

# 兒童投擲不同慣性物體的運動學特徵

黃昱銘<sup>1</sup> 陳重佑<sup>2</sup> 廖建壹<sup>1</sup> 陳帝佑<sup>1</sup>  
國立彰化師範大學<sup>1</sup> 國立臺灣體育大學<sup>2</sup>  
Email: chung423@ms52.hinet.net

## 摘要

本研究旨在探討兒童投擲不同慣性物體對上肢動作控制的影響，實驗以 5 名 11 歲男童為實驗參加者，進行最大努力之投擲動作，投擲物體為 10g、110g、310g 與 500g 等慣性參數不同的相同大小自製圓球，以 Redlake IDT MotionPro X3™ 高速攝影機 (250Hz) 擷取全程動作，並以 Peak Motus 9.0 版進行二度空間影片分析。結果顯示，投擲 110g 的球有最大之投擲距離 ( $p < .05$ )；當投擲 10g 與 110g 的球時，球出手前的腕關節最大角速度皆大於投擲 500g 的出手前腕關節最大角速度 ( $p < .05$ )；當球出手前腕關節最大角速度至球出手瞬間的時間無顯著差異時 ( $p > .05$ )，慣性高的球體會限制兒童投擲時的動力鏈效應，而降低手腕的工作效果。

關鍵字：投擲、慣性、運動學、動力鏈

## 一、緒論

投擲動作的運動形式有很多，依照動作型態可分為肩上投擲(overarm throw)、低手投擲(underarm throw)、推擲(push throw)與拉擲(pull throw)四種類型。在進行投擲動作時，需考量到對動作造成的影響有解剖學、力學以及環境等主要因素；而運動員選擇不同的投擲動作，其所考慮到的影響因素必有所不同(Lichtenberg & Zumerchik, 1997)。然而，投擲動作為全身性的身體活動，需配合身體的關節角運動來產生球體的線性運動。肩上投擲(overarm throw)動作看似簡單，從動作開始一直到結束，投擲內容包含複雜且快速的動作(Van den Tillaar & Ettema, 2007)；Kreighbaum and Barthels (1996) 認為投擲物體的重量、大小與形狀會影響投擲者的動作時間與空間參數，且投擲物體的重量是影響投擲動作的重要因素。而就力學的觀點，重量(weight)是重力的指標，是地心引力(外力)對投擲者的影響探討而已；可是，若就質量(mass)的觀點，投擲動作者是否得以有效改變球體原有的運動狀態，則成為需要正本清源的本題了，換言之，除了重力對投擲動作的影響外，球體慣性特徵的限制(constrain)探討，將能相對全面地、深入地描述投擲動作特性。慣性(inertia)是物體維持原有運動狀態的特性(質量就是線運動學的慣性度量)，慣性大者較難產生運動的變化，慣性小者則較容易產生運動的變化(Enoka, 2008)。因此，本研究目的在於探討不同慣性物體對兒童投擲動作的影響，並分析上肢動作之運動學特徵差異。

## 二、研究方法

研究以國小男學童 5 名為實驗參加者，平均年齡為  $11.4 \pm 0.3$  years、身高  $145.40 \pm 3.41$  cm、手掌長  $6.98 \pm 0.69$  cm，且每位實驗參加者之慣用手皆為右手。實驗參加者熱身後，隨機選取各種質量球體站立於投擲區，以自我配速的方式執行最遠距離的投擲動作，投擲球體的質量為 10g、110g、310g、500g。研究者假定(assumption)實驗參加者盡全力來完成每一次的投擲動作，並以 Redlake IDT MotionPro X3™ 高速攝影機 (250Hz) 進行動作影像的記錄，再以 Peak Motus 9.0 版軟體對投擲最遠的該次動作影片進行二度空間數位化分析，原始資料的修勻則使用 Butterworth 低通數位濾波法，並選取最佳截止頻率處理之。投擲上肢計算獲得之運動學參數則以重複量數單因子變異數分析與 LSD 法事後比較進行統計考驗，顯著水準設定為  $\alpha = .05$ 。

## 三、結果與討論

實驗結果經分析後如表一所示，實驗參加者投擲不同慣性球體之最遠距離達顯著差異 ( $F_{(3, 12)} = 18.94$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .83$ )；投擲 110g 的球體可得最大的投擲距離 ( $25.02 \pm 3.06$  m)。球出手時肘關節角度未達顯著差異 ( $F_{(3, 12)} = 3.42$ ,  $p > .05$ ,  $\eta^2 = .46$ )。在出手瞬間，腕關節角速度在統計上也未達顯著差異 ( $F_{(3, 12)} = 0.44$ ,  $p > .05$ ,  $\eta^2 = .20$ )。對於出手前腕關節最大角速度來說，隨著球體慣性的增加，腕關節角速度隨之遞減，統計結果顯示，出手前之最大腕關節角速度在四種投擲球體操弄下達顯著差異 ( $F_{(3, 12)} = 6.70$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .63$ )，經事後比較得知，投擲 10g 與 110g 的球之出手前腕關節最大角速度 (10g:  $2245.89 \pm 951.44^\circ/s$ ；

110g :  $1551.62 \pm 495.37^\circ/s$ )，皆大於投擲 500g 的球之出手前腕關節最大角速度 ( $626.49 \pm 340.40^\circ/s$ )；投擲 10g、110g、310g、500g 等球之出手前腕關節最大角速度出現時間，分別為出手前  $0.0136 \pm 0.0125s$ 、 $0.0280 \pm 0.02577s$ 、 $0.0792 \pm 0.1484s$ 、 $0.0112 \pm 0.0091s$ ，但未達顯著差異 ( $F_{(3, 12)} = 0.59$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .13$ )。當比對出手瞬間與出手前的腕關節角速度值時，其腕關節角速度以 10g 與 110g 球體的變化量最大，而 310g 與 500g 球體變化量最少，顯示慣性較高的球體不僅難以被加速，也限制了腕關節運動狀態的改變。Kreighbaum and Barthels (1996) 即認為投擲者若能掌握肢段序列間的加速技巧，當近端肢段減速時，角動量能傳至遠肢段以獲得較大之角速度。110g 球體在出手前腕關節的角速度變化量高過慣性較高的球體，而又四種球體的出手瞬間角速度沒差異，可以推論投擲 110g 球體在出手末期動力鏈的角動量傳遞產生了其重要的作用。

表一 運動學參數之統計考驗結果

	10g	110g	310g	500g	$F_{(3, 12)}$	$\eta^2$	power	事後比較
投擲距離(m)					18.94*	0.83	1.00	110g > 310g > 10g, 500g
平均數	15.55	25.02	20.11	16.02				
標準差	1.79	3.06		2.44				
出手瞬間肘關節角度(°)					3.42	0.46	.61	
平均數	142.28	133.71	131.61	128.87				
標準差	13.53	15.77	21.08	21.18				
出手瞬間肘關節角速度(°/s)					0.58	0.12	.13	
平均數	1192.21	1354.95	1359.78	1089.21				
標準差	661.86	550.51	296.82	465.52				
出手前最大肘關節角速度(°/s)					0.32	0.07	.09	
平均數	1557.43	1540.56	1439.06	1462.54				
標準差	266.22	439.84	334.91	225.33				
出手瞬間腕關節角度(°)					1.97	0.33	.38	
平均數	191.85	188.96	192.29	205.15				
標準差	13.26	8.83	12.57	21.22				
出手瞬間腕關節角速度(°/s)					0.97	0.19	.20	
平均數	947.88	636.89	578.23	557.48				
標準差	442.96	410.10	547.87	348.43				
出手前最大腕關節角速度(°/s)					6.70*	0.62	.90	10g, 110g > 500g
平均數	2245.89	1551.62	1020.81	626.49				
標準差	951.44	495.37	344.76	340.41				

\* $p < .05$

#### 四、參考文獻

- Enoka, R. M. (2008). *Neuromechanics of human movement* (4<sup>th</sup> ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Kreighbaum, E., & Barthels, K. M. (1996). *Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement*. Boston: Allyn and Bacon.
- Lichtenberg, D. B., & John, Z. (1997). Encyclopedia of sports science. In J. Zumerchik (Ed.). *Field athletics: throwing* (pp. 201-229). New York: Simon & Schuster Macmillan.
- Van den Tillaar, R., & Ettema, G. (2007). A three-dimensional analysis of overarm throwing in experienced handball players. *Journal of Applied Biomechanics*, 23, 12-19.