

最大等速向心收縮對女大學生心跳率之效應

呂欣善、黃惠芬、陳相榮

摘要

本研究之目的在於探討最大等速向心收縮運動對心跳率之效應。受測者為十八名國立台灣體學院女性大學生(年齡=20.5 ± 1.9 歲；身高=163.7 ± 8.5 公分；體重=65.8 ± 12.1 公斤；身體質量指數=24 ± 0.5 ；安靜心跳率=69 ± 7 次/分)為實驗對象。利用等速收縮器(Cybex Norm)以隨機參與膝關節被動伸展/屈曲動作速度 120°/s，主動膝關節運動以 60°/s 或 120°/s 速度進行最大等速向心伸展/屈曲收縮各 30 次作為運動測驗。而在每次運動測驗中，每收縮 5 次時以心跳率遙測計(Polar Heart Rate Monitor)紀錄其心跳率，並在測試後的 3、5、15、30 分鐘之內紀錄其恢復的心跳值。實驗結果顯示，主動膝關節伸展/屈曲後心跳率顯著高於安靜心跳率及膝關節被動伸展/屈曲測驗。60°/s 主動膝關節伸展/屈曲心跳率增加高於 120°/s 運動後心跳率。此外，被動式膝關節伸展/屈曲測驗後心跳率沒有變化。本研究發現 30 次最大主動膝關節等速伸展/屈曲運動可引發心跳率上升至估算最大心跳率 70 %。在較高收縮速度時心跳率上升較快，而在較低收縮速度時心跳率峰值較高。此結果與高強度肌肉收縮及較長運動時間而導致交感神經興奮而使心跳率上升。因此進行最大等速抗阻運動時，收縮速度是引發心跳加速現象之因素。

Heart Rate Response to Maximal Isokinetic Concentric Contractions in College Females Students

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the heart rate responses to acute isokinetic contractions. Eighteen female students of National College of Physical Education (Aged = 20.5 ± 1.9 yrs; Height = 163.7 ± 8.5 cm; Weight = 65.8 ± 12.1 kg; Body mass index = 24 ± 0.5 , Resting Heart Rate = 69 ± 7 beats/min) took part in the test. Using a dynamometer (Cybex Norm), subjects were randomly assigned to perform exercise test consisting of a passive movement speed of $120^\circ/\text{s}$ and 30 maximal knee extension/flexion at $60^\circ/\text{s}$ or $120^\circ/\text{s}$. Heart rate was recorded (Polar heart rate telemetry) every five repetitions and after 3, 5, 15, 30 min following exercise test. The result shows that The knee extension and flexion exercise induced heart rate was significantly higher in $60^\circ/\text{s}$ and $120^\circ/\text{s}$ ($p < 0.05$) as compared to passive movement and resting values. There was also no significant difference in passive. The important results is increasing heart rate cause of knee extension/flexion exercise and faster raise in heart rate in lower speed but reach higher peak during faster speed. Resulting finding indicate that intense muscular effort stimulates sympathetic response and an accelerated heart rate occurs. Thus contracting speed of isokinetic resistance exercise is the factor influence heart rate.

壹、緒論

等速收縮是一種肢體對著可預設固定速度器械所進行之等角速度之抗阻運動。由於等速收縮器(Isokinetic dynamometer)具有提供肌群抗阻含括整個動作範圍(Range of motion)、量化肌力表現、及操作安全性高等優點，因此近年來被廣泛應用於臨床肌力檢測及運動訓練(10)。

近年來，等速收縮器被廣泛應用於運動訓練及復健。等速收縮器主要功能是利用儀器中控制速度裝置使肌群收縮驅動肢體速度無法超過預設值。其中調控阻力系統會偵測到過快速度及多餘出力轉換為等量阻力回饋做用於運動肢體 (10)。等速收縮不同於傳統等長(Isometric)、等張 (Isotonic) 收縮，是在於機動調控阻力，使得肌群在驅動肢體的整個動作範圍中任何角度都能持續抵抗最大阻力，以改善最大肌力 (1)。

心跳率是人體最容易測量之生理參數，因而被廣泛的應用於界定運動強度的指標。研究發現運動時心跳率變化與心肺適能呈線性相關(12)，若應用於實際上可以運用同樣的運動強度反應出心跳率的高低以作為運動選手或一般人其心肺耐力水準之評估。

由於抗阻運動常被運用於運動訓練上對於循環系統之影響十分重要，因此本研究的目的在於觀察不同強度的最大等速向心收縮運動對心跳率之效應以做為運動訓練上實用的參考依據。結果發現以 $60^{\circ}/s$ 及 $120^{\circ}/s$ 收縮速度進行 30 次膝關節等速向心伸展/屈曲運動刺激女大學生心跳率上升，而運動恢復後 5 分鐘心跳率下降至安靜值。進行 $120^{\circ}/s$ 運動時心跳率有高於 $60^{\circ}/s$ 運動之趨勢。恢復心跳率則無明顯差異。被動式收縮運動時及恢復心跳率與安靜心跳率不變。

貳、文獻回顧

等速收縮概念是由 Hislop 及 Perrin (8)及 Thistle 等人(15)所提出。等速收縮特色是利用可預設收縮速度器械使肢體能在整個活動範圍產生最大力量。當肢體進行角運動速度等於或超過預設速度時，等速收縮器械會產生力量相等方向相反之抗阻(10)。運用數學模式，Hinson 等人(7)指出肢體進行等速角運動並非意謂肌群也進行等速收縮。由於等速運動強度並不

固定，抗阻大小隨著肢體角速度快慢而改變，因此即使在肌力最弱角度也能產生最大力量而導致整個活動範圍產生最大肌力(10)。

許多復健及運動訓練單位廣泛運用膝關節伸展及屈曲運動做為評估及改善下肢肌群肌力之依據。膝關節具有全身最大肌肉群其活動能力更是影響人體移動(Locomotion)之重要因素。運動員常訓練膝關節伸展及屈曲運動以增強下肢肌群肌力提昇運動表現。大部份研究針對等速收縮對肌力表現之效應，較少研究以此類等速抗阻運動對心跳率影響進行觀察。

關於等速收縮與心跳率之研究方面，Crawford 等人 (2) 研究指出心跳率在進行兩種不同速度(30°/s 及 240°/s)之等速收縮時皆高於安靜值 (no prior exercise)，但這兩種速度在運動時並未發現心跳率有顯著差異。Peel 等人(11)觀察四肢等速收縮運動對心的影響，此研究以 12 位自願受測者參與受測，以三種收縮速度 60°/s、90°/s 及 120°/s 為受測方式，研究發現在這三種收縮速度所顯示的心跳反應並無明顯的差異性，但是在運動中的心跳率是持續上升一直到結束，最大心跳率也達到預期之 77%。

然而 Douris (3) 觀察特殊速度之等速收縮運動對心血管反應中發現心跳率在 300°/s 收縮時其上升的數值有異於 30°/s，實驗證明收縮速度的特殊性會產生不同的心跳值，同時在等速收縮運動時表現出的心跳率的大小是根據運動期間所做的移動速率。Haennel 等人(5) 實驗結果也發現心跳率的上升與等速收縮時的移動速率有關。

研究指出運動時參與肌群大小、運動強度及收縮速度影響心跳率。Duvall 等人(4)利用運動不同部位肌群觀察心跳反應。結果發現心跳率改變與所作的功與受測者測驗時所運用的肌肉量有連帶關係。Scharf 等人(14)發現心跳率在等速收縮運動的測試中會呈現曲線上升。此外，肌肉的高度緊張及肌纖維的快速抽動的高活動也是促使其上升的原因之一。Iellamo 等人(9) 發現等速收縮運動會使心跳率急速上升，剛開始的反覆 5 次收縮的心跳率高於安靜值 30 次/分。這些研究的結論認為心跳率的上升主要根據運動時所作的功及收縮速度。因此，力量和速度之間的關係是心跳率變化的重要因素。

先前研究發現等速抗阻運動導致心跳率改上昇(2,3,5,9,11,14)與肌肉量、力量和速度有關，而這種變化是否受到機械動作之影響則無探討。此

外，近年來以等速收縮系統常用於進行被動式(Passive)運動做為復健理療之方法。本研究觀察這種運動模式對心跳率之效應將有助於瞭解影響主動式等速收縮對心跳率之作用。

參、研究方法與步驟

一、受測者

受測對象為國立台灣體院的女學生(N=18)，年齡 18 至 22 歲之間，體能狀況良好，亦無心肺血管異常之疾病。同時，在測驗之前均需詳細填寫受測同意書。

二、實驗設備

本研究主要設備有等速收縮系統(Cybex Norm, U.S.A.)，心跳次數遙測器(Sport Tester, Polar, U.S.A.)及其介面傳輸(Data Transmitter Interface, Polar, U.S.A.)及 IBM 相容個人電腦。

三、實驗流程及方法

(一) 流程



圖一：實驗流程圖

(二) 受測者隨機分配為 30 次 120°/s 被動式(n=6)及最大膝關節等速向心伸展/屈曲，收縮速度為 60°/s (n=6)、120°/s (n=6) 等三組。動作範圍為 60°。

(三) 施測者紀錄受測者安靜時的心跳率(次/分)。受測者以坐姿放鬆休息

至少 20-30 分鐘後測量及紀錄安靜時的心跳率。

(四) 測量及紀錄受測者兩側膝關節進行被動式及 30 次最大等速向心伸展/屈曲每五次反覆時之心跳率，換側時間為 30 秒。

(五) 測量及紀錄受測者運動後恢復的心跳率；運動後 3、5、15 及 30 分鐘時的心跳率。

四、資料處理與統計

受測者基本資料及各種收縮速度及恢復後的心跳值均以平均值 \pm 標準差表示。再以變異數分析(Analysis of Variance, ANOVA)進行統計分析，若呈顯著差異，則兩組間之差異則利用鄧肯氏多變域分析法(Duncan's mutiple range test) 進行事後比較 (Post hoc)。統計結果以 p 值小於 0.05 者視為顯著差異 (13)。

肆、結果

由表一列出受測者(N=18)的靜態生理特質(平均值 \pm 標準差)。受測者年齡、身高、體重、身體質量指數及安靜心跳率。三組生理特質無顯著差異($p>0.05$)。

表一 受測者生理特質 (N=18)

	平均值	標準差	全距
年齡(歲)	20.5	1.9	18-25
身高(公分)	163.7	8.5	151-186
體重(公斤)	165.8	12.1	45-90
身體質量指數(公斤/公尺 ²)	24.0	5.0	19-35
安靜心跳率(次/分)	69.0	7.0	55-83

二、運動表現

表二、女大學生 30 次最大等速膝關節伸展/屈曲運動總功量

收縮速度	左膝關節		右膝關節	
	伸展	屈曲	伸展	屈曲
60°/s	2941.5 ± 102.0*	2211.4 ± 528#	1720.8 ± 868.1	1563.3 ± 299.9
120°/s	2104.2 ± 327.6	1369.8 ± 218.8	1306.8 ± 330.1	1141.1 ± 208.3

數值表示為平均值 ± 標準差；單位為焦耳(Joules)。

*，左膝關節伸展總功量在 60°/s 顯著高於 120°/s ($p < 0.05$)。

#，左膝關節屈曲總功量在 60°/s 顯著高於 120°/s ($p < 0.05$)。

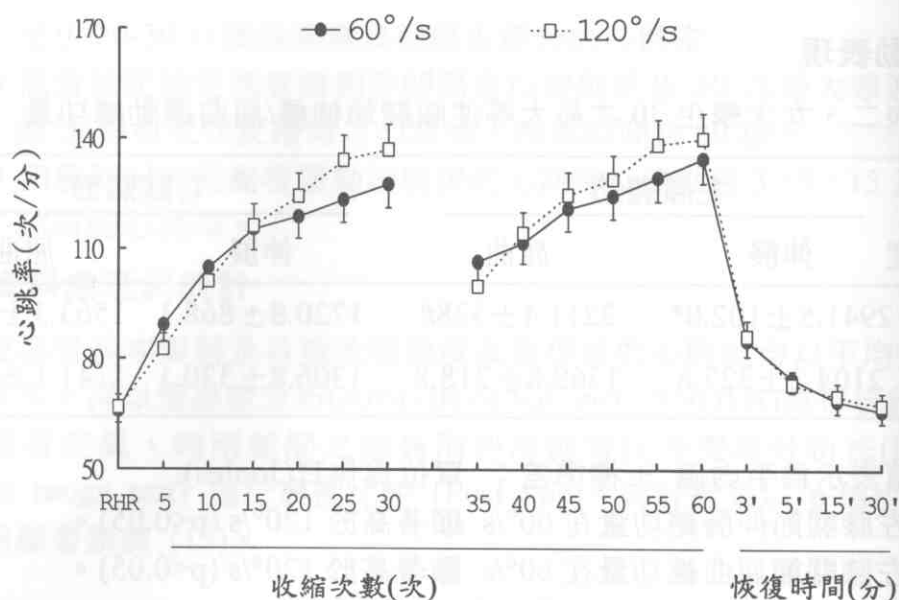
三、心跳率

表二所示進行左膝關節伸展/屈曲運動在 60°/s 最大等速膝關節伸屈運動總功量顯著高於同側進行 120°/s ($p < 0.05$)，右膝關節伸屈運動總功量則未達顯著差異($p > 0.05$)。

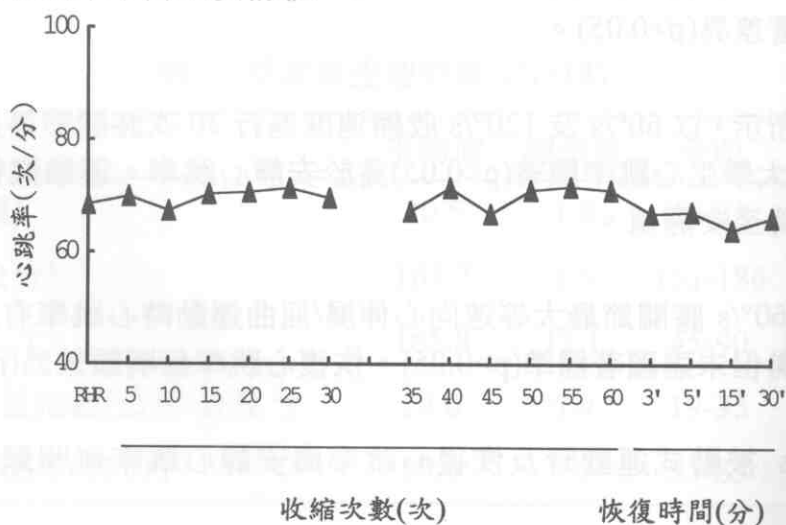
圖二所示，以 60°/s 及 120°/s 收縮速度進行 30 次膝關節等速向心伸展/屈曲時女大學生心跳率顯著($p < 0.05$)高於安靜心跳率。運動恢復後 5 分鐘心跳率下降至安靜值。

進行 60°/s 膝關節最大等速向心伸展/屈曲運動時心跳率有高於 120°/s 運動之趨勢但未達顯著標準($p > 0.05$)。恢復心跳率無明顯差異($p > 0.05$)。

120°/s 被動式運動時及恢復心跳率與安靜心跳率無明顯差異(圖三) ($p > 0.05$)。



圖二、30 次最大膝關節等速向心伸展/屈曲對女大學生心跳率之效應。以 60°/s 及 120°/s 收縮速度時心跳率顯著高於安靜心跳率($p < 0.01$)。120°/s 運動時心跳率與 60°/s 運動達無顯著差異($p < 0.05$)。恢復期 5 分鐘心跳率下降至安靜值。



圖三、30 次膝關節被動式伸展/屈曲對女大學生心跳率之效應。收縮運動時及恢復心跳率與安靜心跳率無明顯差異($p > 0.05$)。

伍、討論

根據結果，本研究發現 30 次最大膝關節等速向心伸展/屈曲運動可刺激女大學生心跳率持續上升至約 140 次/分，達到估算最大心跳率 70% (220-年齡) (12)。心跳率不受被動式膝關節伸展/屈曲運動所影響。在運動心跳率的表現方面，本研究結果與先前研究發現相似。Peel 等人(11)以三種收縮速度 60°/s、90°/s、及 120°/s 為受測方式，結果發現在這三種收縮速度所顯示的心跳反應並無明顯的差異性，但是在運動中的心跳率是持續上升一直到結束，最大心跳率達到預期 77%。

Scharf 等人(14) 指出心跳率在等速收縮運動的測試中會呈現上升的曲線。本研究結果顯示在不論 60°/s 或 120°/s 運動之下做功，心跳率都呈現曲線上升。Scharf 等人(14)認為心跳率的上升主要根據運動時所作的功及收縮速度。肌肉的高度緊張及肌纖維的快速抽動的高活動是促使心跳率上升的原因。因此，力量和速度之間的關係是心跳率變化量的決定因素。

先前實驗結果顯示，收縮速度的特殊性會產生不同的心跳率變化，而等速收縮運動時表現出的心跳率的大小是根據運動期間所做的移動速率(3, 5)。本研究發現較高速度等速運動所需的時間較短，移動速率較快，但能維持高速收縮狀態時間相對較長而使心跳率因肌肉的高度緊張及肌纖維的快速抽動而引發上升。

本研究以 60°/s 進行 30 次反覆等速收縮屬於低速度、高抗阻運動，所需的時間也較長，雖然運動初期所作的功較大，但之後減緩速度較快，而當工作強度維持或降低時都會使心跳率不再上升。而進行 120°/s 運動所需時間相對較短，抗阻較低維持高速收縮狀態使得引發心跳率持續上升。先前利用運動不同部位肌群觀察心跳反應，結果發現心跳率改變與所作的功與受測者測驗時所運用的肌肉量具有連帶關係(5)。此外，研究發現等速收縮運動會使心跳率急速上升。先前研究結果顯示剛開始的反覆 5 次收縮的心跳率高於安靜值達 30 次/分 (9)。

一般了解，實施肌肉的高度緊張及肌纖維的快速抽動活動或不熟悉動作常刺激交感神經(Sympathetic nerve)衝動而導致腎上腺素(Adrenaline)大量分泌(12)。腎上腺素作用位於心臟上之竇房結(Sinoartial node, SA node)細胞膜而增加細胞外鈉離子通透度，縮短到達閾值電位(Threshold potential)

時間，加速動作電位之產生。交感神經也刺激位於房室結 (Atrioventricular node, AV node) 之神經而縮短房室結與心室細胞間之傳導時間(12)而使心跳率增加。

許多研究等速收縮運動探討收縮速度及反覆次數對肌力表現之影響(8, 10)。肌肉生理學家探討肌群肌力與收縮速度關係及其機制(Mechanism)。本研究結果發現膝關節伸展/屈曲在進行 60°/s 時運動總功量高於 120°/s。根據力量－速度關係(Force-velocity relationship)理論，等速向心收縮時肌力出現隨著收縮速度的增加而減少之特性(10)。

Perrin (10)解釋根據力量－速度關係是因為肌群隨著向心收縮速度增加而導致肌節(Sarcomere)中肌凝蛋白(Myosin)及肌動蛋白(Actin)形成橫橋(Cross-bridge)的時間及數目也相對減少。由於肌凝蛋白必須與肌動蛋白鍵結才能使得能量釋出，而橫橋形成數目是導致收縮肌肉產生張力大小之決定因素(10)。

陸、結論與建議

一、結論

- (一) 以 60°/s 及 120°/s 收縮速度進行 30 次最大膝關節等速向心伸展/屈曲運動可導致女大學生心跳率顯著高於安靜值，而運動恢復後 5 分鐘心跳率下降至安靜值。
- (二) 以 60°/s 進行 30 次最大膝關節等速向心伸展/屈曲運動時，心跳率顯著高於 120°/s 運動。恢復心跳率無明顯差異。
- (三) 120°/s 進行 30 次被動式收縮運動時之心跳率、恢復心跳率及安靜心跳率不變。

二、建議

- (一) 後續研究觀察等速離心運動對心跳率之效應。
- (二) 後續研究觀察等速向心及離心運動訓練對心跳率之效應。
- (三) 後續研究以運用心電圖觀察等速向心及離心運動訓練對自律神經之效應。

參考文獻

1. Atha, J. Strengthening muscle. *Exercise and Sports Sciences Reviews*, 9 : 1-73, 1981.
2. Crawford , -W.-W ; Loy , -S.-F., Nelson,-A.-G., Conlee , -R.-K., Fisher,-A.-G., and Allsen,-P.-E . Effect of prior strength exercise on heart rate oxygen uptake relationship during submaximal exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness (Toronto)* ; 31(4),Dec 1991,505-509
3. Douris, -P.-C. Cardiovascular responses to velocity specific isokinetic exercise . *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy (Baltimore, Md.)*, 13(1), 28-32. 1991.
4. Duvallet,-A., Louassi,-B.-Y.-L., Carzon,-J., and Rieu,-M. Heart rate during functional isokinetic testing of muscle. *Isokinetic Exercise. Science (Stoneham,-Mass.)* ; 3(4) : 188-194, 1993.
5. Haennel,-R.-G., Snydermiller,-G.-D., Teo,-K.-K., Greenwood,- P.-V., Quinney,-H.-A., and Kappagoda,-C.-T. Change in blood pressure and cardiac output during maximal isokinetic exercise. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation (Philadelphia,)*, 73(2) : 150-155.1992.
6. Henry, -S. -C. Comparision of acute heart-rate and Blood pressure responses among isometric, isotonic, and isokinetic exercise. Thesis (M.S.)-Springfield College, In bibilograph : leaves 135-153,1993.
7. Hinson, -M.-N, Smith, , -W. -C., and Funk, -S. Isokinetic : A clarification. *Research Quarterly*, 50, 30-35, 1979.
8. Hislop, -H. and Perrin, -J. -J. The isokinetic concept of exercise. *Physical Therapy*, 47 : 114-117, 1967.
9. Iellamo,-F., Legramante,-J.-M., Raimondi,-G., Cadrucci-F., Damiani,-C., Foti, -C., Peruzzi,-G., and Caruso,-I. Effects of isokinetic, isotonic and isometric sub-maximal exercise on heart rate and blood pressure. *European Journal. Applied Physiology*. 75(2) : 89-96.1998
10. Perrin -D. -H. Interpreting an isokinetic evaluation. In isokinetic exercise and assessment. -D, Perrin (Ed). *Human Kinetics, Champaign, IL*, 1993,

- pp59-71.
11. Peel,-C., and Alland,-M.-J. Cardiovascular responses to isokinetic trunk exercise *Physical Therapy (Alexandria)* ; 70(8) : 503-510, S56-S59 1990.
 12. Roberges, -R. -A., and Roberts, -S. -O. Cardiovascular function and adaptation to exercise. In *Exercise Physiology : Exercise performance and clinical applications*. -R. -A.. Roberges, and -S. -O. Roberts (Eds), Mosby, St. Louis, 1997, pp 270-305.
 13. Steel, -R. -D., and Torrie, -J. -H. Analysis of variance. In *Principles and procedures of statistics*, R. D. Steel and J. H. Torrie (Eds.) New McGraw Hill, 1960, pp. 99-131.
 14. Sharf,-H.-P ; Eckhard,-R ; Maurus,-M ; and Puhl,-W. Metabolic and hemodynamic changes during isokinetic muscle training : a controlled clinical trial. *International Journal of Sports Medicine (Stuttgart)*15(suppl.1), 1994.
 15. Thistle, -H. -G, Hislop, -H. -J., Moffroid, -M., and Lohman, -E. -W. Isokinetic contraction : A new concept of resistive exercise. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 48, 279-282, 1967.