

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

輕艇水球過肩投擲動作之生物力學分析 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 100-2410-H-028-004-
執行期間：100年08月01日至101年07月31日
執行單位：國立臺灣體育運動大學競技運動系

計畫主持人：張立騫

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：陳羿蓁
碩士班研究生-兼任助理人員：林芸蔓

公開資訊：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 101 年 10 月 31 日

中文摘要：輕艇水球是一種球類運動，但由於選手坐在船艇內，身體活動範圍與下肢動作會受到限制；其過肩投擲動作與其它球類運動也有所不同；然而，直至現今有關輕艇水球過肩投擲動作的研究卻鮮少發表。目的：為比較坐姿（同輕艇水球的坐姿）與站姿（雙腳平行站立）過肩投擲動作中的差異，並探究坐姿過肩投擲動作的特徵。方法：受試者包含 15 名輕艇水球國家代表隊選手，藉由 VICON 動作分析系統的使用，收集坐姿與站姿過肩投擲動作過程中，在投擲手臂、軀幹與下肢的動作，並以相依樣本 t 考驗分析坐姿與站姿過肩投擲動作的差異。結果：在投擲過程中，坐姿的最大肩關節水平內收角速度顯著高於站姿，而最大上軀幹旋轉角速度、最大骨盆旋轉角速度、最大軀幹前傾角速度與最大軀幹向左傾角速度皆低於站姿；在下肢的動作型式上，坐姿與站姿有顯著的差異；在球離手瞬間，坐姿投擲時軀幹呈現後傾的姿勢，站姿則完全相反。坐姿投擲時在肩關節水平內收角度顯著高於站姿，而肩關節外展與肩關節外旋角度則顯著低於站姿；最後在球速方面，坐姿與站姿則無顯著差異。結論：坐姿確實會影響過肩投擲動作的型式，包含投擲過程中軀幹呈現後傾、下肢動作中右腿呈現伸展-屈曲形式與左腿呈現屈曲-伸展形式，以及在球離手瞬間時肩關節出現較大水平內收角度，以上均為輕艇水球過肩投擲動作的特徵。

中文關鍵詞： 上肢、下肢、投擲

英文摘要：Canoe polo player has to sit inside the boat instead of standing to perform all shooting skills. This unique throwing position may have impact on the kinetic chain transferring from upper body to the lower body during overarm throwing, so to the movement of leg driving. The overarm throwing motions in canoe polo are quite different from other sports, but only few studies focused on the kinematic changes during overarm throwing by sitting. Purpose: The purpose of this study was to compare the differences during overarm throwing between sitting position especially designed for canoe polo and normal standing position, and to analyze the overarm throwing motion characteristic especially on the 'sitting' position in canoe polo. Method: Fifteen national team canoe polo players were involved in this study. The VICON motion analysis system was used to measure the overarm throw motion

variations in the sitting position and normal standing position. The difference between two throwing position variables was tested by using a paired t test. Results: During throwing, the sitting position showed a greater maximum shoulder horizontal adduction angular velocity and significantly lesser angular velocity in maximum upper torso rotation, maximum pelvis rotation, maximum forward trunk tilt and maximum left trunk tilt. The lower extremities movement patterns were different from two throwing positions. At the instant of ball release, the sitting position had a significantly greater shoulder horizontal adduction angle, lesser angles in shoulder abduction and shoulder external rotation. A backward trunk tilt at the instant of ball release was also found only in sitting position. No significant differences were observed in ball velocity between two throwing positions. Conclusion: All results found many body segmental movement patterns were changed to fit the sitting position on canoe polo overarm throw. During throwing, the trunk was in a backward tilt, players also exhibited an extension-flexion pattern for right leg, a flexion-extension pattern for left leg and greater shoulder horizontal adduction angles at the instant of ball release were characteristics of canoe polo overarm throw.

英文關鍵詞： upper extremities, lower extremities, throw.

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

輕艇水球過肩投擲動作之生物力學分析

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 100-2410-H-028-004-

執行期間：100 年 8 月 1 日至 101 年 7 月 31 日

執行機構及系所：國立臺灣體育運動大學競技運動學系

計畫主持人：張立羣

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：陳羿蓁

碩士班研究生-兼任助理人員：林芸蔓

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

赴國外出差或研習心得報告

赴大陸地區出差或研習心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

中 華 民 國 101 年 10 月 22 日

摘要

輕艇水球是一種球類運動，但由於選手坐在船艇內，身體活動範圍與下肢動作會受到限制，其過肩投擲動作與其它球類運動也有所不同；然而，直至現今有關輕艇水球過肩投擲動作的研究卻鮮少發表。目的：為比較坐姿（同輕艇水球的坐姿）與站姿（雙腳平行站立）過肩投擲動作中的差異，並探究坐姿過肩投擲動作的特徵。方法：受試者包含 15 名輕艇水球國家代表隊選手，藉由 VICON 動作分析系統的使用，收集坐姿與站姿過肩投擲動作過程中，在投擲手臂、軀幹與下肢的動作，並以相依樣本 t 考驗分析坐姿與站姿過肩投擲動作的差異。結果：在投擲過程中，坐姿的最大肩關節水平內收角速度顯著高於站姿，而最大上軀幹旋轉角速度、最大骨盆旋轉角速度、最大軀幹前傾角速度與最大軀幹向左傾角速度皆顯著低於站姿；在下肢的動作型式上，坐姿與站姿有顯著的差異；在球離手瞬間，坐姿投擲時軀幹呈現後傾的姿勢，站姿則完全相反。坐姿投擲時在肩關節水平內收角度顯著高於站姿，而肩關節外展與肩關節外旋角度則顯著低於站姿；最後在球速方面，坐姿與站姿則無顯著差異。結論：坐姿確實會影響過肩投擲動作的型式，包含投擲過程中軀幹呈現後傾、下肢動作中右腿呈現伸展-屈曲型式與左腿呈現屈曲-伸展型式，以及在球離手瞬間時肩關節出現較大水平內收角度，以上均為輕艇水球過肩投擲動作的特徵。

關鍵詞：上肢、下肢、投擲

Abstract

Canoe polo player has to sit inside the boat instead of standing to perform all shooting skills. This unique throwing position may have impact on the kinetic chain transferring from upper body to the lower body during overarm throwing, so to the movement of leg driving. The overarm throwing motions in canoe polo are quite different from other sports, but only few studies focused on the kinematic changes during overarm throwing by sitting. Purpose: The purpose of this study was to compare the differences during overarm throwing between sitting position especially designed for canoe polo and normal standing position, and to analyze the overarm throwing motion characteristic especially on the “sitting” position in canoe polo. Method: Fifteen national team canoe polo players were involved in this study. The VICON motion analysis system was used to measure the overarm throw motion variations in the sitting position and normal standing position. The difference between two throwing position variables was tested by using a paired *t* test. Results: During throwing, the sitting position showed a greater maximum shoulder horizontal adduction angular velocity and significantly lesser angular velocity in maximum upper torso rotation, maximum pelvis rotation, maximum forward trunk tilt and maximum left trunk tilt. The lower extremities movement patterns were different from two throwing positions. At the instant of ball release, the sitting position had a significantly greater shoulder horizontal adduction angle, lesser angles in shoulder abduction and shoulder external rotation. A backward trunk tilt at the instant of ball release was also found only in sitting position. No significant differences were observed in ball velocity between two throwing positions. Conclusion: All results found many body segmental movement patterns were changed to fit the sitting position on canoe polo overarm throw. During throwing, the trunk was in a backward tilt, players also exhibited an extension-flexion pattern for right leg, a flexion-extension pattern for left leg and greater shoulder horizontal adduction angles at the instant of ball release were characteristics of canoe polo overarm throw.

Keywords: upper extremities, lower extremities, throw.

一、前言

過肩投擲動作廣泛的運用在球類運動項目中，如棒球、美式足球、手球、水球與輕艇水球，這個動作能加快投球速度並增加其準確性(Adrian & Cooper, 1995; Cochrane, Hemsley, & Farrance, 1996; Ellitt & Armour, 1988; Sakurai, 2000)。在投擲過程中身體軀幹側向傾斜遠離投擲臂(Atwater, 1979)，而上肢提供一個開放性動力鏈(open kinetic chain)的動作(蔚順華, 2000)，透過有順序的肢體動作，使得能量和動量能夠最大程度的傳遞到其後連結的肢體上，而在末端肢體達到最大值(Fleisig, Barrentine, Escamilla, & Andrews, 1996a)，其肢體移動順序，依序為下肢、骨盆、軀幹、肩帶、上臂、前臂、最後到手(Atwater, 1979; Fleisig 等, 1996a; Wilk, Meister, Fleisig, & Andrews, 2000)。Dillman, Fleisig, and Andrews (1993)研究發現棒球投手從跨步腳著地到球離手瞬間僅需 0.145 秒，在這極短暫的時間內，球速可從 2m/s 加速到 38m/s。最大肩關節外旋角度可達到 178°，而此時手與球仍處於身體的後方(Dillman 等, 1993; Feltenr & Dapena, 1986)，在此之後肘關節伸展與肩關節內旋為主要的動作(Sakurai, 2000)，而球離手後肩關節最大內旋角速度達到 6940°/s(Dillman 等, 1993)。Fleisig 等(1996b)比較棒球投手與美式足球四分衛的投擲動作發現，由於美式足球的重量較重，所以四分衛在投擲動作上比投手更早達到最大肩關節外旋角度，給予更多的時間使肩關節內旋加速。Fradet, Kulps, Multon, & Delamarche (2002)研究手球射門動作發現，除了最大肩關節外旋角度比棒球與美式足球投擲動作小之外，其射門動作類似美式足球四分衛的動作。而 Feltenr and Nelson (1996) 研究水球射門動作發現，投擲臂動作模式類似棒球與美式足球，但在最大肩關節內旋角速度、最大水平內收角速度以及最大肘關節伸展角速度都比棒球與美式足球小。從上述研究顯示，不同運動項目的過肩投擲動作很類似，但受到不同球的重量、不同投擲環境或運動項目特性的影響，導致投擲動作有所差異。

輕艇水球是一種球類運動，比賽選手嘗試將球射向懸吊在水面上 2m 高的對方球門中，來獲得最多得分爭取勝利，在比賽中高達 80.2% 的得分是採用過肩投擲動作(張立群、謝錦松, 2002)，這個動作和前述幾項運動有所不同。輕艇水球選手坐在輕艇內，骨盆旋轉與軀幹活動範圍會受到限制；在水面上投擲，使得下肢缺少一個穩定的支撐面，給予下肢推蹬動作。這些特徵是否對投擲動作產生一些變化，目前有關坐姿投擲動作的研究相當缺乏，而針對輕艇水球過肩投擲動作，主要在研究投擲臂動作以及投擲過程中輕艇移動的分析(張立群、何維華、劉德智、戴憲維, 2005；張立群、劉德智、何維華、戴憲維, 2003)。對於坐姿投擲動作的特徵仍不清楚，在缺乏骨盆旋轉與下肢推蹬的動作特性下，是否會影響其輕艇水球過肩投擲動作表現，仍需要進一步的探討。

二、研究目的

為比較坐姿與站姿的過肩投擲動作之差異，探究坐姿的過肩投擲動作特徵。

三、文獻探討

投擲是一個複雜且高動力的動作，需要身體協調性的運動，身體肢體必須要有順序的移動，從肢體大、移動慢的軀幹動作移動到肢體小、移動快的手臂與手的末端肢體動作(Atwater, 1979)。過肩投擲使用單手臂推進物體到空中，上肢與軀幹保持分開的狀態(Sakurai, 2000)，骨盆、軀幹與肩膀的旋轉，手肘伸展以及手腕彎曲為主要的動作特徵(Toyoshima, Hoshikawa, Miyashita, & Oguri, 1974)。當投擲物的重量增加時，肘關節的高度會下降，反應時間增加，

動作距離加長，其投擲的速度相對減少（陳全壽，1981）。Toyoshima 等(1974)指出投擲的跨步動作與身體旋轉對球速的貢獻佔 46.9%，而投擲臂佔 53.1%。

過肩投擲動作出現在許多的運動項目中，例如：棒球投手的投球動作；美式足球四分衛的傳球動作；手球、水球、輕艇水球選手的傳球和射門動作等。研究發現在投球時棒球投手從跨步腳著地到球離手瞬間僅 0.145 秒，在這極短暫的時間內，可以投出球速高達時數 160 公里（44m/s）的快速球。上臂經歷一個極度的外旋，但肘關節處於屈曲的姿勢(Atwater,1979; Feltenr & Dapena, 1986)。其肩關節最大外旋角度高達 178° ，而此時手與球仍處於身體的後方(Dillman 等, 1993; Feltenr & Dapena, 1986)，在此之後肘關節伸展與肩關節內旋為主要的動作，在球離手後最大肩關節內旋角速度高達 $6940^{\circ}/s$ (Dillman 等, 1993)。在這樣快速度的肢體動作下，將使上肢承受相當大的負荷，Fleisig, James, Andrews, Dillman, and Escamilla (1995) 研究發現投擲臂在揮臂準備期、加速期與減速期期間，出現很高的動力學數值。在揮臂準備期出現最大肩關節內旋力矩瞬間(67Nm)，以及減速期出現肩關節最大拉力瞬間(1090N)，為肩關節兩個重要的關鍵點，因為許多過度使用的傷害都發生在這些時刻。在美式足球運動中，四分衛站在平坦的地面上，投擲物體呈一個拋物線到達目標，由於美式足球的重量較重，不能產生像投手有那麼大的肩關節內旋角速度，所以四分衛比投手更早達到最大肩關節外旋角度，來提早肩關節的內旋動作(Fleisig 等, 1996b)。但在最大肩關節內旋角速度($2987^{\circ}/s$)與最大肘關節伸展角速度($1276^{\circ}/s$)仍比棒球投手慢，其最大角速度的出現時間也比較慢(Rash and Shapiro, 1995)。在肢體動作上，利用增加肩關節水平內收角度和肘關節屈曲角度、縮短跨步距離、使身體軀幹更為直立以及減少骨盆與軀幹旋轉速度等這些調整動作，以適應球的重量(Fleisig 等, 1996b)。Fradet 等(2002)研究手球選手 9 公尺交叉步射門動作發現，其動作類似美式足球四分衛的動作，但最大肩關節外旋角度(133°)比棒球與美式足球小，在球離手瞬間肩關節處於內旋姿勢，而肘關節伸展角度為 117° 。Fradet 等認為這些差異可能是由於受試者技術的不足或是特別的調整動作，以避免因肩關節外旋姿勢過大而引起投擲臂的受傷。Wit and Elias (1998)研究手球 7 公尺罰球動作發現，身體肢體達到最大動能的時間幾乎和棒球、水球項目一樣。

水球射門動作與上述在陸上進行投擲的運動有所不同，由於在水面進行投擲，下肢缺乏像地面一樣穩定的支撐面，因此選手必須由踩水動作來獲得投擲所需的動量(Zachazewski 等, 1998)。Feltner and Nelson (1996)研究 13 名大學男子水球選手 4 公尺罰球動作發現，射門球速為 16.5m/s，其投擲臂動作模式類似棒球與美式足球運動，但肩關節最大外旋角度(155°)、肩關節最大內旋角速度($1980^{\circ}/s$)、最大水平內收角速度($490^{\circ}/s$)以及肘關節最大伸展角速度($1034^{\circ}/s$)都比棒球與美式足球小。在地面上投擲時，下肢對於動量的傳遞扮演著很重要的角色(Elliott & Armour, 1988; MacWilliams, Choi, Perezous, Chao, & McFarland, 1998)。當跨步腳著地後，將所產生的動量從下肢經由骨盆、軀幹傳遞到投擲臂，最後到達球上 (Miyaniishi & Mukai, 2001)。Whiting, Gregor, and Halushka (1991)指出在投擲時跨步腿支撐著身體，能給予軀幹和上肢加速向前，並協助動量傳遞經由軀幹到投擲臂。而骨盆和軀幹適當的旋轉時機與協調性，對於傳遞能量到投擲臂上是相當重要的 (Fleisig 等, 1996a)。Stodden, Fleisig, McLean, Lyman, and Andrews (2001)研究軀幹和骨盆旋轉與球速之間的關係發現，在最大肩關節外旋時，增加骨盆與軀幹的旋轉角度、在揮臂準備期增加骨盆旋轉平均角速度以及在加速期增加軀幹旋轉平均角速度，其球速增加。而 Matsuo, Escamilla, Fleisig, Barrentine, & Andrews (2001)比較不同球速選手（高球速組 $38.4\pm 0.6m/s$ ，低球速組 $33.2\pm 0.9m/s$ ）投擲動作的差異。研究發

現高球速組選手在最大肩關節外旋角度、球離手瞬間其身體軀幹前傾角度以及膝關節伸展角速度都顯著高於低球速組選手，雖然兩組選手的球速達顯著差異，但投擲的動作時間卻十分接近。

在輕艇水球項目，選手以坐姿在水面上執行投擲動作，其身體軀幹與下肢約成 90 度角，雙腿膝蓋微彎，雙腳踩在腳踏板上。這樣姿勢使得骨盆旋轉與軀幹活動範圍受到限制。由於下肢缺乏地面的支撐，因此在輕艇內安裝腳踏板，透過下肢推蹬腳踏板的作用來傳遞動量到輕艇上。在投擲過程中，輕艇的船頭會先朝向左側移動然後再向右側移動(張立群等, 2003)。過肩投擲動作其身體軀幹側向傾斜遠離投擲臂，棒球投手在球離手瞬間其軀幹側向傾斜達 34°、美式足球為 24° (Fleisig 等, 1996c)。由於輕艇是浮在水面上，在投擲時過多的身體側向傾斜動作，將使得身體重心偏離輕艇中心點太遠，因而失去平衡導致翻船到水裏。這些特徵和其他運動的過肩投擲動作有所不同。目前有關坐姿投擲動作的研究相當缺乏，而針對輕艇水球過肩投擲動作研究發現，投擲動作過程中，肩、肘、腕關節依序的向前加速，達到各關節的最大速度，而且遠端關節的最大速度比近端關節最大速度高(張立群等, 2005)，另一篇研究發現在投擲過程中，選手都有相同的輕艇移動模式，其船頭會先朝向左側移動然後再向右側移動，但移動的距離和射門球速之間未達顯著相關(張立群等, 2003)。從這兩篇研究的結果，對於過肩投擲動作有初步瞭解，但其研究僅探討上肢肢體動作變化與輕艇移動的距離，並沒有探討投擲臂與身體軀幹動作型式、下肢肢體動作型式等問題。

綜合上述的文獻可以發現，過肩投擲動作在投擲時，身體側向傾斜遠離投擲臂，其骨盆、軀幹與肩膀的旋轉，手肘伸展以及手腕彎曲為主要動作的特徵。身體各肢體必須有協調性、有順序的移動，使得能量和動量能夠最大程度的傳遞到其後連結的肢體上，而在末端肢體達到最大值。如此獲得最大的動量與減低上肢的負荷，並且減少傷害的發生。而輕艇水球過肩投擲動作，由於選手坐在輕艇內，並在水面上執行投擲動作的特性，限制了骨盆的旋轉，並影響到選手上半身的活動範圍，使得下肢缺乏穩定的支撐面，這是否會影響到選手動作與表現仍不清楚，對於輕艇水球過肩投擲動作的特徵，仍需要進一步的探討。

四、研究方法

(一) 研究對象

本研究對象為 15 名輕艇水球國家代表隊選手，年齡為 28±5.9 歲、身高 173.9±6.9 公分、體重 76±7.7 公斤、運動經歷 12.3±4.5 年。全體受試者的慣用手皆為右手，且在實驗前三個月皆無任何的運動傷害。實驗前詳細告知研究目的、實驗流程及注意事項後，讓受試者簽署實驗同意書與個人基本資料。

(二) 實驗步驟

本研究在室內進行實驗，使用 VICON 動作分析系統收集受試者過肩投擲動作。在投擲區的四周架設八台紅外線攝影機，在投擲區前方 4.5m 處懸吊一塊 0.7m×0.7m 大小的帆布作為投擲的目標區，坐姿投擲的目標區，其帆布的下緣距離地面 1.7m，而站姿投擲設定為 2.6m。此外在目標區後方懸吊尼龍網子與架設測速槍，所有儀器設置完成後進行測試與校正。受試者依個人以往比賽前的熱身活動進行熱身，待受試者自覺準備好接受激烈運動為止。再依據 Zheng, Fleisig, Barrentine and Andrews (2004)的方法將反光球黏貼至受試者兩腳中指的遠端、兩腿的外踝、股骨外上髁、大轉子、兩側肩峰、肱骨外上髁及手腕共 14 個標記點，而在水球兩側邊各黏貼 1 反光球。實驗時受試者以隨機的方式決定兩種姿勢投擲的先後順序，坐姿投

擲為受試者坐在訂製的平台上進行，採用和輕艇水球比賽相同的坐姿，依個人習慣調整腳踏板的位置並予以固定，以過肩投擲動作將球投擲進入目標區內，在投擲過程中，受試者的臀部與雙腳均不能離開座椅與腳踏板上。而站立投擲為受試者以雙腳平行站立的姿勢站在投擲線後，以過肩投擲動作將球投擲進入目標區內，在投擲過程中，受試者的雙腳都不能移動與離開地面。每一次投擲均要求受試者以個人最熟練、固定且最佳的投擲動作模式進行，強調投擲的球速與準確性，激勵受試者盡最大努力將球投擲進入目標區域內，動作完成回復到自然姿勢後停止動作。每次投擲結束休息一分鐘，兩種姿勢投擲間隔 10 分鐘，每一種姿勢必須成功的投擲進目標區五球，取球速最快的一次進行分析。

(三) 資料處理與分析

將 Vicon 紅外線攝影機收集的反光球訊號，經由 Vicon Nexus 1.4.114 軟體將每一個標記點進行定義和軌跡辨識，以 Vicon Nexus 內建之程式進行資料修勻與分析，獲得各標記點在空間之軌跡位置資料，依據 Zheng 等(2004)的方法，利用 Microsoft Excel 2007 軟體計算投擲臂肩關節、肘關節的運動學與動力學參數、身體軀幹與下肢肢體的運動學參數。本研究擷取受試者在球離手瞬間前 0.4 秒與球離手瞬間後 0.05 秒之間的動作進行分析，本研究僅探討在揮臂準備期與加速期的動作，依據張立群等(2005)的方法，以投擲臂向後擺動結束時，從肘關節開始向前移動瞬間，代表揮臂準備期的起始點。以動作姿勢定義三個動作時相，分別為肘關節向前瞬間、最大肩關節外旋角度、以及球離手瞬間，用來定義兩個動作階段，分別為揮臂準備期（從肘關節向前瞬間開始至最大肩關節外旋角度時）與加速期（從最大肩關節外旋角度開始至球離手瞬間）。最後將本研究所收集的各項參數資料，利用 SPSS for windows 12.0 統計分析軟體，以描述統計方法計算平均數與標準差，以相依樣本 t 檢定，比較坐姿與站姿過肩投擲動作各項參數的差異，顯著水準定為 $\alpha=.05$ 。

五、結果與討論

(一) 球速

球速快慢一直是球類運動項目所關注的焦點，球速越快越能縮短防守者與守門員判斷來球時間，降低被封阻的機會，來提高射門成功率(Wit & Elias, 1998)。本研究發現坐姿與站姿投擲的球速未達到顯著差異（表一），這與預期的結果不同。站姿投擲其身體動作幅度受限較小，能有更大的活動範圍進行投擲，有利於產生高球速，但本研究站姿投擲的球速並沒有顯著較快，探究其原因主要是本研究的站姿投擲動作，採用雙腳平行站立，在投擲過程中雙腳不能移動與離地，因此缺乏像棒球投手向前跨步的動作來驅動身體向前移動，加上雙腳站立的支撐面積較向前跨步所構成的支撐面積小，其穩定性相對較差也影響投擲動作與球速，因而導致兩種投擲動作的球速沒有顯著差異。

(二) 動作時間

在投擲過程中，坐姿與站姿投擲的全部動作時間相當接近，未達顯著差異（表一）；但在揮臂準備期與加速期的動作時間以及佔全部動作時間的百分比上，則達顯著差異。與站姿投擲相比較，坐姿投擲動作的揮臂準備期顯著較短，但加速期顯著的較長，Fleisig 等(1996) 研究發現美式足球四分衛投擲動作，不能產生像棒球投手這麼快的肩關節外旋角速度，因此透過比投手更早達到最大肩關節外旋角度，來提早肩關節的旋轉動作，給予更多的時間產生肩關節內旋的加速。本研究坐姿投擲也出現相同的現象，揮臂準備期時間顯著比站姿投擲短，代表較早出現最大肩關節外旋角度，提早肩關節內旋動作，來加速球的向前運動。

表一 不同過肩投擲動作的動作時間與球速

運動學參數	坐姿(n=15)	站姿(n=15)	p 值
動作時間 (s)			
揮臂準備期	0.21±0.04	0.24±0.06	0.011 *
加速期	0.05±0.01	0.04±0.01	0.003 *
全部動作時間	0.26±0.03	0.27±0.06	0.074
佔全部動作時間百分比 (%)			
揮臂準備期	81.4±7.2	85.8±4.9	0.002 *
加速期	18.6±7.2	14.2±4.9	0.002 *
球速 (m/s)	14.3±1.4	14.7±1.4	0.141

* $p < .05$

(三) 肢體動作特徵

在投擲過程中，比較坐姿與站姿投擲的上肢、身體軀幹與下肢動作發現，在肘關節向前瞬間的 10 個運動學參數中有 6 個參數達顯著差異（表二）。與站姿動作相比較，坐姿投擲的肩關節外旋角度與左腿膝關節角度顯著較小，但在上軀幹與骨盆旋轉角度、肩關節水平內收角度與身體軀幹向後傾斜角度則顯著較大。本研究受試者投擲距離僅 4.5 公尺，其投擲目標區的下緣距離地面有 1.7 公尺高，當坐姿投擲時身體軀幹自然會向後傾斜來面對正前上方的投擲目標，身體軀幹也會較為直立，其骨盆旋轉角度和站姿投擲相差將近 15°，顯示坐姿投擲身體軀幹旋轉較少。在此時上肢肩關節為外展、外旋與水平內收姿勢，和棒球投手肩關節外展、內旋與水平外展姿勢有所不同(Fleisig, 1996b)，這個差異主要是受到身體軀幹後傾斜姿勢的影響。在最大肩關節外旋角度上，也是坐姿投擲顯著小於站姿投擲。

在球離手瞬間其肢體動作有較大的差異，本研究發現在 10 個運動學參數中有 8 個參數達顯著差異（表二）。與站姿動作相比較，上肢的肩關節外展角度、肩關節外旋角度、身體軀幹向左傾斜、上軀幹與骨盆旋轉角度以及右腿膝關節角度都顯著較小，只有在肩關節水平內收角度顯著較大，此外坐姿投擲的身體軀幹為向後傾斜，而站姿投擲則是向前傾斜。在肢體動作中，本研究發現在肘關節向前瞬間與球離手瞬間時，坐姿與站姿投擲的肩關節角度相當接近且未達顯著差異，這顯示坐姿投擲並不會影響過肩投擲的肩關節動作。Stodden, Fleisig, McLean, & Andrews (2005)指出在揮臂準備期開始時減少肩關節水平內收角度與在球離手瞬間增加身體軀幹向前傾斜角度，將可增加投擲過程中球移動的距離，進而增加球速。由於坐姿投擲，讓身體軀幹處於向後傾斜姿勢來投球，將減少球移動的距離，本研究發現坐姿投擲的肩關節水平內收角度顯著大於站姿投擲，這顯示受試者利用增加肩關節水平內收角度來延長球移動的距離增加球速。有關坐姿投擲的下肢動作型式並無相關的研究，本研究是第一篇探討坐姿投擲的下肢動作。從結果顯示坐姿與站姿投擲的下肢動作型式有很大的差異，也和棒球投手下肢動作有所不同(Matsuo 等, 2001)。在投擲過程中，站姿投擲的下肢動作為雙腿呈現屈曲-伸展型式，這個動作型式在投擲時，膝關節會先進行屈曲動作然後再伸展，這類似網球發球的下肢動作型式(Iino & Kojima, 2003)；但坐姿投擲的下肢動作，雙腿則呈現相反的型

式，右腿呈現伸展-屈曲型式，左腿則是屈曲-伸展型式。在投擲開始時，右腿先進行伸展動作，同時左腿則是屈曲動作，然後右腿轉變為屈曲動作，而左腿為伸展動作。

表二 不同過肩投擲動作的肢體動作運動學 (°)

運動學參數	坐姿(n=15)	站姿(n=15)	p 值
肘關節向前瞬間			
肩關節外展角度	112.2±11.2	110.0±12.3	0.270
肩關節水平內收角度	8.7±7.1	4.6±7.7	0.008 *
肩關節外旋角度	93.9±10.3	98.5±11.1	0.020 *
肘關節屈曲角度	87.7±14.2	85.7±14.4	0.290
身體軀幹後傾斜角度	-16.9±2.1	-7.5±2.9	0.000 *
身體軀幹左傾斜角度	1.5±2.3	3.3±3.3	0.053
上軀幹旋轉角度	15.8±8.8	12.1±8.1	0.019 *
骨盆旋轉角度	81.7±2.9	66.2±5.6	0.000 *
右腿膝關節角度	141.5±6.2	141.3±9.1	0.942
左腿膝關節角度	124.5±5.2	145.1±6.9	0.000 *
最大肩關節外旋角度	129.5±9.8	141.5±11.8	0.000 *
球離手瞬間			
肩關節外展角度	102.4±8.6	108.4±8.7	0.006 *
肩關節水平內收角度	26.6±6.8	18.4±6.4	0.000 *
肩關節外旋角度	113.7±11.4	128.6±15.0	0.000 *
肘關節伸展角度	121.4±12.9	121.5±12.6	0.958
身體軀幹前/後傾斜角度	-7.1±4.1	6.5±3.2	0.000 *
身體軀幹左傾斜角度	10.4±2.9	17.2±5.7	0.000 *
上軀幹旋轉角度	102.7±8.7	105.9±8.0	0.002 *
骨盆旋轉角度	94.5±4.18	110.5±7.6	0.000 *
右腿膝關節角度	129.6±6.2	152.5±8.3	0.000 *
左腿膝關節角度	137.6±8.2	139.2±7.6	0.620

* $p < .05$

比較投擲過程中肢體動作的最大角速度，本研究發現在 9 個運動學參數中有 7 個運動學參數達顯著差異（表三）。與站姿投擲相比較，坐姿投擲在最大身體軀幹前傾斜角速度、最大身體軀幹左傾斜角速度、最大上軀幹旋轉角速度、最大骨盆旋轉角速度、下肢的最大右腿膝關節角速度與最大左腿膝關節角速度都顯著較慢，只有在上肢最大肩關節水平內收角速度是顯著比站姿快。Stodden, Glenn, Fleisig, McLean, Lyman, & Andrews (2001) 研究發現棒球投手在最大肩關節外旋角度時，上軀幹與骨盆旋轉角度增加、在揮臂準備期的平均骨盆旋轉角速度增加、以及在加速期的平均上軀幹旋轉角速度增加時，則投擲的球速增加。本研究坐姿投擲的上軀幹與骨盆旋轉的角速度都顯著比站姿投擲慢，此結果再次證明坐姿投擲限制身體活動範圍，影響其旋轉角速度，進而降低投擲的球速。

表三 不同過肩投擲動作的肢體動作最大角速度 (°/s)

運動學參數	坐姿(n=15)	站姿(n=15)	p 值
最大肩關節水平內收角速度	302.3±63.4	270.0±73.0	0.020 *
最大肩關節內旋角速度	3595.2±1040.5	4047.6±734.4	0.111
最大肘關節伸展角速度	1368.2±155.6	1394.2±152.3	0.558
最大身體軀幹前傾斜角速度	72.3±26.8	98.1±25.4	0.016 *
最大身體軀幹左傾斜角速度	65.8±20.3	93.8±36.5	0.002 *
最大上軀幹旋轉角速度	580.6±94.4	630.0±91.6	0.003 *
最大骨盆旋轉角速度	129.9±70.4	327.6±98.4	0.000 *
最大右腿膝關節角速度	-104.8±45.8	143.2±51.5	0.000 *
最大左腿膝關節角速度	142.5±91.6	202.8±68.1	0.036 *

* $p < .05$

表四 不同過肩投擲動作的肢體動作最大角速度出現時間佔全部動作時間的百分比 (%)

坐姿(n=15)		站姿(n=15)	
運動學參數	百分比	運動學參數	百分比
1.肘關節向前瞬間	0.0	1.肘關節向前瞬間	0.0
2.最大身體軀幹前傾斜角速度 *	56.3	2.最大右腿膝關節角速度	67.0
3.最大身體軀幹左傾斜角速度 *	62.4	3.最大身體軀幹左傾斜角速度	74.7
4.最大上軀幹旋轉角速度	79.1	4.最大身體軀幹前傾斜角速度	76.0
5.最大肩關節水平內收角速度 *	79.4	5.最大骨盆旋轉角速度	80.3
6.最大骨盆旋轉角速度	80.9	6.最大上軀幹旋轉角速度	81.7
7.最大右腿膝關節角速度 *	81.1	7.最大肩關節水平內收角速度	82.2
8.最大肩關節外旋角度 *	81.4	8.最大肩關節外旋角度	85.8
9.最大左腿膝關節角速度 *	82.8	9.球離手瞬間	100.0
10.球離手瞬間	100.0	10.最大肘關節伸展角速度	102.4
11.最大肘關節伸展角速度	102.5	11.最大肩關節內旋角速度	112.1
12.最大肩關節內旋角速度	112.0	12.最大左腿膝關節角速度	112.1

* $p < .05$

(四) 肢體動作順序

過肩投擲為一種開放性動力鏈動作，其肢體動作需有順序且合理的移動，才能使末端肢體獲得最大的動量。如果身體動作的順序有不適當的出現時機，將會損失從較大肢體到投擲臂轉移的角動量，如此投擲者將傾向產生更多內旋力矩來補償這個損失(Fleisig, Barrentine, Escamilla, & Andrews, 1996)。在投擲過程中，坐姿與站姿投擲的肢體動作順序有所不同，在肢體動作的9個運動學參數中有5個參數達顯著差異(表四)。與站姿動作相比較，坐姿投擲的最大身體軀幹前傾斜角速度、最大身體軀幹左傾斜角速度、最大肩關節水平內收角速度與最大左腿膝關節角速度都是較早出現，但在最大右腿膝關節角速度則較慢出現。從表四中，可以看到站姿投擲在肘關節向前瞬間之後，肢體動作的最大角速度出現順序為右腿膝關節伸

展、身體軀幹左傾與前傾、骨盆旋轉、上軀幹旋轉、肩關節水平內收、肘關節伸展、肩關節內旋、最後為左腿膝關節伸展，這個動作順序和棒球投手動作相似(Fleisig 等, 1996; Matsuo 等, 2001)。而坐姿投擲在肘關節向前瞬間之後，肢體動作順序則為身體軀幹前傾與左傾、上軀幹旋轉、肩關節水平內收、骨盆旋轉、右腿膝關節伸展、左腿膝關節伸展、肩關節水平內收、肘關節伸展。本研究發現坐姿投擲，上軀幹和骨盆旋轉以及右腿和左腿膝關節伸展達到最大角速度的時機相當接近，和棒球投手動作順序不同(Fleisig 等, 1996; Matsuo 等, 2001)。此結果顯示坐姿確實會影響過肩投擲動作的型式。

六、結論與建議

本研究證實坐姿確實會影響過肩投擲動作的型式，在投擲過程中身體軀幹呈現後傾、下肢動作中右腿呈現伸展-屈曲型式與左腿呈現屈曲-伸展型式、以及在球離手瞬間時肩關節出現較大水平內收角度，均為輕艇水球過肩投擲動作的特徵，與其它球類運動有所差異。此研究成果可提供教練在指導和訓練選手動作技術或者選手在學習動作技術時的學理依據，進而提高運動表現及減少傷害的發生，同時也有助於相關醫療專業人員在輕艇水球運動傷害的診斷與臨床治療之參考。過去有關輕艇水球投擲的下肢動作，僅描述其動作未有任何的量化資料，本研究是第一篇針對其下肢動作進行分析，獲得優秀選手下肢動作形式與量化數據。然而，在下肢推蹬力量與下背部貼住椅背的支撐動作，對於投擲球速的貢獻與影響，目前仍不清楚，其測量方法與技術也須進一步克服。此外，本研究受試者皆為男性，對於女性選手是否有相同的投擲動作特徵不得而知，也是未來研究的重要議題之一。

參考文獻

- 張立群、何維華、劉德智、戴憲維 (2005)。輕艇水球過肩投擲動作之三度空間運動學分析。
體育學報, 38(3), 9-22。
- 張立群、劉德智、何維華、戴憲維 (2003)。輕艇水球射門球速與輕艇移動之關係。*新世紀學校體育發展研討會會議手冊* (頁 38)。台北縣：輔仁大學。
- 張立群、謝錦松 (2002)。輕艇水球比賽得分要素之分析。*中華民國大專院校九十二年度體育學術研討會專刊下集*。(頁 477-485)。台北市：中華民國大專院校體育總會。
- 陳全壽 (1981)。兩種投擲方法中運動量運動成績及最大肌力之間的關係。*中華民國大專院校七十年度體育學術研討會專刊*。(頁 333-485)。台北市：中華民國大專院校體育總會。
- 蔚順華 (2000)。投擲運動的傷害。載於許樹淵 (主編), *運動力學* (頁 170-189)。台北市：中華民國體育學會。
- Adrian, M. J., & Cooper, J. M. (1995). *Biomechanics of Human Movement* (2nd ed.). Madison, Wisconsin : Brown & Benchmark.
- Atwater, A. E. (1979). Biomechanics of overarm throwing movements and of throwing injuries. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 7, 43-85.
- Cochrane, D., Hemsley, S., & Farrance, J. (1996). *Level one canoe polo coaching manual*. Australian: Australian Canoeing Inc.
- Dillman, C. J., Fleisig, G. S., & Andrews, J. R. (1993). Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *Journal of Orthopaedics and Sports Physical Therapy*, 18(2), 402-408.

- Elliott, B. C., & Armour, J. (1988). The penalty throw in water polo: a cinematographic analysis. *Journal of Sports sciences*, 6, 103-114.
- Feltner, M., & Dapena, J. (1986). Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, 235-259.
- Feltner, M. E., & Nelson, S. T. (1996). Three-dimensional kinematics of the throwing arm during the penalty throw in water polo. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 359-382.
- Fleisig, G. S., Andrews, J. R., Dillman, C. J., & Escamilla, R. F. (1995). Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *The American Journal of Sports Medicine*, 23(2), 233-239.
- Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Escamilla, R. F., & Andrews, J. R. (1996a). Biomechanics of overhand throwing with implications for injuries. *Sports Medicine*, 21(6), 421-437.
- Fleisig, G. S., Escamilla, R. F., Andrews, J. R., Matsuo, T., Satterwhite, Y., & Barrentine, S. W. (1996b). Kinematic and kinetic comparison between baseball pitching football Passing. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 207-224.
- Fradet, L., Kulpa, R., Multon, F., & Delamarche, P. (2002). Kinematic analysis of handball throwing. In K. E. Glanikellis (Ed.), *XXth International Symposium on Biomechanics in Sports: Proceedings* (pp. 119-122). Caceres: Universidad de Exteremadura.
- Iino, Y., & Kojima, T. (2003). Role of knee flexion and extension for rotating the trunk in a tennis forehand stroke. *Journal of Human Movement Studies*, 45, 133-152.
- MacWilliams, B. A., Choi, T., Perezous, M. K., Chao, E. Y. S., & McFarland, E. G. (1998). Characteristic ground-reaction forces in baseball pitching. *The American Journal of Sports Medicine*, 26(1), 66-71.
- Matsuo, T., Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., & Andrews, J. R. (2001). Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 1-13.
- Miyaniishi, T. & Mukai, M. (2001). Three-dimensional dynamic analysis for thr lower extremity during fastball baseball pitch. In J. R. Blackwell (Ed.), *XIXth International Symposium on Biomechanics in Sports: Proceedings* (pp. 108-111). San Francisco: University of San Francisco.
- Rash, G. S., & Shapiro, R. (1995). A three-dimensional dynamic analysis of the quarterback's throwing motion in American football. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 443-459.
- Sakurai, S. (2000). Motion analysis of overhand throwing: past, present, and future. In Y. Hong, & D. P. Johns (Eds.), *Proceedings of the XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 13-19). Hong Kong: Chinese University of Hong Kong.
- Stodden, D. F., Fleisig, G. S., Mclean, S. P., & Andrews, J. R. (2005). Relationship of biomechanical factors to baseball pitching velocity: within pitcher variation. *Journal of Applied Biomechanics*, 21, 44-56.
- Stodden, D. F., Fleisig, G. S., Mclean, S. P. Lyman, S. L., & Andrews, J. R. (2001). Relationship of pelvis and upper torso kinematics to pitched baseball velocity. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 164-172.

- Toyoshima, S., Hoshikawa, T., Miyashita, M., & Oguri, T. (1974). Contribution of the body parts to throwing performance. In R. C. Nelson, & C. A. Morehouse (Eds.), *Biomechanics IV* (pp. 169-174). Baltimore: University Park Press.
- Whiting, W. C., Gregor, R. J., & Halushka, M. (1991). Body segment and release parameter contributions to new-rules javelin throwing. *International Journal of Sport Biomechanics*, 7, 111-124.
- Wilk, K.E., Meister, K., Fleisig, G. & Andrews, J.R. (2000). Biomechanics of the overhead throwing motion. *Sports medicine and arthroscopy review*, 18, 124-134.
- Wit, A., & Elias, J. (1998). A three-dimensional kinematic analysis of handball throws. In H. J. Riehle, & M. M. Vieten (Eds.), *XVI International Symposium on Biomechanics in Sports: Proceedings I* (pp. 281-284). Konstanz: Universitätsverlag Konstanz GmbH.
- Zheng, N., Fleisig, G. S., Barrentine, S., & Andrews, J. R. (2004). Biomechanics of pitching. In G. K. Hung & J. M. Pallis (Eds.), *Biomedical Engineering Principles in Sports* (pp.209-256). New York: Kluwer Academic.
- Zachazewski, J. E., Steiner, L. A., & Petruska, A. J. (1995). Overhead throwing and other related motions. In M. J. Kelley, & W. A. Clark (Eds.), *Orthopedic Therapy of the Shoulder* (pp. 371-406). New York : Lippincott Williams & Wilkins.

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/10/22

國科會補助計畫	計畫名稱: 輕艇水球過肩投擲動作之生物力學分析
	計畫主持人: 張立羣
	計畫編號: 100-2410-H-028-004- 學門領域: 運動生物力學
無研發成果推廣資料	

100 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：張立鶯		計畫編號：100-2410-H-028-004-				計畫名稱：輕艇水球過肩投擲動作之生物力學分析	
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	1	100%	篇	目前已彙整研究結果，撰寫論文將投稿於國內期刊。
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	2	2	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			

<p style="text-align: center;">其他成果</p> <p>(無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	無
---	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

原計畫為申請二年期之計畫，計畫分為兩個研究：一、基礎研究，在比較坐姿與站姿過肩投擲動作之差異；二、應用研究：將第一年所建立的方法與研究成果，分析優秀選手實際在水面上執行過肩投擲動作的表現。然而貴會僅核准本計畫為一年期，故本研究因受限於時間與實驗設計，因此在有限的資源及時間限制下，本研究完成第一年的基礎研究。

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究發現在投擲過程中軀幹呈現後傾、下肢動作中右腿呈現伸展-屈曲型式與左腿呈現屈曲-伸展型式、以及在球離手瞬間時肩關節出現較大水平內收角度，均為輕艇水球過肩投擲動作的特徵。證實坐姿確實會影響過肩投擲動作的型式，與其它球類運動有所差異，因此不能以相同動作形式來指導輕艇水球選手。此研究成果可提供教練在指導和訓練選手動作技術或者選手在學習動作技術時的學理依據，進而提高運動表現及減少傷害的發生，同時也有助於相關醫療專業人員在輕艇水球運動傷害的診斷與臨床治療之參考。在過去有關輕艇水球投擲的下肢動作，僅有動作描述未有任何的量化資料，本研究是第一篇針對其下肢動作進行分析，獲得優秀選手下肢動作形式與量化數據。然而，在下肢推蹬力量與下背部貼住椅背的支撐動作，對於投擲球速的貢獻與影響，目前仍不清楚，其測量方法與技術也須進一步克服。此外，本研究受試者皆為男性，對於女性選手是否有相同的投擲動作特徵不得而知，也是未來研究的重要議題之一。