

# 本文章已註冊DOI數位物件識別碼

## ► 橢圓機不同坡度運動經濟性與下肢關節軌跡之研究

Analysis of Exercise Economy and Track of Lower Extremity during Different Gradient Elliptical Trainer Exercise

doi:10.6127/JEPF.2010.11.03

運動生理暨體能學報, (11), 2010

Journal of Exercise Physiology and Fitness, (11), 2010

作者/Author：鄭肇豪(Chao-Hou Cheng);黃彥鈞(Yen-Chun Huang);王順正(Shun-Cheng Wang)

頁數/Page：25-33

出版日期/Publication Date：2010/12

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

<http://dx.doi.org/10.6127/JEPF.2010.11.03>



*DOI Enhanced*

DOI是數位物件識別碼（Digital Object Identifier, DOI）的簡稱，是這篇文章在網路上的唯一識別碼，用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一頁，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE



# 橢圓機不同坡度運動經濟性與下肢關節軌跡之研究

鄭肇豪<sup>1\*</sup> 黃彥鈞<sup>2</sup> 王順正<sup>1</sup>

<sup>1</sup>國立中正大學運動與休閒教育研究所 <sup>2</sup>言昇國際事業有限公司

## 摘要

**目的：**探討在橢圓機在不同坡度（0%、5%、10%、15%、20%）上進行踩踏運動時，對運動經濟性與下肢運動軌跡及關節角速度的差異。**方法：**15 位大學生為研究對象（年齡  $22.60 \pm 2.80$  歲、身高  $174.6 \pm 4.31$  公分、體重  $69.67 \pm 9.65$  公斤），以 60 rpm，無踏板阻力條件下，進行五個不同坡度的橢圓機踩踏運動。每個坡度踩踏三分鐘（間隔休息 10 分鐘），研究紀錄第三分鐘穩定之攝氧量及二維攝影 20 秒運動軌跡。資料以單因子重複量數變異數分析比較不同坡度的攝氧量、心跳率與下肢關節角速度之差異。**結果：**攝氧量方面，各坡度間達顯著差異（ $p < .05$ ），發現以 15%（ $30.03 \pm 4.13$  ml/kg/min）坡度時平均攝氧量最低，且坡度 20%（ $31.33 \pm 3.54$  ml/kg/min）時攝氧量顯著大於坡度 15%、10%（ $30.21 \pm 3.32$  ml/kg/min）。在心跳率方面，各坡度間亦達顯著差異（ $p < .05$ ），發現以 10%（ $139.77 \pm 16.20$  bpm）坡度時平均心跳率值最低，且坡度 0%（ $144.49 \pm 16.47$  bpm）時心跳率顯著大於 10%（ $139.77 \pm 16.20$  bpm）。下肢關節角速度方面，髖關節、膝關節之角速度變化量皆隨著坡度上升而增加。踝關節角速度變化量與坡度呈反比。**結論：**在橢圓機五種坡度（0%、5%、10%、15%、20%）上，運動經濟性會隨著坡度增加呈現先增後減之現象，且在 10%、15% 坡度時有較佳之運動經濟性。而髖關節、膝關節角速度變化量隨著坡度上升而顯著增加，但踝關節角速度變化量則隨著坡度上升顯著下降。

**關鍵詞：**心肺適能、運動學、角速度

連絡作者：鄭肇豪

聯絡電話：+886-928-947-787

投稿日期：2010 年 3 月

通訊地址：嘉義縣民雄鄉大學路 168 號 國立中正大學

運動競技學系（運動科學實驗室）

E-mail：chao.hou0701@gmail.com

接受日期：2010 年 10 月

## 緒論

### 一、問題背景

近年來，橢圓機 (elliptical trainer) 逐漸成為運動健身者最喜愛的運動器材之一，橢圓機同時擁有多種不同功能性的運動模式，如阻力、坡度、步頻、踩踏方向的改變等等，因此逐漸成為健身者首選之運動器材。

許多研究指出橢圓機擁有低衝擊的特點 (Eschenbach, 2002; Sweitzer et al., 2002)。針對踩踏方向上，Browder and Dolny (2002) 進行不同步長、不同方向 (向前與向後) 橢圓機運動，探討下肢肌群的肌電作用情形。結果發現橢圓機向前的活動方式，使股二頭肌的最大 EMG 值增加 15%，以及股外側肌最大 EMG 值下降 16%，但在不同步長上則未達顯著差異。由此可了解不同踩踏方向對肌群使用上會有不同影響。Dolny, Hughes, Caylor, and Browder (2004) 進行不同阻力程度 (resistance levels, RL1, RL2, RL3) 以及不同步幅長度 (stride length, SL45, SL53, SL59, SL65 公分) 的橢圓機運動。研究結果顯示心跳率、攝氧量以及自覺量表在阻力上升時皆有顯著提升 ( $p < .05$ )。呼吸交換率也有顯著上升 ( $p < .05$ )。而步幅長度的改變對呼吸交換率以及自覺量表沒有顯著差異。

在踩踏頻率上，Larsen and Heath (2002) 以進行不同踩踏頻率 (每分鐘 56、69、80 轉) 固定阻力的橢圓機運動。研究結果發現不同踩踏頻率下攝氧量 ( $20.7 \pm 2.8$ ,  $25.2 \pm 3.4$ ,  $30.2 \pm 4.3$  ml/kg/min) 呈現顯著差異，心跳率的變化亦呈現顯著差異 ( $119.3 \pm 17.0$ ,  $135.7 \pm 18.2$ ,  $152.7 \pm 21.0$  bpm)。此研究證實了不同的踩踏頻率會造成生理反應的差異。在坡度改變

上，吳忠芳、王予仕、黃彥鈞、王順正、王國樑 (2008) 進行三種坡度 (0%、9.3%、18.6%) 踩踏，探討坡度對下肢肌電訊號及生理反應影響。發現脛前肌會隨著橢圓機坡度的增加，百分比相對強度 (%RMSmax) 值呈現顯著下降的趨勢；其他的肌群 (腓腸肌、股直肌、股二頭肌、臀大肌) 隨著橢圓機坡度增加，%RMSmax 值顯著增加 ( $p < .05$ )。生理反應方面在 60 rpm 的橢圓機運動攝氧量與心跳率顯著大於 30 rpm 的橢圓機運動。在同樣具有坡度改變的跑步機上，Navalta, Sedlock, and Park (2004) 以 20 位受試者，進行每分鐘 80.4 公尺、每次 6 分鐘、不同坡度 (5%, 0%, -5%, -10%, -15%, -20%) 的實驗室跑步機固定速度運動。研究發現，在 5% 的坡度時具備最大的身體生理反應，在 -5% 與 -10% 時出現最低的身體生理反應。Wanta, Nagle, and Webb (1993) 的研究亦發現，不同坡度下坡走路的攝氧量與心跳率亦呈現 U 型變化。

以上研究可知，橢圓機多功能式的運動模式，使生理反應隨各變項選擇而有不同之運動效益。而橢圓機閉鎖鍊的運動方式，因身體與地面的衝擊較小，攝氧量是否會隨著坡度變化而改變，實可加以探討。因此為了建構橢圓機不同坡度踩踏的生理反應，本研究將透過運動經濟性測驗，探討不同坡度對生理反應之差異，以了解橢圓機在不同坡度踩踏的運動經濟性。並以二維攝影分析瞭解下肢關節軌跡與角速度的變化情形。

### 二、研究目的

(一) 了解不同坡度踩踏時，運動經濟性之差異；(二) 了解不同坡度踩踏時，下肢關節軌跡與角速度之差異。

## 研究方法

### 一、研究對象

本研究以 15 位國立中正大學自願參與實驗之大學生為研究對象，基本資料如表一。

表一 受試者基本資料

人數 (人)	年齡 (歲)	身高 (公分)	體重 (公斤)	安靜心跳率 (bpm)	安靜攝氧量 (ml/kg/min)
15	22.60 ± 2.80	174.60 ± 4.31	69.67 ± 9.65	71 ± 10.73	5.79 ± 1.27

### 二、實驗流程

本實驗採受試者內設計，以 60 rpm 進行五個坡度（0%、5%、10%、15%、20%）3 分鐘橢圓機踩踏運動，每個坡度間隔休息 10 分鐘，間隔休息時間使受試者回復至安靜生理狀態，以進行後續踩踏實驗。實驗過程均配戴 Cortex 專用採氣面罩與 Polar (S610, Polar, Finland) 心跳率監測器，蒐集受試者之  $\dot{V}O_2$  及心跳率變化，以計算每個坡度下的運動經濟性，並以二維攝影分析拍攝關節點運動軌跡。

### 三、橢圓機坡度設定

本實驗採用 Greenmater 公司生產之 AGILE 可調坡度橢圓機為研究器材。飛輪半徑為 25 公分，曲柄長度 125 公分，握把高度 162 公分、前後擺幅 48 公分。共設定五個坡度（0%、5%、10%、15%、20%）。本研究的坡度設定方式參考跑步機坡度的定義，將飛輪與連桿夾角 0° 時的連桿支點垂直位置為最低點；夾角 180° 的連桿支點垂直位置為最高點。將橢圓機運行時的支點高低位移差除以曲柄長度乘以百分比代表橢圓機坡度。

### 四、運動經濟性測驗流程

本實驗之運動經濟性測驗流程，設定以 60 rpm 踩踏頻率，無踏板阻力條件下，依平衡次序原則進行五個不同坡度的橢圓機踩踏運動，每個坡度踩踏三分鐘（間隔休息 10 分鐘）。每次測驗由 Cortex 能量代謝儀測量全程採氣。攝氧量每 10 秒分析及紀錄一次，擷取受試者在每個階段踩踏時，最後一分鐘穩定狀態下之攝氧量為運動經濟性。

### 五、關節軌跡的測量

本研究以 Basler A602 (A602, Basler Inc., USA) 高速攝影機（取樣頻率 100Hz）拍攝五個不同坡度下，橢圓機踩踏運動 20 秒，並擷取其中八個穩定動作之週期進行分析。採用軟體 Kwon 3D 3.01 分析使用者進行踩踏時之下肢關節運動軌跡資料，並以 Kwon 3D 內建功能進行關節角速度之計算。

### 六、資料處理

本研究以單因子重複量數變異數分析探討不同坡度（0%、5%、10%、15%、20%）對運動經濟性（攝氧量、心跳率）及關節角速度變化量（髖關節、膝關節、踝關節）之影響。經統計分析後若達顯著，則以 LSD 法進行事後比較。顯著水準  $\alpha$  訂為 .05。

## 結果與討論

### 一、結果

#### (一) 不同坡度對攝氧量差異分析

本研究受試者在不同坡度時攝氧量比較如表二，經單因子重複量數變異數分析，五

種不同坡度對攝氧量之影響達顯著差異 ( $p<.05$ )。在坡度 15% 時，平均攝氧量值較低，而坡度 20% 時，平均攝氧量值較高。事後比較結果發現，坡度 20% 時攝氧量顯著大於坡度 15% 及 10%。

表二 不同坡度時攝氧量之比較

坡度	攝氧量 (ml/kg/min)
0%	31.31 ± 4.06
5%	30.77 ± 4.93
10%	30.21 ± 3.32
15%	30.03 ± 4.13
20%	31.33 ± 3.54 <sup>ab</sup>

註: <sup>a</sup>  $p<.05$  攝氧量顯著大於坡度 15%、<sup>b</sup>  $p<.05$  攝氧量顯著大於坡度 10%

#### (二) 不同坡度對心跳率差異分析

本研究受試者在不同坡度時心跳率比較如表三，經單因子重複量數變異數分析，五種不同坡度對心跳率之影響達顯著差異

( $p<.05$ )。在坡度 10% 時，平均心跳率值較低，而坡度 0% 時，平均心跳率值較高。事後比較結果發現，坡度 0% 時心跳率顯著大於 10%。

表三 不同坡度時心跳率 (bpm) 之比較

坡度	心跳率 (bpm)
0%	144.49 ± 16.47 <sup>a</sup>
5%	140.91 ± 18.87
10%	139.77 ± 16.20
15%	141.51 ± 17.97
20%	141.50 ± 15.35

註: <sup>a</sup>  $p<.05$  心跳率顯著大於 10%

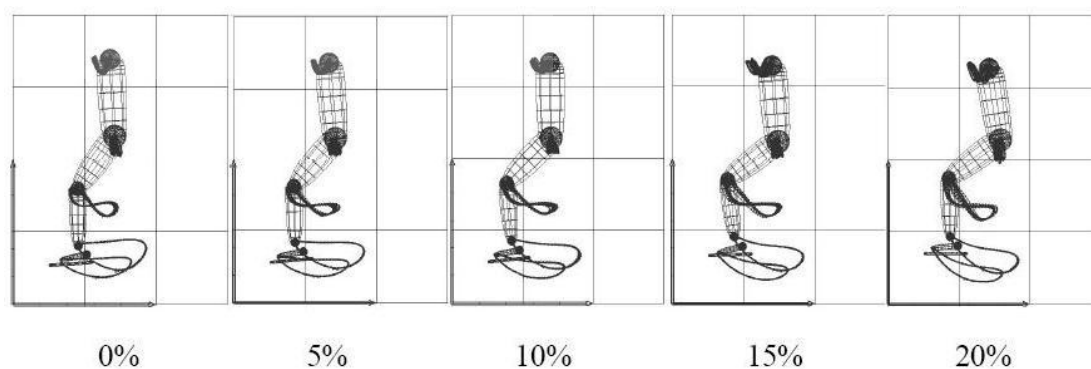
#### (三) 不同坡度踩踏之下肢關節軌跡

利用 Kwon 3D 分析橢圓機踩踏時之關節運動軌跡，結果如圖一。從圖中可發現肩關節與髖關節皆有上下位移之情形，推論是受

到踩踏時踏板高度改變與身體屈曲幅度之影響，使得肩、髖關節隨著身體重心移動而產生明顯之上下位移軌跡。膝關節、踝關節與腳尖軌跡皆隨著坡度升高產生傾斜；膝關節

之軌跡呈現 8 字形，踝關節、腳尖之軌跡呈現上平下圓之橢圓形，且隨著坡度增加，膝

關節與踝關節前端越尖並向上升高。



圖一 橢圓機踩踏軌跡圖

#### (四) 不同坡度下肢髌關節角速度變化量差異分析

如表四，不同坡度在髌關節角速度變化量之差異分析，坡度變化對角速度的影響發現，隨著坡度升高，角速度變化量亦隨之上

升 ( $p < .05$ )。事後比較結果發現，坡度 20% 時角速度變化量顯著大於坡度 15%，而坡度 20%、15% 角速度變化量皆顯著大於其他坡度 (10%、5%、0%)。且坡度 10% 之角速度變化量大於 0% 坡度。

表四 不同坡度髌關節角速度變化量比較

坡度	角速度 (deg/s)
0%	-207.11 ± 24.42
5%	-221.50 ± 17.14
10%	-226.87 ± 28.13 <sup>a</sup>
15%	-257.20 ± 18.69 <sup>abc</sup>
20%	-274.47 ± 21.38 <sup>abcd</sup>

註: <sup>a</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 0%、<sup>b</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 5%  
<sup>c</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 10%、<sup>d</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 15%

#### (五) 不同坡度下肢膝關節角速度變化量差異分析

如表五，不同坡度在膝關節角速度變化量之差異分析，坡度變化對角速度的影響達

顯著差異 ( $p < .05$ )。經事後比較結果發現，坡度 20% 之角速度變化量顯著大於其他坡度 15%，而坡度 20%、15% 之角速度變化量皆顯著大於其他坡度 (10%、5%、0%)。

表五 不同坡度膝關節角速度變化量比較

坡度	角速度 (deg/s)
0%	-224.20 ± 10.27
5%	-217.78 ± 4.91
10%	-228.51 ± 7.10
15%	-258.75 ± 4.55 <sup>abc</sup>
20%	-277.71 ± 4.49 <sup>abcd</sup>

註: <sup>a</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 0%、<sup>b</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 5%

<sup>c</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 10%、<sup>d</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 15%

#### (六) 不同坡度下肢踝關節角速度變化量差異分析

如表六，不同坡度在踝關節角速度變化量之差異分析，坡度變化對角速度的影響發現，隨著坡度升高，角速度變化量亦隨之下

降 ( $p < .05$ )。事後比較結果發現，坡度 0%時角速度變化量顯著大於坡度 5%，而兩坡度 (5%、0%) 變化量皆顯著大於其他坡度 (10%、15%、20%)。坡度 10%時之角速度變化量顯著大於 20%坡度。

表六 不同坡度踝關節角速度變化量比較

坡度	角速度 (deg/s)
0%	-237.65 ± 49.42 <sup>bcde</sup>
5%	-209.45 ± 41.64 <sup>cde</sup>
10%	-174.92 ± 23.92 <sup>e</sup>
15%	-159.40 ± 43.22
20%	-145.52 ± 32.33

註: <sup>a</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 0%、<sup>b</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 5%

<sup>c</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 10%、<sup>d</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 15%

<sup>e</sup> $p < .05$  角速度變化量大於 20%

## 二、討論

運動經濟性的定義為以非最大的強度下運動，所測得的攝氧量數值，在相同強度下，攝氧量較少的代表有較好的運動經濟性，攝氧量較多則運動經濟性較差 (Palazzetti, Margaritis, & Guezennec, 2004)。本研究可

發現攝氧量與心跳率呈現先下降後上升之趨勢，過去研究探討坡度對於跑步機上運動的生理表現，結果與本研究相同，各項生理反應有隨著坡度變化出現先下降後上升之趨勢 (Navalta, et al., 2004; Wanta, et al., 1993)。

觀察攝氧量及心跳率結果發現，在 10%、

15%坡度時有較低之生理表現，而坡度 0%、20%時之生理表現顯著高於坡度 10%、15%。探究其原因可能是在中等坡度下踩踏軌跡與產生仰角與快跑時腳跟軌跡相同，足部軌跡與自然步態較為相近（王迺聖、劉毓毓，2002），加上坡度升高時身體重力造成的慣性而減少踩踏之難度。踩踏橢圓機時主要施力方式類似登階時向下蹬腿動作，當坡度升高時，踩踏橢圓機連桿帶動飛輪旋轉，產生的慣性讓踏板自然向前進，因此減少了實際踩踏橢圓機時肌肉的使用。在 10%坡度下踝關節會有先向上而後下擺的軌跡，輕微抬腿而後向下支撐的動作較佳符合人體步態與橢圓機特有的慣性現象。

由運動學來解釋坡度對攝氧量之變化，發現踝關節角速度最大值出現在 0%坡度，代表踝關節在此坡度時水平移動時速度最大，而人體自然步態強調先抬腿後行走，因此在 0%坡度時動作較不同於自然步態。在 0%坡度時受試者較難適應水平前移動作，而 15%與 10%輕微抬腿動作相較下，可能造成生理反應較高之結果。觀察角速度變化量發現，除了踝關節外，髌關節、膝關節角速度變化量最大值皆出現在 20%坡度，角速度變化量大代表運動過程中下肢各肢段位移速度加快，而位移增加有賴肌肉產生更快速且強烈之共同收縮。坡度上升時下肢動作由前踏轉為抬腳，腓腸肌、股直肌、股二頭肌、以及臀大肌的活動量隨著橢圓機坡度的增加而上升（吳忠芳等，2008），因此 20%時坡度生理反應值最高。踝關節角速度變化量，在 0%坡度時角速度變化量最大（-237.65）；在 20%坡度

時最小（-145.52）。因 0%坡度時，下肢進行水平移動未有抬腿動作，吳忠芳等（2008）指出脛前肌在低坡度時，每個週期的均方根振幅（root-mean-square, RMS）值顯著大於中坡度與高坡度。而踝關節活動範圍降低代表脛骨前肌使用較少，相對而言隨坡度上升，腓腸肌、股直肌、股二頭肌及臀大肌使用增加，下肢動作隨坡度上升漸漸轉為抬腿。因此，大肌群使用比例增加且 20%坡度時下肢動作轉為高抬腿，故 20%坡度的攝氧量大於 0%坡度。

## 結論與建議

### 一、結論

（一）在橢圓機五種坡度（0%、5%、10%、15%、20%）上，運動經濟性會隨著坡度增加呈現先增後減之現象。且在 10%、15%坡度時有較佳之運動經濟性。

（二）在橢圓機五種坡度（0%、5%、10%、15%、20%）上，運動學資料發現，髌關節、膝關節角速度變化量隨著坡度上升顯著增加，而踝關節角速度變化量則顯著下降。

### 二、建議

本研究發現橢圓機踩踏之攝氧量與心跳率會隨坡度上升呈現先下降後上升之趨勢。建議未來研究可對於此一現象以肌電訊號分析探討肌肉反應進行，進一步瞭解踩踏坡度對下肢肌肉用力的影響。並以三維空間攝影分析不同踩踏方向對重心之影響，也可解釋不同坡度踩踏對運動經濟性造成之差異。



## 引用文獻

王迺聖、劉諒諒 (2002)。橢圓機最佳軌跡研究。代步與休閒產業雙月刊, 4, 21-26。

吳忠芳、王予仕、黃彥鈞、王順正、王國樑 (2008)。橢圓機坡度改變對下肢肌群肌電訊號與生理反應之影響。體育學報, 41 (2), 31-42。

Browder, K. D., & Dolny, D. G. (2002). Lower extremity muscle activation during elliptical trainer exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(Suppl.5), S35.

Dolny, D., Hughes, N. J., Caylor, R., & Browder, K. (2004). Effect of varying stride length on cardiorespiratory response during elliptical trainer exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(5), S250.

Eschenbach, W. P. (2002). *Compact elliptical exercise machine*. Free Patents Online. Retrieved April 5, 2008, from <http://www.freepatentsonline.com/6409632.html>

Larsen, B. T., & Heath, E. M. (2002). Energy expenditure for an elliptical trainer at three

cadences. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(5), S295.

Navalta, J. W., Sedlock, D. A., & Park, K. (2004). Physiological responses to downhill walking in older and younger individuals. *Journal of Exercise Physiology*, 7(6), 45-51.

Sweitzer, M. L., Kravitz, L., Weingart, H. M., Dalleck, L. C., Chitwood, L. F., & Dahl, E. (2002). The cardiopulmonary responses of elliptical crosstraining versus treadmill walking in CAD patients. *American Society of Exercise Physiologists*, 5(4), 11-15.

Palazzetti, S., Margaritis, I., & Guezennec, C. Y. (2005). Swimming and cycling overloaded training in triathlon has no effect on running kinematics and economy. *International Journal of Sports Medicine*, 26(3), 193-199.

Wanta, D. M., Nagle, F. J., & Webb, P. (1993). Metabolic response to graded downhill walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(1), 159-162.

## Analysis of Exercise Economy and Track of Lower Extremity during Different Gradient Elliptical Trainer Exercise

Cheng, Chao-Hou<sup>1\*</sup> Huang, Yen-Chun<sup>2</sup> Wang, Shun-Cheng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Athletic Sports, National Chung Cheng University <sup>2</sup>Afar Sports Ltd.

### Abstract

**Purpose:** The purposes of this study was to evaluate the effects of different gradient (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) elliptical trainer exercise on the track of lower extremity and physiological response. **Methods:** Fifteen volunteer subjects underwent the trial of 60rpm, composed of five different gradient elliptical trainer exercises. Each exercise trail was three minutes and each exercise trail. Kinematics was calculated for twenty seconds. One-way ANOVA were employed to analyze these data. **Results:** Oxygen uptake, the various gradient did not reach significant difference ( $F=.429, p=.787 > .05$ ), but the averages for comparison and found the gradient of 10% ( $29.75 \pm 3.31 \text{ ml/kg/min}$ ) and 15% ( $29.95 \pm 4.12 \text{ ml/kg/min}$ ) had lower oxygen uptake value, exercise economy were better. In kinematics, with the gradient rise, the hip joint, knee joint of the angular velocity were appeared. The angular velocity variation of ankle joint appears inverse proportion with gradient. **Conclusions:** The adjustable gradient of elliptical did not showed the significant difference on the oxygen uptake of forward trial that with the increase of gradient, the first step on exercise economy would increase first than decrease. Middle-gradient exercise economy is much better and suitable for body's natural gait, even more for those with fitness.

**Key words:** cardiopulmonary endurance, kinematics, angular velocity

Corresponding author: Cheng, Chao-Hou

Tel: +886-928-947-787

Submitted for publication: 2010.03

Address: No.168, Sec. 1, Daxue Rd., Minxiong Township,  
Chiayi County 621, Taiwan (R.O.C.)

E-mail: chao.hou0701@gmail.com

Accepted for publication: 2010.10