



高台落下跳躍重複施測時測驗間不同間隔休息時間之影響

¹辜靜儀、²陳思婷、²王令儀*

¹國立東華大學教育與潛能開發學系、²國立東華大學體育與運動科學學系暨碩士班

投稿日期：2019 年 05 月；通過日期：2019 年 09 月

摘要

目的：本研究欲透過 40 公分高台落下跳躍連續施測結合不同間隔休息時間探究此連續施測之實驗設計是否會對實驗結果形成自身影響。方法：以 15 名大學體育與運動科學系之非校隊之男性學生為研究對象，進行 40 公分高台落下跳躍 3 次，次間休息之操弄共分為三種：30、60、120 秒。以兩塊三軸測力板與八台光學攝影機同步擷取資料。以 SPSS for Windows 14.0 版套裝軟體進行統計分析，並以重複量數單因子變異數分析 (one-way ANOVA)，分別比較以 30、60、120 秒為高台落下跳躍連續測試次間間隔休息時間為安排時，各運動生物力學參數在三次跳躍的各次結果 (DJ₁, DJ₂, DJ₃)，以及三次結果的平均值 (DJ_m) 間是否有差異。統計顯著水準訂為 $\alpha=0.05$ 。結果：以 60 秒為次間間隔休息時間時，DJ₂ 以及 DJ_m 的最大蹬伸力量與反應肌力指數，顯著的較 DJ₁ 時大 ($p < 0.05$)，著地期時間以及膝關節屈曲、蹬伸角位移，顯著的較 DJ₁ 時小 ($p < 0.05$)。**結論：**本研究在連續三次施測的 DJ 實驗中發現，以 60 秒為次間的間隔休息時間時，測驗本身應會對最大蹬伸力量、著地期時間、反應肌力指數，以及膝關節角位移形成影響。若以 30 秒或 120 秒為次間的間隔休息時間進行連續施測，則較不易對結果參數形成影響，且以任一次跳躍之結果或以三次結果的平均數進行資料處理，應不會有差別存在。以此，可作為實驗設計或訓練安排時之參考。

關鍵詞：活化後增益作用、反應肌力指數、淨關節肌肉功率、關節角度

壹、緒論

在許多的運動項目中，下肢肌力與爆發力是影響運動表現的重要能力，例如：排球跳躍扣球、田徑跳遠蹬板等，因此，運動科學領域中有許多關於下肢肌力與爆發力的評估與訓練效益之研究，其中落下跳躍 (drop jump, DJ) 是一經常被運動生物力學研究中用於評估下肢肌力與爆發力或增強式訓練 (plyometric training) 效益的測試動作之一 (Gjinovi, Idrizovic, Uljevic, & Sekulic, 2017; Chelly, Hermassi, Shephard, 2015; Usman & Shenoy, 2015)。因運動中具爆發力的跳躍技術中多包含了肌群快速離心伸展 (eccentric) 後立即銜接快速向心收縮 (concentric) 的動作特性，即所謂的牽張—縮短循環 (stretching-shortening cycle, SSC) (Bosco, Viitasalo, Komi, & Luhtanen, 1982)。此動作主要是藉由伸肌群在離心收縮期對肌梭 (muscle spindle) 產生的牽張反射 (stretch reflex) 以及肌肉彈性元件中形成彈性能 (elastic energy) 的儲存，來增大

肌肉在向心收縮期的力量 (Bobbert et al., 1996; Bosco et al., 1982; Kawakami, Muraoka, Ito, Kanehisa, & Fukunaga, 2002; Malisoux, Francaux, Nielens, & Theisen, 2006)。而 DJ 的測試動作中，便包含了肌肉快速離心收縮，並迅速銜接快速向心收縮的歷程，故藉此動作可有效的評估運動員於 SSC 動作中的下肢肌力與爆發力特性。

在 DJ 的測驗中，有幾項常見的評估指標：跳躍高度 (jump height, JH)、最大垂直地面反作用力 (peak vertical ground reaction force, peak vGRF)、反應性力量指標 (reactive strength index, RSI)、最大淨關節肌肉功率 (peak net muscle joint power)，以及關節的運動學現象。DJ 的跳躍高度可用於評估執行 DJ 時，其高台高度的適切性以找出適當的介入強度 (Byrne, Moran, Rankin, & Kinsella, 2010)，合適的高台能有更好的跳躍高度表現。跳躍蹬伸期的 peak vGRF，通常用於評

*通訊作者：王令儀 國立東華大學體育與運動科學系
Email: tennis01@gms.ndhu.edu.tw
地址：(97401)花蓮縣壽豐鄉志學村大學路二段一號

估動態性動作中下肢最大肌力 (Bobbert, Huijing, & Van Ingen Schenau, 1987; Yeow, Lee, & Goh, 2009)。RSI 是近年漸被重視的參數，經常被用於 DJ 中評估介入效益或下肢爆發力的指標 (Barr & Nolte, 2014; Markwick, Bird, Tufano, Seitz & Haff, 2015; McClymont, 2003; Wang & Peng, 2014)，其構成要素為跳躍高度與著地時間，而較短的著地時間需有較佳的爆發力才可達成 (McClymont, 2003)，此或許是牽張速度與動作偶連時間所形成的影響 (Lin et al., 2008)。DJ 動作中的最大淨關節肌肉功率可用於評估在執行離心動作時，SSC 引發肌肉活化並改善肌肉-肌腱器對於由離心至向心動作之能量傳遞效能 (Chimera, Swanik, Swanik, & Straub, 2004; Gollhofer, Strojnik, Rapp, & Schweizer, 1992; Komi, 2000)。

過去關於 DJ 的研究中，其實驗設計中多包含了不同高台高度的介入，而每種測試高度會重複數次的施測，在實驗測試的規劃上，有的實驗在一天內完成，有的實驗則分天進行，其中，各次跳躍的測試間會有安排一致的時間做休息或沒有刻意的控制。而同一高度時常見的施測次數為 3 次 (Bobbert, Huijing, & Van Ingen Schenau, 1987; Wang & Peng, 2014; 李書維, 1998)。常見的時間休息時間為 1 分鐘 (Peng, 2011; Wang & Peng, 2014)。而實驗結果分析時，有研究採用最佳表現 (Wang & Peng, 2014; 李書維, 1998)，亦有研究採用多次之平均值 (Peng, 2011; 林政東、吳國輝, 2010)。

然而，Chen 等 (2013) 的研究中發現，在進行 1 組×5 次的 DJ 後，即可有效的增加 2 分鐘後的跳躍表現，並認為此應為活化後增益作用 (post-activation potentiation, PAP) 所產生的影響。過去研究指出，在進行劇烈運動前，進行預先活動，使肌肉組織在負重的情況之下自主收縮，可增加隨後短時間內的動作表現，此現象稱作為活化後增益作用 (Baudry & Duchateau, 2007; Chen, Wang, Peng, Yu, & Wang, 2013; Kilduff et al., 2007; McCann & Flanagan, 2010; Miarka, Del Vecchio, & Franchini, 2011; Mitchell & Sale, 2011; Miyamoto, Kanehisa, Fukunaga, & Kawakami, 2011; Sale, 2002; Baudry & Duchateau, 2007; Chen, Wang, Peng, Yu, & Wang, 2013; 陳宗榮、余清芳、彭賢德, 2015)。此外，在高強度的預先活動介入後的初期，例如：介入後的 15 秒內，亦會伴隨肌肉疲勞的現象，此期間的運動表現反呈現降低的現象 (Kilduff, Bevan, Kingsley, Owen, Bennett, Bunce, 2007; Sale, 2002)。

由此思考，在 DJ 的研究中，於實驗時的數次重複施測，是否會導致此測驗動作本身於實驗過程中便產生活化後增益，進而增進重複測驗時的 DJ 表現，此應釐清。故本研究欲探討，於 DJ 研究中，實驗設計若安排連續數次的施測，是否會對此重複測驗過程中的 DJ 表現形成影響，並探究此重複施測時不同間隔休息時間之安排是否有所差異，期可釐清此重複施測對於實驗結果的影響，並提供未來相關研究於實驗設計時一參考的依據。本研究假設，DJ 的重複施測，會在測驗的過程中對下肢肌力與爆發力表現形成影響。

貳、研究方法

一、研究對象

本研究以 15 名大專體育系之男性學生為研究對象，其年齡：19.5 ± 0.7 歲，身高：172.7 ± 4.2 公分，體重：64.7 ± 4.9 公斤。受試者在實驗前六個月內無下肢受傷經驗，亦無做過下肢傷害或腿型校正手術。參與本實驗前，皆會被告知參與的實驗內容、流程以及注意事項，瞭解後簽署研究參與者知情同意書，同意且確認符合參與本實驗條件。

二、資料蒐集與場地佈置

本研究測試之動作為 DJ，參與者從 40 公分高台自然落下，要求其雙腳一碰觸測力板後便盡可能以自身最快的速度朝上躍起，且進行最大努力的跳躍，待雙腳再次落於測力板上，自然緩衝後保持身體平穩站立。動作期間雙手皆叉腰，且躍起後著地時需落在測力板內才算完成該次動作。本研究進行 DJ 三次重複跳躍測驗，並安排 30 秒、60 秒與 120 秒，此三種不同的次間休息時間，亦即，每種休息時間之設計時，都將進行三次 DJ 動作，故總計測驗 9 次。每位受試者皆於同一天完成三種休息時間之 DJ 測試，三種不同休息時間之測試間間隔 6 分鐘，並依平衡次序法安排，本研究中有 15 位受試者以及三種不同休息時間，故 1-5 位受試者進行休息時間 30 秒、60 秒、120 秒之順序；6-10 位受試者進行 60 秒、120 秒、30 秒之順序，11-15 位進行 120 秒、30 秒、60 秒之順序，而受試者進行的順序則由受試者當場抽籤後直接進行。本研究選擇 40 公分為下落高度，是參考過去研究建議 40 公分是適宜的 DJ 高度 (Peng, 2011; Wang & Peng, 2014)，而以 6 分鐘作為三種不同休息時間測試間的時間間隔是參考 Chen 等 (2013) 的研究，在連續 DJ 後的 6 分鐘，PAP 效益便不會存在。

三、資料處理

每位受試者皆擷取其三種休息時間之三次DJ結果進行影像與地面反作用力的資料處理與分析，並統一採用慣用腳的實驗資料，而慣用腳是以踢球的腳為判斷 (Kramer & Balsor, 1990)。將QTM所擷取之資料以C3D檔傳至The MotionMonitor (MotionMonitorTM, Innovative Sports Training, TMM) 動作分析軟體進行運動學與動力學的資料處理。運動學資料以5Hz的Butterworth低通濾波進行修勻 (Sell et al., 2007)。測力板測得之地面反作用力採Butterworth filter 50 Hz 低通濾波進行修勻。本研究定義地面反作用力大於10牛頓時為著地瞬間，小於10牛頓時為離地瞬間。計算高台下落後著地瞬間 (t_1) 至離地瞬間 (t_2) 為著地期時間： $T_{contact}=t_2-t_1$ 。並以離地瞬間 (t_2) 至跳躍後著地瞬間 (t_3) 之騰空時間： $T_{flight}=t_3-t_2$ ，以自由落體公式換算出跳躍高度： $JH=g T_{flight}^2/8$ ($g = 9.81m/s^2$)。以跳躍高度與著地期時間計算反應性力量指標： $RSI=JH/ T_{contact}$ (McClymont, 2003)。並定義著地瞬間至關節最大彎屈期間之關節角位移為關節屈曲角位移，關節最大彎屈至離地瞬間期間之關節角位移為關節蹬伸角位移。此外，擷取著地期最大垂直推蹬力、最大伸肌向心功率。所得之力量參數以體重進行標準化，單位為BW，高度參數以身高進行標準化，單位為BH。

四、統計分析

本研究以重複量數單因子變異數分析 (One-way ANOVA) 分別比較30秒、60秒，與120秒三種休息時間時：DJ₁、DJ₂、DJ₃，以及三次的平均值DJ_m間，最大蹬伸力、跳躍高度、著地期時間、RSI、關節屈曲與蹬伸角位移、最大伸肌力向心功率等，各參數間是否有顯著差異，若主要效果達顯著，則進一步以LSD法進行事後比較。統計水準定為 $\alpha=0.05$ 。

參、結果

本研究所得最大推蹬力結果顯示 (表1)，休息30秒與120秒時，主要效果未達顯著 ($p = 0.870, p = 0.642$)。休息60秒時，主要效果達顯著 ($p < 0.05$)，進一步由事後比較得知，DJ₂, DJ_m > DJ₁。

本研究所得跳躍高度結果顯示 (表2)，休息30秒、60秒以及120秒時，主要效果皆未達顯著 ($p = 0.323, p = 0.208, p = 0.758$)。

本研究所得著地期時間結果顯示 (表3)，休息30秒和120秒時，主要效果皆未達顯著 ($p = 0.908, p = 0.634$)。休息60秒時，主要效果達顯著 ($p = 0.024$)，進

一步由事後比較得知，DJ₁ > DJ₂, DJ_m。

表1、最大推蹬力 (BW)

| | DJ ₁ | DJ ₂ | DJ ₃ | DJ _m | 事後比較 |
|-----|---------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 休息 | 2.22 ± | 2.21 ± | 2.26 ± | 2.23 ± | |
| 30秒 | 0.68 | 0.59 | 0.59 | 0.60 | |
| 休息 | 2.04 ± | 2.26 ± | 2.17 ± | 2.16 ± | DJ ₂ , |
| 60秒 | 0.42 ^{b,d} | 0.62 ^a | 0.55 | 0.51 ^a | DJ _m > |
| | | | | | * |
| | | | | | DJ ₁ |
| 休息 | 2.23 ± | 2.16 ± | 2.13 ± | 2.17 ± | |
| 120 | 0.63 | 0.61 | 0.59 | 0.57 | |
| 秒 | | | | | |

*表示主要效果達顯著差異， $p < 0.05$ 。a表示與DJ₁達顯著差異， $p < 0.05$ 。b表示與DJ₂達顯著差異， $p < 0.05$ 。d表示與DJ_m達顯著差異， $p < 0.05$ 。

表2、跳躍高度 (BH)

| | DJ ₁ | DJ ₂ | DJ ₃ | DJ _m | 事後比較 |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| 休息 | 0.17 ± | 0.17 ± | 0.17 ± | 0.17 ± | |
| 30秒 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | |
| 休息 | 0.16 ± | 0.17 ± | 0.17 ± | 0.17 ± | |
| 60秒 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | |
| 休息 | 0.17 ± | 0.17 ± | 0.17 ± | 0.17 ± | |
| 120秒 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | |

表3、著地期時間 (sec)

| | DJ ₁ | DJ ₂ | DJ ₃ | DJ _m | 事後比較 |
|-----|---------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 休息 | 0.25 ± | 0.25 ± | 0.25 ± | 0.25 ± | |
| 30秒 | 0.07 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | |
| 休息 | 0.26 ± | 0.24 ± | 0.26 ± | 0.25 ± | DJ ₁ > |
| 60秒 | 0.07 ^{b,d} | 0.06 ^a | 0.07 | 0.07 ^a | DJ ₂ , |
| | | | | | * |
| | | | | | DJ _m |
| 休息 | 0.25 ± | 0.26 ± | 0.26 ± | 0.26 ± | |
| 120 | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | |
| 秒 | | | | | |

*表示主要效果達顯著差異， $p < 0.05$ 。a表示與DJ₁達顯著差異， $p < 0.05$ 。b表示與DJ₂達顯著差異， $p < 0.05$ 。d表示與DJ_m達顯著差異， $p < 0.05$ 。

本研究所得RSI結果顯示 (表4)，休息30秒和120秒時，主要效果皆未達顯著 ($p = 0.474, p = 0.503$)。休息60秒時，主要效果達顯著 ($p = 0.026$)，進一步由事後比較得知， $DJ_2, DJ_m > DJ_1$ 。

表4、反應肌力指數 (RSI) (BH/sec)

| | DJ ₁ | DJ ₂ | DJ ₃ | DJ _m | 事後比較 |
|------|---------------------|-------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|
| 休息 | 0.69 ± | 0.73 ± | 0.73 ± | 0.72 ± | |
| 30秒 | 0.18 | 0.21 | 0.19 | 0.18 | |
| 休息 | 0.65 ± | 0.75 ± | 0.71 ± | 0.70 ± | DJ ₂ , |
| 60秒* | 0.14 ^{b,d} | 0.24 ^a | 0.18 | 0.17 | DJ _m > DJ ₁ |
| 休息 | 0.72 ± | 0.69 ± | 0.67 ± | 0.69 ± | |
| 120秒 | 0.19 | 0.19 | 0.15 | 0.16 | |

*表示主要效果達顯著差異， $p < 0.05$ 。a表示與DJ₁達顯著差異， $p < 0.05$ 。b表示與DJ₂達顯著差異， $p < 0.05$ 。d表示與DJ_m達顯著差異， $p < 0.05$ 。

本研究所得髌、膝與踝關節最大伸肌向心功率結果顯示 (表5)，髌關節結果在休息30秒、60秒以及120秒時，主要效果皆未達顯著 ($p = 0.811, p = 0.216, p =$

0.481)。膝關節結果在休息30秒、60秒以及120秒時，主要效果皆未達顯著 ($p = 0.115, p = 0.703, p = 0.459$)。踝關節結果在休息30秒、60秒以及120秒時，主要效果皆未達顯著 ($p = 0.871, p = 0.122, p = 0.186$)。

本研究所得髌、膝與踝關節屈曲及蹬伸角位移結果顯示 (表6)，髌關節屈曲角位移的結果在休息30秒、60秒以及120秒時，主要效果皆未達顯著 ($p = 0.096, p = 0.304, p = 0.918$)。膝關節屈曲角位移結果中，休息30秒和120秒時，主要效果皆未達顯著 ($p = 0.506, p = 0.589$)。休息60秒時，主要效果達顯著 ($p = 0.012$)，進一步由事後比較得知， $DJ_1 > DJ_m > DJ_2$ 。踝關節屈曲角位移的結果在休息30秒與120秒時，主要效果未達顯著 ($p = 0.514, p = 0.959$)。踝關節屈曲角位移的結果在休息60秒時，主要效果達顯著 ($p = 0.004$)，由事後比較得知， $DJ_1 > DJ_2, DJ_3, DJ_m$ 。髌關節蹬伸角位移的結果在休息30秒、60秒以及120秒時，主要效果皆未達顯著 ($p = 0.727, p = 0.662, p = 0.563$)。膝關節蹬伸角位移結果中，休息30秒和120秒時，主要效果皆未達顯著 ($p = 0.826, p = 0.775$)。休息60秒時，主要效果達顯著 ($p = 0.012$)，進一步由事後比較得知， $DJ_1 > DJ_m > DJ_2$ 。踝關節蹬伸角位移的結果在休息30秒、60秒以及120秒時，主要效果皆未達顯著 ($p = 0.984, p = 0.476, p = 0.081$)。

表5、最大伸肌向心功率 (W/BW)

| | DJ ₁ | DJ ₂ | DJ ₃ | DJ _m | 事後比較 |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| <u>髌關節</u> | | | | | |
| 休息30秒 | 0.23 ± 0.11 | 0.22 ± 0.11 | 0.23 ± 0.09 | 0.22 ± 0.10 | |
| 休息60秒 | 0.20 ± 0.12 | 0.23 ± 0.11 | 0.22 ± 0.11 | 0.22 ± 0.11 | |
| 休息120秒 | 0.24 ± 0.11 | 0.23 ± 0.12 | 0.22 ± 0.12 | 0.23 ± 0.11 | |
| <u>膝關節</u> | | | | | |
| 休息30秒 | 0.55 ± 0.16 | 0.55 ± 0.15 | 0.58 ± 0.16 | 0.56 ± 0.15 | |
| 休息60秒 | 0.57 ± 0.16 | 0.56 ± 0.17 | 0.54 ± 0.16 | 0.55 ± 0.15 | |
| 休息120秒 | 0.54 ± 0.17 | 0.53 ± 0.15 | 0.51 ± 0.17 | 0.53 ± 0.16 | |
| <u>踝關節</u> | | | | | |
| 休息30秒 | 0.55 ± 0.16 | 0.55 ± 0.15 | 0.58 ± 0.15 | 0.56 ± 0.15 | |
| 休息60秒 | 0.57 ± 0.16 | 0.56 ± 0.17 | 0.54 ± 0.16 | 0.55 ± 0.15 | |
| 休息120秒 | 0.54 ± 0.17 | 0.53 ± 0.15 | 0.51 ± 0.17 | 0.53 ± 0.16 | |

表6、關節角位移 (度)

| | DJ ₁ | DJ ₂ | DJ ₃ | DJ _m | 事後比較 |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------|---|
| <u>腕關節屈曲角位移</u> | | | | | |
| 休息30秒 | 12.06 ± 7.99 | 14.84 ± 11.52 | 13.14 ± 9.22 | 13.35 ± 9.26 | |
| 休息60秒 | 13.39 ± 8.52 | 12.41 ± 8.42 | 14.14 ± 9.65 | 13.31 ± 8.53 | |
| 休息120秒 | 13.65 ± 8.75 | 13.14 ± 11.12 | 13.85 ± 8.46 | 13.55 ± 9.09 | |
| <u>膝關節屈曲角位移</u> | | | | | |
| 休息30秒 | 40.18 ± 11.46 | 41.84 ± 11.89 | 40.15 ± 9.01 | 40.73 ± 10.30 | |
| 休息60秒* | 43.01 ± 7.03 ^{b,d} | 38.52 ± 10.25 ^{a,d} | 40.86 ± 10.09 | 40.80 ± 8.56 ^{a,b} | DJ ₁ > DJ _m > DJ ₂ |
| 休息120秒 | 41.30 ± 10.41 | 41.27 ± 13.44 | 43.12 ± 9.80 | 41.89 ± 10.54 | |
| <u>踝關節屈曲角位移</u> | | | | | |
| 休息30秒 | 33.02 ± 5.98 | 30.88 ± 7.12 | 32.13 ± 8.54 | 32.01 ± 6.27 | |
| 休息60秒 | 34.08 ± 5.85 | 31.03 ± 6.10 | 29.93 ± 7.83 | 31.68 ± 5.93 | |
| 休息120秒 | 32.65 ± 6.12 | 33.22 ± 5.65 | 33.22 ± 8.06 | 33.03 ± 5.85 | |
| <u>腕關節蹬伸角位移</u> | | | | | |
| 休息30秒 | 34.62 ± 11.89 | 34.74 ± 10.97 | 33.71 ± 10.41 | 34.36 ± 10.78 | |
| 休息60秒 | 34.28 ± 10.31 | 33.50 ± 10.02 | 34.84 ± 10.98 | 34.21 ± 10.03 | |
| 休息120秒 | 36.73 ± 9.95 | 34.90 ± 13.07 | 36.12 ± 9.63 | 35.92 ± 10.41 | |
| <u>膝關節蹬伸角位移</u> | | | | | |
| 休息30秒 | 54.91 ± 11.23 | 56.07 ± 9.62 | 55.21 ± 8.16 | 55.39 ± 9.11 | |
| 休息60秒* | 57.59 ± 9.74 ^{b,d} | 53.28 ± 9.58 ^{a,d} | 56.03 ± 10.54 | 55.64 ± 9.37 ^{a,b} | DJ ₁ > DJ _m > DJ ₂ |
| 休息120秒 | 56.96 ± 9.45 | 58.12 ± 12.24 | 57.94 ± 11.24 | 57.67 ± 10.59 | |
| <u>踝關節蹬伸角位移</u> | | | | | |
| 休息30秒 | 49.68 ± 4.52 | 49.38 ± 7.36 | 49.70 ± 5.28 | 49.58 ± 5.29 | |
| 休息60秒 | 51.14 ± 4.70 | 50.83 ± 5.27 | 50.08 ± 4.71 | 50.68 ± 4.53 | |
| 休息120秒 | 51.34 ± 5.30 | 51.82 ± 5.00 | 50.07 ± 5.32 | 51.08 ± 4.87 | |

*表示主要效果達顯著差異， $p < 0.05$ 。a表示與DJ₁達顯著差異， $p < 0.05$ 。b表示與DJ₂達顯著差異， $p < 0.05$ 。d表示與DJ_m達顯著差異， $p < 0.05$ 。

肆、討論

DJ動作的運動生物力學特性是一常被探究的研究議題，透過不同的實驗設計，如：高台高度變化 (Peng, 2011)、不同訓練強度 (de Villarreal, Gonzalez-Badillo, & Izquierdo, 2008)，以及不同著地形式 (Wang & Peng, 2014) 等操弄，分析跳躍高度、peak vGRF、RSI、最大淨關節肌肉功率等參數，以了解訓練效益。而這些研究在實驗設計時通常會將DJ動作重複、連續測試3次，次間有不同的休息時間安排，甚至有的實驗沒有固定的間隔休息時間，然而，此動作本身有可能會引發PAP效益 (Chen et al., 2013)，造成結果的改變部分來自於實驗操弄外的影響，即測驗 (testing) 對內在效度形成威脅。本研究透過連續3次DJ測驗，並分別進行三種休息時間的規劃 (30秒、60秒以及120秒)，發

現在休息時間為60秒時，連續施測的實驗設計應會對實驗結果形成影響。

推蹬期的地面反作用力峰值是一經常被用於評估DJ的增強式訓練效益、訓練強度的參數 (Wang & Peng, 2014)。本研究所得之蹬伸期 peak vGRF為2.04 ~ 2.29倍體重，與 Bobbert 等 (1987) 的研究結果相似，亦與林政東、陳全壽、劉宇與趙峻郁等 (2000) 在40公分DJ中所得之研究結果呼應。而本研究發現，在三次連續測驗時，若以60秒為間隔休息時間，第二次跳的蹬伸期 peak vGRF 會出現顯著增大的結果，故而使得三次結果的平均值亦會增大。因此，本研究推論在此連續測試的實驗設計中，以60秒為間隔休息時間時，應會使得測驗本身對此一評估下肢整體肌力表現的結果參數形成影響，使得動作期間有較佳的下肢肌力表現。

運動中為了要產生較佳的跳躍高度，需藉由較大下肢肌力與爆發力增大動作期間衝量的累積形成較大的離地速度 (劉宇, 2000)。因此，在DJ的研究中跳躍高度亦是一經常被用於評估訓練效益與評估適當強度的參數 (Wang & Peng, 2014)。本研究所得之跳躍高度大約0.17倍身高與Wang & Peng (2014) 的研究結果 33.34 ± 5.53 公分 (受試者身高： 1.74 ± 0.05 公尺) 相似。本研究中，在三種不同間隔休息時間的三次連續DJ測驗中，並未對跳躍高度形成影響。雖然過去研究指出在增強式跳躍後有助於立即提升隨後的下蹲跳表現 (Tobin & Delahunt, 2014; Chen et al., 2013; 陳宗榮等 2012)，但有一些研究以類似的實驗設計執後並未發現有活化後增益作用的現象 (Batista, Roschel, Barroso, Ugrinowitsch, & Tricoli, 2011; Ebben, Jensen, & Blackard, 2000; Scott & Docherty, 2004)，在Kilduff 等 (2007) 的研究發現，預先執行3RM蹲舉運動後反而無助於下蹲跳的運動表現。而本研究依所得之結果推論，在此連續測試的實驗設計中，測驗本身對跳躍高度此一經常用於評估適宜的訓練強度之指標並無形成干擾。在DJ動作中，較短的著地時間需要較大的爆發力，因此，DJ研究中著地時間，以及反應性力量指標 (RSI) 是近年常被用來評估下肢爆發力表現的參數 (Barr & Nolte, 2014; Markwick, Bird, Tufano, Seitz, & Haff, 2015; McClymont, 2003; Wang & Peng, 2014)。Walsh, Arampatzis, Schade, & Brüggemann 等 (2004) 指出較短的著地時間，可有較好的跳躍表現。本研究所得之著地時間為0.25~0.27秒，與Walsh 等 (2004) 的研究結果 0.218 ± 0.02 秒相似。而本研究結果發現，在三次連續測驗時，若以60秒為間隔休息時間，第二次跳的著地時間會出現顯著減少的結果，故而使得三次結果的平均值亦會變小。而RSI為最大跳躍高度與著地時間的比值，亦即，跳躍高度越大，著地時間越短，RSI 值就越大。Byrne 等 (2010) 的研究更是藉由RSI 來測量個別化的DJ 最適高度。本研究結果所得之RSI 為0.65~0.75 BH/sec，與 Wang & Peng (2014) 研究所得之RSI 48.94 ± 11.30 cm/s (受試者身高： 1.74 ± 0.05 公尺) 相似。而研究結果發現，在三次連續測驗時，若以60秒為間隔休息時間，第二次跳的RSI會顯著的增大，故而使得三次結果的平均值亦會增大，此應為著地時間減少所形成的結果。因此，本研究推論在此連續測試的實驗設計中，若以60秒為間隔休息時間時，應會使得測驗本身對此一評估下肢整體爆發力表現的結果參數形成影響，使得動作期間有較佳的

下肢爆發力表現。

因DJ具有SSC的特性，在著地階段透過高台高度可增加著地時對肌梭形成的刺激，增大此肌肉離心收縮的反向動作期間肌肉的牽張反射效果，可增大蹬伸階段肌肉參與動作的程度，有利於提升肌力與爆發力之表現及訓練效果 (Bobbert et al., 1987; Markovic, 2007; Peng, 2011)。在運動生物力學研究中，會透過動力學逆過程所得之淨關節肌肉功率來推估各關節肌群參與動作的程度 (Winter, 2005)。過去研究便藉由DJ動作中下肢肌群的最大向心功率來評估訓練時的適宜強度，並發現DJ中，當高台高度超過40公分時踝、膝關節的最大向心功率便會降低，因此建議，進行DJ訓練時高台高度不宜超過40公分 (Peng, 2011; Wang & Peng, 2014)。本研究中，在三種不同間隔休息時間的三次連續DJ測驗中，並未對最大淨關節肌肉功率形成影響。

下肢運動學特性可分析其動作型態，本研究結果發現，在三次連續測驗時，若以60秒為間隔休息時間，第二次跳時膝關節會呈現顯著較小的角位移，故而使得三次結果的平均值亦會變小。搭配前述之結果可知，其以較小的膝關節活動，便可形成相同的跳躍高度。過去研究指出，關節活動較小的淺蹲跳可產生較大的向心力量與爆發力 (林政東、劉宇、呂宏進, 2000)，在本研究中推蹬力與反應肌力指數的結果也可得到呼應。Arampatzis 等 (2001) 的研究中探究不同著地時間的DJ，發現當著地時間減少時，下肢勁度會隨之增大。而本研究，在以60秒為間隔休息時間時的結果出現了較小的下蹲活動範圍、較大的地面反作用力，此皆對勁度的增大應有正向的影響。

伍、結論

綜合上述之結果與討論，本研究在連續三次施測的DJ實驗中發現，在以60秒為次間的間隔休息時間時，測驗本身應會對最大蹬伸力量、著地時間、RSI，以及膝關節的角位移等產生影響，此些經常被用於評定實驗介入效益之結果參數形成影響，此可能是因為DJ測驗本身所引發的PAP效益，造成依變項的增進，即測試 (testing) 對內在效度形成的威脅。此外，本研究結果亦顯示，若以30秒或120秒為次間的間隔休息時間時，連續施測的實驗設計則不會對結果參數形成影響，應為此較短或較長的時間間隔時無法形成PAP效應，故以任一次跳躍之結果或以三次結果的平均數進行資料處理，應不會有差別存在。於此，若從實驗設計的角度

度來看，建議在連續DJ施測的實驗設計中，應避免以60秒為間隔休息時間，導致於測試中產生了非該實驗中欲探究的PAP效益，或實驗的次間休息時間需控制相同，使此效益之影響一致。此外，若從訓練的面向來看，進行40公分高台的DJ訓練時，則建議可採60秒為間隔休息時間，達到較好的肌力與爆發力訓練效果。未來可進一步透過肌電圖的輔助，藉此對PAP效益的釐清可以更為的深入。

陸、參考文獻

- 李書維 (1998)。不同高度著地反彈跳與垂直跳之生物力學分析。《大專體育》，40，87-92。
- 林正常 (2009)。運動生理學。臺北市：師大。
- 林政東、吳國輝 (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。
- 林政東、陳全壽、劉宇、趙峻郁 (2000)。兩種不同牽張幅度深跳練習的二階段肌電現象之比較。《體育學報》，28，329-338。
- 林政東、劉宇、呂宏進 (2000)。不同牽張幅度深跳練習對於 SSC 控制變數與運動表現之影響。《大專體育》，50，38-43。
- 陳宗榮、王宇涵、翁明嘉、李鴻棋、李清棋、王敏憲、余清芳、彭賢德 (2012)。比較增強式訓練與阻力訓練對垂直跳表現之立即性影響。《華人運動生物力學期刊》，(7)，206-210。
- 陳宗榮、余清芳、彭賢德 (2015)。骨骼肌活化後增益效應的介紹與探討。《運動教練科學》，38，83-94。
- 劉宇 (2000)。《生物力學原理》。載於許樹淵 (主編)，運動力學 (69-78)。
- Arampatzis, A., Schade, F., Walsh, M. & Brüggemann G.-P. (2001). Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 11, 355-364.
- Barr, M. J., & Nolte, V. W. (2014). The importance of maximal leg strength for female athletes when performing drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28, 373-380.
- Batista, M., Roschel, H., Barroso, R., Ugrinowitsch, C., & Tricoli, V. (2011). Influence of strength training background on postactivation potentiation response. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2496-2502.
- Baudry, S., & Duchateau, J. (2007). Postactivation potentiation in a human muscle: Effect on the rate of torque development of tetanic and voluntary isometric contractions. *Journal of Applied Physiology*, 102(4), 1394-1401.
- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G. M., Litjens, M. C. A., & van Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(11), 1402-1412.
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A. & Van Ingen Schenau, G. J. (1987). Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(4), 339-346.
- Bosco, C., J.T. Viitasalo, P.V. Komi, & P. Luhtanen. (1982). Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch shortening cycle exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114(4), 557-565.
- Byrne PJ, Moran K, Rankin P, Kinsella S. (2010). A comparison of methods used to identify 'optimal' drop height for early phase adaptations in depth jump training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 2050-2055
- Chelly MS, Hermassi S, Shephard R J. (2015). Effects of in-season short-term plyometric training program on sprint and jump performance of young male track athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 2128-2136.
- Chen, Z. R., Wang, Y. H., Peng, H. T., Yu, C. F., & Wang, M. H. (2013). The acute effect of drop jump protocols with different volumes and recovery time on countermovement jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 154-158.
- Chimera NJ, Swanik KA, Swanik CB, Straub SJ. (2004). Effects of plyometric training on muscle-activation strategies and performance in female athletes. *Journal of Athletic Training*, 39, 24-31.
- de Villarreal, E. S. S., Gonzalez-Badillo, J. J., & Izquierdo, M. (2008). Low and moderate plyometric training frequency produces greater jumping and sprinting gains compared with high frequency. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 715-725.

- Ebben, W. P., Jensen, R. L., & Blackard, D. O. (2000). Electromyographic and kinetic analysis of complex training variables. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(4), 451–456.
- Gjinovi, B., Idrizovic, K., Uljevic, O. & Sekulic, D. (2017). Plyometric training improves sprinting, jumping and throwing capacities of high level female volleyball players better than skill-based conditioning. *Journal of Sports Science and Medicine*, 16, 527–535.
- Gollhofer A, Strojnik V, Rapp W, Schweizer L. (1992). Behavior of triceps surae muscle-tendon complex in different jump conditions. *European Journal of Applied Physiology*, 64, 283–291.
- Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME (1990). Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *Journal of Orthopaedic Research*, 8, 383–39
- Kawakami Y, Muraoka T, Ito S, Kanehisa H, and Fukunaga T. (2002). In vivo muscle fibre behaviour during counter-movement exercise in humans reveals a significant role for tendon elasticity. *Journal of Physiology*, 540, 635–646.
- Kilduff, L. P., Bevan, H. R., Kingsley, M. I., Owen, N. J., Bennett, M. A., Bunce, P. J., et al. (2007). Postactivation potentiation in professional rugby player: Optimal recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1134–1138.
- Komi PV. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33, 1197–1206
- Kramer J. F. & Balsor B.E. (1990). Lower extremity preference and knee extensor torques in intercollegiate soccer players. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 15(3), 180–184.
- Lin, J. D., Liu, Y., Lin, J. C., Tsai, F. J., & Chao, C. Y. (2008). The effects of different stretch amplitudes on electromyographic activity during drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 32–39.
- M. P. Kadaba, H. K. Ramakrishnan, & M. E. Wootten (1990). Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *Journal of Orthopaedic Research*, 8(3), 383–392.
- Malisoux L, Francaux M, Nielens H, & Theisen D. (2006). Stretch-shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance power output of human single muscle fibers. *Journal of Applied Physiology*, 100(3), 771–779.
- Markovic, G., Jukic, I., Milanovic, D., & Metikos, D. (2007). Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 543–549.
- Markwick WJ, Bird SP, Tufano JJ, Seitz LB, Haff GG. (2015). The intraday reliability of the reactive strength index (RSI) calculated from a drop jump in professional men's basketball. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10, 482–488.
- McCann, M. R., & Flanagan, S. P. (2010). The effects of exercise selection and rest interval on postactivation potentiation of vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1285–1291.
- McClymont D. (2003). Use of the **reactive strength index**(RSI) as an indicator of plyometric training conditions. In: Reilly T, Cabri J, Araújo D (Eds.), *Science and Football V* (pp. 408–416). Lisbon, Portugal.
- Miarka, B., Del Vecchio, F. B., & Franchini, E. (2011). Acute effects and postactivation potentiation in the special judo fitness test. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 427–431.
- Mitchell, C. J., & Sale, D. G. (2011). Enhancement of jump performance after a 5-RM squat is associated with postactivation potentiation. *European Journal of Applied Physiology*, 111(8), 1957–1963.
- Miyamoto, N., Kanehisa, H., Fukunaga, T., & Kawakami, Y. (2011). Effect of postactivation potentiation on the maximal voluntary isokinetic concentric torque in humans. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 186–192.
- Peng, H. T. (2011). Changes in biomechanical properties during drop jumps of incremental height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2510–2518.
- Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: Role in

- human performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(3), 138–143.
- Scott, S. L., & Docherty, D. (2004). Acute effects of heavy pre-loading on vertical and horizontal jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 201–205.
- Sell, T.C., Ferris, C.M., Abt, J.P., Tsai, Y.S., Myers, J.B., Fu, F.H. & Lephart, S.M. (2007). Predictors of proximal tibia anterior shear force during a vertical stop-jump. *Journal of Orthopaedic Research*, 25, 1589–1597.
- Tobin, D. P., & Delahunt, E. (2014). The acute effect of a plyometric stimulus on jump performance in professional rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), 367–372.
- Turki O., Chaouachi A., Drinkwater E.J., Chtara M., Chamari K., Amri M., Behm D.G. (2011). Ten minutes of dynamic stretching is sufficient to potentiate vertical jump performance characteristics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 2453–2463
- Usman T, Shenoy K. (2015). Effects of lower body plyometric training on vertical jump performance and pulmonary function in male and female collegiate volleyball players. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, 4(2), 9–19
- Walsh M, Arampatzis A, Schade F, and Brüggemann G-P. (2004). The effect of drop jump starting height on contact time, work performed and moment of force. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18, 561–566.
- Wang LI, Peng HT. (2014). Biomechanical comparisons of single- and double-legged drop jumps with changes in drop height. *International Journal of Sports Medicine*, 35, 522–527.
- Wang, L. I., & Peng, H. T. (2014). Biomechanical comparisons of single- and double-legged drop jumps with changes in drop height. *International Journal of Sports Medicine*, 35(6), 522–527.
- Winter, D. A. (2005). *Biomechanics and motor control of human movement* (3th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Yeow CH, Lee PVS, Goh JCH. (2009). Effect of landing height on frontal plane kinematics, kinetics and energy dissipation at lower extremity joints. *Journal of Biomechanics*, 42(12), 1967–1973.



The Interfering Effects of Lengths of Rest for Repeatedly-Tested Drop Jumps

¹Chin-Yi Gu, ²Szu-Ting Chen, ²Li-I Wang*

¹ Department of Education and Human Potentials Development National Dong Hwa University

²Department of Physical Education and Kinesiology, National Dong Hwa University, Hualien, Taiwan

Accepted : 2019/09

ABSTRACT

Purpose: The current study is dedicated to exploring whether the lengths of rests between tests interfere with internal validity of the experiment. Drop jumps from a 40-cm-high platform were discussed in this study. Method: 15 male non-varsity-team undergraduate students from PE department performed drop jumps 3 times repeatedly. Rests between tests were set to be 30 seconds, 60 seconds, and 120 seconds per the purpose of the current study. Kinematic and ground reaction force data were collected using 8 optical cameras and 2 force platforms. A repeated-measure one-way ANOVA was adopted to examine whether the biomechanical parameters were statistically different across drop jumps with different lengths of rests (DJ₁, DJ₂, DJ₃) and between the means of them (DJ_m). Significance level was set to $\alpha=0.05$. **Results:** For tests with 60-sec rest, the peak ground reaction forces and reactive strength indices for DJ₂ and DJ_m were significantly greater than those for DJ₁ ($p<0.05$); the contact times and the angular changes among lower limb joints during squatting and extending phase for DJ₂ and DJ_m were significantly smaller than those for DJ₁ ($p<0.05$). **Conclusion:** Our findings indicate that for tests with 60-sec rest, the peak ground reaction forces, reactive strength indices, the contact times, and the angular changes among lower limb joints during squatting and extending phase were significantly different. In other words, to avoid unnecessary interference, tests with 30-sec or 120-sec rests were recommended for experiment designs with repeated drop jumps from a 40-cm-high platform. Moreover, DJ₁, DJ₂, DJ₃ and DJ_m collected from tests with 30-sec or 120-sec rests are more likely to be interference-free for analyses.

Keywords: post-activation potentiation, RSI, peak net muscle joint power, joint angles.