

國立臺灣體育運動大學競技運動學系
碩士學位論文

桌球反手拉球動作之軀幹與上肢運動學
KINEMATICS OF TRUNK AND UPPER LIMB ON
BACKHAND DRIVING IN TABLE TENNIS



研究生：陳羿蓁 撰
指導教授：張立羣 教授

中華民國 101 年 6 月

桌球反手拉球動作之軀幹與上肢運動學

摘 要

本研究目的為瞭解反手拉球動作的軀幹與持拍手臂特徵，探討軀幹與上肢動作順序是否符合動力鏈原理，並探求影響球速的關鍵運動學參數。以 13 名大專公開組男子桌球選手為研究對象，分析中檯反手拉前衝弧圈球動作，藉由 Vicon 動作分析系統，獲得軀幹與上肢動作的運動學資料，透過皮爾森積差相關方法來探求運動學參數與球速之間的相關。研究結果發現，在揮拍擊球階段，身體肢段動作出現最大角速度的順序符合動力鏈原理。在整個動作週期中肩關節的內旋/外旋之活動範圍愈小、揮拍擊球階段的肩關節屈曲活動範圍愈大，以及擊球瞬間的肩關節外展角度愈小，則球速愈快。這顯示出反手拉球動作，選手利用適度的動作幅度、快速的揮擊動作，來產生最高效能的球速表現。

關鍵詞：前衝弧圈球、動力鏈、球速

Kinematics of Trunk and Upper limb on Backhand Driving in Table Tennis

Abstract

The purposes of this study were, firstly to understand the characteristic factors that contributed to the movements of the trunk and racket arm on backhand drive; secondly to investigate whether the trunk and upper limb movement during backhand drive also agree to the principle of the kinetic chain; and finally to examine the key kinematic parameters that had most influenced on the ball velocity within the backhand drive. Thirteen elite collegiate male table tennis players were recruited in this study. All the movements were recorded during the backhand fast loop drive. The data were analyzed by Vicon Motion Analysis System to gather the information on the kinematic parameters from the movements of the trunk and upper limb. By using Pearson's correlations to investigate the relationship between ball velocity and kinematic parameters. The results found the order of the highest angular velocity of the body segments during acceleration phase were consistent to the principle of kinetic chain. Moreover, results also indicated that higher ball velocity can be achieved by decreasing the range of motion of shoulder internal-external rotation during backhand drive, also by increasing range of motion of shoulder flexion during the acceleration phase, and followed by decreasing the angle of shoulder abduction at impact. By adjusting the proper body movement and getting a faster swing, may help the player to reach his/her highest ball velocity during backhand drive.

Key words: fast loop drive, kinetic chain, ball velocity.

致謝

「世界上沒有什麼做不到的事，只要自己堅持、努力，在人生的旅途中，總有許多意外的發現與成長。」

記得！我在研究所的生涯裡，每天總有做不完的事，看不完的文章，永遠不夠用的時間，而「努力」與「毅力」是支撐我走下去信念，不管眼前的挑戰有多麼困難，相信只要自己態度正確，經過「努力、努力、再努力；思考、思考、再思考」，靠著這股毅力，便能找尋出解決問題的方法，就這樣跌跌撞撞的過了四年，直到完成第一本論文著作，發現到過程中的艱苦與挑戰，都是促成自己成功的墊腳石，而從中所獲得的經驗，更是累積自我成長的基石，俗話說：「茶要泡才會濃、湯要熬才會香、刀要磨才會利、人經過煎熬才會成長」。不論如何我都熬過了！

能夠加入張立羣老師的團隊，是我這一生中莫大的榮幸，老師對研究總是有周密的思考以及嚴謹的態度，過程中總是不厭其煩的教導我們，協助我們找到問題的方向與出口，最後才能做出自己最完美的作品，也就是第一本屬於自己的創作論文，而論文能如此順利完成，首先由衷感謝我的指導教授張立羣老師，謝謝老師在過程中，教導我學術方面的研究，同時培養我獨自思考的能力，還給予我許多不同的人生觀，並支持著我們所做的決定，使我獲益良多，心中有無限的感謝，謝謝您！另外，也衷心的感謝吳鴻文教授總在百忙之中，能夠抽空指導並撰寫研究方程式，以及何維華教授對於論文的斧正指點，提供諸多寶貴的建議，使本論文內容能更加完整、充實。

其中，也非常感謝學校提供完善的場地與儀器設備，以

及球隊教練大郭與選手們的全力配合，使得我的研究能夠順利完成。並且還要感謝競技運動研究所吳老師、方老師、石老師等所有師長的鞭策與指正，以及佩欣助教的幫忙，另外特別感謝研究群的夥伴們，銘修、芸蔓、偉達、柏坊與漢城，還有麻吉幫的美女們、玫璇、鴻鈞、巴西、敏姿等競碩班的所有人，以及桌球隊的小幫手們，毓齡、碧珊、玫慈等，需要感謝的人實在太多，無法一一的列出您們的名字感到抱歉，不過在我心目中每個人對我而言都是非常重要的，因為有大家的陪伴與支持，論文才能順利完成，謝謝大家，我最愛你們了！最後要感謝我最親愛的家人，爸爸、媽媽、哥哥還有姑姑們，總是默默的支持、鼓勵我，因為有家的關懷與溫暖，給予我最大的精神支柱，使我能全力以赴的完成夢想。

僅以此論文獻給我最摯愛的師長、朋友、同學、家人們。

羿蓁 謹誌

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
致謝	III
目錄	VI
表目錄	IX
圖目錄	XI
第壹章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究目的	4
第三節 研究範圍	5
第四節 研究限制	5
第五節 名詞解釋與操作性定義	6
第貳章 文獻探討	13
第一節 反手拉球動作技術	13
第二節 桌球擊球動作之相關研究	17
第三節 影響擊球球速之關鍵動作	20
第四節 總結	24
第參章 研究方法與步驟	26
第一節 研究對象	26
第二節 實驗時間與地點	28
第三節 實驗儀器與設備	28
第四節 實驗場地佈置	30
第五節 實驗步驟與流程	32
第六節 資料處理與分析	37

第肆章 結果	39
第一節 桌球球速與動作時間參數	39
第二節 關節動作之角度	41
第三節 關節動作之活動範圍	57
第四節 關節動作之角速度	61
第五節 關節動作之最大角速度	76
第六節 影響球速之關鍵運動學參數	79
第伍章 討論	83
第一節 反手拉球的動作時間	83
第二節 軀幹與上肢各關節動作特徵	85
第三節 關節最大角速度出現時機	92
第四節 影響球速之關鍵運動學參數	94
第陸章 結論與建議	98
第一節 結論	98
第二節 建議	99
參考文獻	101
一、中文部份	101
二、英文部分	106
附錄	110
一 實驗同意書	110
二 受試者基本資料	111
三 全體受試者反手拉前衝弧圈球在整個動作時間 及各階段動作時間百分比與球速之相關係數總 表	112
四 全體受試者反手拉前衝弧圈球在整個動作週期 中軀幹與上肢各關節活動範圍與球速之相關係	

	數總表	113
五	全體受試者反手拉前衝弧圈球在揮拍擊球階段 中軀幹與上肢各關節活動範圍與球速之相關係 數總表	114
六	全體受試者反手拉前衝弧圈球的擊球瞬間軀幹 與上肢各關節角度與球速之相關係數總表	115
七	全體受試者反手拉前衝弧圈球的擊球瞬間軀幹 與上肢各關節角速度與球速之相關係數總表	116
八	全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期 中軀幹與上肢各關節最大角速度與球速之相關 係數總表	117

表 目 錄

表 2-1	反手拉前衝弧圈球動作之要領	16
表 3-1	受試者基本資料	27
表 3-2	反光球標誌位置	33
表 4-1	全體受試者反手拉前衝弧圈球之球速、整個動作時間、各階段動作時間與佔整個動作時間之百分比	40
表 4-2	全體受試者反手拉前衝弧圈球動作在四個關鍵時相之軀幹與上肢各關節角度	42
表 4-3	A 受試者反手拉前衝弧圈球動作在四個關鍵時相之軀幹與上肢各關節角度	43
表 4-4	全體受試者反手拉前衝弧圈球動作在四個關鍵時相之軀幹與上肢各關節角速度	62
表 4-5	A 受試者反手拉前衝弧圈球動作在四個關鍵時相之軀幹與上肢各關節角速度	63
表 4-6	全體受試者反手拉前衝弧圈球在整個動作週期軀幹與上肢各關節動作最大角速度與最大角速度出現時間佔整個動作時間之百分比	77
表 4-7	A 受試者反手拉前衝弧圈球在整個動作週期軀幹與上肢各關節動作最大角速度與最大角速度出現時間佔整個動作時間之百分比	78
表 4-8	全體受試者反手拉前衝弧圈球在整個動作時間及各階段動作時間百分比與球速之相關係數表 ..	80
表 4-9	全體受試者反手拉前衝弧圈球在整個動作週期中軀幹與上肢各關節活動範圍與球速之相關係	

	數表	80
表 4-10	全體受試者在反手拉前衝弧圈球揮拍擊球階段 中軀幹與上肢各關節活動範圍與球速之相關係 數表	81
表 4-11	全體受試者反手拉前衝弧圈球的擊球瞬間軀幹 與上肢各關節角度與球速之相關係數表	81
表 4-12	全體受試者反手拉前衝弧圈球的擊球瞬間軀幹 與上肢各關節角速度與球速之相關係數表	82
表 4-13	全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期 中軀幹與上肢各關節最大角速度與球速之相關 係數表	82

圖 目 錄

圖 1-1	反手拉球動作週期	7
圖 1-2	軀幹運動之解剖定義	8
圖 1-3	肩膀-骨盆間隔角度	9
圖 1-4	肩關節運動之解剖定義	10
圖 1-5	肘關節運動之解剖定義	11
圖 1-6	前臂運動之解剖定義	11
圖 1-7	腕關節運動之解剖定義	12
圖 3-1	VICON MX-F40 動作分析系統之紅外線攝影機...	29
圖 3-2	筆記型電腦與同步設備	29
圖 3-3	T型動態校正棒	29
圖 3-4	L型靜態參考架	29
圖 3-5	球桌左側端線目標區域	30
圖 3-6	實驗場地佈置圖	31
圖 3-7	身體肢段之反光球標記位置圖	34
圖 3-8	手部與球拍之反光球標記位置圖	34
圖 3-9	實驗流程圖	36
圖 4-1	全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期 中軀幹動作之平均角度曲線	45
圖 4-2	A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中 軀幹動作之角度曲線	46
圖 4-3	全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期 中肩關節動作之平均角度曲線	48
圖 4-4	A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中 肩關節動作之角度曲線	49

圖 4-5	全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中肘關節動作之平均角度曲線	51
圖 4-6	A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中肘關節動作之角度曲線	52
圖 4-7	B 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中肘關節動作之角度曲線	52
圖 4-8	全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中前臂動作之平均角度曲線	54
圖 4-9	A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中腕關節動作之角度曲線	54
圖 4-10	全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中軀幹、肩關節、肘關節與前臂動作之平均角度曲線	56
圖 4-11	全體受試者整個動作週期的軀幹與上肢各關節活動範圍	57
圖 4-12	全體受試者引拍階段的軀幹與上肢各關節活動範圍	58
圖 4-13	全體受試者揮拍擊球階段的軀幹與上肢各關節活動範圍	58
圖 4-14	A 受試者整個動作週期的軀幹與上肢各關節活動範圍	59
圖 4-15	A 受試者引拍階段的軀幹與上肢各關節活動範圍	60
圖 4-16	A 受試者揮拍擊球階段的軀幹與上肢各關節活動範圍	60
圖 4-17	全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期	

	中軀幹動作之平均角速度曲線	64
圖 4-18	A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中 軀幹動作之角速度曲線	65
圖 4-19	全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期 中肩關節動作之平均角速度曲線	67
圖 4-20	A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中 肩關節動作之角速度曲線	68
圖 4-21	全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期 中肘關節動作之平均角速度曲線	70
圖 4-22	A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中 肘關節動作之角速度曲線	71
圖 4-23	全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期 中前臂動作之平均角速度曲線	73
圖 4-24	A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中 腕關節動作之角速度曲線	73
圖 4-25	全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中 軀幹、肩關節、肘關節與前臂動作之平均角速 度曲線	75

第壹章 緒論

第一節 研究背景

桌球是一項持拍的打擊運動，同時也是屬於一種隔網的球類運動，比賽中雙方運動員相距約3到4公尺，你來我往相互對抗，透過球拍擊出球的速度、旋轉、力量、落點及戰術的運用來實現得分機會（侯淑玲、陳金海，2003）。桌球的體積小重量輕，球的飛行速度快，其變化也非常多，通常在0.2秒的時間內要判斷來球，並且同時做出準確且適當的回擊（Yoshida, Sugiyama, & Murakoshi, 2004），因此選手的反應、判斷能力以及動作、位移速度都非常重要。

從2000年開始國際桌球總會(International Table Tennis Federation, ITTF)，為了使桌球比賽更精彩、更具觀賞性，並吸引更多參與桌球運動，對於桌球競賽規則進行大幅度的修改，首先將球體變大、實施每局11分制以及採取無遮擋發球規定（陳裕芬，2007）；此外，更在2008年9月1日開始全面禁用快速膠水來黏貼球拍膠皮（彭茜瑜、安振吉、蘇振堉、相子元，2008）。程序（2010）研究發現球體變大後，球速平均降低4%、球的旋轉平均下降13%，使得擊球的威力降低。而現在使用無機膠水來黏貼球皮後，經過研究測試發現，其球拍彈性只有原來的60%左右，使得球拍擊出球的速度、力量、旋轉、弧線等都發生很大的變化（房巍、邢繼慶、黃愛慶，2010）。對於桌球選手的技術、戰術、心理、體能等各方面帶來新的衝擊，也徹底改變亞洲選手的得分優勢（程序，2010）。當選手利用球拍彈性的優勢下降，就必須依靠自

身的力量與提升擊球技術來彌補器材上的不足。張晗與惠靜文（2009）指出歐洲冠軍波爾(Timo boll)選手，為了增大擊球的速度，在正手拉球動作中，增大腰部轉動的幅度，充分運用了身體由後向前旋轉的力量來擊球，這說明現今桌球運動要執行速度快、旋轉強的拉球，單靠手臂的力量是不夠的，必須盡可能運用軀幹旋轉及下肢的爆發力來增加球速。

除了擊球動作改變之外，比賽中技戰術的得分趨勢也轉變為以接發球和相持階段的得分為主，在比賽中一旦形成相持球時，球的飛行速度快，必定迫使選手遠離球桌擊球，因此在中、遠檯的相持球能力就顯得相當重要（房巍等，2010；張清雷、王瀚，2010）。由於比賽中每分球的來回次數增加，在連續相持球的過程中，選手自身的技術弱點就容易暴露被對手發現。因此，現今桌球強調全面化技術的發展，也就是正手、反手擊球的進攻能力都要提升（王亮、馬志軍，2007；舒鈞，2010；孟杰，2005；黃丹，2008）。

以往比賽只重視正手(forehand)的攻擊並不強調反拍(backhand)擊球，由於正手擊球成功率與球速皆優於反手（孟杰，2005；楊斌，2003）。因此，選手也將正手拉球動作視為主要的進攻技術與得分手段（杜美華，2001；楊斌，2003），其比賽中正手使用率也僅次於發球技術（杜美華，2001）。然而，近年來因為賽制的改變，比賽中反手技術的使用率增加，王亮與馬志軍（2007）發現男子單打奧運銀牌選手王皓，在比賽中不論是在接發球或相持階段，甚至發球搶攻皆偏重以反手攻擊為主，利用反手拉球的動作技術進行搶攻，為自己進入主動相持階段創造得分的先機。Iino, Mori, and Kojima (2008)指出如果選手能將反手拉球的威力提升跟正手一樣，

那麼在比賽中就能使戰術更多元，增加了自身技術的全面性，其技術、戰術的弱點也相對降低。而不再只是以正手拉球進行搶攻，反手拍強而有力的回擊更是勝利不可或缺的一項技術。

反手擊球動作與正手動作不同，正手採取前後站位，能夠運用身體動作創造合適的擊球空間，特點為球速快、力量大、當球落到球檯上時向前衝力大，為一種力量和旋轉結合的進攻性技術（唐建軍，2003）。而反手擊球步法採取平行站位，使擊球位置較靠近身體（楊藝韻，2009），在身體左前方擊球（正手則在身體右側進行），因此無法完全轉動身體，利用身體重心轉移的力量來擊球，是主要影響反手擊球力量的主因（Mcafee, 2009）。因此，反手的動作特點為動作小、還原快，並利用短暫的回擊時間及瞬間的變化能力，造成對手反應不及。在桌球比賽中球速是技術質量的基礎，如果球速過慢，將無法發展其他旋轉球，使用其他動作的變化效果也不好。反手動作依照球的速度與旋轉，可分高吊弧圈球與前衝弧圈球兩種動作，其中以前衝弧圈球的速度最快，低弧線是此種球路的特性，能給予對手強大的壓迫性，甚至能一板得分。

為了提升反手擊球的威力，在動作過程中同樣也強調引拍階段軀幹旋轉的重要性，在反手動作的研究方面，主要分析上肢動作（黃丹，2008；Iino 等，2008；Mcafee, 2009），Iino 等(2008)研究上肢肢段旋轉對於球拍速度的貢獻，孟杰（2005）、楊斌（2003）和黃丹（2008）則比較不同持拍選手身體各關節之運動學差異。目前有關軀幹旋轉動作研究，僅陳羿蓁與張立羣（2009）分析不同旋轉拉球動作，骨盆與肩

勝旋轉動作特徵，但並未分析上肢動作。因此，並不能清楚瞭解反手拉球動作軀幹與上肢動作的特徵。此外，過去研究發現合理的擊球動作是身體軀幹和上肢肢體動作需符合依序傳遞的動力鏈原理（宋志敏、關淑人，2003；郭嘉民，2006；陳羿蓁、張立羣，2009；黃丹，2008）。但也有研究卻發現並不符合這個原理（肖丹丹，2006；孟杰，2005；楊斌，2003；張曉棟、張立新、肖丹丹，2009）。由於桌球比賽中球速是動作表現的重要指標，Iino and Kojima (2009)研究正手拉下旋球動作，分析肢段旋轉對於球速的貢獻，而 Iino 等(2008)則研究反手拉球的上肢肢段旋轉對於球拍速度的貢獻，但此研究只分析肢段角速度，並未分析身體軀幹與上肢動作的連結情形與特徵，也未探討與球速貢獻有關的動作。因此，上述有關反手動作的相關問題，是值得進一步研究與釐清。

第二節 研究目的

本研究目的為瞭解反手拉球動作的軀幹與持拍手臂特徵，探討軀幹與上肢動作順序是否符合動力鏈原理，並探求影響球速的關鍵運動學參數。其具體目的如下：

- 一、反手拉球動作過程中，軀幹旋轉與上肢各關節之角度、角速度與活動範圍的變化。
- 二、反手拉球動作過程中，軀幹旋轉與上肢各關節之最大角度、最大角速度出現的時間與順序。
- 三、探求影響反手拉球球速的軀幹旋轉與上肢各關節之運動學參數。

第三節 研究範圍

本研究是以國立臺灣體育運動大學及彰化師範大學桌球隊，具大專公開組資格的男子選手 13 名為對象，針對在中檯位置執行全力反手拉前衝弧圈球動作進行研究，探討軀幹動作與持拍手臂之運動學資料。分析動作從向後引拍階段身體軀幹開始向左旋旋轉瞬間的畫面至跟隨階段持拍手手肘最大伸展的動作為止，而下肢與其他動作則不在本研究範圍。為了模擬比賽情境中最佳的反手拉球得分區域，要求供球者與受試者須將球打進球桌兩側對角底線之目標區域(50×40 公分)內，才算一次成功擊球。

第四節 研究限制

本研究受到實驗儀器的限制，無法在實際比賽中進行資料蒐集，為了模擬真實比賽情境的來球，實驗室內以人工供球的方式進行實驗，但與實際比賽的情況還是會有所差異。因此，排除球的轉速，並選取受試者擊球後，球速最快的三次動作進行分析。

另外，受試者必須黏貼反光球在身體肢段各關節點上，在執行動作時會有些微的不習慣。而為了減少影響實驗的變數，能夠更加仔細的探討反手拉球動作的特徵，因此採用相同的球拍與膠皮以及球來進行實驗。

第五節 名詞解釋與操作性定義

- 一、反手拉球(backhand drive)：是一種攻球技術的演變，擊球特性是依靠摩擦來製造適當的弧線，使得回擊出去的球旋轉強且速度快。可分為高吊弧圈球與前衝弧圈球兩種（姜濤，2010；楊斌，2003）。
- 二、前衝弧圈球(fast loop drive)：拉球方法為當球拍接觸球時，球拍拍面稍微前傾，使得擊球時能夠摩擦球的中上部，向前上方發力。它的特性為旋轉性強、飛行速度快、弧線較低、前衝力強（徐大鵬、謝爭、李莉，2008；姜濤，2010；楊斌，2003）。
- 三、反手拉球動作週期：是將完整的反手拉球動作模式劃分為四個關鍵時相，包括準備動作、引拍終點、擊球瞬間、跟隨終點，並透過四個關鍵時相來區分三個動作階段分別為引拍階段、揮拍擊球階段、跟隨階段。如圖 1-1 所示。

（一）四個關鍵時相：

- 1.準備動作(preparation)：兩腳張開與肩同寬，身體向傾，兩腳膝蓋彎曲，身體重心保持在兩腳中間。本研究準備動作的定義為身體軀幹開始向左旋旋轉的瞬間時刻。
- 2.引拍終點(at the end of back swing)：指持拍手手肘最大屈曲的位置。
- 3.擊球瞬間(impact)：球拍碰撞球的瞬間。
- 4.跟隨終點(at the end of follow through)：球拍碰撞球後，持拍手手肘順勢揮拍至手肘最大伸展的位置。

(二) 三個動作階段：

1. 引拍階段 (back swing)：從準備動作至引拍終點時的動作。
2. 揮拍擊球階段 (acceleration)：從引拍終點至擊球瞬間時的動作。
3. 跟隨階段 (follow through)：從擊球瞬間時至跟隨終點時的動作。

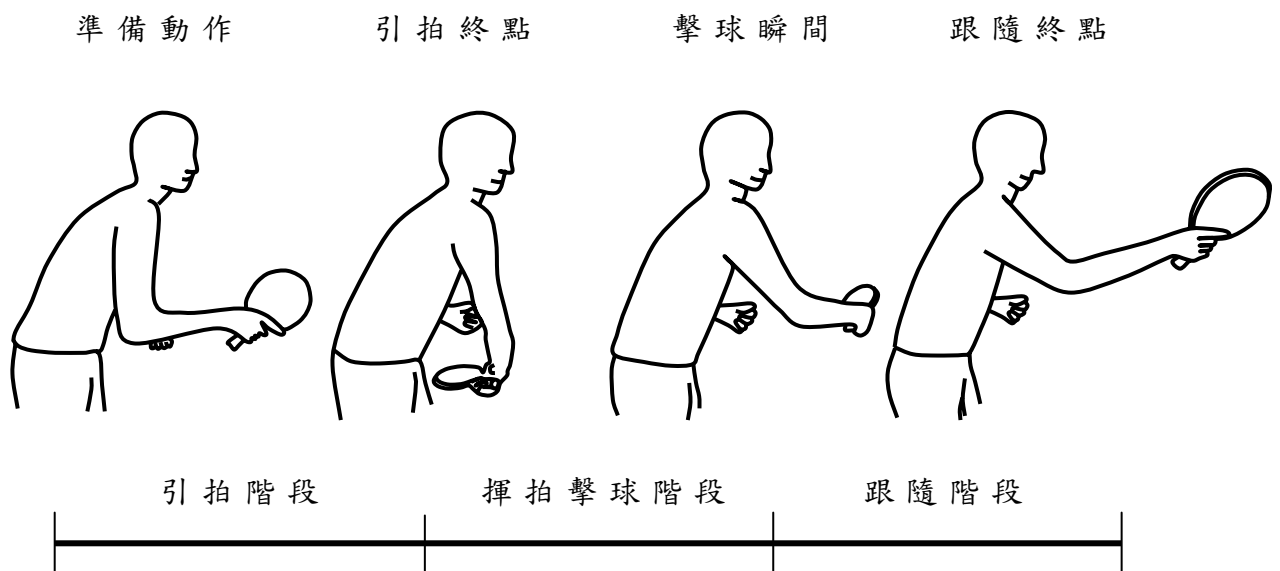


圖 1-1 反手拉球動作週期

四、中檯：指受試者所站的位置，在離球檯端線後方 110 公分處。

五、軀幹運動：從解剖學的定義來看，主要繞三軸運動，可以區分為矢狀面（Y 軸）屈曲/伸展(flexion / extension)、額狀面（X 軸）左傾/右傾(left/right bending)、水平面（Z 軸）左旋/右旋(left/right rotation)（如圖 1-2）。

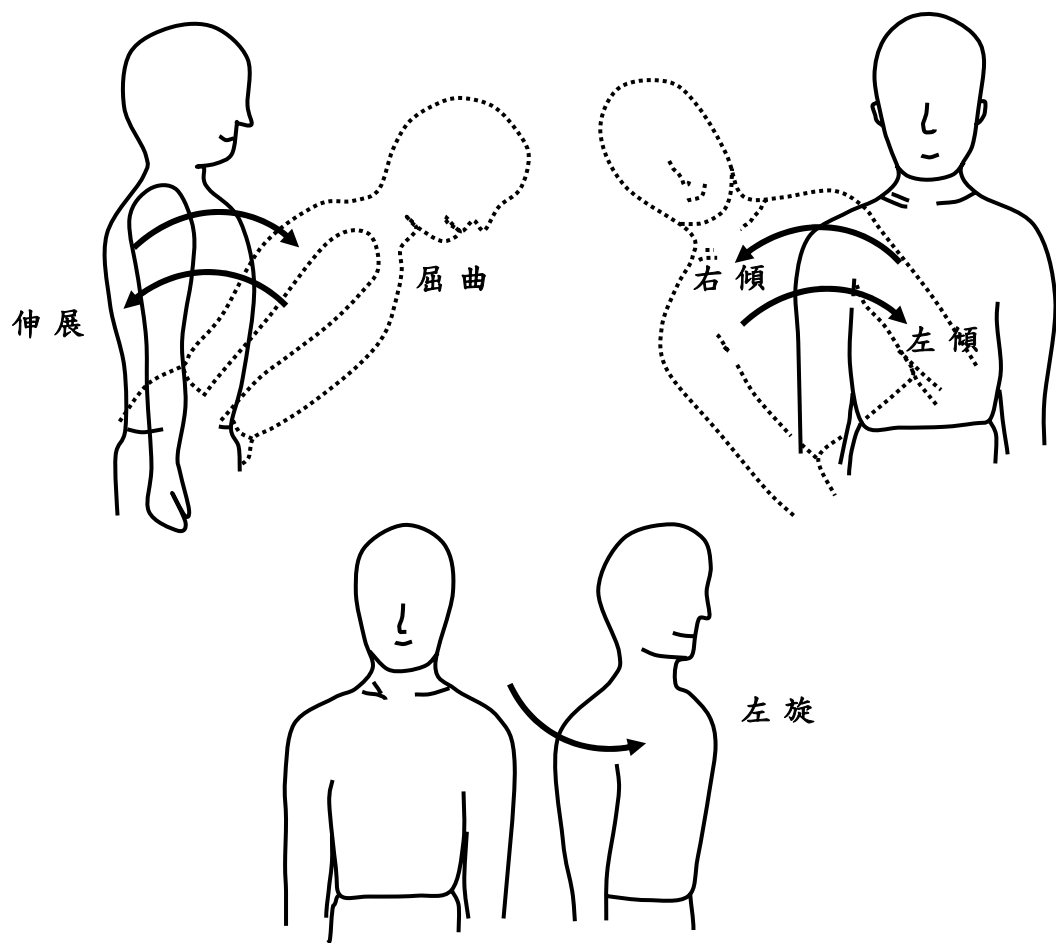


圖 1-2 軀幹運動之解剖定義

(一) 肩膀-骨盆間隔角度(separation angle)：以兩側肩峰(acromion)與左右髌骨前上棘(ASIS)當作肢段。以實驗室座標為基準，肩膀與骨盆在水平面上旋轉，所形成的間隔夾角(肖丹丹，2006；孟杰，2005；Reid & Elliott, 2002)。

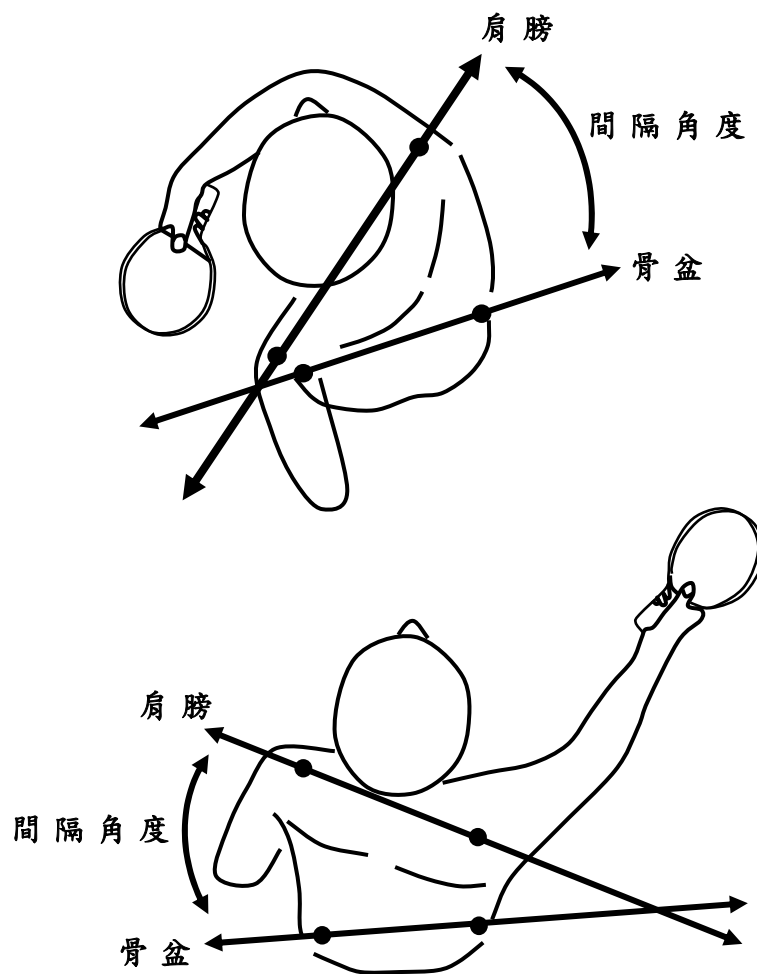
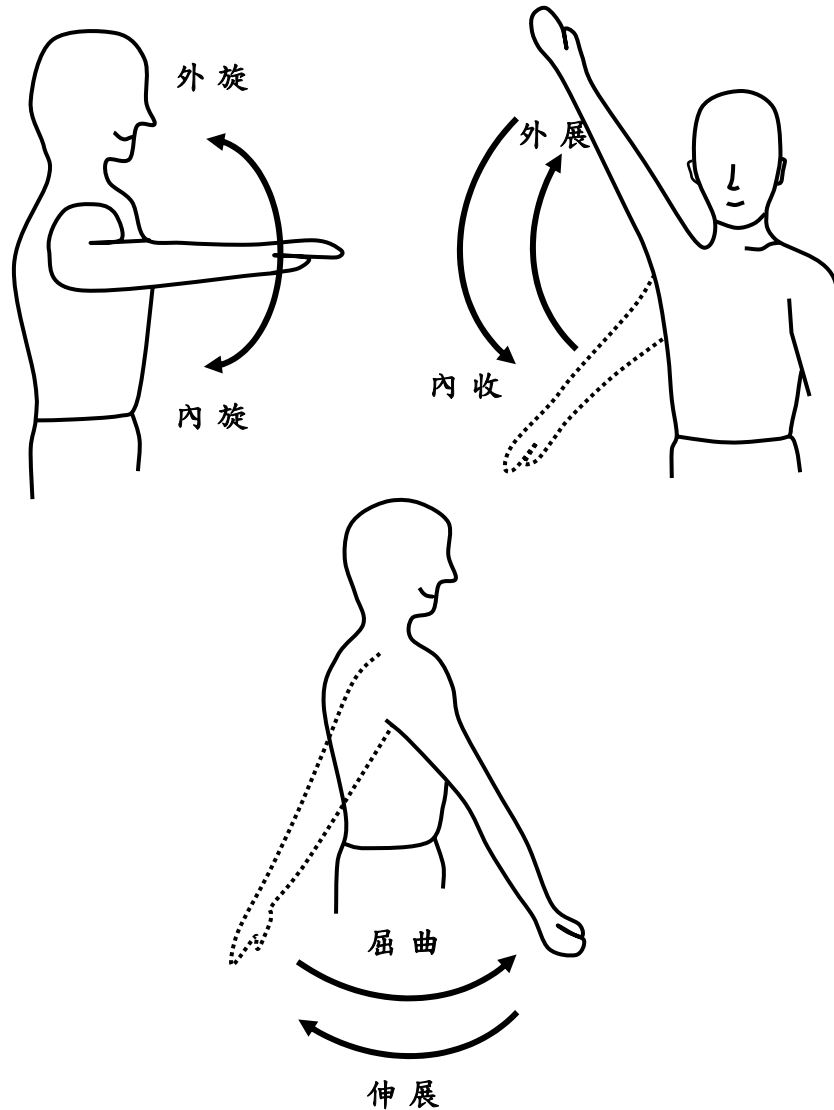


圖 1-3 肩膀-骨盆間隔角度

六、肩關節運動：從解剖學的定義來看，主要繞三軸運動，可以區分為矢狀面（Y 軸）屈曲/伸展(flexion / extension)、額狀面（X 軸）內收/外展 (adduction/abduction)、水平面（Z 軸）內旋/外旋 (internal/external)（如圖 1-4）。

圖 1-4 肩關節運動之解剖定義



七、肘關節運動：從解剖學的定義來看，主要以矢狀面（Y 軸）屈曲/伸展 (flexion / extension)（如圖 1-5）。

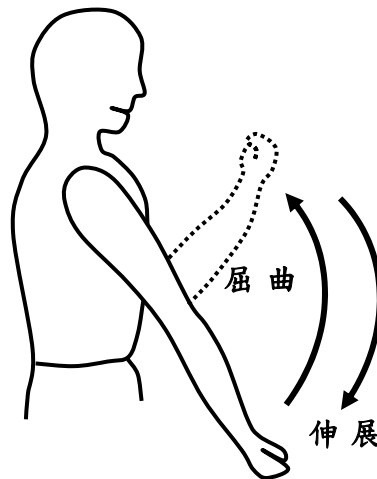


圖 1-5 肘關節運動之解剖定義

八、前臂運動：從解剖學的定義來看，主要繞著前臂的縱軸旋轉，旋前/旋後 (pronation / supination)（如圖 1-6）。

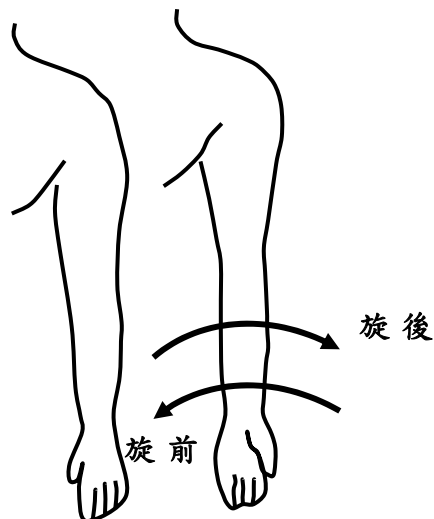


圖 1-6 前臂運動之解剖定義

九、腕關節運動：從解剖學的定義來看，主要以矢狀面（Y 軸）屈曲/伸展 (palmar/dorsi flexion)、額狀面（X 軸）尺向偏移/橈向偏移 (ulnar/radial deviation)（如圖 1-7）。

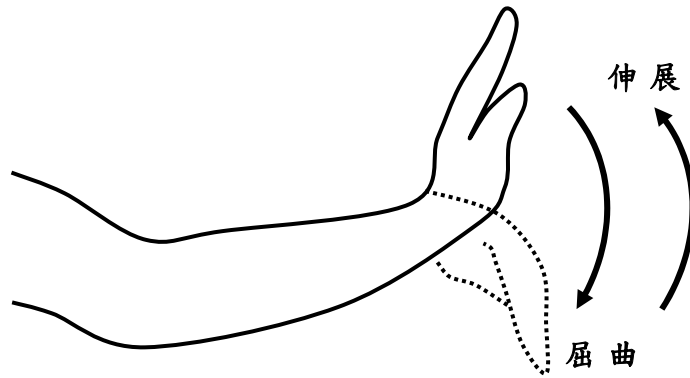
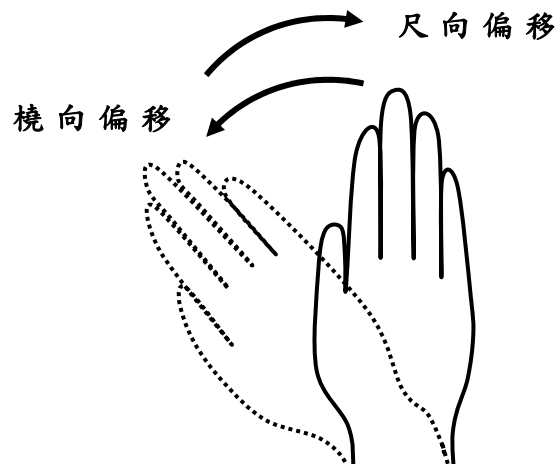


圖 1-7 腕關節運動之解剖定義



第貳章 文獻探討

桌球運動在新規則制度下，改變了比賽中的技、戰術，不僅反手拉球動作的使用率增加，也要增加回擊球的力量，來提高球速給予對手威脅。然而，過去研究桌球擊球動作技術主要以正手動作為主，對於反手動作相關研究則相當缺乏，相較於正手動作，反手動作技術有其不同的特性。因此，本章分為反手拉球動作技術、桌球擊球動作之相關研究、影響擊球球速之關鍵動作以及總結等四個部份，進行文獻探討。

第一節 反手拉球動作技術

反手拉球顧名思義是使用反手動作來進攻，其動作與正手動作不同，反手擊球在身體左前方進行，採平行站位，擊球位置較靠近身體，使得動作掌控性較高（楊藝韻，2009）。唐建軍（2003）認為反手拉球特點為動作小、突發性強，具有一定的攻擊力。依照球的速度與旋轉來區分，反手拉球動作可分為高吊弧圈球與前衝弧圈球兩種（姜濤，2010；楊斌，2003）。王梅生（2004）認為反手拉前衝弧圈球動作可為主動進攻創造優異的條件。

其整個反手拉球動作週期，可區分成準備、引拍、揮拍擊球與跟隨這四個階段（王梅生，2004；徐大鵬等，2008；李晉，2008b；唐建軍，2003；姜濤，2010；黃丹，2008；張博，2003；楊藝韻，2009；Mcafee, 2009），各階段的動作特徵，以右手持橫拍者為例說明。

（一）準備階段：是指選手開始向後引拍前的準備，也

就是在擊球前判斷來球的階段。此階段強調先要判斷來球，調整拍面角度後，才開始執行引拍動作（王梅生，2004；唐建軍，2003）。其準備動作要領為雙腳站立的間距比肩稍寬，採取雙腳平行站位，兩腳膝蓋彎曲，上身保持前傾（李晉，2008b；Mcafee, 2009），持拍手自然彎曲，置於身體右側，肩稍外展，手腕放鬆（姜濤，2010）。身體重心保持在兩腳中間。

（二）引拍階段：動作從球拍開始向後擺動到揮至身體左側下方為止（黃丹，2008）。動作要領是先將膝蓋彎曲讓軀幹屈曲幅度增大，同時骨盆向左側逆時針方向小幅轉動，使身體重心轉移到左腳上，含胸收腹，上臂放鬆靠近身體，做內旋、內收動作，肘關節屈曲，前臂旋後，動作向左後方移動，同時手腕做屈曲、尺向偏移的動作，使球拍面微向前傾斜，直到前臂“橫”在腹部前方，手腕保持穩定內收狀態（王梅生，2004；李晉，2008b、2009a）。

（三）揮拍擊球階段：動作從球拍在身體左側下方開始向前揮動至球拍接觸球，球離開球拍的瞬間為止（黃丹，2008）。動作要領由左腳開始蹬地，身體重心轉移至右腳，在重心轉移的同時軀幹開始伸展與右旋，骨盆向右前上方轉動，緊接著上臂做外展與外旋動作，肘關節加速向右上方伸展，前臂旋前同時手腕繞向偏移擊球（李晉，2008b、2008c、2009b；張博，2003）。唐建軍（2003）、張博（2003）以及Mcafee(2009)均強調擊球時間需等球跳至高點或下降前期時，最佳擊球點在腹部前方。以前傾拍面迎擊球的中上部略偏左的位置，運用手腕力量摩擦擊球（王梅生，2004；徐大鵬等，2008）。

(四) 跟隨階段：動作從球離開球拍後，球拍揮至身體右側上方為止(黃丹，2008)。擊球後，重心轉移至右腳，並將身體重心提高，上臂繼續向右前上方外展與外旋，前臂順勢向右前上方揮動(李晉，2008a)。動作完成後，身體及球拍迅速還原成準備動作，為下一板來球做準備(王梅生，2004；李晉，2008b；張博，2003；Mcafee, 2009)。根據上述相關文獻將反手拉前衝弧圈球動作要領整理於表 2-1。楊藝韻(2009)針對桌球選手比賽中使用的技術進行分析，發現成功的中檯反手拉球動作有兩個關鍵要點，分別為身體重心的轉移以及運用身體的力量擊球，在揮拍時要注意以肘關節為軸，在身體前劃半圓擊球，運用全身的力量揮擊是中檯反手拉球的原則。

綜合上述相關研究文獻，反手拉球動作要充分運用身體力量，在引拍階段主要關鍵為身體的重心轉移、利用骨盆向左側逆時針方向小幅轉動，創造出足夠的擊球空間，接著上臂同時做內收、水平內收、屈曲與內旋的動作，並以肘關節屈曲帶動前臂做旋後動作，同時手腕做尺向偏移動作，以儲存能量準備擊球。在揮拍擊球階段，由左腳蹬地身體重心開始轉移，運用軀幹旋轉帶動上臂，上臂同時做外旋與外展、水平外展的動作，肘關節向右前上方做伸展動作，前臂做旋前，同時手腕橈向偏移加速擊球。

表 2-1 反手拉前衝弧圈球動作之要領

動作 階段	動作要領	
準備	<ol style="list-style-type: none"> 1. 雙腳站立比肩稍寬 2. 雙腳平行站位 3. 兩腳膝蓋彎曲 	<ol style="list-style-type: none"> 4. 上身保持前傾 5. 手肘彎曲、肩稍外展 6. 身體重心保持在兩腳中間
引拍	<ol style="list-style-type: none"> 1. 重心轉移至左腳 2. 含胸收腹軀幹屈曲幅度增大 3. 軀幹左旋轉動 4. 上臂向左後方內旋與內收 	<ol style="list-style-type: none"> 5. 肘關節屈曲、前臂旋後 6. 前臂“橫”在腹部前方 7. 手腕保持屈曲與尺向偏移狀態 8. 拍面前傾
揮拍	<ol style="list-style-type: none"> 1. 重心開始轉移至右腳 	<ol style="list-style-type: none"> 5. 前臂旋前
擊球	<ol style="list-style-type: none"> 2. 軀幹伸展與右旋帶動上肢 3. 上臂做外旋與外展動作 4. 肘關節向右前上方伸展 	<ol style="list-style-type: none"> 6. 手腕橈向偏移擊球 7. 擊球時間在高點或下降前期 8. 擊球位置於球體左側中上部
跟隨	<ol style="list-style-type: none"> 1. 重心轉移至右腳 2. 上臂向右前上方外展與外旋 	<ol style="list-style-type: none"> 3. 前臂順勢向右前上方揮動 4. 動作完成後再迅速還原

第二節 桌球擊球動作之相關研究

桌球是一項手持球拍技巧性高的運動項目，運動員以協調的肢體活動與合理的擊球動作順序來產生球速與旋轉，透過運動生物力學的研究，可深入瞭解肢體動作的情形，提供教練理論基礎。過去有關桌球動作的相關研究主要以正手為主（肖丹丹，2006；肖丹丹等，2008a；肖丹丹等，2008b；杜美華，2001；柳天楊，2002；柳天楊等，2003；常瑞宏，2008；梁世建，2006；郭嘉民，2006；曾慶國，2002；簡健華，2010；Iino & Kojima, 2009）。

從正手擊球動作研究發現，在引拍階段選手利用膝蓋彎曲、軀幹的屈曲、右傾及右旋運動、結合上肢各關節動作（包含肩的伸展、外展及外旋運動，肘伸展，手腕的伸展與尺向偏移動作）與下降身體重心，來增加引拍的時間與動作的幅度（肖丹丹，2006；肖丹丹等，2008a；郭嘉民，2006），研究顯示引拍階段利用軀幹旋轉使肌肉拉長幅度增大，並且在揮拍擊球時縮短動作時間，也就是角速度愈快，其末端肢段速度就愈快（肖丹丹，2006）。研究發現在揮拍擊球階段，優秀選手有較多的骨盆旋轉，由骨盆向前旋轉開始啟動，使軀幹做左旋與伸展運動，帶動肩膀朝擊球方向做屈曲與內旋運動，接著肘屈曲最後到手腕屈曲與橈向偏移，整個動作過程中身體重心由右腳轉移到左腳來擊球（肖丹丹，2006；肖丹丹等，2008b；郭嘉民，2006；Iino & Kojima, 2009）。讓球拍在擊球前達到最大速度，代表選手最後使用 100%最大揮拍速度擊球（肖丹丹，2006）。

在反手擊球動作的研究主要有兩個部分，一是分析擊球

時上肢肢體動作特徵(黃丹, 2008; Iino 等, 2008); 另一個是比較不同握拍方法或回擊不同球路的動作特徵(孟杰, 2005; 黃丹, 2008; 楊斌, 2003)。研究發現反手拉球引拍動作方向是朝左後、下方移動(黃丹, 2008), 上肢肩關節做內旋、外展動作, 肘屈曲, 手腕尺向偏移(Iino 等, 2008)。在引拍終點瞬間, 肩關節處於外展角度為 7 度、屈曲 7.2 度、手臂水平前屈角 172.7 度, 手肘屈曲 73 度、手腕尺向偏移 172 度(孟杰, 2005)。在揮拍擊球過程中, 揮拍方向則是朝右前、上方為主(黃丹, 2008), 此時, 肩關節做外旋、外展與屈曲, 肘伸展, 前臂旋前以及手腕伸展、尺向偏移動作來擊球(Iino 等, 2008)。在揮拍擊球瞬間, 肩關節則處於屈曲角度為 80.6 度、手臂水平前屈角 146.1 度, 前臂會向前伸展並做旋前動作, 手肘屈曲 103.4 度, 最後手腕伸展、尺向偏移 166 度向前擊球(孟杰, 2005)。其中手腕伸展和前臂旋前, 是構成球拍向前速度的主要貢獻因素(Iino 等, 2008), 但反手動作因肩鎖關節的限制而受到影響, 不論哪一種持拍動作, 近檯或中遠檯反手拉球動作特徵大致相同(黃丹, 2008), 在回擊上旋球與下旋球兩種不同旋轉球時, 其肢體動作也是類似的(Iino 等, 2008), 雖然動作模式相似, 但仍會有些微的差異存在, 例如在中遠檯的位置距離球檯遠, 選手因而會利用較長的引拍時間與較大的動作幅度來回擊球(黃丹, 2008); 下旋球的速度較慢且落點較短, 選手須增加向上作用力與延長作用時間, 讓球能產生適當的飛行弧度, 以確保球能過網(陳羿蓁、張立羣, 2009; Iino 等, 2008)。因此, 和中遠檯拉球一樣, 引拍階段會有較大軀幹旋轉動作幅度, 透過較長的揮拍擊球動作時間, 來產生最大的加速度。

孟杰（2005）研究顯示在揮拍擊球時，唐鵬使用較大的軀幹旋轉角度及較快的旋轉速度，將下肢力量傳遞到上肢，能夠加快揮拍速度，增大擊球效果，而王皓在引拍時軀幹扭轉角度大，但揮拍擊球階段，軀幹扭轉幅度小，角速度也較慢因此無法產生充分的動量給上肢，但也可能是受到對手來球的限制，而影響王皓最後的擊球效果。因為反手動作站位的緣故，擊球點較靠近身體，而選手為了增快擊球的時間與動作速度，使得選手的擊球動作愈來愈小，忽略了軀幹旋轉的重要性，反而導致力量下降，在無機膠水制度下，應該更強調軀幹旋轉動作，可以增加揮拍動作半徑外，還能夠使上臂在擊球前獲得一個初速度，從而增加擊球瞬間的角速度，這對於擊球的速度與旋轉有著極為重要的意義（舒鈞，2010）。

透過上述文獻可發現，在正手、反手動作過程中均強調運用較多的軀幹旋轉動作來增加更多動能，目前桌球有三篇針對軀幹動作研究（肖丹丹，2006；孟杰，2005；郭嘉民，2006）。使用不同的評估方法，會影響最後的結果，郭嘉民（2006）利用軀幹之左旋與右旋來評估軀幹旋轉，另外，肖丹丹（2006）和孟杰（2005）用軀幹扭轉角度（骨盆與肩關節肢段向量間所形成的夾角），來評估軀幹旋轉動作情形，不過孟杰（2005）在實際比賽中拍攝，受到對手來球的影響甚大。其軀幹部位不只可以用整體軀幹旋轉來評估，還可細分為骨盆與肩關節兩肢段向量間所形成的角度代表軀幹旋轉的骨盆與肩膀角度（Akutagawa & Kojima, 2005; Escamilla 等, 2009），僅有陳羿蓁與張立羣（2009）以不同旋轉拉球動作，其骨盆與肩膀之軀幹旋轉動作特徵分析，其研究內容也未與

上肢動作做相關連結，未來研究中可以利用骨盆與肩膀以及兩者之間角度與角速度之變化，來深入評估與瞭解軀幹旋轉配合上肢動作的變化情形。

在正手與反手拉球動作的運動學分析，以及各階段揮拍時間、身體重心的動作特徵，可瞭解不論是正手還是反手動作，為了增加擊球威力，必須在準備階段強調軀幹旋轉動作，利用肌肉伸長縮短原理，儲存肌肉彈性位能，扭轉角度愈大愈能延長作用時間增加動量傳遞，其適當的軀幹轉動能夠有效的將下肢的能量傳遞到上臂，並且在擊球過程中，以順序性的動力鏈原理，將動量從近端依序傳遞至球拍末端，以最大擊球力量作用於球上，最後產生高球速的動作表現。

第三節 影響擊球球速之關鍵動作

桌球選手的擊球制勝要素為弧線、速度、旋轉、力量與落點，其中擊球速度與旋轉是表示球質量的核心因素（吳德成，1998；孟杰，2005）。而球速又是桌球技術質量的基準，在準確性的前提下結合球速，便能取得優異表現，因此，球速成為比賽中獲勝的主要關鍵因素。球速的快慢取決於揮拍的速度。揮拍速度乃藉由選手的肢體動作所產生，主要有四個關鍵因素，一、動作的幅度（常瑞宏，2008；Lees, 2009）；二、揮拍時肢段旋轉的貢獻程度（Iino 等，2008；Iino & Kojima, 2009）；三、動作需透過伸長縮短原理來產生能量（Elliott, 2006）；最後是肢體動作需符合依序傳遞的動力鏈原理（宋志敏、關淑仁，2003）。

在揮拍動作原理中，首先要先增加選手在準備與揮拍階

段的動作幅度，使得球拍加速度的軌跡增長(常瑞宏，2008)，利用適當的揮拍距離儲存更多肌肉能量，因此，訓練時增加選手肌肉的彈性以及關節動作的幅度顯得相當重要(Lees, 2009)。然而，增加動作幅度就如同增加擊球動作的揮拍半徑一樣，其揮拍半徑的大小與肢段旋轉速度的快慢，直接影響到切線速度的大小(曾慶國，2002；舒鈞，2010；Lees, 2009)。依據線速度的公式：線速度(V)=角速度(ω) \times 半徑(r)，在角速度一定的情况下，半徑愈大則線速度愈大，曾慶國(2002)和舒鈞(2010)運用生物力學原理，針對正反手拉弧圈球技術加以討論，發現到骨盆的轉動能增加揮拍半徑，另一關鍵因素則是肩膀-骨盆間隔角度(即軀幹扭轉角)，利用肩膀大於骨盆的旋轉，來增加軀幹之間的夾角幅度(Elliott, Alderson, & Reid, 2008)，在引拍階段藉增大間隔角度，儲存更多能量以增加上臂的揮拍速度(孟杰，2005；劉卉，2002；Myers等，2008)。

在肢段旋轉對球速的貢獻相關研究中，Iino等(2008)和Iino and Kojima(2009)利用上肢各關節之角速度與位置向量的乘積(揮拍半徑)，運用方程式計算出球拍切線速度的貢獻情形，Iino等(2008)分析11名優秀男子桌球選手，反手拉球動作回擊上旋球與下旋球時，上肢旋轉對於球拍速度的貢獻，研究發現不論反手拉上旋或下旋球時，肢體動作與關節角速度是相似的。其中手腕伸展、手肘伸展和上臂外旋，是構成球拍向前速度的主要貢獻因素。

另外，在網球發球與壁球正手擊球動作的研究，同樣利用上肢各關節之角速度與位置向量的乘積，來計算出身體肢段與球速的貢獻情形，Elliott, Marshal, and Noffal(1995,

1996)發現到在網球發球與壁球正手擊球動作的肩關節內旋與腕關節屈曲分別貢獻球速 54.2%、46.1%與 31.7%、18.2%，均為主要貢獻球速的關鍵參數。Tanabe and Ito(2007)在網球發球中也發現肩關節的內旋與腕關節屈曲角速度，分別貢獻 41.1%與 31.0%的球速。此外，Gordon and Dapena(2006)指出在網球發球擊球前的肘關節伸展與腕關節屈曲角度，為貢獻網球發球動作中的主要動作。

Iino and Kojima (2009)針對不同層級的選手，分析正手拉球動作以輕與重之不同力量回擊下旋球的特徵，研究顯示無論在不同層級的選手或是不同力量的拉球動作，其肩膀屈曲、內旋以及骨盆與肩膀旋轉角速度為主要貢獻大約 80%球拍速度的運動學參數。另外，也發現優秀選手正手拉球時骨盆旋轉的貢獻，顯著大於一般選手，結果提升了 1.8 m/s 的球速，大約增加 9%的擊球速度，因此建議一般選手須利用更多的骨盆旋轉以產生較快的揮拍速度。

此外，肩膀與骨盆開始向前旋轉的時機也是相當重要的動作指標，擊球時軀幹的轉動，對於持拍手臂的滯留有很大影響，在揮拍擊球的初期可以拉長肩部肌肉儲存能量，讓最後擊球時增大揮拍速度。Stodden 等(2005)和 Aguinaldo 等(2007)研究職業棒球投手也有同樣發現，利用軀幹旋轉使肩膀滯留，增加肌肉伸長，延長作用時間，以致肩關節的內旋速度增快來提升球速。除此之外，軀幹旋轉動作在預備時，肌肉伸長階段與揮擊時肌肉縮短這兩個階段之間，其扭轉與釋放之間的時間點也是增大擊球能量的關鍵要素之一，Elliott(2006)指出軀幹在肌肉伸長扭緊後，在釋放能量之前多停留一秒鐘將會損失 55%的能量，如果在伸長與縮短階段之

間的轉換沒有中斷，動作保持流暢，將可增加上臂的旋後速度達 20%。因此，軀幹開始旋轉的時機以及軀幹扭轉與釋放之間的旋轉時機也是提高動作速度與效率的關鍵。

最後影響揮拍速度的因素則是動作順序須符合動力鏈原理。在比賽中球速是技術質量的基礎，為了獲得良好的擊球效果，必須藉由軀幹旋轉動作，來帶動肩部以增加末端前臂的揮擊力量，以順序性的方式由近端向遠端傳遞動量，最後使得球拍產生最大速度來擊球（許樹淵，1997；鍾祥賜、蕭秀萍，2004）。尤其在投擲動作與持拍擊球動作，其動作技術特點皆為多肢段的運動系統，動作力量是利用地面反作用力向上傳遞，由腳、小腿、大腿、髖、腰、肩、腕到手的順序，依序傳遞到肢段末端（邱文信，2010）。在棒球的投擲與打擊、高爾夫球揮桿、鉛球投擲動作中，動量皆從近端依序傳遞至末端，最後傳遞至球上，產生最大速度（Aguinaldo 等，2007；Burden 等，1998；Escamilla 等，2009；Fleisig, Chu, Weber, & Andrewas, 2009；Young & Li, 2005；Myers 等，2008；Stodden 等，2001）。如果動作不符合動力鏈原理，選手在執行動作表現時，因為缺乏動作連慣性，能量轉換容易流失，而無法達到高效率的動作表現，甚至造成負面作用（Aguinaldo 等，2007）。

然而，過去研究發現桌球擊球技術並不是都符合動力鏈傳遞原理（肖丹丹，2006；張曉棟等，2009；楊斌，2003），這些研究均指出，桌球運動並非是所有動作技術都以達到最大擊球速度為目，有時候會以改變回球的方向與落點為主，所以發現上肢關節出現最大角速度的時間沒有固定形式。因此，對於動作順序動力鏈原理還是持有不同的論點，需要未

來更深入探討。

由上述文獻得知，球速是評估各項運動表現的重要指標，而球速又是由揮拍速度與擊球力量所組成，可透過身體肢段旋轉的貢獻，以及動力鏈的方式依序傳遞到末端肢段，透過肢段間協調的配合，產生最大速度。

第四節 總結

綜合相關研究文獻，在正手與反手拉球動作研究發現，在引拍階段，選手利用軀幹旋轉動作來增長引拍時間，增大動作幅度以增加擊球的作用時間，以致在揮拍擊球時，加快身體肢段的動作速度，從近端依序傳遞至球拍末端，序列性的動力鏈傳遞原理，以最大揮拍速度擊球，最後產生高球速的動作表現。

雖然反手動作不同於正手，但研究發現在動作過程中同樣也強調引拍階段軀幹旋轉的重要性，但是目前幾篇研究軀幹旋轉動作都是以軀幹扭轉角度當作評估指標（肖丹丹，2006；孟杰，2005；郭嘉民，2006），這並不能清楚瞭解動作的特性，僅陳羿蓁與張立羣（2009）分析不同旋轉拉球動作，骨盆與肩膀旋轉動作特徵，但研究中並未結合上肢動作。過去研究發現合理的擊球動作是身體軀幹和上肢肢體動作需符合依序傳遞的動力鏈原理（宋志敏、關淑人，2003；郭嘉民，2006；陳羿蓁、張立羣，2009；黃丹，2008）。但也有研究發現並不符合（肖丹丹，2006；孟杰，2005；楊斌，2003；張曉棟、張立新、肖丹丹，2009）。此外，在桌球比賽中球速是動作表現的重要指標，Iino and Kojima (2009)研究正手拉下

旋球動作，分析肢段旋轉對於球速的貢獻，而 Iino 等(2008)則研究反手拉球的上肢肢段旋轉對於球拍速度的貢獻，但此研究只針對角速度方面，並未分析身體軀幹與上肢動作的連結情形與特徵，也未探討與球速貢獻有關的動作。因此，上述有關反手動作的相關問題，是值得進一步研究與釐清。

第參章 研究方法與步驟

本章分為六個部份加以說明：一、研究對象；二、實驗時間與地點；三、實驗儀器與設備；四、實驗場地佈置；五、實驗步驟與流程；六、資料處理與分析。

第一節 研究對象

本研究以國立臺灣體育運動大學及彰化師範大學男性桌球選手 13 名為研究對象，全體受試者皆為大專甲組球員，均為右手持拍，以橫握球拍的方式擊球，受試者基本資料見表 3-1，平均年齡為 19.57 ± 0.98 歲、身高 172.50 ± 3.58 公分、體重 64.43 ± 5.41 公斤以及球齡 11.21 ± 1.66 年。每位受試者在正式實驗一年前均無骨骼肌肉及神經系統之傷害，且確定保持良好之競技狀態。

表 3-1 受試者基本資料

受試者	年齡 (歲)	身高 (cm)	體重 (kg)	球齡 (年)	最佳成績
A	22	170	63	14	97 年青少年國手 98 年大運會混雙第二名
B	19	170	54	11	100 年大專團體第二
C	19	165	58	11	98 年青少年國手 99 年大運會單打第一
D	21	175	72	12	96 年成年國手 98-100 年大運會混雙第一
E	19	172	60	8	98 年全中運團體第三
F	19	172	68	10	100 年大運會團體第二
G	19	180	65	11	96 年青少年國手
H	20	170	62	13	99 年大運會單打第四
I	18	175	70	9	98 年青少年國手
J	19	176	75	13	98 年青少年國手
K	19	173	58	10	97 年年青少年國手
L	19	174	65	10	98 年全中運團體冠軍
M	20	177	70	13	97 年青少年國手 99 年大運會雙打第二名
平均數	19.57	172.50	64.43	11.21	
標準差	0.98	3.58	5.41	1.66	

第二節 實驗時間與地點

本研究進行實驗的時間與地點如下：

- 一、預備實驗時間：民國 99 年 12 月 28 日。
- 一、正式實驗時間：民國 100 年 1 月 15、16、17 日。
- 二、實驗地點：國立臺灣體育運動大學體操館。

第三節 實驗儀器與設備

本研究所需的實驗設備如下：

- 一、硬體設備
 - (一) VICON MX-F40 動作分析系統(VICON MX-F40 motion analysis system, Oxford OX2 OJB., UK)，使用 8 台紅外線攝影機(如圖 3-1)，取樣頻率為 500Hz。
 - (二) 筆記型電腦(HP Pavilion dv4)與同步設備(如圖 3-2)
 - (三) T 型動態校正棒一支(T-wand)，如下圖 3-3，和 L 型靜態參考架一座(L-frame)，如圖 3-4。
 - (四) 桌球拍(Butterfly Timo boll spirit-ST, Japan)
 - (五) 球拍膠皮(Joola express one, Germany)
 - (六) 桌球桌(TSP TK-20)一檯。
 - (七) 球網組合(TSP)。
 - (八) 桌球(Donic)球之直徑為 40 公厘，重量 2.7 克，顏色為白色的比賽用球。
 - (九) 反光球 24 個





圖 3-2 筆記型電腦與同步設備



圖 3-3 T 型動態校正棒

圖 3-4 L 型靜態參考架

二、軟體設備

- (一) Vicon Nexus 1.4.114 軟體
- (二) MATLAB 7.5 程式設計軟體
- (三) SPSS for Windows 12.0 版統計套裝軟體
- (四) Microsoft Excel 2007 版軟體
- (五) Origin 7.0 版繪圖軟體

第四節 實驗場地佈置

本實驗在實驗室裡進行，將球桌放置在場地的正中央，球桌和球網的架設均依照國際桌球總會的規範所設置，為了模擬比賽情境中最佳的反手拉球得分區域，在球桌的兩邊左側對角端線內標示出擊球之目標區域（50×40 公分），要求供球者與受試者須將球打進目標區內才算一次成功擊球（如圖 3-5）。



圖 3-5 球桌左側端線目標區域

將 8 台紅外線攝影機架設在受試者的四周圍（如圖 3-6），其所設置的位置要能收集受試者完整反手拉球動作過程中，黏貼在身體上的反光球，所有紅外線攝影機都透過同步儀器的連接，由終端控制器操作。另外，在球桌端線左側後方 1.1 公尺處，貼上 0.6 公尺長膠帶，做為受試者執行動作所站立的位置。



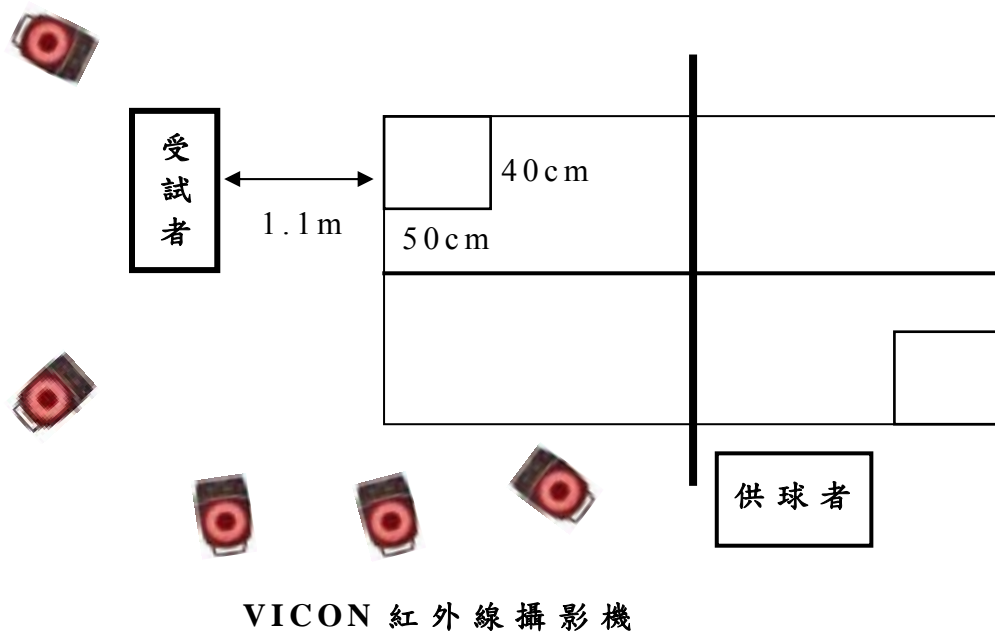


圖 3-6 實驗場地佈置圖

第五節 實驗步驟與流程

本研究實驗步驟與流程說明如下：

一、儀器校正與測試

在實驗開始前，先調整與固定實驗室內各台攝影機的位置，能夠明確拍攝到受試者在實驗中完整反手拉球動作範圍，並且完成各實驗儀器之測試。

在進行實驗之前，必須先進行校正的工作，訂定出實驗室三維空間座標，以利於求出標記點在空間中之座標。首先以一支 T 型動態校正棒，在實驗室中將受試者執行動作的空間揮動，以進行動態校正，來確保實驗過程中，動作分析系統能完整捕捉到每個動作中反光球在空間的位置。接著使用 L 型靜態參考架，平放於實驗室中央做靜態校正，並由此訂出實驗室的座標系統，本研究座標定義為前後方向為 X 軸、左右方向 Y 軸、垂直方向 Z 軸。攝影機在空間及水平校正後即不再移動，以確保所有受試者動作軌跡皆在相同座標中。

二、說明研究目的與實驗流程

實驗前向受試者說明研究目的、實驗流程及實驗結果的重要性，告知整個實驗過程的注意事項，讓受試者瞭解整個實驗內容後，填寫受試者基本資料與實驗同意書，有助於實驗順利進行。

三、受試者熱身活動

受試者依個人習慣的方式進行熱身活動，至受試者覺得已準備好接受激烈運動為止。

四、黏貼反光球

使用雙面膠將反光球黏貼至受試者皮膚表面，為了避免受試者流汗後反光球標誌脫落或移位，再使用膠帶環繞與固定反光球標誌。黏貼後受試者可再繼續練習，讓他們習慣實驗的系統。

為了取得人體在運動中之空間位置以及計算運動學參數，依據 Wu 等(2005)所定義的上肢肩、肘、腕與手部關節座標系統所定義的位置黏貼(表 3-2)。在分析過程中，視各肢段為剛體，但由於上肢在持拍擊球的動作中，反光球黏貼於皮膚上容易過度滑動，為了避免皮膚移動所產生的誤差，參考過去文獻，另外使用上肢參考架來訂定空間座標(王苓華，2003)。其反光球標記位置如圖 3-7 與圖 3-8。

表 3-2 反光球標誌位置

編號	代號	位置	編號	代號	位置
1	C7	第七頸椎棘突	13	K5	第五掌骨
2	T8	第八胸椎棘突	14	LASIS	左髖骨前上棘
3	IJ	頸靜脈切迹	15	RASIS	右髖骨前上棘
4	PX	劍突	16	LPSIS	左髖骨後上棘
5	RAP	右肩峰	17	RPSIS	右髖骨後上棘
6	LAP	左肩峰	18	SP	薦骨突上緣
7	EL	肱骨外上髁	19	S1	上肢參考架一
8	EM	肱骨內上髁	20	S2	上肢參考架二
9	RS	橈骨莖突	21	S3	上肢參考架三
10	US	尺骨莖突	22	BAT1	拍頭
11	K1	第二掌骨	23	BAT2	球拍右側
12	K2	第三掌骨	24	BAT3	球拍左側

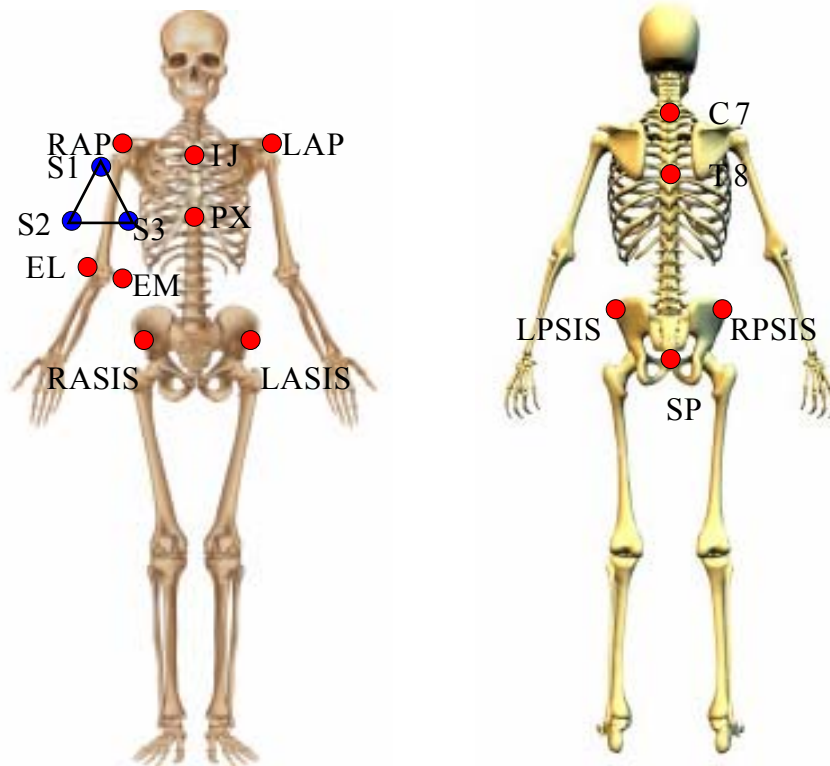


圖 3-7 身體肢段之反光球標記位置圖

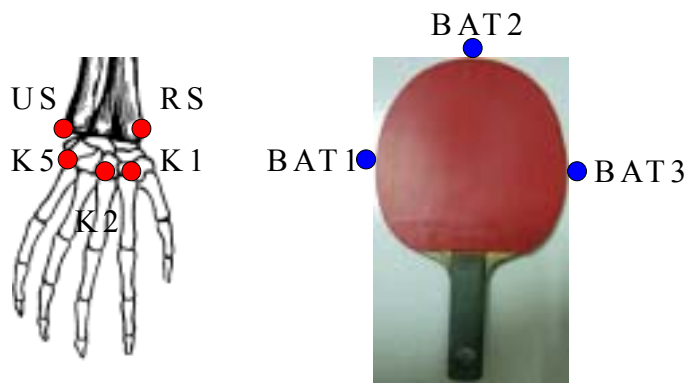


圖 3-8 手部與球拍之反光球標記位置圖

五、受試者試做揮擊動作

以抽籤方式決定受試者實驗的順序。在正式實驗前，讓受試者於實驗場地試做揮擊三顆球。

六、人體模型校正

在開始實驗前，以人體模型做一次靜態校正，受試者以解剖姿勢（雙腳與肩同寬、雙手放鬆自然下放、手掌反掌朝前、上身挺直），站於實驗範圍內，靜止站立 1 秒鐘進行人體靜態校正，結束後即可開始正式實驗。

七、正式實驗

實驗開始，首先受試者站在球桌左側，中檯反手位置上，而供球者站在受試者對角反手位的位置上，供球者以人工供球的方式發球，本實驗要求受試者使用全力執行定點的中檯反手拉前衝弧圈球動作。受試者要完成三組擊球動作，每一組為五顆球，每顆球發出的時間間隔大約為兩秒鐘，每打完一球就要還原準備下一顆來球，組與組之間的休息為一分鐘。每組至少須有兩次成功的擊球，即將球回擊進目標區域內，才算有效實驗。

八、資料存檔

每位受試者完成三組反手拉球動作後，所有測試資料皆收錄儲存，再進行分析實驗結果。本研究選取受試者擊球後，球速最快的三次動作進行分析，並確認 Vicon 動作分析系統，有收集到完整的動作資料。本研究實驗流程如圖 3-9 所示。

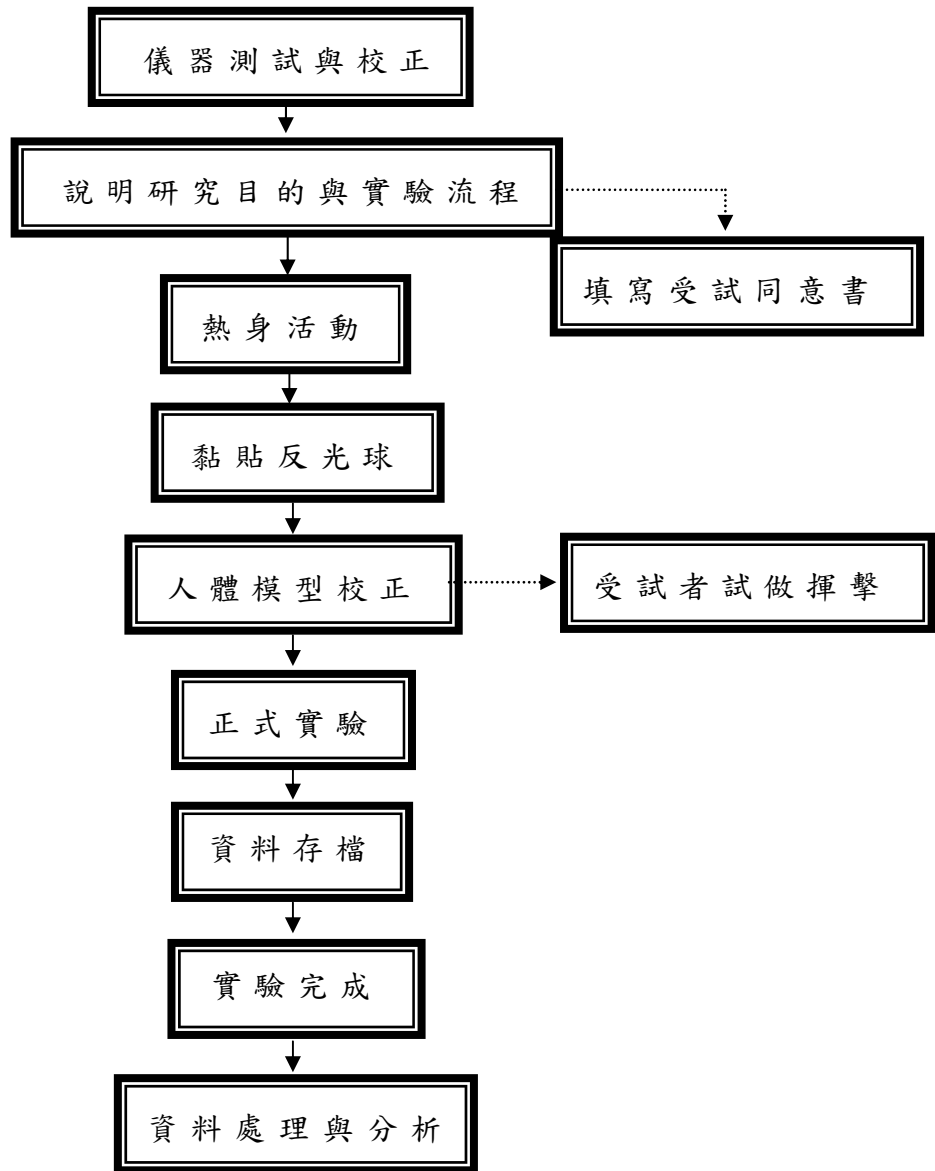


圖 3-9 實驗流程圖

第六節 資料處理與分析

一、資料處理

本研究利用 Vicon 紅外線攝影機收集的反光球訊號，以尤拉角 (Euler angle) 方法來計算其運動學資料，除了收集中檯反手拉前衝弧圈球的影像外，需要收集受試者另一組自然站立影像資料，以作為各受試者關節角度之基準，因此各個關節角度皆以相對於自然站立的關節角度來表示 (自然站立時關節角度為 0 度)。並配合肢體解剖構造及座標系定義，以 X 軸旋轉的定義為屈曲與伸展運動；以 Y 軸旋轉的定義為內收與外展運動；以 Z 軸旋轉之定義為內旋與外旋運動。經由 Vicon Nexus 1.4.114 軟體標記各點軀幹 (骨盆、肩膀)、上肢關節 (肩、肘、腕) 之後，以 Vicon Nexus 內建之程式進行處理，獲得各標記點在空間之軌跡位置資料，儲存成 txt 格式輸出後，再以 MATLAB 7.5 程式設計軟體計算各運動學參數。

本實驗分析反手拉球的軀幹與上肢各關節動作，軀幹部位的運動型態區分成兩部份，一部分為軀幹相對於骨盆的角度 (軀幹之屈曲/伸展、左傾/右傾、左旋/右旋)，另一部分為軀幹相對實驗室之肩膀-骨盆間隔角度。上肢各關節動作的運動型態分為肩關節 (屈曲/伸展、內收/外展、內旋/外旋)、肘關節 (屈曲/伸展)、前臂 (旋前/旋後) 與腕關節動作 (屈曲/伸展、橈向偏移/尺向偏移)。

其運動學參數包括，上述各動作在四個關鍵時相的角度與角速度，在整個動作週期的軀幹與上肢各關節活動範圍。另外，在時間參數方面分析整個動作過程中最大角速度出現

的時間，與佔整個動作時間的百分比。

受試者擊球後之球速資料，是由 Vicon 紅外線攝影機拍攝球飛行的影像，利用位移資料，以 Excel 2007 計算球速，選取球離開球拍瞬間後 0.02 秒 (Iino & Kojima, 2009) 作為本研究的球速資料。最後再利用 Origin 繪圖軟體，將收集到的數據繪製成圖，以利於分析比較。

二、資料分析

本研究採用 SPSS for Windows 12.0 版統計套裝軟體進行資料處理，將所得各項參數資料以描述統計之平均數與標準差表示，使用皮爾森積差相關 (Pearson's correlation) 來分析反手拉前衝弧圈球動作的時間參數以及軀幹與上肢各關節在擊球瞬間的角度、角速度以及最大角速度的運動學參數與球速之相關性，顯著水準設為 $\alpha = .05$ 。

第四章 結果

本研究目的為瞭解反手拉球動作的軀幹與持拍手臂特徵，探討軀幹與上肢動作順序是否符合動力鏈原理，並探求影響球速的關鍵運動學參數。經由所收集的資料，透過處理與分析後，所得的結果分為六個部分加以闡述：第一節為桌球球速與動作時間參數；第二節為關節動作之角度；第三節為關節動作之活動範圍；第四節為關節動作之角速度；第五節為關節動作之最大角速度；第六節為影響球速之關鍵運動學參數。

第一節 桌球球速與動作時間參數

本研究將反手拉前衝弧圈球動作週期，界定為準備動作、引拍終點、擊球瞬間與跟隨終點等四個關鍵時相，來區分引拍、揮拍擊球與跟隨等三個動作階段。從表 4-1 顯示，全體受試者擊球後之球速平均為 18.95 公尺/秒，其整個動作時間平均為 0.68 秒，各階段的動作時間以引拍階段時間最長，平均為 0.47 秒，其次為跟隨階段的 0.12 秒，而揮拍擊球階段最短為 0.08 秒，各階段動作時間佔整個動作時間的百分比，分別為 69.88%、17.66%、12.46%。

表 4-1 全體受試者反手拉前衝弧圈球之球速、整個動作時間、各階段動作時間與佔整個動作時間之百分比

參數	平均數±標準差
球速 (公尺/秒)	18.95±1.85
整個動作時間 (秒)	0.68±0.13
各階段動作時間 (秒)	
引拍階段	0.47±0.11
揮拍擊球階段	0.08±0.02
跟隨階段	0.12±0.05
各階段動作時間佔整個動作時間百分比 (%)	
引拍階段	69.88±6.79
揮拍擊球階段	12.46±3.61
跟隨階段	17.66±6.05

第二節 關節動作之角度

本研究結果顯示，全體受試者在軀幹與上肢各關節動作的模式相當類似。在實驗拍攝過程中，受試者在引拍階段，當腕關節靠近身體腹部時，由於球拍的握柄遮住部分腕關節之尺骨莖突的反光球，讓攝影機無法順利捕捉尺骨莖突完整的動作軌跡，使得大部分受試者腕關節動作的資料無法完全取得，僅 A 受試者在腕關節的屈曲/伸展、尺向偏移/橈向偏移動作資料完整，因此，有關腕關節動作的部份，僅以 A 受試者個案的方式進行分析與討論。

表 4-2 為全體受試者在四個關鍵時相的軀幹與上肢各關節角度的平均數與標準差，表 4-3 為 A 受試者的資料，圖 4-1 至圖 4-10，為全體受試者與 A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中軀幹與上肢各關節動作角度變化的曲線圖，其結果依身體部位分成軀幹、肩關節、肘關節、前臂與腕關節等四個部份分別闡述如下：

表 4-2 全體受試者反手拉前衝弧圈球動作在四個關鍵時相之軀幹與上肢各關節角度（度）

部 位	運動型態	準備動作	引拍終點	擊球瞬間	跟隨終點
軀 幹	屈曲/伸展	31.61±7.36	33.89±8.83	20.85±9.76	12.78±10.97
	右傾/左傾	1.61±6.27	-15.69±6.93	-19.66±6.12	-12.41±6.95
	左旋/右旋	-0.22±2.98	9.70±6.25	5.43±6.92	-1.80±6.60
	間隔角度	1.23±5.32	18.46±6.49	16.85±8.49	1.37±9.33
肩關節	伸展/屈曲	-27.19±11.77	-40.58±12.41	-68.40±10.84	-66.66±24.34
	內收/外展	-16.41±10.48	-19.73±11.34	-16.59±12.07	-42.65±17.27
	內旋/外旋	14.94±11.52	50.60±12.35	45.02±15.87	20.47±22.66
肘關節	伸展/屈曲	-62.23±16.31	-74.91±14.48	-32.99±15.05	-7.23±15.73
前 臂	旋前/旋後	2.18±3.91	5.02±6.30	-14.61±8.78	-0.13±5.39

註：正值表示伸展、內收、內旋、旋前、右傾與左旋（軀幹伸展為負值）
負值表示屈曲、外展、外旋、旋後、左傾與右旋（軀幹屈曲為正值）

表 4-3 A 受試者反手拉前衝弧圈球動作在四個關鍵時相
之軀幹與上肢各關節角度 (度)

部 位	運動型態	準備動作	引拍終點	擊球瞬間	跟隨終點
軀 幹	屈曲/伸展	28.58±1.71	31.74±1.03	15.78±0.41	4.35±1.64
	右傾/左傾	4.19±1.37	-11.44±0.30	-22.25±0.99	-12.47±1.27
	左旋/右旋	0.87±0.69	11.08±1.46	2.23±1.78	-2.22±1.63
	間隔角度	2.13±0.63	15.16±1.75	13.31±2.26	2.70±2.88
肩關節	伸展/屈曲	-17.99±1.01	-22.26±1.12	-61.54±1.41	-47.55±1.27
	內收/外展	-27.86±1.71	-23.37±0.36	-17.06±2.12	-53.78±0.94
	內旋/外旋	20.88±3.67	57.93±1.26	55.95±0.96	12.31±0.65
肘關節	伸展/屈曲	-84.16±1.51	-101.24±1.22	-37.68±0.33	-13.70±0.61
腕關節	伸展/屈曲	-70.93±6.42	-108.34±2.49	-72.89±3.24	20.78±0.97
	尺偏/橈偏	23.81±1.31	41.47±3.12	39.85±2.30	-14.38±3.83
前 臂	旋前/旋後	10.21±0.85	11.88±0.04	-17.94±0.41	1.12±1.08

註：正值表示伸展、內收、內旋、尺偏、旋前、右傾與左旋（軀幹伸展為負值）
負值表示屈曲、外展、外旋、橈偏、旋後、左傾與右旋（軀幹屈曲為正值）

一、軀幹之角度

全體受試者在整個動作週期中軀幹動作變化見表 4-2 與圖 4-1，在整個動作週期軀幹皆維持屈曲的姿勢，在準備動作時軀幹為屈曲、右傾與右旋姿勢，動作開始的引拍階段初期軀幹為屈曲、左傾與左旋的動作，此階段全體受試者的左旋角度標準差之差異最小，表示受試者在引拍階段初期左旋動作的變化相當類似。到引拍階段末期軀幹開始轉變為伸展與右旋動作，進入揮拍擊球階段軀幹快速地做伸展與右旋動作，並且從左傾轉變成右傾動作，持續動作至跟隨終點，在跟隨終點時，軀幹為屈曲、左傾與右旋之姿勢。從表 4-3 與圖 4-2 顯示 A 受試者之軀幹的動作模式與全體受試者結果相似。

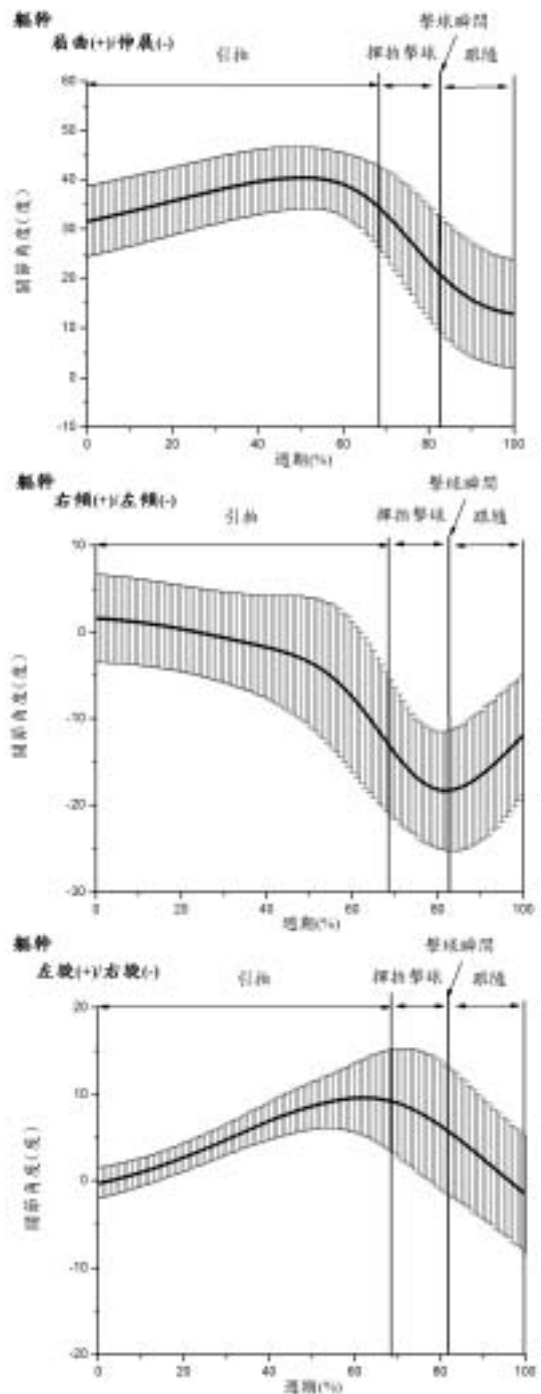


圖 4-1 全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中
軀幹動作之平均角度曲線

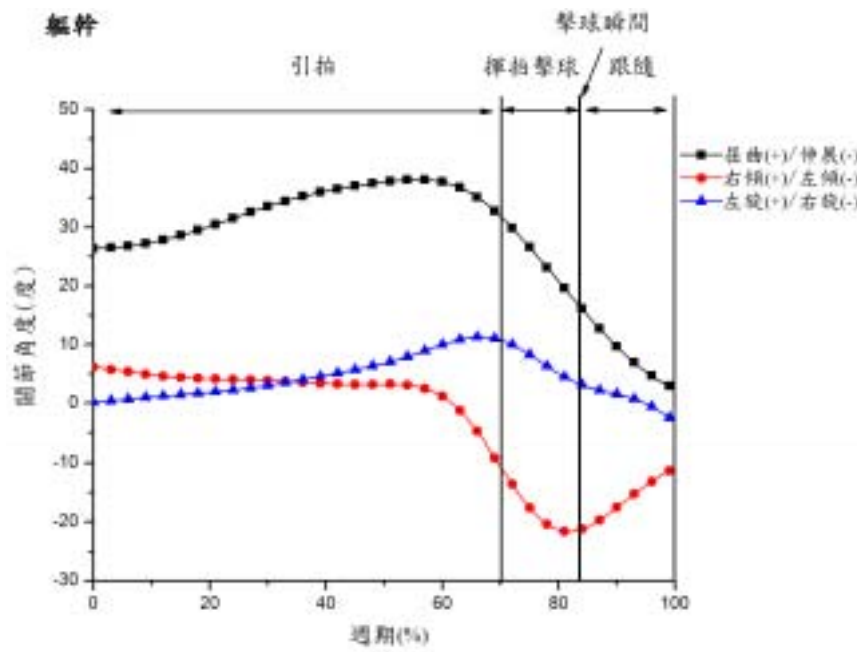


圖 4-2 A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中
軀幹動作之角度曲線

二、肩關節之角度

全體受試者在整個動作週期中肩關節動作變化見表 4-2 與圖 4-3，在整個動作週期肩關節皆維持在屈曲、外展與內旋姿勢。圖中顯示在引拍階段中，肩關節的屈曲與外展動作變化不大，而內旋動作角度則不斷增加，在引拍階段末期肩關節為屈曲、外展、內旋動作，引拍終點時內旋角度為 50.60 ± 12.35 度。在揮拍擊球階段初期，肩關節快速做屈曲動作，並從內旋轉變為外旋動作，持續動作到跟隨終點，而在跟隨階段前期，肩關節快速做外展動作，並維持動作至跟隨終點，跟隨終點的外展角度為 -42.65 ± 17.27 度，為四個關鍵時相中的最大值。最後跟隨階段全體受試者在三個運動方向的標準差之差異均增加，表示全體受試者擊球後肩關節在三個運動方向上的動作變化差異大。圖 4-4 顯示 A 受試者在肩關節內收/外展的動作與全體受試者不同，在引拍階段末期 A 受試者肩關節由外展轉變為內收動作，持續動作至擊球瞬間，肩關節才由內收快速轉變為外展動作至跟隨終點。

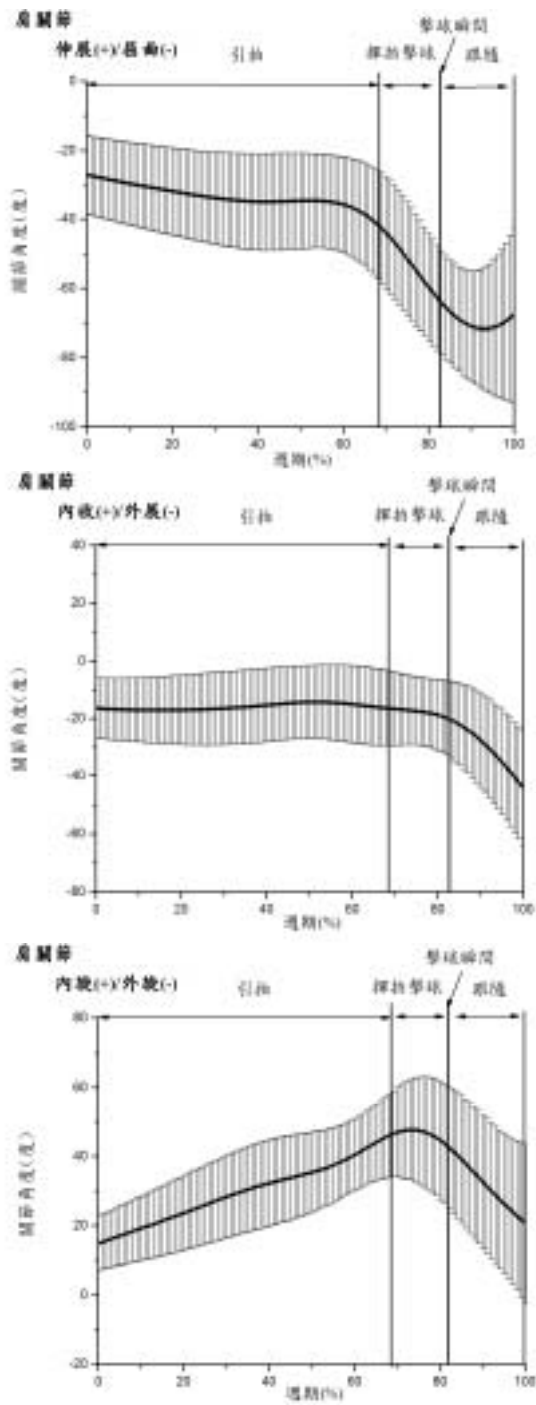


圖 4-3 全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中肩關節動作之平均角度曲線

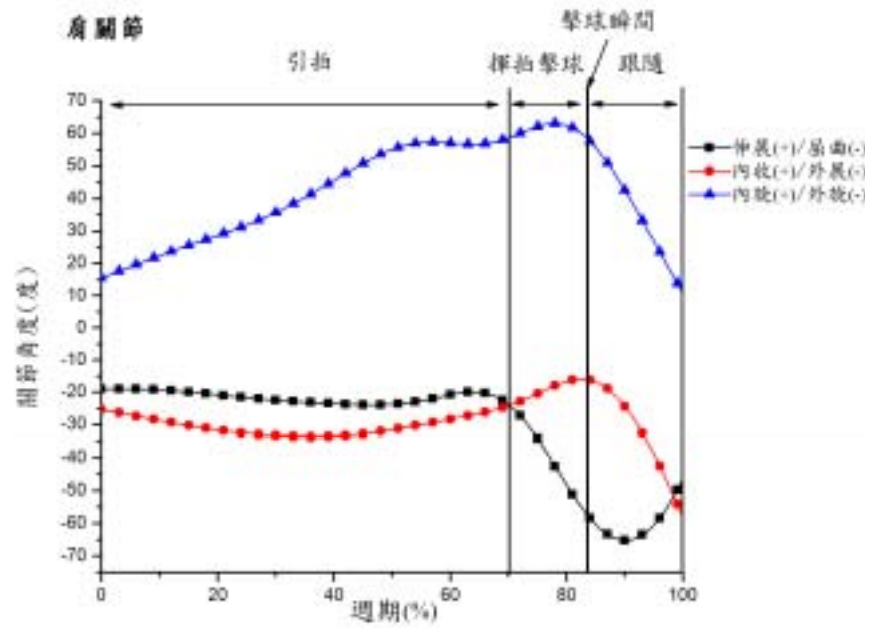


圖 4-4 A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中
肩關節動作之角度曲線

三、肘關節之角度

全體受試者在整個動作週期中肘關節動作變化見表 4-2 與圖 4-5，在整個動作週期肘關節皆維持在屈曲的姿勢，圖中顯示在引拍階段初期，肘關節先做伸展動作，到引拍階段中期轉變為屈曲動作，引拍終點時屈曲達最大值 -74.91 ± 14.48 度，隨後在揮拍擊球階段快速做伸展動作並持續到跟隨終點。此外，圖中也顯示在引拍階段中全體受試者肘關節屈曲角度的標準差很大，進一步分析發現全體受試者的肘關節動作出現兩種模式，其中 8 位受試者與 A 受試者有相同的動作模式見圖 4-6，其餘受試者則與 B 受試者的動作模式相同見圖 4-7。

在引拍階段中，A 受試者的動作模式為，維持一個固定的屈曲角度，直到引拍階段末期做出短暫的屈曲動作，隨後在揮拍擊球階段快速轉變為伸展動作，而 B 受試者的動作模式與全體受試者動作模式相似。雖然受試者出現這兩種不同的引拍動作模式，但是從揮拍擊球階段開始，全體受試者皆快速地做出伸展動作來擊球，並且持續動作到跟隨終點。

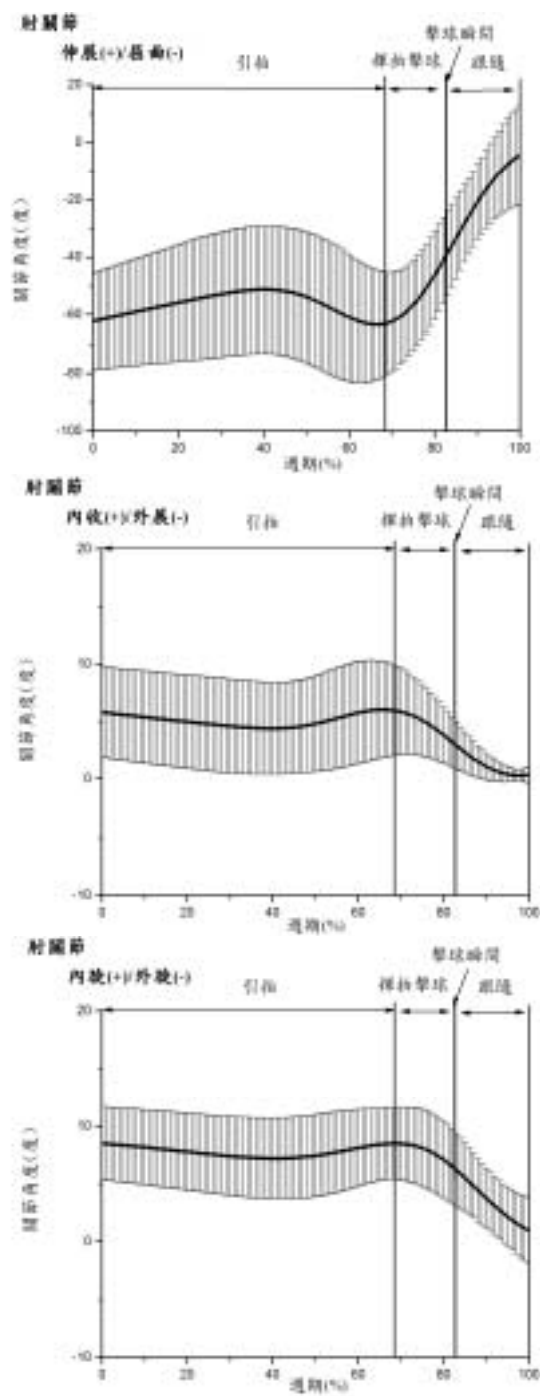


圖 4-5 全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中肘關節動作之平均角度曲線

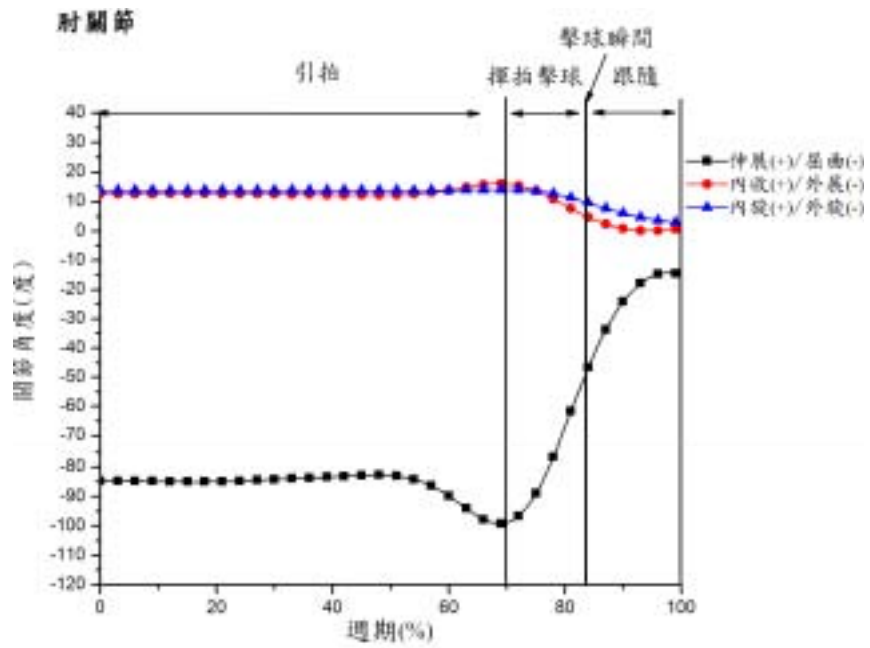


圖 4-6 A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中肘關節動作之角度曲線

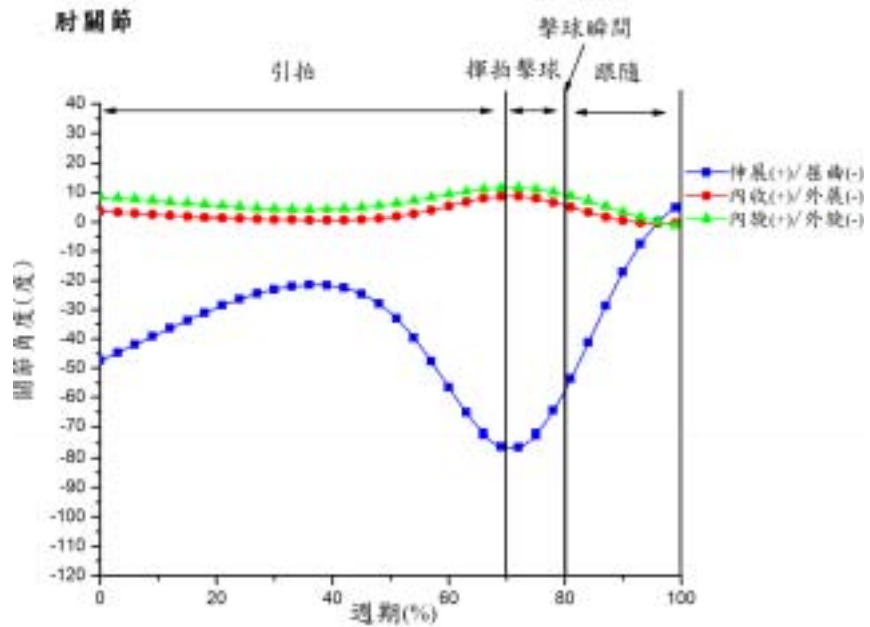


圖 4-7 B 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中肘關節動作之角度曲線

四、前臂與腕關節之角度

全體受試者在整個動作週期中前臂動作變化見表 4-2 與圖 4-8，由表中顯示，在準備動作與引拍終點時前臂皆為旋前的姿勢，而在擊球瞬間與跟隨終點時則為旋後的姿勢。從圖中顯示，在引拍階段前臂保持固定旋前動作，直到引拍階段後期轉變為旋後動作。隨後在跟隨階段前期，再轉變為旋前動作。表 4-3 與圖 4-9 顯示 A 受試者前臂的旋前/旋後動作模式與全體受試者結果相似。

在腕關節方面，從表 4-3 與圖 4-9 顯示，A 受試者在引拍階段持續屈曲與尺向偏移的動作，引拍終點時屈曲 -108.34 ± 2.49 度與尺向偏移 41.47 ± 3.12 度，屈曲與尺向偏移動作持續到揮拍擊球階段中期，快速轉變成伸展與橈向偏移動作，直到跟隨終點，跟隨終點時為伸展 20.78 ± 0.91 度、橈向偏移 -14.38 ± 3.83 度的姿勢。

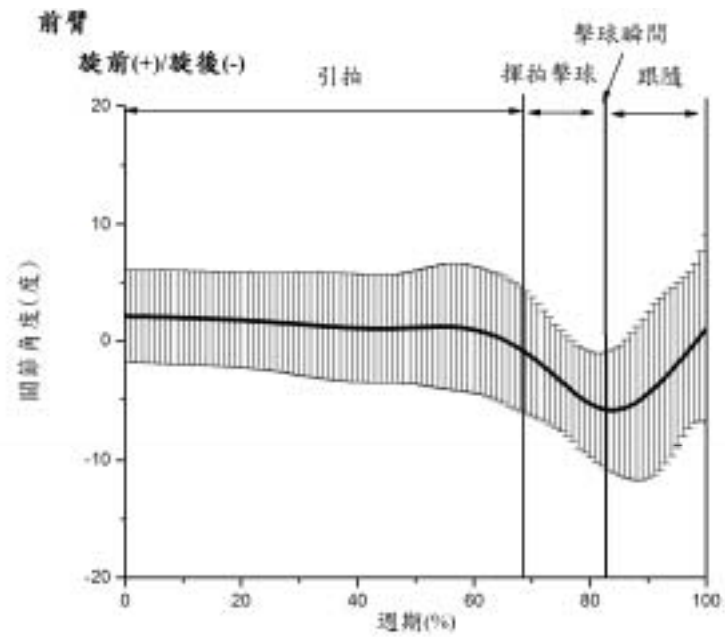


圖 4-8 全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中前臂動作之平均角度曲線

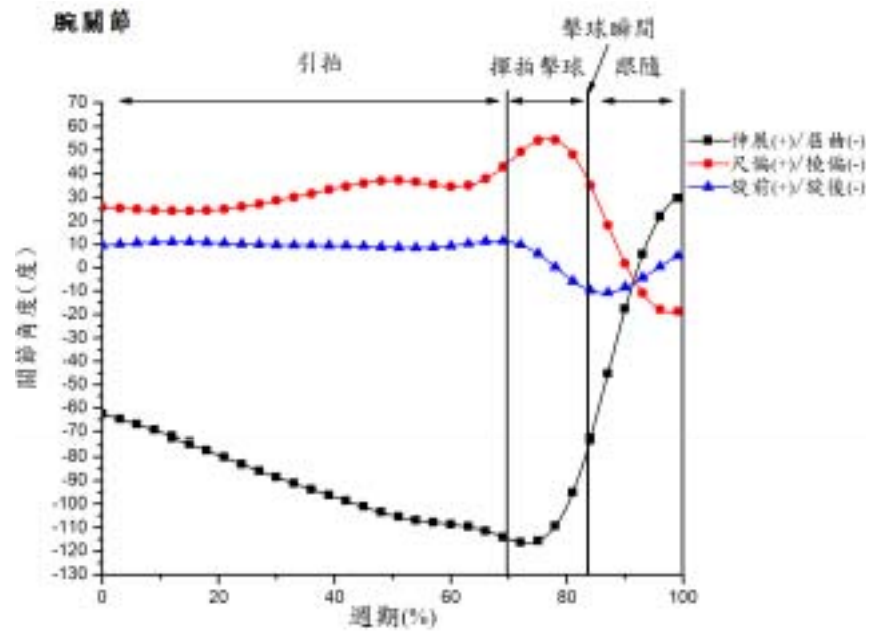


圖 4-9 A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中腕關節動作之角度曲線

五、全體受試者軀幹與上肢各關節之角度

全體受試者在整個動作週期中軀幹、肩關節、肘關節與前臂動作平均角度變化見圖 4-10，由圖中顯示，在引拍階段中期，軀幹由屈曲轉為伸展、左旋轉為右旋，緊接著肩關節屈曲角度增加，在引拍終點時，肘關節達到最大屈曲角度，隨後在揮拍擊球階段中，肩關節由內旋轉變為外旋，而擊球前軀幹左傾轉變為右傾，同時軀幹的伸展、肩關節的屈曲與肘關節的伸展角度迅速增加，並在擊球瞬間時，前臂旋後角度達到最大值，同時肩關節外展角度迅速增加。

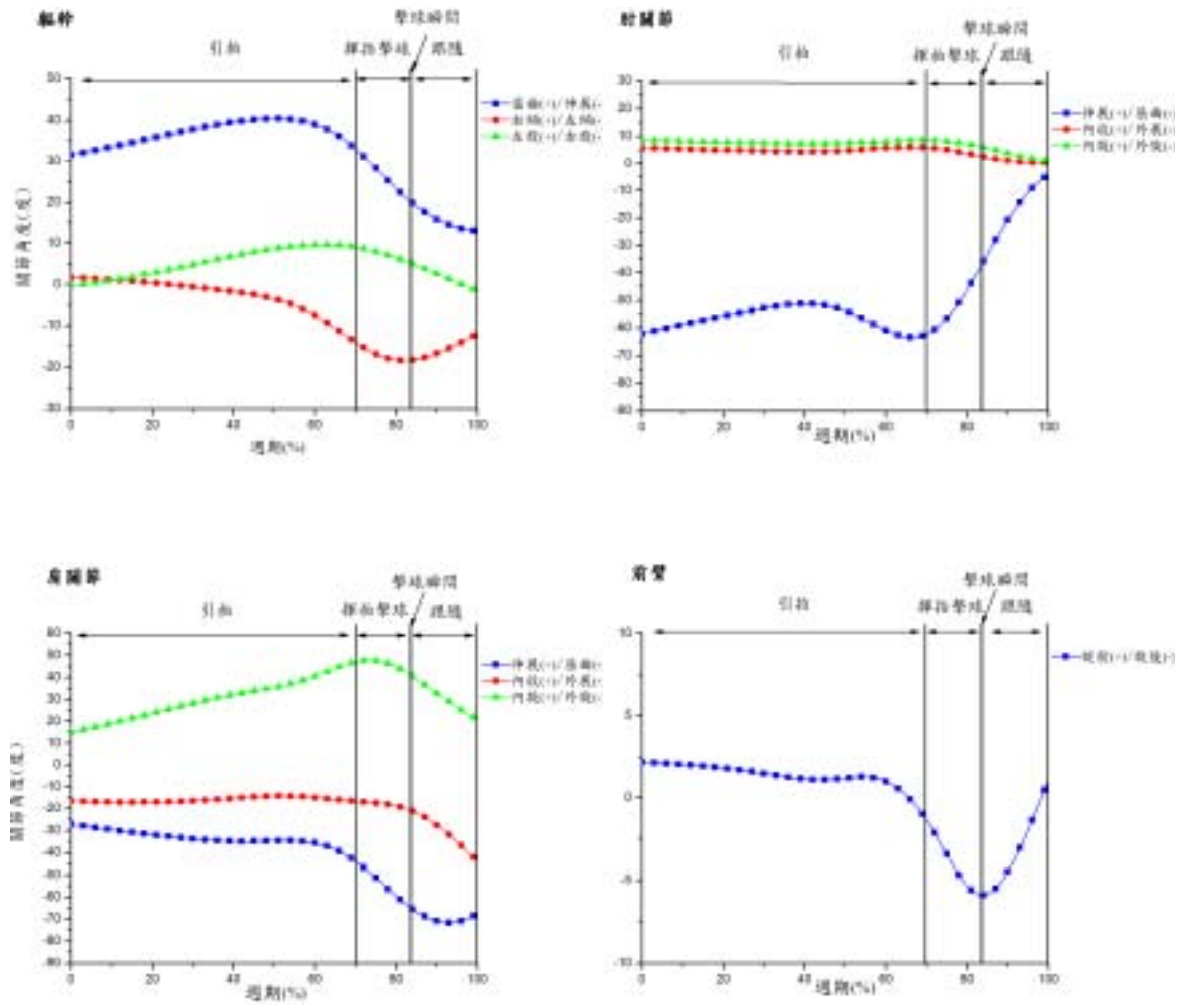


圖 4-10 全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中軀幹、肩關節、肘關節與前臂動作之平均角度曲線

第三節 關節動作之活動範圍

全體受試者在整個動作週期中軀幹與上肢各關節的活動範圍見圖 4-11，由圖中顯示肘關節屈曲/伸展動作之活動範圍最大為 69.20 ± 19.50 度；在軀幹的活動範圍方面，以屈曲/伸展動作 28.87 ± 9.14 度的範圍最大，其次依序為左傾/右傾 23.55 ± 6.56 度以及左旋/右旋 15.92 ± 6.00 度；肩關節以屈曲/伸展動作 55.30 ± 10.88 度的範圍最大，其次為內旋/外旋 46.24 ± 13.10 度，內收/外展 34.26 ± 12.97 度的活動範圍最小；而前臂的旋前/旋後動作活動範圍為 23.26 ± 7.82 度。

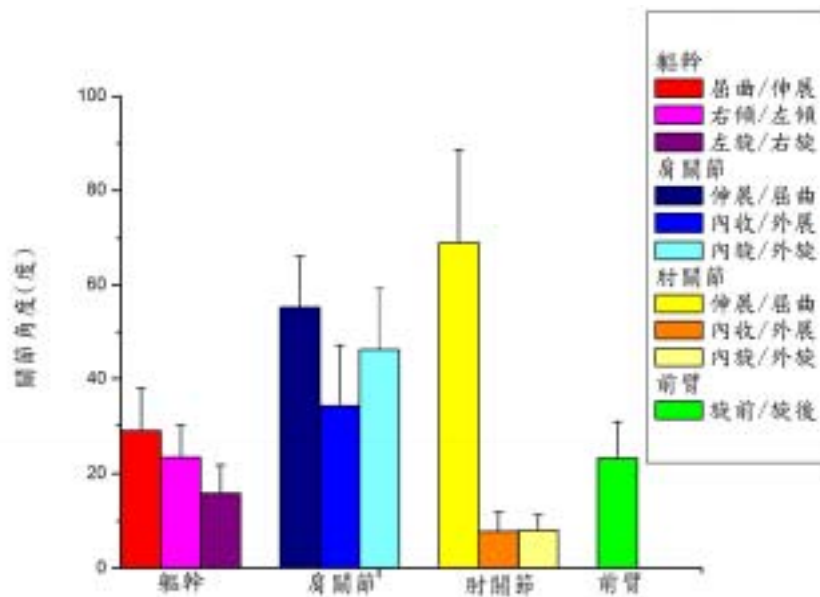


圖 4-11 全體受試者整個動作週期的軀幹與上肢各關節活動範圍

在引拍與揮拍擊球階段中軀幹與上肢各關節主要動作的活動範圍各有不同，見圖 4-12 與圖 4-13 所示，在引拍階段中以肩關節內旋動作 36.04 ± 10.76 度的範圍最大，其次依序為肘關節屈曲/伸展 27.75 ± 15.75 度以及軀幹左傾 18.00 ± 6.24

度；而在揮拍擊球階段中，動作範圍主要以肘關節伸展動作 41.91 ± 15.01 度最大，其次依序為肩關節屈曲 27.82 ± 5.83 度、前臂旋後 20.22 ± 10.46 度以及軀幹伸展 13.04 ± 5.12 度。

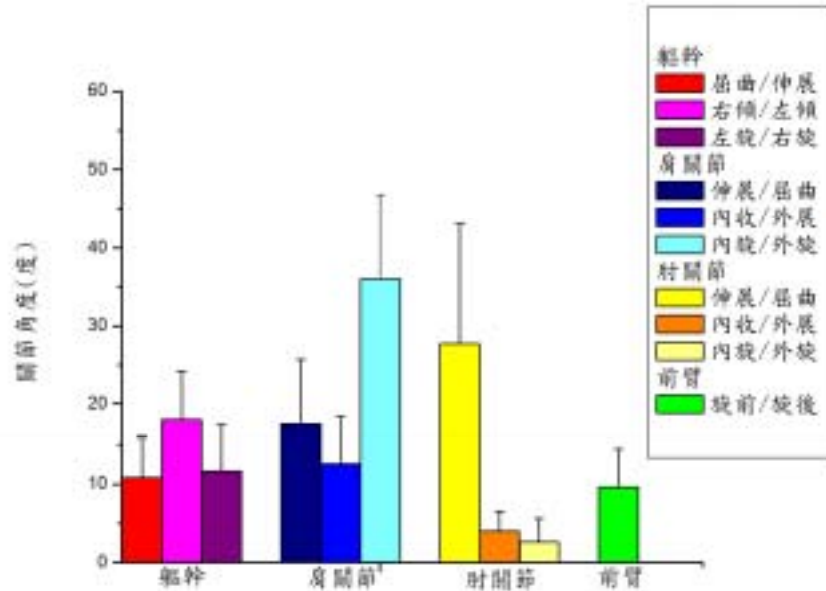


圖 4-12 全體受試者引拍階段的軀幹與上肢各關節活動範圍

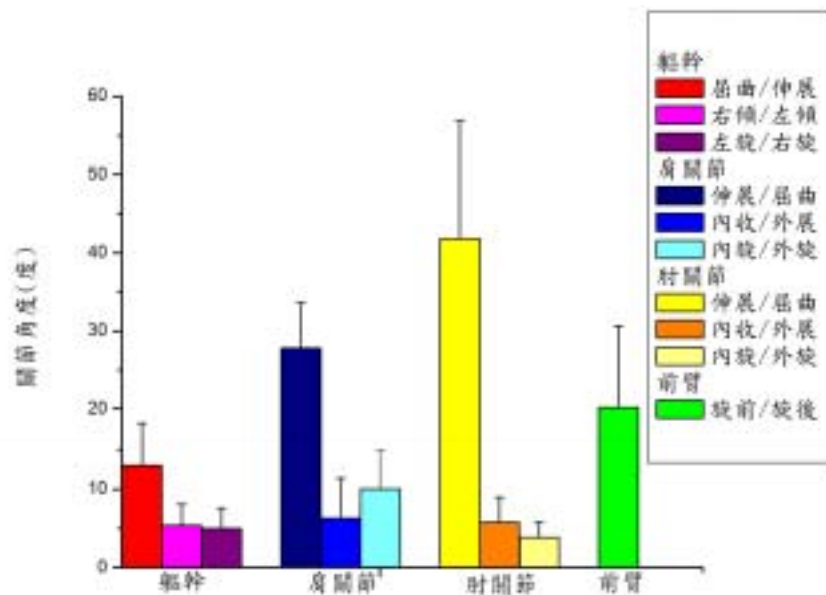


圖 4-13 全體受試者揮拍擊球階段的軀幹與上肢各關節活動範圍

圖 4-14 至圖 4-16 為 A 受試者在整個動作週期、引拍階段以及揮拍擊球階段的軀幹與上肢各關節活動範圍，圖中顯示在軀幹、肩關節、肘關節與前臂的活動範圍與全體受試者相似。在腕關節活動範圍方面，整個動作週期中以腕關節之屈曲/伸展活動範圍為 133.48 ± 2.53 度，是軀幹與上肢各關節動作中活動範圍最大的，而尺向偏移/橈向偏移則為 71.69 ± 4.58 度。在引拍階段中肩關節內旋動作 38.00 ± 4.05 度與腕關節屈曲動作 37.71 ± 8.19 度，為引拍階段中的最大值；揮拍擊球階段中腕關節的活動範圍依序為屈曲/伸展 38.65 ± 4.57 度、旋後 31.06 ± 0.53 度以及尺向偏移/橈向偏移 19.12 ± 2.15 度。

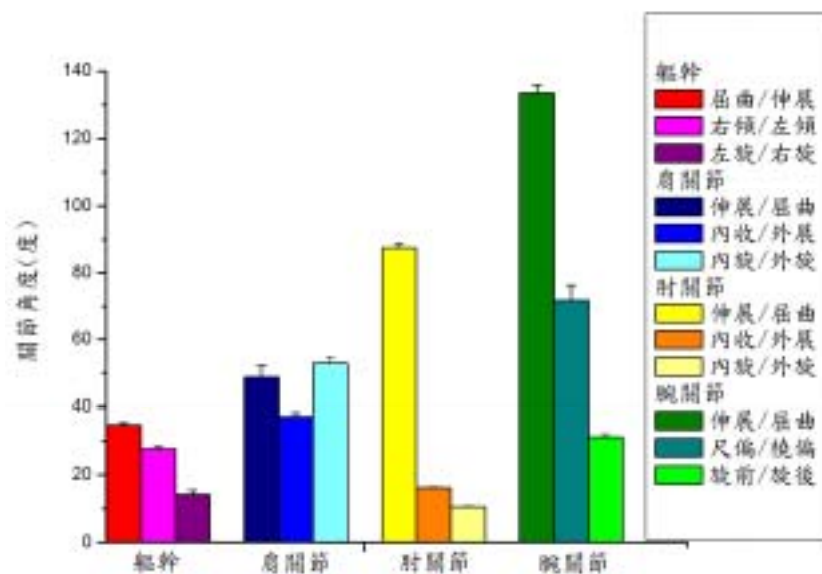


圖 4-14 A 受試者整個動作週期的軀幹與上肢各關節活動範圍

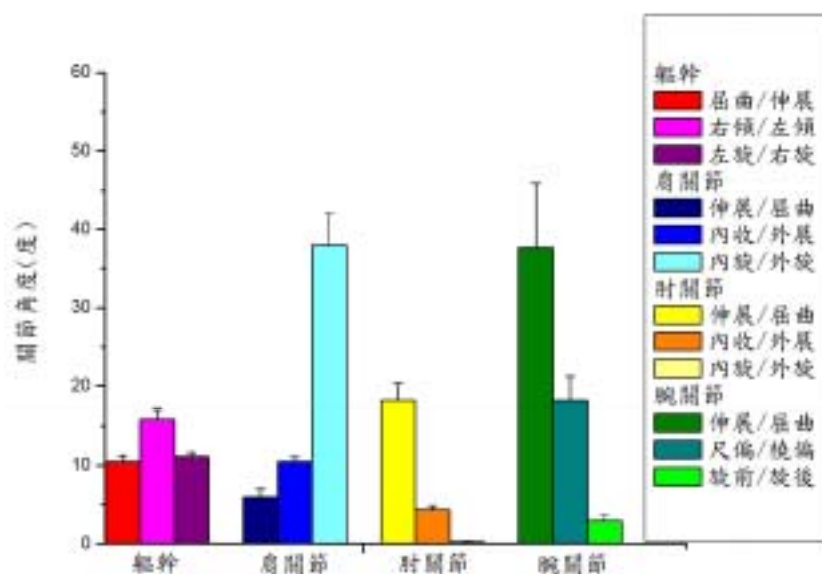


圖 4-15 A 受試者引拍階段的軀幹與上肢各關節活動範圍

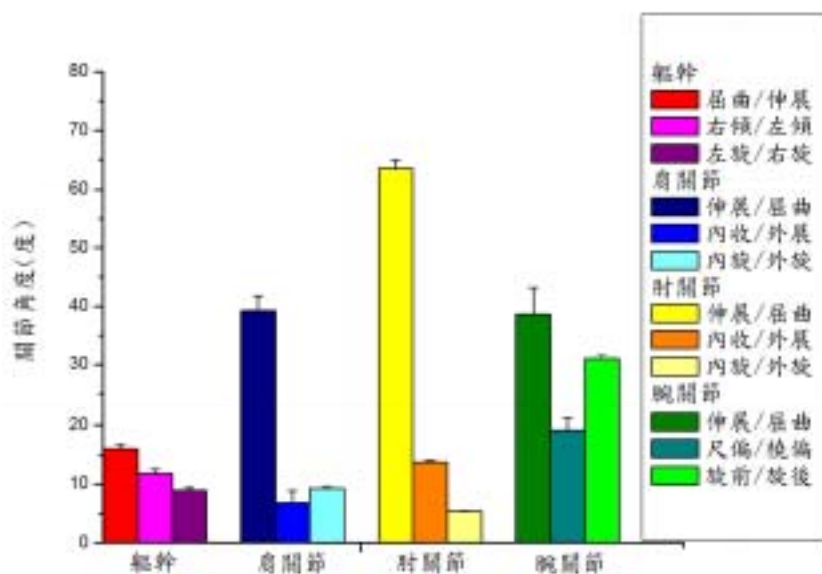


圖 4-16 A 受試者揮拍擊球階段的軀幹與上肢各關節活動範圍

第四節 關節動作之角速度

一、軀幹之角速度

全體受試者在整個動作週期中軀幹動作之角速度變化如表 4-4 與圖 4-17 所示。在引拍階段初期軀幹的屈曲、左傾與左旋之角速度變化不大，到引拍階段中期，軀幹右旋、伸展與左傾角速度迅速增加，在引拍終點時的軀幹左傾達到最大角速度 -116.46 ± 43.29 度/秒。從引拍階段末期開始全體受試者軀幹右旋角速度標準差之差異迅速變大，而伸展與右傾角速度標準差之差異則逐漸增加，直到跟隨終點，表示全體受試者在三個運動方向上之動作變化差異性大，尤其是軀幹右旋動作受試者間差異最大。在揮拍擊球階段中，右傾角速度迅速增加，在揮拍擊球階段中期，伸展角速度達到最大值，在擊球瞬間時最大伸展角速度為 -144.45 ± 51.78 度/秒，到了跟隨階段右傾角速度增加，在跟隨終點時右傾角速度 85.61 ± 71.82 度/秒與右旋角速度 -58.68 ± 87.07 度/秒，均分別達到最大值。

圖 4-18 顯示 A 受試者與全體受試者不同之差異在於最大角速度出現時機不同，A 受試者在揮拍擊球階段，軀幹的右旋與伸展依序達到最大角速度，到了跟隨階段前期右傾達到最大角速度。

表 4-4 全體受試者反手拉前衝弧圈球動作在四個關鍵時相之軀幹與上肢各關節角速度（度/秒）

部 位	運動型態	準備動作	引拍終點	擊球瞬間	跟隨終點
軀 幹	屈曲/伸展	29.56±27.02	-135.73±51.91	-144.45±51.78	-17.84±91.23
	右傾/左傾	-5.32±20.30	-116.46±43.29	28.86±58.55	85.61±71.82
	左旋/右旋	14.64±9.15	-42.77±37.19	-48.60±57.43	-58.68±87.07
肩關節	伸展/屈曲	-37.62±51.83	-265.66±63.32	-288.27±95.04	166.80±355.23
	內收/外展	-12.63±32.99	-11.91±76.81	-44.57±94.85	-280.31±200.84
	內旋/外旋	68.08±54.61	85.93±90.08	-231.79±115.51	-191.83±343.24
肘關節	伸展/屈曲	49.41±58.06	110.84±63.76	526.77±156.54	156.77±266.65
前 臂	旋前/旋後	-1.13±19.04	-80.71±38.28	-37.55±81.83	96.87±266.02

註：正值表示伸展、內收、內旋、旋前、右傾與左旋（軀幹伸展為負值）

負值表示屈曲、外展、外旋、旋後、左傾與右旋（軀幹屈曲為正值）

表 4-5 A 受試者反手拉前衝弧圈球動作在四個關鍵時相之軀幹與上肢各關節角速度 (度/秒)

部 位	運動型態	準備動作	引拍終點	擊球瞬間	跟隨終點
軀 幹	屈曲/伸展	20.14±19.91	-127.33±3.19	-147.20±6.79	-28.94±25.53
	右傾/左傾	-0.81±13.41	-194.70±4.76	31.90±17.45	-28.94±25.53
	左旋/右旋	11.55±3.10	-60.15±15.07	-17.53±16.59	-101.29±23.08
肩關節	伸展/屈曲	-1.99±14.98	-227.67±40.66	-244.83±13.70	501.27±15.11
	內收/外展	-46.50±14.62	66.90±10.60	-103.70±22.47	-478.20±46.28
	內旋/外旋	82.95±4.00	87.83±12.75	-263.20±16.60	-381.23±58.75
肘關節	伸展/屈曲	-10.04±13.52	137.00±4.91	587.13±21.05	-135.89±41.54
腕關節	伸展/屈曲	-80.68±16.13	-82.72±17.62	1044.90±49.52	123.51±136.74
	尺偏/橈偏	-4.81±10.68	259.13±15.26	-645.03±27.71	199.73±24.96
前 臂	旋前/旋後	9.04±24.91	-75.98±4.57	-81.56±8.55	213.37±65.76

註：正值表示伸展、內收、內旋、尺偏、旋前、右傾與左旋（軀幹伸展為負值）

負值表示屈曲、外展、外旋、橈偏、旋後、左傾與右旋（軀幹屈曲為正值）

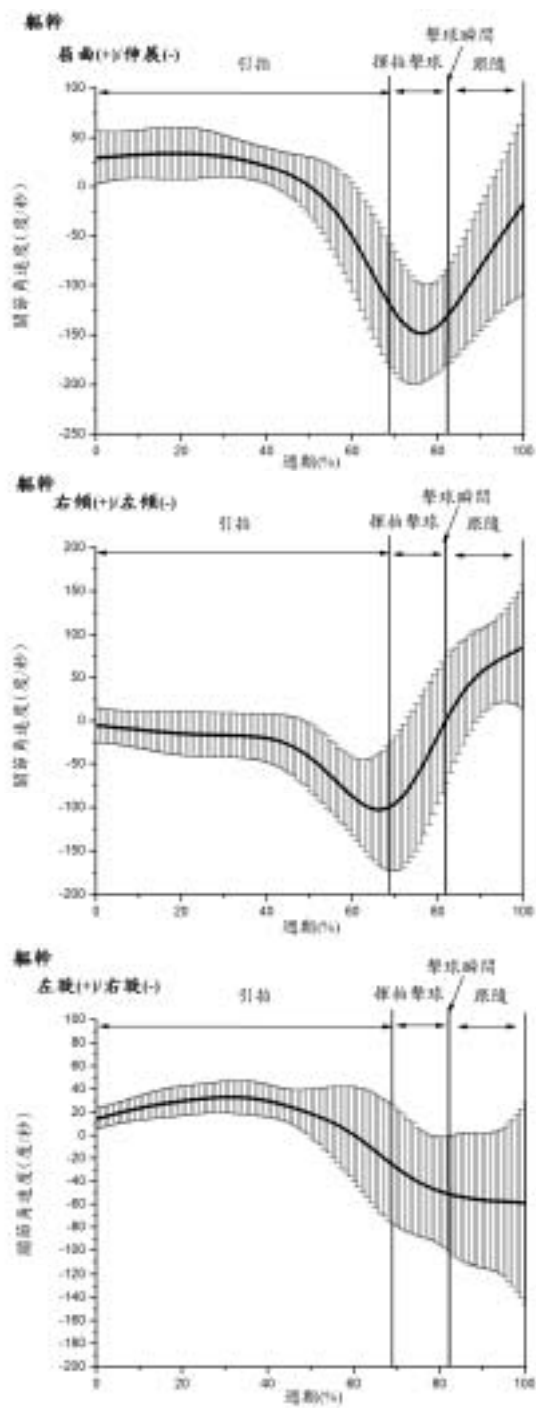


圖 4-17 全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中軀幹動作之平均角速度曲線

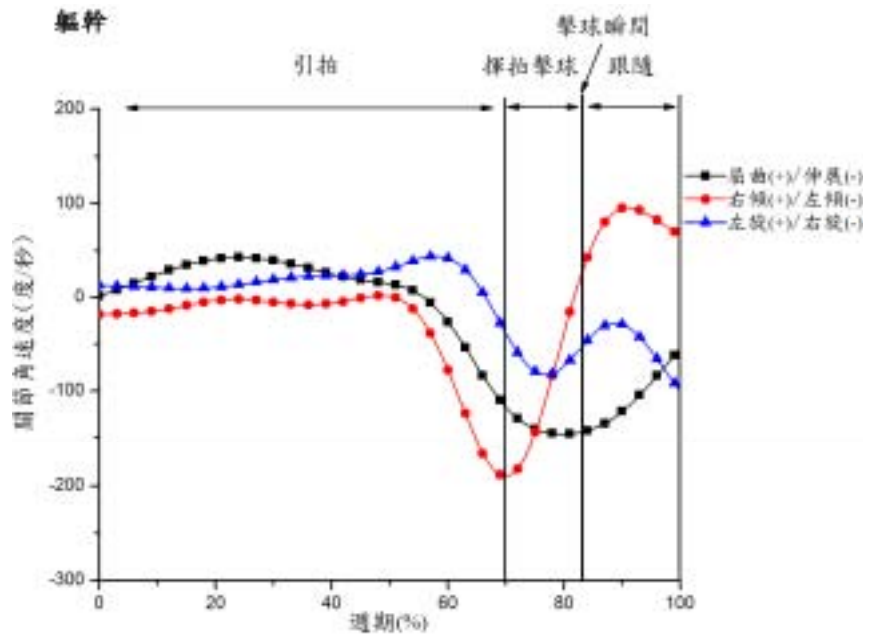


圖 4-18 A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中
軀幹動作之角速度曲線

二、肩關節之角速度

全體受試者在整個動作週期中肩關節動作之角速度變化如表 4-4 與圖 4-19 所示，在引拍階段初期內收/外展、屈曲/伸展與內旋/外旋之角速度皆沒有太大的變化，而全體受試者在此階段三個運動方向上的標準差差異最小，顯示出全體受試者在三個運動方向上的動作一致性高，直到引拍階段末期標準差之差異迅速變大，表示全體受試者三個運動方向上動作差異性增大。引拍階段末期時內旋達到最大角速度，在引拍終點時肩關節最大內旋角速度為 85.93 ± 90.08 度/秒。隨後在揮拍擊球階段中，肩關節外旋與外展角速度迅速增加，而肩關節屈曲則達到最大角速度，在擊球瞬間時最大屈曲角速度為 -288.27 ± 95.04 度/秒，隨後轉變為伸展，直到跟隨終點。而全體受試者在揮拍擊球階段與跟隨階段在三個運動方向角速度之標準差之差異明顯大，表示全體受試者在此階段動作變化差異性大。

表 4-3 與圖 4-20 顯示 A 受試者與全體受試者不同之差異在於最大角速度出現時機不同，A 受試者在揮拍擊球階段中，肩關節內旋、內收與屈曲的角速度皆達到最大值，且出現時間相近，先由內旋開始變為外旋、內收變為外展，最後屈曲變為伸展，並一直維持至跟隨終點，在跟隨終點時肩關節出現最大外旋角速度 -381.23 ± 58.75 度/秒。

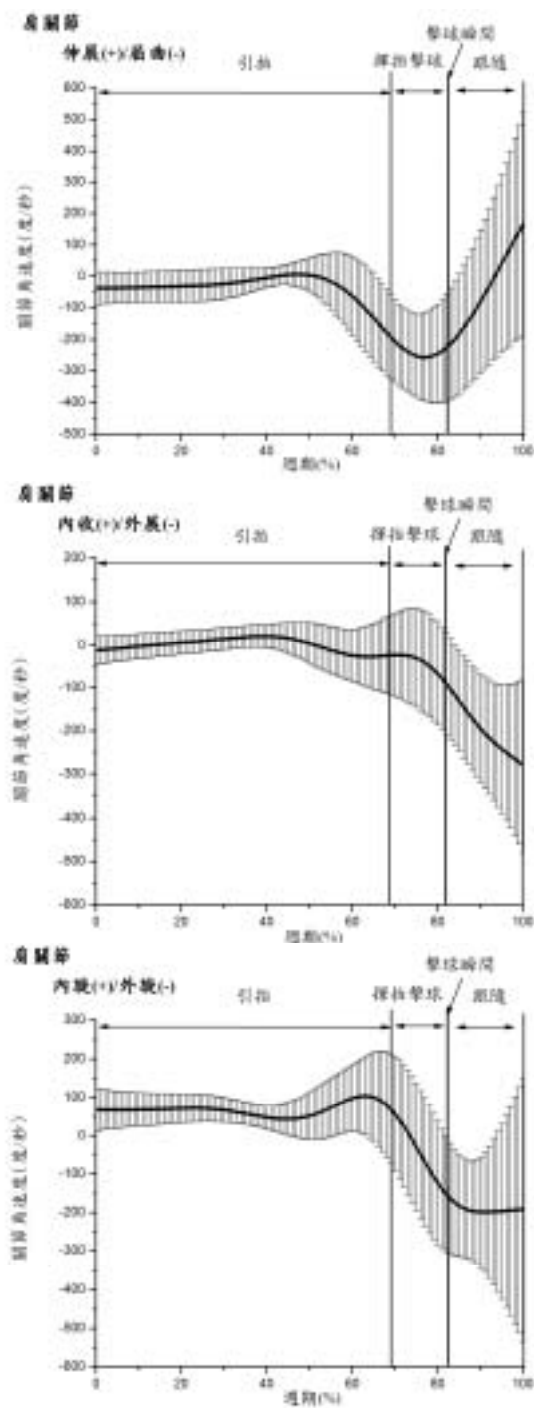


圖 4-19 全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中肩關節動作之平均角速度曲線

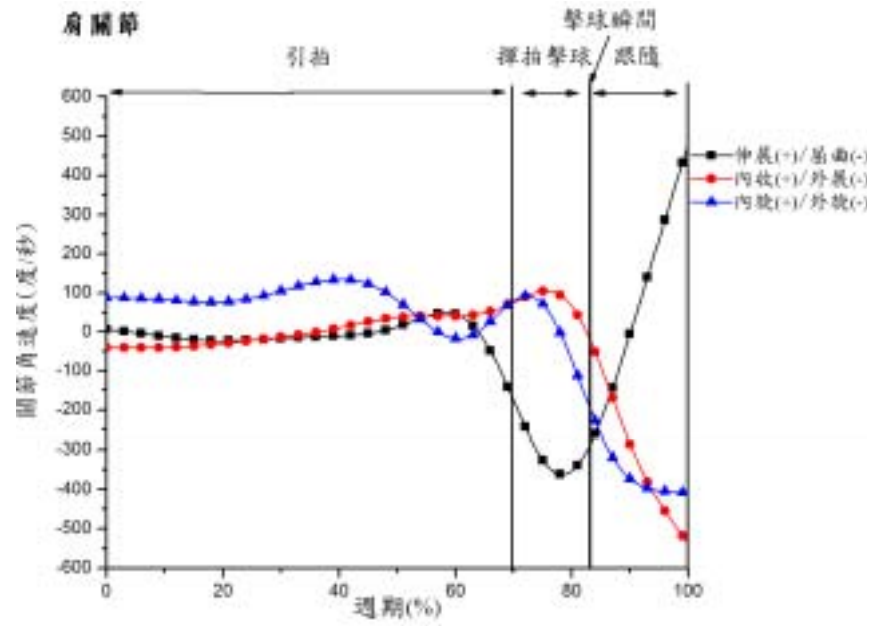


圖 4-20 A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中
肩關節動作之角速度曲線

三、肘關節之角速度

全體受試者在整個動作週期中肘關節動作之角速度變化如表 4-4 與圖 4-21 所示，在引拍階段先是穩定的伸展角速度，到引拍階段中期開始迅速變為屈曲，接近末期時達到最大屈曲角速度，隨後伸展角速度開始迅速增加，在擊球瞬間時達到最大伸展角速度 526.77 ± 156.54 度/秒。另外，全體受試者在引拍階段初期伸展角速度的標準差之差異最小，表示受試者間動作變化小，到引拍階段末期，肘關節角速度標準差之差異逐漸增大，直到跟隨終點，這顯示出全體受試者從引拍階段末期開始肘關節的伸展動作變化差異性大。

圖 4-22 顯示 A 受試者在引拍階段的肘關節角速度皆維持在 0 度/秒，直到引拍階段末期，屈曲角速度小幅度增加達到最大值，在揮拍擊球階段與全體受試者相同，角速度皆快速增加，A 受試者在擊球前達到伸展的最大角速度，而全體受試者則在擊球瞬間時達到最大角速度。

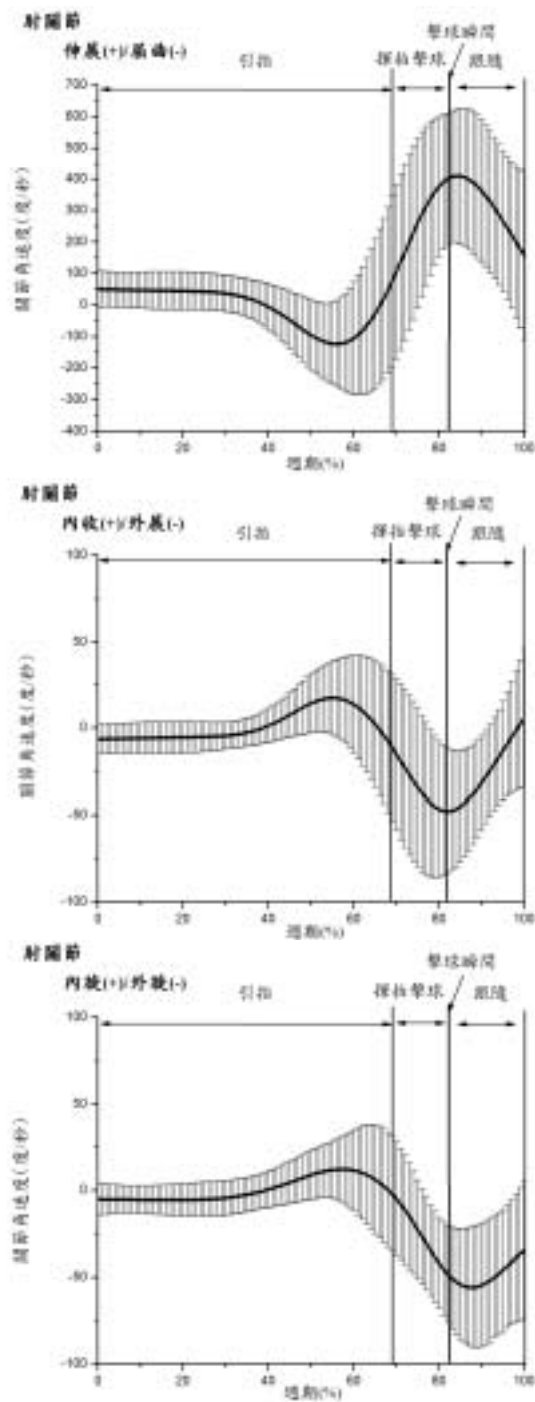


圖 4-21 全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中肘關節動作之平均角速度曲線

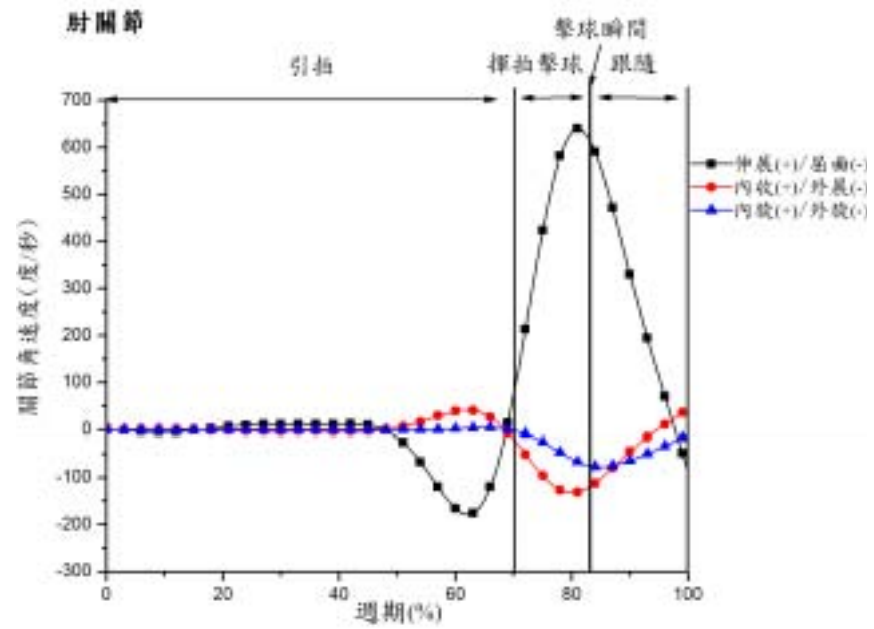


圖 4-22 A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中肘關節動作之角速度曲線

四、前臂與腕關節之角速度

全體受試者在整個動作週期中前臂動作之角速度變化如表 4-4 與圖 4-23 所示，在引拍階段前臂之角速度曲線並沒有太大變化，此時全體受試者旋前/旋後的標準差之差異最小，表示受試者間動作變化一致性高。直到引拍階段末期前臂旋後動作角速度增加，在揮拍擊球階段中由旋後轉變為旋前動作，角速度迅速增加直到跟隨終點，跟隨終點時達到最大旋前角速度 96.87 ± 266.02 度/秒。另外，在引拍階段末期，全體受試者旋後角速度標準差之差異迅速增加，到跟隨階段末期標準差之差異最大，表示在此時全體受試者間前臂旋前動作差異性大。

表 4-5 與圖 4-24 顯示，A 受試者在引拍階段前臂與腕關節之角速度曲線並沒有太大變化，直到引拍階段末期腕關節快速做尺向偏移，在引拍終點時屈曲角速度 -82.72 ± 17.62 度/秒與尺向偏移角速度 259.13 ± 15.26 度/秒，分別達到最大值，隨後在揮拍擊球階段前臂開始旋後動作、腕關節伸展與橈向偏移動作角速度迅速增加，在擊球瞬間時伸展角速度為 1044.90 ± 49.52 度/秒與橈向偏移角速度 -645.03 ± 27.71 度/秒，直到跟隨階段初期腕關節的伸展與橈向偏移動作達到最大角速度，且出現時機相當接近，隨後開始減速，而前臂旋前的角速度在此階段中期開始趨緩。

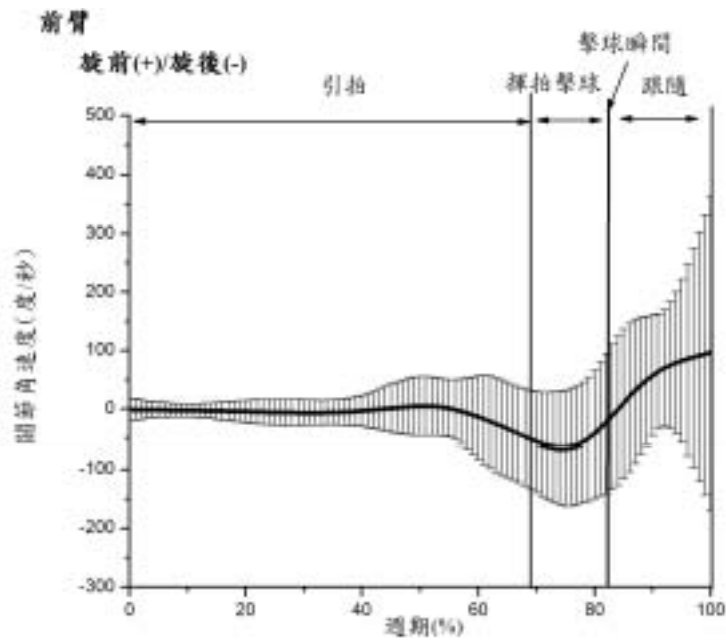


圖 4-23 全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中前臂動作之平均角速度曲線

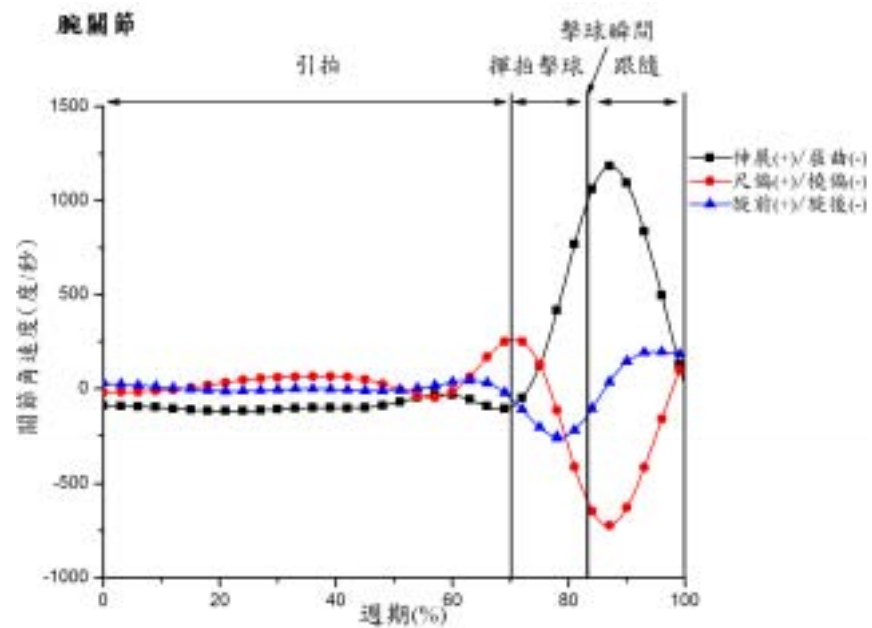


圖 4-24 A 受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中腕關節動作之角速度曲線

五、全體受試者軀幹與上肢各關節之角速度

全體受試者在整個動作週期中軀幹、肩關節、肘關節與前臂動作之平均角速度變化如圖 4-25 所示。由圖中顯示，在引拍階段中期，動作先從軀幹伸展與右旋角速度開始，到引拍階段末期，肩關節屈曲與外旋角速度迅速增加，緊接著肘關節由屈曲轉變為伸展角速度，引拍終點時軀幹達到最大左傾角速度。隨後在揮拍擊球階段中，由軀幹伸展先達到最大角速度，隨後為肩關節屈曲與前臂旋後角速度，並在揮拍擊球過程中軀幹右傾、肩關節外旋與肘關節伸展角速度迅速增加，擊球瞬間時肘關節達到最大伸展角速度來完成擊球。

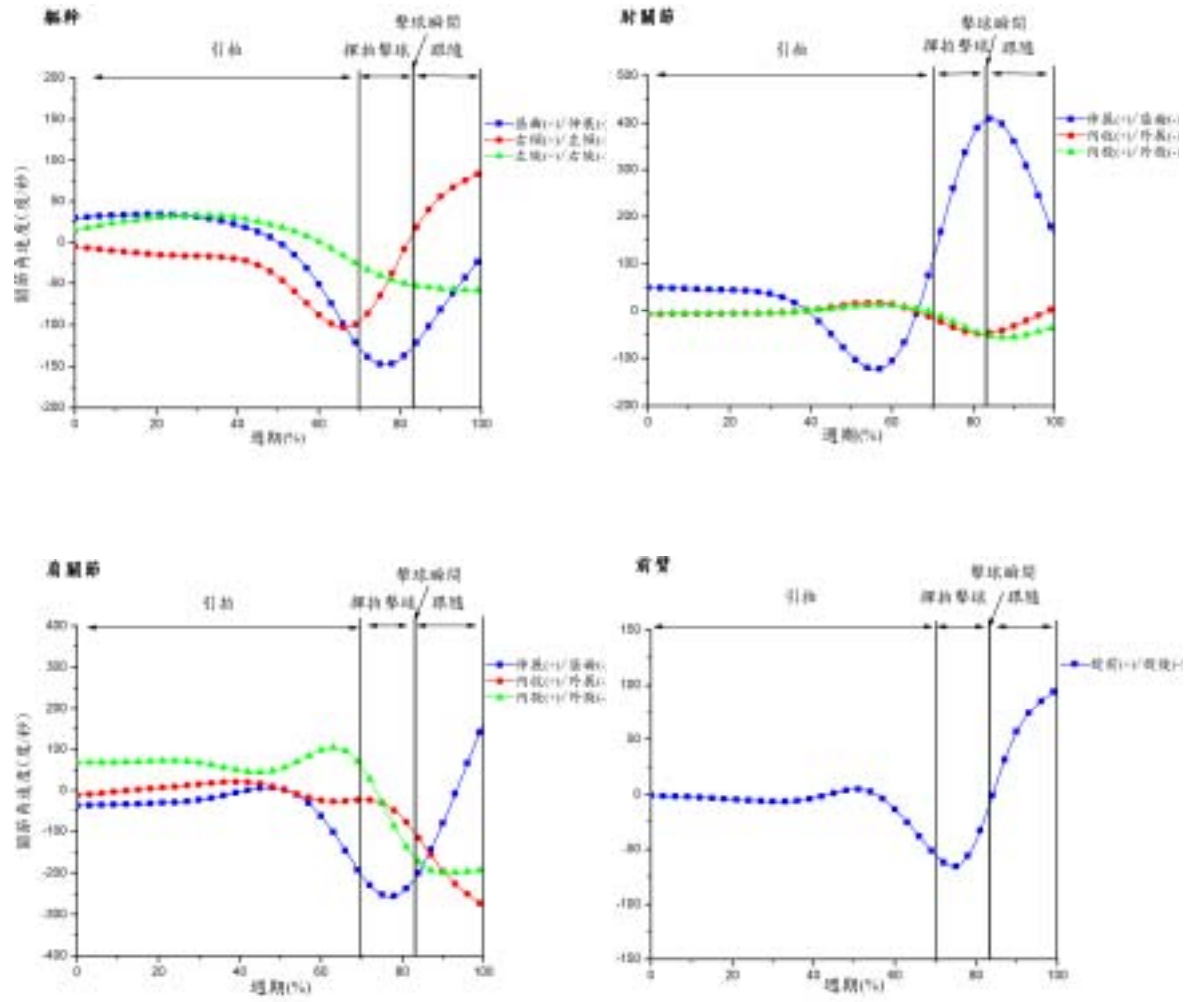


圖 4-25 全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中軀幹、肩關節、肘關節與前臂動作之平均角速度曲線

第五節 關節動作之最大角速度

表 4-6 與表 4-7 分別為全體受試者與 A 受試者在整個動作週期中軀幹與上肢各關節動作的最大角速度與最大角速度出現時間佔整個動作時間之百分比。

從表 4-6 顯示，全體受試者在揮拍擊球到跟隨階段中最大角速度出現順序是，軀幹動作為伸展、右旋與右傾，肩關節為屈曲、外旋與外展，肘關節伸展和前臂旋前的動作。在動作過程中全體受試者的軀幹與上肢各關節動作達到最大角速度之時間順序為軀幹伸展、肩關節屈曲、肘關節伸展、軀幹右旋、肩關節外旋、肩關節外展、前臂旋前、最後為軀幹右傾。而全體受試者肘關節伸展最大角速度出現的時機與擊球瞬間相同，均出現在整個動作時間的 82% 處。在表 4-7 顯示，A 受試者與全體受試者之最大不同，在於由軀幹右旋先達到最大角速度、隨後為肩關節屈曲、軀幹伸展、肘關節伸展、腕關節橈向偏移、腕關節伸展、前臂旋前、肩關節外旋、軀幹右傾，最後為肩關節外展。但 A 受試者在肘關節伸展達到最大角速度在擊球瞬間之前出現，在擊球瞬間之後腕關節的橈向偏移與伸展動作達到最大角速度。

表 4-6 全體受試者反手拉前衝弧圈球在整個動作週期，
軀幹與上肢各關節動作最大角速度與最大角速度
出現時間佔整個動作時間之百分比

動作階段/瞬間	運動型態	最大角速度(度/秒)	動作時間百分比(%)
引拍終點			69±6
揮拍擊球階段	軀幹伸展	-171.12±53.36	76±15
	肩關節屈曲	-358.12±69.10	77±9
擊球瞬間			82±3
跟隨階段	肘關節伸展	577.23±165.92	82±9
	軀幹右旋	-112.17±43.22	85±12
	肩關節外旋	-382.26±164.30	91±10
	肩關節外展	-317.32±162.86	92±12
	前臂旋前	241.01±178.12	93±8
	軀幹右傾	114.75±57.70	94±9

表 4-7 A 受試者反手拉前衝弧圈球在整個動作週期，
軀幹與上肢各關節動作最大角速度與最大角速度
出現時間佔整個動作時間之百分比

動作階段/瞬間	運動型態	最大角速度(度/秒)	動作時間百分比(%)
引拍終點			67±2
揮拍擊球階段	軀幹右旋	-86.06±7.44	72±3
	肩關節屈曲	-384.60±31.40	75±2
	軀幹伸展	-155.60±6.51	77±2
	肘關節伸展	659.97±14.27	79±2
擊球瞬間			82±1
跟隨階段	腕關節伸展	1140.67±30.16	86±1
	腕關節橈偏	-695.57±20.74	85±1
	前臂旋前	236.13±49.26	95±3
	肩關節外旋	-409.53±20.66	96±5
	軀幹右傾	110.66±11.42	97±4
	肩關節外展	-478.20±46.28	100±0

第六節 影響球速之關鍵運動學參數

表 4-8 至表 4-12 為全體受試者反手拉前衝弧圈球動作的時間參數以及軀幹與上肢各關節在擊球瞬間的角度、角速度以及最大角速度的運動學參數與球速之相關性。

由表 4-8 顯示，整個動作時間及各階段動作時間百分比與球速間皆未達到顯著相關。在整個動作週期的活動範圍方面，如表 4-9 所示，肩關節內旋/外旋活動範圍與球速之間達到顯著負相關 ($r=-.384, p<.05$)，表示在整個動作週期中，肩關節內旋/外旋活動範圍愈小球速愈快。此外，在揮拍擊球階段，如表 4-10 所示，肩關節屈曲活動範圍與球速之間達到顯著正相關 ($r=.355, p<.05$)，顯示出在揮拍擊球階段中肩關節的屈曲活動範圍愈大則球速愈快。

從表 4-11 與表 4-12 顯示，在擊球瞬間軀幹與上肢各關節角度、角速度與球速之間，僅有擊球瞬間肩關節外展角度與球速達到顯著正相關 ($r=.326, p<.043$)，表示在擊球瞬間時肩關節外展角度愈小球速愈快。此外，從表 4-13 顯示，在整個動作週期中，軀幹與上肢各關節的最大角速度與球速之間皆未達到顯著相關。而全體受試者的各項運動學參數與球速之相關係數總表見附錄三至八。

表 4-8 全體受試者反手拉前衝弧圈球在整個動作時間及各階段動作時間百分比與球速之相關係數表 ($n=39$)

參數	r 值	p 值
整個動作時間 (秒)	-.089	.591
引拍階段 (%)	.074	.655
揮拍擊球階段 (%)	.083	.617
跟隨階段 (%)	-.126	.443

註：* $p < .05$

表 4-9 全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中軀幹與上肢各關節活動範圍與球速之相關係數表 ($n=39$)

參數	r 值	p 值	
軀 幹	屈曲/伸展	-.038	.820
	右傾/左傾	.130	.429
	左旋/右旋	-.108	.514
肩 關 節	伸展/屈曲	.124	.450
	內收/外展	-.134	.417
	內旋/外旋	-.384*	.016
肘關節	伸展/屈曲	.109	.507
前 臂	旋前/旋後	.210	.200

註：* $p < .05$

表 4-10 全體受試者在反手拉前衝弧圈球揮拍擊球階段中軀幹與上肢各關節活動範圍與球速之相關係數表 (n=39)

參數	r 值	p 值
軀 幹 伸展	-.011	.945
右傾/左傾	.214	.191
右旋	-.020	.904
肩關節 屈曲	.355*	.027
外展	.187	.254
內旋/外旋	-.161	.328
肘關節 伸展	.208	.204
前 臂 旋後	.211	.196

註：* $p < .05$

表 4-11 全體受試者反手拉前衝弧圈球的擊球瞬間軀幹與上肢各關節角度與球速之相關係數表 (n=39)

參數	r 值	p 值
軀 幹 屈曲	.053	.749
左傾	-.108	.512
左旋	-.031	.853
間隔角度	-.104	.528
肩關節 屈曲	-.042	.799
外展	.326*	.043
內旋	.030	.856
肘關節 屈曲	.168	.307
前 臂 旋後	-.219	.180

註：* $p < .05$

表 4-12 全體受試者反手拉前衝弧圈球的擊球瞬間軀幹與
上肢各關節角速度與球速之相關係數表 (n=39)

參數	r 值	p 值
軀 幹 伸展	-.006	.969
右傾	-.028	.867
右旋	-.001	.994
肩關節 屈曲	-.236	.148
外展	.269	.097
外旋	.100	.543
肘關節 伸展	.199	.225
前 臂 旋後	-.139	.399

註：* $p < .05$

表 4-13 全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中軀幹與
上肢各關節最大角速度與球速之相關係數表 (n=39)

參數	r 值	p 值
軀 幹 伸展	.017	.917
右傾	.076	.648
右旋	.026	.877
肩關節 屈曲	-.284	.079
外展	-.210	.199
外旋	.174	.290
肘關節 伸展	.181	.270
前 臂 旋前	.153	.352

註：* $p < .05$

第五章 討論

本章分為四個部份進行討論。第一節為反手拉球的動作時間；第二節為軀幹與上肢各關節動作特徵；第三節為關節最大角速度出現時機；第四節為影響球速之關鍵運動學參數。

第一節 反手拉球的動作時間

反手拉球動作採取平行站位，限制住軀幹與持拍手臂的動作幅度，因此動作小、還原快為此動作的特點（姜濤，2010；唐建軍，2003）。反手拉球利用較短的回擊時間，以及瞬間動作變化的能力，造成對手反應不及，無法快速且準確的完成動作，使得回擊過來的球沒有威脅性，因此給自己創造出一個得分的契機。擊球動作時間的長短，取決於整個動作過程中，揮拍動作幅度的大小與動作速度的快慢，其結果將會直接影響到擊球的效果（孟杰，2005；舒鈞，2010；曾慶國，2002）。此外，動作時間也會受到對手回擊球的速度、方向與位置，以及選手個人判斷來球能力的影響。

本研究結果顯示，中檯反手拉前衝弧圈球，全部動作時間為 0.68 ± 0.13 秒，比過去研究的動作時間長，黃丹（2008）研究橫拍反手拉球的動作時間為 0.52 秒。陳羿蓁（2011）分析 2011 年莊智淵、馬龍、王勵勤與王皓等優秀選手在國際比賽的影片中發現，反手拉球的全部動作時間約為 0.51 ± 0.07 秒。而郭嘉民（2006）研究正手拉球的動作時間為 0.61 秒，這樣的差異主要是研究者對動作的定義不同所影響。本研究是在實驗室內由八台攝影機拍攝整個動作過程，同時來球的

方向與位置固定，讓受試者在中檯位置能夠完整且全力的執行反手拉球動作。但在實際比賽中選手會受到對方來球方向與位置的影響，必須先判斷來球之後才開始執行反手拉球動作，再加上動作完成後必須迅速還原，準備下一次回擊，所以選手在比賽中執行反手拉球動作可能並未使用全力擊球，且動作的執行也並非是最完整，因此，擊球動作時間較本研究短。

本研究引拍、揮拍擊球與跟隨各階段動作時間分別為 0.47 秒、0.08 秒、0.12 秒，各佔整個動作時間的百分比為 69.88%、12.46%、17.66%。此結果和郭嘉民（2006）研究正手拉球各階段所佔時間比例分別為 35.67%、34.96%、29.37% 有很大的不同。由於正手採前後站位，身體能夠創造出合適的擊球空間，結合身體各關節的動作，因此揮拍擊球的空間大動作時間也較長；而反手拉球動作受到站位影響，限制軀幹與持拍手臂的動作，加上擊球位置較靠近身體，相對能夠揮拍擊球的距離也較正手短。

而本研究則與黃丹（2008）研究反手中檯拉球動作的結果相近，其各動作階段時間的百分比分別為 69.23%、11.54%、19.23%，這是因為擊球的動作模式相近，中遠檯的位置距離球檯遠，球體在空中的停留時間長，選手有較長的引拍時間，但也因為與球桌有一段距離，所以擊球時必須提高更多的力量來回擊。本研究結果顯示受試者增長引拍時間，是為了在引拍時利用較大的屈曲與間隔角度，利用軀幹動作提供較大的作用距離。此外，本研究也發現引拍階段時間與擊球階段 ($r=-.457, p<.01$) 以及跟隨階段時間 ($r=-.848, p<.01$) 均達到顯著負相關（見附錄三），表示引拍階段時間愈

長，揮拍擊球與跟隨階段時間愈短。受試者在反手拉球時，利用較長的引拍時間與距離來拉長肌肉儲存能量，使動作執行更加完整，以致增快揮拍擊球階段末端肘關節與腕關節的揮拍速度，縮短擊球時間。如果引拍時間太短，將不能創造出合適的擊球空間，且無法利用肌肉的離心收縮特性，儲存肌肉能量，進而影響動作的力量與速度，最後將無法達到最佳的擊球效果（常瑞宏，2008）。

在揮拍擊球階段中，受試者在短暫的時間內必須做一個快速的回擊動作，揮拍擊球動作的時間短暫僅 0.08 秒。一般人是無法做到如此快速的動作時間，甚至比簡單的視覺反應能力測驗快，侯淑玲與陳金海（2003）和蘇韋丞（2006）研究桌球選手簡單視覺反應能力與接發球之反應時間和動作時間，結果發現到桌球選手平均反應時間為 0.2~0.3 秒，動作時間為 0.3~0.4 秒。而優秀運動員的反應時間與動作時間又比非運動員快（陳貞秀，1992；曾賢亮等，1984）。本研究結果顯示，受試者能夠在揮拍擊球階段中利用短暫的揮拍時間與最快的揮拍速度來完成擊球動作，來增加回球的突發性。

第二節 軀幹與上肢各關節動作特徵

反手拉球動作採取平行站位，使得軀幹旋轉幅度小，加上反手姿勢（右手移至身體左側後下方的位置），在引拍階段手臂動作會受到身體阻擋，讓揮拍動作幅度小（Mcafee, 2009）。因此，選手在反手拉球時，會利用快速的回擊時間以及手腕瞬間變化的能力，使得動作的突發性高，容易造成對手反應不及，無法準確地完成動作，為自己創造一個得分的

契機。

在揮拍擊球階段，主要是提供擊球瞬間有一個最佳的揮拍幅度與良好的向前速度，快速且有效率的傳遞至球拍上，達到最佳的擊球效果。最後在跟隨階段時，將揮拍擊球的動作繼續延伸，直到動作完成之後，迅速還原成準備姿勢，為下一板來球做準備。以下依軀幹與上肢各關節動作特徵進行討論：

一、軀幹動作

軀幹動作為人體運動的樞紐，除了具有關鍵的支持作用，還能夠將下肢和軀幹肌肉的力量協調準確地傳遞到上肢（黎涌明等，2008）。由於反手拉球動作限制身體的旋轉，使得揮拍手臂動作幅度小(Mcafee, 2009)，因此更要強調軀幹的動作，來提供手臂有足夠的揮臂空間與適當的動作幅度來擊球。

本研究發現在整個動作週期中軀幹動作活動範圍，以軀幹屈曲/伸展最大，而左旋/右旋最小僅 15.92 ± 6.00 度，而郭嘉民（2006）研究發現，在正手拉前衝弧圈球時軀幹則是以左傾/右傾動作活動範圍最大，其次是左旋/右旋 32.21 度。這樣的差異是由於正手動作採取前後站位，可充分運用軀幹左右旋轉與左右傾斜的動作，來幫助擊球效果，但反手拉球動作採平行站位，因此，受試者在引拍階段增加軀幹左傾的動作範圍，隨後在揮拍擊球階段中利用軀幹伸展的動作，來彌補左旋/右旋動作的不足。過去研究指出，在引拍階段時，其肩膀與骨盆間之間隔角度愈大，表示身體軀幹肌肉拉伸的程度愈大，所儲存的彈性能量愈多，在加上縮短釋放時間，則

最後擊球所產生的效能也愈好(劉卉, 2002)。本研究發現在引拍終點瞬間, 其間隔角度 18.46 ± 6.49 度與屈曲角度 33.89 ± 8.83 度均達到最大值, 表示受試者在引拍階段, 雖然間隔角度受到限制但透過軀幹屈曲動作, 來增長引拍時間, 而在短暫的擊球時間中, 利用軀幹快速的伸展與右傾動作, 縮短揮擊動作時間, 達到高效能的擊球表現。

楊藝韻(2009)指出中檯反手拉球的原則主要是運用全身的力量揮擊, 其中關鍵要素為身體重心的轉移。如果重心轉移的時機過早, 將無法充分利用軀幹轉動的力量, 只能依靠手臂伸直來擊球, 在缺乏軀幹旋轉的動作, 只單靠上肢手臂動作時, 使得揮拍擊球的力量不足, 動作也容易缺乏穩定性(李晉, 2008a)。本研究發現反手拉球動作從引拍階段至跟隨階段, 軀幹由屈曲轉為伸展、左傾轉為右傾、左旋變為右旋, 表示身體重心由左腳轉移到右腳上, 此結果與王梅生(2004)以及李晉(2008b、2009a)研究發現相同。此外, 本研究也發現在引拍階段末期軀幹伸展與右旋動作的角速度開始迅速增加, 直到揮拍擊球階段末期軀幹才開始由左傾轉變為右傾, 這表示受試者的重心轉移較慢才開始, 由於反手拉球動作的擊球點靠近身體, 所以擊球瞬間身體重心仍是在左腳上, 如此才能在擊球時微調身體位置, 也有利於運用左腳蹬地的反作用力, 運用重心轉移的力量帶動身體手臂向前擊球, 以提高回球的速度(李晉, 2009a)。

雖然正手與反手拉球動作的站位不同, 軀幹動作的特徵也有所差異, 但是皆強調運用身體重心轉移的力量來擊球(王梅生, 2004; 肖丹丹, 2006; 李晉, 2008b、2009a; 唐建軍, 2003; 郭嘉民, 2006; 簡健華, 2010)。在反手拉球時選手若

能夠在有限的活動範圍內盡可能的增加軀幹動作，以適度地增大動作幅度，如此便有足夠的空間能夠揮拍擊球，利用預先牽張作用（伸長縮短原理），軀幹向左旋使肌肉拉長，身體呈現扭緊的狀態，儲存更多能量以增加上臂的揮拍速度（孟杰，2005；劉卉，2002）。本研究發現擊球瞬間軀幹伸展角速度與前臂旋後角速度達顯著正相關（ $r=.587, p<.01$ ），而軀幹右傾與肘關節伸展角速度（ $r=.342, p<.05$ ）以及軀幹右旋與肩關節外旋角速度（ $r=.346, p<.05$ ）均達到顯著正相關（見附錄七），表示擊球瞬間軀幹部位的動作速度增快，能夠帶動上肢的肩、肘與前臂的動作速度。

二、肩關節動作

肩關節是人體主要帶動上肢運動的軸心，在引拍階段做了三個不同方向的運動，其目的是為了使擊球前有適度的擊球空間，並拉長肩關節肌肉，使肌肉預先儲存彈性能量，在揮拍時產生更快速的擊球速度（肖丹丹，2006）。

在引拍階段肩關節主要是內旋動作，配合軀幹的屈曲、左旋與左傾動作的作用，使球拍的運動方向為往左後下方的狀態（王梅生，2004；李晉，2008a；孟杰，2005；張博，2003）。用來增加手臂動作幅度與擊球空間，幫助在揮拍擊球階段獲得更高的球拍速度，來達到最佳的擊球效果。本研究發現在引拍階段肩關節的內旋角度與角速度迅速增加，而屈曲與外展角度與角速度則皆維持不變。其外展動作與過去文獻所描述的反手拉球動作特徵不同，王梅生（2004）和姜濤（2010）指出在引拍階段時，肩關節做內收動作，且肘關節會靠近身體來準備擊球。而肩關節外展動作表示持拍手的上臂遠離身

體軀幹，如此可提供適當的空間結合軀幹的左旋動作，讓肩關節做出更大的內旋動作，也增加肩關節的靈活度。如果肩關節過度內收時，則持拍手的手臂會靠近身體，影響到內旋動作幅度，也會使肩關節的屈曲動作不靈活，當來球位置改變時，就無法快速調整手臂動作來揮擊。

Iino 等(2008)研究發現在擊球前肩關節角速度變化，由內旋開始迅速轉變為外旋，緊接著內收變為外展，其肩關節的外旋動作是主要貢獻球拍速度的主因，在擊球瞬間時肩關節動作為屈曲、外旋以及外展，與本研究結果相同。本研究發現擊球瞬間時肩關節的外展角度與球速達到顯著相關，表示擊球瞬間時肩關節的外展角度愈小，球速愈快，當受試者在揮拍擊球階段中，強調肩關節外旋動作回擊球時，會使肩關節做內收動作，而擊球後肩關節的外展與外旋角度皆迅速增加，表示球拍朝右前上方揮擊球（王梅生，2004；李晉，2008a；孟杰，2005；張博，2003）。本研究發現在揮拍擊球階段時，受試者的肩關節屈曲角度從引拍階段末期就開始迅速增加，最主要是為了控制球拍朝右前上方擊球外，同時肩關節在三個運動方向的角速度迅速增加，以延長揮拍階段的作用時間，產生更大的動能，來增加擊球時的揮拍速度，提高球速表現。

三、肘關節動作

肘關節屬於單一自由度的關節，主要動作為屈曲及伸展，由於本研究以肘關節的最大屈曲角度來定義引拍終點，因此全體受試者在揮拍擊球與跟隨階段，肘關節之動作具有相同的動作模式，但在引拍階段全體受試者則出現兩種動作

模式。

第一種模式為“屈曲-伸展”，即是從準備動作開始到引拍階段末期，肘關節皆維持一個固定的屈曲角度，直到引拍階段末期，做出一個短暫的屈曲動作，隨後迅速伸展至跟隨動作結束。第二種模式為“伸展-屈曲-伸展”，在引拍階段初期，肘關節先做伸展動作，在中期時肘關節迅速轉變為屈曲動作，進入揮拍擊球階段開始伸展。雖然有這兩種不同的動作模式，但從揮拍擊球階段開始，肘關節的伸展角速度都快速增加，在擊球瞬間後達到最大角速度 659.97 ± 14.27 度/秒，此結果與 Iino 等(2008)研究結果相同，Iino 等指出肘關節伸展動作主要提供反手拉球動作的球拍向前速度。直到跟隨終點時，受試者的肘關節皆處於屈曲的狀態。如果肘關節完全伸展，可能會導致整個手臂的靈活性差（李晉，2008a），並且不利於下一次擊球的還原動作（李晉，2009a）。

本研究發現在整個動作週期肘關節屈曲/伸展的活動範圍 69.20 ± 19.50 度，以及揮拍擊球階段中肘關節伸展的活動範圍 41.91 ± 15.01 度均達到最大值。郭嘉民（2006）的研究結果也有相似發現，在正手拉前衝弧圈球時，除了肩關節的屈曲/伸展外，肘關節屈曲/伸展的活動範圍 71.89 度為最大。這表示肘關節的屈曲/伸展動作，在正手與反手拉球動作皆是相當重要的。此外，本研究也發現到受試者在執行反手拉球動作時，其各階段的關鍵動作參數並不相同，在引拍階段中，受試者主要增加肩關節內旋動作範圍，配合軀幹左傾以及肘關節屈曲動作幅度，來延長引拍時間和儲存能量，隨後在揮拍擊球階段中利用軀幹的伸展動作帶動上肢肩關節屈曲，配合肘關節快速的伸展動作，使得球拍增加向前移動的力量和

速度，使球拍碰撞球的向前力量增大，讓前衝弧圈球的向前速度快且弧線低，會給對手強大的威脅性，甚至能一板直接得分。

四、前臂與腕關節動作

前臂與腕關節為肢段末端的部位，是身體中最接近球拍的肢段與關節。在反手拉球動作上，主要的作用為控制球拍的拍面、擊球位置，以及提高球拍觸球瞬間的力量。

在引拍階段中前臂與腕關節動作，主要的作用在於創造一個良好的揮拍擊球準備姿勢。在擊球之前手腕必須保持穩定的屈曲動作(王梅生, 2004; 李晉, 2008b; 徐大鵬等, 2008)。如果手腕動作搖晃的話，拍面角度就不容易固定，將導致擊球動作不穩定，而增加失誤率。本研究結果顯示，在引拍階段前臂維持一個固定的旋前角度，而腕關節的屈曲角度則持續增加，但是尺向偏移的角度變化不大。在整個動作過程中，前臂旋前/旋後的活動範圍變化不大，這些結果顯示出受試者在反手拉球動作過程中保持擊球時拍面的穩定性。

在揮拍擊球階段，前臂由旋前轉為旋後動作，腕關節由屈曲快速轉變為伸展、尺向偏移轉變為橈向偏移動作，此結果與 Iino 等(2008)研究結果相同。在擊球瞬間時，前臂的旋後動作結合腕關節的伸展與橈向偏移動作，表示擊球瞬間時的球拍拍面是處於前傾的位置，這主要是為了使拍面前傾，來迎擊球的中上部位置(王梅生, 2004; 徐大鵬等, 2008)，進而達到最佳的擊球效果。此外，擊球時拍面能夠前傾且固定，將使得球回擊過去的飛行弧線低，且不易回擊出界。

在揮拍擊球階段末期，前臂旋後動作達到最大角速度，

是為了將末端力量集中至腕關節的動作，並且在擊球瞬間能夠穩定的控制拍面角度。在前臂穩定拍面角度後，利用腕關節伸展與橈向偏移動作來提供擊球時末端的最大力量，在擊球瞬間給予球體更大的摩擦力。

本研究 A 受試者的腕關節屈曲/伸展的活動範圍 133.48 ± 2.53 度為各關節動作中最大，此結果明顯比郭嘉民（2006）正手拉球動作的腕關節屈曲/伸展活動範圍 49.21 度大。並且在引拍階段中，A 受試者的腕關節屈曲與肩關節內旋動作範圍最大，而在揮拍擊球階段中除了肘關節的伸展動作外，腕關節的屈曲/伸展動作幅度也為最大。這表示反手拉球動作軀幹旋轉受到限制，導致上肢手臂活動範圍有限，因此選手可能利用增大手腕屈曲/伸展角度，以增快最後揮拍擊球速度。Iino 等(2008)研究指出腕關節的伸展動作，是反手拉球動作中主要提供球拍向前速度的關鍵參數。本研究也發現腕關節在伸展與橈向偏移角速度皆大於過去研究正手拉球動作腕關節的角速度。但本研究僅分析一位受試者的動作資料，所以未能推論本研究的其他受試者。

第三節 關節最大角速度出現時機

為了達到良好的擊球效果，選手在揮拍擊球過程中，必須利用肢段有順序性的移動，來產生最大的動量擊球，因此身體各關節動作需要符合動力鏈原理。桌球運動是屬於持拍性的鞭打動作，上肢提供一個開放性動力鏈的動作（鍾祥賜、蕭秀萍，2004），肢段與肢段間有順序性的移動，逐漸地將動量傳遞給下一個鄰近肢段，而先前的肢段即進入固定或減速

的狀態，最後使遠端肢段達到最大的末端速度（薛尹彰，2009）。

郭嘉民（2006）研究正手拉球動作發現，軀幹的伸展和左旋最早達到最大角速度，其後依序為肩關節屈曲與外旋、肘關節屈曲、腕關節伸展和橈向偏移，最後是前臂旋前的動作，其最大角速度是由近端向遠端依序的傳遞，符合動力鏈原理。正手拉球在引拍階段利用軀幹右旋動作結合上肢各關節動作（郭嘉民，2006），隨後在揮拍擊球階段時由下肢作用力開始，將能量向上傳遞，最後由球拍與球互相碰撞（賈鵬，2008）。但反手拉球動作因軀幹旋轉較少，而影響持拍手的手臂姿勢，所以會改變揮拍擊球的動作模式，來達到高球速的表現。本研究結果顯示，全體受試者身體肢段最大角速度出現的順序，從軀幹伸展、肩關節屈曲、肘關節伸展、軀幹右旋、肩關節外旋與外展、前臂旋前、最後為軀幹右傾。而 A 受試者的手腕動作，腕關節的橈向偏移與伸展達到最大角速度是出現在肘關節伸展最大角速度之後。

本研究受試者反手拉球動作在揮拍擊球階段從軀幹開始先伸展，帶動肩關節屈曲動作，在擊球前肢段的動作皆是以前後的運動方向為主，為了能夠提供前衝弧圈球有足夠的向前力量，在擊球瞬間時肘關節達到最大伸展角速度，在此之後配合末端腕關節的伸展與橈向偏移動作回擊球的中上部，隨後再由肩關節外旋與外展動作順勢向右前上方揮擊，利用前臂旋前微調拍面角度，最後將身體重心移至右腳上使軀幹右傾達到最大角速度。雖然各關節最大角速度的動作順序不是由近端軀幹的伸展、右旋與右傾先開始依序傳遞至遠端肘關節與前臂動作，但肢段動作由身體近端肢段的旋轉，帶動

肩關節動作，最後轉移至末端肢段，從本研究最大角速度出現的順序性仍是符合動力鏈原理。此外，受試者軀幹至腕關節動作之最大角速度數值有依序遞增的現象，近端軀幹動作的數值最小，其次為肩關節的動作，肘關節的伸展，最後末端腕關節的伸展與橈向偏移角速度數值最大。表示在擊球時，末端肢段使球拍在擊球瞬間達到最大速度（肖丹丹，2006）。

此外，本研究也發現在整個動作週期與揮拍擊球階段中，軀幹、肩關節與肘關節的活動範圍，均是以屈曲/伸展動作的活動範圍最大，表示肢段活動主要以前後方向為主。在揮拍擊球階段中，軀幹伸展、肩關節屈曲以及肘關節伸展動作的角度與角速度皆迅速增加，最大角速度也依序出現，這是為了提供球拍有足夠的向前力量，以彌補單靠手臂拉球力量不足的情形，再配合快速的肩關節外旋動作，將擊球動作朝右前上方揮擊，上述動作型態符合合理的反手拉前衝弧圈球動作技術。

第四節 影響球速之關鍵運動學參數

在桌球比賽中球速是選手技術質量的基礎，在動作準確性的前提下，能有高的球速，會迫使對手無法完整執行動作，再加上球的旋轉，提升擊球的變化效果。要產生高球速的能力，是透過理想擊球動作所產生，其中包括動作幅度、揮拍擊球的速度，以及揮拍時關鍵肢體動作的貢獻程度，並且以合理的動作傳遞順序，來達到最佳球速的表現。

本研究全體受試者平均球速為 18.95 ± 1.85 公尺/秒，比過

去的研究快。孟杰（2005）在比賽中拍攝王皓與唐鵬反手拉球的球速分別為 9.01 公尺/秒和 10.74 公尺/秒。而楊斌（2005）和黃丹（2008）的研究結果球速分別為 17.75 公尺/秒以及 12.48 公尺/秒。這樣的差異是因為研究者對於反手拉球動作的研究目的與方法不同所造成，過去的研究目的在於比較直拍與橫拍打法的動作差異性，或是在比賽中進行拍攝，所以選手在執行反手拉球動作時並非使用全力或是完整的動作擊球。而本研究則是在實驗室內以固定的方向與位置擊球，並要求受試者使用全力拉前衝弧圈球動作擊球，因此，球速會比過去相關的文獻快。

本研究結果顯示僅有三個運動學參數與球速達到顯著相關，在整個動作週期中肩關節的內旋/外旋之活動範圍愈小、揮拍擊球階段中肩關節屈曲活動範圍愈大，以及擊球瞬間肩關節外展角度愈小則球速愈快。在反手拉球動作特徵中，引拍階段肩關節增加內旋活動範圍，來增加手臂的動作幅度與擊球的空間，在揮拍擊球階段時，肩關節快速的做外旋動作，同時配合肩關節屈曲向前的動作，帶動球拍朝向右前上方運動，所以在擊球瞬間時肩關節的外展角度變小，受試者利用肩關節在三個運動方向的關鍵運動學參數，來產生高球速的運動表現。此結果與 Iino 等（2008）研究發現相似，不論反手回擊上旋球與下旋球時，肩關節會先做內旋動作，再朝擊球的方向做外旋動作。在正手拉球動作方面，Iino and Kojima（2009）研究也發現肩關節的屈曲與內旋動作，主要提供約 80% 的球拍速度。上述這些結果均顯示在正手與反手拉球動作中肩關節的內旋/外旋與屈曲動作對球速表現扮演重要的角色。另外，本研究也發現在揮拍擊球階段中，肩關節

屈曲動作範圍與軀幹伸展活動範圍 ($r=.379, p<.05$)、肘關節伸展活動範圍 ($r=.601, p<.01$)、前臂旋後活動範圍 ($r=.590, p<.01$)均達到顯著正相關 (見附錄五)，以及肩關節的內旋/外旋活動範圍與全部動作時間達到顯著正相關 ($r=.626, p<.01$)。表示揮拍擊球階段肩關節屈曲活動範圍愈大，能夠增加軀幹伸展、肘關節伸展與前臂旋後的動作幅度，除了能提高球拍向前方向的力量外，並利用短暫的擊球時間，增大動作幅度來延長作用時間增加切線速度，其切線速度愈快，線動量愈大，撞擊球的力量也會增加。顯示出反手拉球動作運用適度的活動範圍，結合快速的揮拍擊球動作與短暫的回擊時間，來達到高球速的反手突擊特性。

Iino 等(2008)研究也發現，肘關節的伸展與腕關節的伸展動作也是影響球拍速度的關鍵運動學參數。而在網球發球動作中，Elliott 等(1995)和 Tanabe and Ito(2007)研究分別發現腕關節屈曲提供 31.7%與 31.0%的球速。Gordon and Dapena (2006)也發現在網球發球時，擊球前肘關節伸展與腕關節的屈曲動作貢獻球速最大。而本研究發現到肘關節的伸展角速度在擊球前 0.04 秒達到最大，緊接著擊球後 0.01 秒腕關節的伸展與橈向偏移也達最大角速度，其達到最大角速度的時機與 Elliott 等(1995)的網球發球研究相似，肘關節伸展與腕關節屈曲最大角速度在擊球前 0.04 秒與 0.006 秒達到最大值。表示在擊球時，末端肢段在擊球瞬間提供最大的動作速度 (肖丹丹，2006)。雖然，本研究發現肘關節動作與球速未達顯著相關，但肘關節在反手拉球動作中，仍是重要的關鍵參數之一。由於本研究只有一位受試者的腕關節資料，無法證實腕關節動作與球速之相關情形，腕關節的末端

動作是最後揮擊球的關鍵肢段，過去反手拉球動作的文獻均顯示出擊球瞬間必須運用腕關節動作的力量快速擊球（王梅生，2004；徐大鵬等，2008；李晉，2008b；唐建軍，2003；姜濤，2010；張博，2003）。因此，對於反手拉球動作來說，腕關節伸展與撓向動作也可能對於球速有相當大的影響。過去文獻指出腕關節伸展、肘關節伸展與肩關節外旋角速度(Iino 等，2008)以及肩關節屈曲角速度(Iino & Kojima, 2009)，是構成球速的主要貢獻因素。然而，本研究結果顯示僅有三個運動學參數與球速達到顯著相關，對於擊球瞬間的肩關節屈曲角速度($r=-.236, p<.02$)與外旋角速度($r=.100, p<.06$)、肘關節伸展角速度($r=.199, p<.03$)（見附錄七），這些參數與球速並未達到顯著相關，由於本研究受試者，皆是國內優秀選手，彼此差異不大其同質性高，這可能導致變數間相關的顯著性不高，雖然本研究未發現這些參數與球速的相關性，但是對於反手拉球動作而言這些參數對球速快慢的影響還是相當重要。

第陸章 結論與建議

本研究目的為瞭解反手拉前衝弧圈球動作之特徵，探討動作順序是否符合動力鏈的傳遞原理，探求影響球速的關鍵運動學參數。根據研究的結果與討論後，總結研究的發現，並對於後續的研究提供可行的建議。

第一節 結論

在反手拉前衝弧圈球動作中，軀幹與上肢各關節的運動模式，與過去文獻所指出的動作特徵相似。從軀幹與上肢各關節動作角度與角速度的結果發現，在準備動作時，軀幹的左傾/右傾與左旋/右旋以及肩關節的屈曲/伸展動作變化非常小，身體幾乎是呈現直立且放鬆的姿勢；在引拍階段的動作特徵為軀幹的屈曲、左傾、左旋，將重心轉移至左腳上，引導肩關節的內旋，配合肘關節屈曲，腕關節屈曲、尺向偏移與前臂的旋前動作來創造出合適的擊球空間；在揮拍擊球階段，軀幹的伸展與右旋，提供力量傳遞至肩關節的屈曲、外展與外旋，以及肘關節伸展、前臂的旋後動作，最後以腕關節的伸展與橈向偏移動作來擊球。

在身體肢段最大角速度出現的順序，從軀幹伸展、肩關節屈曲、肘關節伸展、軀幹右旋、肩關節外旋與外展、前臂旋前、最後為軀幹右傾，其最大角速度傳遞之順序是符合動力鏈原理。

此外，在整個動作週期中肩關節的內旋/外旋之活動範圍愈小、揮拍擊球階段中肩關節屈曲活動範圍愈大，以及擊球

瞬間肩關節外展角度愈小則球速愈快，顯示出反手拉球動作利用適度的肢體活動範圍，結合快速的揮拍擊球動作，達到高球速的突擊表現是此動作之特點。

第二節 建議

從研究結果發現，為了達到良好的擊球效果，在反手拉前衝弧圈球動作時，建議選手利用軀幹屈曲與左傾、肩關節內旋、肘屈曲與手腕屈曲，來增加手臂動作幅度與擊球空間增長引拍時間，幫助在揮拍擊球階段的軀幹伸展、肩關節屈曲與外旋、肘關節伸展動作，最後由前臂旋後動作穩定拍面角度，以末端腕關節伸展與橈向偏移動作來擊球，在短暫時間內達到最大角速度並做出快速的回擊動作，來達到高球速的動作表現。

本研究反手拉球的動作特徵與過去文獻的研究相似，但在肩關節的內收/外展與前臂的旋前/旋後動作仍有一些差異存在，未來可以進行動力學、測力板與肌電圖的分析，來探討反手動作的各關節活動與肌肉活化程度之間的關係。由於本研究實驗因素，無法獲得全體受試者腕關節的動作資料，未來除了延續研究腕關節的活動外，並可增加下肢動作的分析，進一步觀察全身各關節動作相互配合的情形。此外，本研究受試者距離球檯 1.1 公尺（即中檯位置），使得在引拍階段的時間特別長，未來可研究在近檯與遠檯不同距離之反手拉球動作的差異情形。此外，本研究受試者皆為男子選手，對於未來可比較性別的動作差異。最後，本研究受試者在實驗室內以固定位置來執行動作，如果在比賽中進行，會受到

對手來球方向與位置等多項因素干擾，選手必須處於動態的情況下快速完成回擊動作，因此，在比賽中選手執行反手拉球動作的分析，未來也有必要進行探討。

參考文獻

一、中文部分

- 王苓華 (2003)。網球反拍截擊動作之上肢肌肉活化與動量傳遞之研究。《體育學報》，35，59-68。
- 王梅生 (2004)。普通高校公共體育選項課教材~乒乓球。台北市：諾亞文化。
- 王亮、馬志軍 (2007)。王皓反手反面技術應用的研究。《安徽體育科技》，28(3)，21-25。
- 李晉 (2008a)。奧運乒乓球知識講堂—基礎乒乓訓練十二式(三)。《乒乓世界》，186，112-113。
- 李晉 (2008b)。奧運乒乓球知識講堂—基礎乒乓訓練十二式(七)。《乒乓世界》，189，116-118。
- 李晉 (2008c)。奧運乒乓球知識講堂—基礎乒乓訓練十二式(八)。《乒乓世界》，190，118-127。
- 李晉 (2009a)。發球搶攻技巧(2-2)—許斯反手加利拉下旋球。《乒乓世界》，195，116-117。
- 李晉 (2009b)。像頂尖高手學習反手技術郭躍—反手拉下旋球。《乒乓世界》，200，110-111。
- 宋志敏、關淑人 (2003)。論乒乓球快攻。《邢台學院學報》，23(2)，49-50。
- 肖丹丹 (2006)。乒乓球正手快攻、弧圈球技術的生物力學研究以及步法墊測試系統的研制與實驗。未出版博士論文。北京體育大學，北京市。

- 肖丹丹、鍾宇靜、蘇丕仁 (2008a)。乒乓球正手快攻和弧圈球技術中球拍的運動學特徵。《體育學刊》，15(4)，82-87。
- 肖丹丹、蘇丕仁、唐建軍 (2008b)。乒乓球運動員正手弧圈球技術的地面支持作用力分析。《天津體育學院學報》，23(1)，57-59。
- 杜美華 (2001)。桌球單打橫拍技術測驗之編製。未出版之碩士論文。國立體育學院，桃園縣。
- 吳德成 (1998)。桌球。未出版之碩士論文。國立體育學院，桃園縣。
- 孟杰 (2005)。乒乓球比賽中王皓與唐鵬的正反手拉球動作技術的生物力學分析。未出版碩士論文。北京體育大學，北京市。
- 房巍、邢繼慶、黃愛慶 (2010)。“無機時代”乒乓競技特征及對策探析。《吉林體育學院學報》，26(2)，55-56。
- 邱文信 (2010)。不同投擲距離機群作用時序之比較。《體育學報》，43，43-54。
- 侯淑玲、陳金海 (2003)。桌球運動員反應能力與接發球表現的相關研究。《大專體育學刊》，5(2)，67-76。
- 柳天楊 (2002)。劉國梁正手近台攻打前沖弧圈球技術的運動學特徵分析與研究。《廣州體育學院學報》，22(3)，71-73。
- 柳天楊、王新、王家政 (2003)。孔令輝正手近台反沖前沖弧圈球技術的運動學分析。《體育學刊》，10(2)，106-108。
- 姜濤 (2010)。乒乓球教育。長春：吉林大學出版社。
- 徐大鵬、謝爭、李莉 (2008)。乒乓球。南京：江蘇科學技術出版社。

- 郭嘉民 (2006)。優秀桌球選手正手拉球之運動學分析。未出版之碩士論文。國立台南大學，台南市。
- 常瑞宏 (2008)。乒乓球正手攻球動作的生物力學分析與評價。體育世界，8，102-103。
- 唐建軍 (2003)。桌球訓練營。臺北市：靈活文化。
- 梁世建 (2006)。桌球正手抽球動作三度空間之運動學分析。未出版之碩士論文。國立臺北教育大學，臺北市。
- 許樹淵 (1997)。運動生物力學。台北：合記圖書出版社。
- 舒鈞 (2010)。乒乓球中反手反拉弧圈球技術動作的生物力學要點研究。西安文理學院學報：自然科學版，13(1)，117-120。
- 程序 (2010)。國際乒聯規則的改變對體育院校乒乓球教學訓練的影響。體育成人教育學刊，26(4)，71-72。
- 陳貞秀 (1992)。桌球校隊與興趣選項學生之反應時間與迴轉之追蹤技能學習之研究。體育學報，12，321-329。
- 陳裕芬 (2007)。桌球運動規則修改後技術及戰術之發展趨勢探討。大專體育，88，132-136。
- 陳羿蓁、張立羣 (2009)。桌球不同反手拉球動作之軀幹旋轉特徵一個案研究。2009 亞太國際運動生物力學研討會暨台灣運動生物力學年會論文集 (頁 25-26)。臺北市：中國文化大學體育學系。
- 陳羿蓁 (2011)。2011 年國際比賽桌球選手反手拉球動作時間分析。未出版之原始資料。
- 曾賢亮、邱慶宏、王同茂、王金成 (1984)。大學男女運動員與非運動員多重判斷反應與單純動作反應之研究。體育學報，6，209-215。

- 曾慶國 (2002)。乒乓球弧圈球技術中“轉髖”動作生物力學分析。安徽體育科技，23(2)，49-50。
- 彭茜瑜、安振吉、蘇振塏、相子元 (2008)。不同材質的桌球拍底板對於撞擊特性的影響。大專體育學刊，10(1)，125-137。
- 黃丹 (2008)。對直拍橫打與橫拍反手拉球的運動學對比分析。安徽體育科技，29(4)，21-25。
- 賈鵬 (2008) 乒乓球連續移動及球過程的動力鏈接研究。中北大學學報，24(6)，89-93。
- 張博 (2003)。乒乓球技術原理新探。北京：人民體育出版社。
- 張晗、惠靜文 (2009)。波爾的前三板技術。乒乓世界，199，108-109。
- 張曉棟、張立新、肖丹丹 (2009)。正手快攻、弧圈球技術中乒乓球運動員上肢的運動學特徵分析。中國體育科技，45(6)，47-51。
- 張清雷、王瀚 (2010)。無機膠水對乒乓球運動的影響及應對策略研究。吉林體育學院學報，26(3)，39-40。
- 楊藝韻 (譯) (2009)。確實精進桌球技術。台南市：大坤。(西村卓二，2005)。
- 楊斌 (2003)。優秀女子青少年乒乓球運動員弧圈球技術分析。未出版碩士論文。北京體育大學，北京市。
- 劉卉 (2002) 上肢鞭打動作技術原理的生物力學研究。未出版博士論文。北京體育大學，北京市。
- 黎涌明、于洪軍、資薇、曹春梅、陳小平 (2008)。論核心力量及其在競技體育中的訓練。體育科學，28(4)，19-29。

- 簡健華 (2010)。桌球正手拉球之生物力學分析。未出版之碩士論文。國立臺灣師範大學，臺北市。
- 薛尹彰 (2009)。羽球殺球技術在運動生物力學上之應用。大專體育，103，109-115。
- 鍾祥賜、蕭秀萍 (2004)。上肢投擲動作之開放性動力鏈理論探究。中華體育季刊，18，52-59。
- 蘇韋丞 (2006)。不同反應形式與刺激-反應相容性對桌球接發球之反應時間和動作時間的影響。未出版之碩士論文。國立屏東教育大學，屏東市。

二、英文部分

- Aguinaldo, A. L., Buttermore, J., & Chambers, H. (2007). Effects of upper trunk rotation on shoulder joint torque among baseball pitchers of various levels. *Journal of Applied Biomechanics*, 23, 42-51.
- Akutagawa, S. & Kojima, T. (2005). Trunk rotation torques through the hip joints during the one- and two- handed backhanded tennis strokes. *Journal of Sports Sciences*, 2005, 23, 781-793.
- Burden, A. M., Grimshaw, P. N., & Wallace, E. S. (1998). Hip and shoulder rotations during the golf swing of sub-10 handicap players. *Journal of Sports Sciences*, 16, 165-176.
- Elliott, B., Marshall, R. N., & Noffal, G. J. (1995). Contributions of upper limb segment rotations during the power in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 433-442.
- Elliott, B., Marshall, R., & Noffal, G. (1996). The role of upper limb segment rotations in the development of racket-head speed in the squash forehand. *Journal of Sports Sciences*, 14, 159-165.
- Elliott, B. (2006). Biomechanics and tennis. *Britain Journal of Sports Medicine*, 40, 392-396.
- Elliott, B., Alderson, J., & Reid, M. (2008). Biomechanics of striking and kicking. In Y. Hong, & R. Bartlett (Eds.),

- Routledge Handbook of Biomechanics and Human Movement Sciences* (pp. 311-322). Oxon: Routledge.
- Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Derenne, C., Taylor, M. K., Moorman, C. T., Imamura, R., Barakatt, E., & Andrews, J. R. (2009). Effects of bat grip on baseball hitting kinematics. *Journal of Applied Biomechanics*, 25, 203-209.
- Fleisig, G., Chu, Y., Weber, A., & Andrewas, J. (2009). Variability in baseball pitching biomechanics among various levels of competition. *Sports Biomechanics*, 8, 10-21.
- Gordon, B. J., & Dapena, J. (2006). Contributions of joint rotations to racquet speed in the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 24, 31-49.
- Iino, Y., Mori, T., & Kojima, T. (2008). Contributions of upper limb rotations to racket velocity in table tennis backhands against topspin and backspin. *International Sports Sciences*, 26, 617-621.
- Iino, Y., & Kojima, T. (2009). Kinematics of table tennis topspin forehands: effects of performance level and ball spin. *Journal of Sports Sciences*, 27, 1311-1321.
- Myers, J., Lephart, S., Tsai, Tung-shen., Sell, T., Smoliga, J., & Jolly, J. (2008). The role of upper torso and pelvis rotation in driving performance during the golf swing. *Journal of Sports Sciences*, 26, 181-188.

- Lees, A. (2009). Biomechanics of racket sports: developments and current status. In A. Lees, D. Cabello, & G. Torres (Eds.), *Science and Racket Sports IV*(pp. 99-105). Oxon: Routledge.
- Mcafee, R. (2009). *Table Tennis: steps to success*. U.S.A: Human Kinetics.
- Stodden, D. F., Fleisig, G. S., Mclean, S. P., Lyman, S. L., & Andrew, J. R. (2001). Relationship of pelvis and upper torso kinematics to pitched baseball velocity. *Journal of Applied Biomechanics, 17*, 164-172.
- Stodden, D. F., Fleisig, G. S., Mclean, S. P., Lyman, S. L., & Andrew, J. R. (2005). Relationship of biomechanical factors to pitching velocity: within pitcher variation. *Journal of Applied Biomechanics, 21*, 44-56.
- Tanabe, S., & Ito, A. (2007). A three-dimensional analysis of the contributions of upper limb joint movement to horizontal racket head velocity at ball impact during tennis serving. *Sports Biomechanics, 6*, 418-433.
- Reid, M., & Elliott, B. (2002). The one- and two-handed backhands in tennis. *Sports Biomechanics, 1*, 47-68.
- Yoshida, K., Sugiyama, K., & Murakoshi, S. (2004). The technique used to receive a rotating ball in table tennis. In A. Lees, J.-F. Kahn, & I. W. Maynard (Eds.), *Science and Racket Sports III*(pp. 116-120). Oxon: Routledge.

- Young, M. & Li, Li. (2005). Determination of critical parameters among elite female shot putters. *Sports Biomechanics*, 4(2), 131-148.
- Wu, G., Van der Helm, F. C. T., Veeger, H. E. J., Makhsous, M., Roy, V. P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna, A. R., Mcquade, K., Wang, X., Werner, F. W., & Buchholz, B. (2005). ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—part 2: shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Applied Biomechanics*, 38, 981-992.

附錄一

實驗同意書

論文題目：桌球反手拉球動作之上肢與軀幹運動學

指導教授：張立羣 教授

研究生：陳羿蓁

研究單位：國立臺灣體育學院 競技運動學系

聯絡電話：0919-616023

一、研究目的

本研究目的為瞭解反手拉球動作，軀幹與持拍手臂的動作情形，探討動作過程是否依序傳遞，並探求影響球速的相關參數，期望能提供運動學參數來強化主要所需關節來進行訓練與比賽，達到最佳動作表現。

二、實驗內容

1. 執行三組中檯全力反手拉前衝弧圈球動作，每組 5 球

三、注意事項

1. 本研究不需服用任何藥物或注射藥劑。
2. 執行動作過程中上半身需赤膊，並黏貼反光球。

四、受試者的權利和責任

1. 不需繳交任何費用，在實驗過程中，受試者若改變參與意願時，請事先告知研究者後，便可隨時退出實驗且不受任何限制。
2. 研究資料絕對保密，會以研究代碼取代姓名，所獲得的資料僅供研究之用，絕對保密。
3. 感謝您詳細閱讀，如同意參與本研究，請寫實驗同意書與基本資料，本研究將保障個人隱私，感謝您的參與。

實驗同意書

實驗受試者簽章：_____

日期：____年____月____日

聯絡電話：

附錄二

受試者基本資料

論文名稱：桌球反手拉球動作之軀幹與上肢運動學

施測人員：陳羿蓁

編號：

姓名		年齡(歲)		出生年月日	
身高(mm)		體重(kg)		球齡(年)	
握拍法	<input type="checkbox"/> 直拍 <input type="checkbox"/> 橫拍		打法類型		
最佳成績					
身體肢段長度					
名稱		右	左		
腿長(mm)					
寬度	膝寬(mm)				
	踝寬(mm)				
肩高(mm)					
厚度	肘厚(mm)				
	腕厚(mm)				
	掌厚(mm)				

附錄三

全體受試者反手拉前衝弧圈球在整個動作時間及各階段動作時間百分比與球速之相關係數總表 ($n=39$)

	A.	B.	C.	D.	E.
A.球速	1	-.089	.074	.083	-.126
B.總時間		1	.171	-.713**	.233
C.引拍階段			1	-.457**	-.848**
D.揮拍擊球階段				1	-.084
E.跟隨階段					1

註：* $p < .05$ ** $p < .01$

附錄四

全體受試者反手拉前衝弧圈球在整個動作週期中軀幹與上肢各關節活動範圍與球速之相關係數總表 ($n=39$)

	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.	I.
A.球速	1	-.038	.130	-.108	.124	-.134	-.384*	.109	.210
B.軀幹屈曲/伸展		1	.174	.126	.425**	.271	.377*	.124	.562**
C.軀幹右傾/左傾			1	.421**	.141	-.129	-.074	.416**	.576**
D.軀幹左旋/右旋				1	-.111	.450**	.504**	-.042	.359
E.肩伸展/屈曲					1	-.033	-.153	.031	.080
F.肩內收/外展						1	.502**	-.137	.047
G.肩內旋/外旋							1	-.053	.265
H.肘伸展/屈曲								1	.263
I.前臂旋前/旋後									1

註：* $p < .05$ ** $p < .01$

附錄五

全體受試者反手拉前衝弧圈球在揮拍擊球階段中軀幹與上肢各關節活動範圍與球速之相關係數總表 ($n=39$)

	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.	I.
A.球速	1	-.011	.214	-.020	.355*	.187	-.161	.208	.211
B.軀幹屈曲/伸展		1	.387*	-.370*	.379*	.145	-.049	.527**	.407*
C.軀幹右傾/左傾			1	.135	.639**	.249	.095	.454**	.504**
D.軀幹左旋/右旋				1	.079	-.273	-.145	-.129	-.261
E.肩伸展/屈曲					1	-.013	-.175	.601**	.590**
F.肩內收/外展						1	.516**	.106	.388*
G.肩內旋/外旋							1	-.366**	.106
H.肘伸展/屈曲								1	.659**
I.前臂旋前/旋後									1

註：* $p < .05$ ** $p < .01$

附錄六

全體受試者反手拉前衝弧圈球的擊球瞬間軀幹與上肢各關節角度與球速之相關係數總表 (n=39)

	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.	I.	J.
A.球速	1	.053	-.108	-.031	-.104	-.042	.326*	.030	.168	-.219
B.軀幹屈曲		1	-.366*	-.674**	.290	-.181	-.310	-.407*	-.461**	.556**
C.軀幹左傾			1	.042	.018	-.004	-.095	.355*	.080	.117
D.軀幹左旋				1	.668**	-.241	.176	.352*	.572**	-.714**
E.間隔角度					1	-.572**	-.073	.603**	.433**	-.411**
F.肩屈曲						1	-.028	-.379*	-.306	.053
G.肩外展							1	.165	.725**	-.557**
H.肩內旋								1	.356*	-.318*
I.肘屈曲									1	-.767**
J.前臂旋後										1

註：* $p < .05$ ** $p < .01$

附錄七

全體受試者反手拉前衝弧圈球的擊球瞬間軀幹與上肢各關節角速度與球速之相關係數
總表 ($n=39$)

	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.	I.
A.球速	1	-.006	-.028	-.001	-.236	.269	.100	.199	-.139
B.軀幹伸展		1	.065	-.460**	.069	-.014	.041	.163	.587**
C.軀幹右傾			1	.281	.310	.013	.164	.342*	-.137
D.軀幹右旋				1	-.014	-.254	.346*	.208	-.201
E.肩屈曲					1	.051	-.131	-.229	.158
F.肩外展						1	-.299	-.041	-.148
G.肩外旋							1	.753**	.284
H.肘伸展								1	-.015
I.前臂旋後									1

註：* $p < .05$ ** $p < .01$

附錄八

全體受試者在反手拉前衝弧圈球整個動作週期中軀幹與上肢各關節最大角速度與球速之相關係數總表 ($n=39$)

	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.	I.
A.球速	1	.017	.076	.026	-.284	-.210	.174	.181	.153
B.軀幹伸展		1	.076	.203	.428**	-.032	-.038	-.192	-.039
C.軀幹右傾			1	.089	-.092	.251	.180	.229	.282
D.軀幹右旋				1	-.070	.062	.089	.318*	-.138
E.肩屈曲					1	.002	-.114	-.254	-.171
F.肩外展						1	-.292	-.189	-.159
G.肩外旋							1	.029	.498**
H.肘伸展								1	.274
I.前臂旋前									1

註：* $p < .05$ ** $p < .01$