



## 著地反彈跳的下肢肌肉工作特徵

<sup>1</sup>林建志 <sup>2</sup>陳重佑 \*

<sup>1</sup>國立臺灣師範大學體育學系 <sup>2</sup>國立臺灣體育運動大學體育研究所

投稿日期：2015 年 12 月；通過日期：2016 年 03 月

### 摘要

無論是跑步或下樓梯均有著地動作的出現，而簡單的著地動作需有人體骨骼結構支撐外，更有下肢肌肉工作的相互配合，才得以有穩定與流暢的著地過程。而著地過程區分為著地前、著地瞬間與著地後等三個階段，其下肢肌肉會分別執行肌肉預收縮、自我保護機制與牽張反射等肌肉工作特徵，說明下肢肌肉工作對於著地動作扮演重要角色。本研究目的從探討牽張縮短循環的肌肉工作特徵，剖析著地工作中各階段的肌肉工作特性，期望能增進運動科學研究人員對於下肢肌肉工作有更深層的思維。

**關鍵字：**肌肉預收縮、牽張縮短循環、著地工作

### 壹、前言

各種不同運動項目中，經常包含有投、擲、跑與跳等運動形式，為了發展出該運動項目所必備的基本能力，其技術與力量是不可或缺的重要因素。而運動中無論執行何種動作，除人體骨骼結構支撐外，更須有強而有力的力量來源，因此，肌肉工作是肢體運動產生力量最直接的來源之一。根據力量的產生可區分為內力與外力，作用於人體（或系統）內部相互作用的力量為內力（internal force），而外力是經由外界環境與物質對人體（或系統）產生的力量作用視為外力（external force）。當人體欲達成運動任務的完成，需藉由人體骨骼肌肉系統產生主動收縮，以及韌帶、肌腱、周圍軟骨組織和關節摩擦力的被動作用外，有效運用內力與外力的相互結合，提供人體在運動狀態下維持流暢的肢體動作（林政東，2010；Butler, Crowell, & Davis, 2003; Benjamin, Nick, Jennie, & Paul, 2012）。

從日常生活或運動狀態中，下肢關節是反覆接觸地面的重要部位，如下階梯或跑步均是著地後下蹲再隨即推蹬的動作，此一連續過程稱為著地工作。所謂的著地工作是人體由某高度落下後與地面接觸的過程，以髌、膝與踝關節對於地面反作用力產生相互作用的階段。以增強式訓練（plyometric training）的概念，常

利用著地工作特性來提升下肢爆發力最有效的方法，有關增強式動作可分為原地跳（jump）、直膝跳（hop）、彈跳（bound）、著地（landing）與著地反彈跳（bounce drop jump）等，其中以著地反彈跳是增強式動作最主要的訓練模式（林政東、吳國暉，2010）。Keller, Lauber, Gehring, Leukel, 與 Taube (2014) 進一步指出著地反彈跳動作的各階段，人體感覺運動系統會依外在環境改變，適當調整下肢肌肉工作。因此，看似簡單的著地動作可區分為著地前、著地瞬間、著地後力量吸收與推蹬反跳等四個工作階段。而肌肉工作將在這四個階段分別執行著地前的肌肉預收縮（muscle pre-stretch）、著地瞬間的自我保護機制（self-defense mechanics）與著地後下蹲反跳的牽張反射（stretch reflex）等神經肌肉間（inter）或肌肉內（intra）的協調作用，並配合下肢髌、膝與踝等三關節活動度來完成著地動作（Morgana, Felipe, Georgios, & Evangelos, 2014; Ruan & Li, 2010; Schmidtbleicher & Gollhofer, 1982）。

由此可知，簡單的著地工作卻存在著複雜的肌肉工作形式，藉此避免過大的著地碰撞力量產生下肢傷害風險，就 Nigg (2011) 研究發現著地過程下肢所需

\*通訊作者：陳重佑 國立臺灣體育運動大學  
Email：chung-yu@yahoo.com.tw  
地址：404 臺中市北區雙十路一段16號

承受的地面反作用力常是自身體重的數倍之多，如日常生活的跑步運動為體重的 2 至 4 倍；競技運動的跳高或助跑起跳碰撞力量則達體重的 10 至 12 倍。說明著地工作除了外在的髌、膝與踝關節的結構支撐外，內在的肌肉工作則顯得更重要。因此，本研究目的以簡單的著地反彈跳動作探討各階段肌肉工作特徵，描述著地階段的肌肉活化情形，希望能提供人體運動技術的增進與保護注入一份新的思維。

## 貳、著地前的肌肉預收縮

人體下肢在進行跑步、跳躍或著地反彈跳的動作型態中，其下肢的肌肉工作模式會先以小腿肌群為主，因踝關節為接觸地面的第一關節部位，對於提供下肢穩定與平衡能力具有重要影響 (Lee & Lin, 2007)。而 Devita 與 Skelly (1992) 研究更進一步指出下肢著地工作的能量消耗以踝關節佔了約 44% 為主要緩衝關節，其次為膝關節 34% 與髌關節 22%，說明越接近地面的關節其所扮演的角色越重要。就著地前的肌肉活化階段，係指下肢準備著地前，控制踝關節背屈與蹠屈肌群會提早產生肌肉張力，作為緩衝地面反作用力所帶來的影響，此肌肉工作現象稱為肌肉預收縮 (Komi, 1984)。過去多數研究探討肌肉離心收縮與向心收縮間快速轉換的牽張縮短循環作用 (stretch-shortening-cycle, SSC) (Aboodarda et al., 2014; Kopper et al., 2014; Morgana et al., 2014; Ruan & Li, 2008)，較少關心著地前騰空階段的肌肉工作意義為何。而 Horita, Komi, Nicol, 與 Kyrolainen (2002) 認為肌肉預收縮的意義為著地前產生肌肉活化收縮，藉此累積適當的肌肉張力，其肌肉工作狀態如同等長收縮，使肌肉在著地前的騰空階段維持較佳的準備狀態，提供著地後肌肉牽拉效果與能量儲存釋放有更好的效益 (Ruan & Li, 2008)，以因應著地瞬間的衝擊負荷 (Peng et al., 2011; Santelo et al., 2001)。就著地反彈跳動作型態屬於預期性的著地動作，因此，著地前的肌肉活化作用被視為動作控制的前饋機制 (feedforward)，此機制具有提供肢體動作因應運動狀態的即時改變，進一步產生不同肌肉協調策略，如運動任務面臨不同的著地高度、著地策略 (單腳、雙腳、急停跳)、著地界面 (硬地、沙地) 等條件，下肢肌肉會收縮產生力量立即回饋瞬息萬變的運動情境 (Santelo, McDonagh, & Chalilis, 2001)。

研究指出在一般的著地反彈跳動作型態中，越靠近地面的肌群會具有較高的肌肉預收縮能力 (Wolf,

Ammerman, & Jann, 1998)，其中腓腸肌與比目魚肌就是下肢著地前高度活化的肌群之一 (Mrdakovic, Ilic, Jankovic, Rajkovic, & Stefanovic, 2008)。根據 Nyland, Klein, 與 Caborn (2013) 認為踝關節為著地過程第一個接觸地面的關節部位，而腓腸肌為踝關節主要作用肌群之一，因此，著地前後腓腸肌高度活化具有穩定踝關節效果，作為因應著地碰撞的影響。此外，從肌肉解剖與功能的觀點中，腓腸肌屬於雙關節作用肌具有控制遠端踝關節到近端膝關節的肌肉動力鏈效果 (Nashner, 1997; Shultz et al., 2000)，所以，當腓腸肌提供踝關節穩定作用時，其效果將延伸至膝關節提供一個穩定推蹬向上的肌肉效益，顯示腓腸肌的肌肉預收縮作用在著地階段高度活化，對於著地策略具有非常實質的穩定意義。而肌肉預收縮對於膝關節的作用效果中，Kipp 等 (2014) 指出著地反彈跳動作的膝關節股四頭肌與腿後肌，研究說明內側腿後肌主要作用於著地前期，股內側肌則為著地後的緩衝作用肌。de Britto 等 (2014) 進一步研究不同高度著地的下肢肌肉活化情形，當著地反彈跳高度增加，將大幅提升著地後的股四頭肌活化，其作用具有提供膝關節有更好的穩定效果，減少前十字韌帶的潛在傷害風險。有關髌關節著地前的肌肉預收縮研究，Dalton 等 (2011) 指出髌關節臀中肌在著地前提早產生張力，具有提供著地瞬間髌關節的內收與外展動作有更好的穩定效果，說明著地前高度活化的臀中肌能有效緩衝著地衝擊與姿勢晃動等不穩定因素。由此顯示著地前的肌肉活化程度是可隨著運動任務改變作調整 (de Britto et al., 2014)，而特殊的神經肌肉訓練包括著地反彈跳動作，有助於提升著地階段的肌肉活化情形，幫助運動員有更好的動作控制策略 (Zebis et al., 2008)。

肌肉預收縮的作用並非僅侷限於運動生物力學的探討中，在動作控制與學習 (motor control and learning) 的範疇裡，動作準備 (motor preparation) 的概念則是肌肉預收縮現象的外在描述。如日常生活或運動表現上有許多動作執行均存在著動作準備歷程，此歷程的重要性可提供肢體協調有更好的作用效果 (張哲千、王駿濠、阮啟弘, 2014; Rolke & Hofmann, 2007)。因較好的動作準備歷程，除可提升動作反應的知覺與效率外，更可降低動作過程所需耗費的力量 (Mattes & Ulrich, 1997)。研究指出運動競賽過程是需具備高度的專注力，如桌球比賽的殺球速度的瞬時時速達 150 公里，所以，如沒有充分的動作準備歷程則無法快速的進行防守與攻擊反應 (Bootsma & van Wieringen, 1990)。此

概念如同著地動作前的肌肉活化累積適當張力，作為即時因應運動任務的改變。再者，肌肉預收縮的特徵亦會出現於上肢動作中，以棒球投手準備將球投進捕手套時，此階段捕手上肢的外在動作特徵為胸前預備動作，而手臂的肌肉內協調機制已維持一定張力，作為動作執行前的準備工作。綜合以上論述，運動生物力學所探究的肌肉預收縮概念如同運動行為學 (motor behavior) 領域的準備歷程，其主要差別在於運動生物力學主要描述肌肉預收縮屬於神經肌肉的協調機制，而運動行為學則探究外在動作下的實際情境 (Mrdakovic, Ilic, Jankovic, Rajkovic, & Stefanovic, 2008; Ruan & Li, 2008)。從不同的角度描述同一個觀點，藉此讓肌肉預收縮有更多不同的面貌與詮釋，提供肌肉預收縮概念能延伸出更多可深入探討的思維。

### 參、著地瞬間的自我保護機制特徵

理想的關節活動度能有效吸收外部環境所產生的力量負荷，當關節活動範圍達到極限時，則須依靠骨骼肌肉系統的工作效益加以輔助 (DeVita & Skelly, 1992)。因此，著地過程的關節穩定能力是需透過被動組織 (關節囊與關節韌帶) 與主動組織 (肌肉與本體感覺) 的維持與作用而來 (Pozzi, Moffat, & Gutierrez, 2015)。Denyer, Hewitt, 與 Mitchell (2013) 進一步指出人體神經肌肉系統在動態運動中扮演重要角色，因關節周邊的肌肉工作效益具有防衛機制 (defense mechanism) 存在。關於著地動作中肌肉所產生的防衛機制，經常以關節周邊肌肉高度活化形成適當的肌肉勁度 (stiffness) 作為關節穩定的效果。而本文提及的增強式訓練是利用著地反彈跳的高度，改變外在環境使動作執行有更快速的效果，以促進肌肉牽張縮短循環效益的最大化，是短時間改善下肢肌肉力量與提升爆發力最快的方法之一 (Arazi, Mohammadi, & Asadi, 2014)。研究指出增強式動作的作用時間越短爆發力則越大，但對肌肉工作而言，作用時間越短動作負荷越高，肌肉可能會引發神經肌肉內協調的抑制反應 (inhibitory effect) (Bosco et al., 1982; Komi, 1986; Ruan & Li, 2008; Voigt, Simonsen, Dyhre-Poulsen, & Klausen, 1995)，進而在著地瞬間出現自我保護機制特徵。

過去研究探討著地反彈跳動作觀察下肢肌肉活化特徵，發現神經肌肉系統可通過視覺調節感覺系統連結牽張負荷大小，引發下肢肌肉在著地前出現預收縮現象，並在一定範圍內隨著高度越高負荷越大牽張收縮強度則越強 (Schmidtbleicher & Gollhofer, 1982)。因

此，當高度越高或牽張負荷越強，在著地階段對下肢神經肌肉的影響越大，則容易出現神經肌肉系統受到動作負荷的影響產生抑制現象，使自我保護機制出現。有關自我保護機制特徵的肌肉工作特性，為著地前後階段肌肉活化將瞬間降低，促使肌肉以較為柔軟 (soft) 不僵硬 (stiff) 的肌肉勁度進行著地動作，以降低著地瞬間的碰撞影響。研究指出著地反彈跳動作，從適當的高度落下可增強肌梭的伸張反射刺激，但高度過高將導致伸張反射刺激過大，此時肌肉系統的高爾基體發揮保護作用，以降低肌肉參與動作的力量，能有效避免下肢關節的碰撞傷害 (王令儀等, 2012; 林正常、黃勝裕、陳重佑, 1999; Komi & Gollhofer, 1997)。而 Ruan 與 Li (2010) 亦認為較高的著地反彈跳高度，容易促使肌肉牽張負荷過大，進而產生神經肌肉內的抑制現象，作為防止肌肉與肌腱韌帶等骨骼肌肉系統受到傷害的保護策略 (Komi & Gollhofer, 1997)。

就著地反彈跳動作而言，是處於極短的作用時間內，神經肌肉就存在著特殊的肌肉內協調機制，因著地反彈跳動作出現過大的肌肉牽張負荷，將引發神經肌肉的抑制，意指著地反彈跳高度過高，肌肉便會喪失牽張反射的調節能力，導致著地瞬間肌肉收縮強度下降引起阻滯現象，形成自我保護機制特徵。此機制的的作用意義為避免著地前肌肉預收縮產生過高的肌肉張力，導致著地瞬間離心收縮時的外在負荷過高，可能發生下肢伸肌部分撕裂，進而在著地階段瞬間降低肌肉活化，這些肌肉抑制效應與激發現象，就是肌肉內的協調 (intramuscular coordination) 工作特徵 (Denyer et al., 2013; Gollhofer, & Schmidtbleicher, 1988; Schmidtbleicher & Buehrle, 1987)。此概念最早源自於德國科學家 Schmidtbleicher 與 Buehrle (1987)，但僅以肌肉工作的質性觀點描述此特徵的作用與影響，後續未有相關研究持續以此議題進行深入的探討。因此，下肢肌肉在著地瞬間具有特殊的自我保護機制特徵並未受到重視，本文希望藉由簡單的著地反彈跳動作重新描述有關自我保護機制的的作用機制，裨益珍貴知識訊息的傳播。

### 肆、複合性的牽張縮短循環肌肉工作

肌肉工作可以產生力量作用，其工作的形式包括肌肉在用力情況下長度不變的等長工作 (isometric)、用力情況下肌肉被拉長的離心工作 (eccentric)、用力情況下肌肉縮短的向心工作 (concentric)，以及離心收縮與向心收縮相互作用的 SSC 肌肉工作模式。在不同

的肌肉工作形式有其特殊意義，但最終目的是讓人體有更好的運動表現。研究指出肌肉作用效果能有效提升跳躍能力，其主要因素為肌肉工作形式的差異，比較不同跳躍動作表現結果，以著地反彈跳 (drop jump, DJ) 屬於快速 SSC 作用，具有最佳的跳躍表現，其次為慢速 SSC 的下蹲反跳 (counter-movement jump, CMJ)，最後為單純執行向心工作的蹲踞跳 (squat jump, SJ) (Jacob et al., 2010)。說明不同肌肉工作形式應用於不同動作需求，其產生的工作效益也有所差別，從現實的運動狀態下，肌肉工作很少進行單一或獨立作用的工作模式，因肌肉工作經常伴隨著相互作用的方式，以獲取最佳的運動表現。

著地反彈跳動作屬於典型的反射性運動 (reaction movement)，因著地後立即執行反向垂直跳動作，此動作機制在著地後的下蹲階段，主要為股四頭肌被牽拉產生離心工作，至準備推蹬階段轉換為向心工作，而此作用機制對於運動表現的影響在於動作控制 (motor control) 與動作學習 (motor learning) 所產生的複合性肌肉工作效益 (Keller et al., 2014)。對於複合性的肌肉工作影響，則有牽張速度 (stretch velocity) 越快、延遲時間越短，則越能有效率的運用神經肌肉協調作用 (Lin, 2008)。而牽張反射在牽張縮短循環的肌肉工作扮演重要角色，因牽張反射須有效的運用與結合本體感受器 (proprioceptors)，包括肌梭 (muscle spindle) 與高爾肌腱器 (Golgi tendon organ) 等神經肌肉支配作用效果，才能有較佳的肌肉工作表現。由於肌梭作用為肌肉長度增加時會產生保護性的反射動作 (抑制牽拉)，或者肌肉張力過高時高爾肌腱器產生抑制拮抗肌牽拉，使肌肉放鬆免於受傷的可能性 (盧英治, 2000)。因此，如能有效率的運用肌肉主動收縮，再加上肌肉與肌腱間的周邊組織被牽拉後所產生的被動力量效果，則能促使運動表現有更好的提升 (Aboodarda et al., 2014)。

綜合上述可知，就各種肌力產生的方式而言，牽張縮短循環為最有效率的肌肉工作型態，Baechle 與 Earle (2000) 認為一個有效率的牽張縮短循環需滿足三個工作階段，分別為離心期 (eccentric phase)、償還期 (amortization) 與向心期 (concentric phase)。離心期是著地後的下蹲階段，肌肉被動拉長產生離心收縮，而 Kopper, Csende, Trzaskoma, 與 Tihanyi (2014) 指出欲產生強而有力的向心收縮，需在離心階段盡可能快速伸展，引發肌梭所作用的反射性收縮動作，所以，離心期以快速且短暫的肌肉收縮達到最佳的工作狀態

(Aboodarda et al., 2014)；償還期係指離心收縮結束準備進入向心收縮的開始，動作型態為肢體克服著地瞬間的地面反作用力，至準備推蹬向上階段，此階段所作用的時間稱為偶聯時間 (coupling time)，而偶聯時間越短，則越能有效將離心收縮的工作效益連結至下個階段；向心期為下肢開始蹬伸向上階段，通過肌肉主動向心收縮，使牽拉效果與能量儲存釋放產生爆發性的肌肉力量，促使運動表現能力提升 (周德倫, 2007; Aboodarda et al., 2014; Bosco et al., 1982; Ruan & Li, 2008)。此肌肉工作模式在許多體育活動的基本運動技能都可看到，顯示牽張縮短循環為人體肌肉工作中最重要的一環。

## 伍、結語

本研究以著地反彈跳的動作特性切入牽張縮短循環效應，藉此描述著地階段肌肉工作特徵，剖析各階段的肌肉工作意義。說明人體從特定高處落下時，著地前的肌肉預收縮會累積適當的肌肉張力，維持肌肉最佳的收縮狀態，作為下肢著地前的準備工作；著地瞬間的自我保護機制，其意義為著地瞬間為了避免過高的肌肉勁度，進而瞬間降低肌肉活化以調整適當的肌肉勁度，藉此保護下肢肌肉免於著地碰撞的影響，並提供下蹲反跳的接續性動作能有更好的工作效益。由此可知，了解牽張縮短循環的肌肉工作模式，有助於人體運動技術的增進與保護，以利運動技術或肌力訓練有更好的發展。

## 陸、參考文獻

- 王令儀、廖偉任、許年瑩、林珈豪 (2012)。單、雙腳高台著地反彈跳之動力學特性分析。《華人運動生物力學》，7，75-78。
- 周德倫 (2007)。排球彈跳能力特徵及其訓練原則探析。《運動教練科學》，9，113-123。
- 林正常、黃勝裕、陳重佑 (1999)。蹲踞跳與下蹲跳之垂直跳躍指標與等速肌力相關之探討。《體育學報》，27，91-98
- 林政東 (2010)。肌力訓練法-肌力訓練的迷思。《運動教練科學》，17，1-16。
- 林政東、吳國暉 (2010) 臺灣運動員不同強度深跳動作的表現之分析。《運動教練科學》，18，47-58。
- 張哲千、王駿濠、阮啟弘 (2014)。健身運動對動作準備歷程的影響。《中華體育季刊》，28(1)，53-62。doi: 10.5297/ser.1201.002

- 盧英治 (2000)。衝擊式訓練的理論與實際。大專體育, 51, 95-102。
- Aboodarda, S. J., Byrne, J. M., Samson, M., Wilson, B. D., Mokhtar, A. H., & Behm, D. G. (2014). Does performing drop jumps with additional eccentric loading improve jump performance? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(8), 2314-2323.
- Bosco, C., Ito, A., Komi, P. V., Luhtanen, P., Rahkila, P., & Rusko, H. V. (1982). Neuromuscular function and mechanical efficiency of the human leg extensor muscles during jumping exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114, 543-550.
- Bootsma, R. J., & van Wieringen, P. C. (1990). Timing an attacking forehand drive in table tennis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(1), 21-29. doi: 10.1037//0096-1523.16.1.21
- Baechle, T. R., & Earle, R. (2000). *Essentials of strength training and condition* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Butler, R. J., Crowell, H. P., & Davis, I. M. (2003). Lower extremity stiffness: Implications for performance and injury. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 18(6), 511-517.
- Benjamin, G. S., Nick, B. B., Jennie, M. S., & Paul, N. S. (2012). A review of models of vertical, leg, and knee stiffness in adults for running, jumping or hopping tasks. *Journal of Sports Sciences*, 30(13), 1347-1363.
- Devita, P., & Skelly, W. A. (1992). Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(1), 108-115. doi: 0195-9131/92/2401-0108\$3.00/0
- Dalton, E. C., Pfile, K. R., Weniger, G. R., Ingersoll, C. D., Daniel Herman, & Hart, J. M. (2011). Neuromuscular changes after aerobic exercise in people with anterior cruciate ligament-reconstructed knees. *Journal of Athletic Training*, 46(5), 476-483.
- Denyer, J. R., Hewitt, N. L. A., & Mitchell, A. C. S. (2013). Foot structure and muscle reaction time to a simulated ankle sprain. *Journal of Athletic Training*, 48(3), 326-330. doi: 10.4085/1062-6050-48.2.15
- de Britto, M. A., Carpes, F. P., Koutras, G., & Pappas, E. (2014). Quadriceps and hamstrings prelanding myoelectric activity during landing from different heights among male and female athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24, 508-512.
- Horita, T., Komi, P. V., Nicol, C., & Kyrolainen, H. (2002). Interaction between pre-landing activities and stiffness regulation of the knee joint musculoskeletal system in the drop jump: Implication to performance. *European Journal of Applied Physiology*, 88(1-2), 76-84.
- Jacob, E. E., William, J. K., Robert, U. N., Brett, A. C., Maren, S. F., Dunn-Lewis, C., ... Carl, M. M. (2010). Lower body muscle structure and its role in jump performance during squat, countermovement, and depth drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 722-729.
- Komi, P. V. (1986). The stretch shortening cycle and human power output. In L. Jones, N. McCartney, & A. McComas (Eds.), *Human muscle power* (pp. 27-42). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Kopper, B., Csende, Z., Trzaskoma, L., & Tihanyi, J. (2014). Stretch-shortening cycle characteristics during vertical jumps carried out with small and large range of motion. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24, 233-239.
- Kipp, K., Pfeiffer, R., Sabick, M., Harris, C., Sutter, J., Kuhlman, S., & Shea, K. (2014). Muscle synergies during a single-leg drop-landing in boys and girls. *Journal of Applied Biomechanics*, 30, 262-268.
- Keller, M., Lauber, B, Gehring, D, Leukel, C., & Taube, W. (2014). Jump performance and augmented feedback: Immediate benefits and long-term training effects. *Human Movement Science*, 36, 177-189.
- Lin, J. D., Liu, Y., Lin, J. C., Tsai, F. J., & Chao, C. Y. (2008). The effects of different stretch amplitudes on electromyography activity during drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 32-39.

- Mattes, S., & Ulrich, R. (1997). Response force is sensitive to the temporal uncertainty of response stimuli. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *59*, 1089-1097. doi: 10.3758/BF03205523
- Mrdakovic, V., Ilic, D. B., Jankovic, N., Rajkovic, Z., & Stefanovic, D. (2008). Pre-activity modulation of lower extremity muscles within different types and heights of deep jump. *Journal of Sports Science and Medicine*, *7*, 269-278.
- Morgana, A. de B., Felipe, P. C., Georgios, K., & Evangelos, P. (2014). Quadriceps and hamstrings prelanding myoelectric activity during landing from different heights among male and female athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *24*(4), 508-512. doi: 10.1016/j.jelekin.2014.04.009
- Nigg, B. M. (2011). Biomechanics of Running Shoes. *Footwear Science*, *3*(2), 125-126. doi: 10.1080/19424280.2011.570794
- Nyland, J., Mauser, N., & Caborn, D. N. M. (2013). Sports involvement following ACL reconstruction is related to lower extremity neuromuscular adaptations, subjective knee function and health locus of control. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, *21*, 2019-2028. doi: 10.1007/s00167-013-2366-6
- Peng, H. T., Kernozek, T. W., & Song, C. Y. (2011). Quadriceps and hamstring activation during drop jumps with changes in drop height. *Physical Therapy in Sport*, *12*, 127-132.
- Pozzi, F., Moffat, M., & Gutierrez, G. (2015). Neuromuscular control during performance of dynamic balance task subjects with and without ankle instability. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, *10*(4), 520-529.
- Rolke, B., & Hofmann, P. (2007). Temporal uncertainty degrades perceptual processing. *Psychonomic Bulletin and Review*, *14*, 522-526. doi: 10.3758/BF03194101
- Ruan, M., & Li, L. (2008). Influence of a horizontal approach on the mechanical output during drop jumps. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *77*, 1-9.
- Schmidtbleicher, D., & Gollhofer, A. (1982). Neuromuskuläre untersuchungen zur bestimmung individueller belastungsgroessen für ein tiefsprungtrain-Ing. *Leistungssport*, *12*, 298-307.
- Schmidtbleicher, D., & Buehrle, M. (1987). Neuronal adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. In B. Jonsson (Ed.), *Biomechanics XB* (pp. 615-620). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Santelo, M., McDonagh, M. J. N., & Chalilis, J. H. (2001). Visual and non-visual control of landing movements in humans. *Journal of Physiology*, *537*(1), 313-327.
- Shultz, S. J., Perrin, D. H., Adams, J. M., Arnold, B. L., Gansneder, B. M., & Granata, K. P., (2000). Assessment of neuromuscular response characteristics at the knee following a functional perturbation. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *10*, 159-170. doi: 10.1016/S1050-6411(00)00002-X
- Wolf, S. L., Ammerman, J., & Jann, B. (1998). Organization of responses in human lateral gastrocnemius muscle to specified body perturbations. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *8*, 11-21. doi: 10.1016/S1050-6411(97)00001-1
- Zebis, M. K., Bencke, J., Andersen, L. L., Dossing, S., Alkjaer, T., & Magnusson, S. P. (2008). The effects of neuromuscular training on knee joint motor control during side-cutting in female elite soccer and handball players. *Clinical Journal of Sport Medicine*, *18*, 329-337.



## The characteristics of muscle actions during bounce drop jump

<sup>1</sup>Jian-Zhi Lin <sup>2</sup>Chung-Yu Chen

<sup>1</sup> Department of Physical Education, National Taiwan Normal University

<sup>2</sup>Graduate School of Physical Education, National Taiwan University of Sport

*Accepted : 2016/3*

### ABSTRACT

Landing is the common landing movement during running, or stepping downstairs. The simple landing movement not only needs the supporting of the human skeletal structure, but also the mutual muscle actions of lower extremities, in order to produce the landing movement stably and smoothly. There are three phases during the landing that include pre-landing, initial contact, and descending. And the lower extremity muscle will carry out the characteristics of pre-stretch, self-protect, stretch reflex and so on. However, the lower extremities muscles play an important role during landing. The aim of this study is insight into the muscle actions during landing period through the literature reviews of the patterns of stretch-shortening-cycle. This study provides and traces the issues of jump landing for the muscle action of lower extremities.

**Key words:** muscle pre-stretch, stretch-shortening-cycle, landing