

本文章已註冊DOI數位物件識別碼

► 阻力運動強度對能量消耗之影響

The Effects of Exercise Intensity on Energy Expenditure of Performing Resistance Exercise

doi:10.6127/JEPF.2005.02.10

運動生理暨體能學報, (2), 2005

Journal of Exercise Physiology and Fitness, (2), 2005

作者/Author：吳柏翰(Bo-Han Wu);林正常(Jung-Chang Lin)

頁數/Page：119-129

出版日期/Publication Date：2005/04

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.2005.02.10>



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



阻力運動強度對能量消耗之影響

吳柏翰¹ 林正常²

¹國立台灣師範大學 ²中國文化大學

摘要

本研究的目的是在探討相同作功量、高低不同強度阻力運動中和運動後恢復期的能量消耗，並藉由不同強度阻力運動中和運動後的生理反應分析來解釋能量消耗產生差異的成因。本研究的受試者為 16 名國立台灣師大的男性學生，受試者分別接受高強度（3 組、75%1RM 的強度進行 10 次反覆）和低強度（3 組、50% 1RM 的強度進行 15 次反覆）的阻力運動測驗，在運動中和運動後恢復期 2 小時分別測量受試者的攝氧量、體溫、心跳率和換氣量。本研究以相依樣本 t-test 考驗不同強度阻力運動中和恢復期的能量消耗與各項生理反應的差異。結果分析後發現進行高強度阻力運動在運動中和恢復期各階段的能量消耗皆顯著的高於從事低強度阻力運動（ $p<.05$ ）。此外，體溫和心跳率等生理反應在恢復期各階段皆無顯著差異（ $p>.05$ ）。僅有從事高強度阻力運動在運動中和恢復期 0~20 分時的換氣量顯著高於從事低強度阻力運動（ $p<.05$ ）。因此，研究結果顯示相同做功量、高強度的阻力運動的確比低強度阻力運動更可以增加運動後過攝氧量，進而增加運動後恢復期的能量消耗。此外，高強度阻力運動中的能量消耗也顯著的高於從事低強度阻力運動。因此，本研究建議有意利用運動增加能量消耗達到體重控制目標的運動愛好者，也可考慮以高強度阻力運動來作為體重控制的運動處方。

關鍵詞：阻力運動、能量消耗、運動強度

連絡作者：吳柏翰

聯絡電話：0932-997655

投稿日期：94 年 2 月

通訊地址：臺北市文山區汀州路 4 段 88 號師大分部

E-mail：89330006@cc.ntnu.edu.tw

接受日期：94 年 3 月

問題背景

現代人由於生活的忙碌與大眾交通運輸工具的發達，日常生活中缺乏運動的機會。造成肥胖以及許多慢性疾病的問題，例如：冠狀動脈疾病、糖尿病、高血壓、中風等。因此，體重控制儼然已經變成現代人維持健康的重要課題。然而，體重控制的基本原則是能量的消耗量多於能量的攝取量。長期以來，運動生理學的專家學者提倡低強度有氧運動 (low-intensity aerobic exercise) 的概念，他們認為低強度有氧運動時，身體可以利用更多的脂肪作為能量，進一步減少脂肪的含量 (Epstein et al., 1980; Ready, 1989; Walberg, 1989)。穩定狀態 (steady-state) 的有氧運動長久以來被作為體重控制者的運動處方中消耗能量的最佳運動模式。美國運動醫學會 (ACSM) 也倡導大眾應該進行每週 2-3 次、每次 20~60 分鐘的中等強度 (50~85% $\dot{V}O_{2max}$) 有氧運動來維持或促進身體的心肺適能並且保持良好的身體組成。然而，運動的能量消耗除了運動中所消耗的能量，同時也包括運動後恢復期能量消耗的增加，也被稱為運動後過攝氧量 (excess post-exercise oxygen consumption, EPOC)。許多研究發現運動強度可以影響 EPOC 的量與持續時間 (Bahr, 1992; Sedlock, 1989)。然而，研究也發現無氧性的阻力運動在運動中的能量消耗並不會低於有氧運動中的消耗量，並且在運

動後恢復期的能量消耗更顯著的高於有氧運動 (Elliot et al., 1992; Bursleson et al., 1998)。此外，Tremblay et al. (1990) 發現高強度的間歇運動在恢復期的脂肪氧化量要比穩定狀態的有氧運動多。然而，阻力運動在本質上也被認為是一種間歇運動，因此，阻力運動在恢復期可能會有持續時間較長的 EPOC 和氧化較多的脂肪。此外，長期阻力運動後肌肉量的增加、肌肉微血管、粒線體數目的增多、酵素活性的提升等因素的影響，可造成每日能量消耗量的增加，達到增加休息代謝率 (resting metabolic rate, RMR) 的效果，進而提高能量的消耗量。因此，以能量消耗的觀點來說，阻力運動消耗能量的效果似乎高於有氧運動。然而，阻力運動的強度對於 EPOC 的量與持續時間的影響仍然不是很清楚。因此，有必要對於不同強度阻力運動中及運動後的能量消耗來加以探討，並且藉由測量運動後恢復期的基礎生理反應來分析引起差異的原因。

研究方法

受試對象

本研究以國立台灣師範大學自願參與實驗的體育學系男性學生 16 名為受試對象，受試者各項基本資料如表一所示。

表一 受試者各項基本資料表 (n=16)

項目	平均值	標準差
年齡(years)	20.2	1.8
身高 (cm)	172.9	5.0
體重(kg)	68.1	6.2
BMI (kg/m ²)	22.9	1.4

實驗方法

本研究之受試者須先參與實驗前的先前測驗，先前測驗包括：最大肌力（1RM）的測量、休息代謝率（RMR）的測量，隨後進行將 16 名受試者以隨機的方式分為兩組，一組先進行低強度阻力運動測驗，再進行高強度阻力運動測驗；另一組則先進行高強度阻力運動測驗，再進行低強度阻力運動測驗，受試者在完成一種測驗後必須休息至少三天方能進行接下來的測驗。

實驗前準備工作

阻力運動器材的維修及調整、K4b² 攜帶式能量代謝分析器的維修及氣體校正、心跳率紀錄器（Polar Edge, Polar）、身高體重計（DS-102, Jenix）、耳內體溫測量器的準備。

最大肌力（1RM）的測量

受試者在熱身完畢後，依照下列的動作：雙手彎舉、直立划船、仰臥推舉、屈體划船、胸前高滑輪下拉運動、屈膝半蹲、坐伸腿運動、斜板腿推舉的順序進行最大肌力的測量。根據受試者先前的訓練紀錄和一次的嘗試舉起能力，最初的測試負荷是由受試者的主觀能力來訂定，如果嘗試成功，即增加負荷，此過程直至無法舉起負荷為止，最後一次成功舉起的最大重量紀錄為最大肌力值（1RM）。

休息代謝率（RMR）的測量

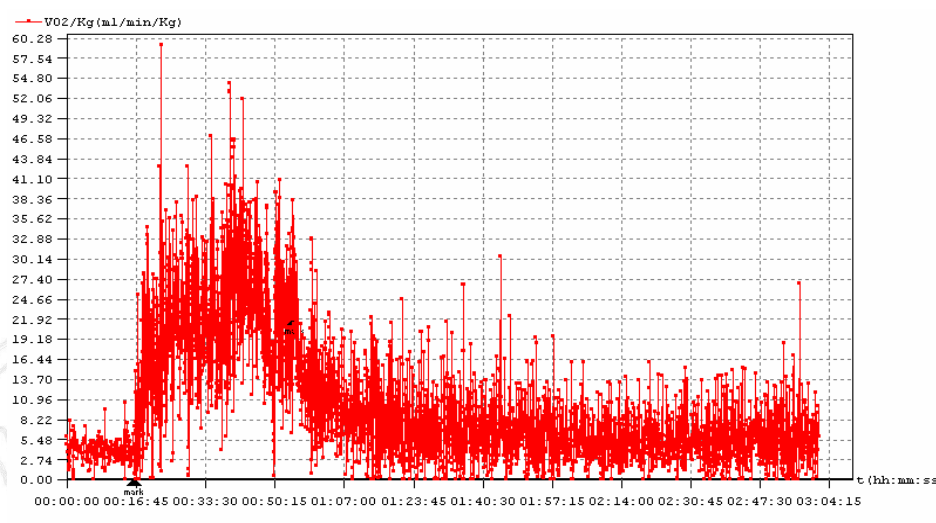
受試者在測量前應禁食 5 小時，首先受試者仰躺休息 30 分鐘後，再以 K4b² 攜帶式能量代謝分析器進行休息代謝率的測量，測量時間為 30 分鐘，在測驗時讓受試者安靜的仰躺於躺椅上並盡量避免外界因素的干擾。

低強度阻力運動測驗

熱身完畢後，受試者帶上 K4b² 攜帶式能量代謝分析器測量運動過程中的 $\dot{V}O_2$ ，同時，依照所設計阻力運動的課表進行 3 組、8 個動作、50%1RM 強度 15 次反覆、每組間的休息時間為 2 分鐘。阻力運動結束後，立即讓受試者安靜的坐在躺椅上，測量阻力運動後第 0~120 分鐘的 $\dot{V}O_2$ 。

高強度阻力運動測驗

熱身完畢後，受試者帶上 K4b² 攜帶式能量代謝分析器測量運動過程中的 $\dot{V}O_2$ ，同時，依照所設計阻力運動的課表進行 3 組、8 個動作、75%1RM 強度 10 次反覆、每組間的休息時間為 2 分鐘。阻力運動結束後，立即讓受試者安靜的坐在躺椅上，測量阻力運動後第 0~120 分鐘的 $\dot{V}O_2$ 。高、低強度阻力運動測驗時之攝氧量（ml/min/kg）如圖一所示：



圖一 運動後恢復期之攝氧量曲線圖

統計分析

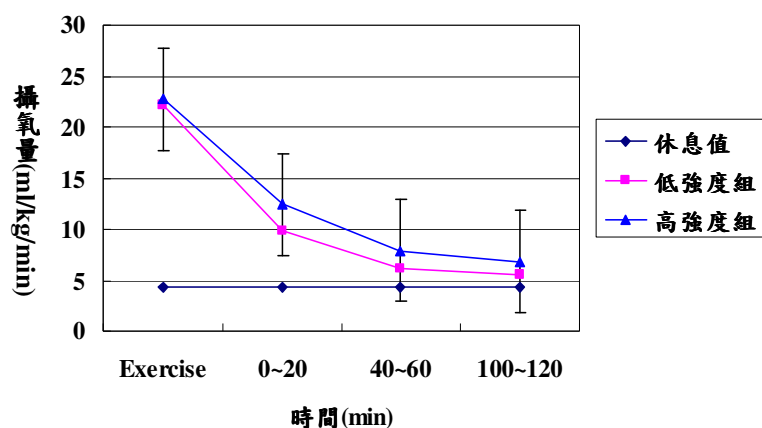
本研究中實驗測量所得之各項資料，以電腦 SPSS for Windows 10.0 統計軟體分別進行如下之統計分析：(一) 以相依樣本 t-test 考驗高低不同強度阻力運動後 EPOC 與各項生理反應的差異。(二) 本研究中，統計分析皆以 $\alpha = .05$ 為顯著水準。

結果與討論

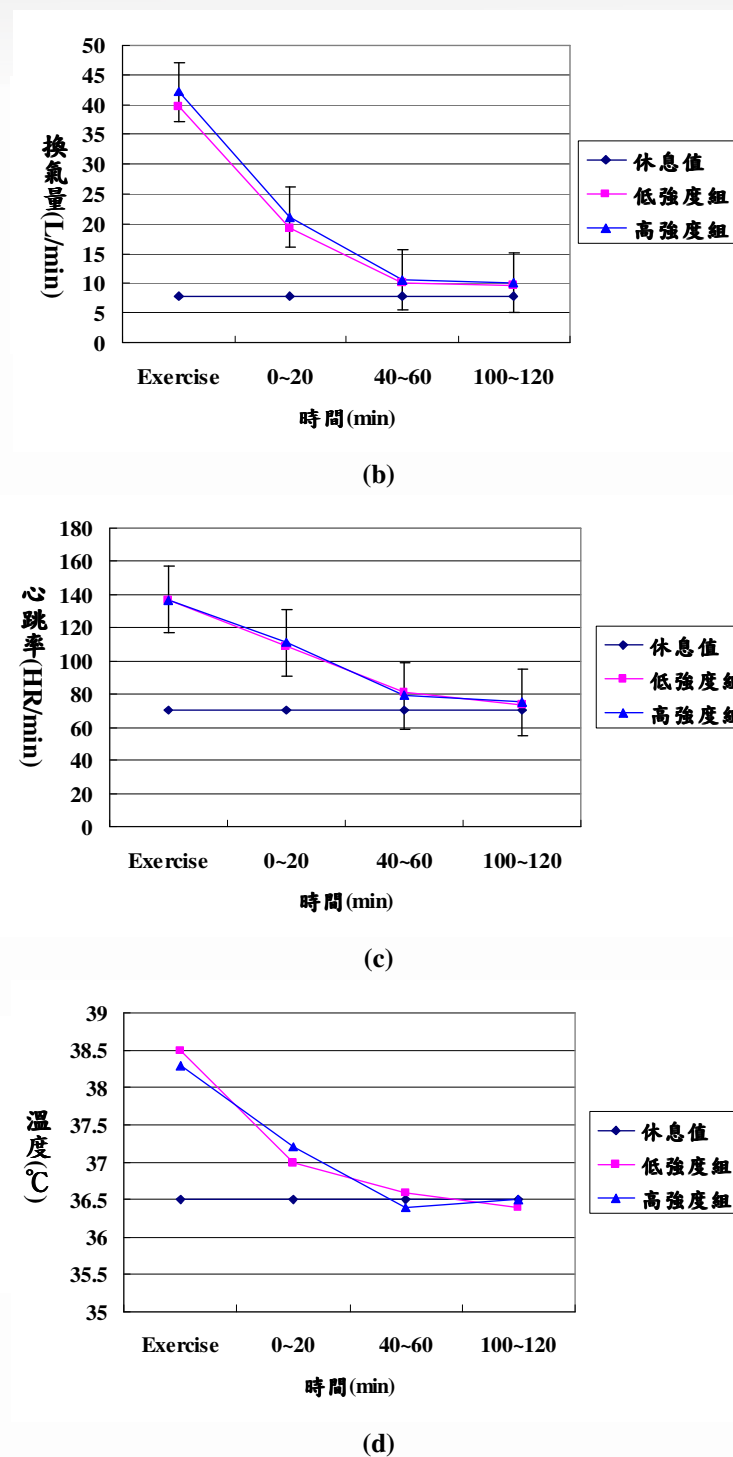
結果

運動期

本研究以相依樣本 t-test 比較高低不同強度運動中的能量消耗與生理反應。研究結果發現高強度組的換氣量顯著高於低強度組 ($p < .05$)，而高低不同強度阻力運動中的攝氧量、心跳率和體溫則無顯著差異 ($p > .05$) (圖二)。



(a)

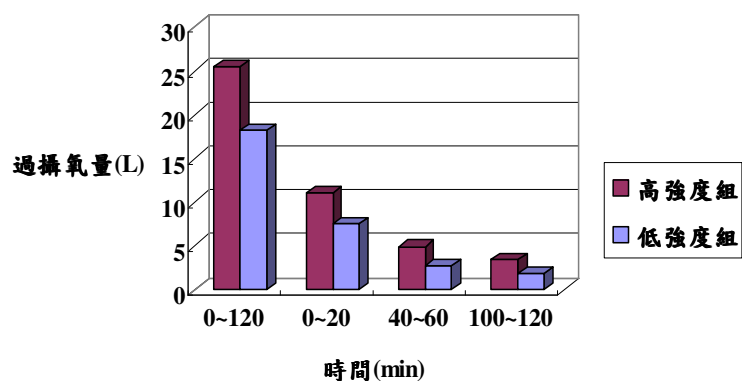


圖二 高強度和低強度阻力運動中和運動後恢復期的(a)攝氧量，(b)換氣量，(c)心跳率，(d)體溫。
*高強度組顯著高於低強度組。

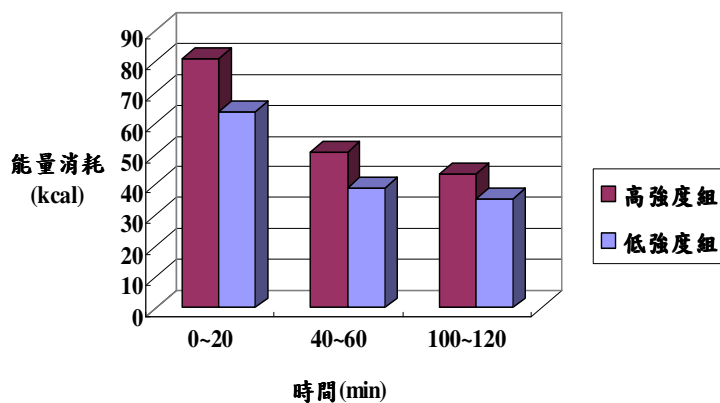
運動後恢復期

高強度組在 0~20 分鐘、40~60 分鐘及 100~120 分鐘的運動後恢復期的攝氧量與 EPOC 顯著高於低強度組 ($p<.05$)，此外，高強度組在 0~20 分鐘、40~60 分鐘、100~120 分鐘的運動後恢復期的能量消耗顯著高於低

強度組 ($p<.05$) (圖三)。高強度組在運動後恢復期 (2 小時) 的能量消耗顯著高於低強度組 ($p<.05$) (圖四)，而高低不同強度運動組在運動後恢復期的攝氧量、心跳率和體溫皆無顯著差異 ($p>.05$)，僅有高強度組在 0~20 分鐘的換氣量顯著高於低強度組。

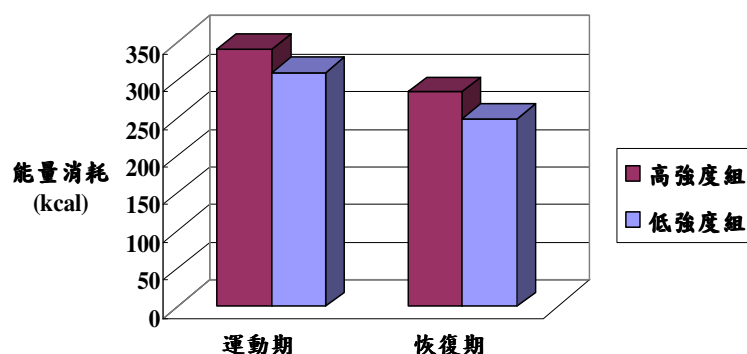


(a)



(b)

圖三 高強度和低強度阻力運動後恢復期的 (a) EPOC，(b) 能量消耗。當差異達顯著 ($p<.05$)；
*高強度組顯著高於低強度組。



圖四 高和低強度阻力運動期和運動後恢復期的能量消耗；*高強度組顯著高於低強度組 ($p < .05$)。

討論

阻力運動強度對運動中和運動後能量消耗的影響

本研究中受試者從事高強度阻力運動的平均時間為 43 分 54 秒，而這段期間受試者平均的總能量消耗為 336.8 ± 40.7 kcal，每分鐘的平均能量消耗為 7.65 kcal。此外，受試者從事低強度阻力運動的平均時間為 41 分 10 秒，而這段期間受試者平均的總能量消耗為 309.7 ± 56.6 kcal，每分鐘的平均能量消耗為 7.50 kcal。從事高強度阻力運動在運動中的總能量消耗顯著的高於從事低強度阻力運動 ($p < .05$)。Burleson et al. (1998) 的研究指出 30 分鐘、強度為 $45\% \dot{V}O_{2\max}$ 的跑步運動中的能量消耗為 7.7kcal/min，因此，本研究的結果亦證實阻力運動中的能量消耗並不亞於有氧運動中的能量消耗。Trueth et al. (1996) 研究發現相同工作量的自行車運動，高強度組的能量消耗比低強度組多出 22%，研究者認為這可能與高強度組增加動用效率較差的快縮肌纖維、心臟和呼吸肌的負荷增加有關。然而，本研究以相同工作量的阻力運動來進行比較，從研究結果發現高強度阻力運

動中的心跳率和從事低強度阻力運動並無顯著差異，而高強度阻力運動中的換氣量和從事低強度阻力運動有顯著差異 ($p < .05$)，因此，呼吸肌在高強度阻力運動中的負荷高於低強度阻力運動。此外，高強度阻力運動中動用作功率效率差的快縮肌纖維的比例高於從事低強度阻力運動，因此，在從事一個固定工作量的運動時，動用較多效率低的快縮肌纖維會消耗較多的能量，這可能亦是從事高強度阻力運動在運動中能量消耗高於從事低強度阻力運動的主要原因。

此外，本研究發現高強度阻力運動後恢復期 2 小時的能量消耗顯著的高於從事低強度阻力運動 ($p < .05$)，而這樣的結果與從事高強度阻力運動在運動後恢復 2 小時期間的 EPOC 顯著的高於從事低強度阻力運動有關 ($p < .05$)。高強度阻力運動後恢復 2 小時期間各階段的過攝氧量顯著高於從事低強度阻力運動，但在兩組不同強度阻力運動後恢復期僅有 0~20 分鐘的換氣量有顯著的差異。其它的心跳率、體溫、呼吸交換率在運動後恢復期的各階段皆無顯著差異。高強度阻力運動

後恢復期僅有 0~20 分鐘的換氣量有顯著的差異。其它的心跳率、體溫、呼吸交換率在運動後恢復期的各階段皆無顯著差異。此外，Burleson et al. (1998) 和 Elliot et al. (1992) 的研究亦指出高強度阻力運動後的能量消耗顯著的高於有氧運動。因此，由以上的討論可以看出在相同的作功量下，高強度的阻力運動在運動中和恢復期的能量消耗皆顯著的高於從事低強度阻力運動。

阻力運動的強度對運動後過攝氧量的影響

先前的研究對於相同作工量不同強度阻力 EPOC 的結論並不一致，Olds et al. (1993) 比較高低不同強度、相同作功量的阻力運動 (75%1RM 的強度進行 12 次反覆和 60%1RM 的強度進行 15 次反覆)，研究發現兩種不同強度的阻力運動後 EPOC 的量並沒有顯著差異。此外，Thornton et al. (2002) 讓受試者進行高低不同強度的阻力運動，兩種不同強度阻力運動的作功量接近，在運動後分別測量 0~20 分鐘、45~60 分鐘和 105~120 分鐘的 $\dot{V}O_2$ ，發現高強度阻力運動後，每一階段中 EPOC 的量皆顯著的高於低強度阻力運動 ($p<.05$)。而本研究的結果與 Thornton et al. (2002) 的研究結果一致，本研究發現從事高強度阻力運動在運動後恢復 2 小時期間的 EPOC 顯著的高於從事低強度阻力運動。此外，從事高強度阻力運動在運動後恢復期 0~20 分鐘、40~60 分鐘和 100~120 分鐘等三階段的 EPOC 皆顯著的高於從事低強度阻力運動 ($p<.05$)。從過去文獻的資料可以發現阻力運動後的 EPOC 有顯著高於有氧運動的現象 (Elliot et al., 1992; Burleson et al., 1998)。由於，本研究中僅分析運動後兩小時的攝氧

量，因此，無法正確判定阻力運動後 EPOC 的持續時間。先前，Williamson et al. (1997) 和 Dolezal et al. (2000) 發現進行高強度阻力運動後的 RMR，在運動後 48 小時仍然有高於休息值的現象。然而，本研究中不論是從事高或低強度的阻力運動，EPOC 皆長達 2 小時以上，受試者在 2 小時恢復期間的攝氧量、換氣量、心跳率皆仍高於受試者在安靜狀態時的休息值，而體溫僅有在運動後 0~20 分鐘時高於安靜時的休息值。然而，Melby et al. (1992) 和 Binzen (2001) 的研究皆指出低強度阻力運動後的 EPOC 短於 2 小時。因此，本研究的結果與先前的文獻資料有所差異，而這樣的差異有可能是因為實驗設計時阻力運動的強度、動作數、組數和反覆次數不同所造成。

然而，影響 EPOC 的生理因素很多，與運動中 ATP-CP 系統的再補充、肌肉組織中乳酸的移除 (Brooks, 1985)、血液中血紅素的再載氧、肌肉組織中肌紅素的再載氧、換氣量、體溫、心跳率和激素的水準仍維持在高值有關。Harris et al. (1976) 指出 ATP-CP 系統的再補充、血紅素和肌紅素的再載氧在恢復期的 2~3 分鐘就會完成。而運動後身體體溫的水準仍未下降亦會導致運動後恢復期代謝率的上升，此現象亦稱為 Q_{10} 效應。然而，本研究高低不同強度阻力運動後恢復期的體溫僅有在運動後 0~20 分鐘時高於安靜時的休息值，因此，循環和呼吸系統在運動後恢復期中高於安靜休息時的負荷量似乎是導致 EPOC 長達 2 小時以上的主要原因。

本研究發現，雖然從事高強度阻力運動在運動後恢復 2 小時期間各階段的 EPOC 顯著的高於從事低強度阻力運動，但在兩組不

同強度阻力運動後恢復期僅有 0~20 分鐘的換氣量有顯著的差異。其它的心跳率、體溫、呼吸交換率在運動後恢復期的各階段皆無顯著差異 ($p>.05$)。此外，血液中激素的水準也可能是影響高強度阻力運動後 EPOC 顯著高於從事低強度阻力運動的重要因素。Virus (1985) 認為運動強度必須達到運動強度閾值和持續時間閾值，激素才會有明顯的反應。因此，強度高的阻力運動比強度低的阻力運動更可以刺激交感神經系統興奮，而造成腎上腺素與正腎上腺素分泌的增加，使得運動後的休息代謝率顯著的高於低強度阻力運動組。然而，運動後這些激素會快速的從血液中被移除，避免阻礙運動後各種能源受質的合成與細胞組織的修復，所以激素並沒有足夠的時間對 EPOC 產生長時間的影響。因此，似乎有其他的因素造成高強度阻力運動後過攝氧量顯著的高於低強度阻力運動組。由於較激烈的阻力運動導致肌肉纖維損傷的程度較嚴重，並且運動中會消耗較多的肌肉肝醣和磷酸肌酸 (CP)，因此，在運動後恢復期必須消耗較高的能量來修復肌肉組織

和重新合成肌肉肝醣，這可能是導致從事高強度阻力運動後的 EPOC 顯著高於從事低強度阻力運動的主要原因之一。

結論與建議

結論

本研究發現從事阻力運動在運動中和運動後消耗能量的效果要優於有氧運動。而且，高強度阻力運動消耗能量的效果又優於低強度阻力運動。對於想要藉健身運動來增加能量消耗達成體重控制的運動者來說高強度阻力運動也可作為訂定運動處方的參考。

建議

從事高強度阻力運動對能量消耗的效果雖較從事低強度阻力運動的效果佳。然而，本研究建議初從事阻力運動的健身愛好者、中老年人或體能水準較差者可先從事低強度的阻力運動，再逐漸將強度提升至強度高的阻力運動，以避免肌肉酸痛和運動傷害的發生。

引用文獻

- American College of Sports. (1998). *ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription*, 3rd ed. Williams and Wilkins, Baltimore, Md., 134~306.
- Bahr, R. (1992). Excess postexercise oxygen consumption: magnitude, mechanism and practical implication. *Acta Physiologica Scand*, 144 Suppl. 605, 1-70.
- Binzen, C. A., Swan, P. D., & Manore, M. M. (2001). Postexercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6), 392-398.
- Burleson, Jr. M. A., Obryant, H. S., & Stone, M. H. (1998). Effect of weight training exercise and treadmill exercise on excess post-exercise oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(4), 518-522.
- Dolezal, B. A., Potteiger, J. A., & Jacobsen, D. J. (2000). Muscle damage and resting metabolic rate after acute resistance exercise with an eccentric overload. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(7), 1202-1207.
- Elliot, D. L., Goldberg, L., & Kuehl, K. S. (1992). Effects of resistance training on excess postexercise oxygen consumption. *Journal of Applied Sport Science Research*, 6(2), 77-81.

- Gasser, G. A., & Brooks, G. A. (1984). Metabolic bases of excess post exercise oxygen consumption : a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(1), 29-43.
- Harris, R. (1976). The time course of phosphocreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Archives*, 367, 137-142.
- Melby, C. L., Tincknell, T., & Schnidt, W. D. (1992). Energy expenditure following a bout of non-steady state resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 128-135.
- Olds, T. S., & Abernethy, P. J. (1993). Postexercise oxygen consumption following heavy and light resistance exercise. *Journal of Strength Condition Research*, 7, 147-152.
- Osterberg, K. L., & Melby, C. L. (2000). Effect of acute resistance exercise on postexercise oxygen consumption and resting metabolic rate in young women. *International Journal of Nutrition and Exercise Metabolism*, 10(1), 71-78.
- Sedlock, D., Fissinger, J. A., & Melby, C. L. (1989). Effects of exercise intensity and duration on postexercise energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21, 662-666.
- Thornton, M. K., & Potteiger, J. A. (2002). Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 715-732.
- Tremblay, A., Depres, J. P., Leblanc, C., Craig, C. L., Ferris, B., Stephens, T., & Bouchard, C. (1990). Effect of intensity of physical activity on body fatness and fat distribution. *American Journal of Clinical Nutrition*, 51, 153-157.
- Treuth, M. S., Hunter, G. L., & Williams, M. (1996). Effects of exercise intensity on 24-h energy expenditure and substrate oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 1138-1143.
- Viru, A. (1985). Hormones in Muscular Activity: *Adaptive Effect of Hormones in Exercise* (Volume2). Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc.
- Williamson, D. L., & Kirwan, J. P. (1997). A single bout of concentric resistance exercise increase basal metabolic rate 48 hours after exercise in healthy 59-77-year-old men. *Journal of Biological Science and Medicine Science*, 52(6), M352-355.

The Effects of Exercise Intensity on Energy Expenditure of Performing Resistance Exercise

Wu Bo-Han¹ Lin Jung-Chang²

¹National Taiwan Normal University ²Chinese Culture University

ABSTRACT

The purpose of this study was to compare the effects of equal work resistance exercise with different intensities on energy expenditure, and to use physiological responses after resistance exercise to explain the affecting factors of energy expenditure. In this study, sixteen university male students performed resistance exercise test of high intensity (HI, 3 sets of 10 repetitions at 75% of 1RM) and low intensity (LO, 3 sets of 15 repetitions at 50% of their 1RM) respectively. During the exercise and post-exercise periods, subject's heart rate (HR), ventilation volume ($\dot{V}E$), oxygen consumption ($\dot{V}O_2$), respiratory exchange ratio (RER) and body temperature (BT) were continuously monitored. Repeated t-test was applied to compare the energy expenditure and physiological responses between high and low intensities. The results found that the oxygen consumption and energy expenditure in the recovery period of HI were significantly different with LO ($p < .05$). HR, RER and BT showed no significant differences between HI and LO ($p > .05$). Thus, the results of the study indicated that for resistance exercise with an equated work volume, HI produced higher energy expenditure than LO. Moreover, the energy expenditure during exercise in HI was also significantly higher than LO. In conclusion, the resistance exercise, especially at high intensity, is a good choice for people to design weight control program for caloric expenditure.

Key words: Resistance exercise, Energy expenditure, Exercise intensity