

## 第二章 文獻探討

### 第一節 肌力、爆發力、肌耐力的研究

肌肉的能力包括肌力、肌肉爆發力與肌耐力。

肌力即肌肉收縮所產生的力量，即肌肉克服身體本身或外部抵抗的一種力量。肌力亦是指肌肉組織在收縮或被動伸展過程產生的力量大小，通常由肌力測量器（握力計、背力計、槓鈴、等速肌力測量器等）的測量結果來代表。在生理學所稱的肌肉張力，於運動表現上，稱為肌力。在運動訓練上，肌力相當於 1 R M 的肌肉力量。R M 指最大反覆（maximal repetition），如推舉槓鈴，意指只能推舉一次的重量，能推舉兩次或三次的重量，即不算肌力了。肌力測量方式除推舉槓鈴，等張方式以公斤、磅為單位的評量外，習慣以握力計、背肌力計，以等長性方式來評量。等長性評量雖然實施容易，但似乎與日常的實際運動方式的相關性較低。等速肌力測量儀器的肌力測量，除速度可控制一定外，它是在活動之中評量肌肉力量，比較接近運動中的力量表現。

肌肉爆發力（power）又稱動力或瞬發力。是指肌肉產生力量過程中，肌肉產生力量與肢體移動速度的乘積，易言之，爆發力即力量 $\times$ 速度或力量 $\times$ （距離 $\div$ 時間）；其計算單位為馬力、瓦特、公斤 $\times$ 公尺 $\div$ 秒、磅 $\times$ 呎 $\div$ 秒、卡 $\div$ 秒等。爆發力為體能的基本要素之一，對短時間高強度的運動最為重要。通常以垂直跳、立定跳遠等移動身體的測驗結果來代表。例如：一位體重 70 公斤的無手垂直跳之能力為 70 公分，跳躍開始至終了之時間為 0.3 秒。其爆發力計算方式如下： $70 \times 0.7 \div 0.3 = 163$  公斤 $\times$ 公尺 $\div$ 秒

因為，1 馬力 = 75 公斤 $\times$ 公尺 $\div$ 秒。所以，該選手之爆發力相當於  $163 \div 75 = 2.1$  馬力。

肌耐力則是指肌肉在產生力量時，所能持續的時間；通常以固定時間後的肌力下降狀況來代表。肌耐力也可依據肌肉運動的反覆或持續的次數、距離和時間來計算工作量。易言之，肌耐力係指一定時間的肌肉工作量或未達到疲勞以前的最大工作量《教育部體育大辭典，民 73》。肌耐力分靜性（等長）的肌耐力與動性的肌耐力。靜性肌耐力，如拔河、屈臂懸垂等；動性肌耐力，如引體向上、伏地挺身、仰臥起坐等。

王順正（民 88）在肌力訓練的好處的一文中指出：肌肉的能力，完全依據「用進廢退」的原則改變。也就是說，愈常使用你的肌肉，肌肉的能力就會愈強；反之，肌肉的能力就會衰退。利用高強度（2 至 4RM）的肌力訓練方式，可以有效提昇肌力；中等強度（8 至 10RM）的肌力訓練，可以有效提昇肌肉爆發力；利用低強度（30RM）的肌力訓練，可以有效提昇肌耐力。在適當的肌力訓練計畫（肌力運動處方）條件下，增進肌肉的能力並不困難。

陳定雄在<《足球運動訓練處方》的第三章肌力訓練處方>的一文中指出：影響肌力之因素有以下八種：1、肌纖維之大小。2、肌纖維之數量。3、肌伸展之長短。4、肌伸展之長短。5、關節可動性。6、協調能力。7、肌耐力。8、氧與能量供應之狀況。

Lamb, D. R. ,Williams M.H.（1991）認為 5 秒至 1 分或 5 秒至 2 分鐘內的活動皆屬於無氧耐力（Anaerobic endurance）；時間愈短愈接近肌力或爆發力，時間越長越接近耐力。並指出任何 5 至 10 秒內完成之運動皆為爆發性的運動。

爆發力區分為下列三種：

一、高爆發力（high power）：即 30 秒內的運動。

二、中爆發力 (middle power)：即 30 秒至 5 分間的運動。

三、低爆發力 (lower power)：即 5 分至 15 分間的運動。

根據此種區分方式，肌力與速度屬於高爆發力，肌耐力屬於中爆發力、耐力屬於低爆發力之範圍。也就是說，大多數的運動皆需要爆發力。

陳定雄 (民 82) 在健康體適能的第四章肌耐力的一文中指出：影響肌耐力的因素可以從三方面探討：

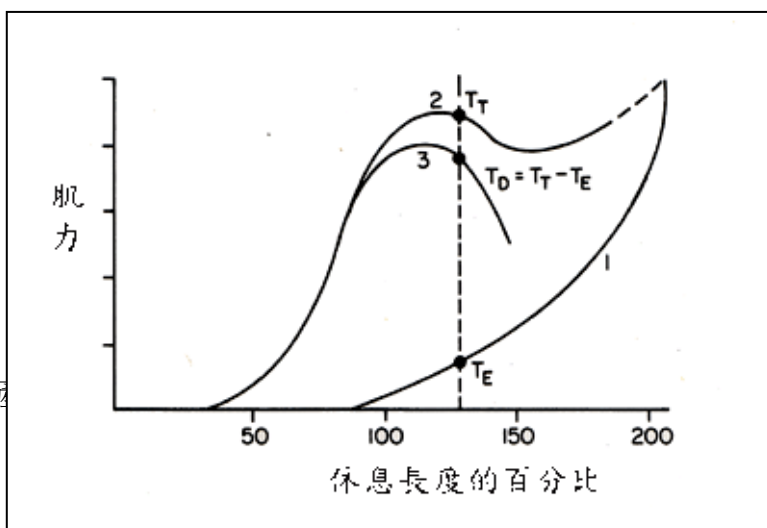
一、肌力影響肌耐力：中西光雄等人發現靜態肌耐力與肌力間之相關係數為 0.584，動態肌耐力與肌力間之相關係數為 0.653，皆達.01 顯著水準 (松井秀治，1978)。是故，肌力訓練乃為肌耐力訓練方法之一。

二、耐力影響肌耐力：豬飼道兼與田口貞善之實驗結果顯示，肌耐力之反覆次數與攝氧量間之相關係數為 0.766，達.001 顯著水準 (松井秀治，1978)。是故，耐力訓練乃為肌耐力訓練方法之一。

三、心理測驗影響肌耐力：日常生活之活動強度大多在最大能力 (心理極限) 之百分之三十以下，屬於低運動強度之範圍。體能訓練之平均強度大多在百分之七十至百分之九十之間，屬於高運動強度。介乎於百分之三十與百分之七十之間的強度，稱之為中運動強度。超過百分之九十之運動訓練，即需意志力去克服 (松井秀治，1978)。如果沒有特殊的訓練方法，突破心理極限似乎遙不可及。

王順正 (民 89) 在爆發力 (power) 的一文中指出：肌肉的初期長度 (即刺激時之

長度)，會顯著影響到肌肉收縮時產生的力量大小（圖 2-1-1）。一般來說，肌肉在靜止長度的 1.2 至 1.3 倍時，可以產生最大的肌肉張力；而且，當肌肉的長度多於肌肉本身的靜止長度時（肌肉收縮時，肌肉本身已先被拉長），肌肉的被動彈性張力（passive elastic tension）因素即會啓動，促成肌肉收縮時產生較大的力量。（圖 2-1-1）中的 2 號曲線，即是肌肉的在不同休息長度百分比時。所能產生的總收縮力量曲線。1 號曲線，則是被動彈性張力的變化曲線。隨著肌肉的被拉長的程度提高，肌肉所產生的被動彈性張力也會持續的增加。



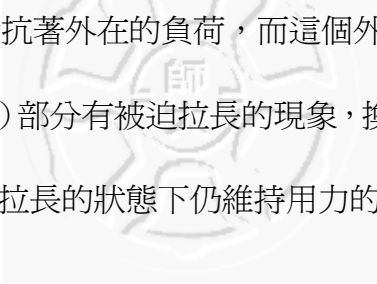
（圖 2-1-1）肌肉長度與肌肉產

## 第二節 等長、等張、等速肌肉收縮與評估方式的研究

等長收縮即肌肉的靜性收縮（static isometric contraction），是指肌肉發生張力時，肌肉之長度維持不變的收縮。也就是說肌肉產生與外力相同的力量來抵抗外力，但肌肉的長度不變。等長收縮，如用手推牆壁，則是用力時，肌肉長度與關節角度不發生改變的收縮。肌肉沒有產生動作，亦即肌肉雖然消耗能量，產生張力，但肌肉並沒有完成任何的功。等長收縮的功能是提供關節的穩定性和維持姿勢的用途。

等張收縮（isotonics contraction）是一種靜態的肌肉收縮，因為肌肉發生張力時產生動作。所謂等張，是指運動時關節運動張力不變的收縮運動，是肌肉克服一定的重量或阻力進行的收縮，收縮時肌肉長度雖改變，產生的張力卻相等。如手持 5kg 啞鈴，反覆臂屈伸，動作過程中，或一次又一次的反覆動作中，肌肉都以同樣的張力在運動。它可分為向心（concentric contraction）等張收縮、與離心（eccentric contraction）等張收縮兩種。

- 一、向心等張肌肉收縮：就是在肌肉產生張力期間，肌肉長度會縮短，也就是說肌肉產生的張力會大於外力，肌肉會持續縮短，牽動骨骼，產生動作。所以，向心收縮的功能為加速肢體的活動，例如：在過頭的投擲動作，手臂的加速階段內旋肌群是做向心收縮的。肌肉向心收縮時，隨縮短的速度之增加，肌肉逐漸變小，速度變大時，肌力為零。
- 二、離心等張收縮：指肌肉在外力作用而伸展的情況下產生張力，此種收縮型式，剛好與向心收縮相反，肌肉在被迫伸展時所做的收縮，也就是說肌肉在產生張



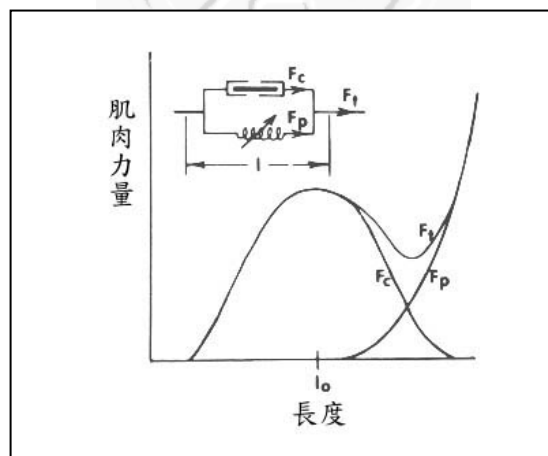
力（收縮）時，仍對抗著外在的負荷，而這個外在的負荷在肌肉用力的同時，也造成了肌肉（肌腱）部分有被迫拉長的現象，換句話說：離心收縮是肌肉（肌腱）在被外來的負荷拉長的狀態下仍維持用力的一種收縮的方式。離心收縮的主要功能為：

- (一)使身體做負功，如：下肢的下樓梯，蹲下、坐下、或上肢將舉起的重物放下。
- (二)肢體的減速，如：下肢落地或上肢的投擲動作的跟隨動作。
- (三)吸收震盪即被拉扯時仍維持平衡，如：溜狗或一些繩索遊戲。

等速收縮（isokinetics）指肌肉產生張力時，在整個動作過程中，速度不變的收縮。此種肌肉收縮型式當然也屬動態性的、也分為向心收縮與離心收縮。人體的等速肌肉收縮型式，必須借助等速機械才能做出。此型收縮的另一特色，是機械的特殊結構，使機械產生的阻力永遠等於肌肉產生的力量。在復健上，用作肌肉復健手段，受傷的肌肉不會像其他型收縮般地容易再受傷害。等速的離心收縮通常在等速肌力測量儀器上才能進行。依事先設定好速度，運動者的用力是在抵抗儀器的拉力。此一不算自然條件下用力的肌肉收縮型式，在等速肌力測量儀器裝設離心設計後，才開始受研究人員重視與應用。等速的離心收縮，人一離開儀器，就沒有辦法執行。

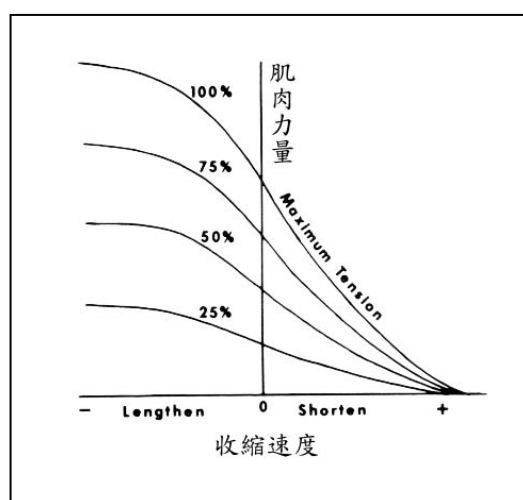
Hamill（1955）在 *Biomechanical basis of human movement* 書中說明肌肉長度—張力關係，肌肉在最佳長度（optimum length）下可以產生最大力量，在過短或過長時，力量會跟著下降，如（圖 2-2-1）所示。但若是肌肉被拉到一定長度時，由於肌腱或肌膜

會開始受到拉扯，因此會產生彈性張力來幫助肌肉抵抗外力，此時外界所量測到的肌力會大幅增加，此說明為什麼肌肉在離心收縮時可產生的力量比向心收縮來的大。



(圖 2-2-1) 肌肉長度—張力關係 (Hamill, 1955)

(圖 2-2-2) 說明肌肉之收縮力量與收縮速度間的關係，當收縮速度增加時，收縮力量會隨之變小，若速度等於 0 (即等速收縮)，則能產生最大力量。為什麼速度變快則肌肉力量會降低呢？這是因為肌凝蛋白上有許多小頭會與肌動蛋白上的分子相接，形成連接橋 (cross-bridge)，每一連接橋所產生的力量是一定的，同一時間內有越多的連接橋形成，則力量越大，反之則變小。當肌肉收縮的速度增加時，能夠在同一個時間產生的連接橋數目就會減少，因此力量也會隨之下降。



(圖 2-2-2) 肌肉收縮力量與收縮速度之關係 (Hamill, 1955)

葉碧桂（民 91）在離心運動的一文中指出：離心肌肉對一般人或運動員的傷害預防上扮演了一個很重要的一個角色。尤其是運動員，因為有許多的傷害都是發生在離心的階段，所以，若有較佳的離心肌肉力即可減少其發生傷害的機率。如腿後肌的肌肉拉傷，大部分都發生在全速跑或跳躍的活動，此肌肉拉傷是突然且嚴重的傷害，通常發生在落地的動作，而且會非常的痛苦。換句話說，腿後肌拉傷通常是在擺動末期和站立初期，此時，肌肉以離心收縮來移動下肢。所以若腿後肌有強大離心肌肉力不僅可預防運動傷害，更可提升其運動的表現。

等張肌力訓練時，可以採每週 3~4 次、每次訓練三個回合、每回合 4~8 次反覆收縮。肌耐力訓練時，可以採用每週訓練 3~4 次、每次 3 個回合、每回合 15 次反覆收縮。

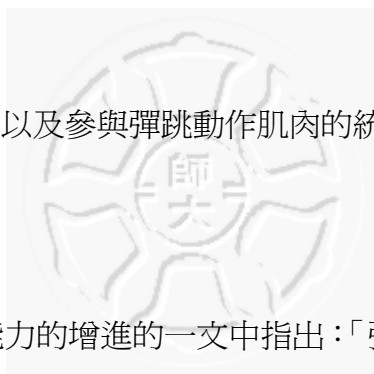
等速訓練是指在相同速度下從事最大負荷收縮、且肌肉長度改變的訓練方式。此種訓練往往需要昂貴的設備，如 Cybex 和 Mini-gym 等，等速肌力訓練時，宜以每秒 24~180° 的速度實施 2~5 次最大收縮、每次 3 回合；等速肌耐力訓練時，宜以每秒 180° 以上的速度實施，一次收縮到疲勞為止，每次實施一個回合。

### 第三節 相關評估下肢肌力及爆發力的研究

「彈跳爆發力」是指人體在腿部肌肉的作用下，單位時間內的移動距離。即  $\text{Power} = \text{FD}/\text{T}$ 。也就是說，「彈跳爆發力」等於腿部對地面的作用力（F）（地面對人體的反作用力）乘以人體移動的速度（ $\text{V}=\text{D}/\text{T}$ ）。因此，「彈跳爆發力」雖然與人體對地面的作用力成正比，卻也同時受到人體彈跳移動速度的正比影響。由此可見，是否具備優異的腿



部肌肉力量、肌肉收縮速度、以及參與彈跳動作肌肉的統合協調作用等，決定了人體的「彈跳能力」優劣。



王順正（民 89）在彈跳能力的增進的一文中指出：「彈跳能力」與「爆發力」或「瞬發力」的能力，其實是相類似的運動能力。「爆發力」是基本運動能力（速度、敏捷、協調、爆發、平衡、反應）的要素之一。通常，從一秒以內的垂直跳、立定跳遠測驗，幾秒鐘的 30 至 100 公尺短距離衝刺測驗，到 30 秒的 Wingate 無氧動力測驗，都可以代表一個人的「爆發力」。「彈跳能力」則代表人體單一次或多次跳躍的能力好壞。對於運動員來說，如何訓練出優異的「爆發力」？一直是相當重要的訓練課題。

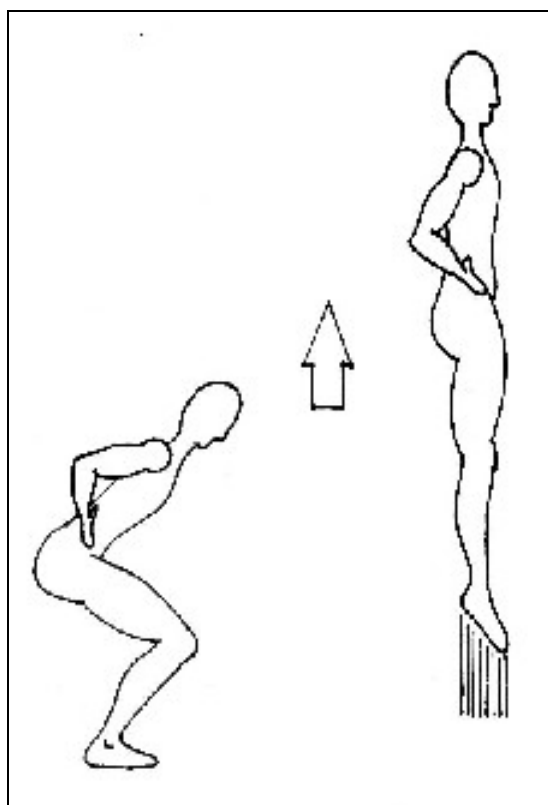
周立偉（民 88）在彈性能量與肌電控制對下肢比目魚肌伸展縮短週期之影響一文中指出：科學家為了分析下肢肌肉的彈性能量與肌電控制，在伸展縮短週期中之影響，因此將垂直跳分成以下幾種：

1. 蹲姿起跳（Squatting jump）：如滑雪的高台跳雪，是由固定深蹲動作做出跳躍動作跳離地面。
2. 蹲踞跳（Counter-movement jump）：如排球攔網動作，籃球的籃下搶籃板球等。
3. 由不同高度落下後起跳（Drop jump）：如跳高、跳遠、撐竿跳的起跳，跨過欄後的中間跑第一步等。

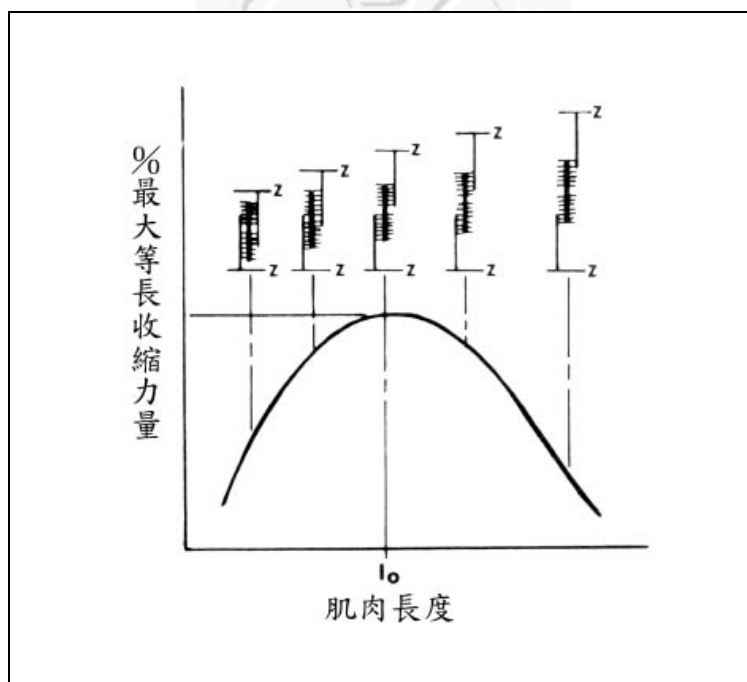
茲分述如下：

### 一、蹲姿起跳（Squatting jump）：

如（圖 2-3-1 蹲姿起跳），先採取固定蹲姿為起始動作，再用力往上跳，其中蹲下的深度會影響起跳高度，這與肌肉在不同長度下其收縮力會隨之改變的情形有關，能產生最大收縮力量的長度稱之為最佳長度（optimum length）如（圖 2-3-2）肌肉長度與最大等長收縮力量關係。



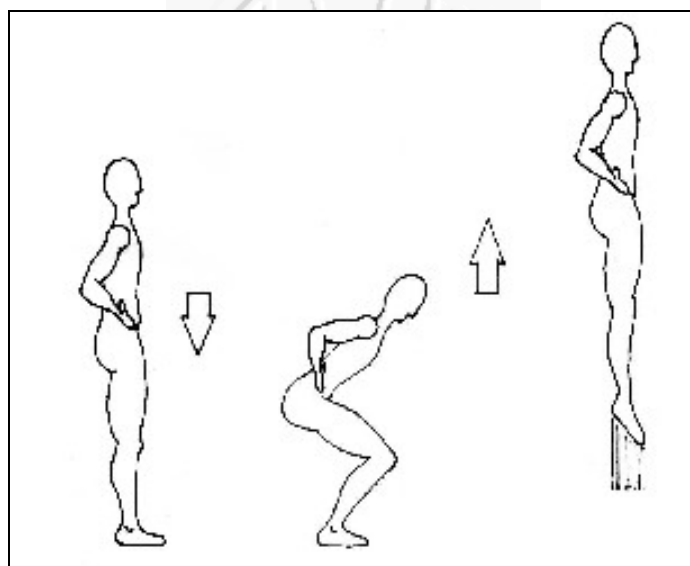
（圖 2-3-1）蹲姿起跳



(圖 2-3-2) 肌肉長度與最大等長收縮力量關係 (Hamill Joseph, 1955)

## 二、蹲踞跳 (Counter-movement jump):

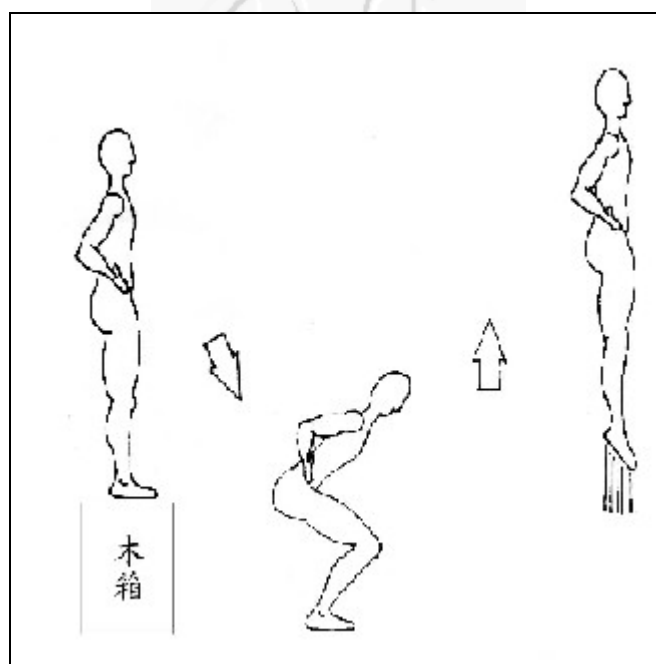
如 (圖 2-3-3 蹲踞跳), 首先要直立站好, 然後順勢蹲下, 蹲到一定程度後, 立即用力往上跳。此種跳躍方式牽涉到肌肉伸展縮短週期 (stretch-shortening cycle) 後的能量釋放, 換句話說, 快速伸展一肌肉再令其收縮會得到一個更大的力量。



(圖 2-3-3) 蹲踞跳

### 三、由不同高度落下後起跳 (**Drop jump**):

如(圖 2-3-4 由不同高度落下後起跳), 首先站在一定的高度之台階上, 然後自然落下到地面, 再奮力向上跳。此種跳躍方式也會涉到肌肉伸展縮短週期後的能量釋放原理, 其中肌肉受到伸展的力量與台階高度及體重有關。以上三種跳躍中, **drop jump** 產生較大的著地反作用力, 在著地時肌肉瞬間的離心收縮中, 出現較大的放電量, 也就是出現著地前肌肉的預備緊張。



(圖 2-3-4) 由不同高度落下後起跳

一般測量垂直跳之高度時，皆以原地穩定站立，單或雙手上舉所觸摸到的最高點為基準點，跳起後所觸摸到的最高點與基準點的距離，為垂直跳高度，並以此高度值來評估受測者的爆發力。

王順正(民 86)在研究和分析垂直跳的地面反作用力的一文中指出：由地面總衡量值與重心上昇高度的物理意義來看，似乎以地面總衡量值所推估的重心上昇高度，更能代表受測者的爆發力能力。但原有測量垂直跳高度的方法，經常會高估受試者的跳躍能力或爆發能力，因腳尖離地瞬間，身體的重心高度遠高出穩定站立時約二十公分，因此在實施或測量垂直跳能力或爆發力能力時，研究者亦應深入的探討此種現象。

爆發力的訓練研究目前以 *plyometric* (增強式或動力式) 訓練最為有效，*plyometric* 訓練是一種彈跳性的肌力訓練法，因為它是一種利用身體跳躍向下再往上跳的方式進行的肌力訓練。

Komi (1992)；陳俊忠(民 80)指出：增強式訓練是指主要作用肌群透過預先伸展的收縮方式，隨後立即產生快速而強力的動作表現，包含了收縮前的伸展，或以反向動作來刺激牽張縮短循環 (stretch shortening cycle)。因此，任何運動的動作中，先利用主要作用肌群離心收縮，然後再瞬發性的向心收縮動作，即可稱為增強式訓練。

林政東 (民 89) 指出：肌肉彈性能的大小也會因為負荷的不同而有所差異，若是當肌肉由離心階段轉換至向心階段的過渡時期持續之時間過長，或是關節動作過大時，彈性會轉變成熟能，無法有效地增強向心收縮的力量。

盧英治 (民 89) 指出：在實施增強式訓練時，因為不管肌肉多麼強壯，身體仍只能於神經系統所控制的速度範圍內動作，動作的速度會受到神經肌肉協調的影響。為了能夠發揮最大的離心和向心收縮機制，首先需要強而有力的肌肉和合適的快慢肌纖維組合；其次，因為肌肉、肌腱、韌帶具有彈性，可以在離心收縮階段儲存彈性能，並在向心收縮階段增加力量速度，藉以增加神經肌肉的表現；最後增強式訓練會造成神經肌肉支配系統的改變，使之更有效控制活動的肌肉，達到神經肌肉協調性。

#### 第四節 跳躍高度與下肢肌力爆發力的關係研究

林正常 (民 88) 等人研究下蹲跳與蹲踞跳等速肌力與垂直跳躍指數相關研究時發現：下蹲跳能較快達到最大力量，使垂直跳躍高度較高；等速向心肌力不適用於作為評估垂直立定跳表現的工具。近年來較重視的增強式訓練即是強調利用這樣的動作模式來從事訓練的工作。

蔡豐任(民 87)已連續八週的深跳訓練，結合動作速度定量控制理論，以控速增量及控量增速兩種控制方法來發展爆發力與跳躍能力，研究發現兩種方法對提高爆發力與跳躍能力並無明顯差異，在最大蹬地力量上並無增加，但在動作速度上確有顯著提升，由此可見，爆發力的增加是因動作速度的增加而非力量的加大。因此該訓練方法若能結合提升力量與爆發力的重量訓練，對於爆發力及其組成要素有一全面性的發展。

學者(Hubley & Well, 1983; Young, 1994; 賴永成、連振杰, 民 86)估計膝關節、髖關節、和踝關節的伸展對於跳躍表現的貢獻度分別為 49%、28% 和 23%，有無擺臂則有將近 15% 的差距。並認為收縮循環要素在跳躍動作中，可當成一種提供個人增進垂直跳躍能力訓練方法的診斷工具。

李書維(民 89)以師範大學體育系男生為受試者，利用高達攝影機及測力板為工具。分析和比較三種不同高度著地反彈跳與垂直跳動作的運動學和動力學變化的情形時發現：

1. 下肢各關節著地之角位移有隨著高度增加而增加的趨向。
2. 起跳的高度、起跳時腳尖離地之角位移、地面接觸的時間及起跳到達最高點的時間沒有顯著差異。
3. 研究中以三種不同的高度落地後之地面垂直反作用力發現，隨著高度的增加其垂直地面反作用力也隨著增加。

因此建議在訓練時若採用著地反彈跳的動作來訓練垂直跳的能力，必需要考慮到跳臺的高度，以避免可能造成的傷害。建議若要以不同高度著地反彈跳(Drop Jump)的

方式訓練，最好將高度限制在 20-40 公分之間。

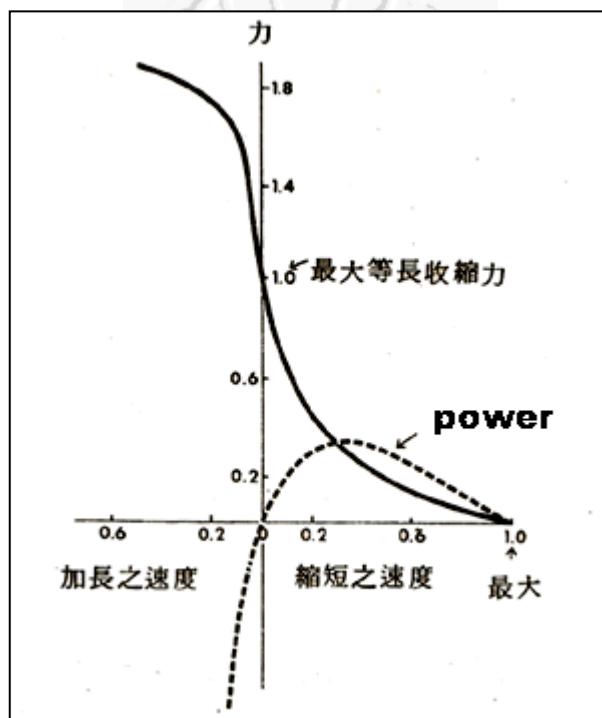
王順正（民 86）指出垂直跳的動力來源，是腿部瞬發力，跳者利用身體下蹲後的快速伸展，配合兩手的向上擺動，產生地面反作用將身體帶向上，是典型的動量與衝量問題。向上動力是來自起跳者對地面垂直方向的反作用力，由衝量轉成動量將身體帶動向上。由學者王金成與蘇榮基(民 79) 的研究中，可由起跳時的地面衝量，利用動力傳導的公式，準確的推估重心上昇高度。

## 第五節 肌肉收縮最佳的速度與爆發力的關係

林貴福在運動生理學講授運動與骨骼肌中指出：爲了產生最大的爆發力，速度與力的配合相當重要，不是拼命的用力，或迅速的用力，就可以產生最大的爆發力。速度快，反覆間隔短，肌肉作業越無氧，不但無氧代謝產物堆積越多，也越沒有寬裕時間，可以清除代謝產物。找尋最佳反覆肌肉作業間隔或節奏，是職業工作場合或運動場表現中，非常重要的考量因素。

王順正（民 89）在爆發力（Power）一文中指出：假設肌肉的最大等長肌力爲 1 時，則肌肉收縮的速度越快，肌肉產生的力量越小，因此，肌肉產生的最大向心爆發力，以肌肉最大收縮速度的三分之一時，配合最大肌力的三分之一力量，才能產生最大的肌肉向心爆發力。

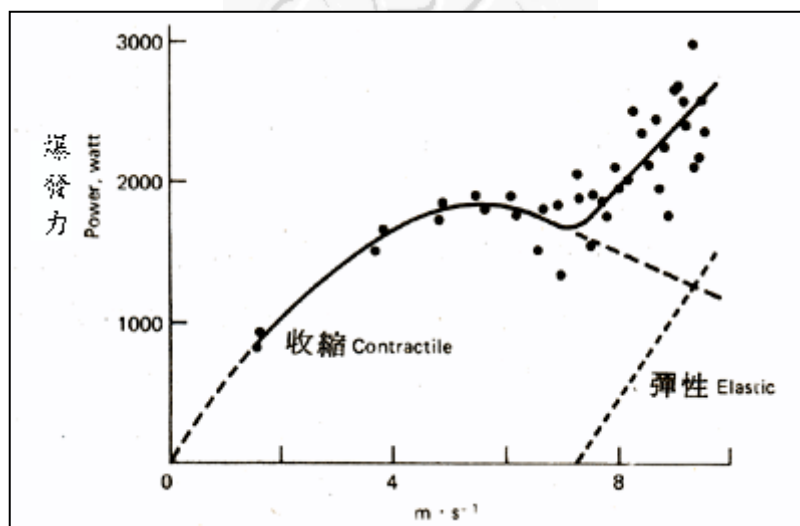




(圖 2-5-1) 肌肉收縮方式與肌肉力量的關係 (Astrand 與 Rohdal, 1986)

一份利用測力板 (forceplatform) 測量短跑選手跑步速度與肌肉爆發力關係的研究發現，當跑步的速度達到每秒 6 至 7 公尺時，由於肌肉收縮速度的提高，將會導致肌肉爆發力的下降 (因為肌肉收縮的速度高於最大收縮速度的三分之一，如 (圖 2-5-1))，進而限制了跑步速度的提高。這也是一般人普遍 100 公尺成績皆在 14 至 16 秒之間的原因。

研究發現，如 (圖 2-5-2)，優秀的短跑選手，能夠產生「異於」常人的肌肉爆發力變化：肌肉彈性張力的產生，造成肌肉爆發力隨著跑步速度的提高持續增加。腿部伸肌在著地前的伸展、腿部伸肌與屈肌彈性張力的產生、腿部屈肌在著地期的離心收縮等現象，是這些優秀短跑選手異於常人的主要原因。



(圖 2-5-2) 短跑選手跑步速度與爆發力 (FT) 的關係 (Astrand 與 Rohdal, 1986)。

陳定雄 (民 78) 在運動訓練處方的第四章速度訓練處方的一文中指出：影響速度的因素中，肌力與爆發力是人克服外部抵抗力，諸如：地心引力、場地、器材與對方之抗力。一般而言，出發到第四步之速度差者肌力與肌力性爆發力差；到 30 公尺差者爆發力較差。最高速度決定於加速能力；加速能力則受肌力、爆發力與步幅之影響最大。球員之反應時間、動作頻度與移行速度常是一種高度技術之表現。縮短力臂、正確的身體重心，有效的能源運用，優良的姿勢、放鬆、協調等皆為影響速度之因素。