

國立臺灣體育學院競技運動研究所
碩士學位論文

棒球投手練習過程的下肢動作協調
THE COORDINATION OF LOWER EXTREMITIES
ON THE PRACTICING PROCESS OF BASEBALL
PITCHER



研 究 生：林俊龍 撰
指 導 教 授：陳重佑 博士
協同指導教授：吳鴻文 博士

中 華 民 國 九 十 五 年 六 月

棒球投手練習過程的下肢動作協調

研究生：林俊龍

指導教授：陳重佑

中文摘要

本研究的目的是通過下肢的運動及動力學分析，探討優秀運動員及初學者投球過程中下肢的運動學及動力學特徵差異及初學者不同練習階段的力矩變化。實驗以 1 名優秀選手及 3 名初學者為研究對象，3 名初學者並接受 6 週的投球訓練及 4 次的檢測。檢測時以 VICON 三度空間動作分析系統（250Hz）同步 AMTI 測力板（1000Hz）記錄實驗參與者的運動學及動力學各項數據，並以 Euler 角、牛頓方程式與 Zatsiorsky 及 Seluyanov 的人體肢段參數進行實驗參與者的下肢關節力矩及功率計算。並將 3 名初學者不同練習階段的力矩以單因子變異數分析法比較各階段的行為改變。運動學上的結果發現，在優秀運動員在抬腳階段前腳腕關節角度較大，同時後腳彎曲速度較小；在跨步階段能將後腳保持在旋內角度，控制後腳腕、膝關節同時伸展。在出手前階段，前腳腕關節能有效將彎曲及旋內動作減速並反轉。動力學上的結果發現，優秀運動員在跨步階段後腳伸展力矩的最大值依膝、腕關節的順序出現；在出手前階段，前腳伸展最大值同樣依膝、腕關節出現，伸展力矩最大值由下而上，由後到前的出現順序形成了一個加速—減速系統，有效率的將動量上傳。在不同練習階段中，初學者皆在第四週有較大變化，初學者間的各別差異相當高，這些改變卻不一定能增進球速。推測初學者是由較易改變的關節力矩開始進行。這項結果提供了學習是非線性改變的間接證據。

關鍵詞：棒球、生物力學、投擲

The Coordination of Lower Extremities on The Practicing Process of Baseball Pitcher

Chun-Lung Lin

ABSTRACT

The purpose of this study is to compare the kinematics and kinetic difference between elite athletic and beginners, and compare the moment of bingers in different practice stages using lower limb's kinematical and kinetic analysis. One elite player and three beginners served as participates in this study. three bingers accept six weeks training and four times data collecting. VICON three dimension motion analyze system (250Hz) and AMTI force plate (1000Hz) were used to collect the kinematics and kinetic data. Then Euler equation, Newton equation, and Zatsiorsky & Seluyanov's body segment parameters were used to calculate the moment and power data. One-way ANOVA were adopted to analyze the bingers' lower limbs toque in difference stages. According kinematical result, elite player has more bend angle in hip joint, and less bending speed in back leg during wind up. During stride, elite player can keep inner rotation in back hip joint and control hip joint and knee joint to extend in the same time. Before ball releasing, elite player can decelerate and inverse bending and inner rotation speed in front hip joint. According kinetic result, max back leg extending moment of elite player appears from knee to hip during stride. Before ball releasing, the max front leg extending moment appears follow the same pattern. The max leg extending moment appearing from down to up, and back to front create an acceleration to deceleration mechanic, transfer momentum to body effectively. In different practice stages, all beginners have more change in the forth week, but changes between beginners are different. The changes may not gain ball speed, we suppose the beginners changes from the joint that easiest changes. This result support that learning is not a linear process.

Keywords: baseball, biomechanics, throw

謝 誌

基於對棒球的熱愛及老婆的支持，使我有幸能踏進這領域，完成我多年的心願，完成一篇關於投手訓練的論文。在這研究所兩年的日子中，過的實在非常充實及忙碌。最後終能不負眾望完成這本論文，論文的完成首先要感謝指導教授陳重佑老師的指導。陳老師的諄諄教誨及身體力學的學者風範，不斷給我在求學過程中許多引導，使我能獲得豐富的知識，一窺學術的殿堂。並建立我正確的學習態度。再來要感謝吳鴻文老師，由於他的協同指導，使我能更進一步對力學領域有所認識。同時他親切的待人態度，也令人如沐春風。也同時也要感謝許太彥老師、陳帝佑老師在百忙之中能抽空指導，提供寶貴的建議，使本篇文更加完整。

我更要感謝林華韋老師，在體院的兩年間，能讓我隨棒球隊練習，同時經常親身傳授帶隊經驗，使我在教練的經驗上有更多的體悟，並在論文完成的最後撥空指導，使論文生色不少。此外，在體院的日子中，怡珊、子偉、昆弘、淑玲、宗南、鋒英等同學的砥礪與切磋，更是使我進步的一大原動力。

最後，要感謝我的老婆淑娟，在這兩年間的支持與鞭策，使我能在這段期間全力衝刺，無後顧之憂。由於她的付出，才能成就今日的我。此外，求學期間出生的女兒，更是論文寫作時的原動力。每當寫作至身心疲憊之時，想起女兒，總帶給自己無限的動力。在此，將這本辛勤努力的成果，獻給支持我的家人。

林俊龍 謹誌

中華民國九十五年六月

目 錄

第壹章 緒論

第一節	問題背景	01
第二節	研究目的	05
第三節	名詞解釋與操作型定義	05
第四節	研究範圍與限制	06
第五節	研究的重要性	07

第貳章 文獻探討

第一節	動態系統理論	08
第二節	動態系統理論在技能學習的運用	11
第三節	棒球投手的上肢工作	13
第四節	棒球投手的下肢工作	15
第五節	結語	18

第參章 研究方法與步驟

第一節	研究對象	20
第二節	實驗時間與地點	21
第三節	研究流程	21
第四節	實驗設備	23
第五節	實驗步驟	24
第六節	資料收集與處理	26

第肆章 結果與討論	
第一節 投球的下肢運動學特徵.....	28
第二節 投球的下肢動力學特徵.....	41
第三節 各練習階段的下肢力矩.....	68
第四節 綜合討論.....	92
第伍章 結論與建議.....	98
第一節 結論.....	98
第二節 建議.....	99
引用文獻	
一、中文部份.....	100
二、英文部份.....	100

表 次

表 1：實驗參與者基本資料表.....	19
表 2：不同實驗參與者兩腳衝量平均值及標準差.....	46
表 3：不同實驗參與者兩腳衝量單因子分析摘要表.....	46
表 4：不同實驗參與者兩腳衝量事後比較表.....	46
表 5：初學者不同測試時間球速平均值及標準差.....	70
表 6：初學者不同測試期間球速變化單因子分析摘要表.....	70
表 7：初學者不同測試期間球速變化的事後比較表.....	70
表 8：初學者 A 不同測試期間下肢關節力矩平均值及標準差.....	72
表 9：初學者 A 不同測試時間髖關節力矩單因子分析摘要表.....	73
表 10：初學者 A 不同測試時間膝關節力矩單因子分析摘要表.....	74
表 11：初學者 A 不同測試時間下肢關節力矩事後比較表.....	75
表 12：初學者 B 不同測試期間下肢關節力矩平均值及標準差.....	78
表 13：初學者 B 不同測試時間髖關節力矩單因子分析摘要表.....	79
表 14：初學者 B 不同測試時間膝關節力矩單因子分析摘要表.....	80
表 15：初學者 B 不同測試時間下肢關節力矩事後比較表.....	81
表 16：初學者 C 不同測試期間下肢關節力矩平均值及標準差.....	85
表 17：初學者 C 不同測試時間髖關節力矩單因子分析摘要表.....	86
表 18：初學者 C 不同測試時間膝關節力矩單因子分析摘要表.....	87
表 19：初學者 C 不同測試時間下肢關節力矩事後比較表.....	88

圖 次

圖 1：投球動作階段劃分.....	14
圖 2：反光點黏貼位置.....	25
圖 3：牛頓方程計算示意圖及尤拉角公式.....	27
圖 4：本實驗階段劃分方式.....	29
圖 5：優秀運動員髖、膝關節角度變化圖及角速度變化圖	30
圖 6：初學者 A 髖、膝關節角度變化圖及角速度變化圖	35
圖 7：初學者 B 髖、膝關節角度變化圖及角速度變化圖	37
圖 8：初學者 C 髖、膝關節角度變化圖及角速度變化圖	39
圖 9：初優秀運動員及學者 B、C 對地面推力變化圖	42
圖 10：初學者 C 對地面推力變化圖	43
圖 11：優秀運動員髖關節角速度變化圖、力矩變化圖及 功率變化圖	48
圖 12：優秀運動員膝關節角速度變化圖、力矩變化圖及 功率變化圖	49
圖 13：優秀運動員踝關節角速度變化圖、力矩變化圖及 功率變化圖	50
圖 14：初學者 A 髖關節角速度變化圖、力矩變化圖及 功率變化圖	54
圖 15：初學者 A 膝關節角速度變化圖、力矩變化圖及 功率變化圖	55
圖 16：初學者 A 踝關節角速度變化圖、力矩變化圖及 功率變化圖	56
圖 17：初學者 B 髖關節角速度變化圖、力矩變化圖及 功率變化圖	60
圖 18：初學者 B 膝關節角速度變化圖、力矩變化圖及	

功率變化圖	61
圖 19：初學者 B 踝關節角速度變化圖、力矩變化圖及 功率變化圖	62
圖 20：初學者 C 髖關節角速度變化圖、力矩變化圖及 功率變化圖	64
圖 21：初學者 C 膝關節角速度變化圖、力矩變化圖及 功率變化圖	65
圖 22：初學者 C 踝關節角速度變化圖、力矩變化圖及 功率變化圖	66
圖 23：初學者不同練習階段球速平均值及標準差圖.....	71
圖 24：初學者 A 不同練習階段髖、膝關節最大力矩平 均數及標準差圖	76
圖 25：初學者 B 不同練習階段髖、膝關節最大力矩平 均數及標準差圖	82
圖 26：初學者 C 不同練習階段髖、膝關節最大力矩平 均數及標準差圖	89

第壹章 緒論

第一節 問題背景

在一場棒球比賽中，投手對比賽的勝負起著決定性的影響。因此，培育出優秀的投手，是棒球訓練中一個極重要目標。一個好投手的養成，必須在其投球動作、控球及球路變化上投入諸多的努力。尤其是投球動作的部份對球速、控球起著關鍵性的影響，如果能了解投球動作的學習過程，對投手教學必能有所助益。

要了解這個過程，就必須先由投手投球動作了解起。一個完整的投球動作可以就活動特徵劃分為抬腿（windup）、跨步（stride）、手臂捲曲（arm cocking）、手臂加速（arm acceleration）、手臂減速（arm deceleration）、跟隨（follow-through）等 6 個階段（Dillman, Fleisig, & Andrews, 1993）。在這 6 個階段中，身體都必須協調上、下半身去完成動作。因此，棒球投手投球就必須有高度協調，才能完成流暢的動作。那麼整個投球過程中各肢段呈現怎樣的工作時序？Mastsuo、Escamilla、Fleisig、Barrentine 及 Andrews（2003）利用影片分析找出了投球動作中，各肢段速度峰值出現的時序，依序分別為臀部直線速度、臀部角速度、肩膀水平外展、軀幹旋轉、肩膀外旋、手肘伸展、軀幹前傾及肩膀內旋。Mastsuo 等人的發現，可以說明投球過程中，各肢段的工作時序。但這些參數，只包含了軀幹及上肢，和下肢有相關性的只有臀部直線速度及角速度，其他下肢段部份都不在其中。那麼個體又該如何協

調下肢來達成有效率的投球動作呢？

縱觀投球過程的力矩及時序的相關研究，大多集中在上肢的工作，但是下肢工作卻是投球的主要力量來源（Feltner, 1989），是投球動作的基礎。關於這個基礎的運用，Elliott、Grove 及 Gibson（1988）在下肢的實驗中發現，球速較快的投手在前腳著地時，其軸心腳水平推力值遠大於球速慢的投手。也就是球速快投手能將身體轉向一個較穩固的前腳。在類似的實驗中 MacWilliams、Choi、Perezous、Chao 及 MacFarland（1998）也發現，在投球動作平衡的狀況下，手腕速度與跨步階段前、後腳在投手丘與本壘板連線方向、垂直方向方向的推力有高度正相關，但過度施力則容易失去平衡而降低球速。這兩個研究顯示，跨步階段的下肢力量對球速有關鍵的影響。投球過程中前、後腳投手丘與本壘板連線方向推力作用造成臀部角速度及線速度的增加，而雙腳垂直地面力量作用則會造成軀幹前傾。因此，如何運用這三項要素來創造球速，則是投球動作下肢工作的一個關鍵。

此外，Mastuo 等人（2003）的實驗同時發現，速球快投手中，有 60% 的人在前腳著地到球離手的區間的後半段時間中，膝關節最後有伸展動作，另外有 14% 的人膝關節角度大致維持固定。由於膝關節的伸展使前腳更加穩固，因此，支持球速快的投手能將身體轉向一個較穩固的前腳的看法。在相似的標槍運動研究中，優秀的標槍運動員在前腳著地後，膝關節也出現伸展的過程（Bartlett, Muller, Lindinger, Brunner, & Morris, 1996；Morris, & Bartlett, 1996；Whiting, Gregor, & Halushka, 1991）。這些

對投手下肢工作的研究，明確的闡述了投手投球過程中有效的下肢運用方式。但下肢包含大腿、小腿、足部等肢段，各肢段工作時序及協調狀態仍未有研究提及。此外，在訓練過程中另一個重要課題，就是如何有效指導動作，若要使動作學習更有效，就必須針對學習過程學習者所發生的變化加以探討，才能擬定正確的指導策略來幫助動作學習。因此，必須深入探討動作學習的相關理論。

傳統的動作學習理論認為動作學習是一個連續性的過程。學習是建立在外在回應和控制系統間的對話。身體控制系統根據回饋的內容或已知的模式來進行練習，進而學得技能（Nourrit, Delignieres, Caillou, Deschamps, & Lauorit, 2003）。但過去幾年來，動作學習的理論出現了重大的變化。動作學習的動態系統理論（dynamic system theory）的出現，為現代動作學習的領域帶來嶄新的視野。這理論的基本假說將人體視為是一個複雜有多層次（multidimensional）的動態系統。這系統是由許多次系統（subsystem）組成，系統中沒有任何的既存動作程式（motor program）或動作處方（motor prescription），卻有自我組織（self-organization）的能力，將各次系統組織成一穩定狀態（Kelso, 1995）。當系統由一穩定的狀態轉換（transition）到另一穩定狀態的過程，就是動作發展的特徵，這個過程並非線性，而是各次系統作用的結果（成戎珠，1994）。

身體由現存的穩態到另一穩態的方法，是將部份自由度凍結（freezing degrees of freedom）或部份節奏固定來換取良好的動作控制，以完成該運動的要求。當動作的控

制獲得提升後，便逐步釋放自由度並加以整合，形成該運動所需的特殊協調模式。當特殊協調模式完全形成，所有自由度都被釋放，個體並學會有效利用環境的力量，形成一個有效率的系統（Bernstein, 1967）。

為了證明這個學習理論 Zanone 及 Kelso(1992, 1997)發表了一系列採用活動為持續性的手部擺動的研究。結果顯示同向（in phase）及反向（antiphase）的協調被認為是兩個穩定的吸引子，形成學習過程中的基礎。如果學習的路徑偏向其中一種穩定系統，自然產生的協調性傾向就會構成學習的來源。相反如果學習偏向一個不穩定的區域，學習者就必須對抗原始的吸引子來建立新的吸引子，以構成新的協調模式。結果支持動態系統理論的觀點。

以上驗證理論的實驗所採用的動作遠較運動相關動作簡單，在運動相關動作的應用部份 Temprado、Dalla-Grasta、Farell 及 Laurent（1997）對排球發球動作進行了一項實驗。實驗結果指出，肩及腕在初學者及高階球員的協調路徑有質的不同（初學者肩腕同相，高階球員反相），提供學習過程中不連續性的證明。在類似的實驗中，Delignieres 等人（1998）發現在雙槓擺盪中，身體重心對握槓點及身體重心對肩關節的兩個擺動頻率，高階運動員產生的頻率比是 2:1，初學者產生的頻率比是 1:1，顯示初學者固定了兩項擺動頻率比。這些相關研究再度檢視了動態系統理論及凍結自由度策略。那麼，這些理論是否也適用於棒球投手下肢動作學習？

在一般動作中，下肢的運用同時受到地面反作用力及上半身體重的影響（陳重佑，2000）。因此，下肢動作學

習必然會有來自地面反作用力、上半身體重及目標動作的限制。那麼，這些限制對投手下肢動作學習又有何種影響？這些問題引起研究者高度的興趣，因此藉由觀察初學者對棒球投手下肢動作練習過程中變化，從生物力學的研究手段來回答上述的問題，以作為發展訓練方法的基礎。

第二節 研究目的

基於以上的背景，本研究的主要目的即是透過初學者練習投球的過程，以運動生物力學的研究手段，觀察其運動學及動力學的特徵變化，以了解棒球投球下肢練習的可能限制，及初學者運用何種策略來克服這些限制。

第三節 名詞解釋及操作型定義

一、棒球投手投擲動作

指棒球投手進行抬腿 (windup)、跨步 (stride)、手臂捲曲 (arm cocking)、手臂加速 (arm acceleration)、手臂減速 (arm deceleration) 到跟隨 (follow-through) 等 6 個階段的動作，並將球向目標投出的過程。

二、下肢動作

指身體下半部，包括骨盆、大腿、小腿、足部等 4 個肢段。4 個肢段形成髋、膝、踝 3 個關節。下肢動作就是

這 4 個肢段 3 個關節的動作。

第四節 研究範圍與限制

一、研究範圍

本研究不考慮投球準確度的問題，僅要求實驗參與者全力投球。訓練過程中對於實驗參與者的指導，會依參與者學習情況而有不同，可能會造成學習效果差異，但本研究目的在於觀察參與者學習過程的變化，因此回饋的機制與時宜不同所造成的影響，並非本研究觀察的範圍內。

二、研究限制

下肢是投球的主要力量來源 (Feltner, 1989)，是投球動作的基礎。許多的上肢的問題來自下肢，因此本研究的範圍設定在下肢，不對上肢做分析。

本研究限於場地的因素，採用平地投擲，無法使用投手丘來進行測驗。在實驗的過程中，只能規範實驗參與者在訓練時段的課程，並要求實驗參與者不在額外時間做練習，避免影響實驗結果。本研究以成人為實驗參與者，參與者在實驗過程中身體形態在量改變不大，因此可以假定實驗過程中參與者行為的改變並非因肢體量的改變所致。

在研究的方法方面，本研究採用生物力學的研究方法，因此有下列幾點模式建構的限制 (Winter, 2005)：

1. 各肢段都有一質量中心點。
2. 假定人體在運動中，每一肢段的質量中心位置不變。

3. 人體肢段是由沒有摩擦的鉸鏈結構所連接。
4. 運動過程中每一肢段都被視為長度不變，質量均佈的剛體。
5. 由於反光點黏貼在皮膚上，因此假定在拍攝過程中皮膚及骨骼間無相對滑動產生。

第五節 研究的重要性

本實驗主要課題為透過觀察初學者學習過程來了解投手的下肢學習，縱觀目前研究，尚無相關課題被提出。且目前臺灣地區教練對棒球投手最常給的建議，就是希望強化其下肢工作效率（民明網，2005）。因此，未來不管任何等級投手訓練，下肢運用必然是一極受重視的課題。因此，透過本研究，將可以深入了解過去投手下肢工作出現學習不良的原因，並幫助教練發展有效率的投球技能教學策略。同時，本研究也能為動態系統理論在運動相關技能運用提供更多的資料，提高動作技能理論的實用性。

第貳章 文獻探討

本章旨在回顧過去研究者在協調性學習相關研究。共分五節，第一節動態系統理論；第二節動態系統理論在技能學習的運用；第三節棒球投手的上肢工作；第四節棒球投手的下肢工作；第五節結語。

第一節 動態系統理論

了解初學者獲得新技能的過程，往往是動作技能學習的一個焦點。早期的理論都將學習的重點放在認知的部份上。但過去幾年來，動作學習的理論出現了重大的變化(成戎珠, 1994)。由於物理學上動態系統的觀點及生態心理學的影響產生動作學習的動態系統理論，為現代動作學習的領域帶來嶄新的視野。是以，由動作學習的觀點出發，來探討棒球投球的下肢動作學習過程，是本研究的一個目標。

傳統的動作學習理論認為動作學習是一個連續性的過程。根據這個理論，學習是建立在外在回應和控制系統間的對話。身體控制系統根據回饋的內容或已知的模式來進行練習，進而學得技能(Nourrit et al., 2003)。對於動作學習表現的評估，是依據練習期間的力量因素或產生的路徑數量所決定(Newell, & Rosenbloom, 1981)。

近代學者對連續性的概念提出嚴格的質疑，Newell (1991)認為學習過程並非是線性，而是一個更深入的、質性的(qualitative)組織過程，並認為過去的學者會得

到連續性的描述是方法上的問題。首先，過去的實驗中學習的經驗大多是完成一簡單的活動，這些活動大部份都只有單一的自由度，與真實生活中的活動差異頗大，完成這些活動可能不會使動作者產生新的協調路徑。其次，這些實驗的時間很短，幾乎只發生動作的適應，無法產生質的變化。而且，這些實驗的表現結果是由測量錯誤率而得來，這些結果很難反應學習的過程。因此，連續的學習過程可能只是運動技能學習中一些特例。

學習的過程是否連續？是否有自我組織？近年來發展出來的動態系統理論是較能解釋運動技能學習過程的一個理論。這理論的基本假說包括人體是一個複雜有層次的動態系統。這系統本質上是許多次系統組成，系統中沒有任何的既存動作程式或動作處方，然而系統卻有自我組織的能力，將系統穩定在一偏好的情況。當系統由一連串穩定的動作轉移到另一穩定的動作的過程，就是動作發展，這個過程並非線性，而是各次系統作用的結果。Kuffman (1993) 提出了一個對動態系統理論最好的描述，個體是自然界中一個高度整合的動態的系統，整個系統由數個次系統組成，這個些次系統隨時間而變化，就算只過一點點時間，這系統中數個次系統組成的值可能全都產生改變。

一個系統會隨著時間及其可能的協調點緩慢的在改變，想像這個系統像流水一樣流動在地面上，地上有高山，有深谷，深谷就是這系統容易流過的地方。這個系統只會產生暫時性的停滯，這些暫時性的停滯就是所謂的吸引子 (attractor)，在任何時間下整個系統不是處於短暫停留，就是流向另一個停滯點。若在這些協調機制中加入一個因

子，這系統就會產生流動，流動路徑則是由一些關鍵限制影響而產生。如果個體是有數個協調點的系統，而且系統隨著時間而產生改變，那麼吸引子的狀態大概就等於肢段間的協調狀態 (Kelso, & Ding, 1993)，當系統流向另一個吸引子時，就是協調結構改變的特徵，而肢段間的秩序 (order) 則是動態系統的控制變數 (control parameter) 獲得的協調結果。

學習的早期階段，個體會進行辨認並建立動態系統間的基本關係，並組合身體各部位來完成目標動作。為完成這個動作，個體開始找尋動作和重要環境物體相關的認知，並破壞原有的穩定狀態再進行重建。由此連續的破壞和重建是學習初期的一個訊息，在動作型態上會有劇烈的轉換，卻是難以預測的一環 (Newell, 1985; Scully, & Newell, 1985; Newell, & Van Emmerik, 1989; Schmidt, Treffiner, & Shaw, 1992)。這個劇烈的轉換可能和動作特徵及現存的協調性系統有關，如果這關係非常接近，現存的吸引子需要作調整，吸引子的數目也不會增加，就會出現一個比較連續的過程，如果這關係相差很多，原有吸引子就會轉變成新系統結構，並導致動作路徑的劇烈改變。

學習的過程中身體組合各部份的策略，是將部份自由度凍結或節奏固定。Bernstein (1967) 認為人體中有大量的多餘自由度，學習過程中個體會減低自由度來獲得較好的控制。他也認為在整個系統的控制能力及變通性間有交換的可能性，在控制性增加時，自由度就會相對減少，伴隨著自由度的減少，整個系統的變通性就降低。他認為人解決協調性的問題分為三階段：第一階段，個體會凍結並

重新組織多餘的自由度，利用減少自由度來換取良好的動作控制，以完成該運動的要求，也就是個體會鎖住部份的肢體，使這些肢體以相似的路徑及時相動作，此時個體需要控制的肢段減少，對整個系統便能產生較好的控制；第二階段，個體將逐步釋放自由度並加以整合，以形成該運動所需的特殊協調模式，此時，系統的變通性獲得提高；第三個階段，所有自由度都被釋放，個體並學會有效利用環境的力量，形成一個有效率的系統，此時個體已重新組織整個動作系統，以便能解決運動過程中所面臨的問題。因此教學過程中，必需強調個體尋找自由度組織的過程，更勝於給予人為的動作限制。

第二節 動態系統理論在技能學習的應用

Zanone 及 Kelso (1992, 1997) 發表了一系列以動態系統理論所做的研究。研究採用的活動為持續性的手部擺動，結果認為同向及反向的協調被看作是兩個穩定的吸引子，形成學習過程中的基礎。如果學習的路徑偏向其中一種穩定系統，自然產生的協調性就會構成學習的來源。相反如果學習偏向一個不穩定的區域，學習者就必須對抗原始的吸引子來建立新的吸引子，以構成新的協調模式。在第一個實驗中，學習看起來是由一個已固定的協調模式，朝目標動作進行位移 (shift)。在這樣的一個例子中，學習可能表達出的是不是一個質的轉換，而是一個最初協調狀態的一個參數位移。在第二個實驗中，參與者先找出

他們原有的雙手手指協調的穩定時相，再讓手指進行與原有穩定時相不同的雙手手指協調模式。結果有 4 人一開始被定義為有多樣穩定的吸引子，其餘 10 人只有具有 0° 及 180° 的吸引子。學習過程中，實驗參與者都由其原有的穩定吸引子朝目標時相進行轉換。部份的學習者並在學習過程中建立新的吸引子。在這樣的一個例子中，部份學習者出現了質的改變，部份僅是最初協調狀態的參數位移。Zanone 等人 (1997) 同時也認為練習一個自然產生的不穩定的路徑 (spontaneously unstable pattern) (例如，兩手時相差 90°) 會導致它穩定。

最近產生了一些焦點放在運動相關活動的研究，比較初學者與高階運動員的技巧，以了解學習過程中的變化。例如排球發球 (Temprado et al., 1997)、體操的雙槓擺盪動作 (Delignieres et al., 1998)。Temprado 等人對排球初學者及高階球員在發球動作的肢段協調的研究指出，肩及腕在初學者及高階球員的協調路徑有質的不同 (初學者肩、腕同相，高階球員反相)，提供學習過程中不連續性的證明。在類似的實驗中，Delignieres 等人發現在雙槓擺盪中，身體重心對握槓點及身體重心對肩關節的兩個擺動頻率，初學者及高階運動員間有質的不同，高階運動員兩頻率比是 2:1，初學者的頻率比是 1:1，顯示初學者固定了兩項擺動頻率比。在做了 80 次練習後，初學者擺動振幅有加大，但仍未達到高階運動員擺動振幅。兩項擺動頻率比則未改變。這實驗提供了很好的例子，找出了在抵抗地心引力的活動中，身體如何自主協調。

Nourrit 等人 (2003) 使用滑雪器模擬滑雪動作的實

驗，更仔細的記錄了參與者學習過程的變化。參與者在學習的初期，擺動的振幅及頻率都很固定，在獲得活動所需的協調能力後，擺動振幅突然加大到達學習動作所需振幅，並趨於穩定。這項實驗更提供了動態系統理論一個良好的例子。

到目前為止，許多的研究試著去探討運動員學習過程的變化，並找出該項運動的動作限制對學習過程的影響，也對幾個學習理論（動態系統理論及凍結自由度等）提出部份的事証。但目前尚無投球動作學習相關研究，使我們希望對這項技巧的學習有進一步的了解。

第三節 棒球投手的上肢工作

棒球投手的投球動作，是一個複雜的多關節運動。整個投球可以就活動特徵劃分為抬腿（windup）、跨步（stride）、手臂捲曲（arm cocking）、手臂加速（arm acceleration）、手臂減速（arm deceleration）、跟隨（follow-through）等 6 個階段。抬腿階段是指投手將前腿（lead foot）抬至最高點，跨步階段則是投手將前腿自最高點落下，前跨到著地為止；手臂捲曲階段是指前腿著地後，將手臂外張至發生最大外旋為止；而手臂加速階段則是手臂由最大外旋階段開始，向前加速至球離手為止；球出手後的上肢減速就是手臂減速階段；最後的軀幹減速緩衝則為收尾階段（Dillman et al., 1993）。整個投球過程由抬腳開始產生初始能量。並經由軀幹向上傳遞，上肢則利

用軀幹產生的力矩依序將手臂、前臂向前加速，最後由手

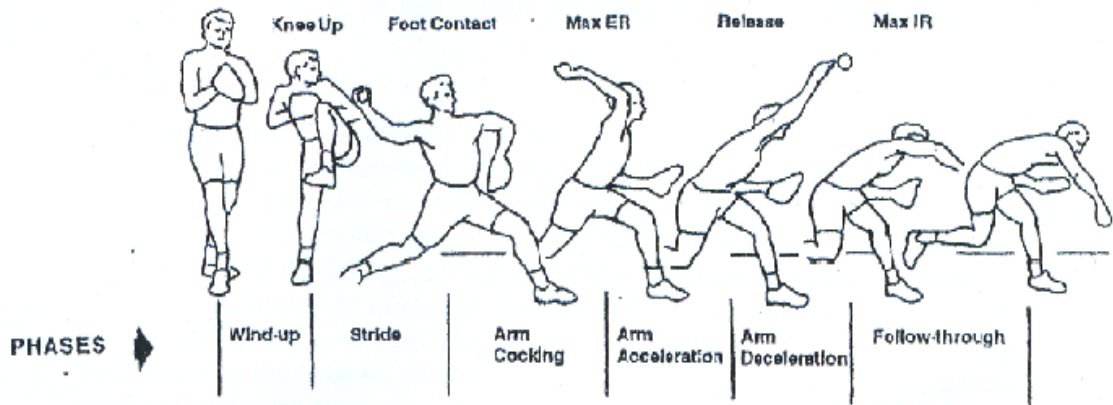


圖 1：投球動作階段劃分（改繪自 Fleisig et al., 1996）

腕向前將球送出，這個過程被視為一個開放式的動力鏈。過程中手臂產生了外展、水平內縮及內旋運動，肘關節則產生伸展運動。其中肘關節伸展搭配肩關節的內旋，使得肢體速度不會因肘關節完全伸直而降低，同時也避免了肘關節的傷害（Feltner, & Dapena, 1986）。而手腕運用則與肢段間的速度增加較無關係，其主要功能在控制球路（Roberts, 1971；Toyoshima, Hoshikawa, & Miyashita, 1974）。在這整個投球動作產生的相關力矩中，肘關節的伸展力矩是較不同的，因為它是由軀幹及肩膀轉動產生的被動力矩，並非由肘部伸展肌肉所產生，也就是說球速的主要力源在於下肢及軀幹（Feltner, 1989）。Jobe、Moynes、Tibone 及 Perry(1984)比較初學者及職業投手的上肢 EMG 活動發現，在加速期中職業選手能妥善運用旋轉肌肉，初學者則使用了所有相關及不相關肌肉。此研究符合了之前

Feltner 等人的研究結果。

關於投球時序部份，Hirashima、Kadota、Sakurair、Kudo 及 Ohtsuki(2002) 等人利用 EMG 檢驗腰部及上肢肌肉工作時序，支持投球動作在肩關節、肘關節間是一個由近到遠加速的動力鏈。其肌肉作用時序依序由肩關節肌群及肘關節肌群接連作用。但腕關節卻是和肘關節肌群同時作用，也符合腕部肌群主要在控球的說法。Mastu 等人(2003) 利用影片分析找出了投球動作中，各肢段速度峰值出現的時序，依序為臀部直線速度、臀部角速度、肩膀水平外展、軀幹旋轉、肩膀外旋、手肘伸展、軀幹前傾及肩膀內旋。藉由本研究，我們可以全面了解到投球機制的協調模式，呈現由下而上，由近而遠的速度傳遞。

綜合以上的研究不難發現，投球過程的力矩及時序研究，大多集中在上肢，雖然在投球的動作中下肢的位移量和速度值較小，但下肢的受傷率卻高達 60% (Walk, Clark, & Seefeldt, 1996)，同時下肢也是主要的力量來源，在上肢加速的過程中，下肢依然提供身體支撐，因此，下肢是投球過程中極重要的部份。如果能進一步了解下肢的學習及運用過程，必然能有效提升投手球速。

第四節 棒球投手的下肢工作

近年來，對於投手下肢的工作方式的研究是由一個爭論開始。早期對跨步階段軸心腳的看法是，不管你是不是強力投手，你都應該彎曲後腳，然後盡全力的將身體推向

本壘板(Ryan, & Torre, 1979)。然而這個說法卻遭到 House (1983) 的質疑。他提出一個新的論點，認為投手在跨步時應該在控制中落下，而非用力向前推。這兩種對跨步階段後腳(pivot foot)的不同的見解，促使學者進一步研究下肢的功用。Elliott、Grove 及 Gibson (1988) 使用一塊測力板的計量分析法對 8 名頂尖業餘投手進行實驗，探討投手後腳與地面間的力量特徵。實驗結果發現，後腳在水平方向的最大推力約為 0.65 倍體重，其時相約發生在手臂最大水平外展時；垂直方向的力量，則是在跨步階段及手臂捲曲階段，且都維持在 1 倍體重，手臂加速階段中一路降低。軀幹的轉動則在前腳著地後才發生，轉動期間兩腳並無任何重心轉移。此一實驗也同時對出手球速的快慢不同，進行投手間的比較，結果發現兩組投手的後腳水平推力最大值相差不大，都發生在手臂捲曲階段，但球速較快的投手在前腳著地時，其軸心腳水平推力值遠大於球速慢的投手。Elliott 等人認為球速快者能將身體轉向一個較穩固的前腳。

MacWilliams 等人 (1998) 使用兩塊三維測力板對 7 名投手進行實驗，測量投球過程中兩腳的地面反作用力變化特徵。結果顯示，後腳在投手丘與本壘板連線方向的推力平均值一直維持在約 0.35 倍體重，直到前腳著地前才開始下降；而其垂直地面的力量平均值則一直為和體重相等，並在前腳著地前才開始下降。前腳在投手丘與本壘板連線方向的推力由著地時開始增加，在球出手前到達約 0.72 倍體重的最大值；其垂直地面的力量亦同，在球出手前到達約 1.5 倍體重的最大值。一、三壘連線方向的力量

只有體重 0.1 倍。此研究並發現，在投球動作平衡的狀況下，手腕速度與跨步階段後腳在投手丘與本壘板連線方向、垂直方向方向的推力有高度正相關 ($r^2 = .82$ 、 $r^2 = .74$)，及前腳著地後在投手丘與本壘板連線方向、垂直地面力量也有高度正相關 ($r^2 = .86$ 、 $r^2 = .70$)。雖然，所有數據顯示球速慢的投手其峰值出現較早，但兩者相關不高 ($r^2 = .53$)，和之前研究有所不同。

由以上兩篇實證性的研究可以發現，投球跨步過程中的後腳其用運用方式比較傾向 House「在控制中向下」的理論，在自然的投球動作中去發展朝本壘板方向推力，否則施力過度反而會失去平衡而降低球速。在重心轉移的時項上，兩篇研究有不同的結果。由動能 (kinetic energy) 的觀點來看，重心轉移在力學上反而是投球動能的重要來源，因此，以 MacWilliams 等人的研究結果較合理。此外，對手腕速度與後腳力量值的相關數據，更顯示出雙腳投手丘與本壘板連線方向推力是投球的初始動力來源，而垂直地面方向的力量則是投球過程中的一個潛在力量來源 (MacWilliams et al., 1998)，後腳投手丘與本壘板連線方向推力作用造成臀部線速度的增加，前腳投手丘與本壘板連線方向推力作用造成臀部角速度的增加，而雙腳垂直地面力量作用則會造成軀幹前傾，因此，如何運用這三項要素來創造球速，則是投球動作學習的一個關鍵。

Mastsuo 等人 (2003) 使用高速攝影機 (200Hz) 對 127 名職業及大學投手進行實驗，對不同球速的投手其投球過程中，上、下肢動作出現的時序進行力學上的比較，並對前腳膝蓋角度的角度變化進行記錄。結果發現球速較

快的投手和球速較慢的投手在前腳著地後到球離手的過程中，前腳膝關節角度的角度呈現不同的變化。速球快投手中有 60% 的人在前腳著地到球離手的區間的後半段時間中，膝關節角度由 55° 降至 30°，亦即膝關節最後有伸展動作，中間膝蓋角度出現了減小—增加—減小—增加的現象，即膝關節兩度彎曲再伸展。另外有 14% 的人在前腳著地到球離手過程的後半段時間中，膝關節由 50° 減至 45°，亦即膝關節角度大致維持固定。而球速慢的投手中，則有 26% 的人膝關節角度維持固定，43% 的人膝關節角度不減反增，亦即膝關節僅有彎曲動作。由於膝關節的伸展使前腳更加穩固，相反的，膝關節的彎曲造成前腳不穩，上述的結果支持了 Elliott 等人的看法，球速快的投手能將身體轉向一個較穩固的前腳。在相似的鏢槍運動研究中，優秀的鏢槍運動員在前腳著地後，膝關節也出現了兩個彎曲再伸展的過程 (Bartlett et al., 1996; Morris et al., 1996; Whiting et al., 1991) 並且在最後膝關節角度都出現伸展。Whiting 等人 (1991) 認為前腳的角色在於剎車，使腳的衝量可向上傳遞，造成身體可以向前加速。前腳之所以會出現伸展的狀況，在於使前腳更加穩固，並幫助能量轉換至軀幹及上肢 (Mastuo et al., 2003)。

第五節 結語

由前面的幾篇文獻探討可以了解學習過程可能出現的現象及其理論背景。也探討了投球動作的工作時序，及下

肢扮演的角色。在學習的相關文獻中，尚未有對棒球這項運動的研究，在棒球的相關文獻中則無對下肢如何協調來完成臀部前進及轉動的研究。因此本研究希望結合運動學習及生物力學，找出影響投手下肢學習的因素及協調模式，並找出初學者練習過程中所可能採用的策略。以提升將來的棒球投手的練習效果。

第參章 研究方法與步驟

本研究旨在瞭解初學者學習投手下肢動作時的力學特徵變化，本章將根據研究目的進行研究實驗的設計與實施。本章共分為六節，第一節、研究對象；第二節、實驗時間與地點；第三節、研究流程；第四節、實驗設備；第五節、生物力學特徵檢測步驟；第六節、資料收集與處理。

第一節 研究對象

本研究採實驗設計方式進行，研究對象以一名優秀選手及某乙組球隊三名成年選手為本研究研究對象。對其實施投手下肢動作練習，為求實驗正確性，由研究者親自擔任練習過程指導人員。練習過程中使用一組投球影片做為學習者的目標動作，以攝影機拍攝選手投球動作，在訓練中供選手比對，並進行動作修正。每隔二週利用高速攝影機進行動作檢測，並計算力學參數。在徵得選手同意後，正式成為本研究的研究對象。

表 1：實驗參與者基本資料

	年齡	身高 (m)	體重 (kgw)
優秀運動員	21	1.76	95.0
初學者 A	20	1.78	63.0
初學者 B	22	1.80	65.5
初學者 C	20	1.77	80.0

第二節 實驗時間與地點

一、實驗時間

(一) 前測 95 年 2 月 23 日進行一次前測

(二) 本研究實驗時間為 95 年 4 月 1 日至 95 年 5 月 15 日止。

二、實驗地點

本研究訓練地點在國立臺灣體育學院棒球場、測驗地點在中國醫藥大學運動力學實驗室實施。

第三節 研究流程

本研究的實施流程分為研究準備、選取研究工具、前測、實施投球動作練習、生物力學特徵檢測、結果撰寫等六個部分，茲分別說明如下。

一、研究準備

投手的下肢運用一直是國內投手被為認人最弱的一環，於是引起研究者想深入了解投手下肢動作練習時變化及下肢動作運用的關鍵。在閱讀相關文獻後，於 2005 年 11 月確定研究主題，對三名初學者及一名優秀運動員進行投手下肢動作練習之研究。隨後找尋動作範本，最後決定以美國大聯盟速球王 Nolan Ryan 投球連續照片作為練習過程的動作範本。

二、選取研究工具

為配合本研究之目的，經參考相關文獻所使用的方式後，決採用高速攝影機配合測力板做為研究測量工具，對實驗參與者下肢動作實施力學特徵分析。

三、實施前測

研究者於 2006 年 2 月 23 日，在中國醫藥大學運動力學實驗室實施前測，取得實驗前四名參與者投球過程下肢的力學參數，作為實驗前後比較之依據。

四、實施投球動作練習

本研究自 95 年 4 月 1 日起至 95 年 5 月 15 日止，每週一、三、五進行投球動作練習，每次 45 分鐘，訓練內容包括三個循環，每個循環包括空手動作模擬 10 次，平地投球 10-15 顆，投完後觀看自己投球動作並與範本進行比對。實驗共進行 6 週 18 次之訓練課程。

五、生物力學特徵檢測

於訓練過程中，每 2 週於中國醫藥大學運動力學實驗室進行生物力學特徵檢測，訓練結束後並進行後測。檢測過程則由研究者與指導教授的助理共同進行檢測。

六、結果撰寫

於訓練結束後，將檢測所得生物力學特徵資料加以計算並進行分析，最後進行結果撰寫及發表。

第四節 實驗設備

本研究的實驗設備如下：

一、硬體

(一) 動態分析量測系統(VICON MX460 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、6部紅外線高速攝影機（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，再將這些視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Workstation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(AMTI OR6-6, Watertown, MA, USA)

使用三維測力板與攝影機同步取得地面反作用力，再經由類比數位轉換器將取得的資料輸入個人電腦。這些資料配合運動學資料進行運算以獲得動力學參數。

(三) 棒球打擊網

棒球打擊網用來阻擋參與者前拋的棒球。

二、軟體

本實驗使用Workstation、MATLAB6.1、Fortran、Microsoft Office、SPSS10.0、Origin 7.0等軟體做資料分析。

第五節 生物力學特徵檢測步驟

一、建立實驗室座標系

在檢測前，必須先作校正工作，訂出實驗室空間座標系，以作為求出標記點在空間運動中位置之參考座標。待校正工作結束後，攝影機之位置便已定位，不可再移動，以確保所有運作皆在相同之實驗座標系中。

二、打擊網之架設

打擊網吊掛在參與者前方5m處，以阻擋實驗參與者所全力投出的棒球。

三、安置反光標記於肢體上

為了獲得下肢的運動軌跡，利用彈性透氣膠帶將反光標記置於實驗參與者身體上，以避免反光標記鬆脫滑動，並經由攝影機擷取反光標記軌跡來代表身體之運動軌跡。本研究中共使用21個反光標記，並將棒球塗上反光漆，成為一個標誌點（如圖2）。

四、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關節角度，以作為後續檢測之基準，並修正各實驗參與者在反光標記黏貼時，反光標記

（二）收集投球資料

本實驗利用VICON MX460三度空間運動分析系統配合

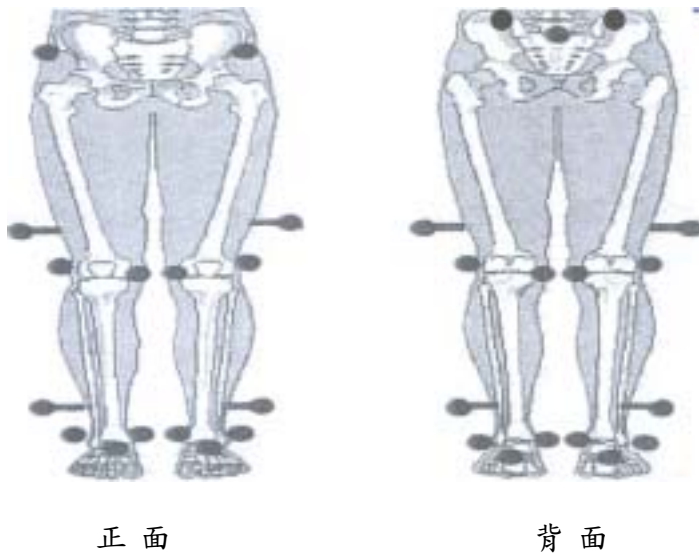


圖 2：反光點黏貼位置

測力板，將 6 台攝影機安置於實驗參與者周圍，收集各實驗參與者投球時的肢體運動軌跡影像資料。進行拍攝前將內側髖關節、內側膝關節及內側踝關節反光點取下，以免影響投球動作。拍攝開始時實驗參與者以預備姿式站立於測試位置上，將球投出。每次收集 2 秒，攝影機頻率為 250Hz，力板頻率為 1000 Hz，間隔約為 1 分鐘。前 5 次投球動作以前腳踩住測力板，後 5 次投球動作以後腳踩住測力板，取得 5 筆前後腳地面反作用力及影像資料。

第六節 資料收集與處理

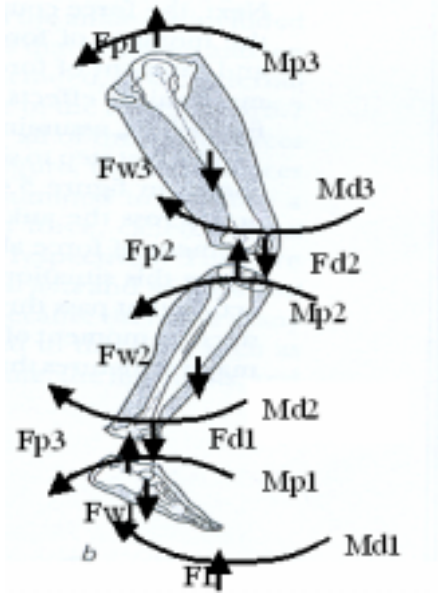
由實驗中所量得的肢體運動資料，必須進一步分析才能獲得所需的關節角運動參數，其處理程序如下：

一、由 Workstation 軟體將收集到的運動軌跡之影像加以追蹤辨識 (track)。接著，將各反光標記之原始座標位置以 c3d 格式輸出。準備用來求取各關節的角運動參數及角度範圍等相關資料。

二、利用 Woltring 以 Fortran 語言所撰寫的 GCVSPL 程式 (generalized cross-validation spline smoothing) (Woltring, 1986) 作平滑化 (smooth) 處理，以獲得各標記在實驗室座標系中的位置座標值之軌跡。由 MATLAB 語言程式，以尤拉角及牛頓方程 (如圖 3) 求取各關節之角運動、角動力等相關資料。所有角動力學資料皆以受試者體重做標準化，並以 Butterworth 數位濾波方式進行濾波後繪圖，取 12Hz 為截止頻率 (cutoff frequency)。

三、將每位實驗參與者的前測資料，取 1 球來繪製下肢關節運動學及動力學圖形，並做力學特徵比較，以了解優秀運動與初學者之間差異。

四、將每位初學者每次測驗過程中的資料，取較完整的 3 筆力矩資料加以平均，使用重複量數單因子變異數分析 (one way ANOVA) 檢定方法比較實驗過程前、中、後下肢關節力矩特徵的差異。本研究採用 SPSS10.0 版套裝軟體進行資料處理，所有統計數值考驗均以 $\alpha = .05$ 為顯著水準。並利用 Origin 軟體繪成圖表，以利於分析比較。



牛頓方程

$$F_p = ma - F_d - F_w$$

$$M_p = I\ddot{\theta} + \omega \times I\omega - M_d + r_d \times F_d + r_p \times F_p$$

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

尤拉角公式

$$R^{p/d} = R^T_p \times R_d$$

$$R_{yx'z'} = (\alpha, \beta, \gamma) = [\Gamma_{ij}]_{3 \times 3}$$

$$= \begin{bmatrix} S_\alpha S_\beta S_\gamma + C_\alpha C_\gamma & S_\alpha S_\beta C_\gamma - C_\alpha C_\gamma & S_\alpha C_\beta \\ C_\beta S_\gamma & C_\beta C_\gamma & -S_\beta \\ C_\alpha S_\beta S_\gamma - S_\alpha S_\gamma & C_\alpha S_\beta C_\gamma + S_\alpha S_\gamma & C_\alpha C_\beta \end{bmatrix}$$

$$\beta = \text{Atan2} \left(-\Gamma_{32}, \sqrt{(\Gamma_{13})^2 + (\Gamma_{33})^2} \right)$$

$$\alpha = \text{Atan2} \left(\Gamma_{13} / C_\beta, \Gamma_{33} / C_\beta \right)$$

$$\gamma = \text{Atan2} \left(\Gamma_{21} / C_\beta, \Gamma_{22} / C_\beta \right)$$

圖 3：牛頓方程計算示意圖及尤拉角公式

第肆章 結果與討論

本研究的主要目的在於探討投球練習過程中，下肢動作改變的特徵。實驗收集的資料經數位化處理後加以計算、繪圖並分析。分析後的結果依四個部份來闡述：一、投球的下肢運動學特徵；二、投球的下肢動力學特徵；三、各練習階段的下肢力矩；四、綜合討論。

第一節 投球的下肢運動學特徵

本研究在進行訓練前收集了一名優秀運動員（球速平均 35.93m/s）與三名初學者（球速平均 23.72m/s）的運動學與動力學資料，本節將兩者運動學資料加以比較，以了解良好投球動作在運動學上的特色。

在運動學分析上，以各關節直立無彎曲的角度為 0° ，伸張、外展及外旋為正值；屈曲、內收及內旋為負值。在投球動作分期上，Dillman 等人（1993）曾將整個投球過程依特徵分成 6 個階段，分別為抬腿、跨步、手臂捲曲、手臂加速、手臂減速及跟隨動作。但其中手臂捲曲、手臂加速、手臂減速三階段在下肢動作中不明顯，因此在此次分析時以抬腿至最高點、前腳著地及球離手的時間點作為分段時間點，將整個過程整合成抬腿、跨步、出手前、出手後跟隨等四個階段。抬腿階段投手主要在進行抬腿動作，抬腿超過最高點後就進入跨步階段。在跨步階段中投手下肢進行跨步動作，同時上肢則進行向後捲曲動作，以

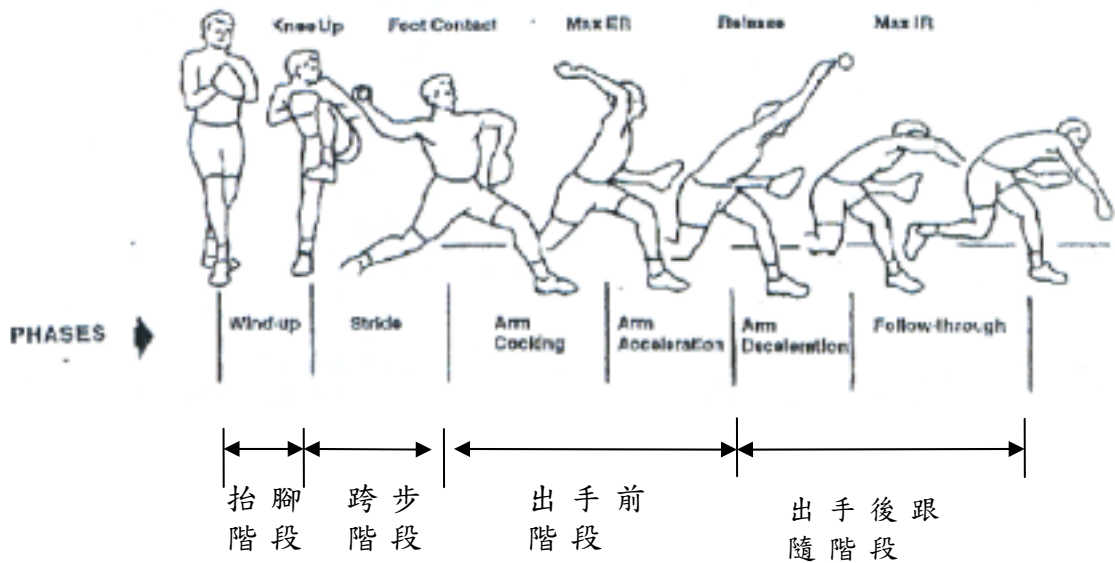


圖 4：本實驗階段劃分方式（改繪自 Fleisig, et al, 1996）

準備對球加速。前腳著地後，進入出手前階段，下肢進行減速，軀幹開始快速旋轉，同時手臂先進入最大旋外的狀態，再向前加速將球送出。球離手後進入出手後跟隨階段，此時手臂首先減速，再來整個身體都開始跟著減速，最後回到兩腳站立的姿態（如圖 4）。

雖然人體下肢關節包括了髖、膝及踝三個關節，但是由於足部體積較小，使得踝關節動作在投球過程中特徵較不明顯，對整個投球動作影響也較小，因此本節以討論髖、膝關節角運動為主。

圖 5 到圖 8 呈現了不同實驗參與者投球過程中的髖、膝關節角度及角速度變化，由圖中可以發現，不同實驗參與者的相同關節有類似的變化路徑，而不同關節間則呈現差異極大的變化路徑。

圖 5 是優秀運動員投球過程中的髖、膝關節角度及角

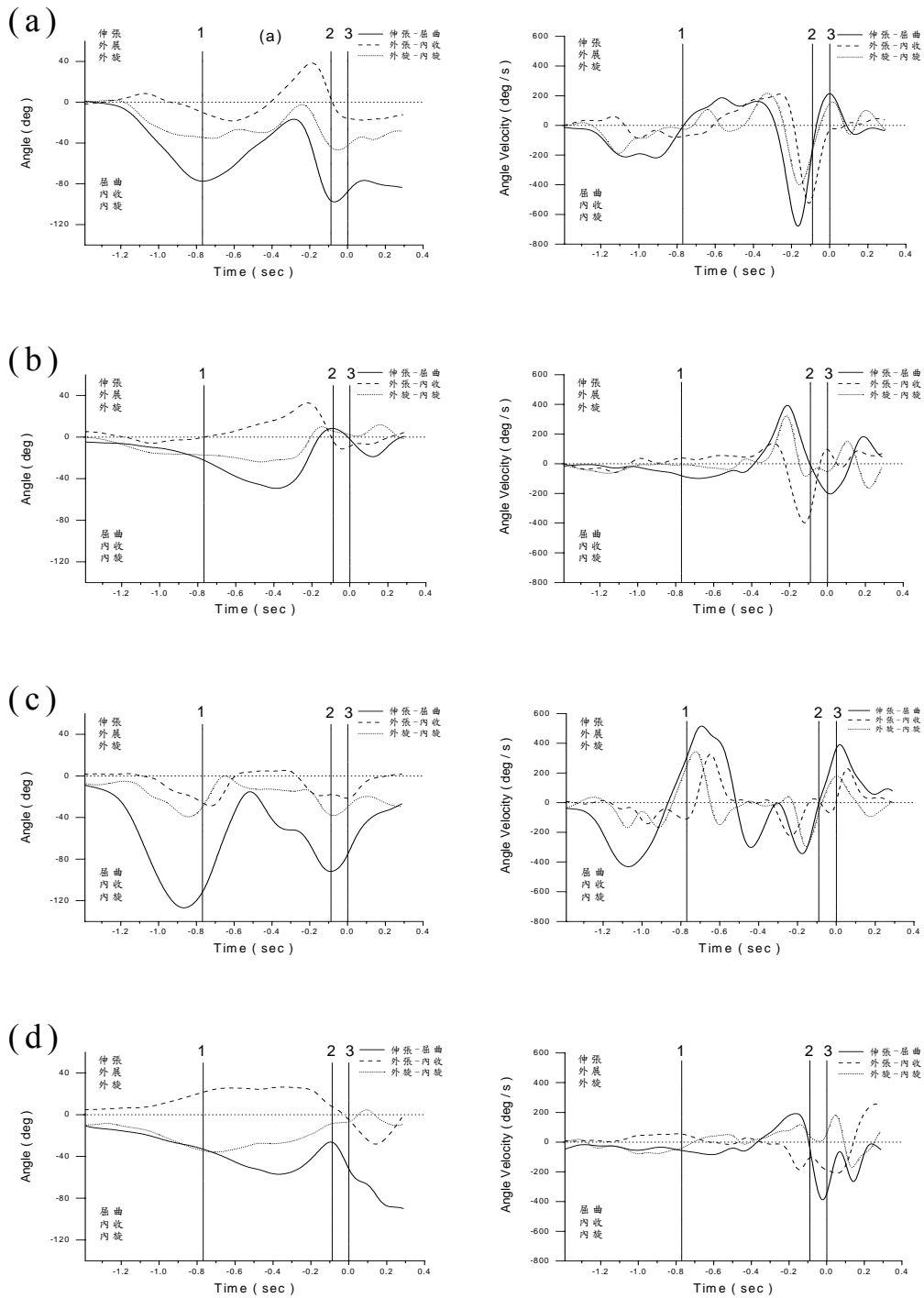


圖 5：優秀運動員腕、膝關節角度變化圖及角速度變化圖。
 (a)前腳腕關節、(b)後腳腕關節、(c)前腳膝關節、(d)後腳膝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

速度變化，其前腳腕關節在抬腿階段主要進行屈曲、內旋、及外展再內收動作，各動作開始時關節角度皆為由 0° ，抬腿到最高點時屈曲角度增加到約 80° ，最大屈曲角速度約為 $200^{\circ}/s$ ；內旋角度增加到約 40° ，最大內旋角速度約為 $200^{\circ}/s$ ；外展及內收角度則是先外展約 10° ，再變化到內收 10° ，最大外展角速度及內收角速度均約為 $100^{\circ}/s$ 。

在跨步階段，前腳腕關節主要是進行伸張再屈曲、外旋再內旋及外展再內收的動作，通過抬腿最高點後屈曲角度由 80° 減少到約 15° ，在著地前約 0.2 秒時再度增加，到著地時約為 100° ，最大伸張角速度約為 $200^{\circ}/s$ ，最大屈曲角速度約為 $500^{\circ}/s$ ，最大屈曲角速度出現在著地前 0.05 秒。前腳腕關節內旋角度部份由抬腿最高點的 40° 減少到約 0° ，在著地前約 0.15 秒時增加，著地時約為 50° ，最大外旋角速度約為 $250^{\circ}/s$ ，最大內旋角速度約為 $400^{\circ}/s$ ，最大內旋角速度和最大屈曲角速度幾乎同時出現。前腳腕關節內收角度部份由 10° 變化到外展 40° ，在著地前約 0.10 秒時再度內收，著地時約為 0° ，最大外展角速度約為 $250^{\circ}/s$ ，最大內收角速度約為 $500^{\circ}/s$ ，出現在著地前一瞬間。

在出手前階段，前腳腕關節主要進行屈曲、內旋及內收動作。前腳著地時屈曲角度約 100° ，球離手時減少到約 85° ，最大伸張角速度約為 $200^{\circ}/s$ ，出現在球離手時。在前腳腕關節內旋角度部份，前腳著地時內旋角度約 50° 球離手時減少到約 40° ，最大旋外角速度約為 $250^{\circ}/s$ ，和最大屈曲角速度幾乎同時出現。在內收角度部份由前腳著地時的 0° 增加到球離手時的 20° ，內收角速度則由著地前約 $500^{\circ}/s$ 減為 $0^{\circ}/s$ 。在出手後跟隨階段，前腳腕關節主要延

續之前動作並逐漸停止，無太大變化產生。

後腳髖關節角度變化則較為單純，抬腿階段後腳髖關節主要進行屈曲、內旋及內收再外展動作。在跨步階段初期，後腳髖關節進行屈曲、內旋及外展動作。到跨步階段末期，轉為伸張、外旋及內收動作，所有動作開始時髖關節角度皆為 0° 。屈曲角度部份在著地前 0.3 秒達到約 50° ，之後開始減少，著地時髖關節角度為過度伸展 10° 。最大屈曲角速度約為 $100^{\circ}/s$ ，最大伸展角速度約為 $400^{\circ}/s$ ，最大伸展角速度出現在著地前 0.15 秒。

後腳髖關節內旋角度部份，在抬腿過最高點後 0.10 秒到達由 20° ，之後開始減少，著地時髖關節內旋角度約為 10° ，最大內旋角速度約為 $50^{\circ}/s$ ，最大外旋角速度約為 $350^{\circ}/s$ ，最大外旋角速度和最大伸展角速度幾乎同時出現。

後腳髖關節外展角度部份，在抬腿過最高點後由 0° 開始增加，在著地前約 0.10 秒髖關節外展角度到達約 40° ，之後開始減少，著地時髖關節外展角度約為 0° ，最大外展角速度約為 $150^{\circ}/s$ ，最大內收角速度約為 $400^{\circ}/s$ ，最大內收角速度出現在著地前 0.05 秒。

進入出手前階段後，後腳髖關節主要進行屈曲、內旋及先內收再外展的動作。在髖關節屈曲角度部份，由前腳著地時過度伸張 10° 減少到球離手時近 0° ，最大屈曲角速度約為 $200^{\circ}/s$ ，出現在球離手時。

後腳髖關節內旋角度部份，由前腳著地時的 10° 減少到球離手時約 0° ，最大外旋角速度約為 $50^{\circ}/s$ ，和最大屈曲角速度同時出現。

後腳髖關節內收角度部份，由著地時 0° 增加，在著地

後 0.1 秒到達 10° 。之後髖關節開始外展，球離手時髖關節內收角度大約是 5° ，髖關節內收角速度則延續上一階段角速度變化並逐漸減少，最後變成外展。最大外展角速度約為 $100^{\circ}/s$ ，出現在球離手時。在出手後跟隨階段，後腳髖關節主要延續之前的屈曲、外旋及內收動作並逐漸停止，再反向動作回到關節角度 0° 的位置。

人體膝關節的主要動作是屈曲-伸展，只有在彎曲角度很大時才會拌隨旋轉及外展-內收的動作（沈清良，2001）。由圖 1 中可以發現，優秀運動員前腳膝關節在抬腿階段主要進行屈曲動作，在抬腿到最高點前 0.10 秒前腳膝關節屈曲角度增加到約 130° 。之後屈曲角度開始減少，抬腿到最高點時屈曲角度約 100° 。最大屈曲角速度約為 $500^{\circ}/s$ ，出現在抬腿最高點前 0.30 秒。到達最高點時前腳膝關節伴隨著 30° 旋內及 30° 內收。

進入跨步階段後，前腳膝關節先屈曲再伸展，屈曲角度由抬腿最高點的 100° 減少到抬腿最高點後 0.30 秒的 20° 。超過 0.30 秒之後膝關節屈曲角度開始增加，著地時約為 90° ，著地時並拌隨 20° 旋內及 40° 的內收。最大伸展角速度約為 $500^{\circ}/s$ ，出現在抬腿最高點後 0.10 秒，最大屈曲角速度約為 $300^{\circ}/s$ ，出現在著地前 0.10 秒。

在出手前階段中，前腳膝關節主要進行伸展動作，屈曲角度由 90° 減少到 70° ，最大伸展角速度約為 $400^{\circ}/s$ ，出現在球離手時。在出手後跟隨階段，前腳膝關節主要延續之伸展動作並逐漸停止。

在後腳膝關節部份，抬腿開始時就開始屈曲，到著地前 0.3 秒膝關節屈曲角度到達 60° ，同時伴隨外旋 30° 及內

收 40° 。之後膝關節開始伸展，前腳著地時膝關節屈曲角度約為 30° 。最大伸展角速度約為 $200^{\circ}/s$ ，出現在著地前 0.1 秒。在出手前階段，後腳膝關節主要進行屈曲動作，屈曲角度由前腳著地時的 30° 增加到球離手時的 50° ，最大屈曲角速度約為 $400^{\circ}/s$ ，出現在球離手前一瞬間。在出手後跟隨階段裡，後腳膝關節主要延續之前屈曲動作。

三名初學者的髖、膝關節角度變化與優秀運動員相較極為相似，但仔細觀察後仍發現其中有部份不同。由圖 6 可以發現，初學者 A 前腳髖關節在抬腿階段末期到跨步階段初期裡，外旋動作與優秀運動員不同。初學者 A 前腳髖關節在抬腿接近最高點時發生了一次外旋再內旋的動作，優秀運動員在這時前腳髖關節則只進行內旋動作。到跨步階段中期，兩者有極類似的變化路徑。這結果顯示初學者 A 與優秀運動員在抬腿階段有著略為不同的特徵，但在跨步階段後期則有相似的動作出現。

進入出手前階段後，初學者 A 前腳髖關節在最大屈曲、旋內角度的出現時機上與優秀運動員有很大的不同，優秀運動員在前腳著地時前腳髖關節出現最大屈曲及內旋角度，初學者 A 則在球離手時前腳髖關節才出現最大屈曲及內旋角度。優秀運動員在此階段前腳髖關節進行伸張及外旋的動作，而初學者 A 進行屈曲及內旋的動作。到球離手時優秀運動員前腳髖關節伸張及外旋的角速度到達最高，初學者 A 則全為 $0^{\circ}/s$ 。由於髖關節屈曲及旋轉角速度是球速的重要來源，球離手時的屈曲及旋轉角速度影響球速甚大。依據動量傳遞原理，下肢的屈曲及內旋角速度若減少，將會有助於增加軀幹的角速度，下肢的屈曲及內旋

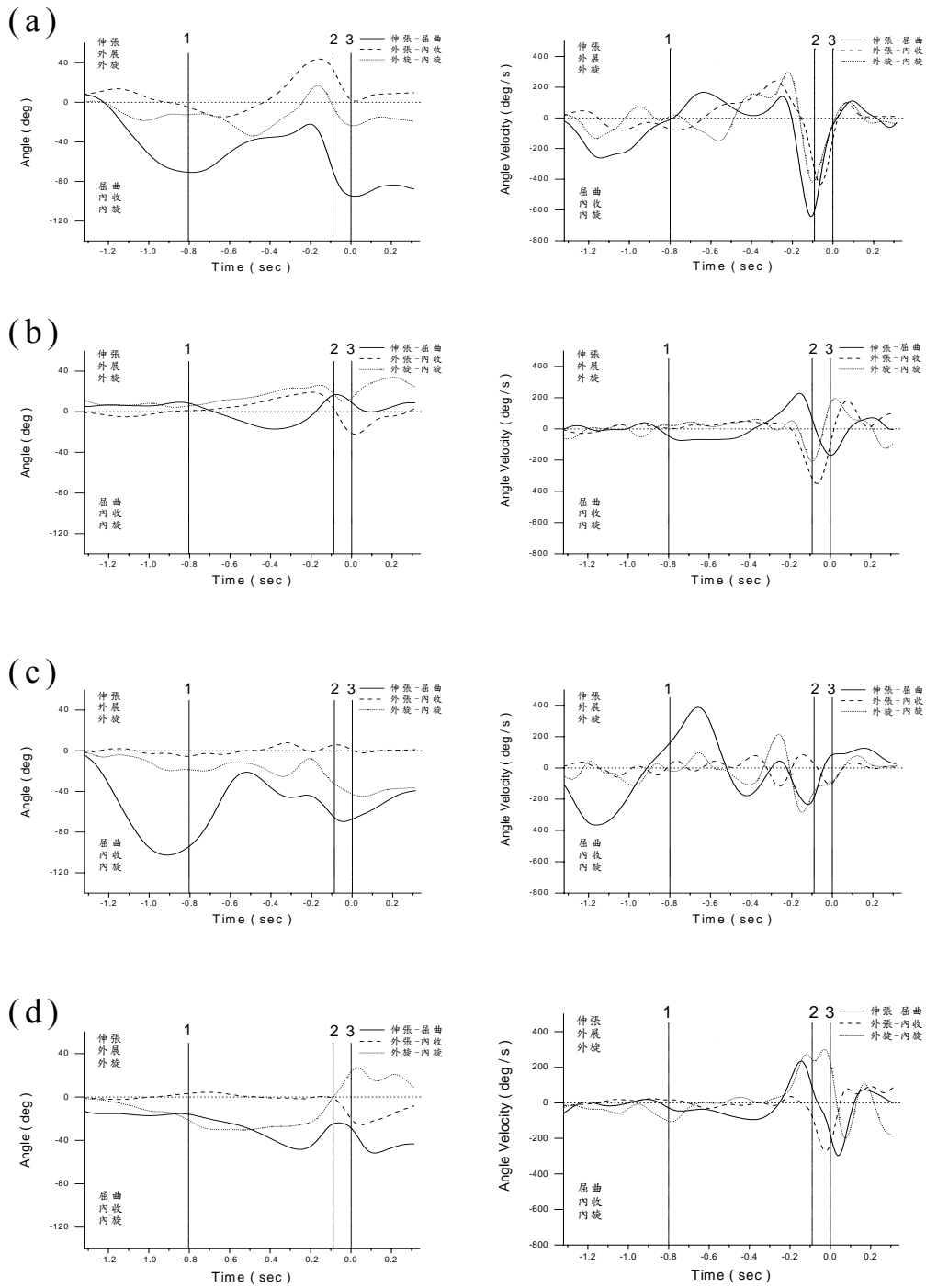


圖 6：初學者 A 髖、膝關節角度變化圖及角速度變化圖。(a) 前腳髖關節、(b) 後腳髖關節、(c) 前腳膝關節、(d) 後腳膝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

角速度若變成負值，也就是出現伸張及外旋角速度，將大大提升軀幹角速度，進而提升球速。因此優秀運動員在上身加速階段前腳腕關節出現伸張及外旋動作，比初學者 A 更能增加軀幹角速度，進而提升球速。

初學者 A 的後腳腕關節在跨步階段也出現和優秀運動員不同的旋轉角度。優秀運動員在此階段一直處於旋內角度，到前腳著地前才開始有外旋動作。初學者 A 後腳腕關節則一直在外旋角度，到前腳著地前則出現旋內動作。後腳腕關節的外旋動作搭配前腳腕關節的內旋動作，提供了軀幹較高的角動量。因此優秀運動員在此刻是比初學者 A 擁有較高的軀幹角動量，可以在下個階段向上傳遞，進而產生球速。在球離手時，初學者 A 的後腳腕關節屈曲角度與優秀運動員有所不同，優秀運動此時的腕關節屈曲角度約為 0° ，初學者 A 則為過度伸張約 5° 。腕關節過度伸張會使人感到有向後拉力，影響上身送球動作。

初學者 A 的前腳膝關節角度變化和優秀運動員差異不大，只有在球離手時伸展角速度值較小。可能由於初學者 A 的軀幹旋轉速度較小，投球時所需的支撐較少，所以前腳膝關節也不用做較大的伸張來幫助支撐。

初學者 A 的後腳膝關節角度變化和優秀運動員在跨步階段略有差異，初學者 A 的膝關節最大屈曲角度出現的較優秀運動員晚。與後腳腕關節相比，優秀運動員後腳膝關節最大屈曲角度與後腳腕關節最大屈曲角度約略同時出現。初學者 A 後腳膝關節最大屈曲角度則比與後腳腕關節最大屈曲角度晚出現。

圖 7 顯示初學者 B 的角度及角速度變化路徑，在前

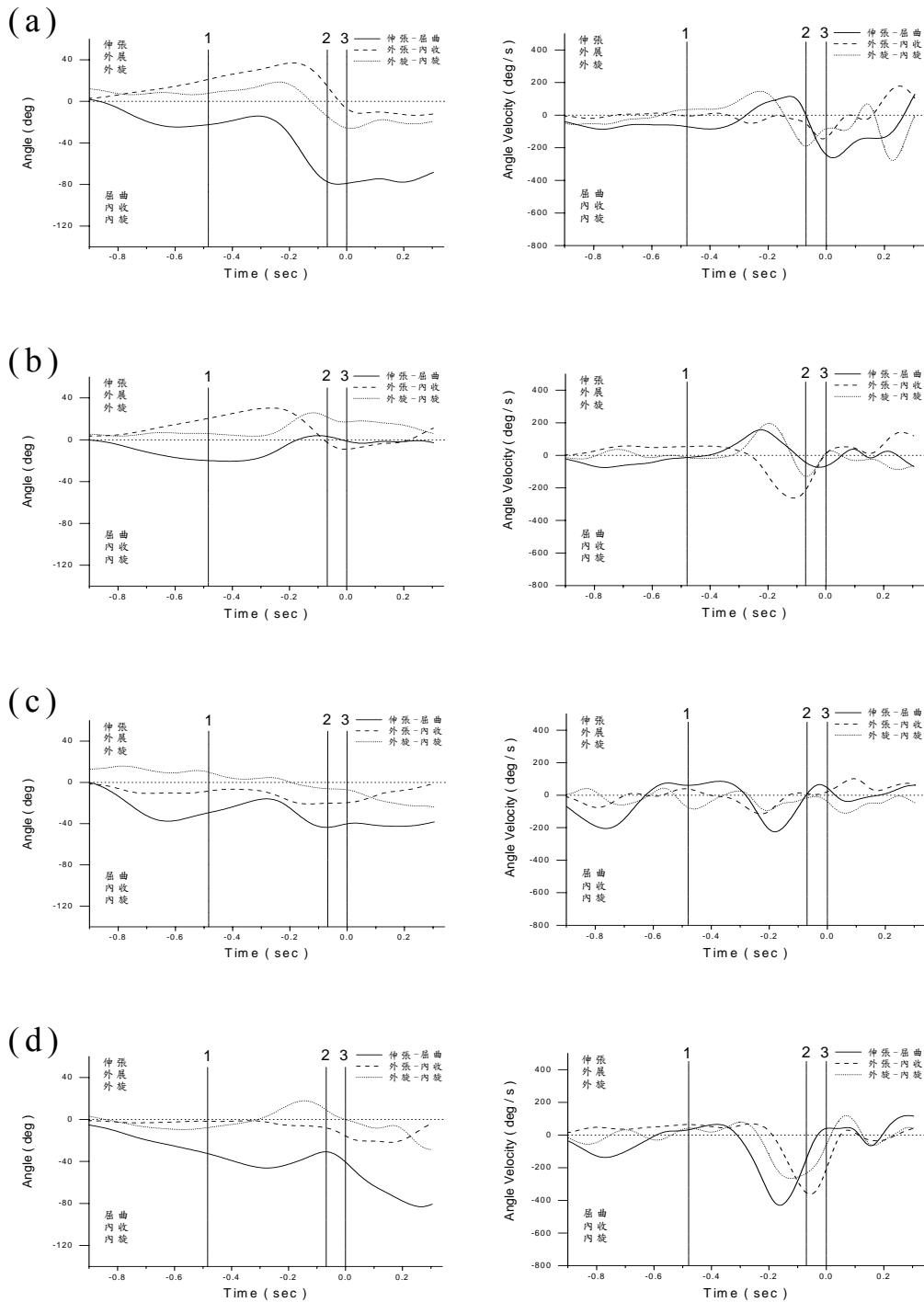


圖 7：初學者 B 髁、膝關節角度變化圖及角速度變化圖。(a) 前腳髁關節、(b) 後腳髁關節、(c) 前腳膝關節、(d) 後腳膝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

腳腕關節部份，與初學者 A 及優秀運動員比較可以發現，初學者 B 前腳腕關節在抬腿階段屈曲角度較小，無明顯抬腿動作。在出手前階段，初學者 B 腕關節進行的是伸張及內旋的動作，伸張動作變化和優秀運動員相近，但內旋動作變化則與初學者 A 相近。在球離手時和優秀運動員一樣有伸張角速度，但和初學者 A 一樣無旋轉角速度。由此可見初學者 B 在這階段也有部份和初學者 A 相同的問題。

初學者 B 的後腳腕關節部份，由圖上可以得知其腕關節角度變化路徑與初學者 A 類似，但變化發生時機則又有不同。兩者在抬腿及跨步階段前期的主要都是進行外展、屈曲及外旋的動作，不同的是初學者 B 在抬腿開始時腕關節就開始外展並屈曲，到了跨步後期才開始有外旋的動作，初學者 A 在抬腿抬腿到最高點後腕關節才開始外展並屈曲。這顯示初學者 B 一抬腿就將軀幹往前推，完全沒有蓄積能量的動作。

初學者 B 前腳膝關節除抬腿時角度屈曲角度較小外，其餘和初學者 A 類似。後腳膝關節則在出手後跟隨動作階段屈曲角度較大，此外亦無太大差異。整體而言初學者 B 各關節角度及角速度最大值均低於優秀運動員。顯示初學者 B 速度及動作幅度均不如優秀運動員。

圖 8 為初學者 C 的角度及角速度變化圖，在前腳腕關節的變化路徑上與優秀運動員非常類似，只在抬腿階段中，初學者 C 關節屈曲角度較小。顯示初學者 C 抬腿高度較低。在跨步階段以後的兩者變化路徑相似，在出手前階段也同樣出現伸張及外旋動作。在球離手時，其伸張及外

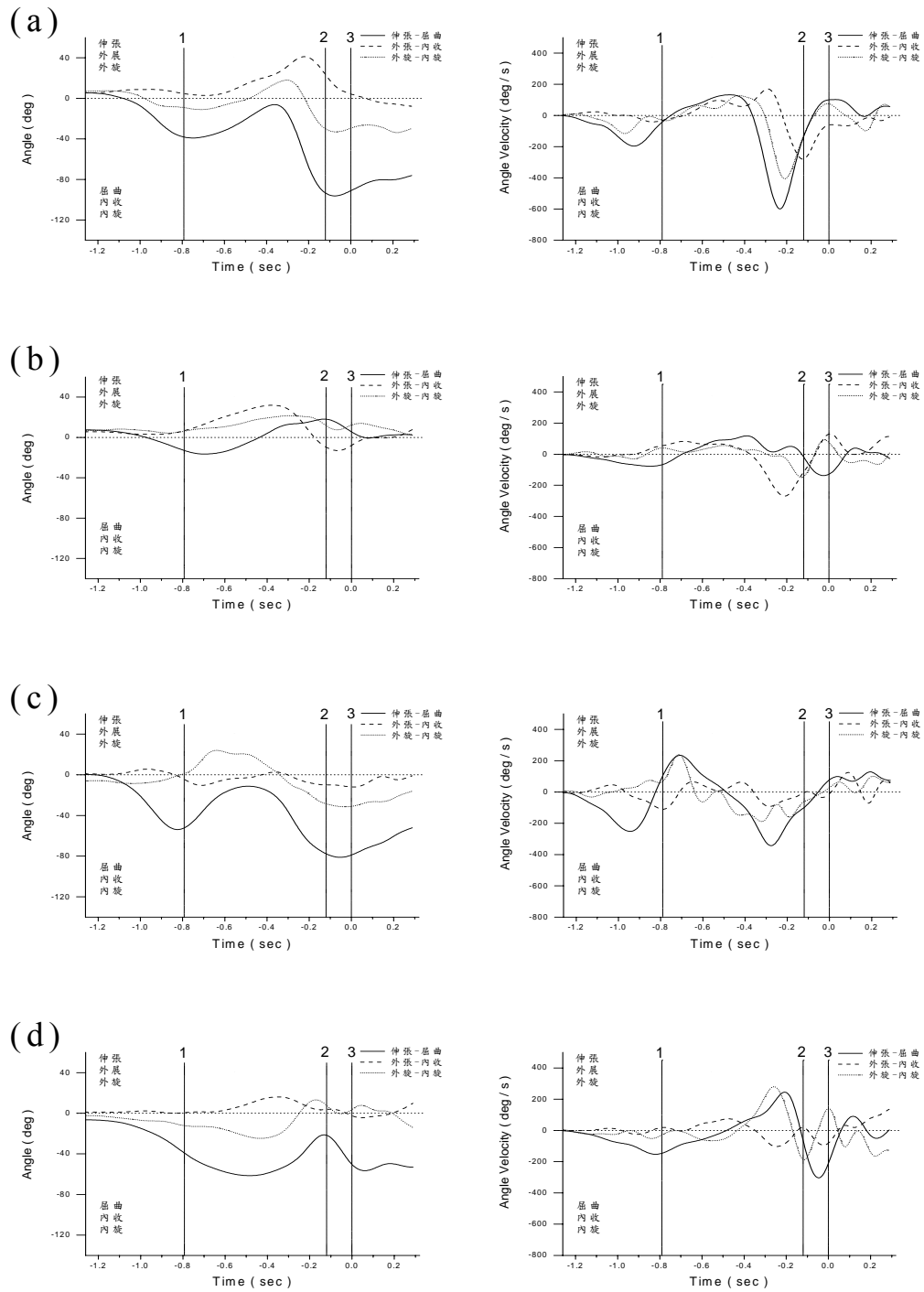


圖 8：初學者 C 髖、膝關節角度變化圖及角速度變化圖。(a) 前腳髖關節、(b) 後腳髖關節、(c) 前腳膝關節、(d) 後腳膝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

旋角速度的也同為本階段最高值。唯其伸張及外旋角速度最高值僅約優秀運動員的一半。由此可見初學者 C 在跨步及出手前階段中，前腳髖關節的動作與優秀運動員相當接近。

初學者 C 後腳髖關節變化路徑與優秀運動員相較，共有彎曲角度較小、伸展時機較早與旋轉角度不同三項差異。後腳髖關節彎曲角度較小相對的前腳著地前的可伸張角度就較小，加上髖關節伸張時機較早，造成髖關節最大伸張角速度很低，無法給予骨盆較高的轉旋速度。三號初學者後腳髖關節旋轉角度與前面幾位初學者一樣，在跨步階段一直處在外旋角度，因此後腳髖關節無法在前腳地前產生外旋動作，僅靠前腳的內旋動作做產生動量，能上傳到軀幹的動量自然較少。

初學者 C 前腳膝關節除抬腿時屈曲角度較小外，其餘和優秀運動員類似。在球離手時的前腳膝關節伸展角速度也不高，推測成因和初學者 A 相似。初學者 C 後腳膝關節與優秀運動員相較，共有跨步階段最大屈曲角速度過早出現及最大屈曲角度過晚出現兩項差異。初學者 C 後腳膝關節最大屈曲角速度出現在抬腿較高點，會降低抬腿高度，同時造成跨步階段不易平衡。

綜合以上的比較可以發現，優秀運動員由動作特徵上來看和初學者有許多不同。在抬腳階段，部份初學者並未能將前腳抬高，部份初學者後腳屈曲速度較優秀運動員大。在跨步階段，初學者未能將後腳保持在內旋角度，髖關節比膝關節早伸張。在上出手前階段，部份初學者進行的是屈曲及內旋的剎車動作，在球離手時上述兩項動作剛

好停止，優秀運動員則進行伸張及外旋動作。這些動作上的差異，是本研究中發現初學者投球過程中下肢運用與優秀運動員的差異點，若能在訓練上適當的加以調整，相信會對提升初學者投球效率有極大的幫助。

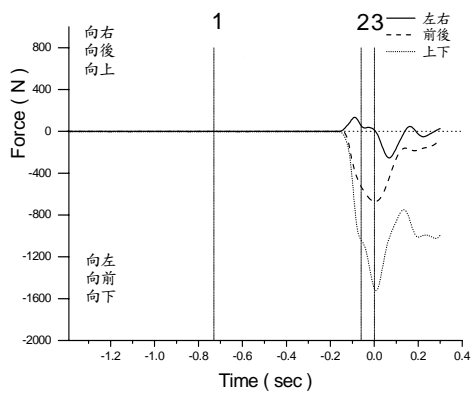
第二節 投球的下肢動力學特徵

本研究先將各受試者前測所得的關節動力學資料加以比較，來探討投球的不同程度的運動員下肢動力學特徵以了解良好投球動作在動力學上的特色。

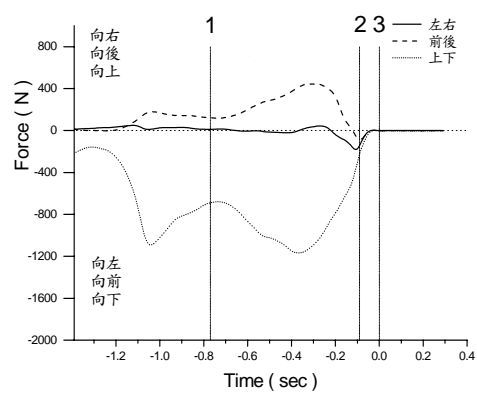
本研究所得動力學的資料包括了地面反作用力、關節力矩及功率的數值。功率的數值是由力矩及角速度內積得來，當角速度與力矩同為正或同為負，表示肌肉工作產生合力矩和動作方向一致，功率值即為正，此時肌肉進行向心工作；當角速度與力矩一為正另一為負，表示肌肉工作產生合力矩和動作方向相反，功率值即為負，此時肌肉進行離心工作。透過角速度、關節力矩及功率這三者的比較，便能了解下肢肌肉在投球的作用特徵。

一、對地面推力及衝量

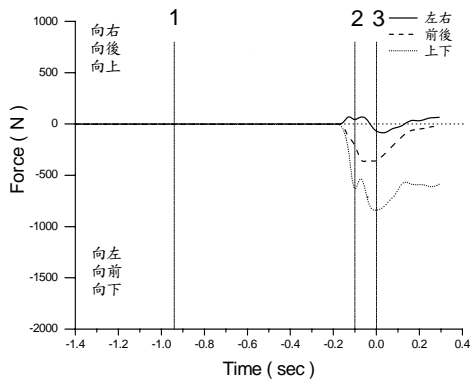
圖 9、10 顯示了優秀運動員及三名初學者兩腳對地面推力變化。由圖中可以發現，優秀運動員前腳對地面推力在前腳完全著地前開始發生，此時前腳只有部份碰觸到地面。在左右方向力量部份，前腳完全著地前，向右推力值微微增加然後減少。在上身加速階段左右力量值接近 0。



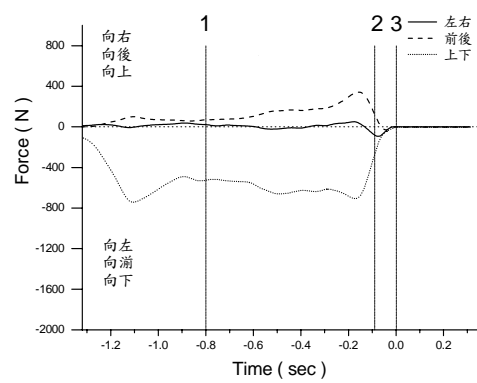
(a)



(b)

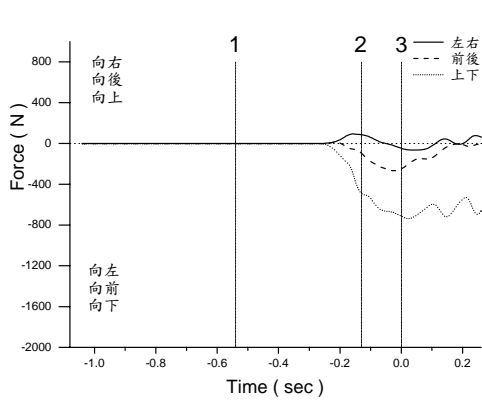


(c)

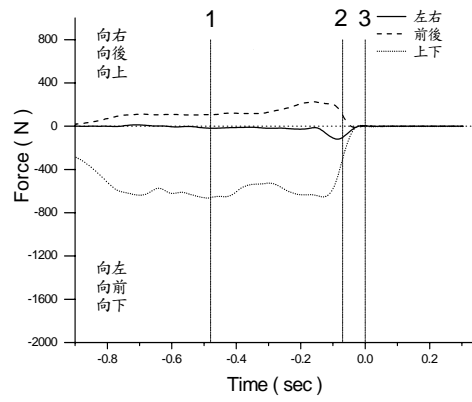


(d)

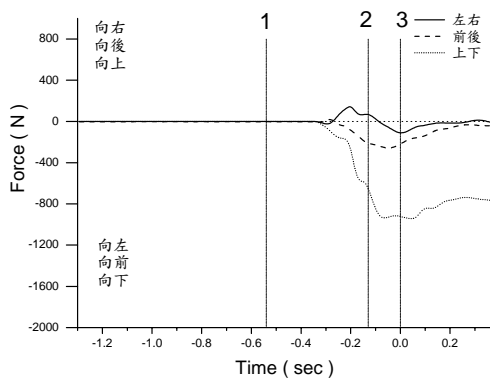
圖 9：優秀運動員及初學者 A 地面反作用力變化圖。(a)為優秀運動員前腳、(b)為優秀運動員後腳、(c)為初學者 A 前腳、(d)為初學者 A 後腳地面反作用力。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。



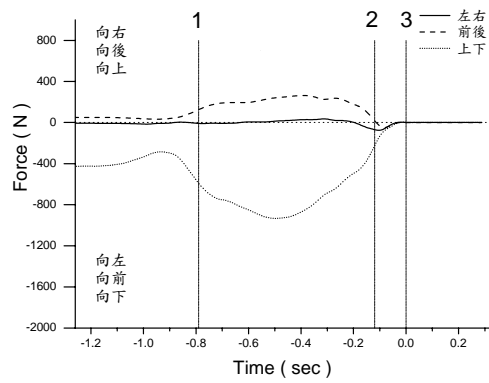
(e)



(f)



(g)



(h)

圖 10：初學者 B、C 地面反作用力變化圖。(e)為初學者 B 前腳、(f)為初學者 B 後腳、(g)為初學者 C 前腳、(h)為初學者 C 後腳地面反作用力。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

球離手後向左推力值增加，到達約 380N (0.4 倍體重) 後減少。這個值和其他方向比起來不大。這個力量的作用可能只是用來平衡投球動作。

在前後方向力量部份，前腳向前推力在前腳著地前開始發生，前腳著地後持續增加，球離手後出現最大值，最大值約為 700N (0.8 倍體重)，球離手逐漸減少。

在上下方向部份，向下推力在前腳著地前開始發生，到前腳著地時增加速度略有減緩，完全著地後又大量增加，球離手時到達最大值，最大值約為 1600N (1.7 倍體重)，離手後開始下降。

優秀運動員後腳向左推力在前腳著地前 0.2 秒開始發生，之後不斷增加。在前腳著地前一瞬間到達最大值約 180N (0.2 倍體重)，之後逐漸減少，在上身加速階段中期消失。

在前後方向力量部份，後腳向後推力在抬腳後 0.2 秒開始發生，之後一直維持在 150 N (0.2 倍體重)。前腳抬到最高點後約 0.1 秒開始再度增加，前腳著地前約 0.2 秒出現最大值，最大值約為 450N (0.5 倍體重)，之後逐漸減少，在前腳著地前消失。

在上下方向部份，後腳向下推力在隨著前腳抬起前開始增加，到前腳抬到最高點後前約 0.3 秒開始再度減少，前腳通過最高點後又開始增加，到前腳著地前 0.4 秒增加到最大值，最大值約為 1200N (1.3 倍體重)，之後開始下降。

在初學者前腳部份，由圖中可以發現其和優秀運動員前腳地面反作用力變化差異不大，只有最大值相差較多。

在前後方向部份，初學者 A 最大值 360 N (0.6 倍體重) ，初學者 B 最大值 270 N (0.4 倍體重) ，初學者 C 最大值 260 N (0.3 倍體重) 均較優秀運動員為小。

在上下方向部份，三位初學者的最大值均發生在球離手附近，但初學者 A 最大值 838 N (1.4 倍體重) ，初學者 B 最大值 740 N (1.2 倍體重) ，初學者 C 最大值 940 N (1.2 倍體重) 均較優秀運動員為小。

在初學者後腳部份，在左右方向部份由圖中可以發現，初學者 A 最大值出現在前腳著地後，和優秀運動員不同。初學者 B 及 C 則出現在前腳著地前，與優秀運動員相同。其數值與其他方向相較皆較小，對球速影響不大。

在前後方向部份，初學者 A 與初學者 B 變化與優秀運動員相似，但初學者 A 最大值 340 N (0.6 倍體重) ，初學者 B 最大值 220 N (0.3 倍體重) ，均小於優秀運動員。但兩位初學者最大值出現時間均為前腳著地前 0.05 秒，均比優秀運動員晚。初學者 C 最大值 240 N (0.3 倍體重) ，與優秀運動員不同的是初學者 C 在最後階段並未有較大起伏，可見初學者 C 在前腳通過最高點後皆處於出力前推的狀況。

在上下方向部份，初學者 A 與初學者 B 變化相似，在跨步階段並未有太大起伏。初學者 C 與優秀運動員較相似，但初學者 C 後腳在前腳到達最高點推力即開始增加。初學者 A 最大值 710 N (1.1 倍體重) ，初學者 B 最大值 650 N (1.0 倍體重) ，初學者 C 最大值 930 N (1.2 倍體重) ，均小於優秀運動員。

表 2 顯示了優秀運動員及三名初學者由抬腿開始到球

表 2：不同實驗參與者兩腳衝量平均值及標準差，負值表向後衝量，正值表向前衝量。

測試時間	前腳 (Ns)		後腳 (Ns)	
	平均值	標準差	平均值	標準差
優秀運動員	-72.55	3.06	252.06	6.43
初學者 A	-51.16	7.80	148.71	8.35
初學者 B	-31.45	3.59	119.18	5.48
初學者 C	-40.64	6.32	185.05	10.99

表 3：不同實驗參與者兩腳衝量單因子分析摘要表

變異來源	離均差平方和 (SS)	自由度 (DF)	均方 (MS)	F	η^2	power
前腳						
測試時間	4685.94	3	1561.98	50.80*	0.90	1.00
殘差	491.98	16	30.75			
全體	5177.92	19				
後腳						
測試時間	49199.14	3	16399.71	250.44*	0.98	1.00
殘差	1047.74	16	65.48			
全體	50246.87	19				

表 4：不同實驗參與者兩腳衝量事後比較表

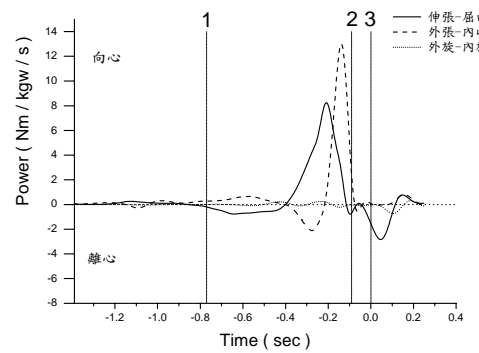
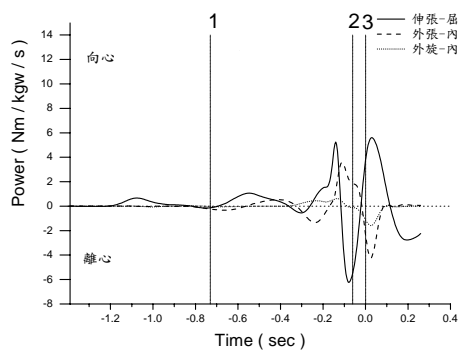
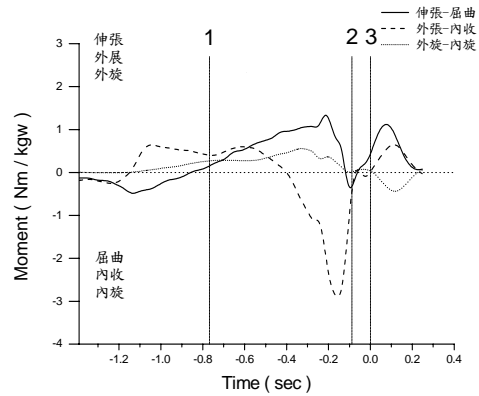
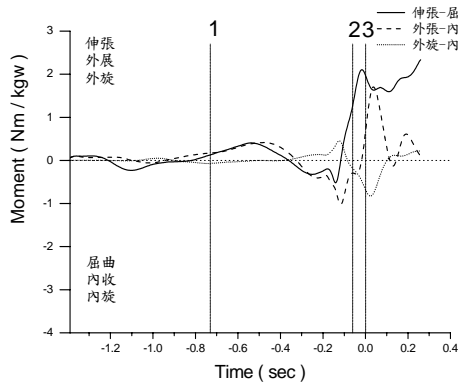
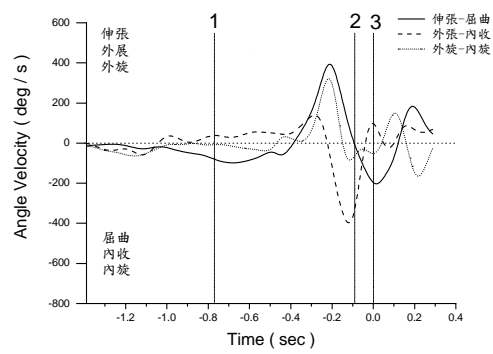
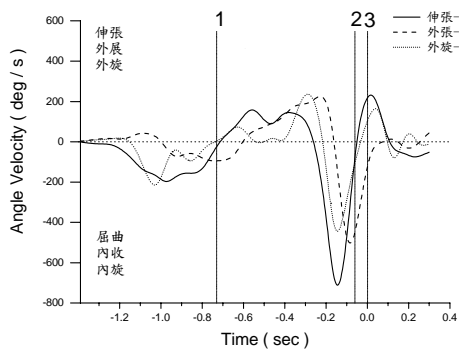
	前腳				後腳				
	優秀	A	B	C	優秀	A	B	C	
優秀	-	*	*	*	優秀	-	*	*	*
A		-	*	*	A		-	*	*
B			-		B			-	*
C				-	C				-

離手時兩腳的衝量值。由表中可知，優秀運動員前腳平均衝量為 $72.55 \pm 3.06 \text{Ns}$ ，後腳平均衝量為 $252.06 \pm 6.43 \text{Ns}$ 顯著大於初學者 A（前腳平均 $51.16 \pm 7.8 \text{Ns}$ ，後腳平均 $148.71 \pm 8.35 \text{Ns}$ ）、初學者 B（前腳平均 $31.45 \pm 3.59 \text{Ns}$ ，後腳平均 $119.18 \pm 5.48 \text{Ns}$ ）及初學者 C（前腳平均 $40.64 \pm 6.32 \text{Ns}$ ，後腳平均 $185.05 \pm 10.99 \text{Ns}$ ）（前腳 $F_{(3,16)} = 50.80$ ， $p < .05$ ， $\eta^2 = 0.90$ ，後腳 $F_{(3,19)} = 250.44$ ， $p < .05$ ， $\eta^2 = 0.98$ ，）。可見參與者能前後腳能產生的衝量越高，愈能創造愈高的球速。

二、優秀運動員下肢關節力矩、功率

圖 11-13 顯示了優秀運動員兩腳髖、膝及踝關節的角速度、力矩及功率變化圖。由圖 11 左側可以發現，前腳髖、膝關節在抬腿階段只有微小的屈曲力矩變化，髖膝關節屈肌也只有功率微小向心工作產生。顯示進行抬腿並不需要太多的肌肉力矩。

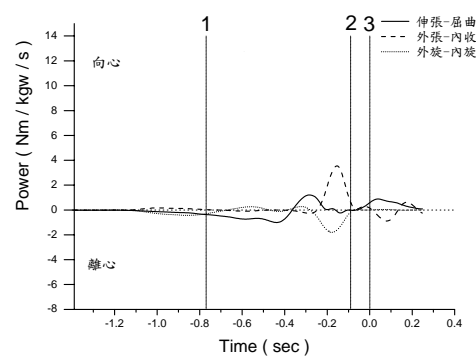
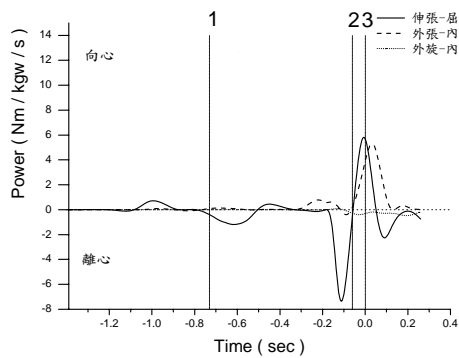
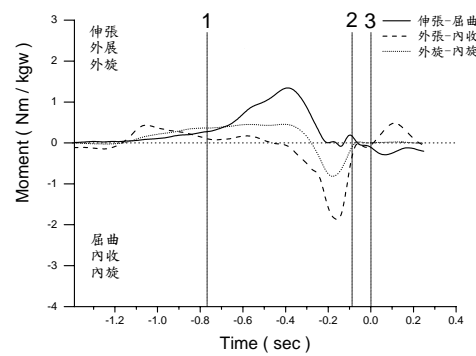
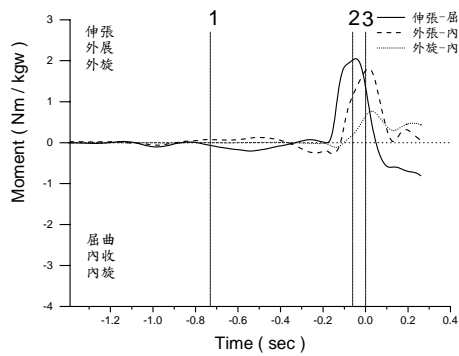
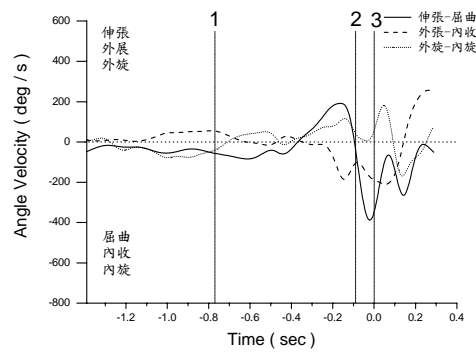
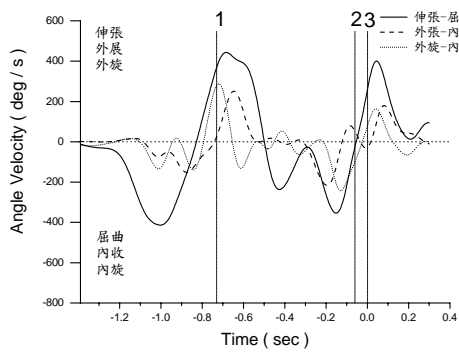
到了跨步的前半階段，前腳髖關節主要進行伸張動作，同時也出現伸張力矩，可見伸肌正在進行功率極小的向心工作。在外展-內收部份，由髖關節角速度圖得知，此時髖關節進行了一次內收及一次外展，結果只有產生外展力矩，可以得知外展肌群進行了一次離心工作及一次向心工作。在旋轉部份，則只有極微小的力矩發生，顯示旋轉肌群未有太大工作產。到了跨步階段後半段，髖關節開始快速屈曲，並產生大量的屈曲力矩，此時則有大量的屈肌進行向心收縮。前腳著地前一剎那髖關節屈曲力矩方向反轉，由屈曲力矩變為伸張力矩，顯示髖關節肌群工作方式



(a)

(b)

圖 11：優秀運動員腕關節角速度變化圖（上側）力矩變化圖（中側）及功率變化圖（下側）。(a)為前腳腕關節、(b)為後腳腕關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。



(a)

(b)

圖 12：優秀運動員膝關節角速度變化圖（上側）力矩變化圖（中側）及功率變化圖（下側）。(a)為前腳踝關節、(b)為後腳踝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

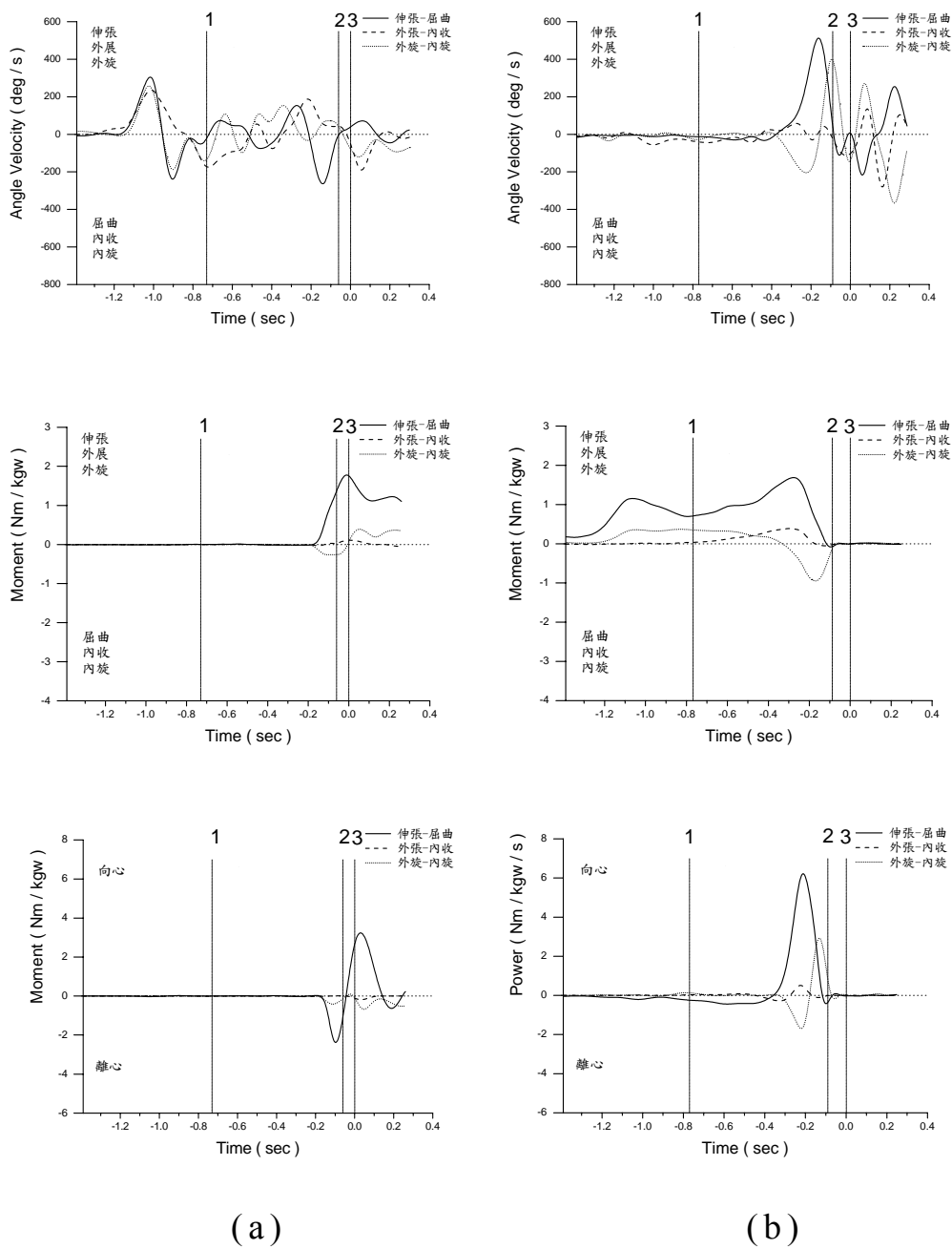


圖 13：優秀運動員踝關節角速度變化圖（上側）力矩變化圖（中側）及功率變化圖（下側）。(a)為前腳踝關節、(b)為後腳踝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

由屈肌向心工作變為伸肌離心工作。同一階段，在外展-內收部份則進行內收動作，同時產生內收力矩，顯示此時髖關節內收肌群進行向心工作。在旋轉部份雖有大量的內旋動作，卻只有少量的外旋力矩，可以發現外旋肌群進行功率微小的離心收縮。

進入出手前階段後，髖關節結束屈曲進行伸張，伸張力矩持續增加，髖關節伸肌由離心工作轉變為向心工作。同一階段髖關節內收肌群則延續之前的向心工作。在旋轉動作上，由內旋動作變為外旋動作，外旋力矩變為內旋力矩，由功率圖上顯示工作肌群由內旋肌群進行離心工作。

球離手後，前腳髖關節伸肌仍然持續向心工作，但漸漸變為離心工作，進行伸張減速功能。外展肌群在球離手後進行離心工作，維持身體內收減速。旋轉肌群則持續一段時間的離心工作來進行減速，之後工作功率漸漸減少。

圖 11 右側為後腳髖膝關節角速度、力矩及功率變化，在抬腿階段後腳髖膝關節只有微小的力矩及角速度，髖關節肌肉也只有微小工作產生。進入跨步的前半階段，髖關節同具有伸張、外展及外旋力矩，但只有微小角速度變化，顯示伸張、外展及外旋肌群正產生等長工作。到了跨步的後半階段，髖關節開始伸張，伸張肌群進行了一次功率較大向心工作。內收肌群在一次功率較小的離心工作之後進行一次功率較小向心工作。此時髖關節雖有大量的外旋角速度，但只有較小的旋外力矩，可見旋外肌群進行一次功率較小的向心工作。

進入出手前階段後，隨著後腳的逐漸離地，各動作力矩值逐漸消失，各肌群工作功率逐漸降低。球離手後，出

現了伸張、外展及外旋的力矩，除屈肌有較大離心工作來減緩向前速度外，其餘大多以等長工作方式作用。可見在出手後跟隨動作階段主要的減速肌肉為屈肌。

圖 12 左側為前腳膝關節角速度、力矩及功率變化，在抬腿階段膝關節雖然有大幅的彎曲動作，但只有微小的屈曲力矩，顯示只有功率微小的屈肌向心工作。進入跨步的前半階段，膝關節進行伸張，但只有微小的屈曲力矩，顯示膝關節屈肌正在做功率微小離心工作。造成伸張的動作的力量來源是地心引力，屈肌離心工作的目的在控制伸張速度。伸張完成後再度屈曲的時候，並無太大的力矩產生，此時肌肉工作功率接近 0。在著地前 0.1 秒，膝關節更進一步屈曲，卻出現大量伸張力矩，顯示膝關節伸肌群進行了一次功率較大的離心收縮，來控制前腳膝關節不致錯過著地點。

著地後，前腳膝關節進行伸張，協助支撐身體，此時有很大伸張力矩，膝關節伸肌做向心工作。比較特殊的是，此時出現了頗大的外展力矩，顯示外展肌群大量向心工作。球離手後各項力矩逐漸減少，肌肉工作功率逐漸減低，只有在最後出現屈曲力矩，顯示減緩身體向前速度的主要肌群是屈肌的離心工作。

圖 12 右側為後腳膝關節角速度、力矩及功率變化，在抬腿階段後腳膝關節雖然有屈曲動作，但速度不快，伸張力矩不大，顯示只有功率微小的伸肌作離心收縮，以抵抗身體向下所造成的屈曲力矩。進入跨步的前半階段，膝關節仍在屈曲，但角速度不大，卻出現大量的伸張力矩，功率圖中顯示伸肌正在離心工作。當膝關節伸張開始發生時，

伸張力矩為最大，出現伸肌的向心工作，推測這個伸張力矩的目的是將身體向前推進。前腳著地前，伸張力矩消失，肌肉工作功率也消失，膝關節仍持續伸展到著地。在膝關節伸展完成後伴隨很大的內收及內旋力矩，此時膝關節進行的是內收及內旋的動作，可見此時膝關節內收肌群正在向心工作、旋轉肌群正在離心工作。

進入出手前階段後，隨著後腳離地，膝關節各項力矩消失。球離手後後腳膝關節出現屈曲力矩及外展力矩，顯示屈肌做向心工作，內收肌離心工作將膝蓋屈曲，以減緩球離手後身體向前旋轉的旋轉半徑，以維持平衡。

由圖 13 中可以發現，優秀運動員的前腳踝關節在著地前才開始出現背曲力矩，對照角速度圖，此時是進行蹠曲，因此是背曲肌群進行離心工作。前腳著地後，背曲力矩持續增加，到球離手時為最高。此時踝關節動作轉為背曲，因此背曲肌群進行向心工作。球離手後，背曲力矩持續發生，踝關節仍持續進行背曲動作，但背曲速度逐漸減少乃至停止。因此踝關節背曲肌群向心工作隨著背曲動作逐漸減少乃至停止。

在後腳踝關節部份，背曲力矩由抬腿階段中期開始發生，一直持續到前腳著地時消失，但後腳踝關節只有在跨步階段後期才有較大背曲動作，因此可知後腳踝關節背曲肌群只有在跨步階段後期才有向心工作發生，跨步階段前期則是等長工作。

三、初學者 A 下肢關節力矩、功率

圖 14 左側為初學者 A 前腳腕關節角速度、力矩及功

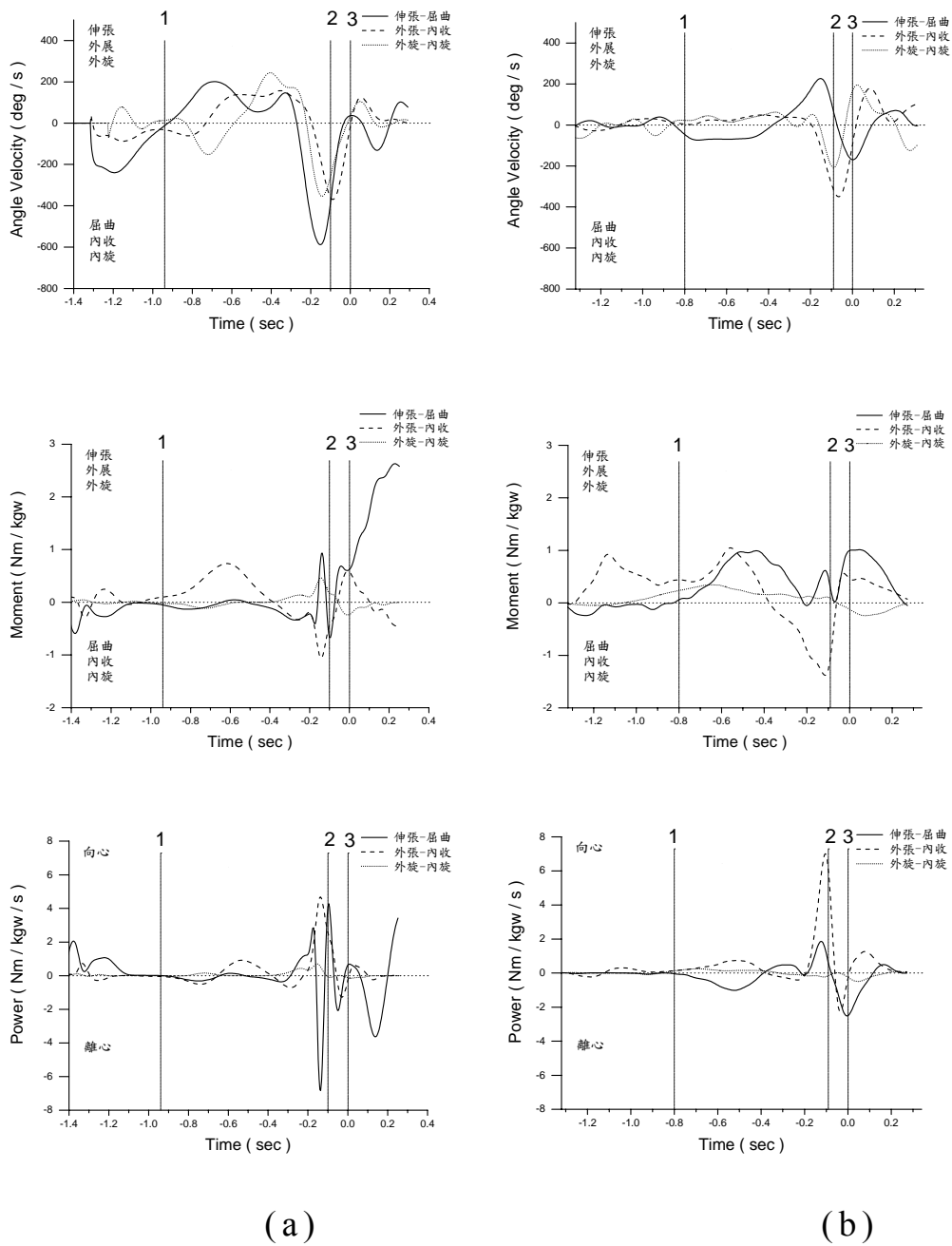


圖 14：初學者 A 腕關節角速度變化圖（上側）力矩變化圖（中側）及功率變化圖（下側）。(a)為前腳踝關節、(b)為後腳踝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

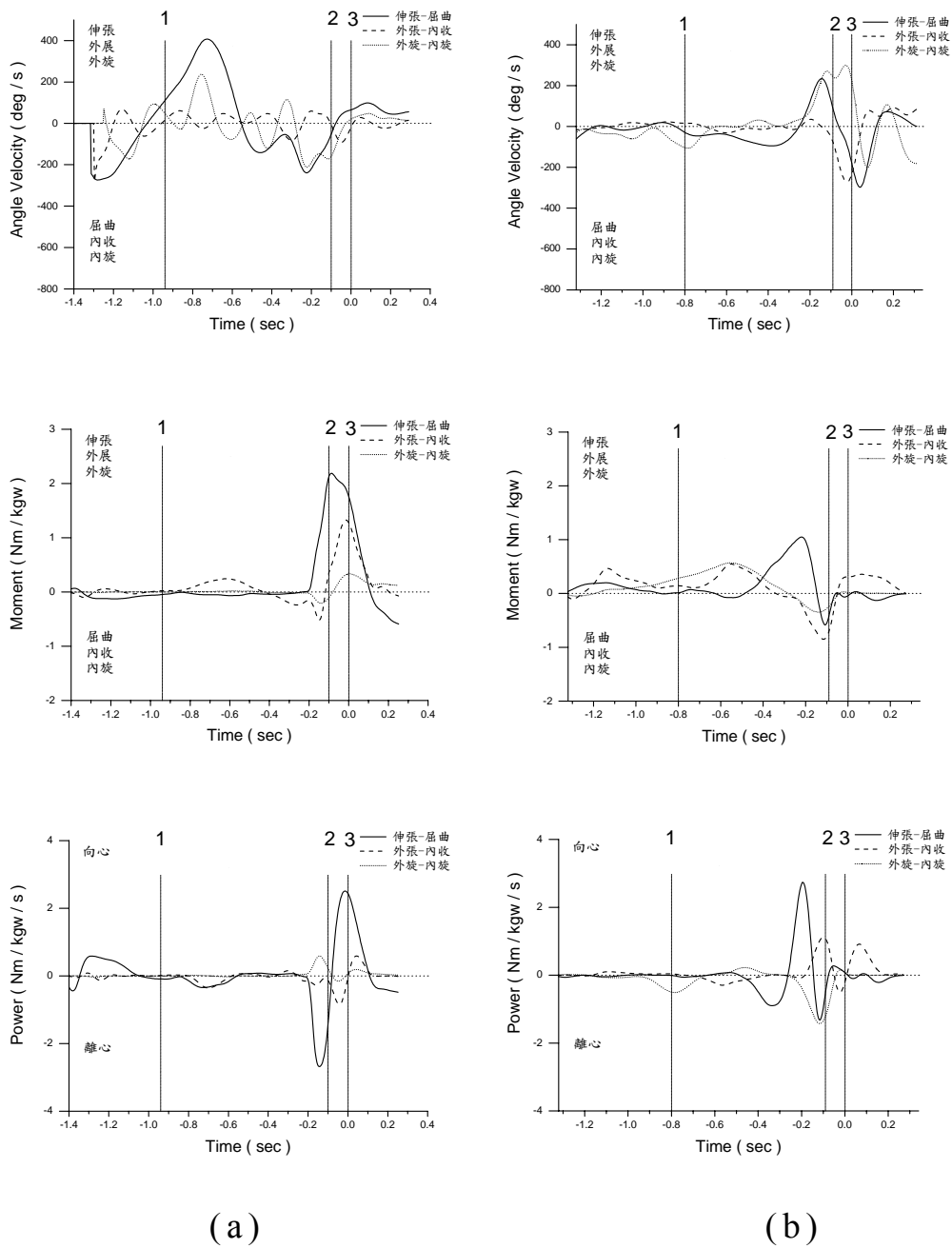


圖 15：初學者 A 膝關節角速度變化圖（上側）力矩變化圖（中側）及功率變化圖（下側）。(a)為前腳踝關節、(b)為後腳踝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

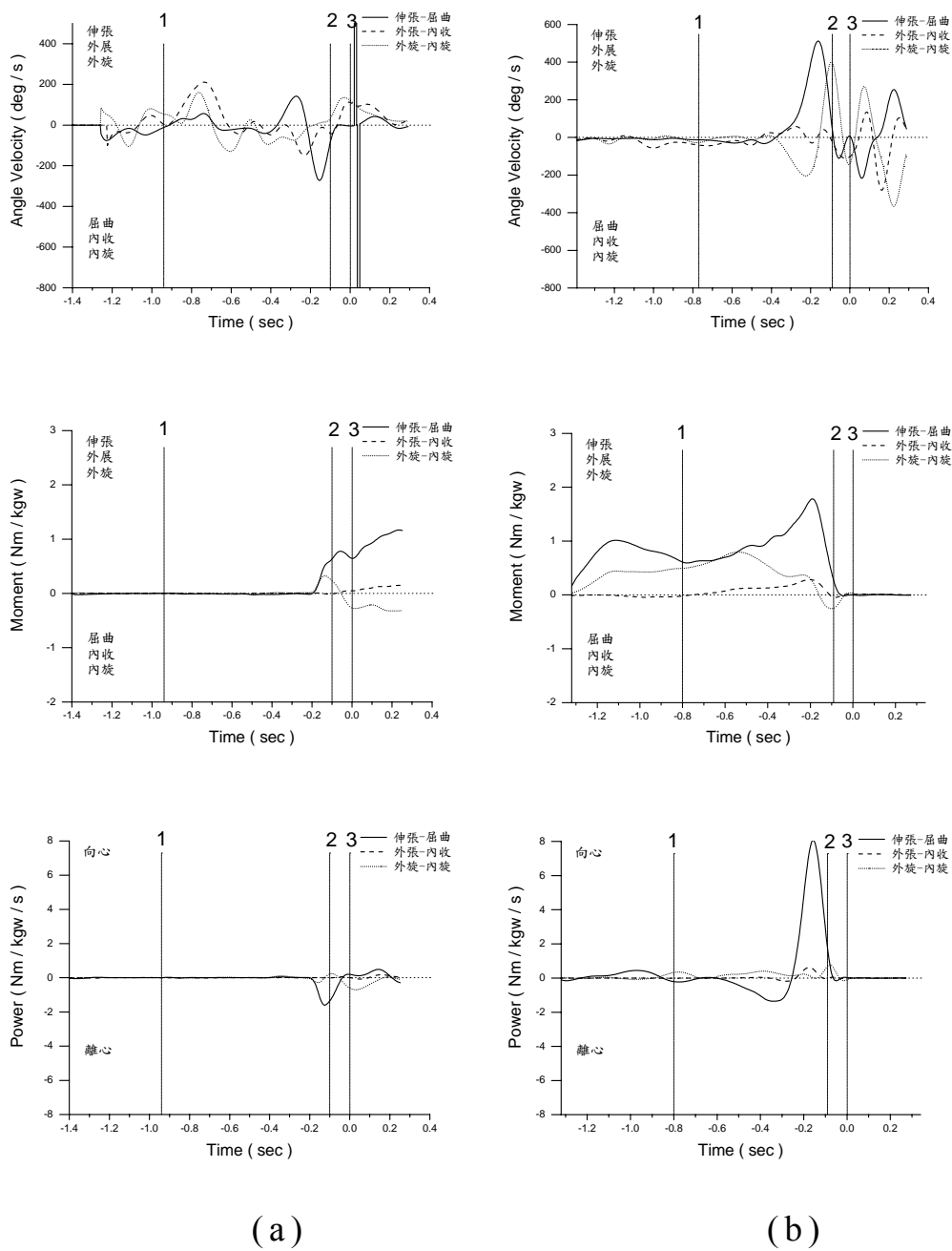


圖 16：初學者 A 踝關節角速度變化圖（上側）力矩變化圖（中側）及功率變化圖（下側）。(a) 為前腳踝關節、(b) 為後腳踝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

率變化圖，在抬腿及跨步階段，初學者 A 的力矩值與肌肉工作模式與優秀運動員極為類似，但仔細比較之下，仍有不同之處。在此階段前期，優秀運動員有伸張力矩及外展力矩產生，而一號初學者則只有外展力矩無伸張力矩。顯示此一階段兩者用來進行伸張動作的肌群並不相同，但由於此階段，兩者的動作相似。顯示使用不同的肌群並不會影響動作結果。

進入出手前階段，兩者的前腳髖關節力矩出現極大的不同。優秀運動員的伸張力矩在整個加速期持續出現，而初學者 A 則在前腳著地前出現不同變化，髖關節伸張力矩反轉為屈曲力矩，上身加速階段中屈曲力矩再度反轉為伸張力矩，顯示肌肉作用方式也由伸肌離心工作轉變為屈肌向心工作再轉變為伸肌離心工作。由於伸肌的離心工作會減低髖關節屈曲的速度，曲肌的向心工作會加快髖關節屈曲的速度，因此上身加速期的肌肉工作造成加速-減速-加速-減速再加速的動作，這樣的肌肉運用方式推測是初學者 A 無法有效控制高速旋轉中的髖關節所形成。此外在本階段中外展內收肌群的作用特徵則與優秀運動員無差異。旋轉肌群部份由於力矩值較小，作用較不明顯。

出手後的跟隨階段裡有相當大的伸展力矩產生，但是此時前腳髖關節主要是進行屈曲動作，明顯的是髖關節伸肌在作離心工作，以達成減速目的。

圖 14 右側為初學者 A 後腳髖關節角速度、力矩及功率變化圖。初學者 A 的力矩值與肌肉收縮模式與優秀運動員仍極為類似，只有在跨步階段後期前腳著地前，發生了伸張力矩減少再增加的現象，而優秀運動員在同一時期伸

張力矩則是到著地前才減少。比對兩者功率圖後，顯示隨著伸展力矩的減少再增加，使後腳髖關節伸肌向心工作時間較短，工作功率值較優秀運動員小，伸肌未出現像同一時期優秀運動員的大工作功率。

到了出手前階段，初學者 A 後腳髖關節出現優秀運動員所沒有的外展力矩，加上此時初學者 A 進行內收動作，顯示此時初學者 A 外展肌群進行離心工作減緩內收速度。到球離手後再轉為外展肌群向心工作，抑制身體向前移動。在此階段中，初學者 A 出現優秀運動員所沒有的外展力矩，顯示初學者 A 產生多餘力矩來減速，動作效率較低。整個投球過程中雖有內旋及外旋動作，但旋轉力矩很小，旋轉肌群未有太多工作產生。

圖 15 為初學者 A 膝關節角速度、力矩及功率變化圖，在左側前腳膝關節部份，初學者 A 的力矩值與力量收縮模式與優秀運動員仍極為類似，只有在上身加速階段初學者 A 伸張角速度較小，使得其伸肌向心工作功率遠低於優秀運動員。

在圖 15 右側前腳膝關節部份，初學者 A 的力矩值與力量工作模式與優秀運動員仍極為類似，但仔細比對之下初學者 A 的內收及旋轉力矩極不明顯，不像優秀運動員內收肌群仍扮演重要角色。同時著地前肌肉收縮方式出現了一次反轉，顯示曲肌進行了一次離心收縮來減低後膝關節伸展速度。

在圖 16 右側前腳踝關節部份，初學者 A 的力矩值與力量收縮模式與優秀運動員有所不同，前腳著地後踝關節並未有背曲動作，使得前腳踝關節背曲肌群只有在著地前

後有離心工作，不像優秀運動員有明顯的向心工作產生。

在後腳踝關節部份，初學者 A 的力矩值與力量收縮模式與優秀運動員則極為類似，只有在前腳著地前後腳踝關節背曲肌群離心工作較明顯，其餘則無不同。

整個過程看來，一號初學者使用較多的肌肉工作來完成類似的動作，是較無效率的工作方式。

四、初學者 B 下肢關節力矩、功率

圖 17 為初學者 B 髖關節角速度、力矩及功率變化圖，在前腳髖關節部份，抬腿開始到跨步階段前期，初學者 B 的抬腿動作較優秀運動員小，因此有較小的屈曲及伸張動作，在力矩值上也只有微小的外展力矩作用。在前腳著地到出手前階段，各力矩的變化情形和優秀運動員相似，但力矩值上則小很多，加上中間並無太多的伸張動作，顯示前腳髖關節伸肌大部份時都在做離心工作，減緩髖關節的屈曲速度。在此階段中外展內收肌群的作用與優秀運動員無差異。旋轉肌群部份由於力矩值較小，作用較不明顯。

圖 17 右側為初學者 B 後腳髖關節角速度、力矩及功率變化圖，在整個過程中，只有在前腳著地前，外展力矩有較大向心工作，其餘幾乎無力矩產生或進行等長工作。可見初學者 B 幾乎在整個投球過程中後腳髖關節的活動肌群主要為外展肌群。

圖 18 為初學者 B 膝關節角速度、力矩及功率變化圖，在前腳膝關節部份，初學者 B 的前腳膝關節力矩值與力量工作模式與優秀運動員仍極為類似，只有在前腳著地前出現了一個屈曲力矩，由於此時膝關節在進行屈曲，因此是

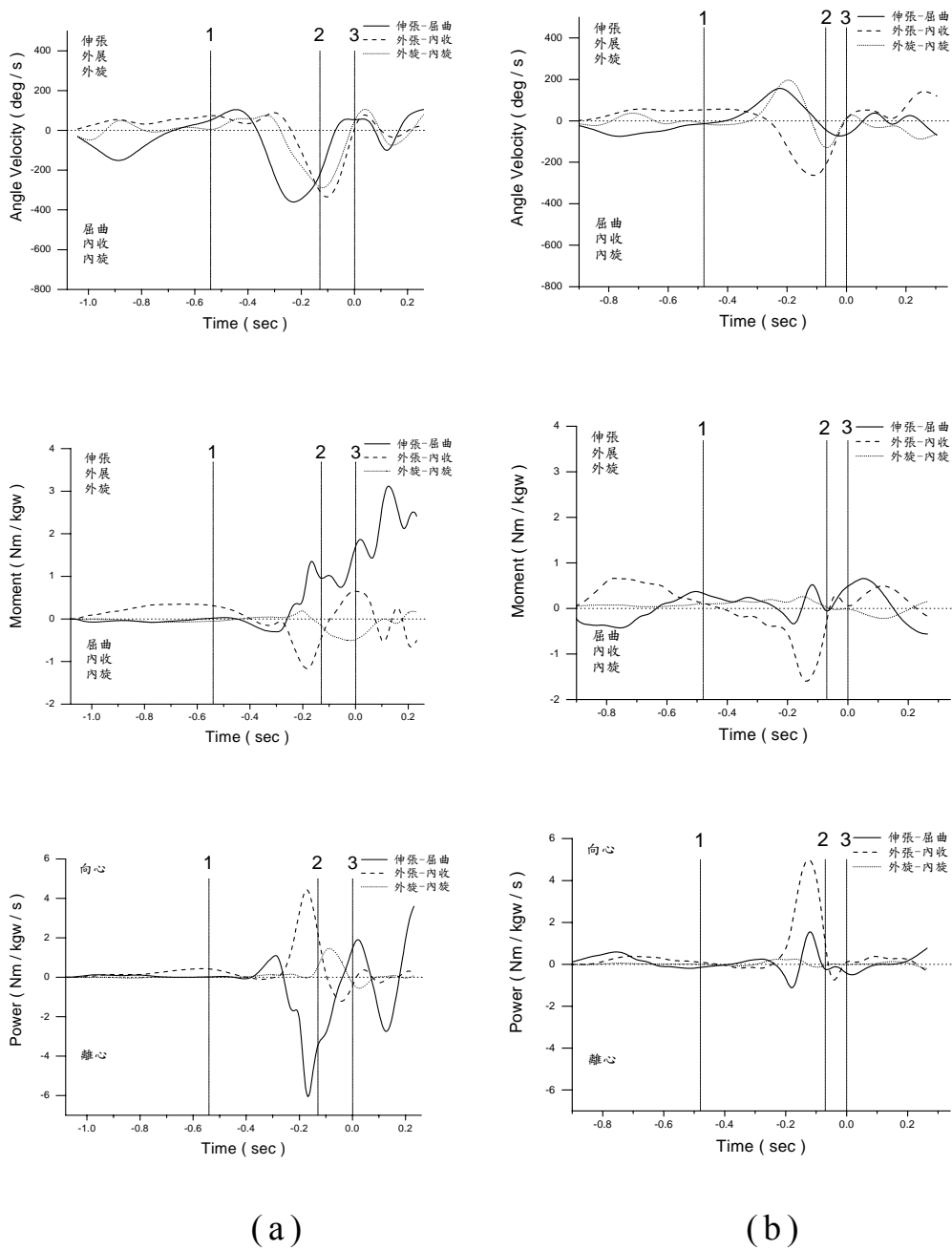


圖 17：初學者 B 髁關節角速度變化圖（上側）力矩變化圖（中側）及功率變化圖（下側）。(a)為前腳髁關節、(b)為後腳髁關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

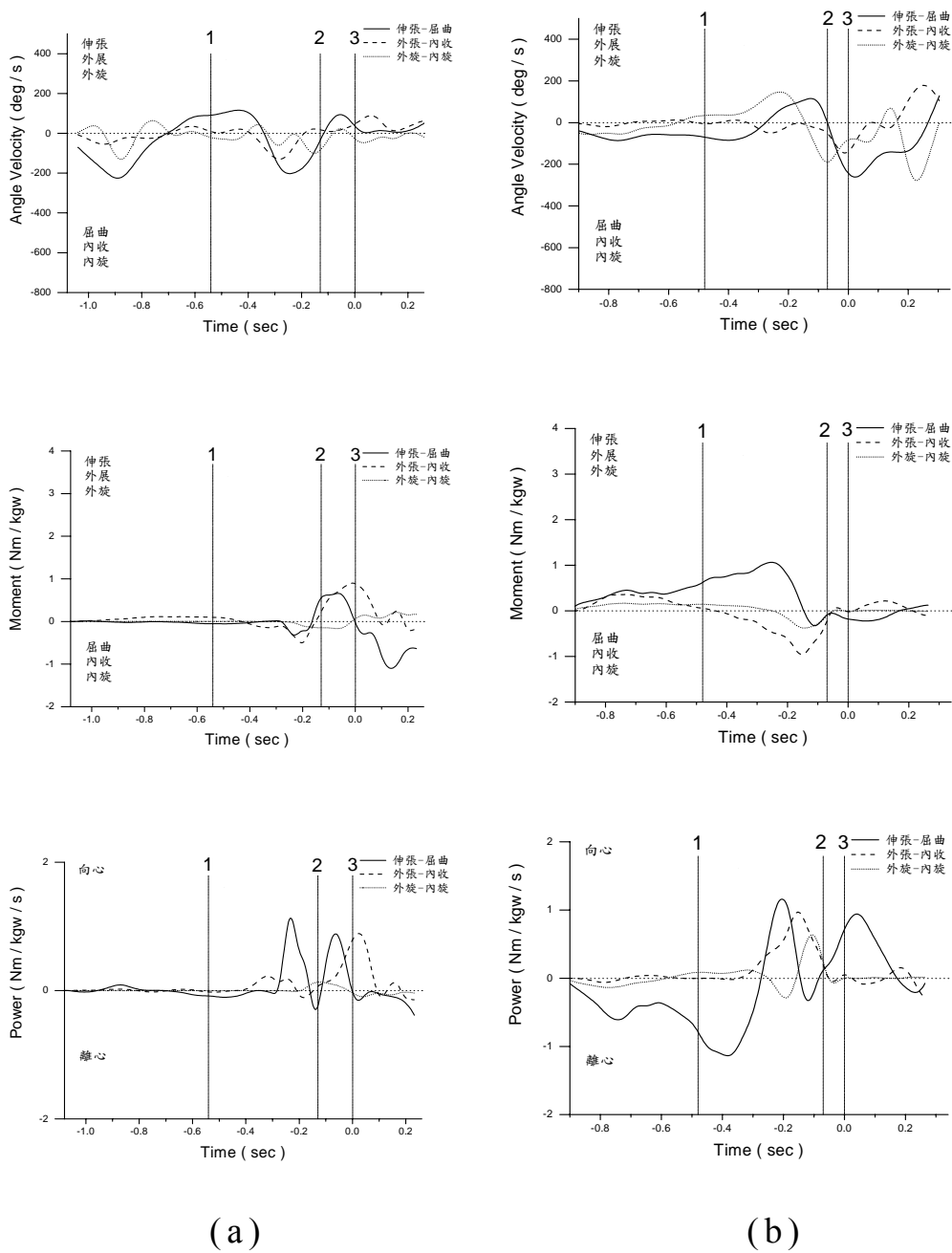


圖 18：初學者 B 膝關節角速度變化圖（上側）力矩變化圖（中側）及功率變化圖（下側）。(a)為前腳膝關節、(b)為後腳膝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

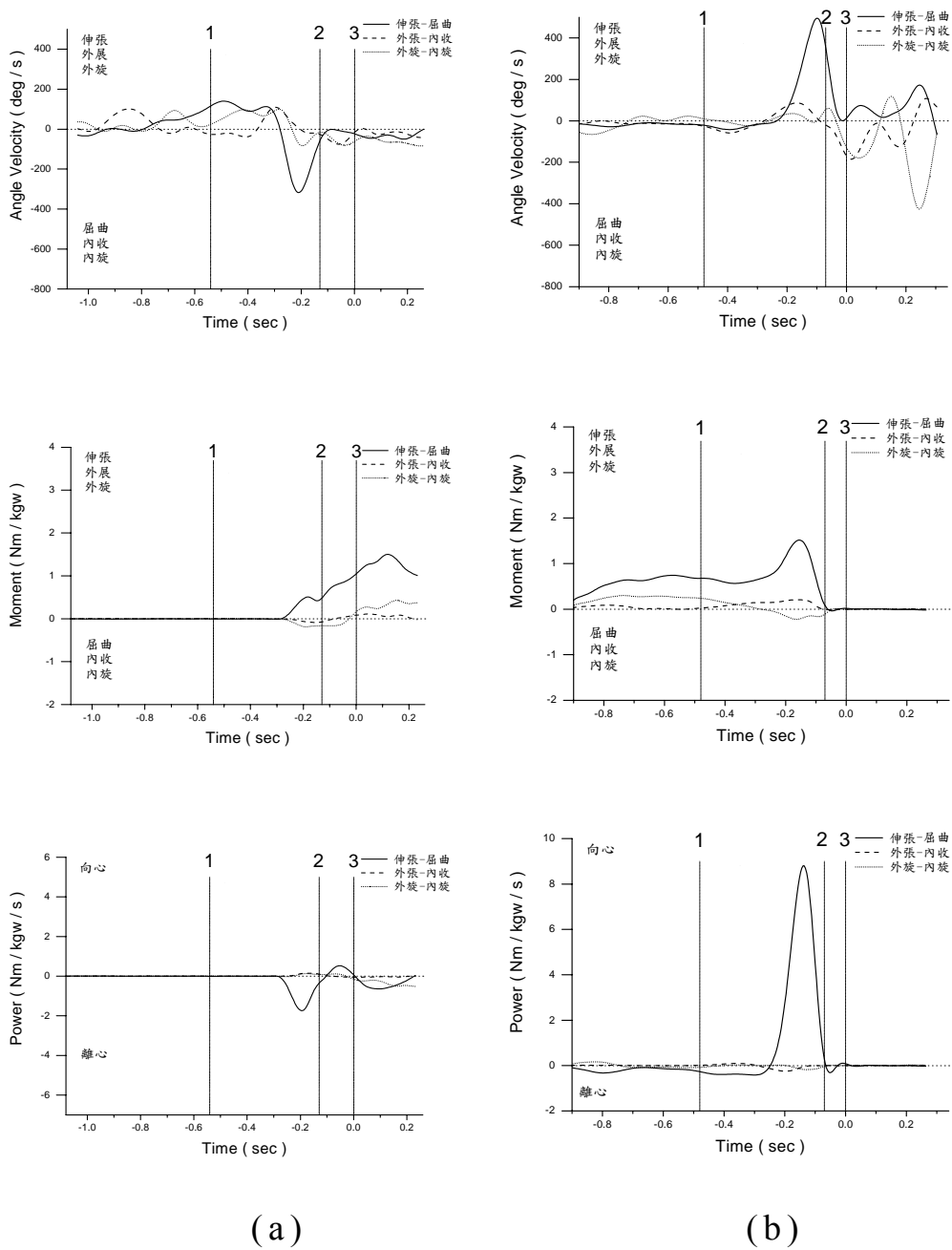


圖 19：初學者 B 踝關節角速度變化圖（上側）力矩變化圖（中側）及功率變化圖（下側）。(a)為前腳踝關節、(b)為後腳踝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球

屈肌在做向心工作。在優秀運動員身上，此時只有伸肌離心工作，沒有屈肌在做向心工作。顯示初學者 B 需要用屈肌來進行屈曲，而優秀運動員不用，可見初學者 B 效率較差。進入上身加速階段後，其力矩變化模式與優秀運動員除極值外則無太大差異。顯示初學者 B 除肌力較差外，前腳膝關節在這階段的動作模式與優秀運動員相似。

在圖 18 右側後腳膝關節部份，初學者 B 在抬腿初期，出現了一個較大的伸張力矩，對照角運動圖後發現此時為屈曲動作，可見是伸肌在進行離心工作。與優秀運動員相較，此工作出現較早，工作時間較長，可能是初學者希望有較好的控制。其餘階段的力矩變化模式則與優秀運動員除極值外則無太大差異。

在圖 19 右側前腳踝關節部份，初學者 B 的力矩值與力量工作模式與優秀運動員相似，但背曲力矩的最大值則不同於優秀運動員，在球離手後才出現。與優秀運動員相同的是前腳踝關節背曲肌群在著地前有離心工作，在著地後則有向心工作，向心工作在球離手前就逐漸停止。

在後腳踝關節部份，初學者 A 的力矩值與力量工作模式與優秀運動員極為類似，只有背曲肌群向心收縮功率較優秀運動員大，其餘則無不同。

五、初學者 C 下肢關節力矩、功率

圖 20 左側為初學者 C 前腳腕關節角速度、力矩及功率變化圖，與優秀運動員相較，初學者 C 在跨步階段前期前腳腕關節出現了一個屈曲力矩，由於此時腕關節在進行伸張，因此是腕關節屈肌在做離心工作，此時優秀運動員

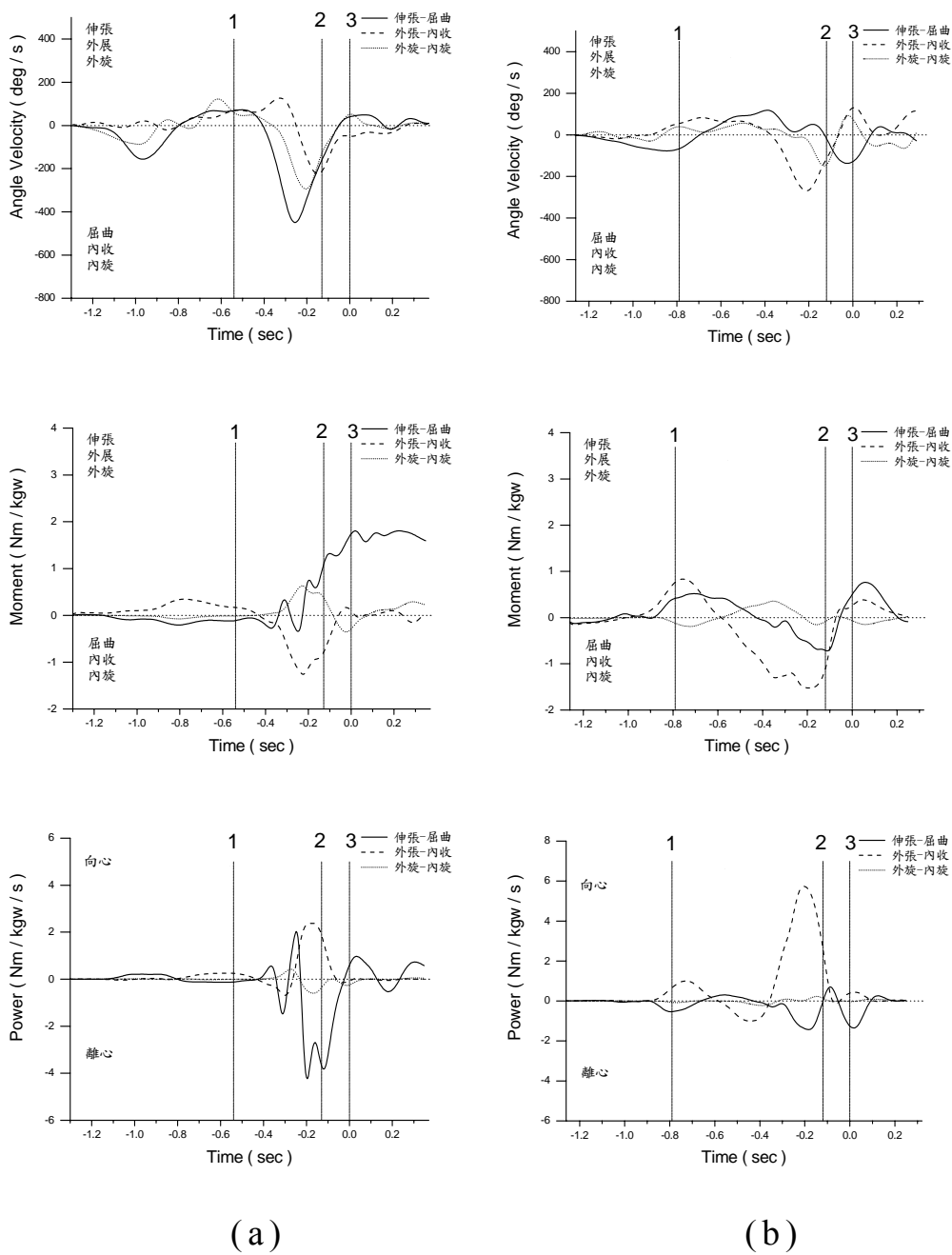


圖 20：初學者 C 腕關節角速度變化圖（上側）力矩變化圖（中側）及功率變化圖（下側）。(a)為前腳踝關節、(b)為後腳踝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

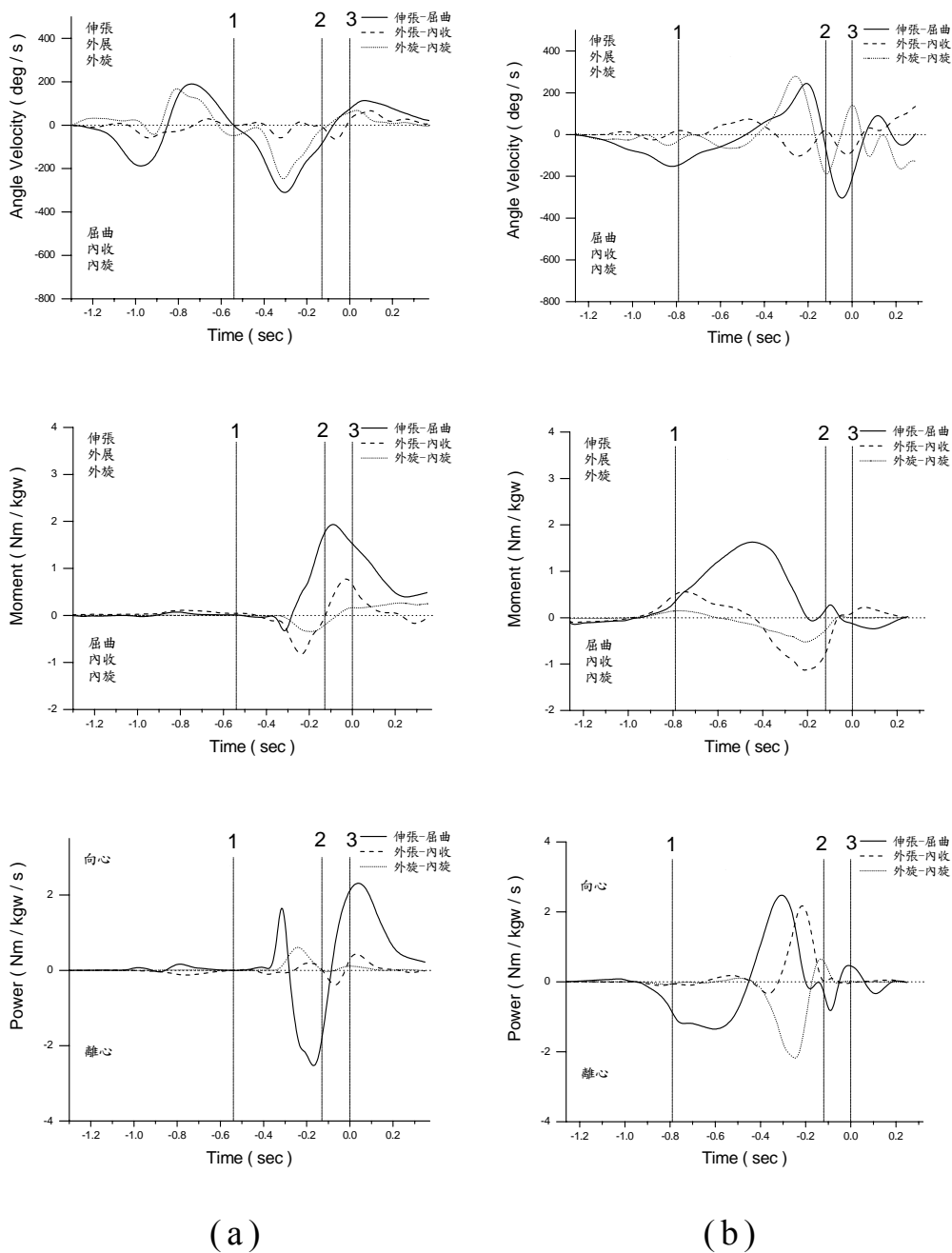


圖 21：初學者 C 膝關節角速度變化圖（上側）力矩變化圖（中側）及功率變化圖（下側）。(a)為前腳踝關節、(b)為後腳踝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

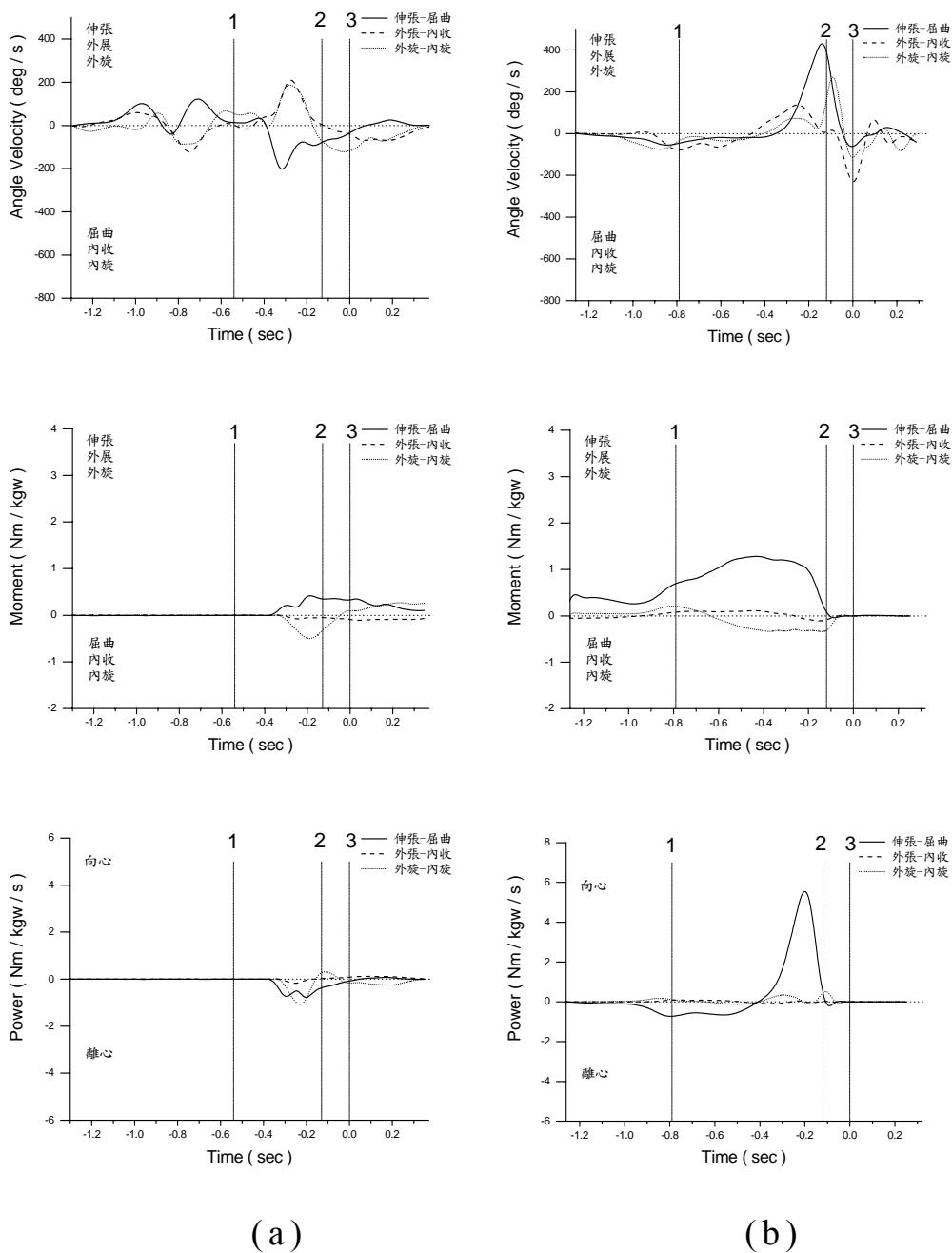


圖 22：初學者 C 踝關節角速度變化圖（上側）力矩變化圖（中側）及功率變化圖（下側）。(a)為前腳踝關節、(b)為後腳踝關節。1 為前腳抬到最高時間、2 為前腳著地時間、3 為球離手時間。

是伸肌做向心工作。推測這個不同，可能是初學者控制前腳伸張速度所造成。進入跨步階段後期，髖關節進行屈曲動作時，拌隨一次功率微小的伸肌的離心工作，在優秀運動員身並未見到。整個過程髖關節出現了伸展-彎曲-再伸展的力矩，顯示其肌肉工作模式為伸肌離心-曲肌向心-伸肌離心的工作特徵。此時優秀運動員僅有屈肌向心-伸肌離心的收縮變化，可見初學者 C 多出一個減速的動作來控制前腳著地。前腳著地後的上身加速期其肌肉作用模式則和優秀運動員相似。

圖 20 右側為初學者 C 後腳髖關節角速度、力矩及功率變化圖，與優秀運動員相較，在整個跨步階段中，後腳髖關節屈曲力矩變化上呈現了完全相反的走向，初學者 C 先出現伸張力矩再出現屈曲力矩，由於此階段其伸展速度都很微小，因此伸肌大多是等長工作，直到後半段才由屈肌在做離心工作，相較之下優秀運動員是到最後伸肌才做向心工作，兩者收縮變化相反。可見初學者 C 在此時正在抑制後後腳髖關節伸張。

圖 21 為初學者 C 膝關節角速度、力矩及功率變化圖，在前腳膝關節部份，與優秀運動員相較，其伸張動作比較早出現，伸肌較早做離心收縮。前腳著地後屈曲力矩變化及肌肉工作模式則與優秀運動員相似。

圖 21 右側部份為初學者 C 後腳膝關節角速度、力矩及功率變化圖，與優秀運動員相較，只有旋轉力矩比內收力矩較早出現，顯示旋轉肌群工作比內收肌群早，其餘部份則與優秀運動員相似。

圖 22 為初學者 C 踝關節角速度、力矩及功率變化圖，

在前腳踝關節部份，與優秀運動員相較，其背曲力矩比較早出現，但由於踝關節沒有背曲動作，因此整個投球過程踝關節背曲肌群做離心收縮。後腳踝關節部份，則與優秀運動員相似。

由優秀運動員與三名初學者的比較可以發現，初學者 A 在前腳著地前出現多餘的力矩變化，初學者 B 有較多的離心收縮來抵抗重力作用，初學者 C 有較多的離心收縮來進行動作控制。整體來看，大部份的多餘力矩出現的目的可能都是在於獲得更多的控制。

根據前一節的討論得知，優秀運動員與三名初學者的在跨步階段後腳腕、膝關節的伸展時序有差異。經比較優秀運動員與三名初學者的力矩圖後發現，在跨步階段優秀運動員的後腳腕、膝關節伸張力矩同時發生，但膝關節伸張力矩最大值較早出現，大約在前腳著地前 0.30 秒。腕關節伸張力矩最大值較晚出現，大約在前腳著地前 0.15 秒出現。在三名初學者身上，膝關節伸張力矩最大值都比腕關節伸張力矩最大值晚出現。這個結果顯示，膝、腕關節在跨步階段的伸張力矩最大值出現的時序是可能是下肢運用的一個重要關鍵。

第三節 各練習階段的下肢力矩

本實驗目的在了解初學者在學習過程下肢所產生的變化，因此每兩週對初學者進行測試，收集初學者學習過程中的球速及運動學、動力學各項資料。經處理後，每人每

次得到三筆較完整前腳資料及三筆較完整後腳資料可以進行分析。為了解三名初學者的學習成果，本實驗先將其四次測試期間的平均球速進行分析。

三名初學者不同練習階段收集所得的球速資料整理如表 2，並繪製成圖 21。由圖中可以發現，初學者 A 在前測到第四週的測試中球速不斷降低，第六週稍有回升。經單因子變異數分析後發現（表 3），四次球速間有顯著差異產生（ $F(3,20)=27.28$ ， $p < .05$ ， $\eta^2=0.80$ ）。經事後比較發現，第二週平均球速 24.73 ± 0.46 m/s 及第四週平均球速 23.63 ± 0.56 m/s 顯著低於前測平均球速 25.90 ± 0.26 m/s。

初學者 B 及初學者 C 不同練習階段收集所得的球速資料如圖 13，在前測到第四週的測試中球速不斷升高，第六週稍有降低。經單因子變異數分析後發現（表 3），四次球速間有顯著差異存在（初學者 B 之 $F(3,20)=9.40$ ， $p < .05$ ， $\eta^2=0.59$ ；初學者 C 之 $F(3,20)=7.57$ ， $p < .05$ ， $\eta^2=0.53$ ）。經事後比較後發現，第四週測試期間兩人平均球速（初學者 B 為 25.98 ± 1.60 m/s；初學 C 為 25.66 ± 0.67 m/s）顯著高於前測（初學者 B 為 22.55 ± 1.83 m/s；初學 C 為 22.71 ± 1.97 m/s）。由以上分析結果得知，三位初學者在學習過程球速皆有變化。為了更深入了解學習期間初學者的下肢變化，因此本實驗再對下肢髖、膝關節力矩進行分析。根據之前的文獻（MacWilliams et al, 1998；Elliott et al, 1988）指出，投球過程中後腳的推蹬及前腳著地後的支撐是影響球速的重要關鍵，因此取出手前階段的前腳最大力矩及跨步階段的後腳最大力矩進行進一步比較，結果整理如圖 14-圖 16 及表 6-表 16。

表 5：初學者不同測試時間球速平均值及標準差

測試時間	參與者 A(m/s)		參與者 B(m/s)		參與者 C(m/s)	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
前測	25.90	0.26	22.55	1.83	22.71	1.97
第二週	24.73	0.46	23.62	1.01	23.96	0.62
第四週	23.63	0.56	25.98	1.60	25.66	0.67
第六週	25.33	0.49	25.86	0.63	24.90	0.65

表 6：初學者不同測試期間球速變化單因子分析摘要表

變異來源	離均差平方和 (SS)	自由度 (DF)	均方 (MS)	F	η^2	power
初學者 A						
測試時間	16.96	3	5.65	27.28*	0.80	1.00
殘差	4.14	20	0.21			
全體	21.10	23				
初學者 B						
測試時間	51.62	3	17.21	9.40*	0.59	0.99
殘差	36.62	20	1.83			
全體	88.24	23				
初學者 C						
測試時間	29.09	3	9.70	7.57*	0.53	0.96
殘差	25.61	20	1.28			
全體	54.70	23				

表 7：初學者不同測試期間球速變化的事後比較表

	初學者 A				初學者 B				初學者 C			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	*	*		1	-	*	*	1	-	*	*
2		-			2		-	*	2		-	
3			-	*	3			-	3			-
4				-	4			-	4			-

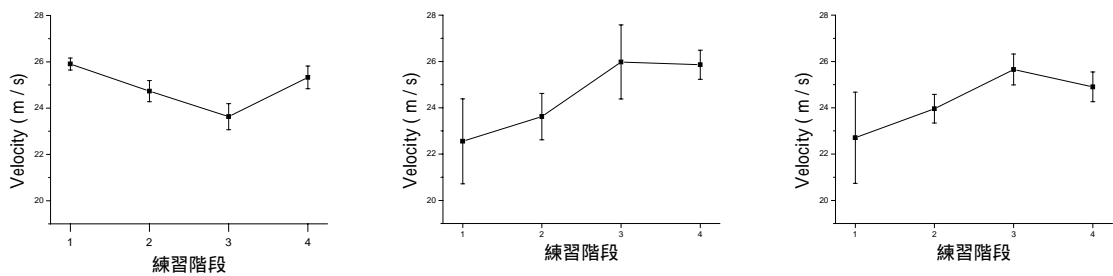


圖 23：三名初學者訓練期間球速平均值及標準差。

一．初學者 A

圖 14 為初學者 A 不同練習階段前後髌、膝關節力矩最大值的平均值及標準差，經單因子變異變分析後得知(表 6)，在前腳腕關節部份，外展力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 4.83$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.64$)，經事後比較後得知，第四週外展力矩最大值 (1.45 ± 0.15 Nm/kgw) 大於第六週的外展力矩最大值 (0.79 ± 0.30 Nm/kgw)。各週與前測則無顯著差異。伸張力矩在不同期間有顯著差異 ($F_{(3,8)} = 38.22$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.93$)，經事後比較後得知，前測伸展力矩最大值 (0.87 ± 0.21 Nm/kgw) 小於第二、四、六週的伸展力矩最大值 (第二週 1.31 ± 0.13 Nm/kgw；第四週 1.96 ± 0.04 Nm/kgw；第六週 1.55 ± 0.02 Nm/kgw)。內旋力矩 ($F_{(3,8)} = 2.59$, $p > .05$, $\eta^2 = 0.49$) 則無顯著差異。

在後腳腕關節部份，經單因子變異變分析後得知 (表 6)，內收力矩在不同練習階段有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 5.26$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.66$)，經事後比較後得知，第四週內收力矩最大值 (1.90 ± 0.10 Nm/kgw) 顯著大於第二週的內收力矩最大值 (1.33 ± 0.11 Nm/kgw)。與前測相較則

表 8：初學者 A 不同測試期間下肢關節力矩平均值及標準差

練習階段	外展-內收		伸張-屈曲		內旋-外旋	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
初學者 A-前腳腕關節(外展、伸張、內旋)						
前測	0.90	0.29	0.87	0.21	0.36	0.11
第二週	1.22	0.18	1.31	0.13	0.65	0.14
第四週	1.45	0.15	1.96	0.04	0.61	0.16
第六週	0.79	0.30	1.55	0.02	0.45	0.16
初學者 A-後腳腕關節(內收、伸張、外旋)						
前測	1.54	0.31	1.03	0.03	0.30	0.07
第二週	1.33	0.11	1.24	0.14	0.35	0.07
第四週	1.90	0.10	0.05	0.08	0.55	0.10
第六週	1.51	0.12	0.93	0.17	0.42	0.01
初學者 A-前腳膝關節(外展、伸張、外旋)						
前測	1.31	0.06	2.19	0.15	0.38	0.09
第二週	1.38	0.08	2.42	0.07	0.44	0.04
第四週	1.66	0.19	2.52	0.04	0.87	0.08
第六週	0.97	0.26	2.48	0.21	0.54	0.10
初學者 A-後腳膝關節(內收、伸張、內旋)						
前測	0.86	0.11	0.90	0.14	0.37	0.04
第二週	0.91	0.10	1.16	0.14	0.38	0.07
第四週	1.25	0.12	1.96	0.08	0.49	0.04
第六週	0.94	0.09	1.41	0.28	0.41	0.01

表 9：初學者 A 不同測試時間腕關節力矩單因子分析摘要表

變異來源	離均差平方和 (SS)	自由度 (DF)	均方 (MS)	F	η^2	power
參與者 A-前腳腕關節						
外展						
練習階段	0.82	3	0.27	4.83 *	0.64	0.70
殘差	0.45	8	0.06			
全體	1.27	11				
伸張						
練習階段	1.85	3	0.62	38.22 *	0.93	1.00
殘差	0.13	8	0.02			
全體	1.98	11				
內旋						
練習階段	0.17	3	0.06	2.59	0.49	0.43
殘差	0.17	8	0.02			
全體	0.34	11				
參與者 A-後腳腕關節						
內收						
練習階段	0.52	3	0.17	5.26 *	0.66	0.74
殘差	0.26	8	0.03			
全體	0.78	11				
伸張						
練習階段	2.50	3	0.83	57.27 *	0.96	1.00
殘差	0.12	8	0.01			
全體	2.61	11				
外旋						
練習階段	0.11	3	0.04	7.49 *	0.74	0.88
殘差	0.04	8	0.00			
全體	0.15	11				

表 10：初學者 A 不同測試時間膝關節力矩單因子分析摘要表

變異來源	離均差平方和 (SS)	自由度 (DF)	均方 (MS)	F	η^2	power
初學者 A-前腳膝關節						
外展						
練習階段	0.72	3	0.24	8.29 *	0.76	0.92
殘差	0.23	8	0.03			
全體	0.95	11				
伸張						
練習階段	0.20	3	0.07	3.74	0.58	0.58
殘差	0.14	8	0.02			
全體	0.34	11				
外旋						
練習階段	0.42	3	0.14	21.83 *	0.89	1.00
殘差	0.05	8	0.01			
全體	0.48	11				
初學者 A-後腳膝關節						
內收						
練習階段	0.28	3	0.09	8.42 *	0.76	0.92
殘差	0.09	8	0.01			
全體	0.36	11				
伸張						
練習階段	1.83	3	0.61	20.22 *	0.88	1.00
殘差	0.24	8	0.03			
全體	2.07	11				
內旋						
練習階段	0.03	3	0.01	4.19 *	0.61	0.64
殘差	0.02	8	0.00			
全體	0.04	11				

表 11：初學者 A 不同測試時間下肢關節力矩事後比較表

初學者 A-前腳腕關節

	外展				伸張				內旋				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	-				1	-	*	*	*	1	-		
2		-			2		-	*		2		-	
3			-	*	3			-	*	3			-
4				-	4				-	4			-

初學者 A-後腳腕關節

	內收				伸張				外旋				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	-				1	-		*		1	-		*
2		-	*		2		-	*		2		-	*
3			-		3			-	*	3			-
4				-	4				-	4			-

初學者 A-前腳膝關節

	外展				伸張				外旋					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	-				1	-				1	-		*	
2		-			2		-			2		-	*	
3			-	*	3			-		3			-	*
4				-	4				-	4				-

初學者 A-後腳膝關節

	內收				伸張				內旋				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	-		*		1	-		*	*	1	-		*
2		-	*		2		-	*		2		-	
3			-	*	3			-	*	3			-
4				-	4				-	4			-

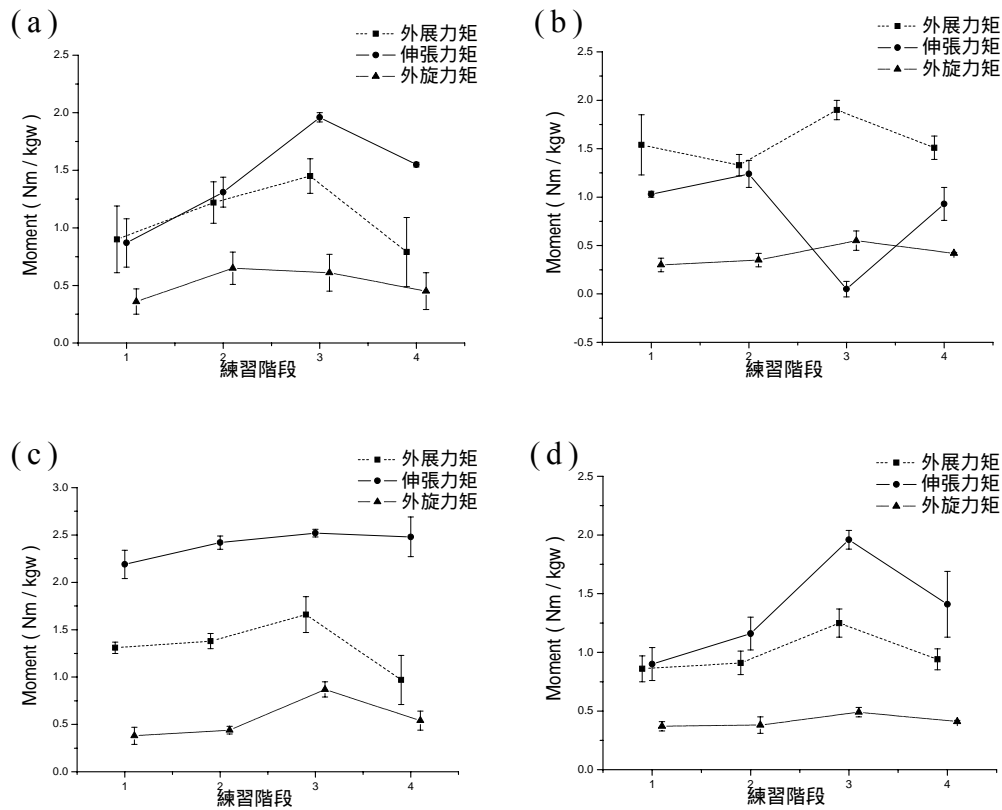


圖 24：初學者 A 練習過程中髖、膝關節最大力矩平均數及標準差。(a)為前腳髖關節，(b)為後腳髖關節，(c)為前腳膝關節，(d)為後腳膝關節。

無顯著差異。伸張力矩在不同練習階段有顯著差異產生 ($F_{(3,8)}=57.27$, $p < .05$, $\eta^2=0.96$)，經事後比較後得知，前測伸展力矩最大值 (1.03 ± 0.03 Nm/kgw) 顯著大於第四週的伸張力矩最大值 (0.05 ± 0.08 Nm/kgw)。外旋力矩在不同練習階段有顯著差異產生 ($F_{(3,8)}=7.49$, $p < .05$, $\eta^2=0.74$)，經事後比較後得知，第四週旋轉力矩最大值 (0.55 ± 0.10 Nm/kgw) 顯著大於前測的旋轉力矩最大值 ($0.30 \pm$

0.07 Nm/kgw)。

在前腳膝關節部份，經單因子變異變分析後得知（表 7），外展力矩在不同期間有顯著差異產生（ $F_{(3,8)}=8.29$ ， $p<.05$ ， $\eta^2=0.76$ ），經事後比較後得知，第四週外展力矩最大值平均（ 1.66 ± 0.19 Nm/kgw）顯著大於第六週的外展力矩最大值（ 0.97 ± 0.26 Nm/kgw），兩者與前測則無顯著差異。伸張力矩在不同期間無顯著差異產生（ $F_{(3,8)}=3.74$ ， $p>.05$ ， $\eta^2=0.58$ ）。外旋力矩在不同期間有顯著差異產生（ $F_{(3,8)}=21.83$ ， $p<.05$ ， $\eta^2=0.89$ ），經事後比較後得知，第四週外旋力矩最大值（ 0.87 ± 0.08 Nm/kgw）顯著大於前測的外旋力矩最大值（ 0.38 ± 0.09 Nm/kgw）。

在後腳膝關節部份，經單因子變異變分析後得知（表 7），外展力矩在不同期間有顯著差異產生（ $F_{(3,8)}=8.42$ ， $p<.05$ ， $\eta^2=0.76$ ），經事後比較後得知，第四週外展力矩最大值平均（ 1.25 ± 0.12 Nm/kgw）顯著大於前測的外展力矩最大值（ 0.86 ± 0.11 Nm/kgw）。伸張力矩在不同期間有顯著差異產生（ $F_{(3,8)}=20.22$ ， $p<.05$ ， $\eta^2=0.88$ ）。經事後比較後得知，第四、六週伸張力矩最大值（第四週 1.96 ± 0.08 Nm/kgw；第六週 1.41 ± 0.28 Nm/kgw）顯著大於前測的伸張力矩最大值（ 0.90 ± 0.14 Nm/kgw）。內旋力矩在不同期間有顯著差異產生（ $F_{(3,8)}=4.19$ ， $p<.05$ ， $\eta^2=0.61$ ），經事後比較後得知，第四週伸展力矩最大值（ 0.49 ± 0.04 Nm/kgw）顯著大於前測的伸展力矩最大值（ 0.37 ± 0.04 Nm/kgw）。

綜合初學者 A 結果可以發現，初學者 A 在第二週測試期間的上身加速階段只有前腳腕關節伸張力矩開始變大，

到了第四週測試期間前、後腳腕關節及後腳膝關節都發生改變。前腳腕關節伸張力矩變大、後腳腕關節伸展力矩變小，後腳膝關節伸展力矩反而變大。

初學者 B

圖 14 為顯示初學者 B 不同練習階段前後腕、膝關節力矩的平均值與標準差，在前腳腕關節部份，經單因子變異變分析後得知（表 10），外展力矩在不同練習階段有顯著差異產生（ $F_{(3,8)}=5.63$ ， $p<.05$ ， $\eta^2=0.68$ ），經事後比較後得知，第六週伸張力矩最大值（ 1.16 ± 0.33 Nm/kgw）顯著大於前測的伸張力矩最大值（ 0.54 ± 0.20 Nm/kgw）。伸張力矩在不同練習階段有顯著差異產生（ $F_{(3,8)}=7.14$ ， $p<.05$ ， $\eta^2=0.73$ ），經事後比較後得知，第二週伸張力矩最大值（ 2.02 ± 0.23 Nm/kgw）顯著大於第四、六週的伸張力矩最大值（第四週 1.18 ± 0.39 Nm/kgw；第六週 1.00 ± 0.16 Nm/kgw），但各次測試間與前測皆無顯著差異產生。旋轉力矩間亦無顯著差異產生（ $F_{(3,8)}=2.00$ ， $p>.05$ ， $\eta^2=0.43$ ）。

在後腳腕關節部份，內收力矩在不同期間則無顯著差異產生（ $F_{(3,8)}=2.99$ ， $p>.05$ ， $\eta^2=0.53$ ）。伸張力矩在不同期間有顯著差異產生（ $F_{(3,8)}=14.40$ ， $p<.05$ ， $\eta^2=0.84$ ），經事後比較後得知，第四、六週伸張力矩最大值（ 1.37 ± 0.23 Nm/kgw）及第六週伸張力矩最大值（ 1.23 ± 0.15 Nm/kgw）顯著大於前測的伸張力矩最大值（ 0.60 ± 0.12 Nm/kgw），但第四週及第六週間則無顯著差異產生。外旋力矩在不同期間有顯著差異產生（ $F_{(3,8)}=5.58$ ， $p<.05$ ， $\eta^2=0.68$ ），經

表 12：初學者 B 不同測試期間下肢關節力矩平均值及標準差

練習階段	外展-內收		伸張-屈曲		內旋-外旋	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
初學者 B-前腳腕關節(外展、伸張、內旋)						
前測	0.54	0.20	1.26	0.34	0.47	0.12
第二週	0.67	0.02	2.02	0.23	0.65	0.02
第四週	0.94	0.12	1.18	0.39	0.60	0.16
第六週	1.16	0.33	1.00	0.16	0.77	0.23
初學者 B-後腳腕關節(內收、伸張、外旋)						
前測	1.52	0.08	0.60	0.12	0.25	0.01
第二週	1.25	0.34	0.87	0.09	0.47	0.19
第四週	1.25	0.32	1.37	0.23	0.71	0.28
第六週	1.74	0.08	1.23	0.15	0.75	0.05
初學者 B-前腳膝關節(外展、伸張、外旋)						
前測	0.84	0.18	0.80	0.18	0.02	0.03
第二週	1.02	0.04	1.23	0.02	0.17	0.09
第四週	1.41	0.12	1.33	0.03	0.28	0.09
第六週	1.46	0.25	1.53	0.18	0.42	0.12
初學者 B-後腳膝關節(內收、伸張、內旋)						
前測	0.89	0.05	1.14	0.07	0.37	0.02
第二週	1.07	0.18	1.54	0.10	0.67	0.05
第四週	1.00	0.24	1.96	0.06	0.73	0.04
第六週	1.36	0.06	2.28	0.10	0.68	0.03

表 13：初學者 B 不同測試時間腕關節力矩單因子分析摘要表

變異來源	離均差平方和 (SS)	自由度 (DF)	均方 (MS)	F	η^2	power
參與者 B-前腳腕關節						
外展						
練習階段	0.68	3	0.23	5.63 *	0.68	0.77
殘差	0.32	8	0.04			
全體	1.00	11				
伸張						
練習階段	1.84	3	0.61	7.14 *	0.73	0.87
殘差	0.69	8	0.09			
全體	2.53	11				
內旋						
練習階段	0.14	3	0.05	2.00	0.43	0.34
殘差	0.18	8	0.02			
全體	0.32	11				
參與者 B-後腳腕關節						
內收						
練習階段	0.51	3	0.17	2.99	0.53	0.49
殘差	0.45	8	0.06			
全體	0.97	11				
伸張						
練習階段	1.10	3	0.37	14.40 *	0.84	0.99
殘差	0.20	8	0.03			
全體	1.30	11				
外旋						
練習階段	0.48	3	0.16	5.58 *	0.68	0.77
殘差	0.23	8	0.03			
全體	0.71	11				

表 14：初學者 B 不同測試時間膝關節力矩單因子分析摘要表

變異來源	離均差平方 和 (SS)	自由度 (DF)	均方 (MS)	F	η^2	power
初學者 B-前腳膝關節						
外展						
練習階段	0.83	3	0.28	9.92 *	0.79	0.96
殘差	0.22	8	0.03			
全體	1.05	11				
伸張						
練習階段	0.86	3	0.29	17.69 *	0.87	1.00
殘差	0.13	8	0.02			
全體	0.99	11				
外旋						
練習階段	0.26	3	0.09	11.76 *	0.82	0.98
殘差	0.06	8	0.01			
全體	0.32	11				
初學者 B-後腳膝關節						
內收						
練習階段	0.37	3	0.12	5.19 *	0.66	0.74
殘差	0.19	8	0.02			
全體	0.56	11				
伸張						
練習階段	2.23	3	0.74	101.3 0 *	0.97	1.00
殘差	0.06	8	0.01			
全體	2.29	11				
內旋						
練習階段	0.24	3	0.08	53.35 *	0.95	1.00
殘差	0.01	8	0.00			
全體	0.25	11				

表 15：初學者 B 不同測試時間下肢關節力矩事後比較表

初學者 B-前腳腕關節

	內收				伸張				外旋			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-			*	1	-			1	-		
2		-			2		-	*	*	2		-
3			-		3			-		3		-
4				-	4				-	4		-

初學者 B-後腳腕關節

	外展				伸張				內旋					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	-				1	-		*	*	1	-		*	*
2		-			2		-	*		2		-		
3			-		3			-		3			-	
4				-	4				-	4				-

初學者 B-前腳膝關節

	外展				伸張				外旋					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	-		*	*	1	-	*	*	*	1	-		*	*
2		-		*	2		-			2		-		*
3			-		3			-		3			-	
4				-	4				-	4				-

初學者 B-後腳膝關節

	內收				伸張				內旋					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	-			*	1	-	*	*	*	1	-	*	*	*
2		-			2		-	*	*	2		-		
3			-		3			-	*	3			-	
4				-	4				-	4				-

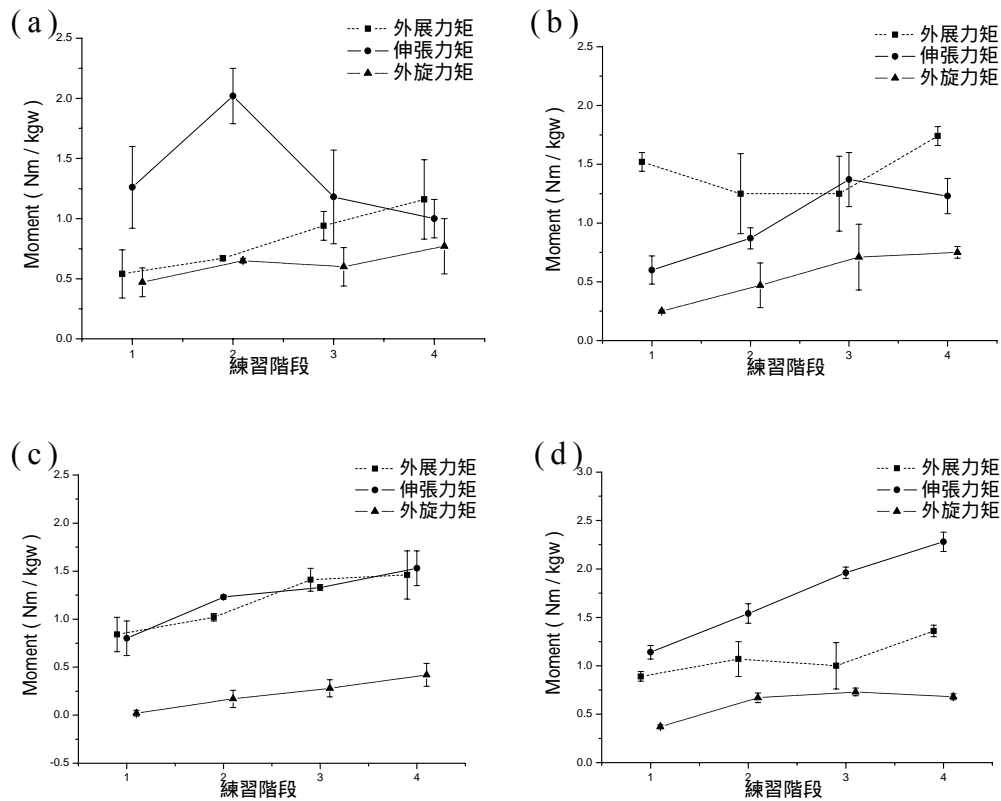


圖 25：初學者 B 練習過程中髁、膝關節最大力矩平均數及標準差。(a)為前腳腕關節，(b)為後腳腕關節，(c)為前腳膝關節，(d)為後腳膝關節。

事後比較後得知，第四週外旋力矩最大值 (0.71 ± 0.28 Nm/kgw) 及第六週外旋力矩最大值 (0.75 ± 0.05 Nm/kgw) 顯著大於前測的外旋力矩最大值 (0.25 ± 0.01 Nm/kgw)，但第四週及第六週間則無顯著差異產生。

在前腳膝關節部份 (表 14)，外展力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 9.92$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.79$)，經事後比較後得知，第四週的外展力矩最大值 (1.41 ± 0.12

Nm/kgw) 及第六週外展力矩最大值 (1.46 ± 0.25 Nm/kgw) 顯著大於前測外展力矩最大值 (0.84 ± 0.18 Nm/kgw), 但第四週次及第六週間則無顯著差異產生。伸張力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 17.69$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.87$), 經事後比較後得知, 前測伸張力矩最大值 (0.80 ± 0.18 Nm/kgw) 顯著大於第二週的伸張力矩最大值 (1.23 ± 0.02 Nm/kgw)、第四週的伸張力矩最大值 (1.33 ± 0.03 Nm/kgw) 及第六週伸張力矩最大值 (1.53 ± 0.18 Nm/kgw), 但第二、四週及第六週間則無顯著差異產生。外旋力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 11.76$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.82$), 經事後比較後得知, 第四週的外旋力矩最大值 (0.28 ± 0.09 Nm/kgw) 及第六週外旋力矩最大值 (0.42 ± 0.12 Nm/kgw) 顯著大於前測外旋力矩最大值 (0.02 ± 0.03 Nm/kgw), 但第四週次及第二週間則無顯著差異產生。

在後腳膝關節部份, 內收力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 5.19$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.66$), 經事後比較後得知, 第六週內收力矩最大值 (1.36 ± 0.06 Nm/kgw) 顯著大於前測的內收力矩最大值 (0.89 ± 0.05 Nm/kgw)。伸張力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 101.30$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.97$), 經事後比較後得知, 第二週、第四週及第六週伸展力矩最大值 (第二週 1.54 ± 0.10 Nm/kgw; 第四週 1.96 ± 0.06 Nm/kgw; 第六週 2.28 ± 0.10 Nm/kgw) 顯著大於前測的伸展力矩最大值平均 (1.14 ± 0.07 Nm/kgw)。內旋力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 53.35$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.95$), 經事後比較後得知, 第二週、第四週及第六週內旋力矩最大值 (第二週 0.67 ± 0.05 Nm/kgw; 第四週 0.73 ± 0.04 Nm/kgw;

第六週 0.67 ± 0.03 Nm/kgw) 顯著大於前測的內旋力矩最大值 (0.37 ± 0.02 Nm/kgw)。

綜合初學者 B 結果可以發現，初學者 B 在第二週測試期間，前、後腳膝關節伸張力矩皆變大，到了第四週測試時，前、後腳膝關節伸張力矩持續變大，同時後腳腕關節伸張及內旋力矩開始變大，這些改變則持續至第六週測試期間。因此可以發現，初學者 B 在學習初期主要的改變由膝關節開始，待進行更多嚐試後，後腳腕關節力矩才接著改變。

三、初學者 C

圖 15 為初學者 C 不同練習階段腕、膝關節力矩平均值及標準差，經單因子變異變分析後得知 (表 14)，外展力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 18.19$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.87$)，經事後比較後得知，第四週的外展力矩最大值平均 (1.09 ± 0.07 Nm/kgw) 及第六週的外展力矩最大值平均 (1.05 ± 0.14 Nm/kgw) 顯著大於前測外展力矩最大值平均 (0.20 ± 0.17 Nm/kgw)。伸張力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 21.71$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.89$)，經事後比較後得知，前測的伸張力矩最大值 (1.83 ± 0.18 Nm/kgw) 顯著大於第四週伸張力矩最大值 (0.47 ± 0.25 Nm/kgw)。內旋力矩在不同期間達顯著 ($F_{(3,8)} = 4.06$, $p = .05$, $\eta^2 = 0.6$)，經事後比較後得知，第六週的內旋力矩最大值平均 (0.83 ± 0.03 Nm/kgw) 顯著大於前測內旋力矩最大值平均 (0.37 ± 0.13 Nm/kgw)。

在後腳腕關節部份，內收力矩在不同期間有顯著差異

表 16：初學者 C 不同測試期間下肢關節力矩平均值及標準差

練習階段	外展-內收		伸張-屈曲		內旋-外旋	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
初學者 C-前腳腕關節(外展、伸張、內旋)						
前測	0.20	0.17	1.83	0.18	0.37	0.13
第二週	0.20	0.34	1.77	0.57	0.29	0.28
第四週	1.09	0.07	0.47	0.25	0.44	0.12
第六週	1.05	0.14	2.67	0.19	0.83	0.03
初學者 C-後腳腕關節(內收、伸張、外旋)						
前測	1.70	0.21	0.10	0.08	0.44	0.08
第二週	1.41	0.05	0.22	0.15	0.39	0.11
第四週	1.72	0.23	0.85	0.31	0.37	0.01
第六週	2.04	0.08	0.44	0.03	1.00	0.08
初學者 C-前腳膝關節(外展、伸張、外旋)						
前測	0.84	0.30	1.61	0.52	0.27	0.19
第二週	0.88	0.52	1.36	0.14	0.43	0.31
第四週	0.91	0.06	2.11	0.20	0.46	0.07
第六週	1.97	0.12	1.58	0.52	1.08	0.08
初學者 C-後腳膝關節(內收、伸張、內旋)						
前測	1.23	0.12	1.94	0.26	0.46	0.03
第二週	0.91	0.07	1.53	0.19	0.43	0.01
第四週	1.21	0.09	1.55	0.19	0.52	0.08
第六週	1.33	0.05	2.73	0.21	0.57	0.02

表 17：初學者 C 不同測試時間腕關節力矩單因子分析摘要表

變異來源	離均差平方 和 (SS)	自由度 (DF)	均方 (MS)	F	η^2	power
初學者 C-前腳腕關節						
外展						
測試時間	2.29	3	0.76	18.19 *	0.87	1.00
殘差	0.34	8	0.04			
全體	2.63	11				
伸張						
測試時間	7.45	3	0.17	21.71 *	0.89	1.00
殘差	0.92	8	0.03			
全體	8.37	11				
內旋						
測試時間	0.52	3	0.21	6.30 *	0.70	0.82
殘差	0.22	8	0.05			
全體	3.62	12				
初學者 C-後腳腕關節						
內收						
測試時間	0.60	3	0.20	7.59 *	0.74	0.89
殘差	0.21	8	0.03			
全體	0.81	11				
伸張						
測試時間	0.99	3	0.33	10.33 *	0.79	0.96
殘差	0.26	8	0.03			
全體	1.25	11				
外旋						
測試時間	0.83	3	0.28	43.18 *	0.94	1.00
殘差	0.05	8	0.01			
全體	0.88	11				

表 18：初學者 C 不同測試時間膝關節力矩單因子分析摘要表

變異來源	離均差平方和 (SS)	自由度 (DF)	均方 (MS)	F	η^2	power
初學者 C-前腳膝關節						
外展						
測試時間	2.68	3	0.89	9.25 *	0.78	0.94
殘差	0.77	8	0.10			
全體	3.45	12				
伸張						
測試時間	0.90	3	0.30	2.02	0.43	0.34
殘差	1.20	8	0.15			
全體	2.10	11				
外旋						
測試時間	1.14	3	0.38	10.75 *	0.80	0.97
殘差	0.28	8	0.04			
全體	1.43	11				
初學者 C-後腳膝關節						
內收						
測試時間	0.29	3	0.10	12.99 *	0.83	0.99
殘差	0.06	8	0.01			
全體	0.35	11				
伸張						
測試時間	2.85	3	0.95	20.73 *	0.89	1.00
殘差	0.37	8	0.05			
全體	3.22	11				
內旋						
測試時間	0.04	3	0.01	6.00 *	0.69	0.80
殘差	0.02	8	0.00			
全體	0.05	11				

表 19：初學者 C 不同測試時間下肢關節力矩事後比較表

初學者 C-前腳腕關節

	外展				伸張				內旋				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	-		*	*	1	-	*		1	-		*	
2		-	*	*	2		-	*	*	2		-	*
3			-		3			-	*	3			-
4				-	4				-	4			-

初學者 C-後腳腕關節

	外展				伸張				內旋					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	-				1	-		*		1	-		*	
2		-		*	2		-	*		2		-	*	
3			-		3			-		3			-	*
4				-	4				-	4			-	

參與者 C-前腳膝關節

	外展				伸張				外旋				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	-			*	1	-			1	-		*	
2		-		*	2		-		2		-	*	
3			-	*	3			-		3		-	*
4				-	4			-		4			-

參與者 C-後腳膝關節

	內收				伸張				內旋			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	*			1	-		*	1	-		
2		-	*	*	2		-	*	2		-	*
3			-		3			-	*	3		-
4				-	4			-		4		-

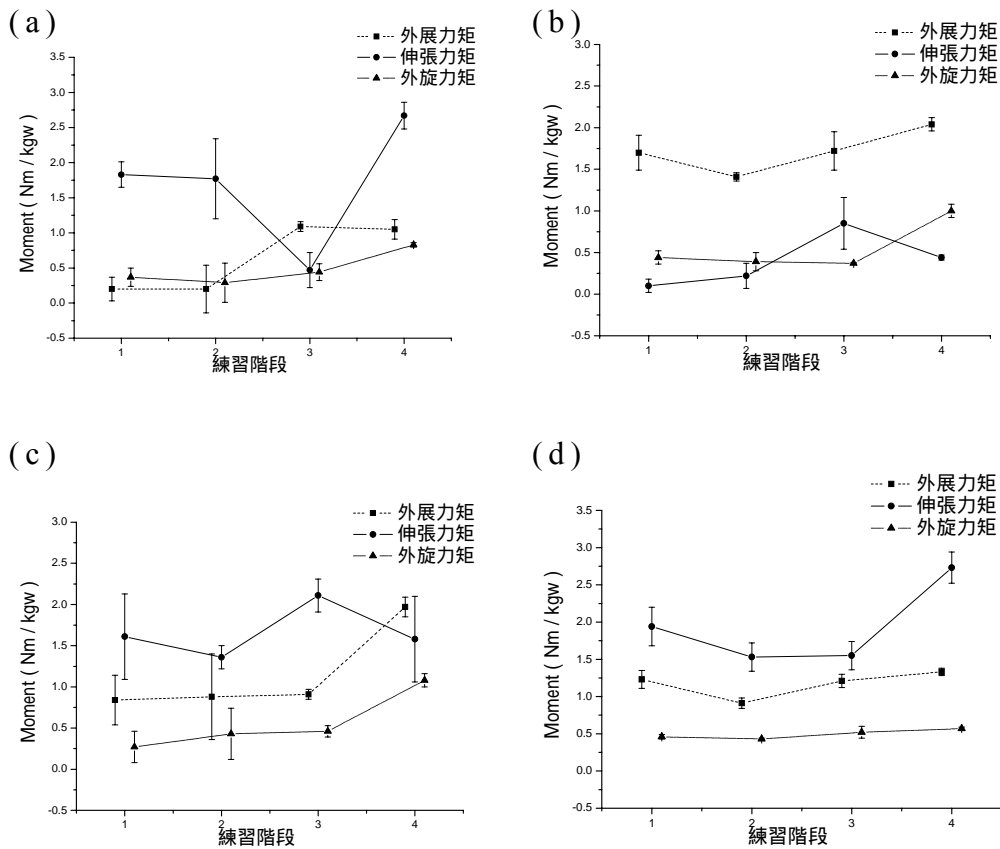


圖 26：初學者 C 學習過程中髁、膝關節最大力矩平均數及標準差。(a)為前腳腕關節，(b)為後腳腕關節，(c)為前腳膝關節，(d)為後腳膝關節。

產生 ($F_{(3,8)}=7.03$, $p < .05$, $\eta^2=0.73$), 經事後比較後得知, 第六週外展力矩最大值平均 (2.04 ± 0.08 Nm/kgw) 顯著大於第二週的外展力矩最大值平均 (1.41 ± 0.05 Nm/kgw), 兩者與前測則無差異。伸張力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)}=6.30$, $p < .05$, $\eta^2=0.70$), 經事後比較後得知, 第

四週的伸張力矩最大值 (0.85 ± 0.31 Nm/kgw) 顯著大於前測伸張力矩最大值平均 (0.10 ± 0.08 Nm/kgw)。外旋力矩在不同期間有顯著差異 ($F_{(3,8)} = 7.59$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.74$)，第六週旋轉力矩最大值平均 (1.00 ± 0.08 Nm/kgw) 顯著大於前測的旋轉力矩最大值平均 (0.44 ± 0.08 Nm/kgw)。

在前腳膝關節部份，經單因子變異變分析後得知 (表 15)，外展力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 9.25$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.78$)，經事後比較後得知，第六週的外展力矩最大值平均 (1.97 ± 0.12 Nm/kgw) 顯著大於前測外展力矩最大值平均 (0.84 ± 0.30 Nm/kgw)。伸張力矩在不同期間無顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 2.02$, $p > .05$, $\eta^2 = 0.43$)。外旋力矩在不同期間差異有顯著差異 ($F_{(3,8)} = 10.75$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.80$)，第六週旋轉力矩最大值 (1.08 ± 0.08 Nm/kgw) 顯著大於前測的旋轉力矩最大值 (0.27 ± 0.19 Nm/kgw)。

在後腳膝關節部份，內收力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 12.99$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.83$)，經事後比較後得知，前測內收力矩最大值平均 (1.20 ± 0.14 Nm/kgw) 顯著大於第二週的內收力矩最大值平均 (0.91 ± 0.07 Nm/kgw)。伸張力矩在不同期間有顯著差異產生 ($F_{(3,8)} = 20.73$, $p > .05$, $\eta^2 = 0.89$)，第六週的伸張力矩最大值 (2.73 ± 0.21 Nm/kgw) 顯著大於前測伸張力矩最大值平均 (1.94 ± 0.26 Nm/kgw)。內旋力矩在不同期間有顯著差異 ($F_{(3,8)} = 6.00$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.69$)，第二週的旋轉力矩最大值 (0.43 ± 0.03 Nm/kgw) 顯著大於第六週旋轉力矩最大值平均 (0.57 ± 0.03 Nm/kgw)，兩者與前測皆無差異。

綜合初學者 C 結果可以發現，初學者 C 的結果可以發

現，初學者 C 到了第四週測試髖關節才出現著改變，此時前腳髖關節伸張力矩變小，外展力矩變大；後腳髖關節伸張展力矩同時變大。到了第六週測試期間，前、後腳髖關節力矩仍持續改變，同時後腳膝關節伸展力矩開始變大。因此可以發現，初學者 C 在學習初期主要的改變由髖關節開始，待進行更多嚐試後，後腳膝關節力矩才接著改變。

綜合以上結果，在經過練習之後，初學者 A 在學習第二週由前腳髖關節開始改變，待執行更多動作後，後腳髖、膝關節皆發生改變。到了第六週部份下肢的力矩與前測的差異消失。因此推測初學者 A 的前腳髖關節是較易改變部份。

初學者 B 在學習初期主要的改變由膝關節開始，再來才是後腳髖關節力矩。初學者 C 在學習初期主要的改變由髖關節開始，待進行更多嚐試後，後腳膝關節力矩才接著改變。三者的比較可以發現，練習改變的過程並太大的相似性，最早開始改變的關節力矩也不一致，可見不同個體經過相同練習未必會產生相同改變的路徑。

第四節 綜合討論

在投手投球過程中，下肢扮演重要的角色，同時也是主要力量的來源。因此本研究的主要目的即是透過初學者練習投球的過程，以運動生物力學的研究手段，由力矩及肌肉收工作角度去觀察其運動學、動力學的特徵變化，以了解棒球投球下肢練習的可能限制及初學者運用何種策略

來克服這些限制，希望能為過去僅是依賴經驗的觀察工作增加一些依據。

關於下肢的運用，Elliott 等人（1988）發現，球速較快的投手在前腳著地時，其軸心腳水平推力值遠大於球速慢的投手。也就是球速快投手能將身體轉向一個較穩固的前腳。這個觀點在 Mastsuo 等人（2003）的實驗中獲得更進一步的証實。實驗中發現，速球快投手中有 60% 的人在前腳著地到球離手的區間的後半段時間中，膝關節最後有伸展動作，另外有 14% 的人膝關節角度大致維持固定。由於膝關節的伸展使前腳更加穩固，因而証實了 Elliott 等人（1988）的觀點。在本研究中發現，優秀運動員的前腳髖關節力矩及膝關節力矩都比初學者來的大，顯示球速較快的投手前腳能產生較大的力矩來煞車，與之前的研究相符。此外，優秀運動員在前腳著地到球離手的區間的後半段時間中前腳伸展角度由 90° 變化至 70° ，伸展約 20° 與 Mastsuo 等人（2003）所提出的 55° 變化至 30° ，伸展約 25° 相較，伸展角度相近，至於起始角度的不同可能是本研究沒有投手丘所造成。而三名初學者，伸展角度僅約 5° ，遠不及優秀運動員。

MacWilliams 等人（1998）的研究更發現，在投球動作平衡的狀況下，手腕速度與跨步階段前、後腳在投手丘與本壘板連線方向、垂直方向方向的推力有高度正相關，但過度施力則容易失去平衡而降低球速。本研究中優秀運動員的後腳髖關節力矩及膝關節力矩都比初學者來的大，也呼應了這個結果。而本實驗更進一步發現，除了推蹬力量外，投手後腳膝、髖關節的伸展力矩最大值的出現時序與

前腳髖關節伸展力矩的最大值出現時序可能會影響動量的傳遞，進而影響球速。如果其伸展力矩最大值的出現時序依照後腳膝-後腳髖-前腳髖關節的順序出現，就會形成一套由下而上，由後向前的加速-減速機制，有效將動量向上傳遞。同時若要兩腳能有效搭配達成這個功能，兩邊的力矩值必須有一定的相關。也就是後腳的推蹬力量所造成的膝、髖關節力矩愈大，前腳的剎車力量所形成的髖關節力矩就要愈大，上傳的動量也就會愈大。呼應了 MacWilliams 等人（1998）的研究。

此外下肢的運用同時受到地面反作用力及上半身體重的影響（陳重佑，2000）。本研究中發現，初學者在跨步階段及出手前階段有較多的控制力矩，證明了初學較無法掌握這兩股力量，因而以較多次的加速減速過程來維持動作的進行。這項發現同時可以作為初學者的練習過程的一個參考，提供初學者進行更多相關輔助訓練，提高練習成果。

在比較優秀運動員與三名初學者的動作特徵後發現，兩者不論在運動學及動力學特徵都有差異。與 Temprado 等人（1997）對排球發球動作進行的實驗結果相似，證明初學者及優秀運動員的動作有質的不同，提供學習過程中不連續性的證據。本研究中更發現，若初學者要進步到優秀運動員的程度，必須從外表動作到肌肉運用方式都作改變才有可能。

在學習理論上，動作學習的動態系統理論（dynamic system theory）的基本假說將人體視為是一個複雜有層次（multidimensional）的動態系統。這系統是由許多次系統（subsystem）組成，系統中沒有任何的既存動作程式

(motor program) 或動作處方 (motor prescription)，卻有自我組織 (self-organization) 的能力，將各次系統組織成一穩定狀態 (Kelso, 1995)。由本研究中不同練習階段的測驗結果顯示，三名初學者的變化並未有太多相同的特徵，可見初學者在練習過程中並未有一定的進步模式，由此可以提供上面的理論間接的証據。

根據本研究結果顯示練習過程中未必是由需要改變的力矩發生改變，反而會由較易改變的關節力矩開始改變，而不管此關節力矩是否為改變投球動作所需力矩。由此也可見，人體確實是一個複雜的系統，印證了 Newell (1991) 所認為，學習過程並非是線性，而是一個更深入的、質性的組織過程。

學習過程中，Bernstein (1967) 認為身體由現存的穩態到另一穩態的方法，是將部份自由度凍結 (freezing degrees of freedom) 或部份節奏固定來換取良好的動作控制。當動作的控制獲得提升後，便逐步釋放自由度並加以整合。當特殊協調模式完全形成，所有自由度都被釋放，形成一個有效率的系統 (Bernstein, 1967)。在本研究中，由於測驗間隔較長 (相隔兩週) 所以並未觀察到自由度凍結 (freezing degrees of freedom) 的部份。實驗期間的變化也尚不足以印証上述的理論，若要有更多的結果，則必須進行更長期的觀察。

由於本研究尚包涵許多運動學及動力學結果，因此依不同階段將本研究的主要結果，整理如下：

一、抬腳階段

投手開始抬腳時，前腳髖關節屈肌以微小功率向心工作，將前腳抬高。抬腳的高度較高者，可以儲較高的位能。同時後腳微微屈曲，屈曲速度較部份初學者小，可以保持良好平衡。

二、跨步階段

投手抬腳通過最高點後前腳開始伸展，向前跨出。在這個過程中，後腳一直保持在旋內角度，方便跨步後半段進行旋外動作，可以使投手在跨步後半段有較高的旋外角速度。

在跨步階段中，後腳髖、膝關節應同時開始伸展，伸展力矩同時出現，但是依膝、髖的時序到達力矩最大值。這個時序上的差異可能會影響動量的傳遞，進而影響球速。

在跨步階段中，前腳髖關節應出力伸展前腳，中間改出力屈曲髖關節，前腳著地前出力減低髖關節屈曲速度，及膝關節速度來調整適當著地角度，不宜再出現過多的加減速動作。

三、出手前階段

在這階段髖關節先出力減低屈曲及內旋速度，並使其轉為伸張及外旋的動作。根據動量傳遞原理，髖關節減速愈多，上肢愈可能得到愈多的動量，進而提升球速。

三、出手後跟隨階段

球離手後，儘量利用身體各部份減速，逐漸回到站立姿式。

四、練習各階段的行為變化

本研究結果顯示，第四週三名初學者都出現了較大的改變，而第六週部份關節力矩和前測差異消失。可能在過程有其他因素限制了改變繼續發生，這部份則需要進行更長期的研究來了解。同時根據這結果也可以提供教練的訓練時程的安排上一些建議，若採用和本研究相同的練習內容時，則可以以四週為一單元，不同單元安排不同練習目標，較易收到練習成果。同時可以由動作修正過程中，初學者最先改變的關節力矩來了解初學者身體中動態系統最易更動的部份。再依據更動的難易程度，安排不同的單元數及其他輔助的訓練，將體內系統推出原有穩態，就有可能加速將初學者身體創造新的動作模式，以加速練習效果。

第五章 結論與建議

本研究主要目的是透過初學者學習投球的過程，運用生物力學的研究手段，觀察定程中運動學及動力學的特徵變化，以了解棒球投球下肢學習的可能限制，及初學者運用何種策略來克服這些限制。本章則根據研究結果及之後的討論，將研究發現做一總結，並提出後續研究的可能發展，以供後續研究者參考。

第一節 結論

根據本研究在角運動學上的發現，優秀運動員在抬腳階段前腳抬的較高，同時後腳彎曲速度較小。在跨步階段能將後腳保持在旋內角度，後腳髖、膝關節在跨步階段同時伸展同時出力，依膝、髖關節的時序到達力矩的最大值。在上身加速階段進行伸張及旋外動作。

根據本研究在角動力學上的發現，初學者出現了較優秀運動員為多的控制力矩，其他力矩則相對減少。顯示投球動作練習過程中，初學者應致力於減少不必要的加減速動作。

同時研究發現，若採用和本研究相同的練習內容時，則可以以四週為一單元，不同單元安排不同練習目標，較易收到練習成果。同時可以由動作修正過程中，初學者最先改變的關節力矩來了解初學者身體中動態系統最易更動的部份。再依據更動的難易程度，安排不同的單元數及其

他輔助的訓練

第二節 建議

整體來看，投球是一個非常複雜的過程，本研究僅對優秀運動員及初學者的下肢動力學及運動學特徵做探討。對於上肢及軀幹的特徵，則需要更多研究來了解。對於研究結果中下肢改變原因為何？改變過程中是否有上肢的相對變化？下肢改變的同時軀幹如何整合上、下肢，把動量向上傳遞？也需要後續更多的研究來了解，才能徹底解開對投手投球的訓練過程中的改變。此外由於本研究的研究對象只有四人，在推論上有其限制。日後若能有更多大規模的研究，更能提供更多有力的證據。

引用文獻

中文部份：

陳重佑(2000)。不同動量打擊練習過程中的肢體動力學制。未出版博士論文，國立臺灣師範大學，臺北市。

成戎珠(1994)。動作發展新理論：動力系統理論之介紹。中華物理療誌，19(1)，88-97。

民明網(2005年8月8日)。台灣棒球七大不可思議其之三—投手永遠不會利用下半身。12月20日2005年取自 <http://min-mei.net/frameset.htm>

沈清良(2001)。實用解剖學。臺北市：華杏出版股份有限公司。

英文部份：

Bartlett, R., Muller, E., Lindinger, S., Brunner, F., & Morriss, C. (1996). Three-dimensional evaluation of the kinematics release parameters for javelin throws of different skill levels. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 58-71.

Bernstein, N. A. (1967). *The coordination and regulation of movements*. Oxford: Oxford university.

Delignieres, D., Nourrit, D., Sioud, R., Leroyer, P., Zattara, M., & Micallef, J. P. (1998). Preferred coordination modes in the first steps of the learning of a complex gymnastics skill. *Human Movement Science*, 17, 221-241.

Dillman, C. J., Fleisig, G. S., & Anderson, J. R., (1993).

- Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *Journal of Orthopedic and Sports Physical Therapy*, **18**(2), 402-408.
- Elliott, B., Grove, J. R., & Gibson, B. (1988). Timing of the lower limb drive and throwing limb movement in baseball pitching. *International Journal of Sport Biomechanics*, **4**, 59-67.
- Feltner, M. E. (1989). Three-dimensional interactions in a two segment kinetic chain. Part II: Application to the throwing arm in baseball pitch. *International Journal of Sports Biomechanics*, **5**, 420-450.
- Feltner, M., & Dapena, J. (1986). Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *International Journal of Sports Biomechanics*, **2**, 235-259.
- Fleisig, S. G., et al., (1996). Kinematic and kinetic comparison between baseball pitching and football passing. *Journal of Applied Biomechanics*, **12**, 207-224.
- Hirashima, M., Kadota, H., Sakurair, S., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2002). Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *Journal of Sports Sciences*, **20**, 301-310.
- House, T. (1983). *A contemporary guide to pitching a baseball*. San Diego: San Diego School of Baseball.

- Jobe, F. W., Moynes, D. R., Tibone, J, E., & Perry, J. (1984). An EMG analysis of the shoulder in pitching. A second report. *American Journal of Sports Medicine*, *12*, 218-220.
- Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Kelso, J. A. S., & Ding, M. (1993). Fluctuations, intermittency, and controllable chaos in biological coordination. In Newell K. M. & D. M. Corcos (Eds.), *Variability and Motor Control*. (pp. 291-316). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Kuffman, S. A. (1993). *The Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution*. New York: Oxford University Press.
- 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*, 1-13 .
- Morris, C., & Bartlett, R. S. (1996). Biomechanical factor critical for performance in mans javelin throw. *Sports*

- Medicine*, **21**, 438-46.
- Newell, A., & Rosenbloom, P. S. (1981). Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skill and their acquisition*. (pp. 1-55). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Newell, K. M. (1985). Coordination, Control and skill. In D. Goodman, R. B. Wilberg & I. M. Franks (Eds.), *Differing Perspectives in Motor Learning, Memory, and Control*.(pp. 295-317). Amsterdam: Elsevier Science.
- Newell, K. M. (1991). Motor skill acquisition . *Annual Review of Psychology*, **42**, 213-237.
- Newell, K. M., & Van Emmerik, R. E. A. (1989). The acquisition of Coordination: Preliminary analysis of learning to write. *Human Movement Science*, **8**, 17-32.
- Nourrit, D., Delignieres, D., Caillou, N., Deschamps, T., & Lauorit, B. (2003). On discontinuities in motor learning : a longitudinal study of complex skill acquisition on a ski-simulator. *Journal of Motor Behavior*, **35**(2), 151-170.
- Pappas, A. M., Zawacki, R. M., & Sullivan, T. J. (1985). Biomechanics of baseball pitching. San Diego: San Diego School of Baseball. *American Journal of Sports Medicine*, **13**, 216-222.
- Roberts, T. W. (1971). Cinematography in biomechanical

- investigation. In J. M. Cooper (Ed.), *Selected Topics in Biomechanics*, (pp. 41-50). Chicago: The Athletic Institute.
- Ryan, N., & Torre, J. (1977). *Pitching and hitting*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- 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.
- Schmidt, R. C., Treffiner, P. J., Shaw, B. K. & Turvey, M. T. (1992). Dynamical aspects of learning an inter limb rhythmic movement pattern. *Journal of Motor Behavior*, *24*, 67-83.
- Temprado, J. J., Dalla-Grasta, M., Farrell, M., & Laurent, M. (1997). A novice-expert comparison of (inter-limb) coordination subserving the volleyball serve. *Human Movement Science*, *16*, 653-676.
- Toyoshima, S., Hoshikawa, T., & Miyashita, M. (1974). Contributions of the body parts to throwing performance. In R. C. Nelson & C. A. Morehouse (Eds.) *Biomechanics IV* (pp. 161-174). Baltimore: University Park Press.
- Walk, W., Clark, M. A., & Seefeldt, V. (1996). Baseball and softball. In D. J. Caine, C. G. Caine, & K. J. Linder (Eds.). *Epidemiology of Sports Injuries*. Champaign. IL. Human Kinetics.

- Whiting, W. C., Gregor, R. J., & Halushka, M. (1991). Body segment and release parameter contributions to new-rules javelin throwing. *International Journal of Sports Biomechanics*, 7, 111-124.
- Winter, D. A. (2005). *Biomechanics and motor control of human movement(3rd ed.)*. New York: John Wiley & Sons.
- Zanone, P. G., & Kelso, J. A. S. (1992). Evolution of behavioral attractor with learning: Nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 403-421.
- Zanone, P. G., & Kelso, J. A. S. (1997). Coordination dynamics of learning and transfer: Collective and component levels. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 1454-1480.