

心電圖與心臟超音波診斷左心室肥厚的相關性

陳業鵬 謝禮全 林楨智 羅秉漢 張坤正 洪瑞松

中國醫藥大學附設醫院 心臟內科

摘要

臨床上，心電圖一直是內科醫師診斷心臟電氣生理活動、心臟結構及冠狀動脈灌注的基本檢查，然而，左心室肥厚是在心電圖判讀上常見的發現；對心臟科醫師而言，依 Framingham Heart Study，左心室肥厚更是增加心血管疾病發病率及死亡率的重要因子之一。因此如何在心電圖上提高左心室肥厚判讀的正確性，對臨床醫師而言非常重要。也因為在心電圖上診斷左心室肥厚的判斷標準有許多種，因此本文將探討心電圖判讀與心臟超音波在診斷左心室肥厚的相關性，進而提早發現並確立左心室肥厚，以藥物加以控制。

關鍵詞：左心室肥厚 (Left ventricular hypertrophy)
心電圖 (Electrocardiography)
心臟超音波 (Echocardiography)
左心室質量指數 (Left ventricular mass index)
相對心室壁厚度 (Relative wall thickness)

前言

依 Framingham Heart Study，左心室肥厚是增加心血管疾病發病率及死亡率的重要因子之一¹，臨床上診斷左心室肥厚，最簡單的檢查即是心電圖，但在心電圖上的診斷標準有許多種，在懷疑左心室肥厚時，許多臨床醫師會再經由心臟超音波進一步確認，因此在心電圖診斷標準與心臟超音波診斷左心室肥厚的相關性上，是本文所要探討的。

左心室肥厚的定義及測量

正常的左心室壁厚度，在舒張期時一般不超

過13毫米(mm)，若超過時，則需注意是否有左心室肥厚。左心室肥厚依特徵可分為同心性 (concentric)，偏心性 (eccentric)，及生理性 (physiologic)²，診斷上不能單單只是以心室腔室增大或心肌增厚為依據，而是要佐以計算左心室質量 (left ventricular mass)來評估；左心室質量會因腔室的增大或是心室壁心肌的增厚而增加³。

同心性左心室肥厚，主要是因為左心室長期承受過大壓力 (pressure overload)，如高血壓，而使心肌代償性增厚，其腔室大小可能正常；而偏心性左心室肥厚，主要是因為長期左心室容積增加 (volume overload) 而有腔室大小的變化，如瓣

膜逆流，然而心肌厚度可能正常(圖一)。至於生理性左心室肥厚，為長期訓練下的結果，如運動員，其左心室變化同時可見心室壁增厚及腔室增大，但此變化會在停止訓練後快速回復，而心室壁厚度也通常不會再大於13mm⁴。

至於左心室質量該如何測量⁴⁵，最早是依M-mode方式測量，即所謂cube (Teichholz) formula (圖二)，是利用左心室心肌的體積乘上其比重約1.05而得，即Left ventricular mass (LV mass) = Myocardial Volume X 1.05 gm/cm³

Myocardial Volume = LV Volume - Blood Pool

LV Volume = (IVS + LVIDd + PW)³

Blood Pool = (LVIDd)³

所以 Myocardial Volume = (IVS + LVIDd + PW)³ - (LVIDd)³

Left ventricular mass (LV mass) = [(IVS + LVIDd + PW)³ - (LVIDd)³] X 1.05 gm/cm³

其中

Myocardial Volume= 心肌容量

LV Volume= 左心室容量

Blood pool= 血液容量

IVS (interventricular septum) = 心室中膈厚度

PW (posterior wall) = 左心室後壁厚度

LVIDd (left ventricular interior dimation) = 左心室舒張期內徑

容量測量單位為公分三次方(cm³), 厚度及長度測量單位為公分，LV mass單位為公克(gm)，以下單位亦是如此。

然而此公式是假設左心室為一球體，因此這個公式的正確性會因左心室形狀異常而降低，經修改後的計算方式包含：

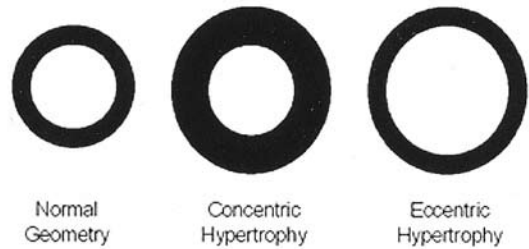
一. McFarland公式求得

$$LVmass(gm) = 0.77 \times 10^{-3} \times [(IVS + LVIDd + PW)^3 - (LVIDd)^3 + 2.4]$$

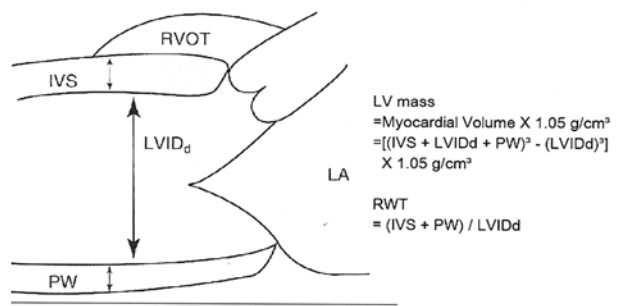
(此長度測量單位為毫米，因此公式上需乘以10³換算成公分)

二. 依據Reichek及 Devereu使用 Penn (University of Pennsylvania)大會協定測量法求得

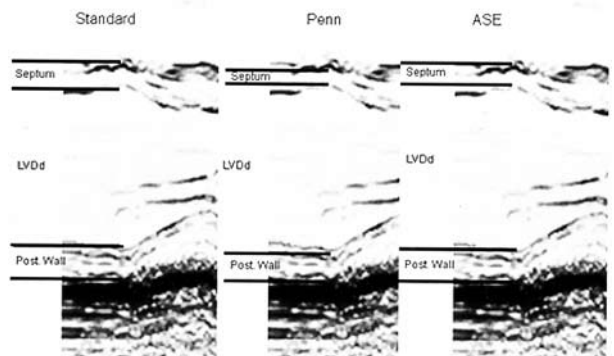
$$LV\ mass\ (gm) = 1.04 \times [(IVS + LVIDd + PW)^3 - (LVIDd)^3] - 13.6gm$$



圖一：左心室肥厚的特徵



圖二：依M-mode方式，測量相對心室壁厚度 (relative wall thickness)，並以cube (Teichholz) formula 測量左心室質量(left ventricular mass)。



圖三：左心室質量會因測量方式不同而有不同的計算公式，如PENN measurement在測量心室中膈厚度時不包含parietal walls，而ASE measurement則測量 leading to leading edge。

三. 依 ASE (American Society of Echocardiography) 建議，校正後的公式為

$$LV \text{ mass (gm)} = 0.80 \times [1.04(IVS + LVIDd + PW)^3 - (LVIDd)^3] + 0.6gm$$

而各個計算公式的差異性，主要在於測量心室中膈及左心室後壁厚度的定義不同而有所不同(圖三)，其中最為被接受的則是 ASE 校正公式。

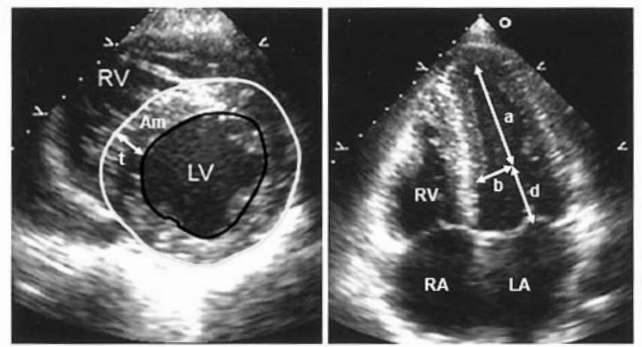
另外，亦可使用其他二度空間性心臟超音波測量，除了左心室心外膜體積減去其心內膜體積，再乘以心室心肌的比重 1.05，即 $LV \text{ mass} = [\text{心外膜體積} - \text{心內膜體積}] \times 1.05$ 外，亦可依 area length (AL) 及 truncated ellipsoid (TE) 方式測量(圖四)⁵。

$$LV \text{ mass (AL)} = 1.05 \{ [5/6A1(a+d+t)] - [5/6A2(a+d)] \} \text{ (gm)}$$

$$LV \text{ mass (TE)} = 1.05 \pi \{ (b+t)^2 \times [2/3 \times (a+t) + d - [d^3/3(a+t)^2]] - b^2 \times [2/3 a + d - (d^3/3a^2)] \} \text{ (gm)}$$

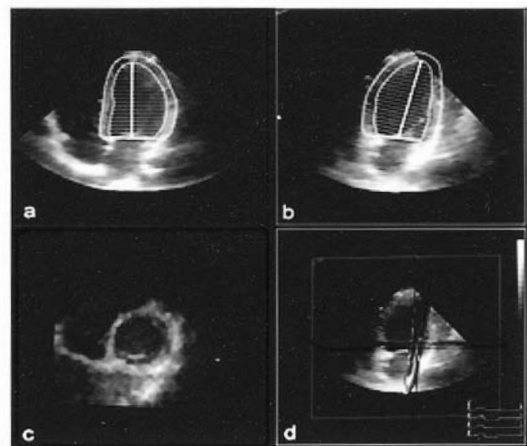
此外，隨著超音波功能的增強，亦可由三維超音波 (three dimensional echocardiography) 計算左心室質量(圖五)，此方式是由雙面超音波取得心尖四房室軸面、心尖二房室軸面，重建三維，畫出左心室內膜週界及外膜週界，自動計算出左心室質量，三維超音波所計算出的質量與核磁共振所計算的質量相當一致。心臟的重量在兩歲之後約為體重的 0.45%，正常質量從正常大小成人的 180g 到體型較大或活動量較大成人的 220g 不等。

然而在心臟超音波的判讀上，應以左心室質量指數 (left ventricular mass index, LVMI) 及相對心室壁厚度 (relative wall thickness, RWT) 來綜合評估⁴；主要即是要將各超音波公式計算結果在判讀上能標準化。"左心室質量指數" 是將左心室質量除以身體表面積 (body surface area, BSA)，即 $LV \text{ mass} / BSA$ ；而 "相對心室壁厚度" 是將心室中膈厚度加上左心室後壁厚度再除以左心室舒張期內徑，即 $(IVS + PW) / LVIDd$ 。正常時，RWT 小於 0.45，LVMI 在男性小於或等於 131 g/m²，在女性小於或等於 100 g/m²；在同心性左心室肥厚時，RWT 大於或等於 0.45，LVMI 在男性大於 131 g/m²，在女性大於 100 g/m²；而偏心性左心室肥厚時，RTW 小於 0.45 且 LVMI 在男



公式: A1 綠線: A2 Am=A1-A2
 $LV \text{ mass (AL)} = 1.05 \{ [5/6A1(a+d+t)] - [5/6A2(a+d)] \}$
 $LV \text{ mass (TE)} = 1.05 \pi \{ (b+t)^2 \times [2/3 \times (a+t) + d - [d^3/3(a+t)^2]] - b^2 \times [2/3 a + d - (d^3/3a^2)] \}$ (gm)

圖四：以二度空間性心臟超音波，依 area length (AL) 及 truncated ellipsoid (TE) 方式測量左心室質量，其中紅線區域為 pericardial border A1，綠線區域為 endocardial border (不包含 papillary muscles) A2，Am = A1 - A2 = 心肌區域，其他 t: 心肌厚度 (機器軟體自動計算)，a: 心尖至短軸 b 的長軸距離 d: 短軸 b 至 mitral anulus plane 的長軸距離。b: 最寬的短軸距離之半徑 LA: 左心房；RA: 右心房；RV: 右心室；LV: 左心室



a: 心尖四房室軸面: 劃出左心室內外膜週界
 b: 心尖二房室軸面: 劃出左心室內外膜週界
 c: 乳頭肌軸面
 d: 立體重建

圖五：三維超音波 (three dimensional echocardiography) 計算左心室質量依 a→b→c→d 順序立體重建

表一：左心室肥厚在超音波的診斷

	正常 (normal geometry)	同心性肥厚 (concentric hypertrophy)	偏心性肥厚 (eccentric hypertrophy)
RWT	<0.45	≥0.45	<0.45
LVMI (g/m ²)	≤131 (男性) ≤100 (女性)	>131 (男性) >100 (女性)	>131 (男性) >100 (女性)

性大於131 g/m²，在女性大於100 g/m² (表一)^{4,5,6}。

左心室肥厚在心電圖上的診斷標準

左心室肥厚在心電圖上變化，在年紀大於40歲有較高的準確性；在診斷標準上有以下幾種：

一. 依Sokolow及Lyon的研究，是以肢體極導為診斷標準(limb lead criteria)⁷，包括

1.R波在lead I + S波在lead III > 2.5 mV (millivolts)

2.R波在aVL > 1.1 mV

3.R波在aVR > 2.0 mV

4.S波在aVR > 1.4 mV

以胸前極導為診斷標準 (precordial lead criteria) 包括

1.R波在V5或V6 > 2.6mV

2.R波在V6 + S波在V1 > 3.5 mV

3.最大R波 + 最大S波 > 4.5 mV

二. Cornell criteria

女性R波在aVL + S波在V3 > 2.0 mV；男性 > 2.8 mV

三. Romhilt 及 Estes 則以 point-score system 為診斷標準 (表二)⁸，當積分大於4分時可能為左心室肥厚，大於5分時則認為是左心室肥厚。

目前在文獻上較被認同的診斷標準包括

S波在V1 + R波在V6 > 3.5 mV

S波在V2 + R波在V6 > 4.3 mV

S波在V1 > 2.4 mV

S波在V6 > 2.8 mV

R波在aVL > 1.3 mV

再加上女性 R波在aVL + S波在V3 > 2.0 mV；男性 > 2.8 mV

左心室肥厚在心電圖上的診斷標準與超音波的相關性

在Casale等人的414人研究中指出，最好的診斷標準為同時合併Cornell criteria (女性 R波在aVL + S波在V3 > 2.0 mV；男性 > 2.8 mV)及V1的T波幅度增大，在心臟超音波的相關性上，其敏感度為49%；專一度為93%，而相對Sokolow-

表二：Romhilt-Estes score (point-score system)

Romhilt-Estes score	
測量方法	分數
波幅: 符合下列任一項	3
肢體極導之最大R波或S波 ≥ 20mm	
S波在V1或V2 ≥ 30mm	
R波在V5或V6 ≥ 30mm	
ST節段及T波之變化	
(典型左心室肥厚之過勞型態，ST節段及T波向量與正常心電圖向量相反)	
無使用毛地黃	3
使用毛地黃	1
左心房變化: 負向P波深度在V1 ≥ 1mm且寬度 ≥ 0.04秒	3
心軸向左偏移 (負30度或更多)	2
QRS寬度 ≥ 0.09秒	1
R波及S波間距在V1及V6 ≥ 0.05秒	1

表三：各診斷標準之敏感度及偽陽性率

診斷標準	敏感度(%)	偽陽性率 (%)
最大R波 + 最大S波 > 4.5mV	45	25
S波在V1 + R波在V5或V6 > 3.5 mV	43	5
R波在V5或V6 > 2.6mV	25	2
R波在aVL > 1.1mV	11	0
S波在aVR > 1.4mV	7	0
R波在aVF > 2.0mV	1	1

Lyon voltage criteria，敏感度為33%；專一度為94%，Romhilt-Estes score (point-score system)則為敏感度30%；專一度93%⁹。

在各個心電圖診斷標準上與超音波的相關性而言，Romhilt及Bove研究指出，最大R波加最大S波大於4.5 mV，其敏感度為45%；S波在V1加V5或V6的R波大於3.5 mV，其敏感度為43%；V5或V6的R波大於2.6mV，其敏感度為25%；單一aVL的R波大於1.1mV，敏感度為11%；單一aVR的S波大於1.4mV，敏感度為7%；而單一aVF的R波大於2.0mV，其敏感度只有1% (表三)^{10,11}。

總結

心電圖診斷左心室肥厚上有許多診斷標準，在心臟超音波上確認診斷時各有不同的敏感度，其中敏感度較高的包括aVL的R波加上V3的S波在女性大於 2.0 mV；男性大於2.8 mV，胸前極

導最大R波加最大S波大於4.5 mV，以及S波在V1加上V5或V6的R波大於3.5 mV。然而若將各個診斷標準合併判讀，更會增加左心室肥厚的準確性。Scott等人研究100位個案指出，若合併二個或二個以上的診斷標準，正確性可高達85%¹²。

Framingham Heart Study 研究3351位成人中也指出，在男性，Cornell criteria的敏感度最佳；在女性則以肢體極導的電伏標準(voltage criteria)有較好的準確性¹。然而心電圖診斷標準會因生理因素及病態因素而有所影響，生理因素包含年齡、肥胖、性別及種族¹³。以年齡而言，目前之診斷標準大多以大於四十歲以上之族群為主，然而年輕人之QRS電伏較年長者高，以20至29歲之年輕人為例，V1的S波 + V5或V6的R波小於5.3mV，99% 為正常，也就是說年輕人在左心室肥厚時，心電圖之電伏標準應更高¹⁴。Pipberger的研究亦指出，從20至78歲，QRS之電伏每十年減少6.5%¹⁵。至於在肥胖者，電伏亦比瘦的人低，Kilty及Lepeschkin指出，若以胸前極導之最大S波 + R波大於4.5mV來診斷左心室肥厚，以ponderal index作體態分析，在瘦的人會高估左心室肥厚；在肥胖者會低估¹⁶。Cornell亦指出，若以體表面積或身高校正體重指數，使用Cornell criteria診斷左心室肥厚之敏感度由39%增加至52%¹⁷。性別及種族亦有類似的發現，男性QRS電伏大於女性；黑人QRS電伏大於白人，Bailey在114人研究中指出，V1的S波在黑人男性為3.4mV，在白人男性為3.2mV；黑人女性為2.6mV，在白人女性為1.6mV¹⁸。Chicago Heart Association Detection Project in Industry收集1391位黑人男性及19216位白人男性中指出，不論年齡層及相關影響因子校正後的統計，黑人在心電圖上出現左心室肥厚的型態顯著多於白人^{19,26}。

病態狀況亦會影響心電圖上診斷左心室肥厚：如左側傳導枝阻滯、肺部疾病、慢性阻塞性肺病及心肌病變。在左側傳導枝阻滯的研究中，Klein et al 使用心臟超音波確認左心室肥厚發現，V2的S波加上V6的R波大於4.5mV時，其診斷左心室肥厚的敏感度高達86%²⁰。至於肺部

疾病及慢性阻塞性肺病，會因為肺部對電氣傳導不良而使QRS電伏顯著減少而降低心電圖診斷左心室肥厚的敏感度，類似的情形亦會發生在肋膜積水及氣胸^{21,25}。至於心肌病變如澱粉樣病變(amyloidosis)及硬皮症相關心臟疾病(scleroderma-associated heart disease)，亦會使QRS電伏降低而在心電圖上不易查覺左心室肥厚²²。

雖然有許多情況會影響心電圖上左心室肥厚的表現，但所有影響因子中以年齡最為重要^{14,15}，目前心電圖的診斷標準仍是以四十歲以上有較高的敏感度，但在臨床上遇到年齡小於40歲使用電伏標準時，S波在V1加上V5或V6的R波需大於5.3 mV^{13,23}，才會增加診斷左心室肥厚的準確性。然而各個診斷標準都有偽陽性(false positive)的發生，因此仍需以超音波為最後診斷，並確認左心室肥厚的特徵，進而找出原因加以治療²⁴。

另外，在超音波評估左心室肥厚上，M-mode方式及二度空間性心臟超音波測量上各有優點，M-mode在心肌內膜邊界的定位上較清楚；而二度空間性心臟超音波較可提供完整左心室的形狀，卻在側壁的解析度上較不清楚，且在操作上較花時間，因為會因使用公式的不同須同時測量胸前長軸及短軸的影像。因此為增加正確性，技術上同時合併二種方法是被建議的，但目前臨床上仍未廣泛應用。然而M-mode目前較被廣泛使用，在於它的方便性及較易獲得性，但若以此方式測量左心室質量，與實際值比較會被低估約20克²⁷。隨著超音波機器及軟體功能的增強，目前已可做事後分析及比較，因此理論上，應該還是要以二度空間性心臟超音波評估，因為在心臟血管疾病上，心室的形狀扮演了重要的角色。由此推論，三維超音波可提供更完整的左心室形狀及左心室容量，應可更準確診斷左心室肥厚，然而目前對於三維超音波評估左心室肥厚仍不易獲得，相關的研究亦缺乏。

參考文獻

1. Norman JE, Levy D. Improved electrocardiographic detection

- of echocardiographic left ventricular hypertrophy: results of a correlated data base approach. *J Am Coll Cardiol* 1995; 26: 1022-9.
2. Koren MJ, Devereux RB, Casale PN, et al. Relation of left ventricular mass and geometry to morbidity and mortality in uncomplicated essential hypertension. *Ann Intern Med* 1991; 114: 345-52.
 3. Liebson PR, Grandits G, Prineas, et al. Echocardiographic correlates of left ventricular structure among 844 mildly hypertensive men and women in the Treatment of Mild Hypertension Study (TOMHS). *Circulation* 1993; 87: 476-86.
 4. Yuda S, Khoury V, Marwick TH. Influence of wall stress and left ventricular geometry on the accuracy of dobutamine stress echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2002; 40: 1311-9.
 5. Schiller NB, Shah PM, Crawford M, et al. Recommendations for quantitation of the left ventricle by two-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1989; 2: 358-67.
 6. Aurgemma GP, Douglas PS, Gaasch WH. Quantitative evaluation of left ventricular structure, wall stress and systolic function. In: Otto CM (ed): *The Practice of Clinical Echocardiography*, 2nd ed. Philadelphia, WB Saunders, 2002; 65-87.
 7. Sokolow M, Lyon TP. The ventricular complex in ventricular hypertrophy as obtained by unipolar precordial and limb leads. *Am Heart J* 1949; 37: 161-8.
 8. Romhilt DW, Estes EH. A point-score system for the ECG diagnosis of left ventricular hypertrophy. *Am Heart J* 1968; 75: 752-8.
 9. Casale PN, Devereux RB, Kligfield P, et al. Electrocardiographic detection of left ventricular hypertrophy: development and prospective validation of improved criteria. *J Am Coll Cardiol* 1985; 6: 572-80.
 10. Romhilt DW, Bove KE, Norris RJ, et al. A critical appraisal of the ECG criteria for the diagnosis of left ventricular hypertrophy. *Circulation* 1969; 40: 185-95.
 11. OKin PM, Devereux RB, Fabsitz RR, et al. Quantitative assessment of electrocardiographic strain predicts increased left ventricular mass: The Strong Heart Study. *J Am Coll Cardio* 2002; 40: 1395-400.
 12. Scott RC, Seiwert VJ, Simon DL, et al. Left ventricular hypertrophy: study of accuracy of current electrocardiographic criteria when compared with autopsy findings in one hundred cases. *Circulation* 1955; 11: 89-96.
 13. Manning GW, Smiley JR. QRS-voltage criteria for left ventricular hypertrophy in a normal male population. *Circulation* 1964; 29: 224-30.
 14. Yamashita S, Dohi Y, Miyagawa K, et al. Reliability of the electrocardiogram for detecting left ventricular hypertrophy in elderly. *Am J Cardiol* 1998; 81: 650-2.
 15. Pipberger HV, Goldman MJ, Littman D, et al. Correlations of the orthogonal electrocardiogram and vectorcardiogram with constitutional variables in 518 normal men. *Circulation* 1967; 35: 536-51.
 16. Kilty SE, Lepeschkin E. Effect of body build on the QRS voltage of the electrocardiogram in normal men: its significance in the diagnosis of left ventricular hypertrophy. *Circulation* 1965; 31: 77-84.
 17. Okin PM, Roman MJ, Devereux RB, et al. Electrocardiographic identification of left ventricular hypertrophy: test performance in relation to definition of hypertrophy and presence of obesity. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 124-31.
 18. Reiley MA, Su JJ, Gullar B. Racial and sexual differences in the standard electrocardiogram of black vs white adolescents. *Chest* 1979; 75: 474-80.
 19. Xie X, Liu K, Stamler J, et al. Ethnic differences in electrocardiographic left ventricular hypertrophy in young and middle-aged employed American men. *Am J Cardiol* 1994; 73: 564-7.
 20. Klein RC, Vera Z, De Maria AN, et al. Electrocardiographic diagnosis of left ventricular hypertrophy in the presence of left bundle branch block. *Am Heart J* 1984; 108: 502-6.
 21. Rudy Y, Wood R, Plonsey R, et al. The effect of high lung capacity on electrocardiographic potentials. *Circulation* 1982; 65: 440-7.
 22. Scott RC. Ventricular hypertrophy. *Cardiovasc Clin* 1973; 5: 219-53.
 23. Goldberger AL. *Clinical Electrocardiography: A simplified Approach*. 6th ed. St Louis, CV Mosby, 1999; 315-21.
 24. Sundstom J, Lind L, Arnlov J, et al. Echocardiographic and electrocardiographic diagnoses of left ventricular hypertrophy predict mortality independently of each other in a population of elderly men. *Circulation* 2001; 103: 2346-51.
 25. Incalzi RA, Fuso L, De Rosa M, et al. Electrocardiographic signs of cor pulmonale: A negative prognostic findings in chronic obstructive pulmonary disease. *Circulation* 1999; 99: 1600-5.
 26. Rautaharju PM, Park LP, Gottdiener JS, et al. Race-and-sex-specific ECG models for left ventricular mass in older population. Factors influencing overestimation of left ventricular hypertrophy prevalence by ECG criteria in African-Americans. *J Electrocardiol* 2000; 33: 205-18.
 27. Murilo Foppa, Bruce B Duncan, Luis EP Rohde. Echocardiography-based left ventricular mass estimation. How should we define hypertrophy? *Cardiovascular Ultrasound* 2005; 3: 17-30.

The Diagnostic Correlation of Left Ventricular Hypertrophy between Electrocardiography and Echocardiography

Yeh-Peng Chen, Li-Chuan Hsieh, Jen-Jyh Lin,
Ping-Han Lo, Kuan-Cheng Chang, and Jui-Sung Hung

*Division of Cardiology, Department of Internal Medicine,
China Medical University Hospital, Tai-Chung, Taiwan, R.O.C*

In clinical practice, electrocardiography is a kind of basic examination for changes of electrophysiology, cardiac structure and coronary perfusion, besides, left ventricular hypertrophy is often met by electrocardiography. In Framingham Heart Study, left ventricular hypertrophy is an important factor which will increase cardiovascular morbidity and mortality, so, how to increase the accuracy of left ventricular hypertrophy by electrocardiography is very important for clinical physicians. However, there are several diagnostic criteria for left ventricular hypertrophy by electrocardiography, so, in this article, we will discuss about the correlation of left ventricular hypertrophy between electrocardiography and echocardiography in purpose to early diagnosis and well control left ventricular hypertrophy. (J Intern Med Taiwan 2009; 20: 99-105)