

本文章已註冊DOI數位物件識別碼

▶ 運動與衛星細胞

doi:10.6223/qcpe.2203.200809.1703

中華體育季刊, 22(3), 2008

Quarterly of Chinese Physical Education, 22(3), 2008

作者/Author: 王國慧;陳天文

頁數/Page: 16-22

出版日期/Publication Date: 2008/09

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/10.6223/qcpe.2203.200809.1703>



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



運動與衛星細胞

王國慧／國立臺灣體育大學

陳天文／淡江大學

摘要

衛星細胞在人體肌肉適應過程中扮演著極重要的角色，而運動可提高衛星細胞的活動狀態，其中阻力訓練是研究證實能有效的激活衛星細胞的增生及分化作用。透過訓練或增補劑的應用對衛星細胞數量的改變上都有正面的效益，最終會產生肌肉肥大或肌纖維增生的結果，進而增加肌肉的橫斷面積與肌力表現。未來的延伸研究可針對運動強度對衛星細胞的影響與增補劑增加衛星細胞增生的機制進行深入探討，以提供有關肌肉發展變化的新資訊。

關鍵詞：衛星細胞、肌肉肥大、運動訓練

主要聯絡人：王國慧 333 桃園縣龜山鄉文化一路 250 號 陸上系

Tel : 0928-294900 E-mail : prettyjump@yahoo.com.tw

壹、前言

運動對肌肉的適應來說，主要會產生肌肉增長的現象，一般所知造成肌肉增長的過程為肌肉肥大 (hypertrophy) 與肌肉增生 (hyperplasia) (Cameron-Smith, 2002; Timson & Dudenhoefter, 1990)，而肌纖維橫斷面積 (cross-section area) 增大與肌肉中衛星細胞 (satellite cell) 的數量有相當強而顯著的相關 (Thornell, Lindström, Renault, Mouly, & Butker-Browne, 2003)。運動訓練對肌肉是有正面效益，其原理是透過肌力、毛細血管密度、衛星細胞數量以及肌纖維面積增加而改善 (Thornell 等, 2003)，不過在衛星細胞與肌肉的關係上是較少了解的一環，因此，本文目的便是透過文獻的回顧以了解運動對衛星細胞的影響及更進一步探討與釐清衛星細胞在肌肉中扮演的角色。



貳、衛星細胞的分化與增生

在正常骨骼肌中，衛星細胞是位於基底膜與肌纖維漿膜之間，處於靜止狀態 (Baroffio, Bochaton-Piallat, Gabbiani, & Bader, 1995)，其由激活隨之增生到提高子細胞 (daughter cells) 的產生是經歷了三個過程：一、產生新的肌肉纖維；二、增加母細胞的肌細胞核；三、回復靜止狀態 (Allen, Roy, & Edgerton, 1999)。當衛星細胞激活時，便會產生分化 (differentiation)、增生 (proliferate)，最後與肌纖維融合 (fusion) 並使 DNA 幫助肌纖維再生的效益增大，此步驟是提高肌纖維肥大的所須過程，最後衛星細胞融合形成肌小管 (myotube)，是其介入肌肉分化的終點形態 (Dayton & Hathaway, 1989)。此外，衛星細胞數量增加的原因有三個：一、在發展的肌纖維中產生新的纖維或修補已損壞的成熟肌節，二、在現有的肌纖維中貢獻新的肌細胞核而作用於肌肉肥大過程中，三、產生新的子細胞去維持或增加衛星細胞池 (satellite cell pool) (Hawke & Garry, 2001)。從過去的研究中可知，衛星細胞比例的提升主要是受到運動刺激所影響，進而激活衛星細胞的分化與增生，從而改變肌肉的適應 (Cramer 等, 2004; Mackey 等, 2007; Smith, Maxwell, Rodgers, McKee, & Plyley, 2001)。

參、運動訓練與型態對衛星細胞的影響

一、運動訓練與衛星細胞

在許多的文獻中皆指出運動訓練可提高衛星細胞的增生 (Kadi 等, 2004; Mackey 等, 2007; Smith 等, 2001)。過去研究發現 4-8 天單次最大運動的短期訓練，便能使衛星細胞的比例顯著的增加 (Cramer 等, 2004)，Dreyer, Blanco, Sattler, Schroeder, 與 Wiswell (2006) 則發現衛星細胞可在更短的時間中產生變化，他們探討年輕男性與老年男性最大膝屈曲離心運動後 24 小時衛星細胞數量的變化，在進行 6 組 12 次，共反覆 92 次數的離心運動後，結果兩組的衛星細胞數量都顯著提高。

在探討長時間訓練對人體肌肉中衛星細胞影響的研究中，發現經過 12 週的阻力訓練後，骨骼肌中的衛星細胞數量顯著的提升，同時亦伴隨著增加每個橫斷纖維 (per fiber cross-section) 的肌細胞核數量，且此研究得到一個重要的新發現，女性在的阻力訓後衛星細胞適應的反應是與男性相同 (Mackey 等, 2007)。Roth 等 (2001) 同樣發現 9 週膝關節的阻力訓練後，無論是年輕或老年女性肌

肉中衛星細胞的比例皆顯著提高，其增加 18%。Kadi 與 Thornell (2000) 研究得知，女性在 10 週的阻力訓練後，衛星細胞的比例提高 46%，此結果也顯示出衛星細胞的改變並不會因性別而產生差異。Charifi, Kadi, Feasson, 與 Denis (2003) 發現 14 周的訓練後，衛星細胞的比例增加了 29%。Kadi 等 (2004) 研究亦得到相同的結果，經過 90 天阻力訓練後，肌肉中衛星細胞提高了 31.4%。從上述研究發現衛星細胞增加的比例並無一致，其可透過幾個因素來解釋：(一) 個體的年齡與訓練狀態會影響衛星細胞的基準值；(二) 訓練型態與強度的差異會影響衛星細胞比例改變的大小；(三) 在不同肌肉中會產生衛星細胞數量的差異是因為纖維型態的差別及功能上的需求；(四) 實驗方法使用上的差異 (Olsen 等, 2006)。因此，未來從事相關之研究，應注意年齡、訓練狀態、訓練強度、實驗方法等影響因子。

二、運動型態與衛星細胞

在過去文獻中，有大量的研究皆證實阻力訓練可有效刺激衛星細胞的增生，進而使肌肉肥大及提升肌力表現，反之，耐力訓練則會使肌肉流失 (Denis 等, 1986)。Mackey 等 (2007) 研究指出阻力訓練的方式能成功的誘發衛星細胞的增生，且單次高強度運動亦可顯著的增加衛星細胞的數量 (Cramer 等, 2004)。而一般日常的規律性運動則無法維持肌肉質量、肌力與衛星細胞的數量，但其可改善心肺功能，維持較佳的激素水準及幫助預防骨質疏鬆症 (Thornell 等, 2003)。因此可知，不同的訓練型態與強度可能會影響衛星細胞適應的程度及改變肌肉中衛星細胞的比例，但肌力訓練比耐力訓練更可有效增加衛星細胞的比例 (Olsen 等, 2006)。另外，在 Olsen 等 (2006) 施以訓練結合增補劑的研究中，肌力訓練初期的強度與組數是較低的，隨後再以漸增的方式增加訓練強度，過程中衛星細胞在第 4 週時便已大量增加數量，此顯示在增補結合訓練的過程中，訓練的時間與強度並不是造成衛星細胞比例提高的決定因子。

肆、停止訓練與增補對衛星細胞的影響

一、停止訓練與衛星細胞

當衛星細胞受到刺激時，會激活其增生或分裂的活動，但停止刺激後，它的數量則會回到原始狀態 (Mackey 等, 2007)。Kadi 等 (2004) 指出停止訓練後會隨之減少肌肉纖維的面積，肌細胞核的數量亦會回復到訓練前的水準，其研

究發現停止訓練後的 60 天中，衛星細胞仍可維持高於訓練前的數量，但 90 天後每條纖維中的衛星細胞數量則回到訓練前的值。由上可推，停止訓練會造成衛星細胞激活的抑制，而使衛星細胞重回靜止狀態的數目，也減低了肌肉肥大的現象。Andersen 等 (2005) 研究也發現 3 個月的停止訓練後會使肌力回到訓練前的狀態，以及伴隨肌肉萎縮的現象。在對照 Kadi 等與 Andersen 等下可知，停止訓練所產生肌肉萎縮及肌力下降的效應，可能是衛星細胞數量大量減低所導致的結果，而在研究中也清楚呈現停止訓練 90 天左右就會產生肌肉的退化，包括衛星細胞的減少與肌肉萎縮的情形 (Kadi 等, 2004)，因此，為避免因肌肉能力的下降而產生可能的危險傷害，持續運動是最佳的預防措施。

二、增補與衛星細胞

衛星細胞會因運動訓練而改變，此外，亦會受外在增補劑的補充所影響。Vierck, Icenogge, Bucci, 與 Dodson (2003) 研究發現單水肌酸 (creatine monohydrate) 可誘發肌原性衛星細胞的分裂，而這結果也提供了最初的證據以了解透過肌酸增補後，得到肌肉大小與力量提高的機制效應，即可知肌酸增補是提高肌肉肥大的機制之一，其主要是增加衛星細胞增生與分裂的效應。在另一肌酸增補結合肌力訓練的研究中發現，肌酸增補的介入可加速衛星細胞數量的增生，即較早誘發衛星細胞的訓練適應，進而提升肌纖維的生長並產生肌肉肥大的結果，其中衛星細胞在實驗的第 4 週便增加了 111% (Olsen 等, 2006)。研究亦發現，在睪固酮 (testosterone) 增補後可提高肌肉纖維橫斷面積與衛星細胞的數量，顯示睪固酮誘發骨骼肌肥大是伴隨著衛星細胞複製與激活的提升。Sinha-Hikim, Cornford, Gaytan, Lee, 與 Bhasin (2006) 研究指出，在施以睪固酮的過程中，衛星細胞的增加是依劑量而改變，高劑量的睪固酮會比低劑量的施用更能促使衛星細胞的增加，且睪固酮的增補效應還伴隨改變衛星細胞的顯微結構，包括細胞與粒線體面積的增加，降低細胞核與細胞質的比值，以及提高瓣狀偽足 (lamellopodia) 的數量。雖然研究證實睪固酮可加速衛星細胞的增生，但其誘發衛星細胞數量增加的機制尚未明確，不過增加衛星細胞數量的結果可能提升衛星細胞的複製，進而抑制了衛星細胞的凋零；或是增加間葉幹細胞 (mesenchymal stem cell) 的分化而進入肌原性家系 (myogenic lineage) (Sinha-Hikim 等, 2006)。由上述研究推論，在過去以增補改善肌肉表現之相關研究中，造成肌肉橫斷面積增加結果的原因，可能是增補劑可加速肌肉中衛星細胞的增生，致使肌肉肥大而成的現象。

伍、結 語

衛星細胞在人體肌肉適應過程中扮演著極重要的角色，透過訓練或增補劑的應用對衛星細胞數量的改變上都有正面的效益。而衛星細胞亦存在著可逆性的現象，一但停止訓練後其便會回復到起始水準，並伴隨著肌肉萎縮、流失與肌力退化的結果，因此，為避免此狀況可能產生的危險因子，持續運動訓練是最佳的預防方針。

引用文獻

- Allen, D. L., Roy, R. R., & Edgerton, V. R. (1999). Myonuclear domains in muscle adaptation and disease. *Muscle Nerve*, 22, 1350-1360.
- Andersen, L. L., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., Suetta, C., Madsen, J. L., Christensen, L. R. et al. (2005). Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *Journal of Applied Physiology*, 99, 87-94.
- Baroffio, A., Bochaton-Piallat, M. L., Gabbiani, G., & Bader, C. R. (1995). Heterogeneity in the progeny of single human muscle satellite cells. *Differentiation* 59, 259-268.
- Cameron-Smith, D. (2002). Exercise and skeletal muscle gene expression. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 29, 209-213.
- Charifi, N., Kadi, F., Feasson, L., & Denis, C. (2003). Effects of endurance training on satellite cell frequency in skeletal muscle of old men. *Muscle Nerve*, 28, 87-92.
- Crameri, R. M., Langberg, H., Magnusson, P., Jensen, C. H., Schröder, H. D., Olesen, J. I., et al. (2004). Changes in satellite cells in human skeletal muscle after a single bout of high intensity exercise. *Journal of Applied Physiology*, 558(1), 333-340.
- Dayton, W. R., & Hathaway, M. R. (1989). Autocrine, paracrine, and endocrine regulation of myogenesis. In D. R. Campion, G. J. Hausman, & R. J. Martin (Eds.), *Animal Growth Regulation* (pp. 69-90). New York: Plenum Press.
- Denis, C., Chatard, J. C., Dormois, D., Linossier, M. T., Geysant, A., & Lacour, J. R. (1986). Effects of endurance training on capillary supply of human skeletal

- muscle on two age groups (20 and 60 years). *Journal of Physiology*, 81, 379-383.
- Dreyer, H. C., Blanco, C. E., Sattler, F. R., Schroeder, E. T., & Wiswell, R., A. (2006). Satellite cell numbers in young and older men 24 hours after eccentric exercise. *Muscle Nerve*, 33, 242-253.
- Kadi, F., Schjerling, P., Andersen, L. L., Charifi, N., Madsen, J. J., Christensen, L. R., et al. (2004). The effects of heavy resistance training and detraining on satellite cells in human skeletal muscles. *Journal of Applied Physiology*, 558(3), 1005-1012.
- Kadi, F. & Thornell, L. E. (2000). Concomitant increases in myonuclear and satellite cell content in female trapezius muscle following strength training. *Histochemistry and Cell Biology*, 113, 99-103.
- Hawke, T. J. & Garry, D. J. (2001). Myogenic satellite cells: physiology to molecular biology. *Journal of Applied Physiology*, 91, 534-551.
- Mackey, A. L., Esmarck, B., Kadi, F., Koskinen, M., Kongsgaard, M., Sylvestersen, A., et al. (2007). Enhanced satellite cell proliferation with resistance training in elderly men and women. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 17, 34-42.
- Olsen, S., Aagaard, P., Kadi, F., Tufekovic, G., Verney, J., Olesen, J. L., et al. (2006). Creatine supplementation augments the increase in satellite cell and myonuclei number in human skeletal muscle induced by strength training. *Journal of Applied Physiology*, 573(2), 525-534.
- Roth, S. M., Martel, G. F., Ivey, F. M., Lemmer, J. T., Tracy, B. L., Metter, E. J., et al. (2001). Skeletal muscle satellite cell characteristics in young and older men and women after heavy resistance strength training. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 56, 240-247.
- Smith H. K., Maxwell, L., Rodgers, C. D., McKee, N. H., & Pyley, M. J. (2001). Exercise-enhanced satellite cell proliferation and new myonuclear accretion in rat skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 90, 1407-1414.
- Sinha-Hikim, I., Cornford, M., Gaytan, H., Lee, M. L., & Bhasin, S. (2006). Effects of testosterone supplementation on skeletal muscle fiber hypertrophy and satellite cells in community-dwelling older men. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 91(8), 3024-3033.

- Thornell, L. E., Lindström, M., Renault, V., Mouly, V., & Butler-Browne, G. S. (2003). Satellite cells and training in the elderly. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 13, 48-55.
- Timson, B. F., & Dudenhoefter, G. A. (1990). Skeletal muscle fiber number in the rat from youth to adulthood. *Journal of Anatomy*, 173, 33-36.
- Vierck, J. L., Icenogge, D. L., Bucci, L., & Dodson, M. V. (2003). The effects of ergogenic compounds on myogenic satellite cells. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(5), 769-776.

