

肌肉疲勞之性別差異

張振崗¹、林學諒²、王慶堂¹

國立台灣體育學院¹
輔英科技大學²

摘要

女性生理變化較男性更為複雜，尤其會受到荷爾蒙變化的影響，但大多數運動生理學的研究仍以男性為研究對象，其結果無法完全應用於女性，本文探討肌肉疲勞的性別差異，以及造成此差異的可能原因。大多數的研究顯示，在低強度或中強度肌肉反覆收縮的運動方式之下，女性肌肉疲勞抵抗性較男性為高，但當使用肌力接近或達到最大自主肌肉收縮時，肌肉疲勞抵抗性就無顯著性別差異。造成此現象的可能原因包括(1)女性肌肉代謝負擔較低；(2)女性以有氧代謝的方式產生之能量比例較高；(3)神經肌肉活性之性別差異。

關鍵字：性別、疲勞、肌肉

壹、前言

參與日常與競技性的身體活動之女性在近年來快速增加，由於女性的生理特性與男性有相當大的差別，加上荷爾蒙的影響，使得女性生理變化較男性更為複雜，但大多數運動生理學的研究仍以男性為研究對象，其結果無法完全應用於女性身上，本文將根據以發表的文獻，探討肌肉疲勞的性別差異，以及造成此差異的可能原因。

貳、性別差異

運動期間所產生的疲勞可定義為產生最大肌力的能力降低，而疲勞抵抗性則可視為運動至無法維持指定力量所需的時間(Hicks 等, 2001)。許多研究利用各種肌肉收縮方式，探討疲勞抵抗性之性別差異，整理如表一。

雖然表一提到之研究的樣本數都不多，但大多數的研究都顯示，女性的肌肉疲勞抵抗性較男性為高，當從事 20-70%最大自主肌肉收縮(maximal voluntary contraction, MVC)時，女性產生疲勞所需的時間約較男性增加 47-86% (Hicks 等, 2001)。但是當使用肌力接近或達到 MVC 時，疲勞抵抗性之性別差異就變得不明顯(Laforest 等, 1990; Maughan 等, 1986)，Maughan 等指出，膝蓋伸肌(knee extensors)以等長(isometric)的方式於 20%、50%、80% MVC 運動至力竭，女性僅在 20% MVC 時有較高的疲勞抵抗性，在 50%與 80%則無顯著性別差異，以手肘曲肌(elbow flexors)進行動態(dynamic)的運動也有類似的結果，女性僅在 50-70% 1 RM 運動之運動強度時具有較高的疲勞抵抗性，而在 80%與 90% 1RM 時則無顯著性別差異(Maughan 等, 1986)。造成此性別差異的可能原因包括(1)肌肉量；(2)能量來源；(3)神經肌肉活性(neuromuscular activity)，以下將逐一討論。

參、造成性別差異的主要原因

一、肌肉量

大多數探討肌肉疲勞抵抗性之性別差異的研究都是讓受測者從事同等的相對力量(% MVC)，由於女性肌肉量較男性為低，所產生的 MVC 絕對值也較低，因此即使以同等的 MVC 百分比進行運動，女性所使用的絕對肌力仍較男性為低。此較低的絕對肌力可能伴隨著較低的氧氣需求，以及較少的局部血管壓迫(Maughan 等, 1986; Miller 等, 1993)，使得女性的肌肉代謝負擔較低，且運動中肌肉血流的供應更順暢，進而增加疲勞抵抗性。

Fulco 等將男女性受測者根據 MVC 絕對值配對，以 50% MVC 進行 5 秒運動，5 秒休息的間歇性拇指內收肌(adductor pollicis)靜態收縮運動，並於運動期間每分鐘測試一次 MVC，女性運動至力竭所需的時

(14.7±1.6 min)約為男性的2倍(7.9±1.7 min)，女性第1-4分鐘每一次測試的MVC降低百分比也都較男性為低，女性在力竭後休息1分鐘測得的MVC降低百分比亦較男性為低，休息2-3分鐘後MVC降低百分比則無顯著性別差異(Fulco等, 1999)。此研究顯示，當以同等的絕對強度運動時，女性的疲勞抵抗性仍較男性為高。

二、能量利用

在同樣的相對運動強度下，女性較男性利用較高比例的脂肪與較低比例的醣類和蛋白質做為能量來源(Tarnopolsky, 2000)，可能因此而造成較高的疲勞抵抗性。Kent-Braun等以³¹P-NMR分析進行等長運動的腳踝足背曲肌(ankle dorsiflexors)中的能量代謝情形(Kent-Braun等, 2002)，強度從10% MVC開始，每2分鐘增加10%，歷時16分鐘，前8分鐘男女性Pi/phosphocreatine (PCr)比例與運動前並無顯著差異，之後男性Pi/PCr開始逐漸升高，女性Pi/PCr則仍維持運動前之水準，並顯著低於男性，顯示女性之有氧代謝能力仍然足以負擔此運動型態，而男性則否。女性肌肉中運動導致的Pi、H⁺、H₂PO₄⁻增加亦顯著低於男性，顯示男性可能使用較多的無氧代謝的方式產生能量，而此三種分子都可能使肌肉產生疲勞(Cooke等, 1988; Nosek等, 1987; Wilson等, 1988)。

在低壓低氧的環境下，女性的肌肉疲勞抵抗性與一般環境並無差異，但男性的肌肉疲勞抵抗性則較一般環境更低(Fulco等, 2001)，顯示女性肌肉的有氧代謝能力可能較男性為高，且在低壓低氧的環境下，女性有氧代謝能力所受的影響也較男性為低。

三、神經肌肉活性

神經肌肉活性在疲勞產生的過程中也扮演著重要的角色，此方面的性別差異也可能導致疲勞抵抗性的性別差異。以100% 1 RM進行20次蹲立後，男性整合肌電圖(integrated electromyography)的最大訊號較運動前顯著降低，而女性則無顯著變化，女性肌肉力量-時間曲線(force-time curve)向右偏移的幅度亦小於男性(Hakkinen, 1993)。以100% MVC進行3分鐘間歇性拇指內收肌肌肉運動，男性肌電圖M-wave的幅度在運動期間逐漸降低，而女性則無顯著改變，男性在第2分鐘後，半鬆弛所需時間(half-relaxation time)較女性顯著增加，男女性運動期間M-wave持續的時間則都與運動前相似(Ditor & Hicks, 2000)。但Kent-Braun等則指出，以10-90% MVC進行強度遞增的16分鐘間歇性腳踝足背曲肌等長運動，中樞神經與週邊神經的活化程度並無性別差異(Kent-Braun等, 2002)。

肆、結 論

大多數的研究顯示，在低強度或中強度肌肉反覆收縮的運動方式之下，女性肌肉疲勞抵抗性較男性為高，但當使用肌力接近或達到MVC

時，肌肉疲勞抵抗性就無顯著性別差異。造成此現象的可能原因包括(1)在研究過程中，女性肌肉代謝負擔較低；(2)在相同的相對運動強度下，女性以有氧代謝的方式產生之能量比例較高；(3)神經肌肉活性之性別差異。目前對於女性運動時肌肉與代謝系統的研究仍相當缺乏，而且在研究設計時必須考量男女性荷爾蒙、最大肌力、和最大有氧能力的差異，才可獲得具實用性的資訊，協助女性促進健康或提升運動成績。而運動教練在訓練選手時，也須考量選手之性別差異，以設計更有效的訓練方式與內容。

表一、肌肉疲勞抵抗性之性別差異

受測者	使用肌肉群	運動形態	運動強度 (%MVC)	運動時間/次數	疲勞抵抗性	參考文獻
女性 25 人 男性 25 人	膝蓋伸肌	等長	20、50、80	至力竭	20% MVC 時女性顯著高於男性，其餘強度無顯著性別差異。	(Maughan 等, 1986)
女性 11 人 男性 12 人	手肘曲肌	動態	50-90% 1 RM	至力竭	50-70% 1 RM 時女性顯著高於男性，其餘強度無顯著性別差異。	(Maughan 等, 1986)
女性 20 人 男性 20 人	膝蓋伸肌	等速	100	50 次	無顯著性別差異。	(Laforest 等, 1990)
女性 8 人 男性 8 人	膝蓋伸肌、手肘曲肌	動態	60% 1 RM	至力竭	手肘曲肌女性顯著高於男性，膝蓋伸肌無顯著性別差異。	(Miller 等, 1993)
女性 7 人 男性 7 人	握力	等長	30-75	持續收縮	女性顯著高於男性。	(West 等, 1995)
女性 55 人 男性 54 人	手肘曲肌、腳踝足背曲肌	等長	100	5 秒運動，2 秒休息，共 3 分鐘	女性顯著高於男性。	(Hicks, & McCartney, 1996)
女性 8 人 男性 8 人	膝蓋伸肌	等速	100	100 次	女性顯著高於男性。	(Lindstrom 等, 1997)
女性 6 人 男性 6 人	手肘曲肌	等長	15	持續收縮	女性顯著高於男性。	(Semmler 等, 1999)
女性 9 人 男性 9 人	拇指內收肌	等長	50	5 秒運動，5 秒休息，至力竭	女性顯著高於男性。	(Fulco 等, 1999)

女性 21 人 男性 12 人	拇指內收肌	動態	50	5 秒 運 動，5 秒 休息，至 力竭	常壓常氧與低 壓低氧的情況 下，女性均顯 著高於男性。	(Fulco 等， 2001)
女性 20 人 男性 21 人	腳踝足背曲肌	等長	10-90 遞 增	5 秒 運 動，2 秒 休息，共 16 分鐘	女性顯著高於 男性。	(Kent-Braun 等，2002)

MVC：最大自主肌肉收縮 (maximum voluntary contraction)；RM：repetition maximum

參考文獻

- Cooke, R., Franks, K., Luciani, G. B., & Pate, E. (1988). The inhibition of rabbit skeletal muscle contraction by hydrogen ions and phosphate. *Journal of Physiology*, 395, 77-97.
- Ditor, D. S., & Hicks, A. L. (2000). The effect of age and gender on the relative fatigability of the human adductor pollicis muscle. *Canadian Journal of Physiology & Pharmacology*, 78, 781-790.
- Fulco, C. S., Rock, P. B., Muza, S. R., Lammi, E., Braun, B., Cymerman, A., et al. (2001). Gender alters impact of hypobaric hypoxia on adductor pollicis muscle performance. *Journal of Applied Physiology*, 91, 100-108.
- Fulco, C. S., Rock, P. B., Muza, S. R., Lammi, E., Cymerman, A., Butterfield, G., et al. (1999). Slower fatigue and faster recovery of the adductor pollicis muscle in women matched for strength with men. *Acta Physiologica Scandinavica*, 167, 233-239.
- Hakkinen, K. (1993). Neuromuscular fatigue and recovery in male and female athletes during heavy resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 14, 53-59.
- Hicks, A. L., Kent-Braun, J., & Ditor, D. S. (2001). Sex differences in human skeletal muscle fatigue. *Exercise & Sport Sciences Reviews*, 29, 109-112.
- Hicks, A. L., & McCartney, N. (1996). Gender differences in isometric contractile properties and fatigability in elderly human muscle. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 21, 441-454.
- Kent-Braun, J. A., Ng, A. V., Doyle, J. W., & Towse, T. F. (2002). Human skeletal muscle responses vary with age and gender during fatigue due to incremental isometric exercise. *Journal of Applied Physiology*, 93, 1813-1823.
- Laforest, S., St-Pierre, D. M., Cyr, J., & Gayton, D. (1990). Effects of age and regular exercise on muscle strength and endurance. *European*

- Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 60, 104-111.
- Lindstrom, B., Lexell, J., Gerdle, B., & Downham, D. (1997). Skeletal muscle fatigue and endurance in young and old men and women. *Journals of Gerontology Series A Biological Sciences & Medical Sciences*, 52, B59-66.
- Maughan, R. J., Harmon, M., Leiper, J. B., Sale, D., & Delman, A. (1986). Endurance capacity of untrained males and females in isometric and dynamic muscular contractions. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 55, 395-400.
- Miller, A. E., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A., & Sale, D. G. (1993). Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 66, 254-262.
- Nosek, T. M., Fender, K. Y., & Godt, R. E. (1987). It is diprotonated inorganic phosphate that depresses force in skinned skeletal muscle fibers. *Science*, 236, 191-193.
- Semmler, J. G., Kutzscher, D. V., & Enoka, R. M. (1999). Gender differences in the fatigability of human skeletal muscle. *Journal of Neurophysiology*, 82, 3590-3593.
- Tarnopolsky, M. A. (2000). Gender differences in metabolism; nutrition and supplements. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 3, 287-298.
- West, W., Hicks, A., Clements, L., & Dowling, J. (1995). The relationship between voluntary electromyogram, endurance time and intensity of effort in isometric handgrip exercise. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 71, 301-305.
- Wilson, J. R., McCully, K. K., Mancini, D. M., Boden, B., & Chance, B. (1988). Relationship of muscular fatigue to pH and diprotonated Pi in humans: a ³¹P-NMR study. *Journal of Applied Physiology*, 64, 2333-2339.

Gender Difference in Muscle Fatigue

Chen-Kang Chang¹, Hsueh-Liang Lin², Ching-Tang Wang¹

National Taiwan College of Physical Education¹

Fooyin University²

Abstract

Most studies on exercise physiology used males as subjects. The results may not be applicable to females because of the more complicated physiological and hormonal responses than males. In this article, we investigated the gender difference in muscular fatigue and the possible mechanisms responsible for the difference. Most studies suggested that, in repetitive muscular contraction at low to moderate intensities, females showed higher resistance of muscular fatigue than males. The gender difference disappeared when the contraction intensities reached near or at the maximum voluntary contraction. The possible mechanisms for the gender difference may include: (1) lower metabolic load in female muscles, (2) females produced higher percentage of energy aerobically, and (3) gender difference in neuromuscular activities.

Keywords: gender, fatigue, muscle