

離心運動訓練對抗老化效果之探討

何智巧¹、曾國維²、陳忠慶^{1*}

摘要

背景：人類隨著年齡逐漸增長，會進而使身體功能和結構開始產生自然老化現象。老化會導致生理功能下降、影響健康、壽命減少、影響老年人生活品質及獨立生活能力。先前文獻推測，老年人可能可以藉由離心運動訓練（LET），達到提升肌肉力量、增加能量消耗與維持生理功能之平衡，故LET可能可做為高齡者維持生理功能及抗老化的有效方式之一。然而，目前文獻還不清楚老年人進行LET對抗老化或健康促進之真正效果。**目的：**針對LET對健康與不健康老人的抗老化效果與可能機轉，進行相關文獻探討與分析，進而提出一些未來研究方向。希望藉由本文介紹，能讓讀者瞭解LET對抗老化與訓練效果，並提出一些研究方向給對此研究議題有興趣者參考。

關鍵詞：老年人、延遲性肌肉酸痛（DOMS）、肌肉損傷、肌力、生活品質

Effect of Lengthening Exercise Training on Anti-Aging

Chih-Chiao Ho¹, Kuo-Wei Tseng², Trevor C. Chen^{1*}

Abstract

Background: After the human body reaches full maturity, physical functions and structure naturally begin to show signs of aging. The aging process results in physiological functional decline, reducing the health, quality of life and independent living skills of the elderly, and shortening life expectancy. Previous studies have postulated that lengthening exercise training (LET) may enhance the muscle strength, increase the metabolism, and maintain the balance of physiological functions in elderly individuals. Thus, LET may be an effective way to maintain human physiological functions and to slow the aging process. At present, however, it is still largely unknown whether LET would significantly slow aging or promote health in elderly individuals. **Purpose:** The present study was to review and focus on the effects and possible mechanisms of LET on the aging process in both healthy and unhealthy elderly individuals, providing some possible direction for future research. We hope this introduction will not only provide some new knowledge to readers regarding how LET could potentially prevent aging and produce a training adaptation for the elderly, but also provide some future direction for researchers who are interested in the topic of LET on anti-aging.

Keywords: elderly, delayed onset muscle soreness (DOMS), muscle damage, muscle strength, quality of life

Submitted for publication: 2014.10; Accepted for publication: 2015.2

1 國立臺灣師範大學體育學系；Department of Physical Education, National Taiwan Normal University

2 台北市立大學運動健康科學系；Department of Exercise and Health Sciences, University of Taipei

* Corresponding author: 陳忠慶 E-mail: tcchen@ntnu.edu.tw

壹、前言

人類從出生到發育成熟之後，會隨著年齡逐漸增長而使身體功能和結構產生自然老化現象。老化是由好幾個因素共同結合作用，進而導致生理功能下降，影響健康、壽命減少、降低老年人生活品質及獨立生活能力（Gault & Willems, 2013a），且老化與罹患疾病風險（如冠狀動脈、心臟疾病、糖尿病、癌症）有關（Kowald & Kirkwood, 1996）。例如，肌肉減少症（sarcopenia）是老化造成的結果之一，會導致肌肉力量下降，進而引起心血管功能問題的發生及減少有氧能力（Franceschi et al., 2000）。所以老化最終結果，會使老年人產生虛弱症候群及出現生理功能明顯下降，進而影響健康、壽命減少、影響老年人生活品質及獨立生活能力（Rikli & Jones, 1999）。

近代隨著醫學科技的發達與進步，人類壽命也跟著延長。根據世界衛生組織對老年人的定義，是指年齡達到65歲以上而言，而行政院衛生福利部（2014）指出，65歲以上老年人口占總人口的比例達7%時，稱為「高齡化社會」，但是當一個國家的老年人口占總人口比例達到14%時，就稱為「高齡社會」。基於全球人口壽命有越來越長之趨勢，造成老年人口數持續不斷增加，所以世界大部分國家正面臨邁入高齡化社會問題，台灣也不例外。根據行政院衛生福利部的統計資料顯示，台灣的生育率偏低、人口老化速度非常快，從1993年，台灣正式進入「高齡化社會」（7%老年人口），而在2014年6月的資料顯示老年人口已達11.8%（超過274萬人）。有鑑於此，瞭解老化過程所造成的身體功能改變，以及從事規律運動對抗老化效果，是一個很重要的研究議題。例如，評估老年人執行日常生活活動的能力是很重要的，因為老化造成老年人日常生活活動能力下降的原因很複雜，其涉及年齡增長而容易發生肌肉減少症、肌肉力量及心血管系統功能下降等現象（Buford et al., 2014; Shephard, 2009）。因此，如何有效預防老化造成日常生活活動能力下降，並能避免肌力及心血

管系統功能的下降，達到提升老年人的生活品質是一個很重要的研究議題（Chen et al., 2013; Kowald & Kirkwood, 1996）。

先前文獻指出，從事不習慣運動（特別是離心肌肉收縮）之後，容易引起肌肉細微損傷及延遲性肌肉酸痛（delayed onset muscle soreness, DOMS）之症狀，而肌肉損傷程度又與運動型態（等速離心收縮、下坡跑步、下坡走、離心阻力腳踏車運動、下蹲跳）、強度、個體成熟度等等因素有關（陳忠慶，2000，2004；曾曄晉、陳忠慶、陳信良，2012；Chen, Chen, Liu, & Nosaka, 2014; Chen, Lin, Chen, Lin, & Nosaka, 2011; Newham, Jones, & Clarkson, 1987）。一般評估肌肉細微損傷最常採用間接評估指標（例如肌力、DOMS、血液肌酸激酶活性），以成年男子的上肢肘屈肌群肌力為例，在第一回合最大離心運動後，肌力會立即顯著下降約50%，之後會隨恢復時間延長而逐漸恢復，肌力要完全恢復至離心運動前水準約需要10-14天之久（陳忠慶，2004；Chen, Chen, Lin, Wu, & Nosaka, 2009; Chen et al., 2011; Clarkson, Nosaka, & Braun, 1992）。然而，下坡走路研究（Gault, Clements, & Willems, 2011）發現，讓老年人（約67歲）在跑步機上進行30分鐘（強度2.5 公里／小時、每30秒增加0.2 公里／小時、自我選擇的步行速度）水平坡度走路（完成平均速度： 4.2 ± 0.4 公里／小時， $42 \pm 6\%$ 最大攝氧量）或下坡走路（完成平均速度： 4.6 ± 0.6 公里／小時， $44 \pm 15\%$ 最大攝氧量），發現下坡走路後第2天的等長肌力下降僅15%。但是從事離心固定阻力腳踏車運動（3回合、每回合15分鐘，3回合強度分別為：90、80和70%的最大向心動力輸出）之後發現，老年人（ $n = 5$ ；59-63歲）股四頭肌群的截面積與血漿肌酸激酶變化均明顯大於年輕人（ $n = 5$ ；20-30歲）（Manfredi et al., 1991）。Roth et al.（1999）發現，老年人進行9週向心—離心膝伸肌群的阻力訓練（每週3天、每天5組、每組20下、強度為5次最大向心反覆次數 [5RM]）後，發現老年人組股外側肌肌節受損程度高達17%，但年輕人組只有2-5%。因此，文獻（如Manfredi et al., 1991）

推測，老年人在進行一回合離心收縮引起肌肉損傷程度會比年輕人族群來得明顯。雖然離心運動容易引起肌肉損傷及DOMS現象（Chen, Nosaka, & Sacco, 2007），但先前文獻（如Lieber & Fridén, 1999）顯示，運動要有效刺激肌肉達到肥大及提升運動表現，需要藉由離心收縮誘發肌肉細微損傷，得以有效刺激衛星細胞參與損傷修復過程，達到明顯的訓練及肌肉肥大效果。因此，運動刺激產生肌肉肥大及表現似乎具有肌肉收縮的專一性，可見離心運動的好處可能是其他運動型態（向心、等長）無法取代的。

由於離心運動具有產生高張力、低有氧代謝需求之特性，且對改善老化引起功能性能力下降、提升肌肉力量等具有潛在好處，進而可能可以達到維持老年族群的生理功能的平衡及提升生活品質（Elmer, Marshall, McGinnis, Van Haitsma, & LaStayo, 2013）。再者，離心運動型態常出現在我們日常生活中，例如下樓梯、手負重放下或站到坐等動作，都是藉由人體相關的肌肉群做出肌肉伸展（肌肉長度被伸展或拉長的現象，稱之為離心收縮）來完成身體動作（Clarkson et al., 1992）。基此，Elmer et al. (2013) 推測離心運動訓練是一項有別於傳統運動訓練方法，故建議可能可做為老年人運動訓練方法之一。此外，Lovering and Brooks (2013) 從動物實驗研究結果與角度，也不約而同提出，離心運動訓練對提升老年人肌肉力量、執行日常生活活動能力及降低跌倒等方面，可能產生益處之論點。由於目前文獻還不清楚離心訓練對提升老年人健康促進及生活品質之真正效果。因此，本文針對離心訓練對抗老化效果（特別是離心訓練對提升健康老年與不健康老年族群之效果）以及離心訓練產生抗老化效果之可能機制，進行相關文獻探討與分析，進而提出一些建議或未來研究方向，提供對此議題有興趣者參考與瞭解。

貳、離心運動訓練介入對抗老化效果之影響

有鑑於身體活動對老年人健康方面的研

究日漸受到重視，而且身體活動已被證實對老年人的身心健康有正面影響、降低疾病風險因子和提升身體功能，進而可以促進健康和提高生活品質（Rikli & Jones, 1999）。然而，如何透過運動介入減緩老年人快速老化的發生及提高生活品質，是近期受到關注的研究議題及趨勢之一（如陳嫣芬、林晉榮, 2006；Chen et al., 2013）。陳嫣芬、林晉榮（2006）指出，從事規律身體活動的老年人，具有正向的生活態度、擁有良好的體力、減少對他人的依賴度，並能妥善處理壓力與緊張情緒，對生活也有較高的滿意程度，並有助於生活品質的提升。此外，先前文獻（如Gleeson, Eston, Marginson, & McHugh, 2003）證實給予成年族群進行長期向心阻力訓練後，雖可提升肌肉功能的表現，但會對隨後進行一回合離心運動引起肌肉損傷之預防無效果，且會加重肌肉損傷誘發之程度（指與控制組僅進行一回合離心收縮的結果做比較）。過去探討離心運動產生重複訓練效果之文獻（如Chen, Chen, et al., 2009; Chen, Chen, Lin, Wu, & Nosaka, 2010; Chen, Chen, Pearce, & Nosaka, 2012; Chen et al., 2013, 2014; Chen, Nosaka, & Tu, 2007; Clarkson et al., 1992; Nosaka & Clarkson, 1995），已顯示一回合離心運動後，不論是對於孩童、年輕成人、中年或老年族群，都可以有效刺激肌肉群產生訓練效果。因此，本文這部分就將僅針對離心訓練對老年族群的相關文獻進行文獻探討與分析，其進一步分成「離心訓練對健康老年族群之效果」與「不健康老年族群之效果」進行評估等二方面做呈現。

一、離心訓練對健康老年族群的影響

先前文獻（Nosaka & Newton, 2002）顯示，成年人進行8週肘屈肌群離心訓練後可提升肌肉功能外，亦可有效降低從事離心運動引起肌肉損傷之風險。但是目前探討離心訓練對健康老年族群肌肉功能影響的文獻不多（Gault, Clements, & Williams, 2012; Isner-Horobeti et al., 2013; LaStayo, Ewy, Pierotti,

Johns, & Lindstedt, 2003; Melo et al., 2008; Mueller et al., 2009)，這些文獻都認為長期離心運動介入對改善老年的肌肉與生理功能以及功能性體適能有正面幫助（表一）。

Isner-Horobeti et al. (2013) 的綜評性文獻，分析腿部離心訓練對老年人肌肉功能及功能能力之可能影響，提出離心運動訓練效果比向心與等長訓練來得好，因此提出離心運動可能對老年人是一項具有吸引力且有別於傳統的運動方式。Melo et al. (2008) 探討12週高強度（75-80%最大肌力）等速雙腿膝伸與屈肌群離心訓練（每週2天，每天2-4組，每組8-12下）對改善健康老年人心跳率與肌力之影響，結果顯示平均收縮壓下降（約5%）與改善膝伸肌群的肌力（17%）均比前測值獲得明顯提升，但該研究實驗參與者數目較小（ $n = 9$ ）且無納入對照組可供比較。Gault et al. (2012) 讓健康老年人以自覺舒適強度進行進行12週水平走路或下坡（-10%）（每週3天、每天30分鐘）走路訓練，並在第4週與第8週依進步情況再次調整訓練強度，研究結果發現：雖然水平與下坡走路組的最大等長肌力以及功能性體適能（步行速度、五次站到坐時間）都比前測值明顯進步（二組之間無統計差異），但下坡走路訓練時的耗氧量明顯比水平走路訓練時來得低且較受到研究對象喜愛。雖然該研究提出上述這些改善情況，對從事下坡走路組老年人的獨自生活能力有很大的幫助，但是上述文獻並未招募足夠的受試樣本，且將男、女性研究對象混合在一起進行實驗與統計分析比較。

Mueller et al. (2009) 比較12週離心固定阻力腳踏車（運動強度：運動自覺量表[rated perceived exertion scale, RPE] > 13，女性：30瓦特，男性：50瓦特、每週2天、每天30分鐘）與傳統阻力訓練（運動強度：RPE > 13、每週2天、每天訓練：大腿推蹬、腿部伸張、腿部彎曲、臀部伸展等部位、每個部位3組、每組8-10下）對健康老年族群（36位女性與26位男性、年齡約80歲）之效果評估，結果發現離心阻力腳踏車組在肌力提升（+8%）與體脂肪下降（-5%）均明顯優於傳統阻力訓練組

（肌力+2%、體脂肪-1%）的效果。類似的研究結果，也在LaStayo et al. (2003) 比較11週離心阻力腳踏車（每週3天，每天10-20分鐘，強度：RPE > 13）與傳統訓練組（每天訓練：大腿推蹬、腿部伸張、伸蹲等部位、每個部位3組、每組6-15下，每週3天，強度：RPE > 15）對健康老年族群（11位男性與10位女性、年齡約80歲）肌力、平衡、上下樓梯能力之效果評估中被證實。雖然該研究也是將男女受試對象混合在一起進行實驗處理與進行統計分析比較，但是該研究發現離心固定阻力腳踏車組在等長肌力提升（+60%）、平衡能力提升（+7%）與上下樓梯時間減少（-17%），均明顯優於傳統阻力訓練組（肌力+15%、平衡能力+5%與上下樓梯時間-7%）。由於離心固定阻力腳踏車組在改善老年人功能能力皆優於一般傳統訓練組，而離心阻力腳踏車具有非負荷身體重量之特性，透過固定阻力腳踏車進行肌肉離心收縮訓練，不但能容易產生訓練的適應能力及降低發生運動傷害之風險，還能有效提升肌力（LaStayo et al., 2003）。因老年人參與運動的適應能力很差，可能不適合從事傳統重量訓練的方式（Gault & Willems, 2013a）。另外，從上述文獻（如Mueller et al., 2009）中，可看出健康老年人參與離心運動訓練對提升功能性體適能與肌力表現等效果，皆比向心訓練來得好。

近期一篇綜評性研究文獻（Roig et al., 2009）亦提出，成年男子進行向心阻力訓練後，可明顯提升肌力及肌肉功能表現，但在隨後進行一回合最大離心運動時，卻會比無接受訓練的控制組引起較大幅度之肌肉損傷風險。不過，Roig et al. (2009) 提出，離心訓練可使年輕人與老年人肌力與肌肉質量提升程度明顯比向心訓練效果來得好。而且老年人下肢肌群（特別是膝伸肌群）功能好壞，會影響其獨立生活的能力及跌倒的風險。因此，如何透過離心運動介入達到維持人體生理功能，並能有效達到抗老化及提升生活品質之目標，是一個值得未來探討的重要研究議題。

表一 離心訓練對健康老年族群之效果比較

作者／年代	參與對象／性別／年齡	頻率／時間	訓練部位／運動處方	主要結果
Gault et al. (2012)	24位約67歲男女子	12週、每週3次、每次30分鐘	平面走訓練 (LWT) 組：膝伸肌群／跑步機平面快速走 (LWT) 強度〔(運動自覺量表 [RPE] 自選舒服強度)〕：2.5 km/h、每30秒↑ 0.2 km/h	1. 走路訓練時之反應： <ul style="list-style-type: none"> (1) LWT：第1-4週RPE~9、心跳率~97下／分鐘；第5-8週RPE~9、心跳率~97下／分鐘；第9-12週RPE~9、心跳率~106下／分鐘 (> DWT)、整個LWT之氧氣平均消耗~12 ml/kg/min (> DWT) (2) DWT：第1-4週RPE~9、心跳率~90下／分鐘；第5-8週RPE~10、心跳率~94下／分鐘；第9-12週RPE~9、心跳率~98下／分鐘 (< LWT)、整個DWT之氧氣平均消耗~9 ml/kg/min (< LWT) 2. 功能性體適能 (FPF) <ul style="list-style-type: none"> (1) 步行速度：DWT：↓ 23%、LWT：↓ 22% (2) 五次坐到站測驗：DWT：↓ 34%、快速走組：↓ 32% (3) 起身走：DWT與LWT~進步22% (4) 肌力：DWT與LWT肌力無顯著進步 (5) 最佳用力角度：DWT與LWT最佳用力角度明顯改變，但無組別差異
Mueller et al. (2009)	36位女性與26位男性約80歲	12週、每週2天	傳統阻力訓練 (TRT) 組：大腿推蹬、腿部伸張、腿部彎曲、臀部伸展各做3組×8-10下、RPE > 13 ET組：離心阻力腳踏車 (女性30W、男性50W、20分鐘、RPE > 13) 控制組 (CON)：無處理	體脂肪：ET (↓ 5%) > TRT (↓ 1%) > CON (↑ 1%) 大腿脂肪：ET (↓ 7%) > TRT (↓ 3%) > CON (↑ 1%) 膝伸肌群肌力：ET (↑ 8%) > TRT (↑ 2%) > CON (↓ 2%)
Melo et al. (2008)	9位60-69歲男子	12週、每週2天	雙腿雙腿膝伸與屈肌群，2-4組，每組8-12次，強度：75-80%最大肌力	平均收縮壓：↓ 5% 膝伸肌群肌力：↑ 17%
LaStayo et al. (2003)	11位男性與10位女性、年齡約80歲	11週、每週3天	離心阻力腳踏車訓練 (EET)：強度RPE > 13、每天10-20分鐘 TRT組：大腿推蹬、腿部伸張、伸蹲等部位，每週3天，每個部位：3組／6-15下、強度：RPE > 15	等長肌力：EET (↑ 60%) > TRT (↑ 15%) 平衡能力：EET (↑ 7%) > TRT (↑ 5%) 上下樓梯時間：EET (↓ 17%) > TRT (↓ 7%)

註：Downhill Walk Training (DWT) = 下坡走訓練，Level Walk Training (LWT) = 平面走訓練，Functional Physical Fitness (FPF) = 功能性體適能，Eccentric Ergometer Training (EET) = 離心阻力腳踏車訓練，Control Group (CON) = 控制組，Traditional Resistance Training (TRT) = 傳統阻力訓練，Rated Perceived Exertion Scale (RPE) = 運動自覺量表，↑ = 上升，↓ = 下降。

二、離心訓練對不健康老年族群的影響

先前文獻探討老年族群的研究對象都是以身體狀況良好者為主，較少文獻（Dibble et al., 2006; LaStayo, Marcus, Dibble, Smith, & Beck, 2011; Marcus et al., 2008）以不健康老年人作為離心運動訓練的實驗對象（表二）。LaStayo et al. (2011) 探討12週離心阻力腳踏車運動訓練（每週3天，每天運動間隔3-5分鐘就漸進增加負荷直到完成16-20分鐘為止）對罹患癌症年長者（40位74歲男女性老人）肌力與功能性能能力之影響，結果發現離心訓練組股四頭肌肉截面積（+2%）、膝伸肌群的肌力（+29%）與六分鐘步行距離（+12%）不僅都可明顯提升，而且又顯著優於常規治療組的表現（股四頭肌肉截面積：-0.1%、膝伸肌群的肌力：+8%與六分鐘步行距離：+2%）。Marcus et al. (2008) 以第二型糖尿病中年婦女（15位50-58歲女性中高齡者）為研究對象，進行16週離心踏步機訓練（每週3天、每天運動20-30分鐘、強度：RPE > 15）後，結果發現離心運動訓練對改善糖化血色素（glycated hemoglobin,

HbA_{1c}）（+0.6%）、六分鐘步行距離（+8%）與身體質量指數（body mass index, BMI）（-5%）都明顯優於控制組（HbA_{1c}：-0.3%、六分鐘步行距離：+5%與BMI：+0.3%）。Dibble et al. (2006) 以帕金森氏症老年人（19位64-67歲男女性老人）為研究對象，進行12週離心固定腳踏車訓練（每週3天、每天45-60分鐘、強度：RPE > 15）後，結果發現離心運動訓練組提升股四頭肌肉截面積（+18%）、步行速度（10 m走路：+12%）、功能性體適能（起身走測驗 [Timed up-and-go test] 時間：+17%）都明顯優於控制組（股四頭肌肉截面積：+4%、10 m走路速度：+2%、起身走測驗的時間：-2%）。

綜整前述研究文獻可知，健康老年人和不健康老年人，似乎可藉由長期離心運動介入方式，達成提升肌力及功能性體適能，進而改善老年人獨立自主的生活能力、降低跌倒風險與提升生活品質。然而，在上述研究的實驗設計中，在離心訓練期間無納入觀測肌肉損傷及DOMS情形，故無法得知上述文獻的老年人參與離心訓練對誘發肌肉損傷與

表二 離心訓練對不健康老年族群效果之比較

作者／年代	參與對象／性別／年齡	頻率／時間	訓練部位／運動處方	主要結果
LaStayo et al. (2011)	40位罹患癌症男女高齡者、約74歲	12週／每週3天	離心訓練（ET）組： 離心阻力腳踏車／時間每3-5分鐘漸進增加強度（主觀的RPE從7-13）騎到16-20分鐘 治療組（T）： 無處理	股四頭肌肉截面積： ET（↑2%）> T（↓0.1%） 膝伸肌群肌力： ET（↑29%）> T（↑8%） 六分鐘步行距離： ET（↑12%）> T（↑2%）
Marcus et al. (2008)	15位罹患第二型糖尿病婦女、50-58歲	16週／每週3天	ET組： 離心阻力腳踏車訓練／時間20-30分鐘、強度：RPE > 15 控制組（CON）： 無處理	糖化血色素： ET（↓0.6%）> CON（↓0.3%） 六分鐘步行距離： ET（↑8%）> CON（↑5%） 身體質量指數： ET（↓5%）> CON（↑0.3%）
Dibble et al. (2009)	19位罹患帕金森氏症男女高齡者、年齡64-67歲	12週／每週3次	ET組： 離心阻力腳踏車（每次45-60分鐘） CON組： 無處理	股四頭肌肉截面積： ET（↑18%）> CON（↑4%） 步行速度（10 m走路）： ET（↓12%）> CON（↑2%） 功能性體適能（起身走測驗）： ET（↓17%）> CON（↓2%）

註：Eccentric Training (ET) = 離心訓練，Traditional Resistance Training (TRT) = 傳統阻力訓練，Control Group (CON) = 控制組，Treatment Group (T) = 治療組，Rated Perceived Exertion Scale (RPE) = 運動自覺量表，↑ = 上升，↓ = 下降。

DOMS之風險為何呢？另外，在上述健康和罹患疾病老年人的文獻中，大部分都未考慮性別差異與受試樣本數之問題，而且將實驗參與者不分男女性別混在一起進行實驗比較。因此，這些都是值得未來研究，做進一步探討及釐清的研究議題。

參、離心訓練產生抗老化之可能的機制

雖然目前探討離心訓練對老年族群抗老化的文獻不是很多，而且對於離心訓練產生抗老化效果的真正機轉還不完全清楚。然而，先前文獻推測，老年人經由離心訓練可提升抗老化之效果，可能是藉由提升肌力（+50-227%）、改變肌纖維型態、神經肌肉動員效率進步、增加肌肉橫斷面積（慢縮肌：+34-46%，快縮肌：+28-52%）（Cress, Johnson, & James, 1991; Frontera, Meredith, O'Reilly, & Evans, 1990; Newton et al., 2002）、降低體內發炎反應（Lovering & Brooks, 2013）和降低有氧代謝之需求（Elmer et al., 2013）等因素共同作用產生的。此外，Gault et al.（2013a）推測，雖然離心訓練提升膝伸肌力程度與傳統重量訓練相似，但是離心訓練可能會使肌纖維長度明顯變長，傳統重量訓練則無法產生此效應。所以上述兩種不同訓練方式會產生不同肌肉結構與訓練強度的適應現象，因為離心運動能承載比向心及等長收縮較大的負荷，而且離心收縮時的肌纖維有較大的伸展性，進而可做為一種有效刺激肌節串聯或肌節增生的效果（如Morgan, 1990）。所以，隨著離心訓練時間的延長可以觀察到肌束長度也跟著變長的效果，且離心力矩也會隨之增加（如Chen et al., 2010; Chen, Nosaka, Lin, Chen, & Wu, 2009; Morgan, 1990）；反觀，傳統向心肌力訓練方式無法達到像離心訓練所可產生的肌束長度變長與離心力矩進步效果，這不僅涉及到肌肉收縮的特殊型態有關（如Chen et al., 2011; Proske & Morgan, 2001），而且也可做為解釋離心訓練做為抗老化的可能原

因之一。因此，有關離心訓練產生抗老化效果的機轉，還有待未來更多研究者做探討，才能揭曉其真正的答案。

肆、結語與建議

一、結語

老化是由數個因素共同作用的過程，它不僅是自然老化產生的結果，還受到疾病、生活方式和環境等因素的交互影響。肌肉減少症為老化症狀的典型結果之一，會進而導致肌肉功能、肌力、心血管功能及有氧能力的下降。因此，會造成老年人身體活動能力與功能性表現能力下降，導致壽命減短和/或影響生活品質。然而，離心訓練介入可使老年人進行離心運動時，出現低有氧需求且產生高張力特性，達到提高生活品質之目的。然而，若使用有氧耐力離心運動方式（離心固定阻力腳踏車、下坡跑步機走路），可有效刺激老年人參與運動的肌肉群，達到改進最大肌力、有氧能力以及改善功能性體適能表現的能力（如坐站測驗、下樓梯表現）。然而，先前僅數篇文獻探討老年人從事離心訓練的效果評估而已，而且這些文獻在離心訓練期間，都無測量肌肉損傷及DOMS反應外，亦無考慮到男女之間的性別差異而將男女性混在一起進行比較。

二、建議

（一）未來研究方向

可針對以下問題做探討：1. 老年族群（特別是下肢肌群）從事長期離心訓練效果進行評估，並在離心訓練期間觀測肌肉損傷及DOMS之反應；2. 比較老年男女性別對從事長期離心訓練效果差異之評估；3. 老年族群可能比年輕族群容易進行離心運動引起肌肉損傷及酸痛之風險，未來研究亦可研發符合老年人運動安全、提升生活品質及抗老化之離心運動方式；4. 針對不同年齡層族群進行離心訓練效果之比較；5. 探討長期離心運動訓練對不健康（如慢性阻塞性肺病、冠

狀動脈疾病等等) 老年人之健康促進效果評估；6. 老年人從事長期離心訓練產生效果之機轉；7. 健康和 unhealthy 高齡者離心訓練／運動處方之建立。

(二) 高齡者離心訓練

目前文獻(如 Gault et al., 2012; Gault & Williams, 2013b; LaStayo et al., 2003; Mueller et al., 2009) 主要考量到安全為由，都僅以離心固定阻力腳踏車和下坡跑步機走路方式，做為高齡者離心訓練之模式，其強度以 RPE 為依據，讓高齡者自覺舒服程度進行運動或訓練，運動方式採單次進行持續某一段時間而已。所以，無法從中得知進行中或高強度離心訓練對高齡者之訓練反應及效果。此外，雖然目前有三篇文獻(Dibble et al., 2006; LaStayo et al., 2011; Marcus et al., 2008) 曾發現離心訓練有助提升不健康(癌症、第二型糖尿病、帕金森氏症) 高齡者的肌肉功能、功能性體適能和／或血液生化健康指標(如糖化血色素)，但是目前相關論文的發表量，還無法累積到達足以彙整與歸納出「高齡者離心訓練運動處方」。然而，從老化與運動安全觀點來看，建議健康高齡者採用低強度(自覺舒服程度) 來進行無身體負重之離心固定阻力腳踏車運動，可能比較能確保在安全之下，獲得運動介入促進健康之好處。對於 unhealthy 高齡者族群，想藉由離心運動改善疾病，建議必須事先在醫師確認與允許下才能實施。

引用文獻

- 行政院衛生福利部(2014)。新聞群組，資料引自 <http://www.mohw.gov.tw/cht/Ministry/RSSDetail.aspx?op=activity>
- 陳忠慶(2000)。離心運動所引起的重複訓練效應之探討。《國民體育季刊》，29(4)，52-59。
- 陳忠慶(2004)。運動引起肌肉損傷的原因之探討。《運動生理暨體能學報》，1，19-32。
- 陳嬌芬、林晉榮(2006)。社區老人身體活動與生活品質相關之研究。《體育學報》，39(1)，87-99。
- 曾暉晉、陳忠慶、陳信良(2012)。最大等速離心運動引起肌肉損傷對速度發展率的影響。《體育學報》，45(1)，19-30。
- Buford, T. W., MacNeil, R. G., Clough, L. G., Dirain, M., Sandesara, B., Manini, T. M., et al. (2014). Active muscle regeneration following eccentric contraction-induced injury is similar between healthy you and older adults. *Journal of Applied Physiology*, 116(11), 1481-1490.
- Chen, T. C., Chen, H. L., Lin, M. J., Wu, C. J., & Nosaka, K. (2009). Muscle damage responses of the elbow flexors to four maximal eccentric exercise bouts performed every 4 weeks. *European Journal of Applied Physiology*, 106(2), 267-275.
- Chen, T. C., Chen, H. L., Lin, M. J., Wu, C. J., & Nosaka, K. (2010). Potent protective effect conferred by four bouts of low-intensity eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(5), 1004-1012.
- Chen, T. C., Chen, H. L., Liu, Y. C., & Nosaka, K. (2014). Eccentric exercise-induced muscle damage of pre-adolescent and adolescent boys in comparison to young men. *European Journal of Applied Physiology*, 114(6), 1183-1195.
- Chen, T. C., Chen, H. L., Pearce, A. J., & Nosaka, K. (2012). Attenuation of eccentric exercise-induced muscle damage by preconditioning exercises. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(11), 2090-2098.
- Chen, T. C., Lin, K. Y., Chen, H. L., Lin, M. J., & Nosaka, K. (2011). Comparison in eccentric exercise-induced muscle damage among four limb muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 111(2), 211-223.

- Chen, T. C., Nosaka, K., Lin, M. J., Chen, H. L., & Wu, C. J. (2009). Changes in running economy at different intensities following downhill running. *Journal of Sports Sciences*, 27(11), 1137-1144.
- Chen, T. C., Nosaka, K., & Sacco, P. (2007). Intensity of eccentric exercise, shift of optimum angle, and the magnitude of repeated-bout effect. *Journal of Applied Physiology*, 102(3), 992-999.
- Chen, T. C., Nosaka, K., & Tu, J. H. (2007). Changes in running economy following downhill running. *Journal of Sports Sciences*, 25(1), 55-63.
- Chen, T. C., Tseng, W. C., Huang, G. L., Chen, H. L., Tseng, K. W., & Nosaka, K. (2013). Low-intensity eccentric contractions attenuate muscle damage induced by subsequent maximal eccentric exercise of the knee extensors in the elderly. *European Journal of Applied Physiology*, 113(4), 1005-1015.
- Clarkson, P. M., Nosaka, K., & Braun, B. (1992). Muscle function after exercise induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(5), 512-520.
- Cress, M. E., Johnson, J., & James, C. (1991). Isokinetic strength testing in older women: A comparison of two systems. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 13(4), 199-202.
- Dibble, L. E., Hale, T. F., Marcus, R. L., Droge, J., Gerber, J. P., & LaStayo, P. C. (2006). High-intensity resistance training amplifies muscle hypertrophy and functional gains in persons with Parkinson's disease. *Parkinsonism and Related Disorders*, 21(9), 1444-1452.
- Elmer, S. J., Marshall, C. S., McGinnis, K. R., Van Haitsma, T., & LaStayo, P. C. (2013). Eccentric arm cycling: Physiological characteristics and potential applications with healthy populations. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2541-2552.
- Franceschi, C., Valensin, S., Bonafe, M., Paolisso, G., Yashin, A. I., Monti, D., et al. (2000). The network and the remodelling theories of aging: Historical background and new perspectives. *Experimental Gerontology*, 35(6-7), 879-896.
- Frontera, W. R., Meredith, C. N., O'Reilly, K. P., & Evans, W. J. (1990). Strength training and determinants of VO₂max in older men. *Journal of Applied Physiology*, 68(1), 329-333.
- Gault, M. L., Clements, R. E., & Willems, M. (2011). Eccentric contraction-induced muscle injury does not change walking economy in older adults. *Journal of Human Kinetics*, 27(1), 55-65.
- Gault, M. L., Clements, R. E., & Willems, M. E. (2012). Functional mobility of older adults after concentric and eccentric endurance exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3699-3707.
- Gault, M. L., Clements, R. E., & Willems, M. E. (2013). Cardiovascular responses during downhill treadmill walking at self-selected intensity in older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 21(3), 335-347.
- Gault, M. L., & Willems, M. E. (2013a). Isometric strength and steadiness adaptations of the knee extensor muscle to level and downhill treadmill walking in older adults. *Biogerontology*, 14(2), 197-208.
- Gault, M. L., & Willems, M. E. (2013b). Aging, functional capacity and eccentric exercise training. *Aging and Disease*, 4(6), 351-363.
- Gleeson, N., Eston, R., Marginson, V., & McHugh, M. (2003). Effects of prior concentric training on eccentric exercise induced muscle damage. *British Journal of Sports Medicine*, 37(2), 119-125.

- Isner-Horobeti, M. E., Dufour, S. P., Vautravers, P., Geny, B., Coudeyre, E., & Richard, R. (2013). Eccentric exercise training: Modalities, applications and perspectives. *Sports Medicine*, 43(6), 483-512.
- Kowald, A., & Kirkwood, T. B. (1996). A network theory of ageing: The interactions of defective mitochondria, aberrant proteins, free radicals and scavengers in the ageing process. *Mutation Research*, 316(5-6), 209-236.
- LaStayo, P. C., Ewy, G. A., Pierotti, D. D., Johns, R. K., & Lindstedt, S. (2003). The positive effects of negative work: Increased muscle strength and decreased fall risk in a frail elderly population. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 58(5), 419-424.
- LaStayo, P. C., Marcus, R. L., Dibble, L. E., Smith, S. B., & Beck, S. L. (2011). Eccentric exercise versus usual-care with older cancer survivors: The impact on muscle and mobility: An exploratory pilot study. *BMC Geriatrics*, 11, 5.
- Lieber, R. L., & Fridén, J. (1999). Mechanisms of muscle injury after eccentric contraction. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2(3), 253-265.
- Lovering, R. M., & Brooks, S. V. (2013). Eccentric exercise in aging and diseased skeletal muscle: Good or bad? *Journal of Applied Physiology*, 116(11), 1439-1445.
- Manfredi, T. G., Fielding, R. A., O'Reilly, K. P., Meredith, C. N., Lee, H. Y., & Evans, W. J. (1991). Plasma creatine kinase activity and exercise-induced muscle damage in older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(9), 1028-1034.
- Marcus, R. L., Smith, S., Morrell, G., Addison, O., Dibble, L. E., Wahoff-Stice, D., et al. (2008). Comparison of combined aerobic and high-force eccentric resistance exercise with aerobic exercise only for people with type 2 diabetes mellitus. *Physical Therapy*, 88(11), 1345-1354.
- Melo, R. C., Quiterio, R. J., Takahashi, A. C. M., Silva, E., Martins, L. E. B., & Catai, A. M. (2008). High eccentric strength training reduces heart rate variability in healthy older men. *British Journal of Sports Medicine*, 42(1), 59-63.
- Morgan, D. L. (1990). New insights into the behavior of muscle during active lengthening. *Journal of Biophysical*, 57(2), 209-221.
- Mueller, M., Breil, F. A., Vog, M., Steiner, R., Lippuner, K., Popp, A., et al. (2009). Different response to eccentric and concentric training in older men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 107(2), 145-153.
- Newham, D. J., Jones, D. A., & Clarkson, P. M. (1987). Repeated high-force eccentric exercise: Effects on muscle pain and damage. *Journal of Applied Physiology*, 63(4), 1381-1386.
- Newton, R. U., Hakkinen, K., Hakkinen, A., McCormick, M., Volek, J., & Kraemer, W. J. (2002). Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(8), 1367-1375.
- Nosaka, K., & Clarkson, P. M. (1995). Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(9), 1263-1269.
- Nosaka, K., & Newton, M. (2002). Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and submaximal eccentric loading. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2), 202-208.
- Proske, U., & Morgan, D. L. (2001). Muscle

- damage from eccentric exercise: Mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *Journal of Physiology*, 537, 333-345.
- Rikli, R. E., & Jones, C. J. (1999). The development and validation of functional fitness test for community-residing older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 7(2), 129-161.
- Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B., et al. (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 43(8), 556-568.
- Roth, S. M., Martel, G. F., Ivey, F. M., Lemmer, J. T., Tracy, B. L., Hurlbut, D. E., et al. (1999). Ultrastructural muscle damage in young vs. older men after high-volume, heavy-resistance strength training. *Journal of Applied Physiology*, 86(6), 1833-1840.
- Shephard, R. (2009). Maximal oxygen intake and independence in old age. *British Journal of Sports Medicine*, 43(5), 342-346.