

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學(一)科

032805

我的超科學搓球術-羽球搓球技術之科學探究

學校名稱：雲林縣立西螺國民中學

作者： 國二 廖振淵 國二 廖容陞 國二 廖翎涵	指導老師： 陳泓杉 黃浩哲
---	-----------------------------

關鍵詞：球感、作用力、搓球角度

摘要

我們對搓球十分好奇，但又掌握不到那飄渺的球感。於是，我們進行文獻探究找出搓球動作的關鍵因素，並著手設計實驗裝置。透過重覆操作此裝置，我們找到最佳的搓球動作——搓球作用力（以通過時間表示）0.05 秒至 0.06 秒、搓角 20° 可產生高品質搓球、成功把搓球動作科學化，讓球感能具體呈現。令人振奮的是，我們發現搓球越快時，手越容易出現不易控制的反作用力，應是搓球失敗的主因。

本實驗裝置亦可說是全台第一座搓球動作研究及學習裝置！我們透過此裝置練習搓球，比對實驗數據後，可科學化快速修正動作，可說是搓球的葵花寶典。另外，我們也結合原理分析，提供大家在不同條件下的搓球應對策略以資參考。

壹、研究動機

近年來小小台灣在國際羽壇發光發熱，戴資穎更被喻為球場魔術師！

本校是縣內的羽球重點學校，想當然而，我們在羽球場上也該是叱咤風雲的！問題是，當我們拿起球拍時，球兒總是不聽使喚！看似簡單的網前搓球，不但沒給對手致命一擊，還反被對手被打了個措手不及！我們透過老師指導，上網看教學影片、找書尋求動作教學，但仍未能如校隊一般行雲流水。我們知道那是無數個日子苦練累積出的球感。但，這學習過程中，卻也讓我們開始反思著幾個問題：

- 一、老師、網站與書的搓球動作說法不太相同，每人對文字的陳述理解不同。能否有更好的，如科學、可計量的方式來表示搓球動作呢？
- 二、比賽時，對於搓球結果：球貼網、過網高度低、落地後離網近，稱為高品質的搓球。若球不停旋轉，更能造成選手回擊難度！搓出高品質的球，其關鍵是什麼呢？
- 三、校隊的球感我們遠遠不及！除了重覆苦練以培養球感，有沒有更好的練習可以掌握搓球動作呢？能不能也科學化呢？
- 四、如果我們真的找出科學化的搓球，能否應用在比賽中呢？

為了解決上面的問題，我們開始搓球的科學探究！

貳、研究目的

在搓球的教學及研究資料中，我們發現並不容易掌握搓球動作及搓球品質。球隊的同學

說，找教練一直練習是最好的方式。但，我們並非校隊，也沒有資金請教練，老師也只能利用下課指導我們。所以，我們打算建置一個簡易的網前搓球裝置，並透過手機錄影及紀錄實驗數據，分析實驗結果，希望達到以下的目的：

- 一、透過搜集文獻資料，了解影響搓球動作的主要變因。
- 二、利用簡易器材，設計搓球實驗裝置，科學化搓球動作。
- 三、參考實驗結果，建置科學化搓球學習環境，供大家學習。
- 四、應用實驗結果，產生科學化搓球策略於比賽中。

參、研究設備及器材

- 硬體:筆電x1 台、智慧型手機x1 台、光電計時器主機x1 台、紅外線感測器x2 組、皮尺x1 個、長尺x1 個、攜帶式羽球網架x1 組、穿線磅數 24 磅碳纖維羽球拍x1 隻、羽毛球x1 顆、鋼針x3 支、自製量角器x1 張、支架 x1 座、電子磅秤 x1 台、直流電源供應器 x1 台、電磁鐵 x1 台、電線數條。
- 軟體:Corel photo-paint 2020 相片處理軟體、PDF Xchanger Viewer 文書編輯軟體、PotPlayer 影片擷取相片軟體。

肆、研究過程

一、研究架構圖：下圖 1 為我們本次研究的流程圖。

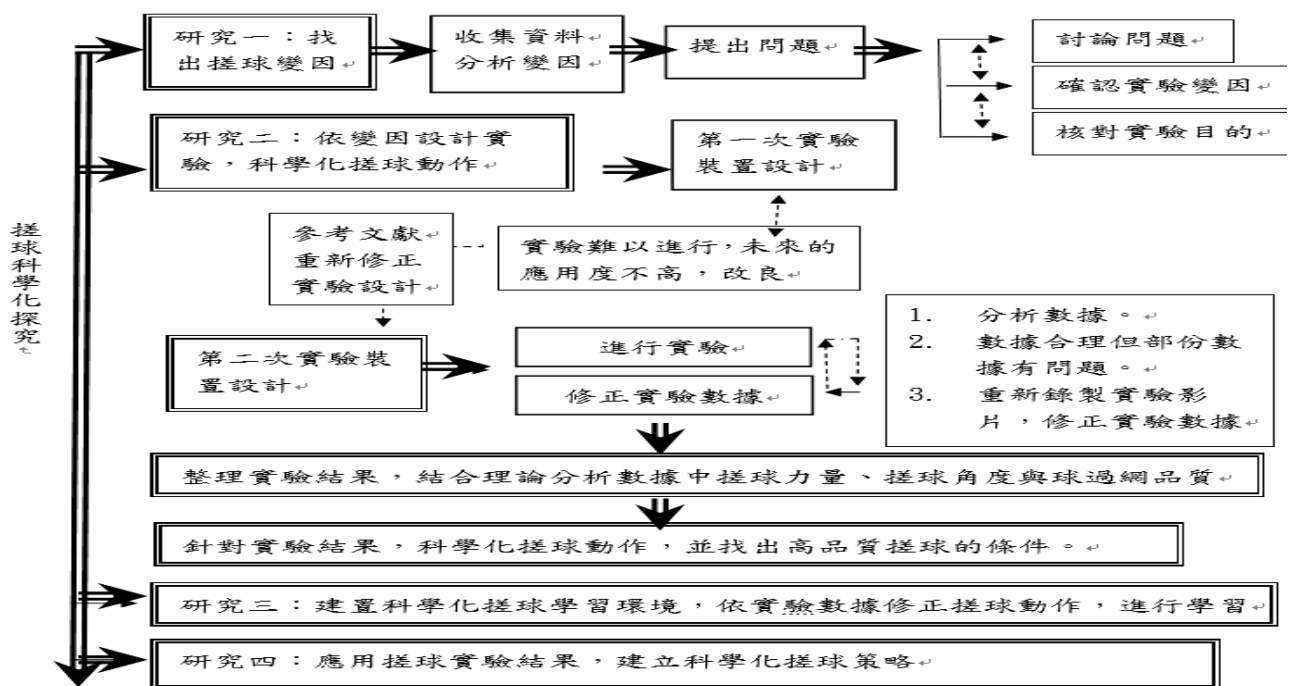


圖 1 搓球科學化研究流程圖

二、研究一：找出搓球變因

(一) 資料搜集與討論

搓球的教學及研究資料十分多元。以影片的教學效果最好，因為影片可重覆播放，也較模仿。雖都強調力量、搓球角度、及速度的影響，但說法仍有差異。可是實際搓球時，並不如教學所說——搓球角度 45 度最好。而且 45 度搓角也並非每次擊球都會過網。甚至，慢動作重覆影片時發現，國手的擊球角度也非都固定 45 度角。另外，對於力量、速度還是不易具體。[5][6]

在書籍中雖然有圖示及說明，但更不易理解[1][2]。而研究結果中，雖然也有提到拍面角度 30 度~60 度，又與影片中所說的角度不同。

我們整理書籍、網路教學影片及他人研究成果如下表 1：

表 1 搓球動作文獻摘要

資料來源	內容
搓球動作 分解—涂 國誠 [3][4]	<ul style="list-style-type: none">● 搓球動作分解及說明： 正拍握拍，球拍隨前臂伸向右前上方斜舉。擊球時，球拍舉高過網前時，前臂向外旋轉，手腕由後向前、由伸而內收，握拍以手指輕捏握把，使球拍在手腕與手指的術小弧狀揮動斜下，輕快的搓擊來球的右下底部，使球旋轉翻滾過網。
網路教學 影片 [5][6]	<p>網路教學的影片很多，我們分別就台灣及大陸國手各選擇一部：</p> <ul style="list-style-type: none">● 搓球動作分解_大陸國手彭云。 影片動作說明摘要如下：<ol style="list-style-type: none">1. 找到球落下球頭往下的瞬間，快、狠、準。2. 力量控制，儘量不要用大臂。3. 拍面要擊球時，拍面呈 45 度角放球。4. 進階搓球可於擊球時對球的側面有包球的動作，使球更貼近網。● 搓球動作分解_台灣國手黃嘉欣 動作說明摘要如下：

	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大拇指不能壓，容易變握太緊，要放鬆，手掌向上，且與球拍握把一點空隙。 2. 手指輕輕地從外面放小球。 3. 拍面呈 45 度角，拍面平的再怎麼用力都打不過。 4. 小球放不好會想要加力，但重面是拍面斜。 5. 放完小球墊步回去，重心依然放在前面。 6. 腳尖朝前，上手位置打球。
<p>相關研究 [7][8]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 羽球正拍網前擊球動作之生物力學分析:分析 8 位大專甲組羽球手網前動作，有關搓球動作摘要如下： <ol style="list-style-type: none"> 1. 擊球前上肢肌群有共同收縮現象。 2. 搓球要快速削擊球頭，並需依靠遠端肢段的伸展及重心移動。 3. 為減緩拍面對球的反作用力，動作要慢。 4. 輕彈球時，球拍拍面與水平面需要約 30 度。 ● 搓球技術的生物力學分析：搓球動作分析。 <ol style="list-style-type: none"> 1. 搓球切擊方向與控制與球軸的夾角為 30~60 度為完成技術動作質量的關鍵。 2. 其次是球與球拍的撞擊速度及反彈力的控制問題。

(二) 變因分析：

綜合文獻所述，我們歸納影響搓球的因素及其結果如下：

1. 影響搓球品質的因素：搓球時間點、搓球力量、搓球拍面角度、搓球瞬間拍子變化、搓球前的預備動作、搓球步伐。
2. 搓球結果：球飛行的高度、球過網後離網距離、球的飛行軌跡、球的旋轉情形。

(三) 討論關鍵變因：

搓球是要製造對手不易回擊的技術。高品質的搓球結果應是球過網高度低、近網。而且我們想先針對搓球動作進行探討，因此，我們討論並選擇變

因如下表 2：

表 2 搓球變因討論及選擇

變因	是否列入操縱變因探討？討論紀錄		搓球結果
1. 搓球時間點	否	<ul style="list-style-type: none"> ● 討論：實際比賽中，搓擊的時間與對手回擊的球可能不同，並影響搓球結果，但本實驗以掌握搓球動作為主，所以先不探討此項。 ● 實驗設計：選擇固定位置讓球自由落下，並固定擊球點。 	1. 球過網後高度：利用 PotPlayer 擷取影片中的相片，再以 PDF Xchanger Viewer 文書編輯軟體測量過網後的最高點高度。
2. 搓球力量	是	<ul style="list-style-type: none"> ● 討論：文獻中皆有提到此變因。但搓球時的力量有分垂直及水平的力。為了要簡化實驗，我們先探究水平作用力，因此，如何科學化水平作用力是研究重點。 ● 實驗設計：利用器材量測水平作用力的大小，以數據呈現。 	2. 球過網後離網的距離：以尺量測球落地後離網距離。 3. 球的飛行循跡及旋轉情形：以 PotPlayer 擷取影片中的相片，再以 Corel photo-paint 2020 處理相片透明度後疊加以產生軌跡圖。
3. 搓球拍面角度	是	<ul style="list-style-type: none"> ● 討論：文獻中皆有提到此變因，但各研究及教學說法不同，列為研究重點。 ● 實驗設計：利用器材量測搓球拍面角度 	
4. 搓球瞬間拍子的變化	否	<ul style="list-style-type: none"> ● 討論：影片及體育老師都有提到此技巧，不過，算是進階搓球動作，先不列入考慮。 ● 實驗設計：錄影檢視是否有變化。 	
5. 搓球時	否	<ul style="list-style-type: none"> ● 討論：步伐會影響擊球位置及時 	

的步伐	<p>間，但因步伐與個人體力、反應、熟練度有關，影響原因較複雜，所以先不探討。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 實驗設計：固定搓球位置。 	
-----	--	--

三、 研究二：設計實驗裝置，科學化搓球動作，找出高品質搓球的條件

(一) 提出實驗問題：

根據上述的討論，我們以「搓球力量」與「搓球時拍面角度」為實驗操縱變因，提出實驗問題如下：

1. 要產生高品質的搓球，最佳的搓球力量及搓球拍面角度為何？
2. 如何科學化表示搓球動作及搓球品質？

(二) 理論分析：

我們依實驗變因，定義本實驗中的搓球動作為：「當球自由向下墜落時，手持球拍水平出力向前，並使球拍拍面與水平成一夾角後，搓擊球頭，使球翻滾並貼網而過」。首先，我們分析搓球時，球及球拍的受力及力矩如下圖 2。

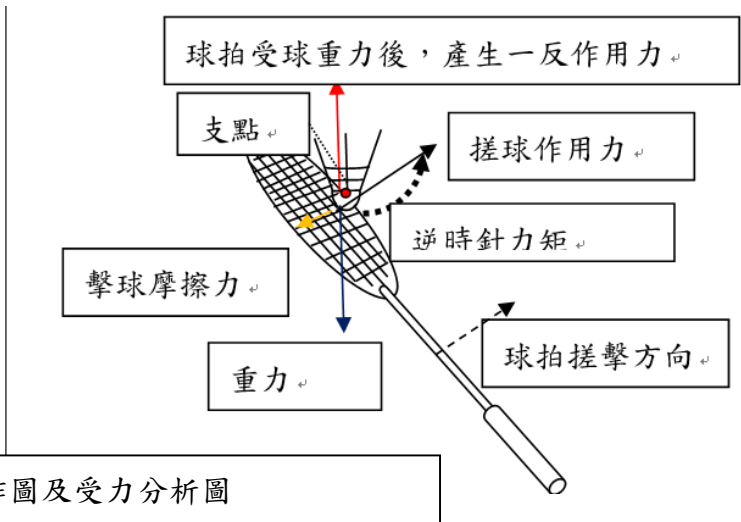


圖 2 搓球動作圖及受力分析圖

(三) 第一次實驗設計：

1. 實驗步驟：由同學手持羽球，並量測羽球下落高度、球拍離網距離、擊球時高度，當羽球下落時，放開彈簧秤，球拍對球產生搓擊。
2. 實驗結果：(1) 利用彈簧秤搓球時，其時間點十分不易掌握。(2) 手持球造成羽球落下距離與擊球位置不易固定，校正十分耗時，易有誤差。

3. 省思：(1)如何修正作用力裝置呢?(2)能否設計一發球裝置，固定其速度、方向呢?(3)搓球時間點有沒有更精確的方法呢?

(四) 第二次實驗裝置：

1. 修正作用力設置：

彈簧秤可明確表示力的大小，卻不易運用在實驗中。本來打算做機械手臂，但又因實驗器材及難度較高而作罷。後來，我們決定參照文獻研究方法——以選手直接持拍來分析搓球動作。如此，除了較易掌握搓球時間點外，未來要結合、應用到訓練中也比較能順利遷移。

但，手持拍是方便，但要表示選手力量的大小，這就困擾我們了。我們不可能像大專研究一樣有高科技儀器測肌肉力量。最後老師引導我們思考三年級的牛頓運動定律及作用力才解決這問題。

假設球拍質量 m 、持拍搓球力量為 F 、球拍的加速度為 a 、從靜止到加速，時間變化為 ΔT 、球拍變受力加速之速度變化為 ΔV ，則搓球力量 F 依牛頓第二運動定律公式可表示如下

$$F = m \times a, \quad a = \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

$$F = m \times \frac{\Delta V}{\Delta T}, \quad , \quad , \quad \text{假設球拍初速度為 } V_0,$$

$$\text{則 } F = m \times \frac{\left(\frac{s}{\Delta T}\right) - V_0}{\Delta T}, \quad \Delta V = \frac{s}{\Delta T}, \quad \text{實驗中我們控制球拍靜止，即 } V_0 = 0$$

$$\text{則 } F = m \times \left(\frac{s}{\Delta T^2}\right), \quad \text{球拍質量 } m \text{ 固定，如果也將球拍移動距離 } S \text{ 固}$$

$$\text{定，則 } F \propto \frac{1}{\Delta T^2}$$

由上可知，作用力 F 與球拍通過時間 ΔT 的倒數平方成正比。

剛好學校今年新添增光電計時器 1 台。所以我們能量測由靜止加速的時間間隔 ΔT ，並以 $1/(\Delta T)^2$ 來表示搓球力量大小。不過，考慮本實驗除了科學化擊球動作外，是希望能建置一個搓球學習環境。而，而 $\frac{1}{\Delta T^2}$ 的說法較難以被大家理解。因此，我們最後決定以「球拍通過光電計時器組間時，量測時間 T 」來表示「搓球作用力」的大小，雖然不完全成正比，但也是有正相關，而且較易讓人理解。

接著，如何控制搓球力量為水平呢？在彈簧秤中，可以直接板子上操作。但手持球拍在平板上反而不易操作。為了控制作用力是水平方向，我們決定利用棉線懸吊球拍，因為搓球時只要控制球拍水平向前即可。同時，我們以錄影即時檢視球拍是否有垂直移動，以確保作用力是水平方向。

2. 修正羽球落下裝置：

一開始我們請同學站在桌上讓球自由落下，卻發現球墜落的位置、高度、速度不易固定。市面上又沒有合適的發球裝置。這時，透過老師指導，我們決定利用實驗室中的電磁鐵及支架，簡單設計出做一個發球器（如右圖3）。我們用鋼針固定於羽毛球內部（鋼針質量很小，與羽球相比可忽略），利用電磁鐵產生磁力。當電磁鐵通電後，磁力吸住羽球內的鋼針；當電磁鐵斷電時，重力將使羽球自由落下，如此則可控制球落下的穩定性。



圖 3 簡易發球器

3. 修正搓球位置：

透過錄影發現，要控制搓球位置在球拍上同一點並不容易。尤其，我們重覆慢速播放教學影片，發現即使是國手也幾乎都未同一點上。我們上網搜尋資料，才發現擊球在球拍的甜區（sweetzone，如右圖4）

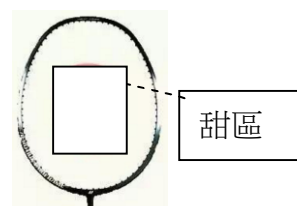


圖 4 甜區標示

即可。當擊球位置在甜區上時，能量就可以最大化的傳導到羽毛球上面。甜區中擊出的球，在出球速度與球飛行路線控制上最佳、差異性也最小。所以，我們參考球拍中間 10 條豎線，第 4 條橫線與倒數第 4 條橫線包圍的區域代表內部為甜區，並透過錄影檢視搓球時，搓球位置是否在當在甜區內，若在甜區內則視為同一擊球點。[8]

4. 實驗裝置圖：實驗設計如下圖 5

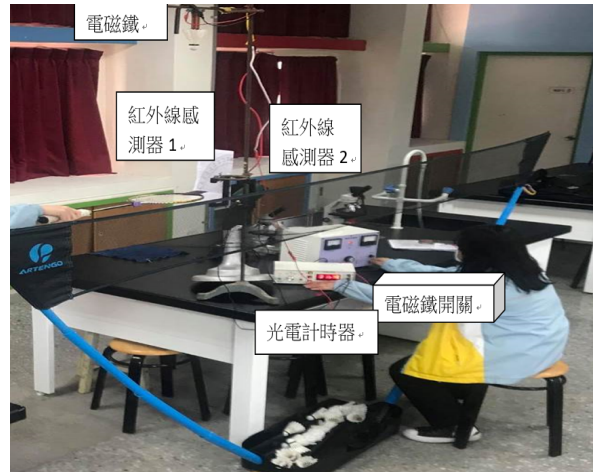
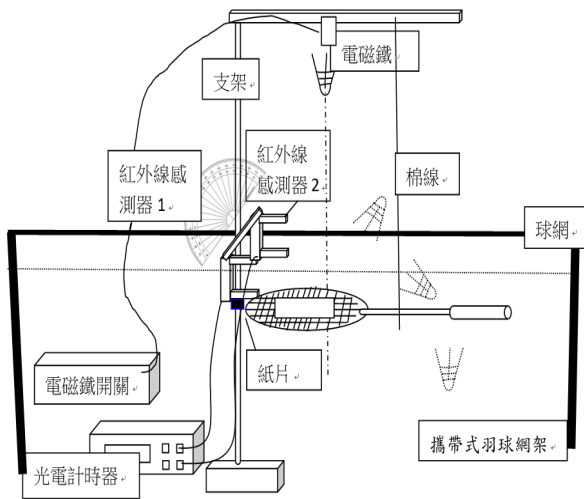


圖 5 實驗裝置圖

5. 影片處理：

(1) 利用 Potplay 擷取錄影畫面，取得影格畫面，詳如圖 6。



圖 6 Potplay 擷取錄影畫面操作圖

(2) 利用 corel photo-paint 2020 試用版調整每影格相片之透視度、亮度後，疊加形成球的飛行軌跡相片，詳如圖 7。(因組數太多，故只取一組示例用)

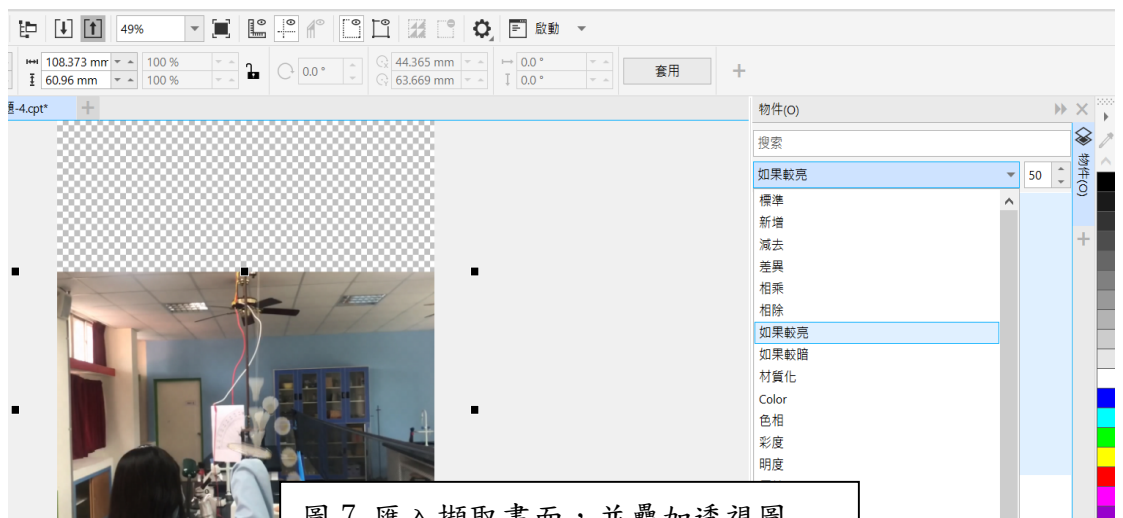


圖 7 匯入擷取畫面，並疊加透視圖

- (3) 利用 PDF Xchanger Viewer 測量工具量取球反彈後的最高高度：
開啟軌跡相片圖後，校正相片中「電磁鐵至搓球位置間測量的距離」
為實際距離 0.85M，並測量搓擊後球托的最高點距離，詳如圖 8。

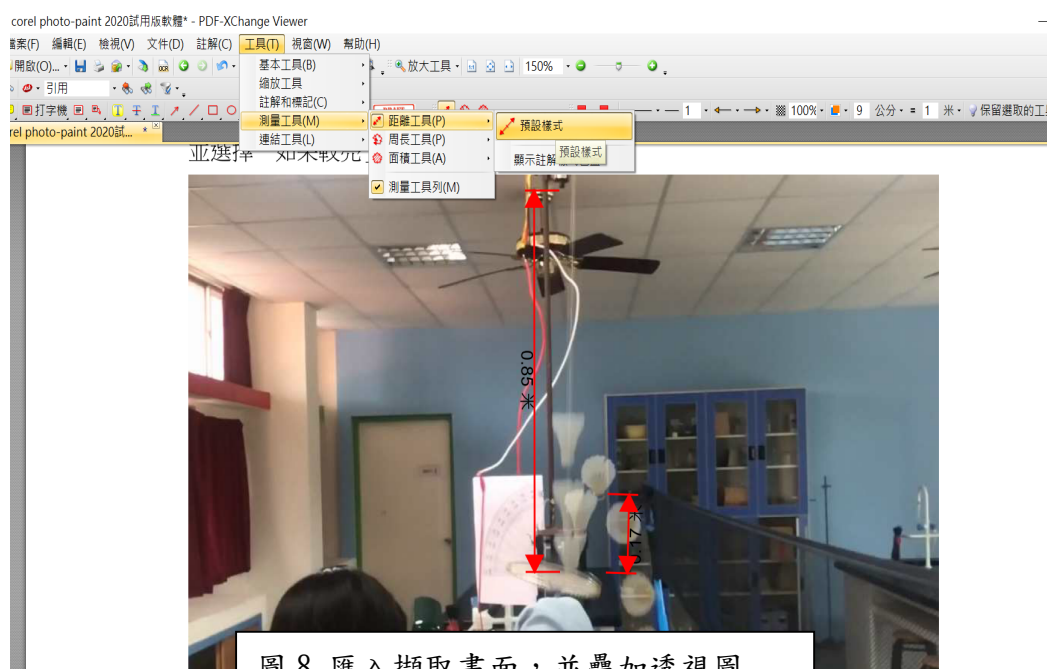
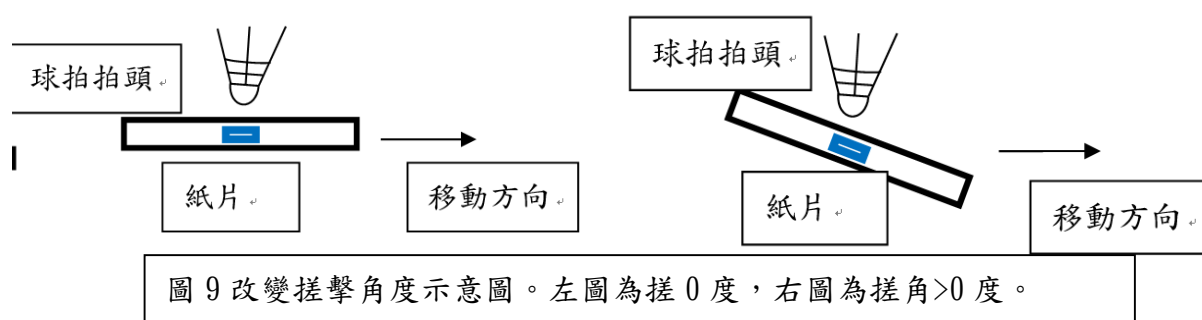


圖 8 匯入擷取畫面，並疊加透視圖

6. 實驗步驟：

- 步驟一：利用電子磅秤稱量球拍（含紙片）及羽毛球（含針）質量。
- 步驟二：架設搓球裝置
 - (1) 找一固定用支架，支架上部綁水平支架。於水平支架上綁棉線，棉線另一端綁球拍中管，並與球框連接成 T 字形以控制搓球為水平作用力。
 - (2) 量測球拍離地高度後，手持球拍握把底部，控制搓球時球拍拍身水平於地面，試著調整搓球角度。
- 步驟三：羽球發球裝置。
 - (1) 支架上部的水平支架上架設一組電磁鐵，於電磁鐵底部放置球。通電後，電磁鐵將吸住球內鋼針。
 - (2) 將電磁鐵斷電，球自由落下，手持球拍於搓擊球托。視搓球情形，調整支架及電磁鐵位置，使搓球位置於第二架紅外線感測器位置。
 - (3) 量測球的落下距離。

- 步驟四：架設光電計時器。
 - (1) 於羽球拍頭頂端黏長 6cm，寬 4cm 的長方形黑色紙片。
 - (2) 使羽球拍頂端紙片能順利通過二組感測器後，測得球拍通過時間。
 - (3) 量測感測器之間的距離及第二架紅外線感測器距離網子距離。
- 步驟五：練習羽球拍搓擊力量
 - (1) 放鬆力部力量使棉線懸吊著球拍，水平往前推送球拍。
 - (2) 測試不同力量下通過計時器的時間。
- 步驟六：測量並紀錄數據、影片
 - (1) 當球落下接近拍面時，由靜止快速搓擊球托，並紀錄搓球時，球拍的通過時間(t)。
 - (2) 量測球落地點離網之水平距離(D)。
 - (3) 利用手機錄影以檢視控制拍面角度及水平作用力不變。
 - (4) 重覆(1)~(5)，取得不同通過時間數據 20 組。
 - (5) 透過影像處理錄影影像，量測球反彈後的最高高度(H)，紀錄羽球翻轉角度(C)。
 - (6) 依序改變搓擊角度為 10、20、30、40、50 度如下圖 9，並重覆本步驟(1)~(5)。



伍、研究結果及分析

- 一、基本搓球環境資料：(1)羽球：重量=4.85g。(2)羽球拍：重量=936g。(3)紙片：長 6CM、寬 4CM。(4)紅外線感測器 2 組間的距離：10cm。(5)網子離地距離 150cm。(6)球落下高度 225cm。(7)球拍離地高度 140cm，低於球網 10cm。(8)搓球點為第二

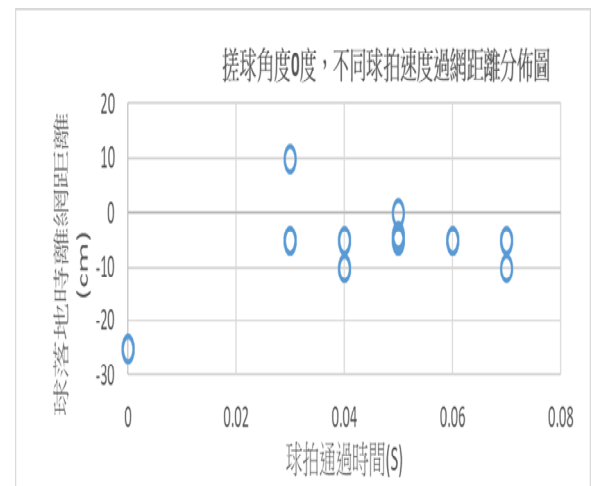
紅外線感測器處，離網距離 25cm。

二、實驗數據：

- (一) 以不同拍面角度搓擊球：測量球拍通過時間 t 共 20 組，紀錄球的落地距離 D (網前墜地為負，過網後墜地為正)、於空中之翻滾圈數 C (逆時針為正，順時針為負)、球反彈離拍子的最高高度 H 、球的飛行情形描述(如：反彈後於掉到拍子後落地，未過網、觸網後未過網、觸網後落下過網、觸網後繼續過網...等其他情形)。

1. 搓球角度為 0 度:實驗數據、圖表及說明如下圖 10。軌跡圖如下圖 11。

序號	時間 t (s)	距離 D (cm)	圈數 C (度)	高度 H (cm)	球飛行情形
1	0	-25	-90	12	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
2	0	-25	-90	13	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
3	0.03	-5	90	25	觸網未過網
4	0.03	10	810	42	觸網後落下過網
5	0.03	-5	450	25	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
6	0.03	-5	450	23	觸網未過網
7	0.04	-5	720	28	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
8	0.04	-5	720	23	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
9	0.04	-10	720	23	觸網未過網
10	0.04	-10	720	23	觸網未過網
11	0.05	-4	720	20	觸網未過網
12	0.05	0	720	22	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
13	0.05	-5	720	25	觸網未過網
14	0.05	-5	720	23	觸網未過網
15	0.06	-5	540	20	觸網未過網
16	0.06	-5	540	23	觸網未過網
17	0.06	-5	540	22	觸網未過網
18	0.07	-5	540	23	觸網未過網
19	0.07	-5	540	23	觸網未過網
20	0.07	-5	540	30	觸網未過網



結果說明：

- 在搓角 0° 時，只有 1 次有過網。
- 0.03s 快速搓球有過，但高度較高，且為翻網而過。其餘皆未過網。

圖 10 搓球角度為 0 度角之實驗數據、圖表及說明

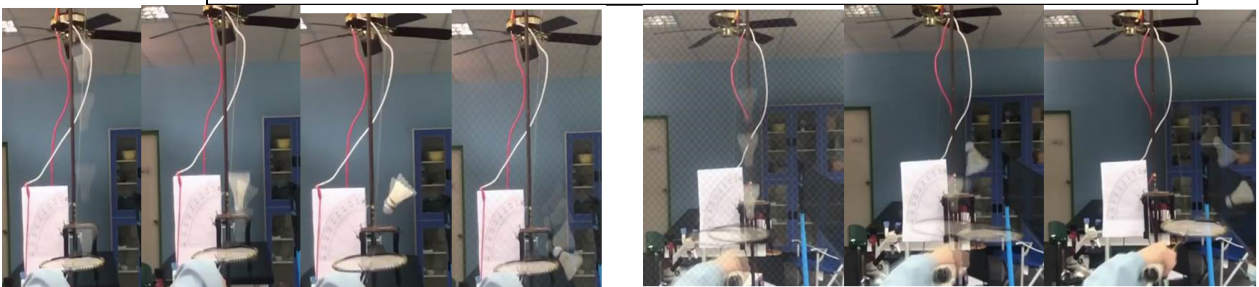
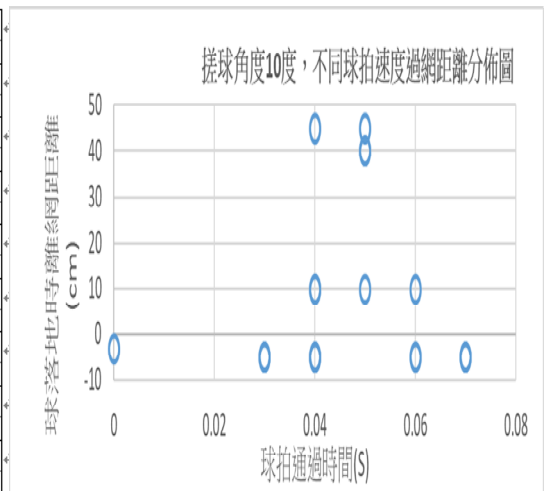


圖 11 左圖球拍作用力 = 0 時，球翻轉圈數少。右圖作用力 > 0，球翻轉圈數多。

2. 搓球角度為 10 度: 實驗數據、圖表及說明如下圖 12。軌跡圖如下圖 13。

序號	時間 t (s)	距離 D (cm)	圈數 C (度)	高度 H (cm)	球飛行情形
1	0	-3	90	16	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
2	0.03	-5	900	40	觸網後未過網
3	0.03	-5	810	21	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
4	0.03	-5	720	20	觸網後未過網
5	0.04	-5	900	22	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
6	0.04	-5	810	23	觸網後未過網
7	0.04	10	840	36	觸網後落下過網
8	0.04	-5	810	28	觸網後未過網
9	0.04	45	810	36	過網
10	0.04	10	810	28	觸網後落下過網
11	0.05	40	900	41	過網
12	0.05	40	880	38	過網
13	0.05	45	900	40	過網
14	0.05	10	840	39	觸網後落下過網
15	0.06	-5	540	15	觸網後未過網
16	0.06	10	840	41	觸網後落下過網
17	0.06	-5	540	16	觸網後未過網
18	0.07	-5	510	15	觸網後未過網
19	0.07	-5	540	15	未過網
20	0.07	-5	810	36	觸網後落下過網



結果：

- 在通過時間 0.03s 時，皆未通過。
- 0.04s 時，搓球通過比例增加，但多為觸網及翻網而過。
- 0.05s 時皆通過，但高度較高，有 2 次為翻網而過。
- 0.06s~0.07s，有 2 次翻網而過，其餘皆未過網。

圖 12 搓球角度為 10 度角之實驗數據、圖表及說明

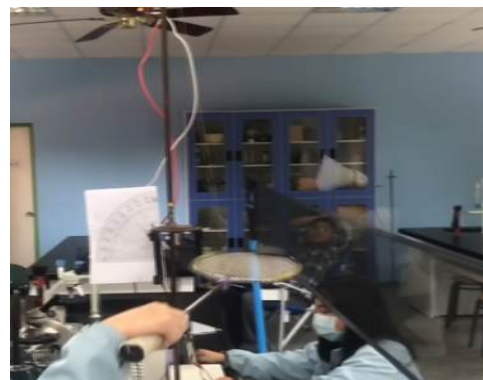
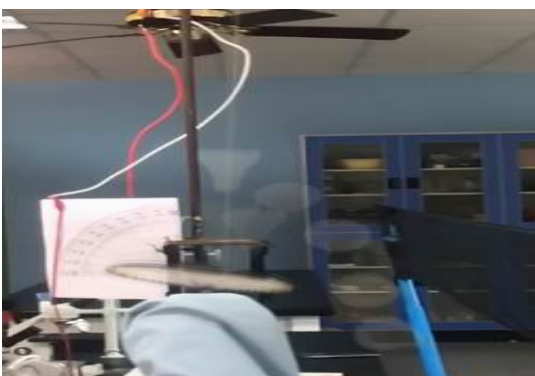
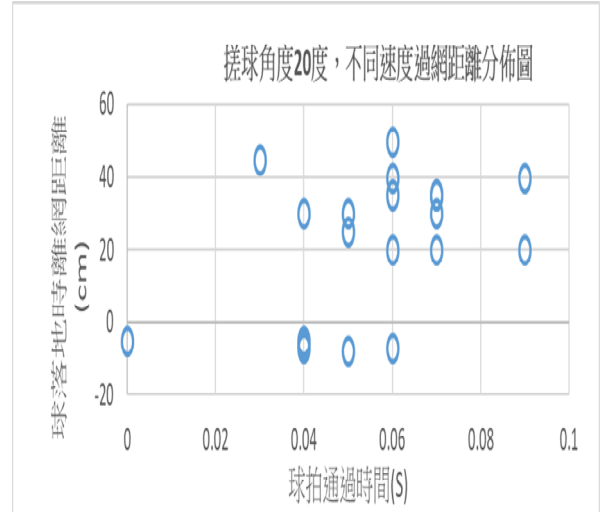


圖 13 左圖球拍作用力=0 時，球不過網。右圖作用力於 0.04s~0.05s，球翻轉過網多。

3. 搓球角度為 20 度:實驗數據、圖表及說明如下圖 14。軌跡圖如下圖 15。

序號	時間 t (s)	距離 D (cm)	圈數 C(度)	高度 H(cm)	球飛行情形
1	0	-5	45	14	觸網後未過網
2	0.03	45	810	70	過網
3	0.04	-7	720	14	觸網後未過網
4	0.04	30	720	35	過網
5	0.04	-5	360	14	觸網後未過網
6	0.04	-6	500	18	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
7	0.05	-8	360	15	觸網後未過網
8	0.05	25	720	32	過網
9	0.05	30	720	35	觸網後落下過網
10	0.06	-7	360	25	觸網後未過網
11	0.06	20	450	23	觸網後落下過網
12	0.06	35	720	22	過網
13	0.06	40	360	36	過網
14	0.06	50	540	35	過網
15	0.07	35	360	32	過網
16	0.07	30	450	23	觸網後落下過網
17	0.07	35	450	28	觸網後落下過網
18	0.07	20	720	15	觸網後落下過網
19	0.09	20	360	26	觸網後落下過網
20	0.09	40	720	40	過網



結果：

- 通過比例達 7 成
- 在 0.03s 時雖然有通過，但高度較高。
- 而 0.04s 2 次觸網未過、觸網翻網未過，僅 1 次通過，高度也較高。
- 0.05s 以上，僅有 2 次為觸網未過，其餘皆通過，且離網距離介於 20~50cm，最高高度在 20cm 左右之次數約佔總次數 5 成。

圖 14 搓球角度為 20 度角之實驗數據、圖表及說明

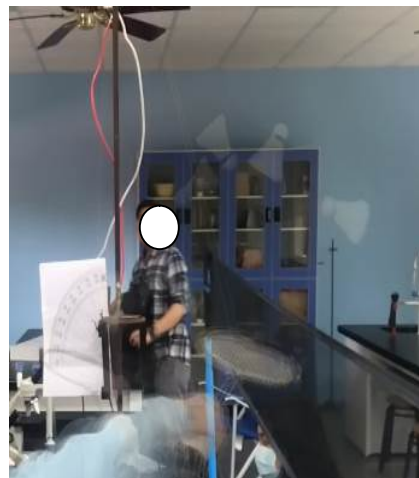
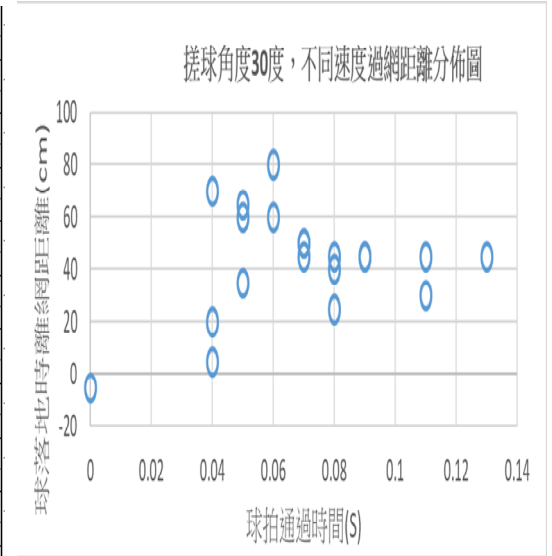


圖 15 左圖球拍作用力=0 時，球近但不過網。右圖作用力於 0.05S，過網且高品質球多。

4. 搓球角度為 30 度角：實驗數據、圖表及說明如下圖 16。軌跡圖如下圖 17

序號	時間 t(s)	距離 D (cm)	圈數 C(度)	高度 H(cm)	球飛行情形
1	0	-5	90	8	觸網後未過網
2	0.04	5	540	24	觸網後落下過網
3	0.04	20	550	28	觸網後落下過網
4	0.04	70	450	30	過網
5	0.05	35	450	24	觸網後繼續過網
6	0.05	60	450	24	過網
7	0.05	65	450	23	過網
8	0.06	60	440	24	過網
9	0.06	80	450	20	過網
10	0.07	50	430	10	過網
11	0.07	45	430	13	過網
12	0.07	50	450	14	過網
13	0.08	25	360	15	觸網後落下過網
14	0.08	45	450	15	過網
15	0.08	40	450	25	過網
16	0.09	45	440	24	過網
17	0.09	45	440	25	過網
18	0.11	45	450	32	過網
19	0.11	30	360	23	觸網後落下過網
20	0.13	45	440	30	過網



結果：

- 搓角 30° 時幾乎全都過網，雖然翻轉圈數變少，但高度較低，距離較固定。
- 0.04s 時，觸網後翻網機率較高，隨著通過時間越短，作用力越大，落地距離越遠。

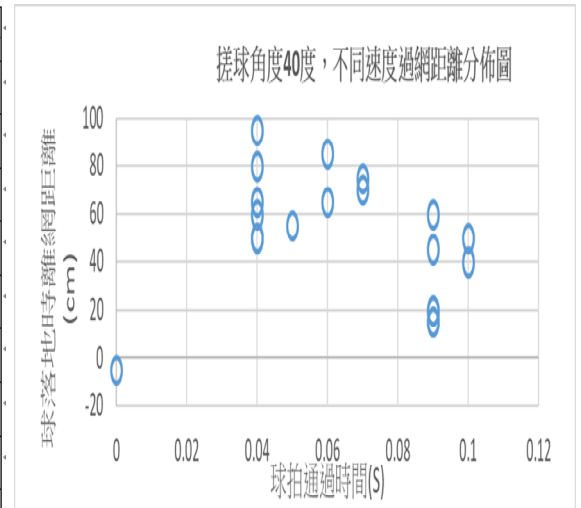
圖 16 搓球角度為 30 度角之實驗數據、圖表及說明



圖 17 左圖球拍作用力=0 時，球反彈高度變低、近網但不過網。
右圖作用力>0，幾乎全過網，但翻轉少且離網遠。

5. 搓球角度為 40 度角：實驗數據、圖表及說明如下圖 18。軌跡圖如下圖 19。

序號	時間 t(s)	距離 D (cm)	圈數 C(度)	高度 H(cm)	球飛行情形
1	0	-5	60	8	觸網後未過網
2	0.04	50	540	23	過網
3	0.04	50	540	25	過網
4	0.04	60	540	28	過網
5	0.04	65	540	28	過網
6	0.04	80	540	46	過網
7	0.04	95	540	55	過網
8	0.05	55	540	28	過網
9	0.06	65	540	28	觸網後繼續過網
10	0.06	85	360	36	觸網後繼續過網
11	0.07	70	360	28	觸網後繼續過網
12	0.07	75	360	28	觸網後繼續過網
13	0.09	15	360	16	觸網後落下過網
14	0.09	15	360	20	觸網後落下過網
15	0.09	20	360	20	觸網後落下過網
16	0.09	20	360	20	觸網後落下過網
17	0.09	45	360	26	觸網後繼續過網
18	0.09	60	360	26	觸網後繼續過網
19	0.1	40	360	24	觸網後繼續過網
20	0.1	50	360	25	觸網後繼續過網



結果：

- 搓角 40° 時幾乎全都過網。通過時間越短，落地距離越遠
- 作用力 > 0.06s，通過時間越長，翻轉圈數更少，且容易觸網，形成擦網而過的情形。

圖 18 搓球角度為 30 度角之實驗數據、圖表及說明



圖 19 左圖球拍作用力 = 0 時，球反彈高度變低、近網但不過網。
右圖作用力 > 0，幾乎全過網，作用力越大離網遠。

6. 搓球角度為 50 度：搓角 ≥ 50 度後，我們發現擊球點難以控制，且數據變化太大。經討論後，我們認為實際用於搓擊的時候應不多，故只記錄靜止時數據。

序號	時間 t (s)	距離 D (cm)	圈數 C(度)	高度 H(cm)	球飛行情形
1	0	-5	0	4	反彈後於掉到拍子後落地



結果：

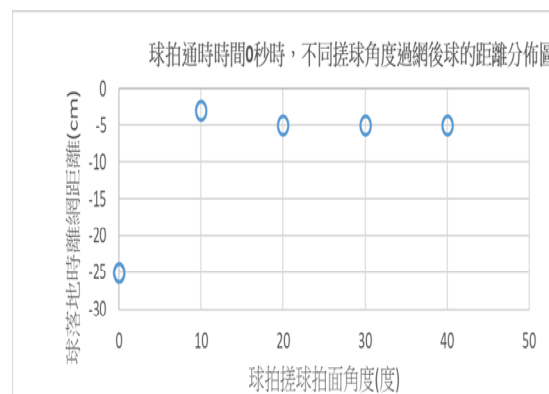
- 搓角 50° 時，球觸碰球拍後幾乎不反彈，馬上下墜。

圖 20 搓角 50 度，作用力 = 0 之實驗數據、圖表及結果說明。

(二) 為了能夠了解作用力相同時，搓角變化情形。我們將重新整理數據，將「球拍通過時間 t」由低到高進行排序。分析不同搓球角度(C1)搓擊時，球的落地距離(D)、翻滾圈數(C)、搓球後球反彈離拍子的最高高度(H)，及球的飛行情形來進行相關數據探討。我們取出現次數至少 5 組以上的時間數據整理如下：

1. 球拍通過時間為 0 秒：實驗數據、圖表及說明如下圖 21。

序號	t (s)	C1(度)	D (cm)	C(度)	H(cm)	球飛行情形
1	0	0	-25	-90	12	反彈後於掉到拍子後落地，未過網。
2	0	0	-25	-90	13	反彈後於掉到拍子後落地，未過網。
3	0	10	-3	90	16	反彈後於掉到拍子後落地，未過網。
4	0	20	-5	45	14	觸網後未過網。
5	0	30	-5	60	8	觸網後未過網。
6	0	40	-5	60	8	觸網後未過網。



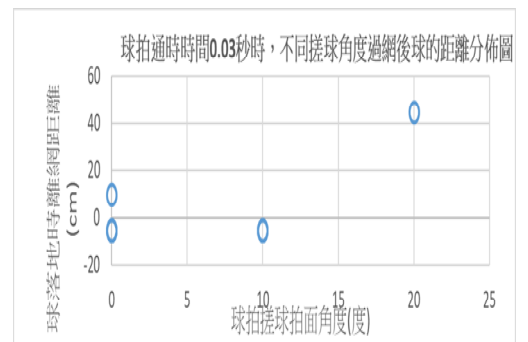
結果：

- 所有搓角皆不過網。
- 搓角越大，反彈高度越低。

圖 21 作用力 = 0 之實驗數據、圖表及結果說明。

2. 球拍通過時間為 0.03 秒：實驗數據、圖表及說明如下圖 21。

序號	t (s)	C1(度)	D (cm)	C(度)	H(cm)	球飛行情形。
1	0.03	0	-5	90	25	觸網未過網。
2	0.03	0	10	810	42	觸網後落下過網。
3	0.03	0	-5	450	25	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
4	0.03	0	-5	450	23	觸網未過網。
5	0.03	10	-5	900	40	觸網後未過網。
6	0.03	10	-5	810	21	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
7	0.03	10	-5	720	20	觸網後未過網。
8	0.03	20	45	810	70	過網。



結果：

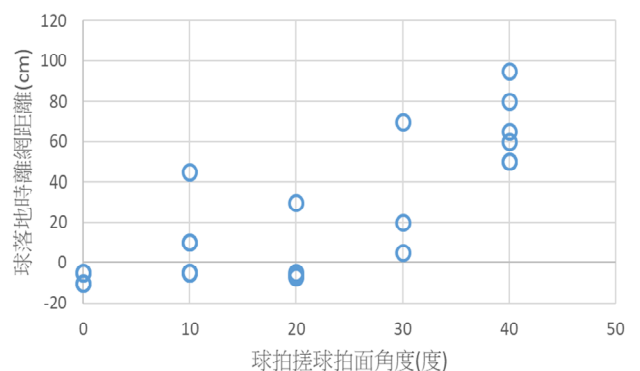
- 通過時間為 0.03s 時，搓角出現在 20° 以下。
- 球容易觸網，未過網比例高。
- 唯一 2 組通過，其過網高度都較高。一組於 0° 過網，距離為 10cm，高度為 42cm，觸網後落下；另一組於搓角 20° 過網，高度為 70cm，於落地後離網 20cm。

圖 21 作用力=0.03S 之實驗數據、圖表及結果說明。

3. 球拍通過時間為 0.04 秒：實驗數據、圖表及說明如下圖 22。

序號	t (s)	C1(度)	D (cm)	C(度)	H(cm)	球飛行情形。
1	0.04	0	-5	720	28	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
2	0.04	0	-5	720	23	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
3	0.04	0	-10	720	23	觸網未過網。
4	0.04	0	-10	720	23	觸網未過網。
5	0.04	10	-5	900	22	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
6	0.04	10	-5	810	23	觸網後未過網。
7	0.04	10	10	840	36	觸網後落下過網。
8	0.04	10	-5	810	28	觸網後未過網。
9	0.04	10	45	810	36	過網。
10	0.04	10	10	810	28	觸網後落下過網。
11	0.04	20	-7	720	14	觸網後未過網。
12	0.04	20	30	720	35	過網。
13	0.04	20	-5	360	14	觸網後未過網。
14	0.04	20	-6	500	18	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
15	0.04	30	5	540	24	觸網後落下過網。
16	0.04	30	20	550	28	觸網後落下過網。
17	0.04	30	70	450	30	過網。
18	0.04	40	50	540	23	過網。
19	0.04	40	50	540	25	過網。
20	0.04	40	60	540	28	過網。
21	0.04	40	65	540	28	過網。
22	0.04	40	80	540	46	過網。
23	0.04	40	95	540	55	過網。

球拍通過時間0.04秒時，不同搓球角度過網後球的距離分佈圖



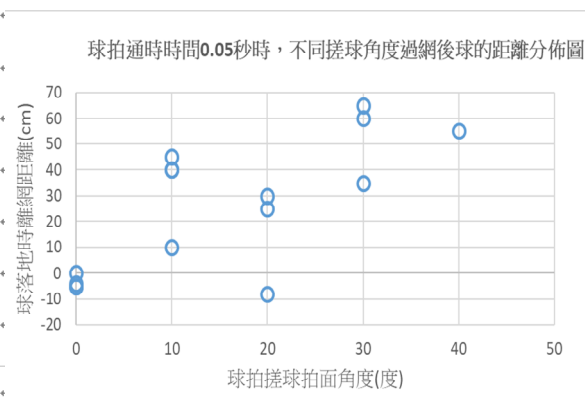
結果：

- 0.04s 時間的搓球作用力在本實驗中出現次數最多，高達 23 組。
- 搓角 $\leq 20^\circ$ 時，球容易彈至網前觸網未通過。
- 搓角 $> 20^\circ$ 後，球翻滾圈數變小至 1 圈半，球通過比例高於 5 成，離網距離多在 50cm 以上，反彈高度較低。
- 搓角越大，距離越遠。

圖 22 作用力=0.04S 之實驗數據、圖表及結果說明。

4. 球拍通過時間為 0.05 秒：實驗數據、圖表及說明如下圖 23。

序號	t (s)	C1(度)	D (cm)	C(度)	H(cm)	球飛行情形
1	0.05	0	-4	720	20	觸網未過網
2	0.05	0	0	720	22	反彈後於掉到拍子後落地，未過網
3	0.05	0	-5	720	25	觸網未過網
4	0.05	0	-5	720	23	觸網未過網
5	0.05	10	40	900	41	過網
6	0.05	10	40	880	38	過網
7	0.05	10	45	900	40	過網
8	0.05	10	10	840	39	觸網後落下過網
9	0.05	20	-8	360	15	觸網後未過網
10	0.05	20	25	720	32	過網
11	0.05	20	30	720	35	觸網後落下過網
12	0.05	30	35	450	24	觸網後繼續過網
13	0.05	30	60	450	24	過網
14	0.05	30	65	450	23	過網
15	0.05	40	55	540	28	過網



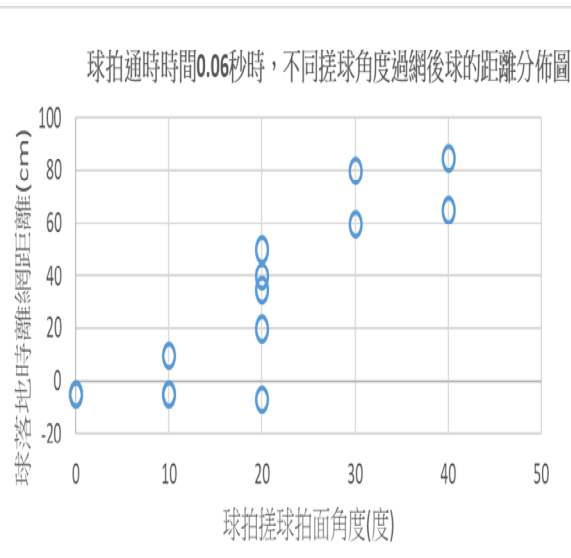
結果：

- 通過時間 0.05s 時，過網比例高達 74%。
- 搓角 10°，過網次數多，且有翻網而過的情形，但高度較大約為 40cm 左右。
- 搓角 20°時，球較貼網，過網距離較近。
- 搓角 >20°後拍角越大，翻轉情形較小，距離越遠。

圖 23 作用力=0.05S 之實驗數據、圖表及結果說明。

5. 球拍通過時間為 0.06 秒：實驗數據、圖表及說明如下圖 24。

序號	t (s)	C1(度)	D (cm)	C(度)	H(cm)	球飛行情形
1	0.06	0	-5	540	20	觸網未過網
2	0.06	0	-5	540	23	觸網未過網
3	0.06	0	-5	540	22	觸網未過網
4	0.06	10	-5	540	15	觸網後未過網
5	0.06	10	10	840	41	觸網後落下過網
6	0.06	10	-5	540	16	觸網後未過網
7	0.06	20	-7	360	25	觸網後未過網
8	0.06	20	20	450	23	觸網後落下過網
9	0.06	20	35	720	22	過網
10	0.06	20	40	360	36	過網
11	0.06	20	50	540	35	過網
12	0.06	30	60	440	24	過網
13	0.06	30	80	450	20	過網
14	0.06	40	65	540	28	觸網後繼續過網
15	0.06	40	85	360	36	觸網後繼續過網

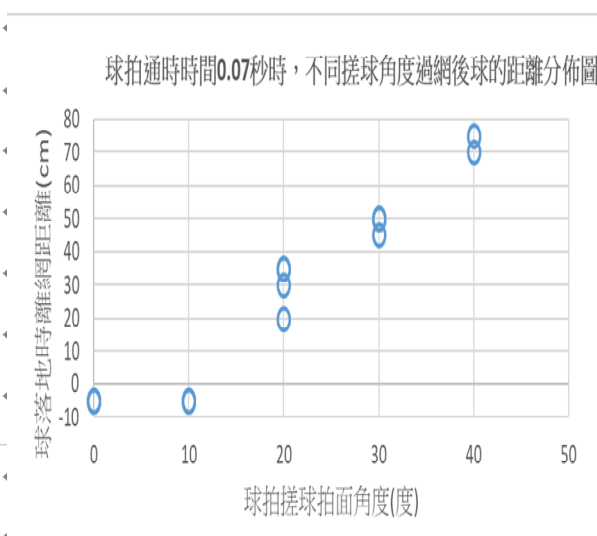


結果：

- 通過時間 0.06s 時，搓角 10°的球雖能往前飛行，但容易觸網不過。
- 搓角 20°時，落地距離及高度都較短，但觸網不過的情形比例也高。
- 搓角 >30°後，翻轉情形較小，高度較低，但距離越遠。

6. 球拍通過時間為 0.07 秒：實驗數據、圖表及說明如下圖 25。

序號	t (s)	C1(度)	D (cm)	C(度)	H(cm)	球飛行情形
1	0.07	0	-5	540	23	觸網未過網
2	0.07	0	-5	540	23	觸網未過網
3	0.07	0	-5	540	30	觸網未過網
4	0.07	10	-5	510	15	觸網後未過網
5	0.07	10	-5	540	15	未過網
6	0.07	10	-5	810	36	觸網後落下過網
7	0.07	20	35	360	32	過網
8	0.07	20	30	450	23	觸網後落下過網
9	0.07	20	35	450	28	觸網後落下過網
10	0.07	20	20	720	15	觸網後落下過網
11	0.07	30	50	430	20	過網
12	0.07	30	45	430	23	過網
13	0.07	30	50	450	24	過網
14	0.07	40	70	360	28	觸網後繼續過網
15	0.07	40	75	360	28	觸網後繼續過網



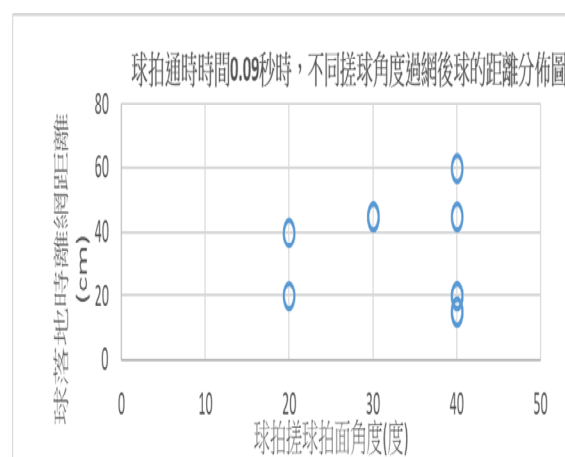
結果：

- 通過時間 0.07s 時，搓角 $> 10^\circ$ 皆能通過。
- 但拍角越大離地距離越遠，旋轉越少。
- 搓角 40° 觸網後過網。

圖 25 作用力 = 0.07S 之實驗數據、圖表及結果說明。

7. 球拍通過時間為 0.09 秒：實驗數據、圖表及說明如下圖 26。

序號	t (s)	C1(度)	D (cm)	C(度)	H(cm)	球飛行情形
1	0.09	20	20	360	26	觸網後落下過網
2	0.09	20	40	720	40	過網
3	0.09	30	45	440	24	過網
4	0.09	30	45	440	25	過網
5	0.09	40	15	360	16	觸網後落下過網
6	0.09	40	15	360	20	觸網後落下過網
7	0.09	40	20	360	20	觸網後落下過網
8	0.09	40	20	360	20	觸網後落下過網
9	0.09	40	45	360	26	觸網後繼續過網
10	0.09	40	60	360	26	觸網後繼續過網



結果：

- 通過時間在 0.09s 時，在搓角 $\geq 20^\circ$ 時，幾乎所有球都過，但搓角在 40° 時，容易觸網或翻網而過。

圖 26 作用力 = 0.09S 之實驗數據、圖表及結果說明。

陸、 討論

一、本次實驗結果討論如下：

(一) 不同搓角下，改變搓球作用力後，其結果整理如下表 3：

表 3 不同搓角，不同搓球作用力的搓球結果

搓角	搓球結果
0°	1. 只有球拍通過時間 0.03s 時的搓球有過 1 次，但高度較高，且為翻網而過。 2. 其餘皆未過網。
10°	1. 球拍通過時間 0.03s 時皆未通過。0.04s 時搓球通過比例增加，但觸網及翻網的比例也高。0.05s 時皆通過，但高度較高，有 2 次為翻網而過。 2. 0.06s~0.07s，有 2 次翻網而過，其餘皆未通網。
20°	1. 通過率達 7 成。在球拍通過時間 0.03s 時雖然有通過，但高度較高，而 0.04s 只有 2 次未通過，一為觸網未過，一為觸網翻網未過。 2. 0.05s 以後，有 2 次為觸網未過，其餘皆通過，且高度在 20cm 左右之搓球佔通過比率約一半。
30°	1. 通過時間 > 0，幾乎全都過網。 2. 但翻轉圈數較搓角 20° 少，高度較低，距離也較固定。另外，0.04s 時，翻網機率較高，隨著通過時間越短，作用越大，落地距離越遠。
40°	1. 通過時間 > 0，通過時間越短，落地距離越遠。 2. 0.06s 以後，通過時間越長，翻轉圈數越少，且容易觸網、擦網而過
50°	不易搓擊。以拍子靜止不動進行量測，球只反彈 4cm、且球幾乎不旋轉，隨即落下。

● 討論：

搓角 $\leq 20^\circ$ 時，在 0.03s~0.04s 的通過時間(較快的搓擊速度，代表作用力大)時似乎對力量較難掌控，有時會出現較高的擊球。翻轉圈數 2 圈至 2 圈半，但相對的較貼網，容易翻網而過。搓角 30° ，通過時間 0.04s 時，每顆球都過網，但距離較遠。搓角 40° 則很容易出現擦網的情形，雖然也都有通過，但是否可在實際比賽時運用，則需再討論。

因此，依數據來看，如果搓球要較貼網，翻圈多，則應以搓角 20° 、擊球通過時間在 0.05s 為主。如果要球較容易過，則應以搓角 30° ，但其球落地距

離較遠，但對對手回擊來說，壓力就較小，反而不利比賽策略。

(二) 不同搓球作用力（球拍通過時間）時，搓角變化的結果整理如下表 4：

表 4 搓球作用力（球拍通過時間）與搓角變化的結果整理

通過時間	搓球結果
0s	1. 搓角變大，則球會更往前彈，並較貼近網，但仍不會過網。 2. 於搓角 50° 幾乎是直接下墜，不易反彈。
0.03s	1. 容易觸網後不通過。 2. 只有 2 組通過，一組於搓角 0° 過網，距離為 10cm，但球反彈高度為 42cm，則觸網後落下；另一組於搓角 20° 過網，反彈高度為 70cm，於落地後離網 20cm。
0.04s	1. 搓球作用力在本實驗中出現次數最多。 2. 搓角 $\leq 20^\circ$ 時，球容易彈至網前觸網未通過。 3. 搓角 $> 20^\circ$ 後，球翻滾圈數變小至 1 圈半，球雖然有通過，距離多在 50cm 以上，反彈高度較低，且拍角越大，距離越遠。
0.05s	1. 搓角 10° 皆過網，且易有翻網而過的情形，但反彈高度約為 40cm 左右。 2. 若搓角 $> 20^\circ$ 後拍角越大，翻轉情形較小，距離越遠。
0.06s	1. 搓角 10° 的球雖能往前飛行，但容易觸網不過。 2. 於搓角 20° 時，落地距離及高度都較小，觸網不過的情形也高。 3. 搓角 $> 30^\circ$ 後，翻轉情形圈數較少，高度較低，距離越遠。
0.07s	1. 拍角越大，離地距離越遠，旋轉越少。 2. 在搓角 20° 時，球能往前飛行，且容易翻網而過。
0.09s	1. 拍角越大，離地距離越遠，旋轉越少。 2. 在拍面 $\geq 20^\circ$ 時，幾乎所有球都過，但角度在 40° 時，容易翻網而過

● 討論：

當通過時間相同（作用力相同）時，搓角越大，球落地距離越遠是個趨勢。但在 0.03s~0.05s 時， $10^\circ\sim 20^\circ$ 會容易有貼網翻轉的情形。而將作用力縮小（0.06s 以上）， 20° 以上幾乎都可以通過，但翻轉圈數較少，且搓角越大則球落地時離網越遠。

(三) 實驗結論一：

1. 在本實驗中，我們透過文獻找到搓球動作的關鍵變因為「搓球拍面角

度」及「搓球力量（水平作用力）」。

2. 我們透過實驗將搓球動作以「搓球拍面角度」及「搓球力量（水平作用力）」表示，透過收集實驗資料與分析後發現：我們是可以順利將搓球動作科學化。以本實驗環境為例，「搓角」 20° 與「球拍通過時間」 $0.05s$ 可得到過網成功率7成、翻轉角度1圈半~2圈、落地離網40cm內的搓球。
3. 雖然搓球點在甜區中，但仍然會有差異。因此，在數據中會出現相同作用力，結果有過網，但旋轉及最高高度、離地距離不盡相同的情形。
4. 以本實驗裝置進行搓球學習時，因掌握科學化搓球的關鍵變因，使得本組同學得以快速熟悉搓球動作（如下圖27）。

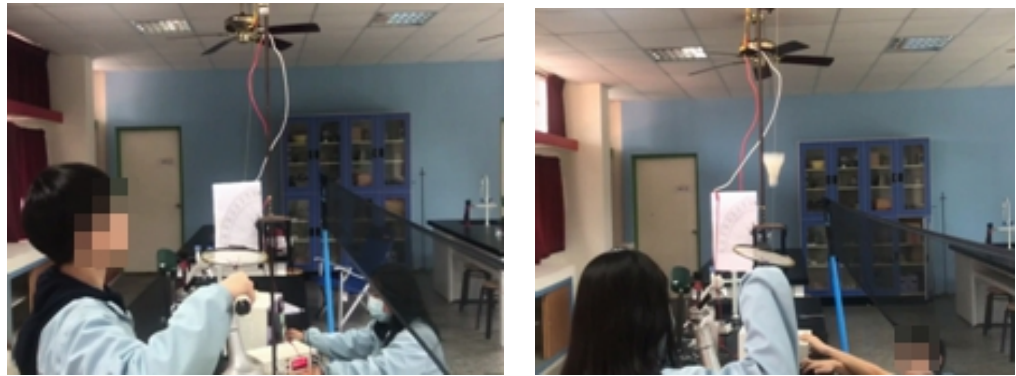


圖 27 利用實驗置進行搓球練習

二、原理分析與科學化搓球環境討論：

我們將搓球動作科學化後，依建置科學化搓球學習環境流程如下圖28。

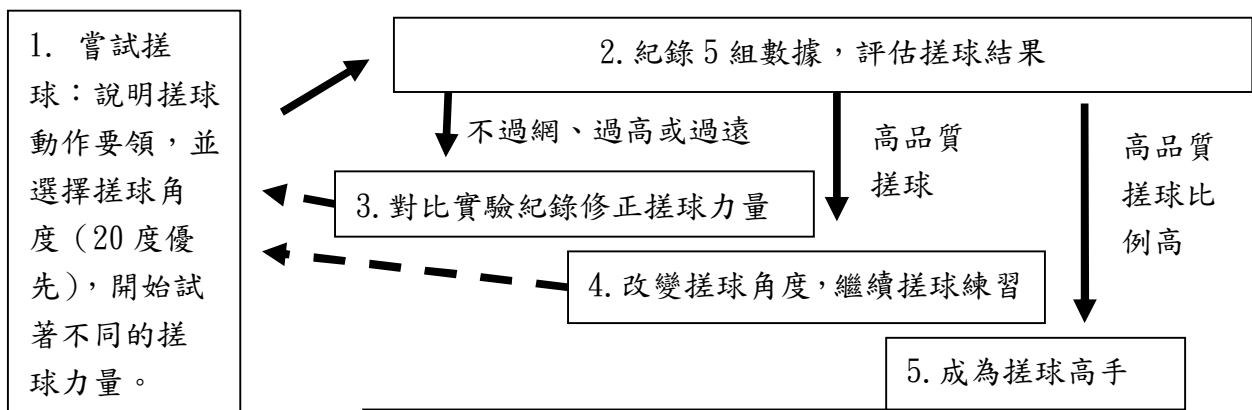
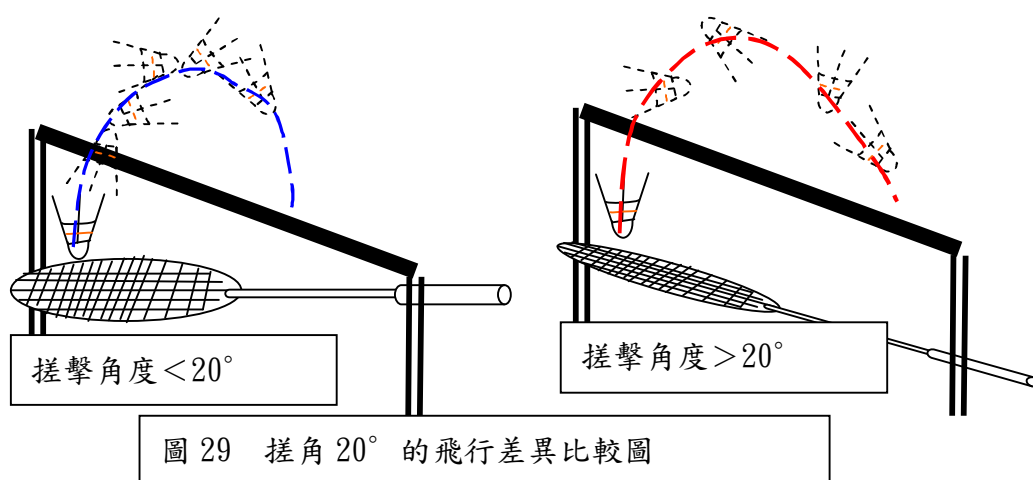


圖 28 科學化搓球學習流程圖

透過分析實驗結果背後的原因，建立原則。這樣我們才能面對不同條件時，改變搓球方式，提升高品質搓球的成功率。以下，我們從力及運動的角度進行探討：

(一) 最佳搓球結果與文獻比對：

依實驗結果可知，搓角 20° 、作用力在 $0.05S$ 時，為最佳的搓球。若搓角度 $< 20^\circ$ ，有 2 圈多的翻滾角度，飛行路徑曲度較高，落地離網較近。此結果讓對手需多前進一些距離才能回擊，對手較難以精準控制回擊球球托的時間。而搓角 $> 20^\circ$ 後，雖然旋轉減為一圈多，飛行路徑曲度較平，過網時較遠，但成功率較高（如圖 29）。而此結果與文獻中研究選手高品質輕彈球角度的結果相近[8]。



(二) 搓角及作用力分析：

以下我們就本次實驗結果進行原理分析。當搓球時，球將受到下列力、力矩的作用：

1. 羽球受水平搓擊作用力或作用力因球拍搓角之分力產生水平合力，並使球向前飛行
2. 羽球受重力的反作用力或作用力因球拍搓角之分力產生垂直分力，並使球向上飛行
3. 球托受作用力及重力反作用力之合力向前而產生力矩
4. 球托因摩擦力而產生力矩

● 分析一：不同搓角，搓擊作用力為 0 討論如下：

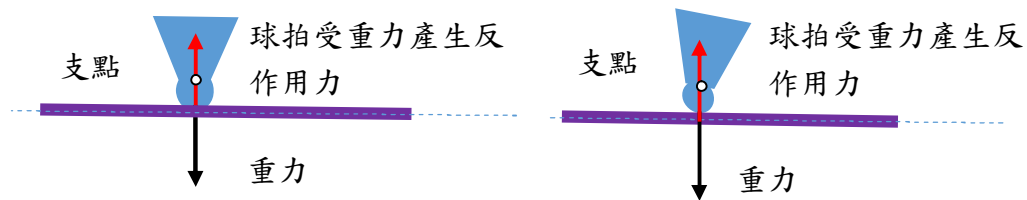


圖 30 左圖理想情境下，搓角 0° 時，重力反作用力通過球心（支點）球反彈不旋轉。右圖實際搓球，搓角 0° 時，重力反作用力不通過球心（支點）球反彈並做順時針旋轉

當搓角為 0° ，雖然無搓擊作用力，但實驗中球仍會旋轉。就圖 30 可知，重力若在支點延伸軸上，則不會旋轉。所以會旋轉的原因可能是：球雖自由落下，但在中途可能球身不穩，或因空氣阻力影響，因此，在最後球與球拍接觸時，重力之反作用力仍對球造成些微力矩，並使其旋轉。

在圖 31，當搓角 $>0^\circ$ ，重力向下作用於拍面時，部份與拍面平行之作用力被摩擦力抵消，只有重力垂直拍面之分力於碰撞中產生反作用力垂直向上並使球遠離拍面。因拍面有彈性，反作用力可能變小，但與水平球拍拍面之作用力形成向前、向上飛的合力，並造成逆時針翻轉的力矩。而搓角越大，而垂直球拍產生之反作用力越小，水平向前的作用越大，所以實驗結果中，搓角越大，球容易向前飛，高度較低。

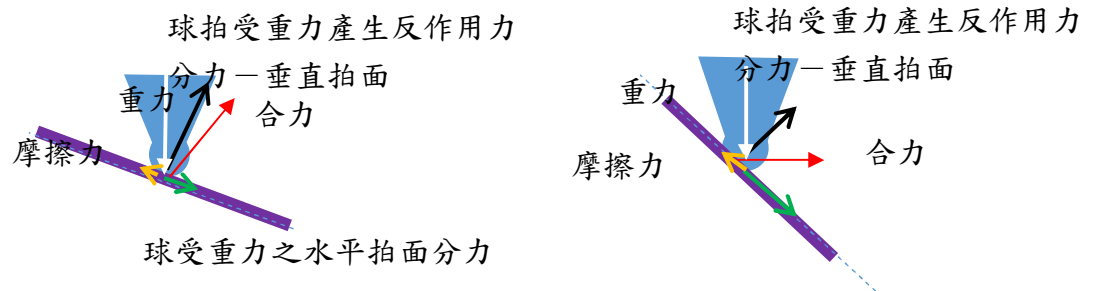


圖 31 左圖搓角 $>0^\circ$ 時，垂直拍面之反作用力造成球除了垂直向上，水平力量變大，較搓角 0° 近網，且逆時針旋轉較少。

右圖搓角越大時，重力垂直拍面向上之反作用力變小，球水平作用力變大，球垂直方向移動變小，水平移動變大，但仍不過網。

● 分析二：不同搓角，搓擊作用力 >0 ，討論如下：

如圖 32，當搓角 $=0$ ，水平搓擊作用力越大，與垂直球拍之反作用力合力就越大，球越容易翻轉。不過，雖然有作用力，但只有少數過網。

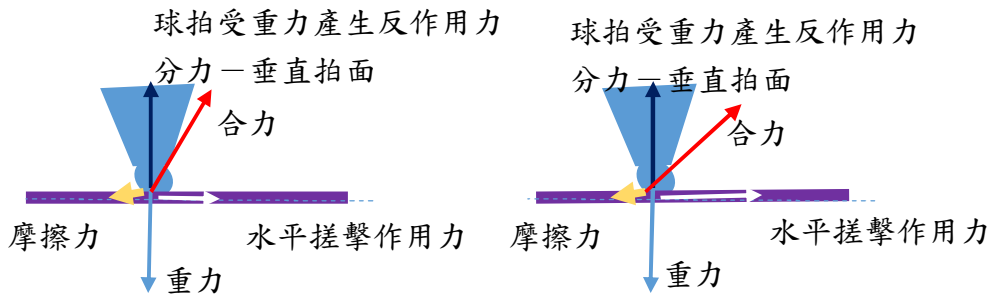


圖 32 左圖搓角 $>0^\circ$ 時，垂直拍面之反作用力造成球除了垂直向上，水平力量變大，較搓角 0° 近網，且逆時針旋轉較少。
右圖搓角越大時，重力垂直拍面向上之反作用力變小，球水平作用力變大，球垂直方向移動變小，水平移動變大，但仍不過網為多。

● 分析三：搓角不同，且搓球作用力 >0 ，討論如下：

因為有搓角，所以合力如圖 33，水平作用力將與反彈作用力、重力平行拍面分力結合。當水平分力變大，所以使得球更容易往水平方向飛行，球向前移動。但搓角太大時，水平過網時會飛的較遠，這也與我們的實驗結果相符合。但有趣的時，搓角大時，會產生擦網而過的意外之球，如果運用得當，也是可以產生近網的搓球。

此外，我們還發現，雖然球頭不大，球頭寬約 2.5cm，但因搓角而使搓球點產生變化。搓角小時，球拍較易搓擊球的底部，力矩較大，旋轉角度較大。反之，搓角越大時，球拍則是搓擊球的右側，所以使得球的旋轉力矩變小，此部份也與實驗相符合。

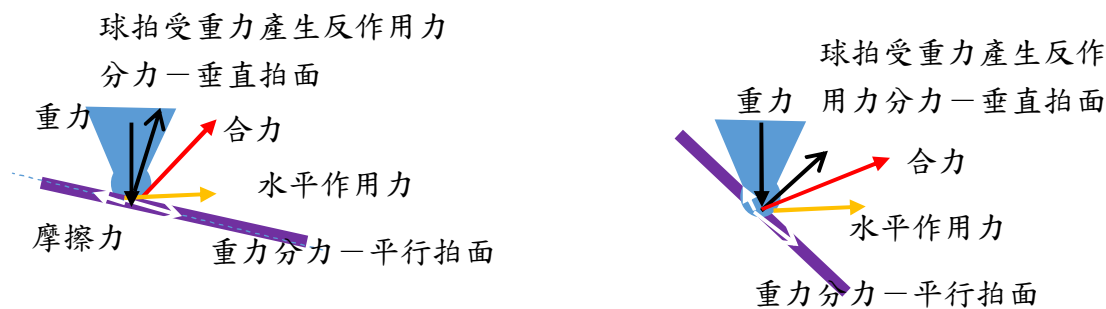


圖 33 左圖搓角 $>0^\circ$ 時，垂直拍面之反作用力造成球除了垂直向上、水平力量變大，因此較同力量，搓角 0° 時，球更近網。
右圖搓角變大時，重力垂直拍面向上之反作用力變小，球水平作用力變大，球垂直方向移動變小，水平移動變大，在實驗中雖然會過網，但擦網的比例變多。

● 分析四：意外影響搓球穩定性的反作用力

然而，不管重覆幾次，在實驗中總會出現幾顆令人意外的球！尤其在，搓角小、快速搓擊時，如：搓角 0° ，球拍通過時間為 0.03s 及 0.04s，我們會看到球突然往上高飛。但是，

我們明明在實驗中已用棉線懸吊球拍，以此控制球拍只有水平作用力。所以，垂直作用力應是只有球拍受重力產生的垂直反作用力！可實驗卻發現球比其他同情情形下，更容易垂直高飛。這是不是代表還有垂直向上作用力產生呢？

經我們再仔細回想時，發現原本在練習時，球拍本因懸線而容易控制的水平作用力，在往前搓擊球時，手很容易因重力及搓球時不自然產生一個向上的力！經討論後，我們認為是重力傳遞到手上時，有可能是手產生的反作用力。似乎與文獻中所提到的反彈力相似，但我們覺得應不是反彈力[7]。因為反彈力應該重力的反作用力，實驗相同條件下應相同。而此問題是在時間短（作用力大、速度快）時會特別明顯？

老師引導我們再從牛頓第二定律來看，我們這才發現，力F造成速度變化 ΔV ，相對的，速度變化 ΔV 也會影響反作用力F：

$$\text{公式： } F = m \times \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

所以，當搓球時，球由下墜變成上彈，速度變化 ΔV 大，而快速搓球時間變化 Δt 短，因此應該會有手的反作用力向上（如圖 34）。只是在持拍時，搓球時間長的話，且手力量控制得當，則這部份影響不明顯。但若搓球時間短，再加上手部力量未控制好，則可能會造成垂直部份的作用力變大而使球高飛！這也與一開始我們在學習搓球時，遭遇到的挫折相同。因此，本實驗控制水平作用力反而有助於抵消這力的影響，讓球能更穩定且品質高。

因此，影片教學中[5][6]，提到要快速搓擊以產生旋轉效果時，也要注意避免因為控制不好的反作用力，而使球飛的更高。對新手來說，其實是更難控制的。這部份在研究中提的並不多，可能是選手的肌力及長期訓練已能控制這部份的缺失。但一般選手為了有更精確的快速搓球，選手應加強肌力控制才能有高品質的搓球。

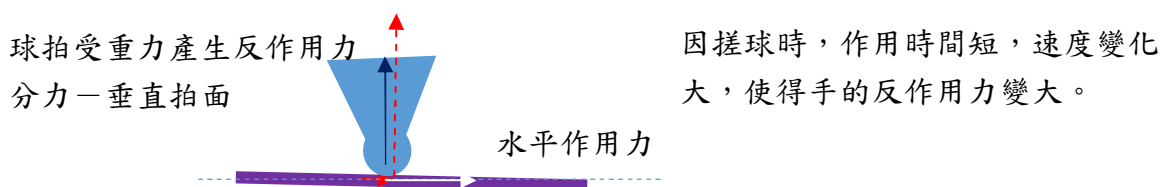


圖 34 搓球時，手的反作用力示意圖

● 小結：

(1) 搓角與作用力會影響球的飛行結果。以力與搓角分析，本實驗中搓角 20° ，作用力（球拍通過時間）0.05S 能有較好的飛行曲線、旋轉圈數、過網高度及落地離網距離，其原因是搓角與用力的最佳組合，也就是當下的球感對球及球拍控制。

(2) 初學者容易搓球時離網過高過遠，除了搓角及作用力外，可能是手的反作用力控制不好。

(3) 對於優秀選手要產生快速搓球時，除了搓角及作用力，更要有良好的肌力以穩定控制手的反作用力。

(三) 依實驗結果，擬定科學化搓球策略

比賽時，球落下高度、搓球位置不太可能相同。但，結合上面的原理討論及我們的實驗結果，可對搓球提供較科學化的策略，不是單靠球感。以球落下高度、時間與實驗環境相同，但改變搓球時間點為例，我們模擬不同搓球位置時的科學化策略如下表 5：

表 5 不同搓球時間點可採取之科學搓球策略及結果整理

搓球時間點	科學化搓球策略	結果
搓球位置於網下更高位置	加搓角至 $40\sim 50^\circ$ ，水平搓球力量 0s	可產生反彈高度低，直接落下的搓球，旋轉少但貼網、落地離網近之高品質搓球
搓球位置於網下 10 公分	以搓角 20° ，搓球力量 0.05s~0.06s	可產生過網高度 20cm~40cm、旋轉 1.5~2 圈、離地約 20~40cm 之高品質搓球
搓球位置於網下更低位置	減少搓角至 10° ，加大水平搓球力量為 0.03s~0.04s，並增加部份向上作用力。	可產生反彈高度更高，旋轉 1.5~2 圈，但貼網、落地離網近之高品質搓球

柒、結論

球感是抽象，難以表達的，也是一開始我們遭遇的困難！依本實驗結果來看，我們認為科學化搓球動作，不但能成功解析關鍵變因，並可量化分析最佳條件以科學化的學習！在本實驗中，我們獲得實驗結論如下：

- 一、 我們找出「搓球角度」、「搓球力量」關鍵因素以科學化搓球動作。以本實驗為例：
 1. 搓角 20° 、搓球力量（球拍通過時間）為 0.05s 時，可產生過網高度 20cm~40cm、旋轉 1.5~2 圈、離地約 20~40cm 之高品質搓球，比例高達 7 成。
 2. 若搓角為 30° ~ 40° 之間，只要有搓球力量（球拍通過時間） $>0.04s$ 幾乎都會過網，但落地離網較遠。
- 二、 快速搓擊時，手的反作用力是影響搓球品質的重要原因。
- 三、 利用本實驗裝置可快速掌握搓球動作的關鍵要領，有助於搓球學習。減少手的反作用力影響，讓搓球技巧能集中在搓球作用力及搓角的學習。
- 四、 比對本實驗數據並了解搓球科學原理，能協助選手依搓球環境擬定科學化策略。

捌、後續研究及建議

本實驗確實讓我們對搓球動作有更深入及快速了解，代表科學化有助於搓球學習及應用。展望未來，我們希望藉此更深入探究搓球技巧的不同層面，除了可縮短練習時間，更能透過科學原理及實驗結果思考、分析比賽的相應策略。

但，目前我們的研究仍有不足。「球是圓的」，球場瞬息萬變，我們不能期望設定好所有條件，然後讓選手都能加以練習。不過，我們期待能建立更多的數據，提供選手做出最有利的判斷。目前計畫朝以下方向持續研究：

- 一、 增加本實驗的測試對象，收蒐測試者心得及資料，透過統計分析以增加實驗的信度及效度，期能建立標準化的「球感」。
- 二、 朝攜帶式、程式化目標重新設計本實驗裝置，希望能提供球員隨時進行球感練習，並提供即時回饋。
- 三、 加入其他探討因素：嘗試使用更高科技的裝置如加入機械手臂來進行實驗，以提高準確度。探討「擊球點」及「手臂產生的反作用力大小」變因等。

玖、參考資料及其他

- [1]彭美麗（民 95）。羽毛球技巧圖解。台灣：大展。
- [2]江明宏譯（民 85）。羽毛球技術入門。台灣：大坤。
- [3]涂國誠（民 105）。羽球運動。台灣：聯經。
- [4]涂國誠。搓球動作分解。108 年 10 月 23 日，取自：

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:R-RzkViHtz4J:sip.cs.jh.tp.edu.tw/sites/athletic/DocLib4/%25E8%25A8%2>

[5B1%25E5%25BF%2597%25E5%25BF%25A0%25E5%2589%25AF%25E7%25B5%2584%25E9%2595%25B7/%25E7%25BE%25BD%25E7%2590%2583%25E6%2595%2599%25E5%25AD%25B8%25E8%25AC%259B%25E7%25BE%25A9.pdf+&cd=8&hl=zh-TW&ct=clnk&gl=tw](https://www.youtube.com/watch?v=JrtFXIz628M)

[5]彭云(民107)。搓球動作分解。108年10月23日，取自：<https://www.youtube.com/watch?v=JrtFXIz628M>

[6]黃嘉欣(民108)。羽球小教室_正拍放小球。108年10月23日，取自：

<https://www.youtube.com/watch?v=riOX8H6KrsE&t=1s>

[7]王禾、李秀蓮(民79)。搓球技术的生物力学分析。《中国体育科技》1990年10期。

薛尹彰(民98)。

[8]薛尹彰(民98)。羽球正拍網前擊球動作之生物力學分析。臺灣師範大學體育學系碩士論文。

[9]每日頭條【你做到了正確的甜區擊球了麼】。<https://kknews.cc/zh-tw/sports/y43ynk.html>

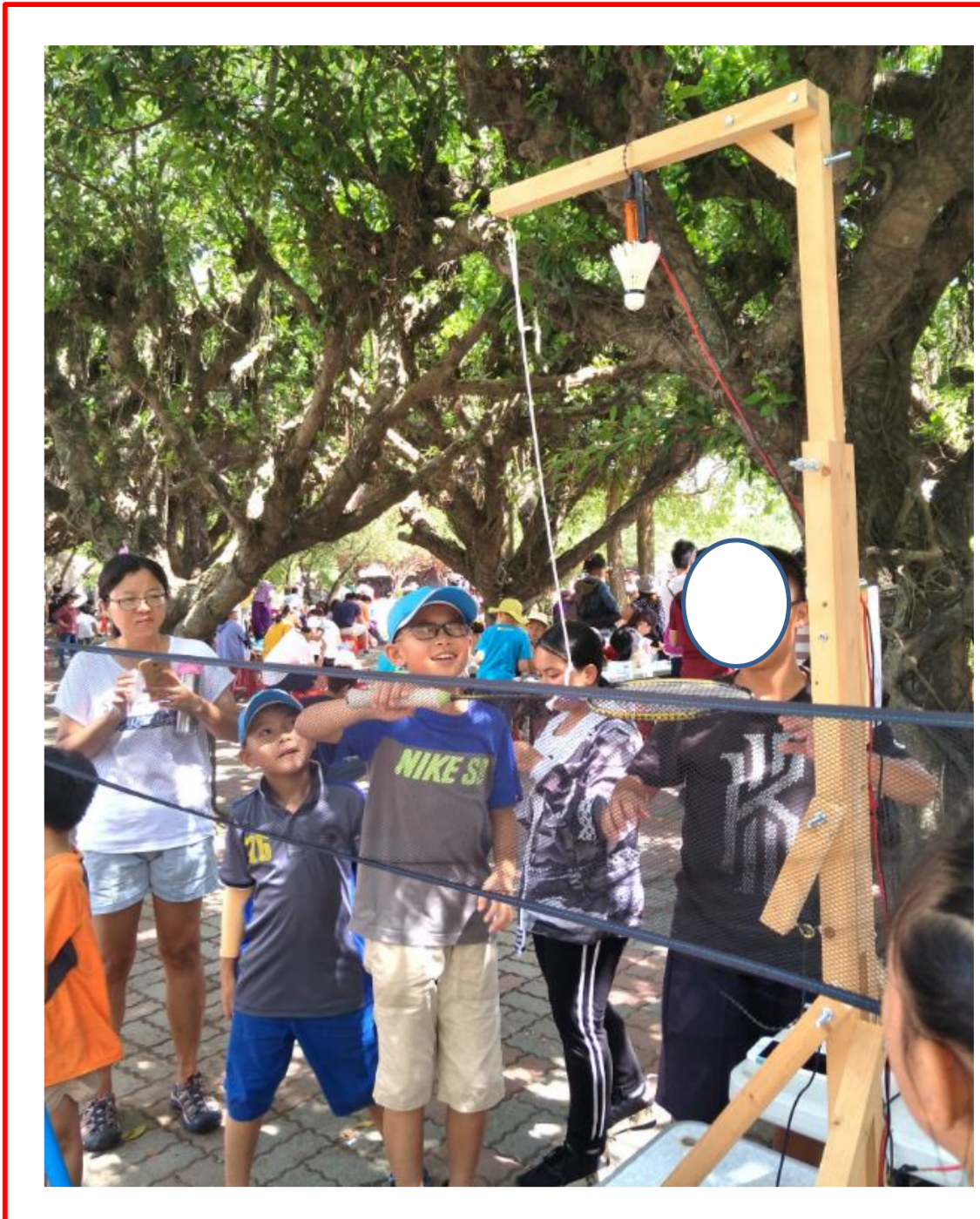
【評語】 032805

該作品探討羽球之搓球技術，藉由實驗分析搓球之效果。運用物理力學深入研究，以牛頓運動定律，探索型變與改變運動狀態，配合紅外線感測研發研究系統。希望找出最佳之動作，作品有獨特性且貼近生活，能針對問題設計並製作所需之設備，並進行大量之實驗以了解搓球技術，亦有相當之分析。可考慮利用影像或感測器的輔助對球拍的角度與動作做更細微得分析。

摘要

搓球！其縹渺不定的球感令人氣餒。我們透過科學探究掌握搓球的要訣，成果如下：

- 比對文獻找到影響搓球結果的關鍵變因。
- 成功把搓球動作科學化，讓球感能具體呈現。
- 找出高品質搓球條件：本實驗環境中搓球動作——搓球作用力（以通過時間表示）0.05秒至0.06秒、搓角 20° 。
- 發現搓球作用力越大、搓球時間越短時，越需要穩定的手部肌力以減少反作用力的影響，也是初學者搓球太高的主因。
- 創造出全台第一座搓球科學化學習裝置及策略！



目前已將實驗裝置可攜化（如右圖）。讓民眾透過此裝置快速掌握搓球動作，讓搓球學習更有效率。

壹、研究動機

台灣戴資穎被喻為球場魔術師！羽球搓擊後貼網、翻滾過網是小戴絕活！但，我們就算透過老師指導、YOUTUBE看教學影片、找教科書，不斷地尋求搓球的密訣，最終仍未能搓出一手好球。在學習過程中，我們開始反思幾個問題：

- 書上、YOUTUBE與老師所說的搓球動作似乎有些差異，能否有科學化、具體的方式來表示搓球動作呢？
- 搓出高品質的搓球，其關鍵是什麼呢？
- 除了如校隊拼命重覆苦練以培養球感，有沒有更有效率的練習可以掌握搓球動作呢？並能應用在比賽中呢？

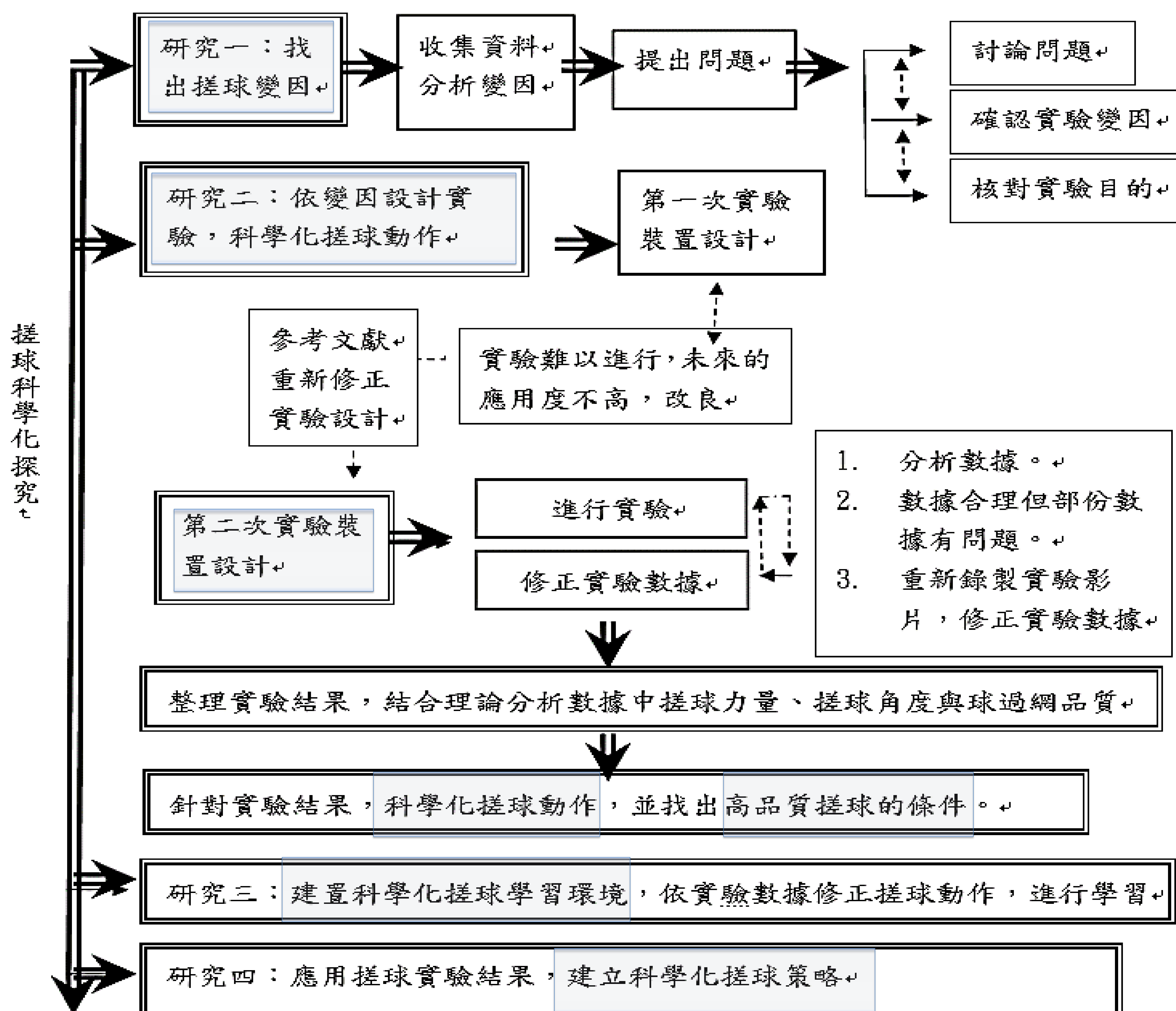
為了解決上面的問題，我們開始搓球的科學探究！

貳、研究目的

我們以科學方法探索搓球動作的細節及影響，並建置一個網前搓球學習裝置，希望最終能達到以下的目的：

- 找出影響搓球動作的主要變因。
- 設計並製作搓球學習裝置，科學化搓球動作要素。
- 藉由實驗結果建置科學化搓球學習裝置。
- 應用實驗結果，提供科學化搓球策略。

參、研究方法與過程



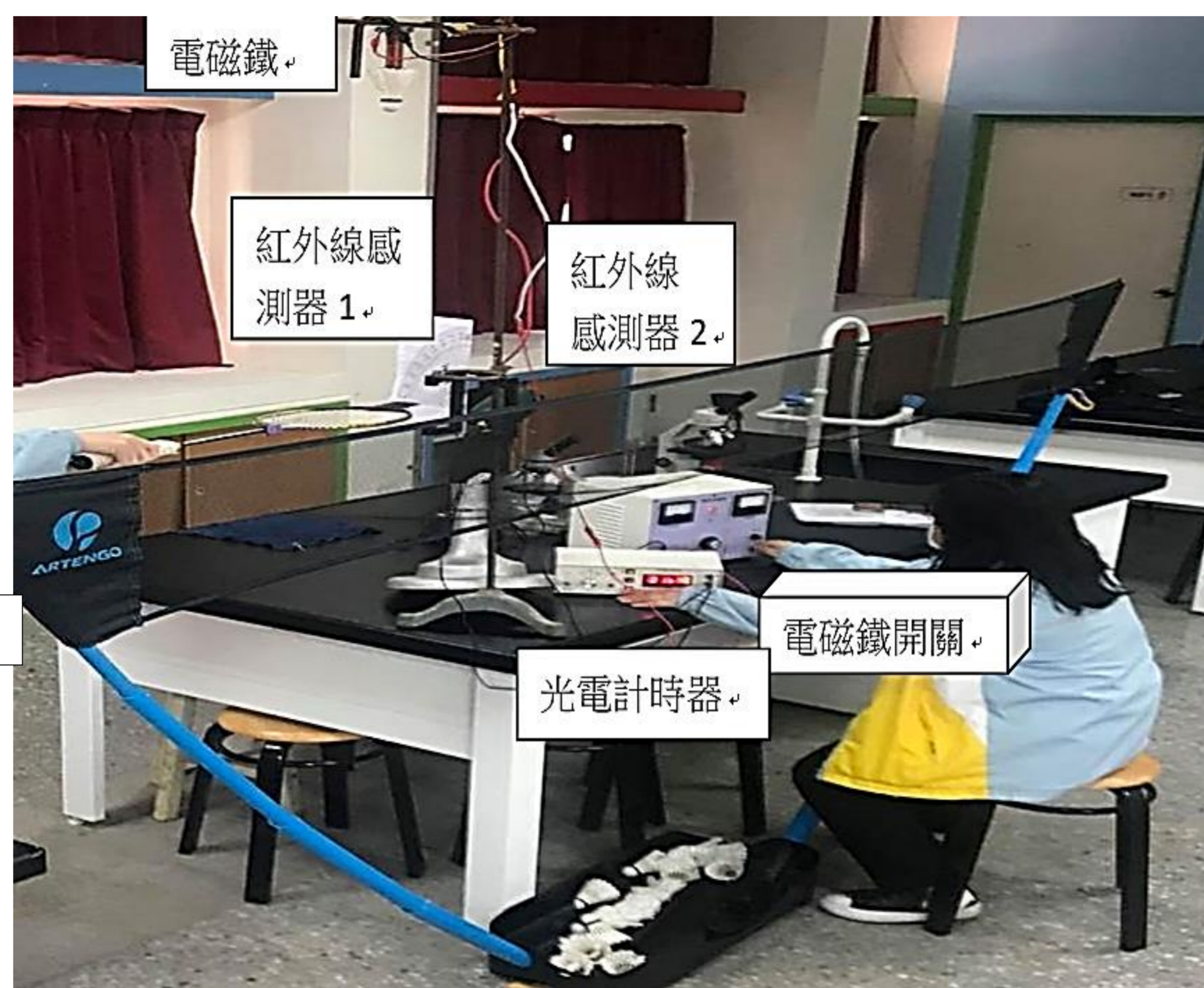
◆ 研究一：資料收集，並觀察搓球動作，進行分析

變因	是否列入操縱變因探討？討論紀錄	搓球結果
1. 搓球時間點	否 ●討論：本實驗以掌握搓球動作為主，所以先不探討此項。 ●實驗設計：選擇固定位置讓球自由落下，並固定擊球點。	1. 球過網後高度：PotPlayer擷取影片中的相片，以PDF Xchanger Viewer文書編輯軟體測量過網後的高度。
2. 搓球力量	是 ●討論：文獻中皆有提到，我們先探究水平作用力。 ●實驗設計：利用器材量測水平作用力的大小，以數據呈現。	2. 球過網後離網的距離：以尺量測球落地後離網距離。
2. 搓球拍面角度	是 ●討論：文獻中皆有提到，列為研究重點。 ●實驗設計：利用器材量測搓球拍面角度	3. 球的飛行循跡及旋轉情形：以Corel photo-paint 2020處理上述相片透明度後疊加以產生軌跡圖。
2. 搓球瞬間拍面變化	否 ●討論：進階搓球動作，先不列入考慮。 ●實驗設計：錄影檢視是否有變化。	
2. 搓球時的步伐	否 ●討論：步伐與個人體力、反應、熟練度有關，所以先不探討。 ●實驗設計：固定搓球位置。	

◆ 研究二：設計實驗裝置，科學化搓球動作，找出高品質搓球的條件

我們以上述討論的變因進行實驗設計，最後改良如右圖。

- 一、搓球力量：依 $F=ma$ ，我們得到 $F \propto \frac{1}{\Delta T^2}$ 。為方便未來學習者理解，故以 ΔT 代表搓球力量。
- 二、羽球落下裝置：以鋼針固定於羽毛球內部，並利用電磁鐵控制球落下的高度及時間。
- 三、搓球位置：以甜區內視為同一擊球點



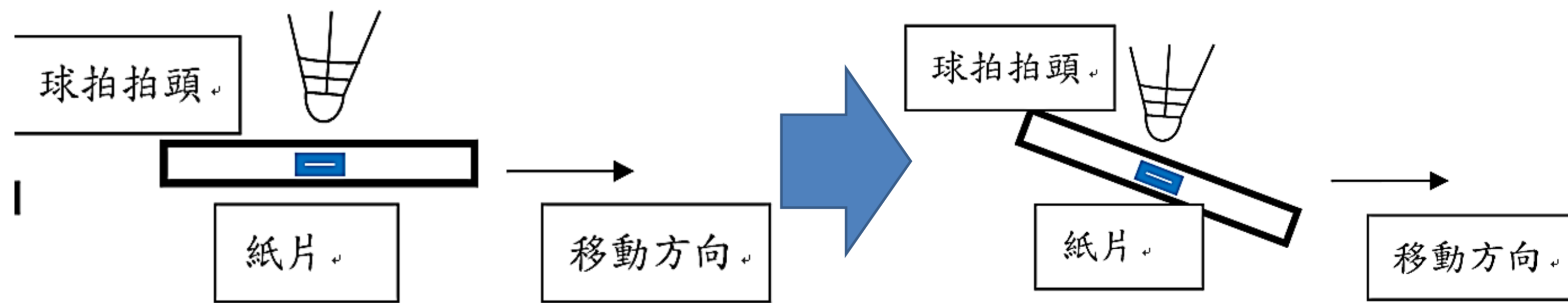
四、錄影後進行影像檢視與處理

Potplay擷取錄影畫面操作圖

corel photo-paint 2020疊加產生透視圖

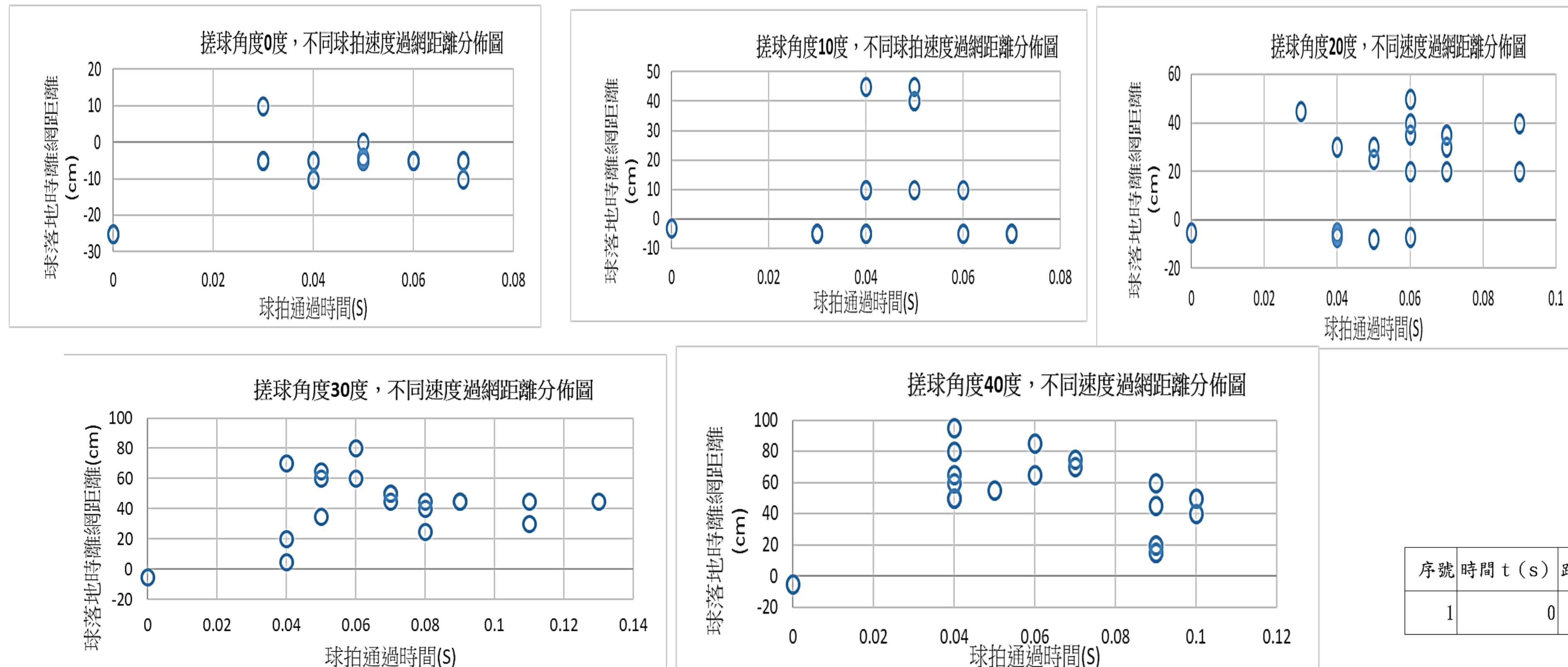
PDF Xchanger Viewer測量搓擊後高度

五、以0、10、20、30、40、50度搓球拍面角度進行不同力量的搓球，紀錄數據至少20組。



肆、實驗結果

一、本實驗以改變搓球拍面角度時，取20組不同力量的搓球製作與過網後落地距離的關係圖。



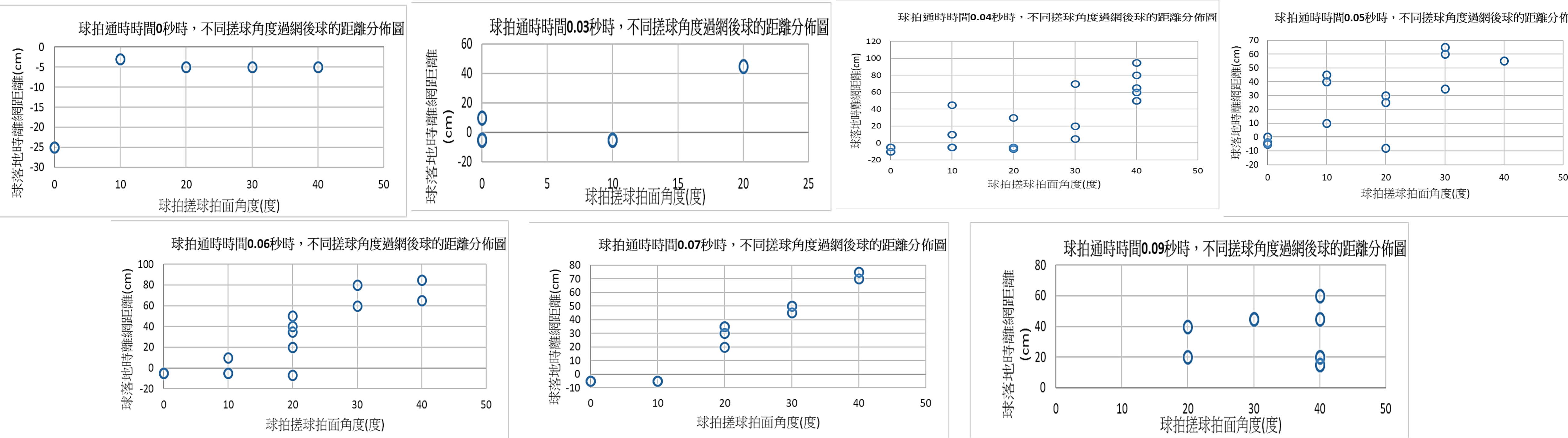
註：各角度皆有實驗數據。下圖為40度及50度數據範例

序號	時間 t (s)	距離 D (cm)	圈數 C(度)	高度 H(cm)	球飛行情形
1	0	-5	60		8 觸網後未過網
2	0.04	50	540		23 過網
3	0.04	50	540		25 過網
4	0.04	60	540		28 過網
5	0.04	65	540		28 過網
6	0.04	80	540		46 過網
7	0.04	95	540		55 過網
8	0.05	55	540		28 過網
9	0.06	65	540		28 觸網後繼續過網
10	0.06	85	360		36 觸網後繼續過網

序號	時間 t (s)	距離 D (cm)	圈數 C(度)	高度 H(cm)	球飛行情形
1	0	-5	0	4	反彈後於拍到拍子後落地

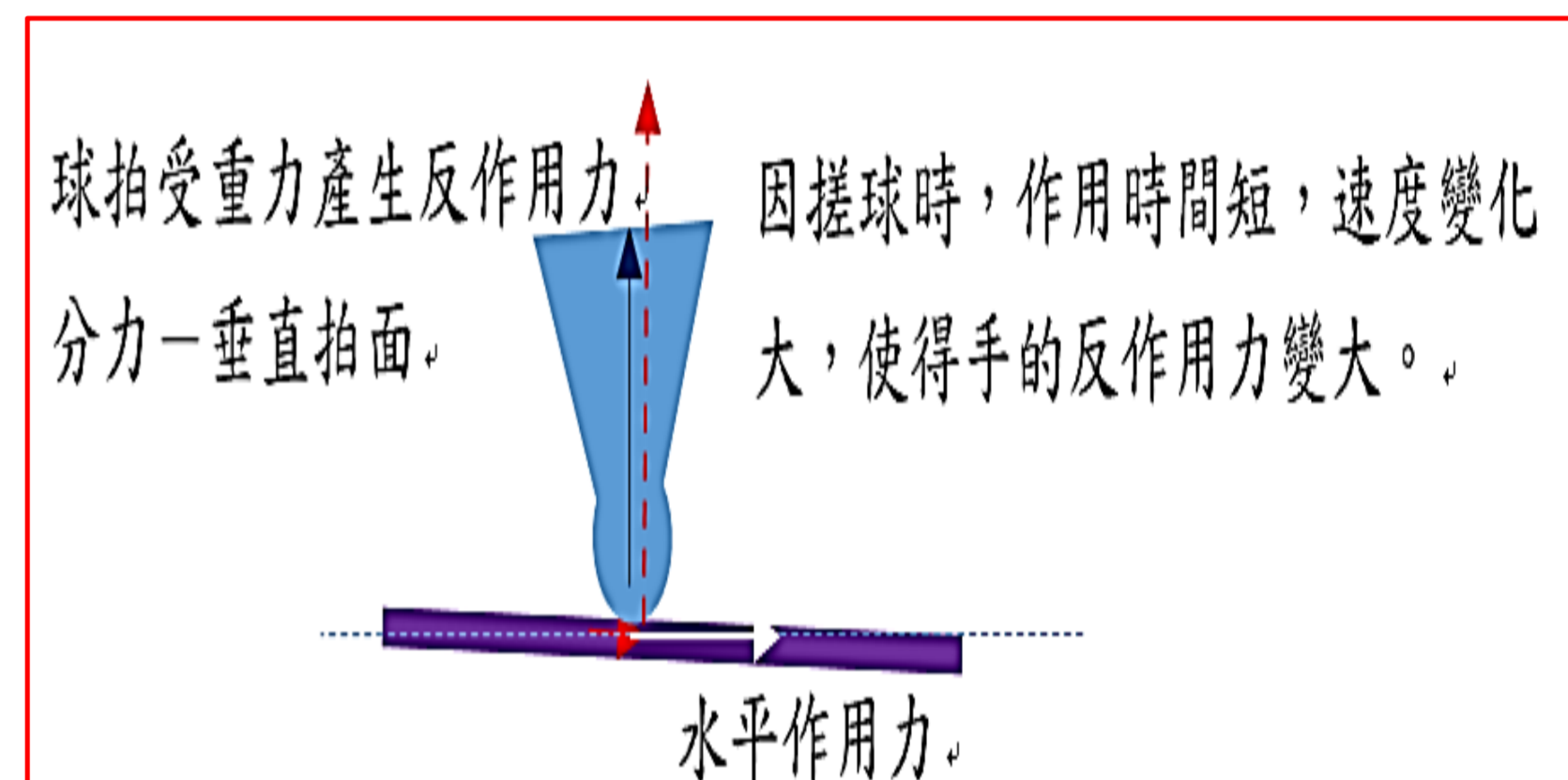
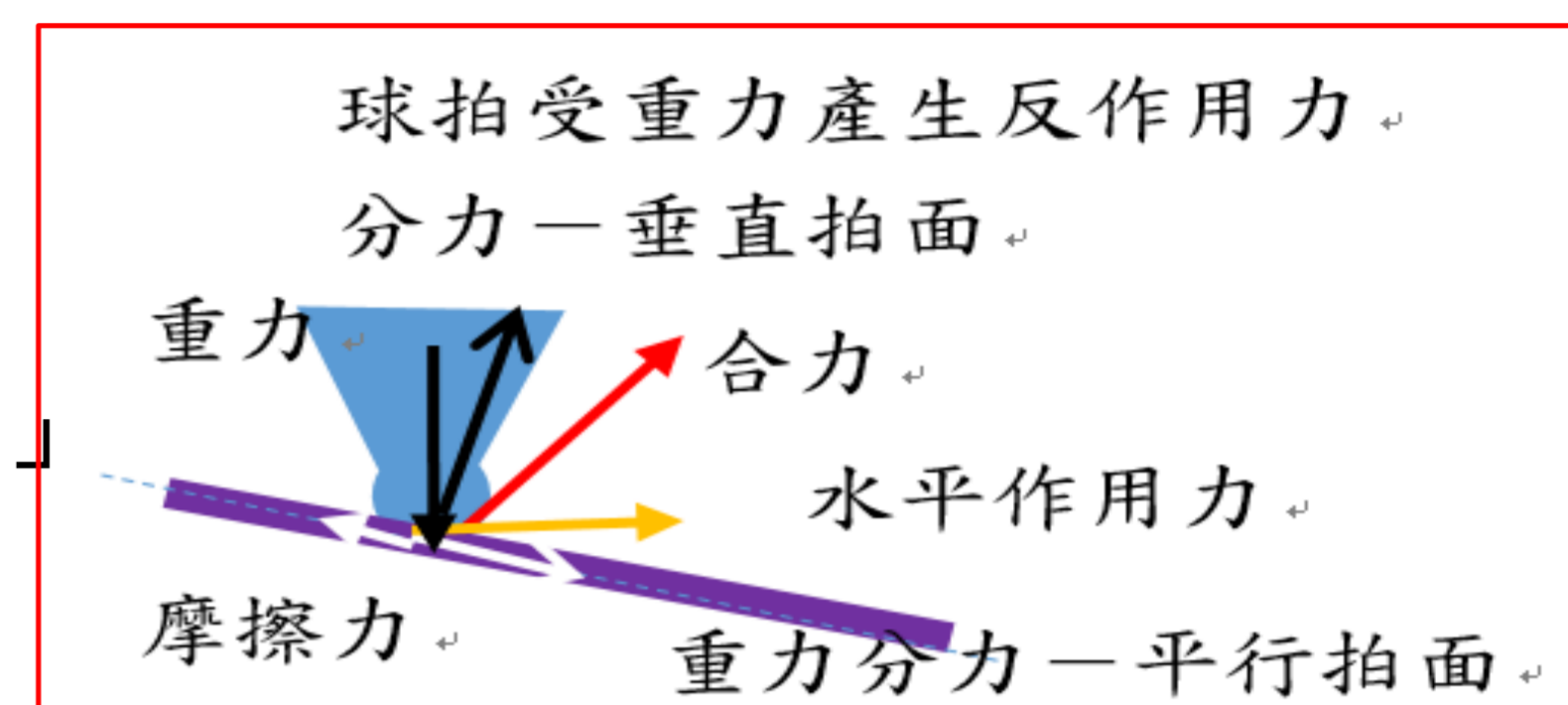
肆、實驗結果 (續)

二、依相同作用力重新整理數據，以搓球球拍角度與球過網後落地距離作關係圖。



伍、討論與結論

- 一. 比對文獻及實驗結果，可發現「搓球拍面角度」及「搓球力量（水平作用力）」為搓球動作的關鍵變因。
- 二. 將搓球動作科學化後，以本實驗環境為例，「搓角」 20° 與「球拍通過時間」 $0.05s$ 可得到翻轉角度1圈半~2圈、落地離網 $40cm$ 內的高品質、高成功率搓球。此結果又與文獻中研究選手高品質輕彈球角度的結果相近。分析其作用力及搓角可知：搓角 20° 時，垂直拍面之反作用力與水平作用力之合力造成球除了垂直向上、水平力量變大，此時球可貼網而過及翻轉圈數多。
- 三. 球拍通過時間為 $0.03s$ 及 $0.04s$ 時容易出現突然往上高飛的搓球。
由公式 $F=m \times \frac{\Delta V}{\Delta T}$ 來看，應是垂直方向的速度變化而產生手部的向上反作用力造成。因此，快速搓擊時，減少手的反作用力或增加手部肌耐力也是影響搓球品質的關鍵。

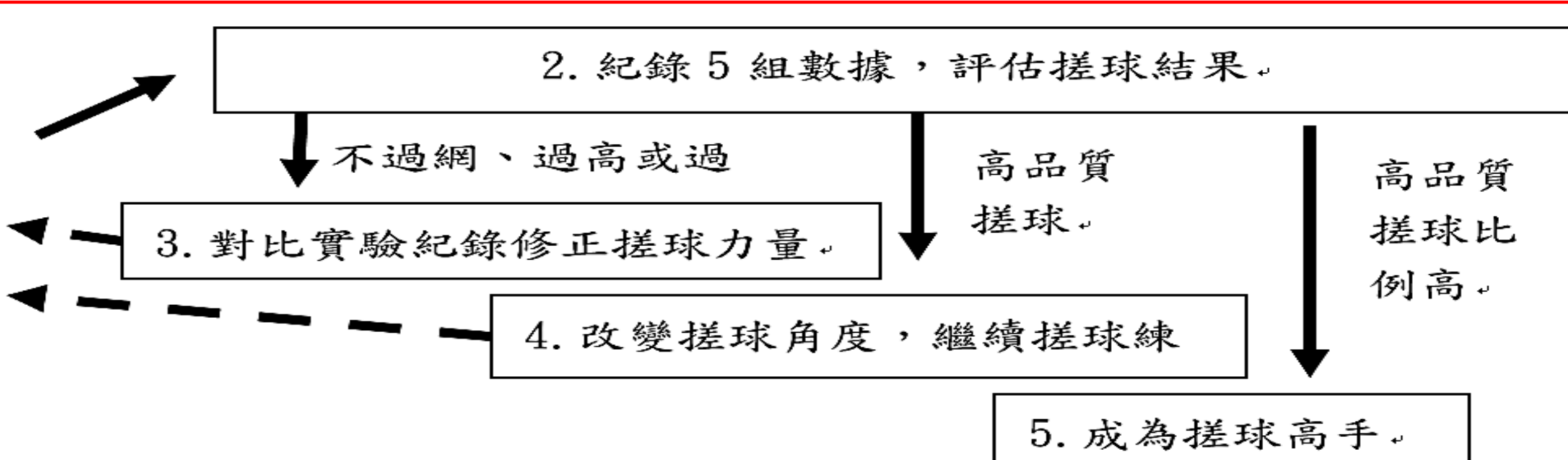


陸、結果與應用

◆ 研究三：建置科學化搓球學習環境

依上述結論，將搓球動作科學化後，建置科學化搓球學習環境如右。

1. 嘗試搓球：說明搓球動作要領，並選擇搓球角度（ 20° 度優先），開始試著不同的搓球力量。



◆ 研究四：提供科學化搓球策略

結合上面的原理討論及實驗結果，提供科學化的策略，如改變搓球時間點為例，我們提供不同搓球位置時的科學化策略

搓球時間點	科學化搓球策略	結果
搓球位置於網下更高位置	加搓角至 $40\sim 50^\circ$ ，水平搓球力量 $0s$	可產生反彈高度低，直接落下的搓球，旋轉少但貼網、落地離網近之高品質搓球
搓球位置於網下10公分	以搓角 20° ，搓球力量 $0.05s\sim 0.06s$	可產生過網高度 $20cm\sim 40cm$ 、旋轉 $1.5\sim 2$ 圈、離地約 $20\sim 40cm$ 之高品質搓球
搓球位置於網下更低位置	減少搓角至 10° ，加大水平搓球力量為 $0.03s\sim 0.04s$ ，並增加部份向上作用力。	可產生反彈高度更高，旋轉 $1.5\sim 2$ 圈，但貼網、落地離網近之高品質搓球

柒、後續研究及未來展望

本實驗讓我們對搓球動作進行科學化分析與探究，並有助於搓球學習及應用。未來，我們希望能探究搓球技巧的不同層面，除了可縮短練習時間，更能透過科學原理及實驗結果，分析比賽的相應策略。

目前計畫朝以下方向持續研究：

- 一、增加實驗對象，蒐集測試者心得及資料，增加實驗的信度及效度，期能建立標準化的「球感」。
- 二、朝攜帶式、程式化目標重新設計本實驗裝置，能提供即時回饋。（攜帶式已進行，目前測試者反應良好）
- 三、加入其他探討因素：嘗試使用更高科技的裝置，如：加入機械手臂來進行實驗，以提高準確度，並探討「擊球點」及「手臂產生的反作用力大小」變因等。

捌、參考資料

- [1] 彭美麗 (民95)。羽毛球技巧圖解。台灣：大展。
- [2] 江明宏譯 (民85)。羽毛球技術入門。台灣：大坤。
- [3] 涂國誠 (民105)。羽球運動。台灣：聯經。
- [4] 涂國誠。搓球動作分解。108年10月23日，取自：<https://reurl.cc/0o5rZA>
- [5] 彭云 (民107)。搓球動作分解。108年10月23日，取自：<https://www.youtube.com/watch?v=JrtFX1z628M>
- [6] 黃嘉欣 (民108)。羽球小教室_正拍放小球。108年10月23日，取自：<https://www.youtube.com/watch?v=ri0X8H6KrsE&t=1s>
- [7] 王禾、李秀蓮 (民79)。搓球技术的生物力学分析。《中国体育科技》1990年10期。
- [8] 薛尹彰 (民98)。
- [9] 薛尹彰 (民98)。羽球正拍網前擊球動作之生物力学分析。臺灣師範大學體育學系碩士論文。
- [9] 每日頭條【你做到了正確的甜區擊球了麼】。<https://kknews.cc/zh-tw/sports/y43ynk.html>