國立臺灣師範大學體育學系
博士學位論文

臺灣地區國中、高中、大學棒球投手投球動作及影響球速的因子比較

研 究 生：林俊龍
指導教授：黃長福

中華民國 101 年 1 月
中華民國臺北市

臺灣地區國中、高中、大學棒球投手投球動作及影響球速因子的比較

2012 年 2 月

研 究 生：林俊龍
指導教授：黃長福

摘要

本研究的目的是針對不同年齡層的投手做投球動作的比較，以找出投球過程中運動學、動力學及時間的參數的差異，及找出各年齡層影響球速的有效變數。本研究以國中、高中手及大學投手各 10 名（67±12kg，167±11cm；74±9kg，179±5cm；88±10kg，179±7cm）為研究對象，以兩塊測力板（Kistler）搭配動作分析系統（Vicon MX13）（200Hz）來收集投手對前方 3m 的網子全力投 10 球的影像。將最快的 3 球的參數平均，代表該受試者的參數，以單因子變異數分析(ANOVA)法來檢測 3 組投手的差異，並進行事後比較。再自各受試者中取 6 球，依不同年齡層分別進行迴歸分析，找出各個年齡層中影響球速的參數。。

研究結果發現，國中投手球速較高中和大學慢，高中和大學間無差異。在運動學和時間參數上，國中投手和其他兩組相比，在手臂加速期中的肩關節內旋範圍較大，加速時間較長。高中投手則是在著地瞬間的前導腳膝關節彎曲角度較小，加速期中的肘關節伸展速度峰值及肩關節內旋速度峰值較大，同時肩關節外旋角度峰值發生相對時間較晚，手臂加速期也時間較短。

在上肢動力學參數上，國中投手在手臂上舉期的肘關節前翻力矩、肩關節內旋力矩和手臂減速期的肘關節軸向力量、肩關節向後力量、肩關節軸向力量都低於其他兩組的值。在下肢動力學參數上，軸心腳的髖膝踝三關節軸向力量、髖關節內收力矩、膝踝兩關節的彎曲力矩值都有依年齡增加的趨勢，並且都在國中和大學間出現差異。前導腳則是在地面反作用力和膝踝兩關節軸向力量上有類似的差異，但髖關節軸向力卻未在三組間有任何差異。

在影響球速的因子中，國中投手分別是手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值、跨步幅度和肘關節彎曲角度峰值等三參數影響較大。高中則是手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值、球離手瞬間的前導腳膝關節彎曲角度、軀幹旋轉速度峰值和身高等四參數影響較大。大學是手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值、前導腳著地瞬間前腳膝關節角度、肩關節外旋角度峰值和肘關節伸展速度峰值等四參數影響較大。

由結果得知，國中投手的投球動作和其他兩組大致相同，上、下肢的動力學參數都最小。到了高中，球速、身高、關節活動速度、上下肢動力學參數都變大。到大學時，體重和大部份下肢動力學參數變大，但球速和上肢動力學參數卻未增加。三組中的上肢力矩的參數對球速都很有影響力，據此推測造成台灣大學投手球速停滯的原因，可能是大學投手上肢的力矩不足。

關鍵詞：不同年齡、運動學、動力學、時間參數

The biomechanics analysis and relationship of key factors to baseball pitching velocity of Taiwanese junior, senior high school and college pitcher.

February, 2012

Chun-Lung Lin
Chen-fu Huang

Abstract

The purpose of this study was to find the difference in pitching mechanics among various ages by comparing the kinematics, temporal and kinetics parameters. and investigate the relationship of biomechanical factors to baseball pitching velocity in each group. Ten pitchers of each level were served to be subjects（junior high school:67±12kg， 167±11cm；senior high school:74±9kg，179±5cm；college 88±10kg，179±7cm). Two forceplates（Kistler, 1000 Hz） and a 3-D motion capture system （Vicon MX13,200Hz） were used to collect kinetics and kinematics data. The subject threw to a target (40×60cm) which is 3 m in front of the force plates. Data from the 3 fastest successful trials were averaged for each subject. A one-way ANOVA was conducted for each parameter to identify differences among the three levels (junior, senior high school, college). Then 6 trails of each subject were chosen for regression analysis. Step-wise regression analysis was used to finding the relationship of biomechanical factors to baseball pitching velocity at each age level.

The result showed the ball speed of the junior high school pitchers (JHP) was slower than senior high school (SHP) and college pitchers (CP), and no difference existed in SHP and CP. At kinematic and temporal parameters, the JHP had more shoulder rotation range of angleand longer arm acceleration phase than the other two groups. The SHP had less lead legknee flexion at lead foot contact ground, more elbow extension and shoulder rotation velocity at arm acceleration time. In addition, their peak shoulder external rotation angle appeared later, and the arm acceleration phase time was shorter.

At upper limbs kinetic parameters, the peak elbow varus moment, peak shoulder internal rotation moment, peak elbow axis force, and peak shoulder poster force of JHP are lower than other two groups. At pivot foot kinetic parameters, the peak axis force in the three joints, hip adduction moment, ankle and knee flexion moments were existed a tendency to increase with age. At lead foot kinetic parameters, the ground reaction force and the axis force of knee and ankle increase with age, but no difference existed in the hip joint.

In JHP group, 3 biomechanical factors were associated with ball velocity. They were peak shoulder internal rotation moment in arm cocking phase, stride length, and elbow peak flexion angle. In SHP group, 4 biomechanical factors were associated with ball velocity. They were shoulder internal rotation moment in arm cocking phase, lead foot knee flexion angle at ball release, peak upper trunk angular velocity and body hight. In CP group, 4 biomechanical factors were associated with ball velocity. They were peak shoulder internal rotation moment in arm cocking phase, peak lead foot knee flexion angle at foot contact, peak shoulder external rotation angle and peak elbow extension angular velocity.

. As the result showed, the pitching mechanics kinematics of JHP are similar with other two groups. They have smallest upper and lower limbs kinetics. From JHP to SHP, ball velocity, body hight, upper limbs joint angular velocity, upper and lower limbs kinetics all increased. From SHP to CP, body mass and, lower limbs kinetics increased, but ball speed and upper limbs kinetics show no difference. The upper limbs kinetics was an important biomechanical factors associated with ball velocity in all three groups. We believe that the insufficiency of upperlimbs kinetic of CP cause their ball velocity similar with SHP.

keyword：different ages, kinematics, kinetics, temporal

目　次

第參章　研究方法與步驟

第肆章　結果與討論

參考文獻

附錄

表 次

圖　次

第壹章　緒論

第一節　前言

棒球在我國一直是一個非常受歡迎的運動，隨著職棒的蓬勃發展，帶動了各級棒球的興盛，近年來有愈來愈多的學校投入組隊，也為這個運動培養出更多的人才。在 2010 年，就有 179 支國小球隊、94 支國中球隊、36 支高中球隊參加全國性的硬式棒球聯賽（中華民國學生棒球聯盟，2010），大學部份更有 14 支球隊參加大專聯賽甲一級的比賽（大專體總，2010），另外還有 6 支業餘球隊及 4 支職棒隊。由數量眾多的球隊可反應出棒球的普及。在這項比賽中，投手是非常重要的一環，對比賽勝負有著極大的影響，因此在職棒球伍中，都有另外設置投手教練的職位，專責投手的訓練。在國際賽中，投手更是中華隊在國際賽獲勝的重要關鍵。2007 年時，更有王建民投手登上美國職棒大聯盟的舞台，成為台灣地區不分男女老幼一致支持的對象。在此之時，投手受到的重視愈來愈多，棒協也每年都邀請國外的教練來台講習，期望能從外國引進更新式的訓練方法。在此同時，也需要有人從理論的方面進行研究，提供更多訓練方法上的佐証，因此激發筆者投入這方面的研究，期能進一步提升我國的投手訓練效果

第二節　問題背景

棒球比賽中投手的好壞常是勝敗的關鍵，投手的臨場表現，對球隊勝負具有60%～80%的影響力（林光宏，2007）。因此投手的投球技術就常常成為研究的重點。過去對投手的研究大多採用大學及職業的選手做為研究對象(Barrentine, Matsuo, Escamilla, Fleisig, & Andrews, 1998; Dillman, Fleisig, & Andrews, 1993; Fleisig, Barrentine, Escamilla, & Andrews, 1996; MacWilliams, Choi, Perezous, Chao, & MacFarland, 1998; Matsuo, Escamilla, Fleisig, Barrentine, & Andrews, 2001; Pappas, Morgan, Schulz, & Diana, 1995; Stodden, Fleisig, McLean, & Andrews, 2005; Werner, Fleisig, Dillman, & Andrews, 1993)，希望能找出較佳的投球動作，能提高球速同時減少傷害的發生。但是對青、少年投手的研究則較少，將不同年齡投手的投球技術放在一起比較的文獻，則寥寥可數。這方面的不足使我們對投手的成長過程的變化並沒有太多的了解。

此外，投球的技術會受到不同文化的影響而有差異(Escamilla, Fleisig, Barrentine, Andrews,& Moorman, 2002)，因此這些對美國地區的投手進行的研究，其結果無法完全套用在台灣地區。加上台灣人的身體條件和美國人並不相同，所以想了解本地各年齡層的投手的投球技術，還是需要重新進行研究。目前台灣地區的學生棒球的投手的投球技術完全沒有資料可以參考，使得不同層級的學校教練在銜接上只能各依賴自己的經驗，連帶影響了訓練的成效。因此，為了解國內學生投手的狀況，提供各級教練訓練的參考，本研究將對國、高中及大學投手進行投球動作的運動學、動力學和時間參數的比較，並找出各年齡層投手投球時影響投球的因子。希望藉此找出國內各級學生棒球投手的投球技術的差異，提供基層教練做訓練的參考。

第三節　研究目的

雖然過去國外有進行過不同年齡層的投球動作比較，但由於當地和我國棒球文化及訓練方式不同，所以之前的研究的結果並不能直接引用在我國的棒球訓練中，要了解我國棒球投手的投球動作，必須再進行研究。因此，本研究的目的有以下三個:

(1)　比較我國國中、高中、大學三個年齡層的投手的上、下肢運動學、動力學及時間參數，來了解不同年齡層的棒球投手投球動作的差異。

(2)　找出國內不同年齡層的學生投手，投球時影響球速的因子。

希望藉由本研究的結果，能供提供各級教練在訓練上的參考。

第四節　名詞解釋及操作型定義

1、　國中投手:有參加全國國中硬式棒球聯賽的球隊隊中的投手。

2、　高中投手:有參加全國高中棒球聯賽木棒組的球隊隊中的投手。

3、　大學投手:有參加全國大專棒球聯賽公開一級的球隊隊中的投手。

4、　抬腿期（windup）：是指投手將前腿（lead foot）抬至最高點。

5、　跨步期（stride）：則是投手將前腿自最高點落下，前跨到著地為止。

6、手臂上舉期（arm cocking）：是指前腿著地後，將手臂外張至發生最大外旋為止。

7、手臂加速期（arm acceleration）：則是手臂由最大外旋階段開始，向前加速至球離

手為止。

8、手臂減速期（arm acceleration）：球出手後的上肢減速。

9、跟隨期（follow-through）：最後的軀幹減速緩衝。

10、影響投球的因子：利用逐步迴歸所找出對球速有影響力的參數。

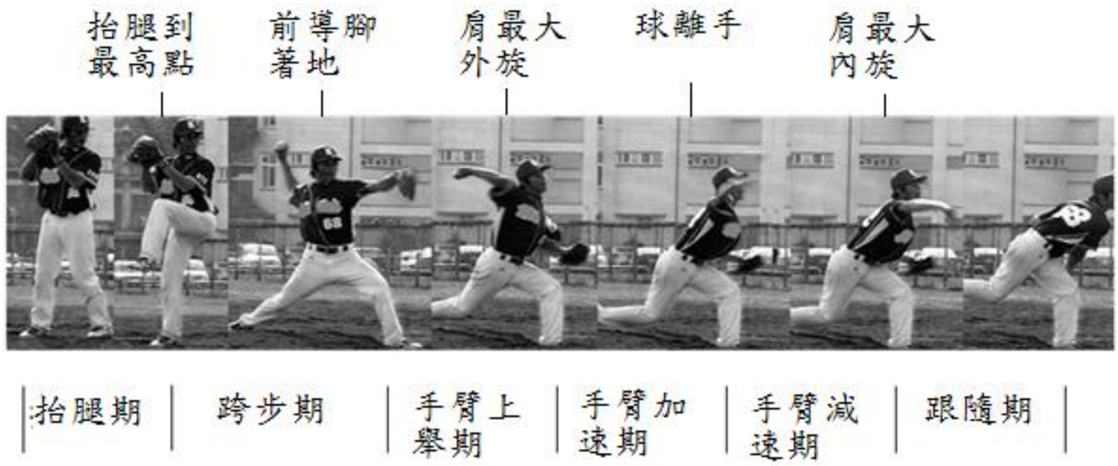


圖 1-1　投球過程階段劃分圖

第五節　研究範圍

本研究以國、高中、大學投手各 10 名為研究對象，研究對象皆採取 3/4 上投法，慣用手包含左手和右手。透過對全身的運動學及動力學的比較，，來了解不同年齡層的棒球投手投球動作的發展。

第六節　研究限制

本研究在實驗室中進行，受限於實驗室空間，投球時的目標距離只有 3m，而不是標準的 18.44m。為配合力板埋設，投球是在平地上進行，並未使用投手丘。在目標設定上受限於國中投手的投球穩定度較差，以好球帶比例下去放大，到國中投手可以達成 80%的命中率為止，最後目標為 40 *60 cm 離地 80 cm 的長方形目標，和實際好球帶不同。另外投手是否盡力是以受試者自我的感覺來判斷。雖然受限於實驗室的空間使得投手投球時和正式比賽的狀況有差，但是在全力投球的狀況下，不同年齡層的投手差異仍會出現，可以達成本研究的目的。

第貳章　文獻探討

本章旨在回顧過去研究者在投球動作上的相關研究。共分六節，第一節棒球投手投球動作概述；第二節棒球投手投球動作分期；第三節運動學之相關文獻；第四節動力學之相關文獻；第五節不同年齡層的投球動作比較；第六節影響球速的因子；第七節文獻總結。

第一節　棒球投手投球動作概述

投球是一項非常複雜的動作，投手必需要將一顆150g的棒球在不到3秒的時間內加速到32s/m以上，這要靠上、下半身和軀幹良好的協調。投球動作由準備動作開始，投手在看完暗號之後將腳靠住投手板完成準備。一開始先將前導腳抬高以創造位能，接著向前跨出前導腳，同時軸心腳將身體重心向前推送，使身體產生初步的動能，這時雙手向身體的兩側分開並抬高。接著前導腳著地，開始剎車減慢重心速度，並將前進的動能轉變成軀幹旋轉的動能。軀幹向前旋轉同時也帶動肩關節外旋。當肩關節通過最大外旋點之後，軀幹開始減速，而上肢開始加速，透過鞭打效應的過程對末端的球加速並投出。在跨步過程中包含了下肢的髖、膝、踝關節的運用，在上肢加速的過程中則包含了肩、肘、腕關節的動作。其中因為手掌在加速過程中緊握住球，對球速的貢獻較小，因此對整個過程中兩腳的髖、膝、踝、骨盆、軀幹、肩和肘關節在各個重要時間點的角度、角速度峰值及時間點的檢定，是分辨投球動作的重要檢驗參數。

第二節　棒球投手投球動作分期

在投球動作的分期的部份，過去有許多學者提出不同看法。在國內有葉志仙、李明憲、朱峯亮（2003）提出的，投球動作可以分為準備期、用力期、加速期及完成期等4期。而林光宏（2007）則認為，投球動作可以分成準備伸展期、加速期、出球點期、跟進動作等連貫協調的步驟。在國外的部份，Glousman 等（1992）將投球動作分為揮臂期（wind-up phase，從投球動作開始到投球手將球從手套中拿出的瞬間）、前上舉期（early cocking phase，從投球手將球從手套中拿出的瞬間，到前導腳著地的瞬間）、後上舉期（late cocking phase，從前導腳著地的瞬間，到肩關節最大外旋的瞬間）、

加速期（acceleration phase，從肩關節最大外旋的瞬間，到球離手瞬間）、跟隨期（follow-through phase，從球離手瞬間，到投球動作結束）等六期。Fleisig 等 (1996) 則是將投球動作分為揮臂期（從投球動作開始，到前導腳抬至平衡點，這個時期的重點在於抬腿創造位能，提供後續動作使用）、跨步期（stride phase，從前導腳抬至平衡點，到前導腳著地的瞬間，這個時期的重點在於推動重心向前移動，以產生投球的最初能量）、手臂上舉期（arm cocking phase，從前導腳著地的瞬間到肩關節最大外旋的瞬間，這個時期的重點在於前導腳剎車，將重心前移的動能轉成軀幹前傾和軸向旋轉的能量，以利後續手臂加速）、手臂加速期（arm acceleration phase，從肩關節最大外旋的瞬間，到球離手瞬間，這個時期的重點在於手臂向前加速以創造球速）、手臂減速期（arm deceleration phase，從球離手瞬間，到肩關節最大內旋的瞬間，這個時期球己離手，因此手臂進行減速的動作）、跟隨期（從肩關節最大內旋的瞬間到進入守備姿勢，這個時期的重點則是利用身體動作，來緩衝投球時所產生的多餘的能量）等分期(陳書瑋、湯文慈，2008)。由於Fleisig等人的分期受到後來較多的文獻採用，因此本研究也採用這個分期方式，將投球動作分為6期。

第三節　運動學之相關文獻

運動學包涵了位置、速度、加速度和時間等幾個部份，在研究時是以各關節角度、角速度、角加速及時間參數的變化，來了解投球過程的動作形態。投球過程中，上肢有肩關節和肘關節兩部份，肩關節包含了外展/內收、內/外旋和水平外展/內收三個向度，肘關節則只有伸展/彎曲一個向度。這四個向度的角度、角速度和最大角速度發生的時間則是區別投球動作的重要的運動學參數。在過去的文獻中，肩水平外展在著地時大約是14°-27°，隨著投球動作的進行再增加約4°，到球離手時約為5°-11°。在肩外旋的部份，前腳著著地時的角度值從23°-80°都有，在最大外旋時增加到為135°-186°，球離手時則是90°-120°。肘彎曲角度的部份，在前腳著地時大約為75°-100°，隨後增加到95°-120°，之後開始伸展，到球離手時大約是10°左右。在軀幹前傾的部分，球離手時約保持在30°-60°。跨步長則是維持在身高的70%~90%左右。(詳附錄1-1~3)

在角速度參數部份，盆旋轉速度峰值約在601~673°/s中間，軀幹旋轉速度的峰值約在1052~1250°/s中間，肩關節內旋速度的峰值約在5850-8006°/s，肘伸展速度約在1925-2980°/s中間。整個作用時間（前導腳著地到球離手）大約在150~250ms之間。(詳

附錄1-1~3)

在時間參數的部份，最早出現的峰值是骨盆旋轉速度峰值，大約出現在前腳著地－球離手瞬間的34-39%。再來是軀幹軸向旋轉速度峰值，出現在前腳著－球離手瞬間的42-52%。再來是肩外旋最大角度，出現在－球離手瞬間的77-81%。接著是軀幹向前旋轉速度峰值，出現在前腳著地到球離手時間的89-99%。接著是肘伸展角速度峰值，出現在前－球離手瞬間的90-93%。最後是肩內旋角速度峰值，出現在－球離手瞬間的102-105%。(表2-3)(詳附錄1-4)

這些參數中，有部份參數會依球速不同而有差異。Matsuo等（2001）曾以127 名健康的大學投手及職業投手為受試者，比較球速較快和較慢的投手，分析運動學及時間參數，發現球速較慢的投手的前導腳膝關節最大彎曲角速度（260˚/s）明顯大於球速快的投手（161˚/s），球速較快的投手則有較大的肩關節最大外旋角度（179˚）。Stodden等（2001）以7 位職業、9 位大學及3 位高中的投手探討骨盆和上半身軀幹位置對球速的關係，發現當球速增加，投擲手的肩關節產生最大外旋時，上半身軀幹和骨盆的旋轉角度會有增加的現象。此外在上肢後擺期的骨盆平均速度，及上肢加速期時上半身軀幹的平均速度，都會隨著球速的增快而增加。

另外一些參數則會依地區文化的不同而有差異，例如Escamilla等(2002) 針對美國與韓國共19 位職棒投手的研究發現，美國投手球速（38.0m/s）與韓國投手球速（34.6.m/s）之間有顯著差異，而且有多項運動學參數出現顯著差異。韓國投手於前導腳著地時的肩關節外展角度、肩水平內收角度與肩外旋角度以及出手瞬間膝關節彎曲角，皆顯著大於美國投手；美國投手於手臂上舉期之骨盆旋轉速度峰值、肩外旋速度峰值以及出手瞬間軀幹前傾角速，則顯著大於韓國投手。在動力學參數上，美國投手手臂上舉期之肘內翻力矩峰值、肩內旋力矩峰值、手臂加速期之肘彎曲力矩峰值、手臂減速期之肘軸向力峰值與肩軸向力峰值等五個參數皆顯著大於韓國投手。

第四節　動力學之相關文獻

動力學包涵了力量和力矩兩部份，動力學的參數主要用來推估引起運動傷害的機轉。目前對關節的力矩和力量的計算，大多以逆過程搭配先前研究的人體肢段參數來計算求得。所得的結果為關節內肌肉、韌帶及骨頭所受的總力量和力矩。這些力量及力矩大小並無法反應出單一肌肉真正的受力，但是對推估引起運動傷害的機轉仍有相當的可信度。

在投球動作中，上肢的動力學參數包涵了肩關節和肘關節各三個向度力矩和力量峰值。但過去的研究指出肘關節的軸向力矩很小，因此對肘關節的研究多半只呈現彎曲/伸展和外/內翻2個方向的力矩峰值（Feltner, 1989）。由過去的研究中得知，國小肩關節內旋力矩峰值大約介於17-40Nm，國中、高中則為40-60Nm，大學、成人則介於60-70Nm之間。在肩關節水平內收力矩峰值部份，國小投手大約介於40Nm，國、高中則為70Nm，大學、成人則介於90~110Nm之間。在肩關節水平外展力矩峰值部份則只有國小和成人的資料，其中國小約35Nm，成人則介於80~90Nm之間(詳附錄1-5)。

在肩關節軸向力量峰值部份，國小投手肩關節軸向力量大約介於400N，國、高中投手則為700N，大學、成人投手則介於800-1100N之間。在肩關節向前力量峰值部份，國小投手約介於210N，國、高中則為300N，大學、成人則介於350-400N之間。在肩關節向上力量峰值部份，只有成人的資料，其力量值介於300-400N之間(詳附錄1-5)。

在肘關節彎曲力矩部份,國小肘關節彎曲力矩大約介於15-30Nm,國､高中則為40Nm，大學、成人則介於50-60Nm之間。在肘關節外翻力矩部份，國小投手大約介於30Nm，國、高中則為50Nm，大學、成人則介於50-60Nm之間。在肘關節軸向力量部份，國小投手大約介於400-500N，國、高中則為600N，大學、成人則介於700-900N之間。肘關節向前和向外力量部份，只有成人的資料，其值介於300 -500N之間。由於使用逆過程的方法在計算關節力矩和力量時，會受到受試者體重和身高的影響。因此當體重和身高隨年齡增加而增大，所得到的力矩就會跟著變大。因此有部份文獻將力矩以身高和體重進行標準化，同時將力量以體重標準化，來去除體重和身高的影響。這部份的文獻只有肩關節內旋力矩的值較完整，不管年齡大多介於3-5%BWH之間，其他的關節則只有成人的資料(詳附錄1-5)。

在下肢的關節力矩部份，則尚未有文獻有資料，因此對下肢的力矩和力量值則需進一步的研究才能了解。

第五節　不同年齡層的投球動作比較

由於大部份的棒球投手由是由青少年時代開始投球，但由青少年到成年的過程中身體不斷成長改變，因此投球動作是否會呈現不同風貌？過去只有幾篇文獻比較過不同年齡層的投手投球動作，Fleisig 等人(1999) 曾四種不同年齡層選手（青少年、高中、大學及職業)的投球生物力學，在各年齡層間的球速間有顯著差異出現(青少年:28m/s、

高中：33m/s、大學：35m/s、職業：37m/s），球速差異最大為青少年與高中之間，平均球速相差達5m/s，主要在手臂上舉期期之最大軀幹速度 (maximum upper torso velocity)達顯著差異，分別為青少年選手1180˚/s 與高中選手1130˚/s。四種不同層級的投手在手臂上舉期之肘關節內翻力矩、肩關節內旋力矩、肩關節向前力、手臂加速期之肘關節彎曲力矩、手臂減速期之肘關節軸向力、肩關節軸向力等六項參數的峰值中皆有顯著差異出現。Fleisig 等人認為較高級的投手有較大肌力與肌群較發達之故，使得在肩、肘方面之動力學參數存在明顯的差異；四種不同年齡層級的選手於動作之時間、位置參數，僅於一項位置參數有差異，因此，Whiteley (2007) 並不認為年齡較大選手會因較「正確」之力學動作，造成不同年齡層間的球速差異，而是認同Fleisig 等人之觀點。成年人與未成年（青少年與高中）之間球速差異，是由於成年人結合較長的手臂與較快的肩、肘角速度，才造較高球速。

第六節　影響球速的力學參數

影響球速的力學參數是許多研究者及教練關心的重點，希望藉由研究找出教學的重點。在過去Stodden 等人(2001) 曾針對19個層級涵蓋高中、大學及職業的選手進行研究,要找出軀幹和臀部的參數何者會影響球速,結果顯示肩關節最大外旋時的骨盆方向、放球點的骨盆方向、肩關節最大外旋時的軀幹方向、肩關節最大外旋到放球點時的平均速度會隨球速增加。Werner 等人(2008) 曾針對54個大學生利用複合迴歸找出影響球速的參數，結果顯示體重、前腳著地到肩關節最大外旋的時間，前腳著地時的膝關節彎曲角度、前腳著地時的肘關節彎曲角度愈小、頭部對臀部的相對向前的時間愈晚、肩關節最大外旋的角度愈大、肘彎曲角速度愈大，軀幹旋轉角速度愈大，放球點時膝關節彎曲角度愈大、放球點時軀幹前傾角度愈大球速愈快。

這些文獻找出了影響成人投手的球速的參數，球離手時膝關節彎曲角度愈大，前腳愈穩固，球速愈快，軀幹旋轉角速度愈大傳遞到上肢的動能愈多。肩關節最大外旋的角度愈大、肘關節彎曲角速度愈大，在上肢動力鏈的過程中可以產生愈高的速度。可是在年齡愈小的投手動作愈不熟練,影響球速的參數是否相同,會影響到教練教學時的重點，因此需要進一步的研究。

第七節　文獻總結

綜合以上文獻的發現，不同年齡層的投手投球動作的運動學參數只在球速、軀幹旋轉及軀幹對骨盆旋轉時間上有差異,動力學參數則會隨投手的年齡增加而增加。若把肩、肘力矩標準化之後，是否仍會有差異則需進一步的研究釐清。此外過去的研究指出投球動作會受到不同地區的文化差異的影響，形成部份運動學和動力學參數的不同。再則不同年齡層的東西方選手的身高、體重並不相同，使得這些以美國地區為主的研究不能完全套用至台灣地區。因此，要了解台灣地區不同年齡層投手的投球動作差異還需進一步研究。此外這些研究的重點多集中在上肢，對下肢則完全無資料，因此進一步包含下肢的研究具是需要的。

第參章　研究方法與步驟

本研究的目的在瞭解本地國中、高中及大學投手投球時的力學特徵，本章將說明根據此目的進行的實驗設計與實施方法。全章分為六節，第一節受試者；第二節實驗日期與地點；第三節實驗儀器與設備；第四節場地佈置；第五節實驗流程；第六節各項參數計算與分析。

第一節　研究對象

本研究受試者為有參加全國國中硬式棒球聯賽的球隊中的投手 10 名。有參加全國高中棒球聯賽木棒組的球隊中的投手 10 名。有參加全國大專棒球聯賽公開一級的球隊中的大學投手 10 名。受試者包含球隊中各年級的投手，都採用 3/4 上肩投法，在實驗前半年所有人都沒有足以影響投球之傷痛。

第二節　實驗時間與地點

一、　實驗時間:本實驗於 98 年 3 月~100 年 4 月間,分為國中、高中及大學三組進行。

二、實驗地點：國中投手於國立臺灣師範大學分部體育系運動生物力學實驗室。高中投手於國立彰化師範大學體育館運動生物力學實驗室。大學投手於國立台灣體育學院體操館 5 樓運動生物力學實驗室。

第三節　實驗儀器與設備

本研究的實驗設備如下 ：

一、硬體

（一）、動態分析量測系統(Vicon MX13+ & FX2 Motion analysis system, Oxford Metrics Limited ,UK)：動態分析量測系統是利用光學原理的運動分析量測系統，其包括視訊處理器、紅外線高速攝影機 （CCD camera）、顯示器（monitor）以及個人電腦。其作用原理與處理流程是由攝影機收集到反光標記所反射回來的光線訊號，再將這些訊號經由視訊處理器轉換成數位式訊號輸入個人電腦。接著使用動態

分析量測系統的軟體程式Nexus進行系統座標校正、反光標記辨識及空間軌跡定位。

（二）三維測力板(Kistler 9281B, 9287B, 9260AA6, Winterthur, Switzerland)：使用二塊與攝影機同步的三維測力板取得地面反作用力，並經由Vicon系統的類比數位轉換器將取得的資料輸入個人電腦，以Nexus軟體擷取。這些資料配合運動學資料進行運算就可以得到動力學參數。在師大使用9287B（60*90cm）及9281B（40*60cm）二塊力板；在彰師大則使用9287CA（60*90cm）及9281B（40*60cm）二塊力板；台體為9260AA6（50*60cm）2塊。

（三）棒球打擊網： 棒球打擊網用來阻擋受試者前拋的棒球。

（四）棒球： 使用符合比賽規定之棒球（重量148.8g，半徑3.7cm）。

二、軟體

本實驗使用 Nexus、Matlab6.1、Microsoft Office2007、Visual 3D、SPSS14 等軟體做資料分析

第四節　場地佈置

本實驗於實驗室內進行，將CCD攝影機(師大為Vicon MX13 10部，彰師大和台體則為Vicon FX2 8部)環狀排列於受試者四周，對中央的受試者進行影像拍攝，取樣頻率設定為200Hz。攝影機先以T型校正棒進行校正，確定整體誤差小於0.4mm後再進行投球資料的收集。二塊測力板則埋設於場地中央，距離依受試者跨步距離進行調整，使其可以一腳踩一塊力板。力板訊號則透過Vicon的訊號擷取裝置進行同步擷取，取樣頻率設定為1000Hz。

第五節　實驗流程

一、建立實驗室座標系

在資料收集前，先進行校正工作，找出攝影機整體誤差並訂出實驗室空間座標系，

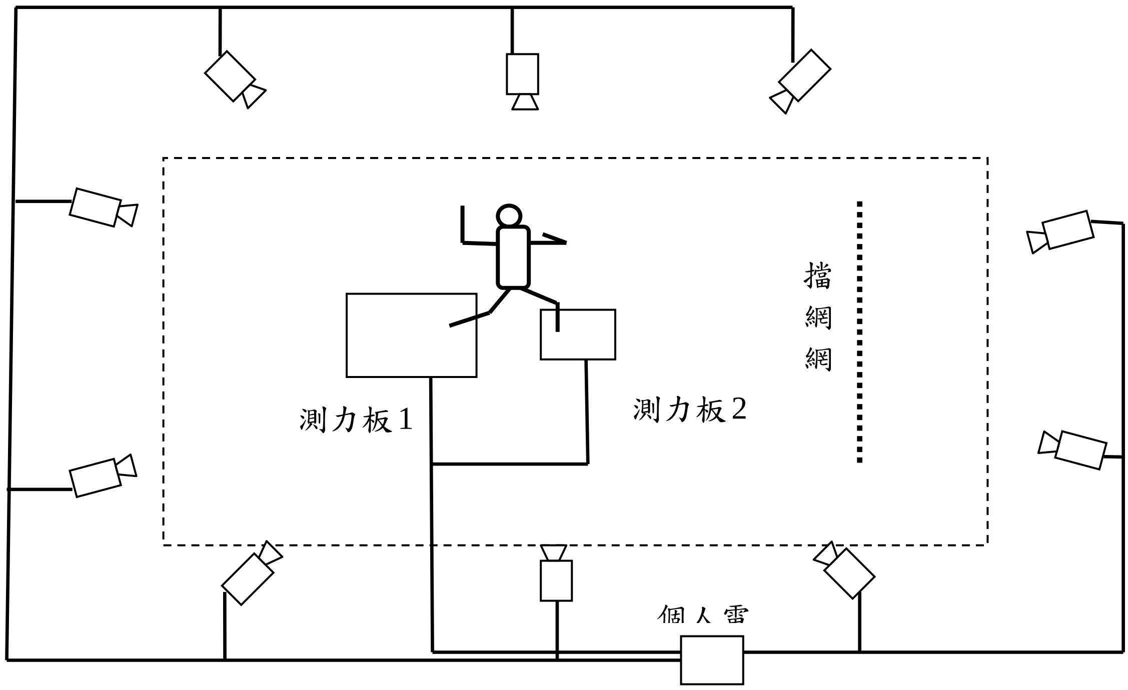


圖 3-1　場地示意圖

以作為標記點在空間運動中位置之參考座標。校正時以Vicon系統內附之T型校正架進行動態校正找出攝影機整體誤差。再以三角型的靜態校正架進行實驗座標系定位。校正工作結束後，攝影機之位置便已定位，所有運作皆在相同之實驗座標系中。

二、打擊網之架設

打擊網吊掛在測力板前方約3m處，以阻擋受試者所全力投出的棒球。打擊網後方有一40*60cm距地面高80cm長方形目標供投手瞄準。目標長、寬比依好球帶比例設定，高度接近好球帶高度，大小則是以國中投手能有80%的命中率為依據。

三、了解實驗流程並填寫受試者同意書

受試者來到實驗室之後先聽取實驗流程簡報，了解實驗流程之後便填寫基本資料並簽屬受試者同意書。填完之後才開始進行實驗。

四、安置反光標記於肢體上

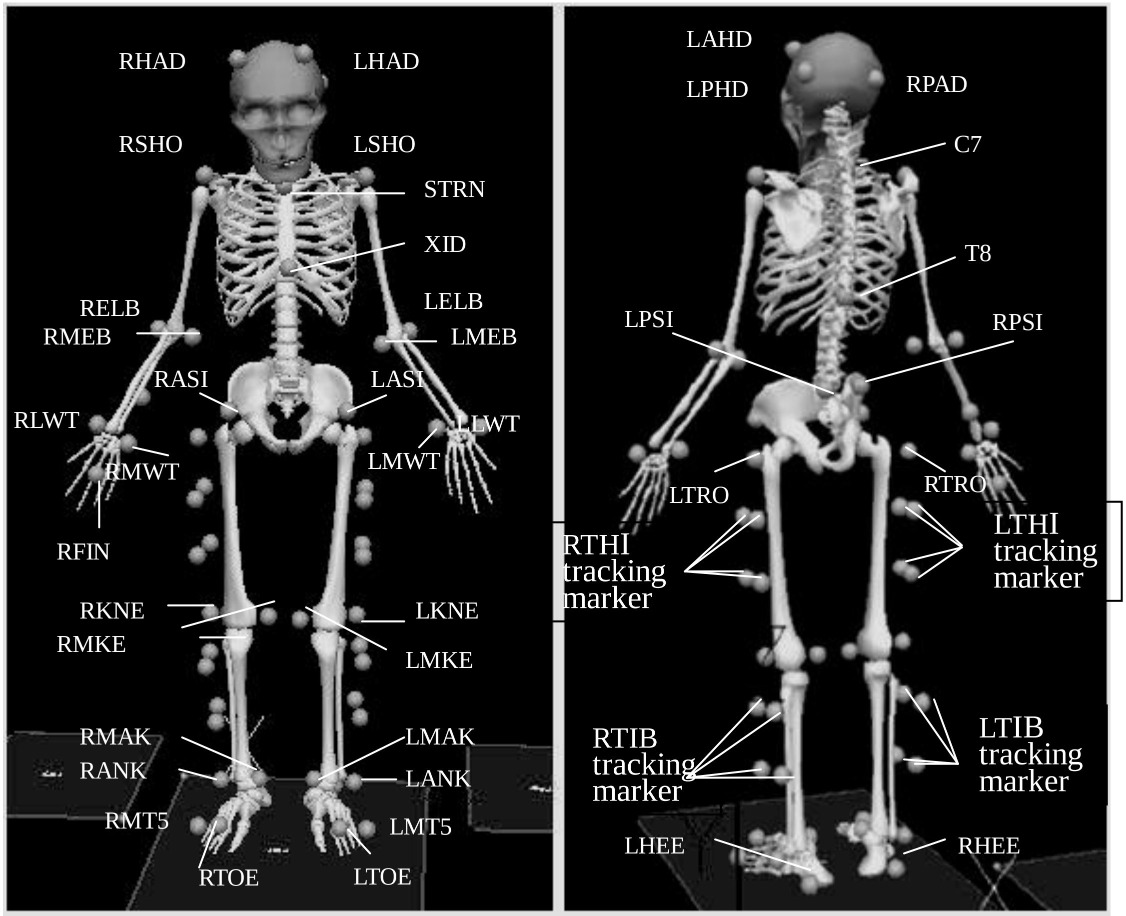
為了獲得全身的運動軌跡，必須先在受試者身上黏貼反光球，再經由攝影機擷取反光球軌跡來代表身體之運動。本研究中共使用53個反光球（如圖2），並在棒球上貼上4

個反光球來計算球速。這50個反光點分別貼在頭部四週(RAHD、RPHD、LAHD、LPHD)，左、右肩峰(RSHO、LSHO)，胸鎖關節(STRN)，胸骨的劍突(X1D)，第七節頸椎(C7)，第八節胸椎(T8)，骨盆髂前上棘(RASI、LASI)，髂後上棘(RPSI、LPSI)，雙手肱骨內、外上髁(RELB、RMEB、LELB、LMEB)、雙手腕關節內外側(RMWT、RLWT、LMWT、LLWT)，慣用手右手第三掌骨末端(RFIN)，兩側大轉子(RTRO、LTRO)，雙腿股骨內外上髁(RKNE、RMKE、LKNE、LMKE)，雙腿踝關節內外側(RANK、RMAK、LANK、LMAK)，足部第二趾節末端(RTOE、LTOE)，足部跟骨後方(RHEE、LHEE)（圖3-2)，足部第五趾節外側(RMT5、LMT5)，由於受試者投球時有穿鞋，因此足部反光點都黏在鞋上的相對位置。並於大腿和小腿上各貼上4個動態用的反光點(R/LTHI，R/LTIB Tracking)（圖3-3)。

五、收集影像資料

(一)自然站立影像

收集各實驗參與者自然站立時的影像，以作為後續建立受試者各關節座標系的基準。



3-2、反光點黏貼位置－大腿和小腿上各黏有４個反光點用來追蹤動作進行中肢段位置。

(二)收集投球資料

一切就緒之後，受試者先進行自己平常的熱身活動。熱身完成後，受試者自覺可以全力投球時，便在踩踏在後面的測力板上朝目標全力投球，前腳著地時必需踩到前面的測力板。球擊中目標定義為成功的投球，每位受試者各收集10個成功的直球以進行分析。

第六節　各項參數計算與統計分析

一、資料處理流程

攝影所得資料利用 Vicon Nexus 系統進行影片數位化處理，再以 13.4Hz Butterworth 4 階零相濾波公式，分別對反光點 x、y、z 三軸資料進行低通濾波(Fleisig 等, 1996)，濾除雜訊以避免雜訊影響後續資料的計算結果。再參考 Fleisig 等 (1996) 的方法計算運動學和動力學參數。球速則利用球上 4 顆反光點來計算，這 4 顆反光點到球心距離皆為 41mm（棒球半徑 37mm+反光球半徑 4mm）代入距離公式(詳附錄)，解方程式算出球心位置，再將位置變化除以時間算出速度，取出手後最高速度做為該球球速。

二、各肢段座標系定義

本研究上肢及軀幹座標系是參考 Fleisig 等 (1996)的方法來訂出，各肢段座標系訂法分述如下:

實驗室座系是將投手面向目標的方向定為 Yg 軸，垂直方向定為 Zg 軸，Xg 軸則是 Yg 軸和 Zg 軸的外積。

軀幹座標系使用左、右肩峰及左右大轉子來計算，計算方式如下：

$$\mathrm{Hc} = \frac{1}{2}\langle \mathrm{P_{h1}} + \mathrm{P_{h2}} \rangle$$

$$\mathrm{Uc} = \frac{1}{2}\langle \mathrm{P_{S1}} + \mathrm{P_{S2}} \rangle$$

$$\mathrm{Ta} = \overrightarrow{\mathrm{HcUc}} / \left\| \overrightarrow{\mathrm{HcUc}} \right\|$$

$$\mathrm{Zta} = \overrightarrow{\mathrm{P_{S2}P_{S1}}} / \left\| \overrightarrow{\mathrm{P_{S2}P_{S1}}} \right\|$$

$$\mathrm{Yta} = \mathrm{Ta} \times \mathrm{Zta}$$

$$\mathrm{Xta} = \mathrm{Yta} \times \mathrm{Zta}$$

$\|\vec{a}\|$：向量 a 的長度

$\mathrm{P_{h1}}$是右側大轉子，$\mathrm{P_{h2}}$是左側大轉子，$\mathrm{P_{S1}}$是右肩峰，$\mathrm{P_{S2}}$是左肩峰。Hc 是左右兩側大轉

子的中點，Uc 是左右兩側肩峰的中點，Ta是由 Hc 指向 Uc 的單位向量。軀幹座標系的 Z 方向（Zta）是由左肩峰指向右肩峰的單位向量。軀幹座標系的 Y 方向（Yta）是Ta與 Zt 的外積求得。軀幹座標系的 X 方向（Xta）是由 Yta 與 Zta 的外積求得。

上臂座標系使用慣用手的肩峰、肘內、外側的反光點及腕內、外側反光點來計算，座標系計算方式如下：

$$\mathrm{Sc} = \mathrm{P_{S2}} - \frac{1}{2}\mathrm{Ls} \times \mathrm{Zta} - 8\mathrm{mm}$$

$$\mathrm{Ec} = \frac{1}{2}\langle \mathrm{P_{E1}} + \mathrm{P_{E2}} \rangle$$

$$\mathrm{Zs} = \overrightarrow{\mathrm{ScEc}} / \left\| \overrightarrow{\mathrm{ScEc}} \right\|$$

$$\mathrm{Ys} = \mathrm{Ta} \times \mathrm{Zs}$$

$$\mathrm{Xs} = \mathrm{Ys} \times \mathrm{Zs}$$

LS 是受試者右手上臂在肩關節處寬度，Sc 是肩關節中心點，是將右側肩峰的反光點沿 Zta 的反方向移動 1/2 Ls 和半顆反光球的距離（8mm)。Ec 是肘關節中心點，是肘關節內外側反光點（$\mathrm{P_{E1}}$、$\mathrm{P_{E2}}$）連線的中點。上臂座標系的 Z 方向（Zs）是由肩關節中心點（Sc）指向肘關節中心點（Ec）的單位向量。上臂座標系的 Y 方向（Ys）是將Ta與 Zs 的外積求得。上臂座標系的 X 方向（Xs）是由 Ys 與 Zs 的外積求得。

前臂座標系使用慣用手的肩峰、肘關節兩側的反光點及腕關節兩側側反光點來計算，座標系計算方式如下。

$$\mathrm{Wc} = \frac{1}{2}\langle \mathrm{P_{w1}} + \mathrm{P_{w2}} \rangle$$

$$\mathrm{Ze} = \overrightarrow{\mathrm{EcWc}} / \left\| \overrightarrow{\mathrm{EcWc}} \right\|$$

$$\mathrm{Xe} = \mathrm{Ze} \times \mathrm{Zs}$$

$$\mathrm{Ye} = \mathrm{Ze} \times \mathrm{Xe}$$

Wc 是腕關節中心點，是腕關節兩側側反光點連線的中點。前臂座標系的 Z 方向（Ze）是由肘關節中心點（Ec）指向腕關節中心點（Wc）的單位向量。前臂座標系的 Y 方向（Ye）是前臂座標系的 Z 方向（Ze）與上臂座標系的 Z 方向（Zs）的外積。上臂座標系的 X 方向（Xs）是 Ys 與 Zs 的外積。

骨盆座標系使用左、右額前上棘及左右額後上棘來計算，計算方式如下：

$$\mathrm{PSc} = \frac{1}{2}\langle \mathrm{P_{LPSIS}} + \mathrm{P_{RPSIS}} \rangle$$

$$\mathrm{ASc} = \frac{1}{2}\langle \mathrm{P_{LASIS}} + \mathrm{P_{RASIS}} \rangle$$

$$\mathrm{Pp} = \overrightarrow{\mathrm{PScASc}} / \left\| \overrightarrow{\mathrm{PScASc}} \right\|$$

$$\mathrm{Xp} = \overrightarrow{\mathrm{P_{LASIS}\,P_{RASIS}}} / \left\| \overrightarrow{\mathrm{P_{LASIS}\,P_{RASIS}}} \right\|$$

$$\mathrm{Zp} = \mathrm{Xp} \times \mathrm{Pp}$$

$$\mathrm{Yp} = \mathrm{Zp} \times \mathrm{Xp}$$

HJc=ASc+(±0.36*ASIS_Distance,-0.19*ASIS_Distance,-0.3*ASIS_Distance)

P_{LPSIS} 是左側額前上棘，P_{RASIS} 是右側額前上棘，P_{LASIS} 是左側額後上棘，P_{RASIS} 是右側額後上棘。PSc 是左右兩側額前上棘的中點，ASc 是左右兩側額前上棘的中點，Pp 是由 PSc 指向 ASc 的單位向量。骨盆座標系的 X 方向（Xp）是由左側額前上棘指向右側額前上棘的單位向量。骨盆座標系的 Z 方向（Yp）是 Xp 與 Pp 的外積。骨盆座標系的 Y 方向（Yp）是由 Zp 與 Xp 的外積求得。此外兩側的髖關節中心是利用 ASc 和左右兩側額前上棘的距離（ASIS_Distance）代人上式求得，若是右腿第二項取 0.36，左腿則取-0.36。

大腿座標系使用兩側髖關節中心和股骨內、外髁的反光點來計算，座標系計算方式如下：

$$\mathrm{Kc} = \frac{1}{2}\langle \mathrm{P_{K1}} + \mathrm{P_{K2}} \rangle$$

$$\mathrm{Tth} = \overrightarrow{\mathrm{P_{K2}P_{K1}}} / \left\| \overrightarrow{\mathrm{P_{K2}P_{K1}}} \right\|$$

$$\mathrm{Zth} = \overrightarrow{\mathrm{HJcKc}} / \left\| \overrightarrow{\mathrm{HJcKc}} \right\|$$

$$\mathrm{Yth} = \mathrm{Tth} \times \mathrm{Zth}$$

$$\mathrm{Xth} = \mathrm{Yth} \times \mathrm{Zth}$$

P_{K1}是受試者股骨外髁，P_{K2}是受試者股骨內髁，Tth 是膝關節中心點，股骨內、外髁的反光點（P_{k1}、P_{k2}）連線的中點。大腿座標系的 Z 方向（Zth）是由膝關節中心點（Kc）指向髖關節中心點（HJc）的單位向量。大腿座標系的 Y 方向（Yth）是將 Tth 與 Zth 的外積求得。大腿座標系的 X 方向（Xth）是由 Yth 與 Zth 的外積求得。

小腿座標系使用股骨肘內、外側的反光點及踝關節內、外側反光點來計算，座標系計算方式如下。

$$\mathrm{Ac} = \frac{1}{2}\langle \mathrm{P_{A1}} + \mathrm{P_{A2}} \rangle$$

$$\mathrm{Zti} = \overrightarrow{\mathrm{KcAc}} / \left\| \overrightarrow{\mathrm{KcAc}} \right\|$$

$$\mathrm{Yti} = \mathrm{Tth} \times \mathrm{Zti}$$

$$\mathrm{Zti} = \mathrm{Yti} \times \mathrm{Zti}$$

Ac 是踝關節中心點，是踝關節內外側反光點連線的中點。小腿座標系的 Z 方向（Zti）是由踝關節中心點(Ac)指向膝關節中心點(Kc)的單位向量。小腿座標系的 Y 方向(Yti）

是 Tth 與小腿座標系的 Z 方向（Zth）的外積。小腿座標系的 X 方向（Xti）是 Yti 與 Zti 的外積。

足部座標系使用小腿的 X 軸和第二趾節（P_{TOE}）、腳跟的反光點（P_{HEEL}）來計算，座標系計算方式如下。

$$Yf = \overrightarrow{P_{TOE}\,P_{HEEL}} / \left\| \overrightarrow{KP_{TOE}\,P_{HEEL}} \right\|$$

$$Zf = Xti \times Yf$$

$$Xf = Yf \times Zf$$

足部座標系的 Y 方向（Yf）是由腳跟（P_{HEEL}）指向第二趾節（P_{TOE}）的單位向量。足部座標系的 Z 方向（Zf）是小腿座標系的 X 方向（Xti）與足部座標系的 Y 方向（Yf）的外積。足部座標系的 X 方向（Xf）是 Yf 與 Zf 的外積。

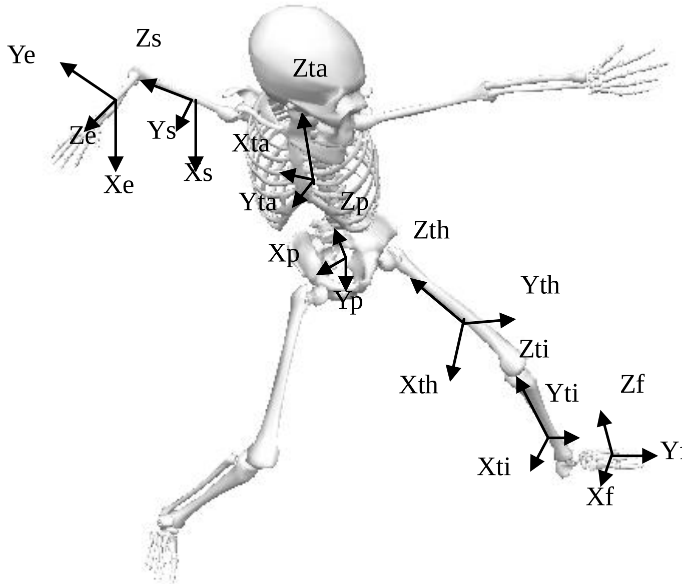


圖 3-3　各肢段座標系圖

三、各項參數的計算方式

當實驗室座標系定義完成之後，就開始計算跨步距離、各關節角度及角速度，計算方式如下:

1、跨步長度（%身高）（stride length）:投手前導腳著地的瞬間，投手板到前導腳踝關節的距離，再將此距離除以身高進行標準化。

2、肩關節外展角度：前臂的 Zs 軸投影在軀幹座標系 YtZt 平面上，投影線與-Yt 的

夾角。

3、肩關節水平外展角度：前臂的 Zs 軸投影在軀幹座標系 XtZt 平面上，投影線與 Zt 的夾角。

4、肩關節內旋角度：軀幹的 Zt 軸與前臂的 Ze 軸投影在上臂座標系 XsZs 平面上，兩投影線的夾角。

5、肘彎曲角度：上臂 Zs 軸與前臂 Ze 軸的夾角。

6、軀幹前傾角度：兩側大轉子中點指向兩側肩峰的向量$\overrightarrow{TA}$投影在實驗室的 YgZg 平面上，投影線與 Yg 的夾角。

7、骨盆旋轉速度（Maximum pelvis angular velocity）:將該張影片中左側大轉子指向右側大轉子的向量$\overrightarrow{p_{h1}p_{h2}}$和前一張影片中的$\overrightarrow{p_{h1}p_{h2}}$的夾角除以兩張影片間的時間，就是該張影片的骨盆旋轉速度。

8、軀幹旋轉速度（Maximum upper torso angular velocity）:將該張影片中左、右兩側肩峰連成的向量 Zta 和前一張影片中的 Zta 的夾角除以兩張影片間的時間，就是該張影片的軀幹旋轉速度。。

9、各關節力量和力矩的計算（Joint moment and force）: 受試者各肢段的重量及轉動慣量是使用 Dempster（1955）研究中的人體測量學比例公式來求得，肢段

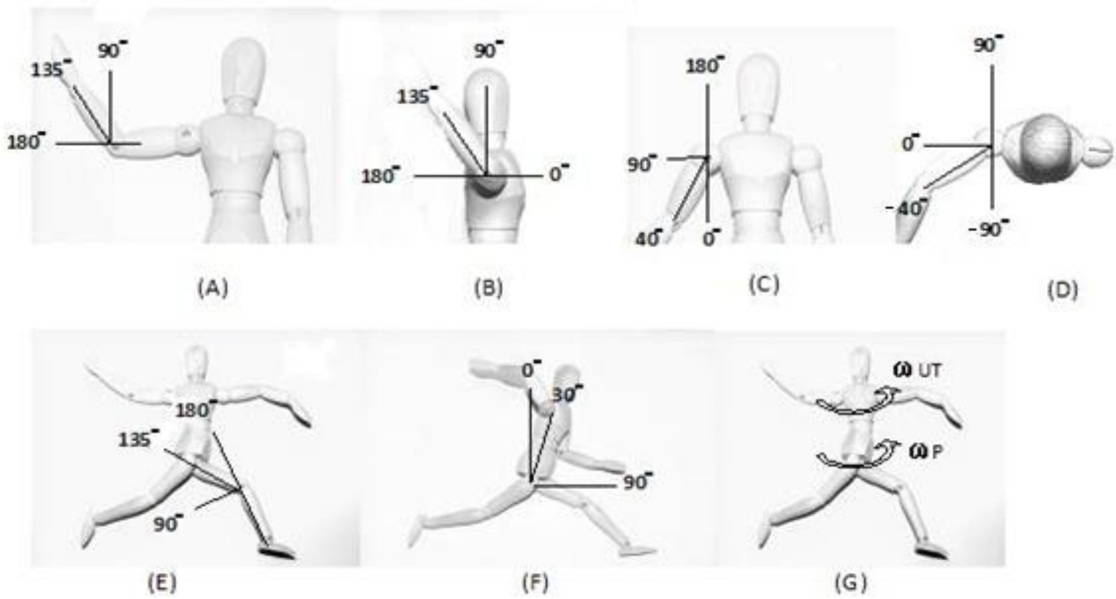


圖 3-4　投球動作角度示意圖，(A) 肘關節彎曲角度，(B) 肩關節外旋角度，(C) 肩外展角度，(D) 肩關節水平外展角度，(E)膝關節角度，(F) 軀幹前傾角度，(G) ω_{UT}: 旋轉，ω_{P}骨盆旋轉角度。

長度以影像資料求得，棒球重量是 0.15kg。再將這些資料、各肢段的運動學資料及力板測得的力量資料代入尤拉－牛頓方程（詳附錄二)，就可以以逆過程方式求得各關節的力量和力矩資料，本研究表示的是身體的產生的內力。最後參考 Fleisig 等人(1995)的下肢則照一般作法將髖關節力矩轉到骨盆座標系，將膝關節力矩轉到大腿座標系，將踝關節力矩轉到小腿座標系，各方向及位置描述名稱如圖 3-5。

當參數都計算完成後，再取出特定時間點的參數，來進行統計上的分析。本研究所要檢測的參數共有下列16項運動學參數、38項動力學參數、6項時間參數(詳見表3-1)。

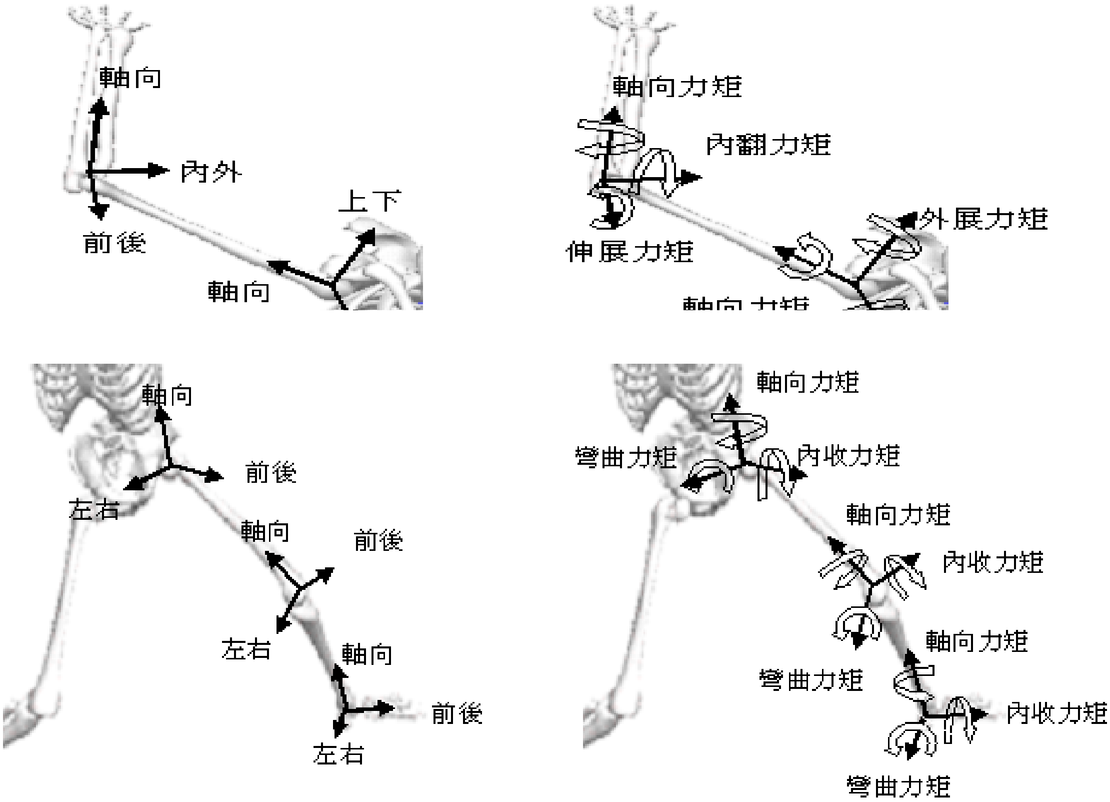


圖 3-5　上肢及下肢各關節力量及力矩名稱。上圖為肩、肘關節，下圖為髖、膝、踝關節。

表 3-1　本研究檢測之各項參數

運動學參數	運動學參數	時間參數	上肢動力學參數	軸心腳動力學參數	前導腳動力學參數
前導腳著地瞬間	肩旋轉幅度	最大骨盆角速度	手臂上舉階段	軸心腳踝關節	前導腳踝關節
跨步長度	球速	最大軀幹角速度	肘前翻力	向後力量	向前力量
肩外旋角度		最大肩外旋角度	肩內旋力矩	軸向力量	軸向力量
肘彎曲角度		最大肘彎曲角度	肩前後力量	彎曲力矩	彎曲力矩
前導腳膝彎曲角度		前導腳著地-球離手時間			
		最大肩內旋角速度	手臂加速階段	軸心腳膝關節	前導腳膝關節
手臂上舉階段		手臂加速期時間	肘彎曲力矩	向後力量	向前力量
最大骨盆角速度				軸向力量	軸向力量
最大軀幹角速度			手臂減速階段	彎曲力矩	彎曲力矩
最大肘彎曲角度			肘軸向力量	內收力矩	
最大肩水平外展角度			肩軸向力量		前導髖膝關節
最大肩外旋角度			肩前後力量	軸心腳髖關節	向前力量
			肩水平外展力矩	向後力量	軸向力量
手臂加速階段				軸向力量	彎曲力矩
最大肘伸展角速度				彎曲力矩	
最大肩內旋角速度				內收力矩	向後地面反作用力
				軸向力矩	向上地面反作用力
球離手瞬間					
肘彎曲角度				向後地面反作用力	
肩水平外展角度				向上地面反作用力	
軀幹前傾角度				軸心腳動力學參數	前導腳動力學參數
肩內旋角度				軸心腳踝關節	前導腳踝關節
前導腳膝彎曲角度				向後力量	向前力量

四、統計分析

在比較投球動作的部份，先取出每位受試者球速最快的 3 球，再把 3 球中的各項參數平均，以代表該受試者的投球動作。再以 SPSS for Windows 14 套裝軟體，用單因子變異數分析法（one-way ANOVA）對不同年齡層的投手進行各項參數的比較，顯著水準取 α = .05。若有差異出現，再以 LSD 法進行事後比較，找出差異所在。

在找出影響球速的參數部份，每位受試者都取 6 筆資料，每個年齡層就有 60 筆資料。先以皮爾遜積差相關對該年齡層的 60 筆資料的參數和球速進行相關分析，取相關最高且彼此間無高度相關的 5 個參數進行逐步迴歸分析（stepwise regression），以找出各年齡層中影響球速的參數。

第肆章　結果與討論

本研究比較了國中、高中和大學投手的運動學及動力學參數，並將研究的結果及討論呈現在本章中。本章分成六小節，第一節不同年齡層投手的身體構成，第二節運動學參數比較，第三節時間參數比較，第四節上肢動力學參數比較，第五節軸心腳動力學參數比較，第六節前導腳動力學參數比較，第七節影響直球球速的重要參數。

第一節　不同年齡層投手的身體構成

本研究先比較了30名受試者的身高和體重，結果詳列如表4-1。大學投手在體重上明顯高於國中和高中兩組投手（$F_{(2,27)}$=10.9, P< .05）。國中投手則在身高顯著低於高中和大學兩組投手（$F_{(2,27)}$=6.7, P< .05）。由這個結果顯示，由國中到高中增加的是身高，體重變化不顯著。由高中到大學之間身高變化有限，但體重卻開始大幅增加。在Fleisig等人（1999）的研究當中，各組身高體重和本研究相近，只有國中組的體重是較重的（青少年：55±10 kg、 167±9 cm；高中：76±10kg 、183±7cm；大學：82±9kg 、184±5cm），由於此篇研究中青少年的取樣範圍是10-15歲，取樣下限較本研究低(13-15歲)，才會有體重較重的狀況。此篇研究中投手的成長趨勢和本研究有相似的結果。

在教育部的體適能常模中，國中、高中和大學二年級生中等身材的數據顯示，一般人的在國中和高中之間身高和體重都有增加，但是高中和大學之間則改變不大（14歲：56kg、164cm； 17歲：64kg、172cm； 20歲：66kg、173cm，各年齡層為第50th）（教育部）。這個成長趨勢和本研究的投手略有不同，尤其是在高中和大學之間，一般人體重並未大幅增加，可能是大學投手持續接受訓練，食量較大造成體重增加的現象。

表4-1　國中、高中和大學投手(各10名)基本資料

	國中組	高中組	大學組	F 值	
體重（kg）	66.5 ± 12.1	73.7 ± 8.9	88.0 ± 10.2	10.9	*(b,c)
身高（m）	167.4 ± 11.0	179.1 ± 5.7	178.7 ± 6.5	6.7	*(a,b)
年齡（y）	13.8 ± 0.9	16.7 ± 0.7	19.5 ± 1.1		

a-國中和高中組有差異，b-國中和大學組有差異，c-高中和大學組有差異

第二節　運動學參數比較

表4-2詳列了本研究所檢測的各項運動學參數。在直球球速部份，國中投手的球速較高中和大學投手低了3m/s(約10km/hr, $F_{(2,27)}$=5.5, P< .05)，但高中和大學投手之間則無差異產生。這顯示當我國的投手由國中成長到高中的過程,直球球速也有跟著增加，但由高中到大學的階段直球球速則呈現停滯。

在其他的十六個運動學參數中，有四個參數出現顯著差異，首先是國中投手在肩關節外旋角度峰值（$F_{(2,27)}$=3.3, P= .05）大於高中和大學投手。高中投手則在前導腳著地瞬間的前導腳膝關節彎曲角度（$F_{(2,27)}$=4.8, P< .05）、肘關節伸展角速度峰值（$F_{(2,27)}$=7.8, P< .05）和肩關節內旋角速度峰值（$F_{(2,27)}$=7.7, P< .05）等三項大於其他兩組投手。

根據之前學者（Fleisig et al., 1996）的研究發現，北美地區投手的直球球速可以由國中持續增加到職業階段，不同於本研究結果。這些研究中的國中投手的球速約28m/s，高中約33m/s，大學約35m/s，職業則高達37m/s（dun et al., 2008, Fleisig et al., 1996, Matsuo et al.,2001, Werner et al.,2009, Wight et al., 2004）。先前研究中國中和高中投手球速和本研究相近，但大學投手則逐漸超越本研究中。本地投手在高中之後所出現直球球速停滯的情形，這可能是來自於訓練方式的不同。

研究結果顯示國中投手的肩關節外旋角度峰值大於其他兩組投手,但三組投手在球離手時肩關節外旋角度值部份並無差異。由於在投球過程中肩關節內旋峰值出現時代表手臂加速期的開始,球離手時間則代表手臂加速期的結束,兩個時間的肩關節外旋角度值的差值代表手臂加速期肩關節旋轉幅度。因此這個結果代表國中投手的手臂加速期肩關節旋轉的幅度可能比較大。所以本研究進一步檢測，結果印証了上述推論。由於肩關節活動幅度受到軀幹、其他肢段及柔軟度的影響，因此這項差異的形成原因是來自投手肩關節柔軟度的不同還是訓練上的差異，則需進一步的研究。

在前導腳膝關節彎曲角度部份，高中投手在著地時的彎曲角度顯著小於其他兩組，到了球離手瞬間三組皆無顯著差異產生。這顯示高中投手的前導腳膝關節在著地到球離手過程，有著和其他兩組不同的角度變化。進一步檢視前導腳的角度變化曲線，發現前導腳的角度變化有兩種，一種是先彎曲再伸展，另一種是維持著地的角度一小段時間再伸展，不管是那一種，到了手臂加速期都是呈現相同伸展的變化，都能對軀幹提供良好的支撐效果，並在球離手時出現相近的角度，因此這些外觀上的差異並不會影響球速。Masuo等人（2001）的研究也有觀察到相似膝關節變化模式，支持本研究的結果。

表4-2　三組投手各項運動學參數比較表

	國中組	高中組	大學組	F 值	
前導腳著地瞬間					
跨步長度（%）	76.2 ± 5.7	73.1 ± 4.6	74.8 ± 4.9	1.0	
肩外旋角度（˚）	-46.2 ± 34.7	-40.8 ± 40.9	-41.6 ± 25.2	0.1	
肘彎曲角度（˚）	105.6 ± 16.6	103.6 ± 15.3	97.0 ± 20.1	0.7	
前導腳膝彎曲角度（˚）	131.2 ± 9.0	123.0 ± 7.8	133.7 ± 7.3	4.8	*(a,c)
手臂上舉階段					
最大骨盆角速度（˚/s）	518.0 ± 38.0	499.6 ± 51.2	495.0 ± 66.9	0.5	
最大軀幹角速度（˚/s）	1001.0 ± 58.7	1070.7 ± 88.5	1031.0 ± 104.8	1.6	
最大肘彎曲角度(˚）	121.4 ± 13.1	126.1 ± 4.2	117.9 ± 14.5	1.3	
最大肩水平外展角度（˚）	22.1 ± 11.6	21.0 ± 13.4	23.2 ± 5.4	0.1	
最大肩外旋角度(˚）	184.0 ± 10.0	174.5 ± 8.2	172.5 ± 13.4	3.3	*(a,b)
手臂加速階段					
最大肘伸展角速度（˚/s）	1931.0 ± 218.3	2301.4 ± 208.9	2003.2 ± 239.1	7.8	*(a,c)
最大肩內旋角速度（˚/s）	5147.9 ± 751.3	6641.5 ± 1184.9	5286.1 ± 824.4	7.7	*(a,c)
球離手瞬間					
肘彎曲角度（˚）	38.2 ± 10.1	38.6 ± 9.7	41.0 ± 7.2	2.8	
肩水平外展角度(˚）	-14.7 ± 8.6	-10.3 ± 10.8	-17.3 ± 4.8	1.8	
軀幹前傾角度（˚）	30.6 ± 5.3	29.9 ± 3.0	29.5 ± 10.1	0.1	
肩外旋角度（˚）	141.3 ± 12.5	150.9 ± 6.0	143.1 ± 14.1	2.0	
前導腳膝彎曲角度（˚）	130.9 ± 15.8	129.0 ± 5.4	133.8 ± 12.7	0.4	
肩旋轉幅度（˚）	42.7 ± 15.7	23.6 ± 6.9	29.4 ± 8.4	8.0	*(a,b)
球速（m/s）	28.8 ± 3.4	31.9 ± 1.5	31.9 ± 1.6	5.5	*(a,b)

a- 國中和高中組有差異，b-國中和大學組有差異，c-高中和大學組有差異。負值表示肩內旋或肩水平內收

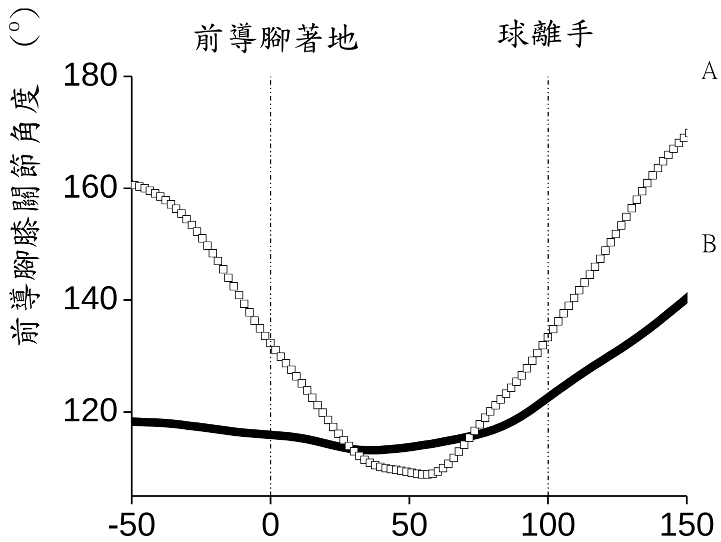


圖 4-1　兩名投手膝關節角度變化圖， A-大學投手，B-高中投手，兩名投在前腳著地到球離手前半段變化不同，後半段則同樣進行伸展。

高中投手的另一項特徵是肘關節伸展速度峰值及肩關節內旋速度峰值二項參數大於其他兩組投手。這個結果顯示高中階段的投手會試著增加上肢的角速度來增加球速，不過肢段的末端速度（V_d）是由近端速度（V_P）加上肢段的長度（l）和角速度（ω）按$V_d = V_P + l\times\omega$的公式產生。在長度和角速度的外積（l×ω）會受到兩者夾角的影響。所以投手的前臂末端速度受到前臂旋轉速度、前臂長度及前臂長軸一旋轉軸夾角的影響。其中旋轉速度會受到肘關節伸展速度和肩關節內旋速度的影響。因此影響前臂末端速度的因素至少包含了前臂近端速度、前臂長度、肘關節伸展速度、肩關節內/外旋速度及前臂長軸一旋轉軸的夾角等5項。在國中投手身上，前臂長度不如其他兩組，造成前臂末端線速度值均低於其他兩組，只能產生較低的球速。在高中投手身上，雖然最大肘關節伸展速度和最大肩關節內旋的速度都較高，但峰值出現時的前臂長軸一旋轉軸夾角卻較小，因此只出現和大學投手相同前臂末端線速度，使兩組投手產生相近的直球球速。

根據之前 Fleisig 等人（1999）的研究，高中投手和青少年投手並未在肘關節伸展速度和最大肩關節旋轉的速度峰值上出現差異，反而是大學投手在這項參數上的值高於其他兩組投手。會出現和本研究不同的結果，可能是和兩個地區對棒球專項化的時間不同。當投手練習一段時間之後，對動作掌握度提高，則會試者去提高動作速度試圖創造球速，此時肘關節伸展速度和肩關節旋轉速度就會提升，當到達個人負荷的極限後才會停止。美國的棒球訓練在高中階段才開始專項化，因此肩、肘關節旋轉速度在大學階段會有所提升。但是在台灣則是國中就開始專項訓練，因此肩、肘關節旋轉速度在高中階段出現提升。旋轉速度提升之初，身體並不一定能有效組合這些角速度來產生線速度。必須練習一陣子之後，身體才能進行有效調控來提升線速度。美國地區的投手的直球球

速還可在關節旋轉速度不增加的狀況下繼續提升，可能就是這個原因。不過台灣地區的投手卻沒有這個現象，反而是降低的肩、肘的旋轉速度，再利用身體較佳的調控創造出相同的球速。會出現這種與國外投手不同的發展，可能是本地大學投手的肩、肘無法產生較大的力矩來加速所造成，想証明這個推論則需要檢測其動力學參數才行。

在 Fleisig 等人（1999）的研究中，高中投手在軀幹的旋轉速度峰值顯著低於青少年投手，在本研究中則沒有這項差異。可能是由於我國投手較早開始棒球專項訓練，使投球動作在國中到高中之間比較穩定，軀幹的的旋轉速度不受年齡的影響。

本研究中國中投手只在球離手瞬間的肩關節外旋角度參數不同於其他兩組，支持棒球投手投球動作的外觀特徵在國中己經成型，並延續到高中、大學的說法（Fleisig et al., 1999, Whiteley, 2007）。由於國中和高中之間身高大幅增加，各肢段的相對位置和朝本壘板的投射的角度都會改變，因此要使身體維持穩定動作，就需要經過大量的練習，過程中由於肢段長度增加使直球球速跟著增加。這表示國中投手訓練的重點在養成良好動作，並且在成長的過程中維持它的穩定。

研究中高中投手在肩內旋及肘伸展速度出現了較高的值，這顯示高中投手在身高趨於穩定之後，對動作的掌控度較佳，會進一步想去加快動作速度，但由於時間的配合還不到位，所以最後的線速度並未提升。因此高中投手的訓練重點在增加對較高速的動作的掌握。

到了大學時，對投球動作更加的熟練，動作的協調更好，使得他們可以利用較低的旋轉速度，創造出相同的球速。不過大學投手適應的過程中是降低肩、肘關節旋轉速度，而不是產生更好的時間搭配來增加球速，是需要進一步突破的地方。

第三節　時間參數比較

本研究同時檢測了三組投手各項時間參數，比較結果詳列在表 4-4。本研究原本檢測了六項參數，但是在發現高中投手肩關節外旋角度峰值的出現時間較晚之後，又增加了手臂加速時間。研究結果顯示有二項參數出現差異，分別是高中投手在肩關節外旋角度峰值出現時間($F_{(2,27)}=5.3$, $P<.05$)顯著晚於國中和大學，其手臂加速時間($F_{(2,27)}=11.2$, $P<.05$）較其他兩組短。

本研究大部份的時間參數都是採取相對值，相對於前導腳著地-球離手的時間，由於三組投手的前導腳著地-球離手的時間並未出現差異，因此手臂加速時間較短的，其肩關

表4-3　三組投手各項時間參數比較表

	國中組	高中組	大學組	F 值
最大骨盆角速度發生時間（%）	33.4 ± 26.0	38.8 ± 15.5	44.4 ± 24.9	0.6
最大軀幹角速度發生時間（%）	51.0 ± 9.0	55.1 ± 5.6	56.6 ± 7.3	1.5
最大肩外旋角度發生時間（%）	80.7 ± 4.3	86.3 ± 4.3	82.6 ± 3.0	5.3 *(a,c)
最大肘彎曲角度發生時間（%）	95.3 ± 3.8	96.8 ± 2.3	96.0 ± 1.4	0.8
前導腳著地-球離手時間（1/100 秒）	19.7　3.4	18.0 ± 2.9	19.5 ± 4.3	0.7
最大肩內旋角速度發生時間（%）	106.1 ± 3.1	105.7 ± 0.9	105.3 ± 1.1	0.5
手臂加速期時間（1/100 秒）	3.7 ± 0.4	2.4 ± 0.8　0	3.3 ± 0.6	11.2 *(a,c)

a-國中和高中組有差異，b-國中和大學組有差異，c-高中和大學組有差異。時間以前導腳著地為 0%，球離手為 100%。

節最大內旋角度的出現時間就相對較晚，研究中高中組的手臂加速時間短，因此肩關節外旋角度峰值的出現時間較晚。對照運動學的參數可以發現，高中投手的手臂加速時間短來自於其肩關節內旋速度較快。

由於投球動作是一個多肢段的加速動作，除了各肢段能高速旋轉之外，就是各肢段在角度及作用時間上能有效配合。高中肩外旋峰值發生時間較其他兩組較晚，這表示動能由軀幹傳遞到上肢的過程和其他兩組不同。在 Felnter（1989）所提出的二肢段動力鏈理論來看，軀幹減速的過程可以提供上肢加速的力量，本研究中高中投手在肩外旋峰值發生時，軀幹的速度降的比大學投手低，這表示下一階段中軀幹能減下的速度較少，提供給上肢的加速力量也較低。也就是說和大學投手比較起來，高中投手的動能在由軀幹傳遞到上肢的過程中有部份損失掉了，間接影響球速，造成高中投手的上肢旋轉速度峰值較大學快，但球離手的速度卻和大學快相近。

先前數篇的研究中（Fleisign et al., 1996, Fleisign et al., 1999, Dun et al., 2008, Matsuo et al., 2001），時間參數不因年齡的不同而有差異，在肩外旋峰值的部份其發生時間接近本研究的國中和大學投手，可見本研究中高中投手的肩外旋峰不佳。同時這項結果反應出了兩地不同的訓練方式，會讓投手呈現不同的特徵(Escamilla et al., 2002）。由於這些時間參數是教練訓練上的重要參考，因此這些不同年齡層投手的時間差異，可以給教練 做一些訓練上的判斷。

第四節　上肢動力學參數比較

本研究同時檢測了未標準化和標準化的動力學參數的峰值，過去的文獻只有對不同年齡層未標準化的動力學參數峰值進行檢測，這項參數會受到身高和體重的影響，對動作所造成的動力學上的差異不明顯。本研究中將力量以體重標準化，力矩以（身高*體重）標準化，再來進行不同年齡層的比較，以釐清純粹受動作影響的參數。未標準化的上肢動力學參數值詳列如表 4-4，標準化後的參數值則詳列如表 4-5。

未標準化的上肢動力學參數共有八項，其中七項都出現差異。在手臂上舉期的肘關節前翻力矩（$F_{(2,27)}$=9.4, P< .05）及肩關節最大內旋力矩（$F_{(2,27)}$=10.2, P< .05）兩項，都是國中投手顯著低於高中和大學兩組投手。同一期的肩關節向前力量值（$F_{(2,27)}$=3.5, P<.05），則是國中投手顯著低於大學投手。整體而言，本階段的參數值都是國中較小，

表4-4　三組投手上肢動力學參數峰值比較表

	國中組	高中組	大學組	F 值
手臂上舉階段				
肘內翻力矩（Nm）	43.3 ± 12.8	65.6 ± 10.5	62.0 ± 13.4	9.4 *(a,b)
肩內旋力矩（Nm）	41.3 ± 12.0	63.1 ± 10.1	60.6 ± 13.1	10.2 *(a,b)
肩向前力量（N）	192.2 ± 68.5	231.7 ± 51.4	252.9 ± 26.8	3.5 *(b)
手臂加速階段				
肘彎曲力矩（Nm）	28.1 ± 12.4	34.9 ± 8.0	36.9 ± 9.2	2.1
手臂減速階段				
肘軸向力量（N）	546.0 ± 146.0	697.8 ± 88.0	799.3 ± 136.1	10.2 *(a,b)
肩軸向力量（N）	519.1 ± 141.0	666.5 ± 98.1	795.6 ± 144.4	11.4 *(a,b,c)
肩向後力量（N）	120.4 ± 50.3	186.3 ± 50.9	192.8 ± 44.3	6.8 *(a,b)
肩水平外展力矩（Nm）	43.3 ± 20.7	54.6 ± 14.3	71.1 ± 23.5	5.0 *(c)

a-國中和高中組有差異，b-國中和大學組有差異，c-高中和大學組有差異

而高中和大學相近的狀況。

在手臂減速期的四項參數中，肘關節軸向力量（$F_{(2,27)}$=10.2, P< .05）和肩關節向後力量（$F_{(2,27)}$=6.8, P< .05）都是國中投手顯著低於高中和大學投手。肩關節軸向力量（$F_{(2,27)}$=11.4, P< .05）則是三組之間都有差異，以國中最小、高中次之、大學最大。肩關節水平外展力矩（$F_{(2,27)}$=5.0, P< .05）有相同趨勢，但只有國中和大學間出現顯著差異。整體而言本階段的參數都呈現依國中、高中、大學增加的趨勢。

標準化的上肢動力學參數則出現了五項差異，在手臂上舉期的肘關節最大前翻力矩（$F_{(2,27)}$=9.3, P< .05）和肩關節最大內旋力矩（$F_{(2,27)}$=10.6, P< .05）都是高中投手大於其他兩組。手臂減速期中的肘關節最大軸向力量（$F_{(2,27)}$=3.9, P< .05）和肩關節最大向後力量（$F_{(2,27)}$=6.3, P< .05）兩項中都高中最大，大學次之，國中最小，但只在高中和國中間出現差異。在肩關節軸向力量（$F_{(2,27)}$=5.8, P< .05）部份國中投手顯著小於其

表4-5　三組投手標準化上肢動力學參數峰值比較表

	國中組	高中組	大學組	F 值
手臂上舉階段				
肘前翻力矩（%BW-H）	3.9 ± 0.5	5.1 ± 0.8	4.0 ± 0.7	9.3 *(a,c)
肩內旋力矩（%BW-H）	3.7 ± 0.4	4.9 ± 0.8	3.9 ± 0.6	10.6 *(a,c)
肩向前力量（%BW）	29.1 ± 7.3	32.0 ± 5.6	29.5 ± 3.3	0.8
手臂加速階段				
肘彎曲力矩（%BW-H）	2.5 ± 0.8	2.7 ± 0.6	2.4 ± 0.6	0.5
手臂減速階段				
肘軸向力量（%BW）	83.3 ± 14.7	96.8 ± 8.1	92.4 ± 9.2	3.9 *(a)
肩軸向力量（%BW）	78.7 ± 12.2	92.2 ± 7.3	92.0 ± 10.3	5.8 *(a,b)
肩向後力量（%BW）	17.8 ± 5.2	25.7 ± 5.9	22.1 ± 3.4	6.3 *(a)
肩水平外展力矩（%BW-H）	3.7 ± 1.2	4.2 ± 0.8	4.6 ± 1.1	1.7

a-國中和高中組有差異，b-國中和大學組有差異，c-高中和大學組有差異

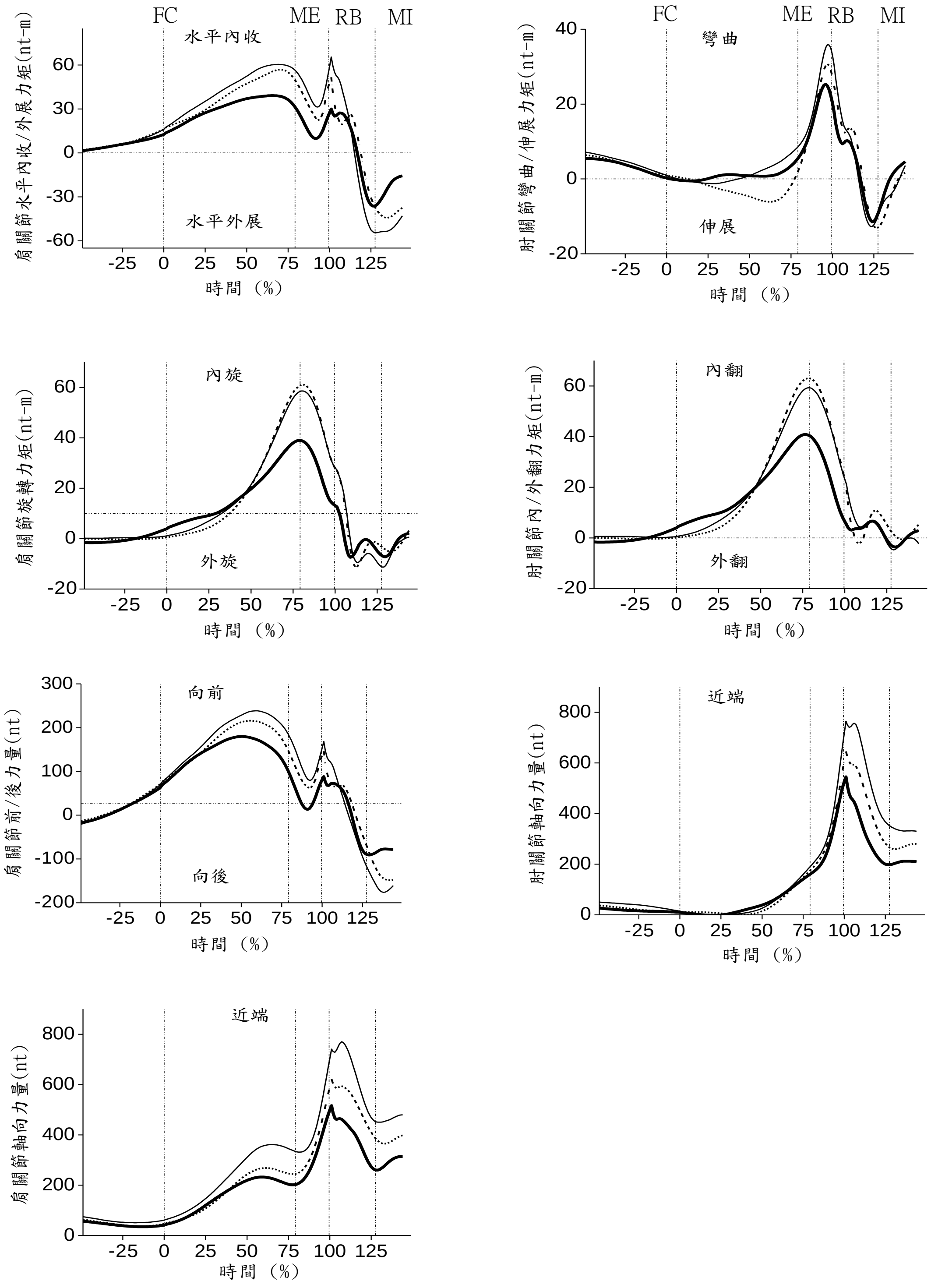


圖 4-2 時間標準化的肩、肘動力學參數變化圖。本圖呈現了三組投手在肩、肘的動力學參數的平均值的變化模式。圖中所呈現的都是在三組之間出現顯著差異的參數。在時間軸部份以前腳著地為 0%，球離手為 100%加以標準化。FH：前導腳抬到最高點，FC：前導腳著地瞬間，ME：肩關節外旋峰值發生瞬間，RB：球離手瞬間，MI：肩關節內旋峰值發生瞬間。━　：國中投手，…… ：高中投手，── ：大學投手。

他兩組，其他兩組間無差異。

在手臂上舉期中，肩關節內旋力矩的功用在於停止上臂因身體向前旋轉而發生的外旋動作，使其進入內旋並開始對球加速。同時期的肘關節前翻力矩則是用來停止前臂的向後翻轉準備向前加速，由於肘關節構成只能允許伸展，因此肘關節的前翻力矩就是直接由肩關節內旋力矩傳導而來，兩者存在高度相關。這兩個力矩的峰值都是發生在肩關節外旋角度峰值出現之前（圖 4-2）。這兩項未標準化的參數上本應隨著投手的身高、體重而增加，但在本研究中高中和大學之間則未隨體重出現差異。由於力矩和肢段長度及肢段角加速度有關（$M=mr^2\alpha$）。大學投手雖然體重較重，但加速時間卻較長使加速度較低，兩者效果互相抵消，造成大學投手肩肘並未承受較大的力矩值。大學投手的力矩和高中相等，到底是肌力不足還是動作中施力不足，也是值得探討的事，如果大學投手在訓練上能加強這兩部份的肌力並運用到投球中，使它能在投球過程中產生較大的力矩，也許可以加快投球的球速。

肩關節內旋力矩是由肩內旋肌所承受，肘關節的前翻力矩由尺骨鷹嘴突的骨骼和尺側副韌帶所承受。高中投手的較高的標準化力矩值顯示了他們因動作而產生的力矩值較高。因此高中投手的訓練上加強肌力並適當控制投球數來避免傷害很最重要的。

在手臂減速期中的力量和力矩，都是用來將降低上肢的速度，這些力量的大小受到減速動作和肢段重量的影響。在未標準化的參數上，各個力量值都有隨著投手的年齡增加的趨勢。由於年齡層愈高的投手在身高和體重上都比年年齡層低的投手大，相對的肢段重量都較高，因此減速所需的力量和力矩也就愈大。在標準化的參數中，高中投手和大學投手相近，國中投手較小，顯示出國、高中投手較強的肌力。這些力量和力矩雖然和球速間沒有直接的關係，但是有較強減速肌力的投手在較高的球速下較不易受傷，因此這部份肌力仍需特別注意。

之前 Fleisig 等人（1999）的研究顯示，在美國地區的投手各項動力學參數會伴隨著年齡由國中向大學一直增加，直到職業階段。在手臂上舉期國中投手的結果和本研究相符，但高中和大學的差異和本研究不同，本研究的高中和大學投手並無差異。兩個研究都發現大學投手的體重較重，為何本研究中大學投手沒有產生較大的力矩？可能是本地投手在肌力訓練上有所不足，或之前受過傷使投球時有所顧忌，無法產生夠大的力矩來儲存能量，若能在肌力和動作訓練上加強，就有可能突破球速的瓶頸。

第五節　軸心腳動力學參數

軸心腳的主要功能在於進行跨步，使重心向前移動，創造投球的起始動能。本研究在軸心腳檢測了向前和垂直向地面反作用力及髖、膝、踝關節在矢狀面（向前及軸向）上的力量及重要的力矩峰值。在大學受試者中有一筆資料值偏低，剔除之後大學組只有9筆，比較之後的結果詳列如表4-6，標準化的資料詳列如表4-7。

在地面反作用力的部份，大學投手在在垂直方向反作用力（$F_{(2,26)}$=10.6, P< .05）顯著大於國、高中兩組。在向前地面反作用上三組投手沒有差異。在髖、膝、踝三個關節的軸向力量中，都有依國中向大學增大的趨勢，而且國中和大學之間差異都達顯著(髖$F_{(2,26)}$=5.3, P< .05, 膝$F_{(2,26)}$=6.7, P< .05, 踝$F_{(2,26)}$=4.7, P< .05）。在各關節前後方向力量上只有踝關節向前力量（$F_{(2,26)}$=6.1, P< .05）是大學較國中投手大。在力矩部份

表4-6　三組投手軸心腳動力學參數峰值比較表

	國中組	高中組	大學組	F 值
軸心腳踝關節				
向前力量（N）	382.8 ± 91.2	461.8 ± 131.4	556.8 ± 114.1	6.1 *(b)
軸向力量（N）	740.7 ± 167.0	772.4 ± 140.7	918.8 ± 108.4	4.7 *(b)
伸展力矩（Nm）	87.8 ± 23.0	107.0 ± 8.6	126.8 ± 23.2	10.5 *(a,b,c)
軸心腳膝關節				
向後力量（N）	416.5 ± 124.1	418.8 ± 105.3	507.2 ± 116.6	2.1
軸向力量（N）	678.0 ± 171.7	746.5 ± 105.4	881.3 ± 90.2	6.7 *(b)
伸展力矩（Nm）	84.9 ± 27.3	111.4 ± 48.6	143.1 ± 44.0	5.3 *(b)
內收力矩（Nm）	105.5 ± 49.3	138.6 ± 29.1	141.0 ± 23.5	3.1
軸心腳髖關節				
向前力量（N）	398.2 ± 135.7	390.5 ± 66.5	483.5 ± 84.4	2.7
軸向力量（N）	609.4 ± 134.1	675.1 ± 83.1	763.0 ± 100.0	5.3 *(b)
伸展力矩（Nm）	78.0 ± 32.8	73.1 ± 25.9	98.1 ± 42.7	1.6
內收力矩（Nm）	124.5 ± 58.9	178.5 ± 26.2	179.6 ± 34.0	5.8 *(a,b)
軸向力矩（Nm）	64.0 ± 22.3	61.2 ± 20.9	71.4 ± 21.9	0.6
向前地面反作用力（N）	332.5 ± 98.1	361.5 ± 67.2	336.9 ± 118.3	0.3
垂直地面反作用力（N）	762.0 ± 138.6	853.8 ± 127.1	1010.4 ± 103.1	10.6 *(b,c)

a-國中和高中組有差異，b-國中和大學組有差異，c-高中和大學組有差異

表4-7　三組投手標準化軸心腳動力學參數峰值比較表

	國中組	高中組	大學組	F 值
軸心腳踝關節				
向前力量（%BW）	58.8 ± 9.5	64.8 ± 20.2	66.1 ± 16.4	0.6
軸向力量（%BW）	113.0 ± 10.5	106.4 ± 8.7	107.6 ± 5.6	1.7
伸展力矩（%BW-H）	8.1 ± 1.5	8.3 ± 0.9	8.5 ± 2.1	0.2
軸心腳膝關節				
向後力量（%BW）	63.5 ± 13.9	58.0 ± 11.8	59.6 ± 12.5	0.5
軸向力量（%BW）	103.4 ± 14.0	103.3 ± 6.7	103.8 ± 10.7	0.0
伸展力矩（%BW-H）	7.8 ± 2.2	8.7 ± 3.6	9.4 ± 2.4	0.7
內收力矩（%BW-H）	9.6 ± 3.8	10.7 ± 1.7	9.4 ± 2.1	0.6
軸心腳髖關節				
向前力量（%BW）	60.6 ± 15.3	54.0 ± 5.7	56.9 ± 9.4	0.9
軸向力量（%BW）	93.0 ± 8.6	93.9 ± 10.1	89.7 ± 10.8	0.5
伸展力矩（%BW-H）	7.0 ± 2.3	5.6 ± 1.5	6.4 ± 2.5	1.1
內收力矩（%BW-H）	11.4 ± 4.6	13.9 ± 2.2	12.0 ± 2.8	1.5
軸向力矩（%BW-H）	5.7 ± 1.2	4.6 ± 1.0	4.8 ± 1.6	2.0
向前地面反作用力（%BW）	50.4 ± 8.7	50.2 ± 7.5	39.1 ± 12.0	4.3 *(b,c)
垂直地面反作用力（N）	116.9 ± 5.0	117.9 ± 6.5	118.8 ± 10.3	0.2

a-國中和高中組有差異，b-國中和大學組有差異，c-高中和大學組有差異

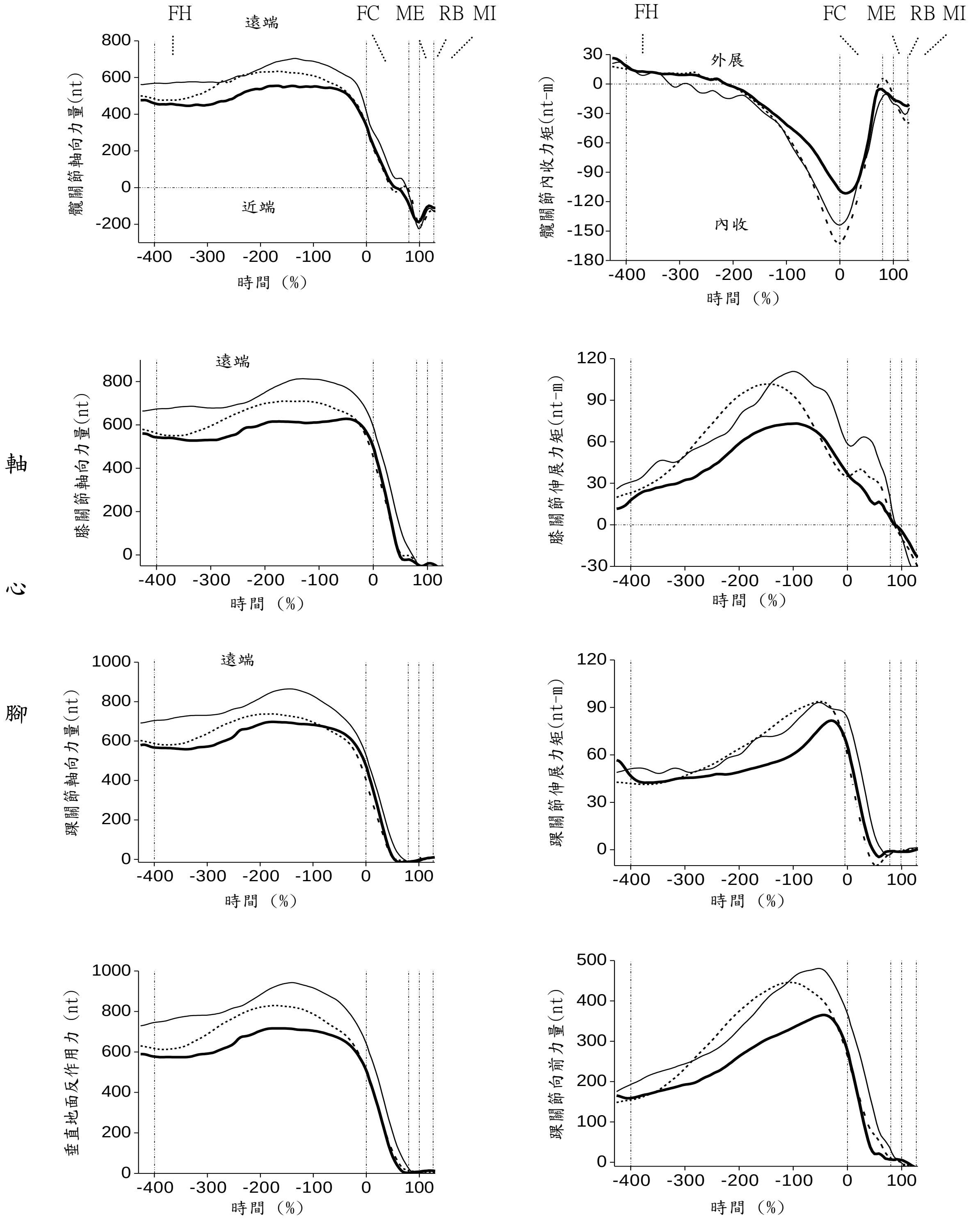


圖 4-3　時間標準化的軸心腳動力學參數變化圖。本圖呈現了三組投手在軸心腳的動力學參數的平均值的變化模式。圖中所呈現的都是在三組之間出現顯著差異的參數。在時間軸部份以前腳著地為 0%，球離手為 100%加以標準化。FH：前導腳抬到最高點，FC：前導腳著地瞬間，ME：肩關節外旋峰值發生瞬間，RB：球離手瞬間，MI：肩關節內旋峰值發生瞬間。 ━ ：國中投手，······ ：高中投手， ──：大學投手。

則有踝關節伸展力矩（$F_{(2,26)}$=10.5, $P<.05$）是依年齡增加，且三組間差異達顯著。膝關節伸展力矩（$F_{(2,26)}$=5.3, $P<.05$）則是大學大於國中投手。髖關節內收力矩（$F_{(2,26)}$=5.8, $P<.05$）則是國中顯著小於高、大學兩組投手。在標準化的動力學參數中，全部十四項參數只有向前地面反作用力（$F_{(2,26)}$=4.3, $P<.05$）有出現差異，其餘都無顯著差異。整體而言整個軸心腳下肢動力學的值大致有依年齡增加的現象。

在投球動作中，垂直方向地面反作用力的功用是支撐身體重量，控制身體下落的速度，因此這項參數和體重之間有相當大的相關，大學投手的體重大於其他兩組，就會有較大的垂直地面反作用力，標準化之後三組間並沒有出現差異印證了前述推論。向前的地面反作用力的功用則是用來推進身體向前移動，這參值未標準化時在三組之間沒有差異，由於大學投手的體重顯著高於其他兩組，所以標準化之後出現大學投手顯著低於國中的狀況。這顯示隨著年齡增加，對動作的熟悉，投手的能量轉換效率更好，因此下肢不需要太多的推進動力就可以在末端創造相同的速度。

在關節力量的部份，三個關節的軸向力量峰值發生的時間和地面反作用力的峰值出現時間相近，而且三個關節的軸向力量峰值幾乎同時出現（圖 4-3），由此可見關節軸向力量峰值是來自於地面反作用力峰值，只是轉換到肢段座標系之後，差異不一致。由於地面反作用力都是隨體重增加而增加，因此三個關節的最大力量也出現同樣的趨勢。這樣的結果也顯示，體重愈重的投手在下肢會承受愈高的關節力量，對下肢關節的軟骨負擔也愈重，易造成下肢的傷害。

在關節力矩的部份，伸展力矩的峰值受地面反作用力峰值影響較大，因此變化趨勢和最大地面反作用力相近。但內收力矩峰值並則和地面反作用力峰值同時發生，內收力矩峰值是發生在前推的過程後半段，此時地面反作用力已變小，因此此力矩受到肢段長度的影響較大，才會出現高中和大學相近的狀況。

在標準化的動力學參數中，只有向前地面反作用力有差異，其他皆無差異產生，可見影響軸心腳推進力量和力矩最大的是投手的身高、體重，而非動作因素。

第六節　前導腳動力學參數

前導腳的主要功能在於剎車，減低重心前移速度，同時將動能轉換到軀幹上去。本研究在前導腳檢測了十一個參數，分別是向後和垂直的地面反作用力及髖、膝、踝關節在矢狀面上（前後及軸向）的力量和彎曲力矩的峰值，未標準化的參數比較結果詳列於表 4-8，

標準化結果詳列於表 4-9。其中垂直方向的地面反作用力峰值（$F_{(2,26)}$=11.8, P<.05）與膝、踝關節的軸向力量峰值（膝 $F_{(2,26)}$=17.3, P< .05, 踝 $F_{(2,26)}$=13.7, P< .05）在三組間都出現差異，依序是國中最小，高中次之，大學最大。踝關節的向前力量（$F_{(2,26)}$=4.7, P< .05）和伸展力矩（$F_{(2,26)}$=7.9, P< .05）則是國中投手小於高中和大學兩組投手。髖關節向前力量峰值（$F_{(2,26)}$=12.3, P< .05）則是國中小於大學。整體而言，前導腳的差異集中在膝、踝關節，大部份是依年齡增加而增加。

在標準化的力量值部份，垂直方向的地面反作用力與膝、踝關節的軸向力量峰值有國中投手小於其他兩組的趨勢。在垂直方向的地面反作用力上（$F_{(2,26)}$=4.0, P< .05），國中投手和高中投手之間的差異達顯著。在膝、踝關節軸向力量（膝 $F_{(2,26)}$=3.9, P<.05, 踝 $F_{(2,26)}$=3.6, P<.05）裡國中和高中、國中和大學的差異都達到顯著。在踝關節的向前力量（$F_{(2,26)}$=3.2, P< .05）和伸展力矩（$F_{(2,26)}$=6.0, P< .05）則是高中大於其他兩組，其他兩組間無差異。前導腳髖關節向前力量（$F_{(2,26)}$=4.2, P< .05）則是國中和高中差異

表 4-8　三組投手前導腳動力學參數峰值比較表

	國中組	高中組	大學組	F 值
前導腳踝關節				
向前力量（N）	399.1 ± 117.2	519.9 ± 49.5	520.3 ± 129.9	4.7 *(a,b)
軸向力量（N）	983.2 ± 224.4	1182.9 ± 109.0	1408.4 ± 203.2	13.7 *(a,b,c)
伸展力矩（Nm）	56.2 ± 25.5	107.7 ± 27.6	94.5 ± 38.4	7.9 *(a,b)
前導腳膝關節				
向後力量（N）	616.1 ± 256.9	649.9 ± 154.3	738.3 ± 137.4	1.1
軸向力量（N）	824.3 ± 148.7	1037.1 ± 72.0	1225.1 ± 219.0	17.3 *(a,b,c)
伸展力矩（Nm）	123.4 ± 36.5	133.2 ± 22.5	177.6 ± 38.1	8.0 *(b,c)
前導髖膝關節				
向前力量（N）	816.2 ± 158.2	1139.3 ± 164.5	1228.2 ± 266.3	12.3 *(a,b)
軸向力量（N）	622.3 ± 245.6	518.7 ± 125.7	597.9 ± 190.8	0.8
伸展力矩（Nm）	159.6 ± 65.0	162.1 ± 53.2	215.6 ± 51.9	3.2
向後地面反作用力（N）	426.3 ± 99.5	535.4 ± 77.9	490.4 ± 231.2	1.4
垂直地面反作用力（N）	974.9 ± 233.3	1181.8 ± 110.3	1362.0 ± 181.2	11.8 *(a,b,c)

a-國中和高中組有差異，b-國中和大學組有差異，c-高中和大學組有差異

達顯著。整體而言，標準化的參數大致是國中投手低於其他兩組，而且和出現差異的參數和標準化的相同。

前導腳的地面反作用力的功用是停止投手身體的下降，並提供手臂加速中軀幹向前及向下旋轉的支撐，這使它的峰值出現在手臂加速的過程中。因此這個值不只和體重有關，也受軀幹動作的影響。本研究中垂直方向的反作用力在三組投手間都有差異，標準化之後則也有差異產生，証明這個參數不只受到身高、體重的影響，也受到動作的影響。

表4-9　三組投手標準化前導腳動力學參數峰值比較表

	國中組	高中組	大學組	F 值
前導腳踝關節				
向前力量（%BW）	61.4 ± 14.3	72.7 ± 9.2	60.5 ± 11.3	3.2 *(a,c)
軸向力量（%BW）	149.7 ± 13.4	164.6 ± 12.3	165.0 ± 17.3	3.6 *(a,b)
伸展力矩（%BW-H）	5.2 ± 2.1	8.4 ± 2.2	6.1 ± 2.0	6.0 *(a,c)
前導腳膝關節				
向後力量（%BW）	92.0 ± 27.1	89.8 ± 17.4	86.9 ± 15.8	0.1
軸向力量（%BW）	126.9 ± 11.5	144.8 ± 14.7	143.3 ± 20.4	3.9 *(a,b)
伸展力矩（%BW-H）	11.2 ± 1.9	10.3 ± 1.3	11.7 ± 1.9	1.5
前導腳髖關節				
向前力量（%BW）	126.0 ± 19.1	159.8 ± 31.4	143.5 ± 25.9	4.2 *(a)
軸向力量（%BW）	93.1 ± 26.7	72.4 ± 19.1	70.8 ± 23.3	2.8
伸展力矩（%BW-H）	14.0 ± 3.5	12.6 ± 4.4	14.2 ± 2.9	0.5
向後地面反作用力（%BW）	65.3 ± 9.4	74.4 ± 9.6	56.6 ± 24.7	3.0
垂直地面反作用力（%BW）	148.2 ± 12.8	164.5 ± 13.6	159.6 ± 13.0	4.0 *(a)

a-國中和高中組有差異，b-國中和大學組有差異，c-高中和大學組有差異

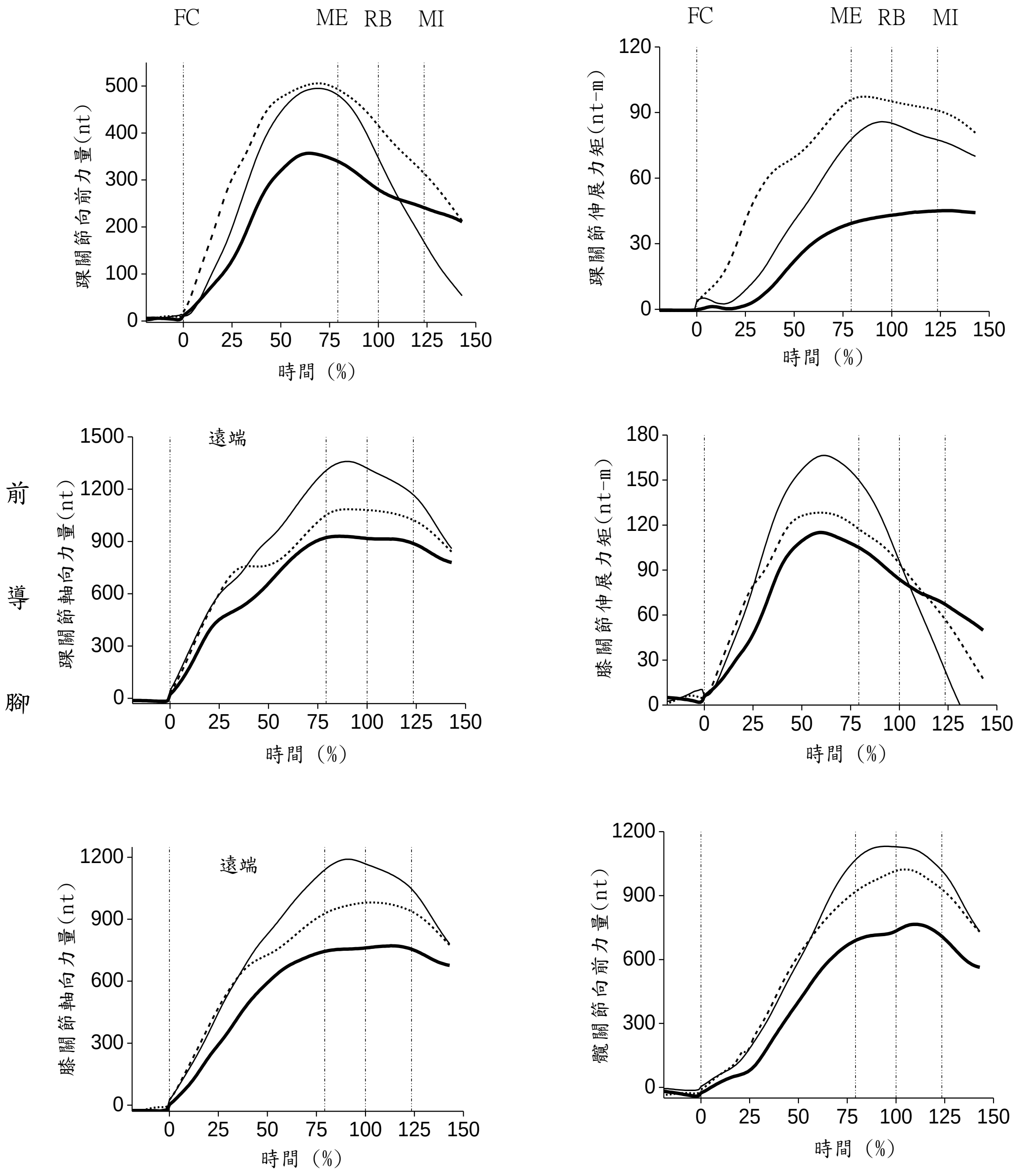


圖 4-4　時間標準化的前導腳動力學參數變化圖。本圖呈現了三組投手在前導腳的動力學參數的平均值的變化模式。圖中所呈現的都是在三組之間出現顯著差異的參數。在時間軸部份以前腳著地為 0%，球離手為 100%加以標準化。FH：前導腳抬到最高點，FC：前導腳著地瞬間，ME：肩關節外旋峰值發生瞬間，RB：球離手瞬間，MI：肩關節內旋峰值發生瞬間。━　：國中投手，······：高中投手，──：大學投手。

在關節的軸向力量上前導腳和軸心腳狀況相似，其峰值和最大地面反作用力峰值幾乎是同時發生，加上在這個時候各肢段都沒有太大的加速度，可見各關節的軸向力量峰值來自最大地面反作用力。不過到了髖關節，差異就消失了。

在關節力矩上，各關節的主要的作用力矩都是伸展力矩，但不同關節的力矩峰值出現時間和功用也不相同。在踝關節中，足部沒有太大動作，因此關節力矩都是地面反作用力引起，關節力矩峰值的出現時間和地面最大反作力的時間相近。由於肢段長度也會影響力矩值的大小，因此體重較重、身高較高的大學投手，其踝關節力矩峰值也最高，再來是高中，最小的是國中（圖 4-4)。標準化之後則出現高中大於其他兩組，顯示高中投手的地面反作用力作用點可能較其他組接近腳尖。

在膝關節伸展力矩部份，標準化的膝關節彎曲力矩並無差異產生，表示這個參數主要受身高和體重的影響。由於自於地面反作用力的峰值出現時作用線會通過關節中心附近，使得作用力臂較小，因此身高的影響也就較小，主要受體重的影響較大，因此出現大學高於其他兩組的狀況。

髖關節彎曲力矩的形成，是地面反作用力峰值和力臂相乘。其中力臂受到下肢三個肢段影響，使得這個力矩變異數大於其他關節力矩，造成這個力矩雖然有依年齡增加的趨勢，但三組之間無顯著差異，標準化之後也沒有顯著差異。

整體而言，投手在地面反作用及髖、膝、踝的動力學參數在三組之間都有差異，除了身高和體重還受到動作的影響，不過差異主要集中在膝、踝關節，到了髖關節差異就減少了。

第七節　影響直球球速的重要參數

本研究先以利用皮爾森積差相關分析了各年齡層投手運動學與上肢動力學的各項變數間的相關，從中找出和球速相關最高而且彼此間無高度相關的五個變數做為預測變項，以球速為依變項，使用逐步迴歸的方式進行分析。由各年齡層的相關係數表中，我們發現了動力學參數彼此之間都存在中度到高度的相關，因此在選擇進行迴歸的預測變數時只選擇了手臂上舉階段肩關節內旋力矩峰值來代表上肢的動力學參數。在運動學參數之中，肘關節伸展速度峰值和肩關節內旋速度峰值之間也存在著高度相關，因此這兩項係數也只選一項做為預測變數。

在國中投手的部份依上述原則選出了和球速相關最高且彼此間無高度相關的五個

變數，這些變數分別是手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值、跨步幅度、軀幹旋轉速度峰值、肘關節彎曲角度峰值和球離手瞬間的肘關節彎曲角度等五項參數做為預測變項來進行迴歸分析，變數間的相關詳列如表 4-10。各參數的迴歸係數及標準化的迴歸係數詳列如表 4-11。研究結果顯示手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值、跨步幅度和肘關節彎曲角度峰值依序被選入迴歸公式中。當臂上舉階段肩關節內旋力矩峰值被選入時，迴歸公式對球速變異的解釋量為 31 %（β_1=0.25, P< .05）。當加入跨步幅度後，迴歸公式對球速變異的解釋量變為 41%（β_2=0.42, P< .05）。再加入肘伸展速度峰值後，迴歸公式對球速變異的解釋量變為 54 %（β_3=0.41,P< .05）。研究結果顯示，手臂上舉期肩關節內旋力矩、跨步長度、肘關節伸展速度峰值愈大的投手球速愈快。

在高中投手的部份選出了手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值、跨步幅度、軀幹旋轉速度峰值、肘關節伸展速度峰值和球離手瞬間的前導腳膝關節彎曲角度等五項參數做為預

表 4-10　國中投手各項變數與球速之相關係數矩陣

	球速	a1	a2	a3	a4	a5
a1	.55					
a2	.47	.30				
a3	.49	.34	.44			
a4	.49	.43	-.06	.34		
a5	.49	.42	.13	.26	.53	

a1=手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值
a2=跨步長度
a3=軀幹角速度峰值
a4=肘彎曲角度峰值
a5=球離手時肘彎曲角度

表 4-11　國中投手球速的逐步迴歸分析摘要表

模式	預測數項	B	β	t
	常數	-0.94		-0.20 *
	手臂上舉期肩關節內旋力矩	0.07	0.25	2.37 *
	跨步長度	0.22	0.42	4.29 *
	肘伸展速度峰值	0.09	0.41	3.98 *

*P< .05　R_1^2 =0.31, R_2^2 =0.41, R_3^2 =0.41

測變項來進行迴歸分析，變數間的相關詳列如表 4-12，各參數的迴歸係數及標準化的迴歸係數詳列如表 4-13。研究結果顯示手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值、球離手瞬間的前導腳膝關節彎曲角度、軀幹旋轉速度峰值和身高依序被選入迴歸公式中。當手臂上舉階段肩關節內旋力矩峰值被選入時，迴歸公式對球速變異的解釋量為 25 %(β_1=0.48, P< .05）。當加入跨步幅度後，迴歸公式對球速變異的解釋量變為 47%（β_2=-0.39, P<.05)。再加入肘伸展速度峰值後，迴歸公式對球速變異的解釋量變為 62%(β_3=0.47, P<.05)。最後加入肘伸展速度峰值後，迴歸公式對球速變異的解釋量變為66%(β_3=0.26, P<.05）。研究結果顯示，手臂上舉期肩關節內旋力矩、球離手時前膝彎曲角度、軀幹旋轉速度峰值愈大及身高愈高的投手球速愈快。

在大學投手的部份選出了手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值、肩關節外旋角度峰值、

表 4-12　高中投手各項變數與球速之相關係數矩陣

	球速	a1	a2	a3	a4
a1	.50				
a2	.31	- .25			
a3	.44	.01	.81		
a4	.45	.04	- .13	- .22	
a5	.39	.57	- .36	- .24	-.67

*P< .05

a1=手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值

a2=軀幹角速度峰值

a3=肘伸展速度峰值

a4=球離手時前膝角度

a5=身高

表 4-13　高中投手球速的逐步迴歸分析摘要表

模式	預測數項	B	β	t
	常數	14.72		2.20 *
	手臂上舉期肩關節內旋力矩	0.08	0.48	4.97 *
	球離手時前膝彎曲角度	-0.09	-0.39	-4.87 *
	軀幹旋轉速度峰值	0.01	0.47	5.57 *
	身高	0.08	0.26	2.62 *

*P< .05　R_1^2 =0.25, R_2^2 =0.47, R_3^2 =0.62 , R_4^2 =0.66

肘關節伸展速度峰值、前導腳著地瞬間前腳膝關節角度和體重等五項參數做為預測變項來進行迴歸分析。變數間的相關詳列如表 4-14，各參數的迴歸係數及標準化的迴歸係數詳列如表 4-15。研究結果顯示手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值、前導腳著地瞬間前腳膝關節角度、肩關節外旋角度峰值和肘關節伸展速度峰值四項參數依序被選入迴歸公式中。當手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值被選入時，迴歸公式對球速變異的解釋量為 65％（β_1=0.44, P< .05）。當加入前導腳著地瞬間前腳膝關節角度後，迴歸公式對球速變異的解釋量變為 69%（β_2=-0.31, P< .05）。再加入肩關節外旋角度峰值後，迴歸公式對球速變異的解釋量變為 75%（β_3=-0.33, P< .05）。最後加入肘關節伸展速度峰值後，迴歸公式對球速變異的解釋量變為 76%（β_3=0.17, P< .05）。研究結果顯示，手臂上舉期肩關節內旋力矩、肩外旋角度峰值及肘關節伸展速度峰值愈大的投手球速愈快。但前腳著地時前膝彎曲角度愈小的投手球速愈快。

表 4-14　大學投手各項變數與球速之相關係數矩陣

	球速	a1	a2	a3	a4
a1	.81				
a2	-.53	.54			
a3	.56	.52	- .12		
a4	-.46	-.34	- .18	- .42	
a5	.53	.69	- .55	- .31	- .21

*P< .05
a1=手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值
a2=肩外旋角度峰值
a3=肘伸展速度峰值
a4=前導腳著地瞬間前腳膝關節角度
a5=體重

表 4-15　大學投手投手球速的逐步迴歸分析摘要表

模式	預測數項	B	β	t
	常數	28.09		6.91 *
	手臂上舉期肩關節內旋力矩	0.08	0.44	4.38 *
	前腳著地時前膝彎曲角度	-0.10	-0.31	-3.80 *
	肩外旋角度峰值	0.06	0.33	-3.79 *
	肘伸展速度峰值	0.00	0.17	2.09 *

*P< .05　R_1^2 =0.65, R_2^2 =0.69, R_3^2 =0.75 , R_4^2 =0.76

由以上結果可以發現，上肢的動力學參數在各組的預測公式中都佔有重要的地位。雖然各組中和球速梱關較高的運動學參數並不相同，但這些參數對球速都有很高的預測力。在這三個年齡層中，投手的體格不斷的在變化，不管是國中到高中階段的身高增加或高中到大學階段的體重增加，要維持相同的投球動作都需要更大的肌力，因此肌力會成為預測球速最重要參數，這也顯示在成長過程中肌力訓練的重要性。由於之前動力學參數顯示，高中和大學投球過程中的上肢力量和力矩峰值相近，因此推論大學投手在力量和力矩峰值的不足是限制球速的因素。在本節大學的迴歸公式中，上肢動力學參數對球速確實有很大的影響，也支持了上一節的這項推論。

另外在運動學參數部份，國中組最有預測力的參數是跨步幅度，由於國中生是初學者，對投球動作的掌握度較差，而且身高一直在增加，因此對身體位置的掌握較差，能將身體控制的較好的選手跨步幅度較大，其球速也較高，因此跨步幅度會是另一個好的預測變數。到了高中投手對投球動作己熟練，跨步幅度會逐趨穩定，因此這個變數預測力就降低很多。但高中投手的身高大幅的增加，使得身高對球速也出現影響。身高高的投手有較大的力臂，上肢末端可以產生較大的線速度，進而影響球速。到了大學之後體格逐漸穩定，這些因素都對球速的影響力都降低，不再出現在迴歸公式中。

Werner 等人(2008)對大學投手的研究中，前導腳著地瞬間前腳膝關節角度、肩關節外旋角度峰值和肘關節伸展速度峰值都有出現在預測球速的迴歸公式中。同時他們推論前導腳著地瞬間前腳膝關節角度愈小的投手，對著地時的負荷有較好的緩衝效果，較大的肩關節外旋角度峰值顯示投手在加速前儲存了較多的能量。由於本研究中各項參數與球速之間的變化關係和之前研究相同，所以本研究的結果支持上述的推論。由此可見在大學投手的投球動作中，這三項參數確實是影響球速的重要因子。

本研究的結果顯示，不同年齡層投手身體條件不同，影響球速的因子也不同。年齡較小時，球速會受到動作穩定性和體格條件的影響，到了大學之後體格己穩定，球速受動作的影響就比較大。上肢動力學參數是惟一同時出現在三組迴歸公式中的參數，可見上肢肌力對每個年齡層都很重要。根據這結果，不同階段的教練在訓練投手球速的重點也應有所差異。

第伍章　結論與建議

本研究的目地是比較我國國中、高中、大學三個年齡層的投手的上、下肢運動學、動力學及時間參數，來了解不同年齡層的棒球投手投球動作及影響球速的因素的差異。研究結果在運動學、動力學及時間參數有以下的發現:

一、　三組投手在數個重要時間點的角度參數上沒有太大差異，顯示投球動在國中階段就已擁有和高中、大學近似的投球動作。

二、　國中投手在肩關節外旋峰值上較其他兩組多了約 10°，此時也是肩關節外旋力矩最大的時候，這顯示肩內旋肌在更加伸展的狀況下受力。此外其肩關節在整個加速期的旋轉幅度比高中及大學投手多了約 12°，表示肩關節受力的範圍較長。這兩項因素帶給國中投手的肩關節較大的受傷風險。

三、　高中投手的肩內旋速度為 6641°/s，肘伸展速度為 2301°/s 較其他兩組快，這顯示高中投手有嘗試加快上肢旋轉速度，但其肩外旋峰值發生時間較其他兩組晚了 4%，這表示動能由軀幹傳遞到上肢的過程中有部份損失掉了，因此其上肢旋轉速度峰值雖較大學快，但球離手的速度卻和大學快相近。

四、　大學投手在的體重比高中多了約 10kg，但手臂加速期的肩內旋力矩和肘前翻力矩峰值都略大於 60Nm，接近高中投手的力矩值。在相同的力矩作用下，體重增加會減低角加速度，間接影響到大學投手的球速，形成大學投手球速未大於高中投手的結果。

五、　在下肢動力學參數部份，除了前導腳髖關節之外都有隨年齡增加的趨勢，這顯示下肢動力學受體重的影響較大。同時也表示體重較重的投手受傷的風險也較高。

根據這些結果，我們建議國中階段教練的訓練重點在建立的良好的投球動作，同時注意投手的投球數量和頻率來防止傷害發生。到了高中，當選手開始加快上肢旋轉速度時，要同時注意動作的時序，維持良好的能量傳遞過程。到了大學，訓練的重點在於上肢肌力的強化，進一步提升球速。

在影響球速的參數部份，研究結果則有以下發現:

一、　國中投手對預測球速貢獻較大的因子有手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值、跨步幅度和肘關節伸展速度峰值共三項。

二、　高中投手對預測球速貢獻較大的因子有手臂上舉期肩關節內旋力矩峰值、

球離手瞬間的前導腳膝關節彎曲角度、軀幹旋轉速度峰值和身高共四項。

三、 大學投手對對預測球速貢獻較大的因子有上舉期肩關節內旋力矩峰值、前導腳著地瞬間前腳膝關節角度、肩關節外旋角度峰值和肘關節伸展速度峰值共四項。

這樣的結果顯示了上肢肌力不管在任何年齡都非常重要，同時也反映出各年齡層投手不同的特性。在調整選手時，教練如果能以注意這些因子的變化情形，對投球的訓練就可以有更有效的掌控。本研究的受試者僅止於學生投手，並未對業餘及職業選手進行檢測，未來可就這部份進行深入的研究，以提供台灣棒球投手在訓練上更多的建議。

參考文獻

中文部份：

大專體總（2010）。*99 學年度 UBL 棒球運動聯賽成績表*。2011 年 10 月 1 日，取自中華民國大專院校體育總會網站，網址 http://web.ctusf.org.tw/index.php?option=com_content&task=view&id=96&Itemid=99999999

中華民國學生棒球聯盟（2010）。*參賽隊數一覽表*。2011 年 10 月 1 日，取自中華民國學生棒球聯盟網站，網址 http://www.ctsbf.edu.tw/ReportServer?/SFM014_3&rs:Command=Render

林光宏（2007）。*棒球投手*。未出版碩士論文，國立體育學院教練研究所，桃園縣。

葉志仙、李明憲、朱峯亮（2003）。*棒球聖經—棒球技術圖解剖析*。臺北市：商周出版。

陳書瑋、湯文慈（2009）。棒球投手投球動作的檢視。*中華體育季刊*，*23*（2），84-93。

英文部份：

Aguinaldo, A. L., Buttermore, J., & Chambers, H. (2007). Effects of upper trunk rotation on shoulder joint torque among baseball pitchers of various levels. *Journal of Applied Biomechanics, 23,* 42-51.

Barrentine, S.W., Matsuo, T., Escamilla, R.F., Fleisig, G.S., & Andrews, J.R., (1998). Kinematic analysis of the wrist and forearm during baseball pitching. *Journal of Applied Biomechanics 14*(1), 24–39.

Dempster, W. T., & Gaughran, R. L. (1955). Properties of body segments based on size and weight. *Journal of American Anatmoy. 120,* 33-54.

Dillman, C.J., Fleisig, G.S., & Andrews, J.R., (1993). Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy 18,* 402–408.

Dun, S., Fleisig, G. S., Loftice, J., Kingsley, D., & Andrews, R J. (2007). The relationship between age and pitching kinematics in professional baseball pitchers. *Journal of Biomechanics, 40***,** 265-270.

Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Zheng, N., Barrentine, S. W., & Andrews, J. R. (2001). Kinematic comparisons of 1996 Olympic baseball pitches. *Journal of Sports Sciences, 19***,** 665-676.

Escamilla, R., Fleisig, G., Barrentine, S., Andrews, J., & Moorman, C. (2002). Kinematic and kinetic comparisons between American and Korean professionalbaseball pitchers. *Sports Biomechanics, 1*(2), 213-228.

Feltner, M. E. (1989). Three-dimensional interactions in a two segment kinetic chain. Part II: application to the throwing arm in baseball pitching. *International Journal of Sports Biomechanics, 5***,** 420-430

Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Escamilla, R. F., & Andrews, J. R. (1996). Biomechanics of overhand throwing with implications for injuries. *Sports Medicine, 21*, 421-437.

Fleisig, G. S., Escamilla, R. F., Andrews, R J., Matsuo, T., & Satterwhite, Y. (1996). Kinematic and kinetic comparison between baseball pitching and football passing. *Journal of Applied Biomechanics, 12***,** 207-224.

Fleisig, G.. S., Barrentine, S. W., Zheng, N., Escamilla, R. F.,& Andrews, J. R.(1999). Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *Journal of Biomechanics, 32***,** 1371-1375.

MacWilliams, B. A., Choi, T., Perezous, K. M., Chao, S. E., & MacFarland, G. E. (1998). Characteristic ground- reaction force in baseball Pitching. *American Journal of sports medicine, 26*, 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), 1-13 。

McIntosh, A. S., Beatty, K. T., D., Dwan, L. N., & Vickers, D. R (2006). Gait dynamics on an inclined walkway. *Journal of Biomechanics, 39,* 2491-2502 。

Pappas, A.M., Morgan, W.J., Schulz, L.A., Diana, R., (1995). Wrist kinematics during pitching. A preliminary report. American *Journal of Sports Medicine 23,* 312–325**.**

Stodden, D. F., Fleisig, G. S., McLean, S. P., Lyman, L. S., & Andrews, R. J. (2001). Relationship of pelvis and upper torso kinematics to pitched baseball velocity. *Journal of Applied Biomechanics, 17***,** 164-172.

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 (1),* 44–56.

Werner, S.L., Fleisig, G.S., Dillman, C.J., & Andrews, J.R., (1993). Biomechanics of the elbow during baseball pitching. *Journal of Orthopaedics & Sports Physical Therapy 17,* 274–278**.**

Werner, S.L., Suri,M., Guido.J.A., Meister,K., & Jones,D.G. (2008). Relationships between ball velocity and throwing mechanics in collegiate baseball pitchers *Journal of Shoulder And Elbow Surgery 17*(6), 905–908**.**

Wight, J., Richards, J., & Hall, S. (2004). Influence of pelvis rotation styles on baseball pitching mechanics. *Sports Biomechanics***,** *3*(1), 67-84

Winter, D. A. (2005). *Biomechanics and motor control of human moment (3rd ed.).* New York: John Wiley & Sons.

Whiteley, R. (2007). Baseball throwing mechanics as they relate to pathology and performance–A review. *Journal of Sports Science & Medicine*, *6*(1), 1-20.

附錄 1-1 過去文獻國中投手各項運動學參數比較表

		Fleisign (1999)		dun (2008)	Nissen (2009)	
		國中、小(23 人)		國小(29 名)	國、高中(33 名)	
年齡		10-15		12.5 ± 1.7	16.6	± 1.5
身高		1.67	± 0.09	1.6 ± 0.1	1.79	± 0.06
體重		55	± 10	50.6 ± 13.5	76.2	± 12.5
球速		28	± 1	26.3 ± 3.8	29.5	± 2.1
Knee angle	Fc	43	± 12	48.5 ± 8.3		
Knee angle	Rb	36	± 11	31.2 ± 9.3		
肩外旋	Fc	67	± 28	80.4 ± 22.5	52	± 31
肩外旋	Maxe	177	± 12	178.2 ± 12.3	135	± 20
肩水平外展	最大	21	± 8			
肘彎曲	最大	95	± 12	100.8 ± 9.3		
肩外旋	Rb			87.4 ± 7.7	110	± 23
肩水平外展	Rb	11	± 9	10.6 ± 8		
肘彎曲	Fc	74	± 17	81.7 ± 16		
肘彎曲	Rb	24	± 7	24.4 ± 9.5		
肘伸展速度		2230	± 300	2261.5 ± 240	1925	± 354
肩水平內收速度					544	± 176
軀幹旋轉		1180	± 110	1097.7 ± 76.7	1179	± 104
骨盆旋轉		650	± 110	601.9 ± 59	633	± 74
跨步長		85	± 8	69.8 ± 4.6	86.3	± 4.9
軀幹前傾		32	± 9	33.4 ± 8.8	28.6	± 11.1
肩內旋速度		6900	± 1050	7181.7 ± 1313	3619	± 656

附錄 1-2 過去文獻高中投手各項運動學參數比較表

		Fleisign (1999)		Fleisign (1996)		Wight (2004)	
		高中	33 人	大學、高中(26 名)		高中、大學(20 名)	
年齡		15-20		22	±2.3	18.4 ±	2.1
身高		1.83	±0.07	1.84	±0.07	1.82 ±	0.07
體重		76	±10	80.2	±10.5	81 ±	7.9
球速		33	±2	35	±3	35.4 ±	1.6
Knee angle	Fc	50	±9	51	±11	134.1 ±	9.6
Knee angle	Rb	43	±13	40	±12	132.9 ±	16.7
肩外旋	Fc	64	±25	67	±24	29.4 ±	27.6
肩外旋	Maxe	174	±9	173	±10	174.5 ±	12.7
肩外旋	Rb						
肩水平外展	Rb	10	±8	7	±7		
肩水平外展	最大	20	±9	18	±8		
肘彎曲	Fc	82	±17	98	±18		
肘彎曲	Rb	23	±7	22	±6		
肘彎曲	最大	100	±14	100	±13		
肩外旋速度							
肘伸展速度		2180	±340	2340	±300		
肩水平內收速度		20	±				
軀幹旋轉		1130	±110	1170	±100	581.8 ±	62.4
骨盆旋轉		640	±90	660	±80		
跨步長		85	±9	74	±5	81.6 ±	6.3
軀幹前傾		31	±9	58	±10		
肩內旋速度		6820	±1380	7750	±1360		

附錄1-3 過去文獻大學投手各項運動學參數比較表

	Fleisign (1999)	Werner (2009)	Werner (2010)	Werner (2010)	Escamilla (2007)	Werner (2010)
	大學 115人	大學(54名)	大學(右28名)	大學(左28名)	大學 (10名)	大學(右28名)
年齡	17-23	20 ±2	20 ±2	20 ±2	20 ±1.4	20 ±2
身高	1.84 ±0.05	1.82 ±0.1	1.85 ±0.1	1.88 ±0.1	1.87 ±0.45	1.85 ±0.1
體重	82 ±9	83 ±9	87 ±8	88 ±10	82.9 ±6.4	87 ±8
球速	35 ±2	35 ±3	36 ±2	36 ±2	34.7 ±1.8	36 ±2
Knee angle Fc	48 ±12	47 ±15		47 ±15		
Knee angle Rb	39 ±13	58 ±15		58 ±15	41 ±13	
肩外旋 Fc	55 ±29	157 ±10	115 ±13	157 ±10	51 ±26	115 ±13
肩外旋 Maxe	173 ±10				175 ±10	
肩水平外展 Fc			25 ±12		-20 ±12	25 ±12
肩水平外展 Rb	9 ±9				10 ±10	
肘彎曲 Fc	85 ±18	86 ±20	79 ±20	94 ±20	96 ±20	79 ±20
肘彎曲 Rb	23 ±6				31 ±9	
肘彎曲 最大	99 ±15				110 ±14	
肘伸展速度	2380 ±300	2251 ±465			2205 ±392	
肩水平內收速度	20 ±		707 ±185	551 ±160		707 ±185
軀幹旋轉	1190 ±100	1052 ±97			1205 ±135	
骨盆旋轉	670 ±90				622 ±70	
跨步長	85 ±6				76 ±5	
軀幹前傾	33 ±10	55 ±19			34 ±12	
肩內旋速度	7430 ±1270				6382 ±895	

附錄 1-4 過去文獻各項時間參數比較

	Fleisign (1999)				Dun (2008)	Fleisign (1996)	Matsuo (2001)	
	國中、小 23 人	高中 33 人	大學 115 人	職業 60 人	國小(29 名)	大學、高中共 26 名	大學(21 名) 職業(8 名) 高速	大學(23 名) 低速
年齡	15-20	15-20	17-23	20-29	12.5±1.7	22±2.3	22 ± 2.3	22 ± 2.3
身高	1.67 ±0.09	1.83±0.07	1.84 ±0.05	1.87 ±0.08	1.6±0.1	1.84±0.07	1.88 ± 0.06	1.83 ± 0.06
體重	55 ±10	76±10	82 ±9	90 ±9	50.6±13.5	80.2±10.5	88.1 ± 9.1	82.2 ± 11.3
球速	28 ±1	33±2	35 ±2	37 ±2	26.3±3.8	35±3	38.4 ± 0.6	33.2 ± 0.4
timming								
骨盆旋轉	37 ±16	39±20	34 ±18	34 ±14	34.2±17.2	35±19	27.8 ± 15.9	35.3 ± 18
軀幹軸向旋轉	49 ±11	50±11	51 ±11	52 ±7	47.1±9.5	50±8	51.2 ± 6.9	52.7 ± 12.1
肩外旋最大角度	80 ±6	81±5	81 ±5	81 ±5		81±4	80.6 ± 5.4	80.7 ± 4.4
肩內旋速度	103 ±2	102±3	102 ±5	102 ±4	103.5±2.9	103±2	102.3 ± 2	104.4 ± 1.8
肘彎曲最大角度						53±14		
肘彎曲速度	92 ±3	91±3	91 ±5	91 ±4	92±3.1	92±3	91.1 ± 1.9	93 ± 2.4
fc-rb(ms)	150 ±25	150±20	145 ±20	145 ±15				

附錄 1-5 過去文獻各項動力學參數比較表

	Fleisign (1999)				Escamilla (2002)	Escamilla (2002)
	國中、小 23 人	高中 33 人	大學 115 人	職業 60 人	美國(11 名)	韓國(8 名)
年齡	10 月 15 日	15-20	17-23	20-29	22.6±3.5	25.1±4.1
身高	1.67±0.09	1.83 ±0.07	1.84 ±0.05	1.87 ±0.08	1.8±0.1	1.77±0.11
體重	55±10	76 ±10	82 ±9	90 ±9	83.4±5.2	76.9±8.7
球速	28±1	33 ±2	35 ±2	37 ±2	38±1.3	34.6±1
肩內旋力矩	30±7	51 ±13	58 ±12	68 ±15	63±9	49±8
肩水平外展力矩	40±4	69 ±25	89 ±49	109 ±85	98±15	86±21
肩外展力矩					87±31	81±15
肘彎曲力矩	28±7	45 ±9	52 ±11	58 ±13	56±12	42±6
肘內翻力矩	28±7	48 ±13	55 ±12	64 ±15	61±10	46±7
肘內轉力矩						
肩軸向力量	480±100	750 ±170	910 ±130	1070 ±190	1091±162	
肩向前力量	210±60	290 ±70	350 ±70	390 ±90	352±70	350±73
肩向後力量	160±70	280 ±100	350 ±160	390 ±240		
肩向上力量						
肘軸向力量	400±100	630 ±140	770 ±120	910 ±140	901±125	726±137
肘向前力量						
肘向外力量					296±57	262±56

附錄 1-5 過去文獻各項動力學參數比較表(續)

	dun (2008) 國小(29 名)		Escamilla (2007) 大學(10 名)		Fleisign (1996) 大學、高中 (26 名)		Wight (2004) 高中、大學(20 名)
年齡	12.5	±1.7	20	±1.4	22	±2.3	18.4±2.1
身高	1.6	±0.1	1.87	±0.45	1.84	±0.07	1.82±0.07
體重	50.6	±13.5	82.9	±6.4	80.2	±10.5	81±7.9
球速	26.3	±3.8	34.7	±1.8	35	±3	35.4±1.6
肩內旋力矩	35.2	±15.6	65	±8	54	±10	52.9±10.3
肩水平外展力矩	39.1	±18.7	113	±18	82	±13	104.6±19.6
肩外展力矩	43.1	±21.1	87	±19	79	±23	57.5±21.2
肘彎曲力矩	16.4	±7.2	56	±10	47	±9	58.2±12.5
肘內翻力矩	34.8	±15.4	66	±8	51	±10	59±12.4
肘內轉力矩	0.9	±0.7			0	±0	
肩軸向力量	465.6	±169.9	884	±134	850	±140	781±146
肩向前力量			444	±80	310	±110	337.8±102
肩向後力量					310	±80	
肩向上力量							342.5±42
肘軸向力量	461.9	±163.2	768	±114	710	±110	689±150
肘向前力量					360	±60	304±37
肘向外力量			322	±59	260	±50	283±52.6

附錄 1-6 過去文獻各項標準化動力學參數比較表

		Escamilla (2002)		Escamilla (2002)		Wight (2004)	
		美國(11 名)		韓國(8 名)		高中、大學(20 名)	
年齡		22.6	±3.5	25.1	±4.1	18.4	±2.1
身高		1.8	±0.1	1.77	±0.11	1.82	±0.07
體重		83.4	±5.2	76.9	±8.7	81	±7.9
球速		38	±1.3	34.6	±1	35.4	±1.6
肩內旋力矩	/bw*H*100	4.1	±0.7	3.7	±0.5	3.2	±0.27
肩水平外展力矩	/bw*H*100	6.2	±1	6.4	±1.1	6.37	±0.92
肩外展力矩	/bw*H*100	5.6	±1.8	6.1	±0.9	3.42	±0.8
肘彎曲力矩	/bw*H*100	3.6	±0.9	3.1	±0.4	3.57	±0.84
肘內翻力矩	/bw*H*100	3.9	±0.7	3.4	±0.3	3.58	±0.6
肘內轉力矩	/bw*H*100						
肩軸向力量	/bw*100	134.5	±17.2	107.7	±14.4	87.2	±6.8
肩向前力量	/bw*100	44.4	±8	46.2	±6.3	37.1	±5.7
肩向後力量	/bw*100	42.8	12.5	41	37.7		
肩向上力量	/bw*100					38.5	±3
肘軸向力量	/bw*100	111.7	±13.3	93	±1.1	76.9	±10.2
肘向前力量	/bw*100					34.4	±5.3
肘向外力量	/bw*100	35.6	±8	34.5	±4.6	31.7	±4.6

附錄二　各項計算公式

一、球心到反光點距離公式

球上反光點到球心反光點距離皆為41mm（球半徑37mm+反光球半徑4mm）代入公式

$(X-Xn)^2+(Y-Yn)^2+(Z-Zn)^2=(41)^2$（$n=1\sim4$）-----公式一

X：球心X方向座標。

Y：球心Y方向座標。

Z：球心Z方向座標。

Xn（n=1~4）：球上光點1~4X方向座標。

Yn（n=1~4）：球上光點1~4Y方向座標。

Zn（n=1~4）：球上光點1~4Z方向座標。

任取三條方程式求解會得算出2個球心位置，再將球心位置代入第4條方程式中確認，其中會有一個球心位置滿足該等式，這就是正確的球心座標。

二、逆過程的計算方式

逆過程是將肢段的重量、線速度、角速度和角加速度代入下列公式求得。

$$F_p = ma - F_d - F_w$$

$$M_p = I\Omega + \omega \times I\varpi - M_d + r_d \times F_d + r_p \times F_p$$

F_p：近端關節力量

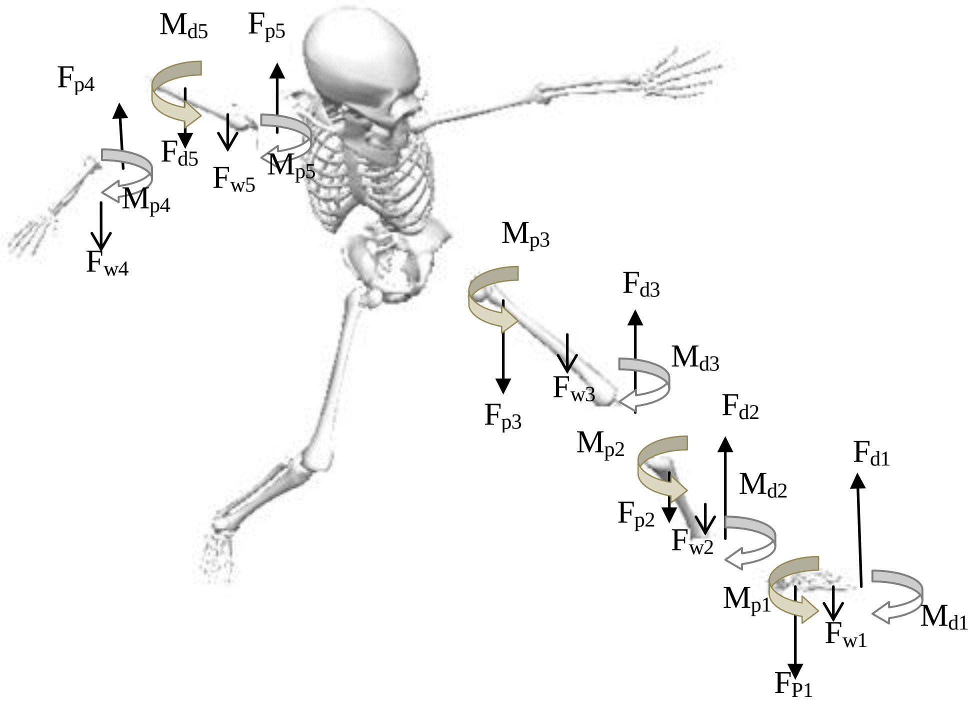
F_d：遠端關節力量

F_w：肢段所受重力

M_p：遠端關節力矩

r_p：近端關節力臂

r_d：遠端關節力臂



M d5
F p5
F p4
F d5
F w5
M p5
M p4
F w4
M p3
F d3
M d3
F w3
F p3
F d2
M p2
F d1
M d2
F p2
F w2
M p1
F w1
M d1
F P1

附錄三　受試者資料

進行投球動作比較的三組投手資料

受試者	跨步長度（%）	肩外旋角度（°）	肘彎曲角度（°）	前導腳膝彎曲角度（°）	最大骨盆角速度（°/s）	最大軀幹角速度（°/s）	最大肘彎曲角度(°）	最大肩水平外展角度（°）
國中 1	75.2	-55.8	130.1	134.8	485.2	1036.7	135.7	21.8
國中 2	71.1	-19.6	102.9	127.2	570.9	939.0	107.0	21.9
國中 3	76.5	-49.4	108.9	115.4	585.0	1086.9	114.2	26.8
國中 4	86.3	6.6	90.7	143.1	542.8	1089.8	110.5	31.5
國中 5	77.8	-94.6	129.7	122.7	499.6	994.4	136.0	18.9
國中 6	82.8	-49.9	120.5	124.7	505.1	959.0	125.0	46.9
國中 7	66.4	4.8	88.7	140.3	510.4	980.1	136.1	23.2
國中 8	77.2	-79.3	101.5	131.0	496.0	1007.0	125.7	13.0
國中 9	72.1	-44.0	83.9	141.7	463.6	909.7	99.3	4.9
國中 10	77.2	-80.8	98.7	131.0	521.1	1007.0	124.3	12.8
高中 1	81.0	-26.0	96.8	138.3	426.2	960.8	119.7	24.4
高中 2	75.3	-61.5	124.8	117.4	492.2	1214.7	133.7	13.9
高中 3	71.7	25.3	82.6	129.8	566.6	1035.4	124.1	43.7
高中 4	69.9	-66.2	106.8	120.5	472.7	905.4	125.6	9.6
高中 5	70.5	-92.1	118.9	116.5	562.5	1107.4	121.7	12.9
高中 6	79.3	-75.8	99.3	126.6	430.3	1113.7	122.5	21.7
高中 7	66.0	32.4	122.5	120.1	525.3	1062.9	127.4	41.5
高中 8	69.5	-48.1	103.9	112.6	477.2	1126.0	127.6	7.3
高中 9	73.8	-43.2	100.6	118.8	553.9	1121.5	129.3	13.7
高中 10	73.7	-53.3	80.2	129.3	489.0	1058.7	129.7	.
大學 1	77.6	-31.5	99.2	123.5	543.7	1179.0	103.8	18.6
大學 2	67.8	-56.6	134.4	137.3	524.5	1070.2	135.4	11.2
大學 3	70.3	-26.8	96.6	132.3	594.5	1113.0	105.0	25.8
大學 4	69.2	-20.3	82.5	131.4	367.3	901.2	130.8	22.4
大學 5	75.6	-64.4	117.0	134.0	527.2	1037.3	134.6	25.6
大學 6	72.9	-43.3	88.2	124.5	537.7	1078.1	103.1	31.5
大學 7	75.3	-71.5	74.3	149.3	414.7	854.0	102.3	25.4
大學 8	76.4	-33.3	99.4	137.6	503.1	940.7	124.1	24.1
大學 9	78.5	5.3	67.9	131.1	473.0	1007.1	108.2	25.8
大學 10	83.9	-73.9	110.9	135.6	464.7	1129.1	131.7	21.8

受試者	最大肩外旋角度（˚）	最大肘伸展角速度（˚/s）	最大肩內旋角速度（˚/s）	肘彎曲角度（˚）	肩水平外展角度（˚）	軀幹前傾角度（˚）	肩內旋角度（˚）	前導腳膝彎曲角度（˚）
國中 1	-180.5	2066.3	5711.8	19.7	-0.2	-23.4	-151.8	118.6
國中 2	-168.1	1894.5	5010.4	39.6	19.9	-24.0	-134.5	129.3
國中 3	-185.7	1879.5	4604.1	42.9	3.5	-39.1	-136.6	130.9
國中 4	-182.8	2178.3	5910.0	37.9	21.9	-32.9	-141.5	126.7
國中 5	-188.2	1651.4	3853.7	32.8	13.4	-28.3	-110.0	110.6
國中 6	-172.0	2056.6	5429.9	27.9	9.3	-38.6	-114.4	120.0
國中 7	-192.5	2135.9	5711.4	36.6	12.7	-31.9	-140.9	170.3
國中 8	-197.4	1980.6	5737.3	29.2	12.5	-34.6	-129.6	134.0
國中 9	-176.3	1479.5	4000.6	41.6	27.3	-26.3	-131.9	137.9
國中 10	-196.5	1987.8	5510.0	29.0	12.5	-34.1	-128.7	134.0
高中 1	-166.5	2152.7	5694.8	56.0	19.9	-29.9	-143.5	139.0
高中 2	-169.9	2738.3	9454.6	35.1	9.2	-30.9	-159.1	124.2
高中 3	-169.4	2286.8	7238.0	26.5	-8.7	-30.5	-143.1	131.6
高中 4	-188.4	1996.9	5300.5	53.4	31.9	-29.9	-155.3	121.3
高中 5	-182.5	2393.0	7144.4	40.7	4.2	-27.0	-153.9	123.3
高中 6	-170.7	2310.0	5807.1	42.1	11.2	-30.3	-144.8	128.7
高中 7	-176.0	2076.5	6234.7	37.6	12.1	-35.4	-156.6	131.4
高中 8	-168.5	2462.1	7078.2	32.3	10.4	-31.5	-152.3	126.5
高中 9	-185.7	2268.8	6107.1	33.4	1.4	-29.4	-154.5	129.4
高中 10	-167.0	2329.0	6355.6	29.3	11.6	-23.7	-145.8	134.7
大學 1	-173.8	2238.6	7174.0	34.3	11.1	-31.8	-154.8	154.6
大學 2	-178.1	1862.0	5278.3	33.3	8.4	-29.4	-152.5	141.8
大學 3	-177.3	1919.1	4817.9	48.1	21.4	-25.9	-141.1	129.1
大學 4	-195.9	1937.3	4987.8	42.8	17.8	-54.9	-160.2	131.8
大學 5	-168.5	2106.7	5192.5	52.4	17.3	-32.1	-139.8	136.9
大學 6	-152.1	1709.4	4421.7	41.1	24.8	-20.3	-115.7	125.2
大學 7	-175.8	1589.3	4330.6	45.2	18.4	-26.0	-134.6	134.4
大學 8	-166.4	2126.7	5383.3	28.6	15.1	-22.6	-134.2	115.5
大學 9	-152.9	2262.1	6037.2	42.4	20.3	-19.5	-137.4	118.6
大學 10	-184.5	2280.6	5237.9	42.4	18.6	-32.5	-161.1	150.7

受試者	肩加速幅度	最大骨盆角速度（%）	最大軀幹角速度（%）	最大肩外旋角度(%)	最大肘彎曲角度(%)	前導腳著地-球離手時間（1/100秒）	最大肩內旋角速度（%）	手臂加速期時間（1/100秒）
國中 1	28.8	4.23	33.59	71.86	94.40	14.83	107.82	4.17
國中 2	33.6	64.32	60.08	82.91	94.26	23.50	104.94	4.00
國中 3	49.1	8.26	56.83	81.84	95.74	19.33	105.19	3.50
國中 4	41.2	1.08	35.82	70.71	84.20	14.83	100.00	4.33
國中 5	78.2	18.30	51.28	77.42	92.74	18.50	101.78	4.17
國中 6	57.6	68.74	61.13	81.27	96.54	24.00	104.88	4.50
國中 7	51.6	31.93	48.34	78.86	93.69	21.33	103.09	4.50
國中 8	67.9	55.16	52.56	83.70	95.55	22.50	105.22	3.67
國中 9	44.5	29.47	58.54	81.29	96.73	20.50	103.25	3.67
國中 10	67.8	55.16	52.56	83.70	95.55	22.50	105.22	3.67
高中 1	23.0	42.15	54.23	84.47	100.00	19.33	105.18	3.00
高中 2	10.8	19.98	57.94	90.98	97.85	14.67	106.87	1.33
高中 3	26.2	72.18	64.14	91.56	95.78	23.83	104.22	2.00
高中 4	33.1	27.82	54.44	80.33	100.08	18.67	105.37	3.67
高中 5	28.6	33.49	60.90	80.92	98.07	17.50	105.72	3.33
高中 6	25.8	38.39	43.22	83.17	95.22	13.83	107.26	2.33
高中 7	19.5	54.47	51.22	88.45	97.52	20.17	104.96	2.33
高中 8	16.2	40.63	56.25	90.63	95.83	16.00	106.25	1.50
高中 9	31.2	37.39	53.69	83.81	95.28	17.50	105.72	2.83
高中 10	21.2	21.71	54.87	89.09	92.63	18.33	105.46	2.00
大學 1	19.0	-3.57	51.15	82.55	96.51	14.33	106.98	2.50
大學 2	25.6	69.24	55.56	77.77	94.87	19.50	105.13	4.33
大學 3	36.2	12.04	51.42	82.10	94.87	17.00	105.97	3.00
大學 4	35.7	44.19	65.99	85.88	96.79	26.00	103.85	3.67
大學 5	28.7	54.17	43.71	79.19	96.87	16.00	106.25	3.33
大學 6	36.4	48.87	57.82	82.28	94.94	20.00	105.06	3.50
大學 7	41.2	54.87	68.49	85.17	96.29	27.00	103.71	4.00
大學 8	32.2	81.07	53.13	82.85	93.67	18.50	104.48	3.17
大學 9	15.5	44.87	59.78	87.37	98.41	21.17	104.73	2.67
大學 10	23.3	37.76	58.49	80.34	96.72	15.33	106.55	3.00

受試者	體重	身高	球速 （m/s）
國中 1	82.0	187.0	31.5
國中 2	72.0	167.0	26.6
國中 3	55.4	162.0	27.2
國中 4	70.0	173.0	33.8
國中 5	77.0	180.0	32.7
國中 6	72.0	169.0	29.1
國中 7	66.0	169.0	29.2
國中 8	43.0	150.0	25.3
國中 9	54.0	155.0	22.7
國中 10	74.0	162.0	30.4
高中 1	87.3	189.8	31.3
高中 2	64.8	181.1	34.4
高中 3	69.5	180.0	33.4
高中 4	88.2	184.0	32.0
高中 5	73.6	179.7	32.5
高中 6	66.0	174.1	32.5
高中 7	66.6	178.2	29.5
高中 8	67.2	177.4	31.1
高中 9	82.0	179.0	32.8
高中 10	72.0	168.0	29.8
大學 1	97.0	175.0	31.4
大學 2	94.0	170.0	31.4
大學 3	95.0	183.0	34.2
大學 4	102.0	187.0	30.0
大學 5	88.0	182.0	30.4
大學 6	68.0	188.0	30.4
大學 7	80.0	180.0	33.6
大學 8	90.0	175.0	33.8
大學 9	88.0	178.0	33.0
大學 10	78.0	169.0	30.4

受試者	肘前翻力矩（Nm）	肩內旋力矩（Nm）	肩向前力量(N)	肘彎曲力矩（Nm）	肘軸向力量（N）	肩軸向力量（N）	肩向後力量（N）	肩水平外展力矩（Nm）
國中 1	58.19	48.16	337.78	32.40	742.34	663.00	166.43	48.80
國中 2	45.97	43.88	178.36	50.31	475.84	491.70	154.12	58.81
國中 3	31.27	30.05	156.36	16.52	491.44	421.02	54.40	22.68
國中 4	56.87	57.57	215.58	35.62	629.11	611.32	205.06	82.87
國中 5	54.69	54.72	221.09	34.75	699.62	682.71	121.05	46.59
國中 6	47.66	45.69	247.64	36.74	577.92	608.08	111.98	52.79
國中 7	45.73	44.59	148.17	26.81	641.28	599.27	128.94	40.52
國中 8	45.17	41.28	194.76	24.59	564.23	518.63	138.98	45.66
國中 9	21.72	20.90	106.56	11.67	345.46	306.87	44.24	9.79
國中 10	25.95	26.63	115.59	11.48	292.33	288.42	79.12	24.51
高中 1	63.33	61.31	226.17	31.06	753.63	710.53	134.89	38.22
高中 2	82.36	78.56	273.93	43.17	823.88	788.51	237.29	75.09
高中 3	65.27	59.82	264.73	35.94	715.68	667.98	176.85	50.94
高中 4	72.52	72.32	191.09	22.65	748.66	679.02	225.56	49.63
高中 5	71.95	67.87	325.70	44.71	803.65	843.28	250.54	77.08
高中 6	62.47	62.43	229.22	41.13	691.02	695.89	240.86	68.35
高中 7	71.54	69.27	149.44	36.27	593.54	565.38	116.69	37.71
高中 8	43.58	43.32	219.09	25.99	568.92	572.56	128.07	51.56
高中 9	56.12	51.99	258.52	26.03	672.28	578.35	196.76	44.07
高中 10	66.64	63.68	179.56	41.93	606.50	563.08	155.46	53.27
大學 1	60.02	60.03	217.70	34.44	869.26	898.39	242.20	86.03
大學 2	56.71	55.34	258.40	21.01	742.98	684.59	197.54	58.36
大學 3	70.85	72.42	299.59	46.04	1001.79	1017.17	198.67	72.59
大學 4	86.76	85.43	268.68	53.43	968.81	958.97	234.63	123.84
大學 5	60.86	54.64	250.94	38.33	799.14	800.01	242.30	83.78
大學 6	46.32	45.65	220.50	39.33	576.29	560.35	107.75	43.49
大學 7	38.20	39.40	219.02	26.97	621.27	658.95	158.42	66.10
大學 8	67.35	65.62	264.83	33.25	776.27	750.36	202.37	42.87
大學 9	65.35	65.27	273.23	34.37	874.70	892.09	200.39	70.99
大學 10	67.62	61.79	256.37	42.22	762.85	735.02	143.49	63.24

受試者	肩內旋力矩（%）	肩向前力量（%）	肘彎曲力矩（%）	肘軸向力量（%）	肩軸向力量（%）	肩向後力量（%）	肩水平外展力矩(%)
國中 1	4.10	46.58	2.76	102.36	91.42	22.95	4.15
國中 2	3.72	25.28	4.27	67.44	69.69	21.84	4.99
國中 3	3.42	28.80	1.88	90.52	77.55	10.02	2.58
國中 4	3.83	26.83	2.37	78.29	76.07	25.52	5.51
國中 5	4.61	32.23	2.93	101.99	99.52	17.65	3.93
國中 6	3.36	32.82	2.70	76.59	80.58	14.84	3.89
國中 7	3.74	21.00	2.25	90.88	84.93	18.27	3.40
國中 8	3.78	30.11	2.25	87.23	80.18	21.49	4.18
國中 9	3.31	25.29	1.85	81.98	72.82	10.50	1.55
國中 10	3.25	21.84	1.40	55.24	54.50	14.95	2.99
高中 1	4.27	28.18	2.16	93.90	88.53	16.81	2.66
高中 2	4.84	32.02	2.66	96.30	92.16	27.74	4.62
高中 3	5.20	41.69	3.12	112.70	105.19	27.85	4.43
高中 4	5.90	28.06	1.85	109.92	99.69	33.12	4.05
高中 5	4.27	37.68	2.81	92.98	97.56	28.99	4.85
高中 6	4.82	31.78	3.17	95.80	96.48	33.39	5.27
高中 7	6.15	23.10	3.22	91.77	87.41	18.04	3.35
高中 8	3.72	33.57	2.23	87.17	87.72	19.62	4.43
高中 9	4.39	36.59	2.20	95.15	81.85	27.85	3.72
高中 10	5.45	27.27	3.59	92.10	85.50	23.61	4.56
大學 1	3.61	22.90	2.07	91.44	94.51	25.48	5.17
大學 2	3.53	28.05	1.34	80.65	74.31	21.44	3.73
大學 3	4.25	32.18	2.70	107.60	109.26	21.34	4.26
大學 4	4.57	26.88	2.86	96.92	95.94	23.47	6.62
大學 5	3.48	29.10	2.44	92.66	92.77	28.10	5.34
大學 6	3.64	33.09	3.14	86.48	84.09	16.17	3.47
大學 7	2.79	27.94	1.91	79.24	84.05	20.21	4.68
大學 8	4.25	30.03	2.15	88.01	85.08	22.94	2.78
大學 9	4.25	31.68	2.24	101.43	103.44	23.24	4.62
大學 10	4.78	33.54	3.27	99.80	96.16	18.77	4.90

受試者	軸心腳踝關節			軸心腳膝關節			
	向後力量（N）	軸向力量（N）	彎曲力矩（Nm）	向後力量（N）	軸向力量（N）	彎曲力矩（Nm）	內收力矩（Nm）
國中 1	395.43	876.07	93.88	445.51	791.53	91.73	106.89
國中 2	402.22	771.98	80.02	526.48	633.53	96.57	73.95
國中 3	405.76	605.74	87.43	399.10	573.56	109.09	85.81
國中 4	420.15	792.46	82.24	542.70	682.55	97.97	116.62
國中 5	543.58	831.31	128.88	391.36	852.20	121.07	156.37
國中 6	376.90	802.98	81.33	578.08	663.44	110.91	92.09
國中 7	298.71	677.78	82.30	261.16	646.49	46.57	64.34
國中 8	470.59	1022.76	122.43	501.35	1008.65	68.90	220.58
國中 9	244.89	436.54	52.64	225.28	403.89	48.96	71.17
國中 10	270.04	589.66	67.17	294.39	524.40	57.59	67.23
高中 1	436.97	903.86	113.42	405.77	842.96	101.63	127.79
高中 2	588.94	923.56	110.83	675.50	813.79	193.93	172.93
高中 3	326.44	733.80	110.20	345.57	699.92	54.42	153.69
高中 4	536.10	682.92	112.55	436.03	645.31	120.66	97.61
高中 5	275.22	1054.85	119.37	352.67	978.78	47.16	192.69
高中 6	483.30	725.45	109.15	459.28	705.69	128.07	149.90
高中 7	364.10	673.55	102.78	291.83	645.10	66.44	135.94
高中 8	411.69	692.04	91.66	405.99	659.61	126.59	129.54
高中 9	474.33	731.31	94.73	355.23	742.62	99.05	111.73
高中 10	721.33	602.82	105.21	459.65	731.17	176.41	114.61
大學 1	465.39	1031.45	75.24	756.47	789.61	117.83	130.42
大學 2	718.22	907.13	155.88	455.58	995.58	191.90	111.50
大學 3	614.06	1030.03	127.05	475.41	994.50	208.37	161.92
大學 4	659.66	1014.61	132.93	623.94	953.25	195.37	105.46
大學 5	621.83	711.83	137.62	459.86	764.37	138.58	143.50
大學 6	392.85	830.99	108.03	359.87	781.42	109.32	133.09
大學 7	510.45	925.98	132.75	435.01	848.48	87.17	143.60
大學 8	416.70	974.83	128.43	491.20	901.23	126.64	168.16
大學 9	612.02	841.96	143.10	507.37	903.64	112.69	171.36

受試者	軸心腳髖關節					向後地面反作用力（N）	向上地面反作用力（N）
	向後力量（N）	軸向力量（N）	彎曲力矩（Nm）	內收力矩（Nm）	軸向力矩（Nm）		
國中 1	468.93	682.08	73.25	146.36	79.60	373.00	946.87
國中 2	342.29	655.53	84.38	78.90	74.94	368.50	825.81
國中 3	366.78	510.56	44.87	90.05	46.29	288.41	681.43
國中 4	469.10	656.00	110.72	107.38	95.45	358.21	849.44
國中 5	354.36	741.52	80.13	128.64	79.14	513.64	874.40
國中 6	476.23	641.99	94.73	136.58	75.83	389.95	824.50
國中 7	331.25	548.97	61.55	106.16	50.96	250.26	710.06
國中 8	695.35	805.31	143.26	278.43	74.98	384.23	804.43
國中 9	244.82	340.35	33.08	83.96	27.20	200.37	477.40
國中 10	233.03	511.95	53.70	88.18	36.02	197.98	626.09
高中 1	385.09	787.84	77.16	177.65	54.70	326.17	962.77
高中 2	562.22	793.49	95.55	191.43	94.08	523.89	1046.44
高中 3	381.81	600.34	80.51	177.49	63.08	379.63	724.54
高中 4	334.74	613.88	64.63	136.16	47.46	338.69	786.99
高中 5	429.40	667.90	127.82	218.54	103.71	359.78	1052.71
高中 6	394.92	659.33	59.76	187.11	56.21	381.81	809.10
高中 7	361.08	544.66	58.81	204.85	51.40	319.73	693.04
高中 8	352.20	639.96	81.86	190.76	46.86	261.91	769.57
高中 9	341.40	681.08	38.12	143.75	41.10	369.40	830.30
高中 10	361.97	762.05	46.76	156.96	53.25	354.43	863.02
大學 1	675.73	702.56	178.82	170.89	100.74	454.69	1042.80
大學 2	448.80	879.12	37.11	131.43	27.72	454.41	1070.03
大學 3	517.33	823.85	92.57	205.87	70.51	375.01	1110.33
大學 4	494.30	900.51	92.33	142.68	68.14	371.96	1187.41
大學 5	438.12	696.95	46.54	166.59	68.26	294.27	893.76
大學 6	414.09	620.32	92.08	178.12	77.58	284.41	883.23
大學 7	423.48	777.96	123.58	168.79	51.83	468.98	981.24
大學 8	411.61	814.63	128.28	234.98	86.36	165.42	1006.78
大學 9	527.67	650.78	91.45	217.34	91.81	163.22	918.35

受試者	軸心腳踝關節			軸心腳膝關節			
	向後力量（%）	軸向力量（%）	彎曲力矩（%）	向後力量（%）	軸向力量（%）	彎曲力矩（%）	內收力矩（%）
國中 1	0.49	1.09	0.06	0.55	0.98	0.06	0.07
國中 2	0.57	1.09	0.07	0.75	0.90	0.08	0.06
國中 3	0.75	1.12	0.10	0.74	1.06	0.12	0.10
國中 4	0.61	1.16	0.07	0.79	0.99	0.08	0.10
國中 5	0.72	1.10	0.09	0.52	1.13	0.09	0.12
國中 6	0.53	1.14	0.07	0.82	0.94	0.09	0.08
國中 7	0.46	1.05	0.08	0.40	1.00	0.04	0.06
國中 8	0.65	1.41	0.10	0.69	1.39	0.06	0.19
國中 9	0.58	1.04	0.08	0.53	0.96	0.08	0.11
國中 10	0.51	1.11	0.08	0.56	0.99	0.07	0.08
高中 1	0.54	1.13	0.08	0.51	1.05	0.07	0.09
高中 2	0.69	1.08	0.07	0.79	0.95	0.12	0.11
高中 3	0.51	1.16	0.10	0.54	1.10	0.05	0.13
高中 4	0.79	1.00	0.09	0.64	0.95	0.10	0.08
高中 5	0.32	1.22	0.08	0.41	1.13	0.03	0.12
高中 6	0.67	1.01	0.08	0.64	0.98	0.10	0.12
高中 7	0.56	1.04	0.09	0.45	1.00	0.06	0.12
高中 8	0.63	1.06	0.08	0.62	1.01	0.11	0.11
高中 9	0.67	1.04	0.08	0.50	1.05	0.08	0.09
高中 10	1.10	0.92	0.09	0.70	1.11	0.15	0.10
大學 1	0.49	1.09	0.05	0.80	0.83	0.07	0.08
大學 2	0.78	0.98	0.10	0.49	1.08	0.12	0.07
大學 3	0.61	1.03	0.07	0.48	0.99	0.11	0.09
大學 4	0.76	1.18	0.08	0.72	1.11	0.12	0.07
大學 5	0.93	1.07	0.11	0.69	1.15	0.11	0.11
大學 6	0.50	1.06	0.08	0.46	1.00	0.08	0.09
大學 7	0.58	1.05	0.09	0.49	0.96	0.06	0.09
大學 8	0.48	1.13	0.08	0.57	1.05	0.08	0.11
大學 9	0.80	1.10	0.11	0.66	1.18	0.09	0.13

受試者	軸心腳髖關節					向後地面反作用力（%）	向上地面反作用力（%）
	向後力量（%）	軸向力量（%）	彎曲力矩（%）	內收力矩（%）	軸向力矩（%）		
國中 1	0.58	0.85	0.05	0.10	0.05	0.46	1.18
國中 2	0.49	0.93	0.07	0.07	0.06	0.52	1.17
國中 3	0.68	0.94	0.05	0.10	0.05	0.53	1.26
國中 4	0.68	0.96	0.09	0.09	0.08	0.52	1.24
國中 5	0.47	0.98	0.06	0.09	0.06	0.68	1.16
國中 6	0.67	0.91	0.08	0.11	0.06	0.55	1.17
國中 7	0.51	0.85	0.06	0.10	0.05	0.39	1.10
國中 8	0.96	1.11	0.12	0.24	0.06	0.53	1.11
國中 9	0.58	0.81	0.05	0.13	0.04	0.48	1.13
國中 10	0.44	0.97	0.07	0.11	0.04	0.37	1.18
高中 1	0.48	0.98	0.05	0.12	0.04	0.41	1.20
高中 2	0.66	0.93	0.06	0.12	0.06	0.61	1.22
高中 3	0.60	0.95	0.07	0.15	0.05	0.60	1.14
高中 4	0.49	0.90	0.05	0.11	0.04	0.50	1.16
高中 5	0.50	0.77	0.08	0.14	0.07	0.42	1.22
高中 6	0.55	0.91	0.05	0.14	0.04	0.53	1.12
高中 7	0.56	0.84	0.05	0.18	0.05	0.49	1.07
高中 8	0.54	0.98	0.07	0.16	0.04	0.40	1.18
高中 9	0.48	0.96	0.03	0.12	0.03	0.52	1.18
高中 10	0.55	1.16	0.04	0.13	0.05	0.54	1.31
大學 1	0.71	0.74	0.11	0.10	0.06	0.48	1.10
大學 2	0.49	0.95	0.02	0.08	0.02	0.49	1.16
大學 3	0.52	0.82	0.05	0.11	0.04	0.38	1.11
大學 4	0.57	1.04	0.06	0.09	0.04	0.43	1.38
大學 5	0.66	1.05	0.04	0.13	0.05	0.44	1.34
大學 6	0.53	0.79	0.07	0.13	0.05	0.36	1.13
大學 7	0.48	0.88	0.08	0.11	0.03	0.53	1.11
大學 8	0.48	0.94	0.08	0.15	0.06	0.19	1.17
大學 9	0.69	0.85	0.07	0.17	0.07	0.21	1.20

受試者	前導腳踝關節			前導腳膝關節			前導腳髖關節			向後地面反作用力（N）	向上地面反作用力（N）
	向前力量（N）	軸向力量（N）	彎曲力矩（Nm）	向前力量（N）	軸向力量（N）	彎曲力矩（Nm）	向前力量（N）	軸向力量（N）	彎曲力矩（Nm）		
國中 1	530.44	1225.99	91.37	829.51	999.88	154.94	922.88	749.19	198.60	560.61	1264.08
國中 2	390.04	1048.15	50.61	596.12	862.07	121.97	767.08	1029.13	159.19	433.42	1045.14
國中 3	346.78	886.27	70.31	445.45	792.55	90.04	942.92	332.55	103.25	394.07	814.16
國中 4	364.26	1167.71	28.01	746.33	929.36	142.84	858.60	846.13	247.39	535.58	1115.35
國中 5	498.37	1257.40	88.30	982.93	911.97	173.28	1018.02	815.08	259.27	502.50	1239.99
國中 6	302.78	997.29	20.29	700.30	731.78	131.24	750.34	658.73	170.17	419.02	981.77
國中 7	361.47	889.01	46.30	279.70	888.73	106.33	821.29	428.02	133.22	474.86	844.72
國中 8	623.26	1084.21	83.58	912.38	944.76	163.84	947.98	661.77	175.69	401.42	1165.21
國中 9	343.16	556.21	43.17	336.12	517.22	86.14	510.70	318.52	66.38	292.54	580.66
國中 10	230.64	719.28	40.50	331.84	664.42	63.15	621.86	383.56	82.54	249.18	697.76
高中 1	577.23	1330.71	108.85	821.01	1059.38	145.97	1164.14	461.85	164.19	594.23	1338.59
高中 2	461.17	1214.26	98.26	634.40	1098.13	160.52	1030.44	666.28	151.54	661.52	1143.89
高中 3	559.65	1141.50	117.16	707.84	1031.11	112.49	1140.29	436.06	181.02	552.13	1131.46
高中 4	483.10	1065.94	106.56	508.39	980.79	126.11	1003.86	399.48	127.78	398.79	1064.17
高中 5	609.35	1320.45	131.51	903.11	1037.44	171.76	1236.03	515.69	227.98	552.09	1358.54
高中 6	514.12	1282.65	144.37	804.51	1082.85	118.60	1176.14	561.88	195.92	574.31	1266.27
高中 7	535.45	1079.06	38.82	629.83	960.57	152.07	1539.98	791.16	242.74	576.74	1063.19
高中 8	475.54	1124.15	108.02	532.25	967.45	119.35	977.66	423.79	138.50	440.94	1172.51
高中 9	474.56	1237.92	110.52	460.67	1184.47	106.40	1103.09	517.18	60.96	530.26	1213.89
高中 10	509.05	1032.60	112.84	497.38	968.66	118.68	1021.18	413.47	130.20	473.34	1065.28
大學 1	495.79	1435.13	60.38	661.98	1268.19	157.45	1189.34	572.98	246.82	617.75	1349.69
大學 2	500.99	1631.73	151.73	637.13	1465.61	136.64	1414.16	689.26	301.56	653.81	1575.47
大學 3	688.08	1588.23	167.34	861.78	1421.72	235.47	1520.03	484.15	274.38	611.21	1590.14
大學 4	512.39	1594.06	79.09	746.34	1417.44	174.38	1565.02	382.24	181.85	718.95	1482.66
大學 5	396.40	1056.93	74.79	696.46	838.96	142.36	841.86	597.22	217.87	400.19	1080.54
大學 6	385.23	1155.07	70.24	590.65	1024.67	162.38	920.47	516.84	158.59	435.18	1158.72
大學 7	710.18	1275.99	86.47	867.68	1062.68	212.16	1219.80	606.68	167.28	712.34	1240.11
大學 8	629.20	1456.96	93.55	983.40	1141.18	228.96	984.16	1048.47	229.52	150.09	1471.80
大學 9	364.38	1481.88	67.19	599.12	1385.24	148.36	1399.06	483.40	162.97	114.11	1308.47

受試者	前導腳踝關節			前導腳膝關節			前導腳髖關節			向後地面反作用力（%）	向上地面反作用力（%）
	向前力量（%）	軸向力量（%）	彎曲力矩（%）	向前力量（%）	軸向力量（%）	彎曲力矩（%）	向前力量（%）	軸向力量（%）	彎曲力矩（%）		
國中 1	0.66	1.53	0.06	1.03	1.24	0.10	1.15	0.93	0.13	0.70	1.57
國中 2	0.55	1.49	0.04	0.84	1.22	0.10	1.09	1.46	0.14	0.61	1.48
國中 3	0.64	1.63	0.08	0.82	1.46	0.10	1.74	0.61	0.12	0.73	1.50
國中 4	0.53	1.70	0.02	1.09	1.35	0.12	1.25	1.23	0.21	0.78	1.63
國中 5	0.66	1.67	0.07	1.30	1.21	0.13	1.35	1.08	0.19	0.67	1.64
國中 6	0.43	1.41	0.02	0.99	1.04	0.11	1.06	0.93	0.14	0.59	1.39
國中 7	0.56	1.37	0.04	0.43	1.37	0.10	1.27	0.66	0.12	0.73	1.31
國中 8	0.86	1.50	0.07	1.26	1.30	0.14	1.31	0.91	0.15	0.55	1.61
國中 9	0.81	1.32	0.07	0.80	1.23	0.14	1.21	0.76	0.11	0.69	1.38
國中 10	0.44	1.36	0.05	0.63	1.26	0.08	1.18	0.72	0.10	0.47	1.32
高中 1	0.72	1.66	0.08	1.02	1.32	0.10	1.45	0.58	0.11	0.74	1.67
高中 2	0.54	1.42	0.06	0.74	1.28	0.10	1.20	0.78	0.09	0.77	1.34
高中 3	0.88	1.80	0.10	1.11	1.62	0.10	1.80	0.69	0.16	0.87	1.78
高中 4	0.71	1.57	0.09	0.75	1.44	0.10	1.47	0.59	0.10	0.59	1.56
高中 5	0.71	1.53	0.08	1.04	1.20	0.11	1.43	0.60	0.14	0.64	1.57
高中 6	0.71	1.78	0.11	1.12	1.50	0.09	1.63	0.78	0.15	0.80	1.76
高中 7	0.83	1.67	0.03	0.97	1.49	0.14	2.38	1.22	0.22	0.89	1.64
高中 8	0.73	1.72	0.09	0.82	1.48	0.10	1.50	0.65	0.12	0.68	1.80
高中 9	0.67	1.75	0.09	0.65	1.68	0.09	1.56	0.73	0.05	0.75	1.72
高中 10	0.77	1.57	0.10	0.76	1.47	0.10	1.55	0.63	0.11	0.72	1.62
大學 1	0.52	1.51	0.04	0.70	1.33	0.09	1.25	0.60	0.15	0.65	1.42
大學 2	0.54	1.77	0.10	0.69	1.59	0.09	1.54	0.75	0.19	0.71	1.71
大學 3	0.69	1.59	0.09	0.86	1.42	0.13	1.52	0.48	0.15	0.61	1.59
大學 4	0.59	1.85	0.05	0.87	1.64	0.11	1.81	0.44	0.12	0.83	1.72
大學 5	0.59	1.59	0.06	1.05	1.26	0.11	1.26	0.90	0.17	0.60	1.62
大學 6	0.49	1.47	0.05	0.75	1.31	0.12	1.17	0.66	0.11	0.56	1.48
大學 7	0.81	1.45	0.06	0.98	1.20	0.14	1.38	0.69	0.11	0.81	1.41
大學 8	0.73	1.69	0.06	1.14	1.32	0.15	1.14	1.22	0.15	0.17	1.71
大學 9	0.48	1.94	0.05	0.78	1.81	0.11	1.83	0.63	0.13	0.15	1.71

進行迴歸分析的國中投手資料

受試者	手臂上舉階段肘前翻力矩	跨步長度	軀幹角速度峰值	肘彎曲角度峰值	球離手時肘彎曲角度	球速	受試者編號	手臂上舉階段肘前翻力矩	跨步長度	軀幹角速度峰值	肘彎曲角度峰值	球離手時肘彎曲角度	球速
1	55.40	72.38	990.09	134.56	37.08	30.00	31	48.82	72.95	1019.48	147.37	38.78	30.3
2	57.15	73.42	1032.52	135.13	29.95	31.30	32	48.72	72.97	1037.38	145.12	42.63	30.8
3	58.55	74.29	1062.77	135.03	27.71	31.10	33	46.95	74.61	1024.98	145.66	37.29	30.2
4	30.37	64.24	764.08	99.65	49.58	21.50	34	44.31	71.32	935.66	107.22	37.54	30.3
5	37.27	69.87	847.79	104.36	45.92	24.30	35	45.87	72.83	940.98	108.78	42.36	30.8
6	35.79	73.39	865.71	100.40	46.22	24.40	36	41.44	69.25	940.22	105.01	38.86	30.2
7	27.13	71.00	1064.80	110.44	65.44	24.60	37	29.68	79.38	1088.84	114.32	46.34	26.4
8	17.17	72.83	866.47	111.29	71.46	20.80	38	29.66	75.75	1089.68	113.81	37.08	27.4
9	28.57	79.68	1008.73	110.30	61.14	26.90	39	30.82	74.37	1082.23	114.39	45.17	26
10	46.00	78.19	1041.83	107.76	48.08	33.50	40	57.02	73.34	1040.56	134.84	25.48	26.5
11	50.84	82.99	1042.51	110.66	50.29	32.00	41	58.15	76.83	1032.31	136.16	15.76	27.3
12	51.42	85.58	1054.52	109.08	54.31	33.30	42	57.53	75.53	1037.09	136.15	17.8	27.8
13	44.40	77.19	959.29	133.83	33.71	31.50	43	53.35	87.11	1088.15	109.84	36.35	31.5
14	47.81	75.60	1009.42	131.91	33.45	32.10	44	54.68	85.67	1076.77	111.62	38.58	31.6
15	45.10	78.99	970.87	137.91	33.38	32.20	45	56.13	86.15	1104.58	110.14	38.9	31.3
16	44.28	77.65	986.18	121.45	38.83	28.00	46	44.96	77.18	985.29	133.72	33.35	33.7
17	41.26	79.28	951.51	129.03	53.58	28.00	47	46.51	77.81	1002.04	135.05	32.56	33.6
18	44.37	86.86	974.10	117.56	45.79	28.80	48	45.59	78.26	995.82	139.26	32.44	34.1
19	41.16	65.10	977.19	136.67	43.28	29.00	49	45.8	81.43	955.21	119.22	26.16	32.5
20	40.00	64.13	956.60	136.18	45.52	28.70	50	43.99	82.60	990.38	127.62	27.11	32.9
21	40.89	65.29	964.95	136.11	42.86	28.90	51	43.96	84.24	931.53	128.23	30.55	32.6
22	44.28	71.83	1027.04	124.59	34.06	30.00	52	39.54	65.60	949.31	137.28	29.72	29.1
23	47.00	73.84	1056.01	122.60	39.04	29.70	53	42.03	68.09	988.43	134.91	43.99	29
24	48.49	74.16	988.08	123.18	37.16	30.20	54	42.27	65.41	1002.61	136.01	36.01	29.1
25	19.69	71.83	1027.04	124.59	34.06	30.00	55	21.42	78.70	1017.67	126.7	27.82	29
26	21.28	73.84	1056.01	122.60	39.04	29.70	56	21.32	77.54	990.59	122.7	28.74	29
27	20.89	74.16	988.08	123.18	37.16	30.20	57	19.97	75.23	1012.71	127.67	31.09	29.6
28	25.62	68.75	943.29	97.18	54.43	25.00	58	25.62	70.93	886.12	98.41	42.28	25.3
29	27.42	68.30	938.28	98.96	46.99	25.00	59	27.42	72.66	908.71	100.11	39.61	25.4
30	26.84	73.85	899.62	103.65	57.1	24.40	60	26.84	72.78	934.31	99.44	43.02	25.3

進行迴歸分析的高中投手資料

受試者編號	手臂上舉階段肘前翻力矩	軀幹角速度峰值	肘伸展速度峰值	球離手時前膝角度	身高（cm）	球速（m/s）
1	57.06	1087.04	2182.21	128.41	179.0	31.50
2	57.71	1101.98	2125.07	130.49	179.0	31.29
3	59.00	1109.63	2199.71	132.45	179.0	32.29
4	76.92	1014.08	2282.41	134.77	189.8	31.17
5	75.64	992.39	2219.50	140.36	189.8	31.17
6	74.32	982.06	2150.16	139.47	189.8	31.68
7	56.03	1188.91	2719.14	121.51	181.1	34.58
8	57.38	1210.09	2769.37	121.27	181.1	34.30
9	59.05	1218.40	2711.97	123.93	181.1	34.30
10	59.45	931.44	2071.90	126.86	180.0	33.58
11	68.68	1027.82	2184.27	133.06	180.0	33.35
12	68.12	996.29	2122.84	133.68	180.0	33.26
13	65.74	899.95	2020.04	117.28	184.0	32.01
14	66.28	915.66	2036.01	115.78	184.0	31.70
15	62.31	929.95	2099.06	124.66	184.0	32.40
16	58.62	1074.12	2327.88	118.49	179.7	32.35
17	60.91	1069.51	2351.69	109.09	179.7	32.37
18	60.72	1103.07	2419.80	118.12	179.7	32.63
19	64.10	1098.85	2054.53	126.84	174.1	32.84
20	65.36	1120.35	2222.40	129.91	174.1	32.47
21	65.79	1104.16	2190.15	127.75	174.1	32.22
22	41.41	1030.12	1999.32	133.14	178.2	29.36
23	42.01	1040.58	2007.21	133.87	178.2	29.35
24	43.04	1027.25	2091.64	130.02	178.2	29.76
25	47.54	1039.36	2274.16	138.15	168.0	27.40
26	47.97	1044.90	2271.33	134.01	168.0	28.45
27	53.51	1082.24	2377.48	136.21	168.0	28.47
28	61.76	1046.16	2321.40	126.02	177.4	30.36
29	66.80	1122.04	2397.66	132.17	177.4	31.91
30	63.65	1069.37	2306.09	130.37	177.4	31.01
31	62.14	1146.70	2345.80	129.63	179.00	33.07
32	60.36	1112.52	2204.79	133.94	179.00	32.33
33	61.43	1105.14	2255.90	124.59	179.00	32.95
34	79.91	960.83	2160.42	136.39	189.80	31.17
35	78.12	997.29	2155.79	139.01	189.80	31.17
36	77.64	924.17	2141.91	141.59	189.80	31.68
37	57.29	1191.77	2669.44	120.60	181.10	34.58
38	60.30	1220.08	2757.63	129.35	181.10	34.30
39	61.86	1232.37	2787.82	122.58	181.10	34.30
40	71.11	1031.23	2294.37	126.68	180.00	33.58
41	72.15	1046.70	2259.57	135.81	180.00	33.35
42	73.69	1028.29	2306.43	132.33	180.00	33.26
43	65.21	887.43	2002.75	120.66	184.00	32.01
44	68.62	898.61	1847.82	121.62	184.00	31.70
45	69.78	930.17	2140.00	121.61	184.00	32.40
46	62.09	1105.67	2358.98	127.10	179.70	32.35
47	61.82	1099.43	2374.88	125.46	179.70	32.37
48	63.40	1117.22	2444.98	117.26	179.70	32.63
49	68.25	1112.13	2338.81	129.58	174.10	32.84
50	70.00	1121.74	2288.76	128.98	174.10	32.47
51	69.56	1107.28	2302.31	127.68	174.10	32.22
52	42.78	1058.78	2036.49	130.69	178.20	29.36
53	41.98	1039.47	2083.82	134.66	178.20	29.35
54	45.21	1090.50	2109.18	128.93	178.20	29.76
55	49.99	1020.69	2275.19	131.85	168.00	29.92
56	54.20	1068.02	2359.03	134.12	168.00	29.76
57	51.77	1087.27	2352.83	138.05	168.00	29.56
58	61.18	1105.08	2395.50	123.71	177.40	30.36
59	65.03	1129.82	2489.64	127.26	177.40	31.91
60	64.84	1143.15	2501.15	128.38	177.40	31.01

進行迴歸分析的大學投手資料

受試者編號	手臂上舉階段肘前翻力矩	肩外旋角度峰值	肘伸展速度峰值	前腳著地時前膝角度	體重(N)	球速
1	50.00	-168.87	2068.78	126.25	950.6	31.50
2	51.36	-169.72	2085.26	129.71	950.6	31.70
3	53.39	-171.38	1961.19	124.35	950.6	32.10
4	53.68	-177.45	1843.80	138.57	921.2	29.30
5	56.34	-176.96	1909.01	135.06	921.2	30.00
6	56.88	-177.80	1878.31	135.71	921.2	29.60
7	82.32	-197.44	1888.87	132.41	999.6	34.30
8	80.37	-195.70	1882.87	136.55	999.6	33.10
9	85.51	-195.85	1895.58	135.41	999.6	34.90
10	54.28	-170.58	2041.93	132.52	862.4	29.60
11	54.95	-168.48	2073.70	137.31	862.4	29.70
12	50.48	-164.93	1994.34	137.09	862.4	29.30
13	34.41	-136.49	1475.14	137.68	666.4	26.00
14	38.78	-144.28	1512.77	132.36	666.4	27.20
15	39.00	-146.07	1477.92	134.35	666.4	27.10
16	37.51	-177.34	1558.68	147.73	784.0	28.40
17	38.71	-173.00	1495.92	150.27	784.0	28.60
18	36.64	-176.60	1553.80	150.00	784.0	28.60
19	59.72	-160.73	2073.51	137.72	882.0	29.00
20	61.36	-163.21	2040.11	140.73	882.0	29.30
21	60.36	-163.18	2066.97	139.54	882.0	29.30
22	61.38	-151.63	2158.48	129.22	862.4	31.90
23	66.43	-155.67	2307.08	131.17	862.4	33.90
24	67.07	-154.61	2297.11	129.15	862.4	32.60
25	60.60	-184.62	2218.83	139.21	764.4	33.00
26	64.34	-183.38	2325.29	142.92	764.4	32.40
27	60.40	-182.93	2301.34	135.44	764.4	33.60
28	57.95	-171.51	2159.48	121.06	950.6	33.20
29	61.13	-175.38	2261.81	125.54	950.6	34.10
30	61.02	-174.63	2294.5	123.9	950.6	34.00
31	52.44	-177.58	1878.81	139.48	921.20	31.40
32	58.06	-179.09	1835.39	136.03	921.20	30.30
33	55.51	-177.76	1871.84	136.41	921.20	29.60
34	80.58	-195.15	1864.47	131.00	999.60	34.10
35	88.00	-195.94	1947.30	132.30	999.60	35.00
36	87.71	-196.68	2000.05	130.75	999.60	35.00
37	54.04	-167.99	2134.47	132.78	862.40	30.10
38	54.90	-168.11	2060.80	134.51	862.40	29.90
39	54.97	-169.32	2124.95	134.84	862.40	29.90
40	51.71	-158.65	1915.98	117.81	666.40	33.20
41	42.32	-147.67	1555.63	132.74	666.40	28.60
42	42.91	-149.87	1656.57	123.00	666.40	29.70
43	40.15	-177.29	1657.76	147.41	784.00	29.30
44	39.16	-174.17	1520.13	150.18	784.00	29.00
45	38.88	-175.83	1589.87	150.35	784.00	29.50
46	65.30	-165.82	2120.97	136.61	882.00	30.30
47	66.65	-166.23	2142.95	137.21	882.00	30.00
48	64.91	-167.05	2116.24	138.99	882.00	30.20
49	61.99	-151.26	2176.96	131.49	862.40	32.50
50	68.48	-153.70	2315.63	131.74	862.40	33.20
51	65.36	-153.73	2293.65	130.20	862.40	33.00
52	62.59	-183.81	2332.88	139.56	764.40	33.60
53	61.54	-185.18	2242.30	135.42	764.40	33.10
54	61.25	-184.38	2266.74	131.74	764.40	33.30
55	62.69	-169.83	1746.40	137.79	931.00	32.40
56	75.54	-177.56	1936.34	135.29	931.00	33.80
57	75.95	-177.30	1920.60	131.83	931.00	34.60
58	77.64	-179.28	2025.15	128.02	931.00	33.40
59	64.42	-174.64	1806.50	136.57	931.00	34.60
60	75.20	-177.88	1925.50	132.39	931.00	34.60