

第二章 理論基礎與文獻探討

第一節 肌力訓練的生物力學基礎

肌力與爆發力訓練一直是多數運動教練與運動員所關心的課題，也是近代競技運動決定勝負的關鍵點(陳全壽, 1998)。Bloomfield, Ackland & Elliott (1994) 將肌力定義為一肌群以最大努力克服阻力所能發揮出的力或力矩，爆發力則是肌肉快速產生功的能力。劉宇(1998)的研究指出：根據運動學原理，奧林匹克運動所追求的更高、更快、更遠，都是由速度所決定的，而依據動量定理，速度又是由衝量決定的，因此，增加作用力的衝量以獲取最大的速度是提高成績的不二法門。衝量是力量—時間曲線下所構成的面積，如圖 2.1.1。**增加衝量(面積)的方法**有以下三種：

- 一、 增加力的大小。
- 二、 增加力的作用時間。
- 三、 增加力量—時間曲線的斜率 ($\Delta F/\Delta t$)。

此外，力量—時間曲線的型態 (Pattern) 亦可影響衝量的大小。

力的大小反應了最大肌力能力。斜率又稱發力率(Rate of Force Development)，反應的是爆發力能力。投擲運動中(如擲鐵餅)的身體旋轉就是為了延長加速距離以增加力的作用時間。但是在有些運動中，因為身體關節活動範圍有限，通過延長力的作用時間來提高衝量(成績)是不可能也不可取的，其原因在於時間延長會損失速度而不利成績的提高，此時，只能依靠提高力量的大小和斜率來提高成績，這也從理論上證明了最大肌力與爆發力對成績表現的重要性，同時也提供了肌力訓練的生物力學基礎。

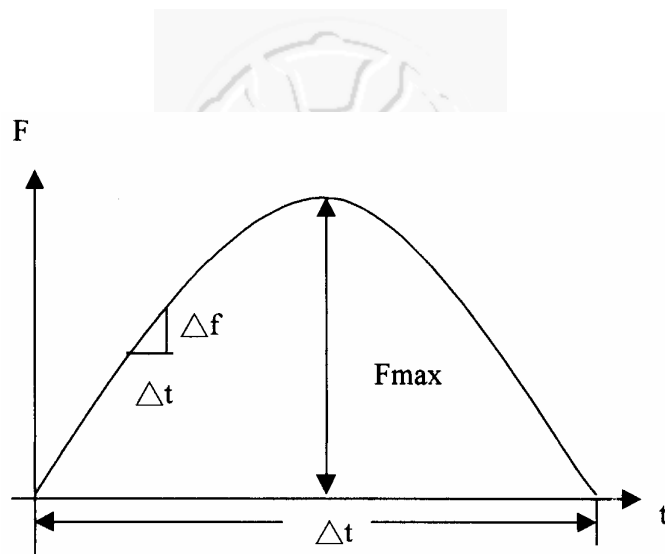


圖 2.1.1 力量—時間曲線圖

從以上理論背景的說明，若增強式重量訓練的效果可增加力的大小、力的作用時間與力量—時間曲線的斜率，那麼，這種訓練方式將可大幅地提昇運動成績。

第二節 肌力訓練的生理學基礎

透過科學化的專項運動訓練計畫，可產生很多生理系統的反應，對初受訓練者而言，肌力訓練對肌力與爆發力的影響主要表現在神經肌肉功能的改變及其後所引起的神經肌肉適應(O'Shea, 1979; Stone, 1982; Yessis, 1981)。

一、肌肉的神經適應機轉

不論何種肌力訓練方法皆會導致肌力或爆發力變化的結果；Sale(1988)的研究結果發現，肌力訓練會促使個體產生兩種主要的適應：神經適應(neural adaptation)與肌肉適應(muscle adaptation)，而肌肉適應又包括肌肉肥大(hypertrophy)、肌纖維增生(hyperplasia)與肌纖維型態(muscle fiber type)的改變。圖 2.2.1 顯示：在訓練初期主要是神經適應機轉的改變，中後期的神經適應性作用減低，肌肉適應開始作用，並導致肌肉肥大(hypertrophy)，最後僅靠肌力訓練已無法或難以產生肌肉肥大時，則需藉由睪固酮(anabolic steroids)的使用，方能再度促進肌力的增加。

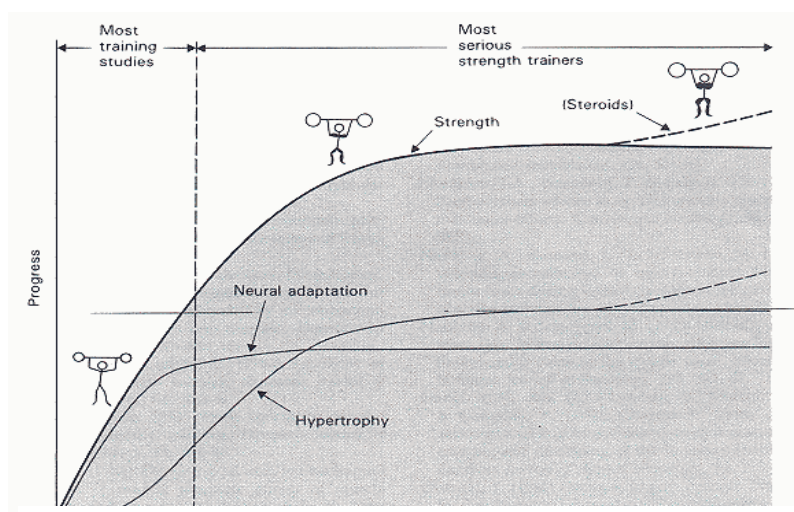


圖 2.2.1 肌力訓練對神經和肌肉適應的關係圖

二、肌肉收縮的特性

人體肌肉的收縮具有以下兩個重要的特性（馮樹勇、李愛東，1995）：

- （一） 伸展反射特性：肌肉在收縮（縮短）之前，如果預先牽拉肌肉（離心），使肌肉長度加長，可增加收縮（向心）時產生的力量，而且在一定範圍內，牽拉的速度越快，收縮的力量越大，這就是所謂的肌肉伸展反射（stretch reflex）特性。
- （二） 肌肉彈性能的儲存與釋放特性：肌肉被拉長時，可使肌肉內儲存的彈性能增加，並在肌肉縮短時釋放出來，如此可獲得增加收縮力量的作用。

此外，肌肉張力與延遲時間成反比，被牽拉開來的肌肉，如果未能立即伴隨著快而有力的向心收縮，則肌肉所儲存的彈性能將因而快速消失，降低了動作表現。而且，肌肉張力與彈性能，和肌肉的牽拉長度也有密切關係，肌肉若未能適度的伸展，對動作表現自然也有所限制。

三、肌肉生理學與肌力訓練的相關研究

Edgerton et al. (1986)指出：肌肉的生理橫斷面積、肌纖維的長度和肌肉的質量，分別是最大力量、速度和爆發力在形態學上的主要決定因素。而 Guyton(1986)的研究指出：一平方公分的肌肉橫斷面積可產生 3.5 公斤以上的力量。

Moritani (1978)在為期八週的肌力訓練期間，利用肌電圖進行定量的肌肉活化性研究，以觀察肌肉力量在神經方面的變化，研究發現：訓練初期肌力的改變主要歸因於神經適應因素。這個結果也建議：藉由大量的強化作用(facilitation)和去抑制作用(disinhibition)，可以增加

肌肉活性(activation) 被誘導出的水準；而這種強化作用和去抑制作用，即是一種肌力訓練的神經適應過程。這裡所謂的強化作用是指：「每當有某類的感覺訊號通過一系列的突觸時，這些突觸就會產生某些變化，使得下一次再有同樣的感覺訊號傳來時，其傳遞能力會增強，以使訊號更易通過，這種現象稱為強化作用。」(林富美、林則彬、賴亮全合譯，1994)。而去抑制作用主要在減少肌肉的自我保護機制，以增加肌肉潛在能力向表現能力轉化的可能性。

Milner-Brown, Stein, & Lee (1975)的研究，以肌電圖追蹤肌力訓練對肌肉隨意性收縮的運動單位釋放效果之影響，結果顯示：接受長期訓練的受試者，其運動單位徵召的同步性(synchronization) 顯著提昇，而在停止訓練和極度不活動的一段期間之後，運動單位徵召的同步性顯著下降。因此，他們認為：運動單位活化的同步性對爆發力的發展是必要的。

Schmidtbleicher (1998)的研究也提供了**肌力訓練的生理學基礎**，他認為：透過高強度的肌力訓練可增進快速動員較大的神經支配活動之能力，這些能力表現在以下幾個方面：

- (一) 更快速地徵召 (recruitment) 運動單位。
- (二) 增加運動單位的活化速率 (firing rate)。
- (三) 運動神經元的釋放更趨同步性 (synchronized)。
- (四) 單一肌肉的興奮 (excitatory) 與抑制 (inhibitory) 作用機轉的改善。
- (五) 肌群間協調能力 (inter-muscular coordination)的改善。

Stone (1982) 的研究也摘列出了肌力與爆發力的決定因素如下：

- (一) 運動單位 (motor units) 徵召的數量和活性：運動單位徵召的數量決定肌肉收縮的力量；而快縮肌纖維活化性的增

加，可產生更大的力量。

- (二) 運動單位活化 (firing) 的頻率或速率：增加運動單位活化的頻率，可導致最大力量的增加。
- (三) 運動單位的同步性 (synchronization)：在某一動作中，大量的運動單位同時收縮，可產生更有力的肌肉收縮。
- (四) 運動單位和整個肌群收縮的型態(pattern)：可導致更有效率的表現。
- (五) 肌纖維的類型(type)：快縮運動單位在扮演更大力量輸出的角色上，比慢縮運動單位更為重要。
- (六) 肌肉肥大的程度：肌肉橫斷面積大，是產生有力的肌肉張力的決定因素。

四、小結

肌力訓練可引起神經系統的改變，這些改變的結果，表現在肌群間協調性的改善和力量輸出能力的提高上(Kritpet, 1989)。肌肉所受的牽張負荷不同，其所產生的神經肌肉適應也會有所差異，而這些差異表現在哪些神經力學參數上，也是本研究所要探討的課題之一。

依據以上的文獻探討，從理論上說明了負重增強式訓練對肌力與爆發力發展的優越性。然而，由肌肉生理學的角度觀之，透過肌電圖(electromyogram)可檢測神經系統所傳遞的動作電位水準，以及運動單位徵召活化的情形...等肌肉收縮的神經支配特性(Winter, 1990)，並可了解各肌群參與執行動作的貢獻度。因此，本研究也將透過肌電圖來瞭解在不同負荷下，負重增強式動作的神經肌肉工作特點，並分析比較負重屈膝蹲跳與下蹲反彈蹲跳的差異。

第三節 肌力訓練的發展

傳統的重量訓練 (weight training) 一直是用來提昇最大肌力的重要手段，其後，基於充分利用肌肉彈性能 (elastic energy) 與伸展反射 (stretch reflex) 的特性，並使訓練更逼近競賽狀態，適應大多數動態的運動表現，又發展出增強式訓練 (plyometrics training) 以做為發展爆發力的手段。

增強式訓練的動作型態事實上是一種在負重狀態下 (自身體重或器械重量)，肌肉受到快速牽拉 (離心收縮)，隨即伴隨著快而有力的收縮 (向心收縮)，也就是盡可能地縮短離心與向心收縮之間的轉換時間的一種爆發力訓練手段。Plyometrics 這個名詞在國內譯為增強式運動或增強式訓練 (林正常，1993)。Chu & Plummer(1984)指出：「plyometrics 是一種結合力量和動作速度以產生瞬發性爆發力的動作型態之訓練，這個名詞經常被用來指跳躍訓練和深跳訓練 (depth jump)，但也涵蓋了任何利用肌肉伸展反射 (stretch reflex) 特性以產生爆發性反射動作的訓練」。它的目的是為了在最短的時間產生最大的力的總和 (Hoeger et al., 1994)。

肌肉的工作型態一般分為等長收縮、離心收縮和向心收縮，但是這種分類方法並不能代表肌肉的自然工作型態，因為肌肉的活動很少包括純粹的等長收縮、向心收縮或離心收縮，在許多運動中身體環節週期性地受到衝力的作用，例如在跑跳中肌肉受外力的作用而被拉長，此刻，肌肉首先做離心收縮，隨即伴隨著做向心收縮，這種離心收縮和向心收縮的結合，實際上完成了一種肌肉的自然機能，稱做 Stretch-Shortening-Cycle (簡稱 SSC)。SSC 不僅是離心收縮與向心收縮的簡單結合，而是一種相對獨立的運動機能，因此，在訓練上也有其獨特的訓練方法，其訓練的目的是在使最終的運動--即向心收縮階

段比單一的向心收縮更加有效率（劉宇、江界山、陳重佑，1996）。

Fry & Kraemer (1991) 指出：重量訓練可有效增進肌力，但對於改善動態運動表現的貢獻有限（例如：短距離衝刺跑）。Bloomfield et al. (1990) 也曾以優秀水球運動員為研究對象觀察肌力與投擲速度的關係，結果指出：傳統的重量訓練顯著地增進了肌力的發展，而投擲速度卻沒有產生變化。Rutherford et al. (1986) 的研究結果也呈現出：為期 12 週的下肢重量訓練雖然使舉重重量大大的提昇，但在腳踏車測試的爆發力峰值（peak power）卻沒有因訓練而改變。Wilmore and Costill (1988) 甚至指出：雖然肌力訓練在過去的 50 年以來一直是競技游泳選手體能訓練課程的一部份，但它卻沒有顯著增進游泳表現。

以上這些研究顯示了一個重要的訓練訊息，就是在大部份的動態運動中，SSC 的能力佔有極重要的地位，而且有其獨特的訓練手段，為了要能有效地提昇 SSC 的能力，傳統的重量訓練在發展肌力之餘，必須考量 SSC 能力的訓練，這也是訓練的特殊性原則的重要概念。

肌力與爆發力雖然是相關的，但卻代表著不同型態的運動能力，具有不同的發展特性（Bloomfield et al, 1994）。Hakkinen et al.(1985) 的研究顯示：高負荷的重量訓練導致最大肌力的增加，但發力率（rate of force development）卻沒有明顯的改變。從圖 2.3.1 的力量—時間曲線中可知：傳統的高負荷重量訓練顯著提昇了最大肌力（27%），但較高的力量值出現在相對較長的時間；而增強式訓練則顯著提高了發力率，最大肌力改變較小，而且較高的力量值產生於相對較短的時間。

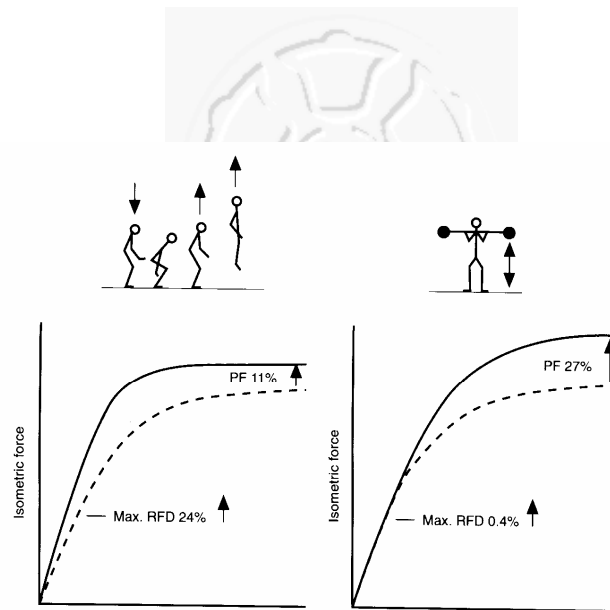


圖 2.3.1 增強式訓練(左)和重量訓練(右)
在力量—時間

蔡豐任、劉宇(1998)的研究，以控速增量及控量增速的深跳訓練為手段，實施每週兩次共為期八週的增強式訓練負荷定量控制方式，結果顯示：垂直跳分別進步了7公分及7.8公分，動作速度進步了10.26%及10.52%，爆發力進步了10.72%及10.23%，但最大肌力的發展卻未顯著改變。而且，所造成的爆發力提昇之效果，是因此訓練方式提昇了動作速度而非動作力量。這個研究說明了增強式訓練在增進爆發力與動作速度上有很大的助益，但對於最大肌力的發展有其限制。本研究也建議：增強式訓練若能結合重量訓練應可更全面性地發展爆發力。

這樣的建議從Adams et al.(1992)的研究中也得到初步的驗證，這個研究分別實施了六週的三種不同訓練方式，結果顯示：重量訓練使垂直跳進步了3.3公分，增強式訓練增加3.8公分，而兼有重量訓練和增強式訓練的混和式訓練法則大大地增加了10.7公分。這個研究結果說明了結合重量訓練與增強式訓練可收增進肌力、動作速度和爆發力的多重效果，而且可能具有加成的作用。

第四節 增強式訓練理論

一、前言

速度和肌力是體能的主要組成要素，在各種不同的運動中佔有不同程度的重要性，速度與肌力的簡單結合就是所謂的爆發力。多年來，教練和運動員一直尋求增進爆發力以提高運動表現的方法，而各種不同彈跳訓練方法（如 jumping、bounding、hopping 等）就是一般被用來增進運動表現的主要方法。直到近年來，才將爆發力或瞬發力的訓練方法統稱為 plyometrics。無論這個專有名詞的起源為何，plyometrics 通常用來描述利用快速離心收縮動作以產生更有力的向心收縮以增進個體瞬發反應的訓練方法（引自 <http://www.brianmac.demon.co.uk/plymo.htm>）。

plyometrics 訓練並不是一種特別新式的訓練方法，即使最近成為運動訓練矚目的焦點，但其實它早已是各種運動項目中訓練的一部份。plyometrics 這個字直到 1960 年代後期才出現在運動訓練的文獻之中，現代運動科學的研究提供了我們對肌肉彈性特點和可訓練性的理論基礎之瞭解，這也使參與訓練者能更有效地應用 plyometrics 的訓練方法，只是雖然對 plyometrics 的訓練知識有所增長，但仍然對它的應用有許多不明白之處。這種訓練方式存在著正反兩極的意見，大部份人認為它是非常有效的爆發力訓練方法，但是對這種訓練方法也有多所責難之處，認為它可能造成運動傷害和過度訓練（Gambetta，1997）。

近年來，增強式訓練廣受運動教練的歡迎，並將這種訓練方式，結合了運動技術訓練，廣泛地應用於現代運動訓練課程中，並獲得很好的訓練效果（Kritpet，1989）。在一些需要強大爆發力的運動項目，例如籃球、排球、短距離賽跑、跳躍運動、投擲運動和體操...等，增

強式訓練也被認為是必要的訓練手段。因此，為了尋求科學而有效的爆發力與跳躍能力訓練方法，有必要對這個前蘇聯與東歐國家的秘密訓練武器，做進一步的了解。以下將針對增強式訓練的意義、肌肉力學原理、SSC 的肌肉工作型態、理論基礎、功能、訓練機轉等進行探討。

二、增強式訓練的意義

Plyometrics 是描述一種運動型態的專有名詞，主要目的在於做為連結肌力與速度以發展爆發力的橋樑。在 1970 年代早期以前，這種運動型態僅僅被稱為跳躍訓練，1970 年代後期，才被美國田徑教練 Fred Wilt 將跳躍訓練稱為 Plyometrics。它的意義在拉丁語是指測量的增加 (measurable increases)，這種訓練型態因東歐集團國家的運動員在大部份的肌力與速度的比賽項目中，屢屢打敗北美運動員而聲名大噪。在 1970 年代後期和 1980 年以後，Plyometrics 變成了很多運動項目體能訓練課程的主要訓練內容 (Goldenberg, Lonre, 1998)。

增強式訓練原文為 Plyometrics，原意是「增強」或「加大」之意，在歐洲和前蘇聯國家將這種獨特的反射性動作型態稱為牽張—縮短—循環 (Stretch-Shortening-Cycle，簡稱 SSC) (Schmidtbleicher, 1992；劉宇、江界山、陳重佑，1996)。Fleck & Kraemer (1997) 則認為應以 SSC 這個名詞來取代 Plyometrics，如此可更準確地描述這類阻力運動的型態。目前在國內對此一名詞有稱為反射性運動、增強式運動、衝擊式訓練者，研究者依其原文字意及訓練型態稱它為增強式訓練。

Chu & Plummer(1984)曾為增強式訓練做了如下的定義：「增強式訓練是一種結合力量和動作速度以產生瞬發性反應 (explosive-reaction) 的動作型態之訓練，這個名詞經常被用來指跳躍

訓練和深跳訓練(depth jump)，但也含蓋了任何利用肌肉伸展反射(stretch reflex)特性，以產生爆發性反應動作的訓練」。

Hoeger 等人 (1994) 認為增強式訓練的最佳定義是：「爆發的跳躍訓練(explosive jump training)」；這種訓練方式主要在於結合速度訓練和力量訓練以求增加爆發力，它的目的是為了在最短的時間產生最大的力的總和。但是，Hoeger 等人也指出：在試圖進行增強式訓練之前，必須具備合理而充分的肌力基礎。

三、增強式訓練的肌肉力學原理

肌肉在一個快速離心收縮的動作中，可達到肌肉所能產生的最大力量值，這個肌肉特性可在一般的生物力學教科書中得知，然而，我們也必須瞭解肌肉很少在運動期間以單一收縮型態存在。當肌肉進行離心收縮（肌肉長度變長）時，如果能立刻伴隨著進行向心收縮（肌肉長度變短），則可大大地增加力量的產生。如果某一肌肉被伸展時，大部份的能量會以熱的型態散失，但是部份的能量則會儲存在肌肉的彈性成分（elastic components）之中，這些所儲存的能量只有在併發的收縮中可被肌肉所利用。所以，離心收縮如果未能立刻伴隨著盡最大努力的向心收縮，將造成能量大量地散失的結果。為了挖掘更大的力量，肌肉必須在盡可能短的時間之內完成收縮，這個肌肉力學的認知對運動訓練是非常重要的。這整個肌肉的收縮過程一般稱為牽張—縮短—循環（stretch-shortening-cycle），它是 plyometrics 訓練最重要的力學基礎。

四、增強式訓練的 SSC 肌肉工作型態

肌肉的工作型態一般分為等長收縮、離心收縮和向心收縮，但是這種分類方法並不能代表肌肉的自然工作型態，因為肌肉的活動很少

包括純粹的等長收縮、向心收縮或離心收縮，在許多運動中身體環節週期性地受到衝力的作用，例如在跑跳中肌肉受外力的作用而被拉長，此刻，肌肉首先做離心收縮，隨即伴隨著做向心收縮，這種離心收縮和向心收縮的結合，實際上完成了一種肌肉的自然機能，稱做 Stretch-Shortening-Cycle（簡稱 SSC）。SSC 不僅是離心收縮與向心收縮的簡單結合，而是一種相對獨立的運動機能，因此，在訓練上也有其獨特的訓練方法，其訓練的目的是在使最終的運動，即向心收縮階段比單一的向心收縮更加有效率（引自劉宇、江界山、陳重佑，1996）。後來，Fleck & Kraemer（1997）更認為應以 SSC 這個名詞來取代 Plyometrics，如此可更準確地描述這類阻力運動的型態。

由此可知，增強式訓練的動作型態事實上是一種在負重狀態下（自身體重或器械重量），將肌肉快速伸展（離心收縮），隨即伴隨著快而有力的收縮肌肉（向心收縮），也就是盡可能地縮短離心與向心收縮之間的轉換時間的一種爆發力訓練手段。

五、增強式訓練的科學理論基礎

Plyometrics 利用兩個肌肉的生理學特性：一是伸展反射（stretch reflex），二是彈性能的儲存（storage of elastic energy），當快速伸展（lengthening）一肌群，緊接著再快速地縮短（shortening）此一肌群，可產生比單一收縮更強而有力的收縮力量之結果（引自 <http://www-rohan.sdsu.edu/dept/coachsci/vo121/kubachka.htm>）。

Plyometrics 是藉由提高神經刺激肌肉的生理功能，以利肌力與速度的有效結合，進而激發出最大爆發力的訓練方法。所以，通常以 Plyometrics 來代表增進爆發力的訓練手段與方法。

在 Plyometrics 運動型態中，通常伴隨有離心負荷和牽拉（伸展）肌肉的動作。舉例來說，跳遠最後一步的踏跳動作，首先在股四頭肌

產生一離心負荷（肌肉被動的受到一牽拉力量），然後在蹬伸階段進行向心收縮，如此，肌肉快速離心隨即伴隨快而有力的向心收縮動作，將產生更強而有力的向心收縮力量。這種肌肉的反應出現在沒有蓄意的被動收縮情況之下，如果沒有此反應，膝關節將蹋陷而變成所謂的「軟腳」的情況。以上的反應是肌梭（muscle spindle）作用的結果，當踏跳時肌梭檢測出附加於肌肉的牽張負荷，然後收到從大腦傳來的衝動訊息，引起伸展反射（stretch reflex 或 myotatic reflex），產生向心收縮與蹬伸動作。伸展反射的工作型態就如同以塑膠槌敲膝蓋產生膝跳反射（knee reflex）的形式一樣，可使小腿向前踢蹬或產生股四頭肌向心收縮的結果。

肌梭由 3-12 條梭內肌纖維（intrafusar muscle）環繞而成，它是骨骼肌纖維間的感受器，由感覺神經末梢和包在梭形結締組織鞘內的梭內肌纖維組成，與梭外肌纖維平行排列，由肌梭發生的向心神衝動產生肌髓反射，使梭外肌纖維的肌張力增高，這就是所謂的肌靜位或伸展反射（電子醫學辭典。蓋統生理學，p842-849）。

運動員在實施肌力訓練後通常可使肌肉變為更強壯，但並不一定會變為更快而有爆發力。Plyometrics 的訓練適可藉由發展肌肉的伸展反射能力，為連結肌力與速度搭起一座橋樑，以產生更有爆發力的肌肉（Goldenberg, Lonre., 1998）。

總而言之，增強式訓練的理論基礎是基於：「肌肉在收縮之前，如果先快速地伸展，將會導致更強而有力的收縮；而且在一定範圍內，伸展（離心）的速度愈快，則緊接的向心收縮力量愈大」（Huber, 1987）。這個收縮力量的增加被認為是因肌梭（muscle spindle）的伸展所致，而肌梭的伸展涉及一種稱為肌梭反射（myotatic reflex）或稱伸展反射（stretch reflex）的生理機制，它可導致運動單位（motor unit）釋放的頻率和活性化的運動單位數目的增加（Clutch, Wilton, MCGOWN, & Bryce, 1983）。

六、增強式訓練的功能

Hoeger 等人 (1994) 認為：增強式訓練的反彈起跳動作是為了獲得肌肉的牽張--縮短--循環(Stretch-Shortening-Cycle, 簡稱 SSC)和伸展反射(stretch reflex)特性的利益，而著地期間快速地伸展肌肉也被認為可增大肌肉的收縮力量，進而可獲得更大的爆發力。

增強式訓練的效果主要表現在以下三點 (陳敦禮, 民 85):

- (一) 激發肌肉的伸展反射 (stretch reflex) (或稱肌梭反射 myotatic reflex), 使神經肌肉系統產生大而快的爆發力。
- (二) 發展肌肉與神經系統, 使其能在運動中自動產生快速的爆發力。
- (三) 促進肌肉本身和肌群間協調能力的改善, 以協調在高速進行中的動作。

Chu(1983、1984)和 Chu & Plummer(1984)建議以增強式訓練來發展神經肌肉系統, 也就是說, 以增強式訓練做為訓練神經肌肉系統的方法, 以求在牽張一縮短型態(stretch-shortening type)的動作中, 達到快而有力的反射動作。

事實上, 在增強式訓練的向心收縮階段, 可經由肌梭反射(myotatic reflex), 產生更多同步的運動單位和更快地募集較大的運動單位參與肌肉的收縮活動。所以, 增強式訓練不但可增加力量的產生, 而且可引起更快的動作速度, 進而提昇速度力量或爆發力的能力。

Bosco(1982)和 Lundin 等人(1986)指出: 增強式訓練可增加高爾基腱器官(Golgi tendon organ)的活化閾值(activation threshold), 換句話說, 可提高在增加肌肉牽張負荷時的忍受力。對牽張負荷的忍受力愈大, 可以產生更強而有力的伸展反射 (stretch reflex), 以抵抗更大牽張負荷。

七、增強式訓練的機轉

Verkhoshanski(1968)以深跳訓練(depth jump)為例，說明增強式訓練的作用過程。他將深跳訓練的動作型態分為三個階段：

第一階段：稱為償還(amortization)或稱力量募集(force absorption)

階段，它出現於下肢伸肌快速伸展時。

第二階段：稱為反射復原(reactive recovery)階段。在此階段，肌

肉進行反向的轉換，以克服最初的正向垂直速度。

第三階段：稱為積極起跳(active take-off)階段。此時伸肌收縮進

行跳躍動作。

Verkhoshanski(1973)之後建議一種稱為深跳(depth jump)的增強式訓練技術，這種訓練對完善運動員的爆發力能力是非常有效的。他並建議以高度 80-110 公分的跳台進行深跳訓練，來達到發展最大動作速度和動態肌力(dynamic strength)的目的。

Allerheiligen (1994)指出：增強式訓練是一種預先牽拉肌肉（肌肉被動拉長），促使最終的向心收縮階段能產生更強而有力的收縮的一種跳躍訓練，它能激發一種稱為伸展反射(stretch reflex)或稱肌梭反射(myotatic reflex)的生理機制，使肌肉對突如其來的快速、縱向的伸展，產生快速而更有力的收縮反應。如同大家所熟知的：當肌肉快速的進行離心收縮時，如能立即伴隨著快速的向心收縮，將可產生更強而有力的收縮。這種動作可增強神經肌肉的興奮性與張力，而增強式訓練之所以能增進爆發力，是由於它能增進肌肉收縮的力量和速度(Kritpet, 1989)。

深跳訓練 (depth jump) 是最典型的增強式訓練方式，它是藉由從某一高度的跳台上，下落跳到地面，而在著地膝關節彎曲後，隨即反彈垂直跳起。這種訓練強調的是在下落腳觸地瞬時，就立即盡可能快

及盡可能高地往上跳。在腳觸地時，膝關節快速地彎曲，可引起股四頭肌和髖伸肌的快速離心收縮，如此，可在隨即引起的向心收縮中，獲得更大的力量。

Wathen (1993)指出，增強式訓練的基礎在於：「一肌群快速的減速（離心收縮），隨即伴隨著同一肌群在反方向的快速加速（向心收縮）」。這種快速的離心動作，引起一種稱為伸展反射(stretch reflex)或稱為牽張-縮短-循環(stretch-shortening-cycle)的反射機制，這將導致一肌群更強而有力的向心收縮。

造成伸展反射主要是肌梭(muscle spindle)的作用，肌梭是位於梭內肌纖維而與梭外肌纖維平行的感覺受納器(Fleck & Kraemer ， 1987)，它對於肌肉伸展的速率和幅度是相當敏感的，因肌肉的伸展會刺激肌梭的感覺神經，使脊柱的運動神經在梭外肌纖維產生收縮動作，這個過程可保護肌肉免於過度的快速伸展和避免傷害。

肌肉伸展的速率是增強式訓練的前提要件，快速的伸展速率可產生更大的肌肉張力和向心收縮力(Astrand & Rodahl, 1970 ; O'Connell & Gardner, 1972)。這種快速的離心動作，如衝刺跑(sprinting)，反彈跳(bounding)，深跳(depth jump)，或側向單足連續左右彈跳(lateral hops)，可以產生更強而有力的離心和向心收縮。

肌肉伸展速率的特徵可由以下不同的垂直跳測驗結果加以說明：靜態的屈膝蹲跳(static squat jump)，原地屈膝反彈跳(counter movement jump)和幾步助跑的跳躍。屈膝反彈跳的動作型態是從站立姿勢開始，先快速下蹲隨即快速往上起跳，它利用快速的離心收縮，隨即伴隨著快速的向心收縮，如此可獲得肌肉伸展反射與彈性势能增加的利益，進而可增加動作表現。靜態的屈膝蹲跳則是先呈半蹲狀態，再靠肌肉的主動收縮往上跳，因未利用肌肉的伸展反射特性，也未能

儲存大量的彈性勢能，致使動作表現不如屈膝反彈跳。而增強式訓練正是充分利用這些肌肉特性所衍生出的訓練方法。

八、小結

Plyometrics 型態的運動被很多運動員成功地用來當做提高爆發力的訓練方法，為了獲得 Plyometrics 的潛在利益，訓練時應該實施牽張—縮短—循環（stretch-shortening-cycle）的 SSC 動作型態，這需要在訓練時非常注意動作的技巧，那就是牽拉肌肉的速度而非牽拉的幅度是 Plyometrics 訓練最為重要的技巧。此外，離心→向心收縮的轉換時間或著地接觸的時間必須盡可能地短。身為教練或運動員所要面對的挑戰是選擇或設計一些適合於專項運動和矯正肌肉動作的練習方式。只要瞭解專項運動的特殊性原則和肌肉的預先牽張（prestretch）原理，那麼，實施 Plyometrics 的唯一限制就是創造力與想像力了。

第五節 增強式重量訓練理論

Plyometrics 的優點可從 Bloomfield, Ackland & Elliott (1994)的報告中，進一步了解增強式訓練與傳統的肌力訓練之差異，如下所示：

- 一、增強式訓練傾向必須在更大的瞬發性動作下完成動作，因此，運動員必須快速地募集盡可能大且快的肌肉力量來參與運動，以促進肌肉爆發力的發展。Hakkinen et al.(1985)的研究即指出：動態的增強式訓練比傳統的重量訓練能產生更大的最大發力率(maximal rate of force development)—即爆發力。
- 二、增強式訓練在肌肉做向心收縮期間並未產生減速制動階段，其完成動作後的速度不為零，而重量訓練必須在向心收縮的動作末期進行減速制動使速度變為零，因此，兩者在動作後期的力量輸出與加速度的產生上，前者顯然大於後者。
- 三、相較於重量訓練，增強式訓練是在較高速度下完成動作的訓練方式，此動作速度的增加有助於提高訓練形式逼近於競賽表現的特殊性，並增加訓練效益有效轉移到競賽狀態的可能性。
- 四、增強式訓練是一種動態的牽張-縮短-循環(stretch-shortening cycle，簡稱 SSC)的運動型態，此型態類似大部份的運動動作，伴隨有神經的伸展反射機制。Schmidtbleicher et al. (1988)的研究既指出：增強式訓練可藉由提高肌肉的彈性能與神經的伸展反射，進而增進 SSC 運動型態的能力。

為了整合增強式訓練可提昇動作速度和爆發力及重量訓練可提昇最大肌力的雙重優點，並去除可能的缺點，近來正發展一套所謂的增強式重量訓練法 (plyometrics weight training)，也就是在適當負重的情況下進行增強式訓練的方式。這種訓練法在澳洲已有研究者研發一套帶有調節閥可單向剎車的軌道式重量訓練器 (如圖 2.5.1)，訓練時

將置於軌道上的槓鈴固定於肩上，運動員可盡全力地快速扛起槓鈴以發揮最大的力量與爆發力。根據 Kaneko et al.(1983)與 Moritani et al.(1987)的研究：爆發力峰值大致出現於最大負荷(1RM)的 30~45%之間。因此，增強式重量訓練的負荷重量也可根據這一標準為之。

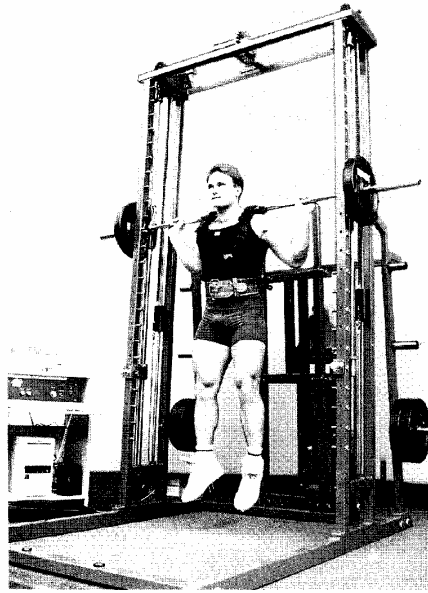


圖 2.5.1 增強式重量訓練器及訓練方法

增強式重量訓練的理論基礎與訓練效果，可從圖 2.5.2、2.5.3 及 2.5.4 的理論背景得到驗證。如圖 2.5.2 所顯示的：以最大負荷的 30% 進行傳統的蹲舉練習時，其力量的輸出值在向心收縮的起始階段達到最高，但因動作末期大量的減速制動作用，使力量輸出值快速而大量地減低，如此的情況將造成訓練效果的大打折扣。

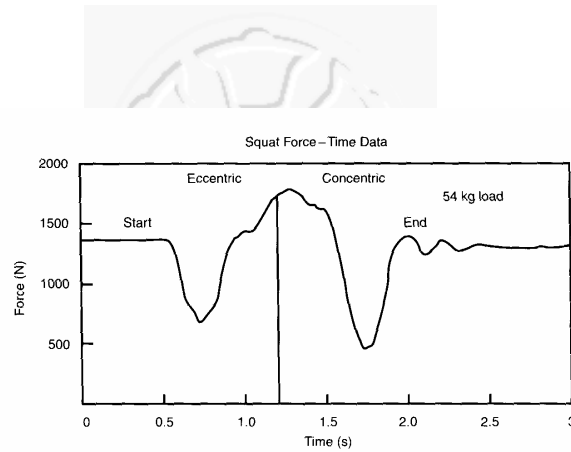


圖 2.5.2 傳統蹲舉練習（最大負荷的 30%）的力量—
時間曲線圖（摘自 Wilson, et al., 1993）

相對地，圖 2.5.3 清楚地顯示了：在進行最大負荷 30% 的負重屈膝蹲跳（weighted squat jump）時，因在動作末期蹬跳離地，使整個動作沒有產生減速制動作用，其力量的輸出值保持在相對高的水準，且力的作用時間也明顯延長，這樣的結果，使衝量值大大的提昇。

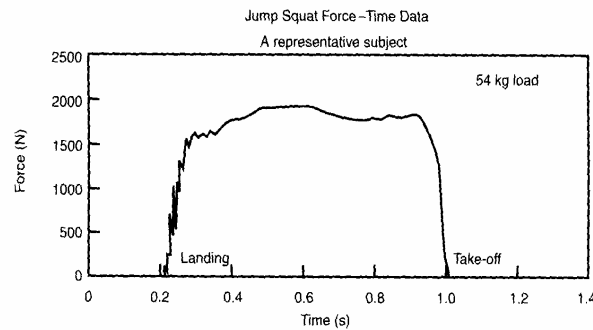


圖 2.5.3 負重(最大負荷的 30%)屈膝蹲跳(Squat Jump)
的力量—時間曲線圖（摘自 Wilson, et al., 1993）

此外，由圖 2.5.4 的下蹲反彈跳（counter-movement jump，CMJ）與屈膝蹲跳（squat jump，SJ）兩種垂直跳的地面反作用力—時間曲線圖顯示（劉宇，1998）：帶有反向動作的 CMJ（先呈直膝站立狀態），在屈膝離心動作結束時，也就是由身體重心最低點開始向上跳時，身體已經受到了一個正向起始力（如圖 2.5.5 CMJ 之 F_0 ），而 SJ（先呈

半蹲狀態)在開始向上跳時,身體上所受到的力是從零開始,因而 CMJ 的衝量面積大於 SJ 的衝量面積(如圖中的陰影部份)。

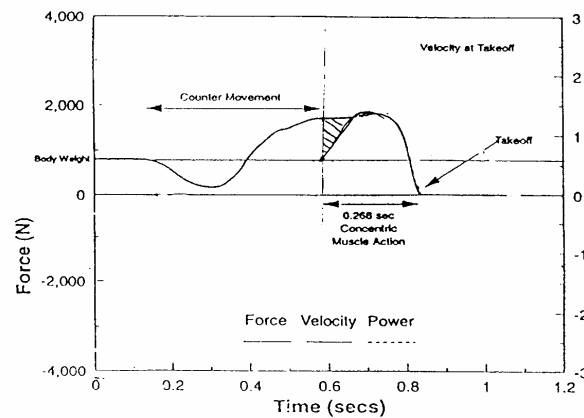


圖 2.5.4 CMJ 與 SJ 兩種垂直跳的地面反作用力量—時間曲線圖(摘自劉宇, 1998)

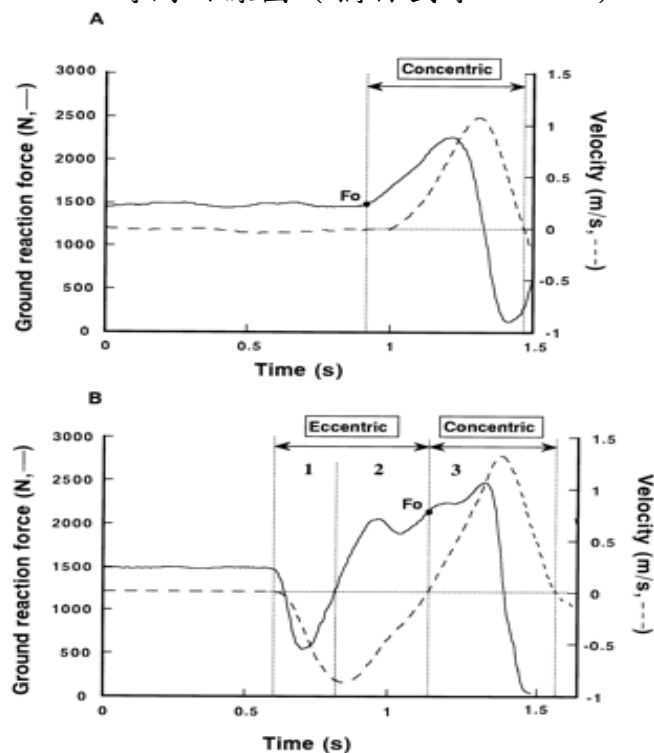


圖 2.5.5 Squat jump (A)與 Counter-movement jump (B)的力量-時間(實線)與速度-時間(虛線)曲線圖, B 在向心期的起始力量 F_0 大於 A 之 F_0 , 且衝量面積較大。(摘自 Takarada, *et al.*, 1997. 引自:

<http://jap.physiology.org/cgi/content/full/83/5/1749/F2>

這一例子說明了反向動作除可引起肌肉的伸展反射與增加肌肉彈性能的儲存與釋放外，還可在反向動作結束時獲得一個**最佳正向起始力與輸出衝量**，以利提高成績。

另根據肌肉力學的性質，被拉長的肌肉彈性力，有隨時間的延長而下降的特性，因此，反向動作與功能性動作的轉換時間應盡可能短，這個轉換時間的長短，表示了肌肉離心收縮快速轉化為向心收縮的能力，而增強式訓練的深跳練習（depth jump）正可有效地訓練上述的轉化能力（蔡豐任、劉宇，1998）。

根據以上這些理論背景，進一步地應用於本研究的探討主題—增強式重量訓練，自然是相當具有實質的意義與實用性。以下肢的訓練為例，增強式重量訓練法是在適當負重的情況下（最大負荷的30-45%），先下蹲後隨即高速跳起，並蹬離地面。此負荷重量被認為可激發出最大的爆發力輸出值（Kaneko et al., 1983；Moritani et al., 1987），而下蹲隨即高速跳起的反向動作可獲得一個**最佳起始力**（劉宇，1998），蹬離地面的動作則因未產生減速制動的作用，**延長了力的作用時間**，有利於力量的輸出值維持在相對高的水準（Wilson et al., 1993）。

此外，帶有反向動作(counter-movement)的動作型態，因為彈性能儲存釋放與肌肉伸展反射的正向效應，更有利於功能性的向心動作，而且在不同負重的情況下也會有不同的生物力學參數上的差異，如圖2.5.6（摘自 Cronin and Sleivert, 2005）即顯示了此一特性。

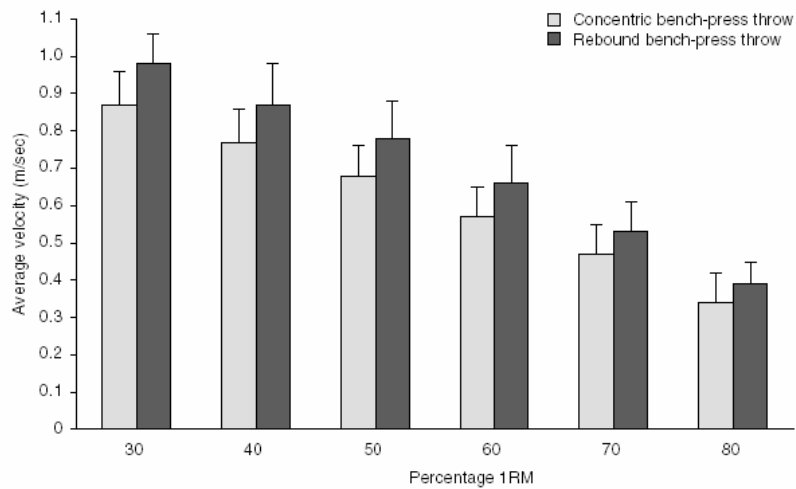


圖 2.5.6 不同負荷下有無反向動作的仰臥推擲對動作速度的影響

由以上的論述，我們可從理論上來說明帶有反向動作的負重增強式動作對肌力與爆發力發展的優越性。所以，為了有效提昇運動表現，這類的訓練方法是非常值得推廣與研究的。

第六節 肌力與肌電圖的關係之探討

一、前言

肌電圖(electromyography, EMG)是將單個或多個骨骼肌細胞活動時的生物電變化加以引導、放大、顯示和記錄所獲得的一維時間序列圖形。根據生物電活動引導方法的不同分為表面肌電圖(sEMG)和針電極肌電圖。由於其可反應肌肉的興奮程度，因此經常被用來評定神經-肌肉系統的功能狀態(王健, 2001)。而且透過肌電圖的數值，也可預測肌肉的張力、代謝、功率、疲勞狀態及運動單位的募集數量(Winter, 1990)。

肌電圖也是一種透過肌肉收縮所發出的電訊號之分析來探討肌肉功能的研究方法與工具，因此，肌電圖與肌肉功能的關係，一直是許多研究者所關心的課題。然而，肌電圖卻經常被許多臨床工作者和研究者的濫用與誤用，甚至實驗肌電圖學家都無法提供完整的使用規則、記錄儀器和記錄步驟的訊息與細節，以讓其他研究者可重製其研究。所以，釐清這些肌電圖使用上的問題並使一般研究者能夠妥善實施肌電圖研究，是非常重要的工作。

二、肌電圖原理簡介

EMG 是偵測與紀錄發自於肌肉的電活動訊號之工具。正常肌纖維在靜止狀態下，肌纖維膜內外存在 60~90 毫伏 (mV) 左右的電位差，膜內為負值，膜外為正值，此一電位差稱為靜止電位。當肌纖維興奮時，會造成膜電位極性的改變，膜內變為正值，而膜外變為負值，產生可傳導擴散的電位變化，此電位變化稱為動作電位 (action potential)。人體肌肉的動作電位幅度約為 100~120 mV，一般的紀錄

儀器是無法記錄的，必須將此肌肉興奮所發生的電位變化加以誘導、放大，才能記錄所需的圖形，此圖形即稱為肌電圖 (Electromyography, EMG)。

三、肌電圖與肌肉收縮型態和收縮速度的關係

雖然所有肌肉收縮型態皆有與 EMG 有關的研究報告提出，但大部分都是等長收縮方面的研究。早期的研究 (Bigland & Lippold, 1954) 指出：IEMG 與等長張力呈線性關係，後來有研究認為：等長收縮在高張力的情況下與 IEMG 呈非線性關係 (DeJong & Freund, 1967; Seyfert & Kunkel, 1974)。也有研究報告提出曲線性 (curvilinear) 的關係 (Komi & Buskirk, 1970; Verdenbregt & Rau, 1973; Zuniga, Truong & Simons, 1969)。

造成以上這些分歧的研究結果，其原因可能是不同受試族群、不同受試期間、電極黏貼位置的差異、皮膚和組織阻抗的改變、儀器設備和資料處理分析方法的不同所造成。Bigland & Lippold (1954) 的研究發現：在相同收縮速度與張力下，向心收縮的肌電值永遠大於離心收縮的肌電值。因此，若要從肌電值來預測肌肉張力的大小，必須先設定肌肉收縮的情況。

四、肌電圖與肌肉力量的相關研究

Lippold(1952)及 Edwards & Lippold(1956)的研究認為：IEMG 與肌肉力量呈線性關係，即使疲勞後亦同，而且線性的斜率比疲勞前大。IEMG 隨肌肉張力增大而增加的原因是由於額外動員運動單位所造成的，至於疲勞時 iEMG-力量的直線斜率增大的原因，是因疲勞使運動單位的收縮力量減少，為彌補肌肉收縮力量的不足，就需動員更多的運動單位參與活動。

Komi(1973)的研究設計：在肱橈肌所做的實驗中，受試者以每秒

4.5 弧度的速度做等速的屈肘動作，並將肌肉的收縮型態分為向心收縮與離心收縮，研究結果指出：不論是疲勞前或疲勞後，肱橈肌在動作中的 iEMG 都隨著肌肉力量的加大而增高，並存在線性的關係。

Lee(1998)的研究認為：肌肉力量與 iEMG 之間的關係受到個別差異的影響，其相關並不是很高，但若是將兩者均標準化為百分比的相對單位，則兩者的相關顯著提高。

Chaffin(1980)的研究發現：在 40%MVC (最大隨意收縮) 以下及 60%MVC 以上的強度時，肌力與肌電量呈線性關係，而在 40%~60%MVC 的強度下，肌力與肌電量往往不呈線性關係。

Lee (1996) 認為：肌肉在靜態收縮時，iEMG 與工作負荷的關係存在二次趨向，並認為以 iEMG 預測肌力時，指數迴歸與階乘迴歸顯著優於直線迴歸。

許多研究指出：等長收縮時，肌肉力量與均方根肌電值 (EMG_{rms}) 之間呈直線關係。在腳踏車測功計測定不同強度下股四頭肌的 EMG_{rms} 隨負荷的增大而相應增加 (deVries, 1968; Petrofsky et al., 1975; Petrofsky, 1979; Kulig et al., 1984)。

Petrofsky & Lind(1980)的研究：讓抓握肌與肱二頭肌處於三種不同的起始長度上收縮，結果發現：在短時間等長收縮中，肌肉力量與 EMG_{rms} 呈線性關係，但是當肘關節角度不同時，這種關係也隨之有異，肘關節角度大時比角度小時顯示出更大的非線性關係。

根據大多數的研究結果認為：肌肉力量與 EMG_{rms} 或 iEMG 往往呈現明顯的直線關係。但也有些研究也得到兩者呈曲線關係的結果，或在其中某些段落有線性關係。對於以上這些研究所獲得的不同研究結果，可能是因以下原因的影響：1.儀器設備不同。2.兩電極片間的距離不同。3.實驗設計不同。4.肌肉運動單位的類型與同步活動的程度不同。5.受試者的個別差異。

五、肌電圖與肌肉力量的機電延遲現象

當同步擷取肌肉收縮的力量與肌電訊號時，會發現兩者的圖形很相似，但力量訊號確有後產生與後結束的現象，稱為機電延遲 (Electromechanical Delay, EMD)。如圖一及圖二所示。Cavanagh & Komi(1979)的研究指出：EMD 值在 26~100 毫秒之間。

造成機電延遲現象的主要原因有兩個：1.橫橋 (Cross Bridge) 與肌動蛋白的結合需要時間才能產生力量。2.肌肉模型的串聯元件中，肌腱對力量的緩衝效果。其中又以後者影響較大 (石慶賀，1991)。

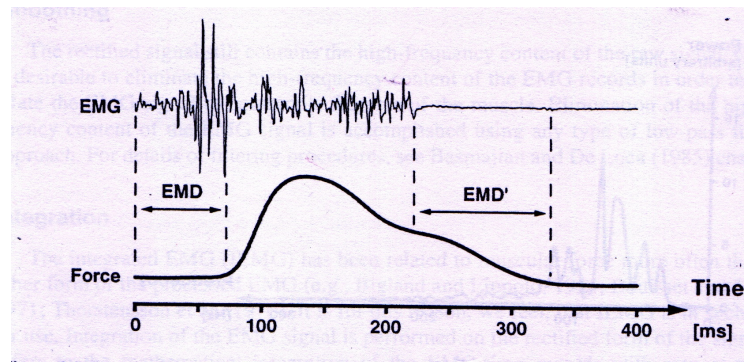


圖 2.6.1 貓在電動跑步機上以 1.2 m/s 速度走路時比目魚肌的力量與 EMG 訊號。其中， $EMD = 72 \text{ ms}$ ， $EMD' = 109 \text{ ms}$ 。
(摘自 Nigg & Herzog, 1994, p316)

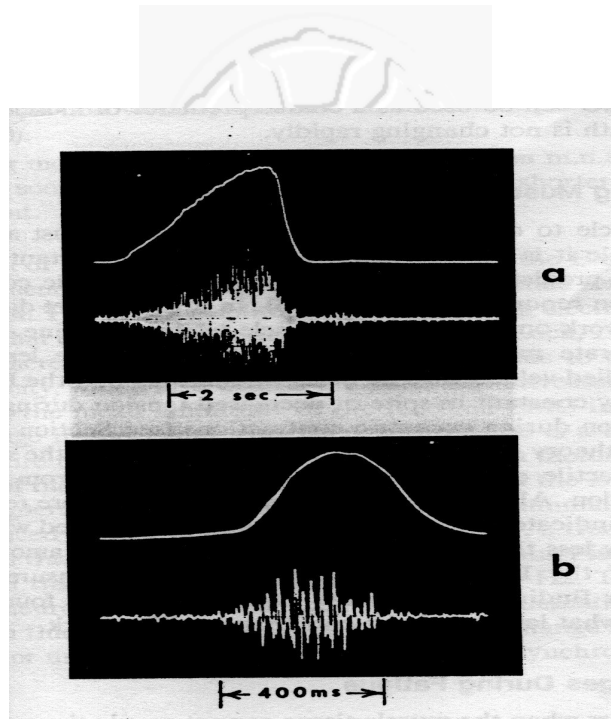


圖 2.6.2 肱二頭肌等長收縮張力與 EMG 的關係
(摘自 Winter, 1990, p.208)

註：上圖之 a.漸增張力後快速放鬆。b.400 ms 短時間收縮。兩者 EMD 之起始張力、達最大張力的時間、EMG 終止後的張力下落曲線不同。

六、肌電圖訊號的標準化

肌電圖訊號為何需要標準化？其原因主要在於：1.張貼電極片位置的差異。2.皮下脂肪厚度的差異。就是因為每個人或每塊肌肉張貼電極片的位置不盡相同，而且每個人或每個肌肉部位的皮下厚度也不一樣，所以無法對不同人的肌電訊號與肌肉力量的大小直接進行比較，也無法對同一個人的不同肌肉的肌電訊號直接相互比較，因此，在肌電資料的處理過程中必須經過標準化。

EMG 訊號標準化的方法是：在張貼電極片後，讓受試者進行最大肌肉收縮力量（maximum voluntary contraction, MVC）下的肌電訊號測試，將這個最大力量下的肌電訊號測出值定義為 100%，然後，將實驗過程中在同一部位所測得的肌電量與此值比較，既可獲得實驗過

程所測得的肌電訊號之強弱，同時也可推估肌肉力量的大小。

具體的 EMG 訊號標準化的方法主要有：

- (一) MVC 法：收集 MVC 的方法有以下兩種方式：
1. 收集最大隨意收縮 (maximum voluntary contraction, 簡稱 MVC) 之值持續 2~3 秒，取這一段區間的平均值。
 2. 直接將實驗過程中所測試到的最大值當作是最大隨意收縮。使用 MVC 法的缺點是在實驗過程中所獲得的數值有可能超過 100% 的 MVC，甚至達到 MVC 的 140%。
- (二) SJ 法：在貼好電極片後，先讓受試者進行最大用力的屈膝蹲跳 (squat jump, 簡稱 SJ) 測試，再將 SJ 所測得的肌電訊號定義為 100%。
- (三) 最大 EMG 數值比較法：將實驗過程中所收集到的最大肌電訊號與最大肌肉力量的數值當作是 100%，再將所收集到的實驗數值與此值做比較。

七、肌電圖在運動訓練上的應用

肌電圖在運動上的運用，主要在評估運動員神經肌肉系統的機能狀態 (林正常, 1995)。在應用的類別上有：

- (一) 運動員訓練程度的評估：例如：
1. 動作協調性的變化：訓練良好的運動員，作用肌與拮抗肌肌電圖同時存在的時間會逐漸縮短，甚至會在作用肌肌電圖出現的同時，拮抗肌肌電圖完全消失。
 2. 肌肉最大收縮時的變化：隨著訓練效果的提升，最大用力收縮的積分肌電圖值也會逐漸提升。
 3. 肌肉定量負荷時的變化：在定量負荷的條件下，積分肌電圖會隨著訓練效果的提升而下降。
 4. 評估力量訓練的效果：隨著肌力訓練效果的提升 (16 週)，訓練初期 IEMG 與肌力同時增長，訓練後期的 IEMG 卻保

持同一水準，不再提高。

5. 運動單位動員的能力：誘發性肌電圖可評估運動單位動員的潛在能力。自發性收縮的 IEMG 則可評估運動單位實際參與活動的數量。

(二) 神經肌肉疲勞現象之評估：

表現於運動員神經肌肉的疲勞現象是肌電頻率的下降。測試方法有（高強、尹吟青，1985）：

1. 誘發性低頻疲勞：以 20 Hz 刺激所引發的疲勞，推測是因興奮收縮偶合機能下降所引起。
2. 誘發性高頻疲勞：以 80 Hz 左右的刺激所引發的疲勞，推測是因神經肌肉接點（運動終板）的傳導障礙所引起。

李良標（1990）曾對 92 名射箭選手進行肌電圖的診斷分析，提出以平均肌電量的曲線波動大小、平均值之標準差及肌電活動的同步性三項指標，做為射箭技術的肌電圖診斷指標，以說明射箭技術動作的穩定性、用力的一致性及動作技術的協調性。（引自石慶賀，1991）

八、結語

肌力的產生是由於兩種生理機制的綜合作用之結果：一為肌纖維上 α 運動神經元的活化，一為運動單位活化的數量。這可經由儀器設備，將神經傳導與肌細胞收縮機制的電反應加以記錄，並以記錄所得之連續波形訊號的頻率（時間特性）與振幅（空間特性），經由各種特殊屬性的分析方法予以定性或定量分析，並定義其神經肌肉的特性，此為記錄、分析與運用肌電圖的意義。透過肌電圖的研究，可進一步瞭解神經肌肉系統的功能與作用機轉，是探討動作科學的重要手段。

第七節 肌力的神經支配特性

優異的技術必須奠基於雄厚的體能基礎上，而基本運動能力中的肌力(Strength)與爆發力(Power)則具有舉足輕重的地位，因此肌力與爆發力的優劣，在許多運動項目中扮演著非常重要的角色(Semmler & Enoka, 2002)。

肌力訓練不僅需考慮肌肉收縮機制與力學效率，也需瞭解神經因素所造成的影響。神經系統在肌肉的內部協調方面以三種方式改變力量的大小(林政東, 2004)：

- (一) 運動單位的徵召：運動單位的加入或退出使力量大小產生變化。
- (二) 運動單位的激發頻率：激活運動單位的頻率也會影響力量的大小。
- (三) 運動單位的同步性 (synchronization)：同步激活運動單位提升了力量。

一、運動單位的徵召 (recruitment)

運動單位是指一條運動神經和它所能控制的肌纖維。運動單位徵召的順序是從小的、閾值低的慢縮肌運動單位開始徵召，然後再徵召大的、高閾值的快縮肌運動單位，這是所謂的順序原則 (size principle)。當面對較輕負荷的運動時，產生較小的肌力，此時神經系統徵召慢縮肌運動單位，它們由低閾值、低激發頻率和低傳導速度的運動單位所組成。隨著力量的增加，神經系統傾向於徵召快縮肌運動單位，它們由高閾值、高激發頻率和高傳導速度的運動單位所組成。如圖 2.7.1 所示：收縮力量的大小由運動單位的徵召類型所決定，力量較小時，只徵召氧化慢縮肌，隨著力量的增加，逐漸徵召氧化快縮

肌，當力量達到 90% 以上的最大肌力，徵召最高閾值的無氧快縮肌 (Hannerz, 1974)。因此，從運動單位徵召的觀點出發，當力量愈大時，需徵召愈多的快縮肌運動單位。

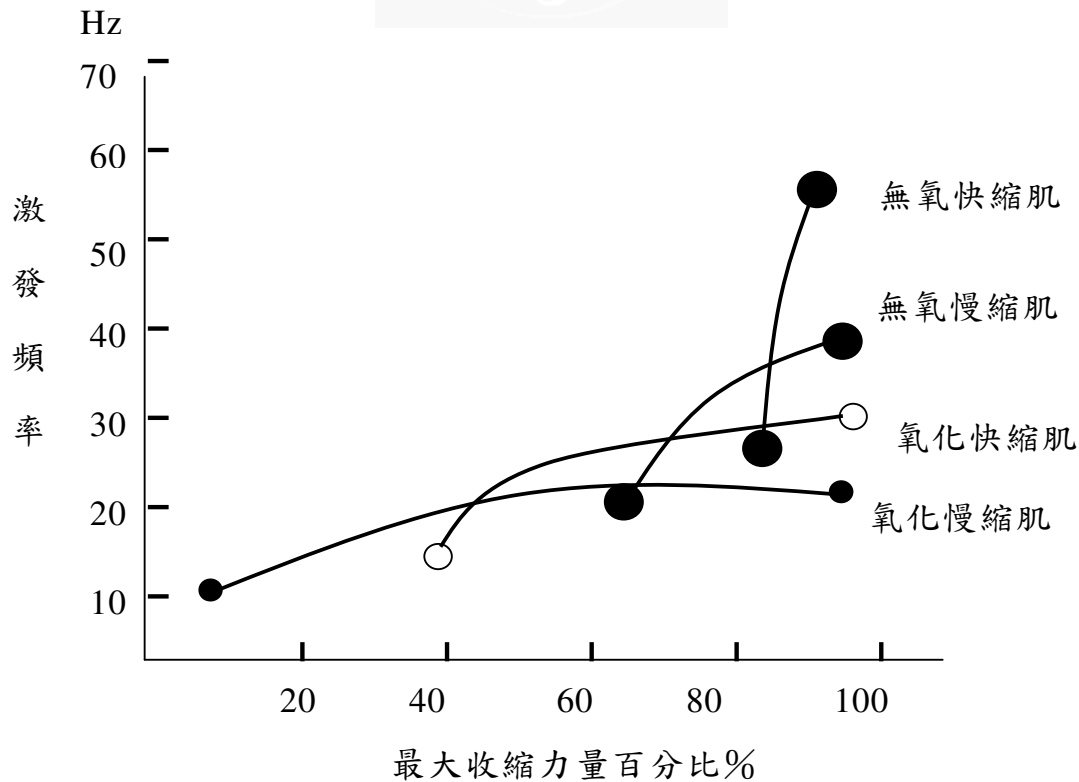


圖 2.7.1 力量與運動單位的徵召、激發頻率之關係
(Hannerz, 1974。引自林政東, 2004)

二、運動單位的激發頻率 (firing frequency)

人體平常作息時，肌肉張力的神經激發頻率維持在 6~8Hz 以下，並不會因不同的徵召閾值或肌群而有所差異，所以運動神經的激發頻率不是始於 0Hz，此範圍的激發頻率之改變並不會影響力量的大小 (Freund, 1983)。當激發頻率超過 8Hz 之後，肌力隨激發頻率的增加而增加，而激發頻率愈小，肌力愈小。中負荷時，激發頻率約為 30~40Hz，當激發頻率達 50Hz 時，肌肉的自主收縮動作可以產生最大的力量 (Grimby 等人, 1981)。當激發頻率超過 50Hz 時，肌力已達高

原期，肌力難以再增加，此時頻率的增加有助於肌肉的收縮速度，產生瞬發動作，而在最高速的彈震式動作中，所測量的激發頻率可達80Hz~120Hz (Desmedt & Godaux, 1977)(引自林政東, 2004)。

三、運動單位的同步性 (synchronization)

不同的運動單位同時參與收縮，是為同步化作用。在一般情況下，運動單位以非同步化方式產生平順、正確的動作。但是，優秀的爆發力型運動員，在最大自主用力時，可以產生同步化的效果。Milner—Brown 等人 (1975) 觀察到同步化和力量成正相關，Zatsiorsky (1992) 則認為同步化作用可增加肌肉力量。

第八節 小結

爆發力是肌力與動作速度的函數，而肌力與爆發力又是多數競技運動表現的關鍵性體能要素，諸多研究顯示：重量訓練（weight training, WT）可有效增進最大肌力，但不足以改變動態的運動表現；而增強式訓練（plyometric training, PT）則可獲得動作速度與爆發力的有效提昇，但對最大肌力的發展有其限制。因此，本研究擬整合重量訓練與增強式訓練的優點，發展一種在適當負重的情況下進行增強式訓練—即增強式重量訓練（plyometric weight training, PWT）或稱負重增強式訓練（loaded plyometric training, LPT）的訓練方法，並深入探討其表現在神經肌肉工作特點上的特徵與差異。

在本研究中以帶有反向動作的負重下蹲反彈跳（loaded counter-movement jump, LCMJ）為負重增強式訓練的實驗動作，並以無反向動作的負重屈膝蹲跳（loaded squat jump, LSJ）為對照，以驗證其在不同負荷與不同動作下對爆發力、神經肌肉的徵召活化程度、徵召頻率...等神經力學參數的影響。

從本章的探討中可知，負重增強式訓練具有紮實的科學理論基礎，它融合了傳統的重量訓練可增進肌力及增強式訓練可增進動作速度的雙重優點，預期藉由本研究的實施，除可為有效提昇肌力與爆發力訓練提供一個新的思考方向，並可為現代的科學化運動訓練提供一個嶄新的訓練理論與方法，讓訓練理論與訓練實務密切地結合，協助優秀運動員創造更優異的成績，有效提昇運動訓練的成效，進而提昇我國競技運動的成績。