

國立臺灣體育學院體育研究所
碩士學位論文

視覺引導對兒童投擲動作的發展效應
THE DEVELOPMENT EFFECTS OF
THROWING CONTROL FOR CHILDREN
UNDER VISUAL GUIDANCE.



研 究 生：朱 治 華 撰
指 導 教 授：陳 重 佑 博 士

中 華 民 國 九 十 三 年 十 二 月

視覺引導對兒童投擲動作的發展效應

研究生：朱治華

指導教授：陳重佑

中文摘要

本研究以視覺引導 (visual guidance) 做為環境賦使 (affordance) 的變項，進而探討不同年齡兒童在有無環境賦使的投擲動作情境中進行運動學特徵比較。研究將以 5、7、9、11 歲各 8 名慣用手右手男童為實驗參加者。實驗參加者雙腿伸直坐在長條板凳上，做遮眼及引導各一次的全力投擲。利用 Redlake Motion Scope 1000 高速攝影機 (250Hz) 拍攝實驗參加者遮眼及引導的二次投擲動作，並通過 SIMI 三度空間影片分析系統計算投擲動作的運動學參數變化特徵。統計方法是以混合設計二因子變異數分析進行年齡差異與投擲方式的比較 ($\alpha = .05$)，並以 Duncan 法進行事後比較。研究結果發現年齡越大的兒童投擲球距越遠 ($F(3, 28) = 22.54, p < .05, \eta^2 = .71, \text{power} = 1.00$)。而投擲方式的分析顯示引導投擲球距 ($7.85 \pm 2.76 \text{ m}$) 顯著的高於遮眼投擲球距 ($7.28 \pm 2.81 \text{ m}$)。而引導投擲動作的垂直球速 ($3.44 \pm 1.57 \text{ m/sec}$) 顯著高於遮眼投擲動作 ($3.05 \pm 1.53 \text{ m/sec}$)，引導投擲時的出手角度 (17 ± 13 度) 也顯著高於遮眼投擲時 (11 ± 16 度)。在腕關節出手角速度的分析中發現引導投擲時 11 歲組 ($1038 \pm 497 \text{ deg/sec}$) 明顯的大於 5 歲組 ($147 \pm 637 \text{ deg/sec}$)。肘關節最大角速度 ($F(3, 56) = 3.59, p < .05$) 及肘關節出手角速度 ($F(3, 56) = 7.54, p < .05$) 產生了年齡上的顯著差異，引導投擲時晚期兒童比中期兒童產生比較大的角速度變化。11 歲組在引導投擲的腕關節出手角速度 ($1038 \pm 497 \text{ deg/sec}$) 顯著大於遮眼投擲動作 ($542 \pm 752 \text{ deg/sec}$)，而且引導投擲的肘關節出手角速度 ($1186 \pm 273 \text{ deg/sec}$) 表現上也顯著大於遮眼投擲動作 ($864 \pm 257 \text{ deg/sec}$)。本研究發現環境賦使效應影響了垂直方向的球速，進而影響了出手角度而增加了投擲球距。環境賦使效應在兒童的投擲動作中，會引起肘關節出手前的動作控制改變，而出手時腕關節及肘關節動作型態均產生年齡差異。在視覺引導下，11 歲兒童的肘、腕關節角速度會增大，而 5、7、9 歲兒童則呈現比較不穩定的狀態。因此以動態系統觀點探討投擲動作的發展效應，個體因為工作項目的不同而產生積極的環境賦使效應。

關鍵詞：年齡差異、動態系統、動作發展、環境賦使

Chu, Chih-Hua (2004). The Development Effects of Throwing Control For Children Under Visual Guidance. Unpublished master's thesis, National Taiwan College of Physical Education, Taichung.

ABSTRACT

The purpose of this study manipulated the variable of visual guidance, the effect of affordance, to investigate the age difference of kinematical characteristics for overarm throwing in children. Eight volunteer and right-handed boys for each age group (5-, 7-, 9-, and 11-year-old) served as participants in this study. Participants were asked to sit on the bench with legs straightly and to perform overarm throwing forcefully following the sequence of without and with visual guidance. Two high speed cameras (Redlake Motion Scope 1000, 250Hz) and the three-dimensional analysis system (SIMI version 7.0) were used to record and to digitize the throwing movements respectively. Mixed-design two-way ANOVA and Duncan's test were adopted to analyze the statistical differences for developmental and the effect of visual guidance throwing with an alpha level of .05. The results showed the larger children threw that ball far ($F(3, 28) = 22.54, p < .05, \eta^2 = .71, \text{power} = 1.00$). The main effect showed throwing with visual guidance (7.85 ± 2.76 m) was significant far than throwing without visual guidance (7.28 ± 2.81 m) ($p < .05$). The vertical velocity of release for throwing with visual guidance (3.44 ± 1.57 m/sec) was faster significantly than throwing without visual guidance (3.05 ± 1.53 m/sec), and the angle of release for throwing with visual guidance (17 ± 13 deg) was also higher significantly than throwing without visual guidance (11 ± 16 deg). The angular velocity of release on wrist for 11-year-old children (1038 ± 497 deg/sec) was higher significantly than 5-year-old (147 ± 637 deg/sec) under the condition of visual guidance. The maximal angular velocity ($F(3, 56) = 3.59, p < .05$) and angular velocity of release ($F(3, 56) = 7.54, p < .05$) on elbow were both showed age difference significantly. The angular velocity on elbow for late children was lager than middle children under the condition of visual guidance. For the group of 11-year-old, not only the angular velocity of release on wrist under the condition of visual guidance (1038 ± 497 deg/sec) was higher than the condition of without visual guidance (542 ± 752 deg/sec). But also the angular velocity of release on elbow under the condition of visual guidance (1186 ± 273 deg/sec) was higher than the condition of without visual guidance (864 ± 257 deg/sec). This study indicated that the effect of affordance, visual guidance, enhanced the performance of the throwing distance in the cause of vertical velocity of release to increase the angle of release. Under the condition of visual guidance, the pattern of throwing control on elbow was influenced before release. And there were age difference significantly on wrist and elbow at the moment of release. The angular velocity on wrist and elbow were increasing for 11-year-old children, but these were inconsistent for 5- to 9-year-old. From the aspect of the dynamical systems, the behavior of the development of throwing was constrained through the difference of task to process the effect of affordance positively.

Keywords: age difference, dynamic systems, motor development, affordanc

謝 誌

每個人在時空的轉換中，總是會歷經許多的改變。三年半的時間可以完成許多的事情，而我用它完成了這本碩士論文。不論其在研究上或是學術上的貢獻是否有令人肯定的價值，但是我自己相當的清楚，我盡力了而且也進步了…。這本論文能夠完成，我最感謝的人是陳重佑博士。在三年半的相處中我深刻的體驗到了一位學者對學術研究的執著，以及追求知識真理的過程中的那份踏實、滿足感。在重佑老師循序漸進的指導中，使我有機會窺究動作行為學派的研究，我由學術的自由辯證和面對問題的哲思中找到了學派的哲學重心，讓自己在不斷抽絲剝繭的文獻探討中確認了研究方向。也因此雖然面對了許多的凡俗雜務和挫折，仍然一直不忘對於學術研究的堅持。而每次在面對繁瑣的實驗流程並感覺無法進一步突破的瓶頸中，重佑老師也總是適時的可以給我多元的想法選擇和解決方向，這些想法甚至在未來的生活中也有極大的助益，所以在此要向重佑老師致上最大謝意。其次要感謝卓俊伶老師、劉宇老師、蔡虔祿老師、湯文慈老師在忙碌的教學與研究中仍然撥冗指導我，並且在論文計畫口試中就提供了更多的幫助及建議，使得這本論文更趨成熟，而且也讓我這三年半的研究添增更大的信心。

我更要感謝陳全壽校長、陳定雄所長、許壬榮所長的鼓勵與教誨，以及導師蘇金德老師的提醒與引導使我有機會在母校的孕育中順利完成學業。在學習的過程中也相當感謝許光庶老師總是給予正面的鼓勵以及正確的做學問方向，使我不會在眾多文獻的分析中陷入迷思。而在運動力學團隊中，非常感謝志沛、柏毅、逸蘋對於實驗的協助，由於他們的陪伴不會讓自己在實驗研究分析過程中太過孤單。我還要感謝村東國小王豐成校長、一瓶、宏毅、彥良、麗萍、翠雲以及彰化縣棒球團隊錦忠、同生、財福、清雄、祐仁、紫芳、毓卿等摯友及工作伙伴們在我求學這段期間對校務及棒球業務工作的協助幫忙。

最後，我要感謝的是我的家人。謝謝父母親生我、養我、育我以及對我的栽培，才能夠有機會在這個人生的淬礪中，不斷進步、擷取新知。而這段讀書歷程中感謝大哥治平對雙親的照顧及關懷，讓我無後顧之憂，全力以赴。再來最要感謝的是賢妻—瑞珍在這三年半中對我無微不至的照顧及體諒，並完全擔負三個孩子的照顧及教育重責，在此將這些微的研究成果呈獻給她。

目 次

| | |
|---------------------|-----|
| 中文摘要..... | i |
| 英文摘要..... | ii |
| 謝誌..... | iii |
| 目錄..... | iv |
| 表目錄..... | vii |
| 圖目錄..... | ix |
| | |
| 第壹章 緒論..... | 1 |
| 第一節 問題背景..... | 1 |
| 第二節 研究目的與假設..... | 4 |
| 第三節 名詞解釋及操作型定義..... | 5 |
| 第四節 研究範圍與限制..... | 7 |
| 第五節 研究的重要性..... | 8 |

| | |
|----------------------------|----|
| 第貳章 文獻探討..... | 10 |
| 第一節 兒童投擲動作發展的相關研究..... | 10 |
| 第二節 兒童期投擲動作型態發展相關文獻..... | 11 |
| 第三節 動態系統理論於兒童動作發展中的應用..... | 14 |
| 第四節 環境賦使影響兒童動作發展的相關論點..... | 16 |
| 第五節 本章總結..... | 18 |
| | |
| 第參章 研究方法與步驟..... | 19 |
| 第一節 實驗參加者..... | 19 |
| 第二節 實驗時間與地點..... | 20 |
| 第三節 實驗儀器與設備..... | 20 |
| 第四節 場地佈置..... | 23 |
| 第五節 實驗步驟..... | 26 |

| | | |
|-----------|-----------------------|----|
| 第六節 | 資料的收集與處理方法..... | 28 |
| 第七節 | 統計方法..... | 33 |
| 第肆章 | 結果與討論..... | 34 |
| 第一節 | 球距與球速特徵..... | 34 |
| 第二節 | 投擲手各不同關節角速度..... | 38 |
| 第三節 | 出手角度及投擲手關節角速度時間差..... | 45 |
| 第四節 | 討論..... | 49 |
| 第伍章 | 結論與建議..... | 60 |
| 第一節 | 結論..... | 60 |
| 第二節 | 建議..... | 62 |
| 引用文獻..... | | 64 |
| 中文部份..... | | 64 |

| | |
|---------------------------------|----|
| 外文部份..... | 64 |
| 附錄一：遮眼投擲與引導投擲各項運動學參數變異數分析摘要表... | 69 |
| 附錄二：參與研究家長（監護人）同意書..... | 78 |

表 目 錄

| | |
|------------------------------|----|
| 表 1：實驗參加者基本資料..... | 20 |
| 表 2：各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項球速參數 | |
| 平均值與標準差摘要表..... | 35 |
| 表 3：各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項腕關節角速度 | |
| 平均值與標準差摘要表..... | 39 |
| 表 4：各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項肘關節角速度 | |
| 平均值與標準差摘要表..... | 42 |
| 表 5：各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項肩關節角速度 | |
| 平均值與標準差摘要表..... | 44 |
| 表 6：不同年齡遮眼投擲與引導投擲出手角度 | |
| 平均值與標準差摘要表..... | 46 |
| 表 7：各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項關節角速度時間差 | |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 平均值與標準差..... | 47 |
| 表 8：遮眼與引導投擲球距、最大球速、出手球速 | |
| 混合設計二因子變異數分析摘要表..... | 69 |
| 表 9：遮眼與引導投擲最大水平球速及最大垂直球速、出手水平球速及出 | |
| 手垂直球速混合設計二因子變異數分析摘要表..... | 70 |
| 表 10：遮眼與引導投擲各項腕關節角速度 | |
| 混合設計二因子變異數分析摘要表..... | 71 |
| 表 11：出手腕關節角速度變異性 | |
| 混合設計單純主要效果變異數分析摘要表..... | 72 |
| 表 12：遮眼與引導投擲各項肘關節角速度 | |
| 混合設計二因子變異數分析摘要表..... | 73 |
| 表 13：最大肘關節角速度變異性 | |
| 混合設計單純主要效果變異數分析摘要表..... | 74 |
| 表 14：出手肘關節角速度變異性 | |

混合設計單純主要效果變異數分析摘要表.....74

表 15：遮眼與引導投擲各項肩關節角速度

混合設計二因子變異數分析摘要表.....75

表 16：遮眼與引導投擲出手角度

混合設計二因子變異數分析摘要表.....76

表 17：遮眼與引導投擲各項關節角速度時間差

混合設計二因子變異數分析摘要表.....77

圖 目 錄

| | |
|-----------------------------|----|
| 圖 1：實驗儀器設備..... | 22 |
| 圖 2：實驗場地高速攝影機配置圖..... | 24 |
| 圖 3：實驗場地配置及實驗概況圖..... | 25 |
| 圖 4：實驗實施流程圖..... | 27 |
| 圖 5：數位化分析的標誌點位置與名稱..... | 28 |
| 圖 6：9 歲兒童遮眼投擲各項球速參數曲線圖..... | 51 |
| 圖 7：9 歲兒童引導投擲各項球速參數曲線圖..... | 51 |
| 圖 8：各年齡組腕關節出手角速度平均數比較..... | 54 |
| 圖 9：各年齡組肘關節出手角速度平均數比較..... | 54 |
| 圖 10：9 歲兒童遮眼投擲 3D 圖..... | 58 |
| 圖 11：9 歲兒童引導投擲 3D 圖..... | 58 |

第壹章 緒論

第一節 問題背景

人類在動作發展 (motor development) 的過程中，必須經過反射動作期 (reflexive movement phase)、初始化動作期 (rudimentary movement phase)、基本動作期 (fundamental movement phase) 再逐漸進入特殊化動作期 (specialized movement phase)。而中晚期兒童的動作發展正處於許多基本動作能力即將進入特殊化動作期的成熟階段 (Gallahue & Ozmun, 2002)。另外兒童時期是最活潑好動的時期，也是身體各種基本能力的發展階段；但是近來對台灣國小中年級學童的調查中，發現發展協調障礙兒童 (clumsy children) 比歐美同齡學童高出四倍 (吳昇光、蔡輔仁，2001)。因此，如果在這段期間沒有將這些基本動作能力培養齊全，可能造成個體在成長 (growth) 的生理量化已經足夠，但是成熟 (maturation) 的生理質化卻不足。也就是說許多的運動技能或日常生活上的基本動作在未來的發展上，將會受到殊多限制。所以，兒童時期的動作能力，是否會對個體一生的動作發展產生重大的影響？

基本動作期的動作型態依其特性可區分為穩定性 (stability)、移動性 (locomotion)、操作性 (manipulation) 三種。穩定性動作主要包含體軸的控制、身體的滾動、閃躲、單腳平衡、走平衡木、及倒立支撐等；移動性動作主要包含走、跑、跳等動作型態；操作性動作則包含投擲、接、踢、打擊、運球等動作技能 (Gallahue & Ozmun, 2002)。如果觀

察兒童平常的手部運動方式，不難發現投擲動作是許多運動項目及遊戲中必備的基本動作能力。而且，在體育活動及競技運動中投擲動作是重要的推進技能（propulsive skill）；因為基礎的過肩投擲動作將能被同化（assimilate）為更多樣化、更廣泛的運動領域中，如：排球的扣殺動作、棒球的投手動作、羽球的高手擊球等（Butterfield & Loovis, 1993）。

過去對兒童投擲動作的控制與發展的研究中，有些是利用操弄工具或工作項目等限制來探討投擲動作發展的效應（李村祺與卓俊伶，1998）。但就系統理論（systems theory）而言，在個體動作控制的系統中，除了強調系統互動的觀念外，還加入了個體如何與環境互動的考量（胡名霞，2001）。而依照 Bernstein（1967）所提的系統模式（systems model），動作並不是純由周邊神經或中樞驅使的，而是由許多系統之中的交互作用而產生，所以他認為協調能力是個體為了解決自由度（degrees of freedom）的問題所發展出來的能力。在一個新的協調動作產生之前是必須先凍結部分的自由度，而得以控制較能掌控的自由度，當協調發展自我重整產生後，凍結的自由度獲得解放，動作的精熟程度於是獲得提昇。而動態系統理論（dynamical systems theory）觀點，更進一步傳達出一種非線性的觀念，即動作控制能力的發展並非隨著年齡的增長呈線性的進展，而是在不同年齡呈現階段性的發展。當兒童要去學會控制新的動作或是不同的動作控制策略時，會受到環境賦使（affordance）的直接正向引導以及速率限制（rate limiter）的約束（Gallahue & Ozmun, 2002）。動作發展的動態系統觀點，強調動作的發展是由環境（environment）、個體（individual）與工作任務（task）三個

次系統 (sub-systems) 交互影響所產生。然而由於某些條件如工作、環境與個體限制 (constraints) 因素產生改變，動作開始產生不穩定 (instability) 的狀態，而此時即是動作的轉換 (transition) 的關鍵時期，個體會經由自我重組 (self-organization) 去形成另一個動作型態。而在經過這個階段的發展後，動作即進入另一個穩定的狀態，動作的發展因而形成 (Magill, 2001)。所以由兒童投擲動作發展的歷程再配合動態系統理論的論點，可以思考個體、工作任務、環境三者間，當交互作用產生而形成動作改變的過程中，是否有更多的影響參數在左右著投擲動作的成熟度的改變？

投擲動作所受限的自由度有許多層面，在 Sekine、Toyokawa、Ae 和 Fujii 等人 (2002) 於東京所做的實驗中就可以看到他們以運動力學的角度來說明投擲動作是透過下半身、軀幹、上半身三方面的協調，使能量傳到手中的物體，可說是一種提供高速能的動作；另外加上左右搖擺幅度大的肩關節以及身體的扭轉而形成一個複雜的三次元動作。關於幼童投擲能力的研究中以投擲距離及球速的研究較多 (Butterfield & Loovis, 1993 ; Nelson, Thomas, & Nelson, 1991 ; Robertson, Halverson, Langendorfer, & Willson, 1979)。但是實際上，由於每個人的成長與成熟度不盡相同，所以即使是對同年紀的兒童動作做評論也不容易。兒童動作發展的進程以及個體成長與成熟的時序各有不同，但是許多的動作基本能力，都會因年齡的增長而發展。也可說，動作發展的情況與年齡增長相關 (age-related) 而不是決定於年齡 (age-dependent) (Gallahue & Ozmun, 2002 ; Haywood & Getchell, 2001 ; Payne & Isaacs, 2002)。

綜觀以上的論點，可以歸納出一些看法：以動態系統來說明兒童的投擲動作控制發展，除了個體成長與成熟的生理機制之外，還包含了工作項目及環境與個體間的互動。以往的研究大多在探討工作、環境給予個體不同的限制；而個體為了突破不同的各種限制，動作就由穩定趨於不穩定，進而產生動作的改變，或許更臻成熟也可能有退化（regression）的現象。而本研究將就環境賦使（affordance）在兒童動作發展中所給予積極、直接的引導的改變中，進一步探究個體、環境、工作項目三者中除了速度限制（rate limiter）之外的另一種反向的深層意義。個體在亟於完成工作項目時，環境賦使是不是會引起其內在本質（如成熟度、動作控制、平衡、關節角度等）的改變？動態系統理論中除了因為各種限制而促使個體動作改變之外，是否也能由個體與工作項目的直接互動中形成改變？而投擲動作型態中，肘、腕關節角速度的變化會不會因為遮眼或引導而有不同的動作發展？

第二節 研究目的與假設

一、研究目的

從以上問題背景的探討之後，本研究的主要目的即是透過遮眼投擲及引導投擲，以了解環境賦使的介入對於不同年齡兒童投擲動作特徵及控制型態發展的影響。

二、假設

（一）有無遮眼及引導，在兒童投擲動作中，球距、球速等運動學參數會產生顯著差異。

- (二) 有無遮眼及引導，在兒童投擲動作中，其肘關節 (elbow joint)、腕關節 (wrist joint) 及肩關節 (shoulder joint) 的角度與角速度會產生顯著差異。
- (三) 不同年齡兒童投擲動作中，其肘關節、腕關節及肩關節的運動學參數會產生顯著差異。
- (四) 不同年齡兒童投擲動作中，其投擲時間及時間差等運動學參數會產生顯著差異。

第三節 名詞解釋及操作型定義

一、環境賦使 (affordance)

Gibson (1977) 的環境賦使 (affordance) 觀念，是用於解釋環境對個體動作表現之影響，而且強調環境與個體之間呈現自然的相互影響，且個體的特質與本能對環境的控制及作用亦有差異。根據動作發展的動態系統觀點認為動作的產生，是由個體、環境與工作三個次系統所交互作用而形成，這些個體的相關因素在面對環境的特性與工作的要求時，會產生自我組織的功能 (Haywood & Getchell, 2001)。而環境賦使是給予三者交互作用中積極、誘導的中介因子 (mediator)，生態論 (ecological theory) 的學者認為行動系統 (action system) 的主要作用之一，就是主動的探索環境以取得能讓自我動作改變的有用的環境訊息，這些感知訊息會再透過個體自我重組的歷程形成動作展現。故本研究即透過遮眼與引導投擲使實驗參加者產生動作控制上的改變，即進一步將視覺引導 (visual guidance) 視為環境賦使的因子，觀察兒童在球距、球速、上肢關節角速度及出手時間等運動

學參數是否有顯著差異。

二、投擲動作 (throwing)

雖然先前對投擲動作研究大多偏向全身協調性的投擲動作發展與研究 (Butterfield & Loovis, 1993 ; Nelson, Thomas, & Nelson, 1991 ; Gallahue & Ozmun, 2002 ; Haywood & Getchell, 2001)。而近來因為科學儀器之進步，因此對過肩單手投擲的動作也有愈趨細分的情形，所以本研究採用雙足前伸坐姿單手過肩的全力投擲動作 (forceful throwing)。且本實驗即針對遮眼與引導對投擲動作的直接影響，利用高速攝影機拍攝受試者的投擲動作加以收集資料。探討肘、腕、肩關節之運動學參數、上肢的運動參數特徵以及球出手瞬間的速度分析。

三、兒童 (children)

在本研究中是指就讀於幼稚園中班以及國小一、三、五年級的學生，其年齡分別為 5 歲、7 歲、9 歲、11 歲。

四、動作發展 (motor development)

Gallahue 和 Ozmun (2002) 認為在整個生命階段中因受到個體、環境的影響、工作任務需求等三者的交互作用，個體的動作因而產生連續性的改變，稱為「動作發展」。

五、年齡差異 (age differences)

年齡差異在本研究中是指研究者採用橫斷式 (cross-sectional) 的實驗設計，所得到不同年齡群兒童的不

同動作表現結果。而橫斷式實驗設計乃是針對不同發展階段群體的一種或多種行為，同時進行研究，故能在短時間內獲得各年齡階段發展之資料；此種方法在時間上雖然經濟，但因為所得到的資料並非來自同組個體，因此不能用以解釋發展上的因果關係（張春興，1989）。

六、動態系統（dynamical systems）

動態系統源於數學與物理科學，在解釋系統隨著時間的增加而改變的歷程。而運動科學的研究則源於 Kugler、Kelso 和 Turvey（1980, 1982），他們提供了運動技能表現的新研究方向，以及動作行為的另類解釋。動作發展的動態系統理論認為動作技能的獲得是經由個體、環境和工作任務三者的協調與控制，而產生動作穩定性的表現（Newell & Corcos, 1993）。

第四節 研究範圍與限制

由於以往有關於投擲動作的控制發展，雖然因各研究年齡的分組差異、所探討的參數不同或是實驗情境設計的差異而有不同的結果。但是可以發現運用動態系統來說明的各種實驗多偏向限制（constraints）的討論，如：不同投擲目標條件（Robertson, 1987）及不同大小的球（Burton, Greer, & Wiese, 1992）。不過值得注意的是，在許多基本動作的形成過程當中，環境賦使與個體在工作任務之間的鼓勵作用、積極正面的誘發作用也是不能忽視的。因此，為了更清楚了解中晚期兒童投擲動作控制的年齡效應，以及環境賦使的積極

引導中，兒童的投擲動作發展是否會產生新的機轉。本研究以 5、7、9、11 歲動作協調發展正常男童的自願實驗參加者為研究對象，來了解中晚期兒童投擲動作控制的年齡效應，並且在遮眼與引導的「環境賦使」下，對兒童投擲動作中肩關節、腕關節及肘關節的運動學參數進行觀察以及身體為了有更好的投擲動作表現，上肢變化、球速等運動學參數特徵所做的改變。而實驗過程中為瞭解視覺引導所產生的效果，所以第一次先做遮眼投擲，而視覺逐漸適應後再立即做第二次引導投擲。本研究的資料收集是採用高速攝影機為測量工具、投擲球是以國內少年軟式棒球比賽標準球。另外，在研究中有關於投擲動作的過程及目標物的提供，除了在實驗的情境力求控制外，在實驗參加者進行投擲的過程中，也加以口語、精神上的鼓勵。因此，本研究假定所有實驗參加者均能按照實驗要求盡力完成，而且遮眼與引導的不同投擲形式，投擲者的投擲運動參數會有所改變。由於本研究為橫向研究（cross sectional study），因此未來在縱貫年齡效應上，應注意無法解釋年齡改變的研究限制。

第五節 研究的重要性

投擲動作是許多動作的基礎，同時也是動作協調發展中的「球類技巧」裡一項十分重要的基本能力。而對兒童的體育課教學或是課程內容的安排上，甚或競技運動訓練的動作指導上均需要對學生、運動員的動作能力及控制發展有所了解。本研究可以了解環境賦使對中晚期兒童投擲動作控制能力中的年齡差異情形，使教學者可以對不同年齡兒童的投擲

控制及型態有更全面的了解。另外，由於中晚期兒童相當熱愛球類運動，因此投擲動作的良好協調發展更能讓兒童日後有持續運動的機會。透過本研究也可以了解環境賦使對中晚期兒童投擲動作控制發展的影響，可以供體育教師在教學設計時的參考。

第貳章 文獻探討

本章將以往相關的文獻加以分析探討，分為第一節、兒童投擲動作發展的相關研究；第二節、兒童期投擲動作型態發展相關文獻；第三節、動態系統理論於兒童動作發展中的應用；第四節、環境賦使影響兒童動作發展的相關論點；第五節、本章總結。

第一節 兒童投擲動作發展的相關研究

有關於兒童投擲動作的研究有些研究者認為兒童隨著年齡的增長投擲動作就會更趨於成熟（Hicks, 1930；Morris, Williams, Atwater, & Wilmore, 1982），也就是說兒童的投擲動作是隨著年齡呈現線性的發展趨勢。但是許多研究者對投擲者的動作型態、身體生物因素（biology）、性別等在年齡上做縱貫式（longitudinal）及橫斷式（cross-sectional）的研究，發現兒童的投擲動作可能受遺傳、環境、練習等不同的影響而呈現非線性的發展。其中以 Wild（1938）對 32 名 2 至 12 歲的兒童為受測者所做的影片觀察分析可視為投擲動作研究之濫觴；而她也透過此研究提出了重要的四個投擲動作的階段，至今仍有許多研究沿用此階段分析。而在年齡縱貫式的研究中 Roberton 及其同事所發展出來的 The Roberton Method，更可以說是投擲動作肢段分析法（segmental analysis）中最具代表性的，他們自 1972 年至 1979 年 7 年當中收集了原始樣本 73 位兒童，其中 39 位兒童（22 位男生和 17 位女生）為持續有效樣本分別記錄了 6 歲、

7 歲、8 歲、及 13 歲的資料探討在全力投擲當中球速對前臂、上臂、跨步、墊步及軀幹等因子的相關性中發現同一個體在每個年齡層對於各個動作因子在不同的年齡層中進步的比率均不相同。更可以驗證孩童投擲動作的發展並非呈現線性發展 (Robertson & Konczak, 2001; Langendorfer & Robertson, 2002)。

而在性別的差異性中，明顯的可以看出男童的投擲動作不論在投擲距離、球速以及動作型態上普遍優於女童；而且一些研究者由成長環境、社會角色期許、運動參與及生物學的觀點驗證了這個論點 (Nelson, Thomas, & Nelson, 1986, 1991) 甚至有研究明顯的指出五年級女生的投擲型態成熟度的百分比 (the percent of mature patterns) 還低於二年級的男生 (Butterfield & Loovis, 1993)。另外，Yan、Payne 和 Thomas (2000) 等人利用兩台攝影機拍攝 51 名 3 至 6 歲的女童的投擲動作，專門針對球出手速度及肘關節的伸屈角度作分析發現 6 歲的女童在投擲出手時肘關節屈伸角度較 3、4 歲女童靈活。

透過上述我們可以瞭解，兒童的投擲動作發展與性別、年齡、成長環境、遺傳都有相關性，但是由兒童投擲的動作型態中，是否也可以觀察出其發展的關鍵時期呢？研究者將透過下節探討。

第二節 兒童期投擲動作型態發展相關文獻

在問題背景中曾提到 Gallahue 和 Ozmun (2002) 認為基本動作期的動作型態根據特性可以分為穩定性 (stability)、

移動性 (locomotion)、操作性 (manipulation) 三種。其中投擲、接、踢、打擊、運球等動作技能動作均屬於操作性動作。因此投擲動作的形成十分強調全身的協調，所以許多研究者透過全身觀察法 (total body approach) 或是因素組成觀察法 (component approach) 來觀察投擲動作。

Adrian 和 Cooper (1995) 在他們的書中以運動力學的觀點形容成熟的投擲動作型態應該注意的項目，如：高速投擲的概念、四個重要的轉軸 (axes of rotation)、環肩關節的複雜性、肌肉的重要性、手部的作用、腕關節的作用等。Enoka (1993) 更提出投擲動作依照其動作型態可以分為過肩投擲 (如，棒球、板球、標槍、飛鏢等運動項目常使用)、低手投擲 (如，保齡球、壘球等運動項目常使用)、推擲 (如鉛球運動項目常使用)、拉擲 (如鐵餅、鏈球等運動項目常使用) 四種型態。但本研究所討論的兒童投擲動作型態發展是以過肩投擲為主。

Gallahue 和 Ozmun (2002) 將投擲動作分為初始階段 (initial stage)、基本階段 (elementary stage) 和成熟階段 (mature stage) 三階段 26 種動作技巧及 8 個發展的困難點，每種動作技巧和每個困難點均配合兒童身體發展與形成投擲動作的關鍵處，更可以看出過肩投擲動作在兒童動作發展之重要性。

但有許多的研究者也嘗試各種運動科學實驗的方法，希望找到影響兒童投擲動作發展中的重要參數。如 Yan、Hinrichs、Payne 和 Thomas (2000) 等人發現常態下的猛力投擲 (normalized jerk) 對於女童的投擲動作型態有明顯的影響；6 歲女童在猛力投擲動作中所表現擲球手的加速度及

投擲過程的流暢性明顯的比 3 歲、4 歲的女童來得好。而一些研究者透過投擲動作是由各種自由度的關鍵轉換而形成的發展觀念，便利用攝影機做分析孩童的投擲動作，像 Sekine、Toyokawa、Ae 和 Fujii (2002) 等研究者針對國小一、三、五年級的學童進行三度空間 DLT 法分析其動作型態，結果發現三年級學童就能夠在適當的角度出手投球，而且隨著年齡的增加藉由支撐腳跨步的動作，影響身體前後左右的運動範圍。另外，五年級的學童因為軀幹以上動作範圍擴大而增加球的加速距離及出手球速；由此可知，投擲動作的成熟度會直接表現在軀幹以上的動作上。

而另外一群研究者則到大學、高中找業餘運動員擔任受試者，其中包含三位棒球投手、一位美式足球四分衛、二位網球選手、三位沒參加過投擲相關運動競技的一般運動員。利用投擲動作型態六階段：封閉期 (wind-up)、跨步期 (stride)、手臂上揚期 (arm-cocking)、加速期 (acceleration)、減速期 (deceleration) 和跟隨期 (follow-through) 進行手、足、肩、胸、腹主要投擲的 17 條肌肉群做肌電圖 (electromyography) 資訊收集，發現肘伸肌 (elbow extensor) 並不足以構成球速產生的主要動力；而腕關節肌肉群 (wrist musculature) 是影響投擲準確度的重要關鍵 (Hirashima, Kadota, Sakurai, Kudo, & Ohtsuki, 2002)。雖然這樣研究是針對成人完整的、成熟的投擲動作進行分析，但對於運動學中所傳達出的動作型態發展而言可顯現其參考意義。

第三節 動態系統理論於兒童動作發展中的應用

蘇聯學者 Bernstein (1967) 對於動作控制與發展提出自由度的問題，但是由於人體的自由度過多，為了簡化整個動作控制過程，必須將簡單的動作形成聯結 (unit)，所以提出了三個對動作控制的主要觀念，即 (1) 將整個個體視為機械系統 (mechanical system)，強調個體並非處於靜態狀況；(2) 自由度觀念的提出。控制了身體的自由度即掌控了動作控制。他強調穩定性 (stability) 的必要性，神經系統可將幾塊肌肉組群聯結成一個控制單元，稱為協同動作 (synergy) 這些協同動作即為協調動作的重要基礎。舉例來說人體並非一個分散的機器零件組，而是像汽車的方向盤一樣會形成聯結的機械性；(3) 所謂動作協調能力就是能掌控自我多餘的自由度，為了要掌控新的自由度，此時個體會先凍結部分自由度而產生退化的情形。以上觀點的提出導致一般的動作發展 (motor development) 的哲學思考有了重大的轉變，亦即開始趨向於動態系統 (dynamic systems) 的概念模式。這個模式與動作發展成熟觀點 (maturational perspective) 有相當大的差距 (Gesell, 1954; McGraw, 1939)。因為成熟觀點認為中樞神經的成熟才是主要影響動作發展的主因，但是動態系統卻認為某些動作的出現是受到許多關鍵因素的控制。這些因素可分為環境、工作項目與個體三個次系統 (sub-systems)，換句話說中樞神經只不過是個體次系統的其中一個參數，而由於這三個次系統的交互作用，生物體因而產生動作型態進一步去控制動作。另外這三個次系統它們

對動作的發展是因為在互動之中有所謂速率限制 (rate-limiting) 以及環境賦使 (affordance) 的直接機制等因素存在。而在某些因素的一部份限制下，新的動作並無法出現，而當這些速率限制中最慢的因素成熟後，另一個新的動作才會出現；(Haywood & Getchell, 2001)。此外，人體也會隨著這些因素的變化，透過自發性的自我組織 (self-organization) 能力，而形成在特殊條件下的特有動作型態。但在面對環境、工作項目不同的任務時，個體也會由其本質產生直接的目標性的改進與提昇。因此，動態系統認為動作的發展是非連續性的 (discontinuous)，即使是在某些次系統的連續性的改變下，動作常是以突現 (emerging) 的階段方式發展，例如：本來一個工作項目出現，個體可以使用形狀大小剛好的用具去完成它，但是因為提供的用具對個體而言可能是形狀大小不襯手的工具，此時個體立刻和環境、工作項目產生交互作用相對的會產生動態的模組而形成新的動作發展 (Haywood & Getchell, 2001)。此外在動作穩定的階段，由於動作本身吸引子 (attractor) 的影響，動作不易產生改變，然而由於環境、工作與個體某些條件的變化，動作開始產生不穩定的狀態 (instability)，而此時即是動作轉換 (transition) 的關鍵期，經過這個階段的發展後，動作即進入另一個穩定階段 (Magill, 2001)。

以動態系統觀點來探討動作型態變化的研究，楊梓楣及卓俊伶 (1998) 以 14 名平均年齡為 8 歲的國小二年級兒童為受測者，研究不同大小尺寸的球所形成的環境限制，對兒童接球動作型態的影響。結果發現，接球動作的型態會因球的尺寸大小而產生改變，而這種改變就是屬於關鍵突現的階段

性變化。另外，梁嘉音、卓俊伶和簡曜輝（1998）則是以 1 名社會甲組的女性籃球球員為受測者，利用改變投籃距離的環境限制研究對於投籃動作型態的影響。結果發現，投籃距離的不同一樣會使得投籃的動作型態產生改變，而且到了一定的距離後，動作甚至會產生關鍵性的退化現象。

因此，從動態系統的觀點來解釋不同動作的產生，可以發現其解釋可以涵蓋實際動作控制與生活動作發展中許多動作形成的原因。也解決了動作發展中年齡呈現非線性成長的問題。但是以動態系統所解釋的動作發展中，對於個體本身的本質（nature）對環境、工作項目互動的研究最近也漸漸被重視；Teixeiry 和 Gasparetto（2002）對 71 位年齡分別為 4、6、8、10 歲的兒童（男 34 人、女 37 人）其慣用手引起側面的不對稱在兒童投擲動作的發展的討論中就指出因為個體本身的限制引起環境、工作項目的被選擇性的情形。

第四節 環境賦使影響兒童動作發展的相關論點

Gibson（1977）所提出的環境賦使（affordance）觀念，是用於解釋環境對個體動作表現之影響，而且強調環境與個體之間呈現自然的相互影響，且個體的特質與本能對環境的控制及作用亦有差異。生態論（ecological theory）的學者認為行動系統（action system）的主要作用之一，就是主動的探索環境以取得能讓自我動作改變的有用的環境訊息，這些感知訊息會再透過個體自我重組的歷程形成動作展現。

而如果將環境賦使的論點應用在兒童動作發展上，可由

Marques-Bruna 和 Grimshaw (1997) 對 7 名 15 個月至 30 個月的幼兒利用兩架隱藏式攝影機拍攝其對父母 (為目標) 做投擲動作的分析發現沒有一個幼兒在投擲過程中將手肘關節完全伸展開來；但是所有的幼兒都有做出依照父母提示投擲的命令句的動作，也就是說兒童在成長的過程中周遭確實有許多的環境誘因以及目標物的導引，可能會誘發其產生動作。動作型態或許是爬、滾抑或是投擲、接球、踢等，但是在個體生長的成熟度達到動作學習的水平時，再配合環境訊息的適時提供，個體的動作就得以順勢成長。而由另一個例子而言，腦性麻痺 (cerebral palsy) 患者本身因為病理之限制所以無法行走如常人，但是如果給予鼓勵、適時的攙扶、或是營造一安全環境而使得其重新發展出行走的動作，此時可以發現患者都會發展出自己獨有的行走型態 (Gallahue & Ozmun, 2002)。所以由上述論點可知，環境賦使也是動態系統的動作發展中一項具影響力的參數。

另外，環境賦使也可以解釋在個體自我內在本質對環境的選擇，即當一個物體或工作出現在兒童面前時，他能立刻直接瞭解它的功用：例如說：目標的大小、形狀、質地等等。以上這些提供給個體的選擇訊息都可歸類為環境賦使 (Haywood & Getchell, 2001)。

所以我們由此可以瞭解，兒童投擲動作的發展除了個體、工作、環境三個次系統的交互作用中彼此所給予的限制之外，環境賦使所提供的正向引導也許更能解釋一些動作發展的機制。

第五節 本章總結

透過以上文獻探討，可以非常清楚地瞭解兒童投擲動作發展的重要。投擲動作在許多的運動競技項目之中或是身體協調能力的建構項目中都佔了十分重要的地位。但是它不同於跑、跳、走，日常生活中都有練習機會。因此就動態系統理論的觀點而言，兒童獲得此動作發展的過程當中，除了要探討速度、身體比率、環境、工作項目的限制外，環境直接所提供的正向訊息實在也不能忽視。因此把環境賦使當作是一種對個體系統的本質及環境、工作項目的直接影響函數，進一步了解中晚期兒童在環境賦使的引導下所產生投擲動作發展的變化，實在是一個具實用性又值得探索的課題。

第參章 研究方法與步驟

本研究根據研究問題的需要，通過三度空間影片分析法，以獲得運動學與動力學參數。而在研究方法與步驟上可分為：第一節、實驗參加者；第二節、實驗時間與地點；第三節、實驗儀器與設備；第四節、場地佈置；第五節、實驗步驟；第六節、資料的收集與處理方法；第七節、統計方法。

第一節 實驗參加者

本實驗的參加者為 5 歲 (5.1 ± 0.3 歲)、7 歲 (7.2 ± 0.3 歲)、9 歲 (9.2 ± 0.3 歲)、11 歲 (11.1 ± 0.2 歲) 男童各 8 名，共 32 名實驗參加者。在實驗之前，先請各實驗參加者填寫基本資料調查表。並且測量身高、體重、手掌長(如表 1)。接著研究者為每位實驗參加者及其家長或是監護人說明實驗的流程與步驟，並簽署「參與研究家長(監護人)同意書」(如附錄二)，而每位實驗參加者均為動作協調發展正常兒童且四肢沒有受過嚴重外傷。最後，所有實驗參加者均未接受與投擲能力相關的特殊運動訓練。

表 1：實驗參加者基本資料

| | 5 歲組 (n=8) | | 7 歲組 (n=8) | | 9 歲組 (n=8) | | 11 歲組 (n=8) | |
|--------|------------|-----|------------|-----|------------|-----|-------------|-----|
| | M | SD | M | SD | M | SD | M | SD |
| 年齡 (歲) | 5.1 | 0.3 | 7.2 | 0.3 | 9.2 | 0.3 | 11.1 | 0.2 |
| 身高(公分) | 116.7 | 4.1 | 122.5 | 6.7 | 134.3 | 5.4 | 145.4 | 2.2 |
| 體重(公斤) | 23.3 | 3.0 | 23.3 | 3.4 | 30.0 | 6.6 | 38.0 | 8.4 |
| 手掌(公分) | 13.5 | 0.7 | 13.9 | 1.0 | 15.2 | 0.7 | 16.4 | 0.9 |

第二節 實驗時間與地點

實驗前研究時間自 2004 年 4 月 20 日至 4 月 30 日，期間準備各項實驗器材以及聯絡受測者，並接洽實驗場地及協助人員。正式實驗時間為 2004 年 5 月 17 日至 31 日以彰化縣村東國小操場為實驗地點，依據實驗需求，在內自行佈置一不受外界干擾的實驗場所。

第三節 實驗儀器與設備

本研究所需要的實驗儀器與設備(如圖一)，包含了測量部份及資料處理部份：

一、測量部份：

- (一) Redlake Motion Scope1000 高速攝影機 2 部。
- (二) 自製三度空間座標架 1 個 (25 個參考點)。
- (三) 紅白標示旗 1 組。
- (四) 長板凳 (長 150 cm , 寬 60 cm , 高 35 cm) 1 張。

- (五) 標準軟式棒球 (直徑 7 cm ; 重 130 g) 3 個。
- (六) 眼罩 40 個、標示貼點 40 組。
- (七) 50 公尺皮尺一捲。

二、資料處理部份：

- (一) 影像數位化部份與分析部份 (運動學資料的分析), 是使用 SIMI 分析軟體。而其硬體方面包含：個人電腦一部, 攝影電腦 2 部。
- (二) 實驗數據的統合整理是以 Origin 7.0 版專業資料分析系統進行處理與作圖。
- (三) 以 Microsoft Excel 2000 版資料分析系統分析資料。
- (四) 以 SPSS for Windows 10.0 版統計分析軟體進行統計分析。

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



圖 1：實驗儀器設備。註：(a) 高速攝影機；(b) 高速攝影機連結電腦；(c) 高速攝影機觀測螢幕；(d) 25 點定位座標架 (e) 實驗用長板凳；(f) 軟式少棒標準球。

第四節 場地佈置

為了使本實驗可以有效進行，針對實驗設備位置將實驗場地加以分區，並分配各區實驗人員。工作場地區分為：一、報到與基本測量區；二、貼點說明區；三、投擲測量區。各區實驗人員工作如下：

- 一、報到與基本測量區：(一)說明實驗流程與注意事項；(二)測量及登錄實驗參加者基本資料。
- 二、貼點說明區：每位實驗者在此於左右肩關節、左右肘關節、左右腕關節、左右髁關節、右手背中心等處貼上 9 個保麗龍標示點（直徑 1.5 公分半球點）並向受試者說明投擲注意事項，請受試者做暖身運動。
- 三、投擲測量錄影拍攝區：實驗參加者坐於長條板凳上從事投擲運動。參加者的膝關節以機車輪內胎固定並要求完全平直。指導實驗參加者遮住雙眼坐在長板凳上以右手執球做單手全力投擲動作（forceful throwing）。於實驗參加者睜開雙眼的同時在第一次投擲落點兩倍距離處站立一位協助測試者雙手搖旗，要求實驗參加者再一次以右手執球做單手全力投擲動作。場地的佈置大約如下所述：二部高速攝影機拍攝頻率為 250Hz、快門為 1/2500，『矢狀面攝影機』鏡頭中心與受測者的直線距離為 16.5 m，取景範圍寬 4 m、高 3 m，景深 4 m，『60 度角攝影機』鏡頭中心與受測者的直線距離為 33.0 m。（如圖 2）

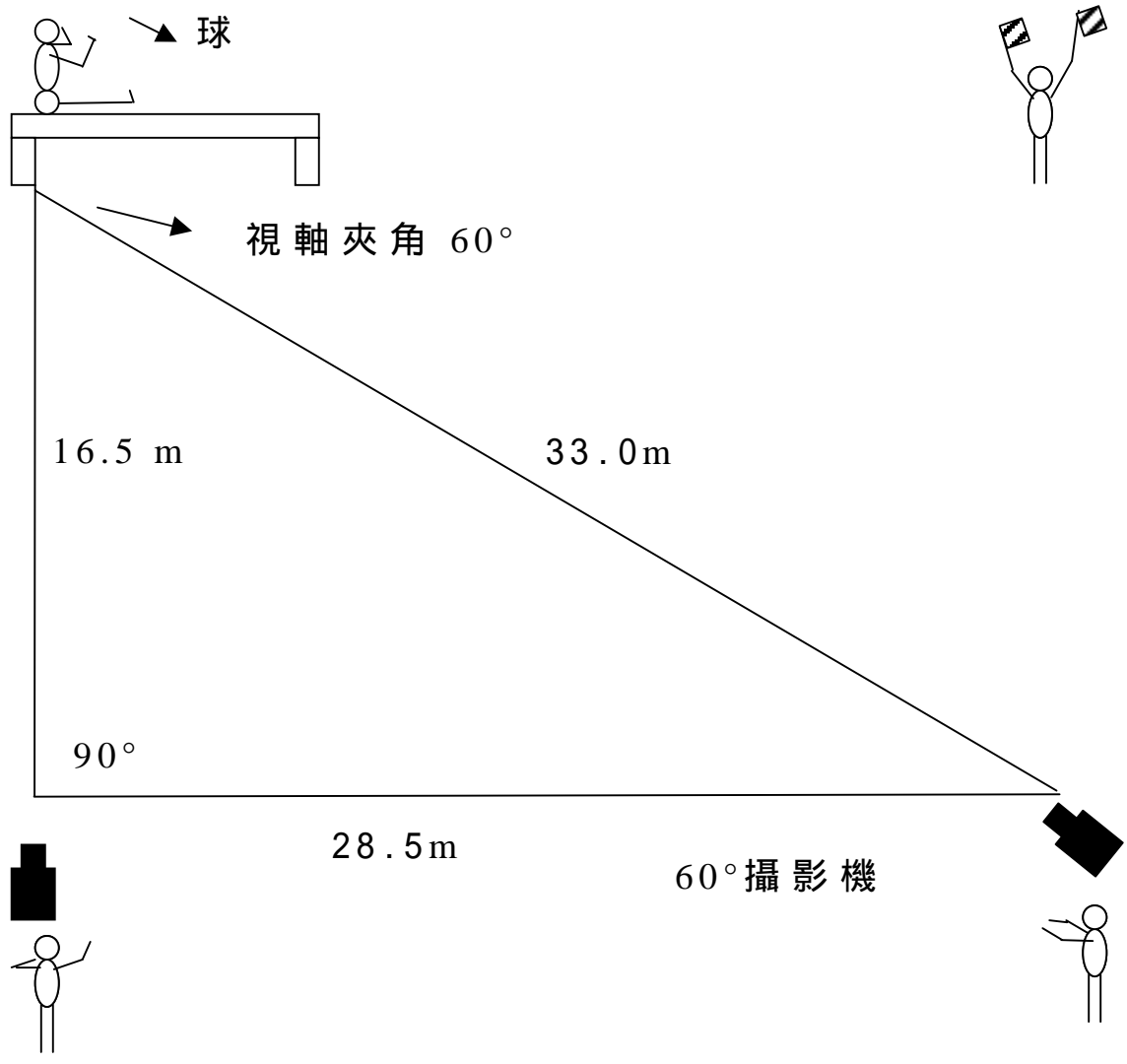


圖 2：實驗場地高速攝影機配置圖

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



圖 3：實驗場地配置及實驗概況。註：(a) 實驗說明區；(b) 貼點準備區；(c) 以機車輪內胎固定下肢；(d) 戴眼罩投擲說明；(e) 兩位攝影機操作者確同步時間；(f) 矢狀面投擲拍攝。

第五節 實驗步驟

本研究實驗進行步驟流程（如圖 4）如下：

- 一、篩選出 5 歲、7 歲、9 歲、11 歲兒童各 8 名，其身高、體重在各年齡常模平均值上下一個標準差範圍，及非動作發展不協調者為實驗參加者。
- 二、實驗開始前先取得每一位實驗參加者監護人的實驗同意書。
- 三、實驗前研究：將正式實驗進行時的整個流程加以確定。
- 四、實驗參加者在報到後聽取實驗流程與注意事項。
- 五、實驗參加者進行熱身活動，並聽取投擲動作要求規定。
- 六、在正式進行實驗時，先拍攝三度空間座標架約兩分鐘，並以高頻閃光燈確定兩台高速攝影機為同步。實驗參與者依照主試者的口令動作，當聞「請就位」的口令時，實驗參與者自行入內並就座於特製的長板凳上，使用眼罩自行遮住雙眼。當主試者下達「投擲」口令的同時實驗參與者朝前方盡可能的全力投擲，主試者同時利用 Redlake Motion Scope1000 高速攝影機拍攝實驗參與者的動作。接著由協助測試者站立於第一次落點兩倍距離遠處，並請實驗參與者拿掉眼罩，主試者下達「第二次投擲開始」口令的同時，實驗參與者朝前方揮舞雙旗之協助測試者處盡可能的全力投擲，再利用 Redlake Motion Scope1000 高速攝影機拍攝實驗參與者的動作，並記錄之，以作為分析此動作之參考。

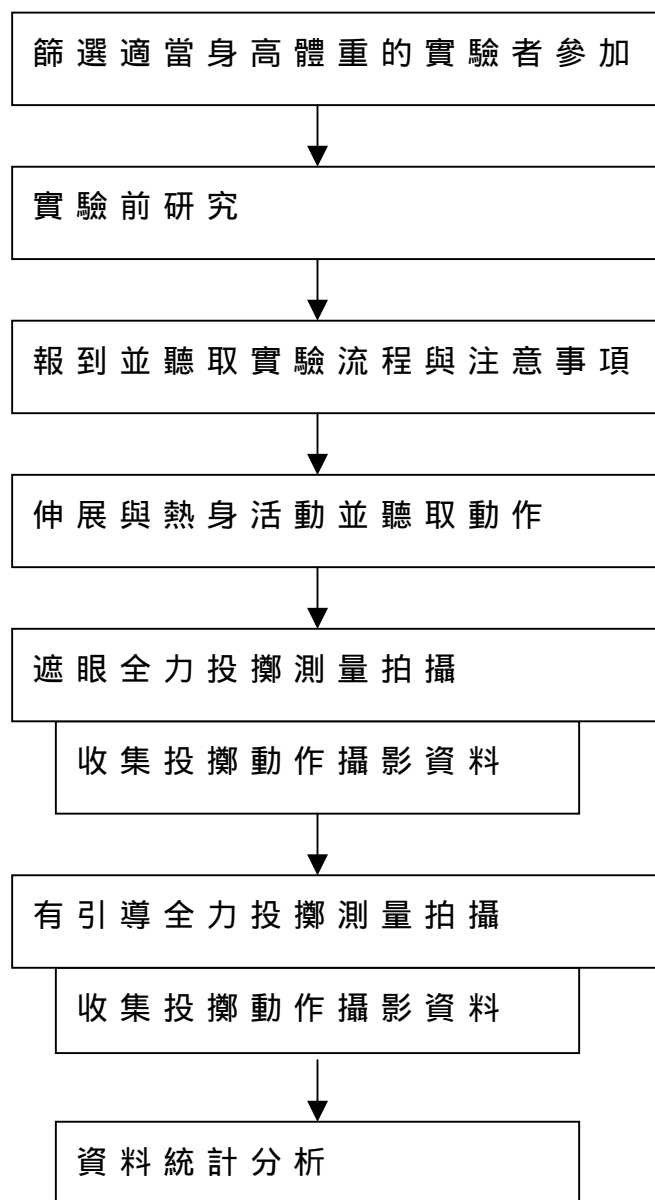


圖 4：實驗實施流程圖

第六節 資料的收集與處理方法

一、運動學的資料

(一) 運動學資料數位化的過程

本研究是使用 SIMI 的三度空間動作分析系統，分別點取二部攝影機的標誌點 (landmark)、身體標誌點 (標誌點位置如圖 5)。人體的 9 個標誌點：左肩、右肩、左肘、右肘、左腕、右腕、左髖、右髖及右手掌將人體簡化為 6 個肢段，分別為：右手、右前臂、右上臂、軀幹、左上臂、左前臂等。為了測驗球出手速度，再增加 1 個球的標誌點，共計 10 個標誌點。

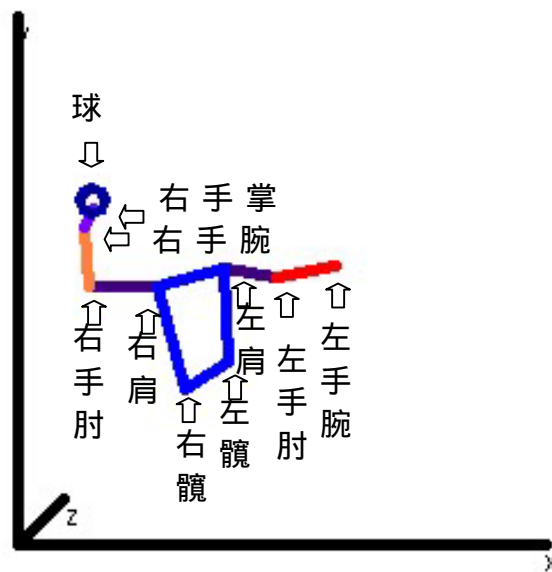


圖 5：數位化分析的標誌點位置與名稱

此座標是為每一部攝影機的個別座標系統 (camera coordinate system) , 將二部攝影機的個別座標系統資料經直接線性轉換 (direct linear transformation) 後 , 即可獲得實際的三度空間座標值。有關整個數位化的原理與過程將依下列三點說明 : (1) 直接線性轉換 ; (2) 資料的修勻 ; (3) 速度與加速度的計算方法。

(1) 直接線性轉換

利用影片分析三度空間座標時 , 取影片座標與空間座標的線性關係來計算空間座標的方法 , 稱為直接線性轉換法 , 它必須以控制點來計算轉換常數 , 並依兩部攝影機的轉換常數來計算空間座標。其計算攝影機常數的方法 , 是以 12 個方程式計算 11 個轉換常數 , 方法如下 :

設 攝影機號碼 $i=1,2$ 控制點號碼 $j=1,\dots,n$

U_{ij} = 控制點 j 攝影機 i 的水平座標

V_{ij} = 控制點 j 攝影機 i 的垂直座標

A K 為轉換常數 x, y, z 為控制點的空間座標

其線性關係如下 :

$$\begin{aligned}
 U_{ij} &= \frac{A \bullet x_j + B \bullet y_j + C \bullet z_j + D}{E \bullet x_j + F \bullet y_j + G \bullet z_j + 1} \\
 V_{ij} &= \frac{H \bullet x_j + I \bullet y_j + J \bullet z_j + K}{E \bullet x_j + F \bullet y_j + G \bullet z_j + 1} \quad \dots \dots \dots ()
 \end{aligned}$$

利用六個以上的控制點，即可將方程式以行列式表示，並以最小平方法計算出 A 至 K 共 11 個的轉換常數，其寫法如下：

$$\begin{bmatrix}
 x_1 & y_1 & z_1 & 1 & -U_1 x_1 & -U_1 y_1 & -U_1 z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_2 & y_2 & z_2 & 1 & -U_2 x_2 & -U_2 y_2 & -U_2 z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_3 & y_3 & z_3 & 1 & -U_3 x_3 & -U_3 y_3 & -U_3 z_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_4 & y_4 & z_4 & 1 & -U_4 x_4 & -U_4 y_4 & -U_4 z_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_5 & y_5 & z_5 & 1 & -U_5 x_5 & -U_5 y_5 & -U_5 z_5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_6 & y_6 & z_6 & 1 & -U_6 x_6 & -U_6 y_6 & -U_6 z_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & \bullet & & & & & & \\
 & & & & \bullet & & & & & & \\
 & & & & \bullet & & & & & & \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_1 x_1 & -V_1 y_1 & -V_1 z_1 & x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_2 x_2 & -V_2 y_2 & -V_2 z_2 & x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_3 x_3 & -V_3 y_3 & -V_3 z_3 & x_3 & y_3 & z_3 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_4 x_4 & -V_4 y_4 & -V_4 z_4 & x_4 & y_4 & z_4 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_5 x_5 & -V_5 y_5 & -V_5 z_5 & x_5 & y_5 & z_5 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_6 x_6 & -V_6 y_6 & -V_6 z_6 & x_6 & y_6 & z_6 & 1 \\
 & & & & \bullet & & & & & & \\
 & & & & \bullet & & & & & & \\
 & & & & \bullet & & & & & &
 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \\ G \\ H \\ I \\ J \\ K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \\ V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{bmatrix}$$

在求得轉換常數後，即可依轉換常數建立空間座標方程式，其方法即將 A 至 K 代入方程式 () 中，並由二部攝影機的平面數位化資料，以最小平方法 (least square method) 求解 x, y, z, 其方程如下：

$$\begin{bmatrix} A_1 - E_1 U_1 & B_1 - F_1 U_1 & C_1 - G_1 U_1 \\ H_1 - E_1 V_1 & I_1 - F_1 V_1 & J_1 - G_1 V_1 \\ A_2 - E_2 U_2 & B_2 - F_2 U_2 & C_2 - G_2 U_2 \\ H_2 - E_2 V_2 & I_2 - F_2 V_2 & J_2 - G_2 V_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 - D_1 \\ V_1 - K_1 \\ U_2 - D_2 \\ V_2 - K_2 \end{bmatrix}$$

由於三度空間參考座標架上的控制點之座標為已知值 (實際測量而得) , 故可以以均方根 (root mean square) 法 , 求得此直接線性轉換法的估計誤差值 , 其算法如下 :

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum (X_R - X_i)^2}{N}} \dots \dots \dots ()$$

其中 X_R 為參考值 , X_i 為實測值。

本研究以 25 個參考點座標進行 11 個直接線性轉換常數的計算 , 並計算 25 個參考點實際座標值與線性轉換後座標值 , 計算參考點的誤差在各方向的誤差都小於 0.5%。

(2) 資料的修勻

從影片轉換過來的座標數據稱為「原始數據 (raw data)」, 而原始數據中常常參雜有噪音 , 這些噪音的來源包括攝影機的震動、數位化過程的人為判斷誤差或是轉換過程中的一些隨機誤差...等 (Winter , 1990)。所以 , 利用數字平滑技術以降低誤差的方法就顯的相當重要。

本研究採用的平滑方法是 SIMI 軟體提供的零相位移數位濾波法 (butterworth fourth-order zero lag digital filter) 將數位化後的原始資料加以修勻 , 其修勻的方程式如下 :

$$X^1(nT) = a_0 X(nT) + a_1 X(nT - T) + a_2 X(nT - 2T) + b_1 X^1(nT - T) + b_2 X^1(nT - 2T) \dots \dots \dots ()$$

X^1 : 為修勻後座標資料

X : 為未修勻的原始座標資料

nT : 為第 n 個採樣畫面 ($nT - T$) : 為第 n-1 個採樣畫面

($nT - 2T$) : 為第 n-2 個採樣畫面

$a_0 \dots \dots b_2$ 等 : 為過濾係數

本研究的數位濾波法中，選用的截止頻率 (cutoff Frequency) 是以系統軟體提供的最佳截止頻率；修勻的方式是以原始數據帶入公式 () 中從頭至尾過濾一次，是為二階低通濾波 (butterworth-type low-pass filter of second order)，可是這將會在截止頻率處有 90 度的滯後相移 (phase lag)，而產生相失真 (phase distortion)，所以，為了消除此至後相移的情形，則再將修勻後的資料自尾至頭修勻一次，使相位前移 90 度，此即為零相位移數位濾波法。

(3) 速度與加速度的計算方法

假設位移的資料為 d_i ， $i=1, \dots, n$ (i 為影片張數)

Δt 為影片與影片間的時間間隔

則當 $i=1$ 時，速度
$$V_1 = \frac{-d_3 + 4d_2 - 3d_1}{2\Delta t}$$

當 $i=2, \dots, n-1$ 時，速度
$$V_i = \frac{d_{i+1} - d_{i-1}}{2\Delta t}$$

當 $i=n$ 時，速度
$$V_n = \frac{d_{n-2} - 4d_{n-1} + 3d_n}{2\Delta t}$$

加速度的計算方式如下：

當 $i=1$ 時，加速度
$$a_1 = \frac{2d_1 - 5d_2 + 4d_3 - d_4}{\Delta t^2}$$

當 $i=2$ 和 $n-1$ 時，加速度
$$a_i = \frac{d_{i+1} - 2d_i + d_{i-1}}{\Delta t^2}$$

當 $i=3, \dots, n-2$ 時，加速度
$$a_i = 0.0833 \times \frac{-d_{i+2} + 16d_{i+1} - 30d_i + 16d_{i-1} - d_{i-2}}{\Delta t^2}$$

當 $i=n$ 時，加速度
$$a_n = \frac{d_{n-3} - 4d_{n-2} + 5d_{n-1} - 2d_n}{\Delta t^2}$$

(4) 資料的擷取方法

本研究的影片擷取是以出手點為標準點，出手前蒐集 100 張圖檔出手後蒐集 30 張圖檔合成之影像；以利實驗分析與觀察。

第七節 統計方法

分析處理後的各參數資料，利用 SPSS for Windows 10.0 版軟體，將各參數以二因子變異數分析 (two way ANOVA)，以遮眼投擲及引導投擲為重複量數進行統計考驗，比較不同年齡與遮眼投擲及引導投擲球距、球速、上肢各關節角速度以及時間差等投擲運動學參數的差異顯著性。交互作用若達顯著差異，則進行單純主要效果分析，若達統計顯著水準，則以 Duncan 法進行事後比較；交互作用若未達顯著差異，而主要效果若達統計顯著水準，則以 Duncan 法進行事後比較。本研究統計顯著水準 = .05。

第肆章 結果與討論

本研究主要目的在於探討遮眼投擲與引導投擲時，不同年齡兒童投擲動作型態及各項運動學參數特徵的差異。實驗所得數據經處理後，將結果分為四節加以說明：第一節、球距與球速特徵；第二節、投擲手各不同關節角速度；第三節、出手角度及投擲手關節角速度時間差；第四節、討論。

第一節 球距與球速特徵

一、球距特徵

因為許多研究投擲型態的文獻大多是以測量球距及球速變化來當作依變項探討，所以本節先針對球距及球速作分析。表 2 是各年齡階層遮眼投擲與引導投擲球距和各項球速參數之平均值與標準差的呈現。而本實驗比較不同年齡組兒童在球距的差異性時，由混合設計二因子變異數分析結果顯示，年齡與投擲方式的交互作用未達顯著差異 ($F(3, 28) = 2.54, p > .05, \eta^2 = .21, \text{power} = .56$)。不過球距在年齡因子的主要效果有達顯著差異 ($F(3, 28) = 22.54, p < .05, \eta^2 = .71, \text{power} = 1.00$)，隨著年齡的增加，投擲球距越遠。另外球距在投擲方式因子的主要效果也達顯著差異 ($F(1, 28) = 7.83, p < .05, \eta^2 = .22, \text{power} = .77$)，進一步比較遮眼投擲與引導投擲的平均數，顯示不同年齡兒童在引導投擲時的球距 ($7.85 \pm 2.76 \text{ m}$) 顯著高於遮眼投擲時的球距 ($7.28 \pm 2.81 \text{ m}$)。所以研究者更進一步想藉由球速運動學參數的蒐集來瞭解不同年齡兒童在引導與遮眼投擲上的差異。

表 2：各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項球速參數

平均值 (M) 與標準差 (SD)

| | 5 歲組 (n=8) | | 7 歲組 (n=8) | | 9 歲組 (n=8) | | 11 歲組 (n=8) | |
|----------------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|---------------|-------|
| | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 |
| 球距 (m) | | | | | | | | |
| M | 4.19 | 4.62 | 6.66 | 6.95 | 7.78 | 9.31 | 10.48 | 10.54 |
| SD | 1.70 | 1.42 | 1.16 | 0.94 | 2.28 | 1.67 | 1.53 | 2.13 |
| 最大球速 (m/sec) | | | | | | | | |
| M | 7.80 | 7.85 | 8.93 | 8.95 | 10.00 | 9.75 | 11.74 | 11.84 |
| SD | 1.24 | 1.26 | 1.23 | 1.24 | 0.91 | 1.06 | 1.45 | 2.20 |
| 最大水平球速 (m/sec) | | | | | | | | |
| M | 7.34 | 7.53 | 7.30 | 7.61 | 9.43 | 9.01 | 10.48 | 10.54 |
| SD | 1.13 | 1.20 | 1.17 | 1.13 | 0.99 | 1.07 | 1.53 | 2.13 |
| 最大垂直球速 (m/sec) | | | | | | | | |
| M | 2.17 | 2.29 | 2.06 | 2.33 | 3.39 | 3.90 | 4.57 | 5.22 |
| SD | 0.72 | 0.74 | 0.73 | 0.77 | 0.98 | 0.70 | 1.88 | 1.60 |
| 出手球速 (m/sec) | | | | | | | | |
| M | 7.58 | 7.63 | 8.71 | 8.74 | 9.76 | 9.43 | 11.38 | 11.39 |
| SD | 1.12 | 1.08 | 1.09 | 1.08 | 0.84 | 1.00 | 1.36 | 1.88 |
| 出手水平球速 (m/sec) | | | | | | | | |
| M | 7.22 | 7.31 | 8.18 | 8.19 | 9.20 | 8.68 | 10.21 | 10.15 |
| SD | 1.04 | 1.13 | 1.22 | 1.57 | 0.98 | 1.02 | 1.52 | 1.90 |
| 出手垂直球速 (m/sec) | | | | | | | | |
| M | -0.49 | 0.25 | 2.23 | 2.45 | 2.37 | 3.66 | 3.39 | 4.96 |
| SD | 2.01 | 1.78 | 0.92 | 1.24 | 1.87 | 0.85 | 3.45 | 1.75 |

二、最大球速及出手球速

由表 8 可以見到遮眼與引導投擲球距、最大球速、出手球速混合設計二因子變異數分析的各項數據。從分析中顯示出，遮眼投擲與引導投擲在最大球速的表現上年齡與投擲方式交互作用沒有顯著差異($F(3, 28) = 0.18, p > .05, \eta^2 = .02, \text{power} = .08$)。但年齡因子的主要效果達顯著差異($F(3, 28) = 13.98, p < .05, \eta^2 = .60, \text{power} = 1.00$)，隨著年齡的增加，最大球速越大。由投擲方式的主要效果分析來看遮眼投擲與引導投擲最大球速間沒有達顯著差異($F(1, 28) = 0.01, p > .05, \eta^2 = .00, \text{power} = .08$)。

另外針對遮眼投擲與引導投擲出手球速的混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用沒有顯著差異($F(3, 28) = 0.34, p > .05, \eta^2 = .04, \text{power} = .11$)但是年齡因子主要效果達顯著差異($F(3, 28) = 15.72, p < .05, \eta^2 = .63, \text{power} = 1.00$)，隨著年齡的增加，出手球速越大。投擲方式的主要效果分析來看，顯示遮眼投擲與引導投擲出手球速沒有達顯著差異($F(1, 28) = 0.15, p > .05, \eta^2 = .01, \text{power} = .07$)。所以在球距與最大球速、出手球速的變異性分析中發現了球距的投擲方式的主要效果有呈現顯著差異；但最大球速與出手球速卻沒有，這說明了仍有不同的球速運動學參數影響實驗參加者的投擲結果，所以進一步做以下分析。

三、最大水平球速及出手水平球速

研究者進一步來討論最大水平球速及出手水平球速。從表 9 可以瞭解比較不同年齡兒童遮眼與引導投擲間最大水平

球速及最大垂直球速、出手水平球速及出手垂直球速混合設計二因子變異數分析數據。

而由最大水平球速的差異情形來看，從混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用沒有顯著差異（ $F(3, 28) = 0.51$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .05$ ， $power = .14$ ）。但年齡因子主要效果達顯著差異（ $F(3, 28) = 8.64$ ， $p < .05$ ， $\eta^2 = .48$ ， $power = .98$ ），隨著年齡的增加，最大水平球速越大。而投擲方式的主要效果分析可以看出遮眼投擲與引導投擲的最大水平球速還是沒有顯著差異（ $F(1, 28) = 0.00$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .00$ ， $power = .05$ ）。另外再由出手水平球速之差異性比較不同年齡兒童在出手水平球速的差異情形；從混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用沒有顯著差異（ $F(3, 28) = 0.33$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .01$ ， $power = .09$ ）但年齡因子主要效果達顯著差異（ $F(3, 28) = 8.42$ ， $p < .05$ ， $\eta^2 = .47$ ， $power = 0.99$ ），年齡越大組出手水平球速越大。再來投擲方式的主要效果分析則顯示出遮眼投擲和引導投擲出手水平球速之間也沒有顯著差異（ $F(1, 28) = 0.45$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .05$ ， $power = .13$ ）。

四、最大垂直球速和出手垂直球速

在比較不同年齡兒童在最大垂直球速的差異情形上，由混合設計二因子變異數分析中顯示，年齡與投擲方式交互作用還是沒有顯著差異（ $F(3, 28) = 0.66$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .07$ ， $power = .17$ ）。但年齡因子主要效果達顯著差異（ $F(3, 28) = 12.84$ ， $p < .05$ ， $\eta^2 = .48$ ， $power = 1.00$ ），隨著年齡增加，垂直球速越大。而且投擲方式的主要效果分析也顯示遮眼投擲與引導

投擲最大垂直球速有顯著差異 ($F(1, 28) = 6.91, p < .05, \eta^2 = .20, \text{power} = .72$)。進一步比較遮眼投擲與引導投擲之平均數時發現不同年齡兒童在引導投擲時最大垂直球速 ($3.44 \pm 1.57 \text{ m/sec}$) 顯著高於遮眼投擲時最大垂直球速 ($3.05 \pm 1.53 \text{ m/sec}$)。而再進一步比較出手垂直球速之差異情形，從混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用也沒有顯著差異 ($F(3, 28) = 0.85, p > .05, \eta^2 = .08, \text{power} = .21$)。不過年齡因子主要效果一樣達顯著差異 ($F(3, 28) = 9.61, p < .05, \eta^2 = .51, \text{power} = .99$)，隨著年齡增加，出手垂直球速越大。而投擲方式的主要效果分析則顯示投擲時遮眼出手垂直球速與引導投擲出手垂直球速有顯著差異 ($F(1, 28) = 8.51, p < .05, \eta^2 = .51, \text{power} = .99$)。比較這兩種投擲方式之平均數發現，顯示不同年齡兒童在引導投擲時出手垂直球速 ($2.83 \pm 2.24 \text{ m/sec}$) 顯著高於遮眼投擲時出手垂直球速 ($1.87 \pm 2.59 \text{ m/sec}$)。由此可知在最大垂直球速以及出手垂直球速的變異數分析中引導投擲的垂直球速都顯著高於遮眼投擲。

第二節 投擲手各不同關節角速度

一、腕關節角速度

(一) 腕關節最大角速度

可以先由表 3 看到各年齡組遮眼投擲與引導投擲各項腕關節角速度之平均值與標準差；再由表 10 看到各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項腕關節角速度之變異數分析。而比較各組在投擲動作中最大腕關節角速度的差異情形，從混合設

表 3：各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項腕關節角速度

| | | 平均值 (M) 與標準差 (SD) | | | | | | | |
|------------------|--|-----------------------|------|--------------|------|--------------|------|---------------|------|
| | | 5 歲組 (n=8) | | 7 歲組 (n=8) | | 9 歲組 (n=8) | | 11 歲組 (n=8) | |
| | | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 |
| 最大腕角速度 (deg/sec) | | | | | | | | | |
| M | | 972 | 839 | 919 | 854 | 1047 | 1126 | 1157 | 1260 |
| SD | | 368 | 239 | 394 | 255 | 542 | 517 | 386 | 372 |
| 出手腕角速度 (deg/sec) | | | | | | | | | |
| M | | -35 | 147 | 698 | 602 | 553 | 546 | 542 | 1038 |
| SD | | 539 | 637 | 443 | 339 | 575 | 553 | 752 | 497 |
| 最小腕角速度 (deg/sec) | | | | | | | | | |
| M | | -900 | -495 | -849 | -678 | -683 | -624 | -879 | -905 |
| SD | | 360 | 435 | 362 | 243 | 386 | 421 | 424 | 536 |

計二因子變異數分析中顯示出年齡與投擲方式交互作用沒有顯著差異 ($F(3, 28) = 0.71, p > .05, \eta^2 = .07, power = .18$); 年齡因子主要效果未達顯著差異 ($F(3, 28) = 1.56, p > .05, \eta^2 = .22, power = .37$)。投擲方式的主要效果分析也顯示遮眼投擲與引導投擲動作中最大腕關節角速度沒有顯著差異 ($F(3, 28) = 0.00, p > .05, \eta^2 = 0.00, power = .05$)。

(二) 腕關節出手角速度

接著由出手腕關節角速度之變異性的混合設計二因子變

異數分析結果顯示，年齡與投擲方式交互作用達顯著差異（ $F(3, 28) = 3.14, p < .05, \eta^2 = .25, \text{power} = .67$ ）。因此須進一步進行單純主要效果分析（見表 11）。在年齡因子的單純主要效果分析中，遮眼投擲之不同年齡組的兒童，其出手腕關節角速度並未達顯著差異（ $F(3, 56) = 2.43, p > .05$ ）；但是在引導投擲時不同年齡組則出現了差異情形（ $F(3, 56) = 3.96, p < .05$ ），進一步分析發現 11 歲組（ $1038 \pm 497 \text{ deg/sec}$ ）明顯的大於 5 歲組（ $147 \pm 637 \text{ deg/sec}$ ），而其他各組間未達顯著差異。接著再分析投擲方式的單純主要效果，結果發現 5 歲組遮眼投擲與引導投擲的單純主要效果未達顯著差異（ $F(1, 28) = 1.87, p > .05$ ）。7 歲組遮眼投擲與引導投擲的單純主要效果未達顯著差異（ $F(1, 28) = 0.61, p > .05$ ）；9 歲組遮眼投擲與引導投擲的單純主要效果仍然未達顯著差異（ $F(1, 28) = 0.00, p > .05$ ）；不過在 11 歲組遮眼投擲與引導投擲則呈現顯著差異（ $F(1, 28) = 6.21, p < .05$ ），進一步從平均數加以比較，顯示出 11 歲組引導投擲出手腕關節角速度（ $1038 \pm 497 \text{ deg/sec}$ ）顯著高於遮眼投擲出手腕關節角速度（ $542 \pm 752 \text{ deg/sec}$ ）。

（三）腕關節最小角速度

比較各組在投擲動作中最小腕關節角速度的差異情形，從混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用沒有顯著差異（ $F(3, 28) = 1.27, p > .05, \eta^2 = .12, \text{power} = .30$ ）。年齡因子主要效果也未達顯著差異（ $F(3, 28) = 0.80, p > .05, \eta^2 = .08, \text{power} = .20$ ）。投擲方式的主要效果分析顯示遮眼投擲與引導投擲動作中最小腕關節角速度並沒有顯著差異（ $F(1, 28) = 3.39, p > .05, \eta^2 = 0.11, \text{power}$

= .43)。

二、肘關節角速度

(一) 最大肘關節角速度

可以先由表 4 看到各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項肘關節角速度之平均值與標準差。再由表 12 看到各年齡組遮眼投擲與引導投擲各項肘關節角速度之變異數分析。

最大肘關節角速度之變異性的混合設計二因子變異數分析結果顯示，年齡與投擲方式交互作用達顯著差異 ($F(3, 28) = 3.42, p < .05, \eta^2 = .27, \text{power} = .71$) 因此須進一步進行單純主要效果分析 (表 13)。在年齡因子的單純主要效果事後比較中，遮眼投擲之不同年齡組的兒童，其最大肘關節角速度變異性並未達顯著差異 ($F(3, 56) = 0.62, p > .05$)；在引導投擲之不同年齡組則出現顯著差異情形 ($F(3, 56) = 3.59, p < .05$)，進一步分析發現 11 歲組 ($1372 \pm 221 \text{ deg/sec}$) 與 7 歲組 ($1133 \pm 146 \text{ deg/sec}$)、5 歲組 ($1082 \pm 231 \text{ deg/sec}$) 達到顯著差異，而其他各組間未達顯著差異。接著再分析投擲方式的單純主要效果，結果發現 5 歲組的單純主要效果未達顯著差異 ($F(1, 28) = 0.75, p > .05$)；7 歲組的單純主要效果未達顯著差異 ($F(1, 28) = 2.08, p > .05$)；9 歲組的單純主要效果還是未達顯著差異 ($F(1, 28) = 1.50, p > .05$)；在 11 歲組遮眼投擲與引導投擲仍然未達顯著差異 ($F(1, 28) = 4.56, p < .05$)。

(二) 出手肘關節角速度之差異性

出手肘關節角速度之混合設計二因子變異數分析結果顯示，年齡與投擲方式交互作用達顯著差異 ($F(3, 28) = 3.86$, $p < .05$, $\eta^2 = .29$, $power = .76$)。因此須進一步進行單純主要效果分析 (表 14)。在年齡因子的單純主要效果事後比較中，遮眼投擲之不同年齡組的兒童，其肘關節出手角速度變異性並未達顯著差異 ($F(3, 56) = 1.90$, $p > .05$)；在引導投擲之不同年齡組則出現顯著差異情形 ($F(3, 56) = 7.54$, $p < .05$)，進一步分析發現 11 歲組 (1186 ± 273 deg/sec)、9

表 4：各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項肘關節角速度平均值 (M) 與標準差 (SD)

| | 5 歲組 (n=8) | | 7 歲組 (n=8) | | 9 歲組 (n=8) | | 11 歲組 (n=8) | |
|------------------|------------|------|------------|------|------------|------|-------------|------|
| | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 |
| 最大肘角速度 (deg/sec) | | | | | | | | |
| M | 1137 | 1082 | 1239 | 1133 | 1185 | 1234 | 1206 | 1372 |
| SD | 190 | 231 | 138 | 146 | 154 | 147 | 131 | 221 |
| 出手肘角速度 (deg/sec) | | | | | | | | |
| M | 841 | 866 | 937 | 781 | 1124 | 1199 | 864 | 1186 |
| SD | 330 | 161 | 272 | 258 | 167 | 176 | 257 | 273 |
| 最小肘角速度 (deg/sec) | | | | | | | | |
| M | -452 | -356 | -849 | -678 | -196 | -169 | -306 | -301 |
| SD | 273 | 211 | 362 | 243 | 171 | 95 | 289 | 248 |

歲組 (1199 ± 176 deg/sec) 明顯大於 7 歲組 (781 ± 258 deg/sec)、5 歲組 (866 ± 161 deg/sec)，而其他各組間未達顯著差異。接著再分析投擲方式的單純主要效果，結果發現 5 歲組的單純主要效果未達顯著差異 ($F(1, 28) = 0.05$, $p > .05$)；7 歲組的單純主要效果未達顯著差異 ($F(1, 28) = 3.12$, $p > .05$)；9 歲組的單純主要效果還是未達顯著差異 ($F(1, 28) = 3.60$, $p > .05$)；不過在 11 歲組遮眼投擲與引導投擲則呈現顯著差異 ($F(1, 28) = 13.69$, $p < .05$)，從平均數加以比

較顯示出 11 歲組引導投擲肘關節出手角速度 (1186 ± 273 deg/s) 顯著高於遮眼投擲最大肘關節角速度 (864 ± 257 deg/s)。

(三) 最小肘關節角速度

比較各組在投擲動作中肘關節最小角速度的差異情形，從混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用沒有顯著差異 ($F(3, 28) = 1.03$, $p > .05$, $\eta^2 = .10$, $power = .25$)。但是年齡因子主要效果達顯著差異 ($F(3, 28) = 1.03$, $p < .05$, $\eta^2 = .52$, $power = 1.00$)。投擲方式的主要效果分析顯示遮眼投擲與引導投擲動作中肘關節最小角速度並沒有顯著差異 ($F(1, 28) = 4.04$, $p > .05$, $\eta^2 = 0.13$, $power = .49$)。

三、肩關節角速度

(一) 肩關節最大角速度

可以先由表 5 看到各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項肩關節角速度之平均值與標準差。再由表 15 看到各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項肩關節角速度之變異數分析。而比較各組在投擲動作中最大肩關節角速度的差異情形；從混合設計二因子變異數分析中可以發現，年齡與投擲方式交互作用沒有顯著差異 ($F(3, 28) = 2.07$, $p > .05$, $\eta^2 = .18$, $power = .47$)。年齡因子主要效果未達顯著差異 ($F(3, 28) = 2.15$, $p > .05$, $\eta^2 = .19$, $power = .49$)。而且投擲方式的主要效果分析也顯示遮眼投擲與引導投擲動作中最大肩關節角速度仍然沒有顯著差異 ($F(1, 28) = 0.03$, $p > .05$, $\eta^2 = 0.00$, $power = .05$)。

(二) 肩關節出手角速度

比較各組在投擲動作中肩關節出手角速度的差異情形，從混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用沒有顯著差異 ($F(3, 28) = 1.00, p > .05, \eta^2 = .10, \text{power} = .24$)。年齡因子主要效果沒有達到顯著差異 ($F(3, 28) = 2.56, p > .05, \eta^2 = .22, \text{power} = .57$)。投擲方式的主要效果分析顯示遮眼投擲與引導投擲動作中在肩關節出手角速度的表現上並沒有顯著差異 ($F(1, 28) = 1.34, p > .05, \eta^2 = 0.05, \text{power} = .20$)。

表 5：各年齡階層遮眼投擲與引導投擲各項肩關節角速度

| | | 平均值 (M) 與標準差 (SD) | | | | | | | |
|---------------------|--|-------------------|------|------------|------|------------|------|-------------|------|
| | | 5 歲組 (n=8) | | 7 歲組 (n=8) | | 9 歲組 (n=8) | | 11 歲組 (n=8) | |
| | | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 |
| A. 最大肩角速度 (deg/sec) | | | | | | | | | |
| M | | 398 | 424 | 347 | 290 | 327 | 288 | 291 | 349 |
| SD | | 109 | 115 | 121 | 102 | 128 | 114 | 47 | 96 |
| 出手肩角速度 (deg/sec) | | | | | | | | | |
| M | | 95 | 59 | 113 | 40 | 257 | 159 | 145 | 198 |
| SD | | 250 | 117 | 74 | 126 | 143 | 148 | 132 | 162 |
| 最小肩角速度 (deg/sec) | | | | | | | | | |
| M | | -365 | -403 | -409 | -389 | -380 | -358 | -364 | -337 |
| SD | | 135 | 122 | 115 | 85 | 155 | 126 | 226 | 168 |

(三) 肩關節最小角速度

比較各組在投擲動作中肩關節最小角速度的差異情形，從混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用並沒有顯著差異 ($F(3, 28) = 0.54, p > .05, \eta^2 = .01, \text{power} = .07$)。進一步比較年齡因子主要效果未達顯著差異 ($F(3, 28) = 0.19, p > .05, \eta^2 = .02, \text{power} = .08$)。投擲方式的主要效果分析顯示遮眼投擲與引導投擲動作中肩關節最小角速度還是沒有顯著差異 ($F(1, 28) = 0.15, p > .05, \eta^2 = 0.01, \text{power} = .08$)。

第三節 出手角度及投擲手關節角速度時間差

一、出手角度

本節出手角度的取得是利用向上球速除以水平球速再經過 \tan 的反三角函數換算而得。可以先由表 6 看到不同年齡階層遮眼投擲與引導投擲出手角度之平均值與標準差。

再透過表 16 比較各組在投擲動作中出手角度的差異情形，從混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用並沒有顯著差異 ($F(3, 28) = 0.5, p > .05, \eta^2 = .05, \text{power} = .14$)。不過年齡因子的主要效果達顯著差異 ($F(3, 28) = 8.10, p < .05, \eta^2 = .47, \text{power} = .98$)。投擲方式的主要效果分析顯示遮眼投擲與引導投擲動作中出手角度有顯著差異 ($F(1, 28) = 7.72, p < .05, \eta^2 = 0.22, \text{power} = .77$)。比較這兩種投擲方式之平均數發現，顯示不同年齡兒童在引導投擲時出手角度 ($17 \pm 13 \text{ deg}$) 顯著高於遮眼投

擲時出手角度 ($11 \pm 16 \text{ deg}$)。

二、投擲時間及各關節角速度時間差

本節的投擲時間是以投擲手開始向前動作至球出手的時

表 6：不同年齡遮眼投擲與引導投擲出手角度

| 平均值 (M) 與標準差 (SD) | | | | | | | | |
|-----------------------|----|--------------|----|--------------|----|---------------|----|--|
| 5 歲組 (n=8) | | 7 歲組 (n=8) | | 9 歲組 (n=8) | | 11 歲組 (n=8) | | |
| M | SD | M | SD | M | SD | M | SD | |
| 遮眼投擲動作用手角度 (deg) | | | | | | | | |
| -4 | 15 | 16 | 8 | 14 | 12 | 18 | 19 | |
| 引導投擲動作用手角度 (deg) | | | | | | | | |
| 3 | 14 | 18 | 12 | 23 | 5 | 26 | 7 | |

間，而各關節角速度時間差則是利用蒐集到各關節最小角速度出現時間減去最大角速度出現時間之差。表 7 是呈現各年齡階層遮眼投擲與引導投擲投擲時間及各關節角速度時間差之平均值與標準差。

(一) 投擲時間

在表 17 可以比較各組在投擲動作中投擲時間的差異情形，從混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用並沒有顯著差異 ($F(3, 28) = .11, p > .05, \eta^2 = .11, \text{power} = .27$)。年齡因子主要效果有達顯著差異 ($F(3, 28) = 4.51, p < .05, \eta^2 = .33, \text{power} = .97$)，9 歲組的擲球

時間明顯大於各組。投擲方式的主要效果分析顯示遮眼投擲與引導投擲動作中投擲時間沒有顯著差異 ($F(1, 28) = 0.48$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$, $power = .10$)。

(二) 腕關節出手時間差

在表 17 可以比較各組在投擲動作中腕關節出手時間差的差異情形，從混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用並沒有顯著差異 ($F(3, 28) = 1.06$, $p > .05$, $\eta^2 = .10$, $power = .18$)。年齡因子主要效果也未達顯著差異 ($F(3, 28) = 1.78$, $p > .05$, $\eta^2 = .16$, $power = .41$)。投擲方式的主要效果分析顯示遮眼投擲與引導投擲動作中腕

表 7：各年齡階層遮眼投擲與引導投擲時間及各項關節角速度時間差之平均值 (M) 與標準差 (SD)

| | 5 歲組 (n=8) | | 7 歲組 (n=8) | | 9 歲組 (n=8) | | 11 歲組 (n=8) | |
|---------------|------------|------|------------|------|------------|------|-------------|------|
| | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 | 遮眼 | 引導 |
| 投擲時間 (sec) | | | | | | | | |
| M | .241 | .208 | .223 | .226 | .265 | .275 | .194 | .190 |
| SD | .040 | .055 | .032 | .040 | .039 | .031 | .073 | .070 |
| 腕角速度時間差 (sec) | | | | | | | | |
| M | .053 | .101 | .064 | .077 | .101 | .086 | .062 | .041 |
| SD | .040 | .101 | .046 | .045 | .089 | .075 | .057 | .039 |
| 肘角速度時間差 (sec) | | | | | | | | |
| M | .107 | .115 | .075 | .103 | .084 | .091 | .076 | .085 |
| SD | .031 | .037 | .026 | .033 | .024 | .022 | .027 | .035 |
| 肩角速度時間差 (sec) | | | | | | | | |
| M | .163 | .139 | .135 | .141 | .085 | .115 | .107 | .095 |
| SD | .135 | .085 | .055 | .068 | .064 | .076 | .053 | .032 |

關節出手時間差也沒有顯著差異 ($F(1, 28) = 1.20$, $p > .05$, $\eta^2 = .04$, $power = .18$)。

(三) 肘關節出手時間差

比較各組在投擲動作中肘關節出手時間差的差異情形，從混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用沒有顯著差異（ $F(3, 28) = 1.06$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .05$ ， $power = .14$ ）年齡因子主要效果沒有達到顯著差異（ $F(3, 28) = 2.76$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .23$ ， $power = .60$ ）。投擲方式的主要效果分析顯示遮眼投擲與引導投擲動作中肘關節出手時間差並沒有顯著差異（ $F(1, 28) = 1.20$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .11$ ， $power = .43$ ）。

（四）肩關節出手時間差

比較各組在投擲動作中肩關節出手時間差的差異情形，從混合設計二因子變異數分析中顯示出，年齡與投擲方式交互作用沒有顯著差異（ $F(3, 28) = 0.57$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .06$ ， $power = .15$ ）年齡因子主要效果沒有達到顯著差異（ $F(3, 28) = 1.41$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .13$ ， $power = .33$ ）。投擲方式的主要效果分析顯示遮眼投擲與引導投擲動作中肩關節出手時間差並沒有顯著差異（ $F(1, 28) = 0.00$ ， $p > .05$ ， $\eta^2 = .00$ ， $power = .05$ ）。

第四節 討論

在研究投擲動作發展的許多文獻中都是針對球距及球速做探討。Roberton 和 Konczak (2001) 曾經針對水平球速與手掌活動、前臂活動、軀幹活動、跨步活動及跨步長的關係作比較。Yan、Payne 和 Thomas (2000) 則是透過 Roberton 等人於 1977、1978 年提出的投擲動作組成分析法 (Roberton's component model) 比較出手球速以及最大球速與出手球速的時間差以及球出手時肩、肘關節角速度所產生的年齡差異。本研究也是先透過球距與球速的表現來探討兒童投擲動作，不過是採用坐姿 (限制下肢) 為測量動作，所以投擲距離比全身性投擲距離較近。但是在比較不同年齡組的兒童投擲球距上發現，年齡因子的主要效果都達顯著差異；而且在投擲因子的主要效果考驗上發現引導投擲的球距 (7.85 ± 2.76 m) 明顯的大於遮眼投擲的球距 (7.28 ± 2.81 m)。這個結果與 Sekine、Toyokawa、Ae 和 Fujii (2002) 等人對一、三、五年級的小學生所做的實驗結果是一致的。

在進一步探討最大球速及出手球速的差異性時發現，年齡因子的主效應達顯著差異，而且年齡較大組的兒童球速比年齡小組的兒童球速快，但是引導投擲的各年齡組球速並不會明顯的快於遮眼投擲的各項球速。所以進一步分析水平球速以及垂直球速；結果發現水平球速各項參數仍然是沒有差異，不過在垂直投擲球速的分析上卻找到了差異，引導投擲的垂直球速 (3.44 ± 1.57 m/sec) 明顯的比遮眼投擲垂直球速

(3.05 ± 1.53 m/sec) 還快。因此可以推測垂直投擲球速是影響兒童投擲球距的因子之一，而垂直球速會進一步影響出手角度。產生這樣的結果，原因可能是其他實驗大多是全身性投擲所以可以用全身身體的各項機能作調整，但在本實驗中的實驗參加者因為下肢受限制而又受到前方引導者揮旗的視覺引導投擲下所以特別運用了垂直方向的力量，所以實驗參加者是受到環境賦使效應的影響，而改變自我投擲動作。其中又值得一提的是 9 歲組的受試者在球距的表現上與其他歲組比起來引導投擲球距(9.31 ± 1.67 m)比遮眼投擲球距(7.78 ± 2.28 m) 還遠，但是在引導投擲的最大球速 (9.75 ± 1.06 m/sec)、出手球速 (9.43 ± 1.00 m/sec)、水平出手球速 (8.68 ± 1.02 m/sec) 與水平最大球速 (9.01 ± 1.07 m/sec) 上卻反而都低於遮眼投擲的最大球速 (10.00 ± 0.91 m/sec)、出手球速 (9.76 ± 0.84 m/sec)、水平出手球速 (9.20 ± 0.98 m/sec) 與水平最大球速 (9.43 ± 0.99 m/sec)。不過在引導投擲時的最大垂直球速(3.90 ± 0.70 m/sec) 出手垂直球速(3.66 ± 0.85 m/sec) 卻明顯的比遮眼投擲時的最大垂直球速 (3.39 ± 0.98 m/sec)、出手垂直球速 (2.37 ± 1.87 m/sec) 還要快 (如圖 6、圖 7)。

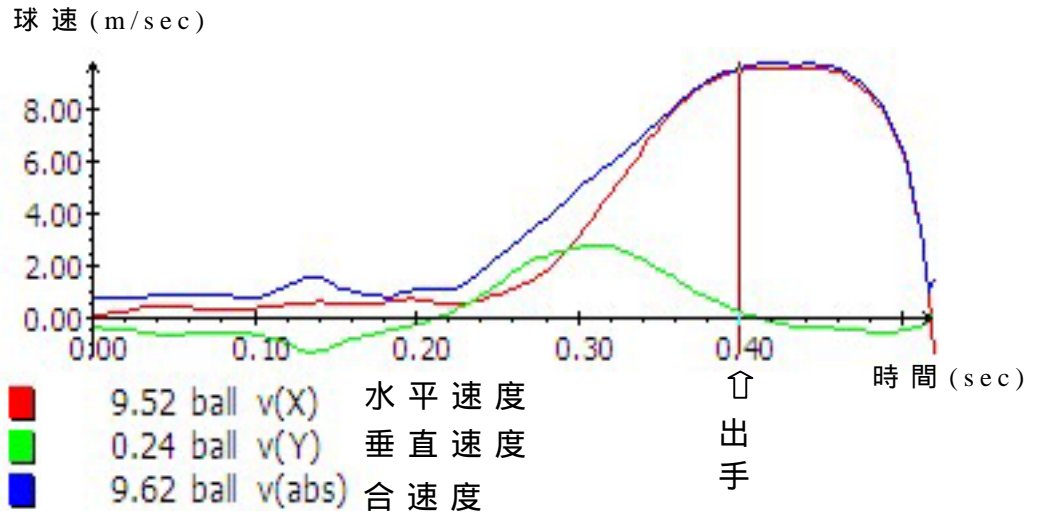


圖 6：9 歲兒童遮眼投擲各項球速參數曲線圖
(以 7 號實驗參加者為例)

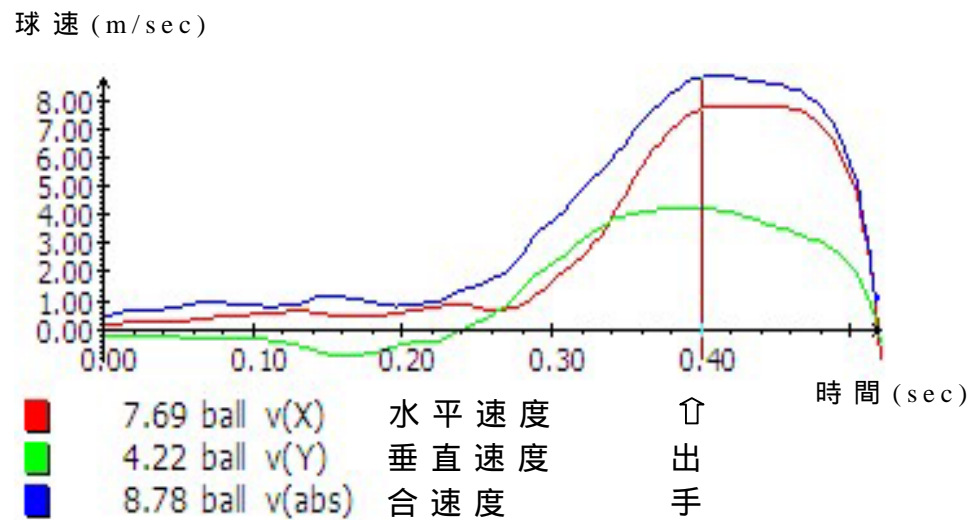


圖 7：9 歲兒童引導投擲各項球速參數曲線圖
(以 7 號實驗參加者為例)

這個結論與 Sekine 等人 (2002) 的研究是一致的，他們提出三年級開始會注意出手的角度，而其中三年級的兒童與本實驗 9 歲組的兒童是同年齡，所以這項的發現可以作為指導兒童投擲的一項重要依據。而 Yan、Hinrichs、Payne 和 Thomas (2000) 針對 3 至 6 歲的兒童研究投擲動作，也提出 6 歲的兒童已經有比較流暢的投擲動作，而且在最大球速上明顯的大於 3、4 歲的兒童，同時檢驗到 3、4、6 歲兒童所產生的猛力擲球 (normalized jerk) 的現象在本實驗的 5 歲組的實驗參加者也有多人產生，因此出手角度產生負值 (-4 ± 15 deg)。

本研究是設計直接將實驗參加者的投擲型態以 3D 的方式完整呈現，然後分析修勻後的資料來蒐集投擲手的關節角速度變化的運動參數。主要目的在於了解兒童投擲動作的控制型態是否會因為遮眼或引導投擲形式的不同而有所改變。從各關節角速度變異性的分析結果中可以發現，在肩關節的變異性表現上無論是最大角速度、出手角速度、最小角速度三方面都沒有明顯的差異。這也許說明了兩種機制：一是當下肢受限時因為沒有軀幹流暢性的跟隨所以肩的自由度也隨之受控；二是肩關節在年齡因子看來是沒有差異的，同時引導投擲與遮眼投擲也幾乎沒差異。因此如果與蘇聯學者 Bernstein (1967) 針對動作控制與發展對自由度所提出的觀念：控制了身體的自由度即掌控了動作控制、強調穩定性 (stability) 的必要性及協同動作 (synergy) 即為協調性的重要來源等三方面加以驗證，肩、肘、腕關節在投擲動作中

可以視為一個聯結 (unit) , 所以肩關節動作穩定後才可以在肘、腕關節上做動作的自我重組。

進一步再討論腕關節以及肘關節的表現上的差異，腕關節在出手的角速度上年齡因子以及投擲方式有產生了交互作用，在進行單純主要效果分析之後發現引導投擲中不同年齡兒童有達到顯著差異 ($F(3, 56)=3.96, p<.05$) , 深入分析發現 11 歲組 ($1038 \pm 497 \text{ deg/sec}$) 與 5 歲組 ($147 \pm 637 \text{ deg/sec}$) 達到顯著差異但是 7、9 歲組與其他組比較並沒有差異，可以推論在 5 歲至 9 歲的年齡階段中，腕關節的控制型態是處於不穩定期。這與 Langendorfer 和 Robertson (2002) 對 5 至 13 歲的兒童所做的縱貫式研究有相同的特徵，他們提出 5 至 9 歲的各實驗參加者對於上肢手臂前段的各種動作控制出現比率是相當低的，所以還不善於使用使其產生流暢性。但是由 10 歲至 13 歲的兒童就可以觀察到上肢手臂前段的各種動作控制出現比率加大且流暢性也增加。從本實驗也發現 11 歲組的引導投擲腕出手角速度 ($1038 \pm 497 \text{ deg/sec}$) 顯著優於遮眼投擲 ($542 \pm 752 \text{ deg/sec}$) 。 (如圖 8)

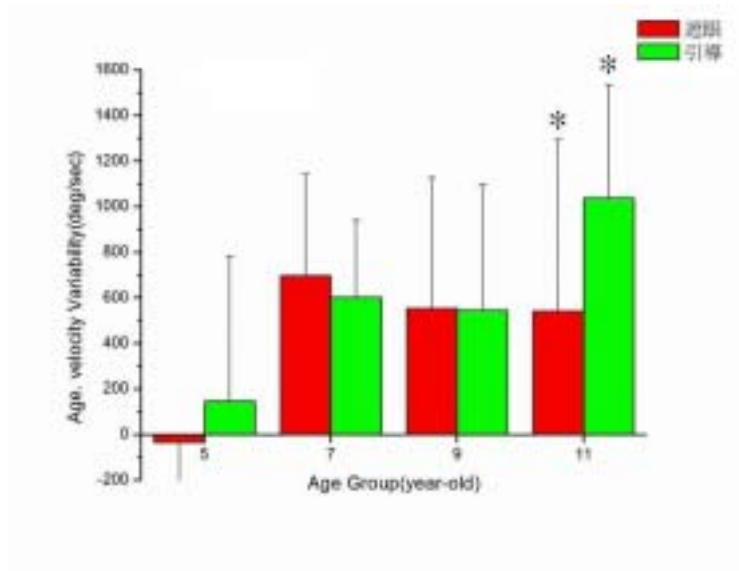


圖 8：各年齡組腕關節出手角速度平均數比較。註：*為在引導投擲達顯著差異的年齡組。

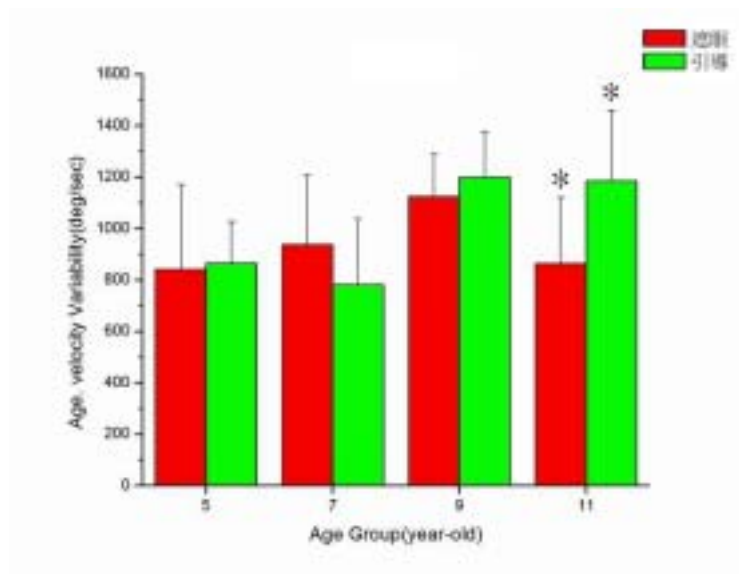


圖 9：各年齡組肘關節出手角速度平均數比較。註：*為在引導投擲達顯著差異的年齡組。

不過同時也檢證到投擲動作中的最大、最小腕角速度不論是在交互作用、年齡、投擲方式等因子上的表現是都沒有顯著差異的。這一個現象說明了腕關節的環境賦使效應是在出手瞬間產生。在出手前的醞釀期中，其實各年齡兒童能達到的手腕角速度表現都相當接近，只有在引導投擲的出手瞬間年齡差異是會產生的，也就是視覺引導效應在腕關節的表現上是出現在出手瞬間。所以，其中 11 歲組的兒童已經是在出手瞬間可以掌控的穩定投擲型態，而 5、7、9 歲組的兒童仍處於不穩定的動作型態中，也就是尚無法掌控在視覺環境引導中的控制機制。

而再就肘關節角速度來說明，投擲動作的肘關節最大角速度產生了交互作用。而且發現在遮眼投擲時各年齡組未達顯著差異，但是在引導投擲時不同年齡組則出現顯著差異情形，進一步分析發現 11 歲組 (1372 ± 221 deg/sec) 與 7 歲組 (1133 ± 146 deg/sec)、5 歲組 (1082 ± 231 deg/sec) 達到顯著差異。而肘關節出手角速度的檢證中發現年齡因子與投擲方式產生了交互作用，進一步進行單純主要效果分析，發現遮眼投擲之不同年齡組的兒童，其肘關節出手角速度變異性並未達顯著差異。而在引導投擲之不同年齡組則出現顯著差異情形，進一步分析發現 11 歲組 (1186 ± 273 deg/sec)、9 歲組 (1199 ± 176 deg/sec) 均明顯大於 7 歲組 (781 ± 258 deg/sec)、5 歲組 (866 ± 161 deg/sec)。而 11 歲組在引導投擲的出手肘關節角速度 (1186 ± 273 deg/sec) 表現上顯著優於遮眼投擲的出手肘關節角速度 (864 ± 257 deg/sec) (見圖

9)。所以本實驗可以說明整個投擲動作的順暢性都會受肘關節角速度變化影響，而且更指出肘關節角速度會受視覺引導的影響而使各年齡兒童的投擲動作有不同改變，同時晚期兒童的表現顯著優於中期兒童。而就投擲動作的階段性來說，視覺引導已經進一步影響晚期兒童的手臂揮動時序，遮眼時各年齡層投擲動作的最大肘關節角速度及出手肘關節角速度均無差異，但是引導投擲時晚期兒童就會產生比較大的動作變異。而視覺引導對 11 歲兒童肘關節角速度影響只有在出手時但在出手前的最大肘關節角速度卻無影響，這可以說明 11 歲組的晚期兒童在出手前的動作型態已經趨於穩定，但是出手時的瞬間仍然是會受到視覺引導的影響。而且綜合腕關節與肘關節的變異來看，腕關節只有在出手時有差異，但是肘關節在出手前及出手同時都有差異存在。這個實驗結果也驗證了 Southard (2002) 根據投擲上臂各關節動作產生的延遲作用 (wrist lag、elbow lag) 以及軀幹旋轉 (trunk rotation) 來檢測投擲動作發展型態，指出在低速投擲動作中，高技巧投擲者有較穩定的肘、腕關節型態，而且質性的改變較不常發生，而低技巧投擲者在腕、肘關節質性的改變多於高技巧者。

因此在投擲過程中，不同年齡的兒童會藉由肘關節的角速度變化來產生不同的投擲型態。這與 Yan、Payne 和 Thomas (2000) 等人在出手肘關節的變化與年齡效應上所獲得的結論相當接近；而 Yan (2000) 等人雖然是以 3、4、6 歲的女童做為實驗參加者，但是因為實驗參加者的下肢配合投擲的跨步行為還不成熟，所以與本實驗限制下肢行為有更高的同質性。同時透過表 4 不難發現，7 歲組的引導投擲的肘關節

角速度還低於遮眼投擲時；而 9、11 歲組引導投擲的肘關節角速度就高於遮眼投擲，這也可以說明環境賦使效應能引起 9、11 歲組的孩童產生較高的正向作用，但對 7 歲的兒童的影響可能是相反的方向，因此也再次驗證動態系統理論中，說明動作型態的形成是個體不斷的透過自發性的自我重整（spontaneous self-organization）能力，而形成在特殊條件下的特有動作型態（Haywood & Getchell, 2001）。

而針對出手角度探討時，研究者發現在國小指導學生壘球擲遠的教練經常必須給予選手擲球前口語指導，要求注意出手角度。而根據 Marques-Bruna 和 Grimshaw (1997) 對早期兒童(15-30 個月大)的研究中發現直接擲球(arm-dominated)的出手角度(49 deg)比序列性的連結投擲(sequentially linked)之出手角度(15 deg)大。但是兒童在經過中期進入晚期的過程中，隨著投擲動作的成熟會經過出手角度極小的猛力投擲動作期，但是在經過引導會逐漸穩定動作而加大出手角度。Sekine (2002) 等人就驗證三、五年級(9、11 歲組)明顯有 30 度的出手角度而一年級(7 歲組)則為負值或不固定的小角度。本實驗在 5、7、9、11 歲的年齡效應上也獲得相同的驗證 ($F(3, 28) = 8.10, p < .05, \eta^2 = .47, power = .98$)，且更進一步證明引導投擲的出手角度 ($17 \pm 13 \text{ deg}$) 明顯大於遮眼投擲 ($11 \pm 16 \text{ deg}$) (如圖 10、圖 11)。



圖 10：9 歲兒童遮眼投擲 3D 圖（以 7 號實驗參加者為例）

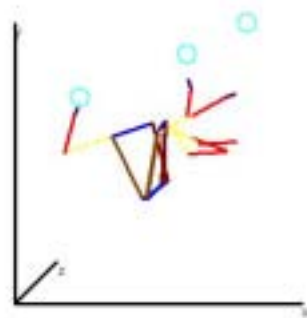


圖 11：9 歲兒童引導投擲 3D 圖（以 7 號實驗參加者為例）

另外在投擲時間的差異性中發現實驗參加者間的年齡差異達顯著，由平均數比較發現 9 歲組的投擲時間均大於其他組，而 11 歲組則比其他年齡組小，這可以推論 5、7 歲兒童的投擲動作在進入 11 歲組的動作期之前會先經過 9 歲組的動作統整學習階段，因而在 9 歲組產生較大的動作時序。進一步去分析腕、肘、肩三個關節的最大角速度與最小角速度的

時間差，在各項參數間都沒有找到顯著差異，但是從肘關節時間差（ $\eta^2 = .23$ ）與腕關節時間差（ $\eta^2 = .16$ ）的年齡因子的中高處理效果看來，是否有年齡的差異存在，則有待後續的實證性研究。而在引導投擲與遮眼投擲之間差異性相當的低，由此，研究者推測當動作表現由初始化動作期進入基本動作期，開始會有穩定的動作型態，所以不易因環境賦使（視覺引導）或速率限制等因子而影響。投擲動作是屬於基本動作期的動作，當 5 歲組兒童下肢表現較不佳的因子移除後，軀幹以上的操作順序以及時間性，都與 7、9、11 歲的兒童相當接近，同時實驗參加者受環境賦使影響的情形，就可能相當一致，所以，顯示較低的差異現象。

第伍章 結論與建議

第一節 結論

本研究通過三度空間高速攝影分析的技術，記錄 5、7、9、11 歲四組兒童在遮眼及引導方式下的投擲動作。在遮眼及引導的兒童投擲動作中，檢證 5、7、9、11 歲四組兒童投擲球距及球速的差異性，結果發現隨著年齡的增加，投擲球距越遠、投擲球速越快（包含最大球速、出手球速、最大水平球速、最大垂直球速、出手水平球速及出手垂直球速）。但是在投擲方式的檢證中，發現引導投擲時的球距明顯的比遮眼投擲時的球距還遠，而且僅有垂直球速（包含最大值及出手時）在引導投擲動作時明顯大於遮眼投擲動作，所以視覺引導影響了垂直方向的球速，進而影響了出手角度。

而關於投擲動作上臂各關節角速度的研究中，發現肩關節各項角速度運動學參數在遮眼及引導的兒童投擲動作中，都沒有達到顯著差異，也就是引導投擲與年齡效應對肩關節動作均無影響，顯示 5 至 11 歲兒童投擲動作中的肩關節動作已經趨於穩定。

而腕關節角速度運動學參數則是在出手時產生了差異，進一步分析發現，在遮眼投擲時並沒有產生顯著差異，但是在引導投擲時 11 歲組與 5 歲組達到顯著差異，而 7、9 歲組與其他組比較中並沒有差異，同時 11 歲組的引導投擲腕關節出手角速度顯著優於遮眼投擲動作。所以中期兒童（5、7、9 歲）的腕關節投擲動作型態尚未穩定，而 11 歲兒童在腕關節

投擲動作型態的控制上已經臻於成熟階段，同時視覺引導對於腕關節的影響，有可能是在出手瞬間。

在肘關節的角速度分析發現，肘關節最大角速度在遮眼投擲時並無年齡的差異，但是引導投擲時卻發現 11 歲組的肘關節最大角速度明顯大於 7 歲組、5 歲組，所以視覺引導會引起晚期兒童投擲動作球出手前的肘關節動作上的變化。

而在出手肘關節角速度的檢證中，發現遮眼投擲之不同年齡組的兒童，其肘關節出手角速度變異性並未產生差異，不過引導投擲時發現 11 歲組、9 歲組均明顯大於 7 歲組、5 歲組，可知，由出手前一直到出手瞬間的肘關節投擲動作都受到視覺引導的影響。而 11 歲組在引導投擲的肘關節出手角速度表現，顯著優於遮眼投擲的肘關節出手角速度，所以，配合腕關節出手角速度所產生的結果，發現視覺引導在球出手瞬間會影響兒童投擲動作控制機制，而 11 歲組的晚期兒童影響最大。

再就出手角度參數探討，可以發現隨著年齡的增加，出手角度越大。各年齡組引導投擲的出手角度也顯著大於遮眼投擲的出手角度，所以視覺引導致使兒童投擲動作的出手角度產生關鍵性的改變進而影響了投擲球距。

不同年齡兒童投擲動作中，其投擲時間產生顯著差異，其中 9 歲組的投擲時間最長，11 歲組的投擲時間最短。此一現象研究者推論 5、7 歲組兒童的投擲動作，在逐步進入 11 歲組的動作期之前，9 歲組實驗參加者顯示了動作型態轉變的關鍵階段。但是，在肩、肘、腕最大角速度與最小角速度的時間差分析中，發現沒有統計的差異性存在。這也驗證了 Gallahue 和 Ozmun (2002) 所提出的 8 項關鍵投擲動作，其

發展困難點在中晚期兒童身上已經逐步被解決的說法。

本研究以視覺引導當做環境賦使的因子，進一步探討環境賦使效應是否為影響兒童投擲動作發展的重要因素。由球距、球速、腕關節及肘關節各項運動力學參數中，可以發現中晚期兒童會因為視覺引導而改變投擲動作型態和控制能力。同時對不同年齡組的兒童影響程度、項目也不同。因此，以動態系統觀點探討投擲動作的發展效應，個體因為工作項目的不同，特別是在產生積極的環境賦使效應情境中，將影響個體的動作控制產生質性的改變。

第二節 建議

從本研究結果的分析討論之後，提出相關建議作為未來研究參考。本研究實驗參加者為 5、7、9、11 歲的兒童，發現在給予遮眼與引導不同的方式後，不同年齡兒童出現不同的投擲動作型態。惟由於實驗儀器與實驗參加者樣本數的限制等因素，未來的後續研究，尚可以增加軀幹扭轉、前彎角度，左手運動學參數...等之數據收集，以深入驗證本研究部分推論結果。

視覺引導投擲在年齡上有產生交互作用，在各參數中也有達到主要效果的驗證，可見其為影響中晚期兒童投擲動作發展的一個重要因子。未來在從事體育教學或訓練上，應可以多使用環境引導的方式，修正運動員動作以及強化教學效果。

實驗過程中發現，每個個體的投擲型態以及動作發展會透過環境引導而有自我獨特的表現方式然後形成各自的投擲動作；在影片拍攝過程中也可以觀察到這些特殊的擲球方式，

故建議可根據不同的引導模式進行質化或年齡縱貫式之研究。

引用文獻

中文部份

- 李村棋、卓俊伶 (1998)。十二歲學童單手投擲型式的關鍵因素：手長寬度。《體育學報》，25，199-208
- 吳昇光、蔡輔仁 (2001)。我國發展協調障礙學童之體適能及動作能力研究(委託研究計畫 90-12)。臺北市：教育部。
- 胡名霞 (2001)。《動作控制與動作學習》。臺北市：金名。
- 梁嘉音、卓俊伶、簡曜輝 (1998)。距離對籃球投籃動作型式的影響。《體育學報》，25，199-208。
- 張春興 (1989)。《心理學辭典》。臺北市：東華。
- 楊梓楣、卓俊伶 (1998)。接球動作型式的環境限制變項探討。《體育學報》，25，269-278。

外文部份

- Adrian, M. J., & Cooper, J. M. (1995). *Biomechanics of human movement*. Madison, WI: Brown & Benchmark.
- Bernstein, N. A. (1967). *The coordination and regulation of movements*. Oxford: Oxford University.
- Burton, A. W., Greer, N. L., & Wiese, D. M. (1992). Changes in overhand throwing patterns as a function of ball size. *Pediatric Exercise Science*, 4, 50-67.
- Butterfield, S. A., & Loovis, E. M. (1993). Influence of age, sex, balance, and sport participation on development of throwing by children in grades K-8¹. *Perceptual and*

- Motor Skills*, 76, 459-464.
- Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanics of human movement* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Gallahue, D. L., & Ozmun, J. C. (2002). *Understanding motor development: Infants, children, adolescents, adults* (5th ed.). Singapore: McGraw-Hill.
- Gesell, A. (1945). The ontogenesis of infant behavior. In L. Carmichael (Ed.), *Manual of child psychology*. New York: Wiley
- Gibson, J. J. (1977). The theory of affordance. In R. E. Shaw & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, acting, and knowing: Toward an ecological psychology* (pp. 67-82). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Haywood, K. M., & Getchell, N. (2001). *Life span motor development* (3rd ed). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hicks, J. A. (1930). The acquisition of motor skill in young children: A study of the effects of practice in throwing at a moving target. *Child Development*, 1, 90-105
- Hirashima, M., Kadota H., Sakurai S., Kudo K., & Ohtsuki T. (2002). Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *Journal of Sport Sciences*, 20, 301-310.
- Kugler, P. N., Kelso, J. S., & Turvey, M. T. (1980). On the concept of coordinative structures as dissipative structures. I. Theoretical lines of convergence. In G. E.

- Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motorbehavior* (pp. 3-47). Amsterdam: North-Holland.
- Kugler, P. N., Kelso, J. A. S., & Turvey, M. T. (1982). On the control and coordination of naturally developing systems. In J. A. S. Kelso & J. E. Clark (Eds.), *The development of movement control and coordination* (pp. 5-78). New York: Wiley and Sons.
- Langendorfer, S. J., & Robertson, M. A. (2002). Individual pathways in the development of forceful throwing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73(3), 245-256.
- Magill, R. A. (2001). *Motor learning: Concepts and applications* (6th ed.). Singapore: McGraw-Hill.
- Marques-Bruna, P., & Grimshaw, P. N. (1997). Dimensional kinematics of overarm throwing action of children age 15 to 30 months. *Perceptual and Motor Skills*, 84, 1267-1283.
- McGraw, M. B. (1939). Later development of children specially trained during infancy: Johnny and Jimmy at school age. *Child Development*, 10, 1-19
- Morris, A. M., Williams, J. M., Atwater, A. E., & Wilmore, J. H. (1982). Age and sex differences in motor performance of 3 through 6 year old children. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53, 214-221.
- Nelson, J. K., Thomas, J. R., Nelson, K. R., & Abraham, P. C. (1986). Gender differences in children's throwing

- performance: Biology and environment. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 57(4), 280-287.
- Nelson, K. R., Thomas, J. R., & Nelson, J. K. (1991). Longitudinal change in throwing performance: Gender differences. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 62(1), 105-108.
- Newell, K. M., & Corcos, D. M. (1993). *Variability and motor control*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Payne, V. G., & Isaacs, L. D. (2002). *Human motor development: A lifespan approach*. New York: McGraw-Hill.
- Robertson, M. A., Halverson, L. E., Langendorfer, S., & Williams, K. (1979). Longitudinal changes in children overarm throw ball velocities. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 50, 256-264.
- Robertson, M. A. (1987). Development level as a function of the immediate environment. In J. E. Clark & J. H. Humphrey (Eds.), *Advances in motor development research*, 1, (pp. 1-15). New York: AMS.
- Robertson, M. A., & Konczak, J. (2001). Predicting children's overarm throw ball velocities from their developmental levels in throwing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72(2), 91-103.
- Sekine, K., Toyokawa, T., Ae, M., Fujii, N., & Shimada, K. (1999). A kinematic study on the development of the overarm throwing motion in elementary school boy.

- Japanese Journal of Biomechanics in Sports and Exercise*, 3(1), 2-11.
- Southard, D., (2002). Chang in throwing patten: critical values for control parameter of velocity. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73(4), 396-407.
- Teixeira, L. A., & Gasparetto, E. R. (2002). Lateral asymmetries in the development of the overarm throw. *Journal of Motor Behavior*, 34(2), 151-160.
- Wild, M. (1938). The behavior pattern of throwing and some observations concerning its course of development in children *Research Quarterly*, 9, 20-24.
- Yan, J. H., Hinrichs, R. N., Payne, V. G., & Thomas, J. R. (2000). Normalized jerk: A measure to capture developmental characteristics of young girls' overarm throwing. *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 196-203.
- Yan, J. H., Payne, V. G., & Thomas, J. R. (2000). Developmental kinematics of young girls' overarm throwing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71(1), 92-98.

附錄一：遮眼投擲與引導投擲各項運動學參數混合設計二因子變異數分析摘要表

表 8：遮眼與引導投擲球距、最大球速、出手球速

| 混合設計二因子變異數分析 | | | | | | |
|--------------|--------|----|--------|--------|----------|-------|
| 變異來源 | SS | df | MS | F | η^2 | power |
| 球距 | | | | | | |
| 年齡 | 323.36 | 3 | 107.79 | 22.45* | .71 | 1.00 |
| 誤差 (群內) | 134.44 | 28 | 4.80 | | | |
| 投擲方式 | 5.31 | 1 | 5.31 | 7.83* | .22 | .77 |
| 年齡×投擲方式 | 5.16 | 3 | 1.72 | 2.54 | .21 | .56 |
| 殘差 | 18.97 | 28 | 0.68 | | | |
| 最大球速 | | | | | | |
| 年齡 | 135.24 | 3 | 45.01 | 13.98* | .60 | 1.00 |
| 誤差 (群內) | 90.28 | 28 | 3.22 | | | |
| 投擲方式 | 7.23 | 1 | 7.23 | 0.01 | .00 | .05 |
| 年齡×投擲方式 | 0.29 | 3 | 9.55 | 0.18 | .02 | .08 |
| 殘差 | 14.99 | 28 | 0.54 | | | |
| 出手球速 | | | | | | |
| 年齡 | 122.00 | 3 | 40.67 | 15.72* | .63 | 1.00 |
| 誤差 (群內) | 72.42 | 28 | 2.59 | | | |
| 投擲方式 | 0.00 | 1 | 0.00 | 0.15 | .01 | .07 |
| 年齡×投擲方式 | 0.40 | 3 | 0.13 | 0.34 | .04 | .11 |
| 殘差 | 10.80 | 28 | 0.39 | | | |

* $p < .05$

表 9：遮眼與引導投擲最大水平球速及最大垂直球速、
出手水平球速及出手垂直球速混合設計二因子變異數分析

| 變異來源 | SS | df | MS | F | η^2 | power |
|---------------|--------|----|-------|--------|----------|-------|
| 水平最大球速 | | | | | | |
| 年齡 | 100.61 | 3 | 33.54 | 8.64* | .48 | .98 |
| 誤差 (群內) | 108.64 | 28 | 3.88 | | | |
| 投擲方式 | 0.00 | 1 | 0.00 | 0.00 | .00 | .05 |
| 年齡×投擲方式 | 1.14 | 3 | 0.38 | 0.51 | .51 | .14 |
| 殘差 | 21.03 | 28 | 0.75 | | | |
| 水平出手球速 | | | | | | |
| 年齡 | 72.77 | 3 | 24.26 | 8.42* | .47 | .99 |
| 誤差 (群內) | 80.62 | 28 | 2.88 | | | |
| 投擲方式 | 0.23 | 1 | 0.23 | 0.33 | .01 | .09 |
| 年齡×投擲方式 | 0.91 | 3 | 0.30 | 0.45 | .05 | .13 |
| 殘差 | 18.92 | 28 | 0.68 | | | |
| 最大垂直球速 | | | | | | |
| 年齡 | 80.32 | 3 | 26.77 | 12.84* | .48 | 1.00 |
| 誤差 (群內) | 58.40 | 28 | 2.09 | | | |
| 投擲方式 | 2.39 | 1 | 2.39 | 6.91* | .20 | .72 |
| 年齡×投擲方式 | 0.69 | 3 | 0.23 | 0.66 | .07 | .17 |
| 殘差 | 9.69 | 28 | 0.35 | | | |
| 出手垂直球速 | | | | | | |
| 年齡 | 157.62 | 3 | 52.54 | 9.61* | .51 | .99 |
| 誤差 (群內) | 153.15 | 28 | 5.47 | | | |
| 投擲方式 | 14.58 | 1 | 14.58 | 8.51* | .23 | .80 |
| 年齡×投擲方式 | 4.35 | 3 | 1.45 | 0.85 | .08 | .21 |
| 殘差 | 47.97 | 28 | 1.71 | | | |

* $p < .05$

表 10：遮眼與引導投擲各項腕關節角速度

混合設計二因子變異數分析

| 變異來源 | SS | df | MS | F | η^2 | power |
|-----------------|-------------|----|------------|-------|----------|-------|
| 最大腕關節角速度 | | | | | | |
| 年齡 | 1132676.76 | 3 | 377558.92 | 1.56 | .22 | .37 |
| 誤差 (群內) | 6779318.86 | 28 | 242118.53 | | | |
| 投擲方式 | 219.00 | 1 | 219.00 | 0.00 | .00 | .05 |
| 年齡 × 投擲方式 | 155211.42 | 3 | 51737.14 | 0.71 | .07 | .18 |
| 殘差 | 2043432.57 | 28 | 72979.74 | | | |
| 出手腕關節角速度 | | | | | | |
| 年齡 | 4891947.06 | 3 | 1630649.02 | 3.09 | .25 | .66 |
| 誤差 (群內) | 14756226.41 | 28 | 527008.09 | | | |
| 投擲方式 | 330915.58 | 1 | 330915.58 | 3.81 | .12 | .47 |
| 年齡 × 投擲方式 | 820034.36 | 3 | 273344.79 | 3.14* | .25 | .67 |
| 殘差 | 2434117.11 | 28 | 86932.75 | | | |
| 最小腕關節角速度 | | | | | | |
| 年齡 | | | | | | |
| 誤差 (群內) | | | | | | |
| 投擲方式 | 530392.04 | 3 | 173464.01 | 0.80 | .08 | .20 |
| 年齡 × 投擲方式 | 6043470.19 | 28 | 215838.22 | | | |
| 殘差 | 3067361.66 | 28 | 109548.63 | | | |

* p < .05

表 11：出手腕關節角速度變異性
混合設計單純主要效果變異數分析

| 變異來源 | SS | df | MS | F |
|----------------|-------------|----|------------|-------|
| 年齡 (A) | | | | |
| 在 b1 (遮眼) | 2521535.60 | 3 | 840511.88 | 2.43 |
| 在 b2 (引導) | 3190445.90 | 3 | 1063481.94 | 3.96* |
| 細格內誤差 | 17190343.62 | 56 | 306970.42 | |
| 投擲方式 (B) | | | | |
| 在 a1 (5 歲組) | 132303.33 | 1 | 132303.33 | 1.87 |
| 在 a2 (7 歲組) | 36464.77 | 1 | 36464.77 | 0.61 |
| 在 a3 (9 歲組) | 175.17 | 1 | 175.17 | .00 |
| 在 a4 (11 歲組) | 982006.68 | 1 | 982006.68 | 6.21* |
| 細格內誤差 | 2434117.11 | 28 | 86932.75 | |

* p<.05

表 12：遮眼與引導投擲各項肘關節角速度
混合設計二因子變異數分析

| 變異來源 | SS | df | MS | F | η^2 | power |
|-----------------|------------|----|------------|-------|----------|-------|
| 最大肘關節角速度 | | | | | | |
| 年齡 | 263286.49 | 3 | 87762.16 | 2.01 | .18 | .46 |
| 誤差（群內） | 1219906.42 | 28 | 43568.09 | | | |
| 投擲方式 | 3172.22 | 1 | 3172.22 | 0.19 | .01 | .07 |
| 年齡×投擲方式 | 172574.86 | 3 | 57524.95 | 3.42* | .27 | .71 |
| 殘差 | 471362.71 | 28 | 16834.38 | | | |
| 出手肘關節角速度 | | | | | | |
| 年齡 | 1048625.68 | 3 | 349541.89 | 3.86 | .29 | .76 |
| 誤差（群內） | 2534709.07 | 28 | 90525.32 | | | |
| 投擲方式 | 70909.70 | 1 | 70909.70 | 2.52 | .08 | .34 |
| 年齡×投擲方式 | 464586.47 | 3 | 154862.16 | 5.50* | .37 | .90 |
| 殘差 | 788853.31 | 28 | 28173.33 | | | |
| 最小肘關節角速度 | | | | | | |
| 年齡 | 3009448.47 | 3 | 1003149.49 | 9.94* | .52 | 1.00 |
| 誤差（群內） | 2825472.22 | 28 | 100909.72 | | | |
| 投擲方式 | 89489.23 | 1 | 89489.23 | 4.04 | .13 | .49 |
| 年齡×投擲方式 | 68494.67 | 3 | 22831.56 | 1.03 | .10 | .25 |
| 殘差 | 620419.47 | 28 | 22157.84 | | | |

* $p < .05$

表 13：最大肘關節角速度變異性
混合設計單純主要效果變異數分析

| 變異來源 | SS | df | MS | F |
|---------------|------------|----|-----------|-------|
| 年齡 (A) | | | | |
| 在 b1 (遮眼) | 44767.46 | 3 | 14922.49 | 0.62 |
| 在 b2 (引導) | 391093.89 | 3 | 130364.63 | 3.59* |
| 細格內誤差 | 1691269.13 | 56 | 30201.23 | |
| 投擲方式 (B) | | | | |
| 在 a1 (5 歲) | 11524.56 | 1 | 11524.56 | 0.75 |
| 在 a2 (7 歲) | 44337.62 | 1 | 44337.62 | 2.08 |
| 在 a3 (9 歲) | 9737.25 | 1 | 9737.25 | 1.50 |
| 在 a4 (11 歲) | 110147.65 | 1 | 110147.65 | 4.56 |
| 細格內誤差 | 471362.71 | 28 | 16834.38 | |

* p<.05

表 14：出手肘關節角速度變異性
混合設計單純主要效果變異數分析

| 變異來源 | SS | df | MS | F |
|---------------|------------|----|-----------|--------|
| 年齡 (A) | | | | |
| 在 b1 (遮眼) | 393781.95 | 3 | 131260.65 | 1.90 |
| 在 b2 (引導) | 1119430.20 | 3 | 373143.40 | 7.54* |
| 細格內誤差 | 3323562.38 | 56 | 59349.33 | |
| 投擲方式 (B) | | | | |
| 在 a1 (5 歲) | 2435.67 | 1 | 2435.67 | 0.05 |
| 在 a2 (7 歲) | 96753.66 | 1 | 96753.66 | 3.12 |
| 在 a3 (9 歲) | 22893.20 | 1 | 22893.20 | 3.60 |
| 在 a4 (11 歲) | 413413.64 | 1 | 413413.64 | 13.69* |
| 細格內誤差 | 788853.31 | 28 | 28173.33 | |

* p<.05

表 15：遮眼與引導投擲各項肩關節角速度
混合設計二因子變異數分析

| 變異來源 | SS | df | MS | F | η^2 | power |
|-----------------|------------|----|----------|------|----------|-------|
| 肩關節最大角速度 | | | | | | |
| 年齡 | 110527.94 | 3 | 36842.65 | 2.15 | .19 | .49 |
| 誤差 (群內) | 479518.45 | 28 | 17125.66 | | | |
| 投擲方式 | 145.32 | 1 | 145.32 | 0.03 | .00 | .05 |
| 年齡 × 投擲方式 | 34624.07 | 3 | 11541.36 | 2.07 | .18 | .47 |
| 殘差 | 156341.51 | 28 | 5583.63 | | | |
| 肩關節出手角速度 | | | | | | |
| 年齡 | 216775.99 | 3 | 72258.66 | 2.56 | .22 | .57 |
| 誤差 (群內) | 791584.51 | 28 | 28270.88 | | | |
| 投擲方式 | 23716.00 | 1 | 23716.00 | 1.34 | .05 | .20 |
| 年齡 × 投擲方式 | 53016.31 | 3 | 17672.10 | 1.00 | .10 | .24 |
| 殘差 | 496973.65 | 28 | 17749.06 | | | |
| 肩關節最小角速度 | | | | | | |
| 年齡 | 20948.18 | 3 | 6982.73 | 0.19 | .02 | .08 |
| 誤差 (群內) | 1011597.50 | 28 | 36128.48 | | | |
| 投擲方式 | 1026.16 | 1 | 1026.16 | 0.15 | .01 | .07 |
| 年齡 × 投擲方式 | 11363.11 | 3 | 3787.70 | 0.54 | .06 | .15 |
| 殘差 | 196479.49 | 28 | 7017.13 | | | |

* p < .05

表 16：遮眼與引導投擲出手角度
混合設計二因子變異數分析

| 變異來源 | SS | df | MS | F | η^2 | power |
|---------|---------|----|---------|-------|----------|-------|
| 年齡 | 5034.31 | 3 | 1678.10 | 8.10* | .47 | .98 |
| 誤差（群內） | 5803.63 | 28 | 207.27 | | | |
| 投擲方式 | 625.00 | 1 | 625.00 | 7.72* | .22 | .77 |
| 年齡×投擲方式 | 120.88 | 3 | 40.29 | 0.50 | .05 | .14 |
| 殘差 | 2268.13 | 28 | 81.00 | | | |

* $p < .05$

表 17：遮眼與引導投擲時間及各項關節角速度時間差
混合設計二因子變異數分析

| 變異來源 | SS | df | MS | F | η^2 | power |
|--------------------|--------|----|--------|-------|----------|-------|
| 投擲時間 (秒) | | | | | | |
| 年齡 | 0.0497 | 3 | 0.0166 | 4.51* | .33 | .97 |
| 誤差 (群內) | 0.1030 | 28 | 0.0037 | | | |
| 投擲方式 | 0.0006 | 1 | 0.0006 | 0.48 | .02 | .10 |
| 年齡 × 投擲方式 | 0.0043 | 3 | 0.0014 | 1.10 | .11 | .27 |
| 殘差 | 0.0365 | 28 | 0.0013 | | | |
| 腕關節時間差(秒) | | | | | | |
| 年齡 | 0.0280 | 3 | 0.0093 | 1.78 | .16 | .41 |
| 誤差 (群內) | 0.1460 | 28 | 0.0052 | | | |
| 投擲方式 | 0.0030 | 1 | 0.0030 | 1.20 | .04 | .18 |
| 年齡 × 投擲方式 | 0.0081 | 3 | 0.0027 | 1.06 | .10 | .26 |
| 殘差 | 0.0710 | 28 | 0.0025 | | | |
| 肘關節時間差(秒) | | | | | | |
| 年齡 | 0.0082 | 3 | 0.0027 | 2.76 | .23 | .60 |
| 誤差 (群內) | 0.0278 | 28 | 0.0099 | | | |
| 投擲方式 | 0.0027 | 1 | 0.0027 | 1.20 | .11 | .43 |
| 年齡 × 投擲方式 | 0.0012 | 3 | 0.0004 | 1.06 | .05 | .14 |
| 殘差 | 0.0223 | 28 | 0.0008 | | | |
| 肩關節時間差(秒) | | | | | | |
| 年齡 | 0.0327 | 3 | 0.0109 | 1.41 | .13 | .33 |
| 誤差 (群內) | 0.2160 | 28 | 0.0077 | | | |
| 投擲方式 | 0.0000 | 1 | 0.0000 | 0.00 | .00 | .05 |
| 年齡 × 投擲方式 | 0.0068 | 3 | 0.0023 | 0.57 | .06 | .15 |
| 殘差 | 0.1120 | 28 | 0.0040 | | | |

* p < .05

附錄二：參與研究家長（監護人）同意書

親愛的家長您好：

我是國立臺灣體育學院體育研究所的研究生，目前進行一項有關於兒童投擲動作發展的研究，由於貴子弟不論是在身高、體重、年齡或是身體健康情況均非常符合研究的條件，因此想邀請貴子弟參與本次研究。本次研究的地點設於彰化縣大村鄉村東國小運動場，全部所需的時間為二十五分鐘。測量的動作是配備測量儀器坐在長板凳上（高 35 公分，寬 60 公分，長 150 公分），做兩次的全力投擲動作。所使用的測量儀器與動作完全不會對小朋友造成任何傷害，研究的時間也絕對不會影響貴子弟在學校的上課學習。為了尊重您的權益，您可以自由選擇要不要讓貴子弟參與本次研究，另外即使您同意讓貴子弟參與研究，但是之後您的意願有所改變，仍可以告知本人後隨時退出研究。然而如果您在考量後並不同意貴子弟參與本次研究，也不會對貴子弟有任何的影響。本次研究測量的結果只當作研究之用，另外相關資料的隱私權也將獲得保障。

最後，非常期盼您的協助！由於您的參與將使得本研究可以順利完成，另外對於運動科學也將有非常大的貢獻。如果您對於本次研究或是貴子弟的權益有任何問題，歡迎以電話聯絡國立臺灣體育學院體育研究所研究生朱治華0935348049。

研究生 朱治華 敬上

本人已經詳細閱讀並瞭解上述內容，我同意我的小孩參與上述研究。

學生姓名：

家長簽名：

日期：

為了使研究可以順利進行，麻煩您填寫下面二個問題：

一、您的小孩是否有以下情況：

感覺動作不協調或上肢受過嚴重外傷。

有，是 _____。

沒有。

二、您的小孩是否曾參加運動團隊、運動類的才藝班？

有，是 _____。

沒有。

感謝您的支持與參與！