

美和科技大學

104 年度教師專題研究計畫 結案報告

計畫名稱：桌球弧圈球相持之運動生物力學分析

計畫編號：MH- 104 - DSR - 002 [由研發處填寫]

計畫期間：104.01.01.~104.12.31.

計畫主持人：古國宏

共同主持人：蔡永川、吳鮪

經費總額：50,000 元

實際支用金額：42,374 元

經費來源：104 年度教育部獎補助款

桌球弧圈球相持之運動生物力學分析

摘要

本研究主要目的在探討桌球相持時身體動作型態及推蹬腳之地面反作用力情形有何不同。受試者為 7 位優秀高中桌球隊選手，皆為男性，年齡平均 16.14 ± 0.69 歲。研究器材包括一套 VICON 動作分析系統及一塊 AMTI 測力板（型號：OR6-7-4000）。分析結果如下：本研究中弧圈球相持時，地面反作用力垂直方向峰值平均 4193.91 ± 37.96 N，左右方向 161.73 ± 30.26 N，前後方向平均 292.30 ± 65.58 N，由結果可知垂直方向最大，其次為前後，最小為左右。另外也可知弧圈球相持時，擊球前左右方向會先達到峰值，接著是前後方向達到峰值，最後才是垂直方向達到峰值，且前後、左右方向在擊球前會逐漸減小。此一現象或許也可解釋說明弧圈球揮拍過程中，右腳推蹬過程是帶有扭轉的，才会有此一順序出現。

關鍵詞：桌球、弧圈球、相持、地面反作用力

The Biomechanic analysis on table-tennis loop drive in rally

Abstract

The purpose of this study was to investigate the body movement and ground reaction force of the loop drive players in table tennis rally. The subject included 7 elite senior high school table tennis team players, and which are all male, with average age of 16.14 ± 0.69 yrs. The results were showed as below: During the rally, the average of vertical peak GRF was 4193.91 ± 37.96 N, lateral peak GRF was 161.73 ± 30.26 N, and anterior-posterior peak GRF was 292.30 ± 65.58 N. The vertical force was the greatest, second by anterior-posterior, and the last was lateral force. In addition, during rally, the lateral force reach the peak first, second by the anterior-posterior, the last was vertical force before impact. The result could be that the table tennis players rotate their foot to help the force transform from ground to body and hand.

Keywords: table tennis, loop, rally, ground reaction force

第壹章、緒論

第一節、前言

桌球自 1988 年漢城奧運納入正式比賽至今也有一段時間了，從早期的蔣澎龍到現在的莊智淵、陳建安也都曾為我們國家爭取不少榮譽，也顯示出國人在這方面具有一定的潛力。技術上隨著時代的演變也有一些變化，如早期的打法偏向快攻，自從日本發明了弧圈技術，後經歐洲、中國及韓國等國家之不斷進化及改良，使現在的打法不但融合了弧圈球的影子，也使弧圈球的種類及功能也更為多樣化。

桌球的技術基本上可分三段，一為發球階段，二為接發球階段，三為相持階段。一個好的發球及接發球固然可提高得分機會，但以雙方選手實力差距不大的情況下，光是要靠發球及接發球來得分並不容易，有時會進入到相持階段，有好的相持能力作後盾才能提高贏球機會。

2004 年雅典奧運柳承敏 (RyuSeung-Min) 前衝弧圈球成功地壓制住對手，並取得該屆奧運會冠軍，從那時候開始弧圈抽球就經常出現在相持階段。弧圈球由於其飛行軌跡為弧線，故可用於對手發下旋球、搓球或削球時採用高吊弧圈球（又叫加轉弧圈球）把球過渡回去，或是有冒高的機會球或進入到相持階段所採用的前衝弧圈球，兩者適用時機不同，動作也不太一樣，而本研究這邊所主要要探討的為相持階段所採用的前衝弧圈球。

前衝弧圈球由於其強烈上旋的特性，可在飛行上造成幾個特點，一、可在球台下方將球抽起，以弧線的軌跡飛行並低平的飛過網進入到對方台區，避免被給對方快攻的機會。二、由於其旋轉的特性強烈，故在接觸桌面後，速度並不會損失，相對的由於旋轉速度強烈的關係，其前進速度仍保有威脅性，增加對手進攻或防守的難度。

而弧圈球的擊球時機可根據來球反彈後分為三個時期，一為上升期，即球反彈後到最高點這段時間，二為最高點，即球在空中之最高點時；三為下降期，即最高點後下降這段期間。一般桌球教學網站、書籍或是教練在教學時通常都會指導學員儘量在最高點擊倒球，因為該點經過上升期後速度會變慢、位置最高過網機會大、容易摩擦佳撞擊而不掛網、在最高點處垂直速度為零，無垂直分速較易於攻擊等一些因素，使該點擁有一些擊球上的優勢。但是由於對手的左右調動、來球的速度快慢、來球的時間差、來球的旋轉速度不同、本身回防的速度、正反手的轉換等因素，有時不見得每次都能順利在最高點擊到球，故選手必須根據來球的位置高低作適當調整，要求自己不管來球是在什麼位置，都要能成功且維持高品質地將球擊回去。而這也是以往國內外這方面研究較為少探討的地方，另外相關弧圈球的研究往往都是採用盡最大力抽球，但現今防守技術加強及弧圈反拉弧圈的技術也越來越成熟，想要一板解決對方有時並不容易，故有越來越多機會會進入到相持階段，而本研究除了針對盡最大力抽球做研究，也針對相持弧圈抽球之動作作分析，也希望結果能提供給選手在相持上更具體實務上的參考。

第二節、研究背景與動機

弧圈球之所以有弧線軌跡是因為其強烈旋轉所造成，而要造成強烈之旋轉就必須要有適當的撞擊與摩擦。由於在擊球時，球體圓心並非固定的，故無法單純地以純摩擦來增加旋轉速度。為了要增加靜摩擦及動摩擦力，除了使用摩擦係數較高之膠皮外（姚漢禱，1989；蕭美珠，2001），另外就是使用撞擊，撞擊可使法線力增加，間接達到增加摩擦的效果（唐東陽、陳喬龍，2007），但也不能單純只用撞擊，否則旋轉也會減少，故適當的撞擊/摩擦比例在弧圈球中就顯的很重要，好的比例才能兼顧穩定、速度及旋轉，而這也是本研究會在弧圈相持時要探討的地方。

要擊出高品質的球，也要靠動作技術上的配合。由國內外弧圈抽球的原創性研究已可得知，透過蹬地（肖丹丹，2006；陳昱，2010；高穎，2013；張庭睿，2012）和轉腰、轉肩（石昇文、吳鴻文、郭嘉民、王苓華，2011；李弘斌，2011；曾慶國，2002；簡健華，2010）的動作使速度變快變猛，接著擊球瞬間小臂加速向前收（李佩貞、陳建彰，2006；郭嘉民、洪美娟、許景林、王怡菁，2010；張少瓊，2012），透過這些動力鏈過程將動量由身體、球拍傳達給球（黃信學，2011；趙國成、張檣、李鄭，2013；趙曼曼，2012），這些技術在國內外文獻中已有基本的探討，也讓我們對弧圈球有不少認識。

但在相持時弧圈反拉弧圈，需考量下一板的回防，此與盡全力一板解決對手之弧圈動作勢必不同；且另外在相持過程中，有時在上升期擊到球、有時在最高點、有時在下降初期、有時在下降末期擊到球，如果擊球動作無法適時地調整，都以同樣動作來擊球，則相信失誤的機會應該很大。故包含地面反作用力、身體動作、球拍擊球型態及球體之線性及旋轉運動之分析，都將在本研究當中以運動生物力學原理來解釋說明如何因應不同來球位置，希望選手在相持時能根據來球的不同高低位置，選擇適當的擊球動作，以提升成功回擊的機會。

第三節、研究目的

本研究目的主要再探討弧圈球相持時，不同的擊球高度對一些人體動作上之運動學及動力學上之差異為何，希望瞭解這些差異以做為選手面對不同來球形態可選擇適合的回擊姿勢，以增加成功的機率。具體目的描述如下：

- 一、探討不同擊球高度下，人體各關節、肢段運動學及全身動力鏈表現情形。
- 二、探討不同擊球高度下，人體全身各關節的貢獻度。
- 三、探討不同擊球高度下，地面反作用力之峰值、出現時間、衝量。
- 四、探討不同擊球高度下，相持與最大力量抽球時其球體運動學參數、軌跡及撞擊 $F_{撞}$ /摩擦 $F_{磨}$ 比例之差異。
- 五、探討不同擊球高度下，在擊球時人體各肢段及球拍相對於球之位置及軌跡變化。

第四節、名詞操作性定義

一、弧圈球 (Loop)

指的是球體的飛行軌跡，此種方法為 1960 年由日本大學生中西義治首創。由於其在飛行時有強烈的上旋 (topspin) 特性，根據麥克納斯效應 (Magnus effect)，當其前進時氣流通過球體，流經上方時由於旋轉速度與氣體流向相反，故氣體速度會變慢；相反的而氣體流經下方時，由於旋轉速度與與氣體流向相同，故氣體速度會加快。根據白努力定律 (Bernoulli's principle)，當流體的速度加快時，物體與流體接觸的界面上的壓力會減小，反之壓力會增加。故弧圈球在飛行時其上方之氣體壓力會增加，下方之氣體壓力會減小，使得球體產生一下墜現象，此為弧圈球的特性。

經過技術的不斷演變，弧圈球根據其飛行軌跡、撞擊摩擦比例及旋轉軸的不同基本上發展出三種型態，即加轉弧圈球、前衝弧圈球與側旋弧圈球等三種，茲分別說明如下：

1. 加轉弧圈球：來球下降期拉出的弧線較高、速度略慢、上旋強烈的弧圈球（又稱為高吊弧圈球）。
2. 前衝弧圈球：來球上升後期或高點期拉出的弧線較低、速度較快、落台後衝力大的弧圈球。
3. 側旋弧圈球：擊球點偏球側面、側旋成份較多的弧圈球。

二、相持 (rally)

一般來說指的是在桌球或網球比賽中，互相攻防，一來一往之過程。另外吳煥群、李振彪 (1990)：桌球三段技術評估指標，發球搶攻：發球（即第一球）到第三球（發球者自發球後再出手擊球為第三球）之得分或失分屬於發球搶攻技術範圍，包含發球、推擋球、拉攻、殺球、撥攻、搓球、發球被攻等。接發球搶攻：對接發球者而言，從接球（即第二球）到第四球（接發球者回接發球後再出手擊球為第四球）之得分或失分屬於接發球搶攻技術記錄範圍，包含對方發球失誤、推擋球、拉攻、殺球、撥攻、搓球、接發球被攻等。相持球：第四球後（即第五球開始）之得分或失分屬於相持球技術記錄範圍，包含推擋球、拉攻、殺球、撥攻、搓球、被攻、對推、對攻(拉)等。

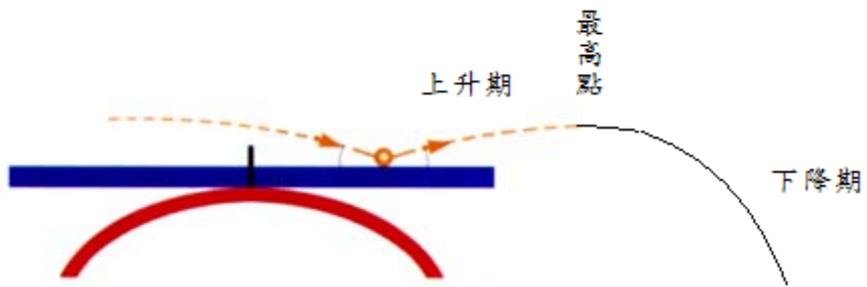
三、弧圈反拉弧圈 (Loop anti loop)

當對方拉出的弧圈球弧線稍高，就運用反拉技術，這是完全的進攻技術，比反帶技術動作稍大，同時腰部動作也稍大些，也要善于借助對方的旋轉。2000 年的弧圈球運動員正手近臺對付弧圈球必須堅持在近臺反帶，反拉弧圈，從打法上更能積極主動，只有掌握搏殺技術，才能有搏殺能力，符合 2000 年乒乓球的發展趨勢。

四、上升期、最高點、下降期

1. 上升前期：指球自落點反彈剛上升的階段。
2. 上升後期：指球自上升前期到最高點的階段。
3. 高點期：指球在最高點附近的階段。
4. 下降前期：指球自最高點下降的開始階段。

- 5. 下降中期：指球下降至檯面附近的階段。
- 6. 下降後期：指球下降至桌面下與地面之間的階段。



第貳章、研究方法

第一節、受試者

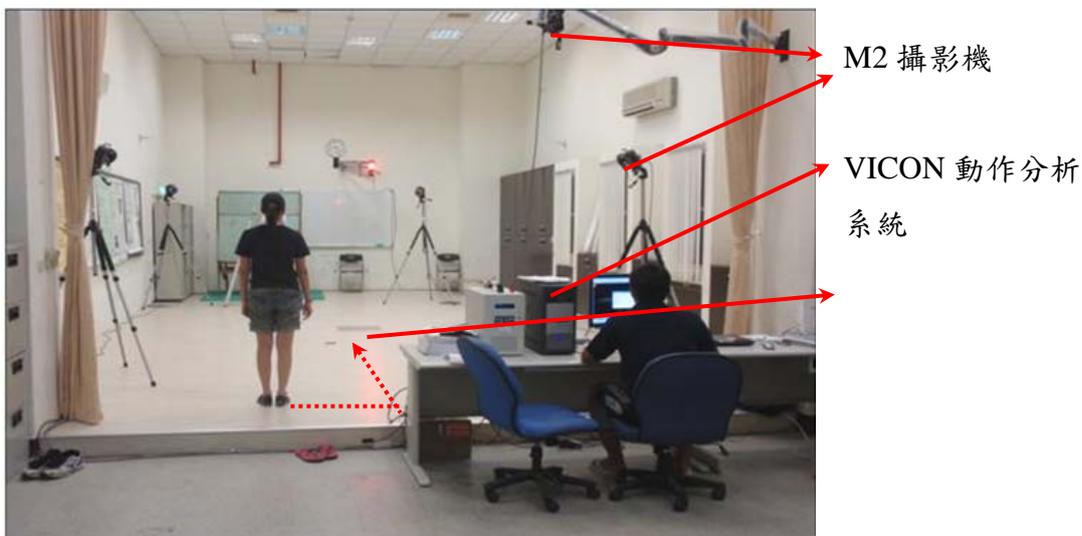
本研究之受試者為 7 位高中優秀桌球隊選手，性別皆為男性，年齡平均 16.14 ± 0.69 歲，受試者來源主要為屏東美和中學桌球隊選手，選手們皆有多年之訓練比賽經驗，且至目前為止都有正規的接受學校桌球隊訓練。

第二節、實驗時間與地點

一、實驗日期：104 年 12 月 19 日 星期六 下午 14:30-18:00

二、實驗地點：長榮大學運動生物力學實驗室（如圖）。

台南市歸仁區長江路 1 號 體育館



第三節、實驗器材

一、VICON 動作分析系統 (Vicon Motion Systems Ltd., West Way, Oxford OX2 0JB, UK)

如圖，含 M2 攝影機 6 台，取樣頻率設為 250Hz，能同步擷取運動學和測力板資料。另外本研究也以 VICON 動作分析系統內建之軟體 (Workstation 和 Bodybuilder) 針對貼附於人體反光球的運動學資料 (反光球座標值) 進行運算與平滑 (以 Workstation 軟體中的 general

cross-validatory quintic spline routine 針對資料作平滑化的處理)。

二、反光球

貼附於受試者身體，包括左肩峰 (LSHO)、右肩峰 (RSHO)、手肘外側 (RUPA)、手肘內側 (RELB)、尺骨 (RWRA)、橈骨 (RWRB)、右後髖關節 (RASI)、左後髖關節 (LASI)、右前髖關節 (RPSI)、左前髖關節 (LPSI)、右大轉子 (RGR-TRO)、右膝關節 (RKNEE)、右踝關節 (RANKLE)、右腳跟 (RHEE)、右腳尖 (RTOE) 等 15 個點，讓 VICON 動作分析系統進行拍攝，進而計算運反光球本身動學的座標資料。

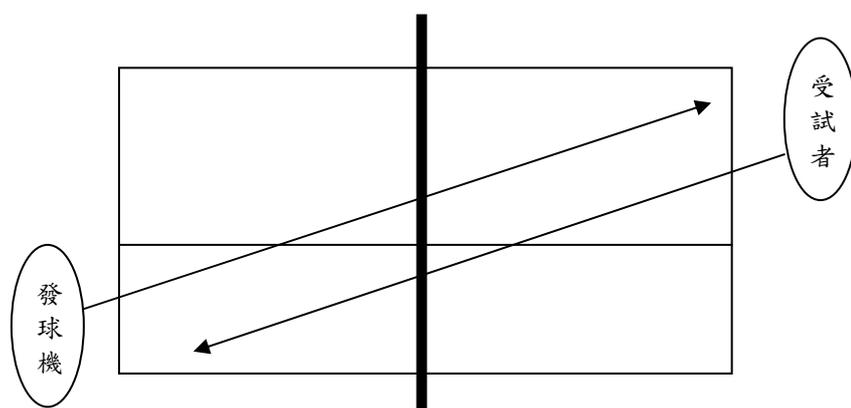
三、AMTI 測力板 (Advanced Mechanical Technology, Inc. , 176 Waltham Street, Watertown, MA 02472-4800 USA)

如圖，以 AMTI 測力板 (型號：OR6-7-4000) 進行對地作用力資料之擷取。在實驗時，AMTI 測力板取樣頻率設為 1000Hz，並且以 VICON 動作分析系統進行和攝影機同步的控制，以同時擷取運動學和動力學資料。AMTI 測力板所得的數據資料，主要以 VICON 動作分析系統中的 Workstation 軟體來進行輸出。

第四節、實驗流程與步驟

實驗前：為了能反應實際比賽情況，本研究會先預以高速攝影機拍攝選手實際相持互拉弧圈時，其球體速度、飛行軌跡及旋轉速度、相持頻率等運動學參數，方便發球機設定同等狀態。為符合選手平時比賽習慣及確保每個人球拍彈性、摩擦能盡量維持一定，本研究讓選手使用自己的球拍，但膠皮統一採用蝴蝶牌 Tenergy-05 黑色 2.1mm，此款為左訓國手最多人使用的一款。

實驗中：將發球機安置於桌球桌的一側，而受試者站在另外一側，由於本研究是模擬正手相持，故要求選手需將球回抽同一側。發球機出球速度、頻率、拋射角度、出球高度等參數參考實驗前測出的結果，盡量符合比賽相持狀況，並會和桌球教練做討論後決定。每次發球機出球時其出球參數皆固定，測力板位置固定於地上，故會調整桌球檯及發球機位置，使來球反彈後飛到受試者位置時分別為上升期、最高點、下降期狀態。預計要求選手能成功地來回相持 5 次，每位受試者總計做 3 次。



桌球實驗場地布置示意圖



實驗場地佈置圖



VICON 攝影系統



實驗結束與受試者合影

第五節、資料處理與分析

- 一、不同擊球高度下，人體各關節、肢段運動學、地面反作用力、球拍撞擊型態及球體運動學等參數比較是以相依樣本 ANOVA 來分析。
- 二、人體全身各關節對球速的貢獻度是以相關來分析。
- 三、測力板數據分析以前後、左右及垂直三個方向分力為主。
- 四、資料處理以 Matlab 7.0 軟體來計算，統計分析以 SPSS 17.0 軟體來執行，顯著水準設為 $\alpha = .05$ 。

第參章、結果與討論

第一節、受試者基本資料

本研究之受試者其基本資料參見下表 4-1，性別皆為男性，年齡平均 16.14 ± 0.69 歲，現在皆為美和中學高中部桌球隊選手。身高平均 174 ± 3.51 cm，體重平均 63.85 ± 9.90 kg，慣用手皆為右手，桌球經驗平均有 5.07 ± 3.46 年，且皆有參加過屏東縣韻、全中運、中小聯運等經驗。

表 4-1 受試者基本資料分析表

	性別	年齡	身高	體重	慣用手	桌球經驗
受試者一 黃鼎元	男性	17	172	72	右手	4
受試者二 朱翊揚	男性	16	172	62	右手	4
受試者三 尤育博	男性	16	181	65	右手	3.5
受試者四 顏展鴻	男性	17	170	56	右手	2
受試者五 顏展聖	男性	15	174	62	右手	2
受試者六 邱冠翔	男性	16	174	50	右手	10
受試者七 鍾榮洋	男性	16	175	80	右手	10
平均值	男性	16.14 ± 0.69	174 ± 3.51	63.85 ± 9.90	右手	5.07 ± 3.46

第二節、測力板之運動生物力學分析

由下表 4-4 可知，本研究中弧圈球相持時，地面反作用力垂直方向峰值平均 4193.91 ± 37.96 N，左右方向 161.73 ± 30.26 N，前後方向平均 292.30 ± 65.58 N，由結果可知垂直方向最大，其次為前後，最小為左右。也因為桌球畢竟是向前揮拍，才能把球向前揮擊，故前後之 GRF 會大於左右之 GRF。

表 4-4 地面反作用力之數據分析表

	Fx(N)	Fy(N)	Fz(N)	Mx(Nm)	My(Nm)	Mz(Nm)
受試者一	206.55	292.78	4199.46	332877.24	570587.45	286923.24
受試者二	157.58	395.98	4236.56	404692.40	608763.63	286923.24
受試者三	191.96	345.20	4213.92	410064.76	545923.27	286923.24
受試者四	156.51	223.09	4174.54	38284.27	557988.92	286923.24
受試者五	115.40	231.43	4235.40	332194.03	539700.13	286923.24
受試者六	142.20	237.59	4138.20	349715.89	574564.93	286923.24
受試者七	161.91	320.08	4159.32	421815.61	602749.84	286923.24
平均值	161.73 ± 30.2 6	292.30 ± 65.5 8	$4193.91 \pm 37.$ 96	$327092 \pm$ 132828	$571468.3 \pm$ 26530.8	286923.24

張庭睿（2012）曾以八名大專甲組選手做實驗，觀察側併步與交叉步兩種不同步法其運動生物力學參數，分析結果得到近距離側併步時左腳推蹬最大垂直 GRF 為 1.22 ± 0.24 倍體重；而近距離交叉步時左腳推蹬最大垂直 GRF 為 0.927 ± 0.17 倍體重，兩者間達顯著差異 ($p < .05$)。

黃信學（2011）正手揮拍拉上旋球時右腳垂直方向地面反作用力平均為 638.18-638.65 N，拉下旋球時右腳 GRF 平均為 720.80-793.75 N，由此結果可知拉下旋球時地面垂直反作用力較大。其表示可能是因為拉下旋球時需要更多摩擦以增加進球率，故有此一現象。

下圖 4-1 可知弧圈球相持時，擊球前左右方向會先達到鋒值，接著是前後方向達到鋒值，最後才是垂直方向達到鋒值，且前後、左右方向在擊球前會逐漸減小。此一現象或許也可解釋說明弧圈球揮拍過程中，右腳推蹬過程是帶有扭轉的，才会有此一順序出現。

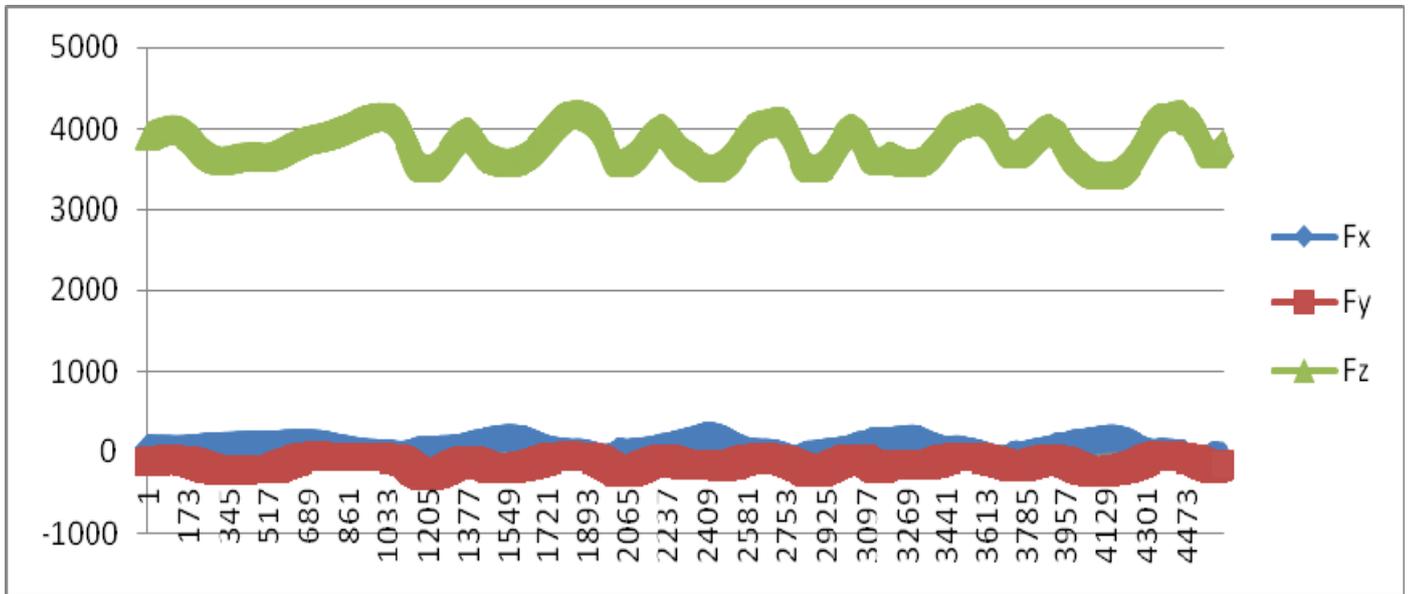


圖 4-1 弧圈球相持時之地面反作用力示意圖

黃信學（2011）曾針對桌球正手拉球作運動生物力學分析，在引拍期由於身體重心向後方轉移，右腳向後方踩，所以右腳之 GRF 開始增加，且因重心轉移需左腳推蹬幫忙，故左腳之 GRF 也會增加，兩腳 GRF 均在擊球前達到鋒值；擊球後兩腳 GRF 均逐漸消失（下圖 4-2）。

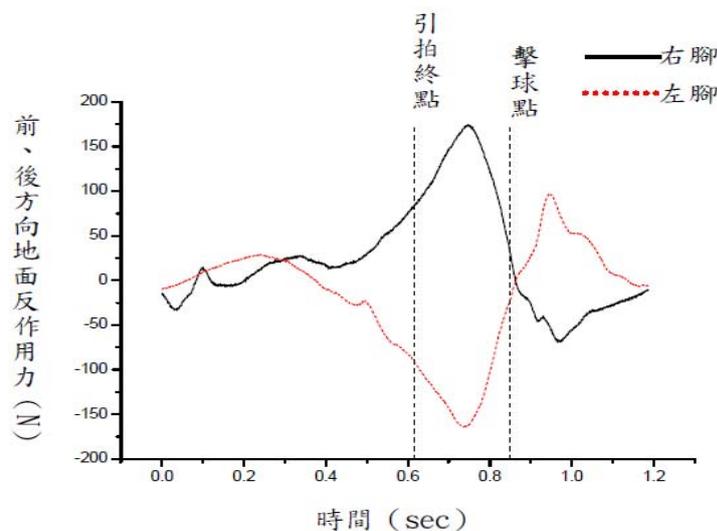


圖 4-2 正手拍拉球前後方向地面反作用力（取自於黃信學，2011）

而在垂直力量方面（參見下圖 4-3），重心會向右後方移動，故右腳 GRF 逐漸增加，左腳 GRF 則逐漸減少，在引拍終點時右腳下降到低點，隨後隨著正手揮拍動作而逐漸增加，一直到擊球前達到鋒值；而左腳則成相反狀況，在引拍終點時達到鋒值，而在揮拍期間則逐漸減小，一直到擊球瞬間，之後才慢慢增加。

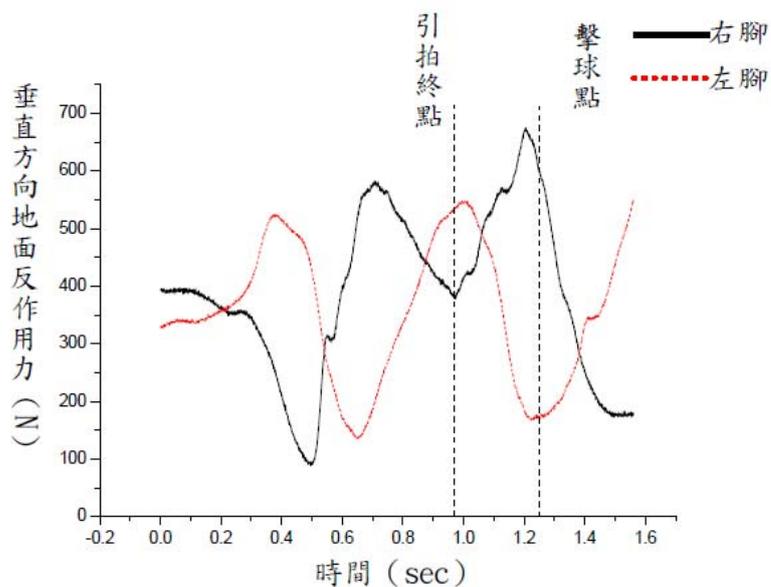


圖 4-3 正手拍拉球前後方向地面反作用力（取自於黃信學，2011）

第肆章、結論與建議

本研究中弧圈球相持時，地面反作用力垂直方向鋒值平均 4193.91 ± 37.96 N，左右方向 161.73 ± 30.26 N，前後方向平均 292.30 ± 65.58 N，由結果可知垂直方向最大，其次為前後，最小為左右。也因為桌球畢竟是向前揮拍，才能把球向前揮擊，故前後之 GRF 會大於左右之 GRF。此一結果與現象也與相關文獻結果相呼應，另外也可知弧圈球相持時，擊球前左右方向會先達到鋒值，接著是前後方向達到鋒值，最後才是垂直方向達到鋒值，且前後、左右方向在擊球前會逐漸減小。此一現象或許也可解釋說明弧圈球揮拍過程中，右腳推蹬過程是帶有扭轉的，才会有此一順序出現。故可知透過扭轉來達到單次揮拍動作之間的銜接在相持中是很重要的。

以上為本研究之發現結果，也提供給未來選手、教練或運科人員訓練或比賽時的參考。

參考文獻

中文期刊

- 石昇文、吳鴻文、郭嘉民、王苓華 (2011)。桌球正手弧圈球之運動學。大專體育學刊，13 (1)，55-62。
- 郭嘉民、洪美娟、許景林、王怡菁 (2010)。桌球正手拉球動作之上肢運動學。臺中學院體育，6，131-143。
- 郭學眾 (1999)。直板快攻正手打弧圈球拍形的力學分析。寶雞文理學院學報(自然科學版)，19 (4)，66-70。
- 黃若飴 (2007)。桌球加轉弧圈球的技術分析與探討。大專體育，90，26-32。
- 趙國成、張檣、李鄭 (2013)。乒乓球正手反拉高吊弧圈球與前衝弧圈球技術差異性的運動學分析。瀋陽體育學院學報，32 (2)，99-101,123。
- 孫在、余廣鑫、郭美、朱麗莉、楊軍、何正兵 (2008)。乒乓球弧圈球的空氣動力學原理及其飛行軌跡的仿真分析。體育科學，4，69-71。
- 黃誠、李強、危小焰 (2004)。乒乓球直拍橫打攻弧圈球技術動作的運動學參數研究。體育科研，5，38-41。
- 張妙玲、王軍平 (2000)。弧圈球碰台過程的力學分析。北京體育大學學報，2，197-198。
- 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)，1，117-120。
- 申燕臻 (2005)。弧圈球的技術與訓練。徐州工程學院學報，5，92-94。
- 劉雪凱 (2004)。多媒體攝像在乒乓球弧圈球教學中的運用研究。遼寧體育科技，3，72-72。
- 曾慶國 (2002)。乒乓球弧圈球技術中"轉髯"動作的生物力學分析。安徽體育科技，2，49+61。
- 潘克旺、閻松章 (2004)。乒乓球運動中上旋球與弧圈球的力學原理。濰坊教育學院學報，4，22-23。
- 殷春宇、史利 (2008)。世界乒壇弧圈球打法的研究分析。成功(教育版)，9，284-284。
- 劉金香 (2010)。淺析乒乓球運動中的弧圈球技術。長江大學學報(自然版)理工卷，3，654-655。
- 高穎 (2013)。正手弧圈球技術的腳部用力研究。體育科技文獻通報，21 (5)，43-45。
- 唐芳武 (2006)。不同弧圈球技術特點的對比分析及運用。體育科技文獻通報，6，27-29。
- 高穎 (2013)。動力學數學模型下弧圈球運行軌跡的研究。河北體育學院學報，27(4)，79-82。
- 楊蕊菡、李世明 (2012)。乒乓球正手弧圈球技術的解剖學分析。運動，11，15-17。
- 梁媛媛、李智偉、宋偉、周睿 (2008)。關於直拍推擋技術對付弧圈的打法研究。四川體育科學，2，58-59+62。
- 趙國成、張檣 (2012)。正手反拉高吊弧圈球與前衝弧圈球技術差異性的運動學分析。第十五屆全國運動生物力學學術交流大會年會議論文，(2012/10)，81-82。
- 馬亞非 (2011)。淺談乒乓球弧圈球型打法的訓練。東京文學，4，325-325。

- 劉雅玲 (2005)。弧圈球技術及其訓練方法。中國體育教練員，3，26-27。
- 肖丹丹、鐘宇靜、蘇丕仁 (2008)。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，4，82-87。
- 侯力 (2006)。對乒乓球運動員採用直板反膠打法可行性的初步探討。搏擊·武術科學，6，70-71。
- 房傑 (2003)。運用計算機仿真技術對乒乓球碰撞的研究。天津體育學院學報，3，47-49。
- 肖丹丹、蘇丕仁、唐建軍 (2008)。乒乓球運動員正手弧圈球技術的地面支撐作用力分析。天津體育學院學報，1，57-59。
- 陳昱 (2010)。旋轉在乒乓球、網球技戰術中的結合與應用。西安文理學院學報 (自然科學版)，2，125-128。
- 成凌霄 (2013)。乒乓球相持球技術的訓練及其應用。研究文體用品與科技，10，169-169。
- 唐東陽、肖丹丹 (2011)。弧圈球技術集擊球穩健性和威脅性於一體的物理分析。中國體育科技，5，52-55+59。
- 趙曼曼 (2012)。乒乓球正手弧圈球技術的運動學及其肌肉發力特徵研究。未出版碩士論文，西安體育學院。
- 張少瓊 (2012)。乒乓球運動員接正手橫拍弧圈球技術的眼動特徵對比研究。未出版碩士論文，西安體育學院。
- 肖丹丹 (2006)。乒乓球正手快攻、弧圈球技術的生物力學研究及步法墊測試系統的研製與實驗。未出版碩士論文，北京體育大學。
- 張少瓊 (2012)。乒乓球運動員接正手橫拍弧圈球技術的眼動特徵對比研究。未出版碩士論文，西安體育學院。
- 楊斌 (2002)。優秀女子青少年乒乓球運動員弧圈技術分析。未出版碩士論文，北京體育大學。
- 柳天揚 (1995)。我國男子優秀乒乓球運動員正手近台攻打、反衝前衝弧圈球技術的三維運動學分析。未出版碩士論文，北京體育大學。
- 劉有財 (2006)。臺灣桌球運動沿革與現況之研究。身體文化學報，3，115-128。
- 周鳳珍、游鳳芸、陳金海、侯淑玲 (2012)。優秀女子桌球選手攻防技術分析。交大體育學刊，4，16-23。
- 陳秀惠、陳惠哲、葉小菩 (2011)。桌球正手擊球動作的協調與量化。體育學報，44 (3)，423-435。
- 簡健華 (2010)。桌球正拍拉球之生物力學分析。未出版碩士論文，國立台灣師範大學，台北市。
- 沈郁杰 (2012)。桌球直拍橫打與反手抽球之生物力學分析。未出版碩士論文，國立台灣師範大學，台北市。

- 黃信學 (2011)。桌球正、反拍拉球動作之生物力學分析。未出版碩士論文，國立台灣師範大學，台北市。
- 張庭睿 (2012)。桌球「側併步」與「交叉步」動作之生物力學分析。未出版碩士論文，國立台灣師範大學，台北市。
- 李弘斌 (2011)。桌球反拍拉球之生物力學分析。未出版碩士論文，國立台灣師範大學，台北市。
- 蕭美珠 (2001)。不同桌球拍膠皮摩擦係數與恢復係數之研究。北體學報，9，45-62。
- 陳建彰 (2005)。影響桌球技能相關因素之探討與計畫。輔仁大學體育學刊，4，364-375。
- 周資眾、羅志勇、陳昭彥、郭信聰、曾銀助 (2010)。運動科學的基礎與應用—以桌球運動訓練科學化為例。運動健康與休閒學刊，17，33-47。
- 黃若飴 (2007)。桌球加轉弧圈球的技術分析與探討。大專體育，90，26-32。
- 杜美華、洪美娟 (2007)。桌球運動正手反拉弧圈球技術之探討。大專體育，88，137-141。
- 孫在、余廣鑫、郭美、朱麗莉、楊軍、何正 (2008)。乒乓球弧圈球的空氣動力學原理及其飛行軌跡的仿真分析。體育科學，4，69-71+96。
- 姚漢禱 (1989)。桌球抗旋膠皮的性能和技術。中華體育季刊，2 (4)，87-91。
- 唐東陽、陳喬龍 (2007)。乒乓球與球拍之間的摩擦。武漢體育學院學報，41 (7)，56-58。
- 郭嘉民、洪美娟、許景林、王怡菁 (2010)。桌球正手拉球動作之上肢運動學。臺中學院體育，6，131-143。
- 成俊杰 (2010)。反拉弧圈球技术在王励勤比赛中的运用。體育科學研究，14 (1)，89-92。
- 楊蕊菡、李世明 (2012)。乒乓球正手弧圈球技術的解剖學分析。運動，11，15-17。

網站資料

- 中華百科 (2013)。桌球。2013年12月29日，取自網站
<http://wikiyou.tw/%e6%a1%8c%e7%90%83/>。

西文期刊

- Iino, Y., & Kojima, T. (2009). Kinematics of table tennis topspin forehands: effects of performance level and ball spin. *Journal of Sports Science*, 27(12), 1311-1321.
- Iino, Y., Mori, T., & Kojima, T. (2008). Contributions of upper limb rotations to racket velocity in table tennis backhands against topspin and backspin. *Journal of Sports Science*, 26(3), 287-293.

附錄一

桌球弧圈球動作技術分析

編號：_____

各位選手您好：

本人正在進行桌球弧圈球技術分析，過程中需麻煩您做數次的弧圈球相持、上旋球抽球、下旋球抽球等動作，過程中如有身體不適等症狀可隨時停止。研究結果絕對保密，且僅用於學術研究上，敬請放心配合。

再次感謝您對本研究之協助

美和科技大學 古國宏老師

中華民國 104 年 12 月 19 日

一、基本資料

1. 性別：● 男生 女生

2. 年齡：_____ 歲

3. 身高：_____ 公分

4. 體重：_____ 公斤

5. 慣用手：● 右手 左手

6. 桌球經驗：_____ 年

7. 參加過比賽：_____

8. 球拍型號：_____

9. 膠皮型號：_____

二、實驗記錄

次數	成功	失敗
1-1-1		
1-1-2		
1-1-3		
1-1-4		
1-1-5		
1-1-6		
1-2-1		
1-2-2		
1-2-3		
1-2-4		
1-2-5		
1-2-6		
1-3-1		
1-3-2		
1-3-3		
1-3-4		
1-3-5		
1-3-6		