

## 第貳章 相關文獻探討

本研究目的在探討增強式訓練對田徑選手下肢爆發力訓練效果之影響，Tudor (2001, 林正常等編譯)指出不論出自經驗或研究，許多科學知識，都是用來瞭解和增進運動對於人體的影響，因此，運動訓練成為現今運動科學的研究焦點，許多科學研究，充實運動訓練的理論和方法，使之成為一門科學。因而本章將針對相關的研究分為四部分來進行探討：

- 一、下肢肌力訓練理論之相關研究。
- 二、爆發力之相關研究。
- 三、垂直跳能力與運動表現之相關研究。
- 四、綜合討論。

### 第一節 下肢肌力訓練理論之相關研究

- 一、增強式訓練的機制：

劉宇、江界山、陳重佑(1996)說明：SSC應被視為一種獨立的肌肉工作方式，它是由牽張反射和彈性能連結肌肉離心和向心收縮的一種獨特收縮方式。以SSC機制為基礎所發展出的訓練方法稱為增強式動作(Plyometrics)，在彈性能和牽張反射的雙重影響之下，增加向心力量，產生更大爆發力。茲說明如下：

- (一)、牽張反射：增強式動作仰賴肌腹中牽張反射機制，其主要目的是監控肌肉伸展並且預防過度伸展當肌肉被拉長時，啟動肌纖維中的肌梭，藉Ia神經纖維通過脊髓弧(spinal arc)通知運動神經纖維，對該肌纖維進行收縮，以避免肌肉過度拉長而受傷。肌肉自主性收縮力量結合此種反射性機制，產生更大爆發力，研究也指出，肌肉向心收縮之前的伸展，促進了快速、強力的收縮。例如垂直跳在起跳之前，運動員先降低身體重心，伸展股四頭肌及小腿肌群，隨即向上猛然一跳，此時利用了牽張反射，產生更有力的收縮，跳得更高。

(二)、彈性能：除了牽張反射，增強式動作也受彈性能的影響。肌肉離心收縮時伸展肌纖維而產生彈性能，這與伸展彈簧所產生的彈性能一樣，如果能夠有效利用，則彈性能提高肌纖維的能量，向心階段釋放此一能量，提升了力量。即肌肉收縮之前的伸展，拉長肌肉，儲存了彈性能，向心收縮利用此一能量而產生較大的力量。

二、李伯倫(2005)以 16 位高中籃球選手為受試對象，以隨機分配的方式，分為增強式訓練與重量訓練組。擷取參數為連續兩次垂直跳中第一跳、第二跳高度、牽張縮短循環(SSC)、木箱落下垂直跳之參數，故施於 5 次的測驗，所得參數皆取樣本之平均值，結果發現：增強式訓練組在第一跳彈跳高度、第二跳彈跳高度、牽張縮短循環時間 (SSC) 時間、木箱落下垂直跳之檢測、木箱落下牽張縮短循環時間 (SSC) 時間等方面皆達顯著差異 ( $p < .05$ )，而重量訓練組僅在第一跳彈跳高度方面達顯著差異 ( $p < .05$ )，其他部份均未達顯著差異 ( $p > .05$ )。連續兩次垂直跳能力在籃球運動中扮演非常重要的角色，本研究結果顯示經五週增強式訓練與重量訓練後，除連續兩次垂直跳中第一跳能力兩組皆達顯著差異外，其他能力經訓練後，增強式訓練組皆顯著優於重量訓練組。

三、有效的增強式動作：

肌肉收縮之前的伸展有助於提高向心階段的力量，其原因是肌肉組織在離心階段儲存彈性能及引發牽張反射，並於向心階段利用這些機制所致。肌肉中牽張反射與彈性能的機制與伸展速度 (stretch velocity)、伸展幅度 (stretch amplitude) 及偶聯時間 (coupling time) 息息相關。當伸展速度愈快，則牽張反射愈強，儲存的彈性能愈多，對於向心力量的助益愈大 (Komi & Gollhofer, 1997)，增強式動作以深跳動作為訓練的終極目標，因為深跳動作的下跳高度愈高，則伸展速度愈快。

#### 四、伸展幅度方面：

由於隨著肌肉伸展幅度的增加，牽張反射及彈性能愈強，但是不能超過短範圍勁度（short range elastic stiffness）（Rack & Westbury, 1974），伸展幅度超此一範圍，則肌凝蛋白和肌動蛋白之間的橫橋作用的數量減少而使得力量下降，勁度下降，彈性能也因此下降，並且神經肌肉系統產生較多的抑制作用，因此較小牽張幅度的淺蹲深跳動作可以跳出較符合 SSC 機制的動作，即淺蹲 SSC 動作可產生較大的向心力量（林政東，2000）。運動員跳躍時，縮短偶聯時間使得向心收縮更具爆發力（Bosco & Komi, 1980），偶聯時間是彈性能償還的指標，增強式動作時離心伸展時儲存彈性能，偶聯時間愈短，則彈性能的償還能力愈好，此時才能有效的利用離心階段所儲存的彈性能，提升向心爆發力，偶聯時間太長則彈性能轉為熱能而浪費了（Bosco 等人, 1981）；另一方面，牽張反射的作用時間只有 40 ~ 50 毫秒，離心與向心之間的偶聯時間如果太長，則牽張反射無法順勢提升向心階段的力量。進行增強式訓練時，為了減少偶聯時間，應注意兩方面，第一就是由離心動作儘快轉換為向心的動作型式，羚羊的跳躍動作具備此種特性，所以增強式動作應該模仿此種動作的形式。

為了減少偶聯時間，增強式動作應以彈震式動作（ballistic movement）為主（Bloomfield, Ackland, & Elliott, 1994），此種動作形式強調的是速度，是一種義無反顧，完全拋射於空中，不會受到制動而影響速度及偶聯時間。伸展速度愈快、偶聯時間愈短、適當的伸展幅度，則肌肉愈能有效的利用彈性能與牽張反射，所以進行增強式動作練習時，宜採彈震式，並且以深跳動作為訓練目標。深跳動作練習時，下跳高度就已決定離心伸展速度，下跳高度愈高，伸展速度愈快；伸展幅度，不宜太大（採淺蹲），下蹲 60 與 70 度就可以，下跳後隨即迅速向上彈跳，完全不能有所遲疑而減少償還時間，並且竭盡全力，強力反彈，完全拋射於空中，不因制動而影響速度。唯有如此，才能有效的利用肌肉的彈性能與牽張反射機制，獲得所需的爆發力，提升跳高表現。

## 五、增強式動作及其訓練（以下肢為例）：

（一）、不同強度的增強式動作增強式動作依賴肌肉的牽張反射與彈性能作用，而唯有快速的動作，才能有效的利用這些牽張反射與彈性能。因此增強式動作強調的是速度，關切速度的程度並不亞於其它肌肉作用方式的訓練法，負荷與速度成反比，因此不恰當的負荷會妨礙正確動作。

一些增加速度的作法，如跳遠、跳高之前的助跑，助跑的速度愈快，則起跳時離心動作的速度愈快；深跳練習動作，下跳高度就已決定離心伸展速度，下跳高度愈高，伸展速度愈快。所以訓練負荷不宜太重，應以該專項動作的阻力為主，以免影響牽張反射及彈性能機制。重視速度甚於負荷的增強式動作，速度決定了訓練強度，為了正確設計增強式訓練計劃，必須了解該動作不同強度。因此，由低至高強度，可將增強式訓練分成六個動作(Allerheiligen 1994; Bompa, 1999)，並建議以循序漸進方式安排訓練計劃。

增強式動作除了符合牽張反射及應用彈性能的內在機制，其外在動作形式也符合跳、跑動作形式，即動作形式先使身體產生衝擊（impact）、然後推蹬（propulsion）身體向上、向前。關於衝擊的訓練，著地動作是最典型的例子，而蹬箱動作是推蹬動作的代表，深跳動作則是接合衝擊與推蹬的動作，並且可以作出最高強度的動作，所以深跳動作是增強式訓練的最重要動作，即增強式動作最終目標是為了跳出流暢的深跳動作，其餘的原地跳、蹦跳、彈跳、跳箱練習及著地練習等等下肢動作都是深跳動作的基礎，練完了這些動作，才能進一步完成深跳動作。

1. 原地跳（jump）：以兩腳起跳與著地，屬於原地跳躍動作，如交互蹲跳、蹲跳、向上直跳一等等，可以設計出低、中、高強度的訓練動作。
2. 蹦跳（同腳移動跳 Hop）：此一形式在地面進行移動跳躍，過程中可以單腳或雙腳跳，單腳跳時無需換腳著地，為中、高強度的動作，強調的是水平移動方向。
3. 彈跳（換腳移動跳 bound）：在地面進行單腳移動跳躍，過程中需換腳著地，此一形式可安排中、高強度的動作，強調的是垂直方向。

4. 跳箱 (box drill)：以箱子作為練習推蹬能力的訓練方法。
5. 著地 (Landing)：承受衝擊的訓練方法。
6. 深跳動作 (drop-jump)：由某一高度往下跳，然後迅速向上躍起，如深跳 (drop-jump)，為非常高強度的訓練動作。

(二)、動作本身的注意事項 除此之外，增強式動作的訓練強度與下列因素有關：

1. 跳躍速度愈快，則強度愈大。
2. 跳躍的方向為平行向前或垂直向上，垂直向上具有較大強度。
3. 單腳交叉彈跳強調垂直力量，因此著地時產生較大的衝擊力量。
4. 深跳下跳高度愈高，則訓練強度愈大。
5. 動作負荷愈大，訓練強度愈大。

根據 Verkhoshanski (1969)，為了獲得爆發力，深跳練習的最佳高度是 75～110 公分，相同的發現來自於 Bosco & Komi (1980)，後者並作了以下的結論，超過 110 公分，作用機制會產生變化，即深跳高度太高，則能量及時間用於緩衝高衝擊力量，而無法達成增強式動作的目的。著地練習是針對離心收縮加以訓練，其目的是為了高強度的深跳練習作準備。深跳練習時屈膝下蹲的幅度無需太大，因此著地練習時，也要掌握此一關鍵。下跳著地時，運動員必須維持於預定的膝關節位移，無須往下進一步彎曲，大部分情形是角度保持在  $1/4 \sim 1/2$  的最大彎屈範圍。但是開始練習著地動作時，可以下蹲較大的幅度，使肌肉組織能夠獲得較大的緩衝，隨骨骼肌肉的強化與肌力的進步，逐漸的減少向下緩衝的幅度。著地練習從最低至最高下跳高度，或加上負荷間的練習，可能要花上幾年時間。練習時，不可貿然增加下跳高度或加重負荷，先由較低的下跳高度開始，例如 50 公分下跳高度，然後逐漸增加至 80 公分，要增加負荷時先減低下跳高度至 50 公分，由 5 公斤開始（可穿著負重背心），逐漸加重負荷，最高不可超過 25% 的 1RM，以此循環，至下跳高度 80 公分為止。

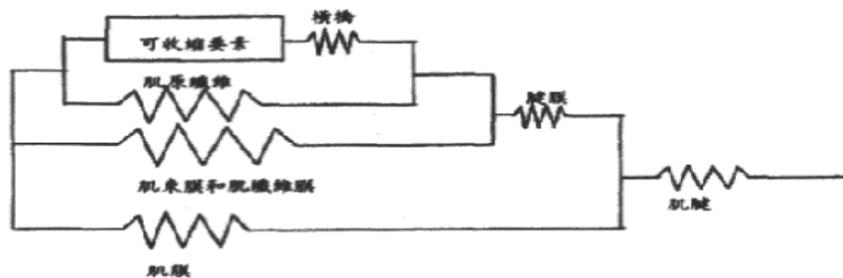
對於著地練習的訓練強度的進展應該採較保守態度，不可冒進。因為著地練習時，肌肉組織與韌帶承受高張力與高壓，除非運動員有 4～5 年的肌力訓練背

景或是很能夠適應高負荷，或是有著強壯的韌帶及肌腱，否則不可採用高負荷或較高的下跳高度。

接受增強式動作的訓練時，紮實的肌力有利於運動員獲得更快的進展，肌力也是預防運動傷害的重要因素（Chu, 1992），但是需具備多少肌力，則是見人見智，一些作者認為進行深跳練習時至少應該擁有能夠承受 2 倍體重的蹲舉肌力，其它人則認為要視訓練場地表面、使用的設備及訓練強度而定（如下跳高度、負荷）。

#### 六、肌肉彈性能之利用：

因為肌肉的彈性能(elastic energy)依動作形式而有所不同，我們可將一整條肌肉視為由許多不同彈性係數之彈簧串聯及並聯而成，其中與可收縮之肌纖維平行的組織有肌膜等結締組織，而與其串聯有肌腱等(圖一)(盧英治，2000)。在實施增強式訓練時，肌肉首先呈現離心收縮，造成肌肉的拉長伸展；而離心末期力量除了意味向心收縮的起始力量，也代表著彈性能儲存能力；隨後肌肉的向心收縮，便會使得儲存的彈性能與向心收縮力量獲得釋放，進而增加了肌肉力量的表現。不過，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，彈性能會轉變成熱能，無法有效地增強向心收縮的力量(林政東等人，2000；盧英治，2000)。



圖一、肌肉彈性能、並聯及串聯彈性要素(摘自盧英治，2000)

## 第二節 爆發力之相關研究

爆發力是競技運動的一項重要因素，爆發力的訓練除了考慮負荷與速度的因素之外，也應重視動作形態。肌肉的作用形式有三種，即向心、離心和等長收縮。肌肉向心工作時，肌肉長度縮短；離心工作時，肌肉長度拉長；等長收縮時，肌肉長度不變。但是這種分法不能反映運動時肌肉的自然收縮形態（Komi, 1984），在許多運動中，身體肢段不斷的受衝力作用，此時肌肉先離心收縮，接著隨即向心收縮，此種先離心再快速結合向心工作的肌肉收縮方式，稱為牽張縮短循環（Stretch-Shortening-Cycle），簡稱 SSC（Norman & Komi, 1979；Komi, 1984）。SSC 動作可分為三個階段，即離心期、償還期（amortization）和向心期。離心期始於運動員開始動作至啟動償還，此期的作用是預先牽張肌肉以增加彈性能和肌梭活動，並為彈性能的償還和  $\alpha$  運動神經激發最佳肌肉收縮狀態作準備。SSC 的第二期為償還期，是指離心收縮結束至向心收縮開始的期間，它是從克服外力轉變至身體動作加速的階段，此期所花費的時間稱為偶聯時間（coupling time）。最後的階段為向心期，此時運動員專注於前兩期所留下的影響和為下一循環作準備，此期又稱支付期（payoff），因為前兩期的表現會影響第三期向心收縮的結果。

關於爆發力訓練，考慮的不只是肌肉機制和機械效率，更需知道神經因素所造成的影響，這些神經因素可以從運動單位的徵召、激發頻率和肌肉之間的協調等各方面加以探討（林政東，2004）。

林正常（2004）指出身體各部份的動力訓練，其最佳負荷條件似乎不盡相同，但以各部位最大肌力的三分之一至二分之一負荷，從事最快速度的發揮，似乎可以達到動力的最佳訓練效果。

Matavulj, Kukolj, Tihanyi, & Jaric(2001)以 33 位年齡為 15 至 16 歲的優秀籃球選手，其中 7 位為青少年國家代表隊成員，在進行 6 週的深跳訓練後(箱子高度分別為 50 與 100 公分)，跳箱高度為 50 公分這組在力量產生速率和最大垂直跳高度方面有達顯著的進步，另外在跳箱高度 100 公分這組的力量產生速率

和最大垂直跳高度及最大力量方面有達顯著的進步，表示在做跳躍運動時之肌肉力量有增加。

為了檢驗增強式訓練和持續訓練對體能表現效果，Diallo 等(2001)以 20 名青春期的足球運動員，將其分為跳躍組及對照組(每組 10 人)進行為期 10 週，每週三次的各式增強式訓練，包括跳躍、跨欄賽跑和跳繩，隨後降低訓練期八週，但還是維持一般的足球訓練，結果顯示訓練前兩組間無差異，但在訓練後的 Pmax、CMJ、SJ、反覆跳躍和 20m 均呈現顯著，而對照組並無顯著差異。

Luebbers 等(2003)曾探討四週與七週的增強式訓練對於垂直跳的高度與爆發力的影響，其訓練結果僅只在四週後，其垂直跳的高度和垂直跳之爆發力都呈現顯著下降，然在七週訓練後則沒有明顯的變化，可是在停止訓練後的四週，兩組的垂直跳高度和垂直爆發力則均有顯著的提升。

### 第三節 垂直跳能力與運動表現之相關研究

洪彰岑、莊榮仁、劉宇(1997)研究發現透過肌肉本身的牽張反射作用與彈性能的儲存，使得直膝垂直跳(CMJ)能夠獲得一個比屈膝垂直跳(SJ)更大的衝量，而使其跳的更高。

鐘寶弘(1999)認為垂直蹲跳的動作在起跳前是屬於封閉式運動鏈的形式，身跳(Drop Jump)的動作型態與垂直蹲跳類似，但是在肌肉能量的儲存上較垂直蹲跳大，因此造成不同跳躍運動產生不同高度表現的重要影響因素是肌肉彈性位能的儲存與使用，也就是增強式跳躍訓練的基礎理論。

Elvira, Rodriguez, Riera & Jodar (2001)認為立定垂直跳躍動作其難度在於充分的推蹬肌力與建構身體姿勢的能力，故常被用來作為測驗腿部爆發肌力的指標。

翁梓林、蔡葉榮(2002)針對體育系學生所作的實驗結果發現，單腳直膝垂直跳在支撐階段之地面反作用力，由負加速度階段轉至正加速度階段。

Matavulj, Kukolj, Tihanyi, & Jaric(2001)以 33 位年齡為 15 至 16 歲的優秀籃球選手，其中 7 位為青少年國家代表隊成員，在進行 6 週的深跳訓練後(箱子高度分別為 50 與 100 公分)，平均分別增加 4.8 公分與 5.6 公分，但兩者增加的高度並無顯著差異，即指箱子高度增加並不代表效果就比較好。

## 第四節 小 結

從下肢肌力訓練理論之相關研究、爆發力之相關研究、垂直跳能力與運動表現之相關研究等相關文獻可以了解到，增強式訓練是在彈性能和牽張反射的雙重影響下產生的向心力量，進而增加更大的爆發力，下肢的增強式訓練對大部分的運動項目是一種有效的下肢肌力訓練方法，其成效更勝重量訓練，這是因為當伸展速度愈快，則牽張反射愈強，儲存彈性能更多，但是如何正確有效的達到訓練效果卻是目前各項研究極欲探討的課題，不論是安排的實施次數、負荷量及動作的正確性都將影響訓練成效，林正常(2004)指出身體各部份的動力訓練，其最佳負荷條件似乎不盡相同，但以各部位最大肌力的三分之一至二分之一負荷，從事最快速度的發揮，似乎可以達到動力的最佳訓練效果。但是卻不知何種肌力負荷可以達到最佳效果。因此本研究特別針對不同負重增強式訓練對國中田徑選手的訓練，是否會對下肢肌力的增強達到有效幫助來探討，希望透過本研究可以有效的利用訓練方式，對於往後的訓練建立完善且更有效率的方法，藉此提升選手能力。