

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030114

羽重心長-探討羽球重心對於其飛行的影響

學校名稱：高雄市立五福國民中學

作者： 國一 鄭詩樺 國一 洪瑋妘 國一 何芊穎	指導老師： 陳宗慶 林宇涵
---	-----------------------------

關鍵詞：羽球、重心、Tracker

摘要

羽球是容易上手的運動，但易受風影響，因此都在室內活動。為此我們想製作出能在戶外打的羽球，讓這項運動可以走出戶外。我們參考「風羽無阻—戶外低風阻羽球研究之初探」的作品，但發現此作品實驗數據有些不符合邏輯（如面積愈小，應該會愈抗風，但實驗結果並非如此…）。我們推論是「重心」所造成，所以想藉由改變重心來探討重心對於羽球飛行能力(包含飛行距離、偏移量、與飛行速率)的影響。本實驗發現，將羽球或塑膠球做**對稱性修剪**，以減少羽毛受風面積，將**重心改至距離球頭 2.9 公分**的位置，均會使其**偏移量減少**，**飛行較穩定且飛行距離較遠**。羽球和塑膠球的重心**往球尾移動 1 公分**不管在哪種風源下，比重心往球頭移動 1 公分飛行都較穩定。

壹、研究動機

因學校羽球場地的限制，迫使移動到戶外打羽球。但在戶外打球時，球怎麼一直飛到旁邊?原來問題是環繞在我們身旁的「風」，戶外的風總是捉摸不定，有時強，有時弱有時從旁邊，有時從前面，一不小心球還會被吹到樹上或屋頂上!所以我們就想要設計探討有關「戶外低風阻羽球研究」的相關實驗，希望能做出抗風性更好的羽球。

國小時，我們曾經做過關於抗風羽球的相關研究，參考了「風羽無阻—戶外低風阻羽球研究之初探」的科展作品，但我們發現其中仍有些**數據**不太符合邏輯（如:面積愈小，應該會愈抗風，但實驗結果並非如此..等），我們認為可能是因為補上油土後，改變了羽球的重心，也改變了實驗結果，我們想要進一步探討羽球的重心對於飛行的影響，因此，設計了本實驗研究以驗證我們的推測。

貳、研究目的

- 一、尋找羽球、塑膠球的重心。
- 二、探討羽球重心對於羽球**飛行距離與偏移量**之影響。
- 三、探討塑膠球重心對於塑膠球**飛行距離與偏移量**之影響。
- 四、探討羽毛球、塑膠球修剪前、後重心維持不變對於**飛行距離與偏移量**之影響。
- 五、探討羽毛球、塑膠羽修剪前、後重心維持不變對於**飛行速率**之影響。

參、研究設備及器材

自製發球機	松木條、鐵釘、空壓機
羽球	高級鴨毛材質的羽球(本實驗稱羽球) R 廠牌、塑膠材質的羽球(本實驗稱塑膠球) D 廠牌
測重心	棉線、木架、尺、電子秤、鐵絲、奇異筆
其他器材	皮尺、捲尺、風速計、吸管、延長線、保麗龍膠、工業用電風扇、風速計、板凳

肆、文獻探討

一、重心的定義：

我們查閱了一些有關重心的網站並細讀重心的定義。得知物體的重心，就是（1）物體重量分佈的中心點亦即系統重量的集中點；（2）系統運動的代表點；（3）恰為系統力矩平衡時的支點。因此，當物體被拋到空中時，即使它在飛行時有自轉或搖擺的現象，它重心的飛行軌跡幾乎是一條平滑的拋物線。

二、尋找重心的方法:

一般找重心的方法都是利用公式，但羽球是不規則形狀，所以不能套用公式找出重心。所以我們試著找出能量不規則物體重心的方法。在網路上找到了用鉛垂線找重心（任意一種形狀，質地均勻），方法是用繩子找其一端點懸掛，後畫出物體靜止後的重力線（鉛錘線），同理再找一點用繩懸掛，畫出物體靜止後的重力線（鉛錘線），兩條重力線的交點就是物體的重心。另外在網路上也找到了「康軒學習雜誌- Top 童樂會」他們將不規則形狀的圖卡，打 3 個洞。接下來在棉線的一端綁黏土，另一端用圖釘穿過其中一個洞，釘在軟木板上，棉線自然下垂後，用筆把棉線位置畫在紙卡上。重複步驟，將圖釘穿過另外 2、3 個洞，再畫下第 2、3 條線。3 條線的交會處就是重心處了。而我們的羽球和文獻中的圖卡一樣都是不規則狀的。另外，該文獻的材料都是我們手邊時常會有的物品，對於想藉由改變重心來達到抗風

效果的人，是一個相當方便的方法，所以我們也用鉛垂線找重心的方法，以細棉線垂釣方式來找出羽球的重心。（詳見實驗一，如圖 1、2）

三、R 牌廠牌練習級的羽球、D 牌標準型塑膠球特性分析與探討

表 1 羽毛材質羽球與塑膠材質羽球的特性分析表

羽球種類	比較項目	羽翼材質	球頭材質	重量 (g)	高度 (cm)	羽翼張開直徑 (cm)
R 牌練習級羽球		高級鴨毛	複合軟木	4.86	8.4	6.5
D 牌標準型塑膠球		聚醯纖維	軟木	5.28	7.6	6.6

※註：同種球的重量仍有些許不同，但誤差都在 0.3g 以內，我們各取三顆分別稱其重量後，計算求其平均重量並記錄之。

表 2 各種修剪前後羽球與塑膠球的重量分析

羽球修剪方式	重量 (g)	塑膠球修剪方式	重量 (g)
未修剪	4.91	未修剪	5.29
剪去四支羽毛	4.58	剪去骨幹	5.21
剪去八支羽毛	4.34	剪去一層塑膠羽	5.08
剪去外翅	4.59	剪去兩層塑膠羽	4.87
剪去內翅	4.63	剪去三層塑膠羽	4.77
剪去上半翅	4.52	斜剪兩層留下疏羽	5.10
剪去下半翅	4.59	斜剪兩層留下密羽	5.03
		斜剪三層留下疏羽	5.08
		斜剪三層留下密羽	5.05

※註 1:修剪方式皆和「風羽無阻—戶外低風阻羽球研究之初探」相同。

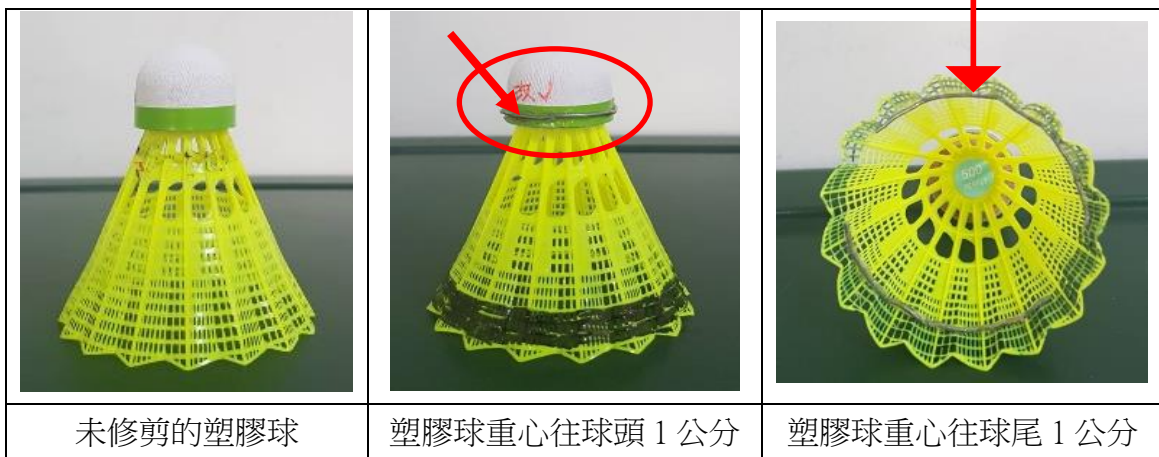
※註 2:羽毛材質的羽球以下稱為羽球，塑膠材質的羽球以下稱為塑膠球。

四、比較羽球與塑膠球其重心的改變前、後之各種樣態

1.羽球更改重心前、後之各種樣態 (加入細鐵絲改變羽球的重心，箭號所示處)

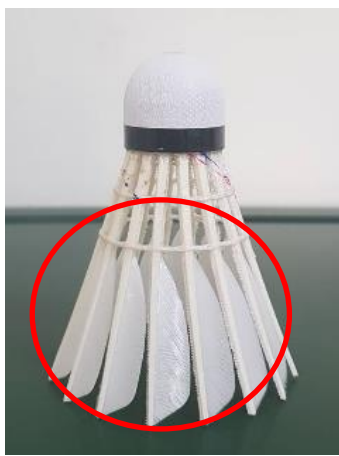
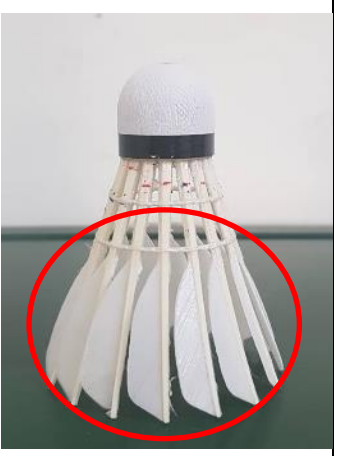
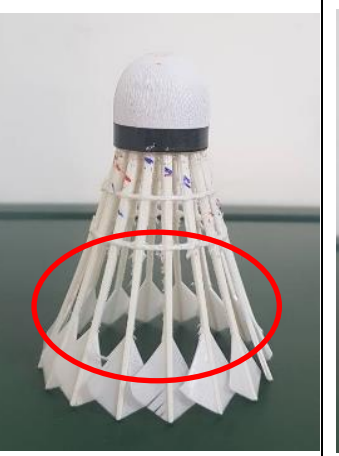
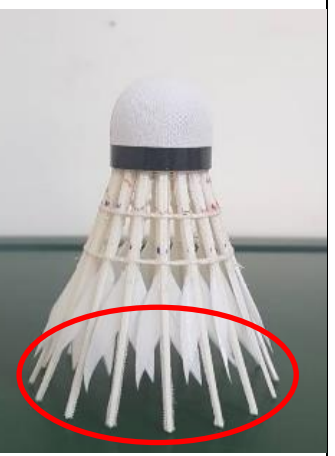


2.塑膠球更改重心前、後之各種樣態 (加入細鐵絲改變塑膠球的重心，箭號所示處)



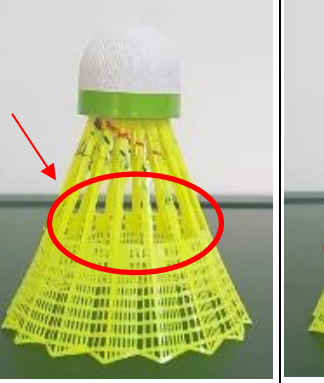

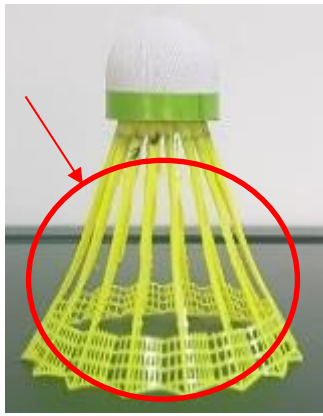

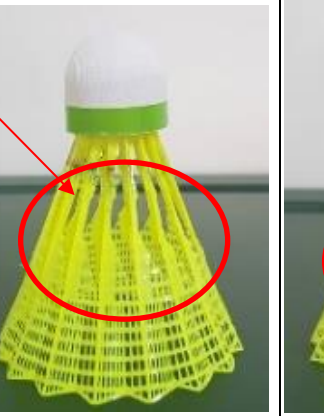



3.羽球未修剪及修剪後之各種樣態



			
剪掉外翅	剪掉內翅	剪掉上半翅	剪掉下半翅

4. 塑膠球未修剪及修剪後之各種樣態

			
一般，無修剪	剪去上方骨幹	剪去一層塑膠羽	剪去兩層塑膠羽
			
剪去三層塑膠羽	斜剪兩層留下疏羽	斜剪兩層留下密羽	斜剪三層留下疏羽

伍、實驗過程與方法

實驗一、尋找羽球、塑膠球的重心

實驗步驟：（以鉛垂線找重心）

(一)將棉線綁在羽球、塑膠球的骨幹上。

(二)用奇異筆沿棉線在球上畫垂直線，同時用手機拍下照片，並利用手機在照片上也畫上垂直線，作為檢驗。(如圖 1、2 所示)。

(三)將棉線綁在羽球、塑膠球骨幹上的另一點後，和前面步驟一樣，用奇異筆沿棉線在球上畫垂直線，同時用手機拍下照片，並利用手機在照片上也畫垂直線作為檢驗。

(四)將兩條羽球上的線交叉點標記起來，並測量球頭到交叉點的距離，那就是羽球重心處。（將未補油土與補油土的羽球、塑膠球分別完成重心測量並記錄於表 3~表 6）

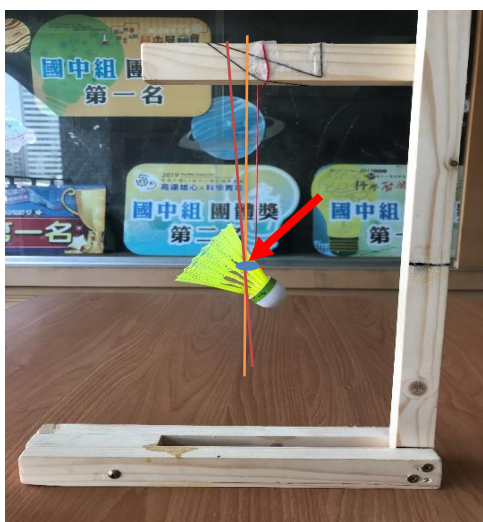


圖 1 兩線交叉處即為該球重心位置

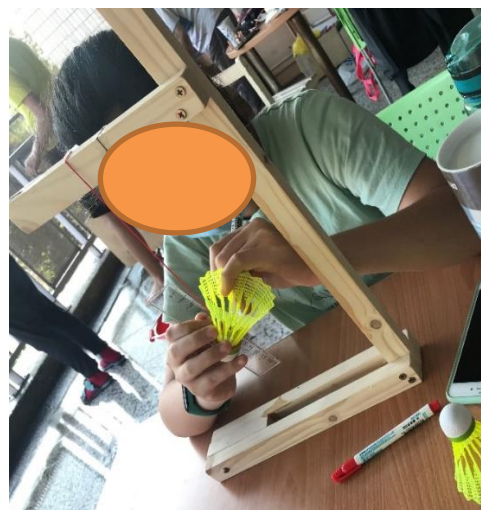


圖 2 畫出羽球重心位置

表 3 未修剪及修剪過羽球的重心位置(補油土)

羽球種類	第一次	第二次	第三次	平均(cm)
未修剪	2.8	3.0	2.9	2.9

剪去四支羽毛	3.1	3.0	3.2	3.1
剪去八支羽毛	3.0	3.2	2.8	3.0
剪去外翅	2.7	2.1	3.2	2.7
剪去內翅	3.5	3.4	3.2	3.4
剪去上半翅	2.8	2.9	3.0	2.9
剪去下半翅	3.0	2.8	3.2	3.0

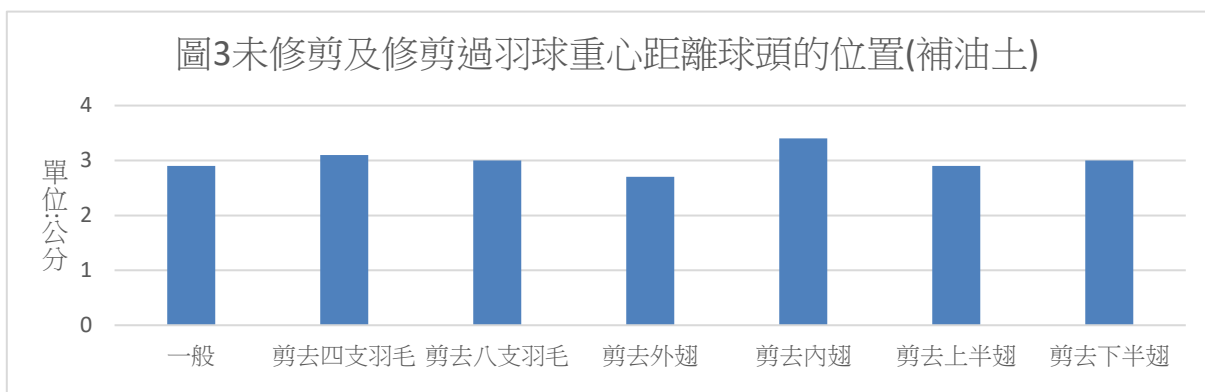


表 4 未修剪及修剪過羽球的重心距離(未補油土)

羽球種類 \ 重心到球頭的距離(cm)	第一次	第二次	第三次	平均(cm)
未修剪	2.8	3.0	2.9	2.9
剪去四支羽毛	3.2	3.0	3.1	3.1
剪去八支羽毛	3.2	2.8	2.8	3.0
剪去外翅	3.2	3.0	3.1	3.1
剪去內翅	2.6	2.6	2.3	2.5
剪去上半翅	1.9	1.7	1.6	1.8
剪去下半翅	3.1	2.8	2.9	2.9

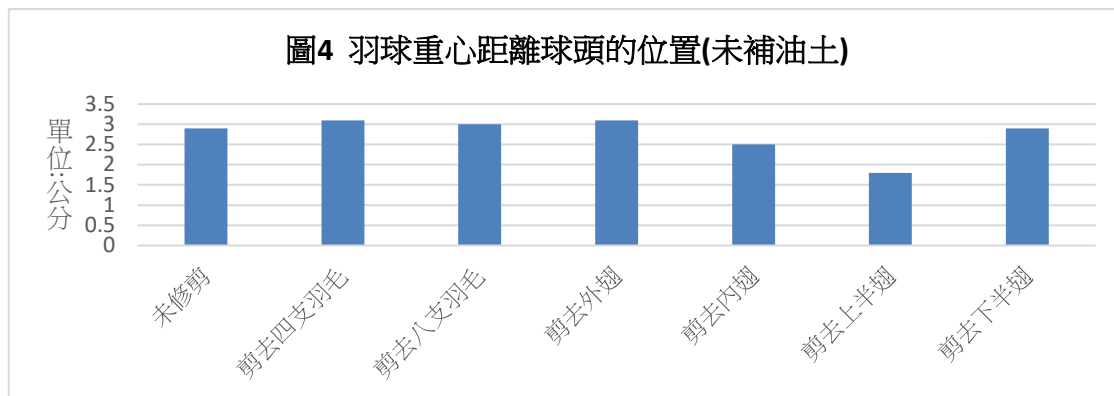


表 5 未修剪及修剪過塑膠球的重心位置(補油土)

塑膠球 種類	重心到球頭 的距離(cm)			
	第一次	第二次	第三次	平均(cm)
未修剪	3.0	2.7	2.9	2.9
剪去骨幹	3.0	2.7	2.6	2.8
剪去一層塑膠羽	2.6	2.7	2.6	2.6
剪去兩層塑膠羽	2.6	3.0	2.9	2.8
剪去三層塑膠羽	3.2	2.7	2.9	2.9
斜剪兩層留下疏羽	2.9	2.5	2.6	2.7
斜剪兩層留下密羽	2.8	2.7	2.6	2.7
斜剪三層留下疏羽	3.0	2.8	2.9	2.9
斜剪三層留下密羽	2.7	3.1	2.9	2.9

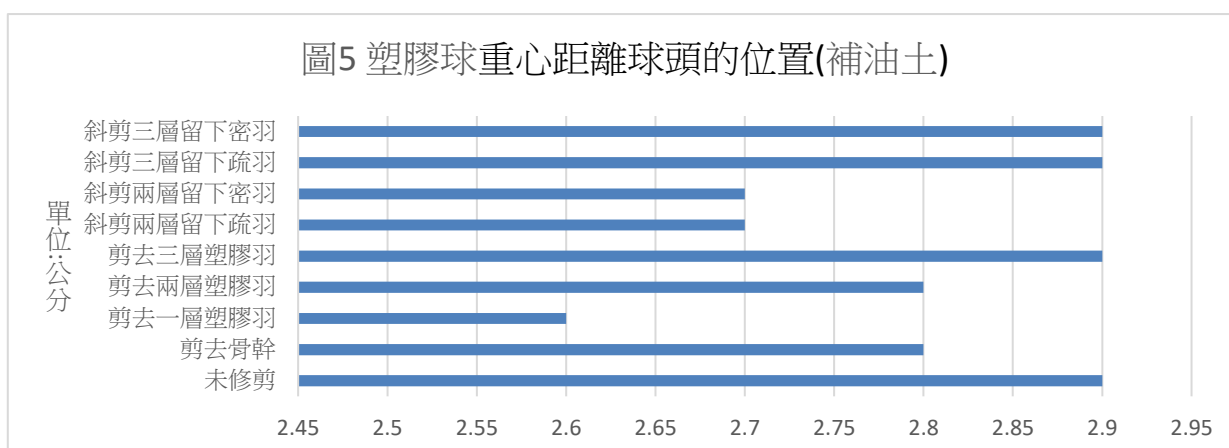
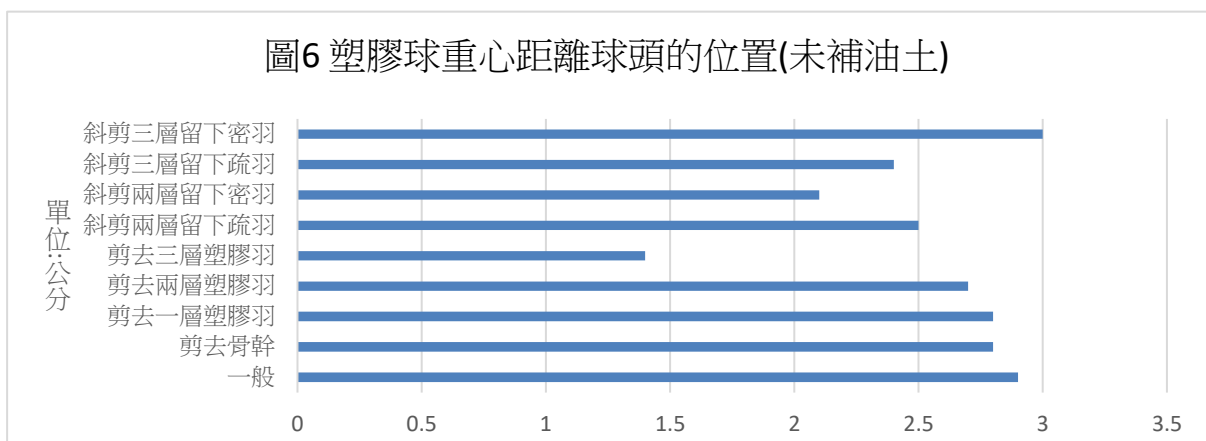


表 6 未修剪及修剪過塑膠球的重心位置(未補油土)

重心到球頭的距離(cm) 塑膠球種類	第一次	第二次	第三次	平均(cm)
未修剪	3.0	2.7	2.9	2.9
剪去骨幹	2.8	2.9	2.7	2.8
剪去一層塑膠羽	2.9	2.9	2.6	2.8
剪去兩層塑膠羽	2.5	2.6	2.4	2.7
剪去三層塑膠羽	1.5	1.3	1.4	1.4
斜剪兩層留下疏羽	2.3	2.5	2.6	2.5
斜剪兩層留下密羽	2.3	2.0	1.9	2.1
斜剪三層留下疏羽	2.3	2.2	2.6	2.4
斜剪三層留下密羽	2.7	3.0	3.2	3.0



※ 小結：

- 1.未經修剪的羽球和塑膠球重心都在 2.9 公分的位置，推測 2.9 公分是羽球和塑膠球重心最佳的位置。
- 2.剪 4 支及剪 8 支的羽球，不管有無補油土，其重心與球頭的距離，都和修剪前相同。
- 3.我們發現，塑膠球不管是斜剪 2 層留下疏羽、密羽的重心位置或斜剪 3 層留下疏羽、密羽的重心位置都會相同。
- 4.在塑膠球未補油土中，重心與球頭間的距離是剪 1 層>剪 2 層>剪 3 層，有補油土則相反。

實驗二、探討羽球重心對於羽球飛行距離與偏移量之影響

(一)將鐵線黏在重心處的前面和後面，來改變重心。

(二)在不同方位擺放電風扇來製造逆風、順風和側風的環境，並在電風扇架設風洞，確保吹出的風是平穩的，再用手機慢動作攝影找出羽球的飛行路徑後，用風速計來找電風扇的氣流是否吹到飛行路徑上，並運用 Tracker 軟體分析羽球的飛行軌跡，找出合適的受風位置。(如圖 15、16、17 所示)

(三)按壓噴嘴發球，在落點處做記號，每按壓 1 次重新打氣，確保發射的氣壓都足，多次發射後取位置集中的五顆球，由兩人紀錄直線與橫向距離於下列各表中。



圖 7 作為逆風風源之電風扇



圖 8 作為順風風源之電風扇



圖 9 作為側風風源之電風扇

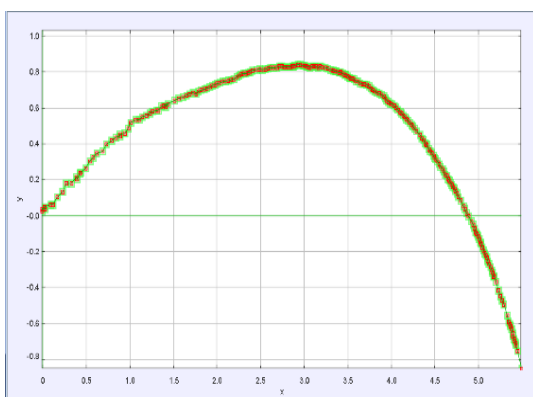


圖 10 Tracker 軟體分析羽球飛行路徑



圖 11 發球機

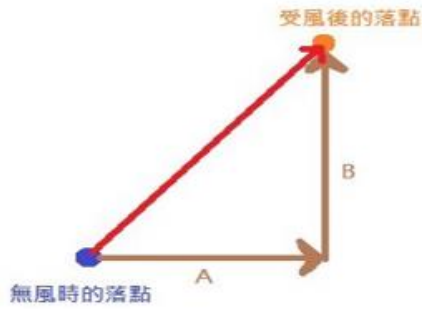


圖 12 總位移量= $\sqrt{(A^2+B^2)}$

※ 註：逆風：風向和羽球飛行方向相反。 順風：風向和羽球飛行方向相同。
側風：風向和羽球飛行方向垂直。

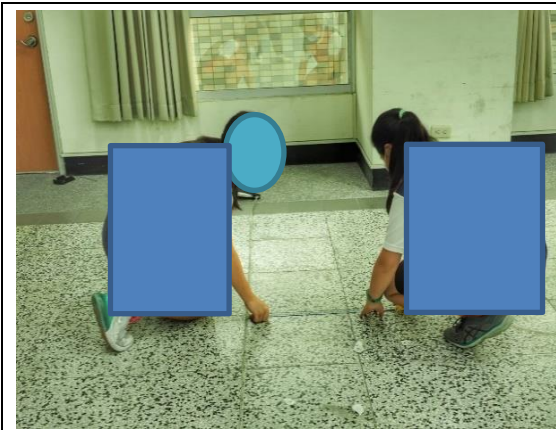


圖 13 測量直線與橫向距離

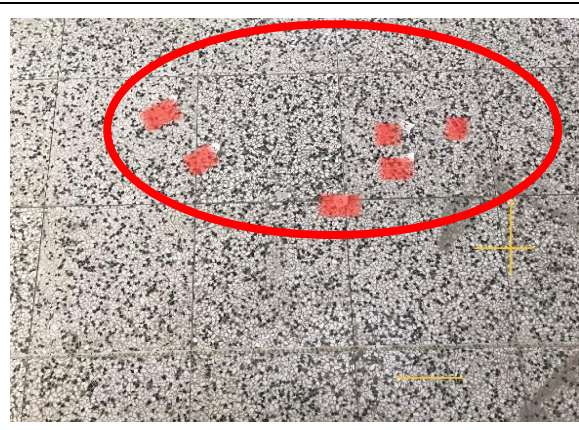


圖 14 發球後的落點放置螺帽做為記號

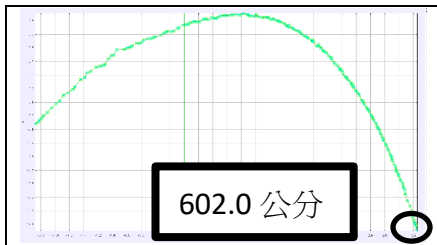


圖 15 未修剪球飛行軌跡圖

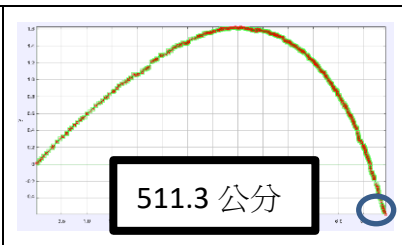


圖 16 重心往球頭 1 公分

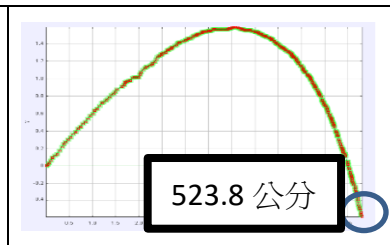


圖 17 重心往球尾 1 公分

表 7 無風時，羽球不同重心時的飛行距離(單位:公分)

羽球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	567.4	646.0	635.0	597.8	552.6	599.8	602.3
	橫向距離	-2.3	44.0	66.0	55.4	-87.3	55.1	
重心往球頭 1 公分	直線距離	488.2	524.0	507.1	525.0	510.4	510.9	511.7
	橫向距離	-25.7	4.0	-27.5	9.3	29.7	27.6	
重心往球尾 1 公分	直線距離	534.0	549.4	497.4	496.4	535.0	522.4	525.0
	橫向距離	61.4	22.0	35.5	59.7	-10.9	52.2	

註：上表 7 中(橫向右偏為正；左偏為負)

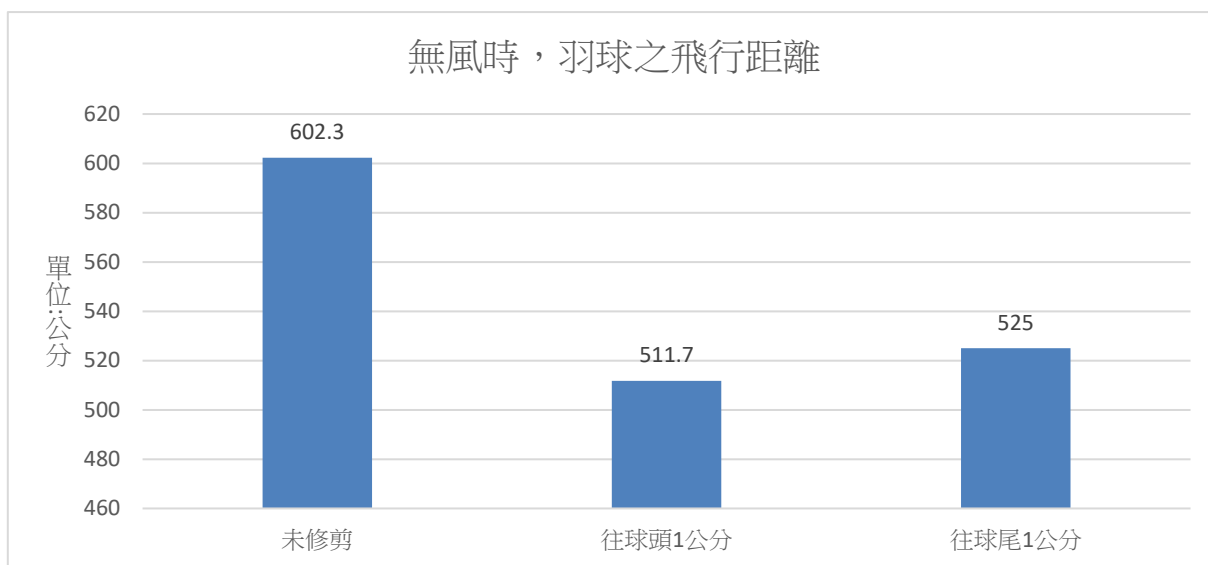


表 8 逆風時，羽球不同重心時的飛行距離 (單位:公分)

羽球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	510.8	509.0	488.6	520.0	502.3	506.1	506.3
	橫向距離	-18.0	-6.3	-48.7	-14.4	11.7	14.7	
重心往球頭 1公分	直線距離	446.0	428.8	480.0	456.8	401.6	442.6	443.4
	橫向距離	-36.1	-32.0	-14.8	16.9	-16.4	25.4	
重心往球尾 1公分	直線距離	494.0	504.0	474.2	435.0	465.0	474.4	477.5
	橫向距離	65.7	41.6	34.6	65.6	44.5	54.4	

註：上表 8 中(橫向右偏為正；左偏為負)

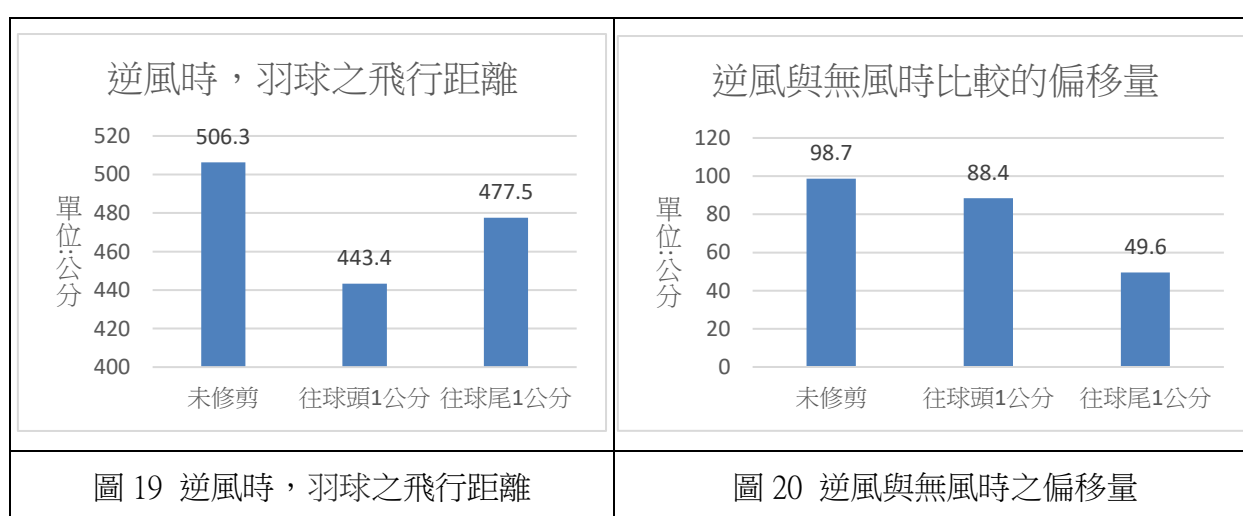


表 9 順風時，羽球重心改變時的飛行距離(單位:公分)

羽球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	734.8	742.0	699.2	759.2	720.0	731.0	731.8
	橫向距離	43.1	28.0	24.0	7.0	37.3	33.1	
重心往球頭 1公分	直線距離	627.8	607.4	613.8	634.6	676.4	632.0	633.1
	橫向距離	27.0	5.3	28.6	43.0	49.3	37.0	
重心往球尾 1公分	直線距離	784.0	775.8	716.2	761.0	781.6	763.7	764.5
	橫向距離	34.0	41.8	30.1	75.4	59.0	35.5	

註：上表 9 中(橫向右偏為正；左偏為負)

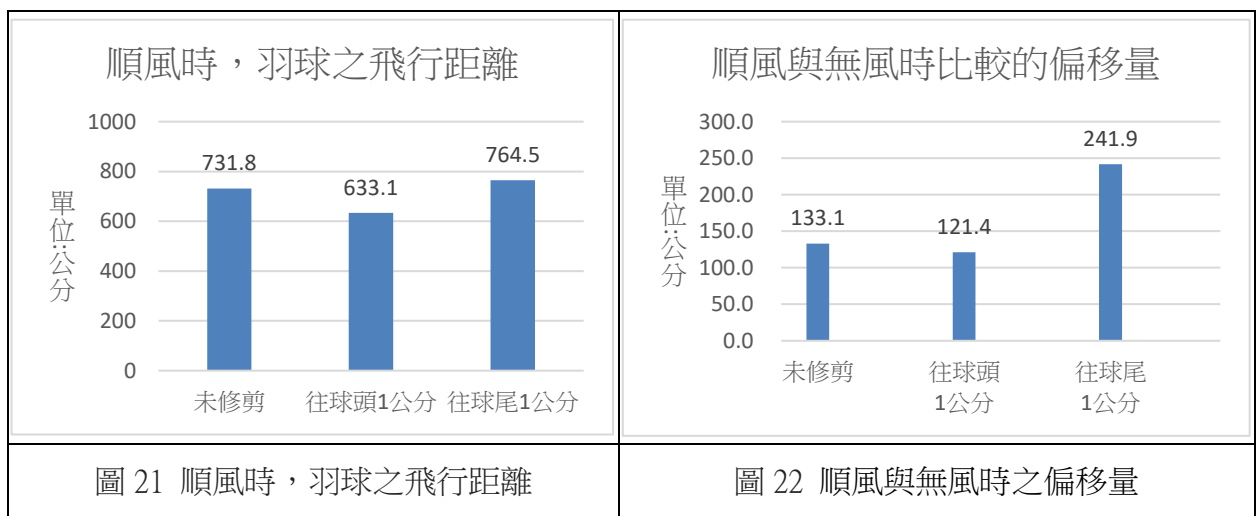
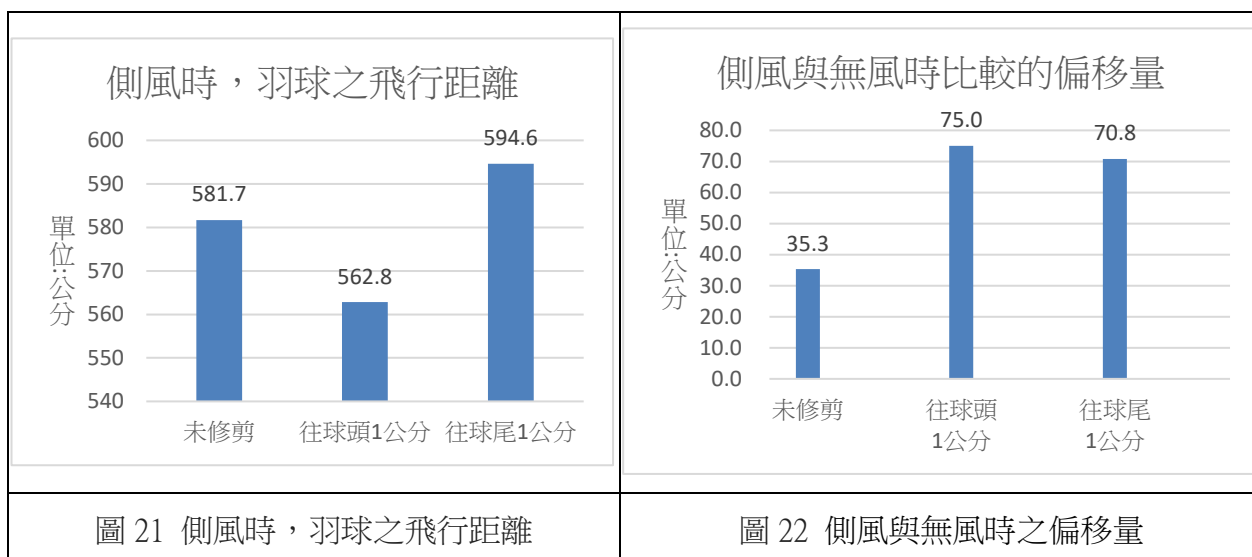


表 10 側風時，羽球不同重心時的飛行距離(單位:公分)

羽球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	617.4	602.1	566.2	552.3	541.8	576.0	581.7
	橫向距離	106.0	80.2	81.7	81.7	106.2	81.2	
重心往球頭 1公分	直線距離	543.2	558.2	554.9	561.2	562.1	555.9	562.8
	橫向距離	43.1	77.7	86.3	88.3	98.2	87.6	
重心往球尾 1公分	直線距離	562.9	573.3	591.0	602.2	621.1	590.1	594.6
	橫向距離	73.3	80.0	66.1	95.4	72.8	73.1	

註：上表 10 中(橫向右偏為正；左偏為負)



※ 小結：

- 1.在無風，未修剪的飛行距離是最遠的；逆風時，重心往球尾 1 公分的偏移量最少。
- 2.順風時，重心往球頭 1 公分的偏移量最少；側風時，未修剪的偏移量最少。

實驗三、探討塑膠球重心對於塑膠球飛行距離與偏移量之影響

- (一)將鐵線黏在重心處的前和後面，來改變重心。
- (二)在不同方位擺電風扇製造逆風、順風和側風，並在電風扇前架設風洞，確保風是平穩的，再用手機慢動作攝影找出發球機發射的路徑，並用風速計找出電風扇的氣流是否有吹到飛行路徑上，且運用 Tracker 軟體分析羽球的飛行軌跡，找出合適的受風位置。(如圖 25、26、27 所示)
- (三)按壓噴嘴發球，在落點處做記號，每按壓 1 次便重新打氣，確保發射的氣壓都充足，多次發射後取集中的五顆球，由兩人紀錄直線與橫向距離。

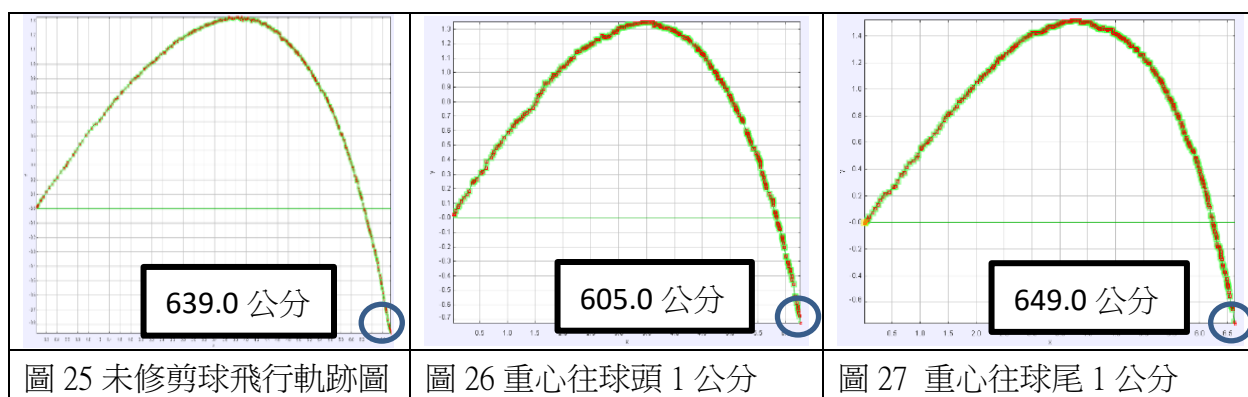


表 11 無風時，塑膠球重心不同時的飛行距離(單位:公分)

塑膠球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	466.3	484.1	482.3	481.3	388.2	478.5	481.6
	橫向距離	-66.4	-87.4	-58.3	-40.0	-98.0	54.9	
重心往球頭 1 公分	直線距離	487.2	430.5	449.0	438.2	434.0	447.8	450.5
	橫向距離	-56.0	-88.6	-45.2	-46.6	-82.0	49.3	
重心往球尾 1 公分	直線距離	459.2	440.4	460.0	450.0	450.4	452.0	453.4
	橫向距離	-3.2	-13.0	-23.2	-39.2	-46.0	36.1	

註：上表 11 中(橫向右偏為正；左偏為負)

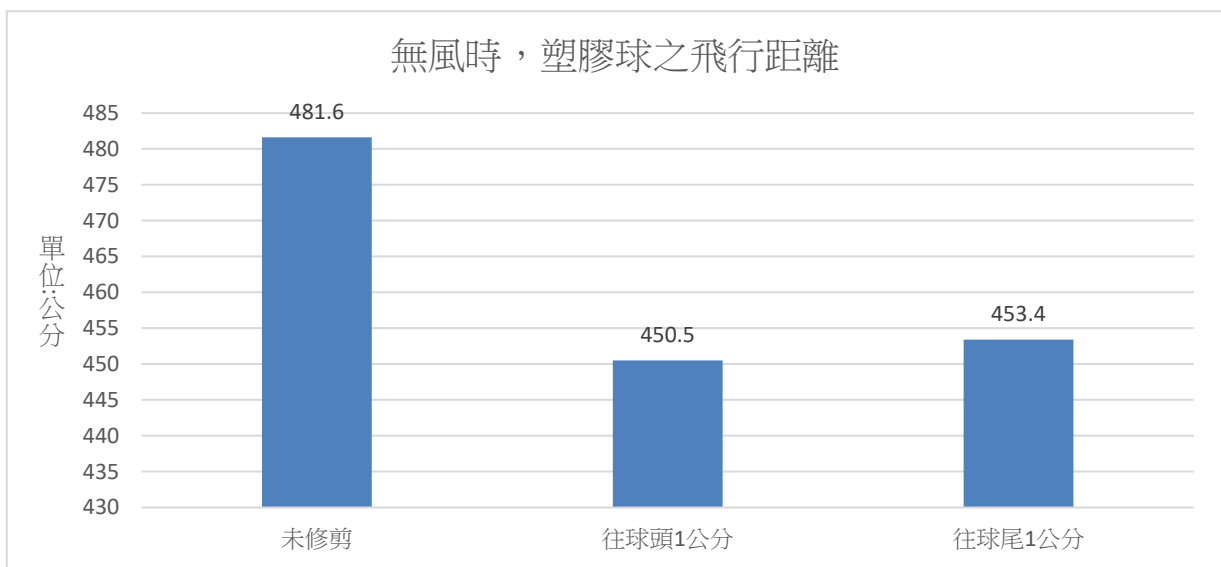


表 12 逆風時，塑膠球重心不同時的飛行距離(單位:公分)

塑膠球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	436.0	427.8	411.6	421.0	421.2	423.5	426.3
	橫向距離	54.0	9.2	37.5	47.0	56.4	48.7	
重心往球頭 1 公分	直線距離	476.0	468.8	459.6	456.8	436.2	459.5	459.6
	橫向距離	8.5	21.0	9.6	0.0	11.3	9.8	
重心往球尾 1 公分	直線距離	452.8	448.2	406.0	384.6	402.6	427.4	427.6
	橫向距離	17.0	9.2	20.6	33.0	11.3	14.5	

註：上表 12 中(橫向右偏為正；左偏為負)

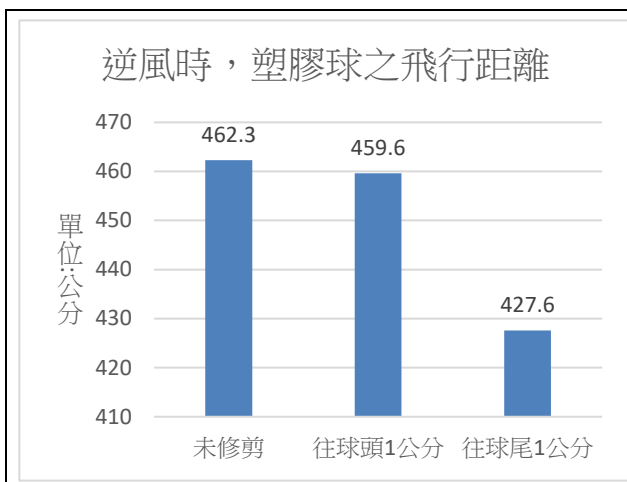


圖 29 逆風與無風時，塑膠球之飛行距離

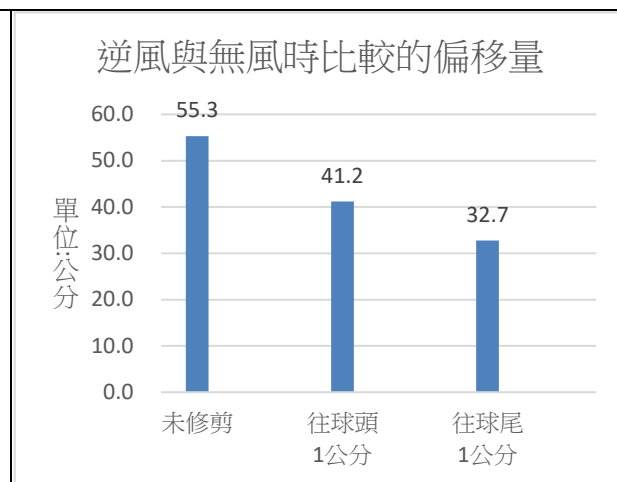


圖 30 逆風與無風時之偏移量

表 13 順風時，塑膠球重心不同時的飛行距離(單位:公分)

塑膠球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	570.0	561.6	595.0	577.8	540.0	568.9	570.9
	橫向距離	47.2	56.4	49.0	37.5	68.4	47.5	
重心往球頭 1 公分	直線距離	614.0	607.0	599.6	584.0	547.8	590.5	591.5
	橫向距離	35.2	15.4	45.5	37.0	23.6	35.3	
重心往球尾 1 公分	直線距離	561.2	600.0	580.6	649.7	563.0	590.9	591.1
	橫向距離	8.4	3.8	90.5	57.4	28.8	13.7	

註：上表 13 中(橫向右偏為正；左偏為負)

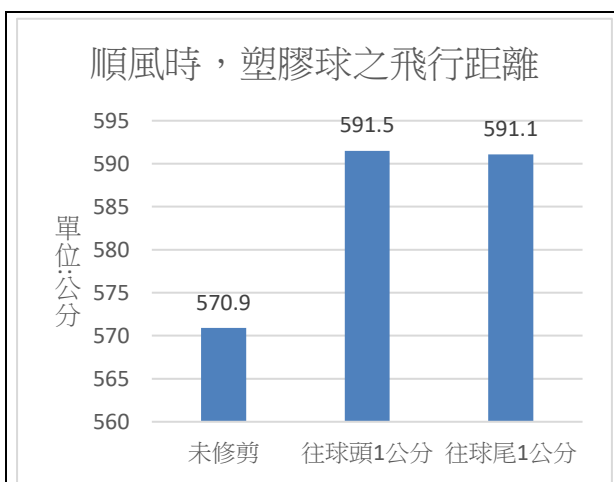


圖 31 順風時，塑膠球之飛行距離

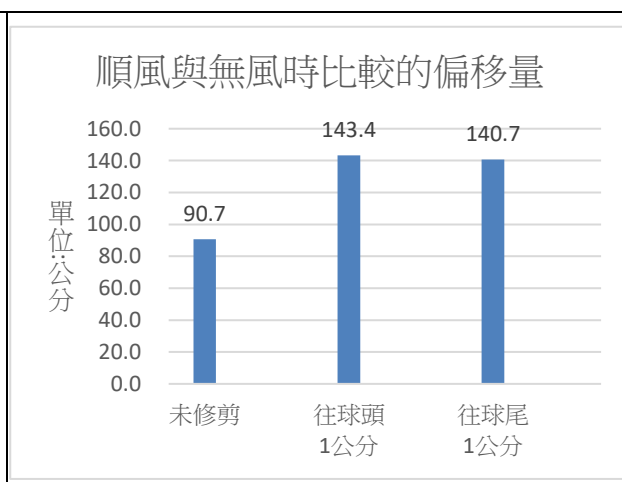
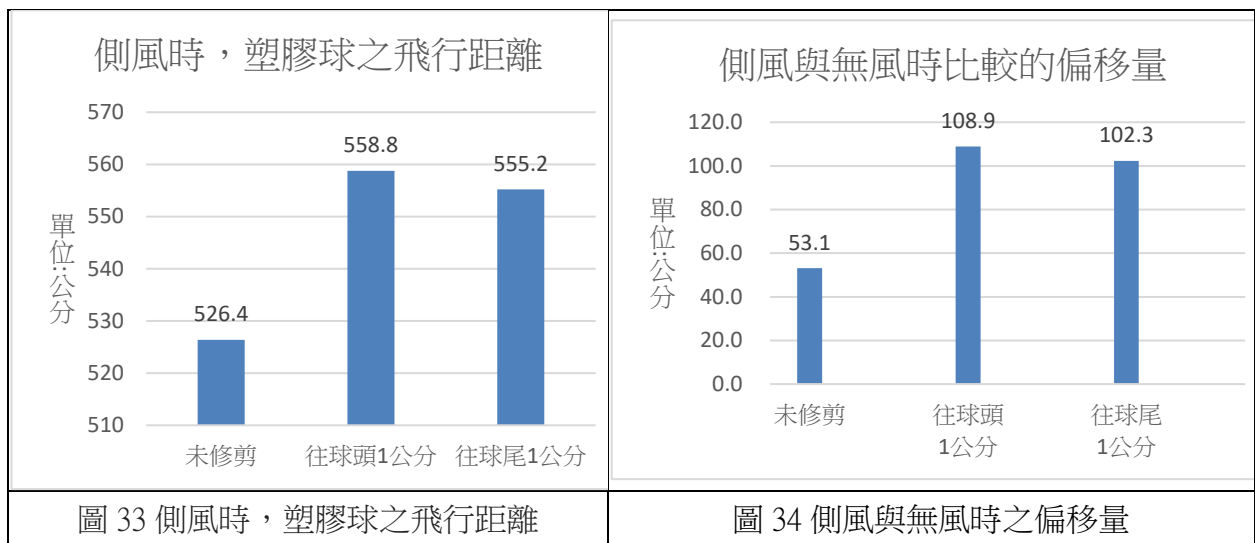


圖 32 順風與無風時之偏移量

表 14 側風時，塑膠球重心不同時的飛行距離(單位:公分)

塑膠球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	535.0	535.4	535.6	510.8	511.0	525.6	526.4
	橫向距離	32.2	37.5	43.8	24.9	26.5	30.3	
重心往球頭 1 公分	直線距離	586.4	555.8	555.8	559.0	526.2	556.6	558.8
	橫向距離	59.2	39.9	39.9	57.7	15.0	49.2	
重心往球尾 1 公分	直線距離	585.9	568.2	551.8	536.3	520.0	552.4	555.2
	橫向距離	56.4	42.4	39.8	62.1	62.1	55.8	

註：上表 14 中(橫向右偏為正；左偏為負)



※ 小結：

- 1.在無風，未修剪的飛行距離是最遠的。
- 2.可以發現不管在哪種風源下，重心往球頭 1 公分的偏移量都比重心往球尾 1 公分的多。
- 3.逆風時，重心往球尾 1 公分的偏移量最少；順風與側風時，未修剪的偏移量都最少。

實驗四、探討羽球、塑膠球修剪前、後重心維持不變對於飛行能力之影響

實驗步驟: (實驗四中飛行能力係指**飛行距離與偏移量**)

(一)以未修剪的重心為標準，畫上記號後，作為其他顆球的標準重心，利用鐵絲將其
它球的重心位置改為和標準重心位置相同(即**重心距離球頭 2.9 公分**)。

(二)在不同的方位擺放電風扇來製造逆風、順風及側風的環境，並在電風扇前面架設

風洞，多次發球後取位置較集中的五顆球。

(三)由兩個人一同觀察落點並放置螺帽且用 Tracker 軟體作為複檢，再測量直線及橫向距離，並計算位移量。(如表 15~22 所示)。

表 15 無風時，羽球修剪前、後重心不變時的距離(單位:公分)

羽球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	567.4	646.0	635.0	597.8	552.6	599.8	602.3
	橫向距離	-2.3	44.0	66.0	55.4	-87.3	55.1	
剪去四支羽毛	直線距離	507.6	520.1	521.4	527.3	498.1	514.9	516.5
	橫向距離	35.4	23.3	43.7	42.0	42.5	40.9	
剪去八支羽毛	直線距離	521.0	506.7	485.0	465.7	438.9	494.6	499.4
	橫向距離	30.6	65.6	69.0	68.5	72.8	69.0	
剪去外翅	直線距離	579.6	559.1	524.7	504.0	449.4	541.9	542.7
	橫向距離	29.6	29.2	5.0	19.7	30.3	29.7	
剪去內翅	直線距離	529.8	520.8	506.9	501.2	497.7	511.3	511.5
	橫向距離	14.2	9.6	13.6	23.5	50.2	15.2	
剪去上半翅	直線距離	588.7	571.5	580.0	548.6	530.0	580.1	586.0
	橫向距離	58.6	90.2	81.6	75.6	85.2	83.2	
剪去下半翅	直線距離	594.3	602.8	612.9	629.3	621.5	612.2	612.4
	橫向距離	-11.7	-9.9	-28.8	2.8	21.5	18.0	

註：上表 15 中(橫向右偏為正；左偏為負)



表 16 逆風時，羽球修剪前、後重心不變時的距離(單位:公分)

羽球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	453.3	474.8	477.1	482.5	472.3	472.0	472.0
	橫向距離	-9.1	-34.0	-5.4	-26.9	2.3	5.6	
剪去四支羽毛	直線距離	477.9	501.7	504.8	508.9	515.0	501.7	503.1
	橫向距離	9.3	34.4	26.7	45.8	43.3	37.6	
剪去八支羽毛	直線距離	483.2	496.2	494.0	516.8	521.0	502.2	502.5
	橫向距離	9.5	13.4	23.0	17.5	30.0	15.9	
剪去外翅	直線距離	498.2	496.3	501.8	519.2	522.4	507.6	508.0
	橫向距離	13.0	16.7	29.0	5.8	36.9	19.6	
剪去內翅	直線距離	521.6	534.2	525.4	522.6	520.6	524.9	526.6
	橫向距離	-9.4	-11.4	-39.5	-45.8	-40.7	42.0	
剪去上半翅	直線距離	531.4	534.0	533.6	547.2	541.6	537.6	537.9
	橫向距離	23.2	10.6	24.5	25.0	19.0	20.5	
剪去下半翅	直線距離	475.0	508.8	534.2	531.2	534.0	516.6	516.9
	橫向距離	-6.6	-23.4	-8.4	-21.3	-38.7	14.9	

註：上表 16 中(橫向右偏為正；左偏為負)

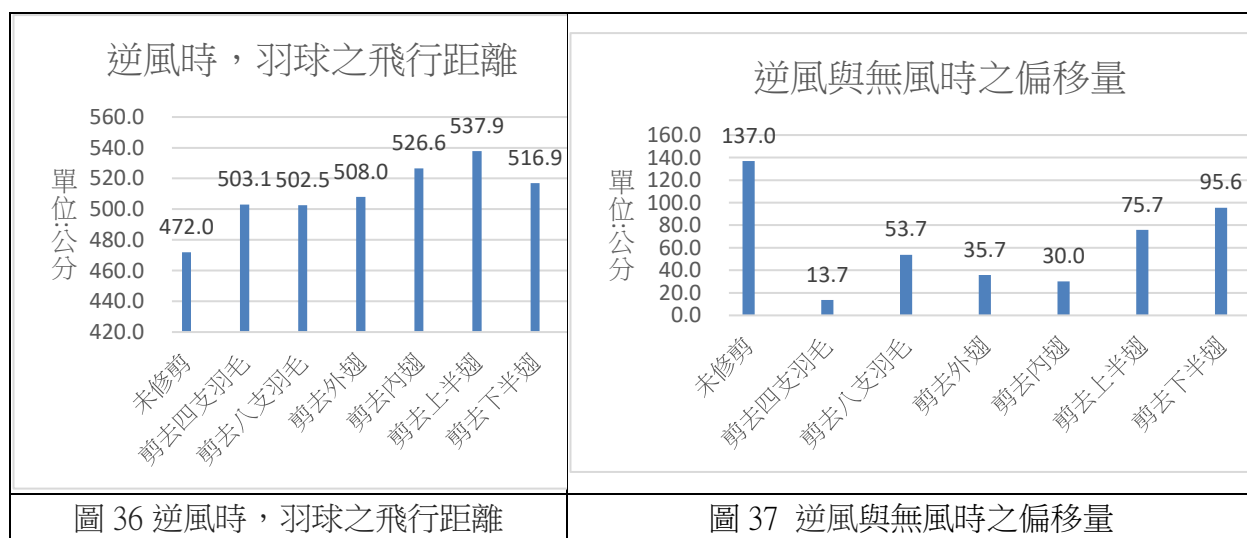


表 17 順風時，羽球修剪前、後重心不變時的距離(單位:公分)

羽球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	734.8	742.0	699.2	759.2	720.0	731.0	731.6
	橫向距離	43.1	28.0	24.0	7.0	37.3	29.8	
剪去四支羽毛	直線距離	556.8	577.0	576.4	554.0	605.2	573.9	574.3
	橫向距離	-16.0	1.5	24.7	25.8	6.0	22.2	
	直線距離	534.0	535.0	548.8	548.6	568.2	546.9	548.3

剪去八支羽毛	橫向距離	40.0	54.3	18.8	35.7	39.3	38.3	
剪去外翅	直線距離	613.6	630.4	609.6	628.0	649.0	626.1	627.0
	橫向距離	-13.0	-36.4	54.5	42.7	20.7	33.3	
剪去內翅	直線距離	564.6	594.2	559.4	568.6	573.2	572.0	572.1
	橫向距離	-17.0	-5.8	3.0	32.6	41.0	8.6	
剪去上半翅	直線距離	680.6	622.4	643.4	654.8	653.6	651.0	651.7
	橫向距離	-33.4	27.7	33.8	7.7	3.2	31.6	
剪去下半翅	直線距離	635.2	630.2	647.2	647.2	653.4	642.6	642.9
	橫向距離	-24.3	19.5	13.0	13.0	62.0	17.5	

註：上表 17 中(橫向右偏為正；左偏為負)

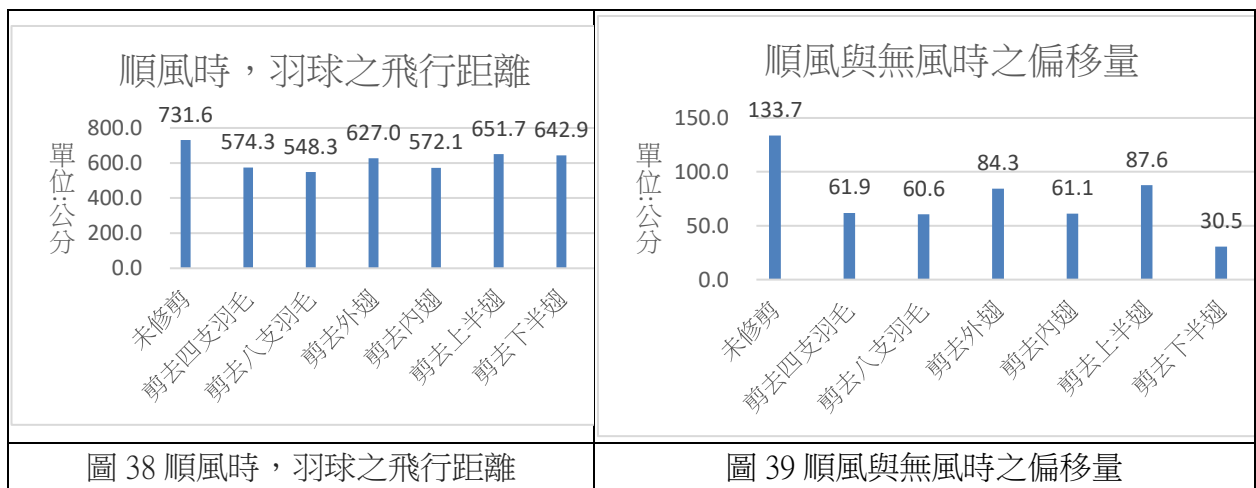


圖 38 順風時，羽球之飛行距離

圖 39 順風與無風時之偏移量

表 18 側風時，羽球修剪前、後重心不變時的距離(單位:公分)

羽球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	617.4	602.1	566.2	552.3	541.8	576.0	581.7
	橫向距離	106.0	80.2	81.7	81.7	106.2	81.2	
剪去四支羽毛	直線距離	474.3	494.8	504.2	516.2	514.1	500.7	502.2
	橫向距離	23.3	44.0	66.8	49.0	74.1	38.8	
剪去八支羽毛	直線距離	495.5	505.9	507.3	504.9	512.8	505.3	506.0
	橫向距離	30.3	21.8	24.4	34.5	25.4	27.3	
剪去外翅	直線距離	563.0	550.6	547.6	588.8	603.2	570.6	578.6
	橫向距離	63.3	85.8	102.5	92.2	101.4	95.5	
剪去內翅	直線距離	512.3	521.3	498.4	515.6	533.5	516.2	521.3

	橫向距離	29.1	55.4	63.4	91.3	99.5	72.8	
剪去上半翅	直線距離	532.1	552.8	568.4	582.7	592.1	574.0	579.4
	橫向距離	89.9	103.3	55.5	92.0	77.5	78.7	
剪去下半翅	直線距離	537.9	528.7	542.6	562.2	565.1	547.3	549.2
	橫向距離	34.2	65.3	40.5	55.3	51.2	45.3	

註：上表 18 中(橫向右偏為正；左偏為負)

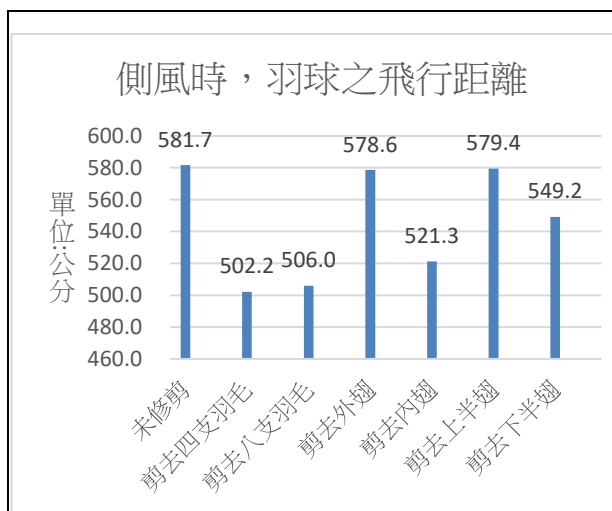


圖 40 側風時，羽球之飛行距離

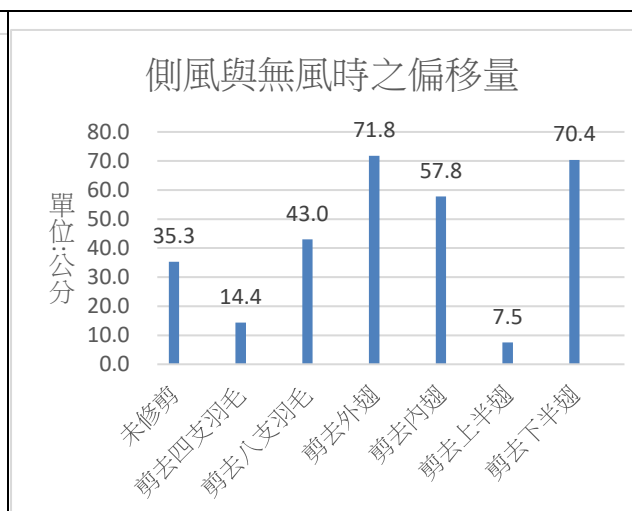


圖 41 側風與無風時之偏移量

表 19 無風時，塑膠球修剪前、後重心不變時的距離(單位:公分)

塑膠球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	466.3	484.1	482.3	481.3	388.2	478.5	481.6
	橫向距離	-66.4	-87.4	-58.3	-40.0	-98.0	54.9	
剪去骨幹	直線距離	494.8	496.8	509.2	510.0	515.6	505.3	505.6
	橫向距離	-3.9	-18.7	-16.6	-13.9	-20.0	17.3	
剪去一層塑膠羽	直線距離	558.8	565.2	556.4	563.0	564.4	561.6	561.6
	橫向距離	-9.7	-2.8	13.0	43.8	40.0	8.5	
剪去兩層塑膠羽	直線距離	544.2	573.2	579.0	585.0	543.4	565.0	565.0
	橫向距離	-3.6	-21.4	-2.6	-23.3	1.3	2.5	
剪去三層塑膠羽	直線距離	562.0	587.2	571.2	567.0	550.6	567.6	567.8
	橫向距離	16.5	-17.6	-23.6	-33.3	-13.6	15.9	
斜剪兩層留下疏羽	直線距離	564.0	561.2	520.8	507.4	501.6	531.0	531.3
	橫向距離	-13.3	-18.2	-24.8	-31.9	-16.8	18.3	

斜剪兩層 留下密羽	直線距離	534.0	513.6	533.0	524.4	519.2	524.8	525.4
	橫向距離	24.5	17.7	30.4	40.5	56.8	24.2	
斜剪三層 留下疏羽	直線距離	529.2	527.4	516.4	515.0	493.0	522.0	522.2
	橫向距離	-16.8	-35.5	-19.0	-10.4	-13.2	14.9	
斜剪三層 留下密羽	直線距離	503.4	503.6	506.2	507.4	510.0	506.1	506.2
	橫向距離	-1.8	-9.4	-13.8	-25.0	-3.5	7.1	

註：上表 19 中(橫向右偏為正；左偏為負)

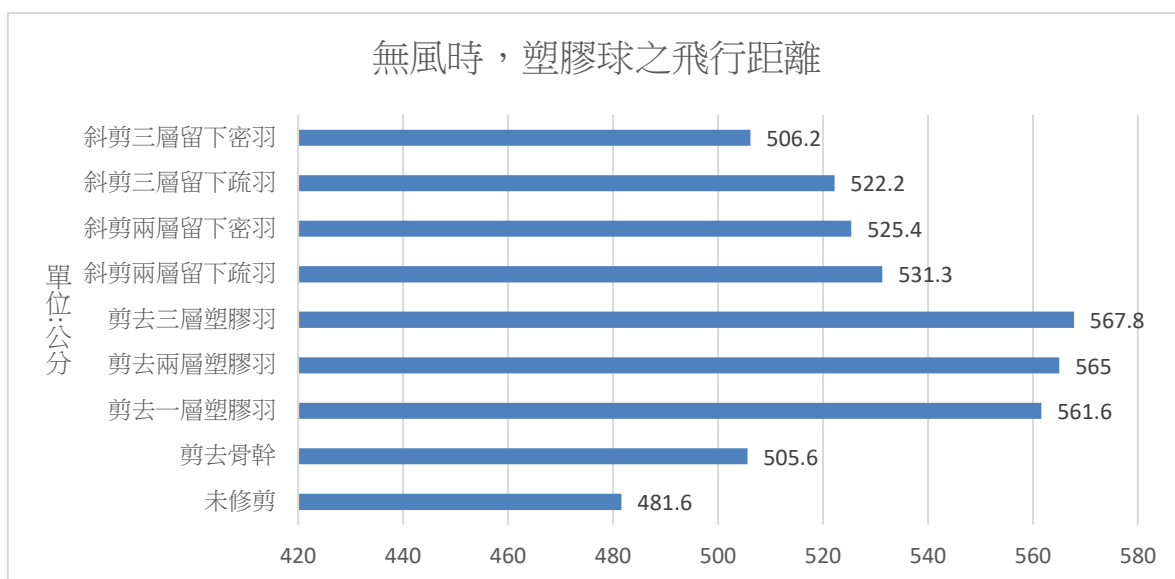


表 20 逆風時，塑膠球修剪前、後重心不變時的距離(單位:公分)

塑膠球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	436.0	427.8	411.6	421.0	421.2	423.5	426.3
	橫向距離	54.0	9.2	37.5	47.0	56.4	48.7	
剪去骨幹	直線距離	462.6	459.0	455.7	446.2	432.1	451.1	453.9
	橫向距離	-9.0	-79.3	-50.3	-51.0	-50.4	50.6	
剪去一層 塑膠羽	直線距離	441.1	422.4	435.9	432.1	430.0	432.3	432.7
	橫向距離	-6.8	-9.4	-27.9	-34.0	-54.2	19.5	
剪去兩層 塑膠羽	直線距離	434.2	457.4	454.4	447.2	468.9	452.4	453.2
	橫向距離	-26.3	-27.0	-27.0	-43.4	-23.8	26.0	
剪去三層 塑膠羽	直線距離	529.9	505.6	511.4	492.3	466.0	501.0	501.6
	橫向距離	-2.8	-5.9	-43.1	-65.7	-42.1	23.5	
斜剪兩層 留下疏羽	直線距離	405.0	439.8	437.2	424.1	411.4	423.5	424.9
	橫向距離	-37.8	-32.0	-7.1	-1.6	0.0	34.9	

斜剪兩層 留下密羽	直線距離	448.2	413.4	443.1	455.2	480.2	448.0	451.3
	橫向距離	-16.4	-50.5	-56.2	-55.0	-36.1	53.9	
斜剪三層 留下疏羽	直線距離	389.8	395.0	396.4	412.4	418.4	402.4	403.7
	橫向距離	-52.0	-35.0	-63.0	-26.8	-34.0	31.9	
斜剪三層 留下密羽	直線距離	435.6	427.6	423.1	412.1	442.3	428.1	430.5
	橫向距離	-27.8	-48.2	-35.4	-39.6	-57.0	45.1	

註：上表 20 中(橫向右偏為正；左偏為負)

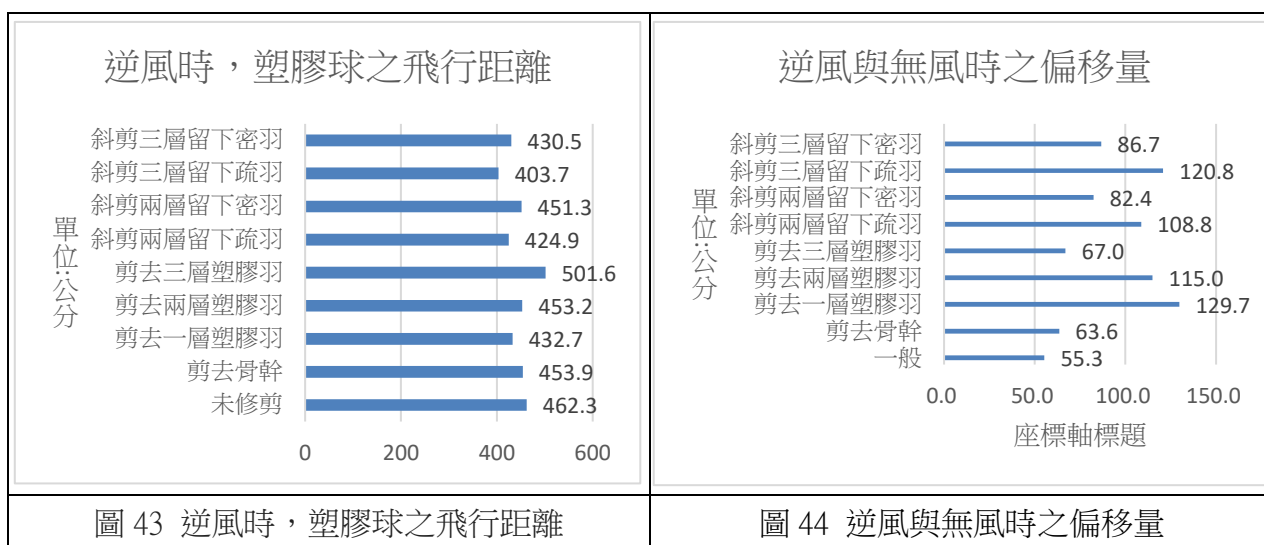


表 21 順風時，塑膠球修剪後重心一樣時的飛行距離(單位:公分)

塑膠球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	570.0	561.6	595.0	577.8	540.0	568.9	571.1
	橫向距離	47.2	56.4	49.0	37.5	68.4	50.9	
剪去骨幹	直線距離	634.2	559.2	615.0	559.4	578.4	589.2	589.3
	橫向距離	-9.4	0.0	1.3	26.2	7.6	4.6	
剪去一層 塑膠羽	直線距離	566.8	558.6	552.8	547.6	537.8	556.5	557.8
	橫向距離	34.5	45.7	39.7	36.0	4.4	39.0	
剪去兩層 塑膠羽	直線距離	595.8	588.6	582.2	617.8	569.0	590.7	591.3
	橫向距離	-17.2	-27.7	-30.5	34.4	24.3	26.8	
剪去三層 塑膠羽	直線距離	618.4	619.2	623.8	629.4	593.6	616.9	617.1
	橫向距離	-41.7	-18.0	-13.4	-13.0	16.7	15.3	
斜剪兩層 留下疏羽	直線距離	574.6	577.2	596.4	592.6	579.2	584.0	584.1
	橫向距離	-12.7	-5.0	5.7	27.1	23.4	7.8	

斜剪兩層 留下密羽	直線距離	552.2	564.8	578.0	567.4	550.2	562.5	564.0
	橫向距離	81.9	30.9	30.3	54.0	47.0	40.6	
斜剪三層 留下疏羽	直線距離	576.4	546.0	553.7	604.2	598.3	575.7	578.1
	橫向距離	9.3	-49.6	-55.0	-51.7	-6.7	52.1	
斜剪三層 留下密羽	直線距離	534.8	558.4	571.3	580.2	587.8	566.5	566.5
	橫向距離	-2.8	-50.3	-28.1	3.6	12.1	6.2	

註：上表 21 中(橫向右偏為正；左偏為負)

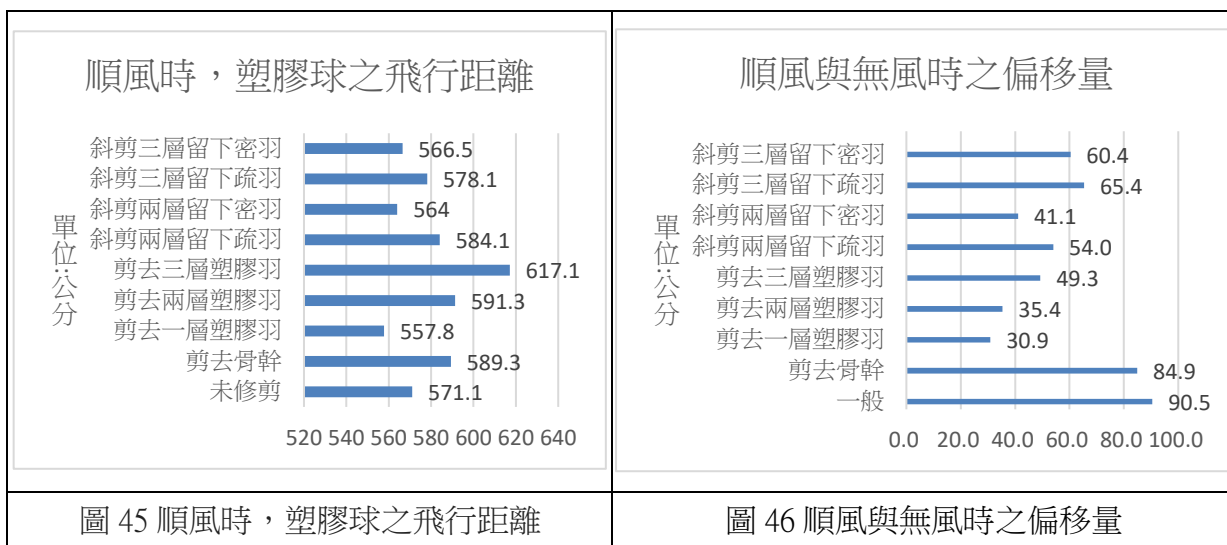
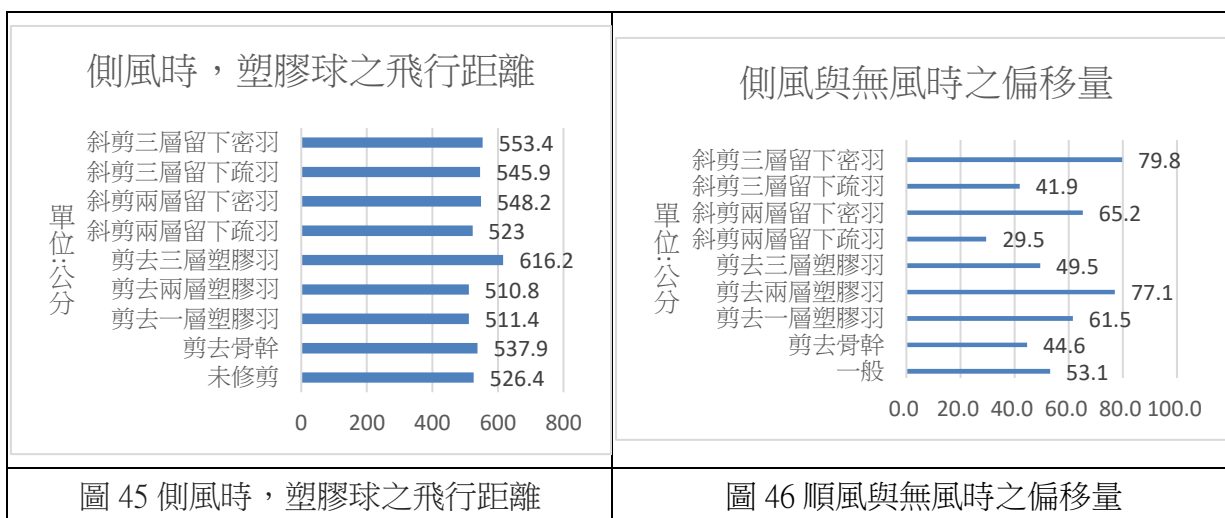


表 22 側風時，塑膠球修剪前、後重心不變時的距離(單位:公分)

塑膠球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總位移
未修剪	直線距離	535.0	535.4	535.6	510.8	511.0	525.6	526.4
	橫向距離	32.2	37.5	43.8	24.9	26.5	30.3	
剪去骨幹	直線距離	525.3	526.2	535.4	539.2	551.8	535.6	537.9
	橫向距離	31.4	67.2	15.0	35.0	66.4	50.0	
剪去一層 塑膠羽	直線距離	503.2	500.2	510.1	510.1	525.0	509.7	511.4
	橫向距離	30.8	40.3	40.6	54.7	16.0	41.6	
剪去兩層 塑膠羽	直線距離	591.2	603.0	69.3	631.1	645.0	507.9	510.8
	橫向距離	83.5	92.7	58.5	56.8	47.7	54.3	
剪去三層 塑膠羽	直線距離	677.8	653.1	573.6	575.4	598.2	615.6	616.2
	橫向距離	28.8	92.7	-26.5	-22.3	-33.3	27.7	
斜剪兩層 留下疏羽	直線距離	538.9	493.3	511.2	553.9	507.5	521.0	523.0
	橫向距離	58.5	36.1	31.7	57.8	16.0	46.0	
	直線距離	540.4	543.2	545.4	546.2	530.8	541.2	548.2

斜剪兩層 留下密羽	橫向距離	37.5	80.7	87.6	93.6	100.5	87.3	
斜剪三層 留下疏羽	直線距離	524.8	539.4	537.0	552.2	564.2	543.5	545.9
	橫向距離	50.1	19.6	59.3	11.7	42.9	50.8	
斜剪三層 留下密羽	直線距離	526.4	536.8	549.0	555.8	573.6	548.3	553.4
	橫向距離	74.4	76.4	73.6	33.0	58.6	74.8	

註：上表 22 中(橫向右偏為正；左偏為負)



※ 小結：

- 1.逆風時，剪四支羽毛的偏移量最少，順風時，剪去下半翅偏移量最少，側風時，則是剪去上半翅的偏移量最少。
- 2.無風時，塑膠球只要經過修剪，他的飛行距離就會比未修剪多。
- 3.塑膠球方面，逆風時未修剪的偏移量最少，順風時，剪去一層塑膠羽的偏移量最少，側風時，斜剪兩層留下密羽偏移量最少。
- 4.在順風時，塑膠球偏移量是剪 1 層<剪 2 層<剪 3 層，逆風時則相反。

實驗五、探討羽球、塑膠球修剪前、後重心維持不變對於飛行速率之影響

實驗步驟:

- (一)用高畫質手機錄下羽球無風時的飛行路徑。
- (二)利用 Tracker 軟體計算羽球發射到落地的時間，再運用速率公式:距離/時間=速率套入

無風時的總距離，來計算羽球飛行速率。

表 23 羽球速率

羽球種類	無風總距離(cm)	飛行時間(sec)	速率(cm /sec)
未修剪	559.0	2.07	270.05
重心往球頭 1 公分	619.0	2.07	299.03
重心往球尾 1 公分	689.0	2.63	261.98
剪四支	672.0	2.40	280.00
剪八支	564.0	1.77	318.64
剪去外翅	552.0	1.57	351.59
剪去內翅	588.0	2.30	255.65
剪去上半翅	706.0	2.17	325.35
剪去下半翅	662.0	2.50	264.80

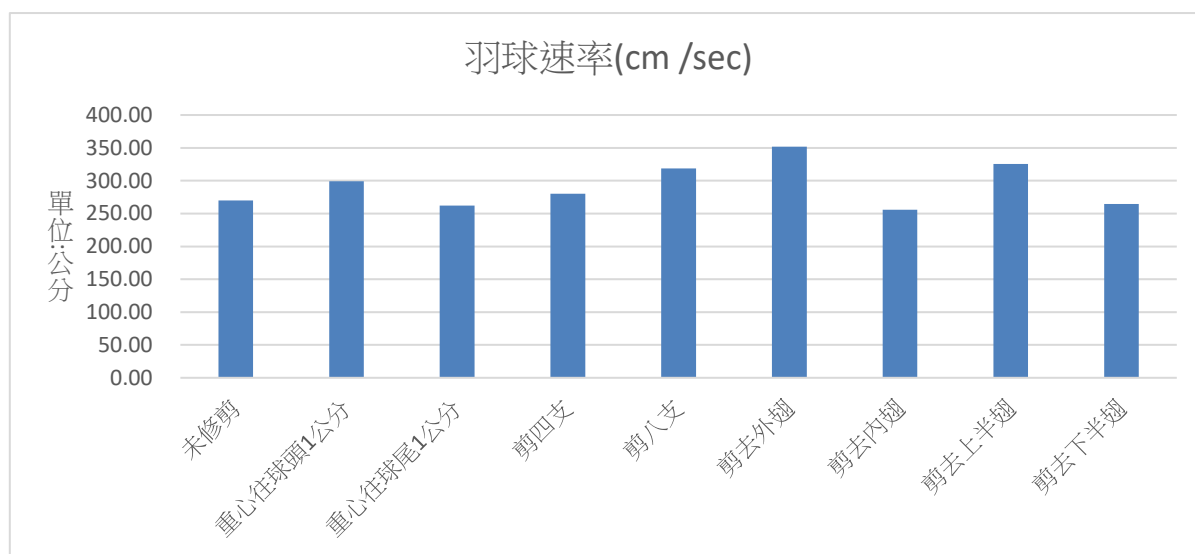
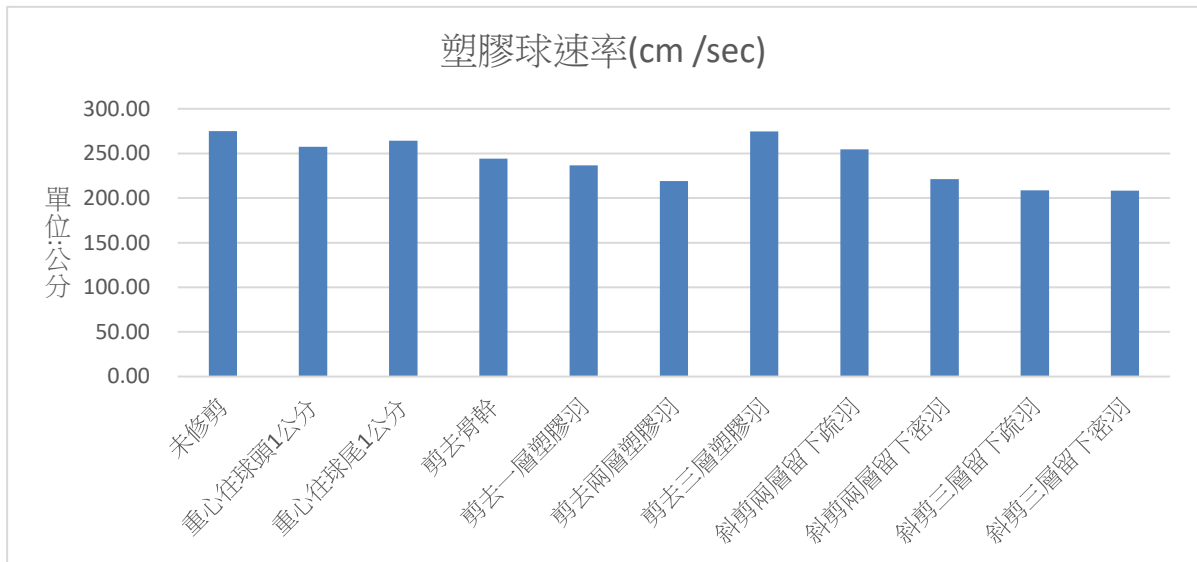


表 24 塑膠球速率

塑膠球種類	無風總距離(cm)	飛行時間(sec)	速率(cm /sec)
未修剪	652.0	2.37	275.11
重心往球頭 1 公分	610.0	2.37	257.38
重心往球尾 1 公分	669.0	2.53	264.43
剪去骨幹	635.0	2.60	244.23
剪去一層塑膠羽	622.0	2.63	236.50
剪去兩層塑膠羽	554.0	2.53	218.97
剪去三層塑膠羽	706.0	2.57	274.71

斜剪兩層留下疏羽	425.0	1.67	254.49
斜剪兩層留下密羽	597.0	2.70	221.11
斜剪三層留下疏羽	536.0	2.57	208.56
斜剪三層留下密羽	535.0	2.57	208.17



※ 小結：

1. 羽毛球方面，剪外翅的飛行速率最快，剪內翅羽毛飛行速率最慢。
2. 塑膠球方面，重心若仍維持在距球頭 2.9 公分，各種修剪方式皆比未經修剪飛得還慢。

陸、討論

- 一、無風時，羽球方面，除了剪去 8 支羽毛的羽球外，其他球的飛行距離皆比「風羽無阻—戶外低風阻羽球研究之初探」中的飛行距離還要遠，可見飛行距離與重心有關。
- 二、在「風羽無阻—戶外低風阻羽球研究之初探」這份作品中，可以發現在無風時，不管是斜剪兩層或三層，留下疏羽的飛行距離明顯多過留下密羽，但將重心改為一樣後，兩者的飛行距離變為相近許多，所以我們認為重心在 2.9 公分的位置時，羽球飛行會較穩定。
- 三、在「風羽無阻—戶外低風阻羽球研究之初探」這份作品中，剪 8 支的羽球在順風及側風時有最少的偏移量，但逆風容易晃動、偏移量增加許多。但在我們的實驗可以發

現剪 8 隻的偏移量都有減少，且逆風時容易晃動的情形改善了，這證明重心的位置對於羽球飛行的穩定性是有明顯的影響。

四、本實驗的塑膠球中以剪三層的塑膠球，無風時飛行距離最遠，在逆風跟側風偏移量都較少，所以我們認為欲製作抗風球時，塑膠球以剪三層方式可能會是最佳剪法。

五、可以從 Tracker 軟體的飛行軌跡及實驗數據看出，羽球及塑膠球重心往球頭 1 公分的飛行距離都較短，我們認為重心往球頭 1 公分的羽球飛行時容易讓球頭前傾，導致羽球提早落地。

柒、結 論

一、在未補油土的塑膠球中，重心與球頭的距離是剪 1 層>剪 2 層>剪 3 層。所以羽毛剪去越多，重心會越靠近球頭。

二、可以從 Tracker 軟體的飛行軌跡及實驗數據看出，羽球及塑膠球重心往球頭 1 公分（即球重心位於距球頭 1.9 公分處）球飛行距離都較短；而羽球及塑膠球重心在距離球頭 2.9 公分的位置反而是飛行距離最遠的。

三、在羽球方面（重心在距離球頭 2.9 公分），**逆風時**，剪四隻羽毛的**偏移量最少**，**順風時**，剪去下半翅偏移量最少，側風時，則是剪去上半翅的**偏移量最少**。

四、塑膠球方面（重心離球頭 2.9 公分），**逆風時**未修剪的偏移量皆最少，**順風時**，剪去一層塑膠羽的**偏移量最少**，側風時，斜剪兩層留下密羽，其飛行時**偏移量最少**。

五、**無風時**，塑膠球只要經過修剪，它的飛行距離就會比未修剪時飛得遠。

六、在**順風時**，塑膠球偏移量是：剪 1 層<剪 2 層<剪 3 層，**逆風時**則相反。

七、羽球方面，剪上半翅的**飛行速率最快**，剪八隻羽毛及剪去內翅**飛行速率最慢**。

八、羽球和塑膠球的重心在距離球頭 2.9 公分的位置，它飛行時的穩定性增加，在各個風源中偏移量也較少。

九、羽球和塑膠球的**重心往球尾移動 1 公分**不管在哪種風源下，比**重心往球頭移動 1 公分**飛行都較穩定，即其**偏移量較少**。

- 十、我們可從實驗數據得知，將羽球和塑膠球做對稱性的修剪後，再將重心改至距離球頭 2.9 公分的位置，跟「風羽無阻—戶外低風阻羽球研究之初探」這篇的實驗數據比較，其**偏移量**明顯減少且容易晃動的情形也改善了。另外，**飛行距離**也比較遠。
- 十一、羽球的**重心若往球尾移動 1 公分時其飛行速率變慢**，而重心若往球頭移動 1 公分其飛行速率變快；塑膠球的重心不論往球尾移動 1 公分或往球頭移動 1 公分，其**飛行速率皆變慢**。
- 十二、羽球的**重心若維持距離球頭 2.9 公分**，其飛行速率以剪去外翅的與球飛行速率最快，可達 351.59(cm/sec)；塑膠球的重心若維持距離球頭 2.9 公分，只要經過修剪過後的塑膠球其飛行速率變慢。

捌、參考文獻

- 一、「康軒學習雜誌 Top 童樂會」

https://m.facebook.com/story.php?story_fbid=1064104886964791&id=132170346824921

- 二、張晉誠、吳宗澈、林昱宏、鄭詩樺、洪瑋妘、朱冠達·「風羽無阻—戶外低風阻羽球研究之初探」。第 60 屆-民國 109 年全國中小學科展作品。

- 三、陳品文、邱健紘、宋品孝·斷尾球「生」~探討羽球羽毛對飛行的影響。

第 57 屆--民國 106 年全國中小學科展作品。

- 四、物理科-重心 作者 何定樑 <http://www.cym.edu.hk/library/Materials/resources/>

【評語】 030114

本作品分析了羽毛球重心與羽毛修剪在無風與順逆風下的飛行距離。實驗有完整的設計，是一份完整的報告。

作品簡報

「羽」「重」心長~

探討羽毛球重心對於其飛行的影響

國中組 物理科 編號：030114

壹、研究動機

我們參考「風羽無阻-戶外低風阻羽球研究之初探」的作品時，發現有些數據不符合邏輯，我們認為可能是**重心**改變影響了實驗結果，所以我們設計本實驗探討羽球重心對於其飛行能力的影響。

貳、研究目的

- 一、尋找羽球、塑膠球的重心。
- 二、探討羽球重心對於羽球飛行距離與偏移量之影響。
- 三、探討塑膠球重心對於塑膠球飛行距離與偏移量之影響。
- 四、探討羽毛球、塑膠球修剪前、後重心維持不變對於飛行距離與偏移量之影響。
- 五、探討羽毛球、塑膠羽修剪前、後重心維持不變對於飛行速率之影響。

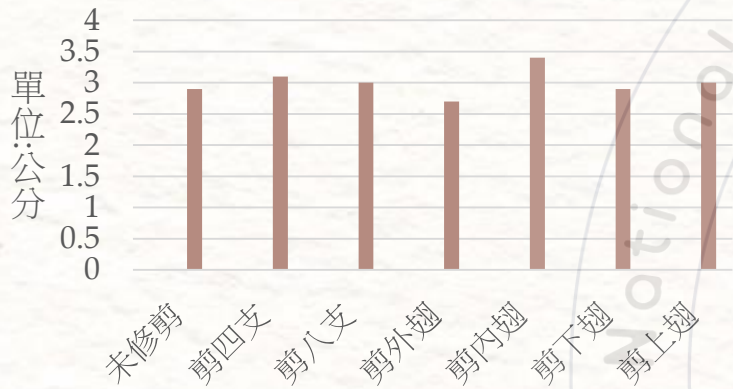
參、文獻探討

- 一、**重心的定義**：(1)物體重量的中心點亦即系統重量的集中點 (2)系統運動的代表點
(3)恰為系統力矩平衡時的支點。
- 二、**尋找重心的方法**：我們從文獻中的幾種尋找種新的方法中，選用鉛垂線找重心的方法來尋找羽球的重心。

實驗一、尋找羽球、塑膠球的重心

以下二圖為實驗一羽球的實驗結果

未修剪及修剪過羽球的重心位置(補油土)



未修剪及修剪過羽球的重心距離(未補油土)

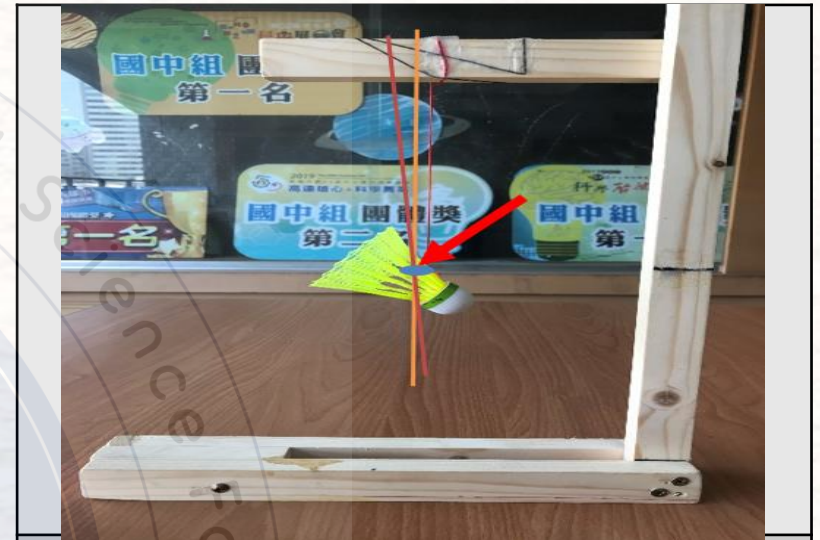
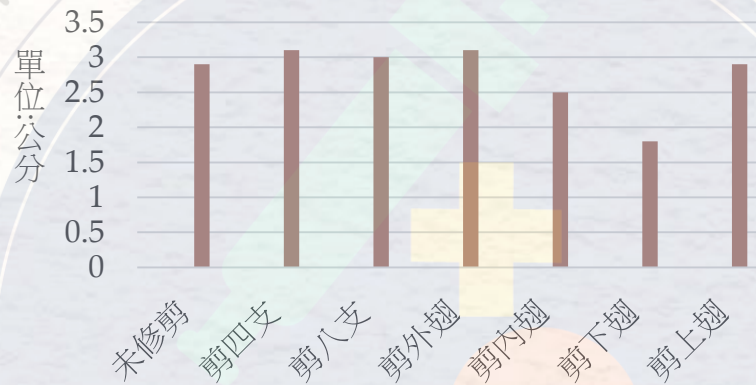
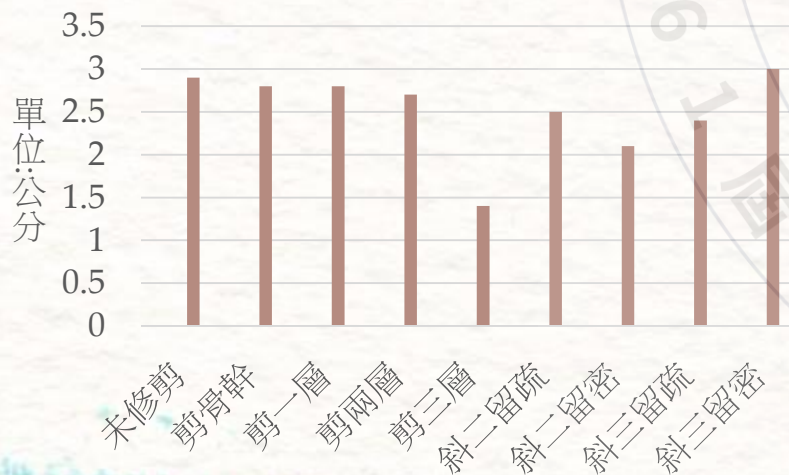
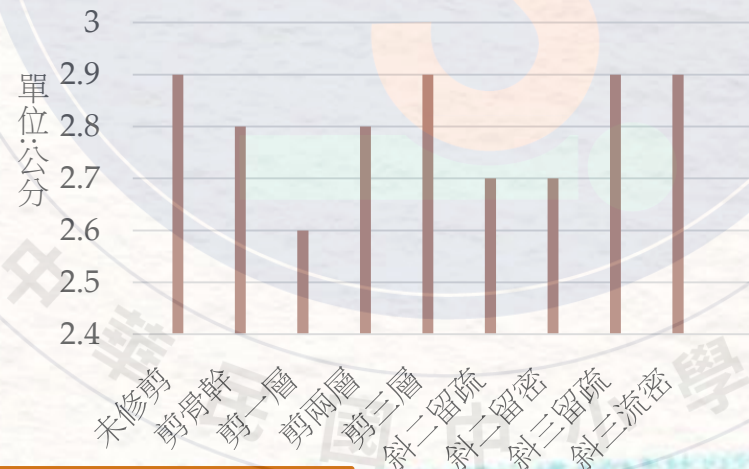


圖1兩線交叉處即為該球重心位置

未修剪及修剪過塑膠球的重心位置(補油土)



未修剪及修剪過塑膠球的重心位置(未補油土)



※小結：

- 1.未修剪的羽球和塑膠球重心都在2.9公分的位置，推測2.9公分是重心最佳位置。
- 2.斜剪2層留下疏、密羽的重心位置和斜剪3層留下疏、密羽的重心位置都會相同。
- 3.未補油土的塑膠球，剪1層塑膠羽其重心離球頭最遠、剪3層羽其重心最靠近球頭。

以上二圖為實驗一塑膠球的實驗結果

實驗二、三、探討羽球、塑膠球重心對於羽球飛行距離與偏移量之影響

實驗步驟:

- (一)將鐵線黏在重心處的前和後，來改變重心。
- (二)擺放電風扇來製造逆風、順風和側風的環境，在電風扇前架設風洞，並運用Tracker軟體分析飛行軌跡
- (三)按壓發球機發球，在落點處做記號，多次發射後取位置集中的五顆球，由兩人紀錄直線與橫向距離。



圖2 作為風源之電風扇

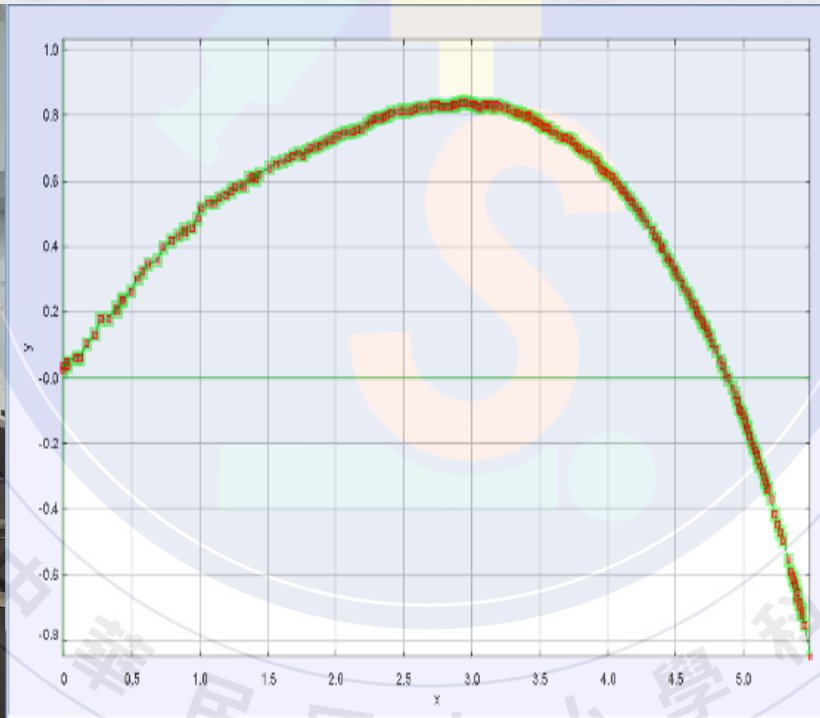
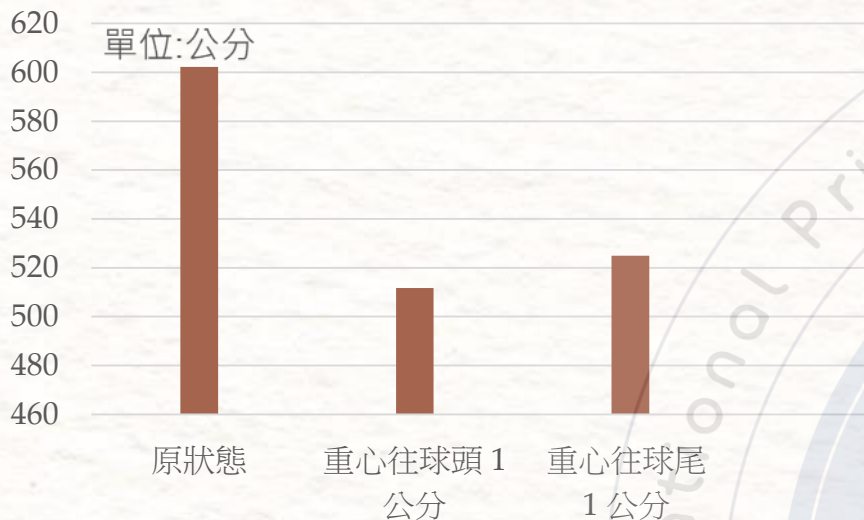


圖3 Tracker分析飛行路徑

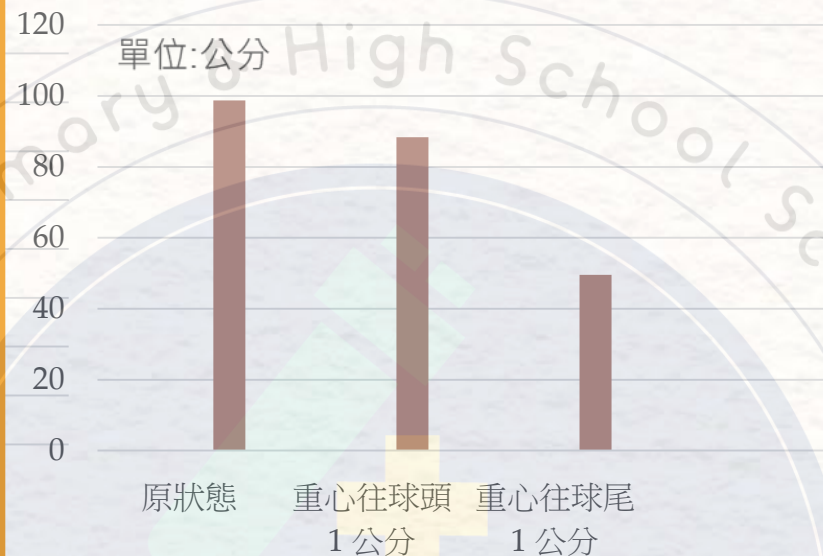


圖4 自製發球機

無風時，羽球之飛行距離

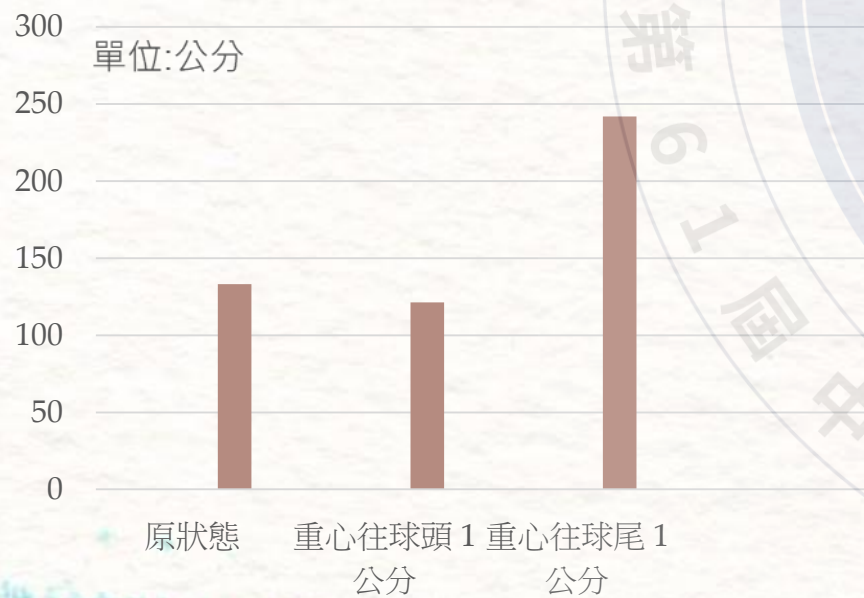


逆風與無風時比較的偏移量

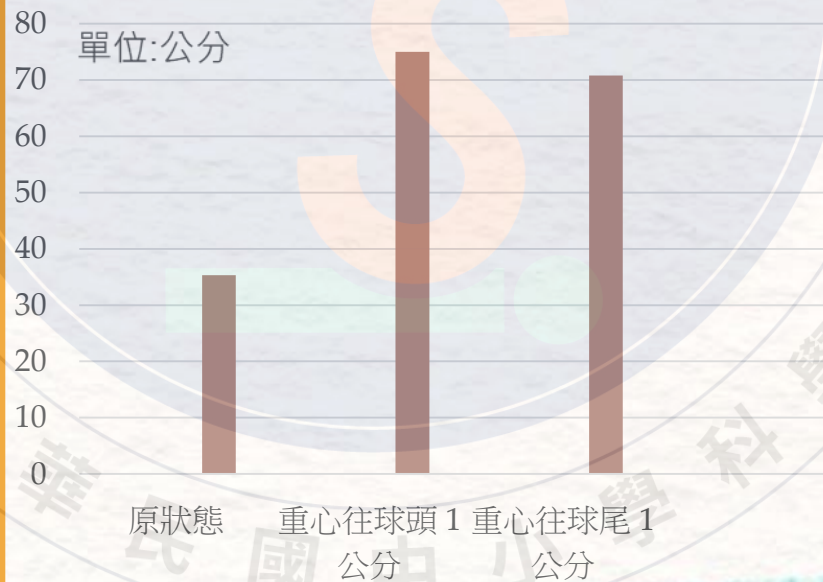


左邊四圖為實驗二
羽球的實驗結果

順風與無風時比較的偏移量



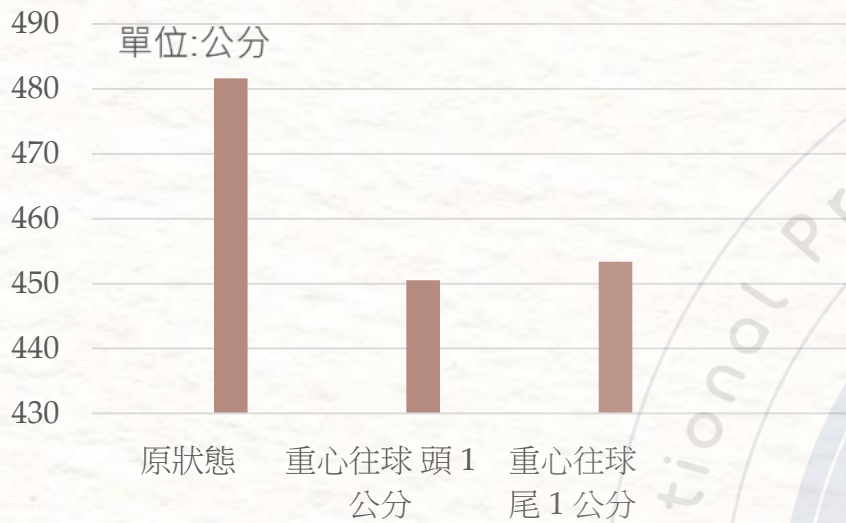
側風與無風時比較的偏移量



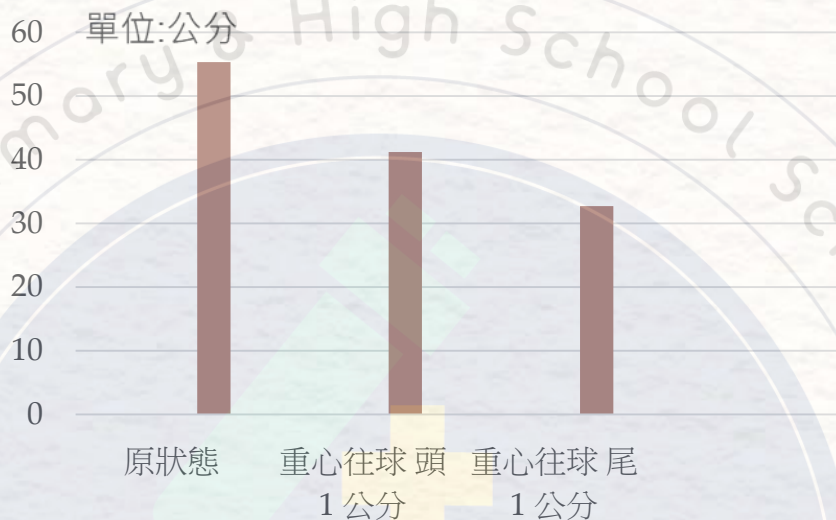
※小結:

1. 在**無風**，未修剪的飛行距離是最遠的；**逆風**時，重心往球尾**1公分**的偏移量最少。
2. **順風**時，重心往球頭**1公分**的偏移量最少；**側風**時，未修剪的偏移量最少。

無風時，塑膠球之飛行距離



逆風與無風時比較的偏移量

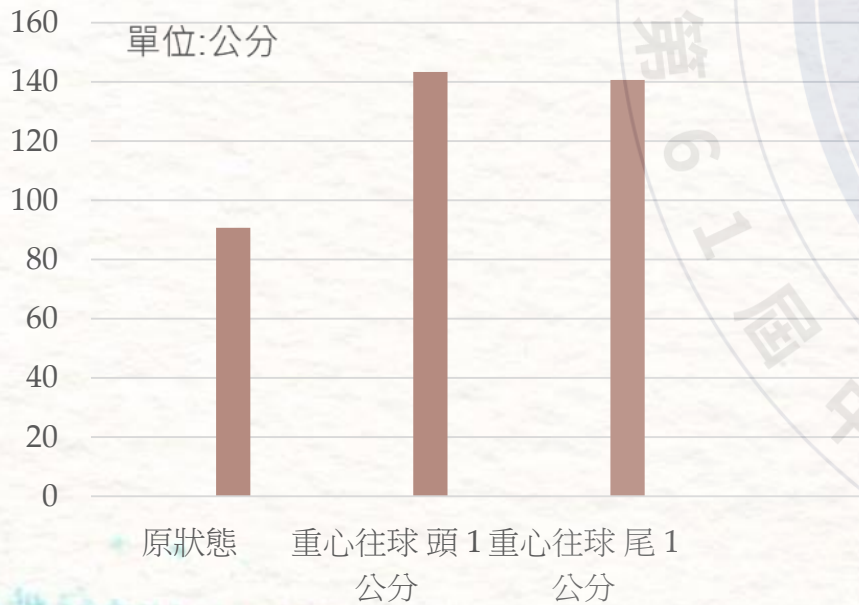


左邊四圖為實驗三
塑膠球的實驗結果

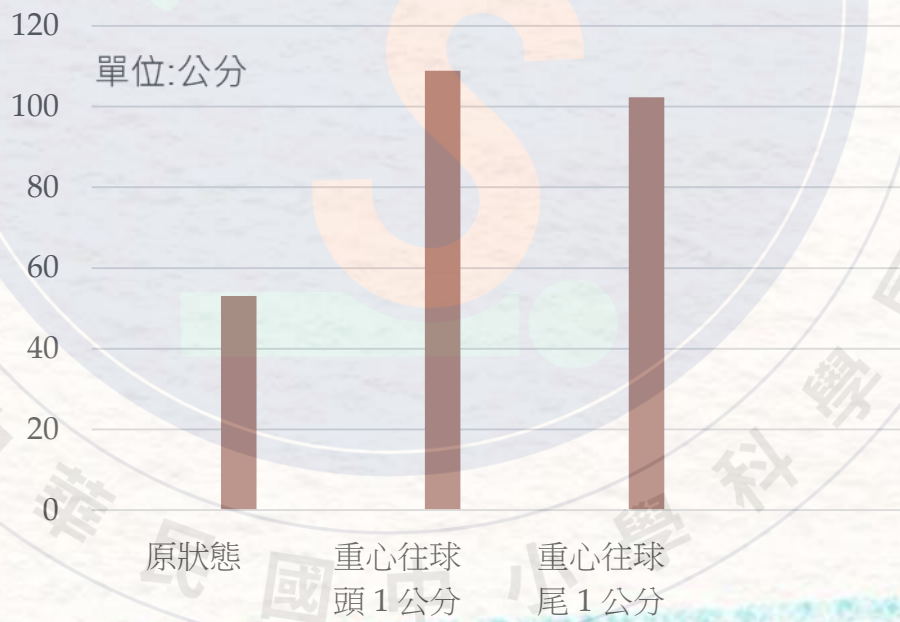
※小結：

- 1.在**無風**，未經修剪的**飛行距離是最遠的**。
- 2.可以發現不管在哪種風源下，**重心往球頭1公分**的偏移量都**比重心往球尾1公分**的多。
- 3.**逆風**時，重心往球尾1公分的偏移量最少；**順風與側風**時，未修剪的偏移量都最少。

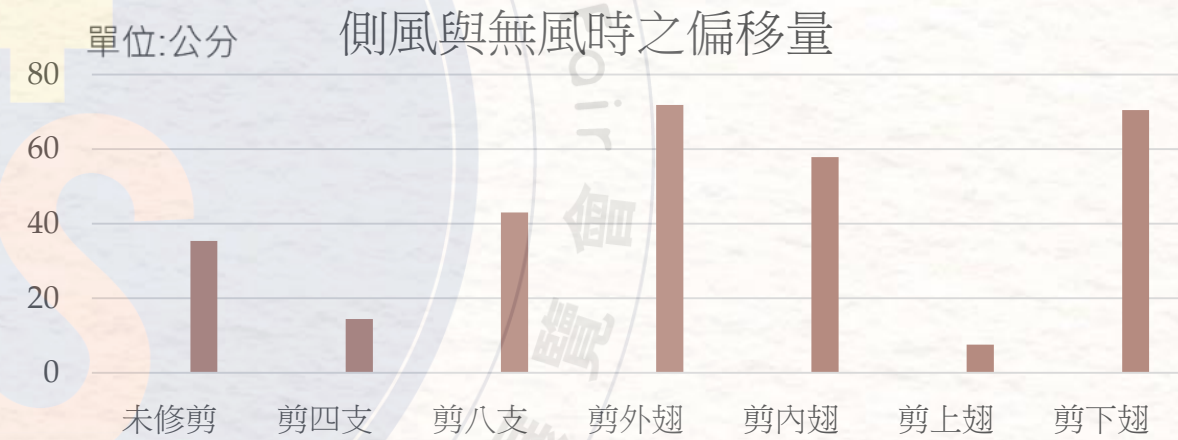
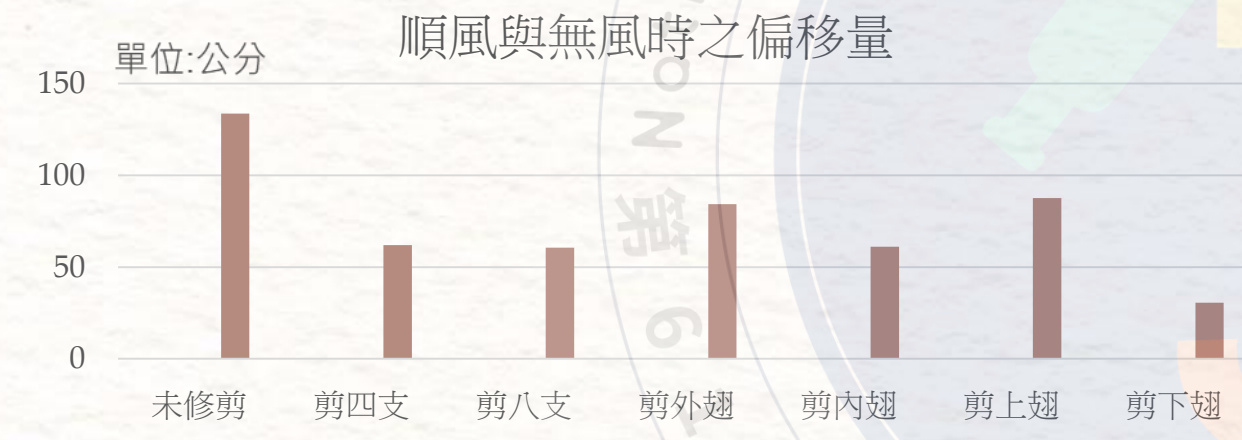
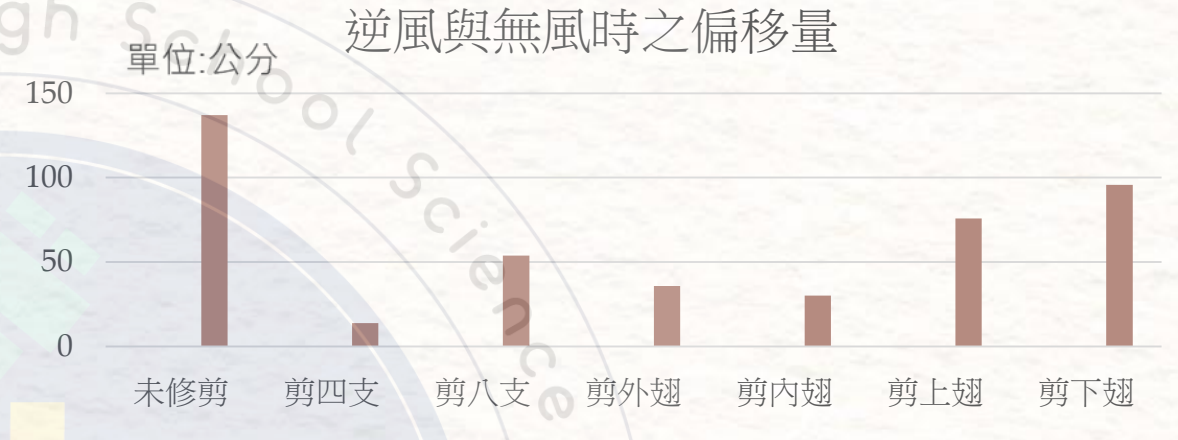
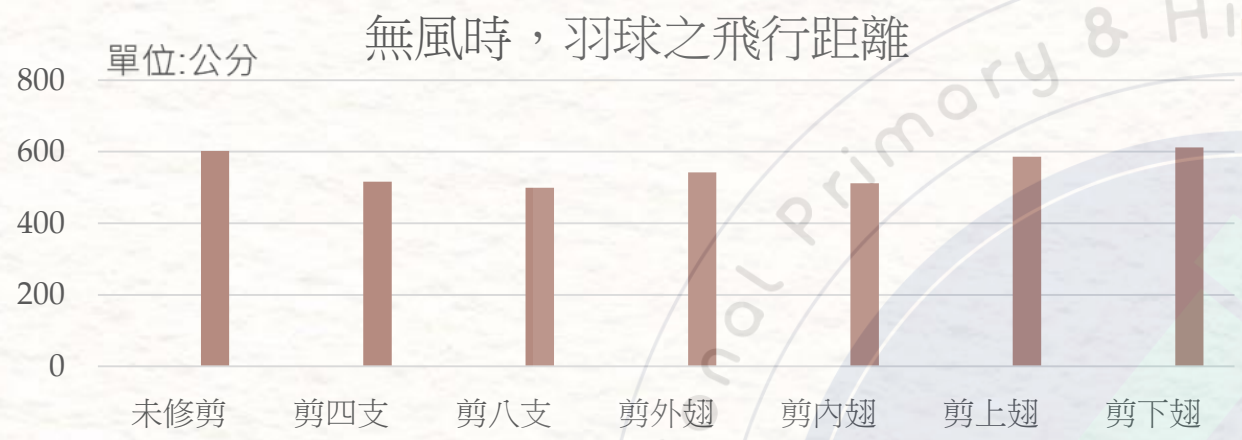
順風與無風時比較的偏移量



側風與無風時比較的偏移量



實驗四、探討羽球、塑膠球修剪前、後重心不變對於飛行距離與偏移量之影響

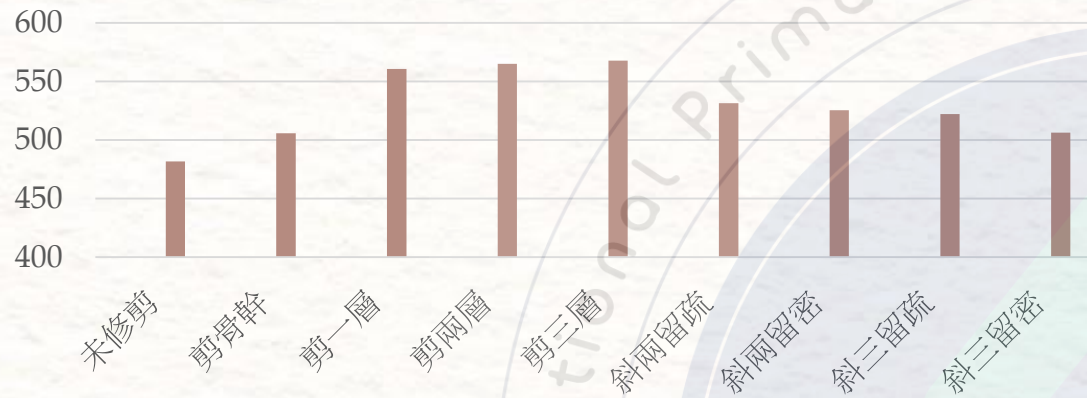


以上四圖為實驗四羽球的實驗結果

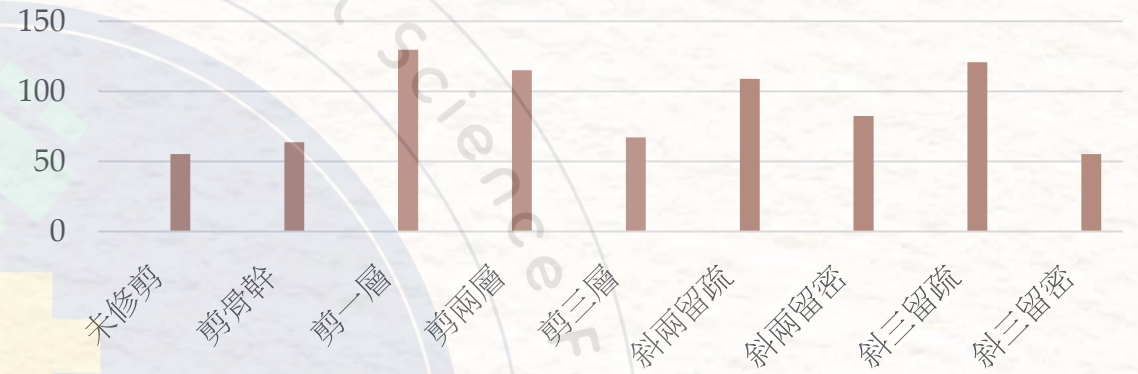
- ※ 小結：
1. **逆風**時，**剪四支**羽毛的**羽球偏移量最少**，**順風**時，**剪去下半翅**偏移量最少，**側風**時，則是**剪上半翅**的偏移量最少。
 2. 在**逆風及順風**時，羽球只要**經過修剪**偏移量就會**變少**。

以下四圖為實驗四**塑膠球**的實驗結果

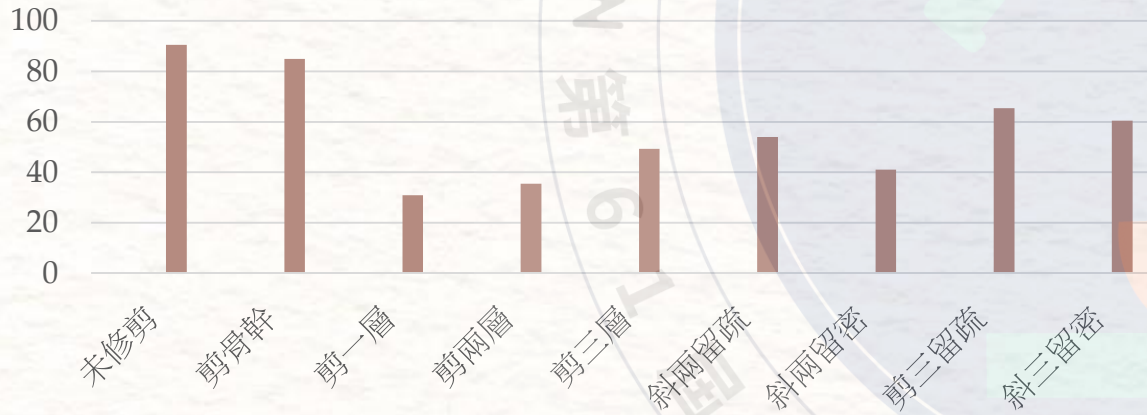
單位:公分 無風時，塑膠球之飛行距離



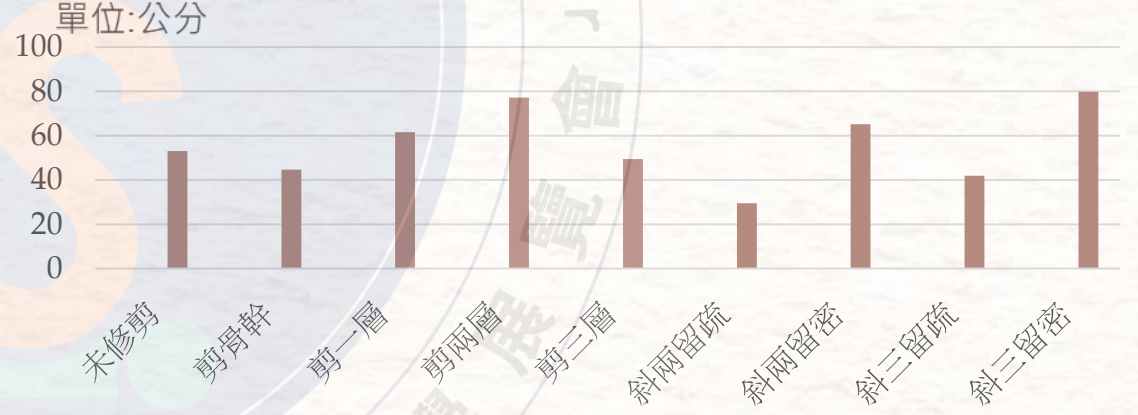
單位:公分 逆風與無風時之偏移量



單位:公分 順風與無風時之偏移量



單位:公分 側風與無風時之偏移量



※ 小結：

1. 無風時，**塑膠球**只要經過**修剪**，他的**飛行距離**就會比**未修剪**多。
2. **塑膠球**方面，**逆風**時未修剪的偏移量最少，**順風**時，剪去一層塑膠羽的偏移量最少，**側風**時，斜剪兩層留下密羽偏移量最少。

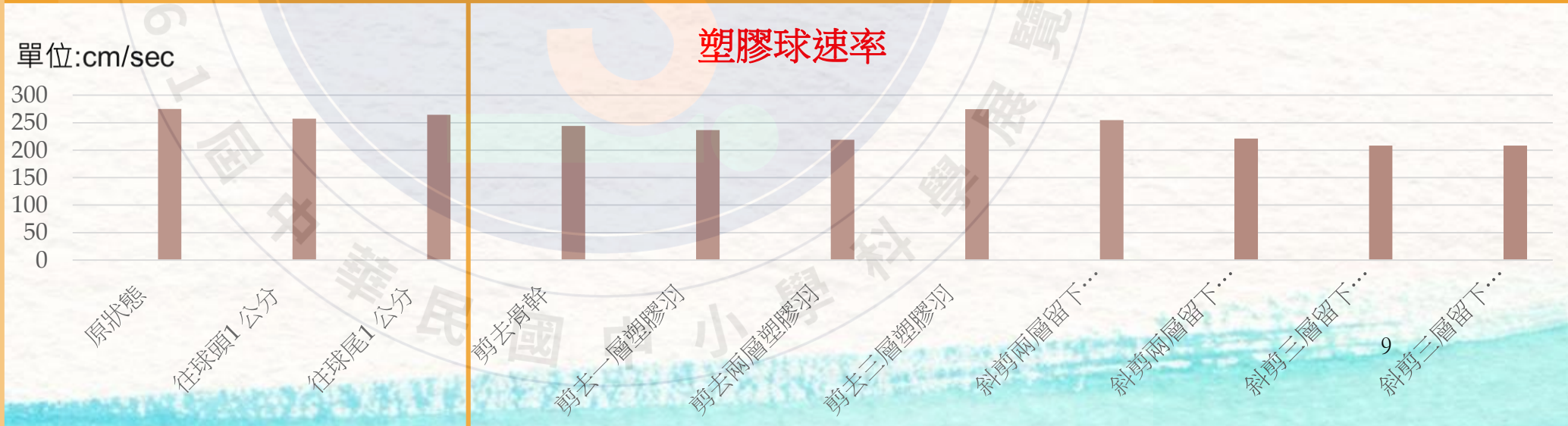
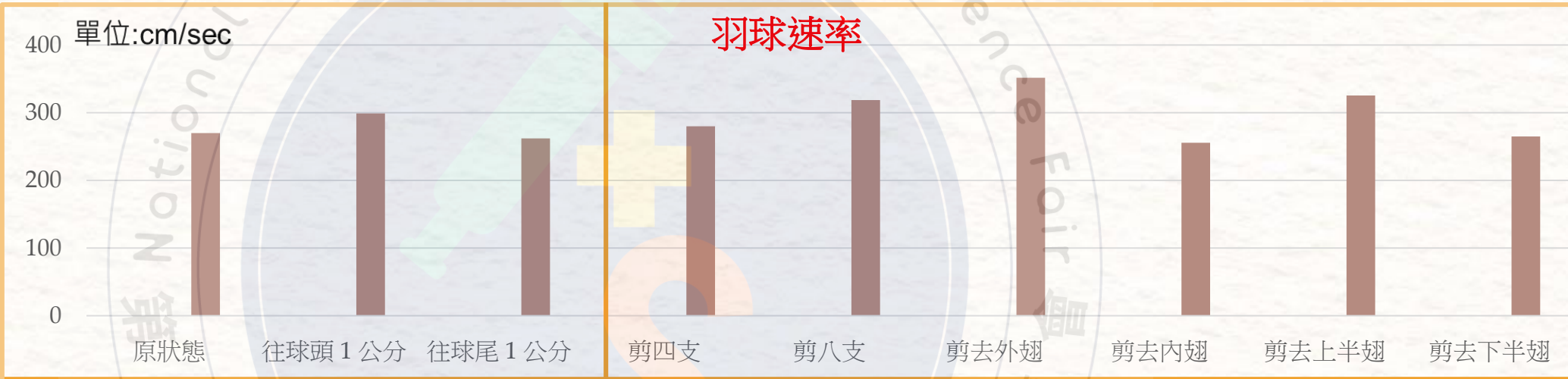
實驗五、探討羽球、塑膠球修剪前、後重心不變對於飛行速率之影響

實驗步驟:

(一)用高畫質手機錄下羽球無風時的飛行路徑。

(二)利用Tracker軟體計算羽球發射到落地的時間，再運用速率公式:距離/時間=速率套入無風時的總距離，來計算羽球飛行速率

※小結：
1.羽毛球方面，剪外翅的飛行速率最快，剪內翅羽毛飛行速率最慢。
2.塑膠球方面，重心若仍維持在距球頭 2.9公分，各種修剪方式皆比未經修剪飛得還慢



肆、討論

- 一、羽球在無風時**重心維持不變**，除了剪去8支羽毛的羽球飛行距離變短，其他的飛行距離皆比「風羽無阻」的作品(**重心不定**)中還要遠，證明**飛行距離與重心有關**
- 二、在「風羽無阻」的作品(**重心不定**)中，塑膠球在無風時，不管是斜剪兩層或三層，留下疏羽的飛行距離明顯多過留下密羽，但重心改為一樣後，兩者的飛行距離相近許多，所以我們認為**重心在2.9公分的位置，塑膠球飛行的距離變化不大**
- 三、在「風羽無阻—戶外低風阻羽球研究之初探」中(**重心不定**)，剪8支羽毛的羽球在順風及側風有最少的偏移量，但逆風時偏移量增加許多。但本實驗(**重心維持不變**)中發現剪8支羽毛的羽球側風時偏移量增加、逆風時偏移量減少，可見**重心位置對羽球飛行穩定性確實有影響**。
- 四、可以從Tracker軟體的飛行軌跡及實驗數據看出，羽球及塑膠球重心往球頭1公分的飛行距離都較短，我們認為**重心往球頭1公分的羽球飛行時容易讓球頭前傾，導致羽球提早落地**。

伍、結論

- 一、從Tracke飛行軌跡及實驗數據看出，不論其重心往球頭或往球尾移動1公分的飛行距離都比原狀態(重心距離球頭2.9公分處)短，可見重心改變不適合羽球和塑膠球的飛行
- 二、羽球的重心若往球尾移動1公分時其飛行速率變慢，而重心若往球頭移動1公分其飛行速率變快；塑膠球的重心不論往球尾移動1公分或往球頭移動1公分，其飛行速率皆變慢
- 三、在未補油土的塑膠球中，剪1層塑膠羽的塑膠球重心距離球頭最遠、剪3層塑膠羽後的塑膠球重心最靠近球頭。亦即塑膠羽剪去越多層，重心就會越靠近球頭。
- 四、從我們偏移量的實驗數據中，我們可以得知羽球和塑膠球的重心在距離球頭2.9公分的位置時，在各個風源的影響下偏移量都比較少，亦即其飛行的穩定性增加。
- 五、我們可從實驗四的實驗中，將羽球和塑膠球做對稱性的修剪後，再將重心改至距離球頭2.9公分做偏移量實驗，實驗結果與「風羽無阻—戶外低風阻羽球研究之初探」這篇的實驗數據相比較，其偏移量較少，穩定性增加。

六、由實驗二、三、四可得知原狀態的塑膠球比原狀態羽球較適合在戶外使用。若將羽球及塑膠球做**對稱性**的修剪，並將**重心**改至**距離球頭2.9公分**的位置時，其羽球及塑膠球就會**具有較佳的抗風能力**。

陸、參考文獻

一、「康軒學習雜誌 Top童樂會」

https://m.facebook.com/story.php?story_fbid=1064104886964791&id=132170346824921

二、張晉誠、吳宗澈、林昱宏、鄭詩樺、洪瑋妘、朱冠達·「風羽無阻—戶外低風阻羽球研究之初探」。第60屆-民國109年全國中小學科展作品。

三、陳品文、邱健紘、宋品孝·斷尾球「生」~探討羽球羽毛對飛行的影響。
第57屆--民國106年全國中小學科展作品。

四、物理科-重心 作者 何定樑

<http://www.ccym.edu.hk/library/Materials/resources/>