



6-1-1998

Relationship Between Ventilatory Equivalent for Carbon Dioxide and Ejection Fraction of Left Ventricle

Shun-Ping Cheng

Chen-Liang Chou

Huey-Ling Yu

Tcho-Jen Liu

Tao-Chang Hsu

Follow this and additional works at: <https://rps.researchcommons.org/journal>

 Part of the [Rehabilitation and Therapy Commons](#)

Recommended Citation

Cheng, Shun-Ping; Chou, Chen-Liang; Yu, Huey-Ling; Liu, Tcho-Jen; and Hsu, Tao-Chang (1998)
"Relationship Between Ventilatory Equivalent for Carbon Dioxide and Ejection Fraction of Left Ventricle,"
Rehabilitation Practice and Science: Vol. 26: Iss. 2, Article 4.
DOI: <https://doi.org/10.6315/3005-3846.2043>
Available at: <https://rps.researchcommons.org/journal/vol26/iss2/4>

This Original Article is brought to you for free and open access by Rehabilitation Practice and Science. It has been accepted for inclusion in Rehabilitation Practice and Science by an authorized editor of Rehabilitation Practice and Science. For more information, please contact twpmrscore@gmail.com.

二氧化碳換氣當量與左心室輸出率之關係研究

鄭舜平 周正亮 游惠玲 劉作仁 徐道昌

台北榮民總醫院復健醫學部

藉著非侵入性氣體交換分析的方法偵測通氣量、攝氧量及二氧化碳生成量等數值，可有效的評估病人心肺功能、預後及治療後的反應。有文獻指出二氧化碳換氣當量隨時間變化的圖形，在輕度心臟衰竭的病人呈現 L 形曲線，中度心臟衰竭的病人呈現 U 形曲線，重度心臟衰竭的病人呈現直線反應，其方法是以整體運動時間及最大攝氧量作為判定心臟衰竭的依據，故曲線結果值得進一步釐清。本研究是以 36 位病患為對象，依其左心室輸出率分為三組：A 組 13 人，其左心室輸出率大於 50%，B 組 13 人，其左心室輸出率介於 35% 及 50% 之間，C 組 10 人，其左心室輸出率小於 35%。分析各組不同時間內二氧化碳換氣當量之變化情形，結果顯示三組不同之病人，其曲線彼此無差異存在，故無法以二氧化碳換氣當量隨時間變化的圖形來評估心臟衰竭的嚴重程度。（中華復健醫誌 1998; 26(2): 67-73）

關鍵詞：運動心肺功能測試 (cardiopulmonary exercise testing)，左心室輸出率 (ejection fraction of left ventricle)，二氧化碳換氣當量 (ventilatory equivalent for carbon dioxide)

前言

運動心肺功能測試是一種非常有效的非侵入方法，可以客觀的評量病人在不同運動量下心肺功能的反應。其不僅在學術研究上被廣泛運用，臨床上的價值亦日漸受到重視與認可^[1-4]。運動心肺功能測試可以提供許多有用的指標與訊息，其中二氧化碳換氣當量 ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) 可作為運動時通氣量 (minute ventilation) 有效與否的參考，亦即死腔通氣 (dead space ventilation) 的指標^[5]。有學者提出心臟衰竭的病人其嚴重程度亦可由二氧化碳換氣當量隨時間變化的圖形判斷出來^[6]，而這與一般的經驗並不完全吻合。因此本研究從另一角度，以輸出率 (ejection fraction) 作為判定左心室功能的依據，進一步探討二氧化碳換氣當量隨時間變化的圖形是否可有效的評估心臟功能缺損的嚴重程度。

材料與方法

本研究收集民國 83 年 1 月至 84 年 9 月間於台北

榮民總醫院復健醫學部接受運動心肺功能測試，同時接受核子醫學部心室輸出率檢查的病患共 36 位，其中男性 20 位，女性 16 位，年齡在 17 至 75 歲之間 (平均 48 歲)，由心臟科醫師診斷為先天性心臟病患者 21 位，以 VSD 及 ASD 病患為主，所有病患皆接受過手術治療，同時心臟超音波顯示無任何 shunting 現象；心臟衰竭患者 15 位。其接受心肺功能測試的目的在協助我們評估病人的 functional capacity，心臟缺損的嚴重程度，偵測病患治療後的反應及適當的運動處方等。在謹慎的選擇病患，排除嚴重心律不整，嚴重主動脈瓣膜狹窄等合併症之下，可以安全有效的評估病患心肺功能。

病患先以 Q-plex 肺功能氣體分析儀進行肺功能檢查，接著採用 Quinton 5000 心肺功能測試系統，以電動步道 (treadmill) 進行階段式 symptom-limited 最大運動測試，用逐步分析 (breath by breath measure) 的方式將運動中呼出的氣體經導管收集分析，由電腦心電圖六秒中 R-R interval 平均而得心跳速率 (HR)，藉此可得攝氧量 ($\dot{V}O_2$)、二氧化碳呼出量 ($\dot{V}CO_2$)、氧脈 (oxygen pulse)、呼吸交換率 (R)、通氣量 ($\dot{V}E$)、潮氣容積 ($\dot{V}T$)、

投稿日期：85 年 5 月 28 日 修改日期：86 年 10 月 1 日 接受日期：87 年 2 月 10 日
 抽印本索取地址：鄭舜平，台北榮民總醫院復健醫學部
 電話：(02) 28712121-7361 傳真：(02) 28757359

呼吸頻率(RR)、氧換氣當量($\dot{V}E/\dot{V}O_2$)、二氧化碳換氣當量($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$)、呼氣末期氧分壓(PetO₂)、呼氣末期二氧化碳分壓(PetCO₂)等, $\dot{V}O_{2peak}$ 為病人最大努力運動下所獲得最大之 $\dot{V}O_2$ 值。測驗程序採用 Bruce protocol。病患有以下狀況則停止測試(1)胸痛, (2)ST-segment 下降超過 2mm, (3)嚴重之心律不整, (4)未用 β -blocker 藥物下產生 chronotropic impairment, (5)收縮壓大於 240mmHg 或舒張壓大於 120mmHg, (6)發紺、頭暈、無力, (7)腳酸、喘。病患亦接受心室輸出率檢查, 採用 first-pass radionuclide technique 注入 technetium 99m 偵測左心室輸出率。

病患根據左心室輸出率高低分成三組(其正常值之範圍為 0.56 到 0.78 之間): A 組左心室輸出率大於 50%、B 組左心室輸出率介於 35%及 50%之間, C 組左心室輸出率小於 35%, 其值可分別代表心臟功能缺損的嚴重程度^[7]。二氧化碳換氣當量隨時間改變之值, 於病患休息狀態(rest)、運動測試時間中段(50%)及最大運動量(peak)時分別記錄之;而各組病患於同一分鐘二氧化碳換氣當量亦予以記錄並取各組平均值。

研究結果以 Student t-test 作統計分析, 若 p 值小於 0.01 則為具有統計意義。

結 果

本研究收集的 36 位病患中(表 1), 屬於 A 組左心室輸出率大於 50%者有 13 位, 其中先天性心臟病患者 8 位、心臟衰竭患者 5 位(其 EF 值略大於 50%); B 組左心室輸出率介於 35%及 50%之間者有 13 位, 其中先天性心臟病患者 9 位、心臟衰竭患者 4 位; C 組左心室輸出率小於 35%者有 10 位, 其中先天性心臟病患者 4 位、心臟衰竭患者 6 位;三組之間在年齡、身高、體重、性別及最大攝氧量($\dot{V}O_{2peak}$)方面, 彼此無統計上差異存在。

中止運動測試之原因其中 10 位病人(28%)因為胸痛, 2 位病人(6%)出現持續性 VPC, 2 位病人(6%)因為頭暈, 1 位病人(3%)出現 ST-T change, 其他病患則因喘或腳酸無力而停止測試, 沒有任何病患在測試後有任何不舒服或後遺症發生。

A 組病患(表 2)為左心室輸出率大於 50%者, 表示左心室功能大約在正常範圍或輕度缺損。所有病患從休息狀態到開始運動測試, 二氧化碳換氣當量都有下降的趨勢, 而休息狀態與運動測試時間中段(50%)二氧化碳換氣當量比較(50 ± 10 vs 40 ± 11 , $P < 0.01$); 運動測試時間中段(50%)與最大運動量(peak)比較(40 ± 11 vs 38 ± 11 , $P > 0.01$); 由此可知從休息狀態到運動測試時間

中段二氧化碳換氣當量值的變化有統計上的意義, 而運動測試時間中段與最大運動量二氧化碳換氣當量值的差異則無意義。另外取同組病患同一分鐘二氧化碳換氣當量之平均值, 繪出其隨時間變化的圖形, 其曲線如(圖 1)。

B 組病患(表 3)左心室輸出率介於 35%與 50%之間, 表示左心室功能中度缺損; C 組病患(表 4)左心室輸出率小於 35%, 表示左心室功能缺損較為嚴重;這兩組病患二氧化碳換氣當量隨運動時間變化的統計結果皆近似 A 組病患, 其曲線亦如(圖 1)。而就 ABC 三組休息狀態二氧化碳換氣當量予以比較, 可以發現 C 組(53 ± 12)最高, B 組(52 ± 12)居次, 而 A 組(50 ± 10)最低, 但無統計上之意義。在運動測試時間中段及最大運動量時三組之間亦有類似情形。

討 論

通氣量與二氧化碳生成量的關係最早由 Whipp 等人^[5]提出公式探討, $\dot{V}E = \dot{V}CO_2 \times 863/PaCO_2(1 - \dot{V}D/\dot{V}T)$ 其中 $PaCO_2$ 為動脈血中二氧化碳分壓, $\dot{V}D/\dot{V}T$ 為潮氣容積($\dot{V}T$)中死腔通氣量($\dot{V}D$)的比例, 863 為綜合體溫、大氣壓及飽和度等後的參數, 因此二氧化碳換氣當量($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$)將隨 $PaCO_2$ 及 $\dot{V}D/\dot{V}T$ 之值改變, 當 $PaCO_2$ 增加則 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ 減少; 當 $\dot{V}D/\dot{V}T$ 增加則 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ 增加。正常人二氧化碳換氣當量值隨運動開始而漸減, 到達最低點後(此時接近 anaerobic threshold), 直至接近最大攝氧量又漸漸增加^[8]。此現象與我們的結果類似, 但有些病人因喘、肌肉疲乏或 ST-segment 下降等因素, 在未達 anaerobic threshold 或最大攝氧量時便停止測試。

二氧化碳換氣當量因此可作為死腔通氣(dead space ventilation)的指標, 尤其在非侵入的方式下, 提供作為運動時通氣有效與否的參考。當通氣較無效率時, 二氧化碳換氣當量會上升, 其可能的原因主要為通氣—灌流不平衡($\dot{V}/\dot{Q}$ imbalance)導致死腔空間(dead space)增加, 或過度換氣(alveolar hyperventilation)造成^[9], Hansen 等人^[10]的研究顯示二氧化碳換氣當量在正常人休息狀態為 39.3 ± 9.7 , 在最大運動量時為 31.9 ± 4.4 ; Weber 等人^[11]認為心臟衰竭的病人其通氣量(VE)在運動狀態明顯比正常人高; Metra 等人^[12]研究顯示心臟衰竭的病人其二氧化碳換氣當量在最大運動量時為 40 ± 9 , 而本研究在 B 組及 C 組的病人, 其最大運動量時二氧化碳換氣當量分別為 39 ± 16 及 41 ± 11 , 與上述研究類似, 造成此現象的原因與病人 $\dot{V}D/\dot{V}T$ 增加有關, 而心臟功能缺損的病人更加明顯。

表 1. 病患特徵 (36 名)

	數目(男／女)	CHD/CHF	年齡(歲)	體重(kg)	身高(cm)	$\dot{V} O_{2peak}$ (METs)
A 組 EF > 50%	13(9/4)	8/5	47±21	56±9	162±8	6.0±2.3
B 組 35% ≤ EF ≤ 50%	13(5/8)	9/4	41±20	58±8	164±7	5.6±1.7
C 組 EF < 35%	10(6/4)	4/6	49±18	56±8	163±6	5.4±1.6

CHD：先天性心臟病

CHF：心臟衰竭

EF：左心室輸出率

 $\dot{V} O_{2peak}$ ：最大運動時攝氧量

表 2. 左心室輸出率大於 50% 之病患：A 組

病患(序)	EF(%)	二氧化碳換氣當量			運動時間(秒)
		休息狀態	50%	最大運動	
1	57	52	36	29	141
2	53	63	48	44	135
3	55	60	46	37	217
4	68	43	38	41	338
5	57	67	67	70	315
6	51	43	41	40	455
7	53	43	31	30	511
8	54	44	34	32	537
9	68	45	49	45	558
10	56	42	35	32	611
11	55	45	43	34	747
12	53	35	23	26	680
13	54	65	45	42	700
Mean±SD	56±5	50±10	40±11*	38±11	459±213

* 表與休息狀態相比時 p 值 < 0.01，Mean ± SD：平均值 ± 標準差，EF：左心室輸出率，休息狀態，50%，分別表示個別不同時期二氧化碳換氣當量之值

表 3. 左心室輸出率界於 35% 與 50% 之間之病患：B 組

病患(序)	EF(%)	二氧化碳換氣當量			運動時間(秒)
		休息狀態	50%	最大運動	
1	36	47	39	39	108
2	35	50	33	37	215
3	40	70	35	34	270
4	38	84	80	92	296
5	41	54	42	42	417
6	45	47	34	32	400
7	48	46	33	32	444
8	50	47	40	34	591
9	35	55	41	39	598
10	42	42	35	32	611
11	46	45	43	34	747
12	43	43	33	31	275
13	45	40	34	33	425
Mean±SD	42±5	52±12	40±12*	39±15	406±186

* 表與休息狀態相比時 p 值< 0.01，Mean ± SD：平均值±標準差，EF：左心室輸出率，休息狀態，50%，分別表示個別不同時期二氧化碳換氣當量之值

表 4. 左心室輸出率小於 35% 之病患：C 組

病患(序)	EF(%)	二氧化碳換氣當量			運動時間(秒)
		休息狀態	50%	最大運動	
1	30	72	57	61	192
2	29	73	54	47	202
3	21	62	55	53	274
4	32	50	36	38	390
5	28	36	28	30	388
6	32	51	31	30	535
7	19	51	50	50	566
8	24	51	40	37	666
9	33	45	32	36	673
10	34	43	30	28	723
Mean±SD	28±6	53±12	41±12*	41±11	461±199

* 表與休息狀態相比時 p 值< 0.01，Mean ± SD：平均值±標準差，EF：左心室輸出率，休息狀態，50%，分別表示個別不同時期二氧化碳換氣當量之值

二氧化碳換氣當量

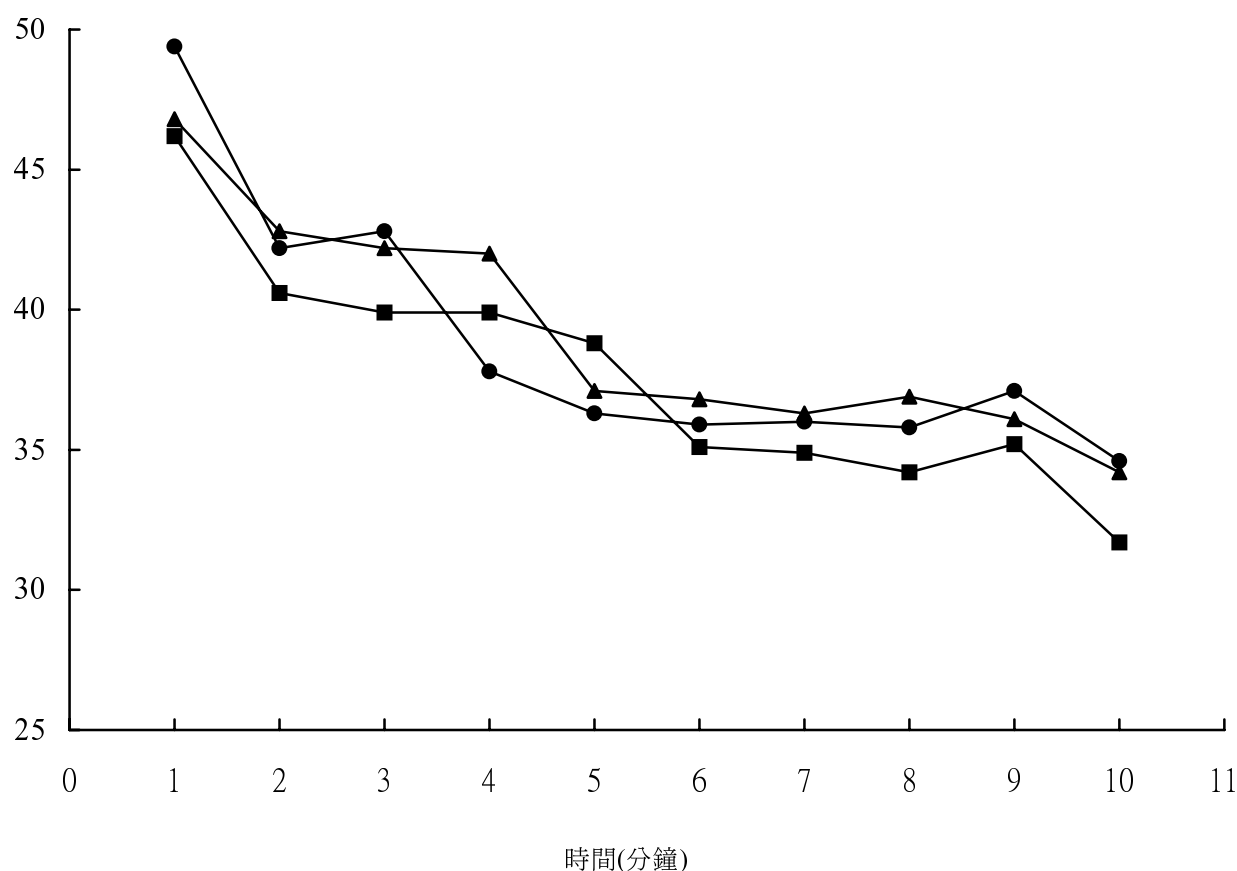


圖 1. 各組二氧化碳換氣當量隨時間變化之圖形，A 組（四方形），B 組（三角形），C 組（圓形）

此外，本研究在休息狀態病人二氧化碳換氣當量有偏高的現象，除了與心臟功能缺損有關外，亦可能因為有許多年紀較輕的先天性心臟病患者，容易緊張造成過度通氣而使 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ 上升。

二氧化碳換氣當量在正常人隨著運動而下降，而在最大運動末期會上升，本篇研究顯示心臟衰竭的病人二氧化碳換氣當量隨著運動而下降，而在最大運動末期並未上升。此結果與正常人並不相同，Rajfer 等學者^[13]，曾提出心臟衰竭的病人其 *dead space fraction* 隨著運動而下降，而在最大運動末期並未上升，此結果與我們的研究類似(因 $\dot{V}D/\dot{V}T$ 降低則 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ 亦降低)，他們認為這可能與心臟衰竭的病人運動時 *ventilation-perfusion mismatch* 持續下降有關。此外，在 Clark 等學者^[6] group 1 之病人(輕度心臟衰竭)，其二氧化碳換氣當量在 peak 時其值亦未上升，但其 group 2,3

之病人(中、重度心臟衰竭)，其二氧化碳換氣當量在 peak 時其值上升，因此造成此差異的原因仍需進一步研究探討。

Clark 等人^[6]認為二氧化碳換氣當量隨時間變化的圖形，在輕度心臟衰竭的病人呈現 L 形曲線，中度心臟衰竭的病人呈現 U 形曲線，重度心臟衰竭的病人呈現直線反應，而其圖形區分的依據主要先藉著目視分成 L 形、U 形及直線上升三組病患，再依運動時間長短及最大攝氧量大小判定三組病患心臟衰竭的嚴重程度。本研究則以長久以來被廣泛的當作左心室功能指標的左心室輸出率^[14,15]，作為判定心室功能缺損的依據，結果顯示三組不同左心室輸出率的病患，其二氧化碳換氣當量隨時間變化的圖形皆無明顯差異，與上述學者統計的圖形不盡相同。因此二氧化碳換氣當量隨時間變化的曲線，並無法有效的評估心臟功能缺損

的嚴重程度。

本篇研究之限制(limitation): 各組病患因運動時間長度不等, 運動時間越長時, 病患數目越少, 較易產生統計結果之誤差, 但單就討論其三組不同 EF 值之病人所顯示之圖形, 其結果仍極具參考價值, 日後可就增加樣本數或避免採用運動時間過短之病患的資料來加以改善。

結 論

在輕度、中度或重度心臟衰竭的病人, 其二氧化碳換氣當量隨時間變化的曲線, 並無法有效的預測心臟功能缺損的嚴重程度。

參考文獻

1. Neuberg GW, Friedman SH, Weiss MB, et al. Cardio-pulmonary exercise testing-the clinical value of gas exchange data. Arch Intern Med 1988;148:2221-6.
2. Palanae P, Carlone S, Forte S, et al. Cardiopulmonary exercise testing in the evaluation of patients with ventilatory vs circulatory causes of reduced exercise tolerance. Chest 1994;105: 1122-6.
3. McConnell TR, Laubach CA, Clark BA. Value of gas exchange analysis in heart disease. J Cardpulm Rehabil 1995;15:257-61.
4. Hayward MP, Cumming DVE, Pattison CW. Physiology and clinical applications of cardiopulmonary exercise testing. Br J Hosp Med 1995;53:275-82.
5. Whipp BJ. Ventilatory control during exercise in humans. Ann Rev Physiol 1983;45:393-413.
6. Clark AL, Poole-Wilson PA, Steward AJ. Relation between ventilation and carbon dioxide production in patients with chronic heart failure. J Am Coll Cardiol 1992;20:1326-32.
7. Hamm LF. Exercise training for the coronary patient. In: Wenger NK, editor. Rehabilitation of the coronary patient. 3rd ed. New York: Churchill Livingstone Inc. 1992. pp.367-96.
8. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY. Principles of exercise testing and interpretation, 2nd Ed, Philadelphia, Lea & Febiger, 1994. pp.112-29.
9. Weisman IM, Zeballos RJ. An integrated approach to the interpretation of cardiopulmonary exercise testing. In: Weisman IM, Zeballos RJ, editors. Clinics in chest medicine-clinical exercise testing, volume 15, number 2. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1994, p.421-43.
10. Hansen JE, Sue DY, Wasserman K. Predicted values for clinical exercise testing. Am Rev Dis 1984;129: S49-55.
11. Weber KJ, Kinasewitz GT, Janicki JS, et al. Oxygen utilization and ventilation during exercise in patients with chronic cardiac failure. Circulation 1982;65: 1213-23.
12. Metra M, Cas LD, Danina G, et al. Exercise hyperventilation chronic heart failure and its relation to functional capacity and hemodynamics. Am J Cardiol 1992;70:622-8.
13. Rajfer SA, Nemanich JW, et al. Metabolic responses to exercise in patients with heart failure. Circulation 1987;76(supp VI):VI-46-53.
14. Miller GAH, Kirklin JW, Swan HJC. Myocardial function and left ventricular volume in acquired valvular insufficiency. Circulation 1966;34:272-7.
15. Feild BJ, Baxley WA, Russell RO, et al. Left ventricular function and hypertrophy in cardiomyopathy with depressed ejection fraction. Circulation 1973;May:1022-31.

Relationship Between Ventilatory Equivalent for Carbon Dioxide and Ejection Fraction of Left Ventricle

Shun-Ping Cheng, Chen-Liang Chou, Huey-Ling Yu, Tcho-Jen Liu, Tao-Chang Hsu

Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Taipei Veterans General Hospital

Cardiopulmonary exercise testing is a powerful non-invasive mean for objectively assessing the exercise response of patients with cardiovascular or respiratory disease. The ventilatory equivalent for CO₂ ($\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}$) derived from gas exchange analysis is considered to be an estimate of dead space ventilation and provides an assessment of the efficiency of minute ventilation during exercise. Clark and associates showed that the $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}$ ratio differentiated patients into subgroups in terms of the severity of congestive heart failure by measuring the maximal oxygen consumption and the duration of exercise time. Our study was designed to differentiate patients into subgroups by measuring the ejection fraction of the left ventricle, an index of ventricular function. The $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}$ ratio during exercise was measured in 36 patients and these patients were divided into three groups which included 13 patients with an ejection fraction above 50%, 13 patients with an ejection fraction between 35% and 50% and 10 patients with an ejection fraction below 35%. We plotted the $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}$ ratio versus time and found that there were no differences between the three groups. Our plot differed from the plot of Clark et al. According to our results, the curve for $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}$ versus time was not able to predict the severity of heart function. (J Rehab Med Assoc ROC 1998; 26(2): 67 - 73)

Key words: cardiopulmonary exercise testing, ejection fraction, left ventricle, ventilatory equivalent, carbon dioxide

Address correspondence to: Dr. Shun-Ping Cheng, Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Taipei Veterans General Hospital, No.201, Sec.2, Shih-Pai Road, Taipei, Taiwan, R.O.C.

Tel : (02) 28757361

Fax : (02) 28757359