

不同雙手支撐寬度及落下高度增強式伏地挺身之生物力學分析 The biomechanical analysis of plyometric push-up with different support widths and drop heights of the reinforced hands

^{1,2} 黃宇平 Yu-Ping Huang² 許善凱 Shan-Kai Hsu^{2,3} 彭賢德 Hsien-Te Peng³ 沈啓賓 Chi-Pin Hsen³ 張富貴 Fuh-Guey Chang^{*}

¹ 南通大學體育科學學院 School of Sports Science, Nantong University

² 中國文化大學運動教練研究所 Graduate School of Sport Coaching Science, Chinese Culture University

³ 中國文化大學體育學系 Department of Physical Education, Chinese Culture University

投稿日期: 2018 年 7 月; 通過日期: 2018 年 10 月

摘 要

緒論: 藉由不同雙手支撐寬度與不同落下高度之增強式伏地挺身動作, 分析其上肢動力學與運動學參數的改變, 以期達到較佳之訓練效果。**方法:** 15 名甲組網球、桌球與拳擊隊運動員為受試對象, 使用 11 部 Motion 攝影機、2 個 AMTI 測力板同步和自製 3 個不同高度的台子來完成實驗。統計方面以 SPSS 18.0 重複量數 2×3 two-way ANOVA 來進行分析。**結果:** 上肢角度在伏地挺身動作寬度變窄時, 會使著地瞬間肘屈、腕伸角度減小、肘屈角度最大值增加、肘與腕關節角速度增加、支撐時間減少、著地碰撞力與推蹬力增加, 而落下高度要達到 20 公分, 碰撞力與肘與腕關節角速度才會顯著增加。**結論:** 改變雙手支撐寬度與落下高度的增強式伏地挺身, 確實會造成動力學與運動學參數的改變, 手肘部分是整體動作的關鍵所在, 可藉由調整雙手支撐寬度為主, 落下高度為輔的方式進行訓練強度的調整。落下高度越高會形成較大的碰撞力與角速度, 對增加訓練強度是有幫助的, 但強度太大或許也可能會形成運動傷害。

關鍵詞: 運動生物力學、增強式訓練、角速度

壹、緒論

伏地挺身 (push-up) 是一種用來鍛鍊上肢肌肉的方式, 透過上肢推撐自身體重達到訓練的效果, 可以用來評估肌肉的表現或作為運動訓練的一種方式 (Cogley, Archambault, Fibeger, & Koverman, 2005)。對於體重較輕的人上肢的負荷比較小, 反之體重較重的人負荷較大, 動作的技巧容易學習, 運動的強度也容易調整, 適合不同身體適能水準的運動選手運用 (Gouvali & Boudolos, 2005)。過去的研究指出使用雙手較窄距離做伏地挺身, 會減少肱三頭肌的參與 (Cogley et al., 2005), 相反的使用雙手較寬距離做伏地挺身, 會減少胸大肌的參與 (Khazei, 1994)。總之, 由於伏地挺身不受於場地、器材、時間、金錢的限制, 是一個方便且簡單訓練上肢的方式, 並且非常受到大眾歡迎 (García-Massó et al., 2011), 除了運用在肌力訓練計畫內 (Faigenbaum et al., 2007), 還可以當作復健的一種方法來使用。

增強式訓練 (plyometrics training) 通常用來訓練年輕運動員 (Myer, Ford, Palumbo, & Hewett, 2005), 其主要目的是改善肌肉力量, 並且增強關於肌肉牽張—收縮循環的運動表現 (Flanagan & Comyns, 2008) 以防止運動傷害。此訓練方法最常使用自身的重量來完成而不是依靠器械地協助 (Vossen, Kramer, Burke, & Vossen, 2000)。下肢活動的增強式訓練, 在現今的許多研究包含, 如: 箱跳 (Blackburn & Pagua, 2009; Ebben, Simenz, & Jensen, 2008)、蹲跳 (Ebben, Blackard, & Jensen, 1999)、垂直跳 (Jensen & Ebben, 2003)、水平跳躍 (Yu, Lin, & Garrett, 2006) 主要都是用來提升下肢爆發力的訓練方式。在增強式訓練文獻中, 用來提升上肢爆發力的方式則有仰臥推舉、藥球和伏地挺身 (Gouvali & Boudolos, 2005)。其原理不外乎為運動員的上肢肌群能被快速而有力的伸長 (stretching) 然後用最快的時間馬上縮短 (shortening),

這種伸長運動是肌肉離心收縮，縮短運動則是肌肉向心收縮，肌肉有順序的伸長縮短就是所謂的牽張－收縮循環 (stretch-shortening cycle) (Bosco, Viitasalo, Komi, & Luhtanen, 1982)。更進一步來說，這種動作模式能夠快速地伸長肌肉來儲存彈性能 (elastic energy)，並且引發肌肉的牽張反射 (stretch reflex) (Bosco et al., 1982; Kawakami, Muraoka, Ito, Kanehisa, & Fukunaga, 2002; Malisoux, Francaux, Nielens, & Theisen, 2006)。

增強式伏地挺身 (plyometrics push-up) 亦是一種增加上肢爆發力的訓練方法。相關的研究發現，不同的手部寬度著地從事伏地挺身動作，將明顯的影響肘關節內部的受力 (An, Chao, & Morrey, 1993)。Chou et al., (2002) 探討雙手扶地挺身到單手伏地挺身過程中肘關節的受力情形，發現單手伏地挺身比雙手伏地挺身，有較大的手肘旋轉角度變化，以及有較大的後側剪力與屈曲力矩的改變。杜宜憲、王翰哲、王進華、李建勳 (2006) 指出在不同寬度雙手支撐下，上肢肌肉的作用情形會有所不同。在早期的一些研究認為和傳統的訓練方法相比，增強式訓練是有益處的 (Brown, Mayhew, & Boleach, 1986; Crowder, Jolly, Collins, & Johnson, 1993; Vossen, Kramer, Burke, & Vossen, 2000)，但也有一些研究認為沒有 (Heiderscheit, McLean, & Davies, 1996; Lyttle, Wilson, & Ostrowski, 1996)。由上述文獻得知增強式訓練仍未有一致性的正面效果，其原因可能體現在動作的形式上有所不同。

因此，應該專注更多不同動作形式的訓練方式，進一步從不同姿勢的伏地挺身動作，選擇適當的方式來訓練上肢不同的肌群。本研究主要目的在探討改變不同雙手支撐的寬度 (肩寬向外放置 150% 及肩寬向內縮 50%) 與不同高度 (10、15、20 公分) 落下後的伏地挺身運動學和動力學參數之差異情形。

貳、方法

一、研究對象

本研究受試者為 15 名甲組網球、桌球與拳擊隊運動員 (年齡: 21 ± 8 歲, 身高: 173 ± 17 公分, 體重: 67 ± 20 公斤)，均有良好的肌力訓練經驗、增強式訓練的經驗和伏地挺身訓練經驗，並且在實驗前無呼吸、心血管疾病和肌肉骨骼的損傷。所有受試者皆為比賽期後接受實驗，實驗前受試者需簽署書面實驗同意書和健康調查表，並告知實驗可能的風險。

二、實驗流程

實驗正式開始前，告知受試者禁止從事一些高強度活動，並且維持正常作息。實驗前兩小時禁止飲食，並且禁止攝取咖啡、酒、可樂等飲品，排除增補的作用。實驗前一周安排預備訓練課程，以熟練本實驗動作。本實驗將對受試者分別做兩種雙手支撐寬度配合三種落下高度來進行，雙手向內縮減 50% 肩寬的寬度和雙手向外打開 150% 肩寬的寬度，分別在 10 公分高台落下、15 公分高台落下和 20 公分高台落下。如受試者在實驗前有從事比賽期後專項的運動訓練，至少需隔 24 小時肌肉的恢復後才能進行此次的實驗。

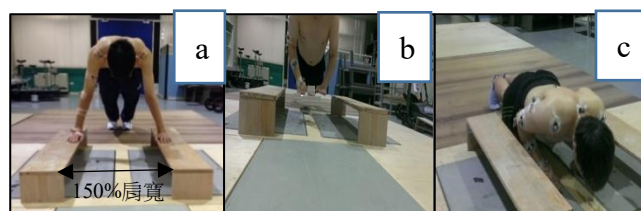
(一) 受試者須穿著運動服裝，在跑步機上跑步熱身 5 分鐘，並且依各人需求自行動態伸展做上肢及軀幹肌肉的緩和運動，共計熱身 10 分鐘，以達到相似於運動員競賽前的準備活動。受試者全身依修改 Hele Hayes 標誌點處黏貼反光球，作為動作擷取時的標誌點。

(二) 依每個人的雙手支撐放置於肩膀的下方，再用皮尺測量左手拇指至右手拇指內側的距離做為 100% 肩寬的寬度，再向外放置 150% 肩寬的寬度或是向內縮小 50% 肩寬的寬度，用黑色膠帶做為 150% 肩寬位置的記號，紅色膠帶做為 50% 肩寬位置的記號。

(三) 隨機抽取兩種雙手支撐寬度和三種落下高度的組合來進行實驗的順序，即肩寬向外放置 150% 的寬度和肩寬向內縮小 50% 的寬度，10 公分高台、15 公分高台和 20 公分高台。

(四) 每位受試者有 5 分鐘的練習時間以適應動作，進行測驗時每個動作組合進行三次測試，每次休息 20 秒，再進行第二、三次的測驗，休息三分鐘後再進行下一種動作組。於每一情境分別採樣三次，以其平均數進行分析。

(五) 受試者在進行向上推蹬動作時，用口述方式告知受試者 (從高台落下碰至測力板時要盡最大努力及最快的速度向上推蹬) (如圖一所示)，雙手需分別各落在一個測力板上。



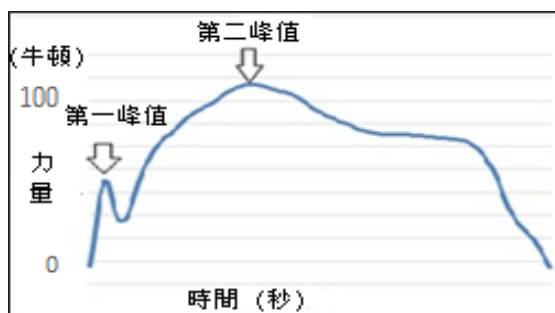
圖一、為增強式伏地挺身分解首先 (a) 伏地挺身準備動作，將雙手放置於台子上背部保持水平，手臂伸直；(b) 聽「開始」口令後，手快速向下放置到指定位置上碰至地面時；(c) 以最快的速度將身體向上推起。

三、實驗儀器與設備

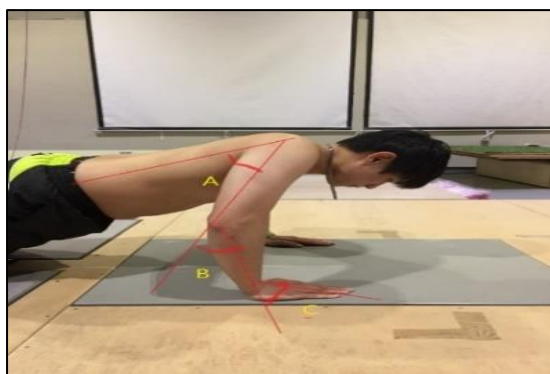
本研究使用 11 部 Motion 攝影機 (Motion Analysis Corporation, Santa, CA, USA) (200Hz)，收集運動學 3D 數據資料，並且與 2 個 AMTI 測力板 (AMTI Inc., Watertown, MA, USA) (2000Hz) 同步收集動力學相關數據資料。自製 3 個高度分別為 10、15、20 公分的台子，做為雙手支撐落下的平台。

四、資料分析

使用 The MotionMonitor 軟體 (Innovative Sports Training, Inc., USA) 來分析收集到的動力學與運動學數據資料。本研究動力學部分主要分析的參數分為碰撞力，即雙手從台子落下接觸測力板著地時產生之垂直地面反作用力的第一峰值(向下著地期)；推蹬力，即雙手從台子落下著地支撐後做伏地挺身動作手推撐時產生之垂直地面反作用力的第二峰值(向上著地期)，如圖二所示。碰撞力與雙手推蹬力的動力學資料為雙手整合數據之總和。運動學部份主要分析的參數有著地瞬間肩、肘和腕關節角度，其定義如圖三所示。還有肩、肘和腕關節角度最大值；肩、肘和腕關節角速度最大值和支撐時間。



圖二、著地期間地面反作用力圖



圖三、上肢關節角度

A：肩關節角度，B：肘關節角度，C：腕關節角度

五、操作型定義

(一)支撐時間

從雙手接觸測力板到第二峰值出現所經過時間。

(二)力量標準化

除以每位受試者的體重為標準，單位為倍體重。

(三)最大關節角速度

指的是向下著地期 (下撐階段)。

(四)撞擊力手

著地時產生之最大垂直地面反作用力。

(五)推蹬力

手推撐時產生之最大垂直地面反作用力。

六、統計方法

使用 SPSS 統計軟體，以平均數 (mean) 及標準差 (SD) 呈現受試者基本資料及所有實驗參數數據資料。以重複量數 2×3 two-way ANOVA (2 肩寬的寬度×3 高台高度)，考驗受試者在 3 種不同落下高度 (10、15、20 公分高台落下的伏地挺身) 與 2 種雙手支撐的寬度 (50% 肩寬、150% 肩寬的伏地挺身) 的測試下各項參數差異。事後比較 (posthoc) 利用 LSD 法進行考驗。統計顯著水準皆設為 $\alpha=0.05$ 。

參、結果

一、動力學部份

(一) 不同雙手支撐寬度與落下高度的增強式伏地挺身上肢地面反作用力

兩個變因之間皆未達到交互作用，改變寬度的結果碰撞力、慣用手推蹬力、雙手推蹬力之主要效果均達顯著差異 ($p=0.002$ 、 $p=0.019$ 、 $p=0.003$)，在改變高度的結果下只有碰撞力在 10 公分與 20 公分主要效果達到顯著差異 ($p=0.003$)，其餘均未達到顯著差異 (表一)。

表一、上肢動力學參數比較表 (單位：倍體重)

		10 公分	15 公分	20 公分
碰撞力**	窄	0.41 ± 0.09	0.49 ± 0.06	0.51 ± 0.11
	寬	0.38 ± 0.08	0.42 ± 0.07	0.45 ± 0.08
慣用手推蹬力*	窄	0.67 ± 0.09	0.69 ± 0.07	0.70 ± 0.10
	寬	0.66 ± 0.09	0.64 ± 0.05	0.65 ± 0.06
雙手推蹬力*	窄	1.30 ± 0.17	1.34 ± 0.12	1.35 ± 0.19
	寬	1.26 ± 0.15	1.24 ± 0.07	1.23 ± 0.07

*窄寬之間統計上達顯著差異， $p<.05$ ；

**窄寬、高度之間統計上皆達顯著差異， $p<.05$

二、運動學部份

(一) 不同雙手支撐寬度與落下高度的增強式伏地挺身著地瞬間上肢關節角度

肩、肘、腕之不同寬度與落下高度兩個變因之間皆未達交互作用。改變寬度的結果分別在肘與腕著地瞬間上肢角度的主要效果達到顯著差異。肘屈角度著地瞬間在雙手支撐較寬的伏地挺身動作 (38.1-39.9 度) 顯著大於雙手支撐較窄動作 (24.5-31.7 度) ($p=0.001$)；腕伸角度著地瞬間在雙手支撐較寬的伏地挺身動作 (59.9-68.0 度) 顯著大於雙手支撐較窄動作 (54.8-56.8 度) ($p=0.014$) (表二)。改變高度的結果下主要效果均未達到顯著差異。

表二、著地瞬間上肢關節角度比較表

		10 公分	15 公分	20 公分
肩屈	窄	54.4 ± 61.6	50.1 ± 61.8	52.6 ± 60.9
	寬	48.1 ± 59.6	51.7 ± 59.6	49.4 ± 57.5
肘屈*	窄	31.7 ± 10.6	28.1 ± 8.5	24.5 ± 10.2
	寬	39.9 ± 10.4	38.1 ± 9.7	38.1 ± 10.9
腕伸*	窄	6.8 ± 39.8	55.3 ± 41.2	54.8 ± 42.5
	寬	66.9 ± 41.3	68.0 ± 41.9	59.9 ± 43.6

*窄寬之間統計上達顯著差異， $p < .05$ (單位：度)

(二) 不同雙手支撐寬度與落下高度的增強式伏地挺身著地期間上肢關節角度最大值

肩、肘、腕之不同雙手支撐寬度與落下高度兩個變因之間皆未達交互作用。改變雙手支撐寬度的結果在著地期間上肢最大肘屈角度的主要效果達到顯著差異。肘屈角度最大值著地瞬間在雙手支撐較寬的伏地挺身動作 (88.8-98.5 度) 顯著大於雙手支撐較窄動作 (67.9-85.0 度) ($p=0.044$)。改變落下高度的結果下主要效果均未達到顯著差異(表三)。

表三、著地期間上肢關節角度最大值比較表

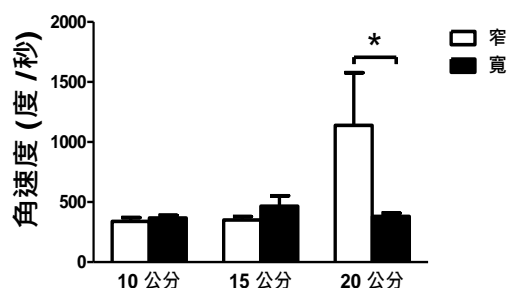
		10 公分	15 公分	20 公分
肩屈	窄	9.1 ± 59.1	15.0 ± 61.8	5.4 ± 56.7
	寬	15.5 ± 54.2	7.3 ± 56.7	12.0 ± 53.3
肘屈*	窄	81.1 ± 33.1	67.9 ± 26.4	85.0 ± 35.6
	寬	88.8 ± 22.5	98.5 ± 65.5	91.6 ± 22.3
腕伸	窄	97.3 ± 50.6	90.9 ± 55.3	106.7 ± 54.5
	寬	96.6 ± 50.2	112.9 ± 8.2	99.7 ± 54.8

*窄寬之間統計上達顯著差異， $p < .05$ (單位：度)

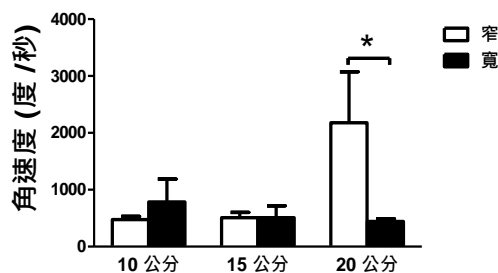
(三) 不同寬度與落下高度的增強式伏地挺身上肢關節角速度最大值

肩、肘、腕關節在角加速度最大值結果呈現部分，

總共為向下著地期 (離心縮收) 與向上著地期 (向心縮收) 兩部份。不同雙手支撐寬度與落下高度在向下著地期肘屈、腕伸角速度達交互作用 ($p = 0.048$ 、 $p = 0.033$)，進一步分析單純主要效果發現，只有在雙手支撐窄寬之間之 20 公分統計上肘屈、腕伸角速度達顯著差異 ($p = 0.037$ 、 $p = 0.033$) (圖四、圖五)，其餘單純主要效果均未達到顯著差異。



圖四、向下著地期肘屈角速度比較圖
*窄寬之間統計上達顯著差異， $p < .05$



圖五、向下著地期腕伸角速度比較圖
*窄寬之間統計上達顯著差異， $p < .05$

(四) 不同寬度與落下高度的增強式伏地挺身上肢支撐時間

從慣用手和雙手的支撐時間方面來看，不同雙手支撐寬度與落下高度兩個變因之間皆未達到交互作用。慣用手的支撐時間在雙手支撐較寬的伏地挺身動作 (0.62-0.67 秒) 主要效果顯著大於雙手支撐較窄的伏地挺身動作 (0.52-0.62 秒) ($p=0.038$)；雙手的支撐時間在雙手支撐較寬的伏地挺身動作 (0.24-0.26 秒) 主要效果顯著大於雙手支撐較窄的伏地挺身動作 (0.19-0.24 秒) ($p=0.045$)。換句話說，寬度較寬的伏地挺身動作所耗費的時間比寬度較窄的伏地挺身動作多。改變落下高度的結果其主要效果均未達到顯著差異 (表四)。

表四、 上肢支撐時間比較表 (單位: 秒)

		10 公分	15 公分	20 公分
慣用手	窄	0.61 ± 0.19	0.52 ± 0.14	0.62 ± 0.2
	寬	0.67 ± 0.16	0.62 ± 0.12	0.67 ± 0.09
雙手	窄	0.24 ± 0.11	0.19 ± 0.09	0.21 ± 0.1
	寬	0.26 ± 0.06	0.24 ± 0.06	0.26 ± 0.06

*窄寬之間統計上達顯著差異, $p < .05$

肆、討論

本研究發現雙手支撐寬度較窄在執行增強式伏地挺身時, 會產生較大的碰撞力和推蹬力; 而在落下高度為 20 公分時, 碰撞力顯著大於 10 公分落下高度。在先前的研究中, Cogley et al., (2005) 指出窄基底面伏地挺身動作, 胸大肌 (pectoralis major) 和肱三頭肌 (triceps brachii muscles) 會招募更多的運動單位, 引起更多的肌電活性, 進而增加疲勞的產生; Cogley et al., (2005) 指出從事窄基底面動作上推時所需的內部力矩, 大部分是為了克服外力的扭矩, 而且主要是由肱三頭肌收縮產生的; Donkers, An, Chao, and Morrey (1993) 指出手肘外屈曲力矩峰值 (peak external flexion torque) 從事窄基底面伏地挺身動作時最大, 佔最大等長力矩 (maximal isometric torque) 的 71%。本次的研究證實了窄基的伏地挺身動作會產生較大的碰撞力和推蹬力, 其原因可能與上推時所需要產生較多的內部力矩以克服外部力矩有關。先前研究指出腳放置的位置越高, 會提高伏地挺身動作雙手的地面反作用力, 但是當腳高度增加到 60% 肩腕高度時, 與平面上的動力學參數是沒有顯著差異, 欲藉由墊高腳的位置來達到增加上肢的訓練強度效果是相當有限的 (Ebben et al., 2011)。從本次研究中發現可以將雙手支撐寬度變小, 形成窄基底面伏地挺身動作來增加此增強式訓練的強度, 或者是增加雙手支撐落下高度至 20 公分, 來增加此增強式訓練的強度, 但需注意落下碰撞力過大而可能造成的傷害風險。

相反地, 雙手支撐寬度較寬動作在執行增強式伏地挺身時, 產生的碰撞力較小。先前學者曾建議對於體能較差者如女性或老人, 可以改用修改標準伏地挺身的方法, 即雙膝跪姿彎曲到 90° 和腳踝交叉方式進行, 但是其雙手寬度還是與標準伏地挺身動作一致, 訓練強度對於一些上肢肌肉不足的人來說或許還是相對沉重, 所以, 透過本研究發現, 也許可以利用增加雙手支撐寬度來執行寬基底面的伏地挺身動作, 來減輕上肢的負荷。

本研究發現雙手支撐寬度變窄形成窄基底面 (narrow base, NB) 伏地挺身動作會造成著地瞬間肘屈、腕伸角度的變小, 與先前的研究發現一致, 在進行伏地挺身動作時, 上肢肘關節角度變化與伏地挺身寬或窄動作息息相關 (林光偉、陳五洲, 2009)。從肘關節角度最大值的結果來看, 雙手支撐寬度變窄亦會顯著的使肘屈角度最大值變小。先前的文獻指出肌肉的收縮在關節的穩定性上極為重要, 伏地挺身肘關節角度主要是做屈曲動作並且透過雙手抬起身體重量達到訓練的目的, 軸向力也就是肘關節主要受力的方向在本次研究中, 特別是 15 公分高台落下具有角度最大值的變化。換句話說, 肘關節在作伏地挺身動作時扮演著影響動作的角色, 或許可以說手肘角度的變化是伏地挺身動作中的關鍵所在, 可能會影響動作的穩定性進一步影響訓練的負荷。本研究證實可以利用支撐寬度變大來增加肘屈角度最大值。

由本實驗的結果可得知, 藉由改變不同雙手支撐寬度與落下高度之變因, 亦可造成向下著地期肘與腕關節角速度的改變, 雙手支撐寬度變窄會顯著增加肘與腕關節角速度, 但是落下高度至少要達到 20 公分以上才能使肘關節角速度與腕關節角速度顯著增加。相關文獻曾指出, 伏地挺身基本動作的速度會影響腕、肘關節受力的變化, 速度越快各關節受力力矩越大代表強度越強, 但在長時間訓練下容易造成運動傷害。簡而言之, 產生較大的角速度對於訓練效果來說是或許是正面的, 而且對相關肌群的訓練程度較高。此外, 落下高度 20 公分以上的伏地挺身動作雖然亦能夠形成較大的肘與腕關節角速度, 但如先前提到或許強度太大也可能容易形成運動傷害。

由支撐時間的結果可得知, 伏地挺身動作寬度的變化會顯著的影響支撐時間。簡而言之, 如果要讓支撐時間變短, 需要減小雙手支撐寬度。先前研究指出支撐時間的長短, 有很大的程度會影響牽張—收縮循環的強度 (Bosco, Viitasalo, Komi, & Luhtanen, 1982), 而牽張—收縮循環是一種利用肌肉向心收縮前的快速離心收縮的特性, 來產生爆發力和強度, 即身體肌肉受到外力作用而被拉長, 肌肉首先做離心收縮, 開始儲存彈性位能, 隨後再做向心收縮, 此時會引發伸展反射加強肌肉收縮速度, 讓儲存的能量被釋放。在許多的研究當中, 利用這種原理確實能達到增進爆發力的訓練效果 (Gouvali & Boudolos, 2005)。除此之外, 支撐時間越短, 增進爆發力的訓練效果也越好 (Chmielewski, Myer, Kauffman, & Tillman, 2006), 換句

話說也就是在最短的時間能產生最大爆發力的能力越佳。因此，在本次的研究中也明確的發現，可以利用雙手支撐寬度變窄的增強式伏地挺身動作來達到縮短支撐的時間，進而達到增進爆發力的訓練效果。

本實驗之研究限制在於不同項目受試者，肌力方面或許有些許的不同，造成每位受試者之伏地挺身動作有些許差異。此外，黏貼反光球的位置可能在實驗過程中會滑落或其他原因造成移動，再次黏貼時反光球的位置或許有細微的差異。

伍、結論

從本次研究中發現，增強式伏地挺身動作不同雙手支撐寬度與不同落下高度中，手肘部分是整體動作角度變化值的關鍵所在。雙手支撐寬度窄與落下高度越高（20 公分）會形成較大的碰撞力與角速度，對增加式訓練強度是有幫助的，但是也可能會形成運動傷害。建議在進行上肢增加式訓練時，可藉由調整寬度為主，高度為輔來進行訓練強度的調整。從慣用手或雙手支撐時間來看，伏地挺身較寬動作會顯著的影響支撐時間變長，但支撐時間越短增進爆發力的訓練效果越好。因此，從本次研究中發現可以利用改變比肩寬較窄的增強式伏地挺身動作，來達到縮短支撐時間進而達到增進爆發力的訓練效果。

引用文獻

- 杜宜憲、王翰哲、王進華、李建勳 (2006)。不同支撐寬度伏地挺身動作對上肢肌群的影響。*運動生物力學研究彙刊* (二)，154-155。
- 林光偉、陳五洲 (2009)。不同手部位置之伏地挺身肘關節受力模擬。*國立臺灣體育大學論叢*，19(4)，53-63。
- An, K. N., Chao, E. Y., & Morrey, B. F. (1993). Hand position affects elbow joint load during push-up exercise. *Journal of Biomechanics*, 26(6), 625-632.
- Blackburn, J. T., & Padua, D. A. (2009). Sagittal-plane trunk position, landing forces, and quadriceps electromyographic activity. *Journal of Athletic Training*, 44(2), 174-179.
- Bosco, C., Viitasalo, J. T., Komi, P. V., & Luhtanen, P. (1982). Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch - shortening cycle exercise. *Acta Physiologica*, 114(4), 557-565.
- Brown, M. E., Mayhew, J. L., & Boleach, L. W. (1986). Effect of plyometric training on vertical jump performance in high school basketball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 26(1), 1-4.
- Chmielewski, T. L., Myer, G. D., Kauffman, D., & Tillman, S. M. (2006). Plyometric exercise in the rehabilitation of athletes: physiological responses and clinical application. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 36(5), 308-319.
- Chou, P. H., Lin, C. J., Chou, Y. L., Lou, S. Z., Su, F. C., & Huang, G. F. (2002). Elbow load with various forearm positions during one-handed pushup exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 23(06), 457-462.
- Cogley, R. M., Archambault, T. A., Fibeger, J. F., & Koverman, M. M. Youdas, J. W. & Hollman J. H. (2005). Comparison of muscle activation using various hand positions during the push-up exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(3), 628-633.
- Crowder, V. R., Jolly, S. W., Collins, B., & Johnson, J. (1993). Effect of plyometric push-ups on upper body power. *Track Field Q Rev*, 93, 58-59.
- Donkers, M.J, An, K. N., Chao, E. Y., & Morrey, B. F. (1993). Hand position affects elbow joint load during push-up exercise. *Journal of Biomechanics*, 26(6), 625-632.
- Ebben, W. P., Blackard, D. O., & Jensen, R. L. (1999). Quantification of medicine ball vertical impact forces: Estimating effective training loads. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(3), 271-274.
- Ebben, W. P., Simenz, C., & Jensen, R. L. (2008). Evaluation of plyometric intensity using electromyography. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 861-868.
- Ebben, W. P., Wurm, B., VanderZanden, T. L., Spadavecchia, M. L., Durocher, J. J., Bickham, C. T., & Petushek, E. J. (2011). Kinetic analysis of several variations of push-ups. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(10), 2891-2894.

- Faigenbaum, A. D., McFarland, J. E., Keiper, F. B., Tevlin, W., Ratamess, N. A., Kang, J., & Hoffman, J. R. (2007). Effects of a short-term plyometric and resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *Journal of Sports Science & Medicine*, 6(4), 519-525.
- Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength & Conditioning Journal*, 30(5), 32-38.
- García-Massó, X., Colado, J. C., González, L. M., Salvá, P., Alves, J., Tella, V., & Triplett, N. T. (2011). Myoelectric activation and kinetics of different plyometric push-up exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(7), 2040-2047.
- Gouvali, M. K., & Boudolos, K. (2005). Dynamic and electromyographical analysis in variants of push-up exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 146-151.
- Heiderscheit, B. C., McLean, K. P., & Davies, G. J. (1996). The effects of isokinetic versus plyometric training on the shoulder internal rotators. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 23(2), 125-133.
- Jensen, R. L., & Ebben, W. P. (2003). Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(2), 345-349.
- Kawakami, Y., Muraoka, T., Ito, S., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2002). In vivo muscle fibre behavior during counter-movement exercise in humans reveals a significant role for tendon elasticity. *The Journal of physiology*, 540(2), 635-646.
- Khazei, D. (1994). Push-up power: Five variations on this classic exercise. *Mens Fitness*, 10, 56-57.
- Lyttle, A. D., Wilson, G. J., & Ostrowski, K. J. (1996). Enhancing performance: Maximal power versus combined weights and plyometrics training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10, 173-179.
- 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.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Palumbo, J. P., & Hewett, T. E. (2005). Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 51-60.
- Vossen, J. F., Kramer, J. E., Burke, D. G., & Vossen, D. P. (2000). Comparison of dynamic push-up training and plyometric push-up training on upper-body power and strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(3), 248-253.
- Yu, B., Lin, C. F., & Garrett, W. E. (2006). Lower extremity biomechanics during the landing of a stop-jump task. *Clinical Biomechanistry (Bristol, Avon)*, 21(3), 297-305.

The biomechanical analysis of plyometric push-up with different support widths and drop heights of the reinforced hands

^{1,2}Yu-Ping Huang, ²Shan-Kai Hsu, ^{2,3}Hsien-Te Peng, ³Chi-Pin Hsen, ³Fuh-Guey Chang*

¹ School of Sports Science, Nantong University

² Graduate School of Sport Coaching Science, Chinese Culture University

³ Department of Physical Education, Chinese Culture University

Submit date : July 2018 ; Qualified date : October 2018

Abstract

Introductions: the purpose of the study was to analyze the parameters of kinetics and kinematics in upper limbs by changing the widths and heights of the hands during plyometric push-up. **Methods:** 15 college students of Division I tennis, table tennis and box teams from Chinese Culture University voluntarily participated in the study. 11 cameras were synchronized with 2 AMTI force plates, and 3 different-height platforms were used during the test. Collected data were analyzed using SPSS 18.0. Two by three two-way ANOVA with repeated measures were used for statistical analyses. **Results:** When the width of push-up narrowed, the angles of elbow and wrist decreased, maximum elbow flexion angle increased, the angular velocity of the elbow and wrist increased, the support time decreased, and the ground impact force and the push force increased. **Conclusions:** changing the support width and drop height of hands changes the kinetics and kinematics during plyometric push-up. The elbow was a key factor of the movement. The training intensity could be adjusted mainly by the support width and secondary by the drop height of hands. Dropping from a higher height would result in a greater impact force and angular velocity, which may be helpful in increasing the training intensity, but the excessive intensity may lead to injuries.

Keywords: sports biomechanics, plyometrics training, angular velocity
