

運動員吸氣肌訓練

江慶修¹、李曜全²、吳昇光¹

¹ 國立臺灣體育運動大學競技運動學系

² 國家衛生研究院

摘要

呼吸作用是人體生存必須的生理現象，同時也在人體運動的過程中扮演著重要的角色。過去研究已發現吸氣肌疲勞會使人體運動表現明顯下降，特別是在耐力性運動上。目前已有若干研究證實吸氣肌訓練有提升不同運動項目之運動表現效果，但吸氣肌訓練的時期長短、採用的訓練強度與頻率，以及造成運動表現提升的機制仍未能深入了解。期盼藉由相關文獻的回顧釐清吸氣肌訓練的相關概念，未來欲使用吸氣肌訓練者能採用更科學性的實證基礎方式進行訓練。

關鍵字：吸氣肌疲勞、吸氣肌訓練、運動表現

通訊作者：吳昇光

E-mail：skwu@ntupes.edu.tw

DOI：10.3966/2226535X2018010701001

壹、緒論

呼吸作用是人類生存必須的生理現象，呼吸作用提供身體組織所需的氧氣，同時將代謝後的二氧化碳排出人體外，也幫助人體維持一定範圍的酸鹼平衡。此外，呼吸作用也能協助人體散熱，人體劇烈運動時所產生的大量熱能，其中一部分即是藉由呼吸作用排出體外，使人體體溫維持恆定(林正常，2006)。呼吸作用的進行需要肺臟周遭骨骼肌規律地收縮與舒張使得氣體能進出肺臟，一般將此些協助呼吸的肌肉統稱為呼吸肌，但實際上是由不同的肌群分別負責吸氣與呼氣，而平靜時與激烈運動時參與呼吸的肌肉也有所不同(見表一)(McConnell, 2006；林正常，2006；邊苗瑛、陳曉宜，2011)。

表 1 呼吸肌之功能、支配神經與作用時機

呼吸期	肌肉	平靜呼吸時參與	運動時參與	支配神經	功能
吸氣	橫膈膜	是	是	C _{3~5}	向下位移使胸廓容積增加
	外肋間肌	是	是	T _{1~12}	胸廓向外上方以增加胸廓容積
	斜方肌		是	副神經	穩定頭部動作
	胸鎖乳突肌		是	副神經、C ₁	使胸骨向外上方提高
呼氣	內肋間肌		是	T _{1~12}	將肋骨向內拉回
	腹肌		是	T ₈ -L ₁	將腹部向內縮回

運動員為了達到更佳的運動表現會藉由重量訓練提升肌力、減緩肌肉疲勞出現。而吸氣肌同樣屬於骨骼肌，因此可藉由適當的訓練提升吸氣肌的肌力與耐力，降低運動時吸氣肌疲勞的程度，進而避免因吸氣肌在長時間運動時造成疲勞而影響運動成績(郭垺圻、蔣孝珍，2009)。

近年來，運動選手的訓練項目越來越多元，除了過往針對四肢或軀幹肌肉的訓練內容，也開始有針對吸氣肌肌群訓練的相關研究，並藉由研究

證實吸氣肌訓練對於提升競技運動之表現有相當程度之助益(Lomax & McConnell, 2003; Wilson, McKeever, Lobb, Sherriff, Gupta, Hearson, Martin, Lindley & Shaw, 2014)。但對於吸氣肌訓練所採用的強度、頻率、訓練時期的長短、及其提升運動表現的機制，以及如何應用於不同運動項目仍未有明確定論。因此，本文主要針對吸氣肌訓練與運動表現之相關實證研究進行文獻回顧，盼能對於日後欲採用吸氣肌訓練者提供較完整及客觀之參考方向。

貳、吸氣肌疲勞對於運動表現之影響

以往對於吸氣肌訓練的實驗多半針對游泳運動，原因在於游泳的特殊運動環境。當人體浸沒在水中時，水的淨水壓對人體胸廓產生方向向內的壓力，這時吸氣肌需要花費較大的力量才能使胸廓擴張進而吸入更多氣體(Vašíčková, Neumannová, & Svozil, 2017)。在 Rumaka 等(2013)研究發現由於水壓的原因，當人體浸沒在水中時，吸氣肌所能產生的最大吸氣壓力(Maximum Inspiratory Pressure, MIP)會顯著低於在陸地上所測得的結果。上述所稱最大吸氣壓力為目前最常採用測量吸氣肌肌力的方式，係因吸氣肌肌力較難直接測量，因此經常以吸氣肌作用時在口腔內產生的壓力反應為吸氣肌的肌力，所測得之壓力值代表吸氣肌肌群在快速收縮時所能產生之最大力量(鄭景峰，2015)。

此外，除了運動環境的因素外，游泳選手還需協調呼吸頻率及上肢划手推進二者之間的節律。過去研究發現游泳時呼吸頻率會上升、潮氣容積則會下降，選手還需要把握臉部離開水面的短暫時間，迅速地完成吸氣的動作，這使得吸氣肌必須非常快速及有效率的收縮。而上述這些因素都可能加速吸氣肌的疲勞產生(Lomax & McConnell, 2003; Thomaidis, Toubekis, Mpousmoukilia, Douda, Antoniou, & Tokmakidis, 2009)。

當吸氣肌疲勞就可能使選手的運動表現受到影響，Thomaidis 等(2009)以分段測驗的方式對於 400 公尺自由式游泳的研究中就發現，在 300 公尺後及 400 公尺後檢測最大吸氣壓力(MIP)的結果顯著低於測驗開始前的基準值。同時也發現在 200 公尺之後，選手游泳的速度(velocity)、划幅(stroke

length)相較於開始的 100 公尺有顯著的衰退。由此可見吸氣肌的疲勞可能對於運動表現產生負面的影響。另有學者研究發現，當誘發吸氣肌疲勞後再進行 200 公尺自由式的測驗，此時選手的划幅顯著的下降，相對地呼吸頻率、划手次數及划手頻率皆顯著升高。由此可推測，這些游泳運動表現的指標改變，與吸氣肌疲勞有一定程度的關聯，當吸氣肌疲勞可能會破壞游泳選手划水時全身的協調性，使得能量耗損提高進而造成游泳速度下降(Lomax & Castle, 2011)。由於吸氣肌疲勞會限制人體在運動時提供適當換氣量的能力，使得流至主要工作肌群(working muscle)的血液減少，導致運動表現下降(Lomax & McConnell, 2003; McConnell & Lomax, 2006)。

吸氣肌肌力除了對於水中運動有其重要性之外，對於陸上運動的運動表現也相當關鍵，其中 Ohya, Hagiwara, Chino 及 Suzuki (2016)針對日本 301 位不同運動項目的頂尖男性運動選手進行檢測，結果發現這些運動員的最大吸氣壓力值與其身體質量(body mass)有中度正相關($r=0.59$)，顯示運動員的身材越高大、身體質量越大，就可能有越大的吸氣肌力。就如同身材較高的人，其四肢的肌力通常較身材嬌小的人來的更大。若是比較不同運動項目則發現，在部分較常出現吸氣肌疲勞的運動項目選手身上，包括中長距離跑步選手、鐵人三項選手，這些選手會有相對較高的最大吸氣壓力，可見吸氣肌肌群的強度對於陸上運動項目的優異運動表現同樣重要。

參、吸氣肌訓練對於肺功能及 吸氣肌肌力之影響

由於呼吸肌群的主要功能為協助呼吸過程中空氣順利進出肺臟(林正常, 2006)，因此當呼吸肌群疲勞時，將會直接影響氣體在肺臟吸入與排出，使得進出人體的氣體流量改變。若是根據此原因，那藉由吸氣肌訓練提升吸氣肌肌力，進而增加肺活量是有其依據。一般對於吸氣肌訓練大多使用吸氣壓力閾值(pressure-threshold)的訓練裝置，此類裝置會在個體經由口腔吸氣時，依照設定產生一定閾值的阻力，藉此對吸氣肌產生訓練的作用，這對運動員的呼吸效率及減少吸氣肌疲勞將會有所影響(Edwards, Wells,

& Butterly, 2008; Kidling, Brown, & McConnell, 2009; Vašíčková, Neumannová, & Svozil, 2017)。

過去 Hutman, Hefele, Schotten 及 Huber (2000)的研究結果顯示：最大吸氣壓力不只與性別、身高、體重呈現正相關，也與用力呼氣肺活量(forced vital capacity, FVC)以及第一秒用力呼氣容積(forced expiratory volume in 1 sec, FEV₁)有顯著正相關，意即較佳的吸氣肌肌力會使得人體有較佳的肺功能。在對於我國大專甲組田徑選手的實驗中，發現誘發吸氣肌的疲勞再進行 Yo-Yo 有氧耐力測驗，運動後的用力呼氣肺活量以及第一秒用力呼氣容積，都顯著地低於未誘發吸氣肌疲勞時的數值(郭垿圻、莊富延，2010)。

雖然部分學者認為可以藉由吸氣肌訓練提升人體肺功能，但仍然出現不同的研究結果。Edwards 等(2008)針對男性非運動員進行四週運動訓練、以及運動搭配吸氣肌訓練，結果發現兩組之間以及訓練前後，在用力呼氣肺活量以及第一秒用力呼氣容積都沒有顯著的改變。Rumaka 等(2013)研究也發現，游泳技巧程度較高的大學生雖有較佳的吸氣肌肌力，但在肺容積則與游泳技巧程度較低者無明顯差異。HajGhanbari 等(2013)針對運動員吸氣肌訓練相關研究進行文獻回顧時，發現用力呼氣肺活量及第一秒用力呼氣容積在接受吸氣肌訓練前後的效果量(effect size)並沒有顯著差異。

相較於用力呼氣肺活量以及第一秒用力呼氣容積的結果，過去國內外許多針對運動員進行吸氣肌訓練的研究，發現經過吸氣肌訓練後在最大自主換氣量以及最大吸氣壓力幾乎都有顯著的提升(郭垿圻、莊富延，2010；郭垿圻、邱琴瑟，2011；Edwards et al., 2008; Lomax et al., 2011)。

肆、吸氣肌訓練對運動表現之效益

為了克服吸氣肌群疲勞造成運動表現的負面影響，研究者們開始提出藉由訓練吸氣肌肌群功能，改善呼吸換氣效率及降低吸氣肌疲勞，進而提升運動表現的概念，目前已有相關研究證實適當的吸氣肌訓練可以提升運動表現(Lomax et al., 2011)。

Kilding 等 (2009)針對游泳選手研究發現，六週吸氣肌訓練之後(採用 50%最大吸氣壓力，30 次/回、2 回/天訓練)，實驗組在 100 公尺及 200 公

尺的游泳運動表現顯著地優於接受假偽吸氣肌訓練(sham IMT)的控制組。Rumaka 等(2013)的研究中、高游泳技巧層級的大學生相較於低層級者有較高的最大吸氣壓力。接著 Vašíčková 等(2017)的研究也發現青少年的蹼泳(fin-swim)選手在經過四周的吸氣肌及呼氣肌訓練(30%最大吸、吐氣壓力, 每週遞增 2 cmH₂O, 各 10 次/天) 後, 不僅吸氣肌肌力提升, 在一次憋氣的游泳距離(apnoea max)所代表的運動表現也有顯著升高, 並且在停止訓練後的一個月仍維持明顯效果。但 Vašíčková 等(2017)指出, 運動表現的提升除了受到訓練時期長短、訓練強度的影響外, 也可能與年齡、體適能狀態有關, 但作者對於其中的影響因素並未詳細探究。

除了游泳運動之外, 藉由吸氣肌訓練提升陸上運動項目運動表現的結果也已有多篇文章。Lomax 等(2011)發現, 四週吸氣肌訓練(以 50-60%最大吸氣壓力, 30 次/回、2 回/天進行訓練)後, 除了吸氣肌肌力顯著優於訓練前, 從 Yo-Yo 有氧耐力測驗中折返跑的總距離也可發現, 經過四週吸氣肌訓練後表現明顯優於訓練前以及僅進行吸氣肌熱身時的跑步距離。除此之外, 此研究也證實 Yo-Yo 有氧耐力測驗的折返跑總距離與最大吸氣壓力呈現高度正相關。

Edwards 等(2008)對於四週跑步訓練搭配吸氣肌訓練的研究, 發現參與者無論是接受運動訓練搭配吸氣肌訓練或是僅參與運動訓練, 兩個組別的吸氣肌功能以及 5000 公尺的運動表現在訓練後都有顯著提升, 但有搭配吸氣肌訓練的組別, 其運動表現更顯著優於僅接受運動訓練的組別。但其認為跑步表現提升的原因並不是吸氣肌功能提升所直接導致, 可能是由於吸氣肌功能提升, 使得運動過程中的橫膈疲勞下降而提升呼吸的效率。另一個可能的原因則是吸氣肌功能的改變對於心理因素(psychological factors)的影響大於生理適應(physiological adaptations)的影響。Edwards 等(2008)在同一研究中發現, 吸氣肌訓練的組別用力知覺(effort sensation)在訓練到第四周時開始顯著低於控制組, 進一步推論: 吸氣肌訓練中重複、大量的吸氣壓力, 對於吸氣肌與大腦之間的感覺回饋系統造成去敏感化的效果, 使得大腦能夠徵召更多協助人體位移(locomotor)的肌群, 進而使得跑步 5000 公尺耗費的秒數顯著下降。

而吸氣肌訓練也可運用在其他運動項目, 其中 Romer 等(2001)針對優秀自行車選手進行六週吸氣肌訓練, 發現訓練後在模擬騎乘二十公里及四

十公里的運動成績顯著提升。國內則有學者針對女性划船選手進行吸氣肌訓練的成果進行探討，結果顯示五週吸氣肌訓練後不論在 5000 公尺划船測驗的秒數，或是六分鐘划船的距離，都較吸氣肌訓練前顯著進步(呂欣倫、方進隆，2006)。

伍、結論與建議

綜合過去研究結果發現若要達到有效的吸氣肌訓練，時間至少需在四到六周以上，且訓練強度至少需從 40% MIP 向上遞增，才有較明顯的訓練效益，而吸氣肌訓練效益不僅在於提升吸氣肌本身肌力或耐力，同時也提升選手的運動表現，而國際上多篇有關吸氣肌訓練研究文章可見表 2 之整理。

除此之外，未來研究應更深入探討吸氣肌訓練的不同影響變數是經由何種機制而促進運動表現的提升，並能詳加解釋。雖然目前明確的機制尚未有所定論，主要是與吸氣肌力量提升、耐力變佳、呼吸效率或是肺功能改變等等因素有關，但未來若能找出其中更明確的機制，便能使吸氣肌訓練更科學化及實際有效地應用於增進運動表現。

誌謝

本文接受國立臺灣體育運動大學 105 及 106 年度學術研究計畫經費部分補助，在此特為誌謝。

表 2 吸氣肌訓練相關研究整理

作者	實驗參與者	訓練時間	頻率	強度	肺功能及最大吸氣壓力	運動表現
Edwards, Wells, & Buttery(2008)	非運動員 16 位，分為訓練組及控制組	4 周	30 次 / 天	訓練組: 30RM 控制組: 最低阻力(約 15% MIP)	兩組 FVC、FEV ₁ 皆無顯著差異，VO _{2max} 、MIP 皆有顯著上升，且訓練組的 MIP 進步幅度較大	兩組 5000 公尺跑步秒數顯著進步，且訓練組顯著較佳
Kidling, Brown, & McConnell(2009)	16 位游泳俱樂部游泳選手，分為實驗組及控制組	6 周	30 次/回、2 回/天	實驗組: 50% MIP，隨訓練進行調高維持 30RM 強度 控制組: 15% MIP	兩組 FVC、FEV ₁ 、PEF 皆無明顯變化，實驗組 MIP 在訓練後顯著進步，但控制組則無	實驗組的 100、200 公尺游泳秒數顯著下降，但控制組無
Vašičková, Neumannová, & Svozil(2017)	28 位蹺泳選手，分為實驗組及控制組	4 周	訓練組: 10 次最大吸氣及吐氣/天、15 分鐘持續吸氣及持續吐氣 控制組: 無	30% 最大吸氣及呼氣壓力，每周提高 2 cmH ₂ O	兩組 VC、IC、FVC、FEV ₁ 、PEF 皆無顯著差異。實驗組的 MIP、MEP 皆有顯著上升，控制組則無	實驗組的一次憋氣游泳距離顯著上升
Lomax, Grant, & Corbett(2011)	12 位半職業足球選手，分為訓練及控制組	4 周	30 次/回、2 回/天	訓練組: 30RM(約 50-60% MIP)，每周調整維持 30RM 強度 控制組: 約 15% MIP	訓練組 MIP 顯著提升，但控制組則無	實驗組的 Yo-Yo test 跑步距離顯著提高
Romer, McConnell, & Jones. (2001)	16 位自行車競賽選手，分為實驗及控制組	6 周	訓練組: 30 次/回、2 回/天 控制組: 60 次/天	訓練組: 約 50% MIP 控制組: 約 15% MIP	訓練組 MIP 顯著提高，控制組無顯著差異	20 及 40 公里模擬騎乘測驗時間顯著下降

MIP: 最大吸氣壓力、MEP: 最大吐氣壓力、FVC: 用力呼氣肺活量、VC: 肺活量、FEV₁: 第一秒用力呼氣容積、VO_{2max}: 最大攝氧量、IC: 吸氣量、PEF: 呼氣流量峰值、RM: 最高重複次數。

參考文獻

- 呂欣倫、方進隆 (2006)。呼吸肌訓練對女性划船選手訓練效果之探討。《運動生理暨體能學報》，5，85-92。
- 林正常 (2006)。《運動生理學》(增訂二版)。臺北市:師大書苑。
- 郭堉圻、蔣孝珍 (2009)。呼吸肌訓練在運動表現上的應用。《中華體育季刊》，23(3)，55-61。
- 郭堉圻、莊富延 (2010)。誘發呼吸肌急性疲勞對 YO-YO 有氧耐力測驗及肺功能之影響。《運動生理暨體能學報》，11，35-43。
- 郭堉圻、邱琴瑟 (2011)。呼吸肌阻力訓練對游泳攝氧量與肺功能表現之影響。《運動教練科學》，24，69-80。
- 鄭景峰 (2015)。呼吸肌與耐力型運動表現。《體育學報》，48(3)，227-238。
- 邊苗瑛、陳曉宜 (2011)。運動與呼吸調節。載於吳英黛 (主編)，《運動生理學》(第五章)。臺中市：華格那企業。
- Edwards, A. M., Wells, C., & Butterly, R. (2008). Concurrent inspiratory muscle and cardiovascular training differentially improves both perceptions of effort and 5000 m running performance compared with cardiovascular training alone. *British Journal of Sports Medicine*, 42(10), 823-827.
- HajGhanbari, B., Yamabayashi, C., Buna, T. R., Coelho, J. D., Freedman, K. D., Morton, T. A., ... & Reid, W. D. (2013). Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: A systematic review with meta-analyses. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(6), 1643-1663.
- Hautmann, H., Hefele, S., Schotten, K., & Huber, R. M. (2000). Maximal inspiratory mouth pressures (PIMAX) in healthy subjects- What is the lower limit of normal?. *Respiratory Medicine*, 94(7), 689-693.
- Illi, S. K., Held, U., Frank, I., & Spengler, C. M. (2012). Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals. *Sports Medicine*, 42(8), 707-724.
- Kilding, A. E., Brown, S., & McConnell, A. K. (2010). Inspiratory muscle

- training improves 100 and 200 m swimming performance. *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 505-511.
- Leger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 93-101.
- Lomax, M., Grant, I., & Corbett, J. (2011). Inspiratory muscle warm-up and inspiratory muscle training: Separate and combined effects on intermittent running to exhaustion. *Journal of Sports Science*, 29(6), 563-569.
- Lomax, M., & Castle, S. (2011). Inspiratory muscle fatigue significantly affects breathing frequency, stroke rate, and stroke length during 200-m front-crawl swimming. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2691-2695.
- Lomax, M., & McConnell, A. (2003). Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single 200 m swim. *Journal of Sports Science*, 21, 659-664.
- McConnell, A. (2006). Lung and respiratory muscle function. In E. M. Winter, A. M. Jones, R. R. Davison, P. D. Bromley, & T. H. Mercer (Eds.), *Sport and Exercise Physiology Testing Guidelines: Volume I—Sport Testing* (pp. 63-74). New York: Routledge.
- Miller, M. R., Crapo, R., Hankinson, J., Brusasco, V., Burgos, F., Casaburi, R., ... & Jensen, R. (2005). General considerations for lung function testing. *European Respiratory Journal*, 26(1), 153-161.
- Ohya, T., Hagiwara, M., Chino, K., & Suzuki, Y. (2016). Maximal Inspiratory mouth pressure in Japanese elite male athletes. *Respiratory Physiological & Neurobiology*, 230, 68-72.
- Raven, P. B. (1977). Pulmonary function of elite distance runners. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 301(1), 371-381.
- Romer, L. M., McConnell, A. K., & Jones, D. A. (2002). Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 20(7), 547-590.
- Rumaka, M., Uptis, I., Grants, J., & Aberberga-Augškalne, L. (2013).

- Maximal respiratory pressures, their association with spirometric parameters, swimming skills and changes due to immersion in water. *Ugdymas. Kūno Kultūra. Sportas*, 4(91), 31-36.
- Thomaidis, S. P., Toubekis, A. G., Mpousmoukilia, S. S., Douda, H. T., Antoniou, P. D., & Tokmakidis, S. P. (2009). Alterations in maximal inspiratory mouth pressure during a 400-m maximum effort front-crawl swimming trial. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49(2), 194-200.
- Tong, T. K., McConnel, A. K., Lin, H., Nie, H., Zhang, H., & Wang, J. (2016). “Functional” inspiratory and core muscle training enhances running performance and economy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(10), 2942-2951.
- Vašíčková, J., Neumannová, K., & Svozil, Z. (2017). The effect of respiratory muscle training on fin-swimmers’ performance. *Journal of Sports Science & Medicine*, 16(4), 521.
- Wilson, E. E., McKeever, T. M., Lobb, C., Sherriff, T., Gupta, L., Hearson, G., Martin, N., Lindley, M. R., & Shaw, D. E. (2014). Respiratory muscle specific warm-up and elite swimming performance. *Journal of Sports Medicine*, 48, 789-791.

Inspiratory Muscle Training for Athletes

Ching-Hsiu Chiang¹, Yao Chuen Li², Sheng K Wu¹

¹Department of Sport Performance, National Taiwan University of
Sport

²National Health Research Institutes

Abstract

Respiration is an essential phenomenon in humans, and it also plays an important role during human exercise. Several studies have reported that inspiratory muscle fatigue (IMF) impaired sports performance, especially in endurance exercise. Several studies have proved that inspiratory muscle training (IMT) could enhance athletic performance in different sports. However, the duration of training period, intensity, frequency, and the underlying mechanisms of how IMT improving sports performance are not clear in depth. This review may provide evidence-based training methods for practitioners who apply IMT in a more scientific way.

Key words: inspiratory muscle fatigue, inspiratory muscle training, sports performance.