

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

佳作

080101

『彈』何容易！

—探討溫度及濕度對乒乓球拍拍面彈性的影響

學校名稱：彰化縣彰化市南郭國民小學

作者：	指導老師：
小六 林忻苡	趙莉仙
小六 陳覺閔	林慧俞
小六 楊謹菡	
小六 黎姿伶	
小六 謝蕤羽	

關鍵詞：溫度、濕度、乒乓球

摘要

本組利用自製的「彈性測試裝置」，探討溫度、濕度對乒乓球拍拍面彈性的影響。

經實驗後發現，正膠或反膠拍面的彈性都會受環境中的溫、濕度影響。其簡述如下：

環境中的**溫度越高，拍面彈性越佳**；**溫度越低，拍面彈性越差**。**濕度越低，拍面彈性越佳**；**濕度越高，拍面彈性越差**。而且：

- 一、**正膠(長顆粒)**拍面在**溫度 20°C-25°C**、**濕度 55%-65%**時**彈性變化最大**。
- 二、**正膠(短顆粒)**拍面在**溫度 15°C-20°C**、**濕度 70%-75%**時**彈性變化最大**。
- 三、**反膠(平面)**拍面之彈性緩和的**隨溫度升高而變佳**；**隨濕度增加而變差**。

台灣地區年均溫約 24°C，相對溼度約 70%~85%，影響彈性最大的溫度及濕度範圍正好皆落於此區塊，因此，在台灣地區進行的桌球比賽應特別注意溫度及濕度對桌球拍拍面彈性的影響。

壹、研究動機

放學途中，經過桌球隊的練習場地，常看見許多桌球選手，在打桌球前和休息時，都會用**乾布**將球拍拍面**擦拭**一番，甚至有些選手還會將球拍**置放於防潮箱中**保存，經由訪問桌球教練之後，才知道如此做，除了**維持拍面清潔**之外，還要保持**桌球拍拍面乾燥**，以免影響拍面的彈性。

另外，在觀賞體育台時，得知大聯盟球賽用的棒球在比賽前都須保存於恆溫恆濕的設備中，也曾有因環境因素的變化導致球賽結果大逆轉的例子。這些報導，引起我們的好奇心，試想：若桌球比賽分別在熱帶、溫帶、寒帶，或濕度變化較大的不同環境下舉辦時，球拍拍面的彈性會不會因此而有所變化呢？

本組努力查閱了許多相關書籍及報導，也對桌球教練及選手進行訪談，發現**環境中的溫度及濕度對拍面彈性影響較大**，經過與組員的討論及老師的建議之下，決定利用此次參與科展的機會，來探討影響乒乓球拍拍面彈性的因素。



貳、研究目的

為了要探討環境中溫度及濕度對球拍拍面彈性的影響，本組自行設計了「彈性測試裝置」，並利用此裝置來探討以下問題：

- 一、 利用「**乒乓球彈性測試裝置**」進行乒乓球彈跳高度實驗的前測
- 二、 以「**乒乓球彈性測試裝置**」進行溫濕度實驗、測出數據並歸納結果
- 三、 探討**溫度**對球拍拍面彈性的影響
- 四、 探討**濕度**對球拍拍面彈性的影響
- 五、 探討可替代膠面的材質並進行測試

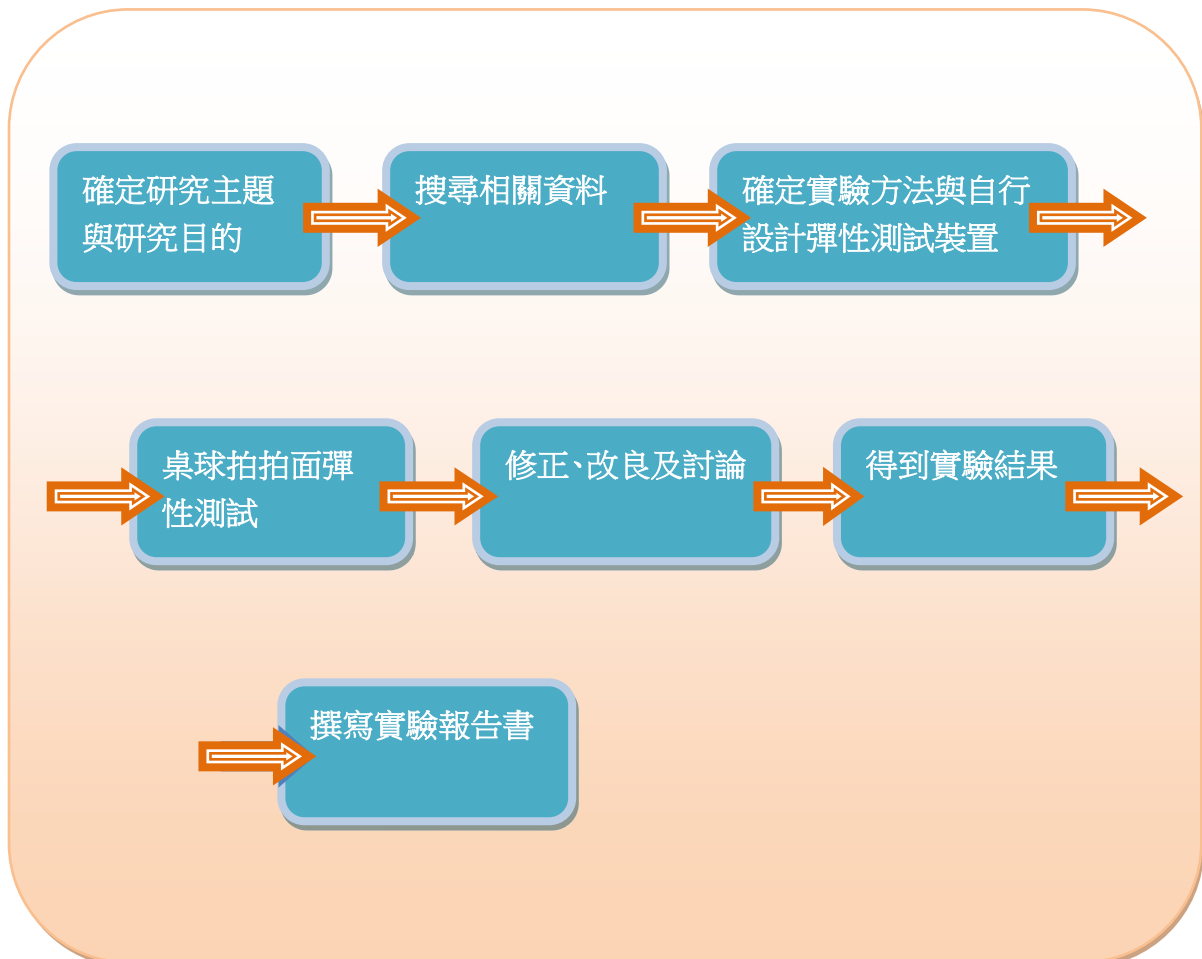


圖 1 實驗研究流程圖

參、研究設備及器材

一、材料及設備

防潮箱x1	冰箱x1
自製刻度尺x1	吹風機x1
桌球拍x1	乒乓球x5
袋針x1	棉線x1
塑膠軟墊x1	木板x1
保溫袋x1	壓克力板x2
白鐵支架x4	10 元硬幣x1
水平尺x1	紅外線溫度感應器x1
鋸子x1	電鑽x1
桌子x1	數位相機x1
自製彈性測試裝置x1	電腦x1
止滑墊x1	瑜珈墊x1
發泡x3	地毯x1
厚保麗龍x1	瓦楞紙板x1
薄保麗龍x1	腳架x1



		
圖 2-4 吹風機	圖 2-5 乒乓球拍	圖 2-6 乒乓球
		
圖 2-7 袋針、線	圖 2-8 巧拼墊	圖 2-9 木板底座
		
圖 2-10 保溫袋	圖 2-11 壓克力板	圖 2-12 白鐵支架
		
圖 2-13 硬幣	圖 2-14 水平尺	圖 2-15 紅外線溫度感應器
		
圖 2-16 各種替代材質	圖 2-17 腳架	圖 2-18 數位相機

二、彈性測試裝置之製作流程

(一)、壓克力板設計製作部分

附註：壓克力板設計圖說明

1. 裁一片 30×30 cm 正方形、厚 0.5 cm 的壓克力板。
2. 經測量得知乒乓球的直徑為 4.1cm，所以在壓克力板正中央裁切出一個直徑 4.2 cm 的圓孔，如圖 3 中 A 位置。
3. 裁 4 塊壓克力條，並在其中較短兩條的正中間下端處，裁切出一個可讓針順暢通過的孔洞。長壓克力條黏置於如圖 3 中 C 位置，短壓克力條黏置於如圖 3 中 D 位置，黏貼時須注意兩片短壓克力條上的孔洞須對好。
4. 準備 4 根高 80 cm 的白鐵支架，分別裝置支架於壓克力板上均等適當處，如圖 3 中 E 位置。

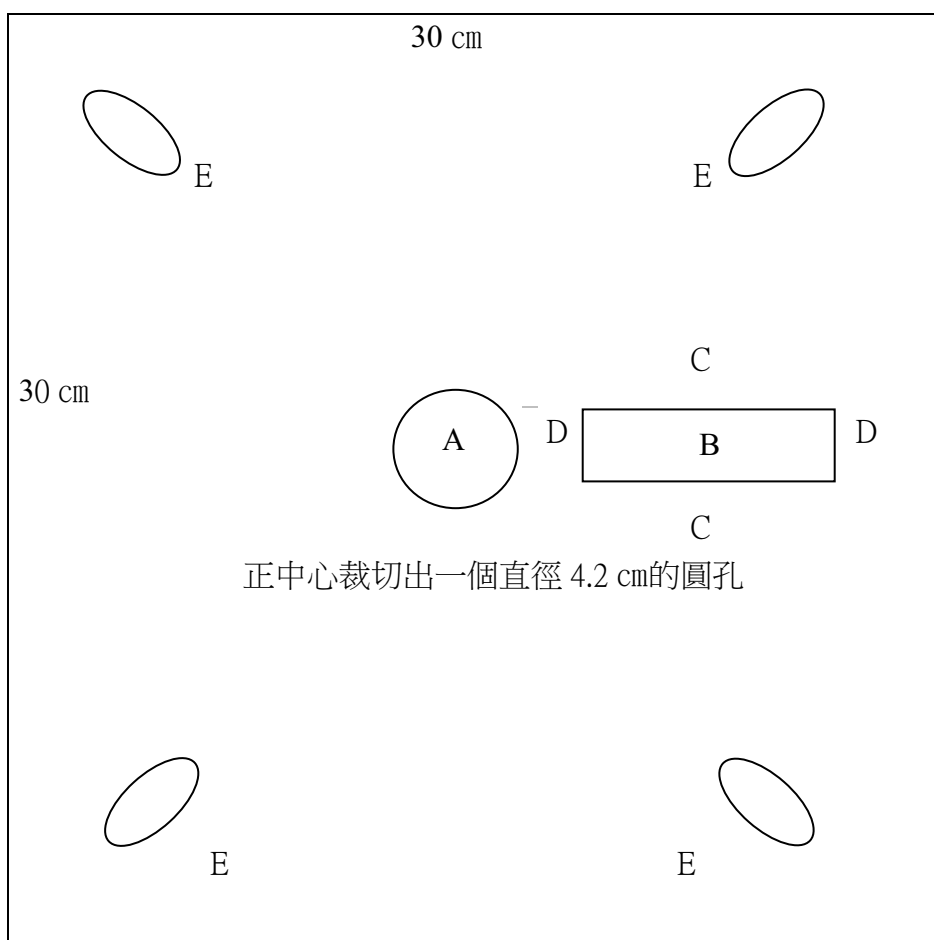


圖 3 壓克力板設計圖

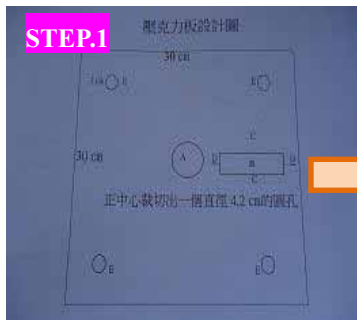


圖 3-1 畫出設計圖，並在 30x30 公分的壓克力板上以雷射切割出直徑為 4.2 公分的圓孔。



圖 3-2 在壓克力板的四個角落等距處安裝上白鐵支架。



圖 3-3 配合袋針的長度裁切適當長度的壓克力條。



圖 3-4 在其中兩條短壓克力條上各裁切出一個可以讓袋針通過的孔洞。



圖 3-5 用熱熔槍將長、短壓克力條黏合，組合出袋針軌道。

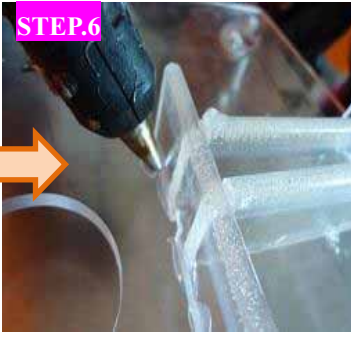
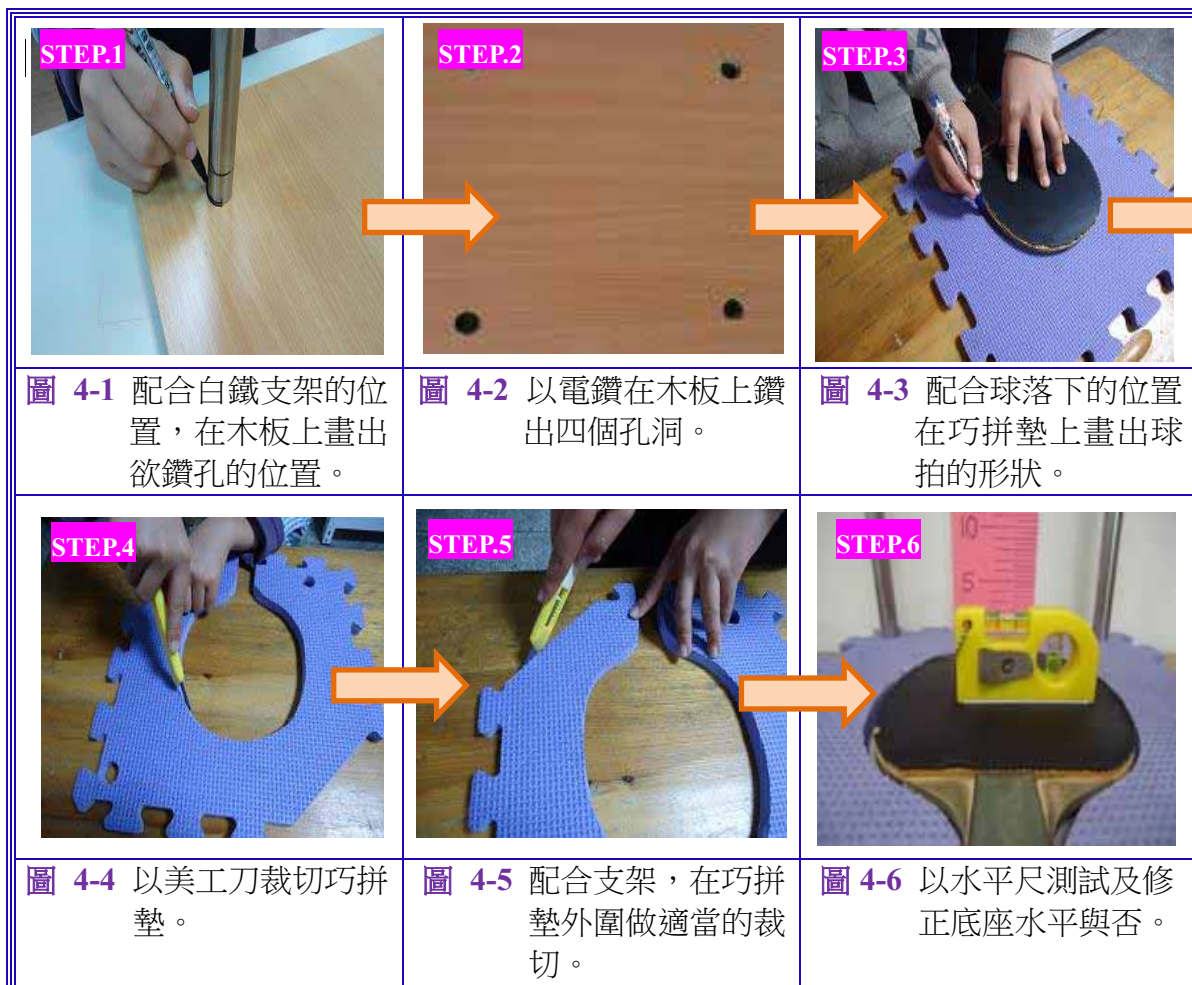


圖 3-6 將軌道與壓克力底板相黏合，組裝完成。

(二)、底座設計製作部分



肆、研究過程或方法

一、儀器架設（流程如下圖）

- (一)、備齊實驗器材並進行組裝 (如圖 5-1、5-2、5-3)
- (二)、在牆上貼好刻度尺(如圖 5-4)
- (三)、用水平尺測試與調整裝置是否水平(如圖 5-5、5-6)
- (四)、在裝置上方精確地擺上事先穿好線的袋針及乒乓球(如圖 5-7)
- (五)、架設攝影器材(如圖 5-8)
- (六)、完成彈性測試裝置架設(如圖 5-9)



二、研究方法

根據研究目的，本組在事先固定於木板的四根鋼管上方放置設計裁切好的壓克力板，貼上測量尺於精準位置，並測量水平之後，再開始著手進行實驗，並分析溫度、濕度對球拍拍面彈性的影響。

(一)、探討溫度對球拍拍面彈性的影響。

材料及設備：彈性測試裝置、冰箱、乒乓球拍、乒乓球、水平尺、紅外線溫度感應器、袋針、棉線、刻度尺、保溫袋、吹風機、攝影機、腳架。

控制的變因	環境濕度、攝影高度、彈性測試裝置的水平、拉動袋針時的方向及力道。
操縱的變因	環境溫度
應變的變因	乒乓球彈跳高度

步驟一：將球拍自冰箱取出，置於平台後，立即測試水平，並用紅外線溫度感應器測量溫度。

步驟二：操作者水平拉動袋針，讓球落於拍面正中央，同時觀測者水平目視乒乓球的彈跳高度並錄影記錄。

步驟三：分別以冷凍、冷藏、回溫、置於保溫袋中以吹風機加溫的方式控制拍面溫度，每隔 5°C 做一次實驗，並加以記錄。

			
圖 6-1 將球拍自冰箱中取出置於平台。	圖 6-2 立即使用水平尺及紅外線溫度感應器測試水平及溫度。	圖 6-3 拉動袋針同時觀測及拍攝乒乓球的彈跳高度。	圖 6-4 將結果記錄下來。



圖 6-5
將保溫袋中的球拍以吹風機加溫。



圖 6-6
以紅外線溫度感應器測量溫度。



圖 6-7
拉動袋針同時觀測及拍攝乒乓球的彈跳高度。



圖 6-8
將結果記錄下來。

(二)、探討濕度對球拍拍面彈性的影響

材料及設備：彈性測試裝置、防潮箱、乒乓球拍、乒乓球、水平尺、紅外線溫度感應器、袋針、棉線、刻度尺、攝影機、腳架。

控制的變因	環境溫度(在冷氣房中控制為 24.0°C)、攝影高度、彈性測試裝置的水平、拉動袋針時的方向及力道。
操縱的變因	環境濕度
應變的變因	乒乓球彈跳高度

步驟一：為求精確性，將球拍靜置於設定濕度的防潮箱內四-六天，才取出進行實驗。

步驟二：將球拍自防潮箱取出，置於平台後，立即測試水平，並用紅外線溫度感應器測量溫度。

步驟三：操作者水平拉動袋針，讓球落於拍面正中央，觀測者水平目視乒乓球的彈跳高度並錄影記錄。



圖 7-1
將實驗器材移至溫度為 24°C 的冷氣房中進行



圖 7-2
將球拍自防潮箱取出後置於平台



圖 7-3
使用水平尺及紅外線溫度感應器測試水平及溫度



圖 7-4
拉動袋針同時觀測及拍攝乒乓球的彈跳高度



圖 7-5
將結果記錄下來

伍、研究結果與討論

根據不同的研究目的及實驗步驟，本組將各實驗中所得的數據記錄如下：

一、在溫度對球拍拍面彈性的影響方面：

我們藉由改變溫度，探討溫度對顆粒及平面球拍彈性的影響，其實驗結果如下表所述：

(一)、正膠(長顆粒)

(表 1-1) 正膠(長顆粒)拍面在不同溫度之下的彈跳高度紀錄

彈跳高度(cm) 次別 \ 溫度(°C)	0	5	10	15	20	25
第一次	15.0	16.5	19.0	25.0	27.0	34.0
第二次	14.5	17.5	18.0	26.0	28.0	35.0
第三次	14.5	17.0	18.5	25.5	28.5	33.5
第四次	15.5	16.0	19.5	25.0	27.5	35.5
第五次	15.5	18.0	19.0	26.0	26.5	34.5
平均彈跳高度	15.0	17.0	19.0	25.5	27.5	34.5

(表 1-2) 正膠(長顆粒)拍面在不同溫度之下的彈跳高度紀錄

彈跳高度(cm) 次別 \ 溫度(°C)	30	35	40	45	50	55
第一次	35.0	37.0	38.0	45.5	47.0	47.5
第二次	36.5	38.0	38.5	45.5	47.0	48.0
第三次	36.0	36.0	39.0	44.5	46.0	47.0
第四次	35.5	37.5	38.5	45.0	46.5	47.0
第五次	34.5	36.5	38.5	44.5	46.0	48.0
平均彈跳高度	35.5	37.0	38.5	45.0	46.5	47.5

(二)、正膠(短顆粒)

(表 2-1) 正膠(短顆粒)拍面在不同溫度之下的彈跳高度紀錄

彈跳高度(cm) 次別 \ 溫度(°C)	0	5	10	15	20	25
第一次	20.5	27.0	32.0	36.0	40.0	43.0
第二次	21.0	27.5	31.5	36.0	42.0	44.5
第三次	21.5	28.0	32.5	35.0	41.0	42.5
第四次	21.5	27.0	31.5	34.0	42.0	43.0
第五次	20.5	28.0	32.5	34.0	40.0	43.0
平均彈跳高度	21.0	27.5	32.0	35.0	41.0	43.0

(表 2-2) 正膠(短顆粒)拍面在不同溫度之下的彈跳高度紀錄

彈跳高度(cm) 次別 \ 溫度(°C)	30	35	40	45	50	55
第一次	44.5	47.0	50.0	51.0	50.5	52.5
第二次	44.0	46.5	49.0	49.0	51.5	52.0
第三次	43.5	47.5	49.5	50.0	51.0	51.5
第四次	43.5	46.0	49.0	49.5	52.0	53.0
第五次	44.5	48.0	50.0	50.5	50.0	51.0
平均彈跳高度	44.0	47.0	49.5	50.0	51.0	52.0

(三)、反膠(平面)

(表 3-1) 反膠拍面在不同溫度之下的彈跳高度紀錄

彈跳高度(cm) 次別 \ 溫度(°C)	0	5	10	15	20	25
第一次	18.0	23.5	29.5	32.5	36.0	38.5
第二次	20.0	24.0	28.5	33.0	35.0	37.5
第三次	19.0	24.5	29.0	32.0	34.0	38.0
第四次	19.5	23.5	28.0	33.5	34.0	37.5
第五次	18.5	24.5	30.0	31.5	36.0	38.5
平均彈跳高度	19.0	24.0	29.0	32.5	35.0	38.0

(表 3-2) 反膠拍面在不同溫度之下的彈跳高度紀錄

彈跳高度(cm) 次別 \ 溫度(°C)	30	35	40	45	50	55
第一次	41.0	43.0	46.5	47.5	50.0	48.5
第二次	41.0	42.0	45.5	48.0	49.0	49.5
第三次	41.0	42.5	46.0	48.5	48.0	50.5
第四次	42.0	43.5	46.0	47.0	49.5	49.0
第五次	40.0	41.5	46.0	49.0	48.5	50.0
平均彈跳高度	41.0	42.5	46.0	48.0	49.0	49.5

			
<p>圖 8-1 溫度 15°C(長顆粒) 彈跳高度 25.5cm</p>	<p>圖 8-2 溫度 20°C(長顆粒) 彈跳高度 27.5cm</p>	<p>圖 8-3 溫度 25°C(長顆粒) 彈跳高度 34.5cm</p>	<p>圖 8-4 溫度 30°C(長顆粒) 彈跳高度 35.5cm</p>
			
<p>圖 8-5 溫度 15°C(短顆粒) 彈跳高度 35.0cm</p>	<p>圖 8-6 溫度 20°C(短顆粒) 彈跳高度 41.0cm</p>	<p>圖 8-7 溫度 25°C(短顆粒) 彈跳高度 43.0cm</p>	<p>圖 8-8 溫度 30°C(短顆粒) 彈跳高度 44.0cm</p>
			
<p>圖 8-9 溫度 15°C(平面) 彈跳高度 32.5cm</p>	<p>圖 8-10 溫度 20°C(平面) 彈跳高度 35.0cm</p>	<p>圖 8-11 溫度 25°C(平面) 彈跳高度 38.0cm</p>	<p>圖 8-12 溫度 30°C(平面) 彈跳高度 41.0cm</p>

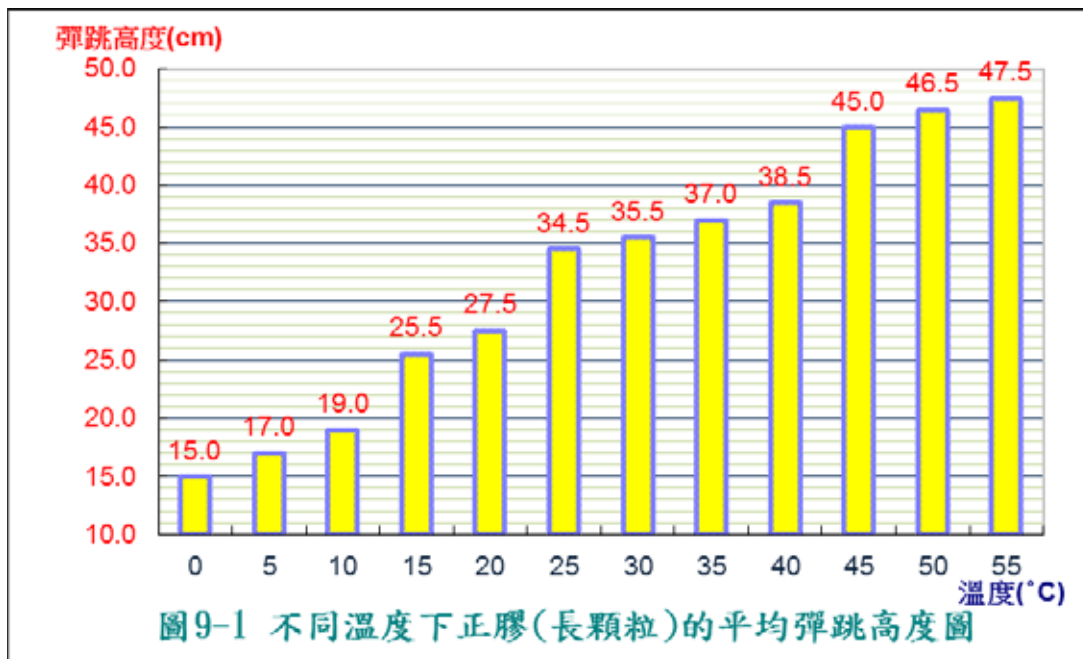
圖 8 不同溫度之下正膠及反膠拍面的彈跳高度圖

附註：其他不同溫度之下正膠及反膠拍面的彈跳高度圖請詳閱附錄。

說明：(一)、圖 8 是攝影後經由電腦慢速播放，找出最高彈跳點時的定格畫面，

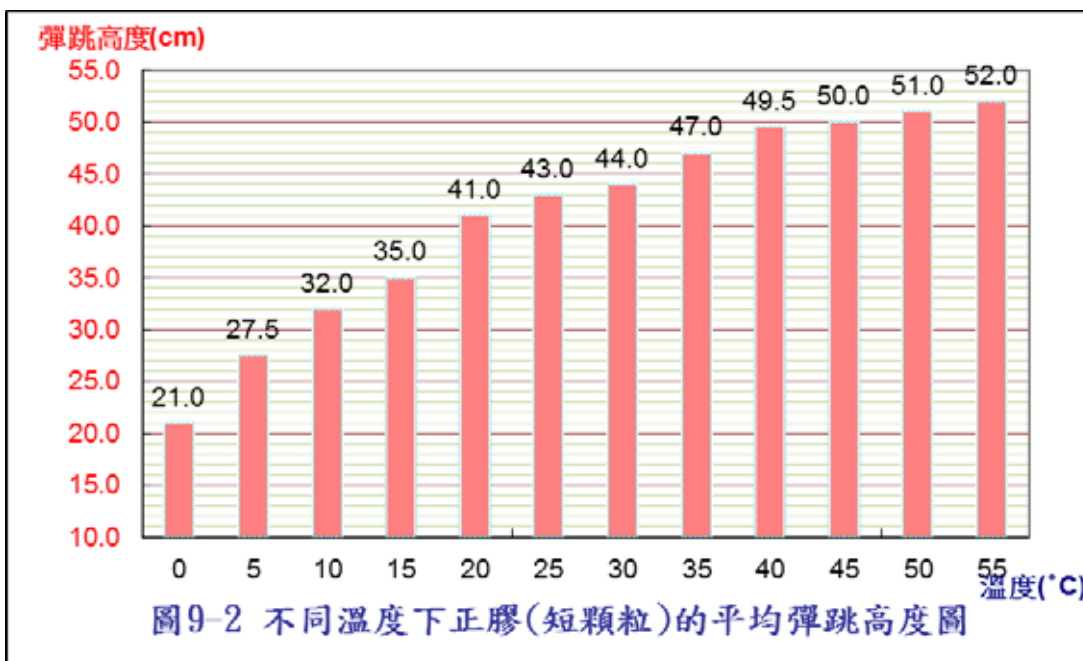
根據表 1-1 到表 3-2 之數據作圖，得到圖 9-1 到圖 9-3。

(二)、長顆粒拍面因顆粒較長，其彈跳路徑較易出現偏離現象。



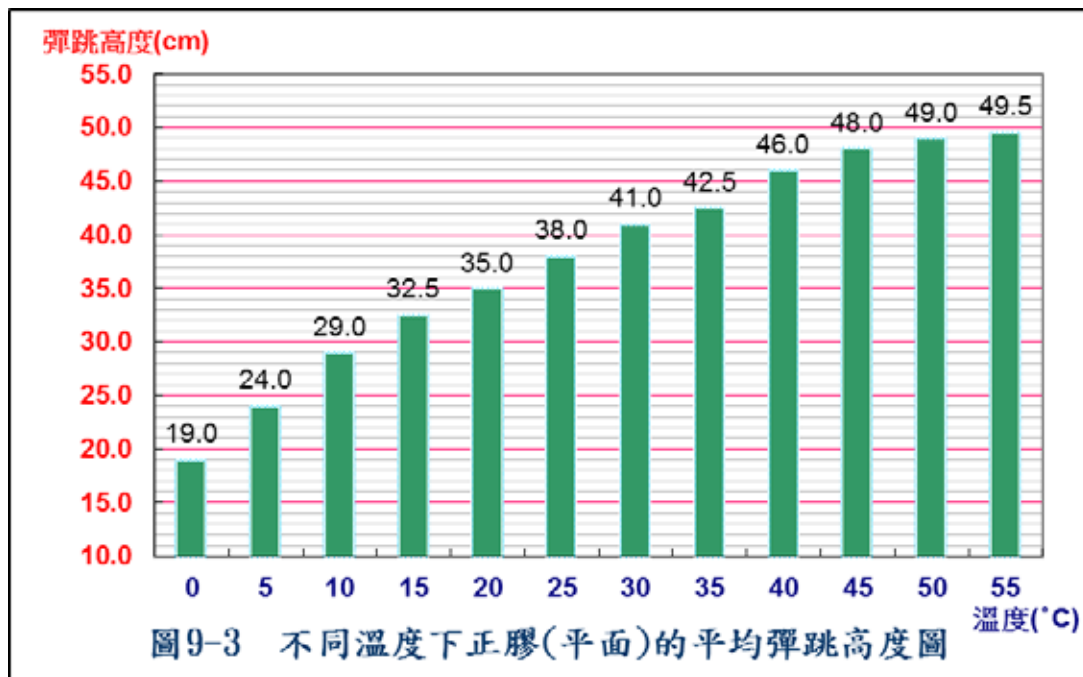
說明：(一)、由圖 9-1 可觀察到對正膠(長顆粒)拍面而言，彈性隨溫度升高而變佳，尤其在溫度 20°C-25°C 時彈性變化最大。

(二)、以上討論是以進行桌球比賽適宜的環境溫度為討論範圍。



說明：(一)、由圖 9-2 可觀察到對正膠(短顆粒)拍面而言，彈性隨溫度升高而變佳，尤其在溫度 15°C-20°C 時彈性變化最大。

(二)、以上討論是以進行桌球比賽適宜的環境溫度為討論範圍。



說明：(一)、由圖 9-3 可觀察到對反膠(平面)拍面而言，彈性隨溫度升高而變佳。

(二)、以上討論是以進行桌球比賽適宜的環境溫度為討論範圍。

由圖 9-1、9-2、9-3 不同溫度對球拍拍面彈性的影響實驗，本組發現：環境中的溫度愈高，拍面彈性較佳；溫度愈低，拍面彈性較差。而且：

(一)、對長顆粒拍面而言，在溫度 20°C-25°C 時彈性變化最大。

(二)、對短顆粒拍面而言，在溫度 15°C-20°C 時彈性變化最大。

(三)、對平面拍面而言，在溫度 10°C-40°C 時彈性穩定增加。

附註：依測試經驗得知，在測試溫度範圍內，乒乓球的彈跳高度不會低於 10 公分。因此，溫度與平均彈跳高度關係圖中的彈跳高度數據從 10 公分開始標示。

二、在濕度對球拍拍面彈性的影響方面：

我們藉由改變濕度，探討濕度對顆粒及平面球拍的彈性影響，其實驗結果如下表所述：

(一)、正膠(長顆粒)

(表 4-1) 正膠(長顆粒)拍面在不同濕度之下的彈跳高度紀錄

彈跳高度(cm) / 相對濕度(%) / 次別	35	40	45	50	55	60
第一次	46.0	44.0	42.5	42.5	39.5	38.0
第二次	47.0	46.0	41.5	40.5	40.5	37.0
第三次	46.5	45.5	42.5	40.5	40.0	37.0
第四次	46.5	44.5	42.5	41.5	40.0	37.5
第五次	46.5	45.0	43.5	42.5	40.0	38.0
平均彈跳高度	46.5	45.0	42.5	41.5	40.0	37.5

(表 4-2) 正膠(長顆粒)拍面在不同濕度之下的彈跳高度紀錄

相對濕度(%) 彈跳高度(cm) 次別	65	70	75	80	85	90
第一次	35.5	34.0	33.5	33.0	32.0	30.0
第二次	36.0	34.0	34.5	33.0	31.0	30.5
第三次	36.0	35.0	34.5	34.0	33.0	31.0
第四次	35.0	36.0	33.5	32.0	32.0	30.0
第五次	35.0	36.0	34.0	33.0	32.0	30.0
平均彈跳高度	35.5	35.0	34.0	33.0	32.0	30.0

(二)、正膠(短顆粒)

(表 5-1) 正膠(短顆粒)拍面在不同濕度之下的彈跳高度紀錄

相對濕度(%) 彈跳高度(cm) 次別	35	40	45	50	55	60
第一次	46.5	45.5	44.0	42.5	42.5	41.5
第二次	47.5	45.5	45.0	43.0	41.5	40.5
第三次	47.5	46.5	43.0	43.5	42.0	41.5
第四次	46.5	44.5	43.5	43.5	42.0	42.5
第五次	47.0	45.5	44.5	42.5	42.0	41.5
平均彈跳高度	47.0	45.5	44.0	43.0	42.0	41.5

(表 5-2) 正膠(短顆粒)拍面在不同濕度之下的彈跳高度紀錄

相對濕度(%) 彈跳高度(cm) 次別	65	70	75	80	85	90
第一次	39.5	39.0	36.0	36.5	35.0	33.5
第二次	40.5	40.0	37.0	37.0	34.5	32.0
第三次	40.5	40.0	36.0	35.5	35.0	34.0
第四次	40.0	39.5	37.0	35.0	35.0	32.5
第五次	39.5	39.0	36.5	36.0	35.0	33.0
平均彈跳高度	40.0	39.5	36.5	36.0	35.0	33.0

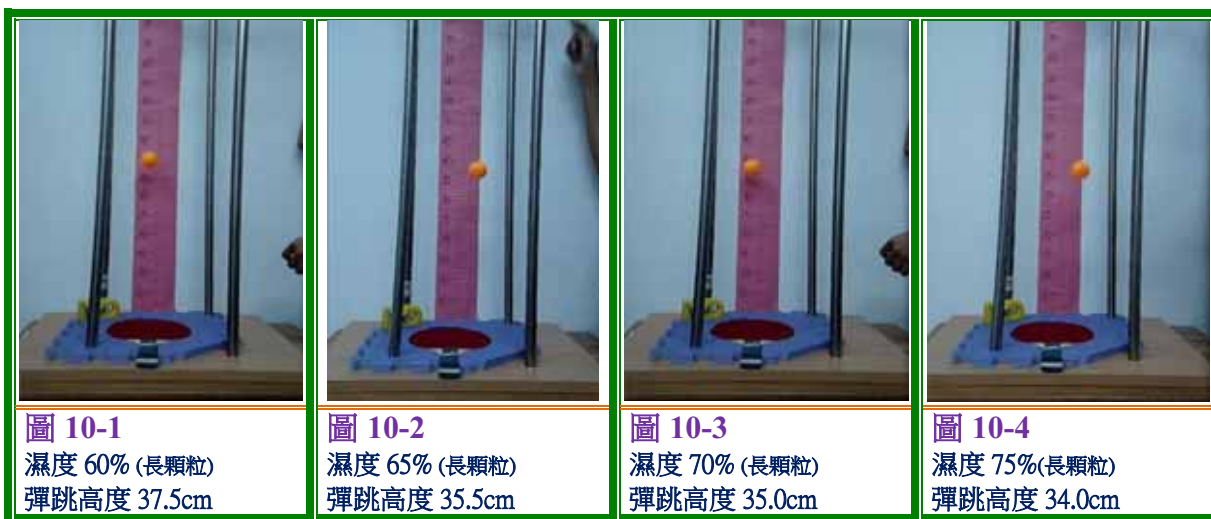
(三)、反膠(平面)

(表 6-1) 反膠拍面在不同濕度之下的彈跳高度紀錄

相對濕度(%) 彈跳高度(cm) 次別	35	40	45	50	55	60
第一次	47.5	46.0	44.0	44.0	43.0	42.5
第二次	48.5	45.5	45.0	43.5	43.5	42.5
第三次	47.0	46.5	46.0	43.0	43.0	42.0
第四次	49.0	46.0	45.0	43.0	42.5	42.5
第五次	47.0	46.0	45.0	44.0	43.0	43.0
平均彈跳高度	48.0	46.0	45.0	43.5	43.0	42.5

(表 6-2) 反膠拍面在不同濕度之下的彈跳高度紀錄

相對濕度(%) 彈跳高度(cm) 次別	65	70	75	80	85	90
第一次	40.0	39.0	37.5	36.5	35.0	34.0
第二次	41.0	41.0	38.0	37.0	36.0	35.0
第三次	41.0	40.0	38.5	36.5	35.5	35.0
第四次	40.0	40.0	38.0	36.0	35.0	34.5
第五次	40.5	40.0	38.0	36.5	36.0	34.0
平均彈跳高度	40.5	40.0	38.0	36.5	35.5	34.5



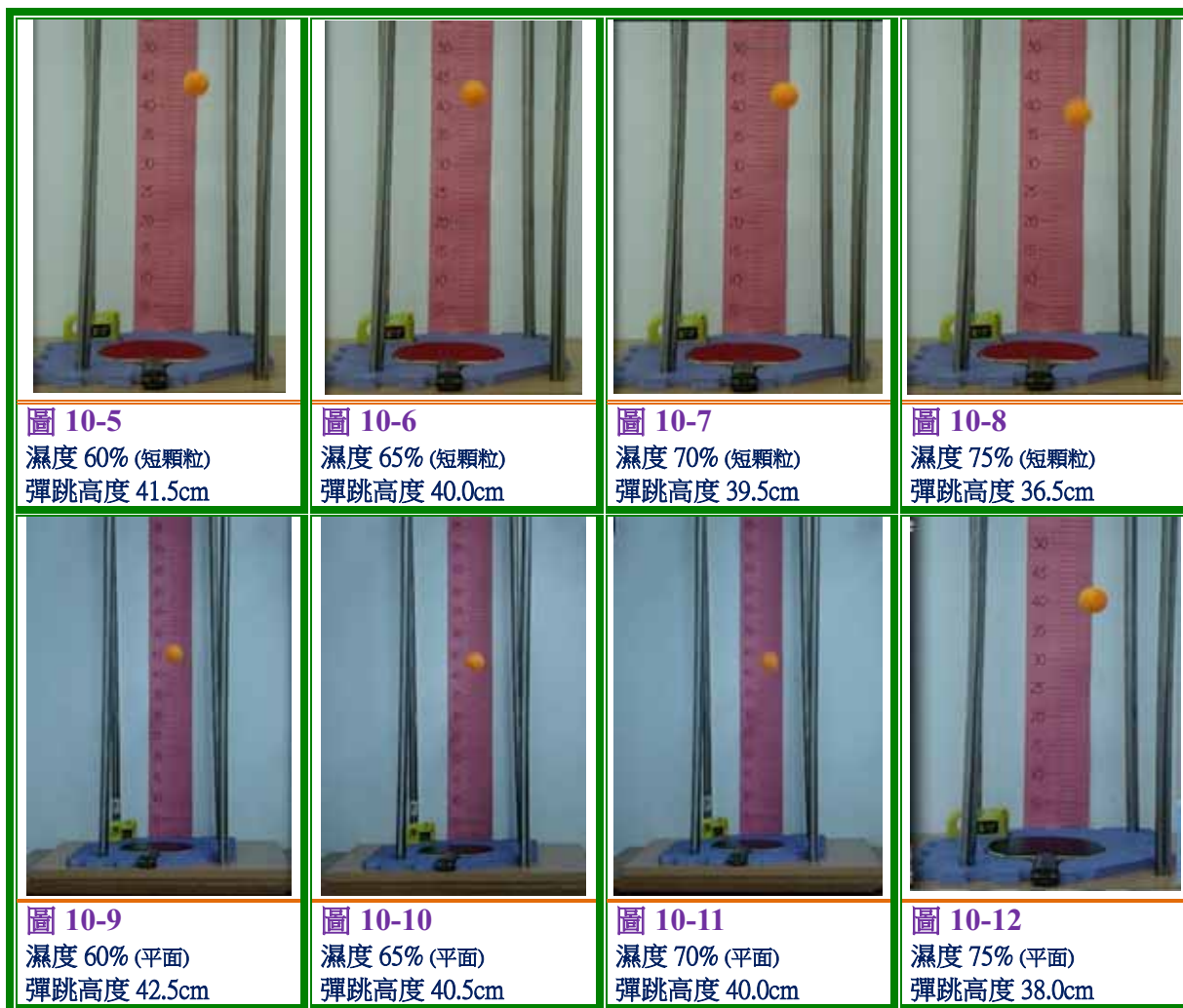
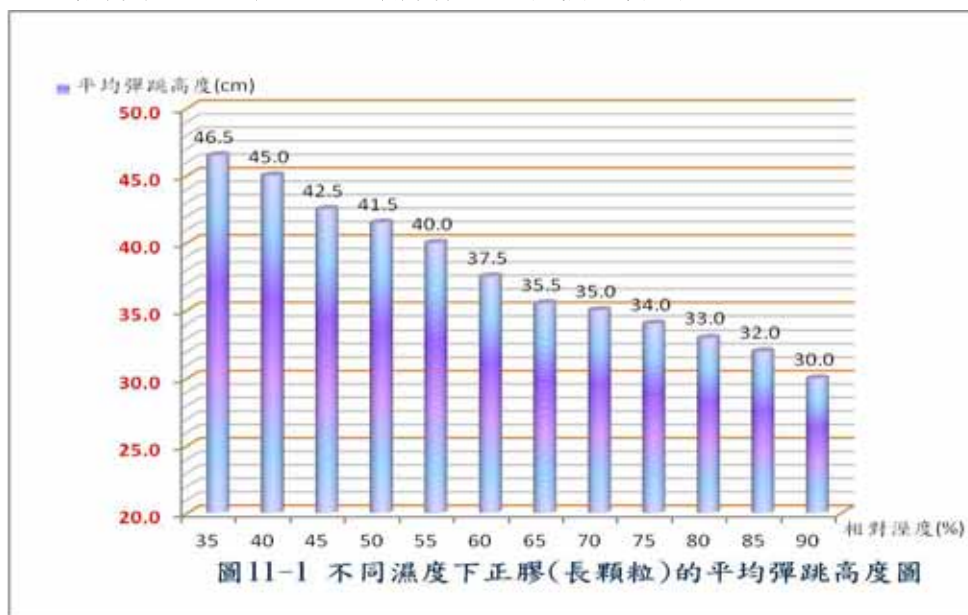
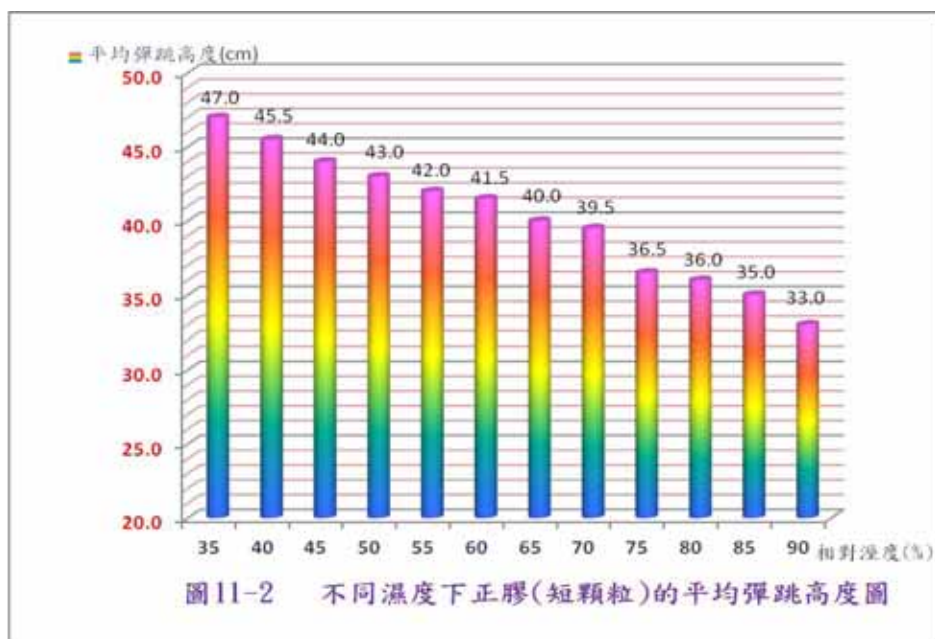


圖 10 不同濕度之下的彈跳高度圖

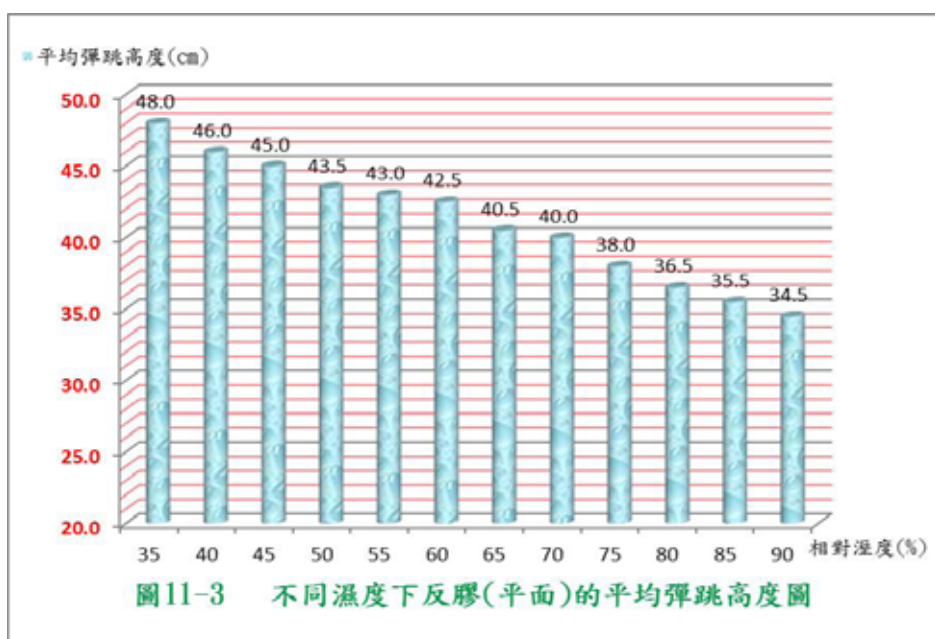
說明：圖 10 是攝影後經由電腦慢速播放找出最高彈跳點時的定格畫面
根據表 4-1 ~表 6-2 之數據作圖，我們可得到圖 11-1 ~圖 11-3



說明：由圖 11-1 可觀察到對正膠(長顆粒)拍面而言，彈跳高度隨相對濕度升高而降低，而在相對濕度 55%-65%時彈性變化最大。



說明：由圖 11-2 可觀察到對正膠(短顆粒)拍面而言，彈跳高度隨相對濕度升高而降低，而在相對濕度 70%-75%時彈性變化最大。



說明：由圖 11-3 可觀察到對反膠(平面)拍面而言，彈跳高度隨相對濕度升高而降低。

由圖 11-1、11-2、11-3 不同濕度對球拍拍面彈性的影響實驗，本組發現：環境中的濕度愈低，拍面彈性較佳；濕度愈高，拍面彈性較差。而且：

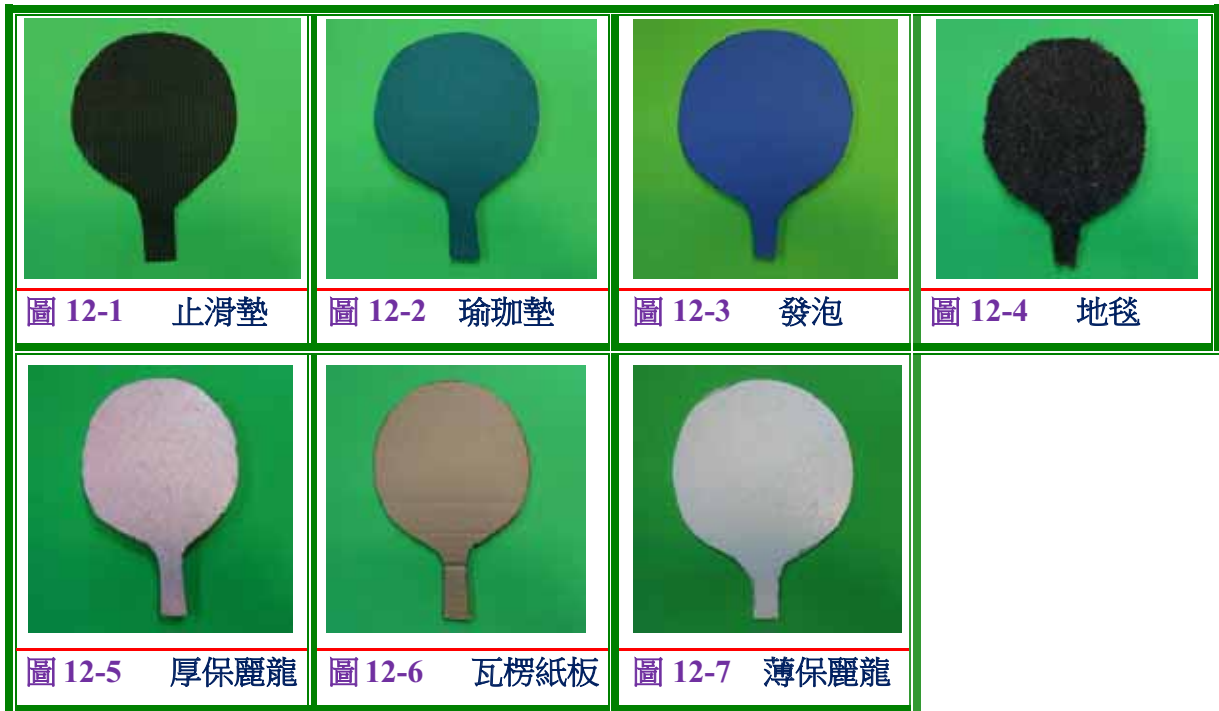
- (一)、對長顆粒拍面而言，在相對濕度 55%-65%時彈性變化最大。
- (二)、對短顆粒拍面而言，在相對濕度 70%-75%時彈性變化最大。
- (三)、對平面拍面而言，彈性緩和的隨相對濕度升高而遞減。

附註：依測試經驗得知，在測試濕度範圍內，乒乓球的彈跳高度不會低於 20 公分。因此，濕度與平均彈跳高度關係圖中的彈跳高度數據從 20 公分開始標示。

三、何種材質具有較佳彈性，並和其他材質的物品作比較。

材 料：止滑墊、瑜珈墊、發泡、地毯、厚保麗龍、瓦楞紙板、薄保麗龍。

設 備：彈性測試裝置、水平尺、乒乓球、袋針及棉線、錄影機、腳架。



(一)、測試各種替代材質的彈跳高度。

1. 測試乒乓球在不同材質上的彈跳高度。

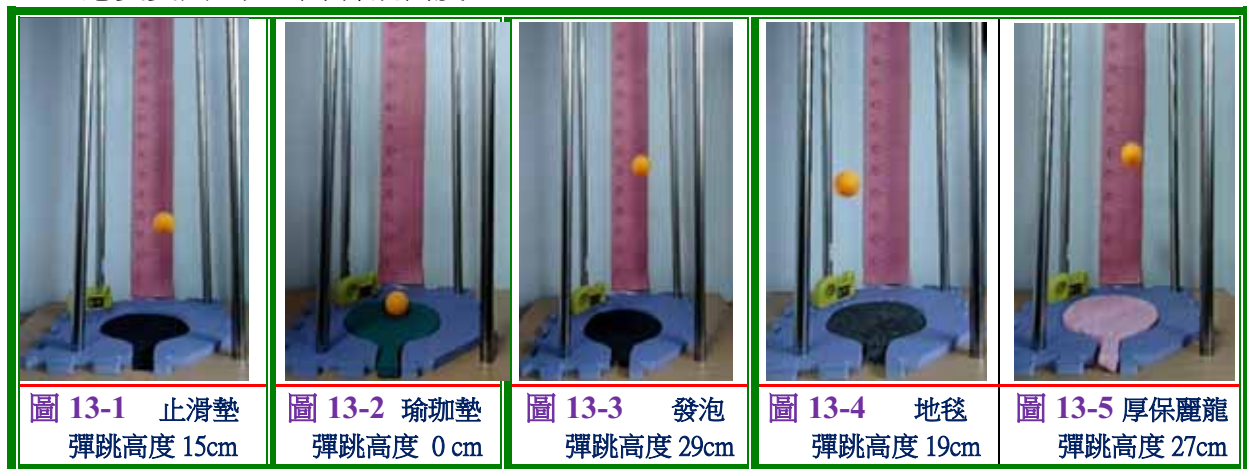
材 料：止滑墊、瑜珈墊、發泡、地毯、厚保麗龍、瓦楞紙板、薄保麗龍。

設 備：彈性測試裝置、水平尺、乒乓球、袋針及棉線、錄影機、腳架。

控制變因：環境溼度、環境溫度(在冷氣房中控制為 24.0℃)、各種替代材質面積。

操縱變因：各種不同的替代材質。

應變變因：乒乓球彈跳高度。



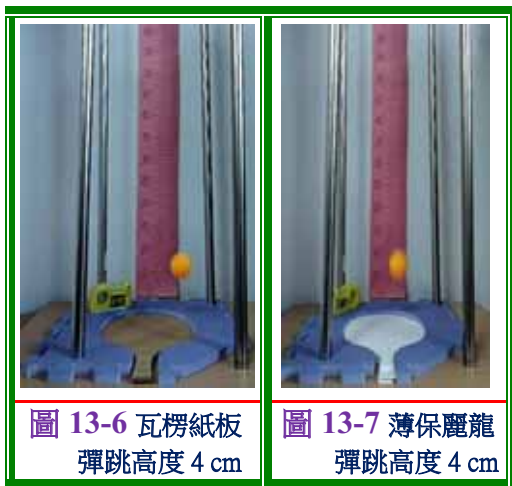


圖 13-6 瓦楞紙板
彈跳高度 4 cm

圖 13-7 厚保麗龍
彈跳高度 4 cm

圖 13 不同材質的彈跳高度圖

2. 比較各種替代材質的彈跳高度。

(表 7 不同材質的彈跳高度紀錄)

彈跳高度(cm) 次別	止滑墊	瑜珈墊	發泡	地毯	厚保麗龍	瓦楞紙板	薄保麗龍
第一次	14.5	0	29.5	19.0	26.5	3.5	3.5
第二次	15.5	0	29.0	19.0	27.0	4.5	4.0
第三次	15.0	0	28.5	18.5	27.5	4.0	4.5
第四次	15.5	0	29.0	19.0	27.5	4.5	4.0
第五次	14.5	0	29.0	19.5	26.5	3.5	4.0
平均彈跳高度	15.0	0	29.0	19.0	27.0	4.0	4.0

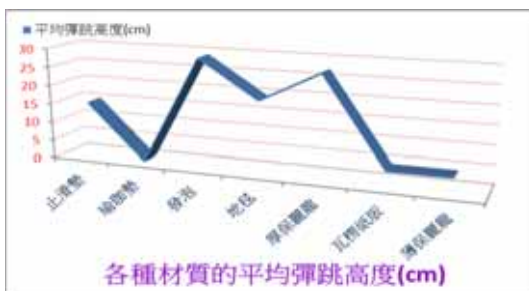


圖 14 各種材質的平均彈跳高度圖

由圖 14 可知，厚保麗龍與發泡的平均彈跳高度較佳，但基於下表的比較結果，本組選用發泡為較佳的替代材質。

(表 7 厚保麗龍與發泡的比較)

附註：具有該項特質者打「√」

	防水防潮	無毒環保	防火	保溫	易貼合於拍面	耐用性
發 泡	√	√	√	√	√	√
厚保麗龍	√			√		

3. 測試不同厚度發泡的彈跳高度。

材 料：厚度 3mm 發泡、厚度 7mm 發泡、厚度 10mm 發泡。

設 備：彈性測試裝置、水平尺、乒乓球、袋針及棉線、錄影機、腳架。

控制變因：環境溼度、環境溫度(在冷氣房中控制為 24.0°C)、材質形狀及面積。

操縱變因：各種不同厚度的發泡。

應變變因：乒乓球彈跳高度。

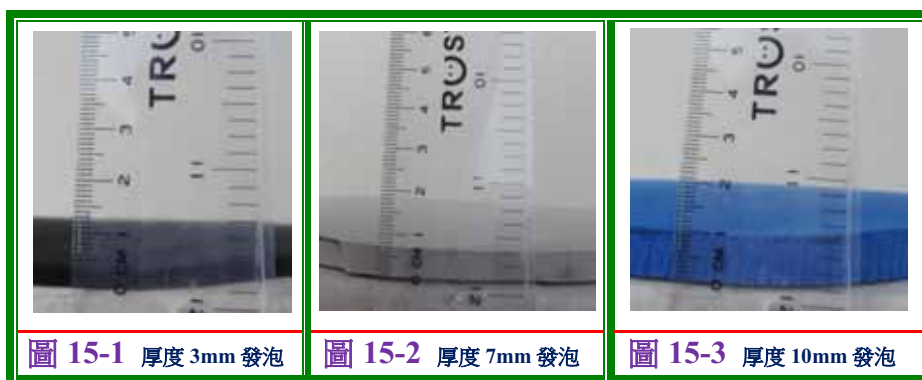
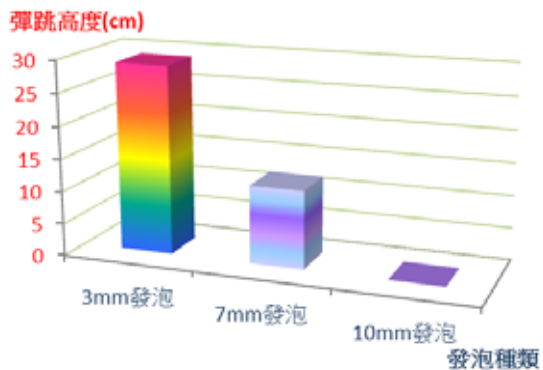


圖 15 不同厚度的發泡

(表 8 不同厚度的發泡彈跳高度紀錄)

彈跳高度(cm) 材質 次別	厚度 3mm 發泡	厚度 7mm 發泡	厚度 10mm 發泡
	第一次	29.5	12.5
第二次	29.0	11.5	0
第三次	28.5	12.0	0
第四次	29.5	11.5	0
第五次	28.5	12.5	0
平均彈跳高度	29.0	12.00	0



不同厚度發泡平均彈跳高度(cm)

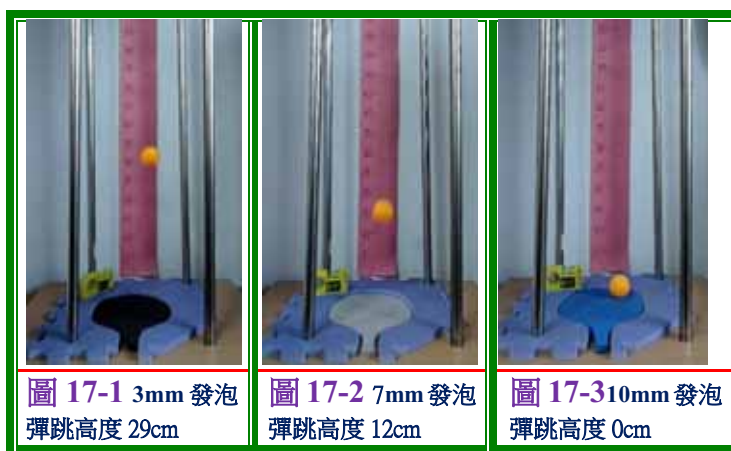


圖 16 不同厚度發泡平均彈跳高度

圖 17 不同厚度的發泡彈跳高度

經由反覆測試之後發現：厚度 3mm 的發泡具有較佳的彈性，且厚度與一般常見乒乓球拍膠面相近。若基於經濟因素的考量，厚度 3mm 的發泡不失為練習者可採用的替代膠皮材質之一。

四、討論：

剛開始進行實驗的過程中得到許多不同的數據，其中也不乏一些誤差極大的數值，幸好經過組員不斷的討論、測試及改良之後，終於可以歸納出實驗的結果。此次實驗最大的難處是：環境無法恆溫、恆濕。因此，本組將濕度實驗移至冷氣房中進行，便可在恆溫的狀態下進行實驗，並用防潮箱控制濕度，以減少實驗變因。「球無法落在拍面中心點」、「視角不同」等等的問題也會影響到實驗結果，但我們都一一克服。另外，市售彈性較佳的拍面膠皮價格

不斐，因此我們也取用日常生活中隨手可得的材質進行彈性測試，藉以發現可能替代拍面膠皮的材質。

在參與科展期間，雖然一開始我們並不是全盤了解，但經過老師的建議和指導後，我們漸入佳境，清楚了此次研究的目的。在實驗的過程中我們遇到了許多難題，例如：組員們自行設計的彈性測試裝置要如何固定？如何確保水平？在溫度實驗時要怎麼讓預設的拍面溫度保持恆定，以有效掌握控制變因等等都是實驗過程中遇到的難題。



圖 18-1 討論研究主題



圖 18-2 訪問桌球教練



圖 18-3 上臺分享資料

一、儀器設備

問題(一)：裝置中為何要選用壓克力材質的板面？可替換為其它材質嗎？

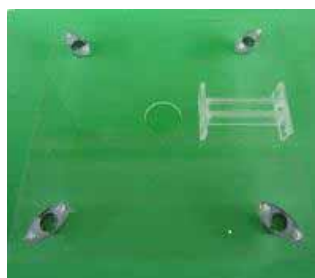


圖 19-1 透明壓克力板

解決方法：

因壓克力板透明質輕方便觀察，其他具有相同特質的安全材質皆可替換。

問題(二)：為什麼要將儀器放置於桌上？



圖 19-2 彈性測試裝置

解決方法：

除了便於操作，最主要因素為便於平視觀察彈跳高度，以避免因觀測角度不同而造成的誤差。

問題(三)：為什麼要在裝置下方放置挖好洞的巧拼墊和木板？



圖 19-3 巧拼墊及木板架設

解決方法：

巧拼墊是為了掌握球拍擺放的精準位置，減少時間上的浪費，盡量降低因曝露於外在環境溫、濕度過久而影響實驗結果。木板則是用來固定上方的支架與裝置。

問題(四)：為什麼支架和測量尺的高度要選用這個高度？



圖 19-4 裝置高度及刻度尺位置

解決方法：

因為有足夠的高度才便於實驗過程的觀察，也顧及小朋友操作的方便性，故本組採用這個高度。

問題(五)：如何讓球落至拍面正中央？

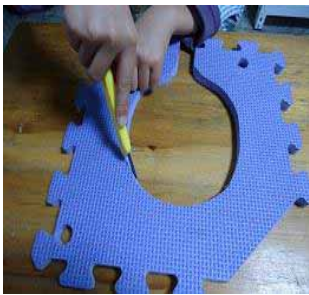


圖 19-5 裁切巧拼墊

解決方法：

將巧拼墊置於測試裝置下方，利用鉛垂原理，以袋針穿線由壓克力板中央洞口垂吊而下，測量出球將掉落的位置後，標記在巧拼墊上。再於巧拼墊上繪出球拍的形狀，並進行裁切。

問題(六)：為何要在球拍下面放置十元硬幣？



圖 19-6 放置十元硬幣

解決方法：

球拍握把的設計無法讓拍面在球拍平放時保持水平，因此在拍面下放置十元硬幣，墊高拍面高度，使拍面保持水平。

問題(七)：如何使袋針在拉動時，保持同一個行進路徑？

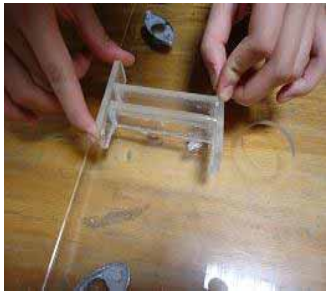


圖 19-7 袋針移動軌道

解決方法：

在壓克力板上設計一個袋針移動的軌道。

二、實驗過程

問題(一)：要如何讓球拍拍面達到預設的溫度？



圖 20-1 吹風機直接加溫



圖 20-2 球拍放入保溫袋中並以吹風機加溫



圖 20-3 測試拍面溫度

解決方法：

因為做實驗時是冬天，所以球拍拍面的溫度容易降低。於是本組準備吹風機直接朝拍面加溫，但發現溫度很快又降低。最後本組決定將球拍放入保溫袋中，利用吹風機朝袋內加溫至預設溫度並保溫一段時間，再以遠紅外線溫度感應器隨時測試溫度，確定球拍維持在預設溫度後，再進行實驗。

問題(二)：剛開始做濕度實驗時，為何得到的數據歸納不出結論？



圖 21-1 設定相對濕度



圖 21-2 設定冷氣房溫度



圖 21-3 自防潮箱取出球拍

解決方法：

剛開始做濕度實驗時，防潮箱與彈性測試裝置的擺放位置有一段距離，當組員將球拍從防潮箱取出後到放置於測試裝置上，會有一段時間因暴露於空氣中而受外在濕度的影響，使拍面濕度可能已不是預設濕度，導致實驗數據的誤差，因此歸納不出結論。所以決定將濕度實驗移至冷氣房中進行，並將彈性測試裝置移至防潮箱旁，以減少球拍取出後暴露於空氣中的時間。同時，為確保拍面維持在預設濕度，決定將球拍在預設濕度中的防潮箱中置放 4~6 天後，才取出進行實驗。經過上述的修正之後，濕度實驗得以順利進行並歸納出結論。

問題(三)：如何讓球落在球拍的正中央？



圖 22 球拍與乒乓球

解決方法：

由於膠皮的不同區域所產生的彈力不同，為保持實驗結果準確，必須落在拍面正中央。另外，外在因素(例如：風力)也會影響乒乓球落下的位置，所以，在進行本實驗時，必須將門窗關上，來確保球能準確落在球拍的正中央。

問題(四)：球落下時，要如何觀察才會得到正確的彈跳高度？



圖 23 平視目測觀察並架設攝影機

解決方法：

球落下及彈跳的速度很快，每位成員於瞬間觀測到的彈跳高度會有所不同，發現是因為從不同角度或高度觀測的視差所造成，因此實驗結果會不夠精準。經過幾次測試之後，發現採用平視得到的數據最為準確。所以，除了組員以平視來觀測之外，在進行每次實驗時，要以架設於平視高度的攝影機錄下所有過程，經由電腦慢速播放及定格處理，以得到正確的彈跳高度。

問題(五)：為了模擬寒帶地區的溫度，如何將拍面溫度降低到預設的溫度？



圖 24 自冰箱取出球拍

解決方法：

將球拍放入冰箱中冷藏 4~6 天或冷凍至少半天之後取出，再以遠紅外線溫度感應器測試溫度，確定球拍維持在預設溫度後，再進行實驗。

問題(六)：如何知道球拍拍面在實驗進行時的溫度？

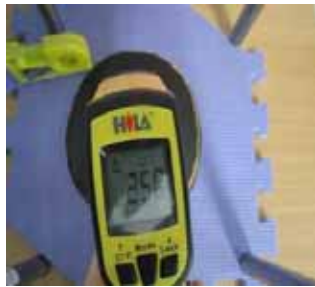


圖 25 測試溫度

解決方法：

利用遠紅外線溫度感應器測試後，再進行實驗。

陸、結論

由蒐集的資料中發現桌球拍的彈性與球拍構造的材質、使用狀況、保存方式以及周遭環境狀況有關。而本組的實驗設計主要是針對溫度、濕度的變化對拍面膠皮彈性的影響進行探討，得到的結論是：

一、在進行不同溫度對球拍拍面彈性的實驗後，本組發現：環境中的**溫度越高，拍面彈性越佳**；**溫度越低，拍面彈性越差**，而且：

(一)、對**正膠(長顆粒)**拍面而言，在**溫度 20°C-25°C**時彈性變化最大。

(二)、對**正膠(短顆粒)**拍面而言，在**溫度 15°C-20°C**時彈性變化最大。

(三)、對**反膠(平面)**拍面而言，其**彈性緩和的隨溫度升高而增加**。。

台灣地區年均溫大約是 24°C，影響彈性最大的溫度範圍大約落在此區塊，因此，在台灣地區進行的桌球比賽應特別注意溫度對桌球拍拍面彈性的影響。

二、在進行不同濕度對球拍拍面彈性的實驗後，本組發現：環境中的**濕度越低，拍面彈性越佳**；**濕度越高，拍面彈性越差**，而且：

(一)、對**正膠(長顆粒)**拍面而言，在**濕度 55%-65%**時彈性**變化最大**。

(二)、對**正膠(短顆粒)**拍面而言，在**濕度 70%-75%**時彈性**變化最大**。

(三)、對**反膠(平面)**拍面而言，其**彈性緩和的隨相對濕度升高而遞減**。

台灣地區平均相對溼度大約是 70%~85%，影響彈性最大的濕度範圍大約落在此區塊，因此，在台灣地區進行的桌球比賽亦應特別注意濕度對桌球拍拍面彈性的影響。

柒、未來展望與建議

一、做了此實驗之後，建議桌球比賽可以**選擇在恆溫恆濕**的環境中進行，如此一來，可**避免因環境因素而影響比賽結果**的客觀性，也更能測出每位選手的實力。

二、由於本次的彈性測試裝置是自行設計的，材料也都是採用日常生活中隨手可得的器材組裝而成，如：**廢棄書櫃的隔板**、**毛巾架的白鐵管**等等。再加上是採**平視目測**後，再利用**影片慢速播放**、**定格擷取鏡頭**得到結果，建議對此方面有興趣的人，可以**設計更精密的儀器**來測出更準確的實驗數據。

三、若基於**經濟因素**的考量，**厚度 3mm 的發泡**不失為可替代膠皮材質的考量之一。

捌、參考資料及其他

1. 桌球發展史。2011年10月5日，引自 <http://www.ariex-mall.com/info/view.asp?id=50>
2. 桌球歷史。2011年10月11日，引自 <http://club.ntpu.edu.tw/pingpong/history.html>
3. 球拍膠皮。2011年10月29日，引自
<http://tw.myblog.yahoo.com/chichi-tabletennis/article?mid=528&sc=1>
4. 中央氣象局。 <http://www.cwb.gov.tw>
5. 乒乓球拍保養。2011年11月10日，引自
<http://tw.myblog.yahoo.com/jw!tvLW.4WeHwN5WuuBPzQWsGGVNIQatg>
6. 南台桌球社。2011年12月6日，引自
<http://eportfolio.stut.edu.tw/~club048/category/32824/page/2>
7. 桌球的由來及常識
<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1607100107364>
8. 乒乓球(1991)。蔡明樞。淑馨出版社。
9. 大美百全書第26冊 (1992)。林春輝。光復書局。
10. 蕭美珠 (2001)。不同桌球拍膠皮摩擦係數與恢復係數之研究。北體學報，45-62頁。

【評語】 080101

1. 實驗的傳達能力頗佳，尤其短劇表演更能顯示研究問題所在。
2. 研究紀錄等資料豐富。