

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

## 最佳團隊合作獎

030804

### 高『彈』闊論

學校名稱：苗栗縣立公館國民中學

作者：  國二 蘇柏文  國二 陳祐豪  國二 劉語晴	指導老師：  李笑薇  陳依蓉
---	-----------------------------

關鍵詞：球的反彈係數、地面材質、溫度

## 摘要

本研究是探討網球、乒乓球、高爾夫球及壘球在不同條件下的反彈情形，並比較其反彈係數。

球的反彈係數與質量沒有明顯相關；而地面的性質對軟式網球影響最少，對高爾夫球及乒乓球的影響最大，且在磁磚地面上，各種球之間反彈係數差異大，反而球落在塑膠墊上，反彈係數平均值降低。乒乓球的密度小，反彈係數與原始落下的高度成負相關。乒乓球在各種溫度的反彈係數變化都是最小的，軟式網球加熱後的變化量最大。軟式網球在粗和緊的線做成的自製球拍表現最好，使用 40cmx40cm 的大拍面打軟式網球，最適合年長者。

我們可以利用高爾夫球代替榔頭簡單檢測瓷磚的鋪設是否有瑕疵，因為磁磚下方若是空心的話，高爾夫球落下地面時會發出可怕刺耳的聲音。

## 壹、研究動機

電視上，我們常看到各式球類比賽。當我們在觀看網球好手盧彥勳精采的比賽時，不免產生疑問，網球落地後彈起的高度受到何種因素影響？聽說各網球選手想獲得四大公開賽的大滿貫是一件非常困難的事，難道地面的材質會影響球落下後彈起的狀況嗎？影響的程度又有多大？而當球員的拍子擊中球時，擊球的位置也會影響嗎？而在網球比賽上，球拍的要求也是很重要的，球線的粗細和鬆緊又造成什麼影響？溫度是否也可能改變戰果？市面上販售球的種類千百種，有比賽專用的，有一般練習用的，拿桌球做個比方，還有適合老人用的大球，那麼各種球反彈的狀況又是如何呢？比賽時也有規定球的質量，質量會影響球彈起高度嗎？最後我們希望發展出適合老人家的趣味球類運動。

## 貳、研究目的

本實驗探討以下變因與球自由落下後的反彈高度（係數）之間的關係：

- 一、球的：
  - （一）質量；
  - （二）種類；
  - （三）自由落下的高度；
  - （四）溫度。
- 二、不同材質的地面。
- 三、自製的球拍：
  - （一）線的纏繞方法；
  - （二）線的粗細；
  - （三）線的鬆緊；
  - （四）球拍拍面的不同位置。
- 四、尋找新的球類玩法，發展出老少咸宜的運動。

### 叁、研究設備及器材

一、場地：實驗室、禮堂、排球場、社團辦公室

二、記錄工具：攝影機、電腦

三、球類：

乒乓球 40mm(比賽用.大陸製)	x8	網球(比賽用)	x8
乒乓球 40mm(比賽用.日本製)	x8	網球(練習用)	x8
乒乓球 40mm(練習用)	x8	軟式網球	x14
乒乓球 44mm(較大)	x6	壘球	x8
硬式棒球	x14	高爾夫球	x8 (從球場撿回來的舊球)
軟式棒球	x8		

四、測量工具：高尺 (塑膠瓦楞板及皮尺)、捲尺

五、其他：大磁磚、塑膠墊、草地、沙坑、木條、8號釣魚線 (0.470mm)、12號釣魚線 (0.580mm)、電鑽、螺絲起子、螺絲釘、三秒膠、油性麥克筆、原子筆、剪刀、小刀、膠帶、塑膠袋、用海報紙自製與磁磚大小相同 (40cmx40cm) 的九宮格、蒸飯箱、冰箱、溫度計、燒杯、裁判椅、攝影腳架、電子天平、保溫袋、玻璃水槽



圖 1 各項工具

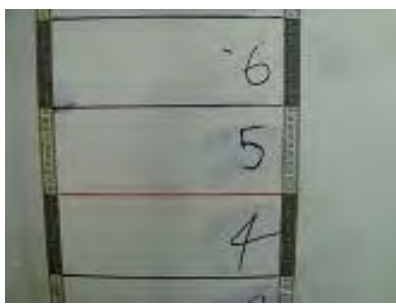


圖 2 測量反彈高度的尺



圖 4 禮堂舞台的木質地板

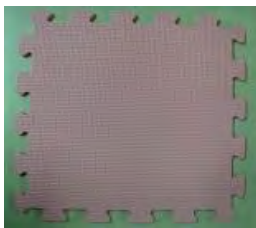


圖 3 各式地面



圖 5 自製球拍與九宮格海報



圖 6 蒸飯箱

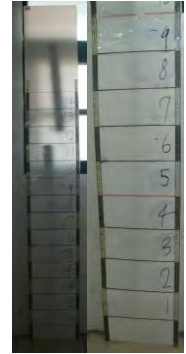


圖 7 各種球類

## 肆、研究過程及方法

### 一、製作測量用工具：

將 100 公分 × 30 公分的塑膠瓦楞板裁成兩半，垂直黏貼接合，將兩條皮尺接上，分別在塑膠板左右各貼上皮尺，底部對準底端，並以塑膠水管黏貼在自製長尺的背面，以方便固定板子。(如圖 8)



### 二、測量球在磁磚的反彈高度

將長尺固定在牆上，用捲尺往上量 254cm，在牆上做下記號，作為釋放球的高度依據，球自由落下到地上磁磚時，記錄其高度；釋放球時，球的下緣對準 254cm，垂直地面不施力讓球自由落下，眼睛平視球落下時彈起的高度，同樣以球的下緣為基準，啟動攝影機，並錄下球落下至彈起的過程，重複播放並紀錄球反彈的高度。每顆球重複三次。(如圖 9)

### 三、測量球在排球場、塑膠墊及禮堂講台木板反彈的高度

圖 8

以相同的方法測量球在禮堂內排球場、同場地放置塑膠墊及禮堂舞台木板地面的反彈的高度，實驗結果扣除塑膠墊高度。(如圖 10~12)



圖 9



圖 10



圖 11

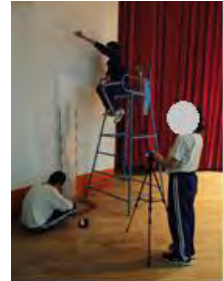


圖 12

四、把原始高度改為 127cm，重複步驟二。(並加做在沙地及草地上的實驗)

### 五、製作網子(即自製球拍)：(如圖 13、14)

- (一) 第一代：將 4 塊大小相同的木板釘成四邊形，在板子中間以固定距離打洞，再以 8 號釣魚線穿越纏繞，完成橫線後，以同樣手法完成縱線，橫線穿過縱線時須上下穿越，以確保網子堅固。
- (二) 第二代：將 4 塊大小相同的木板釘成四邊形，在板子上方以固定距離畫上記號，再鎖上螺絲釘，把 8 號釣魚線固定在第一根螺絲釘，再用一線繞到底的方式繞上橫線，每根螺絲釘上多繞兩圈，此舉目的是固定釣魚線，兩根螺絲釘之間的距離是 40cm，完成後再以同樣方式繞上縱線。
- (三) 第三代：將 4 塊大小相同的木板釘成四邊形，在板子上方以固定距離畫上記號，再鎖上螺絲釘，量取 40cm 長的 8 號釣魚線，兩端各留約 10cm 做為固定用。把線的一端綁在螺絲釘上，再用三秒膠固定，另一端也如法炮製。完成橫線後，以同樣手法完成縱線，橫線穿過縱線時須上下穿越。
- (四) 第四代：方法和第三代完全相同，但把線換成較粗的 12 號釣魚線。

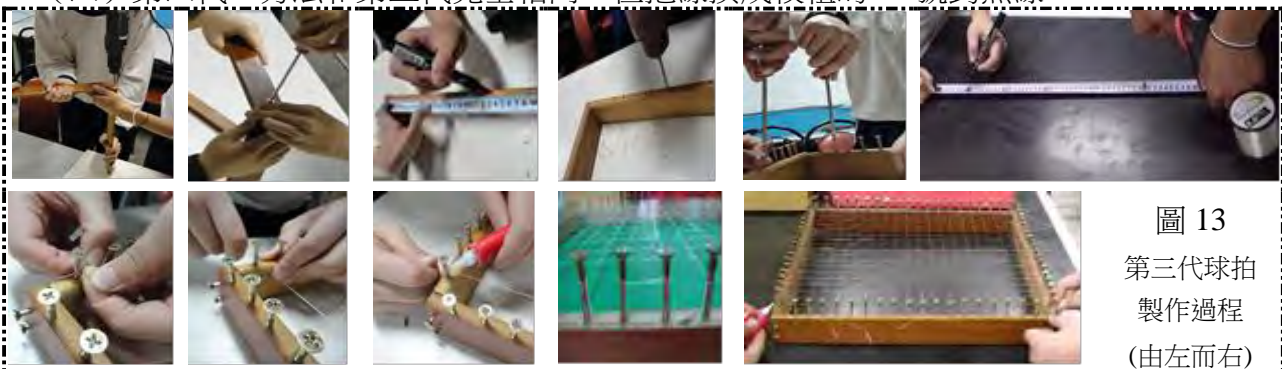
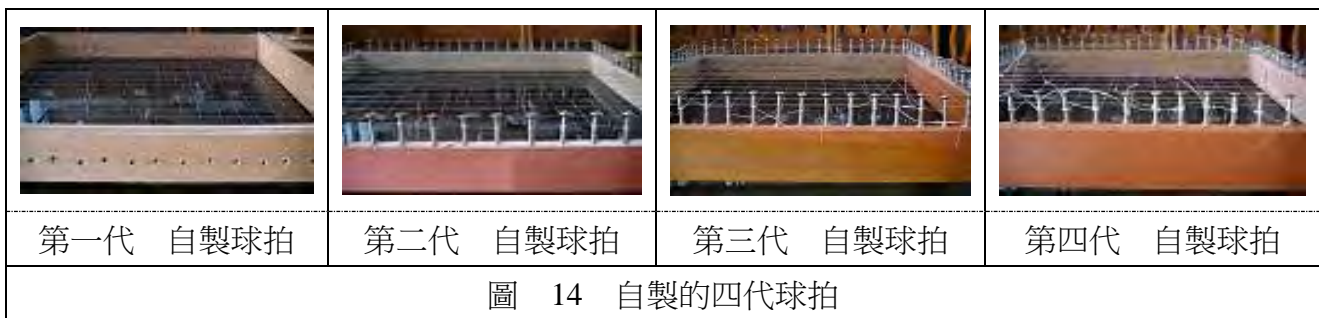


圖 13  
第三代球拍  
製作過程  
(由左而右)



六、在一張 40cm×40cm 的海報紙上畫上均分的九宮格。(如圖 5 中球拍下方的綠色海報)

七、測量球從 127cm 落在第一代球拍上不同位置 (1-9 格) 的反彈高度。

八、把球拍換為第二代、第三代及第四代，重複步驟七。

九、測量溫度對球的反彈高度的影響。如下圖 14~17。



圖 15 將所有球裝入塑膠袋中並寫上原先的編號



圖 16 將 1、2 號球放入冷凍庫，3、4 號球放入冷藏室



圖 17 24 小時後將球取出，放入保溫袋中再提至實驗室進行實驗；球從保溫袋拿出直接進行實驗，每隔十分鐘測量一次，測量完後放置於實驗室中的櫃子，使其自然回溫。



圖 18 5、6 號球放入蒸飯箱中，加熱完後拿出來大部分的球都有毀損；而隔水加熱時，隨時要注意溫度是否保持在 50°C，燒杯內外都要添加熱水使其保持水溫。

十、把球反彈的高度除以自由落下的原始高度，得到反彈係數。

十一、各項研究之變因：

		操縱變因	控制變因	應變變因
研究一	(一)	球的質量	地面材質：磁磚 球自由落下高度：254公分	反彈高度
	(二)	球的種類： 1·網球（練習用） 2·網球（比賽用） 3·軟式網球 4·軟式棒球 5·硬式棒球 6·高爾夫球 7·乒乓球（比賽-陸製） 8·乒乓球（比賽-日製） 9·乒乓球（練習用） 10·乒乓球（較大） 11·壘球	地面材質： 1·磁磚	反彈高度
			2·塑膠墊	反彈係數
			3·排球場	
			4·木板	
			球自由落下高度：254公分	
	(三)	球自由落下的高度： 127公分 254公分	球的種類：11項 地面材質：磁磚	反彈高度 反彈係數
(四)	球的溫度： 1·降溫（冷凍） 2·降溫（冷藏） 3·升溫（蒸飯箱） 4·升溫（隔水加熱）	球的種類：11項	反彈高度	
		地面材質：磁磚	反彈係數	
		球自由落下高度：127公分		
	◆延伸實驗1：溫度	軟式網球／硬式棒球 地面材質：磁磚 球自由落下高度：127公分	反彈高度 反彈係數	
	◆延伸實驗2：彈跳次數	軟式網球／硬式棒球 地面材質：磁磚 球自由落下高度：127公分	反彈高度 反彈係數	
研究二	地面材質： 1·磁磚 2·塑膠墊 3·排球場 4·木板	球的種類：11項	反彈高度	
		球自由落下高度：254公分	反彈係數	
	◆延伸實驗3：草地／沙地	球的種類：11項 球自由落下高度：127公分	反彈高度 反彈係數	
◆延伸實驗4：水量	沙量（5·2公斤重） 軟式網球／硬式棒球 球自由落下高度：127公分	反彈高度 反彈係數		
研究三	(一)	線的纏繞方法： 1·第一代球拍	軟式網球 8號釣魚線	反彈高度 反彈係數
		2·第二代球拍	球落下的位置	
		3·第三代球拍	球自由落下高度：127公分	
	(二)	線的粗細： 使用自製球拍：	軟式網球／硬式網球 拍面上線的長度：40公分	反彈高度 反彈係數
		1·第三代（8號釣魚線） 2·第四代（12號釣魚線）	球自由落下高度：127公分 球落下的位置：拍面正中央	
	(三)	線的鬆緊： 拍面上線的長度：	軟式網球／硬式網球 使用自製球拍：	反彈高度 反彈係數
		1·維持40公分（鬆） 2·小於40公分（緊）	1·第三代（8號釣魚線） 2·第四代（12號釣魚線）	
			球自由落下高度：127公分 球落下的位置：拍面正中央	
	(四)	球落下的位置	軟式網球／硬式網球 使用自製球拍：	反彈高度 反彈係數
			1·第三代（8號釣魚線） 2·第四代（12號釣魚線）	
			拍面上線的長度： 1·維持40公分（鬆） 2·小於40公分（緊）	
		球自由落下高度：127公分		

表 1

## 伍、研究結果

### 一、研究一

(一) 探討球的質量與反彈高度的關係（實驗數據詳見實驗日誌）。

1. 球的質量與反彈高度沒有關係。
2. 比賽用網球質量最穩定，反彈高度呈現一致性，價格與品質成正相關。
3. 不同質量的壘球反彈高度的差異性也很大，圖中壘球的八個點最分散。

球的質量與反彈高度的關係																◆地面：磁磚		◆球自由落下高度：2.54公分				
球的種類	練習用網球		比賽用網球		軟式網球		軟式棒球		硬式棒球		高爾夫球		大陸製比賽用乒乓球		日本製比賽用乒乓球		練習用乒乓球		較大的乒乓球		壘球	
球號	質量 (g)	反彈高度 (cm)	質量 (g)	反彈高度 (cm)	質量 (g)	反彈高度 (cm)	質量 (g)	反彈高度 (cm)	質量 (g)	反彈高度 (cm)	質量 (g)	反彈高度 (cm)	質量 (g)	反彈高度 (cm)	質量 (g)	反彈高度 (cm)	質量 (g)	反彈高度 (cm)	質量 (g)	反彈高度 (cm)	質量 (g)	反彈高度 (cm)
1	58.69	110	58.15	137	30.08	86	136.34	123	146.58	84	46.10	194	2.74	125	2.76	127	2.71	128	2.32	110	209.96	81
2	59.43	103	58.84	136	29.51	82	133.48	115	145.41	80	46.01	202	2.76	132	2.76	135	2.73	126	2.38	108	192.77	81
3	60.68	102	57.96	133	29.60	84	134.65	120	144.22	79	45.91	196	2.75	133	2.76	132	2.78	124	2.31	98	203.87	73
4	65.63	72	55.93	136	29.69	82	134.47	116	143.97	80	45.69	195	2.75	135	2.76	129	2.73	123	2.36	105	194.86	74
5	59.15	102	58.13	134	28.87	83	133.08	118	145.00	81	45.69	194	2.76	133	2.76	133	2.76	133	2.34	104	193.34	71
6	61.48	102	56.88	136	29.21	84	134.66	121	144.41	81	45.73	200	2.76	134	2.73	133	2.73	122	2.36	107	200.23	68
7	59.47	92	59.19	136	29.68	84	135.89	122	142.74	74	45.69	178	2.76	128	2.77	134	2.74	132	2.29	102	206.30	68
8	56.28	98	57.75	135	29.79	83	136.50	115	143.96	89	45.42	206	2.74	129	2.77	133	2.74	122	2.44	106	206.45	74
平均值	60.10	98	57.86	135	29.55	84	134.88	119	144.54	81	45.78	196	2.75	131	2.76	132	2.74	126	2.35	105	200.97	74
標準差	2.70	11	1.04	1	0.37	2	1.27	3	1.14	4	0.22	8	0.01	4	0.01	3	0.02	4	0.05	4	6.66	5
結果評判	反彈高度差異最大		反彈高度差異最小										質量差異最小								質量差異最大	

表 2

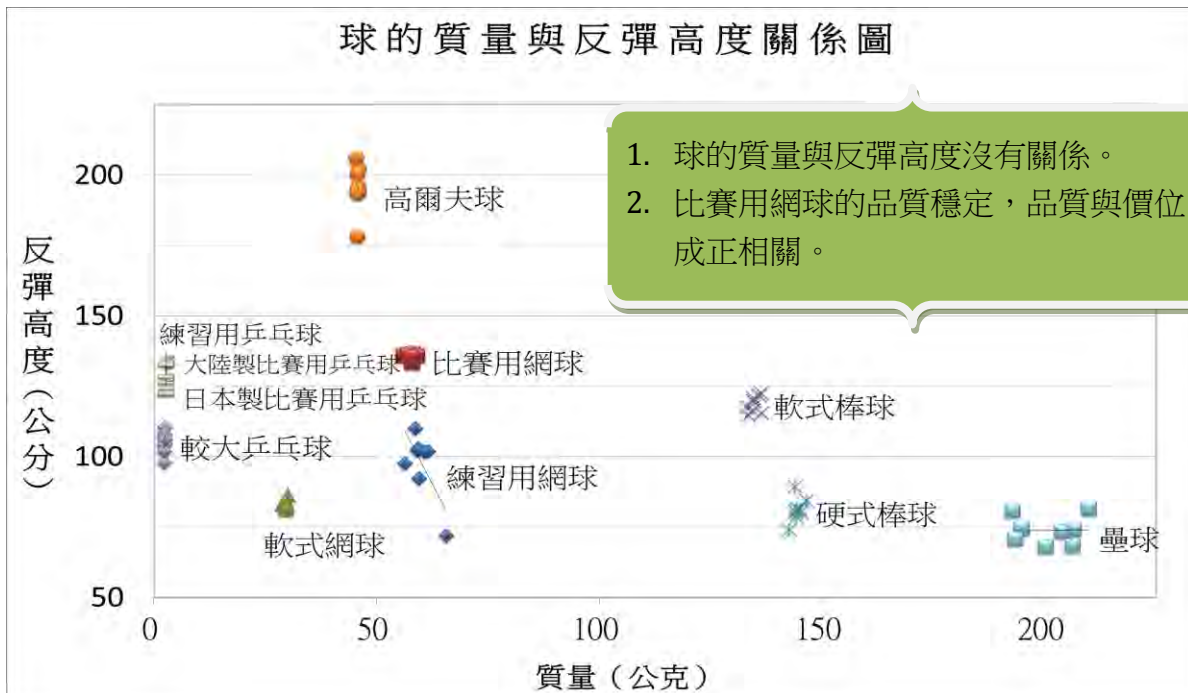
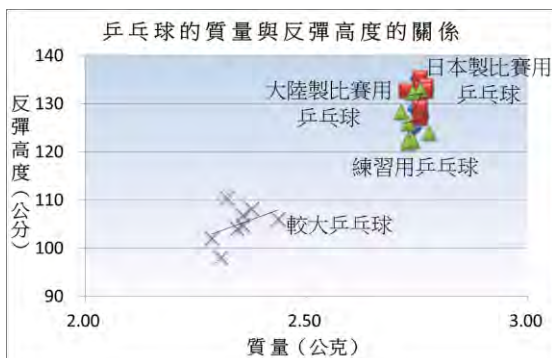


圖 19



1. 三種乒乓球在反彈高度上表現一致。
2. 八個代表較大乒乓球的點呈分散狀態，顯示品質最不穩定。
3. 大乒乓球自由落下到磁磚地面時，常發出像玻璃快要破碎的尖銳刺耳聲，表示球的表面材料非常不均勻。

圖 20

(二) 探討球的種類與反彈高度的關係 (實驗數據詳見實驗日誌)。

1. 場地：磁磚

球落在磁磚地面的反彈係數								◆球自由落下高度：254公分			
號碼	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
球號 \ 種類	網球 (練習用)	網球 (比賽用)	軟式 網球	軟式 棒球	硬式 棒球	高爾 夫球	乒乓球 (比賽-陸製)	乒乓球 (比賽-日製)	乒乓球 (練習用)	乒乓球 (較大)	壘球
1	0.43	0.54	0.34	0.48	0.33	0.76	0.49	0.50	0.51	0.43	0.32
2	0.41	0.54	0.32	0.45	0.32	0.80	0.52	0.53	0.50	0.43	0.32
3	0.40	0.52	0.33	0.47	0.31	0.77	0.52	0.52	0.49	0.39	0.29
4	0.28	0.53	0.32	0.46	0.32	0.77	0.53	0.51	0.48	0.41	0.29
5	0.40	0.53	0.33	0.46	0.32	0.76	0.52	0.52	0.52	0.41	0.28
6	0.40	0.54	0.33	0.48	0.32	0.79	0.53	0.52	0.48	0.42	0.27
7	0.36	0.53	0.33	0.48	0.29	0.70	0.50	0.53	0.52		0.27
8	0.38	0.53	0.33	0.45	0.35	0.81	0.51	0.52	0.48		0.29
平均值	0.38	0.53	0.33	0.47	0.32	0.77	0.52	0.52	0.50	0.41	0.29
標準差	4.52%	0.48%	0.60%	1.19%	1.73%	3.31%	1.39%	1.05%	1.75%	1.67%	1.98%
結果	球之間 差異最 大	球之間 差異最 小				反彈 係數 最大					反彈係 數最小
評判	大	小				最大					最小

表3

2. 場地：塑膠墊

球落在塑膠墊的反彈係數								◆球自由落下高度：254公分			
號碼	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
球號 \ 種類	網球 (練習用)	網球 (比賽用)	軟式 網球	軟式 棒球	硬式 棒球	高爾 夫球	乒乓球 (比賽-陸製)	乒乓球 (比賽-日製)	乒乓球 (練習用)	乒乓球 (較大)	壘球
1	0.45	0.52	0.35	0.51	0.46	0.46	0.29	0.29	0.28	0.23	0.45
2	0.44	0.52	0.34	0.51	0.46	0.47	0.28	0.28	0.28	0.24	0.44
3	0.45	0.52	0.34	0.51	0.44	0.45	0.28	0.28	0.27	0.23	0.45
4	0.43	0.52	0.34	0.51	0.44	0.46	0.28	0.28	0.27	0.23	0.45
5	0.45	0.51	0.34	0.50	0.44	0.45	0.26	0.26	0.27	0.24	0.44
6	0.45	0.52	0.34	0.51	0.44	0.45	0.27	0.25	0.27	0.23	0.44
7	0.44	0.51	0.34	0.52	0.44	0.46	0.28	0.27	0.28		0.45
8	0.38	0.53	0.33	0.45	0.35	0.47	0.28	0.28	0.28		0.44
平均值	0.44	0.52	0.34	0.50	0.43	0.46	0.28	0.27	0.27	0.23	0.45
標準差	2.28%	0.64%	0.55%	2.04%	3.41%	0.89%	0.91%	1.41%	0.31%	0.36%	0.47%
結果		反彈 係數 最大			球之間 差異最 大				球之間 差異最 小	反彈 係數 最小	
評判		最大			大				小	最小	

表4

3. 場地：排球場

球落在排球場的反彈係數								◆球自由落下高度：254公分				
號碼	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
球號 \ 種類	網球 (練習用)	網球 (比賽用)	軟式 網球	軟式 棒球	硬式 棒球	高爾 夫球	乒乓球 (比賽-陸製)	乒乓球 (比賽-日製)	乒乓球 (練習用)	乒乓球 (較大)	壘球	壘球
1	0.40	0.56	0.34	0.47	0.31	0.32	0.38	0.39	0.41	0.31	0.30	
2	0.41	0.55	0.33	0.47	0.31	0.37	0.39	0.39	0.42	0.32	0.30	
3	0.41	0.55	0.34	0.48	0.31	0.44	0.40	0.38	0.38	0.31	0.30	
4	0.30	0.55	0.34	0.48	0.32	0.41	0.40	0.39	0.38	0.31	0.30	
5	0.41	0.54	0.33	0.48	0.32	0.40	0.41	0.40	0.40	0.31	0.30	
6	0.40	0.55	0.33	0.48	0.32	0.44	0.41	0.39	0.40	0.31	0.31	
7	0.38	0.55	0.33	0.50	0.31	0.43	0.41	0.39	0.41		0.31	
8	0.40	0.55	0.33	0.49	0.35	0.43	0.39	0.39	0.40		0.30	
平均值	0.39	0.55	0.33	0.48	0.32	0.40	0.40	0.39	0.40	0.31	0.30	
標準差	3.63%	0.33%	0.58%	0.94%	1.28%	4.12%	1.35%	0.59%	1.40%	0.45%	0.30%	
結果		反彈 係數 最大				球之間 差異最 大					球之間 差異最 小	反彈 係數 最小
評判		最大				大					小	最小

表5



#### 4. 場地：木板

球落在木板上的反彈係數											◆球自由落下高度：254公分	
號碼	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
球號	網球 (練習用)	網球 (比賽用)	網球 (比賽用)	軟式 網球	軟式 棒球	硬式 棒球	高爾 夫球	乒乓球 (比賽-陸製)	乒乓球 (比賽-日製)	乒乓球 (練習用)	乒乓球 (較大)	壘球
1	0.41	0.54	0.36	0.50	0.31	0.36	0.48	0.52	0.52	0.39	0.24	
2	0.41	0.55	0.35	0.49	0.31	0.43	0.49	0.52	0.51	0.39	0.22	
3	0.40	0.54	0.35	0.49	0.31	0.43	0.50	0.52	0.52	0.39	0.23	
4	0.30	0.54	0.35	0.49	0.31	0.47	0.50	0.52	0.51	0.39	0.24	
5	0.42	0.54	0.36	0.49	0.30	0.44	0.51	0.51	0.51	0.39	0.24	
6	0.42	0.54	0.36	0.49	0.31	0.45	0.51	0.52	0.51	0.44	0.25	
7	0.39	0.54	0.35	0.49	0.30	0.47	0.50	0.52	0.52		0.24	
8	0.39	0.54	0.36	0.48	0.32	0.44	0.50	0.51	0.51		0.27	
平均值	0.39	0.54	0.35	0.49	0.31	0.44	0.50	0.52	0.51	0.40	0.24	
標準差	4.12%	0.37%	0.52%	0.48%	0.65%	3.50%	0.85%	0.37%	0.41%	1.89%	1.38%	
結果	球之間 差異最 大	球之間 差異最 小	反彈 係數 最大					球之間 差異最 小			反彈 係數 最小	
評判	大	小	最大					小			最小	

表 6

#### 5. 反彈係數關係圖

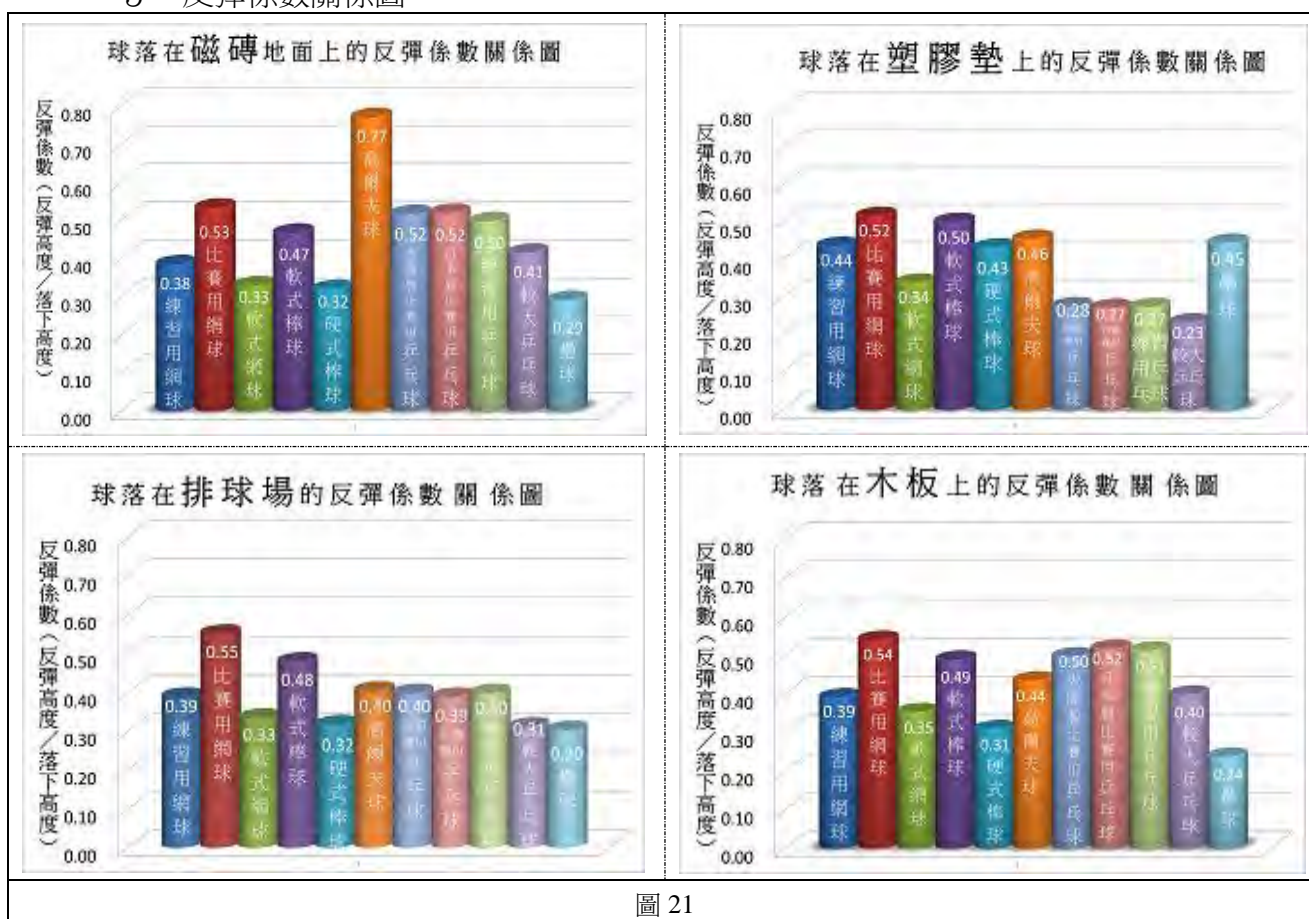


圖 21

- 40mm 的乒乓球，不論是日本製或大陸製，在同一種地面的反彈係數差異性小。
- 高爾夫球在磁磚的反彈係數最高，壘球的反彈係數最小。在磁磚上，各種球之間反彈係數差異大。
- 高爾夫球及乒乓球落在塑膠墊上，反彈係數降低最多。

(三) 探討球的自由落下的高度與球的反彈高度的關係 (實驗數據詳見實驗日誌)。

1. 密度小的球從越高的地方自由落下，反彈係數越低。

2. 由實驗結果可將球分類成三群，將之命名為 A，B，C。(如表 7)

群組	A				B			C				在標準狀況下的空氣密度為 1.293kgw/m <sup>3</sup> = 0.0013 gw/cm <sup>3</sup>
球的種類	乒乓球(較大)	乒乓球(練習用)	乒乓球(比賽-日製)	乒乓球(比賽-陸製)	高爾夫球	軟式棒球	硬式棒球	壘球	軟式網球	網球(練習用)	網球(比賽用)	
球自由落下高度	254 cm	127 cm	127 cm	127 cm	254 cm	254 cm	254 cm	254 cm	254 cm	254 cm	254 cm	
係數差	0.09	0.12	0.11	0.11	0.00	0.02	0.00	0.02	0.07	0.04	0.03	
平均質量(g)	2.35	2.74	2.76	2.75	45.78	134.88	144.54	200.97	29.55	60.10	57.86	
平均體積(cm <sup>3</sup> )	43.37	33.49	34.13	29.17	41.03	120.25	172.29	453.67	124.42	127.77	145.39	
平均密度(gw/cm <sup>3</sup> )	0.05	0.08	0.08	0.09	1.12	1.12	0.84	0.44	0.24	0.47	0.40	
結果評判	此組球密度最小，從越高的地方自由落下，反彈係數越低，易受空氣阻力的影響。				此組球的密度比空氣大很多，反彈係數較不受高度影響。			此組球密度次之，反彈係數也會因落下高度不同，而受到空氣阻力的影響。				

表 7

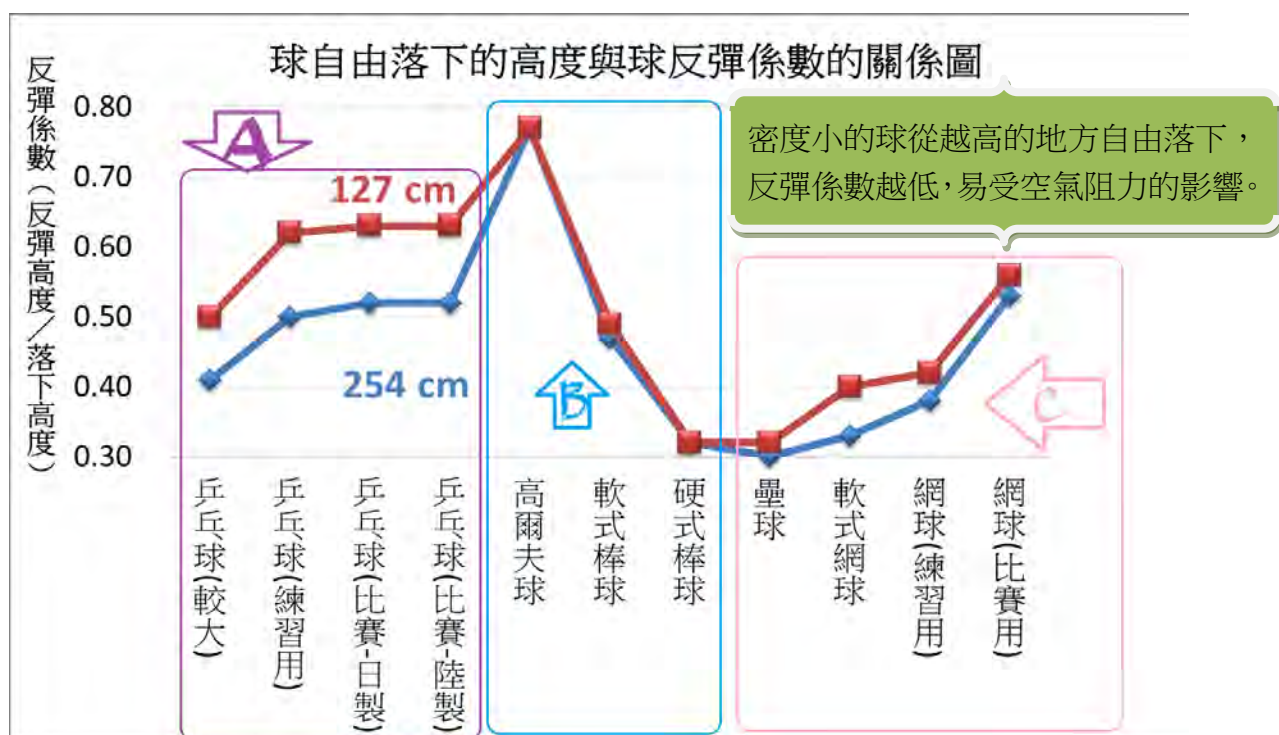


圖 22 球自由落下的高度與球反彈係數的關係圖

1. A 區 (密度小的乒乓球) 從越高的地方自由落下，反彈係數越低，反彈係數與原始高度呈負相關。
2. B 區 (高爾夫球及棒球) 反彈係數不受高度影響。
3. C 區 (網球及壘球) 密度居中，反彈係數隨著高度的增加而有些許的下降，密度是影響反彈係數的原因之一。

(四) 探討球的溫度與反彈高度的關係 (實驗數據詳見實驗日誌)。

1. 冷凍 (溫度 $-11^{\circ}\text{C}$ ): 使用編號 1 與編號 2 的球, 放入冷凍庫冷凍 24 小時。把球取出放在保溫袋內, 用溫度計測量球的溫度, 計時並測量球的反彈高度, 每 10 分鐘測量反彈高度一次, 直到反彈高度穩定為止。

- (1) 除了乒乓球以外, 其他的球冷凍後反彈係數變低, 軟式棒球降低最多。
- (2) 當球經過 24 小時回溫後, 反彈係數比原始係數略微增加。
- (3) 冷凍後的軟式網球會呈現凹陷狀。(如右圖 23)



圖 23

冷凍後的溫度 ( $-11^{\circ}\text{C}$ ) 與 球反彈係數 的關係							◆地面: 磁磚 ◆球自由落下高度: 127 公分					
時間間隔	球的類型	網球 (練習用)	網球 (比賽用)	軟式網球	硬式棒球	軟式棒球	高爾夫球	乒乓球 (賽用-陸製)	乒乓球 (賽用-日製)	乒乓球 (練習用)	乒乓球 (較大)	壘球 (練習用)
原始反彈係數		0.46	0.57	0.40	0.32	0.50	0.79	0.63	0.64	0.61	0.50	0.31
冷凍 24hrs 後		0.36	0.43	0.33	0.17	0.24	0.77	0.66	0.67	0.66	0.55	0.26
反彈係數變化量		-0.09	-0.14	-0.06	-0.15	-0.26	-0.02	0.03	0.03	0.05	0.05	-0.05
放	10 mins 後	0.46	0.56	0.46	0.27	0.42	0.80	0.66	0.65	0.65	0.56	0.32
	20 mins 後	0.47	0.59	0.47	0.29	0.49	0.80	0.65	0.66	0.64	0.56	0.31
	30 mins 後	0.48	0.61	0.48	0.33	0.52	0.80					0.32
	40 mins 後	0.47	0.61	0.48	0.36	0.52						0.32
	50 mins 後	0.48	0.60	0.49	0.36	0.55						0.32
	4 hrs 後	0.50	0.63	0.51	0.42	0.60	0.82	0.67	0.68	0.64	0.60	0.38
置	24 hrs 後	0.50	0.62	0.48	0.39	0.57	0.82	0.65	0.67	0.65	0.57	0.33
	反彈係數變化量	0.04	0.05	0.09	0.08	0.07	0.03	0.03	0.03	0.05	0.07	0.02
	標準差	0.04	0.06	0.06	0.07	0.11	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
	結果評判					差異最大	差異最小					

球在冷凍完的 24 小時後, 反彈係數略增加。

表 8

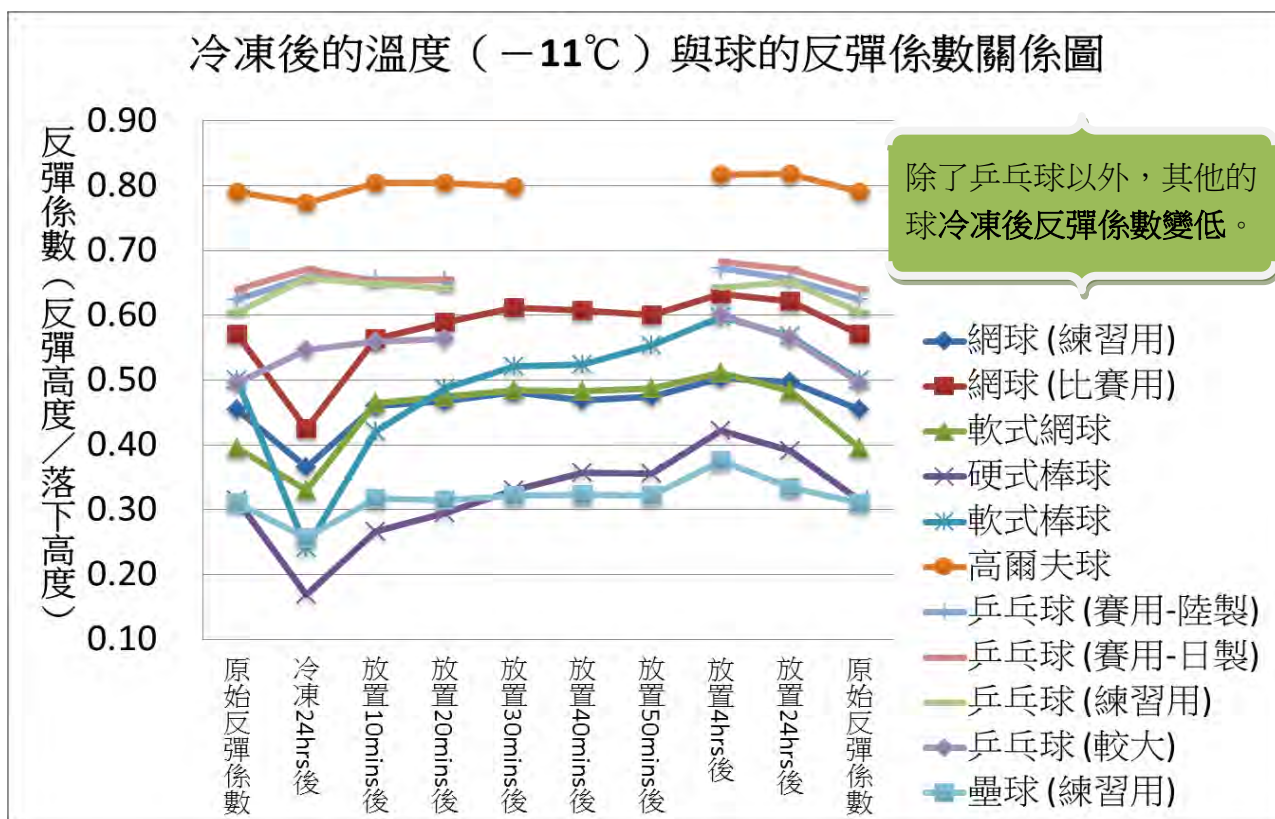


圖 24

2. 冷藏（溫度 7°C）：使用編號 3 與編號 4 的球，放入冷藏室冷藏 24 小時。

（1）與冷凍實驗比較，反彈係數變化不明顯。

冷藏後的溫度 (7°C) 與 球反彈係數 的關係							◆地面：磁磚 ◆球自由落下高度：1 2 7 公分				
時間間隔 \ 球的類型	網球 (練習用)	網球 (比賽用)	軟式 網球	硬式 棒球	軟式 棒球	高爾 夫球	乒乓球 (賽用-陸製)	乒乓球 (賽用-日製)	乒乓球 (練習用)	乒乓球 (較大)	壘球 (練習用)
原始反彈係數	0.37	0.56	0.40	0.31	0.49	0.78	0.63	0.63	0.62	0.52	0.31
冷藏 24hrs 後	0.38	0.55	0.43	0.34	0.49	0.77	0.65	0.65	0.65	0.57	0.29
反彈係數變化量	0.01	-0.01	0.02	0.03	0.00	-0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	-0.02
放 10 mins 後	0.45	0.59	0.52	0.37	0.52	0.79	0.65	0.66	0.65	0.57	0.31
20 mins 後	0.45	0.62	0.52	0.39	0.56	0.79					0.32
30 mins 後		0.63	0.53	0.39	0.60						
40 mins 後					0.59						
4 hrs 後						0.82	0.66	0.66	0.65	0.59	0.36
置 24 hrs 後	0.43	0.62	0.48	0.39	0.59	0.82	0.66	0.66	0.65	0.59	0.36
反彈係數變化量	0.05	0.07	0.05	0.05	0.10	0.06	0.01	0.00	0.01	0.02	0.07
標準差	0.04	0.03	0.05	0.03	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03
結果評判			差異最 大		差異最 大		差異最小				
球在冷藏完的24小時後，反彈係數略增加。											

表 9

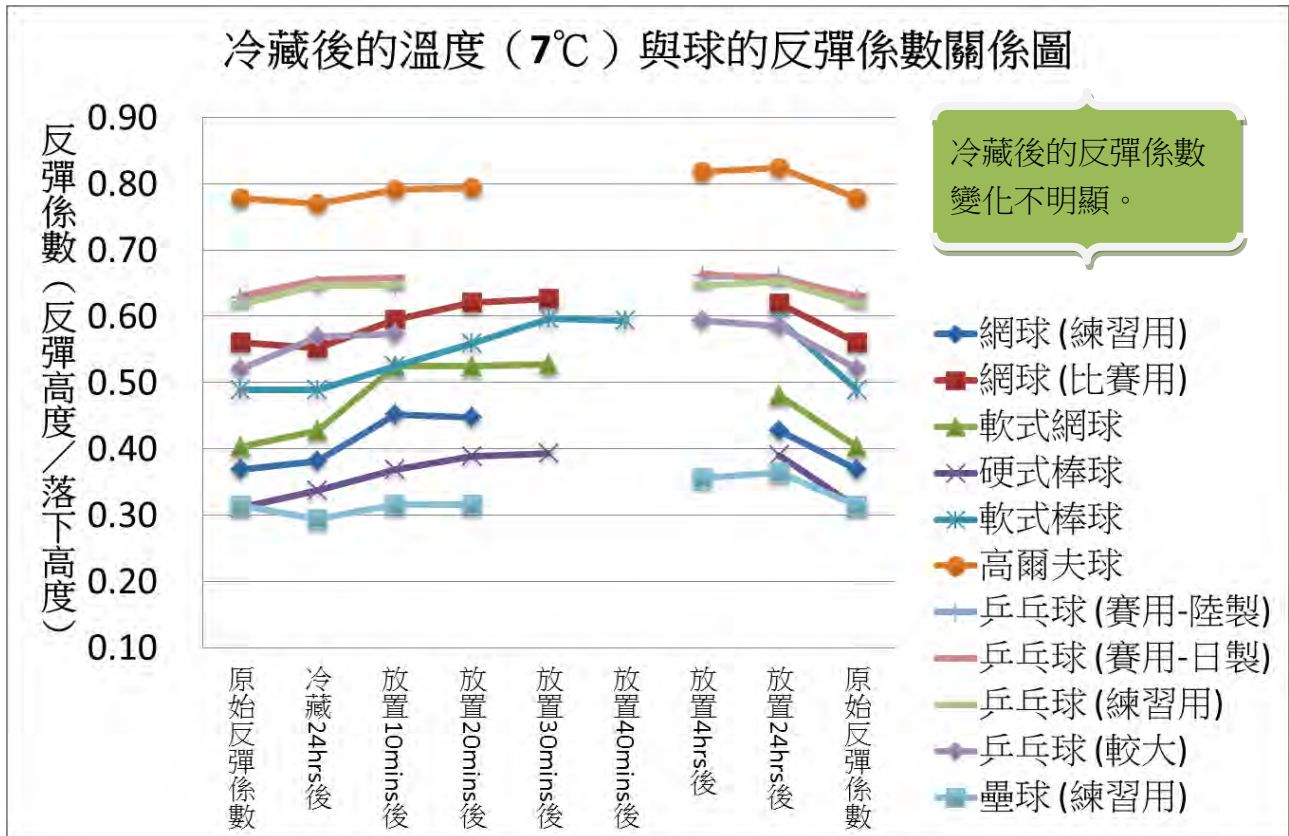


圖 25

3. 蒸飯箱（溫度 50°C）：使用編號 5 與編號 6 的球，放入蒸飯箱加熱 30 分鐘。

(1) 放在蒸飯箱的球全部無法承受高溫。(如右圖 26)

(2) 網球「受傷」最輕，只有表面的絨毛輕微變黃。

(3) 高爾夫球嚴重變形。壘球呈現爆裂狀態。

(4) 乒乓球全部熔毀，只剩一小團黑色物質(如右圖 27)，所以無法進行後續實驗。

(5) 軟式棒球的反彈係數增加最多。



圖 26



圖 27

蒸飯箱加熱後的溫度 (40°C) 與 球反彈係數 的關係							◆地面：磁磚 ◆球自由落下高度：1 2 7 公分				
時間間隔	網球 (練習用)	網球 (比賽用)	軟式 網球	硬式 棒球	軟式 棒球	高爾 夫球	乒乓球 (賽用-陸製)	乒乓球 (賽用-日製)	乒乓球 (練習用)	乒乓球 (較大)	壘球 (練習用)
原始反彈係數	0.44	0.56	0.39	0.32	0.48	0.79	熔毀	熔毀	熔毀	熔毀	0.31
加熱 30分鐘後	0.58	0.66	0.53	0.49	0.68	0.76					0.32
反彈係數變化量	0.14	0.10	0.14	0.17	0.20	-0.03					0.01
放 10 mins後	0.52	0.64	0.46	0.43	0.65	0.80					0.33
20 mins後	0.49	0.64	0.46	0.44	0.64	0.77					0.33
30 mins後	0.49				0.62	0.79					
40 mins後					0.62						
置 24 hrs後	0.48	0.62	0.45	0.41	0.58	0.80					0.34
反彈係數變化量	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.01					0.02
標準差	0.05	0.04	0.05	0.06	0.06	0.01					0.01
結果評判				差異最大		差異最 小					差異最 小
除乒乓球外，球在加熱完的24小時後，反彈係數略增加。											

表 10

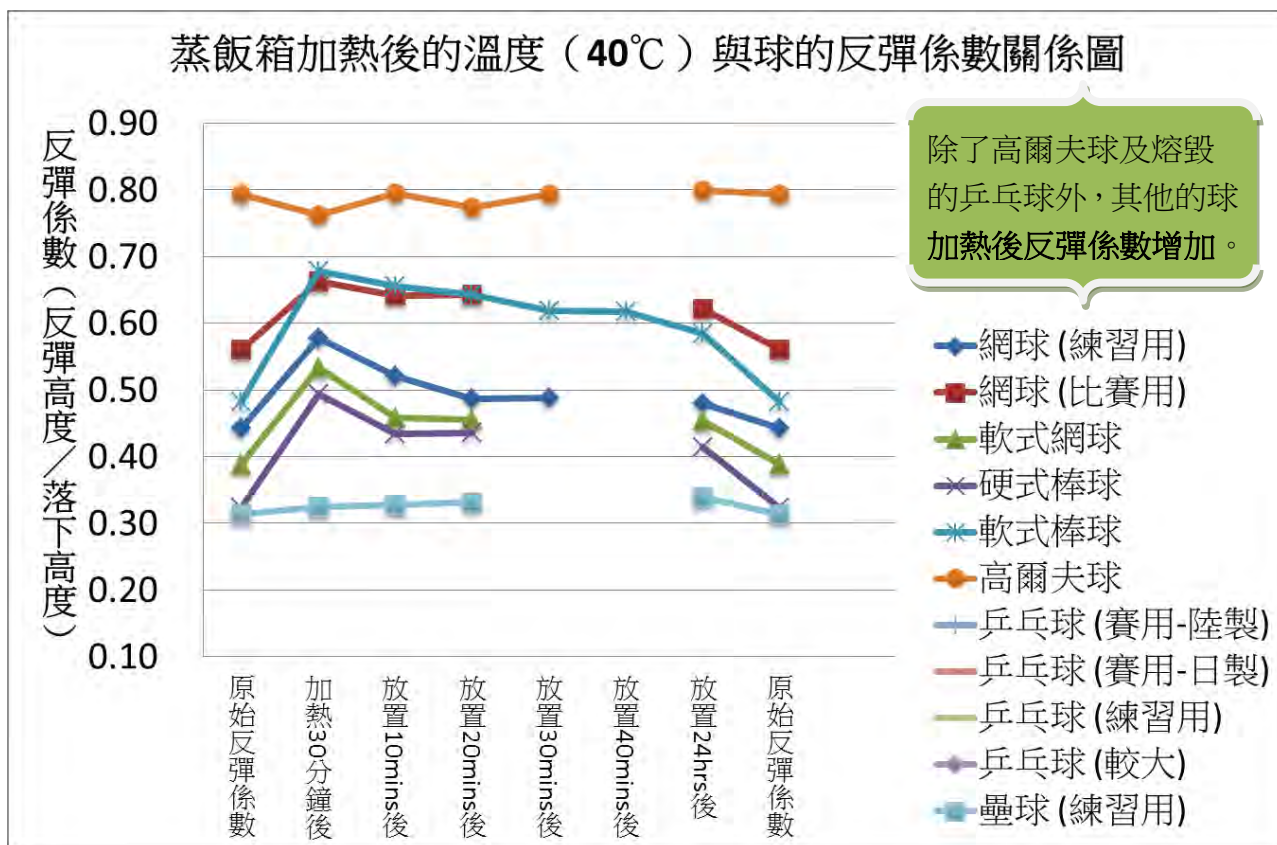


圖 28

4. 隔水加熱（溫度 50°C）：使用編號 7 與編號 8 的球，放入熱水中隔水加熱 30 分鐘。

（1）用隔水加熱的方法加熱後，球的第一個反彈係數都增加了。

（2）軟式網球反彈係數增加最多。

隔水加熱後的溫度（50°C）與 球反彈係數 的關係							◆地面：磁磚		◆球自由落下高度：1 2 7 公分		
時間間隔	網球 (練習用)	網球 (比賽用)	軟式 網球	硬式 棒球	軟式 棒球	高爾 夫球	乒乓球 (賽用-陸製)	乒乓球 (賽用-日製)	乒乓球 (練習用)	乒乓球 (較大)	壘球 (練習用)
原始反彈係數	0.40	0.56	0.39	0.32	0.50	0.75	0.62	0.63	0.62		0.33
加熱 30分鐘後	0.56	0.67	0.62	0.52	0.69	0.79	0.64	0.67	0.64		0.38
反彈係數變化量	0.16	0.11	0.23	0.20	0.19	0.04	0.02	0.03	0.02		0.05
放 10 mins後	0.49	0.65	0.53	0.45	0.64	0.79	0.65	0.67	0.64		0.37
置 20 mins後	0.48	0.63	0.49	0.44	0.62	0.79	0.65	0.66	0.64		0.36
30 mins後	0.49	0.63	0.48	0.43	0.62						0.36
24 hrs後	0.48	0.63	0.49	0.40	0.58	0.79	0.66	0.66	0.65		0.35
反彈係數變化量	0.08	0.06	0.09	0.08	0.08	0.03	0.04	0.03	0.03		0.02
標準差	0.05	0.04	0.07	0.07	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01		0.02
結果評判			差異最大				差異最小				
球在加熱完的24小時後，反彈係數略增加。											

表 11

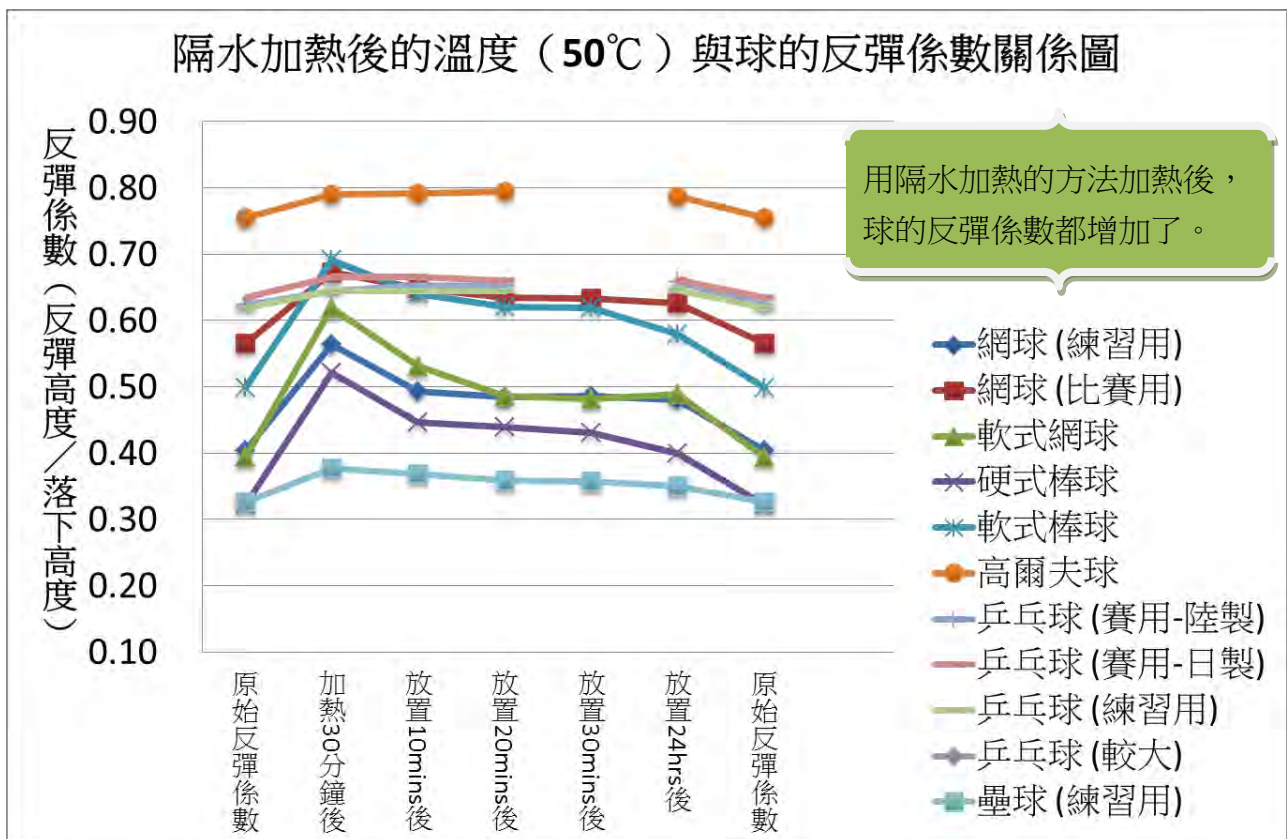


圖 29

◆延伸實驗 1：

因為做「球的溫度與反彈高度的關係」實驗後發現，不管球的溫度上升或下降，取出球24小時後，其反彈係數皆增加了（其實大部分的球增加的反彈高度不超過10公分，應該都是在合理的範圍內。）但本小組反覆思量在實驗過程中是否有甚麼因素在當時沒有更慎重考量到，接著想到要進行溫度實驗時，因為怕球的材質會因溫度而損壞，所以決定將溫度的實驗擺在測量彈性的實驗之後，結果等到要進行溫度這一部分實驗時，每一顆球都至少彈了200下，這會不會也是反彈係數增加的原因呢？

所以再設計兩個延伸實驗來印證本小組的推測，討論後決定使用六顆全新的硬式棒球與軟式網球來進行，因為這兩種球在之前的溫度實驗下的變化曲線相似度頗高。冷凍、冷藏（皆24小時）及隔水加熱（30分鐘）的時間；球自由落下高度為127公分；在磁磚地面上；控制變因皆與之前設計的相同，藉此來驗證「球的溫度」是否真的會影響其「反彈高度」。

實驗結果發現了溫度的改變會造成球的反彈高度（係數）些微下降。

球的類型	硬式棒球						軟式網球						
	球號	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
反彈係數													
原始反彈係數	0.43	0.42	0.43	0.42	0.41	0.41	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
冷凍後的反彈係數	0.43	0.41	/	/	/	/	0.49	0.48	/	/	/	/	/
冷凍後的反彈係數	/	/	0.41	0.40	/	/	/	/	0.48	0.49	/	/	/
冷凍後的反彈係數	/	/	/	/	0.40	0.40	/	/	/	/	/	0.50	0.49
反彈係數差	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01

表 12

球在冷凍後的溫度（-11℃）

球的類型	硬式棒球						軟式網球						
	球號	1			2			1			2		
時間區隔		測量次數			測量次數			測量次數			測量次數		
常溫下		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
平均高度		55			53			63			64		
反彈係數		0.43			0.42			0.50			0.50		
24小時後		54	54	54	53	52	52	62	63	60	63	60	61
平均高度		54			52			62			61		
反彈係數		0.43			0.41			0.49			0.48		
反彈係數差		-0.01			-0.01			-0.01			-0.02		

球在冷藏後的溫度（7℃）

球的類型	硬式棒球						軟式網球						
	球號	3			4			3			4		
時間區隔		測量次數			測量次數			測量次數			測量次數		
常溫下		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
平均高度		54			53			64			64		
反彈係數		0.43			0.42			0.50			0.50		
24小時後		53	52	52	52	51	51	60	61	61	62	62	62
平均高度		52			51			61			62		
反彈係數		0.41			0.40			0.48			0.49		
反彈係數差		-0.02			-0.02			-0.02			-0.02		

球在隔水加熱後的溫度（50℃）

球的類型	硬式棒球						軟式網球						
	球號	5			6			5			6		
時間區隔		測量次數			測量次數			測量次數			測量次數		
常溫下		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
平均高度		52			52			64			63		
反彈係數		0.41			0.41			0.50			0.50		
24小時後		51	51	52	50	51	51	63	63	64	62	63	62
平均高度		51			51			63			62		
反彈係數		0.40			0.40			0.50			0.49		
反彈係數差		-0.01			-0.01			-0.01			-0.01		

表 13

◆延伸實驗 2：

由延伸實驗 1 得知，溫度只能對反彈係數產生短暫的影響，那麼是否彈地次數的多寡才是讓球的反彈係數上升的因素呢？接著就設計了「彈地次數的多寡與球反彈高度」的實驗。

實驗結果發現彈地500下的軟式網球的確會因為彈地次數的增加而使得球的反彈係數逐漸上升，可是硬式棒球並不會有這樣的表現，我們推測可能是因為我們並非使用球棒來擊球，未來有機會的話會朝著這個方向再深入研究。

實驗結果發現了軟式網球與硬式棒球的彈跳次數介於500下到1000下之間時，反彈係數皆呈現下降的曲線，本小組推測是因為這些球碰撞磁磚所受的總合力使球超過了其「彈性限度」或出現「彈性疲乏」的狀態，所以反彈係數才有此改變。

軟式網球的反彈次數與反彈係數紀錄表

種類 球號	軟式 網球1	軟式 網球2	軟式 網球3	軟式 網球4	軟式 網球5	軟式 網球6
原始反彈係數	0.53	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52
彈跳100下	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53
彈跳200下	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.54
彈跳300下	0.53	0.53	0.53	0.52	0.54	0.55
彈跳400下	0.54	0.53	0.52	0.54	0.53	0.54
彈跳500下	0.54	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
彈跳1000下	0.48	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48
彈跳1500下	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.49
彈跳2000下	0.48	0.48	0.49	0.48	0.49	0.49
結果評判	彈跳500下以內的軟式網球反彈係數「會」隨著使用次數的增加而跟著上升；但隨著次數增多，反彈係數竟不升反降。					

表 14

軟式網球的反彈次數與反彈係數關係圖

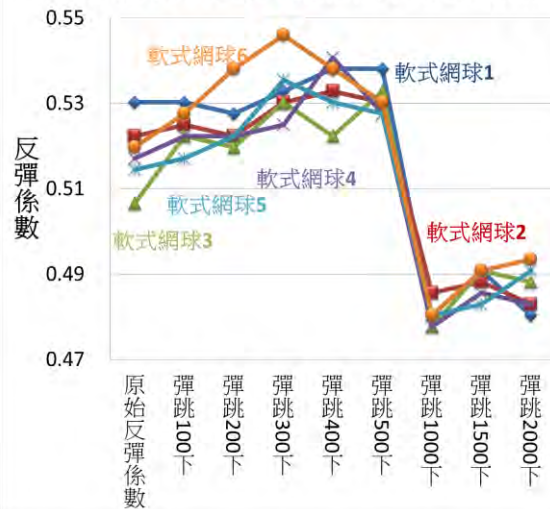


圖 30

硬式棒球的反彈次數與反彈係數紀錄表

種類 球號	硬式 棒球1	硬式 棒球2	硬式 棒球3	硬式 棒球4	硬式 棒球5	硬式 棒球6
原始反彈係數	0.46	0.45	0.46	0.44	0.43	0.43
彈跳100下	0.45	0.46	0.47	0.44	0.43	0.43
彈跳200下	0.45	0.46	0.47	0.44	0.43	0.44
彈跳300下	0.46	0.45	0.48	0.44	0.43	0.43
彈跳400下	0.47	0.47	0.47	0.45	0.43	0.43
彈跳500下	0.46	0.47	0.46	0.47	0.43	0.44
彈跳1000下	0.43	0.43	0.42	0.43	0.41	0.41
彈跳1500下	0.43	0.43	0.42	0.43	0.41	0.40
彈跳2000下	0.41	0.41	0.41	0.40	0.41	0.41
結果評判	彈跳500下以內的硬式棒球之反彈係數「不會」隨著使用次數增加而跟著上升；但隨著次數增多，反彈係數竟下降。					

表 15

硬式棒球的反彈次數與反彈係數關係圖

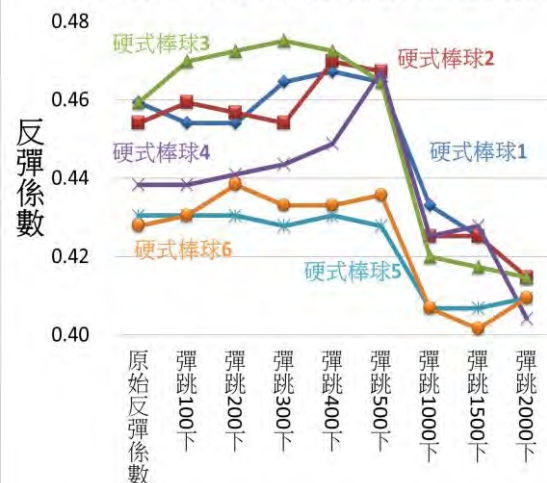


圖 31



二、研究二：探討不同材質的地面與球的反彈高度的關係（實驗數據詳見實驗日誌）。

- (一) 多數的球在四種不同材質地面的反彈係數皆產生差異。
- (二) 表面有彈性的球在各種材質地面的反彈係數差異很小，如軟式網球。
- (三) **表面硬的球**：如高爾夫球及標準尺寸的乒乓球，**落在材質較軟的地面時，反彈係數明顯下降。**
- (四) 練習用網球、硬式棒球和壘球落在塑膠墊時，反彈係數增加。

不同材質的地面對球反彈係數的影響											◆球自由落下高度：254cm
場地 \ 球的種類	網球 (練習用)	網球 (比賽用)	軟式 網球	軟式 棒球	硬式 棒球	高爾 夫球	乒乓球 (比賽-陸製)	乒乓球 (比賽-日製)	乒乓球 (練習用)	乒乓球 (較大)	壘球
磁磚	0.38	0.53	0.33	0.47	0.32	0.77	0.52	0.52	0.49	0.41	0.30
木板	0.39	0.54	0.35	0.49	0.31	0.44	0.50	0.52	0.51	0.40	0.24
排球場	0.39	0.55	0.33	0.48	0.32	0.40	0.40	0.39	0.40	0.31	0.30
塑膠墊	0.44	0.52	0.34	0.50	0.43	0.46	0.28	0.27	0.27	0.23	0.45
標準差	2.60%	1.40%	1.09%	1.56%	5.94%	17.24%	11.03%	11.76%	10.90%	8.41%	8.77%
結果評判			差異 最小			差異 最大					

表 16

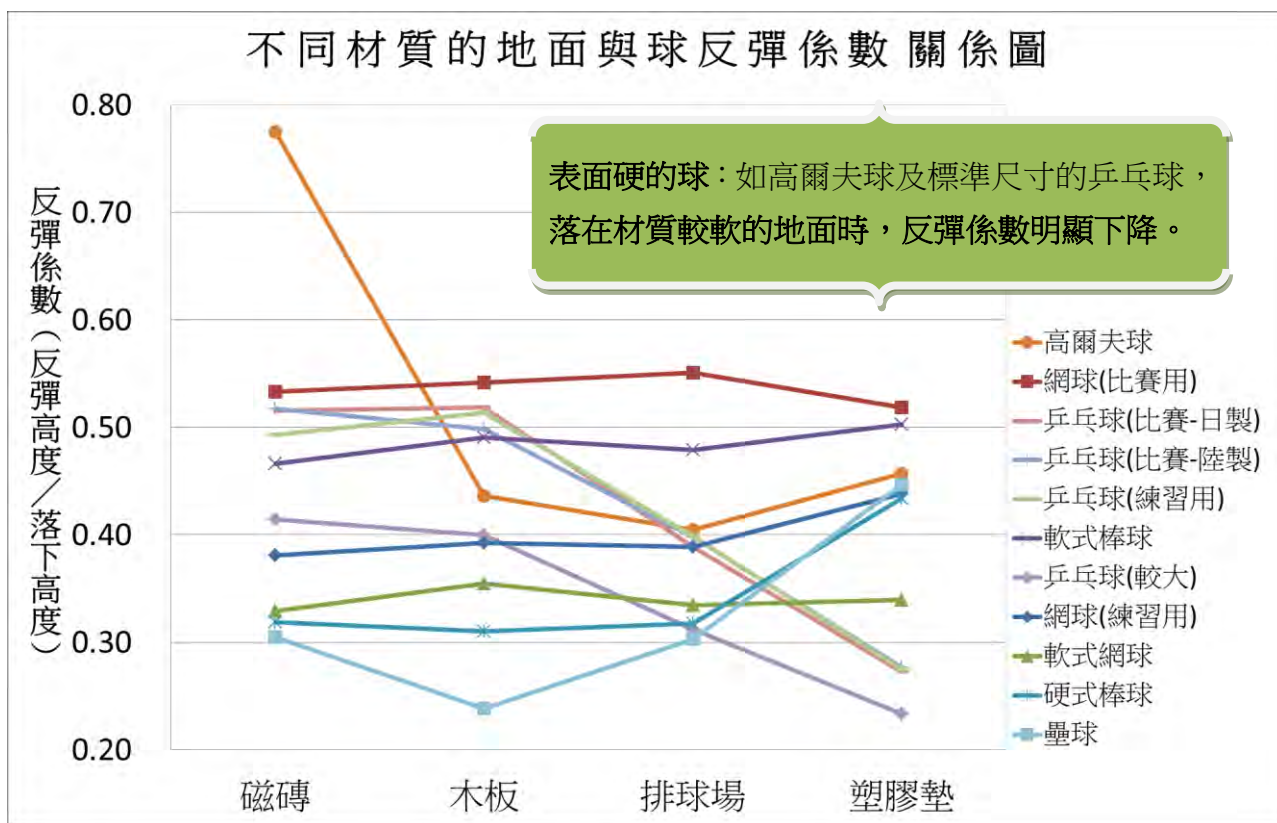


圖 32

◆延伸實驗 3：

針對高爾夫球的比賽場地為草地以及常有沙坑座落其中，本小組對球落在其上的反彈現象也感到相當有興趣，所以就產生了延伸實驗 3；但在這兩個場地中，球自由落下高度 254 公分實在是不容易做到，因此決定就以球自由落下高度 127 公分來做為此次的控制變因。

		◆球自由落下高度：127 cm										
球的種類 地面材質	網球 (練習用)	網球 (比賽用)	軟式 網球	軟式 棒球	硬式 棒球	高爾 夫球	壘球	乒乓球 (比賽-陸製)	乒乓球 (比賽-日製)	乒乓球 (練習用)	乒乓球 (較大)	
磁磚	0.38	0.53	0.33	0.47	0.32	0.77	0.30	0.52	0.52	0.50	0.41	
草地	0.31	0.32	0.35	0.23	0.31	0.00	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	
沙地	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
結果評判			皆會 反彈				球落在草地上幾乎反彈不起來，而落在沙地上則是完全不反彈。					

表 17

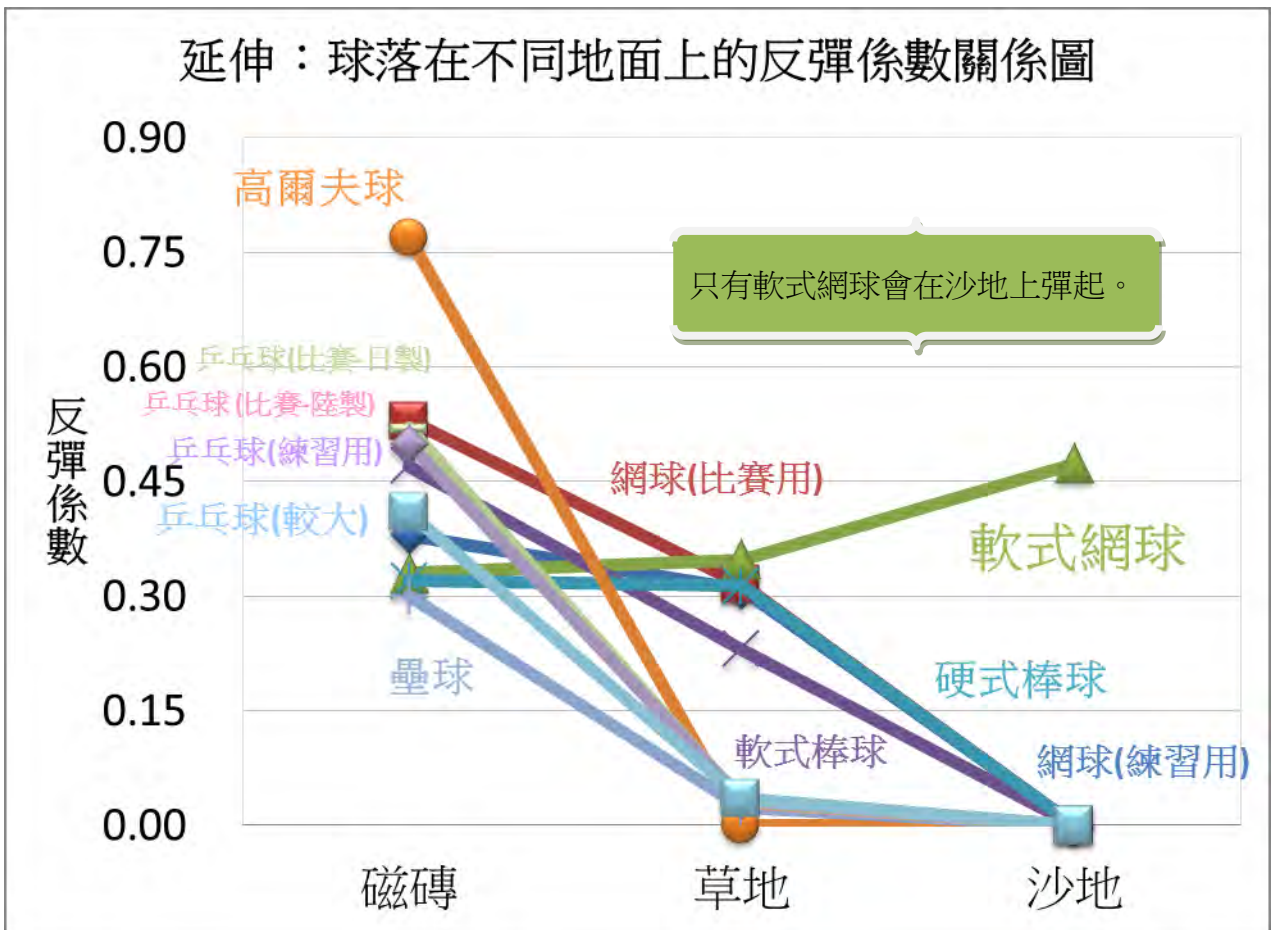


圖 33

◆延伸實驗4：

記得小時候常在沙坑中玩耍，玩伴們都一定要加水玩，沙與水混著之後，大家才能盡興地塑造出自己想要的東西，塑形起來也容易許多。在沙裡面添加水之後，沙的特性也跟著改變了，那麼球的反彈是否會有不一樣的反應呢？於是乎就展開了延伸實驗 4。

選擇在延伸實驗 3 中的落在沙地上會反彈起來的軟式網球以及不反彈的硬式棒球來當作控制變因，藉以比較實驗結果。又由於操縱變因為「水量」，所以我們把戶外的沙坑改為用玻璃水槽裝入5.2公斤重的乾沙來施行這部分的實驗。

結果發現材質堅硬的硬式棒球落在加水後的沙坑，反彈係數有明顯上升。不過沙裝入水槽後，沙粒可以移動的空間變小，以至於本來在沙坑中完全不反彈的硬式棒球，竟然落在水槽裡的沙上會產生反彈現象。

場地：5.2Kgw的沙坑		◆球自由落下高度：1 2 7公分					
球號	種類	硬式棒球1	硬式棒球2	硬式棒球3	軟式網球1	軟式網球2	軟式網球3
常溫、乾燥		0.16	0.20	0.18	0.45	0.42	0.43
加水100公克		0.24	0.28	0.31	0.45	0.45	0.45
加水200公克		0.31	0.33	0.33	0.45	0.47	0.48
加水300公克		0.32	0.34	0.34	0.47	0.47	0.47
加水400公克		0.31	0.33	0.33	0.47	0.46	0.47
加水500公克		0.32	0.33	0.33	0.47	0.47	0.47
加水600公克		0.31	0.36	0.35	0.46	0.47	0.47
加水700公克		0.32	0.32	0.32	0.46	0.47	0.47
加水800公克		0.31	0.34	0.36	0.49	0.49	0.48
標準差		5.45%	4.74%	5.52%	1.33%	1.82%	1.43%
結果評判		材質堅硬的硬式棒球落在加水後的沙坑，反彈係數明顯上升。			軟式網球在沙坑的乾溼上所表現的反彈係數變化不大。		

表 18

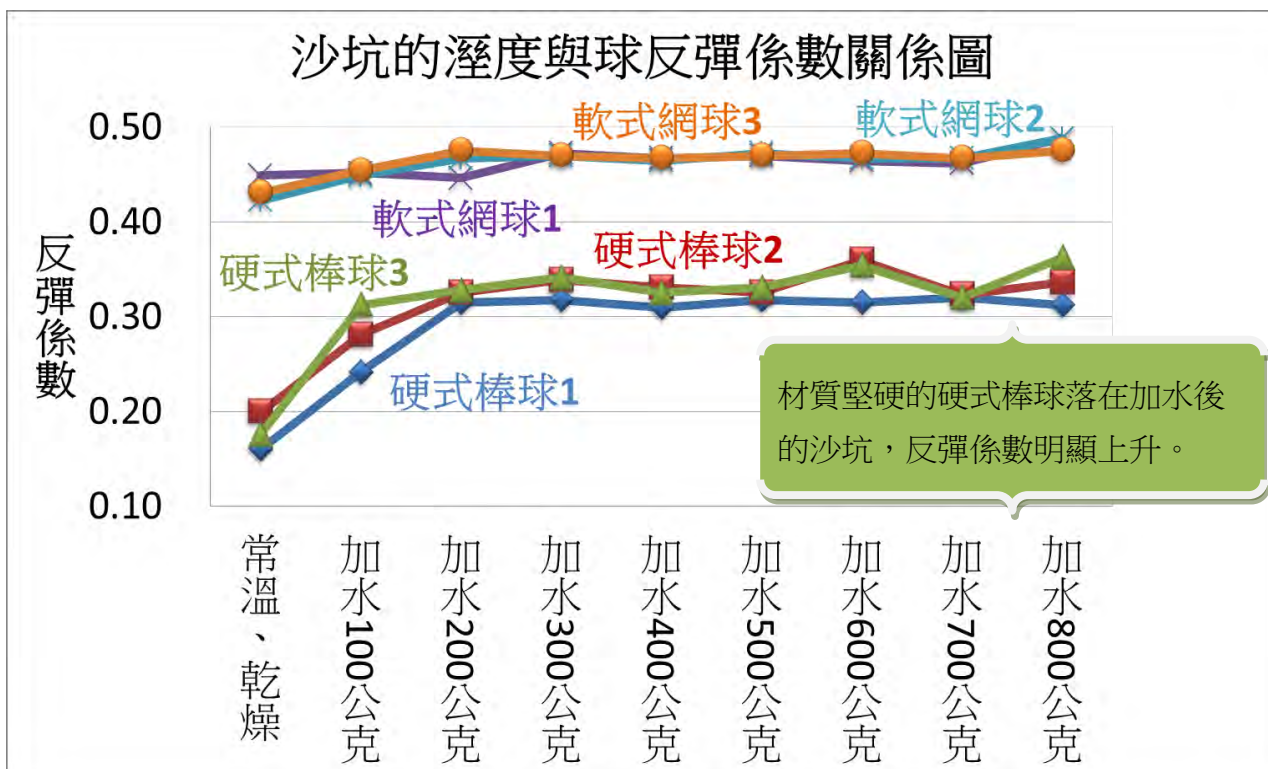


圖 34

### 三、研究三：探討自製的球拍：

(一) 線的纏繞方法與球反彈高度的關係 (實驗數據詳見實驗日誌)。

◆如圖 35：在一張 40cmx40cm 的海報紙上畫上均分的九宮格；再將自製球拍置於其上來固定球拍拍面位置以進行實驗。



1. 第一代球拍 (圖 14)：失敗！球穿過網線，橫線縱線完全變形走位。 圖 35
2. 第二代球拍 (8 號釣魚線、每根鐵釘繞兩圈固定長度) (圖 14)：

只有軟式網球可以進行實驗。球落下的位置對反彈係數的影響少，不同格子內的反彈係數差異小。

球號 \ 網的位置(格)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.67	0.70	0.66	0.68	0.72	0.69	0.71	0.72	0.69
2	0.68	0.72	0.72	0.72	0.75	0.71	0.71	0.71	0.64
3	0.68	0.73	0.69	0.72	0.74	0.70	0.72	0.71	0.70
4	0.68	0.73	0.67	0.70	0.73	0.71	0.67	0.72	0.70
5	0.70	0.71	0.70	0.71	0.73	0.71	0.69	0.70	0.71
6	0.68	0.72	0.68	0.69	0.74	0.71	0.69	0.72	0.71
7	0.67	0.71	0.69	0.68	0.74	0.70	0.68	0.70	0.71
8	0.67	0.71	0.71	0.68	0.75	0.71	0.70	0.71	0.71
平均值	0.68	0.72	0.69	0.70	0.74	0.71	0.70	0.71	0.70
標準差	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
結果評判	最低				最高				

表 19

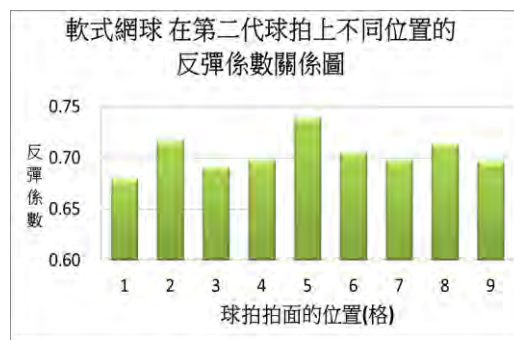


圖 36

3. 第三代球拍 (8 號釣魚線、每根網長固定為 40cm) (圖 14)：

軟式網球和硬式網球都可以進行實驗。因為要與第二代球拍做比較，所以採用軟式網球的數據來進行比較。不同格子內的反彈係數差異較大。

球號 \ 網的位置(格)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.67	0.68	0.67	0.68	0.70	0.66	0.67	0.61	0.62
2	0.68	0.67	0.63	0.67	0.69	0.66	0.67	0.67	0.60
3	0.67	0.67	0.66	0.67	0.70	0.66	0.67	0.64	0.59
4	0.66	0.68	0.69	0.67	0.73	0.68	0.67	0.68	0.66
5	0.65	0.66	0.66	0.66	0.73	0.72	0.64	0.64	0.65
6	0.64	0.67	0.66	0.70	0.74	0.72	0.63	0.64	0.64
7	0.66	0.71	0.70	0.66	0.73	0.71	0.65	0.63	0.64
8	0.65	0.69	0.69	0.70	0.75	0.73	0.64	0.64	0.65
平均值	0.66	0.68	0.67	0.68	0.72	0.69	0.65	0.64	0.63
標準差	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03
結果評判					最高				最低

表 20

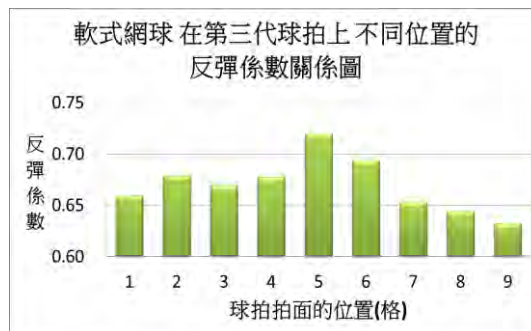


圖 37

4. 球拍上面線的纏繞方法與球反彈高度的關係 (球自由落下高度：127 公分)：

在第二、三代球拍中，球落在第五格 (網面最中間位置) 的反彈係數最高，每一次球反彈高度的穩定性也高。

球號 \ 網的位置(格)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	標準差
第二代	0.68	0.72	0.69	0.70	0.74	0.71	0.70	0.71	0.70	1.73%
第三代	0.66	0.68	0.67	0.68	0.72	0.69	0.65	0.64	0.63	2.67%
平均值	0.67	0.70	0.68	0.69	0.73	0.70	0.68	0.68	0.66	
係數差	-0.02	-0.04	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.04	-0.07	-0.06	
結果評判					最高	差最少		差最多	最低	

表 21

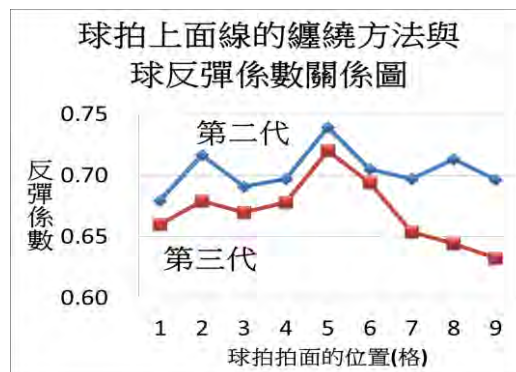


圖 38

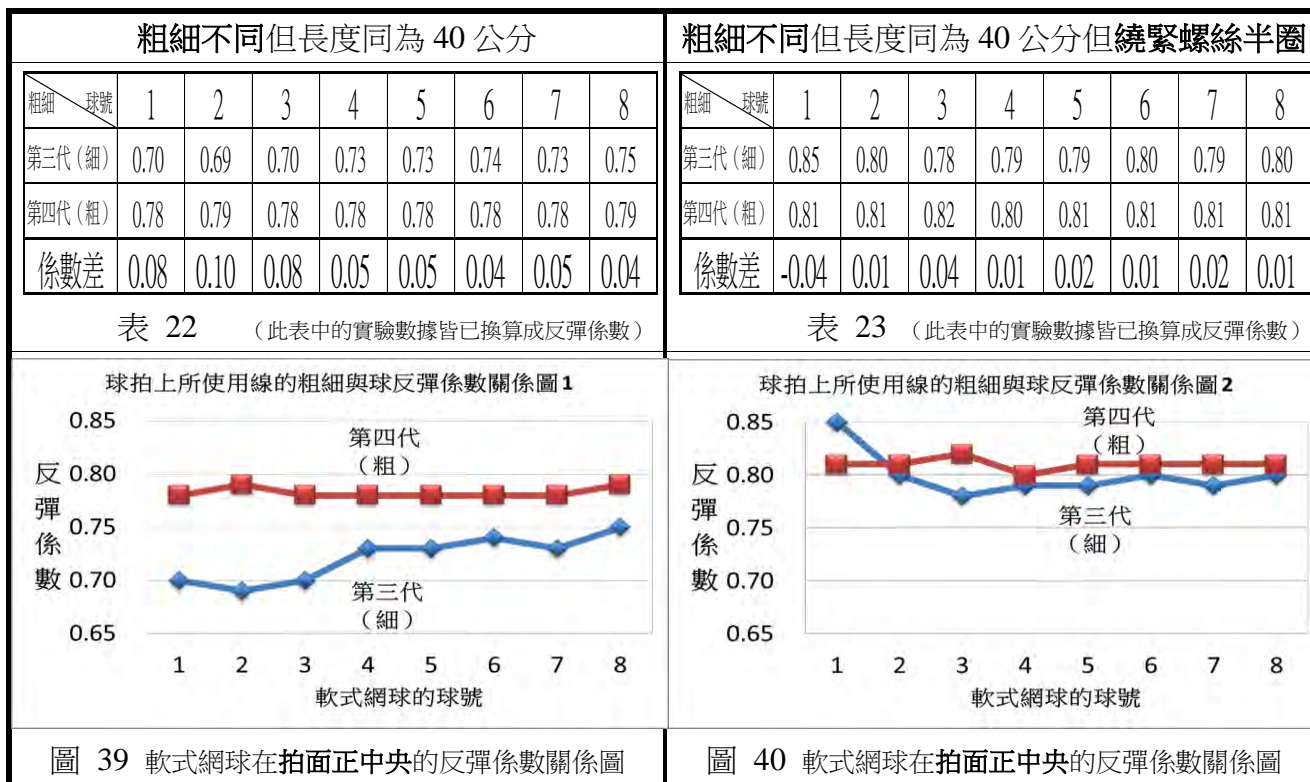
(二) 線的粗細與球反彈高度的關係 (實驗數據詳見實驗日誌)。

◆使用自製第三代 (8 號釣魚線) 及第四代 (12 號釣魚線) 球拍。

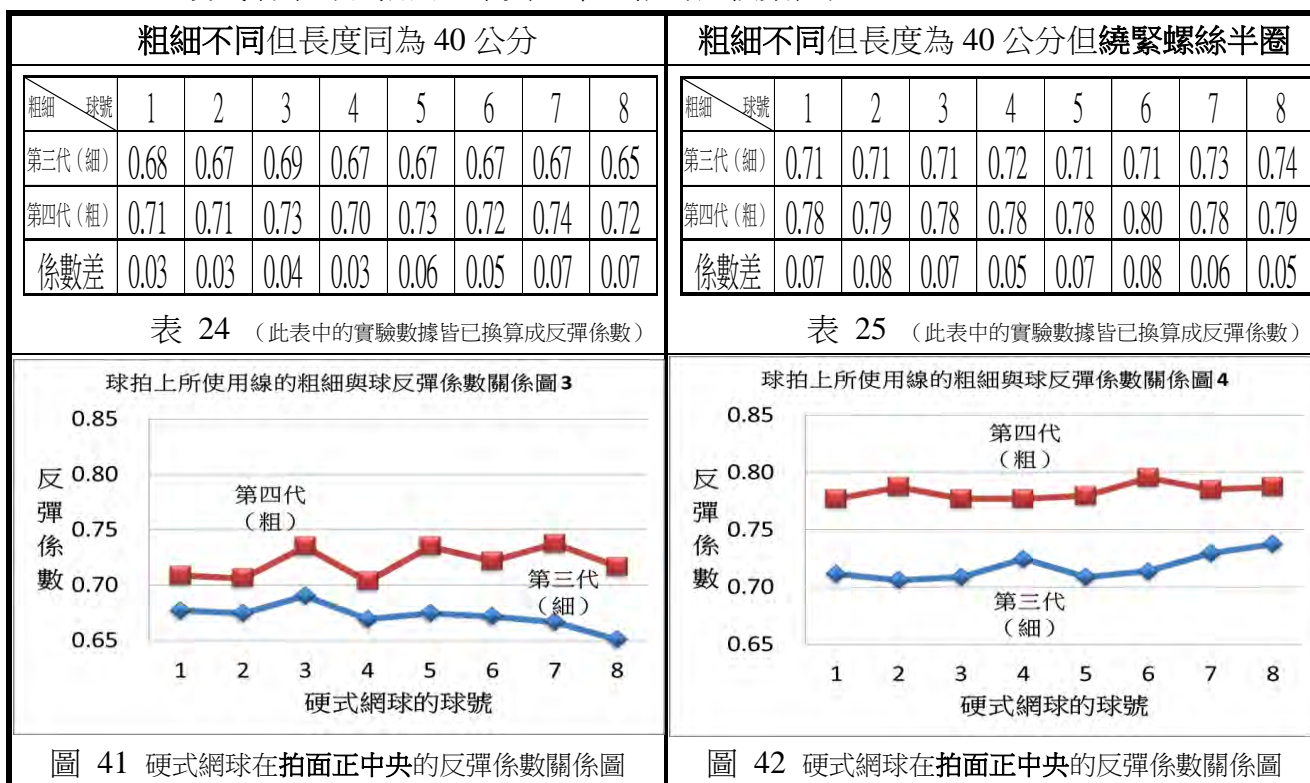
1. 釣魚線的直徑與反彈係數呈正相關。

2. 線越粗, 反彈係數越大。

3. 軟式網球 (以拍面正中央---第 5 格為比較數值)



4. 硬式網球 (以拍面正中央---第 5 格為比較數值)



(三) 線的鬆緊與球反彈高度的關係 (實驗數據詳見實驗日誌)。

◆使用自製第三代 (8 號釣魚線) 及第四代 (12 號釣魚線) 球拍。

1. 球落在未拴緊的網子上, 反彈係數差距較大; 拴緊的線可使反彈係數差距縮小。
2. 線旋緊的程度與反彈係數呈正相關。
3. 硬式網球在鬆、緊兩種網子上呈現的反彈係數差異性較軟式網球大。

#### 4. 軟式網球 (以拍面正中央---第 5 格為比較數值)

自製第三代球拍 (8 號釣魚線)									自製第四代球拍 (12 號釣魚線)								
線長 \ 球號	1	2	3	4	5	6	7	8	線長 \ 球號	1	2	3	4	5	6	7	8
40 cm (鬆)	0.70	0.69	0.70	0.73	0.73	0.74	0.73	0.75	40 cm (鬆)	0.78	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.79
< 40 cm (緊)	0.85	0.80	0.78	0.79	0.79	0.80	0.79	0.80	< 40 cm (緊)	0.81	0.81	0.82	0.80	0.81	0.81	0.81	0.81
係數差	0.15	0.11	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	係數差	-0.04	0.02	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01

表 26 (此表中的實驗數據皆已換算成反彈係數)

表 27 (此表中的實驗數據皆已換算成反彈係數)

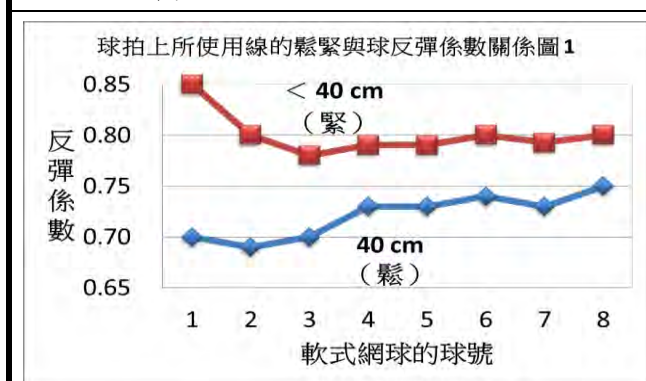


圖 43 軟式網球在不同鬆緊拍面的反彈係數關係圖

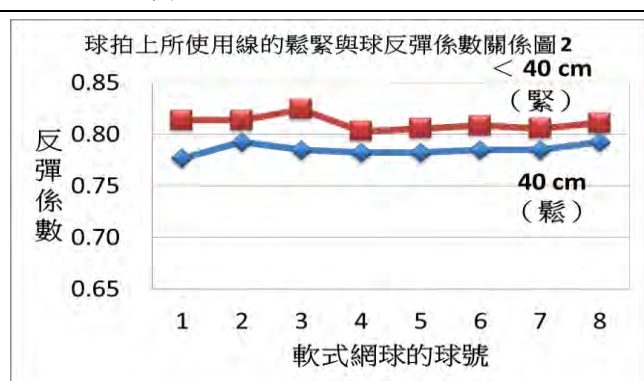


圖 44 軟式網球在不同鬆緊拍面的反彈係數關係圖

#### 5. 硬式網球 (以拍面正中央---第 5 格為比較數值)

自製第三代球拍 (8 號釣魚線)									自製第四代球拍 (12 號釣魚線)								
線長 \ 球號	1	2	3	4	5	6	7	8	線長 \ 球號	1	2	3	4	5	6	7	8
40 cm (鬆)	0.68	0.67	0.69	0.67	0.67	0.67	0.67	0.65	40 cm (鬆)	0.71	0.71	0.73	0.70	0.73	0.72	0.74	0.72
< 40 cm (緊)	0.71	0.71	0.71	0.72	0.71	0.71	0.73	0.74	< 40 cm (緊)	0.78	0.79	0.78	0.78	0.78	0.80	0.78	0.79
係數差	0.03	0.03	0.04	0.03	0.06	0.05	0.07	0.07	係數差	0.07	0.08	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.05

表 28 (此表中的實驗數據皆已換算成反彈係數)

表 29 (此表中的實驗數據皆已換算成反彈係數)

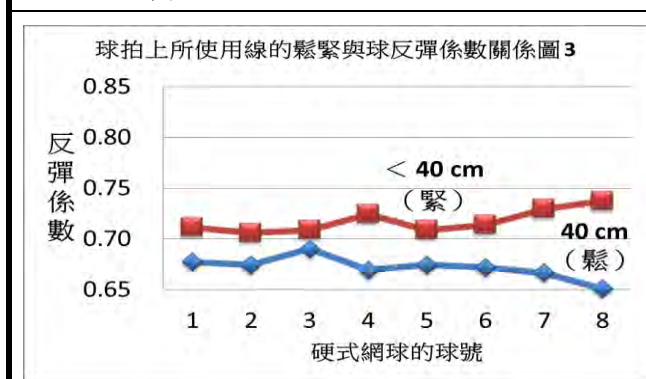


圖 45 硬式網球在不同鬆緊拍面的反彈係數關係圖

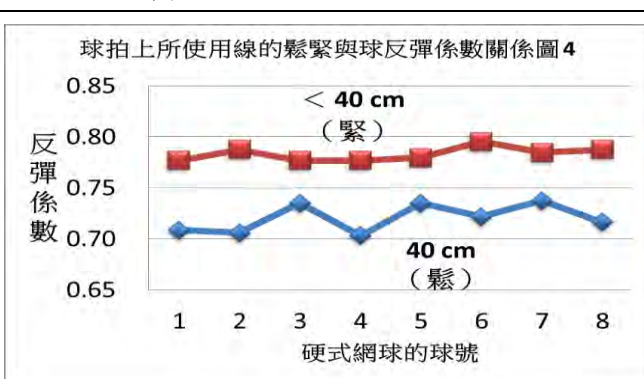


圖 46 硬式網球在不同鬆緊拍面的反彈係數關係圖

(四) 探討球落在球拍拍面的不同位置與球的反彈高度的關係 (實驗數據詳見實驗日誌)。

1. 不論是硬式網球還是軟式網球，當球落在自製拍面的正中央，也就是第5號格時，球的反彈係數最高。
2. 球落在自製拍面的四格角落，也就是第1、3、7、9號格時，球的反彈係數最低。

### 3. 軟式網球

項目	網子位置(格)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	標準差	結果評判
細+鬆	自製第三代球拍(8號鈎魚線、每根網長固定為40cm)	0.66	0.68	0.67	0.68	0.72	0.69	0.65	0.64	0.63	0.03	影響最大
細+緊	自製第三代球拍(8號鈎魚線、每根網長固定為40cm、每條繞緊螺絲半圈)	0.72	0.74	0.71	0.74	0.80	0.73	0.72	0.73	0.71	0.03	
粗+鬆	自製第四代球拍(12號鈎魚線、每根網長固定為40cm)	0.71	0.73	0.73	0.73	0.79	0.76	0.74	0.74	0.73	0.02	
粗+緊	自製第四代球拍(12號鈎魚線、每根網長固定為40cm、每條繞緊螺絲半圈)	0.79	0.80	0.79	0.80	0.81	0.79	0.77	0.79	0.79	0.01	影響最小
標準差		0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06		
結果評判						影響最小			影響最大			

表 30

### 4. 硬式網球

項目	網子位置(格)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	標準差	結果評判
細+鬆	自製第三代球拍(8號鈎魚線、每根網長固定為40cm)	0.58	0.60	0.56	0.61	0.67	0.60	0.60	0.60	0.59	0.03	
細+緊	自製第三代球拍(8號鈎魚線、每根網長固定為40cm、每條繞緊螺絲半圈)	0.63	0.63	0.60	0.66	0.72	0.66	0.62	0.62	0.61	0.04	影響最大
粗+鬆	自製第四代球拍(12號鈎魚線、每根網長固定為40cm)	0.65	0.65	0.63	0.66	0.72	0.66	0.63	0.65	0.65	0.03	
粗+緊	自製第四代球拍(12號鈎魚線、每根網長固定為40cm、每條繞緊螺絲半圈)	0.71	0.72	0.72	0.74	0.78	0.73	0.72	0.71	0.71	0.02	影響最小
標準差		0.06	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05		
結果評判				影響最大								

表 31

### 5. 反彈係數關係圖

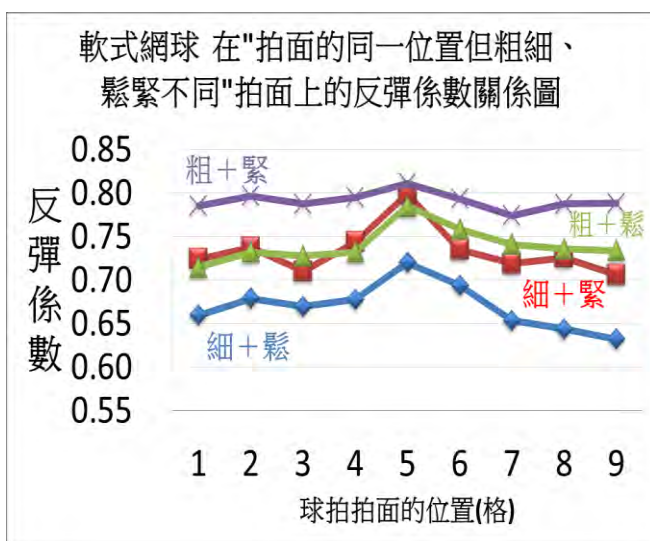


圖 47

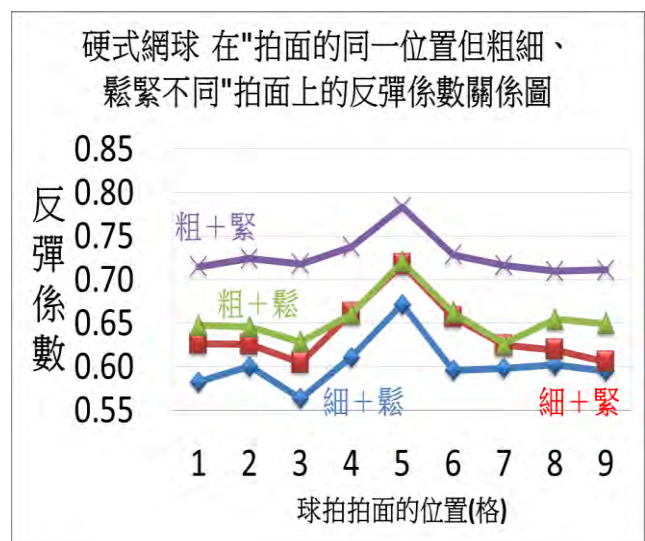


圖 48

四、研究四：探討新的球類玩法，發展出老少咸宜的運動。

(一) 使用第四代網子，12 號釣魚線，線拉緊。

(二) 用軟式網球。

## 陸、討論

一、討論**球的質量**與球的反彈高度的關係。

(一) 本小組選擇磁磚地做為控制變因，最主要是因為老人家常會就近到住家附近的活動中心參與一些社團活動，而活動中心的地板並非都是鋪設一般球場所使用的彈性地面，有時也會見到使用磁磚的情形，因此我們想要探討哪種球類活動也適合在室內的磁磚地進行。

(二) 就**網球**而言，**價格與品質成正相關**。

(三) 本組使用的高爾夫球屬不同品牌、不同號碼，其反彈高度不受質量影響。

(四) 不同質量的壘球反彈高度的差異性也很大，本小組仔細觀察壘球，發現壘球表面有許多凹凸紋，其中有一條特別突起的紋路，根據反射定律，若球的落點剛好在凸起處，則球有可能不是垂直反彈；若我們在紀錄時沒有注意到這一點，則測量所得的反彈高度會變小，這可能就是誤差的來源。

(五) 四種乒乓球在反彈高度上表現很一致，日本製比賽用球價格卻比一般練習球貴了**6 倍**，若以反彈高度來看，**價格與品質並沒有明顯的相關**。其中專門給老人用的較大乒乓球最不穩定，由圖可見八個較大乒乓球質量及反彈高度都比 40mm 乒乓球分散，而且當球自由落下到磁磚地面時，常常發出像玻璃快要破碎的尖銳刺耳聲，表示球的表面材料非常不均勻。

二、討論**球的種類**與球的反彈高度的關係。

(一) 後續實驗都是在磁磚地上進行，因此我們針對磁磚地面的數據進行討論。在磁磚地面上反彈係數最高的是高爾夫球，高爾夫球表面是硬的，碰到硬的地板時，兩者都沒有產生可觀察到的形變，接近完全彈性碰撞，跟其他球相比，損失的能量最少，所以重力位能在接觸磁磚時大部分轉換成動能，故反彈係數最高，所有直徑 40mm 的比賽用乒乓球也可以印證此看法，乒乓球表面也是硬的，它們的反彈係數都很高。

(二) 出乎意料之外的是比賽用網球，它的表面有彈性，但反彈係數跟表面硬的球相似，本組認為它表面上的細絨毛影響附近的氣流，進而影響球速及反彈高度。若有後續實驗就準備以絨毛覆蓋面積做為探討的變因。



圖 49 軟式網球從高度 127 公分自由落下至磁磚地面產生的形變

三、討論**球自由落下的高度**與球的反彈高度的關係。

(一) A 區（密度小的乒乓球）從越高的地方自由落下，反彈係數越低。我們認為這應該是浮力及空氣阻力造成的。我們從課本發現摩擦力做的都是負功，會使能量減少；球從愈高的地方落下，就要穿越愈多的空氣，空氣和球之間的摩擦力會損耗越多的



能量，所以反彈係數因高度增加而下降，球既輕且小，受到摩擦力的影響大，從數據可以看出乒乓球的反彈係數下降最多，反彈係數與原始高度呈負相關。

- (二) B 區（高爾夫球及棒球）是 11 項球中密度最大、且最硬的兩種，碰到磁磚時，最接近剛體與剛體的完全彈性碰撞，損失的能量最少，反彈係數不受高度影響。
- (三) C 區（網球及壘球）密度居中，反彈係數隨著高度的增加而有些許的下降，網球毛茸茸的表面增加了阻力。此外，軟式網球的密度是這一組中最小的，它的反彈係數也是這一組的五種球中差異較大的，我們參考 A 區的數據，認為密度是影響反彈係數的原因之一。

#### 四、討論球的溫度與反彈的高度的關係。

- (一) 冷凍後的乒乓球反彈係數變高，且變化量最小，本小組推測這可能跟材質有關，表示乒乓球塑膠材質穩定。其他的球冷凍 24 小時後第一次測得的彈性係數變低，軟式棒球變化量最大，應該跟裡面裝最多的空氣有關，氣體的體積受溫度的影響最大。當球 24 小時回溫後，反彈係數比冷凍前略為增加。冷藏溫度為 7°C。彈性係數變化不明顯，乒乓球與軟式網球變化量的原因與前述相同。
- (二) 放在蒸飯箱的球不是變形就是熔毀，但我們仍盡量讓球面沒有被破壞的部份著地，進行反彈高度的測量。結果發現大部分的球加熱後的反彈係數會上升，但隨著時間過去，反彈係數慢慢下降，高爾夫球則例外。當軟式網球剛從保溫袋拿出來後測量到的第一個反彈係數跟原始係數比較，差異性最大，因為軟式網球裡面裝了比較多的空氣，我們在二上的自然學過，大部分的物質遇熱膨脹，三態中又以氣態的變化最大，加熱等於把軟式網球充氣，所以球彈得最高；但是球內的氣體迅速冷卻，所以高度很快就下降了。乒乓球是熱塑性塑膠做的，是一種有機化合物，不耐高溫，所以加熱後只剩一小堆黑色的碳。
- (三) 本組設定 50°C 是因為夏天室外溫度約 30°C，考慮若把球置放密閉車廂內，溫度約達 50°C，用隔水加熱的方法把球加熱到 50°C 後，球的反彈係數都增加了，軟式網球仍然增加最多；乒乓球反彈係數增加最少，表示乒乓球溫不容易影響彈跳高度，前面的實驗也印證這一點，不論球員在什麼溫度下打球，表現也不容易因為反彈高度不同而受影響。
- (四) 在延伸實驗 1 中得知，溫度對球的反彈係數並不會產生長久的影響，加熱或冷藏完的當下才會產生改變，所以把球從溫熱的車廂拿出來，球的彈性在短時間內確會變好。
- (五) 延伸實驗 2 中，球彈跳 500 下以內，軟式網球的反彈係數會因為彈地次數增加而隨之增加；但當彈跳次數從 500 次增到 1000 次時，反彈係數明顯下降，我們推論是因為球的材料是合成聚合物所構成，當碰撞次數太多時會破壞分子間的結構，因此出現了「彈性疲乏」或者是碰撞的力已超過了材質本身的「彈性限度」，才會造成反彈係數的一段落差。而硬式棒球在彈跳 500 下以內時，反彈係數與彈跳次數並沒有明顯的關係，可能是棒球的材質較硬，我們只是讓球自由下而非使用球棒去打擊，所以不致造成太大的影響；但是在 500 下到 1000 下之間時，棒球的反彈係數也出現明顯的下降，代表球本身材質的內部結構已產生變化。我們的實驗結果也印證了為什麼在各種球類比賽中，選手在打了幾局後，就會更換新球，這是避免球的材質結構

因碰撞被破壞後，影響到選手的表現。

## 五、討論不同材質的地面與球的反彈高度的關係。

- (一) 軟式網球在四種不同材質的地面上反彈係數差異最小，高爾夫球的差異則最大，表示硬球對接觸面比較挑剔，這項結果更支持我們選擇軟式網球。
- (二) 表面硬的球：如高爾夫球及乒乓球，落在磁磚上，可視為類似剛體與剛體的完全彈性碰撞，能量損耗比較少，反彈係數高。高爾夫球及乒乓球，落在塑膠墊時，反彈係數明顯下降。以乒乓球而言，所有的球在塑膠墊上反彈係數都是四種地板中最低的，因為塑膠墊非剛體結構，它跟球的碰撞屬於非完全彈性碰撞，塑性會吸收反彈的能量（康軒自然與生活科技課本第三冊），所以這些球反彈的高度會比落在硬的表面時來得低。
- (三) 若球的表面有彈性：如棒球和壘球，落在塑膠墊上時，反彈係數則增加。如果球的表面有彈性，當球接觸到有彈性的塑膠墊時，球和塑膠墊都會產生形變，恢復原狀的彈力使球彈得比較高。
- (四) 高爾夫球在木板的反彈係數跟在塑膠墊相似，都是屬於比較低的，我們推測這是因為木板的厚度吸收高爾夫球的能量，又或者是木板被重而小的高爾夫球擊中後，產生了沒有被發現的凹陷，高爾夫球的能量因此損失了一部分，導致高爾夫球彈起的高度不及在磁磚彈得那麼高，以上想法需要精密的儀器及攝影機才能驗證。
- (五) 若高爾夫球落在施工品質有瑕疵（例如底下空心）的磁磚上，會產生奇怪的刺耳聲，只要手上拿著一個高爾夫球，讓它自由落下，光用聽聲音，就可以知道磁磚的施工品質是否良好，這樣比一般人慣用的榔頭來得安全，而且方便攜帶。
- (六) 在延伸實驗 3 中，軟式網球在草地及沙坑的反彈係數都是最高的，本組組員發現軟式網球對地面最不挑剔，球裡面裝的是空氣，氣體最容易被壓縮，因此不管球打在什麼地面上，都很容易產生形變，此種彈性使得其反彈係數比其他的球高。
- (七) 在延伸實驗 4 中，我們分別選擇硬式棒球及軟式網球作為「剛體」與「非剛體」的代表物。在戶外的跳遠用沙坑因為範圍較大，硬式棒球落下後可把沙往旁邊推，我們把沙視為「塑性」極大的物質，球產生的重力位能完全被吸收，故硬式棒球落在其上完全不會彈起，但改用玻璃水槽的自製沙坑時，沙子沒有辦法向旁邊移動，所以反彈係數就不為零。硬式棒球落在乾燥的沙上，因沙粒間的空氣使沙坑比較接近非剛體，能量被吸收，反彈係數低；加水後，空氣被水排開，沙坑變得比較扎實，能量損失少，反彈係數上升，情況漸趨彈性碰撞。軟式網球則印證「非剛體」與「非剛體」的「非完全彈性碰撞」，沙坑的溼度對反彈係數影響不大。

## 六、討論自行製作的球拍與球的反彈高度的關係。

- (一) 1．第一代：完全失敗！除乒乓球外，全部的球都穿過網線，橫線縱線間的距離完全改變，因為線沒有固定，所以當球碰到網子時，所有的線都「讓位」給球通過。
- 2．第二代：只有軟式網球可以進行實驗。球落下的位置對反彈係數的影響少，不同格子內反彈係數的標準差小，球落在網面中央的反彈係數仍比周圍高，但差異不大。因為「一線到底」的纏繞法，使釣魚線仍有相當高的「自由」去自我

調整。

3· 第三代：軟式網球和硬式網球都可以進行實驗。球落在第五格（網面最中間位置）的反彈係數最高，因為線的兩端被螺絲釘固定，失去彈性，而中央部份可以產生比較大的形變，因此彈力大，球也彈得比較高。

4· 第四代：改用粗線效果更好。

- (二) 不管是硬式網球還是軟式網球，粗線（12 號）效果全部較細線（8 號）好，前者反彈係數較高。
- (三) 緊線（螺絲多旋轉半圈，使兩螺絲釘之間線的原始長度小於 40cm）的效果較鬆線（兩螺絲釘之間線的原始長度等於 40cm）的效果佳。
- (四) 無論使用軟式網球或硬式網球，球落在拍面的正中央，也就是 5 號格時，球回彈高度的穩定性是最高的，故我們以第 5 號格作討論。球落在拍面中央處反彈係數最高且最穩定，所以打球時應儘量讓球落在中央，而非接近邊緣處。邊緣處線被螺絲釘拉緊，失去彈性，當球落在此處，只能產生比較小的形變，因形變而產生的彈力也比較小（康軒自然與生活科技課本第四冊），所以球的反彈係數也比較低。
- (五) 以硬式網球而言，當線愈粗愈緊（線 12 號、螺絲旋轉半圈），球落在球拍邊緣與球拍中央的反彈係數差異愈少；在相同條件下，軟式網球的反彈係數差異比硬式網球更小。

## 七、尋找新的球類玩法，發展出適合年長者的運動。

(一) 進行了上述的實驗後，我們認為選擇軟式網球打在自製 40cm×40cm 的球拍，我們選擇網面使用 12 號釣魚線。這一種運動有以下**優點**：

1. 實驗結果顯示，當選擇較粗的線時，即使球沒有落在拍面正中央，球的反彈高度影響也不大，球落在拍面不同位置的反彈係數並沒有顯著差異，所以即使隨便打，球也可以彈得很好。
2. 室內室外皆宜。若在室內，軟式網球不像硬式網球、棒球、壘球等破壞力那麼大，若在室外，又不像乒乓球那麼容易受到風的影響。
3. 只要場地允許，玩球的人數可以是一人、兩人甚至多人都可以。（如圖 56）
4. 軟式網球體積夠大，比較容易讓視力欠佳的人看清楚球的位置。
5. 球速慢，比較容易控制。
6. 自製球拍的面積較一般球拍大，比較容易接到球，容易產生打球的信心。
7. 軟式網球比許多球來得軟，即使不小心被球擊中，人也比較不易受傷。
8. 用雙手拿網子，可分散手的負擔，比較不會造成類似網球肘的問題。

(二) 雖然這樣的運動方式有許多優點，但仍有一些**缺點**是本小組未能克服的。

1. 若使用第一代網架，因少了 68 顆螺絲釘，所以重量比較輕，手的負擔比較小，但不能調整線的鬆緊，萬一線斷了，只能把整個網面的線全部換掉。
2. 第二代網架多了 68 顆螺絲釘的重量，拿久了比較累，而且它有第一代的缺點，可謂最不理想。
3. 第三、四代網架的優點是每條線都是獨立的，替換斷線、調整鬆緊度都可分別完成，但螺絲釘使網架重量增加，而且為了讓木板能夠承受螺絲旋緊時產生的拉力，故選用比較結實的木板，所以重量又比前面兩種網架再增加一些。目前還沒有兩全其美

的方法，希望我們未來可以找到比較理想的網架材料，和比較輕巧的螺絲釘，目前朝可以摺疊的球拍努力。

4.希望未來可以發展一套完整的規則。



圖 50 進行試玩

## 柒、結論

- 一、球的質量與反彈高度沒有明顯的相關性，在磁磚地面上反彈係數最高的是高爾夫球，軟式網球不管球打在什麼地面上，反彈係數都相當高，乒乓球從越高的地方自由落下，反彈係數越低，高爾夫球及硬式棒球反彈係數不受高度影響，溫度只對反彈係數造成短暫的影響，而彈跳次數的多寡會造成永久的影響。
- 二、軟式網球在不同材質的地面上反彈係數差異最小，高爾夫球的差異則最大。
- 三、第四代自製球拍每條線都獨立，效果最好。粗線（12 號）效果全部較細線（8 號）好，球落在愈粗愈緊的線上就可以彈得越高，球落在拍面的正中央，球回彈高度的穩定性是最高的。
- 四、軟式網球在粗和緊線做成的拍面表現最好，因此本小組認為使用自製 40cmx40cm 的大拍面打軟式網球，老少咸宜。

## 捌、參考資料

- 一、尤丁玫等編著，自然與生活科技 2 上第 3 章，初版 2 刷，康軒出版民國 99 年 9 月
- 二、尤丁玫等編著，自然與生活科技 2 下第 6 章，2 版，康軒出版，166 頁，民國 100 年 2 月
- 三、郭重吉主編，自然與生活科技 3 上第 3 章，初版，南一出版，166 頁，民國 99 年 8 月
- 四、MADELINE GOODSTEIN，SPORTS SCIENCE PROJECTS（THE PHYSICS OF BALLS IN MOTION，USA，Enslow publishers,Inc，

## 【評語】 030804

1. 本研究探討各種球類在不同環境及球拍特性之下之反彈情形。團隊合作默契良好，書面口頭報告均佳。
2. 本研究若能採正規實驗設計法來探討球類之反彈係數，並善用網路及圖書資料庫，以進一步作創新而不重覆既有的知識，則將更符合科學及科展之宗旨。