



慣性式阻力訓練對排球動作表現之影響

¹張恩崇 ¹侯彥竹 ¹陳玟伶 ²戴一涵 ¹謝振芳 ¹相子元*

¹國立臺灣師範大學 運動競技學系

²國立臺灣師範大學 體育學系

投稿日期：2015 年 2 月；通過日期：2015 年 4 月

摘要

目的：市面上慣性式阻力訓練器材無法變更慣量，所以無法建立完整的訓練指引或操作訓練內容中的參數，本研究藉由自製之可調整慣性阻力訓練器材，使用不同的轉動慣量負荷進行六週阻力訓練介入，探討不同轉動慣量介入對排球選手運動表現的影響。**方法：**大學乙組排球校隊共 26 名選分成低慣量組、中慣量組、高慣量組進行訓練，訓練內容以最大自主速度進行上肢排球扣球動作訓練與伸膝訓練，統計方法使用二因子重複量數變異數分析法，進行前、中、後測組間以及組內比較，各項顯著水準皆訂為 $\alpha = .05$ 。**結果：**不同慣量間的上肢或是下肢運動表現皆未達顯著差異，但在各個慣量下肢運動表現的前、中、後測統計結果達顯著差異，而中慣量組經六週慣性式阻力訓練後，在折返跑、立定跳遠、單手摸高、雙手摸高、助跑單手摸高與助跑雙手摸高的後測表現顯著優於前測 ($p < .05$)。**結論：**經六週慣性式阻力訓練可以提升運動表現，而下肢效果明顯優於上肢，低、中、高三組不同轉動慣量對於訓練效果並沒有差異，但在中轉動慣量組的結果有較多的進步，因此進行慣性式阻力訓練時，建議使用中轉動慣量配合自主最大動作速度進行，會有較佳的訓練效果。

關鍵字：轉動慣量、運動表現、膝伸直、上肢、下肢

壹、緒論

肌力與爆發力為影響運動表現的重要因素，過去研究指出，訓練有助於肌力或爆發力的增進，但肌力與爆發力訓練後增進的效果卻無法相同地反映在運動表現上，Harris(2000)等人指出肌力訓練能增加最大膝伸肌力量，但並不會增進 10 碼折返跑和 30 公尺衝刺測驗的跑步速度；同樣地，Villarreal (2013)等人研究也發現 7 週的阻力訓練後，15 公尺和 30 公尺的衝刺速度並沒有增加；Kotzamanidis (2005)等人則指出在進行蹲跳、下蹲跳和著地反彈跳的表現也沒有因為 13 週的阻力訓練後而改變；而 McBride (2002)等人指出透過 8 週的高強度阻力訓練(80% 1RM)，儘管肌力增加但跑步速度卻甚至顯著減少。運動表現無法隨肌力改變而進步的可能原因為阻力訓練時的動作型態沒有接近實際運動的動作型態，而如何將訓練時的動作型態貼近真實運動表現，並且將訓練後的肌力和爆發力有效轉

移在競技運動表現上，是運動選手與教練非常關注的議題。現今已有許多研究專注在各個不同的訓練法與訓練器材上(洪金昌、吳柏翰、王順正，2013；吳柏翰、陳柏翰、陳明宗，2013；洋風、郭京漢、石又、劉強、莊榮仁、相子元，2012；曾暉晉、陳忠慶、陳信良，2012)，就是為了使訓練後的肌力與爆發力表現能轉移到運動競技表現上。而新式的慣性式阻力訓練器材因為強調動作過程使用最大自主收縮速度，在動作施力型態上近似真實功能性動作的特性，可依照肌肉長度-力量關係來獲得最大的訓練量。目前在多數職業足球隊、高爾夫球、棒球隊都選擇使用慣性式阻力訓練器材來提升肌力與爆發力，也為近年來許多學者或運動選手所使用的訓練方法之一。

慣性式阻力訓練除了動作型態近似真實功能性動作的特性外，當慣性輪盤產生動作轉折時會使肌肉產

*通訊作者：相子元 Email: tyshiang@ntnu.edu.tw
地址：11677 台北市文山區汀州路四段88號運動競技學系

生離心收縮來抵抗轉動輪盤的力量(戴一涵、張恩崇、謝振芳、陳玟伶、相子元, 2013)。因此, 比起傳統阻力訓練還擁有更多離心收縮力量峰值(Anna & Artur, 2012; Romero et al., 2011; Alkner & Tesch, 2004; Norrbrand, 2008; Norrbrand, 2010), 也比起標準重量塊訓練更能有效增加肌腱強度與骨骼肌肉質量(Romero et al., 2011; Lena et al., 2008; Onambele et al., 2008), 或是肌力與爆發力的提升(Lena et al., 2008)。除了能明顯促使骨骼肌肉適應外, 並且能有效對於股骨髕骨疼痛患者的疼痛指數降低(Romero et al., 2011), 甚至增加老年族群的肌力(Brzczenek-Owczarzak et al., 2013; Caruso et al., 2005)、動作協調(Glady et al., 2008)及平衡等等(Anna & Artur, 2012; Caruso, 2012; Hans & Per, 1998; Lena, 2008; Alkner & Tesch, 2004)。

雖然慣性式阻力訓練器材已經為運動員與不同族群帶來許多益處, 但由於受到市面上慣性式訓練器材的種類限制, 所以多數慣性式阻力訓練研究都是使用YoYo (YoYo Technology AB, Stockholm, Sweden) 公司所製造的慣性式訓練器材。其器材因無法調整轉動慣量, 而無法建立一個完整的訓練指引或操作訓練內容中的參數, 在文獻中的轉動慣量輪盤分為 0.1452 kg m² 以及 0.11 kg m² 兩種。訓練強度僅以受試者本身自主最大速度完成訓練, 且訓練期間不變更慣性輪盤慣量(Anna et al., 2012; Onambélé et al., 2008; Norrbrand et al., 2008; Alkner, 2005)。因為操作器材的限制, 現今關於慣性式阻力訓練儀器的作用原理尚未清楚, 也未有一套完整的訓練方式, 因此本研究希望藉由自製之可調整慣性阻力訓練器材, 使用不同的轉動慣量進行六週的阻力訓練, 來探討不同種轉動慣量對排球選手的功能性表現的影響。

貳、研究方法

一、實驗對象

本研究受試對象為大學乙組排球校隊, 男生 13 名、女生 13 名, 共 26 名選手進行訓練, 於半年內無上、下肢骨骼肌肉疾病。訓練期間不得變更原定之訓練課表, 每週除固定的校隊練習外, 在訓練期間內所有受試者可以從事任何娛樂性活動或運動, 但是不可以接受任何有規律性的重量訓練, 受試者基本資料如表一。

二、研究器材

本研究利用自製可調整轉動慣量肌力訓練器材, 其主要結構包含: 慣性輪盤(如圖 1)、可調整轉動慣量之重量塊、皮帶、張力彈簧組、驅動輪盤、纜線絞盤以及纜線等。而另有轉速計(VDO A4+ Cycle Computer)及安裝在纜線絞盤的定位磁鐵, 測量慣性輪盤轉速, 與手持雷達測速槍(Bushnell, U.S.A.)測量上肢扣球球速, 等長/等速肌力測試儀(Biodex Medical System Inc, Shirley, NY)。

本研究將自製可調整轉動慣量肌力訓練器材的慣性輪盤, 進行測定, 依序將轉動慣量調整重量塊裝置於慣性輪盤上, 並且分次測定與記錄各種不同轉動慣量。根據轉動慣量定義, 將器材纜線端綁上 5 公斤重量塊作為固定的力量來源, 並乘以纜線絞盤半徑 0.057 公尺, 再除以纜線絞盤轉動之角加速度, 即可獲得慣性式訓練器材之總轉動慣量。慣量的代號, 為轉動慣量重量塊由內至外圈, 分別為 A、B、C (A: 110 公克、B: 200 公克、C: 400 公克), 轉動慣量資料輸出、計算後, 慣量的選擇以等差選定三組, 為訓練的低、中、高三個不同強度的慣性(如表二)。

表一、受試者基本資料

	年齡(歲)	人數	身高(cm)	體重(kg)
低慣量組	21.1±1.7	8(男、女各 4 人)	169.4±6.3	64.4±4.1
中慣量組	21.0±1.4	10(男、女各 5 人)	173.3±6.6	67.6±7.5
高慣量組	19.6±0.6	8(男、女各 4 人)	173.1±6.4	65.4±6.2

表二、不同強度轉動慣量定義

部位	組別	轉動慣量 (單位: kg × m ²)
上肢	高	0.098
	中	0.086
	低	0.074
下肢	高	0.133
	中	0.102
	低	0.074

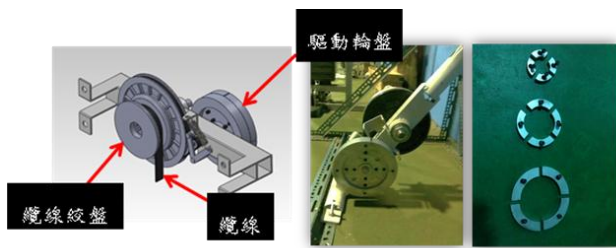


圖 1、自製轉動慣量阻力訓練器材

三、實驗步驟

本研究依據上肢扣球球速與下肢股四頭肌之最大自主等長收縮數值平均分成三組，而 26 位受試者分別依球速及最大自主等長收縮的表現進行分組，上、下肢分別分為低慣量組、中慣量組、高慣量組三個組別，進行高、中、低不同轉動慣量之上肢排球扣球動作訓練（每週訓練 2 次，每次訓練兩組，每組動作 12 回，組間休息三分鐘；如圖 2）與伸膝訓練（每週訓練 2 次，每次訓練兩組，每組動作 30 回，組間休息三分鐘；如圖 3），動作過程皆為最大自主速度。

受試者於訓練前、訓練三週後以及完整訓練六週後進行測量，測量項目分為上肢與下肢，上肢測量為：站立扣球球速與助跑跳躍扣球球速。站立扣球球速：受測者站立於網前 3 公尺處，原地進行拋球後直接將球扣至網子，測量者則站立於面對受測者網子的另一方測量球速；助跑跳躍扣球：受測者站立於適當的助跑距離位置，舉球員將球拋出後受測者進行實際的助跑攻擊，扣球路線皆為直線，測量者則手持雷達測速槍站在面對受測者網子另一方的 9 公尺底線處測量球速；下肢測量則為：折返跑、立定跳遠、單/雙手立定摸高、單/雙手助跑摸高。

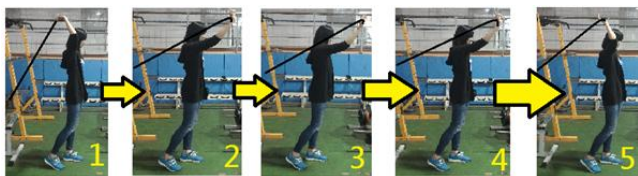


圖 2、慣性式阻力訓練上肢訓練動作模擬示意圖，(1)向心期開始，(2)向心期，(3)向心期結束離心期開始(此時為傳動纜線的極限)，(4)離心期，(5)離心期結束。



圖 3、慣性式阻力訓練下肢訓練動作模擬示意圖(1)向心期開始，(2)向心期，(3)向心期結束離心期開始(此時為傳動纜線的極限)，(4)離心期，(5)離心期結束。

四、統計分析：

本研究使用二因子重複量數變異數分析法 (Two-way Mixed Design ANOVA)，進行前、中、後測組間以及組內比較，若統計達顯著水準，再以 Tukey method 進行事後比較。本研究統計軟體使用 SPSS 17.0 for windows 進行分析，各項顯著差異水準皆訂為 $\alpha = .05$ 。

參、結果與討論

本研究經二因子重複量數變異數分析統計後，上肢與下肢在各個慣量間前、中、後測的運動表現如表三，時間與慣量間沒有交互作用，且不同慣量間的上肢或是下肢運動表現皆未達顯著差異。而進一步分析各個慣量的上肢運動表現在前、中、後測並無顯著差異。但在各個慣量下肢運動表現的前、中、後測統計結果達顯著差異，結果並指出中慣量組經六週下肢訓練後，在折返跑、立定跳遠、單手摸高、雙手摸高、助跑單手摸高與助跑雙手摸高，後測表現顯著優於前測 ($p < .05$)；而低慣量與高慣量的前後測則只在折返跑上達顯著差異(如圖 4)。

研究結果雖在高、中、低慣量間沒有顯著差異，但可以從下肢結果發現在中轉動慣量組的運動表現是較優於低轉動慣量組與高轉動慣量組。造成此現象可能來自於慣性輪阻力訓練產生的離心收縮效果，而決定慣性式訓練離心收縮訓練效果的因素有二，一是來自施力於機台的速度，另外則是慣性輪盤所累積的角動量。根據公式，動量為質量與速度的乘積，因此當所施於機台的最大自主速度越快所產生動量越大，進而使纜繩連接的轉動輪盤角速度越快；而根據公式，角動量為轉動慣量與角速度的乘積，當角速度越快則轉動盤也累積更多角動量以產生離心收縮時的阻力。可以從圖 5 看到上肢與下肢在使用低慣量執行向心收縮時，產生較快的動作速度，但當執行高慣量時，動作速度則相對較慢。由於阻力的大小取決於轉動慣量以及角速度的乘積，因此，就本實驗所選用的三種轉動慣量中，中慣量能使速度與角動量有較好的搭配，所以推論可以造成較佳的訓練效果，與以往文獻比較發現，本文所使用的中轉動慣量也與過去文獻中所使用一般市售的訓練器材的慣量較為接近 (Alkner & Tesch, 2004; Mickiewicz & Jaskólski, 2012; Norrbrand, 2008; Onambele et al., 2008)。此外，再對不同慣量下肢動作結果分析進步程度的比較(如圖 6)，由進步率相較之下，下肢的不同慣量訓練結果皆為進步，進步

幅度最大也最為明顯的是中慣量組，因此，建議在進行慣性式阻力訓練時，若使用中轉動慣量配合自主最大動作速度進行，會比起低慣量或高慣量的訓練效果來得佳。

經過六週慣性式阻力訓練的效果與反映到功能性運動表現上的結果顯示，上肢的運動表現在不同慣量間與前後測皆未達顯著差異且沒有明顯的進步。McLoda(2003)等人發現棒壘球球員使用四週的慣性式訓練後，在球速、手臂速度、丟球精準和二頭肌肌肉活化並沒有影響，此結果與本次實驗同樣是上肢訓練中過肩動作模式的扣球動作訓練結果相同。因為上

肢動作的訓練使用多關節的扣球動作，所以在訓練過程中身體包括軀幹、髖關節、膝關節、足部的肌肉都需做等長收縮來控制姿勢，而穩定的過程可能會影響到肩關節肌群確實執行訓練的效果，因此使得上肢訓練效果不明顯。而在下肢運動表現結果，包括折返跑、立定跳遠、單手摸高、雙手摸高、助跑單手摸高與助跑雙手摸高在前測與後測皆達顯著差異，表示下肢的慣性式訓練轉移至運動表現的效果較佳，原因可能是下肢的訓練動作較為上肢的動作單純，所以可以達到其訓練效果。

表三 各個慣量間在前、中、後測的上肢與下肢運動表現

組別 項目	低慣量組			中慣量組			高慣量		
	前測	中測	後測	前測	中測	後測	前測	中測	後測
立定跳遠(公分)	216.5±58.0	216.8±34.2 ^a	225.6±37.4 ^{ab}	207.8±50.1	216.0±28.7	220.6±38.0 ^{ab}	223.6±59.1	225.6±31.8	226.6±37.8 ^a
折返跑(秒)	9.9±1.2	9.9±0.7	9.7±0.8 ^{ab}	9.9±1.1	9.5±0.5 ^a	9.8±0.7 ^{ab}	9.3±1.0	9.1±0.8	9.2±1.0 ^{ab}
立定單手摸高(公分)	51.3±15.5	49.6±12.6	51.1±15.0	51.3±16.2	51.8±12.9 ^a	51.6±14.6 ^a	51.8±16.2	53.4±12.4	53.8±13.2
立定雙手摸高(公分)	44.4±14.5	44.6±11.6	44.4±12.9	44.0±14.9	46.2±13.1	44.1±15.0 ^a	45.4±15.2	47.6±12.6	46.5±12.9
助跑單手摸高(公分)	54.6±17.8	57.1±15.9	57.3±16.4 ^b	53.5±18.0	59.3±16.0 ^a	56.4±16.5 ^a	56.0±17.7	59.3±15.7	58.5±15.3
助跑雙手摸高(公分)	46.5±18.2	48.0±13.0	50.1±15.0 ^a	47.4±17.0	50.9±15.8	49.1±17.3 ^a	49.3±18.6	51.7±14.5	51.8±15.4
助跑扣球球速(公里/小時)	50.3±21.6	54.8±13.4	55.6±16.0	47.4±16.5	55.3±7.9	56.6±13.8	51.8±19.9	56.5±9.5	56.5±12.9
站立扣球球速(公里/小時)	57.9±22.2	60.0±11.8	57.1±16.1	54.1±22.2	58.4±11.1	57.5±12.8	56.6±18.7	55.6±9.2	58.8±11.3

註：若與前測達顯著差異則標示 a、若與中測達顯著差異則標示 b。

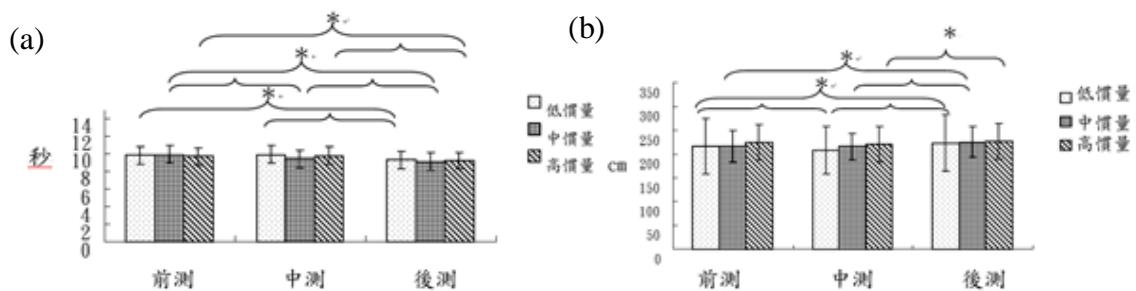


圖 4、(a)不同慣量前、中、後測折返跑平均速度(b)不同慣量前、中、後測立跳遠平均距離。

註：不同組別內達顯著差異($P < .05$)用*表示

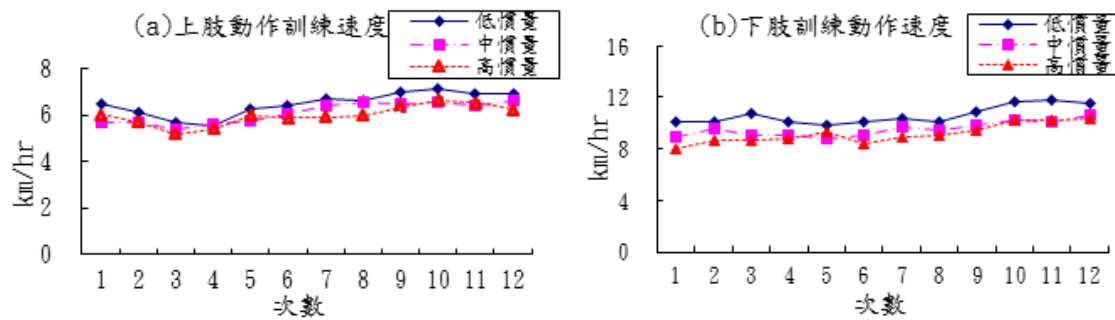


圖 5、執行每組 12 次的慣性輪阻力訓練之動作平均速度(a)上肢訓練動作速度(b)下肢訓練動作速度

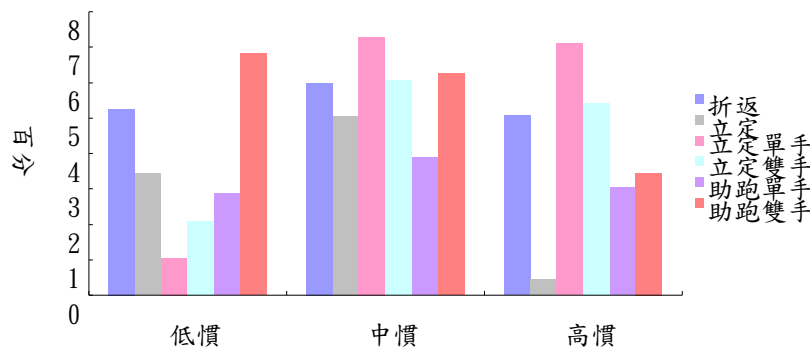


圖 6、不同慣量下肢動作進步百分比

肆、結論

本研究結果發現，經六週慣性式阻力訓練可以提升運動表現，而下肢效果明顯優於上肢，可能因為上肢動作的訓練採多關節的扣球動作，而非如下肢只進行單一關節的股四頭肌運動來進行，在訓練過程中身體包括軀幹、髖關節、膝關節、足部的肌肉都需做等長收縮來控制姿勢，而穩定的過程可能會影響到肩關節肌群確實執行訓練的效果。而在低、中、高三組不同轉動慣量對於訓練效果並沒有差異，但在中轉動慣量組的結果是較優於低轉動慣量組與高轉動慣量組，如選擇進行慣性式阻力訓練時，建議使用中轉動慣量配合自主最大動作速度進行會比起低慣量或高慣量的訓練效果來得佳。

致謝 本研究為行政院科技部研究計畫「運動促進高齡者在社區健康老化之研究－促進台灣地區老年人健康體能之健身器材及處方研究」NSC 99-2410-H-003 -143 -MY3 之部分研究成果。

伍、參考文獻

戴一涵、張恩崇、謝振芳、陳玫伶、相子元 (2013)。慣性式與槓片式肌力訓練器材動力學表現比較。

華人運動生物力學期刊, 9, 18-23。

戴一涵、謝振芳、相子元 (2015)。年長族群之阻力訓練器材選擇依據。運動表現期刊, 2(1), 1-6。

洪金昌、吳柏翰、王順正 (2013)。全身性振動伸展訓練頻率對足球運動員柔軟度、爆發力及敏捷性之影響。體育學報, 46(1), 13-22。

吳柏翰、陳柏翰、陳明宗 (2013)。全身性振動伸展訓練對女性高齡者功能性體適能之影響。體育學報, 46(4), 339-350。

洋風、郭京漢、石又、劉強、莊榮仁、相子元 (2012)。不同頻率全身震動對下肢運動表現之立即性影響。華人運動生物力學期刊, 6, 15-22。

曾暉晉、陳忠慶、陳信良 (2012)。最大等速離心運動引起肌肉損傷對速度發展率的影響。體育學報, 45(1), 19-30。

Alkner, B.A., & Tesch, P.A. (2004). Efficacy of a gravity-independent resistance exercise device as a countermeasure to muscle atrophy during 29-day bed rest. *Acta Physiologica Scandinavica*, 181(3), 345-357.

Anna, M., & Artur J. (2012). Muscle activity during inertial and free weights exercise. *Occupational*

- Therapy: the International Perspective*, 6, 217-224.
- Blazevich, A. (2012) Are training velocity and movement pattern important determinants of muscular rate of force development enhancement? *European Journal of Applied Physiology*, 112(10), 3689-3691.
- Brzenczek-Owczarzak, W., Naczka, M., Arlet, J., Forjasz, J., Jedrzejczak, T., & Adach, Z. (2013) Estimation of the efficacy of inertial training in older Women. *Journal of Aging and Physical Activity*, 21, 433-443
- Caruso, J.F., Hamill, J.L., Hernandez, D.A., & Yamauchi, M. (2005) A comparison of isoload and isoinertial leg press training on bone and muscle outcomes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 592-598.
- Gladys O., Constantinos M., Omar M., Enrico T., Enrico R., Islay M., & Marco N. (2008). Neuromuscular and balance responses to flywheel inertial versus weight training in older persons. *Journal of Biomechanical*, 41, 3133-3138.
- Hans B. & Per T. (1998). Force and power characteristic of a resistive exercise device for use in space. *Acta Astronautica*, 42(1-8), 219-230.
- Harris, G.R., Stone, M.H., O'Bryant, H.S., Prolux, C.M., & Johnson, R.L.(2000) Short term performance effects of high power, high force, or combined weight training methods. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 14, 14-20.
- Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaiakevou, G., & Patikas, D. (2005). The effect of combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 369-375.
- McBride, J.M., Triplett-McBride, T., Davie, A. & Newton, R.U. (2003). The effect of heavy-vs. light-load jump squats on the development of strength. Power and speed. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 16, 75-82
- McLoda, T.A., Murphy, K.M., & Davison, S. (2003). Functional effects of inertial training of the upper extremity. *Journal of Sport Rehabilitation*, 12, 229-239.
- Mickiewicz, A., & Jaskólski, A. (2012). Muscle activity during inertial and free weights exercise. *Occupational Therapy: the International Perspective*, 6, 217-224.
- Norrbrand L. (2008). Acute and early chronic responses to resistance exercise using flywheel or weight. Retrieved from <http://miun.diva-portal.org/smash/get/diva2:332124/FULLTEXT01>
- Norrbrand, L., Pozzo, M. & Tesch, P.T. (2010). Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *European Journal of Applied Physiology*, 110(5), 997-1005.
- Onambele, G. L., Maganaris, C. N., Mian, O. S., Tam, E., Rejc E., McEwan, I. M., & Narici M. V.(2008). Neuromuscular and balance responses to flywheel inertial versus weight training in older persons. *Journal of Biomechanical*, 41(15), 3133-3138.
- Romero D., Gual G., & Tesch P. (2011). Efficacy of an inertial resistance training paradigm in the treatment of patellar tendinopathy in athletes: A case-series study. *Physical Therapy in Sport*, 12, 43-48.
- Sáez de Villarreal, E., Requena, B., Izquierdo, M., & Gonzalez-Badillo, J.J. (2013). Enhancing sprint and strength performance: Combined versus maximal power, traditional heavy- resistance and plyometric training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16, 146-150.



The effect of inertial training on volleyball performance

¹En-Chung Chang ¹Yen-Chu Hou ¹Mei-Ling Chen ²I-Han Tai ¹Chen-Fang Hsieh ¹Tzyy-Yuang Shiang*

¹ Graduate Institute of Exercise and Sport Science, Department of Athletic Performance, National Taiwan Normal University

²Department of Physical education National Taiwan Normal University

Accepted : 2015/04

ABSTRACT

Purpose: The training content can not adjust due to the fixed Moment of Inertia (MOI) provided by current inertial training devices. This study tried to examine the effect of different MOI resistances on volleyball functional performance. **Methods:** Twenty-six volleyball players were recruited and assigned to different MOI groups for 6 weeks lower and upper limbs inertial resistance training. The performances of volleyball functional movement after 3 weeks and 6 weeks training were measured. Two-way ANOVA (mixed design) was processed to determine the differences among groups as well as pre and post training. Significant level was set at $\alpha=0.05$. **Results:** The performance of standing long jump, shuttle run, single / both hands standing reach and single / both hands run-up reach were all significantly improved after training ($p<0.05$). But there was no significant difference among groups. **Conclusions:** The 6 weeks inertia resistance training can effectively increase the performance of lower limbs for volleyball players. And there was no significant difference among different MOI groups, but medium MOI group had more progress than other 2 groups. To earn the best training effect, we suggest that medium MOI resistance with maximum movement speed could be a good choice.

Key words: Moment of inertia, Sport performance, Knee extension, Upper extremity, Lower extremity