricular diastolic compliance and the velocity of AV slope an indicator of systolic abnormality and rapid filling of the left ventricle is reduced early in hypertension, even before left atrial dilation or left ventricular thickening are detectable.

緒 論

鬱血性 心不全症의 大部分의 症狀 및 理學的 所見 즉 頸靜脈壓의 上昇, 肝腫大, 呼吸困難 및 胸部的 rales 等은 擴張期 心室內壓의 增加에 起因한다는 것은 잘 알려진 事實이나 지금까지 大部分의 研究는 左心室의 解剖學的인 變化나 收縮期 機能에 對하여 이루어 졌고¹⁾ 最近에야 左心室의 擴張期 機能의 變化에 關心이 높아지고 있다^{2~4)}.

高血壓性 心臟病에서 早期에 左心房에 變化가 온다는 報告는 많으나¹⁵⁾, 이러한 變化의 意義나 生成機轉에 關한

研究는 많지 않다³⁾. 따라서 著者는 高血壓性 心臟病에서 心室擴張期中 左心房直徑의 變化速度를 알기 爲하여 心 echo 圖를 利用하여 大動脈根後壁의 擴張期 運動速度를 測定하며 左心室의 肥厚 및 機能과 比較하여 그 意義를 밝히고 지금까지 報告된 左心室 compliance 指標들과 比較하여 그 結果를 報告한다.

對 象

本態性高血壓(150/90 mmHg 以上) 또는 高血壓性 心臟病으로 診斷받아 治療中이거나 治療前인 患者 53例와 對照群으로 健康人 18例를 對象으로 하였으며 심한 貧血,

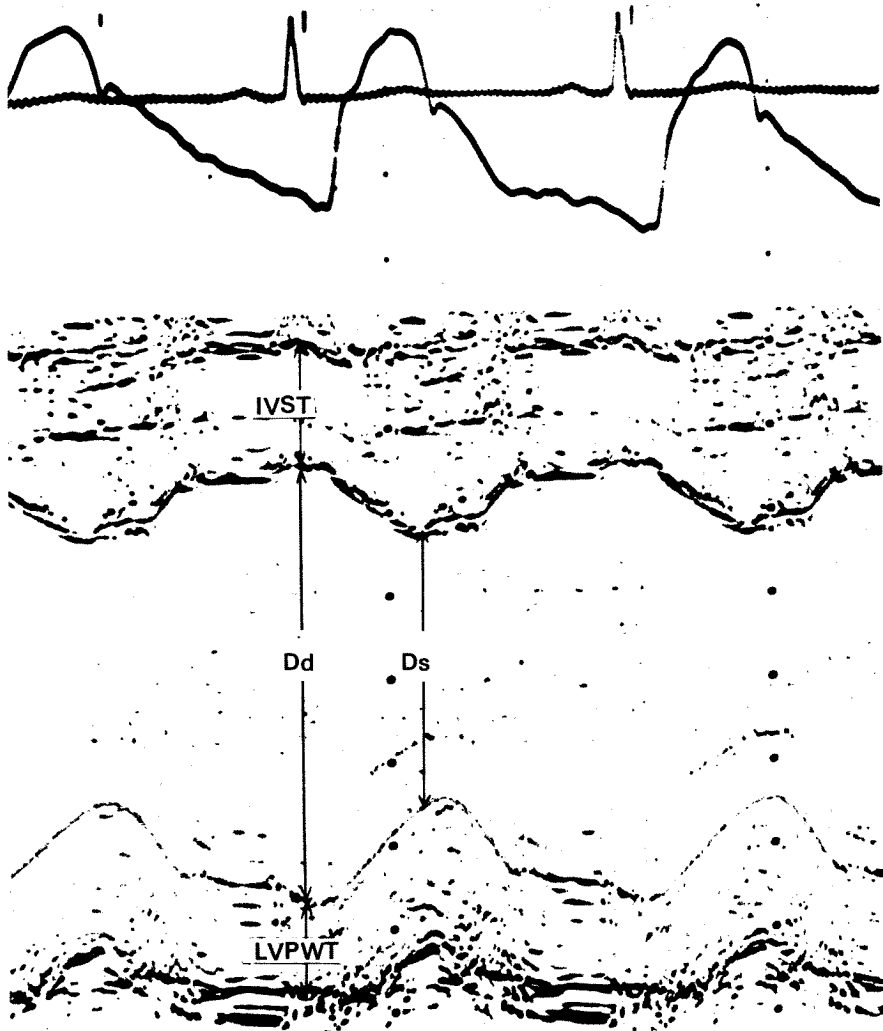


Fig. 1. An echocardiogram of left ventricular cavity in a hypertensive patient.

瓣膜疾患, 陳舊性 心筋硬塞症 및 狹心症이 있거나 心 echo 圖上 典型的인 肥厚性 閉鎖性 心筋症이 있는 경우는 本 研究에서 除外되었으며 總 71例의 對象을 5 群으로 細分하였다.

第一群: 心臟病, 腎臟病, 肝臟病 및 內分泌係 疾患의 病歷이 없고 血壓이 140/90mmHg 以下이고 理學的으로 異常所見이 없으며 心電圖上 異常所見이 없는 健康人 18例로 하였으며 左心室腔의 心 echo 圖上 擴張末期 左心室內徑指數가 $3.4\text{cm}/\text{M}^2$ 以下였다.

第二群: 心 echo 圖上 擴張末期 左心室後壁 및 心室中隔의 두께가 1.0cm 以下로서 左心室肥大가 없다고 思料된 高血壓 患者 18例로 하였다.

第三群: 心 echo 圖上 擴張末期 左心室後壁 혹은 心室中隔의 두께가 1.1cm 以上인 輕度の 左心室肥厚를 보인 高血壓性 心臟病患者 16例로 하였다.

第四群: 心 echo 圖上 擴張末期 左心室後壁 및 心室中隔의 두께가 모두 1.1cm 以上이고 左心室 擴張末期 內徑指數가 $3.4\text{cm}/\text{M}^2$ 以下인 高血壓性 心臟病患者 15例로

하였다.

第五群: 心 echo 圖上 擴張末期 左心室後壁 및 心室中隔의 두께가 모두 1.1cm 以上이고 擴張末期 左心室內徑指數가 $3.4\text{cm}/\text{M}^2$ 以上인 高血壓性 心臟病患者 5例로 하였다.

方 法

心 echo圖檢査는 被檢者를 約 10分間 安靜시킨 후 實施하였고, 患者의 位置는 仰臥位를 取하도록 하였고, 記錄이 不良한 境遇에는 左側臥位를 取하도록 하였다. 檢査器는 SAN-EI Ultrasonic Cardiograph 2H18A와 2.25MHz transducer를 利用하였으며 左心室 및 大動脈根 心 echo를 標準方法에 依해 30mm/sec의 速度로 strip chart recorder로 記錄하였다.

左心室腔의 크기는 左心室後壁의 心內膜緣에서 心室中隔의 左心內膜緣사이의 垂直距離를 leading to leading 法으로 測定하였고, 擴張末期 左心室內徑(Dd), 左心

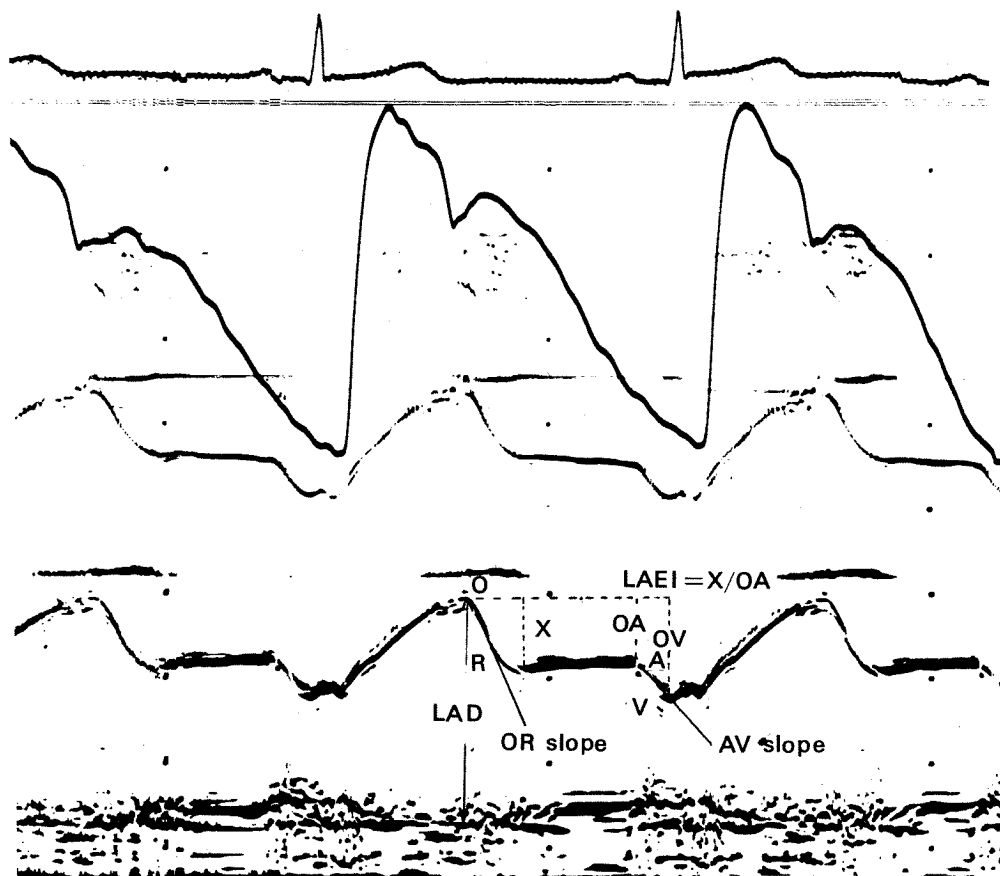


Fig. 2. An echocardiogram of the aortic root in a normal subject.

室後壁두께 (LVPWT) 및 心室中隔두께 (IVST)는 心電圖의 R波의 頂點에서, 收縮末期 左心室內徑(Ds)은 收縮末期에 心室中隔이 가장 後方으로 움직인 點에서 測定하였고 (Fig. 1) %fractional shortening(% FS)은 $Dd - Ds / Dd$ 로 算出하였다.

大動脈根心echo圖에서 左心室收縮末期에 大動脈根後壁이 가장 前方에 位置한 點을 O點, 左心室의 rapid passive emptying stage의 마지막 點을 R點, 心室擴張期中 conduit phase의 末期에 갑자기 後方으로 運動하기 始作한 點을 A點, 大動脈根後壁이 最大한 後方運動한 點을 V點으로 表示하여 大動脈根後壁의 運動幅(OV)은 O點에서 V點까지의 垂直距離를, A波幅(AV)은 A點에서 V點까지의 垂直距離를 測定하였고 左心房直徑(LAD)은 O點에서 大動脈根後壁과 左心房後壁사이의 垂直距離를 leading to trailing法으로 測定하였다(Fig. 2). 左心房 emptying index(LAEI)는 OA期間의 처음 1/3 동안에 大動脈根後壁이 運動한 距離 X를 測定하여 X/OA 比率로 計算하였고 左心房的 rapid passive emptying stage인 O點에서 R點까지의 大動脈

根後壁의 後向速度(OR slope)와 心室收縮期 始作前直前 A點에서 V點간의 大動脈根後壁의 後向速度(AV slope)를 測定하였다 (Fig. 2).

結 果

各 群의 年齡, 心搏數, 血壓 및 心 echo 圖上的 測定值들은 Table 1과 같다.

年齡 및 心搏數는 正常群에 比하여 高血壓 患者 各群에서 有意한 差는 없었으나 心搏數가 85回/分 以上인 患者는 二群에서 2例, 四群에서 3例, 五群에서 1例가 있었다. 擴張末期左心室內徑, %FS는 五群에서만 有意한 增加 및 減少(各各 $p < 0.001$)를 보였다. 左心室後壁 및 心室中隔의 두께는 一群 $0.73\text{cm} \pm 0.11\text{SD}$ 및 $0.70\text{cm} \pm 0.12\text{SD}$ 에 比하여 二群 $0.80\text{cm} \pm 0.12\text{SD}$ ($p > 0.05$), $0.73\text{cm} \pm 0.17\text{SD}$ ($p > 0.05$), 三群 $1.08\text{cm} \pm 0.09\text{SD}$ ($p < 0.001$), $1.27\text{cm} \pm 0.30\text{SD}$ ($p < 0.001$), 四群 $1.36\text{cm} \pm 0.24\text{SD}$ ($p < 0.001$), $0.32\text{cm} \pm 0.20\text{SD}$ ($p < 0.001$), 五群 $1.50\text{cm} \pm 0.27\text{SD}$ ($p < 0.001$), $0.42\text{cm} \pm 0.23\text{SD}$ ($p < 0.001$)로서 二群을 除

Table 1. Age, blood pressure, heart rate and echocardiographic data in normal and various groups of hypertensive subjects

	Group I	Group II	Group III	Group IV	Group V
No. of pt	18	17	16	15	5
Age(yr)	47 ± 15	46 ± 15	52 ± 12	55 ± 16	60 ± 6
BP(mmHg)	117 ± 10/74 ± 8	116 ± 15/103 ± 11	179 ± 32/109 ± 14	197 ± 31/123 ± 20	173 ± 19/116 ± 14
HR (/min)	63 ± 9	72 ± 11	66 ± 8	71 ± 16	64 ± 13
Dd(cm)	4.89 ± 0.29	4.97 ± 0.24	5.10 ± 0.52	5.18 ± 0.75	5.84 ± 0.47
FS (%)	36 ± 4	35 ± 6	34 ± 8	32 ± 13	16 ± 4
LVPWT (cm)	0.73 ± 0.11	0.80 ± 0.12	1.08 ± 0.09	1.36 ± 0.24	1.50 ± 0.27
IVST (cm)	0.70 ± 0.12	0.73 ± 0.17	1.27 ± 0.30	1.32 ± 0.20	1.42 ± 0.23
LAD (cm)	2.98 ± 0.43	3.38 ± 0.61	3.40 ± 0.54	3.87 ± 0.84	3.74 ± 0.28
OV (mm)	10.1 ± 1.8	8.5 ± 1.9	7.2 ± 1.5	6.3 ± 2.7	4.8 ± 1.0
AV (mm)	4.0 ± 0.6	3.8 ± 0.9	4.1 ± 0.7	3.2 ± 1.4	2.8 ± 0.3
AV/OV	0.40 ± 0.08	0.46 ± 0.13	0.58 ± 0.11	0.51 ± 0.10	0.59 ± 0.12
OR slope (mm/sec)	72 ± 17	46 ± 20	28 ± 10	25 ± 11	13 ± 4
AV slope (mm/sec)	52 ± 10	60 ± 17	54 ± 14	47 ± 19	32 ± 10
LAEI	1.09 ± 0.16	0.91 ± 0.27	0.98 ± 0.46	0.86 ± 0.36	1.04 ± 0.25

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Abbr. BP: blood pressure, HR: heart rate, Dd: left ventricular end-diastolic dimension, FS: fractional shortening, LVPWT: left ventricular posterior wall thickness, IVST: interventricular septal thickness, LAD: left atrial dimension, LAEI: left atrial emptying index.

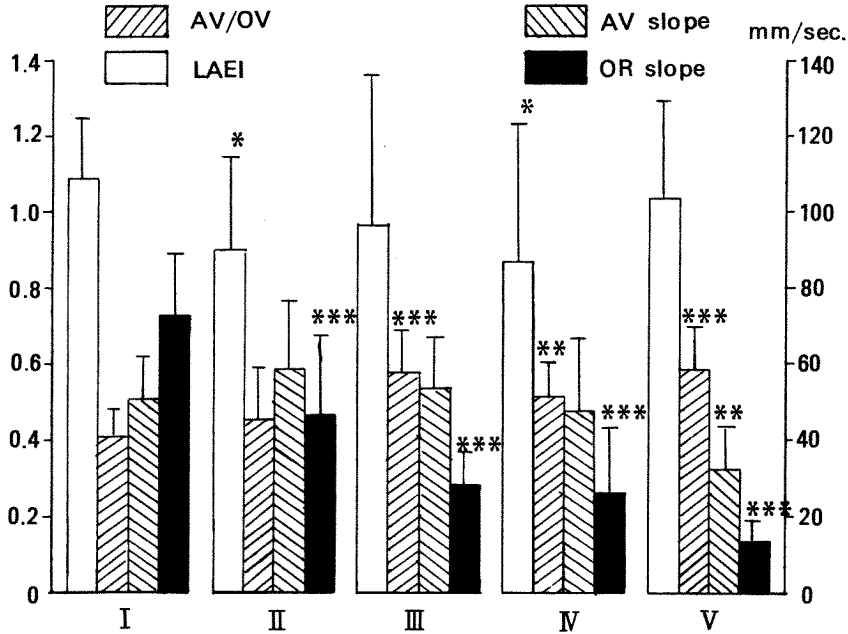


Fig. 3. Changes of AV/OV, left atrial emptying index, OR slope and AV slope in normal and various groups of hypertensive subjects.

外한 다른 群에서는 모두 有意하게 增加되었다.

左心房의 直徑은 一群 $2.98\text{cm} \pm 0.43\text{SD}$ 에 比하여 二群 $3.38\text{cm} \pm 0.61\text{SD}$ ($p < 0.05$), 三群 $3.40\text{cm} \pm 0.54\text{SD}$ ($p < 0.05$), 四群 $3.87\text{cm} \pm 0.84\text{SD}$ ($p < 0.001$) 및 五群 $3.74\text{cm} \pm 0.28\text{SD}$ ($p < 0.01$) 로서 全 高血壓 患者群에서 有意한 增加를 보였고 一群에 比하여 OV는 全 高血壓 患者群에서, AV는 四群 및 五群에서 有意한 減少를 보였다. AV/OV는 一群 0.40 ± 0.08 에 比하여 二群 0.46 ± 0.13 ($p > 0.05$), 三群 0.58 ± 0.11 ($p < 0.001$), 四群 0.51 ± 0.10 ($p < 0.01$), 五群 0.59 ± 0.12 ($p < 0.001$) 로서 二群을 除外한 全 高血壓 患者群에서 有意한 增加를 보였고 AV/OV는 % FS ($r = -0.251$, $p < 0.05$) 및 LVPWT ($r = 0.350$, $p < 0.01$) 과 有關하였으며 LAEI는 一群 1.09 ± 0.16 에 比하여 二群 0.91 ± 0.27 ($p < 0.050$), 三群 0.98 ± 0.46 ($p > 0.05$), 四群 0.86 ± 0.36 ($p < 0.05$) 및 五群 1.04 ± 0.25 ($p > 0.05$) 로서 二群 및 四群에서만 有意한 增加를 보였다 (Fig. 3).

OR slope는 一群 $72 \pm 17\text{mm/sec}$ 에 比해 二群 $46 \pm 20\text{mm/sec}$ ($p < 0.01$), 三群 $28 \pm 10\text{mm/sec}$ ($p < 0.01$), 四群 $25 \pm 11\text{mm/sec}$ ($p < 0.001$), 五群 $13 \pm 4\text{mm/sec}$ ($p < 0.001$) 로서 全 高血壓 患者群에서 有意한 減少를 보였으며, 二群 患者中 左心房直徑이 一群의 最高值 3.83cm 보다 적은 13例에서 OR slope는 $50 \pm 22\text{mm/sec}$ 로서 一群에 比해 有意한 減少를 보였다 ($p < 0.01$). OR slope는 心搏數에

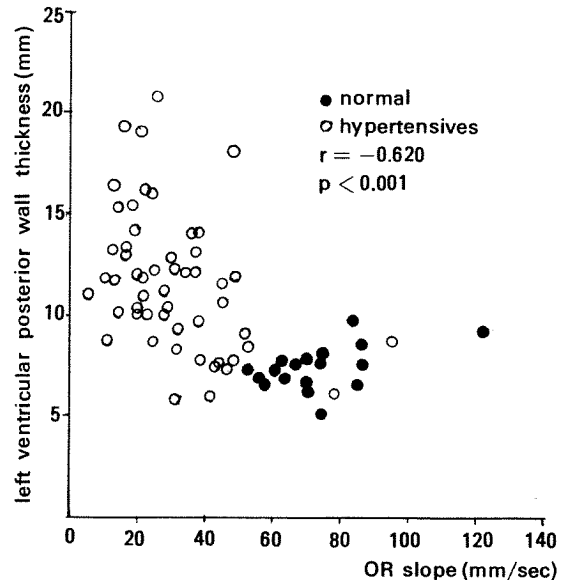


Fig. 4. Velocity of OR slope of posterior aortic wall plotted against the thickness of the left ventricular posterior wall in normal and hypertensive subjects.

는 無關하고 左心室 擴張末期內徑 ($r = 0.294$, $p < 0.05$), %FS ($r = 0.270$, $p < 0.05$), 左心室後壁 두께 ($r = -0.620$, $p < 0.001$) 및 左心房直徑 ($r = -0.379$, $p < 0.01$) 과 有關

하나 (Fig. 4) 다른 要素의 影響을 除去한 偏相關係數는 左心室後壁 두께 ($r_p = -0.505, p < 0.001$)에서 매우 有意하였고 左心房直徑 ($r_p = -0.253, p < 0.05$)에서 多少 有意하였다.

AV slope는 一群 $52 \pm 10 \text{ mm/sec}$ 에 비해 二群 $60 \pm 17 \text{ mm/sec}$ ($p > 0.05$), 三群 $54 \pm 14 \text{ mm/sec}$ ($p > 0.05$), 四群 $47 \pm 19 \text{ mm/sec}$ ($p > 0.05$), 五群 $32 \pm 10 \text{ mm/sec}$ 로서 五群에서만 有意한 減少를 보였고 AV slope는 心搏數 및 擴張期 左心室內徑에는 無關하나 %FS ($r = 0.433, p < 0.001$) 및 左心室後壁 두께 ($r = -0.376, p < 0.01$)에 有關하였고 서로의 影響을 除去한 偏相關係數는 %FS ($r_p = 0.316, p < 0.01$)에만 有意의이었다.

AV slope/OR slope는 一群에서는 모두 1以下였고 二群에서는 2例만 1이하였고 三,四,五群에서는 모두 1以上이었다.

考 按

高血壓 患者에서 左心房의 變化는 Tarazi 등⁵⁾이 처음 報告한 以來 高血壓性 心臟病의 收縮期 機能과 關係가 있다는 報告는 많으나¹⁶⁾, 左心房의 變化가 左心室의 擴張期 機能의 異狀에 既因됨을 證明하는 研究는 거의 없다³⁾. 高血壓 患者에서의 左心室의 機能에 對한 지금까지의 大部分의 研究는 左心室의 收縮期 機能에 대해서 이루어졌고¹⁾ 最近에야 心不全이나 左心室肥大가 發生하기 前에 오는 左心室의 變化를 알기 위하여 左心室의 擴張期 機能에 關한 研究가 行하여지고 있으며³⁴⁾, 高血壓性 心臟病에서는 心筋의 compliance는 正常이고⁷⁾ 左心室의 肥厚에 따른 series-elastic component와 parallel-elastic component의 增加 結果 overall ventricular compliance가 減少되므로⁸⁾ 左心室 compliance는 주로 左心室後壁의 肥厚의 程度에 依해 左右된다.

大動脈根後壁運動은 大動脈의 stiffness, 收縮期中 心運動 및 心室의 驅血 등에 影響받을 可能性이 있으나 주로 左心房의 容積變化에 起因되며⁹⁾ 左心房後壁은 거의 固定되어 있어 左心房의 容積變化는 주로 大動脈根後壁運動에 左右되므로⁹⁾ 이는 結局 僧帽瓣膜의 異狀有無나 左心室 compliance의 變化에 依해 決定될 것으로 믿어지고 있으며^{30,10,11)}, 實際로 大動脈根 心 echo圖上 AV/OV나 LAEI가 左心室 compliance의 指標로 利用되고 있다³⁷⁾.

大動脈後壁의 presystolic wave amplitude(AV)는 左心房의 收縮과 左心室의 compliance 또는 擴張末期 左心室內壓과의 關係에서 決定되며 AV/OV는 左心室의 compliance가 減少되는 境遇 增加되며¹¹⁾ 心週期の 同一한

時刻에 일어나는 心尖搏動圖上的 a/OE도 擴張末期 左心室의 compliance를 잘 反映한다¹²⁾. 그러나 AV는 左心房이 收縮하여 左心室의 內壓이 增加된 狀態에서 左心房의 內徑의 變化를 意味하므로 chamber stiffness의 係數의 變化없이도 瞬間作用 chamber stiffness가 增加되므로 이에 依한 左心室 compliance의 判定는 誤差가 生길 可能性이 크며 著者の 結果에서도 AV/OV와 左心室後壁의 두께와의 相關係數는 별로 높지 않음을 알 수 있다.

LAEI는 처음 僧帽瓣狹窄症의 程度 및 手術效果의 判定에 매우 有用하다 하여¹⁰⁾ 臨床에서 많이 利用되고 있으나 左心室의 compliance가 減少되는 冠狀動脈疾患, 肥厚性 心筋症 등에서 減少된다는 報告以後¹³⁾ 左心室의 compliance의 指標로 利用되고 있다³⁾. Dreslinski 등³⁾은 高血壓 患者에서 左心房의 擴張이 나타나기 前 부터 LAEI는 減少된다 하였고 이를 左心室의 compliance의 減少로 說明하였다. 그러나 LAEI는 心搏數가 增加된 境遇 심히 減少하고¹⁰⁾ 測定이 複雜한 短點이 있다. 著者の 結果에서 LAEI가 左心室肥厚를 잘 反映하지 않는 點도 心搏數가 85以上인 例가 6例 있었고 心 echo圖의 記錄速度가 느렸기 때문에 생긴 誤差라고 推測된다.

反面 著者가 測定한 OR slope는 左心房의 rapid passive emptying phase에서 左心房의 直徑의 變化速度를 測定한 것으로서 LAEI와 類似한 指標이나 左心室機能이나 心搏數에 影響을 받지 않았으며 이는 LAEI와는 달리 conduit phase를 除外시켜 心搏數와 無關한 것으로 思料되며 左心室內壓이 比較的 낮은 rapid filling stage에 일어나는 現象이므로 左心室機能에 影響받지 않을 것으로 思料되며 左心室後壁두께와 相關係數가 다른 指標들 보다 높은 것으로 보아 左心室의 compliance를 나타내주는 매우 좋은 非觀血的인 指標로 使用될 수 있을 것으로 생각된다.

AV slope는 左心室機能과 左心室後壁두께와 有關하나 後壁두께의 偏相關係數가 有意의이 아닌 것으로 보아 AV slope는 주로 左心室機能과 有關하며 左心室機能이 維持되고 있는 時期에는 AV slope가 거의 正常으로 維持되므로 左心室機能이 正常인 患者에서는 AV slope는 OR slope의 判斷基準으로 利用될 수 있다. 著者の 結果에서 正常人에서는 모두 OR slope는 AV slope보다 작지 않으나 左心室後壁의 두께가 正常인 高血壓患者群에서 2例를 除外한 全 例에서 OR slope가 AV slope보다 크지 않음은 OR slope의 銳敏性和 簡便성을 보여 준다 하겠다.

또한 OR slope는 左心房이 擴張됨에 따라 多少 減少될 수 있으나 OR slope가 左心房의 直徑이 正常인 高

血壓患者에서도 減少되고, 左心室後壁두께 등이 左心房의 크기에 미치는 影響을 除去한 左心房直徑의 偏相關係數가 낮은 것으로 보아 左心房直徑의 增加는 結局 微少한 左心室充血障礙에 依한 OR slope의 減少에 따른 二次的 變化라고 思料된다.

그러나 著者는 觀血의 方法에 依한 左心室 compliance 指標들과 比較하지 않았고 大動脈壁의 stiffness에 依한 影響을 考慮하지 않았으므로 이에 대한 더 많은 研究가 있어야 할 것으로 思料된다.

結 論

高血壓性 心臟病에서 心室 擴張期中 左心房直徑의 變化速度를 알기 爲하여 正常人 18例와 高血壓 患者53例를 對象으로 大動脈根과 左心室腔 心 echo圖를 記錄하여 左心房의 rapid emptying 時期의 OR slope와 心房收縮期の A-V slope를 測定하였다.

OR slope는 高血壓 患者群에서 左心室肥厚 혹은 左心房 擴張이 나타나기 以前부터 有意하게 減少되어 高血壓이 進行됨에 따라 漸次 減少되었고 이는 左心室後壁의 두께와 매우 有意한 相關關係를 가졌고 ($r = -0.62$, $p < 0.001$), 左心房直徑과도 多少의 相關關係 ($r = -0.379$, $p < 0.01$)를 가졌으며, AV slope는 左心室機能指標인 %FS에만 有意하였다 ($r = 0.433$, $p < 0.001$).

以上的 結果에서 OR slope는 左心室 compliance를 나타내는 좋은 指標임을 示唆했고 AV slope는 左心室機能을 나타내는 指標임을 示唆했으며 高血壓性 心臟病에서는 左心室의 肥厚나 左心房의 擴張이 나타나기 前에 左心室 compliance가 減少됨을 示唆했다.

REFERENCES

- 1) Dunn, F.G., Chandratna, P., deCarvalho, J.G.R., Basta, L.L. and Frohlich, E.D.: *Pathophysiologic assessment of hypertensive disease with echocardiography*. *Am. J. Cardiol.*, 39: 789, 1977.
- 2) Grossman, W., Stefadouros, M.A., McLaurin, L.P., Rolett, E.L. and Young, D.T.: *Quantitative assessment of left ventricular diastolic stiffness in man*. *Circulation*, 47: 567, 1973.
- 3) Dreslinski, G.R., Frohlich, E.D., Dunn, F.G., Messerli, F.H., Suarez, D.H. and Resin, E.: *Echocardiographic diastolic ventricular abnormality in hypertensive heart disease: atrial emptying index*. *Am. J. Cardiol.*, 47: 1087, 1981.
- 4) Hanrath, P., Mathey, D.G., Siegert, R. and Bleifeld, W.: *Left ventricular relaxation and filling pattern in different forms of left ventricular hypertrophy: an echocardiographic study*. *Am. J. Cardiol.*, 45: 15, 1980.
- 5) Tarazi, R.C., Miller, A., Frohlich, E.D. and Dustan, H.P.: *Electrocardiographic changes reflecting left atrial abnormality in hypertension*. *Circulation*, 34: 818, 1966.
- 6) Frohlich, E.D., Tarazi, R.C. and Dustan, H.P.: *Clinical-physiologic correlations in the development of hypertensive heart disease*. *Circulation*, 44: 446, 1971.
- 7) Strauer, B.E.: *Hypertensive heart disease*. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1980.
- 8) Graseh, W.H., Levine, H.J., Quinones, M.A. and Alexander, J.K.: *The heart in hypertension*. *Am. J. Cardiol.*, 38: 645, 1976.
- 9) Strunk, B.L., Fitzgerald, J.W., Lipton, M., Popp, R.L. and Barry, W.H.: *The posterior aortic wall echocardiogram—its relationship to left atrial volume change*. *Circulation*, 54: 744, 1976.
- 10) Strunk, B.L., London, E.J., Fitzgerald, J., Popp, R.L. and Barry, W.H.: *The assessment of mitral stenosis and prosthetic mitral valve obstruction, using the posterior aortic wall echogram*. *Circulation*, 55: 885, 1977.
- 11) Tye, K-H., Desser, K.B. and Benchimol, A.: *Relation between apexcardiographic a wave and posterior aortic wall motion*. *Am. J. Cardiol.*, 43: 24, 1979.
- 12) Gibson, T.C., Madry, R., Grossman, W., McLaurin, L.P. and Craige, E.: *The a wave of the apexcardiogram and left ventricular diastolic stiffness*. *Circulation*, 49: 441, 1974.
- 13) Hammermeister, K.E. and Warbasse, J.R.: *The rate of change of left ventricular volume in man. Diastolic events in health and disease*. *Circulation*, 49: 739, 1974.