國立臺灣師範大學運動與休閒學院

體育學系博士學位論文

羽球啟動步法之起跳時機及下肢生物力學分析

研 究 生：薛尹彰

指導教授：蔡虔祿

中華民國 104 年 6 月

中華民國臺北市

國立臺灣師範大學體育學系博士論文通過簽名表

系別：體育學系

姓名： 薛尹彰　　學號： 898300149

論文題目：**羽球啟動步法之起跳時機及下肢生物力學分析**

Take off Timing and Biomechanical analysis of Lower Extremities in Badminton Split step

經審查合格，特予證明

論文口試委員

何維華
何維華　博士
台北市立大學運動器材科技研究所

相子元
相子元　博士
國立臺灣師範大學運動競技系

林德嘉
林德嘉　博士
國立臺灣師範大學體育學系

黃長福
黃長福　博士
國立臺灣師範大學體育學系

蔡虔祿
蔡虔祿　博士
國立臺灣師範大學體育學系
論文指導教授

系主任簽章：林玫君

中 華 民 國 104 年 6 月 3 日

羽球啟動步法之起跳時機及下肢生物力學分析

2015 年 5 月

研 究 生：薛尹彰
指導教授：蔡虔祿

中文摘要

羽球啟動步法是羽球運動中的重要基礎之一，但在啟動時機及下肢發力方面仍缺乏科學的研究。本研究目的是在比較不同球路下，各擊球位置的啟動時機、反應時間與啟動時下肢動力學參數上的差異。方法：受試者為八位大專男子甲組羽球選手(身高：173 ± 3.6 cm，體重：68.1 ± 4.67 kg，年齡：21 ± 3 歲)，實驗中使用 10 部(Vicon MX-13+) 紅外線攝影機 (300Hz) 及 Nexus1.8 軟體來蒐集動作影像資料，而地面反作用力則以兩塊測力板(Kistler9287、AMTI5507)收集相關數據，再以 Visual 3D 軟體計算運動學及動力學資料。所得參數以無母數魏可遜配對組符號等級測驗或弗里曼二因子等級變異數分析的統計方法來檢定(顯著水準定為 α =.05)。結果：前啟動期各方向的重心變化、地面反作用力及輕跳離地時機均無顯著差異，但輕跳離地時機為擊球後 14~37 毫秒。動作期間，與擊球位置相反之反側腳的下肢推蹬力量、總衝量顯著大於同側腳。中場啟動時，雙腳有稍大的下肢勁度、推蹬腳有較大的水平推蹬力。左前場啟動時，推蹬腳有較大的最大水平推蹬力，以及較慢的重心水平速度。在推蹬腳關節作功比例，前、中場以髖、膝關節較大，後場則以踝關節較大。在反應時間上，各擊球位置的反應時間約在對手擊球後的 0.3 秒，且整體反應時間以中場顯著快於前場與後場。結論：前啟動期的六種預備動作皆有一致性。啟動期之輕跳時機應同時於對手擊球瞬間。啟動以啟動方向的反側腳推蹬，中場啟動需較大的下肢勁度、水平推蹬力和較短的整體反應時間，左前場則需較大的水平推蹬力。前、中場的推蹬腳發力應著重於髖和膝關節，後場則以踝關節為主。若要有較佳的回擊，下肢應於對手擊球後 0.3 秒內要有正確推蹬方向與最大推蹬發力。

關鍵詞：步法、反應時間、下肢勁度

Take off Timing and Biomechanical analysis of Lower Extremities in Badminton split step

May 2015

Graduate Student: Yi-Chang Hsueh
Advisor: Chien-Lu Tsai

Abstract

Split step is a critical basis of badminton footwork. However, scientific studies on the timing and lower extremities kinetics of badminton split step remain insufficient. Therefore, the purpose of this study was to compare, for six direction movements, the players' split timing, reaction time, and lower extremities kinetics during push-offs. Method：Eight collegiate elite male badminton players participated in this study (height: 173 ± 3.6 cm; weight: 68.1 ± 4.67 kg; age: 21 ± 3 years). Motion images were record by 10 Vicon MX-13^{+} (300 Hz) infrared cameras, Nexus 1.8 software for data collection, 2 force plates (Kistler 9287, AMTI 5507) to collect ground reaction forces, and Visual 3D software for calculating kinematic and kinetic data. The data obtained were assessed using the nonparametric Wilcoxon signed-rank test or Friedman's 2-way analysis of variance by ranks in which the level of significance was set as α = .05. Result：There were no significant difference in the variables of COM, GRF and hop timing among six start direction before propulsion phase, and hop timing occurred in 14~37 ms after the opponent struck the shuttlecocks. During the propulsion phase, the leg which was opposite the movement direction have significantly greater lower extremity push-off force and total impulse than that in the homolateral leg. There were greater lower extremity stiffness and significantly greater horizontal push-off force of pushing leg in the midcourt start. In the left of front court start, there was greater peak horizontal push off force of pushing leg , but slower horizontal COM velocity. In the front court and midcourt, the energies generated by the hip and knee joints were significantly greater than that of the ankle joint in pushing leg ; in the rear court, the ankle joint showed significantly greater energy generation than the hip and knee joints did. The reaction time of each start direction occurred about 0.3 sec after the players struck the shuttlecocks. The total reaction time of midcourt was faster than the front court and rear court. Conclusion : The prepare movement before the propulsion phase must be consistent and hop simultaneously with the opponent struck the shuttlecocks. The leg opposite the movement direction was the main pushing leg. Greater lower extremity stiffness, horizontal push-off force and shorter total reaction time were needed in midcourt start. In the left of front court, it needed greater horizontal push off force to start. The main pushing joint of lower extremity was hip and knee in the front court and the midcourt start, but the main pushing joint in the rear court was ankle. When lower extremity have correct pushing direction and peak pushing off force within 0.3 sec, the players will have a better hit back in badminton competition.

Key words：footwork, reaction time, lower extremity stiffness

謝　誌

時光荏苒，進入運動生物力學領域已有九年的時間，至今博士論文得以順利完成，最感謝的就是領我入門也是陪伴我一路走來的指導教授--蔡虔祿博士。在這段期間，老師除了不斷的給予我支持與鼓勵外，還帶我出國發表，拓展我視野，讓我在學術研究上有更寬廣更多元的思維。此外，老師在我研究的過程中無私的教導、解惑及大力的幫忙，才讓我完成了多年來自己想做的研究內容，而這些點點滴滴都讓我感激不盡、銘記在心。

其次，我要感謝我的口試委員黃長福教授、林德嘉教授、相子元教授、何維華教授，於撰寫論文期間給予我寶貴的建議，讓我能將論文修改得更完備，有更明確的研究方向。還有實驗期間，幫我打理一切事務及協助我進行實驗的志岳、任佑、裕元、耀毅，若沒有你們犧牲自己的休息時間來幫我，單憑我一人之力，恐無法完成這項研究。而在我的工作崗位上，感謝張國恩校長、仕偉、尚賢、珈菱、珮慈、金珮等老師的鼎力相助，得以減輕我在教學工作上的壓力及負擔。

再者，我要感謝我親愛的家人，在我進修的期間，除了在精神上支持我外，在有時遇到忙碌而無法照顧孩子的時侯，你們總是不辭勞苦的幫我看顧他們，讓我能安心並全心全力的完成我的學業。

最後，我要感謝我最堅強的後盾-摯愛的老婆佳娥，謝謝妳這幾年來無怨無悔的支持與體諒，沒有妳的鼓勵，沒有你的包容，我達不到今日的目標。我知道這些年來妳相當辛苦，謝謝你在我進修期間幫忙家中的一切大小事務，讓我好不容易能走到人生的另一階段。

謹將本論文獻給所有關心我、幫助我的人，再次獻上我最真誠的謝意。

薛尹彰 謹誌於
國立台灣師範大學體育學系研究所
中華民國一〇四年六月三十日

目　次

表　次

圖　次

第壹章　緒論

第一節　研究背景

羽球運動是亞洲最受歡迎也是國內相當興盛的運動項目之一，但它也是一項具有高度對抗性的運動，其競賽的主要特徵為攻守節奏快，以國際單打賽為例，每拍來回的平均時間約為 0.92~1.18 秒，每回合平均時間為 8 秒；在戰術的使用上，男單以下壓進攻為主，而女單則因體力和速度上的考量，主要以守中待攻為主(涂國誠，2007a)。因此，為了要因應在極短時間下來回攻防，並兼顧失誤率及穩定性的比賽條件，現今羽球技術正朝「技術全面、主動攻擊、攻守均衡、快速致勝」為目標，並強調以「主動、快速、狠準」為羽拺技術之最高指導原則(周財勝、盧正崇，2005)。

而要達到上述快、狠、準的技術，除了要具備擊球瞬間的各種擊球技術外(手法)，首先就要具有準確而快速移動到位的步法，所以步法才是羽球運動最重要的基礎技術（涂國誠，2007b，張博、邵年，2002）。成功的步法則需具備四個部分，即啟動快、移動迅速、到位準確與回動快(俞繼英，2001)。不過在羽球競賽的過程中，其步法的種類及其運用是相當繁複的，但若想要競賽時讓步法的運用更有效率，正確又迅速的啟動是一個相當重要的前提。

根據涂國誠(1999，2007b)及 Tony Grice(2008)對於羽球啟動步法要領的陳述，首先，於中心準備站位時，右腳稍前，兩腳與肩同寬或略寬，身體重心置於兩前腳掌中間，其次，視對手擊球瞬間預先做一原地輕跳啟動，而這個啟動包含了兩個階段(黃貴樹，2007)，一是下蹲跳(counter movement jump, CMJ)的過程，二是深跳(drop jump, DJ)的過程，最後，利用這二個階段來輔助啟動，以造成下肢肌肉的伸張-收縮反覆循環(stretch-shortening cycle, SSC)，再配合對手擊球的方向同時推蹬身體(涂國誠，2007b)，並使得後續的步法能迅速、順暢的實施。

雖然啟動步法的要領有相當多的羽球書籍都有提及(平川卓弘、胡小藝，1995；涂

國誠，2007b；張博、邵年，2002)，但對很多初學者甚至是選手來說，準備或啟動時的下肢發力、輕跳的時間點掌握、重心的變化…等因素，都是造成啟動失利，而導致被動擊球的因素，如何克服這些因素的影響，也是需要我們再深入探討的部分。

第二節　問題背景

從實際的比賽觀察中發現(涂國誠，2007a)，競賽中每拍來回的平均時間約為 1.2 秒，在這短暫的 1.2 秒中，選手若要達到有效的移位、回擊及防守，首先就是要有一個正確又迅速的啟動；若沒有好的啟動，則會增加後續的位移及擊球動作困難度，而使選手處於不利的比賽狀態，由此可知，羽球的啟動是所有羽球技術中最基本、最重要的一環。為了要因應這種快節奏的運動競賽，在羽球的啟動技術上，最重要的就是選手能對於一個特殊刺激(對手的擊球)時，身體能馬上做出改變速度及方向的能力，簡單的來說，這個能力就是「敏捷性」(Sheppard & Young, 2006；Baechle & Earle, 2000)。而影響敏捷性的因素，其包含兩大類，一是認知決策，二是改變方向的速度。在認知決策方面又包含了視覺搜索、預測、判斷和經驗。在改變方向速度方面則包含了技術(步伐的預備位置、身體傾斜及姿勢、步伐加減速的調整)、腿部特性、直線衝刺加速(Young & Farrow, 2006)。

在認知決策的實徵研究中，Chin et al.（1995）針對羽球選手賽場步法移動的敏捷性觀察發現，選手移位慢的主要因素起因較長的反應時間，而且層級較高的選手有較快的反應時間(Loureiro Jr, & Freitas, 2012；Bankosz, Nawara, & Ociepa, 2013)。但影響這些反應及動作時間的因素，有刺激-反應相容性、對刺激的預期、球速…等諸多的因素(林耀豐，1996；Magill, 2007., Owings, Lancianese, Lampe, & Grabiner, 2003)。不過這些實驗均是透過良好的控制變項所得出來的結果。本研究較為好奇的是，若透過較高的生態效度來實驗，在實際的賽場上選手對於不同反應相容性的球路、球速下，他們的反應時間和動作時間是否會和透過較嚴密控制變項實驗所得出來的結果相同？若可瞭解這些因素在實際比賽中對反應時間和動作時間的影響程度如何？便可在訓練上做更實際的設計及應用。

在啟動改變方向速度上，目前我們了解到的要件，除了涂國誠 (2007b)、黃貴樹 (2007) 提出利用下肢肌群 SSC 的作用來增加啟動的速度外，還有步伐的預備位置、姿勢 (Young & Farrow, 2006)、下肢勁度 (leg stiffness)及下肢推蹬的運用。要有效率的利用 SSC 機制，就必需有三個基本的條件，一是在肌肉離心收縮期前，肌肉預先激發(preactivation)的時機；二是短而快的離心收縮期；三是肌肉伸張期(離心期)和收縮期(向心期)的快速傳遞(Komi，2008)，所以輕跳的時間點、快速的離心動作很重要。而在預備位置及姿勢上，好的預備能使重心達到最快速及有利的移動，在啟動前的準備動作是否會因球路的不同或是因前線索的判斷(Williams, Ward, Knowles & Smeeton, 2002)而有所對應？最後是在下肢的推蹬運用上，增大的下肢勁度，有利於動作速度的表現(Arampatzis et al., 1999)，翁梓林(2000) 在短距離起跑一文中，提及後腳的推蹬力量較容易傳遞身體向前的水平力量，網球的開跳步中(split step)亦有提及主要推蹬腳的運用。但羽球啟動時的方向結合了上述兩種運動的移動特性，除了前後外，尚有左右方向，要如何推蹬來使身體達到最快速的水平移動，是目前尚待探討的一個問題。

目前針對羽球運動的下肢研究中，生物力學方面有 Tsia, Yang, Lin, Hung, & Chang (2006) 對羽球殺球動作的下肢肌電參數做分析；Kuntze, Mansfield, & Sellers, (2010)對三種不同的弓箭步法做力學分析；施榮展、翁梓林、林武城、邱鈺烘 (2005) 針對羽球選手上網步法的最後一步跨步動作做探討以及黃貴樹 (2007)對羽球啟動步法所做的研究。傷害方面，則發現羽球傷害多集中於下肢，尤其是膝和踝的部分，且傷害的成因以過度使用、拉傷、扭傷比例最高(Shariff, George, & Ramlan,2009; Martin, 2009; 劉于詮，2008)，傷害發生最頻繁的關鍵時刻多為輕跳著地後，連接後續動作的時間點(許太彥，2003)，再加上快速變換方向的情形，常常造成下肢關節的額外負荷，而形成非碰撞性的的關節傷害(Besier, Lloyd, Ackland, & Cochrane, 2001a; Besier, Lloyd, Ackland, & Cochrane, 2001b)。在這些研究中，多數是針對步法中制動、回動的分析及傷害的部分來做探討。在啟動步法的部分，只有黃貴樹(2007)的研究，但可惜的是該研究只針對前場啟動的部分來探討，且在實驗的情境設計上，選手是依訊號燈指示的方式模擬啟動，所以在生態的效度上稍嫌薄弱，若是以更接近實際比賽的情境測驗，參數的表現上是否

會因此而不同，亦是值得驗証的部分。

總結上述，羽球選手啟動步法是羽球技術中相當重要的一環，但在目前的研究結果裡，對於羽球啟動步法技術的探討，僅限於教學書籍上的陳述，而一些關鍵性的要點，如啟動前的準備動作、選手實際的反應時間，下肢推蹬的運用…等問題，仍缺乏科學上的印證及討論，倘若我們可釐清這些問題對選手的影響，相信對於羽球在動作技術、訓練的方法上，都可提供不少的參考資料，以提升訓練的成效。

第三節　研究目的

一、 探討不同擊球位置的啟動，受試者在前啟動期雙腳最大地面反作用力的大小、出現時間及重心變化上的差異。

二、 探討不同擊球位置的啟動，受試者在啟動的輕跳時機、輕跳動作型態上的差異。

三、 探討不同擊球位置的啟動在動作期間，受試者在下肢勁度，左右腳最大地面反作用力出現的值與時間、推蹬腳最大水平推蹬力及下肢各關節作正功比例的差異。

四、探討不同擊球位置的啟動，受試者在反應時間及整體反應時間上的差異。

第四節　研究假設

一、受試者在啟動前期，會因不同的啟動方向，而有不同的最大地面反作用力值、出現時間及重心變化。

二、受試者在不同球路的啟動，啟動步法的輕跳時機及重心變化有差異。

三、受試者在不同球路的啟動下，啟動步法的下肢勁度、左、右腳的發力情形及下肢各關節作功的比例有差異。

四、受試者在不同球路的啟動下，反應時間及整體反應時間有差異。

第五節　名詞操作性定義

(一) 前場：從球網前 0.5m 至發球線後 0.5m 之間的區域，稱做前場(圖 1-1)。

(二) 中場：從前發球線後 0.5 m 到雙打後發球線前 0.5m 之間的區域，稱做中場(圖 1-1)。

(三) 後場：從雙打後發球線前 0.5m 到底線之間的區域稱做後場(圖 1-1)。

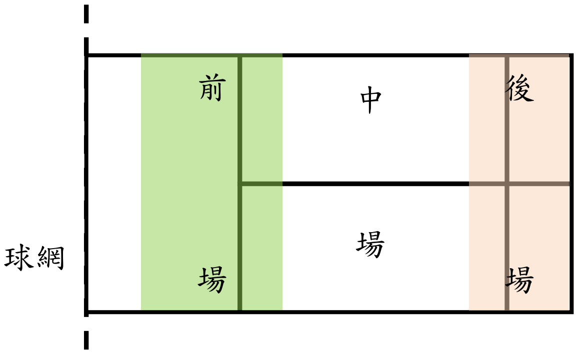


圖 1- 1 羽球場地區域圖

(四) 前場上網啟動步法：

圖 1-2 為右前場上網步法，動作為輕跳著地後，左腳先朝擊球方向墊步，接著右腳再跨步擊球的啟動步法，。

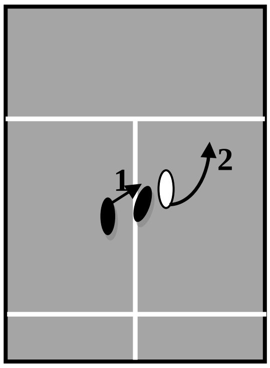


圖 1- 2 右前場上網步法

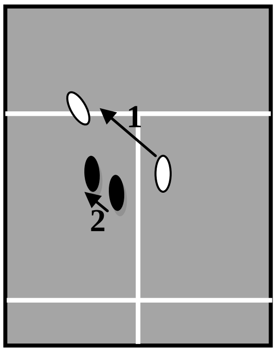


圖 1- 3 左前場上網步法

圖 1-3 為左前場上網步法, 動作為輕跳著地後，轉身並以右腳朝擊球方向跨步的啟動步法。

(五) 中場兩側啟動步法

圖 1-4 為右中場側移步法，動作為輕跳著地後，先以左腳朝擊球方向墊步，再以右腳跨步擊球的啟動步法。

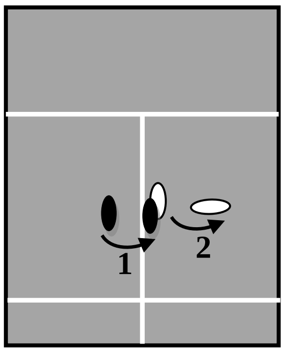


圖 1- 4 右中場側移步法

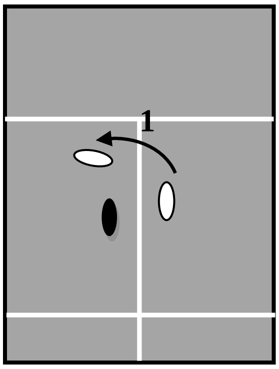


圖 1-5 為左中場側移步法；動作為輕跳著地後，轉身並先以右腳朝擊球方向跨步的啟動步法。

圖 1- 5 左中場側移步法

(六) 後場退後啟動步法

圖 1-6 為右後場後退步法，動作為輕跳著地後，先以左腳朝擊球方向墊步，右腳再跨步的啟動步法。

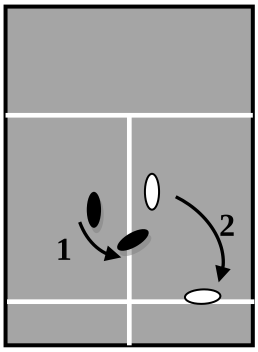


圖 1- 6 右後場後退步法

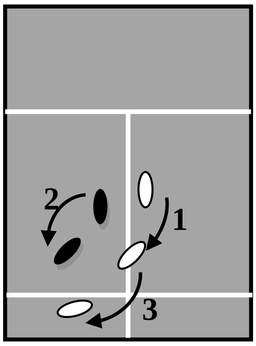


圖 1-7 為左後場後退步法，動作為輕跳著地後，先以右腳朝擊球方向轉跨第一步的啟動步法，擊球方式是以正拍繞頭方式來擊球。

圖 1- 7 左後場後退步法

(七) 推蹬腳：啟動輕跳著地後，在啟動期中，有較大的平均地面反作用力及最大地面反作用力的作用腳，稱之為推蹬腳。

(八) 跨步腳：啟動輕跳著地後，先跨出步法的腳，稱之為跨步腳。

(十一)整體反應時間：餵球者擊球瞬間到受試者啟動跨出第一步離地瞬間所需的時間。

(十二)反應時間：餵球者擊球瞬間，到推蹬腳主動發力有最大地面反作用力出現的時間。

(十三)下肢勁度：輕跳著地後，兩個力板垂直地面反作用力的最大合力值(公式 1)，除以從著地瞬間到兩個力板產生垂直地面反作用力出現最大合力時的重心位移量(公式 2)。

$$GRF_{Zmax} = F_{1z} + F_{2z} \quad \cdots\cdots \ (1)$$

$$\Delta Z = \text{重心高度}_{(\text{著地瞬間})} - \text{重心高度}_{GRF\,max} \quad \cdots\cdots \ (2)$$

$$K_{stiffness} = GRF_{max} / \Delta Z$$

註： F_{1z}：第一塊力的板垂直地面反作用力。

F_{2z}：第二塊力的板垂直地面反作用力。

GRF_{Zmax}：兩個力板垂直地面反作用力的最大合力值。

(十四)關節貢獻度(joint contribution)：下肢各關節，在啟動期的所做的總正功(positive work)，也就是總產能，占下肢三個關節總產能之和的百分比 (L. F. Teixeira -Salmela et al., 2008)。

$$W_{Limb}^{positive} = W_{hip}^{positive} + W_{knee}^{positive} + W_{ankle}^{positive}$$

$$\mathrm{Cont}_{joint}^{positive} = W_{joint}^{positive} / W_{Limb}^{positive}$$

註： $W_{joint}^{positive}$ ：關節總產能 ；$W_{Limb}^{positive}$ ： 下肢總產能

$Cont_{joint}^{positive}$ ：關節相對於下肢產能的貢獻度

第六節　研究範圍

本研究主要探討選手在隨機的情形下，左左前場、右前場、左中場、右中場、左後場、右後場的六個擊球位置啟動步力學參數的比較，其包含了選手的動作時機、反應時間，下肢各關節的運動學、動力學分析。動作擷取的範圍如圖 1-9，從受試發球，即警告訊號開始，至餵球者擊球瞬間的階段定義為反應前期，主要探討受試者重心變化及雙腳在地面反作用力上的分配情形。餵球者擊球瞬間到推蹬腳出現最大地面反作用力時為反應時間，到跨步腳離地瞬間，為整體反應時間。而啟動的動作分期如下：從重心開始下降到雙腳離地瞬間為前啟動期；雙腳離地到著地瞬間為離地期；著地瞬間到跨步腳離地瞬間為動作期。

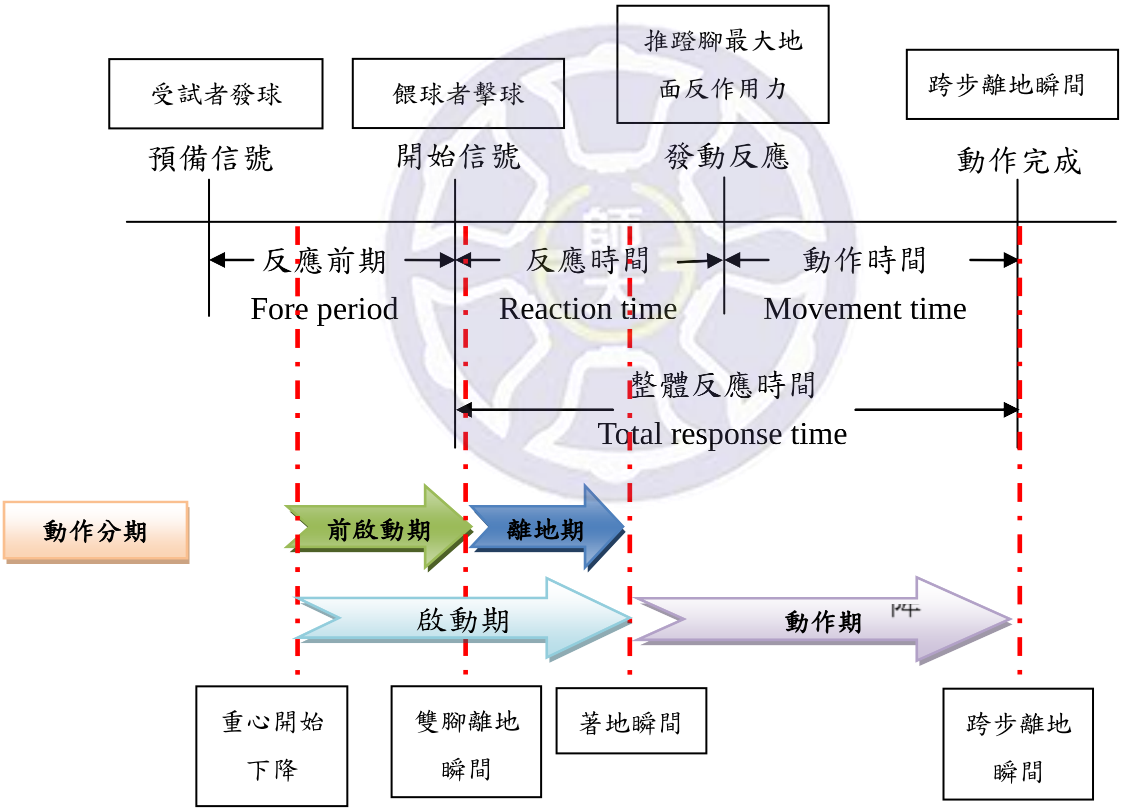


圖 1-8 動作分析範圍圖

第七節　研究限制

本實驗是以規定的步法啟動擊球，選手使用的步法可能和其在真實比賽時有所差異。最後是餵球者的位置，為減少餵球時，對於左右兩側因球飛行距離所造成的變異，所以餵球的位置是在球場後場的中央，而非一般比賽中較常出現的後場兩側。

第貳章　文獻探討

本章主要是探討於本實驗羽球啟動步中想探討議題的相關文獻，就此主要分成四部分來討論，茲分別敘述如下：

第一節、反應時間

第二節、啟動步的運用

第三節、牽張-收縮循環與下肢勁度

第四節、羽球下肢傷害及步法的相關研究

第一節　反應時間

反應時間(reaction time)和決策效果是技能表現的重要測量方法(林清和，1996)，在節奏快速的羽球競賽中，若有較快的反應時間，不但可使選手提早啟動，亦可使步法在下肢 SSC 的作用上更加流暢，而增加蹬出的速度及力量，達到先發制於人的效果，所以反應時間對於羽球啟動步法上有絕對的影響。而關於這個議題，本節主要分為二個部分來做探討：(1)針對反應時間的相關理論(訊息處理模式及反應間)來做探討；(2)影響反應時間的因素及運動上反應時間的相關研究。

(一) 反應時間的相關理論：

林清和(1996)說明 Schmidt 以運動控制的觀點解釋個體在刺激和反應間，訊息處理的過程(訊息處理模式)，其包含三階段(如圖 2-1)：

1．刺激確認：利用感官系統接收來自環境中的訊息，而本階段又包含了刺激偵測歷程：即環境中刺激傳入個體後，必須由感管刺激轉換成神經衝動，傳至大腦形成知覺的認知歷程。型態辨認歷程：即個體利用有關此型態的過去知識與經驗等兩個條件來辨認訊息的型態是什麼？

2．反應選擇：根據刺激確認階段所提供的外在環境刺激，及記憶中的經驗做為參考值，再決定引發何種反應。

3．反應程式：選擇完適當的反應後，先在腦幹和脊椎組成一個運動系統，即從長

期記憶庫中提取並組織一個運動程式(Henry-Rogers 的記憶鼓理論、Adams 的閉鎖環理論、Schmidt 的基模理論、Medin 和 Schaffer 的特殊範本模式)，來引導肌肉做有順序及適當的收縮，以完成最佳動作表現。

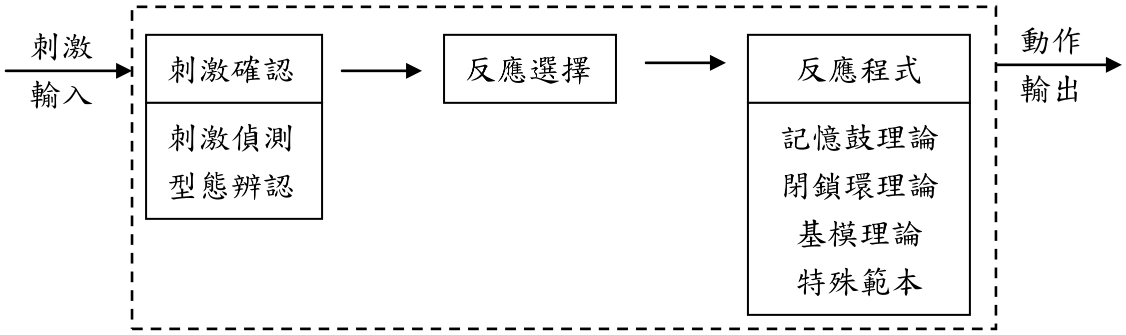


圖 2- 1 Schmidt 訊息處理的三階段模式(摘自運動學習程學，林清和，1996)

人體對於訊號刺激反應的過程就如圖 2-2，警告信號為一預備訊號，來提醒並增加受試者的注意力；接著為開始信號，即刺激開始；從開始信號到身體開始發動反應的時間即為反應時間；但從動作開始到動作完成則稱之為動作時間。而整體的反應時間為信號開始到動作完成的時間，也就是反應時間和動作時間的加總。參考胡名霞 (2006)動作控制與學習一書中提到，一般來說，簡單的「刺激-反應」的實驗中的反應時間約在 160~212 毫秒；若是刺激和反應不只一種時，反應時間就隨著刺激-反應的配對數目而增加，這也就要根據亥可定律(Hick`s Law)來解釋。不過若刺激和反應配對自然的狀態下，其反應時間約莫 220 毫秒，不符合亥可定律。但若刺激和反應配對不自然，則反應時間就會符合亥可定律。

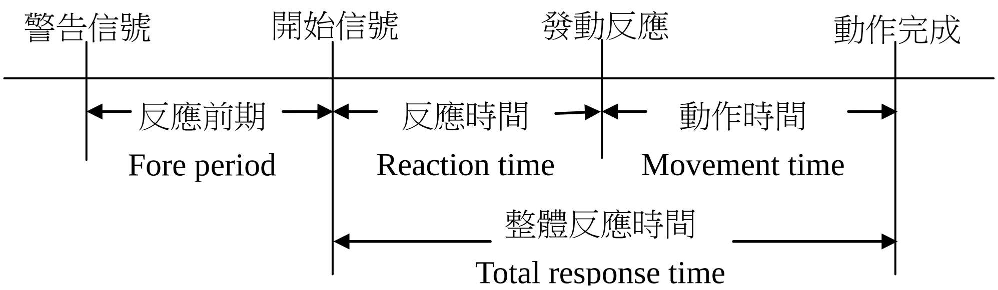


圖 2- 2 反應時間圖 (摘自運動學習程學，林清和，1996)

(二) 反應時間影響因素

除了上述的刺激-反應配對數目外，會影響反應時間的因素還有那些呢？根據 Magill (2007)及林淑親、林耀豐(2007) 綜評性研究中均提到不少因素，而林淑親和林耀豐並詳細的將影響反應時間的因素主要分為三類：

1. 測試執行前個體因素：其包含目標形式、預期、訓練、測試項目練習量熱身、喚醒水準、劇烈運動及疲勞
2. 實驗設計影響因素：其包含反應選擇數目、反應相容性、反應複雜性、反應前期、刺激形式、不同反應部位
3. 實驗參與者生理因素：其包含遺傳、年齡、性別、攝取營養、疾病

雖然影響反應時間的因素很多，但很多因素是在實驗室中嚴密的控制變因下所探討出來的。若在實際的運動的表現上，那些是影響反應時間的主要因素呢？

首先是「選手技術程度」差別的因素， Hua Jin et. al.(2011)曾利用腦波針對不同層級的選手來測驗，發現到預期和選手的專精程度有密切關聯，不過對選手的技術程度對於簡單反應時間及反應時間上的研究，並無一致性的結果，雖然在大部分的研究中，仍是級別較高的選手有較快的反應時間(Mori, Ohtani & Imanaka, 2002；Loureiro Jr, & Freitas, 2012；Bankosz, Nawara, & Ociepa, 2013)，但還是有些研究有相反的結果，而這可能和受試者程度間的差異大小(黃昊昀 等，2010)，還有測驗反應時間的項目是否和所從事運動的關聯性有關，例如：洪聰敏與豐東洋 (2003)，利用事件關連電位 (event-related potential, ERP)，探討運動員和非運動員在區辨反應業和 strop 反應作業下的反應時間和反應正確率，表現均無顯著差異， 其結論會造成此結果是因這個刺激型態對二組受試者均是新奇且陌生的經驗，運動員不具「運動特殊性」，故造成二組的表現無差異。其次是在選擇反應時間及反應正確率上的結果，級別高的選手則有較快的選擇反應的時間；但在反應正確率上確無一致性的結果 (Mori et. al.,2002 ; Williams, Ward, Knowles, & Smeeton，2002)。在動作時間方面，黃昊昀 等(2010)對空手道國家隊和甲組選手的研究中發現，二個級別的選手在只在動作時間上達到差異，但 Loureiro Jr 與 Freitas (2012)，針對國家隊羽球選手和次級的羽球選手以慣用手觸擊目標 (target pointing task) 的方式

所測，二個級別的選手在動作時間上，並無差異，所以在動作時間上呈現不一致的結果。不過這兩個研究在測量動作時間的部分，因動作的範圍差異甚大，是不是因為動作範圍差異，而造成其動作時間上的結果不同，仍需進一步的探討。由上述的討論，可發現反應時間，反應正確率及動作時間，在不同層級的選手比較中，會受到測量方式、選手程度及測量動作範圍的大小而產生不同的結果。

其次是「刺激-反應相容性」，根據文獻，部分實驗結果為有相容性的刺激而有較快的反應時間(蘇韋丞、林耀豐，2006；Brown, Delong, Brown, & Reld, 1995)，但在另一部分的研究(林耀豐、林清和，1996；詹建人，2013)，卻呈現不一樣的結果。在反應時間的定義中，，蘇韋丞與林耀豐(2006)是以發球者發球瞬間至受試者腳離開接發球瞬間來定義；林耀豐與林清和 (1996)是用發球者擊球瞬間到受試者腳離地瞬間來定義反應時間；。測量反應時間的方式有兩組是以手部的動作來定義，即 Brown 等(1995)是利用電腦游標接球的測試方式來定義，而詹建人是以測量手部三角肌的肌電(EMG)變化來測量反應時間。其他兩組則是以腳部離地方式測量，但所得的結果卻都不相同，所以在刺激-反應相容對於反應時間的影響上尚未有一個明確性的結果。在動作反應時間及整體反應時間上，大部分的文獻顯示在反應相容的變項上是無顯著差異的，只有在林清和與林耀豐(1996)有差異，這可能是因為這個實驗所設定移動的距離較遠(2.745 公尺)，在移動的過程中身體的動作變異較大，例如向左跑是否比向右多了轉身起步的動作，選手的習慣…等，所以在動作反應時間上是否受到這些因素的影響，仍需做進一步的探討。

最後是「球速」的部分，而這個變項在研究中的結果均呈現一致性的結果(劉鎮國，2001；Owings, Lancianese, Lampe, & Grabiner, 2003；Tu, Lin, & chin, 2010)，即球速越快，則反應時間和動作時間則會越快。

由上述文獻可發現在運動的測驗項目中，較高級別的選手，可能會有較佳的反應時間、選擇反應時間或動作反應時間，不過仍會受到測量方式、選手程度及測量動作範圍的大小影響。刺激-反應相容性在反應時間影響上並無一致性的結果，但在動作反應時間及整體反應時間上，大部分的文獻顯示是無顯著差異的。而球速對反應時間及動作時間的影響是有一致性的結果，即球速越快，動作及反應時間越快。

第二節　啟動步的運用

啟動步在網球運動上的研究已行之有年，但在球速及比賽節奏更勝網球的羽球，仍相當缺乏科學的研究，目前在網球的啟動步的研究中，主要在探討啟動時的輕跳的時機、落地的時機，有無輕跳對反應時間、啟動速度的影響，還有下肢發力情形等方面來著墨，以下依序討論。

在輕跳的時機，Uzu, Shiny, 與 Oda (2009)利用燈號指示方向，在亮燈時機確定但方向不確定的情況下(know when not where)，測驗選手在何時起跳，Uzu 等(2009) 發現輕跳的時機是在方向指示指亮後 28 ± 134 ms 跳起，因標準差大於平均值，所以表示有些受試者是在燈亮前就起跳，起跳後重心上升的高度為 0.09 ± 0.05 m，著地時間為方向燈亮後 180 ± 89 ms，比 Nieminen, Piirainen, Salmi 與 Vesa Linnamo (2014)以類似方法所測得的時間 208 ± 96ms 稍短。不過兩篇文獻皆提出，在有輕跳的情形下，對於啟動的速度有所助益。

在反應時間方面，Uzu 等(2009) 發現其反應時間為方向訊號開始後 224 ± 73 ms。但在對於反應的正確率方面，Uzu 等.(2009)及 Nieminen 等 (2014)皆提出，著地的時機是一個關鍵，在 Uzu 等(2009)的實驗中發現，輕跳後較早的著地時機，啟動快但是失誤率偏高(7.8%)，原因是判斷的時間不足，而造成著地時受試者的重心放在錯誤的腳上而造成的；在適當的時機著地，判斷的時間充足，則失誤率低(0.8 %)，啟動時機中等；若太晚著地，啟動時機慢，失誤率約為 1.1%。所以在最好的損益比(risk-benefit ratio)的情況下，Uzu 等(2009)和 Nieminen 等(2014)建議著地時機是在方向訊號發出後 180 ms~200 ms 為最佳。

最後是在下肢的發力情形，如同百米賽跑的啟動推蹬，翁梓林 (2000)在短距離起跑一文中，提及後腳的推蹬力量較容易傳遞身體向前的水平力量。在網球開跳步的研究中(Uzu et al., 2009；Marko et al., 2014)，發現開跳後的啟動推蹬，兩腳間的壓力中心(centre of pressure, COP)，會在跨步腳離地前，移至推蹬腳，即目標方向的反側腳。而 Tateuchi et al. (2006) 在側向移動的步法研究中，亦發現同樣的情形，即壓力中心(COP)會在前導

腳 (leading leg)離地前，移至支撐腳(support leg)，即移動方向的反側腳。

由上述的文獻討論指出，輕跳後的落地時機會影響啟動方向的判斷，重心擺放的位置，是啟動的重要因素，不過本實驗的設計是由選手餵球，不同於文獻中時機確定但方向不確定的狀況，所以在情境不同下，起跳時機，落地時機是否有所不同？其次在推蹬時，壓力中心的移動，也顯示了主要推蹬腳會為目標方向的反側腳。但羽球的步法相對於網球又較為複雜，所以在推蹬時，推蹬腳是否會和網球的相同，仍有待研究。

第三節　牽張-收縮循環和下肢勁度

SSC 的機制運用(Komi,1992)能增加運動表現。而羽球的啟動步法中，也利用這樣的機制(涂國誠，2007；黃貴樹，2007)來增加啟動的速度，除了 SSC 外，下肢勁度(stiffness)也是另一項影響運動表現的因素。而本節主要在探討 SSC 作用的機制及動作特性，及下肢勁度對運動表現的影響：

一、SSC 的機制

SSC 之所以會有效使力量增加，造成較大的爆發力的機制，主要是肌肉在機械性質的表現上，彈性位能的儲存及釋放，及神經肌肉牽張反射共同作用(komi,2006)的結果，其作用方式詳述如下：

(一)物理(機械)機制

根據 Hill (1970)所提出的肌肉模型，其將肌肉分為串聯彈性成分(series elastic element , SEE)，即肌肉中的肌腱部分；並聯彈性成分 (parallel elastic element , PEE)，即肌肉中的肌外衣、肌束衣、肌內衣及肌纖維膜等；收縮成分(contractile element , CE)，即肌肉中的肌動蛋白、肌凝蛋白和橫橋的部分。而 SSC 在此機制下作用的解釋為，在離心收縮期時，肌肉和肌腱被拉長，這時 SEE 就如同彈簧一般，開始儲存彈性位能，並在向心收縮期釋放出此位能來增加肌肉收縮的力量(Finni, Ikegawa, Lepola, & Komi, 2003；David, Potach, & Donald, 2000)，不過若伸展與收縮的時間若太長(超過 500ms)，則儲存的彈性位能將會轉換成熱能而消失(Viitasalo & Bosco, 1982)。

(二)神經生理的機制

即生理上的牽張反射(Baechle & Earle, 2000)，肌纖維中的肌梭被快速的伸展時，肌梭會將衝動經 Ia 神經纖維傳入脊髓，再經 α-運動神經元傳出，使該肌纖維進行收縮以保護肌肉，使其避運過度伸展。而此反射機制再結合肌肉自主收縮的力量，就會增加力量的產生。不過若伸展後沒有緊接作出向心收縮，則此種反射的強化作用則會無效。

二、SSC 動作階段 (Baechle & Earle, 2000)：

(一)離心收縮期：此期的作用肌處於前負荷(preloading)狀態，被動伸展時彈性位能開始儲存於肌肉中，且肌肉中的肌梭也因受到伸展的刺激，而將刺激訊號由 Ia 纖維送至脊髓。

(二)過渡(緩衝)期：肌肉離心至向心收縮的轉換期，時間為離心收縮的結束至向心收縮動作的開始，Ia 向心神經衝動傳至脊椎腹根與 α 運動神經元接合，再由 α 運動神經元將訊號至主動肌群。此階段是產生較大爆發力的關鍵所在，這段期間必須短暫，若緩衝時間太久，離心收縮儲存的能量則以熱階段的力量，的方式散失。

(三)向心收縮期： 儲存在串聯彈性質中的彈性能釋放，增加向心收縮的力量使之超過單獨作向心收縮時所產生的力量，再者運動神經元刺激主動肌群，引起反射性的向心收縮。

三、SSC 的類型

Schmidtbleicher (1986)根據作用時間，提出了兩種類型的 SSC ：

(一)長 SSC：支撐時間長於 250ms 的動作，如排球的攔網起跳動作，其特色是下肢關節的角度變化大。

(二)短 SSC：支撐時間約在 100ms~250ms 之間的動作，如短距離衝次及跳遠起跳的支撐動作，特徵是下肢關節角度變化較小。

四、SSC 在動作運用上的特徵

Mark, Carl, 與 Rajesh(2000)發現牽張-收縮循環中離心期的肌梭向心傳導，有助於肌肉的收縮及神經傳導的同期化(synchronization of the neural drive)。Finni, Ikegawa,與 Komi(2001)發現較大的前負荷(pre-load)和離心動作，反而減少了肌纖維束長度的改變。並提出這可能和能量儲存的機制有關，等長收縮比向心收縮浪費較少的能量，同時讓肌腱可像彈簧一樣儲存彈性能。這表示在肌肉在做向心收縮前，使肌肉受到一個前負荷而形成離心一個離心的動作，能使肌腱在此期儲存彈性位能而使接下來的肌肉有較大的向心收縮。但是前負荷要多大，動作範圍要如何才能有較佳的位能儲存及運

用呢？林政東與陳全壽(2000)，在對於兩種不同牽張幅度深跳練習的研究中發現，淺蹲跳法在離心階段產生較大的肌電振幅，而峰值出現的時間約為著地後 40ms，這一時間正好與單突觸牽張反射的時間相符；同時肌電振幅表示了不同運動單位在去極化階段疊加的結果，因此淺蹲跳法可以在相同時間內徵召較多的運動單位參與工作。另外，Moran 與 Wallance (2007) 也在離心受力大小和膝關節動作範圍對於垂直跳表現增強效果的研究中發現，在 SSC 中，離心期受力增加的情形下，小範圍的關節動作(knee flexion angle:70°)，會促使表現增強的情形更顯著。林政東、劉宇與林謙如 (2001)發現短範圍彈性勁度大於離心彈性勁度及離心彈性勁度大於向心彈性勁度的現象。 淺蹲比深蹲跳法產生較大的短範圍勁度和離心勁度，離心末期力量，顯示淺蹲跳法能夠產生較大彈性能，具有較佳的傳導、儲存和做用彈性能的能力。但林政東與吳國輝(2010)，在研究不同強度深跳動作的表現中發現，在 20cm、40cm、60cm 跳下高度控制下，所跳出的高度是沒有差異的，不過在偶聯發力率是隨跳下高度越高，呈反向發展，所以在前負荷和動作表現的關係上，越大的前負荷不一定有越好的表現。由此可知，要有一個較佳的位能儲存，適當的前負荷，小範圍的而快的關節動作，會造成較佳的位能儲存。

此外， Finni 等(2003) 發現深跳動作的推蹬期中，造成整個肌肉單位(muscle-tendon unit, MTU)高力量及速度的表現的原因，是來自於彈性質(肌腱)的長度快速的改變，而肌腱快速的回彈。並發現在力量-速度關係中，肌纖維在整個收縮期，力量輸出均無超過 Hill 所提出的曲線值。Moran 與 Wallance (2007)也發現過渡時間(transition time) 和表現增強間有很重要的關聯。Ikegawa 與 Komi (2007)，快速的跑動下，會使更多的短潛反射的肌肉活動出現於推蹬期(push off phase)。所以在位能儲存完的利用，動作必需要快，才能配合到肌肉短潛反射的肌肉活動，而造成更大的收縮。

五、下肢勁度和運動表現的關係

除了 SSC 外，Larash 與 Zatsiorsky (1993) 提到勁度是肌肉骨骼系統在發力期有效率運用儲存彈性位能的結果。而勁度越大對於運動表現則有增強的現象，如

Arampatzis et al.(2001a,b)發現，在受試者深跳(drop jump)後的回彈速度越快，則有越大的下肢勁度；Arampatzis, Bruggemann, & Metzler (1999)評估跑步和 Kuitunen 等(2002)針對衝次，都發現在跑動速度越快的情現下，下肢勁度也會跟著增加。羽球的啟動步法是利用 SSC 的機制在啟動前輕跳著地，使下肢獲得一個前負荷，並儲存位能，以利推蹬的動作，勁度則是在推蹬期運用此儲存位能的結果，所以在評估起動步法中，勁度是一個評估 SSC 利用程度的參數。

六、小結：

肌群 SSC 的運用是否恰當，主要在於適當的前負荷大小、小範圍的關節動作以造成較佳的位能儲存。而輕跳後落地的時間和對來球判斷的反應時間是相當重要的關鍵，適當的輕跳及著地時間，可能使肌肉有較適的牽張強度、幅度，而正確判斷來球的反應時間，也可能使肌肉離心至向心收縮的轉換不受干擾，幫助選手順利的啟動擊球。在 SSC 的運用程度上，可利用下肢勁度來判斷，六個不同方向的來球，若要成功的啟動，其下肢勁度大小是否有不同的需求？

第四節　羽球下肢傷害及步法的相關研究

從羽球傷害的調查研究中(Shariff, George, & Ramlan, 2009； Martin, 2009；劉于詮，2008)我們不難發現，羽球的運動傷害的比例以下肢最高(占受傷比例的 43 % ~ 85 %)，而下肢受傷的部位中又以膝和踝最多，傷害的種類主要以扭傷為主，所以我在羽球的步法中，有那些步法是存在著較大的傷害風險呢？所以本節將提出和羽球步法相關或是類似羽球步法的實驗來討論，實驗內容陳述如下：

Besier, Lloyd, Cochrane & Ackland (2001a)，利用高速攝影機(50Hz)和測力板(2000Hz) 來收集在不同角度及步法切入下膝關節受力的情形，切入方式分為：二種角度(左側 30 及 60 度) 側向 (side-step) 切入、右側 60 度交叉步 (crossover) 的切入步和直線跑步四種型態，時間的分期是以力板資料為依據，主要分為體重支撐期 (weight acceptance, WA)，即腳跟著地到力板地面反作用力圖形的第一個波谷。最大推蹬期 (Peak push off, PPO)，即地面反作用力峰值的前後各 10%的期間。最後推蹬期(Final push off, FPO)，即支撐期的最後 15%的時間。 其主要研究結果發現為：(1)內/外翻力矩方面：在 60 度側向切入的測驗項目中，於 WA 和 FPO 階段膝關節所承受的外翻力矩分別為同時期直線跑步所承受內翻力矩的 2 倍及 6 倍。而在交叉步切入的測驗項目中，膝關節在 WA 及 FPO 階段所承受的內翻力矩約為同時期直線跑步的 2 倍。在 PPO 階段，直線跑步和切入的步法均有顯著不同，不過此階段在內/外翻力矩上出現相當大的標準差，是因受試者間的膝關節受力出現了外翻、內翻力矩兩種不同的型態。(2)內/外旋力矩方面：在 WA 階段，側向切入的內旋力矩為直線跑步外旋力矩的 4 倍。在 PPO 階段，2 種側向切入的內旋力矩和交叉步切入的外旋力矩均為直線跑步的 5 倍。

在實驗討論中，作者亦提到在非碰撞的膝韌帶傷害中，膝關節為了要抵抗較大的屈曲受力，其關節肌群會產生較大的伸展力矩，可能會在膝趨近伸直時產生一個脛前剪力，若再加上額外的內/外翻力矩及內/外旋力矩，都會對前十字韌帶及內、外側副韌帶造成不小的負擔。因此，側向切入、交叉步切入動作和直線跑步動作相較下，切入動作有較高的的內/外翻及內/外旋力矩，相對來說膝關節韌帶也承受了較高的傷害風險。

Besier, Lloyd, Cochrane & Ackland (2001b)，測量預期和非預期的在不同角度及切入步法下膝關節受力的情形，發現在非預期的情形下，膝關節的內/外翻力矩和內/外旋力矩約為預期情形下的兩倍。而這些力矩的增加相對的也加重了膝關節韌帶的負擔，特別是在肌群沒有適當的作用的時侯。而作者也建議，若要預防韌帶的傷害，應從(a)改變姿勢調整的技巧； (b)改善反應時間，以爭取在比賽中能有更多的時間來作動作上的調整；(c)視覺線索的利用，以增加準備動作的時間。

Besier, Lloyd, Cochrane & Ackland(2003)，探討預期和非預期的情況下，在不同角度及切入步法下，膝蓋周圍十條肌群(半膜肌、股二頭肌、縫匠肌、闊筋膜張肌、股薄肌、股外側肌、股直肌、內/外側腓腸肌)共同收縮的作用的情形，結果發現，在預期的情況下，中樞神經系統(CNS)改變了在側向及交叉步切入時肌肉作用的型態，而此現像，可從側向切入的測驗中，而膝關節正遭受外翻及內旋力矩時，內側肌群和股二頭肌被發現有明顯的激發，且收縮肌群和伸展肌群亦有共同收縮的情形來印證。在非預期狀態下，推論肌肉的共同收縮是主要穩定膝關節的策略，不過在些情形下，肌肉活化的程度只增加了 10~20%，這不禁令人懷疑，肌肉活化增加的部分，是否足以抵消在切入中膝關節所增加 70%的內/外翻、內/外旋力矩。因此，在非預期的情形下，關節力矩增加的幅度和肌肉共收縮所增加的幅度不符合的現象，可能在非碰撞膝韌帶害的病因學上扮演一個相當重要的角色。

Houck(2003)，探討在三種切入動作(下台階直線跑、下台階側向切入、下台階交叉步切入)下，下肢的股外側肌 (vastus laterails)、內/外側腿後肌群 (medial/lateral hamstring)及內外側腓腸肌 (medial/lateral gastrocnemius) 的活化範圍及情形，以了解其對膝關節在切入動作時所扮演何種動作及角色。其結果發現在切入動作時，膝關節在受到額狀面和橫狀面的外力時，內/外側腿後肌群和內外側腓腸肌群是扮演穩定膝關節的重要角色，不過外側廣肌在這部分是較沒有關聯的。

王智宏、涂國誠、邱宏達 (2007)，記錄羽球選手在前跨步、前大跨步、輕跳前跨與輕跳後退等動作的運動學及動力學參數，並以逆動力學(inverse dynamics)的方式計算阿基里斯腱力，藉此探討傷害發生的原因。結果發現前述四個動作中，最大阿基里斯腱

受力分別為3,920、4,560、4,268、4,160 N，且發生的時間點多在踝關節由背屈轉為蹠屈時。這樣的動作在羽球中是常見的，也因此羽球選手之阿基里斯腱常需承受較大力量，而提高發生傷害的可能性。

Kuntze, Mansfield, 與 Sellers (2010)，研究羽球運動 推蹬式(kick lung)；併入式(step-in lung)；輕跳式(hop lung) 三種弓箭步步法在地面反作用力表現上的五個階段(初始撞擊峰值、第二撞擊峰值、償還期、支撐期、推蹬)，的下肢關節力矩峰值及功率峰值表現。結果發現併入式的弓箭步法，因為非慣用腳在支撐期時會往慣用腳收回，並在推蹬時幫助推蹬，可減少慣用腳肌群在推蹬時的作功，可能可減少肌肉疲勞的產生。此外在輕跳式的步法中，因在推蹬回動前，有一個輕跳的動作，以造成慣用腳的肌群得以利用 SSC (牽張-收縮循環)機制，而增加了回動的速度。

由上述文獻的討論，我們發現，在橫向位移、突然改變行進方向的切入動作或是瞬間制動、啟動的步法，較易產生較大的內/外翻、內/外旋的關節力矩，而這些對於關節組織都會造成較高的傷害風險，而這些步法也都是羽球競賽中經常使用的。

第參章　研究方法步驟

本研究方法共分成九個部份來加以說明：第一節、研究對象；第二節、實驗時間及地點；第三節、實驗儀器與設備；第四節、實驗場地及佈置；第五節、研究架構；第六節、實驗流程；第七節、資料收集；第八節、資料處理；第九節、統計分析。

第一節　研究對象

本研究以八名大專甲組男子羽球選手為受試者，均為右手持拍，並於半年內無下肢骨骼肌肉及神經系統傷害，平均身高：173 ± 3.6 cm，平均體重：68.1 ± 4.67 kg，平均年齡：21 ± 3 歲，平均球齡：10 ± 4 年。

第二節　實驗時間及地點

實驗地點：國立台灣師範大學公館校區體育館。

第三節　實驗儀器及設備

本研究實驗儀器及設備依照：一、資料收集儀器；二、資料處理軟體；三、場地設備

一、資料收集儀器：

(一)Vicon動作分析量測系統：

1. 8架紅外線高速攝影機(Motion Capture System, MX 13+，UK)：擷取頻率為300Hz，收集黏貼於身體肢段的反光球在實驗室座標系統中的軌跡。

2. T-Wand校正棒(390mm)：於運動測量的範圍內，對高速攝影機進行動態校正。

3. L-Frame校正架：於運動測量的範圍內，定義實驗室X、Y、Z座標軸的方向

(二)測力板：

兩塊90×60cm之三維測力板，型號分別為Kistler9287及AMTI5507，擷取頻率為1500Hz；兩台放大器。

(三)Fastec高速攝影機：1架，擷取餵球者的擊球動作及時間，擷取頻率為300Hz.

二、資料處理及分析軟體：

(一)Vicon Nexus 1.8版軟體：光點資料擷取，輸出C3D檔。

(二)Visual 3D 4.0版軟體：運動學參數及逆動力學參數的計算。

(三)HiSpec 1.0.3.1版軟體：高速攝影機專用軟體，擷取餵球者擊球動作。

(四)Kwon3D：球體飛行初速及角度的計算。

(五) SPSS 20版軟體：統計分析。

三、場地設備

羽球柱、羽球網(VICTOR C-7004A)、羽球(VICTOR CHAMPION B-01)

第四節　實驗場地及佈置

研究的場地佈置方式，佈置圖及說明如下：

一、標準羽球場地、球網及球柱佈置(如圖3-2)。

二、測力板緊貼於中線的兩側，並距前發球線1m處，設定擷取頻率為1500Hz。

三、餵球區：於受試者的對面場地，距底線1.2m及中線左右各0.6m的正方形區域。

四、餵球落點區：

切球落點區：距球網0.5m，距左、右單打邊線1m，至前發球線後方0.5m的長方形區城1及2。

殺球落點區：距左、右單打邊線1m，距前發球線後方0.5m，後發球線前方0.5m的長方形區城3及4。

高遠落點區：距左、右單打邊線1m，後發球線前方0.5m至底線的長方形區城5及6。

五、回球落點區：

回擊切球及殺球落點區：長為從球網至前發球線，寬為距單打邊線1m處的長方形A、B 區域。

回擊高遠球的落點區：距左、右單打邊線1m，距前發球線後方0.5m，後發球線

0.5m的長方形區城C及D。

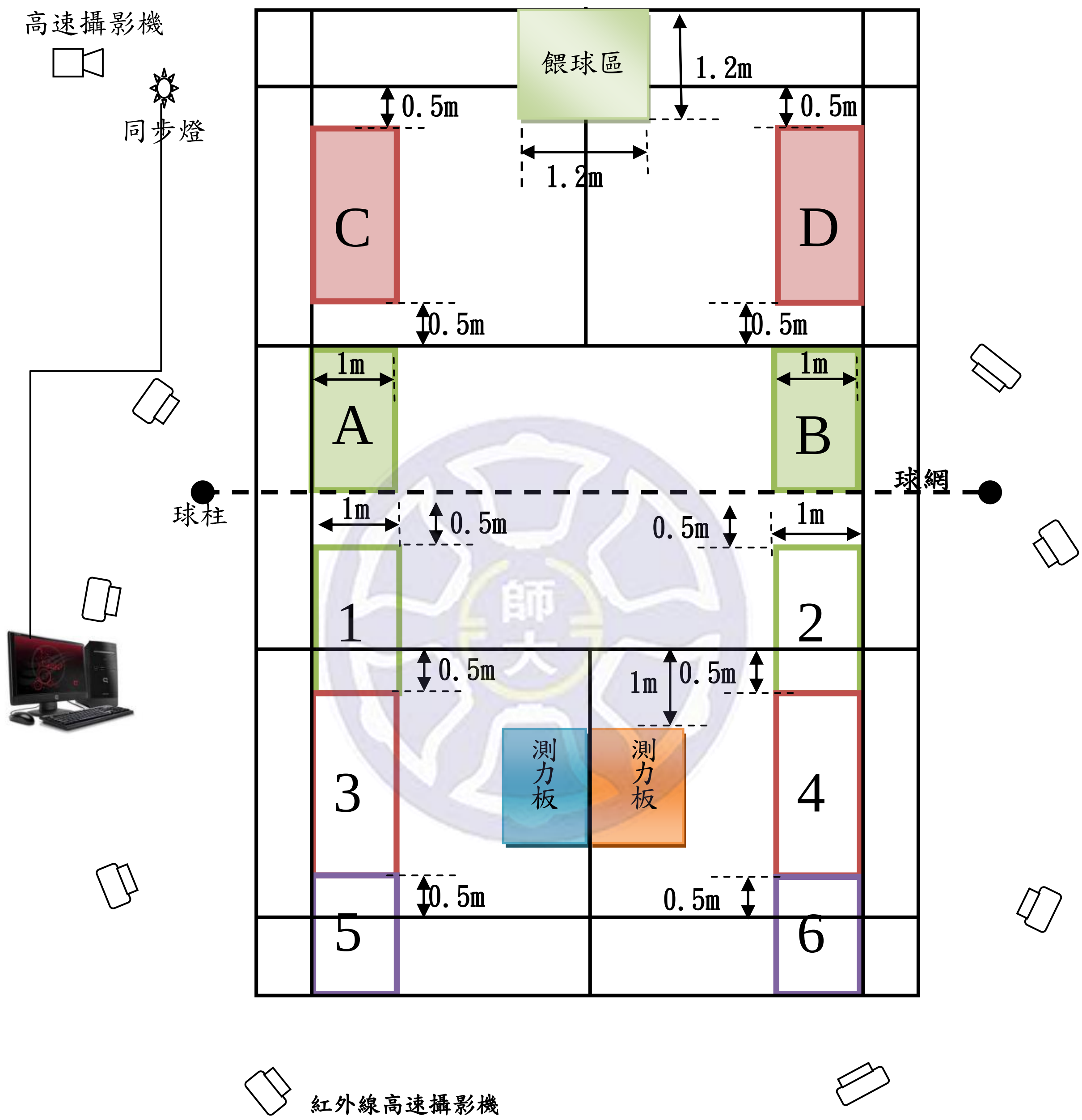


圖 3-1 實驗場地配置圖

第五節　研究架構

本研究比較男子甲組羽球選手於成功擊球的狀態下，在六個方向的啟動步法差異，本研究之架構如上圖所示。

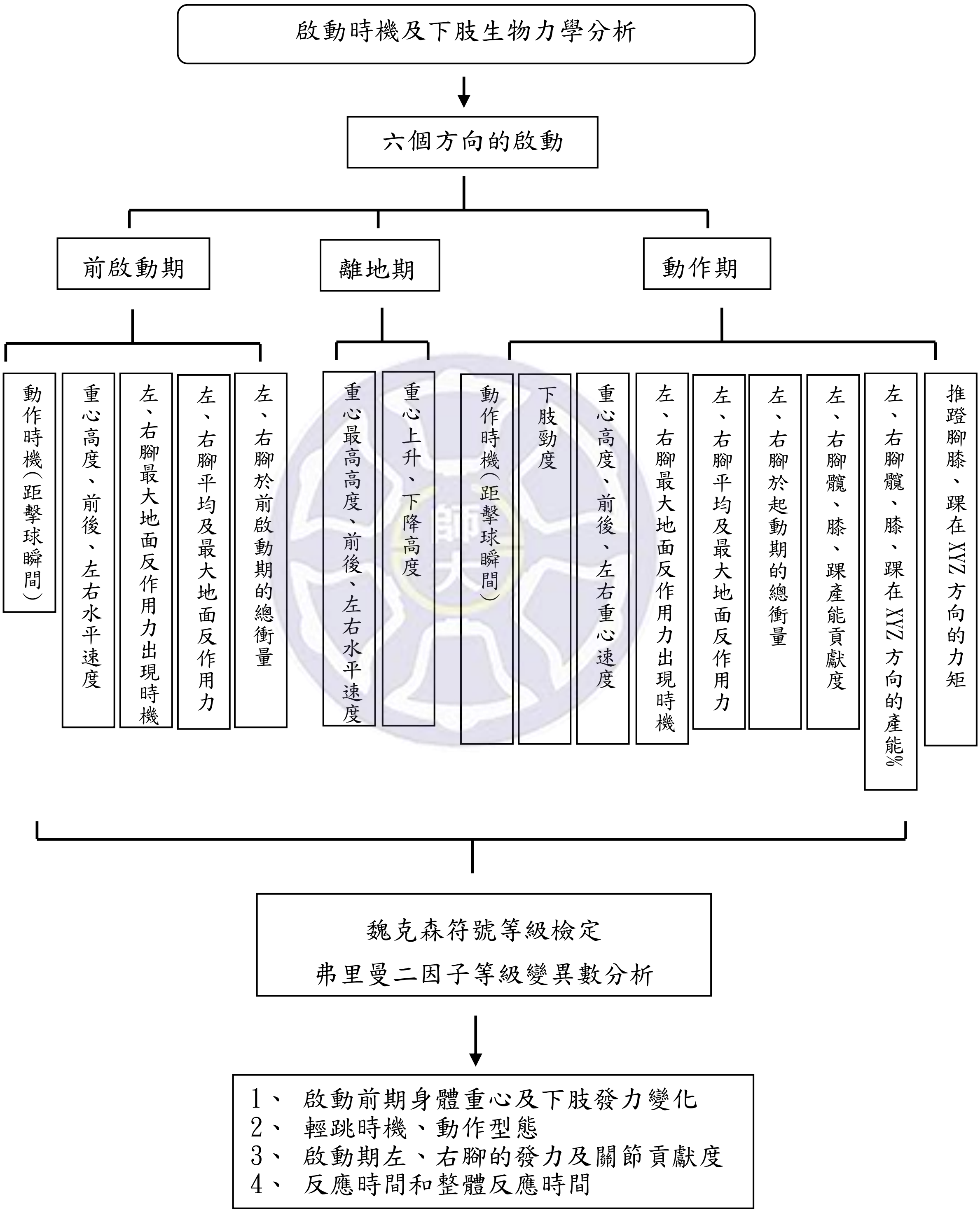


圖 3-2 研究架構圖

第六節　實驗流程

本節主要分為(1)實驗流程(2)餵球者動作要求(3)受試者動作要求，三部分來說明。

一、實驗流程

(一)儀器校正：依場地佈置圖佈置完場地後，先確定儀器同步，接著進行測力板的校正，再以T-Wand校正棒在實驗動作的範圍內揮動，對8台紅外線攝影機進行動態校正，校正誤差值需在0.2mm以下；並以L-Frame定義實驗座標，最後是對2台高速攝影機校正及拍攝比例板。

(二)流程說明：請受試者填寫基本資料表及同意書，並向受試者說明研究內容、拍攝的動作流程、相關注意事項，且告知可隨時退出實驗。

(三) 實驗安全：聘請運動傷害防護員在旁待命，以協助可能發生的運動傷害防護。

(四) 受試者熱身：請受試者著緊身衣褲，並熱身10分鐘。

(五) 身體反光球的黏貼：全身共黏貼51顆反光球(如圖3-3，表3-1所示)

(六) 步法動作練習：先就測試項目進行全場(左前場、右前場、左中場、右中場、左後場、右後場)六個方向的步法的練習。

(七) 靜態姿勢拍攝：自然姿勢、T-pose姿勢、持拍T-pose姿勢

(九) 請受試者於預備位準備，發完球後，針對不同的來球做啟動及回球的動作，而餵球的位置採隨機分配，直到每個位置收集3次成功擊球的動作為止。

二、餵球者動作要求說明：

受試者發完球後，餵球者依標準後場上手擊球動作來擊球，不可做任何的佯攻及時間差的假動作，各種方向的切球、殺球及高遠球，且依擊球技術來分，應儘量保持一致性的球速，各方向的球速如下：反手切球：27±3m/s；正手切球：28±2m/s；反手殺球：59±6m/s；正手殺球：57±5m/s；反手長球：47±5m/s；正手長球：44±2m/s。

三、受試者動作要求說明：

(一)準備動作：

受試者發完球後，雙腳分別各站立於一塊測力板上，雙膝微蹲，持拍於身體前

方，拍頭正對於場中央。

(二)回球動作及位置：

餵球者擊球後，為了確定受試者在回球時是處於主動的狀態，所以受試者需依餵球種類分別回球至指定位置，才算完成一次成功的動作。成功擊球的動作陳述如下：(1) 餵球者擊出左側切球時，受試者需以反拍回擊直線小球至對面場地的A區域；餵球者擊出右側切球時，受試者需以正拍回擊直線小球至對面場地的B區域，擊球時應儘可能的在高點擊球（ 如圖3-1所示)。(2) 餵球者擊出中場殺球時，受試者回擊來球的擊球位置需在站位前面 (若回擊球點超過站立位置，則為失敗擊球) ，左側殺球需以反拍回擋直線小球至對面場地的A；右側殺球需以正拍回擋直線小球至對面場地的B區域（ 如圖3-1所示) 。(3) 餵球者擊出左右後場高遠球時，受試者後腳需超過後發球線前0.5m的位置，左側來球以正拍上手繞頭動作，殺球至對面場地的C區域，右側來球以正拍上手擊球，殺球至對面場地的D區域（ 如圖3-1所示) 。

第七節　資料收集

本研究之資料收集方法及步驟，依序說明如下：

一、運動學資料收集

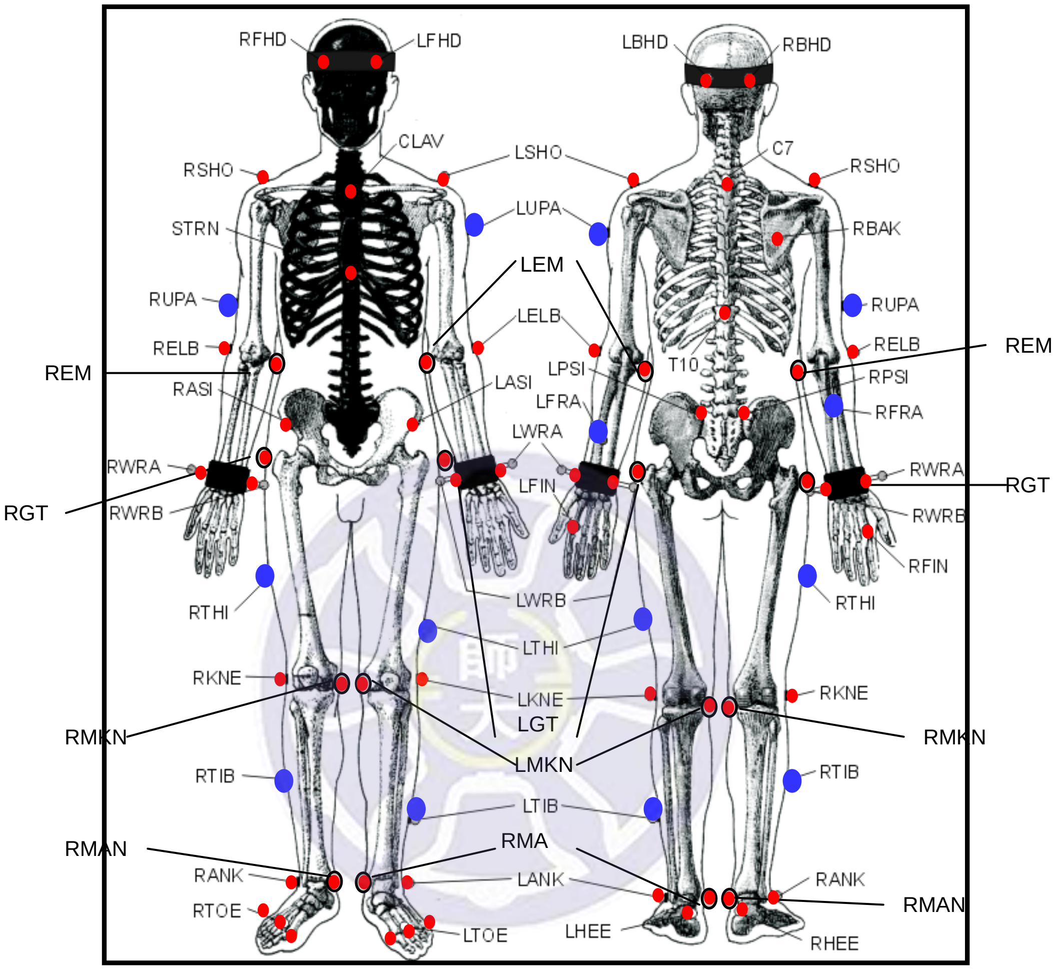


圖 3- 3 反光球黏貼位置圖

實驗中利用8部紅外線攝影機(頻率：300Hz)，配合 Vicon Nexus 1.6 動作擷取軟體，擷取受試者身上各部位反光球資料，身體反光球黏貼位置如圖3-6-1。總共51顆，紅色球表示定義肢段解剖位置的反光球，共43 顆；藍色球表示肢段上用來追蹤關節位置的反光球，共 8 顆。

表 3-1 反光球黏貼位置表

部位	編號	反光球代號	反光球位置	部位	編號	反光球代號	反光球位置
頭部	1	LFHD	頭左前方	右手臂	26	RFRA	右手前臂
	2	RFHD	頭右前方		27	RWRA	右手橈骨前髁
	3	LBHD	頭左後方		28	RWRB	右手尺骨前髁
	4	RBHD	頭右後方		29	RFIN	右中指掌指關節
軀幹	5	C7	頸椎第七節	左腳	30	LTHI	左腳大腿
	6	T10	胸椎第十節		31	LGT	左腿大轉子
	7	CLAV	鎖骨		32	LKNE	左股骨外髁
	8	STRN	胸骨劍突		33	LMKNE	左股骨內髁
	9	RBANK	右肩胛骨		34	LTIB	左腳脛骨
骨盆	10	LASI	左髂前上棘		35	LANK	左踝腓骨外側
	11	RASI	右髂前上棘		36	LMANK	左踝脛骨內側
	12	LPSI	左髂後上棘		37	LHEE	左足足後跟
	13	RPSI	右髂後上棘		38	LTOE	左腳第三蹠趾關節
左手臂	14	LSHO	左手肩峰		39	LTOE1	左腳第一蹠趾關節
	15	LUPA	左手上臂		40	LTOE2	左腳第五蹠趾關節
	16	LELB	左肱骨外上髁	右腳	41	RTHI	右腳大腿
	17	LMELB	左肱骨內上髁		42	RGT	右腿大轉子
	18	LFRA	左手前臂		43	RKNE	右股骨外髁
	19	LWRA	左手橈骨前髁		44	RMKNE	右股骨內髁
	20	LWRB	左手尺骨前髁		45	RTIB	右腳脛骨
	21	LFIN	左中指掌指關節		46	RANK	右踝腓骨外側
右手臂	22	RSHO	右手肩峰		47	RMANK	右踝脛骨內側
	23	RUPA	右手上臂		48	RHEE	右足足後跟
	24	RELB	右肱骨外上髁		49	RTOE	右腳第三蹠趾關節
	25	RMELB	右肱骨內上髁		50	RTOE1	右腳第一蹠趾關節
					51	RTOE2	右腳第五蹠趾關節

二、動力學資料收集

本實驗利用二塊90×60cm^{2}的三維測力板(Kistler9287、AMTI5507)測量，並利用Vicon Nexus 1.6 動作擷取軟體收集地面反作用力的資料，測力板地面反作用力方向定義與實驗室座標定義相同，X方向表示前、後方向的力量，正值表示向後，負值表示向前；Y

方向表示左、右方向的力量，正值表示向右，負值表示向前；Z方向是表示垂直方向的力量，正值表示往上，負值表示往下。

第八節　資料處理

一、　人體肢段建立及定義

(一)骨盆(coda Pelvic model)

1.解剖標記(marker)：L/R ASIS,L/R PSIS

2.骨盆座標原點：(RASIS+LASIS)/2。

3.座標定義：

$$\vec{X}_{pelvic} = \overrightarrow{(RASIS - LASIS)} / \ \| RASIS- ASIS \|$$

$$Q = (RPSIS+LPSIS)/2$$

$$\vec{P} = \overrightarrow{(Q-LASIS)} / \ \| Q- LASIS \|$$

$$\vec{Z}_{(pelvic)} = \vec{P} \times \vec{X}_{(pelvic)}$$

$$\vec{Y}_{(pelvic)} = \vec{Z}_{(pelvic)} \times \vec{X}_{(pelvic)}$$

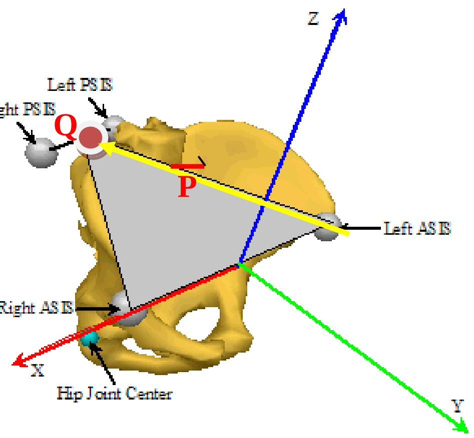


圖 3- 4 骨盆座標圖

4.髖關節中心計算：以骨盆的座標軸為基準，相對於骨盆原點的座標位置為

RHJC=(0.36*ASIS_Distance,-0.19*ASIS_Distance,-0.3*ASIS_Distance)

LHJC=(-0.36*ASIS_Distance,-0.19*ASIS_Distance,-0.3*ASIS_Distance)

(二)大腿

1.解剖標記(marker)：RKNE, RMKNE, RGT

2.大腿座標原點：RHJC 、LHJC。

3.座標定義：

$$\vec{Z}_{(thigh)} = \overrightarrow{(RHJC- RKJC)} / \ \| RHJC- RKJC \|$$

$$\vec{P} = \overrightarrow{(RGT- RKJC)} / \ \| RGT- RKJC \|$$

$$\vec{Y}_{(thigh)} = \vec{Z}_{(thigh)} \times \vec{P}$$ 。

$$\vec{X}_{(thigh)} = \vec{Z}_{(thigh)} \times \vec{Y}_{(thigh)}$$

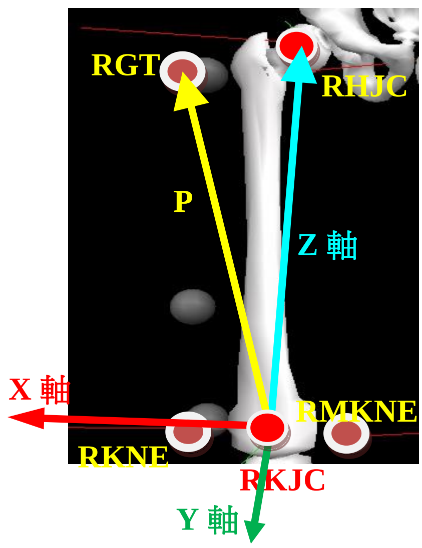


圖 3- 5 大腿座標圖

(三)小腿

1.解剖標記(marker)：RKNE,RMKNE,RANK, RMANK

2.小腿座標原點：RKJC。

3.座標定義：

RAJC = (RANK+RMANK)/2

$\vec{Z}_{(shank)} = \overrightarrow{(RKJC- RAJC)} / \| RKJC- RAJC \|$

$\vec{P} = \overrightarrow{(RKNE- RAJC)} / \| RKNE- RAJC \|$

$\vec{Y}_{(shank)} = \vec{Z}_{(shank)} \times \vec{P}$ 。

$\vec{X}_{(shank)} = \vec{Z}_{(shank)} \times \vec{Y}_{(shank)}$

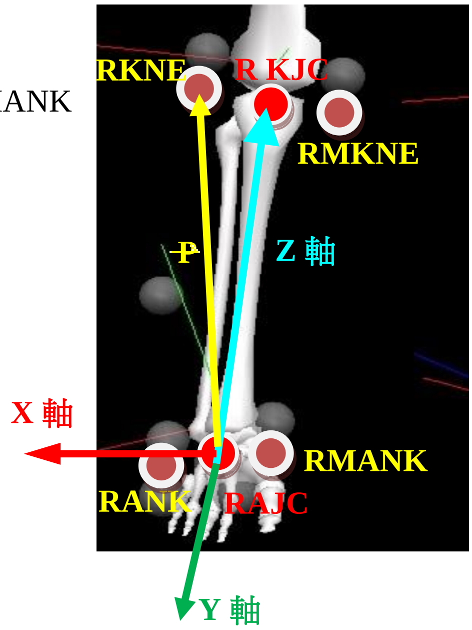


圖 3- 6 小腿座標圖

(四)腳

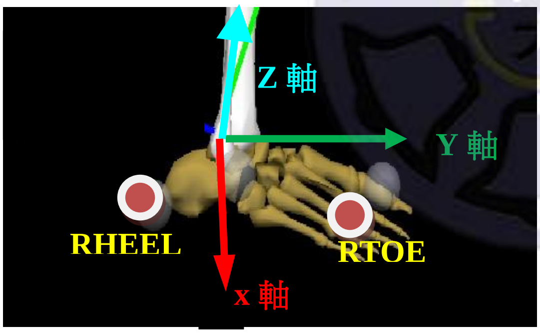


圖 3- 7 腳部座標圖

1.解剖標記(marker)： RTOE, RHEEL

2.小腿座標原點：由上述所陳述的踝關節中心(RAJC)。

3.座標定義

$\vec{Y}_{(foot)} = \overrightarrow{(RTOE-RHEEL)} / \| RTOE-RHEEL \|$

$\vec{Z}_{(foot)} = \vec{X}_{(shank)} \times \vec{Y}_{(foot)}$ 。

$\vec{X}_{(foot)} = \vec{Y}_{(foot)} \times \vec{Z}_{(foot)}$ 。

二、 運動學分析

(一)關節角度計算公式：(Kadaba , 1990)

以卡當角 X-Y-Z 旋轉順序來計算，旋轉的角度分別為 α、β、γ，[Rx]、[Ry] [Rz] 分別為繞浮動座標軸的 X 軸、Y 軸、Z 軸的旋轉矩陣，計算公式如下：

$$[Rx] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix}, [Ry] = \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{pmatrix}, [Rz] = \begin{pmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

[R] = [Rz] [Ry] [Rx]

$$[R] = \begin{pmatrix} \cos\gamma\cos\beta & \cos\gamma\sin\beta\sin\alpha + \sin\gamma\cos\alpha & -\cos\gamma\sin\beta\sin\alpha + \sin\gamma\sin\alpha \\ -\sin\gamma\cos\beta & -\sin\gamma\sin\beta\sin\alpha + \cos\gamma\cos\alpha & \sin\gamma\sin\beta\sin\alpha + \cos\gamma\sin\alpha \\ \sin\beta & -\cos\beta\sin\alpha & \cos\beta\cos\alpha \end{pmatrix}$$

$$[R] = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{pmatrix}$$

最後可求出：$\beta = \text{asin}(R_{31})$ ； $\alpha = \text{asin}(-R_{32} / \cos\beta)$、$\gamma = \text{asin}(-R_{21} / \cos\beta)$

(二)關節角速度計算公式(摘自 Winter , 1990)：

$$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot\theta_x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_x & -s_x \\ 0 & s_x & c_x \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ \dot\theta_y \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_x & -s_x \\ 0 & s_x & c_x \end{bmatrix}\begin{bmatrix} c_y & 0 & s_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_y & 0 & c_y \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot\theta_z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot\theta_x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_x & -s_x \\ 0 & s_x & c_x \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ \dot\theta_y \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_y & 0 & s_y \\ s_x s_y & c_x & -s_x c_y \\ -c_x s_y & s_x & c_x c_y \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot\theta_z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot\theta_x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ c_x\dot\theta_y \\ s_x\dot\theta_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_y\dot\theta_z \\ -s_x c_y\dot\theta_z \\ c_x c_y\dot\theta_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot\theta_x + s_y\dot\theta_z \\ c_x\dot\theta_y - s_x c_y\dot\theta_z \\ s_x\dot\theta_y + c_x c_y\dot\theta_z \end{bmatrix}$$

註：ω_x、 ω_y 、ω_z ：於肢段座標上的角速度

θx、θy、θz ： 尤拉角的微分，$Si = \text{Sin}\theta_i$ $Ci = \text{Cos}\theta_i$

三、　逆動力學分析

(一) 肢段參數建立

引用何維華、李超群、相子元(2004)根據 40 位台灣健康男性所建立的人體肢段參數，肢段重心位置、比重及轉動慣量之值如下表：

表 3-2 肢段之質量百分比、質心百分比及三維解剖軸之轉動慣量

肢段	M(%)	CM(%)	Ix (Kg・m^2)	Iy (Kg・m^2)	Iz (Kg・m^2)
頭頸	8.21 (0.70)	52.69 (1.48)	0.03737 (0.00650)	0.03503 (0.00664)	0.01275 (0.00896)
軀幹	42.28 (1.27)	41.96 (0.95)	1.02343 (0.21021)	1.13547 (0.23554)	0.26262 (0.07804)
上臂	3.25 (0.21)	47.16 (1.14)	0.02221 (0.00361)	0.02073 (0.00327)	0.00344 (0.00108)
前臂	1.36 (0.10)	40.98 (1.27)	0.00511 (0.00107)	0.00518 (0.00108)	0.00063 (0.00021)
手掌	0.54 (0.07)	32.60 (1.78)	0.00083 (0.00023)	0.00073 (0.00019)	0.00025 (0.00011)
大腿	13.50 (0.54)	48.56 (0.86)	0.17602 (0.03456)	0.17307 (0.03272)	0.02841 (0.01715)
小腿	4.63 (0.26)	41.68 (0.68)	0.04066 (0.00780)	0.04094 (0.00806)	0.00415 (0.00173)
腳掌	1.47 (0.12)	47.51 (7.94)	0.00384 (0.00092)	0.00273 (0.00070)	0.00168 (0.00059)

(摘自何維華　等 2004)

(二)關節作用力及力矩的計算方式 (摘自 Robertson et al,2004)

利用已測得的肢段運動學資料，如關節角度、角速度，肢段質心的線加速度，配合由測力板所得的地面反作用力，文獻研究出的人體肢段參數，利用力平衡和力矩平衡的算式，以算出關節作用力及關節力矩。

$$F_p = ma - F_d - F_w \quad \ldots\ldots (1)$$

$$\begin{cases} M_{px} = I_{xx}\alpha_x + (I_{zz}-I_{yy})\omega_{zz}\omega_{yy} - M_{d\,x} + r_{dx}\times F_{dx} + r_{px}\times F_{px} \\ M_{py} = I_{yy}\alpha_y + (I_{xx}-I_{zz})\omega_{xx}\omega_{zz} - M_{d\,y} + r_{dy}\times F_{dy} + r_{py}\times F_{py} \\ M_{pz} = I_{zz}\alpha_z + (I_{yy}-I_{xx})\omega_{yy}\omega_{xx} - M_{d\,z} + r_{dz}\times F_{dz} + r_{pz}\times F_{pz} \end{cases} \quad \ldots\ldots(2)$$

註：m：肢段質量；a：肢段質心的線加速度

F_p：近端關節力量；F_p：遠端關節力量；F_w：肢段所受重力

M_p：遠端關節力矩；r_p：近端關節力臂；r_d：遠端關節力臂

I：肢段質心位置的轉動慣量；α：角加速度；ω：角速度

(三) 關節功率計算：

關節力矩算出後，再和關節角速度相乘，即可求出關節功率，根據 Winter(1990)所提，關節功率為正值時，關節力矩和關節角速度為同方向，這表示肌肉正在做向心收縮產生能量；若關節功率為負值時，關節力矩和關節角速度為反向，這表示肌肉正受到外力在做離心收縮，以吸收能量來減少外力對關節的影響。

關節功率 $=[M_x,M_y,M_z]\ .\ [\omega_x , \omega_y, \omega_z]$

$$=M_x\ \omega_x + My\ \omega_y + M_{z.}\ \omega_z$$

註：M_x 、M_y 、M_z：三軸方向的關節力矩

ω_x 、ω_y、ω_z 肢段的角速度

(四)關節產能貢獻百分比：

關節功率算出後，本研究將左、右腳在啟動期時的髖、膝、踝的正功率分別乘以時間的總合(公式 1)，以求得關節總產能(總作正功量)，再將髖、膝、踝在啟動期間的產能相加，得到肢段的總產能(公式 2)，最後再將各關節的總產能除以肢段總產能，即可看出各關節在啟動期間，對於推蹬產能的貢獻度(公式 3)；。(Teixeira-Salmela, Nadeau, Milot, Gravel, & Requião, 2008)

$$W_{\text{joint}}^{\text{positive}} = \int_{\text{ti}}^{\text{tf}} P\text{dt} \qquad p > 0 \qquad \cdots\cdots\ (1)$$

$$W_{\text{Limb}}^{\text{positive}} = W_{\text{hip}}^{\text{positive}} + W_{\text{knee}}^{\text{positive}} + W_{\text{ankle}}^{\text{positive}} \qquad \cdots\cdots\ (2)$$

$$\left.\begin{aligned} Cont_{\text{hip}}^{\text{positive}} &= W_{\text{hip}}^{\text{positive}} / W_{\text{Limb}}^{\text{positive}} \\ Cont_{\text{knee}}^{\text{positive}} &= W_{\text{knee}}^{\text{positive}} / W_{\text{Limb}}^{\text{positive}} \\ Cont_{\text{ankle}}^{\text{positive}} &= W_{\text{ankle}}^{\text{positive}} / W_{\text{Limb}}^{\text{positive}} \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots\ (3)$$

註：$W_{\text{joint}}^{\text{positive}}$ ：關節總產能 ；P：關節功率 ；$W_{\text{Limb}}^{\text{positive}}$ ： 下肢總產能

$Cont_{joint}^{positive}$ ：關節相對於下肢產能的貢獻度

四、 下肢勁度

本研究的下肢勁度，是以輕跳著地後兩個力板垂直地面反作用力的最大合力值(公式 1)，除以從著地瞬間到兩個力板產生垂直地面反作用力出現最大合力時的重心位移量(公式 2)，因避免體重差異造成的誤差，所以地面反作用力的最大合力值均除以體重來標準化。(McMahon and Cheng，1990)

$GRF_{Zmax} = F_{1z} + F_{2z}$ …… (1)

ΔZ =重心高度$_{(著地瞬間)}$－ 重心高度$_{GRF\ max}$ …… (2)

$K_{stiffness} = GRF_{max} / \Delta Z$

註： F_{1z}：第一塊力板垂直方向的地面反作用力。

F_{2z}：第二塊力板垂直方向的地面反作用力。

GRF_{Zmax}：兩個力板垂直地面反作用力的合力的最大值。

ΔZ：垂直重心位移量。

第九節　統計分析

啟動期左、右腳間最大地面反作用力的出現時間、平均地面反作用力、最大地面反作用力及總衝量等參數，統計方式是採用魏克森符號等級檢定(Wilcoxon signed-rank test)。各方向啟動時機、重心參數、關節產能的貢獻度及關節在 X、Y、Z 方向產能的比較，採用弗里曼二因子等級變異數分析(Friedman two-way analysis of variance by rank of non-parametric statistical test ），事後比較採等級平均數法(Siegel & Castellan, 1989)，顯著水準設為 α=0.05，事後比較公式如下：

$$|Ru - Rv| \geqq Z \times [\ K\times(K-1)/6N\ ]^{1/2}$$

Ru 、Rv：組的等級平均數 ；N：樣本數；　K：處理組數

Z 的計算：P(概率) = 0.5 – α/ [K×(K-1)]　　α：顯著水準.05

在全場啟動時機、重心變化等比較，其樣本數為 8，處理組數為 6，所以算得 P 值為 0.4983，查附表 A(林清山，1992)，得 Z 值為 2.93，再代回事後比較公式，得到｜Ru – Rv｜的值為 2.31。在下肢關節的貢獻度及關節在 X、Y、Z 方向產能比較中，樣本數為 8，處理組數為 3，得 P 值為 0.4917，查得 Z 值為 2.395，代回事後比較公式，得到｜Ru – Rv｜的值為 0.846。

第肆章　結果

本章針對全場啟動步法的實驗數據，經統計考驗後，將結果分成下列五節來說明：

第一節：動作時機

第二節：重心變化

第三節： 前啟動期和動作期之左、右腳的地面反作用力比較

第四節：動作期之下肢勁度及推蹬腳水平地面反作用力之比較

第五節：啟動期左、右腳推蹬之關節貢獻度

第一節　動作時機

本節主要以擊球瞬間為基準(擊球瞬間定義為 0 秒)，分成啟動期(擊球前)、和動作期(擊球後)兩個部分來說明受試者在施行啟動步法時各關鍵動作出現的時機。

一、　　前啟動期的動作時機：

動作時機均以擊球瞬間為基準(擊球瞬間定義為 0 秒)，分成啟動期(擊球前)、和動作期(擊球後)兩個部分來說明受試者在施行啟動步法時各關鍵動作出現的時機：

(1)發球後開始下蹲時機

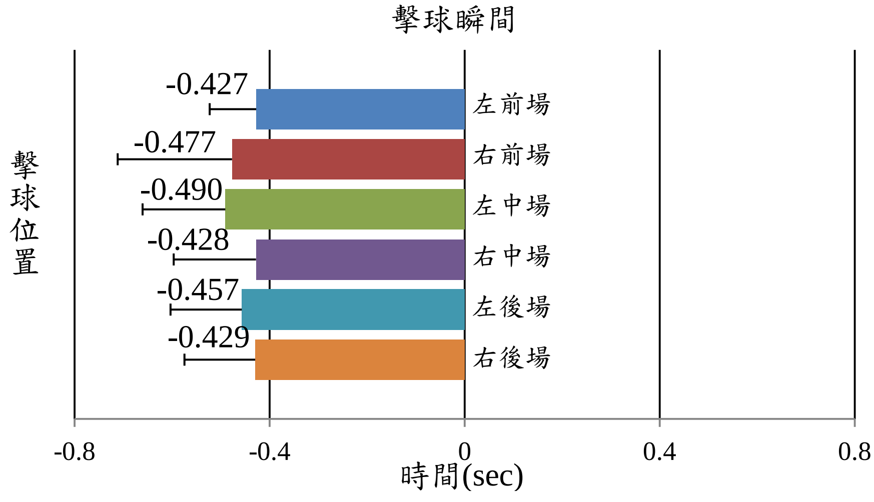


圖 4- 1 前啟動期開始下蹲時機圖(N=8)

如圖 4-1，受試者在各擊球位置的啟動，開始下蹲的時機分別如下:左前場為

-0.427 ± 0.09 秒，右前場為 -0.477 ± 0.234 秒，左中場為 -0.490 ± 0.169 秒，右中場為 -0.428 ± 0.168 秒，左後場為 -0.457 ±0.146 秒，右後場為 -0.429 ± 0.145 秒，根據統計後的結果，開始降低重心高度的的時機沒有差異。

(2)重心開始上升時機

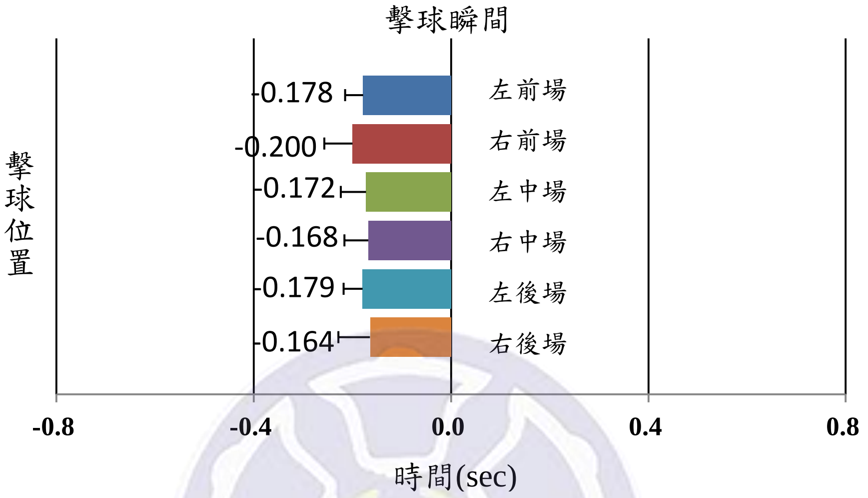


圖 4- 2 前啟動期重心開始上升時機圖(N=8)

如圖 4-2，受試者在各擊球位置的啟動，重心開始上移推蹬以利輕跳的實施時機分別如下，左前場為 -0.178 ± 0.064 秒，右前場為 -0.200 ± 0.038 秒，左中場為 -0.172 ± 0.048 秒，右中場為 -0.168 ± 0.051 秒，左後場為 -0.179 ± 0.057 秒，右後場為 -0.164 ± 0.037 秒，根據統計後的結果，重心開始上升的時機沒有差異。

(3)輕跳離地時機

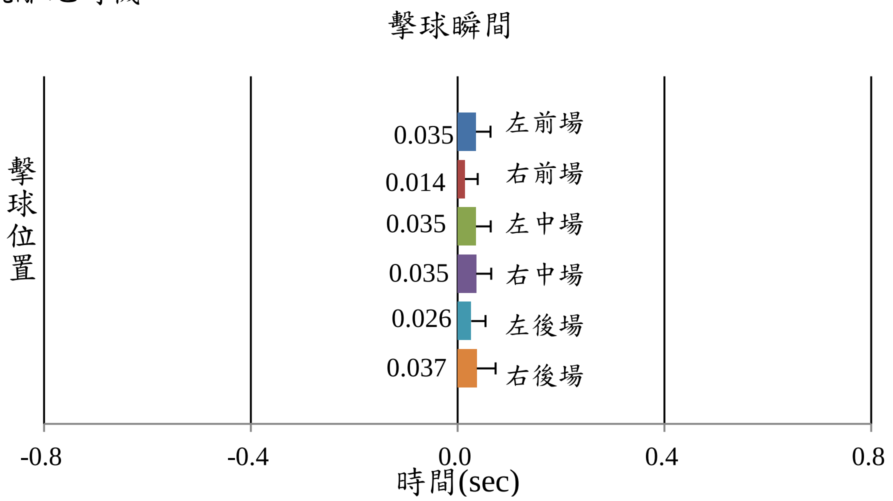


圖 4- 3 輕跳離地時機圖(N=8)

如圖 4-3，受試者在各擊球位置的啟動，輕跳離地的時機分別如下，左前場為 0.035 ± 0.036 秒，右前場為 0.014 ± 0.027 秒，左中場為 0.035 ± 0.029 秒，右中場為 0.035 ± 0.028 秒，左後場為 0.026 ± 0.024 秒，右後場為 0.036 ± 0.028 秒，根據統計後的結果，輕跳離地的時機沒有差異。

二、動作期的動作時機

(1)輕跳後著地時機

如圖 4-4，受試者在各擊球位置的啟動，著地的時機分別如下，左前場為 0.125 ± 0.031 秒，右前場為 0.117 ± 0.037 秒，左中場為 0.15 ± 0.042 秒，右中場為 0.125 ± 0.039 秒，左後場為 0.128 ± 0.032 秒，右後場為 0.138 ± 0.035 秒，根據統計後的結果，著地的時機沒有差異。

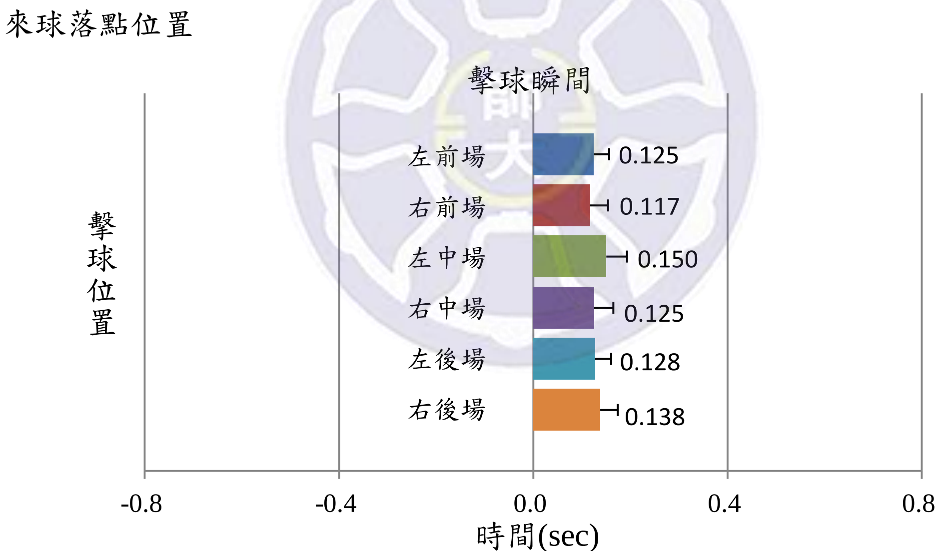


圖 4- 4 輕跳後著地時機圖(N=8)

(2) 推蹬時機(反應時間)

如圖 4-5，受試者在各擊球位置的啟動，推蹬的時機分別如下，左前場為 0.281 ± 0.035 秒，右前場為 0.287 ± 0.036 秒，左中場為 0.277 ± 0.002 秒，右中場為 0.263 ± 0.042 秒，左後場為 0.283 ± 0.042 秒，右後場為 0.295 ± 0.048 秒，根據統計後的結果，

推蹬的時機沒有差異。

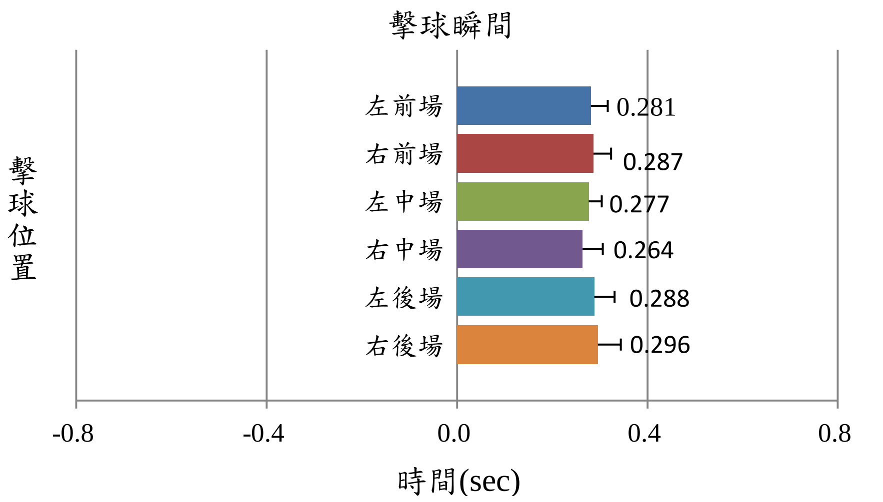


圖 4- 5 動作期推蹬時機圖(N=8)

(3) 跨步腳離地時機(整體反應時間)

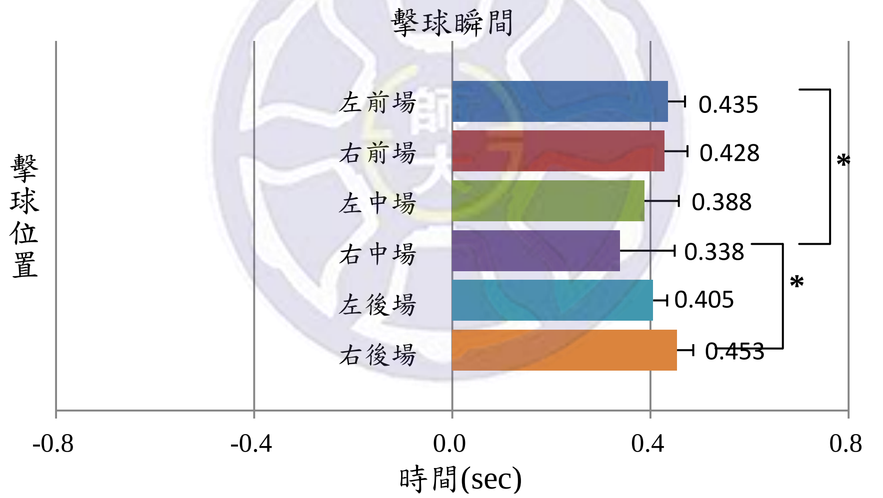


圖 4- 6 動作期跨步離地時機圖(N=8)

如圖 4-6，受試者在各擊球位置的啟動，跨步離地的時機分別如下，左前場為 0.435 ± 0.034 秒，右前場為 0.428 ± 0.046 秒，左中場為 0.388 ± 0.069 秒，右中場為 0.338 ± 0.11 秒，左後場為 0.405 ± 0.028 秒，右後場為 0.453 ± 0.032 秒，根據統計後的結果，右中場整體反應時間顯著快於左前場及右後場。

第二節　重心的變化

本節主要說明在整個啟動的過程中，重心高度、重心前後、左右速度的變化，並分成啟動期(擊球前)和動作期(擊球後)兩個部分來說明：

一、啟動期：

(1)發球後開始下蹲

表 4-1 羽球啟動步法開始下蹲時的重心變化 (N=8)

比較參數	啟動方向	平均數 ± 標準差	事後比較				
			右前	左中	右中	左後	右後
開始下蹲時重心高度 (%Body Height)	左前場	0.54 ± 0.02					
	右前場	0.54 ± 0.01	--				
	左中場	0.55 ± 0.01	--	--			
	右中場	0.54 ± 0.01	--	--	--		
	左後場	0.55 ± 0.01	--	--	--	--	
	右後場	0.54 ± 0.02	--	--	--	--	--
開始下蹲時前後方向重心水平速度(m/s)	左前場	-0.026 ± 0.10					
	右前場	0.001 ± 0.14	--				
	左中場	0.010 ± 0.17	--	--			
	右中場	-0.021 ± 0.12	--	--	--		
	左後場	-0.001 ± 0.07	--	--	--	--	
	右後場	-0.024 ± 0.11	--	--	--	--	--
開始下蹲時左右方向重心水平速度(m/s)	左前場	0.13 ± 0.10					
	右前場	0.04 ± 0.23	--				
	左中場	0.06 ± 0.15	--	--			
	右中場	0.06 ± 0.13	--	--	--		
	左後場	0.13 ± 0.10	--	--	--	--	
	右後場	0.11 ± 0.12	--	--	--	--	--

註：表中前後方向速度，負值的方向為往前，正值的方向為往後。左右方向速度，正值的方向為往右，負值方向為往左。，

根據表 4-1，研究發現，在不同擊球位置的準備動作開始時，重心高度均無顯著差異，各擊球位置啟動前預備下蹲的高度介於 0.54~0.55 (% Body Height)間。前後方向的

水平速度上，均無顯著差異，速度值介於 -0.026 ~ 0.01 (m/s)間。左右方向的水平速度，亦均無顯著差異，速度值介於 0.04~0.13 (m/s) 間。

(2) 重心最低

表 4- 2 羽球啟動步法下蹲達重心最低點時的重心變化(N=8)

比較參數	啟動方向	平均數 ± 標準差	事後比較 右前	左中	右中	左後	右後
下蹲達重心最低點時的重心高度 (%Body Height)	左前場	0.51 ± 0.03					
	右前場	0.50 ± 0.03	--				
	左中場	0.51 ± 0.03	--	--			
	右中場	0.51 ± 0.03	--	--	--		
	左後場	0.51 ± 0.03	--	--	--	--	
	右後場	0.51 ± 0.03	--	--	--	--	--
下蹲達重心最低點時前後方向重心水平速度 (m/s)	左前場	0.012 ± 0.038					
	右前場	0.020 ± 0.031	--				
	左中場	0.047 ± 0.042	--	--			
	右中場	-0.001 ± 0.049	--	--	--		
	左後場	0.030 ± 0.050	--	--	--	--	
	右後場	-0.027 ± 0.039	--	--	--	--	--
下蹲達重心最低點時左右方向重心水平速度 (m/s)	左前場	-0.011 ± 0.130					
	右前場	-0.073 ± 0.110	--				
	左中場	-0.068 ± 0.099	--	--			
	右中場	-0.038 ± 0.111	--	--	--		
	左後場	-0.061 ± 0.125	--	--	--	--	
	右後場	0.032 ± 0.175	--	--	--	--	--

註：表中前後方向速度，負值的方向為往前，正值的方向為往後。左右方向速度，正值的方向為往右，負值方向為往左。

根據表 4-2，在前啟動期身體重心最低時，重心高度均無顯著差異，各擊球位置啟動的高度介於 0.5~0.51 (% Body Height)間。各擊球位置的前後速度無顯著差異，值介於 -0.027 ~ 0.047 (m/s)間。在左右方向的水平速度上，各擊球位置亦均無顯著差異，值介於 -0.073 ~ 0.032 (m/s) 間。

(3)擊球瞬間

表 4-3 羽球啟動步法於餵球者擊球瞬間的重心變化(N=8)

比較參數	啟動方向	平均數 ± 標準差	事後比較				
			右前	左中	右中	左後	右後
擊球瞬間重心高度 (%Body Height)	左前場	0.55 ± 0.02					
	右前場	0.55 ± 0.02	--				
	左中場	0.55 ± 0.02	--	--			
	右中場	0.54 ± 0.02	--	--	--		
	左後場	0.55 ± 0.02	--	--	--	--	
	右後場	0.54 ± 0.03	--	--	--	--	--
擊球瞬間時前後方向重心水平速度	左前場	0.098 ± 0.123					
	右前場	0.133 ± 0.097	--				
	左中場	0.188 ± 0.123	--	--			
	右中場	0.105 ± 0.142	--	--	--		
	左後場	0.145 ± 0.140	--	--	--	--	
	右後場	0.071 ± 0.158	--	--	--	--	--
擊球瞬間時左右方向重心水平速度	左前場	-0.017 ± 0.138					
	右前場	-0.032 ± 0.130	--				
	左中場	-0.052 ± 0.099	--	--			
	右中場	0.038 ± 0.128	--	--	--		
	左後場	-0.091 ± 0.132	--	--	--	--	
	右後場	-0.001 ± 0.136	--	--	--	--	--

註：表中，前後方向速度，負值的方向為往前，正值的方向為往後。左右方向速度，正值的方向為往右，負值方向為往左。

根據表 4-3，在餵球者擊球瞬間，受試者的重心高度均無顯著差異，各擊球位置的高度介於 0.54~0.55 (% Body Height)間。各擊球位置在此時的前後速度無顯著差異，值介於 0.071 ~ 0.188 (m/s)間。在左右方向的水平速度上，各擊球位置在此時亦均無顯著差異，值介於 -0.001 ~ 0.038 (m/s) 間。

(4) 輕跳離地瞬間

表 4- 4 羽球啟動步法輕跳離地瞬間的重心變化(N=8)

比較參數	啟動方向	平均數 ± 標準差	事後比較				
			右前	左中	右中	左後	右後
離地瞬間重心高度 (%Body Height)	左前場	0.55 ± 0.025					
	右前場	0.55 ± 0.026	--				
	左中場	0.55 ± 0.027	--	--			
	右中場	0.55 ± 0.026	--	--	--		
	左後場	0.55 ± 0.024	--	--	--	--	
	右後場	0.55 ± 0.028	--	--	--	--	--
離地瞬間時前後方向重心水平速度	左前場	0.122 ± 0.101					
	右前場	0.133 ± 0.098	--				
	左中場	0.200 ± 0.121	--	--			
	右中場	0.111 ± 0.142	--	--	--		
	左後場	0.152 ± 0.136	--	--	--	--	
	右後場	0.089 ± 0.161	--	--	--	--	--
離地瞬間時左右方向重心水平速度	左前場	-0.016 ± 0.136					
	右前場	-0.051 ± 0.123	--				
	左中場	-0.046 ± 0.113	--	--			
	右中場	0.049 ± 0.132	--	--	--		
	左後場	-0.093 ± 0.133	--	--	--	--	
	右後場	0.001 ± 0.134	--	--	--	--	--

註：表中前後方向速度，負值的方向為往前，正值的方向為往後。左右方向速度，正值的方向為往右，負值方向為往左。

根據表 4-4，在輕跳離地瞬間，六個擊球位置輕跳離地的重心高度均無顯著差異，值皆為 0.55 (% Body Height)。前後方向的水平速度上，均無顯著差異，各擊球位置輕跳的前後速度介於 0.089 ~ 0.2 (m/s)間。左右方向的水平速度，亦均無顯著差異，各擊球位置輕跳的左右速度介於 -0.093~0.049 (m/s) 間。

(5)離地期

根據表 4-5，在離地期，各擊球位置輕跳離地的重心最高高度均無顯著差異，各離地的重心最高高度介於 0.553~0.56 (% Body Height)間。離地期各擊球位置輕跳重心上升、下降的高度，均無顯著差異，上升高度值介於 0.002~0.008 (m)間，而下降高度介於 0.05~0.06 (m)間。

表 4- 5 羽球啟動步法輕跳騰空時期的重心變化(N=8)

比較參數	啟動方向	平均數 ± 標準差	事後比較				
			右前	左中	右中	左後	右後
重心最高高度 (%Body Height)	左前場	0.556 ± 0.025					
	右前場	0.557 ± 0.025	--				
	左中場	0.560 ± 0.027	--	--			
	右中場	0.553 ± 0.027	--	--	--		
	左後場	0.559 ± 0.025	--	--	--	--	
	右後場	0.556 ± 0.029	--	--	--	--	--
重心上升高度 (m)	左前場	0.002 ± 0.005					
	右前場	0.008 ± 0.015	--				
	左中場	0.003 ± 0.006	--	--			
	右中場	0.002 ± 0.005	--	--	--		
	左後場	0.004 ± 0.009	--	--	--	--	
	右後場	0.003 ± 0.009	--	--	--	--	--
重心下降高度 (m)	左前場	0.052 ± 0.041					
	右前場	0.051 ± 0.032	--				
	左中場	0.064 ± 0.029	--	--			
	右中場	0.059 ± 0.043	--	--	--		
	左後場	0.052 ± 0.030	--	--	--	--	
	右後場	0.058 ± 0.026	--	--	--	--	--

二、動作期

(1)輕跳後著地瞬間

根據表 4-6，在輕跳後著地瞬間，各擊球位置啟動的重心高度均無顯著差異，著地重心高度介於：0.52 ~0.51 (% Body Height)間。前後方向的水平速度，均無顯著差異，各擊球位置啟動的前後速度介於 0.069 ~ 0.209 (m/s)。左右方向的水平速度，均無顯著差異，各擊球位置啟動的左右速度介於 -0.118 ~ 0.089 (m/s)間。

表 4- 6 羽球啟動步法於輕跳後著地瞬間重心變化(N=8)

比較參數	啟動方向	平均數 ± 標準差	事後比較				
			右前	左中	右中	左後	右後
著地瞬間重心高度 (%Body Height)	左前場	0.52 ± 0.03					
	右前場	0.52 ± 0.02	--				
	左中場	0.52 ± 0.03	--	--			
	右中場	0.51 ± 0.02	--	--	--		
	左後場	0.52 ± 0.02	--	--	--	--	
	右後場	0.52 ± 0.02	--	--	--	--	--
著地瞬間前後方向重心水平速度 (m/s)	左前場	0.069 ± 0.237					
	右前場	0.139 ± 0.096	--				
	左中場	0.209 ± 0.125	--	--			
	右中場	0.110 ± 0.133	--	--	--		
	左後場	0.167 ± 0.136	--	--	--	--	
	右後場	0.117 ± 0.155	--	--	--	--	--
著地瞬間左右方向重心水平速度 (m/s)	左前場	-0.017 ± 0.130					
	右前場	-0.046 ± 0.141	--				
	左中場	-0.118 ± 0.183	--	--			
	右中場	0.089 ± 0.254	--	--	--		
	左後場	-0.091 ± 0.140	--	--	--	--	
	右後場	0.012 ± 0.197	--	--	--	--	--

註：表中前後方向速度，負值的方向為往前，正值的方向為往後。左右方向速度，正值的方向為往右，負值方向為往左。

(2)推蹬腳最大推蹬瞬間

表 4- 7 羽球啟動步法之推蹬腳最大發力時的重心變化(N=8)

比較參數	啟動方向	平均數 ± 標準差	事後比較				
			右前	左中	右中	左後	右後
推蹬腳最大發力時的重心高度 (%Body Height)	左前場	0.45 ± 0.02					
	右前場	0.44 ± 0.02	--				
	左中場	0.46 ± 0.01	--	--			
	右中場	0.45 ± 0.02	--	--	--		
	左後場	0.45 ± 0.02	--	--	--	--	
	右後場	0.44 ± 0.02	--	--	--	--	--
推蹬腳最大發力時的前後方向水平重心速度 (m/s)	左前場	-0.202 ± 0.161		*		*	*
	右前場	-0.266 ± 0.241	--	*		*	*
	左中場	0.220 ± 0.141	--	--			
	右中場	0.178 ± 0.142	--	--	--		
	左後場	0.337 ± 0.185	--	--	--	--	
	右後場	0.233 ± 0.179	--	--	--	--	--
推蹬腳最大發力時的左右方向水平重心速度 (m/s)	左前場	-0.791 ± 0.167			*		
	右前場	0.800 ± 0.121	--	*		*	
	左中場	-0.922 ± 0.289	--	--	*		*
	右中場	0.960 ± 0.198	--	--	--	*	
	左後場	-0.954 ± 0.255	--	--	--	--	*
	右後場	0.766 ± 0.228	--	--	--	--	--
推蹬腳最大發力時的水平重心合速度 (m/s)	左前場	0.826 ± 0.196					
	右前場	0.869 ± 0.153	--				
	左中場	0.961 ± 0.278	--	--			
	右中場	0.99 ± 0.17	--	--	--		
	左後場	1.02 ± 0.286	--	--	--	--	
	右後場	0.822 ± 0.216	--	--	--	--	--

*** *p*** < .05。註：表中前後方向速度，負值的方向為往前，正值的方向為往後。左右方向速度，正值的方向為往右，負值方向為往左。

根據表 4-7，在推蹬腳最大推蹬瞬間，各擊球位置的重心高度均無顯著差異，重心高度介於 0.44 ~ 0.46 (% Body Height)間。前後方向的水平速度方面，左前場及右前場兩者的速度，均分別和左中場、左後場、右後場的速度達到顯著差異。左右方向水平速度方面，差異達顯著的配對有：左前場和右中場；左中場和右前、右中、右後場；左後場

和右前、右中、右後場等組別。在水平重心合速速方面，各擊球位置均無達顯著差異，重心水平速度的值介於 0.82~1.02 m/s 間。

(3)第一步離地

表 4- 8 羽球啟動步法之第一步離地瞬間重心變化(N=8)

比較參數	啟動方向	平均數 ± 標準差	事後比較 右前	 左中	 右中	 左後	 右後
第一步離地瞬間重心高度 (%身高,%BH)	左前場	0.45 ± 0.05					
	右前場	0.48 ± 0.02	--				*
	左中場	0.47 ± 0.02	--	--			
	右中場	0.48 ± 0.04	--	--	--		*
	左後場	0.46 ± 0.02	--	--	--	--	
	右後場	0.46 ± 0.02	--	--	--	--	--
第一步離地瞬間前後方向水平重心速度 (m/s)	左前場	-0.634 ± 0.288				*	*
	右前場	-0.667 ± 0.298	--			*	*
	左中場	0.324 ± 0.215	--	--			
	右中場	0.327 ± 0.282	--	--	--		
	左後場	0.746 ± 0.309	--	--	--	--	
	右後場	0.848 ± 0.118	--	--	--	--	--
第一步離地瞬間左右方向水平重心速度 (m/s)	左前場	-1.690 ± 0.277	*		*		*
	右前場	1.615 ± 0.324	--	*		*	
	左中場	-1.542 ± 0.376	--	--	*		*
	右中場	1.580 ± 0.676	--	--	--	*	
	左後場	-1.474 ± 0.119	--	--	--	--	
	右後場	1.288 ± 0.221	--	--	--	--	--
第一步離地瞬間水平重心合速度 (m/s)	左前場	1.824 ± 0.288					
	右前場	1.770 ± 0.320	--				
	左中場	1.590 ± 0.375	--	--			
	右中場	1.637 ± 0.674	--	--	--		
	左後場	1.669 ± 0.216	--	--	--	--	
	右後場	1.552 ± 0.175	--	--	--	--	--

* p < .05。註：表中前後方向速度，負值的方向為往前，正值的方向為往後。左右方向速度，正值的方向為往右，負值方向為往左。

根據表 4-8，在第一步離地瞬間，重心高度的部分只有右前場、右中場顯著高於右後場。前後方向的水平速度上，左前場的速度分別和左、右後場的速度；以及右前場分別和左、右後場的速度達顯著差異。左右方向的水平速度上，左前、左中及左後場的左右水平速度分別和右前、右中、右後場的左右水平速度有顯著差異。但同為右側或同為左側的前中後場左右水平速度並無顯著差異。在重心水平合速度方面，各擊球位置均無差異，重心速度介於 1.59~1.82 m/s。

第三節　前啟動期和動作期之左、右腳地面反作用力比較

本節主要陳述受試者啟動至不同位置擊球時，左、右腳在前啟動期和動作期：(1)左、右腳最大地面反作用力出現的時機及其分量大小。(2)各分期左、右腳的平均發力。(3)各分期左右腳發力的總衝量等結果。

一、前啟動期：

表 4-9 羽球啟動步法之前啟動期左、右腳最大地面反作用力出現時機及各分量比較表(N=8)

比較參數	啟動方向	左腳 平均數 ± 標準差	全場差異比較	右腳 平均數 ± 標準差	全場差異比較	左右差異比較
最大地面反作用力出現時機(sec)	左前場	-0.126 ± 0.072		-0.209 ± 0.129		0.01 *
	右前場	-0.168 ± 0.049		-0.202 ± 0.085		0.16
	左中場	-0.138 ± 0.256		-0.171 ± 0.099		0.12
	右中場	-0.137 ± 0.055		-0.224 ± 0.106		0.03 *
	左後場	-0.142 ± 0.062		-0.197 ± 0.134		0.12
	右後場	-0.131 ± 0.075		-0.162 ± 0.094		0.33
最大地面反作用力-前後分量(%Body Weight)	左前場	-0.011 ± 0.045		0.103 ± 0.149		0.05
	右前場	-0.006 ± 0.084		0.101 ± 0.143		0.09
	左中場	0.001 ± 0.084		0.117 ± 0.181		0.12
	右中場	-0.020 ± 0.076		0.122 ± 0.214		0.12
	左後場	-0.035 ± 0.045		0.134 ± 0.162		0.02*
	右後場	-0.023 ± 0.062		0.115 ± 0.192		0.12
最大地面反作用力-左右分量(%Body Weight)	左前場	0.161 ± 0.065		-0.237 ± 0.070		0.01*
	右前場	0.204 ± 0.107		-0.227 ± 0.088		0.01 *
	左中場	0.204 ± 0.104		-0.221 ± 0.088		0.01 *
	右中場	0.184 ± 0.109		-0.220 ± 0.058		0.01 *
	左後場	0.154 ± 0.073		-0.228 ± 0.066		0.01 *
	右後場	0.163 ± 0.068		-0.234 ± 0.082		0.01 *
最大地面反作用力-垂直分量(%Body Weight)	左前場	0.790 ± 0.148		1.008 ± 0.315		0.1
	右前場	0.869 ± 0.236		1.003 ± 0.306		0.3
	左中場	0.903 ± 0.259		1.024 ± 0.358		0.9
	右中場	0.855 ± 0.202		1.041 ± 0.464		0.6
	左後場	0.813 ± 0.141		1.093 ± 0.396		0.1
	右後場	0.784 ± 0.206		1.041 ± 0.396		0.2

***p** < .05。註：表中地面反作力的前後方向分力，負值的方向為往前，正值的方向為往後。左右方向分力，正值的方向為往右，負值方向為往左。

根據表 4-9，在左、右腳的比較上，前啟動期左、右腳最大地面反作用力出現的時機，只有在左前場和右中場的位置，是右腳顯著早於左腳，其他的方向雖都是右腳早於左腳，但都無顯著。最大地面反作用力的前後分量上，只在左後場位置的有達到顯著的差異。左腳的地面反作用力均是往前，除了右中場外。右腳的地面反作用力均是往後。最大地面反作用力的左右分量上，六個方向的發力均達到顯著差異，左腳的地面反作用力均是往右，而右腳的地面反作用力均是往左。最大地面反作用力的垂直分量上，六個方向均無顯著差異，但右腳的平均值仍稍大於左腳。

在不同擊球位置的比較上，左腳、右腳的最大反作用力出現的時機及各分量的大小，均無顯著差異。

表 4- 10 羽球啟動步法之前啟動期左、右腳之平均發力及總衡量之比較表(N=8)

比較參數	啟動方向	左腳			全場差異比較	右腳			全場差異比較	*P*
		平均數	±	標準差		平均數	±	標準差		
啟動前期左、右腳 平均發力 (% Body Weight)	左前場	0.478	±	0.098		0.635	±	0.147		0.07
	右前場	0.469	±	0.153		0.664	±	0.182		0.12
	左中場	0.467	±	0.122		0.648	±	0.127		0.05
	右中場	0.496	±	0.172		0.631	±	0.174		0.26
	左後場	0.434	±	0.123		0.692	±	0.118		0.02*
	右後場	0.501	±	0.093		0.627	±	0.146		0.16
啟動前期左、右腳 發力之總衝量 (BW・t)	左前場	0.113	±	0.036		0.125	±	0.035		0.67
	右前場	0.121	±	0.044		0.124	±	0.038		0.89
	左中場	0.118	±	0.050		0.124	±	0.047		0.89
	右中場	0.119	±	0.057		0.111	±	0.050		0.78
	左後場	0.109	±	0.051		0.130	±	0.027		0.40
	右後場	0.103	±	0.039		0.131	±	0.042		0.58

*** *p*** < .05。註：表中地面反作力的前後方向分力，負值的方向為往前，正值的方向為往後。左右方向分力，正值的方向為往右，負值方向為往左。

根據表 4-10，在前啟動期的各擊球位置下肢發力的差異比較上，左腳、右腳的平均發力和總衝量均無顯著差異。在左、右兩腳的比較中，兩腳間的平均發力平均值是右腳稍高於左腳，但只有左後場的部分達顯著差異。但在準備期兩腳間的總衝量方面，均無顯著差異。

二、動作期：

表 4- 11 羽球啟動步法之動作期最大地面反作用力出現時機及各分量比較表(N=8)

比較參數	啟動方向	左腳 平均數 ± 標準差	右腳 平均數 ± 標準差	*P*
最大地面反作用力出現時機(sec)	左前場	0.371 ± 0.103	0.283 ± 0.035	0.063
	右前場	0.288 ± 0.032	0.372 ± 0.074	0.036 *
	左中場	0.352 ± 0.098	0.279 ± 0.029	0.063
	右中場	0.273 ± 0.021	0.348 ± 0.047	0.028 *
	左後場	0.393 ± 0.032	0.295 ± 0.033	0.012 *
	右後場	0.300 ± 0.047	0.430 ± 0.047	0.012 *
最大地面反作用力-前後分量(%Body Weight)	左前場	-0.144 ± 0.199	-0.479 ± 0.172	0.01 *
	右前場	-0.419 ± 0.213	-0.308 ± 0.211	0.58
	左中場	0.066 ± 0.197	-0.135 ± 0.354	0.48
	右中場	0.129 ± 0.152	0.015 ± 0.120	0.07
	左後場	0.340 ± 0.401	0.279 ± 0.384	0.67
	右後場	0.162 ± 0.137	0.468 ± 0.242	0.04 *
最大地面反作用力-左右分量(%Body Weight)	左前場	-0.038 ± 0.126	-1.161 ± 0.210	0.012 *
	右前場	0.916 ± 0.249	-0.028 ± 0.126	0.012 *
	左中場	0.028 ± 0.121	-1.306 ± 0.261	0.012 *
	右中場	1.199 ± 0.238	-0.043 ± 0.191	0.012 *
	左後場	0.167 ± 0.189	-1.109 ± 0.179	0.012 *
	右後場	0.847 ± 0.159	-0.169 ± 0.200	0.012 *
最大地面反作用力-垂直分量(%Body Weight)	左前場	0.632 ± 0.393	2.093 ± 0.242	0.01 *
	右前場	1.990 ± 0.460	0.956 ± 0.254	0.01 *
	左中場	0.680 ± 0.234	2.187 ± 0.263	0.01 *
	右中場	2.200 ± 0.356	0.630 ± 0.492	0.01 *
	左後場	1.358 ± 0.255	2.085 ± 0.276	0.01 *
	右後場	1.648 ± 0.286	1.527 ± 0.278	0.40

* $p < .05$。註：表中地面反作力的前後方向分力，負值的方向為往前，正值的方向為往後。左右方向分力，正值的方向為往右，負值方向為往左。

根據表 4-11，動作期左、右腳最大地面反作用力出現的時機，右前場、右中場和右後場的擊球位置均是左腳出現的時機顯著早於右腳；但在左前場、左中場和左後場的位置，則是右腳出現的時機較早，不過只有在後場的位置有達顯著差異。

在最大地面反作用力的前後分量上，只在左前場和右後場的擊球位置的有達到顯著的差異。左前場是右腳往前的地面反作用力顯著大於左腳，右後場的部分是右腳往後的

地面反作用力顯著大於左腳。最大地面反作用力的左右分量上，各擊球位置的發力均達到顯著差異，在力量的方向上，除了左前場兩腳的地面反作用力均是往左外，其他五個方向的左腳的地面反作用力均是往右，而右腳的地面反作用力均是往左。在力量數值上，左側前、中、後場的部分，右腳的地面反作用力的平均值均大於左腳，但在右側的前、中、後場的部分上，則是左腳的地面反作用力大於右腳。

最大地面反作用力的垂直分量上，除了右後場的部分沒達顯著差異外，其他五個位置，左側前、中、後場的部分，右腳的垂直地面反作用力的均大於左腳，但在右側前、中場的方向上，則是左腳的地面反作用力大於右腳。

表 4- 12 羽球啟動步法之動作期左、右腳之平均發力及總衝量之比較表(N=8)

比較參數	啟動方向	左腳 平均數 ± 標準差	右腳 平均數 ± 標準差	*P*
啟動期左、右腳 平均發力 (Body Weight)	左前場	0.295 ± 0.235	1.386 ± 0.181	0.012 *
	右前場	1.284 ± 0.257	0.527 ± 0.127	0.012 *
	左中場	0.347 ± 0.091	1.513 ± 0.298	0.012 *
	右中場	1.452 ± 0.240	0.313 ± 0.243	0.012 *
	左後場	0.566 ± 0.328	1.438 ± 0.172	0.012 *
	右後場	1.188 ± 0.168	0.731 ± 0.262	0.017 *
啟動期左、右腳 發力之總衝量(BW‧t)	左前場	0.077 ± 0.068	0.376 ± 0.086	0.012 *
	右前場	0.389 ± 0.083	0.144 ± 0.038	0.012 *
	左中場	0.073 ± 0.035	0.340 ± 0.091	0.012 *
	右中場	0.403 ± 0.052	0.073 ± 0.060	0.012 *
	左後場	0.113 ± 0.034	0.381 ± 0.038	0.012 *
	右後場	0.361 ± 0.026	0.193 ± 0.059	0.012 *

***** $p < .05$。

根據表 4-12，左、右腳在動作期的平均發力，左側的前、中、後場之啟動，右腳的平均發力均顯著大於左腳；右側的前、中、後場之啟動，左腳的平均發力均顯著大於右腳。在發力的總衝量方面, 左側的前、中、後場之啟動，右腳發力的總衝量均顯著大於左腳；反之，在右側的前、中、後場之啟動，左腳的發力總衝量均顯著大於右腳。

第四節　動作期之下肢勁度及推蹬腳水平地面反作用力之比較

本節主要呈現動作期受試者啟動至不同位置擊球的下肢勁度和推蹬腳水平地面反作用合力的結果。

表 4- 13 羽球啟動步法之啟動期下肢勁度、推蹬腳最大水平地面反作用合力比較表(N=8)

比較參數	啟動方向	平均數 ± 標準差	事後比較				
			右前	左中	右中	左後	右後
啟動期下肢勁度 BW(body weight)/m	左前場	21.3 ± 5.2					
	右前場	16.5 ± 1.7	--				
	左中場	30.5 ± 10.8	--	--			
	右中場	22.9 ± 4.4	--	--	--		
	左後場	17.9 ± 3.8	--	--	--	--	
	右後場	19.3 ± 10.7	--	--	--	--	--
啟動期最大垂直地面反作力 BW(body weight)	左前場	2.27 ± 0.16					
	右前場	2.47 ± 0.40	--				
	左中場	2.54 ± 0.25	--	--			
	右中場	2.60 ± 0.55	--	--	--		
	左後場	2.47 ± 0.38	--	--	--	--	
	右後場	2.37 ± 0.37	--	--	--	--	--
著地瞬間至最大地面反作用力時的重心垂直位移(m)	左前場	0.125 ± 0.035					
	右前場	0.138 ± 0.037	--				
	左中場	0.096 ± 0.038	--	--			
	右中場	0.108 ± 0.040	--	--	--		
	左後場	0.134 ± 0.040	--	--	--	--	
	右後場	0.151 ± 0.057	--	--	--	--	--
推蹬腳最大水平地面反作用合力(BW)	左前場	1.27 ± 0.22	*				*
	右前場	1.04 ± 0.21	--	*			
	左中場	1.35 ± 0.30	--	--			*
	右中場	1.22 ± 0.23	--	--	--		
	左後場	1.20 ± 0.17	--	--	--	--	
	右後場	0.87 ± 0.16	--	--	--	--	--

*p<.05

根據表 4-13，發現各擊球位置的下肢勁度未達顯著差異，但左、右中場勁度的平均值有比前、後場高的趨勢。再比較影響勁度的兩個因素：最大垂直地面反作用力和垂直

的重心位移，兩個因素在各擊球位置均無差異，中場的部分，有稍大的垂直地面反作用力的平均值和較少的重心垂直位移。在推蹬腳最大水平地面反作用合力的比較上，左前場推蹬腳的水平推蹬力顯著大於右前場和右後場，左中場推蹬腳的水平推蹬力顯著大於右前場和右後場。

第五節　啟動期左、右腳推蹬之關節貢獻度

本節主要陳述：在不同擊球位置啟動時，左、右腳在啟動期時的下肢關節的總作功、各關節於下肢作功的比例及各關節在各分量上作功比例的大小等結果

一、羽球啟動步法之不同擊球位置左、右腳關節總作(正)功之比較

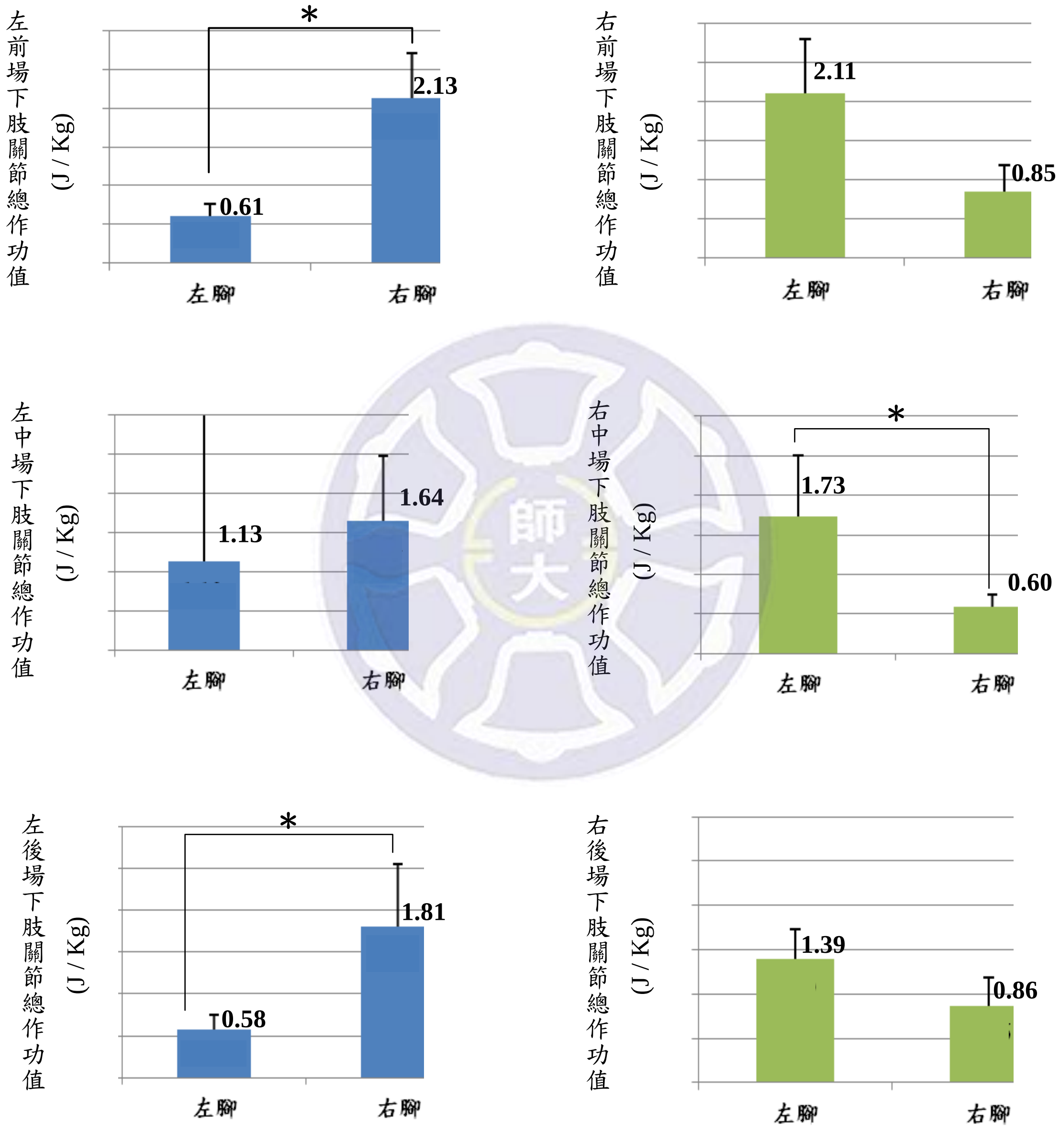


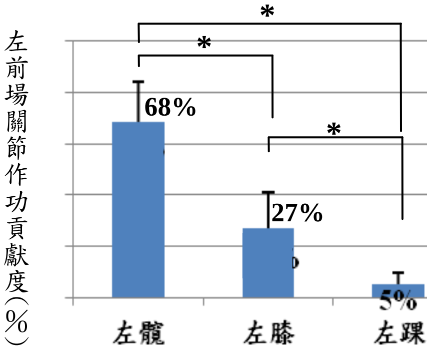
圖 4- 7 羽球啟動步法之左、右腳關節總作功比較圖

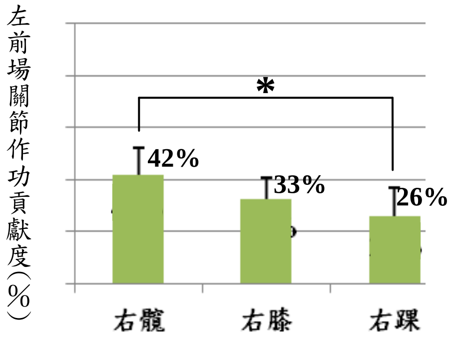
註：* p < .05。

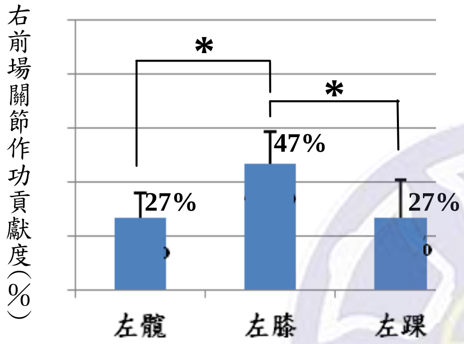
在左、右腳關節總作(正)功比較方面，根據圖 4-7 結果顯示，在各擊球位置的左、右腳總作(正)功的比較中，右腳顯著大於左腳的擊球位置有左前場、左後場。而左腳顯

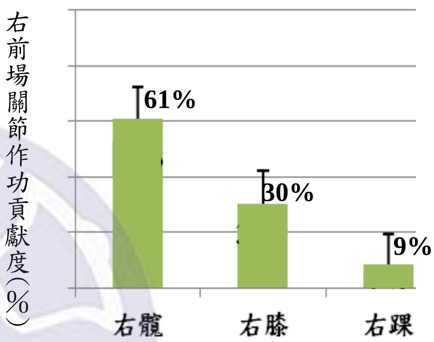
著大於右腳的擊球位置有右前場、右中場。左、右腳沒有差異的為右中場和右後場。

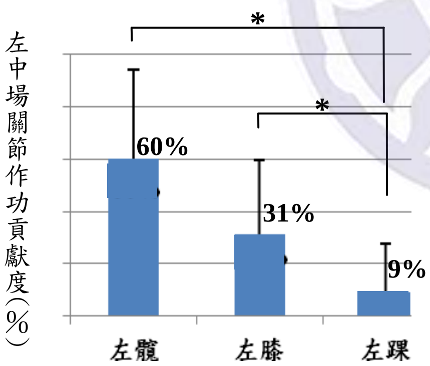
二、羽球啟動步法之下肢各關節作功的貢獻度之比較

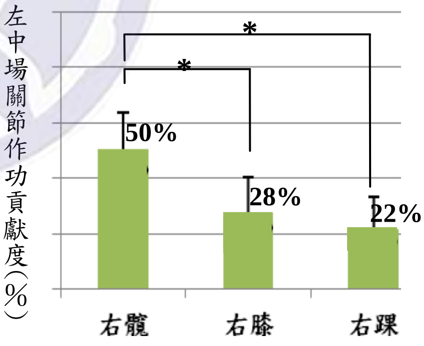


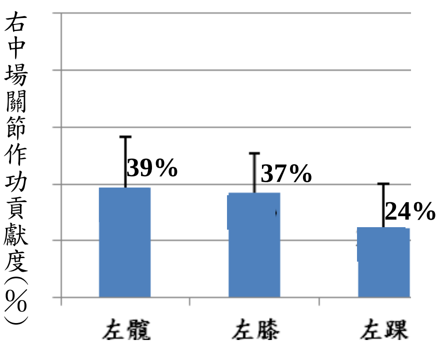


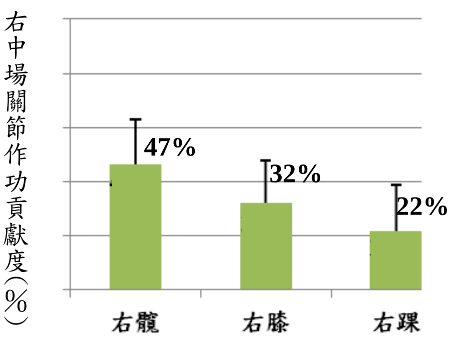












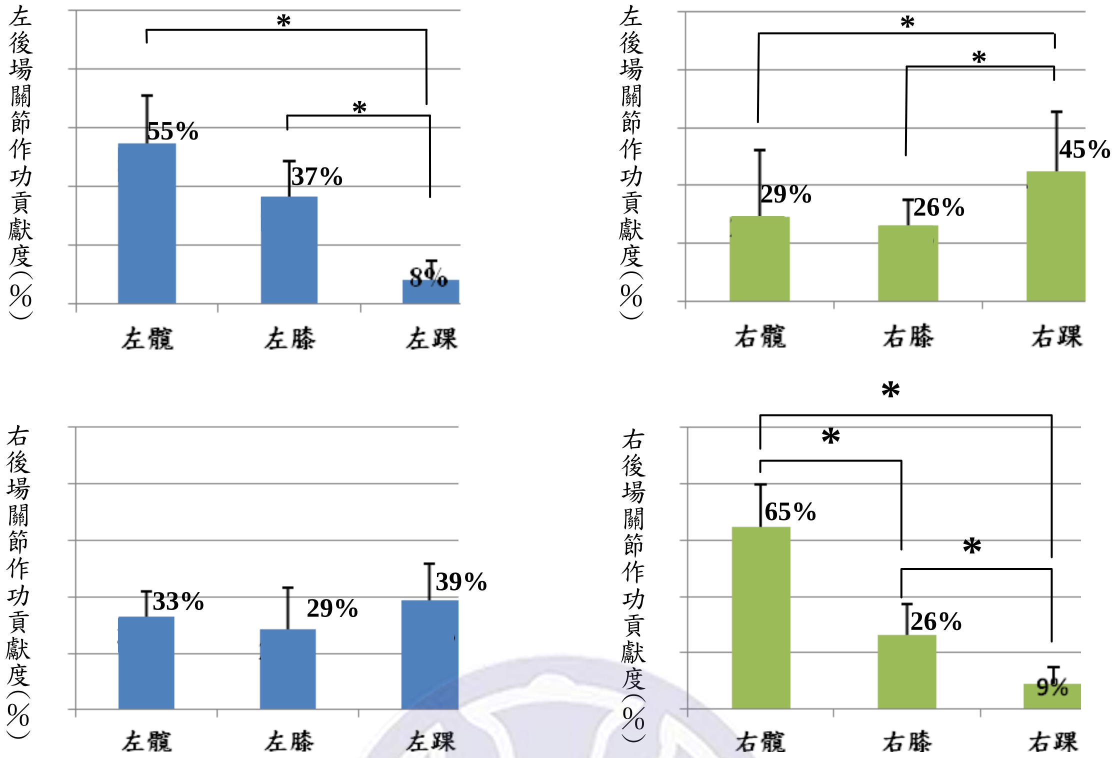


圖 4- 8 羽球啟動步法之左、右腳關節作功貢獻度比較圖

註：* ***p*** < .05。

啟動期左右腳各關節作正功比例(關節貢獻度)之比較，根據圖 4-8 結果顯示，各擊球位置左、右腳各關節的貢獻度如下：左前場的部分，左腳髖、膝、踝兩兩相比，均達顯著差異，作功的貢獻度以左髖最大、左膝其次而左踝最小；右腳則只有右髖的作功貢獻度顯著大於右踝。右前場的部分，左腳是以左膝作功比例最大，分別顯著大於左髖及左踝，其他則無差異；右腳則是以右髖的作功比例最大，分別顯著大於左膝及左踝，其他則無差異。左中場的部分，左腳以左髖作功比例最大，左膝其次，分別顯著大於左踝；右腳則以右髖作功比例最大，分別顯著大於右膝及右踝。右中場的部分，左、右腳各關節貢獻度均無顯著差異。左後場的部分，左腳以左髖產能最大，左膝其次，分別顯著大於左踝。右腳則是右踝產能顯著大於右髖及右膝。右後場的部分，左腳三個關節作功比例均無顯著差異；右腳則是右髖作功比例最大，分別大於右膝及右踝，而右膝又顯著大於右踝。

表 4- 14 羽球啟動步法之左腳髖、膝、踝關節在 X、Y、Z 方向的作(正)功的大小及比例 (N=8)

位置	關節	左髖			左膝			左踝		
	產能方向	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
左前場	平均	0.232	0.127	0.047	0.075	0.02	0.081	0.007	0.005	0.02
	(標準差)	(0.064)	(0.036)	(0.044)	(0.088)	(0.028)	(0.089)	(0.014)	(0.006)	(0.018)
	百分比	57%	32%	11%	41%	15%	44%	18%	20%	62%
	(標準差)	(6%)	(8%)	(9%)	(28%)	(19%)	(29%)	(17%)	(14%)	(19%)
	事後比較		a,b						b,c	
右前場	平均	0.144	0.384	0.058	0.799	0.071	0.088	0.471	0.014	0.081
	(標準差)	(0.112)	(0.263)	(0.036)	(0.306)	(0.052)	(0.044)	(0.355)	(0.011)	(0.075)
	百分比	23%	59%	18%	84%	7%	9%	74%	5%	21%
	(標準差)	(14%)	(25%)	(25%)	(6%)	(5%)	(3%)	(29%)	(7%)	(24%)
	事後比較		a, c			a, b				
左中場	平均	0.171	0.061	0.044	0.085	0.19	0.525	0.028	0.002	0.022
	(標準差)	(0.096)	(0.044)	(0.028)	(0.146)	(0.44)	(1.386)	(0.069)	(0.002)	(0.033)
	百分比	56%	25%	19%	39%	25%	36%	38%	20%	42%
	(標準差)	(29%)	(21%)	(18%)	(38%)	(28%)	(32%)	(27%)	(20%)	(28%)
	事後比較									
右中場	平均	0.254	0.254	0.087	0.57	0.048	0.054	0.427	0.014	0.021
	(標準差)	(0.207)	(0.203)	(0.092)	(0.307)	(0.071)	(0.03)	(0.329)	(0.01)	(0.031)
	百分比	45%	38%	17%	80%	8%	11%	87%	7%	6%
	(標準差)	(33%)	(27%)	(15%)	(19%)	(10%)	(11%)	(18%)	(8%)	(11%)
	事後比較					a,b,			a,b	
左後場	平均	0.187	0.081	0.032	0.165	0.024	0.04	0.035	0.009	0.007
	(標準差)	(0.057)	(0.038)	(0.022)	(0.1)	(0.025)	(0.017)	(0.039)	(0.01)	(0.006)
	百分比	63%	27%	10%	72%	10%	17%	51%	33%	15%
	(標準差)	(15%)	(13%)	(6%)	(13%)	(9%)	(8%)	(32%)	(29%)	(11%)
	事後比較		a,b			a,b				
右後場	平均	0.206	0.175	0.081	0.28	0.077	0.041	0.48	0.005	0.047
	(標準差)	(0.129)	(0.141)	(0.063)	(0.162)	(0.158)	(0.035)	(0.225)	(0.003)	(0.024)
	百分比	44%	36%	20%	76%	12%	11%	88%	1%	10%
	(標準差)	(24%)	(22%)	(18%)	(20%)	(20%)	(12%)	(9%)	(1%)	(8%)
	事後比較					a,b			a,b,c	

註：X 方向在髖、膝關節表屈/伸方向，在踝關節表背曲/蹠曲方向，Y 方向在髖關節表內收/外展方向，膝、踝關節表內/外翻方向，Z 方向在三個關節均表內旋/外旋方向；a 表示關節 X 和 Y 方向的產能有達顯著差異(p <.05)；b 表示關節 X 和 Z 方向的產能有達顯著差異(p <.05)；c 表示關節 Y 和 Z 方向的產能有達顯著差異(p <.05)。

在左、右腳各關節在 X(屈/伸)、Y(髖表內收/外展，膝和踝關節表內/外翻)、Z(內/外旋)方向的產能大小及比例上，根據表 4-14，左前場的部分，髖關節的屈/伸方向的產能分別顯著大於內收/外展、內/外旋方向的產能；膝關節則在屈/伸、內/外翻、內/外旋方向的產能均無差異；踝關節則是內/外旋方向的產能分別顯著大於蹠曲/背曲、內/外翻方向的產能。右前場的部分，髖關節的內收/外展方向的產能分別顯著大於屈/伸、內/外旋方向的產能；膝關節則屈/伸方向的產能分別顯著大於內/外翻、內/外旋方向的產能；

踝關節則在三個解剖方向(X、Y、Z 方向)的作功比例均無差異。左中場的部分，髖、膝、踝關節在三個解剖方向的作功比例均無差異。右中場的部分，髖關節在三個解剖方向的作功比例均無差異；膝關節和踝關節的屈/伸方向作功的比例上分別顯著大於內/外翻、內/ 外旋方向的作功。左後場的部分，髖關節和膝關節在屈/伸方向的作功比例分別顯著大於 Y(髖為內收/外展，膝為內/外翻)、內/外旋方向的作功；踝關節則在三個解剖方向的作功比例均無差異。右後場的部分，髖關節在三個解剖方向的作功比例均無差異；膝關節的屈/伸方向的作功比例分別顯著大於內/外翻、內/外旋方向的作功；踝關節則在三個解剖方向上，兩兩之間的作功比例均達顯著差異。

表 4- 15 羽球啟動步法之右腳髖、膝、踝關節在 X、Y、Z 方向作(正)功的大小及比例(N=8)

位置	關節	右髖			右膝			右踝		
	產能方向	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
左前場	平均	0.205	0.482	0.167	0.451	0.05	0.179	0.531	0.044	0.019
	(標準差)	(0.121)	(0.194)	(0.081)	(0.15)	(0.041)	(0.125)	(0.403)	(0.015)	(0.014)
	百分比	23%	55%	22%	68%	8%	25%	85%	10%	4%
	(標準差)	(10%)	(20%)	(17%)	(13%)	(7%)	(13%)	(9%)	(8%)	(4%)
	事後比較					a,b,c			a,b	
右前場	平均	0.246	0.268	0.024	0.126	0.021	0.092	0.052	0.012	0.012
	(標準差)	(0.17)	(0.155)	(0.009)	(0.056)	(0.013)	(0.058)	(0.087)	(0.022)	(0.009)
	百分比	43%	52%	6%	53%	9%	38%	43%	25%	33%
	(標準差)	(21%)	(19%)	(3%)	(16%)	(8%)	(16%)	(31%)	(30%)	(23%)
	事後比較		b, c			a ,c				
左中場	平均	0.433	0.199	0.176	0.335	0.009	0.071	0.381	0.035	0.006
	(標準差)	(0.339)	(0.166)	(0.075)	(0.238)	(0.012)	(0.055)	(0.339)	(0.025)	(0.005)
	百分比	50%	22%	29%	79%	2%	19%	73%	23%	4%
	(標準差)	(15%)	(14%)	(19%)	(9%)	(3%)	(10%)	(35%)	(29%)	(6%)
	事後比較		a,b			a,b			b, c	
右中場	平均	0.109	0.071	0.023	0.07	0.015	0.062	0.073	0.005	0.019
	(標準差)	(0.076)	(0.049)	(0.041)	(0.079)	(0.027)	(0.09)	(0.088)	(0.005)	(0.024)
	百分比	55%	36%	9%	48%	14%	38%	67%	11%	22%
	(標準差)	(9%)	(9%)	(10%)	(26%)	(18%)	(30%)	(32%)	(11%)	(24%)
	事後比較		a,b,c							
左後場	平均	0.2	0.222	0.024	0.242	0.226	0.011	0.781	0.029	0.072
	(標準差)	(0.179)	(0.205)	(0.031)	(0.27)	(0.136)	(0.01)	(0.329)	(0.027)	(0.056)
	百分比	44%	48%	7%	44%	50%	6%	87%	4%	8%
	(標準差)	(22%)	(21%)	(5%)	(24%)	(26%)	(10%)	(7%)	(4%)	(4%)
	事後比較		b,c			b,c			a,b	
右後場	平均	0.419	0.103	0.023	0.186	0.016	0.031	0.073	0.008	0.004
	(標準差)	(0.189)	(0.063)	(0.019)	(0.109)	(0.013)	(0.023)	(0.058)	(0.008)	(0.004)
	百分比	77%	19%	5%	77%	8%	15%	70%	20%	10%
	(標準差)	(6%)	(7%)	(4%)	(17%)	(5%0	(15%)	(32%)	(22%)	(11%)
	事後比較		a,b			a,b				

註：X 方向在髖、膝關節表屈/伸方向，在踝關節表背曲/蹠曲方向，Y 方向在髖關節表內收/外展方向，膝、

踝關節表內/外翻方向，Z 方向在三個關節均表內旋/外旋方向；a 表示關節 X 和 Y 方向的產能有達顯著差異(p <.05)；b 表示關節 X 和 Z 方向的產能有達顯著差異(p <.05)；c 表示關節 Y 和 Z 方向的產能有達顯著差異(p <.05)

根據表 4-15，左前場的部分，髖關節在三個解剖方向的作功比例均無差異；膝關節在三個解剖方向上，兩兩之間的作功比例均達顯著差異；踝關節則是背屈/蹠屈方向的作功比例分別顯著大於內/外翻、內/外旋方向的作功。右前場部分，髖關節內/外旋方向的作功比例分別顯著小於屈/伸、內收/外展方向的作功；膝關節則是內/外翻方向的作功比例分別顯著小於屈/伸、內/外旋方向的作功；踝關節在三個解剖方向的作功比例均無差異。左中場的部分，髖關節和膝關節的屈伸方向的作功比例分別顯著大於 Y(髖為內收/外展，膝為內/外翻)、內/外旋方向的作功；踝關節在三個解剖方向的作功比例均無差異。右中場的部分，髖關節在三個解剖方向上，兩兩之間的作功比例均達顯著差異；膝和踝關節則在三個解剖方向的作功比例均無差異。左後場的部分，髖關節和膝關節的內/外旋方向的作功比例分別顯著小於屈/伸、Y(髖為內收/外展，膝為內/外翻)方向的作功；踝關節則是背屈/蹠屈方向的作功比例分別顯著大於內/外翻、內/外旋方向的作功。右後場的部分，髖關節和膝關節的屈/伸方向的作功比例分別顯著大於 Y(髖為內收/外展，膝為內/外翻)、內/外旋方向的作功；踝關節則在三個解剖方向的作功比例均無差異。

第伍章　討論與結論

第一節　討論

一、不同的來球位置，受試者在前啟動期雙腳最大地面反作用力出現時間及重心變化的影響

在動作時機和重心變化上，據圖 4-1~4-3 及表 4-1~4-4 的結果顯示，從開始下蹲、重心最低到起跳離地瞬間的時機及重心變化並無差異，各方向啟動開始下蹲的時機約在擊球前 0.45 秒，重心高度約 0.55 倍的身高，此時的重心前後水平速度(約 0.01 m/s 往後)和左右水平速度(約 0.087 m/s 往右)均相當的小；重心最低時出現於擊球前 0.176 秒，重心高度約為 0.51 倍的身高，此時的重心水平速度約為 0.02m/s 往後和 0.047m/s 往左，與開始下蹲時變化差異不大；在餵球者擊球瞬間時，受試者的重心高度回復到開始下蹲時的高度，約身高的 0.55 倍，此時重心水平速度約為 0.012 m/s 往後和 0.025 m/s 往左；輕跳離地時機約在擊球後 0.182 秒，重心高度約 0.55 倍的身高，此時重心水平速度為 0.134 m/s 往後，0.026 m/s 往左。由此結果得知，受試者在啟動前期的動作時機及重心高度變化具有一致性，重心則是由右緩慢往左，由前往後移，直至離地瞬間。並無受到擊球者為了要擊出不同球路，於擊球前有動作差異的影響(薛尹彰、潘光敏、楊文添、廖偉成、鄭任佑、蔡虔祿，2014)。所以受試者在球路尚不明確時(球尚未被擊出前)，並未因其有預期的判斷而改變本身準備動作的時機和重心變化，而造成準備動作的一致性。

於雙腳的地面反作用力方面，如表 4-9，在不同啟動方向的比較上，左、右腳最大地面反作用力出現的時機及其各分量大小均無顯著差異，這表示在不同啟動方向上，啟動前期的左腳和右腳的發力時機及力量大小類似。但在左、右腳的比較上，最大地面反作用力的出現時機，右腳(約擊球前 0.2 秒)均比左腳(約擊球前 0.14 秒)稍來得早，但六個方向只在左前場和右中場的部分有達顯著差異；左、右腳最大地面反作用力的方向，右腳主要是往後、往左推蹬，而左腳是往前、往右推蹬，兩腳最大推蹬力量方向相反，而這樣的情形也造成雙腳間在最大地面反作用力的左、右分量上有顯著差異，但若排除

方向性的影響，左、右腳在前後及左右方向的最大地面反作用力，除了在左前場有達顯著差異外，其他方向則無差異。 其次，雙腳在準備期的平均發力及總衝量比較上(表 4-6)，結果顯示左、右腳在球擊出前，平均地面反作用力值及地面反作用力的總衝量，右腳都稍大於左腳但無顯著，除了在後場反手的右腳平均地面反作用力值顯著大於左腳外。這也顯示在啟動前期，雙腳推蹬的時機、推蹬力量的大小及總推蹬力量是相近的，但右腳的推蹬力量要稍大於左腳。

綜合上述討論，在球被擊出前的準備動作，因球路的不確定性仍偏高(張嘉芳、林耀豐，2010)，雖文獻(薛尹彰 等，2014)指出在擊球瞬間，餵球者的動作會有差異，但從本研究受試者的重心及雙腳地面反作用力的變化發現，受試者在這些參數的表現上，並無因擊球瞬間擊球者的擊球動作差異而有不同的變化，這也表示受試者在此期的準備動作，應該配合擊球時機而有一致的動作準備時機及重心高度變化，並保持身體重心在水平方向上的穩定。

二、不同的來球位置對啟動對輕跳時機、輕跳的動作型態的影響

起跳的時機，根據本研究的結果(圖 4-3)顯示，受試者在各方向來球的起跳時機沒有差異，時機為擊球後 14 ms 至 37 ms 左右，而這個結果和 Uzu, Shinya, 與 Oda (2009) 針對網球開跳步(split-split)啟動時機 28 ± 134 ms 相似；除了右前場部分受試者是在球擊出前起跳，其他五個方向的起跳時機均是在擊球後發生。至於右前場部分受試者起跳時機比擊球稍早，推測可能是因切球在接近擊球前的揮臂速度會減慢(蔡虔祿等，1997；薛尹彰等，2014)，而導致擊球時間會稍微延後，因此而造成受試者的起跳離地時機發生在擊球前。

在起跳離地的重心變化上，根據表 4-4、4-5 的結果顯示，啟跳瞬間的重心高度、水平速度和騰空後最高重心高度及重心上升、下降的高度，在六個啟動方向均無顯著差異，啟跳瞬間重心高度約為 0.55 倍的身高，至騰空重心最高約為 0.556 倍的身高，上升高度約為 0.002~0.008m，下落高度約為 0.05~0.06 m。從這些結果，我們發現在受試者在起跳前重心已很接近最高點，而且有此受試者在雙腳離地前重心已在下降，這和之前

文獻(黃貴樹，2007)所提到啟動中應先有下蹲跳 (counter movement jump)的階段，起跳上升高度在本實驗中並不明顯，相較重心下落的高度，本研究發現受試者會在擊球前，會先將重心高度提高，然後擊球瞬間收腳促使重心直接下降著地，也就是利用深跳的方式，促使下肢肌群能在著地後先有一個快速牽張的動作，然後再啟動。此動作型態，並非像 Uzu, Shinya, 與 Oda (2009)和黃貴樹(2007)所提，先利用下蹲跳，使重心有較大的上升騰空距離(約 0.1m)。啟動輕跳高度的差異性，及動作型態的不同，是否是因為實驗設計的不同而造成的，則需再做進一步的實驗及研究來驗証，此外，這種型態的啟動，對於啟動速度的影響也是往後研究的新方向。

本研究發現在實際餵球的實驗設計中，受試者有減少輕跳上升高度，而直接採收腳深跳的方式啟動的現象，而這種方式對啟動的影響，則需再做進一步的實驗及研究來驗証。

三、不同擊球位置的啟動，在於反應時間及整體反應時間上的差異。

根據圖 4 - 4，本研究發現在各方向來球的起跳後著地時機沒有差異，約在擊球後 0.12 秒，短於簡單「刺激-反應」實驗中的反應時間 160~212 毫秒(胡名霞，2006)，對照表 4-6，發現此時的身體重心變化(著地重心高度：約 0.52 倍的身高，前後方向重心水平速度：約 0.069~0.209m/s 和左右方向的水平速度：約-0.118 ~0.089 m/s)，亦均無顯著差異，表受試者在著地瞬間，身體重心變化對於不同的擊球位置的啟動尚未產生差異，這也表示受試者在此時間點仍未明確的判斷出球路，而在身體重時的變化上有預先移動的情形。對照 Nieminen, Piirainen, Salmi, 與 Linnamo (2014)及 Uzu 等(2009)對網球開跳步(spilt step)所研究的最佳落地時間，為刺激產生後 180~200 毫秒，羽毛球在開跳後落地的時間較短，而這部分的差異，可能在於網球的實驗，是利用燈號來模擬擊球方向，屬於時間確定而方向不確定的設計(know when not where)，但本研究是由選手做不同球路的餵球，在方向和揮擊時間都不確定的狀況下，加上羽毛球運動的來球速度快，場地距離短，因此受試者會有較早落地的情形，以避免來球時，而身體仍在空中無法推蹬的情形發生。

在反應時間的部分，本研究定義啟動的反應時間為從擊球瞬間到主推蹬腳(來球方向的反側腳)最大發力(圖4-5)的這段期間。因為研究發現，此時身體重心速度的變化中(表4-7)，前、後水平速度的部分，左、右前場往前重心速度及方向已和中、後場往後的重心速度達顯著差異，至於中、後場沒有達顯著差異，可能是因為在接中場殺球時，雖然來球落點位置是在身體兩側，但因為要保持擊球點在身體前方的關係，所以受試者啟動時的重心還是會稍往後方移動，也因此造成往後場啟動的重心速度及方向差異較小而無顯著。而在左、右重心水平速度的部分，每個位置重心位移的方向均和來球方向一致，往兩側的重心水平速度大部分亦達到顯著差異。這表示受試者在此時，已對來球的位置有了明確的判斷，並且開始發起動作，所以定義從擊球瞬間到主推蹬腳最大發力的這段期間為啟動的「反應時間」。而本研究的結果，反應時間在各啟動方向均無顯著差異，時間約0.273~0.3秒，和Bankoze, Nawara, 與Ociepa (2013)對羽球選手測得的手部簡單反應時間(0.26~0.27秒)，和Luiz and Paulo (2012)測得上肢按鈕反應時間(0.25~0.3秒)的結果相似。此外，在「刺激與反應相容性」的部分，本研究結果球和一些球類運動的反應時間研究(劉鎮國，2001；林耀豐、林清和，1996；詹建人，2013)結果相同，即反應相容性並未對反應時間造成顯著影響。在球速對反應時間方面的影響，本研究的反應時間並無因球速的不同而有顯著差異，和過去的研究(詹建人，2013；劉鎮國，2001；Tu, Lin & Chin, 2010)的結果不相同，造成此結果的原因是否除了球速外，還受到不同的落點、球飛行的角度…等因素的影響，仍需進一步的研究探討。不過由反應時間的結果來看，若防守者要有較充裕的回擊時間，在對手擊出球的0.3秒內就必需確定來球方向，並在推蹬腳產生最大推蹬力。

最後在整體反應時間方面，從平均值的趨勢來看(圖4-6)，來球速度最快的左、右中場的部分，整體反應時間的平均值比前、後 場短，但有顯著的部分只有右中場快於左前場和右後場，這結果的趨勢和過去發現球速的越快，會有越快的整體反應時間(詹建人，2013；劉鎮國，2001；)的結果相似，而這個現象可能是殺球的落點距離受試者較近，且球從擊出後到落地時間短，所以受試者在輕跳著地並確定來球方向後，位移擊球的時間短，為了快速的破壞身體重心蹬跨擊球，支撐腳會提早離地，而使得整體反應時

間縮短，尤其是和持拍手同側的右中場的部分。在後場和前場的比較上，前場的切球球速雖慢，但球落點近，飛行時間短；後場球速雖快但因後場的球路為高遠球，球的飛行時間長，在球速和落點的相互影響下，受試者的整體反應時間並無單純的因球速不同而有差異。

羽球的啟動，在騰空後有較快的著地時間。其次，球速及相容性對羽球啟動的反應時間並無影響，反應時間約在擊球後的0.27~0.3秒，這表示若防守者要爭取到較佳的回擊時間，推蹬腳必需在對手擊球後0.3秒內，朝正確的方向推蹬並且需達到最大的推蹬發力。在整體反應時間上，中場因球速快，且落地時間短，所以要有比前、後場較快跨步和較短的整體反應時間。

四、探討下肢勁度、左右腳最大推蹬力量與時機、推蹬腳最大水平發力，以及下肢各關節在動作期做功比例在不同擊球位置啟動的差異

(一)下肢勁度：

在著地後啟動的下肢勁度方面，本研究發現中場接殺球的下肢勁度有比前、後場大的趨勢(表 4-13)，再對照表 4-10，推蹬腳出現最大地面反作用力時，中場的重心水平速度有比其他方向快的趨勢，這也反應出在球速較快的中場接殺球部分，受試者在著地時是需要較大的下肢勁度以達到較快的推蹬及重心位移速度，這個結果和 Arampatzis 等 (1999)；Farley 等(1991)；Granata 等(2001)的發現：增加跳動(hopping)頻率和跑步速度時，下肢勁度會有增加的情形類似。

(二)著地啟動後，左、右腳的發力情形

根據表 4-11 的結果，發現兩腳最大地面反作用力的出現時機列的情形如下，即來球為右側方向的，左腳出現最大地面作用力的時機均顯著早於右腳。反觀，來球為左側方向的，右腳出現最大地面反作用力的時機雖有顯著早於左腳的趨勢，但只有在左後場有顯著差異。這可能是受試者在接左前、左中場來球時，因球落點在身體左前方，持拍手跟球後，身體會先朝來球方向偏移，再轉身跨步，而導致右腳推蹬跨步的時機和右腳離地後左腳推蹬身體往前的時機較為接近，而造成沒有顯著差異的情形。但在左後場的

部分，因落點位於身體左後方，為了保持擊球點在身體前面的狀態，因此受試者，右腳會先蹬地，以利加速跨步轉身來追球，也因此右腳的推蹬時機會早於左腳。歸納上述結果，本研究發現，來球方向的反側腳推蹬的時機普遍早於同側腳。

其次根據表 4-11，在兩腳最大地面反作用力各分量值的比較上，前、後方向地面反作用力的結果大部分均無顯著，這表示在前後方向的推蹬上，哪一隻腳的作用比較大並不明確。只有在左前場的部分，右腳往前推蹬顯著大於左腳，還有右後場是右腳向後推蹬顯著大於左腳。於左前場的部分，對照其發力時機，兩腳無差異，所以在此方向，往前推蹬主用腳為右腳。而右後場的部分，右腳是主要的往後推蹬腳。在左、右方向和垂直方向地面反作用力方面，實驗結果相當一致，即來球方向的反側腳推蹬的力量均顯著大於同側，而且反側腳的反作用力的方向也和來球方向一致，唯一無顯著的是後場正手在垂直反作用力上的比較，不過再比較其發力時機，發現反側腳的作用力還是較早出現。所以在左、右和垂直方向的主要推蹬腳為來球方向的反側腳。

最後，根據表 4-12 和圖 4-7 的結果發現，在著地後至第一步離地期間，兩腳的平均發力、總衝量及各關節推蹬的總作(正)功，來球方向的反側腳均大於同側腳，這表示在這段期間，反側腳在推蹬的貢獻度上是明顯大於同側腳的。綜合上述對於左、右腳的最大發力時機、大小、方向及作用量的比較下，在啟動時，和來球方向的反側腳是主要的推蹬腳，而同側腳是支撐腳。

(三) 推蹬腳最大水平推蹬力在不同擊球位置啟動的比較

根據表 4-13，本研究發現在不同擊球位置的啟動上，右前場和右後場有較小的水平推力，而這兩個擊球位置在此時的水平重心速度也較小(表 4-7)，但受試者仍可在此情形下做成功的擊球，表示在這兩個擊球位置的啟動，相對於其他位置來得輕鬆。反之在左前場和左中場需要的水平推蹬力較大，而且下肢勁度的平均值也比其他位置稍大，但此時的水平重心速度(表 4-7)，左前場的重心水平速度平均值並未比其他擊球位的大，這表示左前場的啟動，是較為費力且不易的，所以在訓練時可能要多注意這個位置上的啟動訓練。

(四) 左、右腳關節在啟動期的作(正)功的比例

在下肢各關節總作(正)功的部分(圖 4-8)，本研究發現，在不同方向的啟動過程中，擔任支撐腳的肢段有一個共同的特徵，就是在髖、膝、踝產能的貢獻上，髖關節所占的比例均是最高，六個啟動方向中，只有右中場的部分沒有超過下肢總作(正)功的 50%，其餘五個方向的作(正)功的比例均占該肢段總作(正)功的 55~60%；反觀在踝關節的部分，只有右中場的部分有超過該肢段總作(正)功的 10%，其餘都低於總作(正)功的 10%，這可能是在啟動時，身體重心會先往來球方向也就是支撐腳的部分移動，而蹬伸的力量也會由主推蹬腳發力後轉移至支撐腳(表 4-11)，但在推蹬腳離地前，支撐腳並無法完全伸展推蹬，支撐的作(正)功的來源主要是以髖關節和膝關節的屈/伸方向的作(正)功為主(表 4-14，4-15)；反觀在踝關節的部分，只有在推蹬腳快離地時，踝關節才在蹠屈的方向有比較大的作(正)功，這也造成踝關節在支撐的過程中作功比例較小的原因。

在各方向的推蹬腳方面，前場、中場的部分，下肢的三個關節的作(正)功比例，主要仍是以髖和膝占了大部分，不過在腳踝的部分是略有提升至總作(正)功的 25%左右，這表示在前、中場推蹬腳的主要作(正)功的來源仍以髖和膝為主。髖關節在三個作功方向中，前場是以內收/外展方向的作功為主(表 4-14，4-15)；中場的部分，左中場的髖關節作(正)功比例是以屈/伸方向為主，右中場的部分則三個方向作(正)功比例相似。在膝關節產能方向的部分，左前場、右前場、左中場、右中場四個位置，均是以屈伸方向為主。但後場的部分，關節的作用型態則和前、中場的部分有所不同，在此位置的關節作功，以踝關節的比例較多，尤其在後場反手的位置，踝關節的產能更顯著大於膝關節和髖關節，產能方向是以蹠屈/背屈方向為主。這可能是後場步法啟動時，軀幹的部分會先往後，造成髖和膝會先伸展，而減少了關節在推蹬時的角度變化量，進而影響了作功的比例，不過在踝關節的部分，軀幹往後傾的動作，反而讓踝關節能有較佳蹠屈動作，所以也導致在後場位置的啟動上，踝關節扮演著較重要的角色。

全場啟動的下肢勁度上，中場需配合來球速度應有較大的下肢勁度來啟動。在關節作功比例的部分，支撐腳的作功主要以髖關節的為主，並著重於屈/伸方向。推蹬腳的部分，前、中場的產作功比例以髖關節的屈/伸、內收/外展二個方向最大，而膝關節則是

以屈/伸方向為主。後場的部分的作功則是以踝關節蹠屈/背屈方向為主，所以在做下肢的訓練時，教練可針對各關節在不同方向啟動方向上，作功的大小及方向的特性來做調整。

第二節　結論及建議

本研究模擬羽球實際比賽情境，使受試者自己發高球至後場中央，再以餵球者真實擊球的方式，隨機擊出左右前場切球、左右中場殺球和左右後場高遠球等六種不同的球路，藉此探討受試者在羽球各擊球位置啟動時的動作時機、重心變化、地面反作用力及下肢作功等差異。經實驗後，本研究發現，受試者在前啟動期的準備動作，因餵球者的擊球動作和擊球方向尚不明確，使得受試者在此期的動作時機、雙腳發力和重心變化均無差異，表示在球路不明確時，本研究受試者在前啟動期六種不同球路的預備動作具有一致性，這也表示餵球者在餵球時的動作隱蔽性高，使得受試者無法預先做出球路判斷，符合本研究的實驗設計。待餵球者將球擊出後，受試者輕跳離地的時間約和對手擊球瞬間同時，輕跳時機是在對手擊球後 14~37 毫秒。雙腳離地後，輕跳的動作有減少起跳高度，並採收腳深跳(drop jump)的策略著地，著地時機約在受試者擊球後 0.12 秒。著地後，各擊球位置的啟動是以與啟動方向的反側腳來推蹬，而與啟動方向的同側腳則是支撐腳。在不同擊球位置啟動下肢的發力差異上，中場啟動需要稍大的下肢勁度。在推蹬腳的最大水平推力上，以左中場和左前場最大，但左前場在此時的重心水平速度並未有較快的移動，這表示左前場的啟動，是較為費力的，所以在訓練時可能要多注意這個位置上的啟動訓練。在推蹬腳的關節作功比例上，前、中場的部分以髖(屈/伸、內收/外展)和膝(屈/伸)作功比例高，後場作功則是以踝關節(背曲/蹠曲)為主，所以在訓練上可參考下肢各關節在不同擊球位置啟動上作功的特性來訓練。最後，在反應時間的部分，各擊球方向啟動的反應時間無差異，約在擊球後的 0.27~0.3 秒，這表示若防守者要爭取到較佳的回擊時間，下肢應於對手擊球後 0.3 秒內，要有正確的推蹬方向及最大的推蹬發力。在整體反應時間上，中場因球速快，且落地時間短，所以要有比前、後場較快的跨

步和較短的整體反應時間。

引用文獻

王智宏、涂國誠、邱宏達（2007）。羽球選手阿基里斯腱受傷機轉之生物力學分析。*大專體育學刊，9*（3），97-105。

平川卓弘、胡小藝 (1995)。*羽毛球基本論*。臺北：益群

何維華、李超群、相子元 (2004)。以 MRI 法建立台灣青年男子人體肢段參數之研究。*中華生物醫學工程期刊，24*(1)，1-6。

周財勝、盧正崇 (2005)。羽球運動-擊球步法應用技術之探討，*大專體育，76*，170-175。

林政東、陳全壽 (2000)。兩種不同牽張幅度深跳練習的二階段肌電現象之比較。*體育學報，28*，329-338。

林政東、吳國輝 (2010)。台灣運動員不同強度深跳動作的表現之分析。*運動教練科學，18*，47-58。

林政東、劉宇、林謙如 (2001)。兩種不同牽張幅度深跳練習的彈性勁度之分析。*大專體育學刊，3*(2)，143-151

林淑親、林耀豐 (2007)。影響反應時間因素之探討。*中華體育季刊，21*(3)，103-117。

林清和 (1996)。*運動學習程式學*。台北市：文史哲出版社。

林耀豐 (1996)。影響反應時間因素之探討及應用。*中華體育季刊，9*(4)，81-88。

林耀豐、林清和 (1996)。不同網球接發球反應前期與方向對其反應及動作時間的影響。*體育學報，21*，195-206。

俞繼英 (2001)。*奧林匹克羽毛球*。中國北京：人民體育出版社。

施榮展、翁梓林、林武城、邱鈺烘 (2005)。羽球選手上網步法最後一步跨步動作之探討。*運動生物力學研究彙刊(一)*，266-267。

洪聰敏、豐東洋 (2003)。運動員與非運動員訊息處之研究。*體育學報，35*，117-126。

胡名霞 (2006)。*動作控制與動作學習(第二版)*。新北市：金名圖書有限公司。

涂國誠 (1999)。羽球基本步法及應用步法的分析。*中華體育季刊，13*(2)，46-55。

涂國誠 （2007a）。羽球新規則的實施對單打競賽時間結構及技術使用率的影響，*體育學報，40* (3)，129~142。

涂國誠 （2007b）。*羽球運動-教學與訓練*。臺北市：品度公司。

翁梓林 (2000)。影響短距離起跑之生物力學分析。*國立臺北師範學院學報，13*，569-581

張博、紹年 (2002)。*羽毛球*。臺北市：國家出版社。

張嘉芳、林耀豐 (2010)。預期對技能水準表現的影響。*中華體育季刊，24*(3)，43-49。

許太彥 (2003)。*國小學童赤腳著地動作之生物力學分析* (未出版博士論文) 。國立臺灣師範大學，臺北市。

陳秋梅、邱憲祥 (2005)。羽球運動的起源及發展，*大專體育，76* ，138-144。

黃昊昀、寧黃麟、李佳達、呂東武 (2010)。空手道選手逆擊動作反應時間與動作時間之分析與探討。*運動教練科學，20*，83-92。

黃貴樹 (2007)。*羽球步法啟動之運動生物力學分析* (未出版博士論文) 。國立臺灣師範大學，臺北市。

詹建人 (2013)。球速及刺激-反應相容性對網球截擊動作反應時間的影響-以青少年網球選手為對象。*屏東教大運動科學學刊，8*，10-27。

劉于詮 (2008)。我國青少年羽球選手運動傷害調查分析-以 2008 年台灣省羽球協會會長暨 Wilson(k)FACTOR 盃全國青少年羽球錦標賽為例。*屏東教大體育，14*，384-396。

劉鎮國 （2001）。應用虛擬實境探討我國大專足球運動員反應時間。*大專體育學刊，3*(2)，35-46。

盧正崇、張雅棻（2007）。論羽球專項速度。*大專體育，89*，16-20。

薛尹彰、潘光敏、楊文添、廖偉成、鄭任佑、蔡虔祿 (2014)。羽球兩種正拍切球與殺球

之運動學分析。*臺北城市運動健康休閒學刊，3*(2)，1-15。

蘇韋丞、林耀豐 (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。*台灣運動心理學報，9*，85-107。

Arampatzis, A., Bruggemann, G., & Metzler, V. (1999). The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. *Journal of Biomechanics, 32*, 1349–1353.

Arampatzis, A., Bruggemann, G., & Klapsing, G.M. (2001a). Leg stiffness and mechanical energetic processes during jumping on a sprung surface. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 33*, 923–931.

Arampatzis, A., Schade, F., Walsh, M., & Bruggemann, G.P. (2001b). Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *Journal of Electromyogrphy and Kinesiology. 11*, 355–364.

Baechle T.R., & Earle R.W. (2000). *Essentials of strength training and conditioning* (2nd ed.). Champaign, IL: National Strength and Conditioning Association

Bankosz, Z., Nawara, H. & Ociepa, M. (2013). Assessment of simple reaction time in badminton players. *Journal of Trends in sport Sciences, 1*(20), 54-61.

Besier, T. F., Lloyd, D. G., Ackland. T. R., & Cochrane J. L. (2001a). Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 33*(7), 1176-1181.

Besier, T. F., Lloyd, D. G., Cochrane, J. L., & Ackland. T. R. (2001b). External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 33*(7), 1168-1175.

Besier, T. F., Lloyd, D. G., Cochrane, J. L., & Ackland. T. R. (2003). Muscle activation strategies at the knee during running and cutting maneuvers. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 35*(1), 119-127.

Brown, R. M., Delong, D., Brown, N. L., & Reld, K. (1995). Stimulus-response compatibility and videogame performance. *Perceptual and Motor Skills, 80*, 691-698.

Chin, M. K., Wang, A. S. K., So, R. C. H., Siu, O. T., Steininger, K., & Lo, D. T. L. (1995). Sport specific fitness testing of elite badminton players. *British Journal of Sports Medicine*, *29*(3), 153-157.

Farley, C.T., Blickhan, R., Saito, J., & Taylor, C.R. (1991). Hopping frequency in humans: a test of how springs set stride frequency in bouncing gaits. *Journal of Applied Physiology, 71*, 2127–2132.

Finni, T., Ikegawa, S., & Komi, P. V. (2001). Concentric force enhancement during human movement. *Acta Physiologica Scandinavica, 173,* 369–377.

Finni, T., Ikegawa, S., Lepola, V., & Komi, P. V. (2003). Comparison of force velocity relationships of vastus lateralis muscle in isokinetic and in stretch-shortening cycle exercises. *Acta Physiologica Scandinavica, 177,* 483–491.

Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). *Human performance.* Belrnont, CA: Brooks/Cloe.

Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *4*, 11-26

Houck, J. (2003). Muscle activation patterns of selected lower extremity muscles during stepping and cutting tasks. *Journal of Electromyography and Kinesiology, 13,* 545-554.

Ishikawa, M., & Komi, P. V. (2007). The role of the stretch reflex in the gastrocnemius muscle during human locomotion at various speeds. *Journal of Applied Physiology*, *103*, 1030-1036.

Jin, H., Xu, G., Zhang, J. X., Gao, H., Ye, Z., Wang, P. … Lin, C. D. (2011). Event-related potential effects of superior action anticipation in professional badminton players. *Journal of Neuroscience Letters, 492*, 139-144.

Komi, P. V. (2008). *Strength and Power in sport* (2nd ed). Champaign, IL: Wiely-Blackwell

Kuntze, G. Mansfield, N. & Sellers, W. (2010). A biomechanical analysis of common lunge tasks in badminton. *Journal of Sports Sciences*, *28*(2), 183-191.

Kuitunen, S., Komi, P.V. & Kyrolainen, H. (2002). Knee and ankle stiffness during sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *34*, 166–173.

Latash, M.L., Zatsiorsky, V.M. (1993). Joint stiffness: Myth or reality? *Human Movement Science, 12*, 653–692.

Luiz de França Bahia Loureiro Jr., & Paulo Barbosa de Freitas. (2012). Influence of the performance level of badminton players in neuromotor aspects during a target-pointing task. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte, 18*(3), 203-208.

Magill, R.A. (2007). *Motor learning and control : concepts and applications* (8th ed.). New York: McGraw-Hill.

McMahon, T.A., & Cheng, G.C. (1990). The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? *Journal of Biomechanics, 23* (Suppl 1), 65–78.

Martain, F. (2009). Badminton. In D. J. Canie, P. A. Harmer, & M. A. Schiff (Eds.), *Epidemiology of Injury in Olympic Sports* (pp. 49-58). Champaign, IL: Wiley Blackwell.

Moran, K. A., & Wallace, E. S. (2007). Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. *Journal of Human Movement Science, 26*, 824-840.

Mori, S., Ohtani, Y., & Imanaka, K. (2002). Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. *Journal of Human Movement Sceience, 21*(2), 213-230.

Nieminen, M. J. J., Piirainen, J. M., Salmi, J. A. & Vesa Linnamo, V. (2014). Effects of neuromuscular function and split step on reaction speed in simulated tennis response. *European Journal of Sport Science, 14*(4), 318-326.

Owings, T. M., Lancianese, S. L., Lampe, E. M., & Grabiner, M. D. (2003). Influence of ball velocity, attention, and age on response time for a simulated catch. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 35*(8), 1397-1405.

Potach, D. H., & Chu, D. A. (2000). *Plyometric Training* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Rosebaum, D. A. (1983). The movement precuing technique: Assumption, application, and extention. In R. A. Magill (Ed.), *Memory and control of action* (pp. 251-274). Amsterdam: North-Holland.

Schmidtbleicher, D. (1986) Neurophysiological aspects of jump training. In K. Carl, & J. Schiffer (Eds.), *Zur Praxis des Sprungkrafttrainings* (pp. 56–72). Köln: Bundesinstitut für Sportwissenschaft.

Shariff, A. H., George, J., & Ramlan, A. A. (2009). Musculoskeletal injuries among malaysian badminton players. *Singapore Medical Journal, 50*(11), 1095-1097.

Shuji, M., Yoshio, O., & Kuniyasu, I. (2002). Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. *Journal of Human Movement Science, 21*, 213-230.

Sheppard, J.M., & Young, W.B. (2006). Agility Literature Review: Classifications, Training and Testing. *Journal of Sports Sciences, 24*(9), pp.919-32.

Tateuchi, H., Yoneda, T., Tanaka, T., Kumada, H., Kadota, M., Ohno, H., et al. (2006). Postural control for initiation of lateral step and step-up motions in young adults. *Journal of Physical Therapy Science, 18*, 49–55.

Teixeira-Salmela, L. F., Nadeau, S., Milot, M.-H., Gravel, D., & Requião, L. F. (2008). Effects of cadence on energy generation and absorption at lower extremity joints during gait. *Clinical Biomechanics, 23*(6), 769-778.

Tony, G. (2008). *Badminton: Steps to Success* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Tsai, C. L., Yang, C. C., Lin, M. S., Huang, K. S., & Chang, S. S. (2006). The EMG activity of the lower extremities in badminton smash stroke. *Journal of Biomechanics, 39* (suppl. 1), S562

Trimble, M. H., Kukulka, C. G., & Thomas, S. R. (2000). Reflex facilitation during the stretch-shortening cycle. *Journal of Electromyography Kinesiology, 10*(3), 179-87.

Tu, J. H., Lin, Y. F., & Chin, S. C. (2010). The influence of ball velocity and court illumination on reaction time for tennis volley. *Journal of Sports Science and medicine, 9,* 56-61.

Uzu, R., Shinya, M., & Oda, S. (2009). A split-step shortens the time to perform a choice reaction step and reach movement in a simulated tennis task. *Journal of Sports Science, 27*(12), 1233-1240.

Viitasalo, J. T. & Bosco, C. (1982). Electromechanical Behavior of Human Muscles in Vertical Jumps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 48*(2), 253-261.

Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M., & Smeeton, N. J. (2002). Anticipation skill in real-world task: Measurement, training, and transfer in tennis. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *8*(4), 259-270.

Williams, L. R. T., & MacFarlane, D. J. (1975). Reaction time and movement speed in a high-velocity ball-catching task. *International Journal of Sport Psychology, 6*, 63-74.

Young, W. B. & Farrow, D. (2006). A review of agility practical applications for strength and conditioning. *Strength and Conditioning Journal, 28*(5), 24-29.