

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

佳作

080108

「圓管站起來!」

-圓管掉落再反彈直立的相關因素研究

學校名稱：臺中市梧棲區永寧國民小學

作者： 小五 涂伊宸 小五 王柏寓 小五 白羽丞 小五 王佩勻	指導老師： 蔡玉華 李秋娟
---	---------------------

關鍵詞：圓管、掉落反彈、直立

## 摘要

本研究是探究「影響圓管掉落後再反彈直立的因素」，並自製設備及標準化的實驗，研究發現：

- 一、適合夾放圓管的工具是「鐵製麵包夾」，圓管材質則以「PVC 圓管」最佳。
- 二、對 7 公分長的 PVC 圓管而言，最佳重心離地高度是 2 倍管徑長。
- 三、1.5 倍管徑長的圓管效果佳，成功率高達 96.7%。
- 四、夾子夾圓管右邊時，顯著降低效果；夾子夾在中間及左邊時無顯著差異。
- 五、圓管傾斜角度 25 度時，「2 倍管徑長的 PVC 圓管(7 公分)、重心離地為 2 倍管徑(7 公分)」的成功率為 100%。
- 六、四種包覆材質中，效果依序為「細鐵絲>粉彩紙捲>橡皮筋>水果網袋」。
- 七、接觸面材質效果依序是「會議桌=磨石子地>玻璃=實驗木桌>空心木桌>PP 地板>不鏽鋼餐桌>玻璃纖維桌」。

## 壹、研究動機

有一天我們在打掃廁所的時候，和同學無意中發現了一件有趣的事情，當我們在廁所外更換捲筒衛生紙時，已用完衛生紙的圓管不小心掉到地上。咦！它居然彈跳一番後站起來！真是太神奇了！

於是，我們去找了其他的圓管試試看，有的可以站起來，有的卻不行。有時雖然是同一支圓管，也會因為從不同的高度放下圓管而使得成功站立的次數也不同。

因此，我們便很好奇，什麼樣的圓管掉落後容易再站起來呢？那是不是跟圓管的大小及長度有關？在哪一種高度落下，成功站起來的機率最高？剛好五年級上學期的自然課上到「力的作用」，我們猜想這個現象應該跟「作用力與反作用力」有關係，所以，就展開了我們尋求答案的科展研究。

## 貳、研究目的

- 一、探討設計容易操作及測量的實驗器材及設備。
- 二、探討不同「重心離地高度」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果。
- 三、探討不同「圓管長度」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果。
- 四、探討當夾子夾在 PVC 圓管「不同位置」再掉落後反彈直立的情況。
- 五、探討不同「傾斜角度」對 PVC 管掉落後再反彈直立站起的效果。
- 六、探討不同「包覆材質」對 PVC 管掉落後再反彈直立站起的效果。
- 七、探討不同「接觸面材質」對 PVC 管掉落後再反彈直立站起的效果。

## 參、研究設備及器材

### 一、研究器材







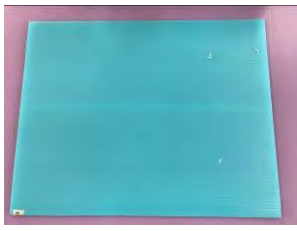








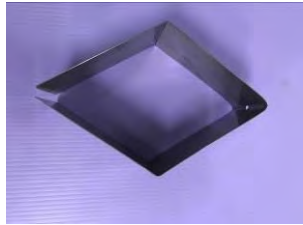

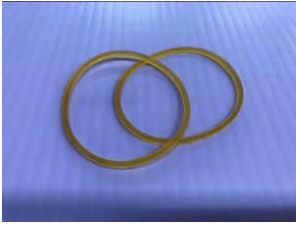

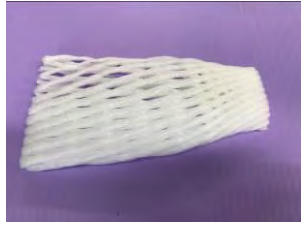







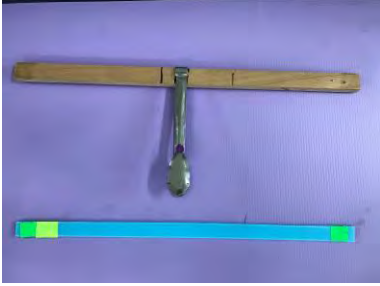


			
pvc 圓管	衛生紙圓管	透明塑膠圓管	羽球筒
			
保鮮膜圓管	紙尺	PP 板	裁切器
			
課桌	木條	魔鬼氈	圓形貼紙
			
鐵製麵包夾	鐵製烤肉夾	大鐵片	小鐵片
			
鐵絲	橡皮筋	粉彩紙	水果網袋
			
強力夾	鐵鎚	老虎鉗	鐵釘

圖 1 研究器材

## 二、自製「抓放圓管掉落器」

		
<p>1.使用學生課桌椅來當基座。</p>	<p>2.兩側加上木板片及公分尺。</p>	<p>3.公分尺旁貼上魔鬼氈貼條。</p>
		
<p>4.裁切與兩側木片寬距一樣の木條，再將夾子固定卡在木條上。準備適當長度的PP板條，後方貼上魔鬼氈。</p>	<p>5.使用強力夾將木條固定於兩側，PP板貼於兩側魔鬼氈上。</p>	<p>6.完成。</p>
<p>圖 2 自製「抓放圓管掉落器」</p>		

## 肆、研究過程或方法

### 一、文獻探討

我們在台中教育大學『科學實驗室』的網站上找到相關的主題，其內容重點如下：容易成功的圓管是直徑的 1.5 倍-2.5 倍，手抓取的方式要以圖 3 水平的方式才能成功使圓管站立，高度必須保持在 22 公分。





## 二、研究架構

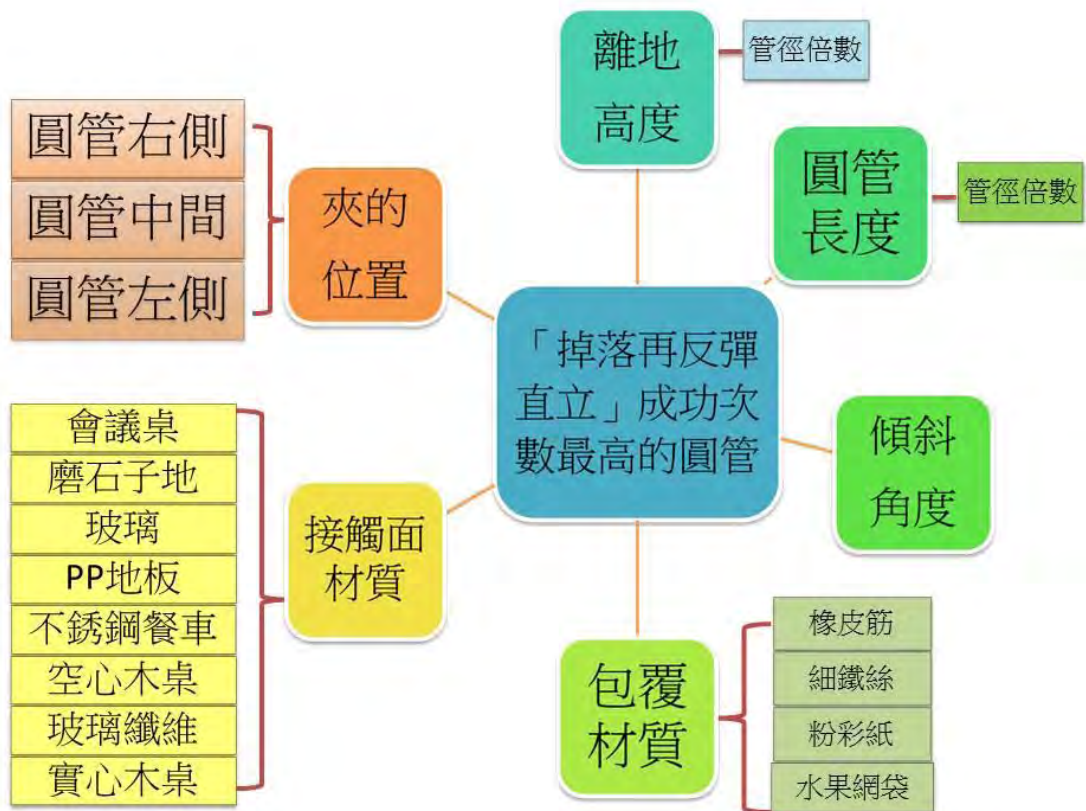


圖 4 研究架構圖

## 三、測量方式

### (一) 定義變項



1.定義「PVC 管的重心離地高度」	2.定義「PVC 管掉落後再直立站起」
<p>重心離地高度= 圓管外圍半徑 A+圓管底部離地高度 B</p>  <p>PVC管側面</p> <p>接觸桌面</p>	

圖 5 定義變項

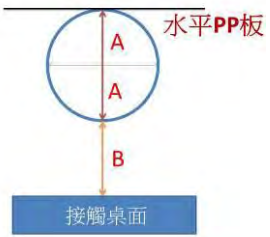



## (二) 實驗裝置各部位使用說明

整體外觀	夾子	高度量測	水平量測 1
 <p>實驗裝置全貌。</p>	 <p>將夾子先以量角器測量垂直於木條的位置，接著在木條上畫上記號，在以強力夾固定在木條上。</p>	 <p>在器材兩側木板上都貼有高度表，測量高度的木條以強力鐵夾固定在木板上。</p>	 <p>PP 板兩側為同一高度，以魔鬼氈固定。PVC 管上方需靠緊藍色 PP 長條版，確定落下前為水平擺放。</p>
水平量測 2	手握位置	慢速攝影	角度量測
 <p>在夾子和圓管上做記號，確定每次都夾在同處。</p>	 <p>夾子雙邊貼上紫色貼紙，確定每次操作者的手都會握在同處。</p>	 <p>慢速攝影，確認做記號的這個位置時的圓管是水平落下。</p>	 <p>將藍色 PP 板與木條以鐵釘固定一點，用量角器量好角度後，將斜邊用紙板固定。</p>





圖 6 實驗裝置各部位使用說明

## (三) 設定重心離地高度的步驟



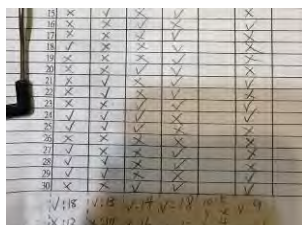
1. 因為圓管的頂部高度比圓管的重心高度容易量測，因此我們先將要設定的重心離地高度加上圓管半徑後，再將圓管頂部設定到這個高度，再以夾子夾上，接著在夾子與此時的圓管接觸點做上記號。
2. 記錄上一步驟時的木條高度，接下來要調整重心離地高度時，只需計算出差距幾公分後再調整木條高度即可。

			
<p>1.先計算出(A+B)+A的高度。(重心離地高度加上圓管半徑)</p>	<p>2.以 PP 板作為圓管頂部測量的工具，從 PP 板的刻度來設定圓管頂部的高度</p>	<p>3.調整木條高度使圓管頂部離地高度等於設定值時，將木條以強力夾固定於兩側。</p>	<p>4. 夾子與此時的圓管接觸點做上記號</p>
<p>圖 7 設定重心離地高度的步驟</p>			

(四) 設定傾斜角度時的重心離地高度之步驟

			
<p>1.在夾子兩側記號中心點做一個記號</p>	<p>2.設定好傾斜角度後，將夾子放上，</p>	<p>3.上下調整木條使夾子中心點記號為設定高度</p>	<p>4.架置於設備上</p>
<p>圖 8 設定傾斜角度時的重心離地高度之步驟</p>			

(五) 「標準實驗步驟」說明：

步驟一	步驟二	步驟三
		
<p>計算重心離地高度後，調整木條及 PP 板高度(或角度)。</p>	<p>將 PVC 管固定好後，再同時放開夾子兩邊，每個設定值進行 30 次的實驗。</p>	<p>當 PVC 管掉落後再直立站起時記錄 V，否則記錄 X。</p>
<p>圖 9 「標準實驗步驟」說明</p>		



## 四、研究內容

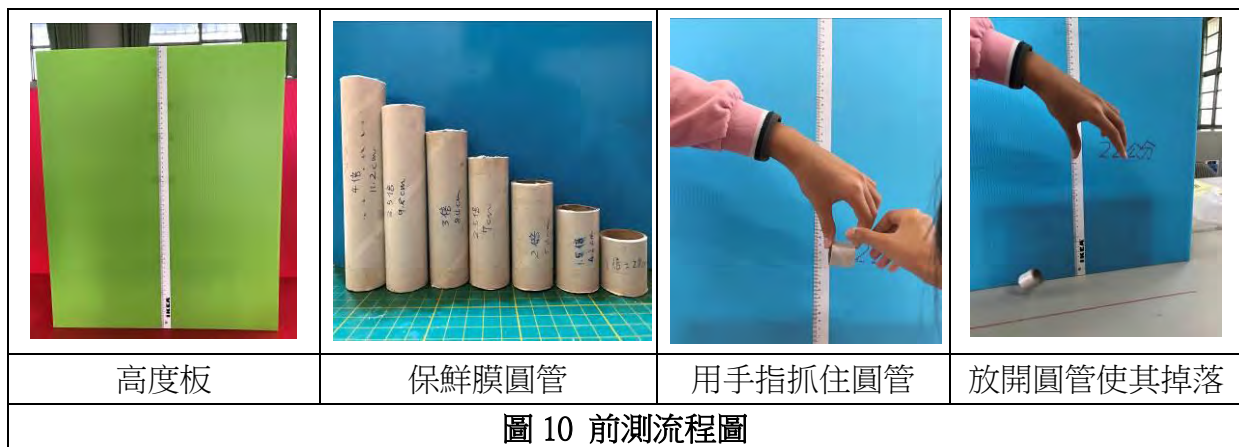
### 研究一：探討設計容易操作及測量的實驗器材及設備。

#### 前測

從參考文獻上我們發現實驗者是使用「徒手」抓放圓管使其掉落的，因此我們先依照這個方式來試試看。

#### (一) 研究過程

1. 為了實驗資料上建議的高度，我們製作一個高度板(如圖 10)方便測量，並以 22 公分為控制變項。
2. 先以保鮮膜圓管作為實驗對象。
3. 器材與流程如下圖：



#### (二) 研究結果

我們使用 7 種長度的圓管從 22 公分的高度落下，每個長度進行 30 次。實驗結果如下表：

直徑倍數	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
圓管長度 (公分)	2.8	4.2	5.6	7	8.4	9.8	11.2
成功次數	7	4	6	2	1	0	0

表 1 實驗紀錄表

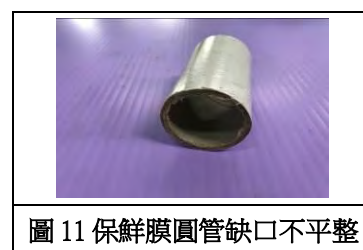
#### (三) 研究發現

1. 從表 1 中發現成功次數都不高，而且在實驗過程中，很容易因為手抓位置改變、手會抖、圓管可能沒有平放、離地位置無法每次都一樣、不容易完全對準 22 公分的水平線等因



素影響實驗的準確性，因此應該設計更容易操作、更方便觀察的實驗設備才對。

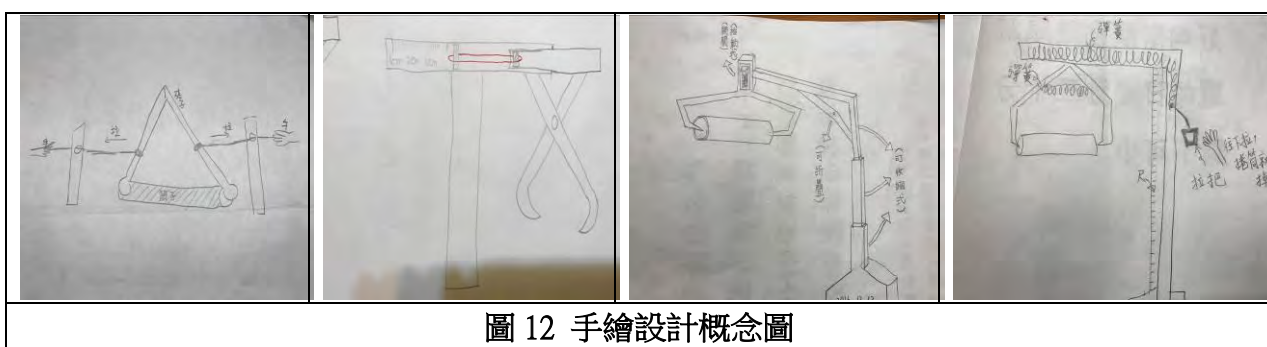
2.另外，保鮮膜圓管因為硬度不足，在切割成小段時，容易造成切口不平整，或是在實驗過程中壓扁、磨損，不是很適合的材質。(如圖 11)



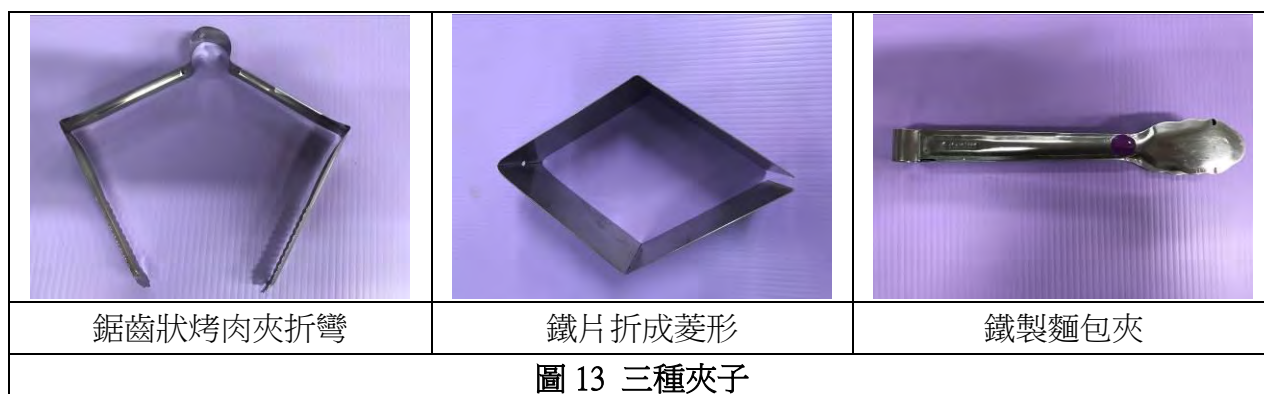
## 設計實驗設備

### (一) 研究過程




1.為了改善徒手抓放圓管的缺點，我們設計了幾種不同的概念(如下圖)：



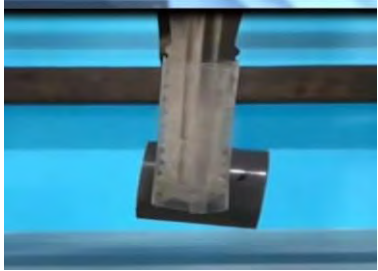


結果發現共同的重點都是需要使用夾子來做抓放圓管的動作，並且要有一個支撐懸掛夾子的構造。尋找身邊可用的資源時，我們測試了幾種不同的夾子，如下圖：



另外，為了讓夾子能夠有一個支撐點固定，以及能夠易於調整夾住圓管的高度，我們利用不用的課桌椅改造成「抓放圓管掉落器」，測試方式如下：

		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將折彎的烤肉夾頂端打洞，穿過鐵釘固定在木板上，讓夾子可以上下移動。</li> <li>2. 手指瞬間壓放頂端時，夾子兩側會自然張開，圓管便會落下，夾子彈回原位。</li> </ol>	<p>實驗步驟同左側說明。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將麵包夾用強力夾固定在木條上，手指壓住夾子兩側夾住圓管。</li> <li>2. 手指同時放開夾子，圓管便會自然落下。</li> </ol>
<p>圖 14 三種夾子在「抓放圓管掉落器」的實驗情況</p>		

## (二) 研究結果

折彎烤肉夾	菱形鐵片	麵包夾
		
傾斜落下	傾斜落下	水平落下
<p>圖 15 三種夾子圓管落下瞬間</p>		

## (三) 研究發現

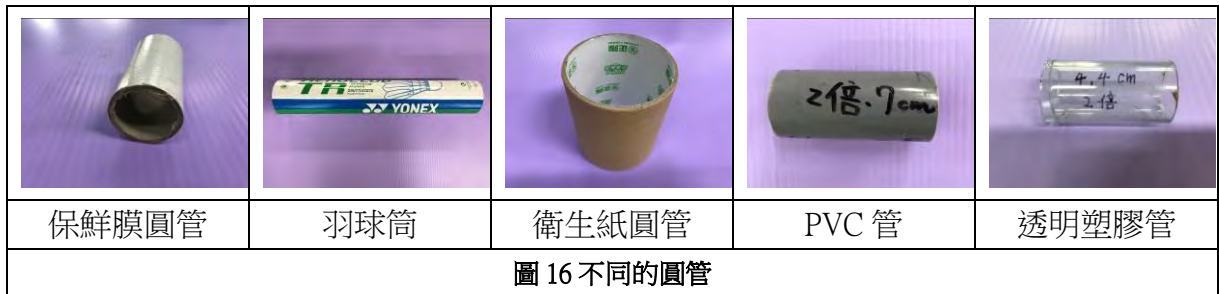
經過測試之後，我們發現：

1. 鋸齒狀的烤肉夾因為夾住圓管的部位因為比較窄，所以圓管夾住後很容易歪斜，同時也因為夾子材質較軟，按壓沒幾次後就彈性疲乏。透過慢速攝影可以發現，圓管落下時不是水平的(如圖 15)。
2. 菱形鐵片因為太厚，按壓時要非常用力，兩翼張開的幅度也不大，圓管無法順利落下，操作者也很容易因為過度用力而沒力氣。
3. 麵包夾的厚度比烤肉夾厚，不易變形，跨放在木條上剛好可以卡住，加上強力夾固定後，不會因為壓放而移動位置。夾子的底部面積大，能固定管身，按壓時只要輕壓輕放即可操作。另外，透過慢速攝影發現只要調整好圓管夾的位置，圓管可以水平落下(如圖 15)。
4. 因為鐵製麵包夾的效果最好，所以選擇「鐵製麵包夾」作為後續實驗的器材。

## 探討適合的圓管材質

### (一) 研究過程

我們選擇了 5 種圓管來進行切割：



### (二) 研究結果

表 2 不同圓管材質測試結果一覽表

材質	保鲜膜圆管	羽毛球筒	卫生圆管	PVC 管	透明塑胶管
結果	太軟易磨損。	管徑大到夾子夾不住。	管徑大到夾子夾不住。	硬度高，切口較平整	較軟，切割後會碎裂。

### (三) 研究發現

PVC 管因切割後的切口較平整，硬度高耐摔，管徑大小麵包夾可以夾住，效果最好，所以後續實驗都選擇以 PVC 管為實驗對象。

## 研究二：探討不同「重心離地高度」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果。

實驗使用的 PVC 管的直徑是 3.5 公分，本次實驗先以 2 倍直徑的 PVC 管為實驗對象。

### (一) 研究過程

1. 選擇 7 公分長的 PVC 管(如圖 17)。
2. 設定重心離地高度從 5 公分開始，每次增加 1 公分。
3. 為了瞭解高度與管長之間是否有倍數關係，加做重心離地高度為管長的 1.5 倍、2 倍。
4. 操作「標準實驗步驟」，直到成功次數出現兩次高峰後停止。
5. 找出成功次數最高的高度後，為了縮小誤差造成的影響，再以該高度加減 0.5 公分再實驗各 30 次，以找出更精確的數據。



## (二) 研究結果

表 3 不同「重心離地高度」的成功次數紀錄表

高度(公分)	5	6	6.5 (加做)	7 (2 倍管徑) (最佳)	7.5 (加做)	8	9	10
成功次數	0	3	22	23	4	3	3	1
高度(公分)	10.5 (3 倍管徑)	11	12	13	14 (4 倍管徑)	15	16	17
成功次數	7	1	6	4	4	2	2	1

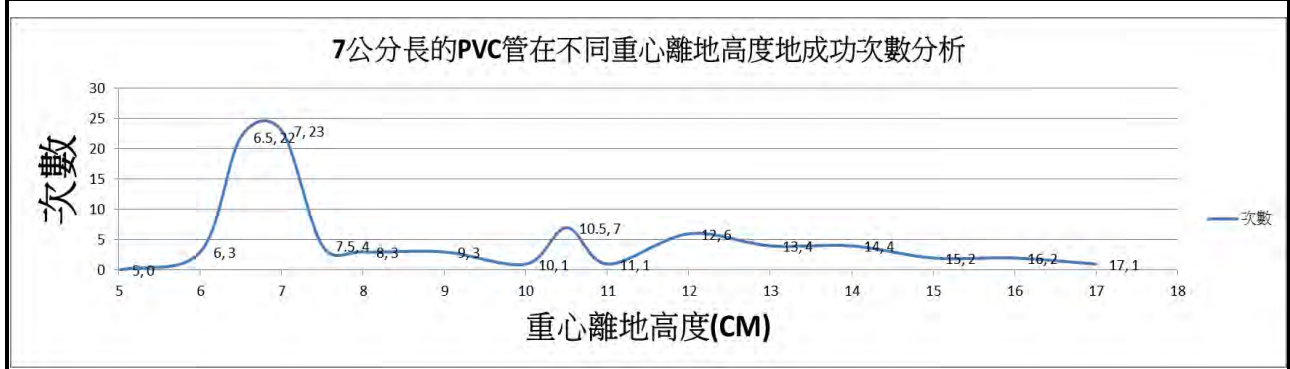


圖 18 不同「重心離地高度」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果分析

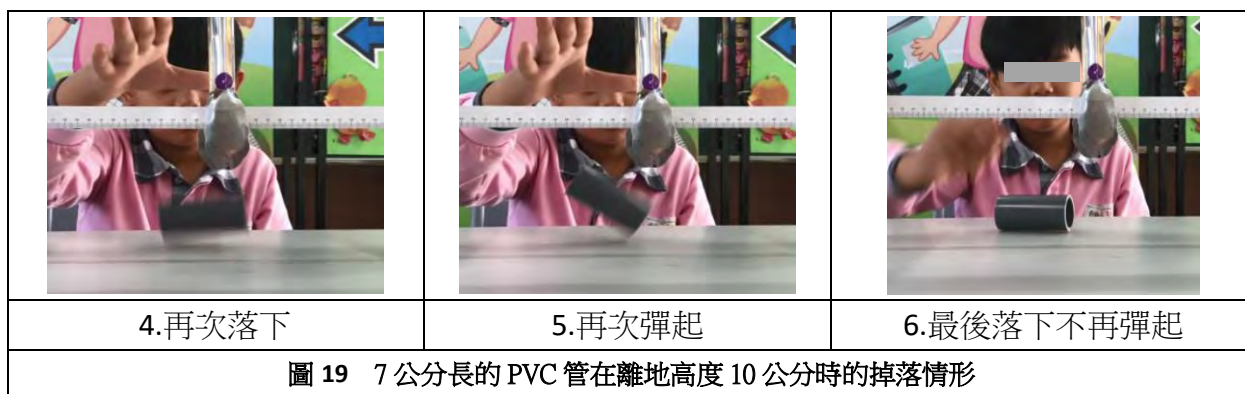
1. 這次的實驗出現兩次高峰，分別是重心離地高度為 7 公分及 10.5 公分時。
2. 重心離地高度在 7 公分時，成功次數最高(23 次)，因此加做 6.5 公分以及 7.5 公分兩個高度，進行更精細測試，結果仍然以 7 公分時的效果最佳。

## (三) 研究發現

1. 實驗出現的兩次高峰的重心離地高度，剛好都是管徑長的倍數，分別是 2 倍、3 倍，其中以 2 倍管徑長的高度效果最好。
2. 重心離地高度越高，圓管在反彈時會左彈又彈，不容易站立；太低則沒有空間反彈。(如下圖)







3. 本次實驗效果最佳的重心離地高度是 2 倍管徑長，所以接下來其他管長的 PVC 管將以 2 倍管徑長及加減 0.5 公分作為實驗操作值。

### 研究三：探討不同「圓管長度」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果。

本次研究選擇 7 種不同的管長來進行實驗，分別是 PVC 圓管直徑的 1 倍、1.5 倍、2 倍、2.5 倍、3.5 倍、4 倍(圖 20)。



圖 20 7 種長度的 PVC 圓管

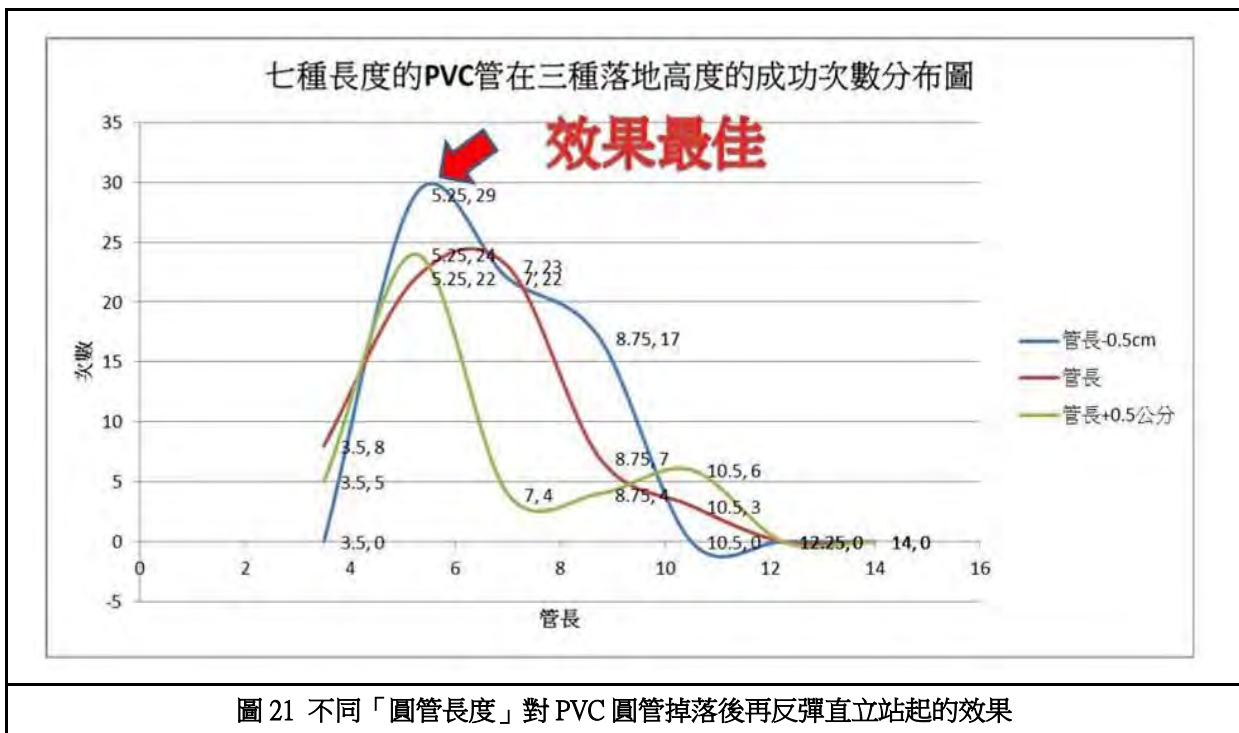
#### (一) 研究過程

1. 選擇長度為 3.5cm、5.25cm、7cm、8.75cm、10.5cm、12.25cm、14cm 的 PVC 管。
2. 每種圓管設定的重心離地高度都是該圓管的管長、加減 0.5 公分等 3 種高度設定。
3. 操作「標準實驗步驟」。

#### (二) 研究結果

表 4 不同管長的 PVC 圓管在不同掉落高度的成功次數紀錄表

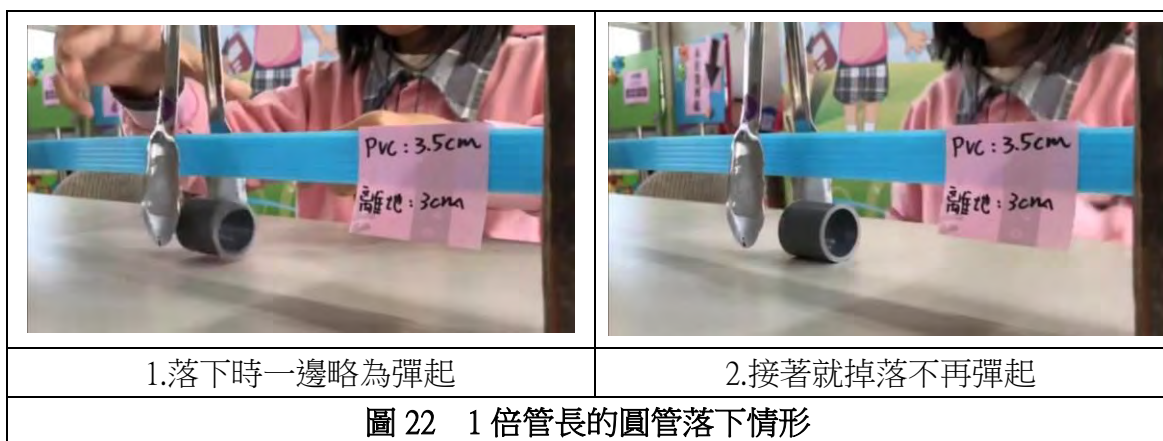
管長 \ 掉落高度	管長-0.5cm	管長	管長+0.5 公分
3.5	0	8	5
5.25	29	22	24
7	22	23	4
8.75	17	7	4
10.5	0	3	6
12.25	0	0	0
14	0	0	0



1. 以 1.5 倍管長為分界點，管子長度超過或是減少，成功次數遞減。
2. 效果最佳的是 5.25 公分長的圓管(1.5 倍圓管直徑)，在三種離地高度的條件下，成功次數高達 22~29 次；第二名則是 7 公分長的圓管(2 倍圓管直徑)，最佳表現時的重心離地高度為 7 公分(1 倍管長的高度)，成功次數為 23 次。

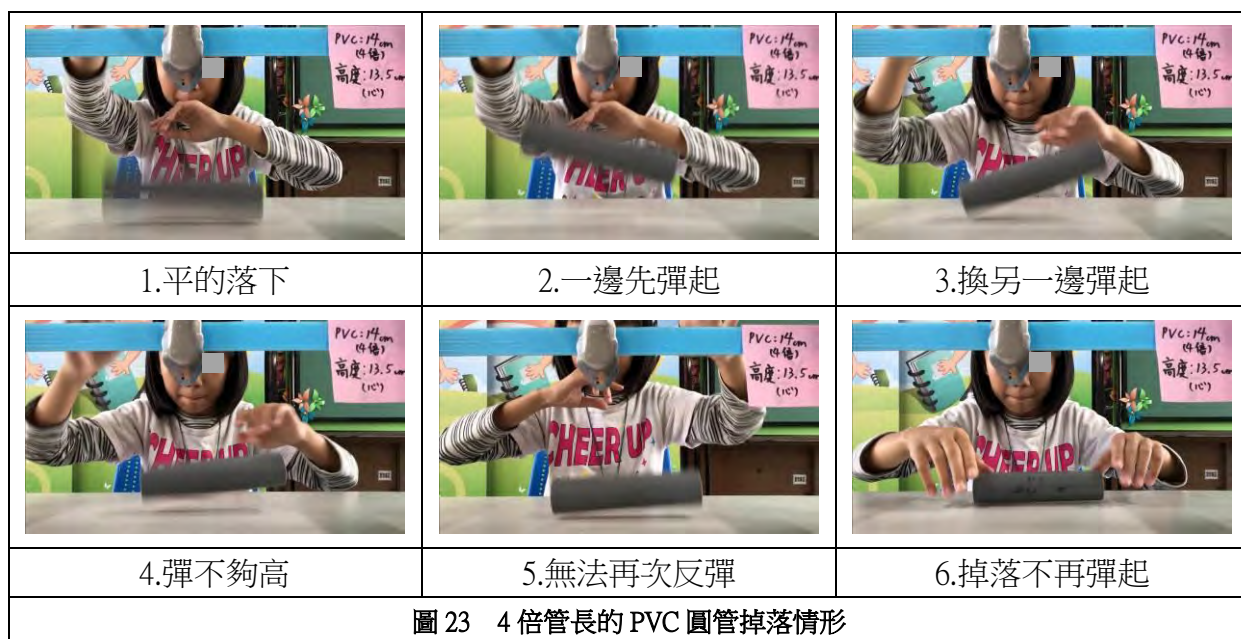
### (三) 研究發現

1. 以 1.5 倍管徑長為分界點，管子長度超過或是減少，成功次數遞減。
2. 發現 1 倍管徑長的圓管成功次數不高的原因可能是因為重心離地高度低，圓管落下時沒甚麼機會表現彈力，所以幾乎沒有成功。

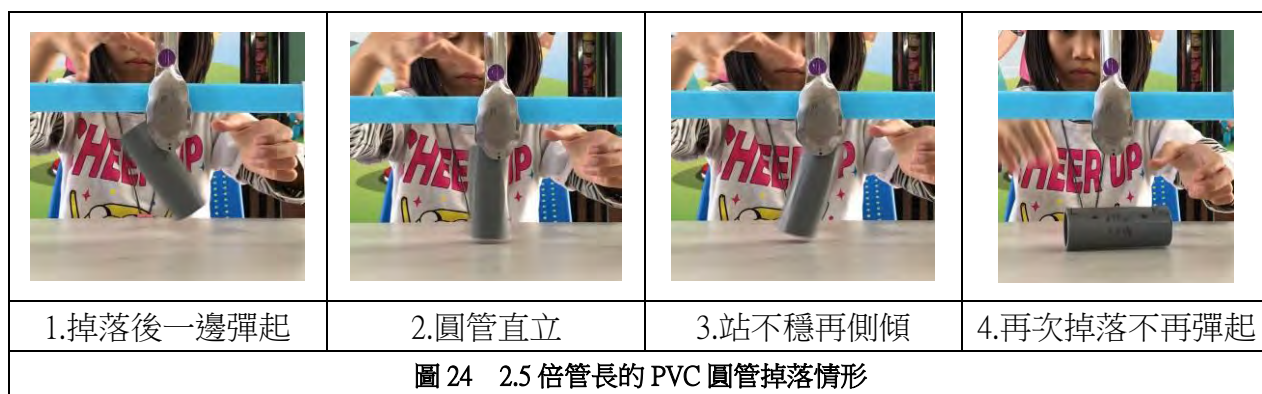


3. 超過 2 倍管徑長的圓管成功次數銳減的原因可能是：

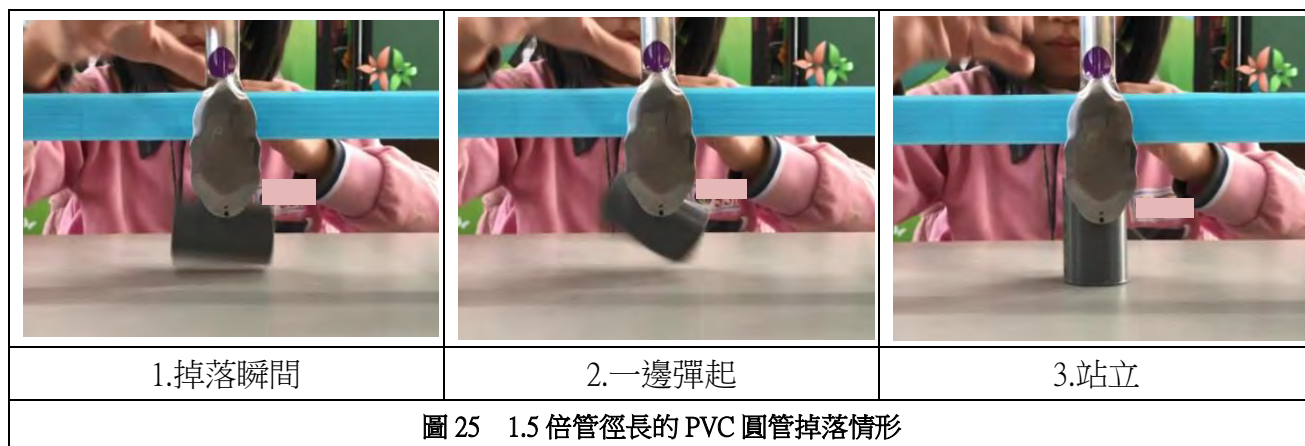
(1) 因為 PVC 圓管越長，重量越重回，掉落時的彈力小於管子的重量，不夠讓管子站起來。



(2) 當底面積一樣時，管子越長，重心越不穩。就算站起來了也不容易站穩。



4. 本次實驗發現 1.5 倍管徑長的 PVC 圓管在離地重心高度 4.75 公分時，成功次數高達 29 次，成功率高達 96.7%，將近 100%，效果極佳。





5. 下一次實驗將針對第二名的圓管(管長 7cm，2 倍管徑長圓管)做不同變項的實驗，試試看怎麼做可以讓第二名的圓管增加更多成功次數。

**研究四：探討當夾子夾在 PVC 圓管「不同位置」掉落後再反彈直立的情況。**

本次研究選擇 2 倍管徑長的圓管(7 公分)來進行實驗，要看看當夾子分別夾在圓管的左邊、中間、右邊有何差別，對圓管掉落再反彈直立的效果如何。

**(一) 研究過程**

1. 先將圓管做上記號，作為夾子要右邊及左邊的位置標記，如圖。
2. 分別進行夾右邊及夾左邊各 30 的標準實驗步驟。
3. 再將結果與研究三的夾中間的結果相比較。

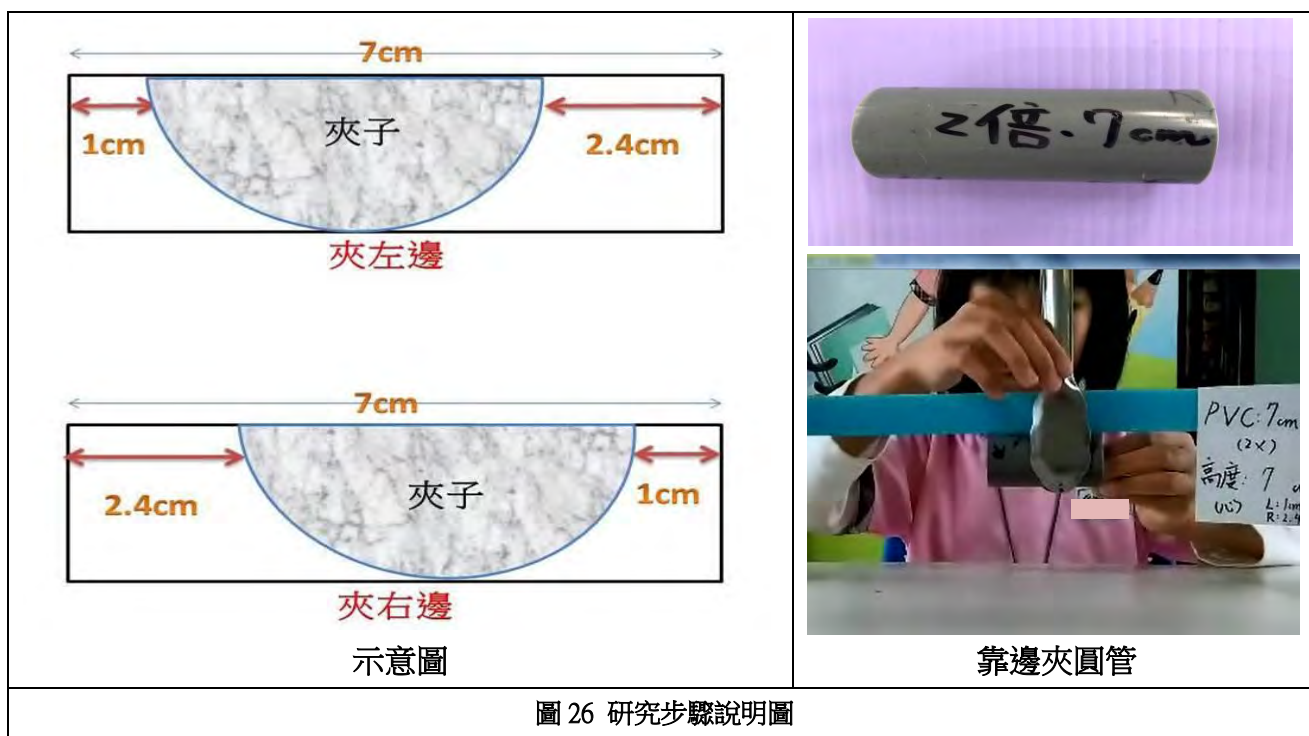


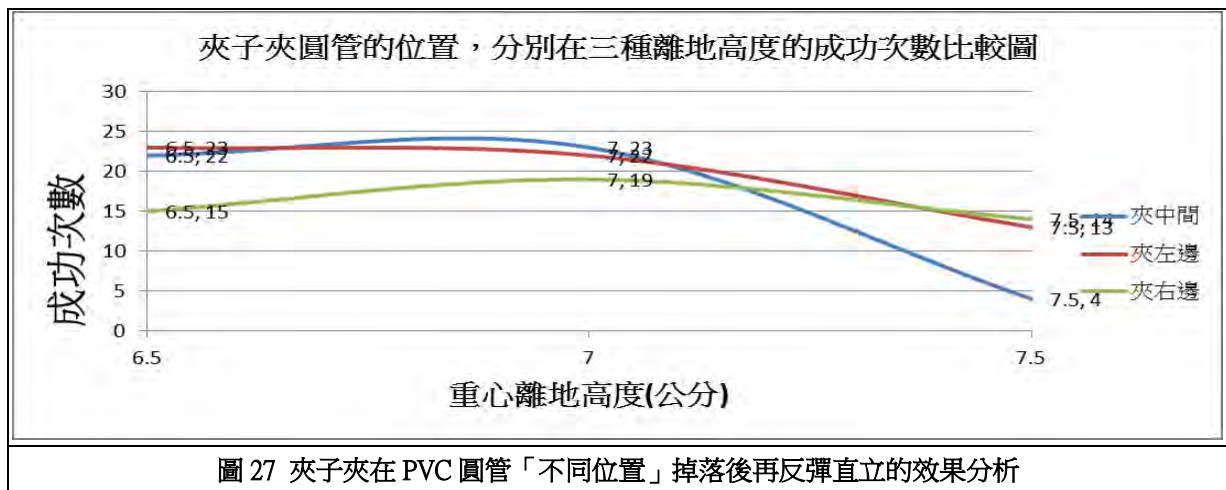
圖 26 研究步驟說明圖

**(二) 研究結果**

表 5 夾在圓管不同位置在三種重心離地高度的成功次數記錄表

重心離地高度(公分)	6.5	7	7.5
夾的位置			
夾中間	22	23	4
夾左邊	23	22	13
夾右邊	15	19	14





1. 不管是夾哪一邊，當重心離地高度在 7.5 公分時的成功次數都最少。
2. 夾中間和夾左邊的效果明顯比夾右邊的好。
3. 夾中間和夾左邊的效果差異並不顯著。

### (三) 研究發現

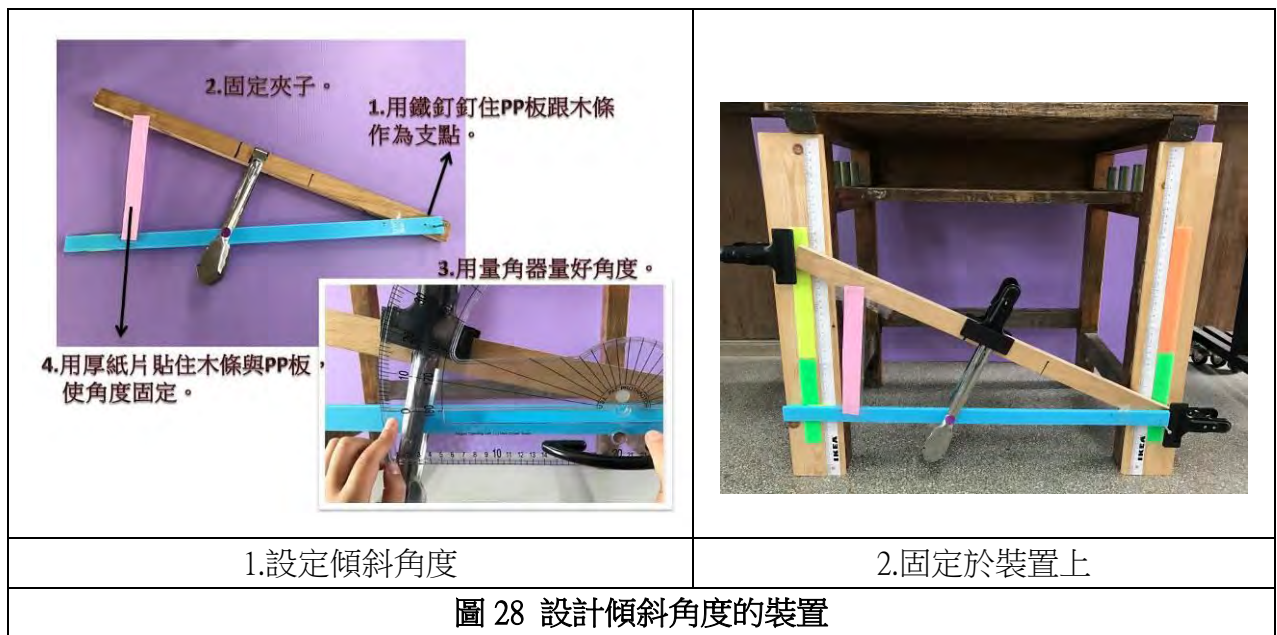
1. 掉落時重心的因素影響圓管掉落再反彈直立的效果在夾右邊時比較顯著，是會降低成功次數的。而在夾中間和夾左邊的效果並沒有顯著差異。
2. 從研究結果發現有可能是因為這個圓管的長度與夾子的寬度並沒有差異很大，所以即使稍微移動夾的重心，影響都不顯著。
3. 接下來的實驗同樣會以研究三的第二名圓管來做其他變項的實驗。
4. 因為重心離地高度 7.5 公分的效果都不佳，因此接下來的實驗只做 6.5 公分以及 7 公分兩種重心離地高度。

### 研究五：探討不同「傾斜角度」對 PVC 管掉落後再反彈直立站起的效果。

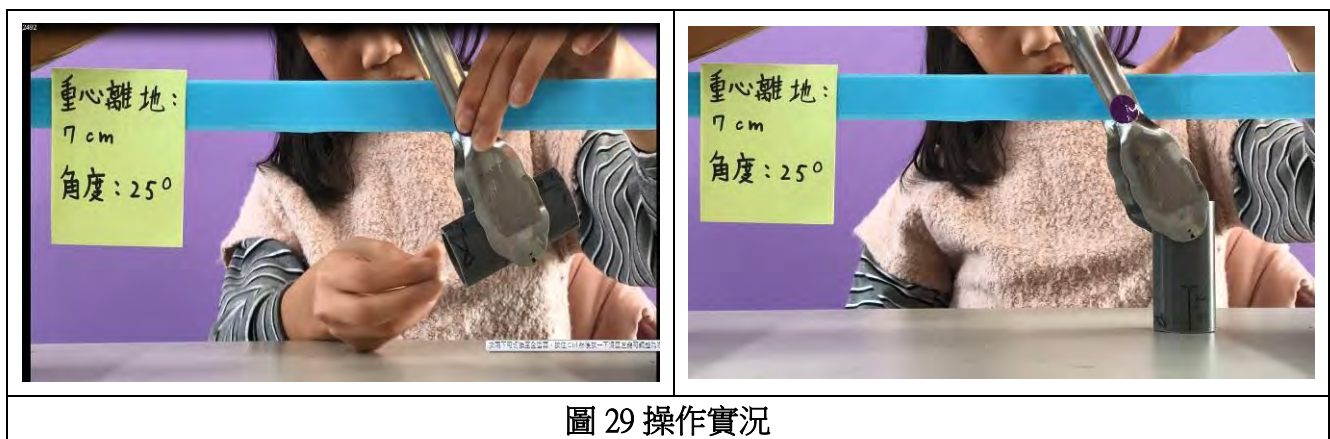
本次研究同樣選擇 2 倍管徑長的 PVC 圓管(7 公分)來進行實驗，要看看改變傾斜角度對圓管掉落再反彈直立的效果如何。

#### (一)研究過程

1. 討論與設計要如何讓圓管可以傾斜落下的裝置：



2. 以 7 公分長的 PVC 圓管進行重心離地高度為 6.5 公分以及 7 公分時的實驗。
3. 調整傾斜角度時的重心離地高度。
4. 以每次增加 5 度的方式進行標準實驗步驟。



5. 在高度為 6.5 公分時，成功次數在 10 度及 15 度效果最好，皆為 26 次，因此再加做一個 12.5 度進行更精細的測試，找出最好的傾斜角度。

## (二) 研究結果

1. 設定重心離地高度為 6.5 公分的成功次數如下表：

表 6 6.5 公分 PVC 管在不同「傾斜角度」成功次數紀錄表

傾斜角度	0	5	10	12.5	15	20
成功次數	22	23	26	28	26	24

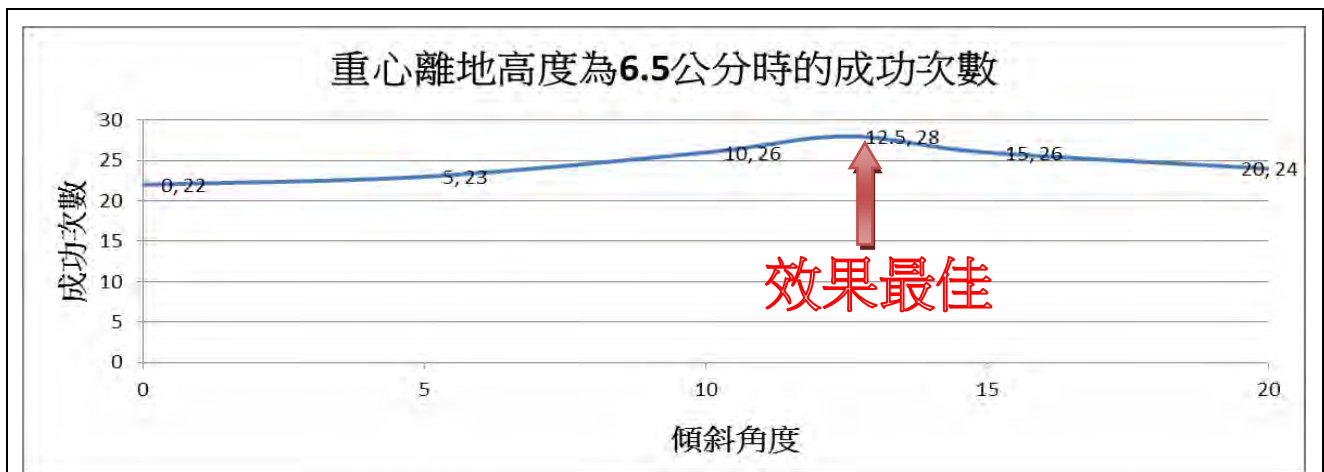


圖 30 6.5 公分 PVC 管在不同「傾斜角度」的效果分析

2. 設定重心離地高度為 7 公分的成功次數如下表：

表 7 7 公分 PVC 管在不同「傾斜角度」成功次數紀錄表

傾斜角度	0	5	10	15	20	25	30
成功次數	23	22	20	21	21	30	19

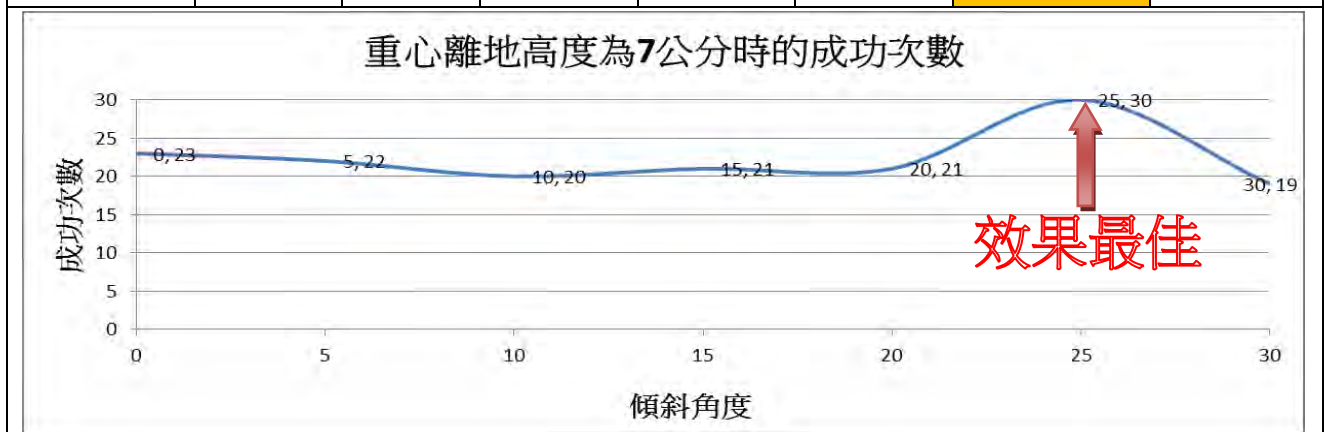


圖 31 7 公分 PVC 管在不同「傾斜角度」的效果分析

### (三) 研究發現

1. 離地 6.5 公分時，成功次數最高的傾斜角度是 12.5 度，成功次數為 28 次。
2. 離地 7 公分時，成功次數最高的傾斜角度是 25 度，成功次數為 30 次。
3. 兩種重心離地高度之下，傾斜角度 0 度~25 度時，成功次數皆超過 20 次。
4. 目前為止的實驗結果中，以「採用 2 倍管徑長的 PVC 圓管(管長 7 公分)、重心離地 7 公分時(也是 2 倍管徑)、傾斜角度是 25 度」的成功次數最高，成功率為 100%，是效果最好的一組。分析其掉落狀況，幾乎是一掉落就站起。



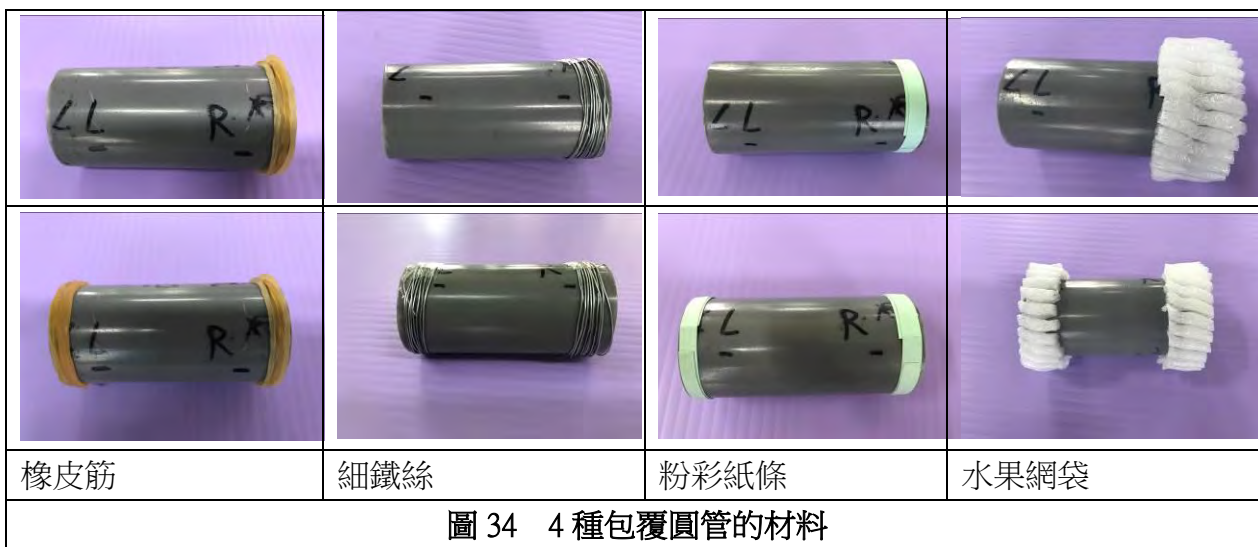


研究六：探討不同「包覆材質」對 PVC 管掉落後再反彈直立站起的效果。

本次實驗將選擇以上一次實驗裡效果略差(成功次數 21 次)的「採用 2 倍管徑長的 PVC 圓管(管長 7 公分)、重心離地 7 公分時、傾斜角度是 20 度」來進行不同包覆材質的實驗，看看是否能提高成功效果。

(一) 研究過程

1. 選擇 4 種不同的材料分別包覆在圓管的左邊、右邊以及雙邊都包。(如圖 34)
2. 包覆的位置要注意是在圓管的端點，以確定圓管落下時，包覆材料會先碰觸到桌面。
3. 分別進行標準實驗步驟。

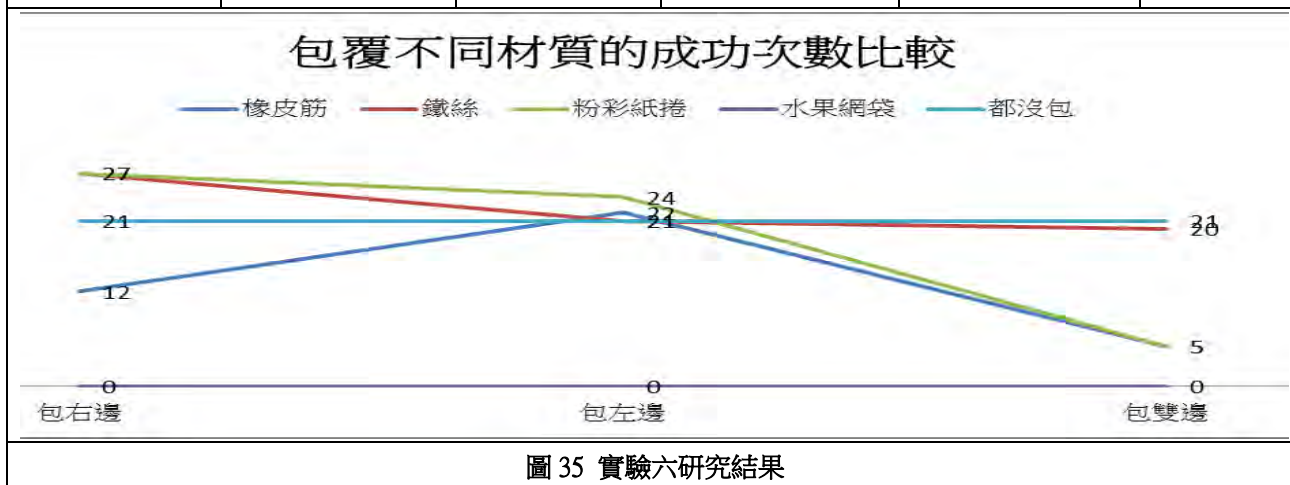




## (二) 研究結果

表 8 不同包覆材料在三種包覆位置的成功次數記錄表

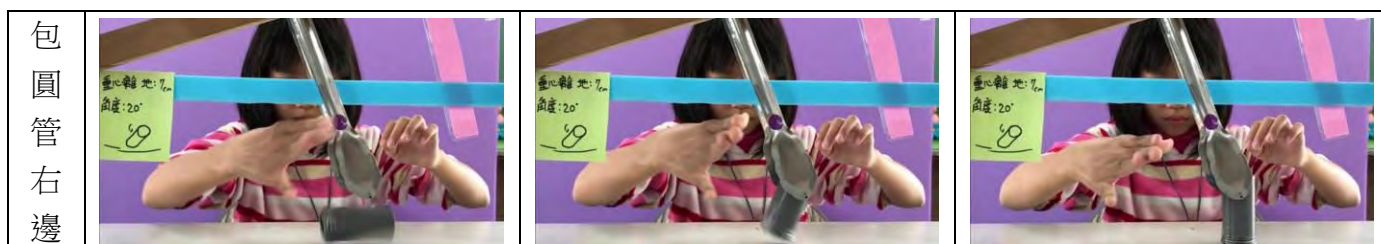
包覆材料 包覆位置	橡皮筋	細鐵絲	粉彩紙捲	水果網袋	都沒包
包右邊	12	27	27	0	21
包左邊	22	21	24	0	
包雙邊	5	20	5	0	
合計	39	68	56	0	

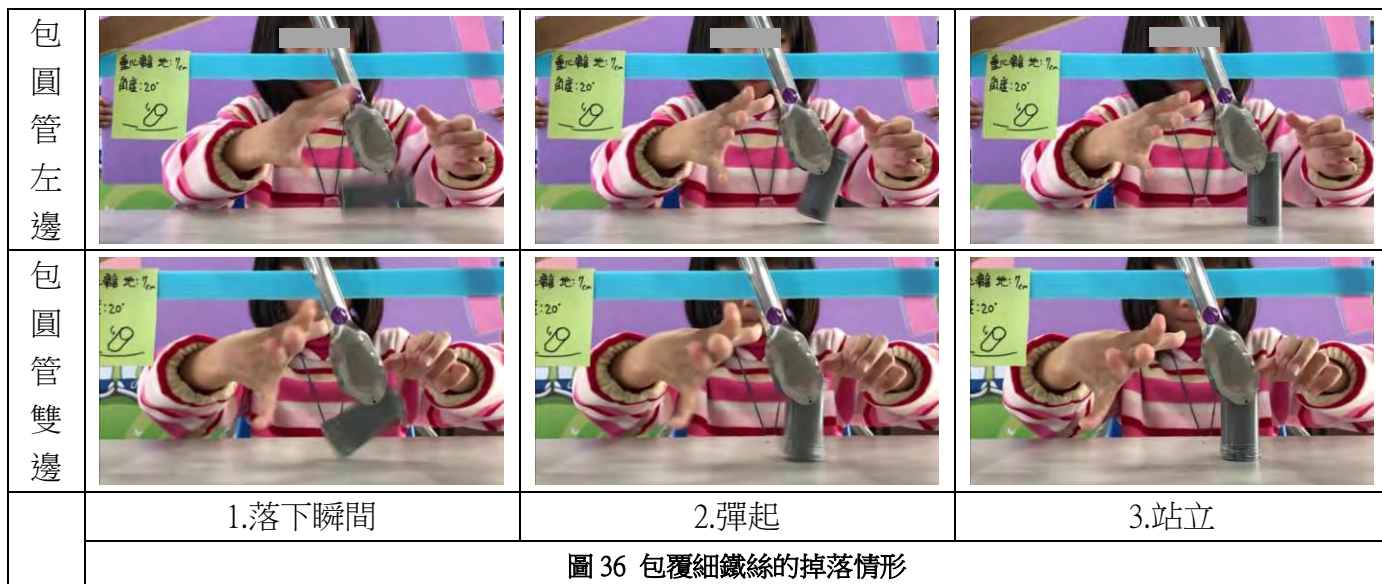


1. 以在右邊包覆細鐵絲、粉彩紙捲的時候，效果最好，為 27 次。
2. 水果網袋不管包覆在哪個位置，效果都最差，為 0 次。
3. 包雙邊的時候，除了細鐵絲以外，其他材質效果都不佳。
4. 以上圖合計次數來看，效果由好到不好為細鐵絲>粉彩紙捲>橡皮筋>水果網袋。

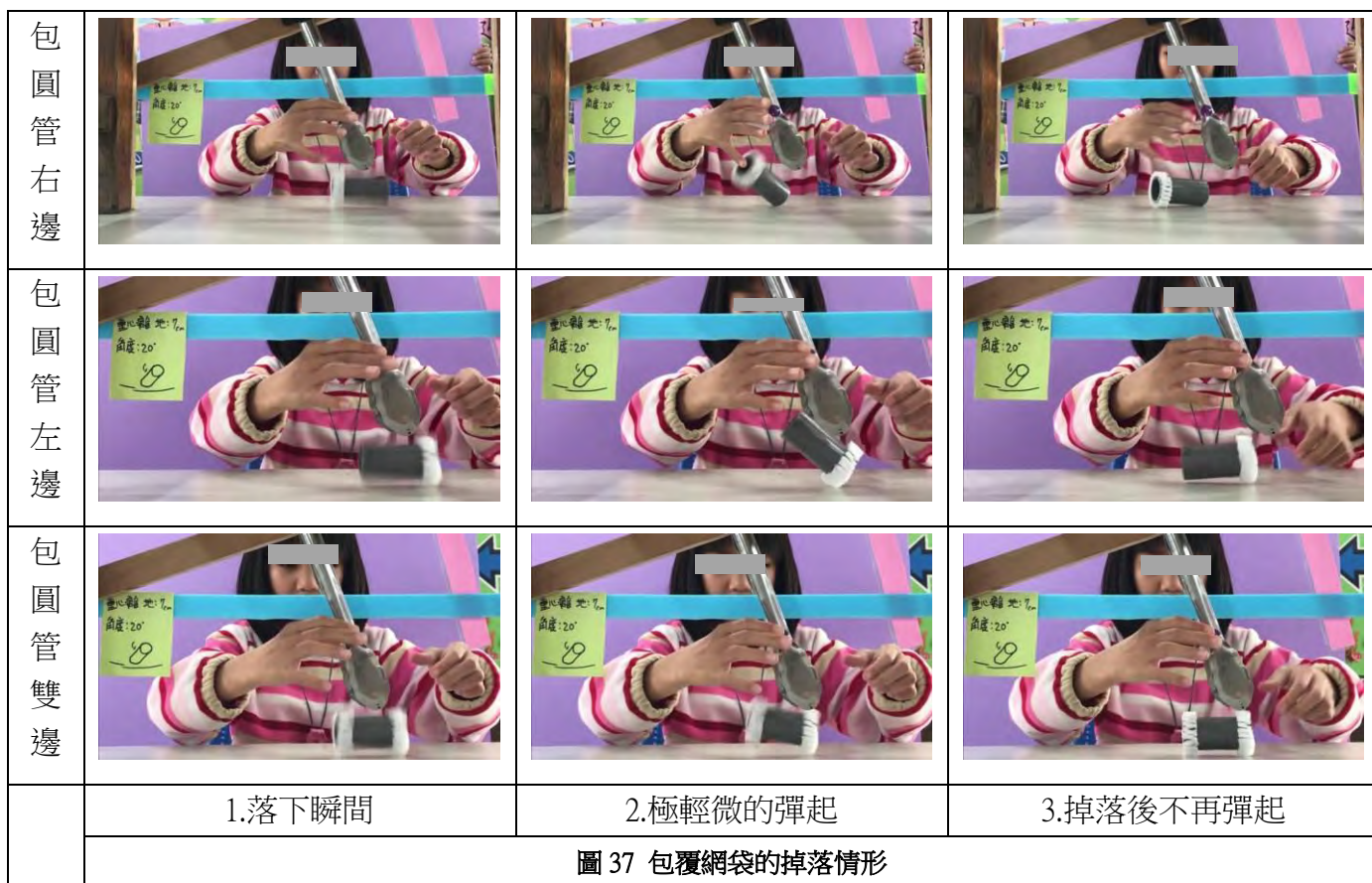
## (三) 研究發現

1. 包覆橡皮筋時，先落下的那一邊有包橡皮筋，會吸收掉較多的反作用力，只能靠另一邊彈回。當落下的那邊沒包時，反作用力將另一邊撐起彈回站立。
2. 包覆鐵絲時，本身的材質並不會吸收掉反作用力，反而會增加彈性，幫助圓管彈回站立，在這個實驗當中是效果最好的一組。(如圖 36)





3. 包覆粉彩紙捲時，當包單邊時，筒子會靠著沒有包紙捲的那一邊彈回站立，所以當雙邊都包紙捲時，彈力降低而造成表現不佳。
4. 包覆水果網袋時，即使先落下的那一邊沒包，反作用力要讓另一邊彈起時，另一邊的反作用力完全被網袋吸收，無法彈起站立。(圖 37)



5. 綜上所述，當包覆材質越能吸附反作用力(如：水果網袋)，掉落後再反彈直立的效果越差。彈性越佳的材質(如細鐵絲)，掉落後再反彈直立的效果也越佳。



## 研究七：探討不同「接觸面」對 PVC 管掉落後再反彈直立站起的效果。

本次實驗想要探討當圓管在不同接觸面時的效果會有何差異，因此我們選擇在前幾個實驗中效果最佳的組合，來進行測試。

### (一) 研究過程

1. 設定下列變項及裝置：

**控制變項**：7 公分長的 PVC 圓管、傾斜角度 25 度、重心離地高度 7 公分。(如下圖)

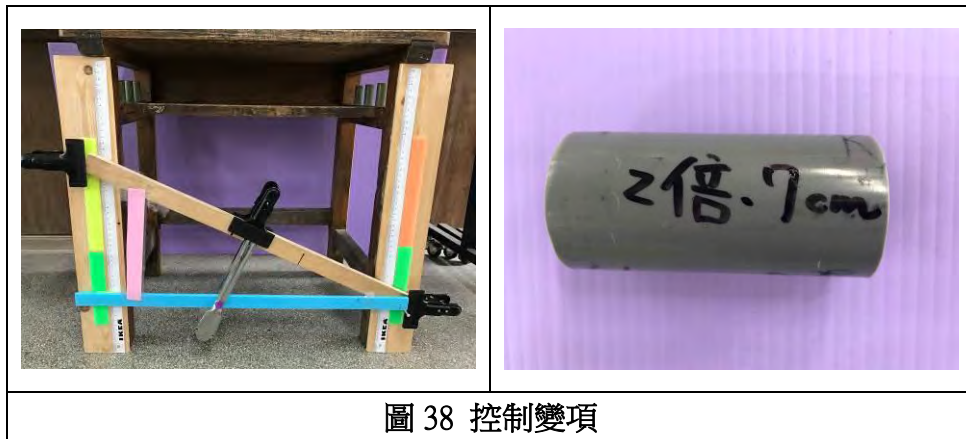


圖 38 控制變項

**操作變項**：8 種接觸面(如圖 39)



圖 39 八種材質的接觸面

2. 將控制變項架設好之後，就開始到各種材質的接觸面上進行標準化實驗步驟。(如下圖)

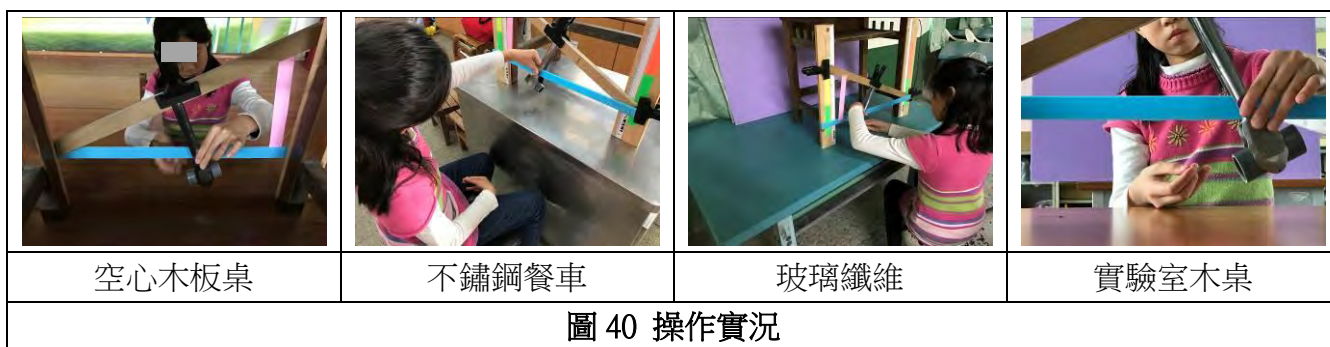


會議桌面

磨石子地

玻璃

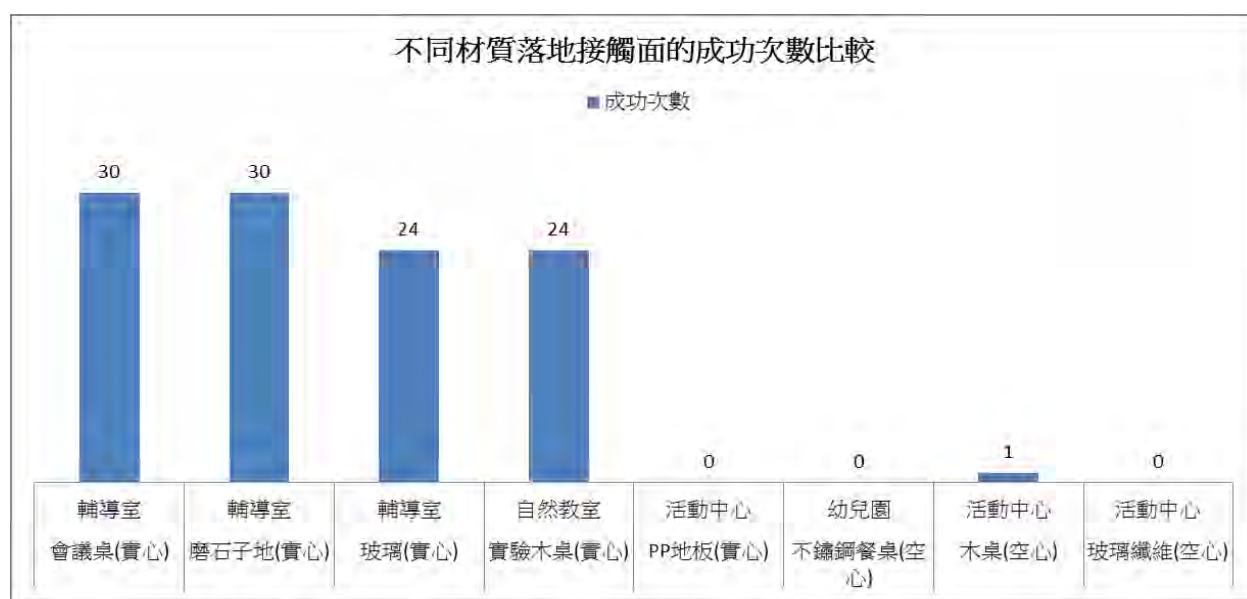
PP地



## (二) 研究結果

表 9 PVC 圓管在不同接觸面材質的成功次數記錄表

掉落材質	會議桌(實心)	磨石子地(實心)	玻璃(實心)	實驗木桌(實心)
地點	輔導室	輔導室	輔導室	自然教室
成功次數	30	30	24	24
掉落材質	PP 地板(實心)	不鏽鋼餐桌(空心)	木桌(空心)	玻璃纖維(空心)
地點	活動中心	幼兒園	活動中心	活動中心
成功次數	0	0	1	0



**圖 41 研究七實驗結果**

- 實心的接觸面成功次數顯著高於空心接觸面，效果依序是會議桌(實心)=磨石子地(實心)>玻璃(實心)=實驗木桌(實心)，但 PP 地板除外。成功次數如表。
- 空心材質的接觸面，效果很差，幾乎都沒有成功站立。

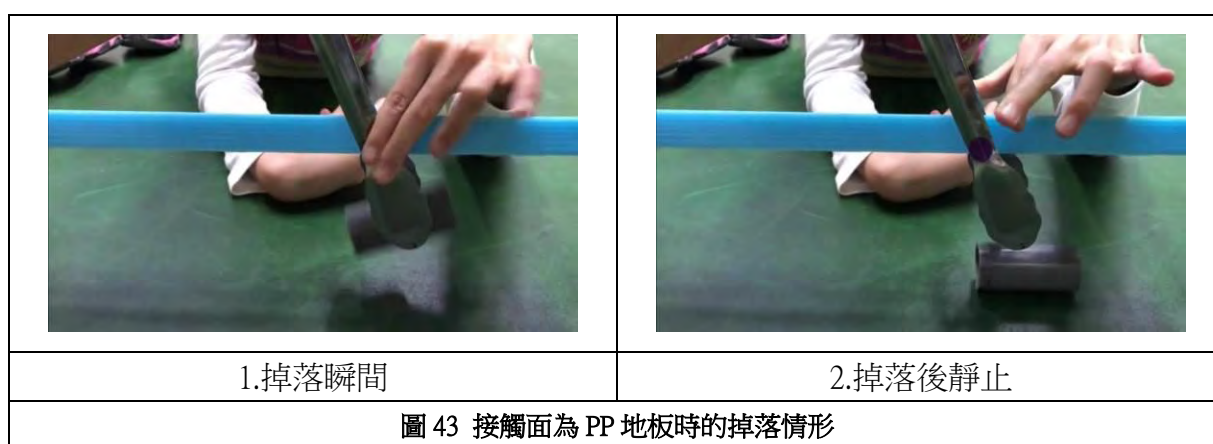
## (三) 研究發現

- 從實驗結果來看，只要是實心的接觸面效果數顯著高於空心接觸面，但 PP 地板除外。推測實心材質的效果好是因為實心材質密度高，與原本的會議桌相似，因此效果都很好。





2. PP 地板因為本身具有良好的防撞性，因此充分吸收掉管子掉落的反作用力，所以管子一掉落就像靜止一樣，完全沒有彈起的力量，效果最差。



3. 空心材質的部分，推測是因為桌子夾層內的空氣能緩衝物體掉落的力道，吸收掉了反作用力，所以回彈性很低，幾乎都沒有成功。



4. 綜上所述，實心材質且硬度高的接觸面，效果最佳。

## 伍、研究結論

### 一、容易操作及測量的實驗器材及設備。

- (一) 徒手抓放圓管容易因手抓位置改變、手會抖、圓管可能沒有平放、離地位置無法每次都一樣、不容易完全對準 22 公分的水平線等因素影響實驗的準確性，因此我們自製一組「**抓放圓管掉落器**」，利用工具來抓放圓管，使研究過程更加標準化。
- (二) **適合作為夾放圓管的工具是鐵製麵包夾**。麵包夾厚度較厚，不容易變形，跨放在木條上剛好可以卡住，再加上強力夾固定後，不會因為壓放而移動位置。夾子的底部面積大，能固定管身，按壓時只要輕壓輕放即可操作。
- (三) **PVC 管**因切割後的切口較平整，硬度高耐摔，管徑大小麵包夾可以夾住，**最為適合**。

### 二、不同「重心離地高度」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果

- (一) 對 7 公分管長的 PVC 圓管而言，本次實驗效果**最佳的重心離地高度是等於 2 倍管徑長的高度**，也是 7 公分。
- (二) 當重心離地高度越高，圓管在反彈時會左彈又彈，不容易站立；太低則沒有空間反彈，效果皆不佳。

### 三、不同「圓管長度」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果。

- (一) 以 1.5 倍管徑長為分界點，管子長度超過或是減少，成功次數遞減。
- (二) **效果最佳的是 5.25 公分長的圓管(1.5 倍圓管直徑)**，成功次數高達 22~29 次；**第二名則是 7 公分長的圓管(2 倍圓管直徑)**，最佳表現時的重心離地高度為 7 公分(2 倍管徑長的高度)，成功次數為 23 次。

### 四、當夾子夾在 PVC 圓管「不同位置」掉落後再反彈直立的情況。

- (一) 當**夾子夾在圓管右邊時顯著降低**圓管掉落再反彈直立的效果。而**當夾子夾在中間和夾在左邊時的效果並沒有顯著差異**，推測是因為這個圓管的長度與夾子的寬度並沒有差異很大，所以即使稍微移動夾的重心，影響都不顯著。。

(二) 當設定重心離地高度為 7.5 公分時，夾子夾在圓管三種位置時的效果都不佳(成功次數為 4~14 次)

#### 五、不同「傾斜角度」對 PVC 管掉落後再反彈直立站起的效果。

(一) 「採用 2 倍管徑長的 PVC 圓管(管長 7 公分)、重心離地高度也為 2 倍管徑長(7 公分)時、**傾斜角度是 25 度**」的成功次數 30 次，成功率為 100%，是**效果最好**的一組，其掉落狀況，幾乎是一掉落就站起。

(二) 傾斜角度 0 度~25 度時，成功次數皆超過 20 次。

#### 六、不同「包覆材質」對 PVC 管掉落後再反彈直立站起的效果。

(一) 四種包覆材質中，效果由好到不好為細鐵絲>粉彩紙捲>橡皮筋>水果網袋。

(二) 當**包覆材質越能吸附反作用力**(如：水果網袋)，掉落後再反彈直立的**效果越差**。**彈性越佳的材質**(如細鐵絲)，掉落後再反彈直立的**效果也越佳**。

#### 七、不同「接觸面」對 PVC 管掉落後再反彈直立站起的效果。

(一) 效果由佳到不佳依序是會議桌(實心)=磨石子地(實心)>玻璃(實心)=實驗木桌(實心)>木桌(空心)>PP 地板>不鏽鋼餐桌(空心)>玻璃纖維桌(空心)

(二) **空心材質的部分**，推測是因為桌子夾層內的空氣能緩衝物體掉落的力道，吸收掉了反作用力，所以回彈性很低，**幾乎都沒有成功**。

(三) PP 地板因為本身具有良好的防撞性，因此充分吸收掉管子掉落的反作用力，所以管子一掉落就像靜止一樣，完全沒有彈起的力量，效果最差。

(四) **實心材質的效果好**是因為實心材質密度高，與原本的會議桌相似，因此效果都很好。

## 陸、未來研究方向

### 一、發展完全自動化裝置

本次研究雖然設計了「抓放圓管掉落器」來進行圓管的抓放，但因為還是須用人力按壓麵包夾，仍然有人為的誤差，因此可朝向完全自動化的方向來思考，設計一種可以按鈕就讓夾子抓放的裝置。

### 二、探討不同變因對圓管的影響

本次研究是以 PVC 圓管作為主要研究對象，尚未探討到其他材質的圓管的效果，未來可以嘗試探討不同材質、不同管徑等為變因繼續深入探討。

## 柒、參考資料

- 一、國小自然與生活科技第五冊第4單元(2015)·*力與運動*·臺北市：康軒文教事業股份有限公司。
- 二、自動站立的筒子（2016年9月2 日）·NTCU科學遊戲實驗室·取自  
<http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-045.html>



## 【評語】 080108

探究影響 PVC 圓管掉落後再反彈直立的因素，包含長徑比、掉落角度、高度、包覆與接觸材質等。討論了許多的不同可能的機制，實驗上也盡可能地將外在可能的影響因素做一個可能地調整和控制。並藉由統計的方式來判定結果。題目有趣創新，圖片說明詳細。

作品海報



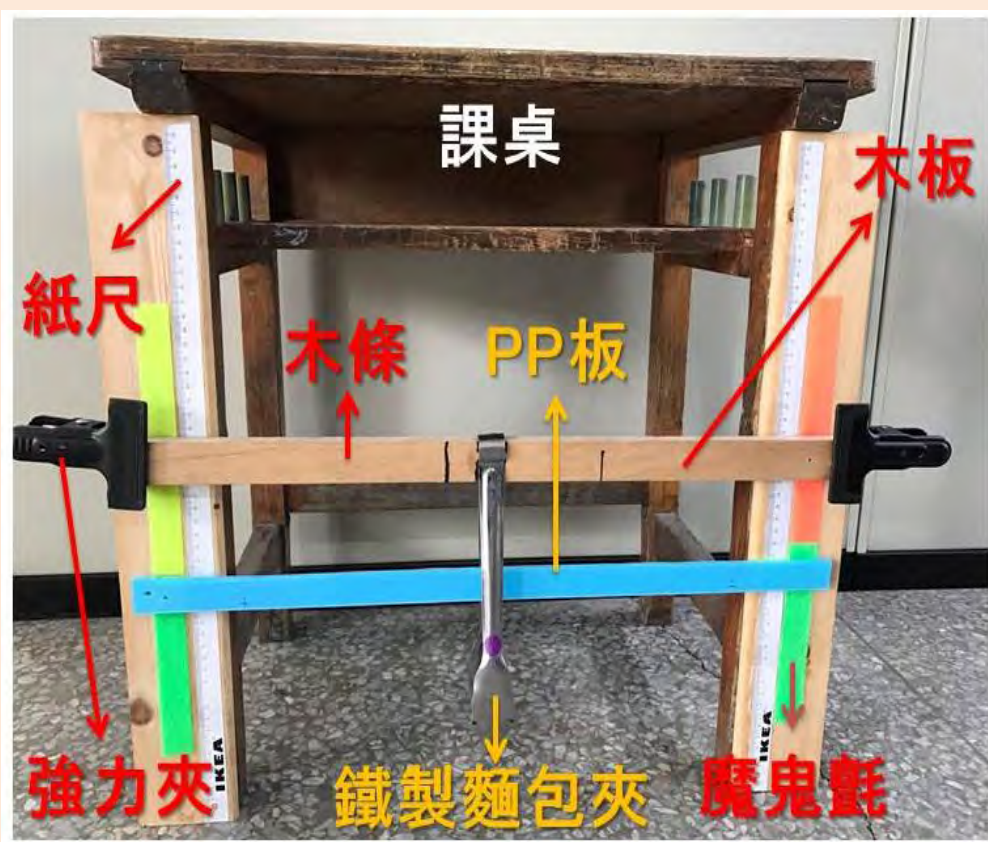
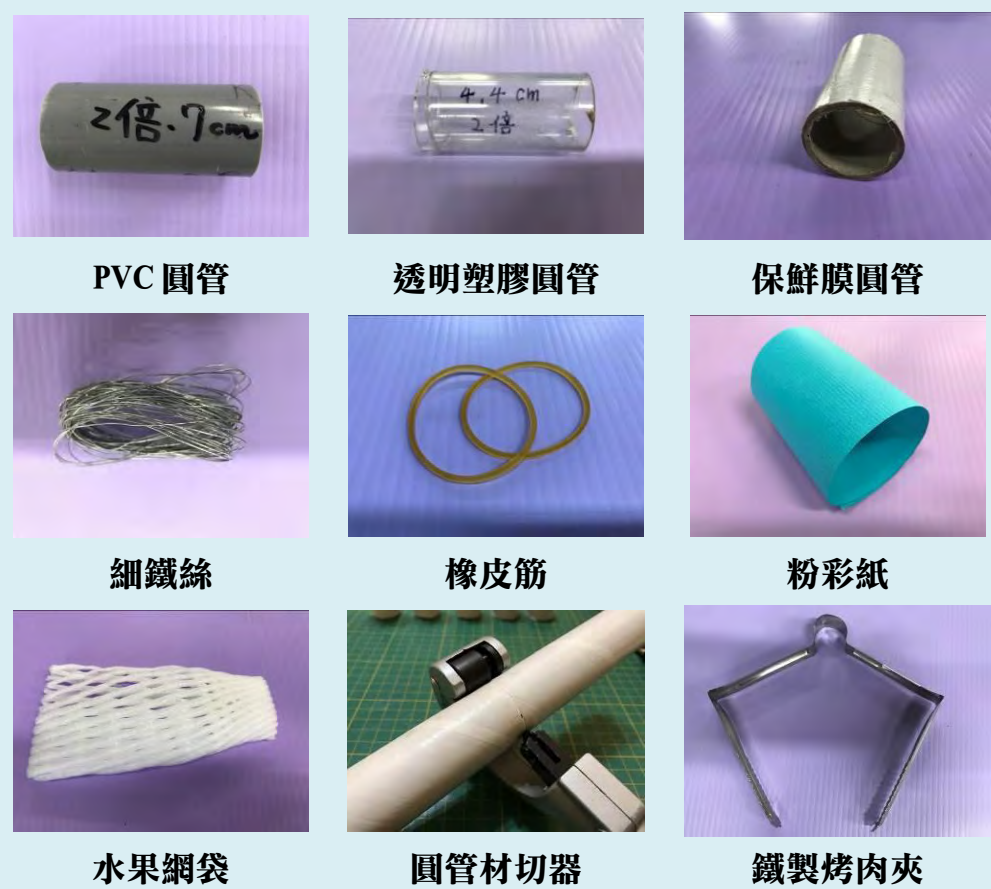
## 壹、研究動機

有一天我們在掃廁所更換捲筒衛生紙時，已用完衛生紙的圓管不小心掉到地上。咦！它居然彈跳一番後站起來！真是太神奇了！於是，我們去找了其他的圓管試試看，有的可以站起來，有的卻不行。有時雖然是同一支圓管，也會因為從不同的高度放下圓管而使得成功站立的次數也不同。因此，我們便很好奇，什麼樣的圓管掉落後容易再站起來呢？那是不是跟圓管的大小及長度有關？在哪一種高度落下，成功站起來的機率最高？剛好五年級上學期的自然課上到「力的作用」，我們猜想這個現象應該跟「作用力與反作用力」有關係，所以，就展開了我們尋求答案的科展研究。

## 貳、研究目的

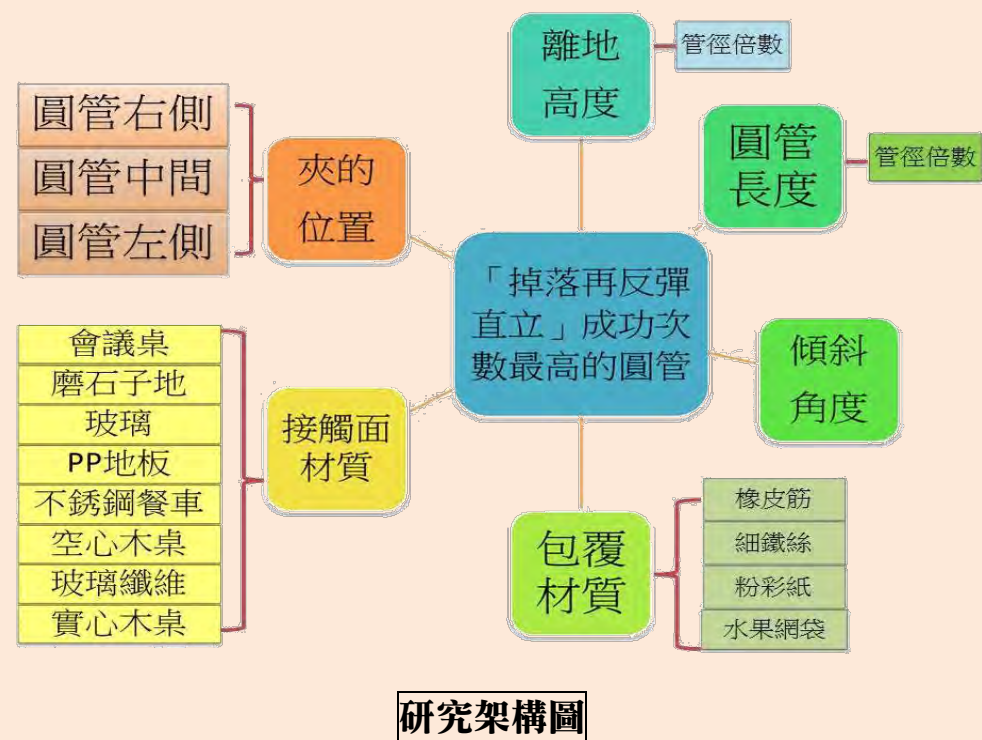
- 一、探討設計容易操作及測量的實驗器材及設備。
- 二、探討不同「重心離地高度」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果。
- 三、探討不同「圓管長度」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果。
- 四、探討當夾子夾在 PVC 圓管「不同位置」再掉落後反彈直立的情況。
- 五、探討不同「傾斜角度」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果。
- 六、探討不同「包覆材質」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果。
- 七、探討不同「接觸面材質」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果。

## 參、重要研究器材



自製「抓放圓管掉落器」

## 肆、研究方法

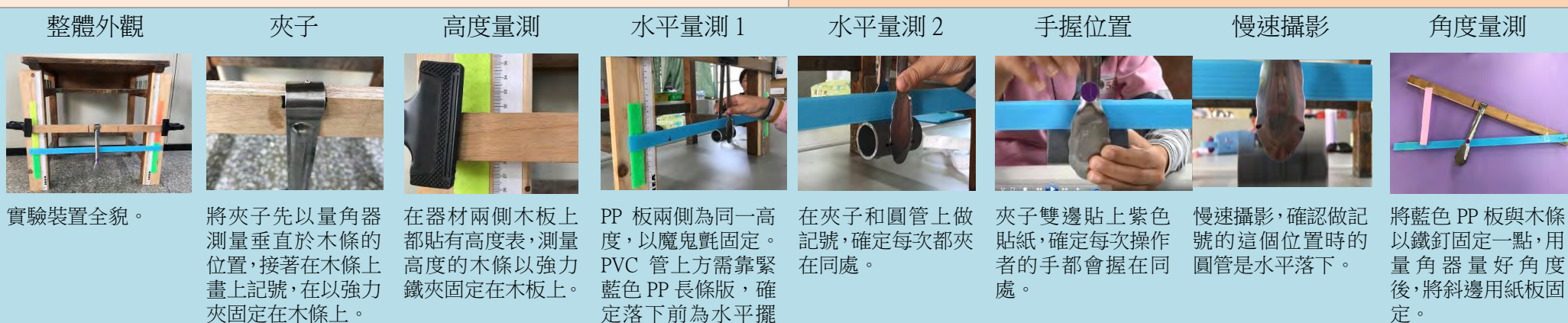


1. 定義「PVC 管的重心離地高度」
2. 定義「PVC 管掉落後再直立站起」

重心離地高度 = 圓管外圍半徑 A + 圓管底部離地高度 B



測量方式-定義變項



實驗裝置各部位使用說明



「標準實驗步驟」說明



## 研究過程與發現

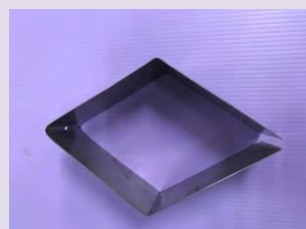
### 研究一：探討設計容易操作及測量的實驗器材及設備。

為了改善徒手抓放圓管的缺點，討論發現需要使用夾子來做抓放圓管的動作，並且要有一個支撐懸掛夾子的構造。除了自製課桌椅改造成「抓放圓管掉落器」之外，還要選擇適當的夾子和圓管。以下是我們的研究過程及結果：

#### 夾子



鋸齒狀烤肉夾折彎

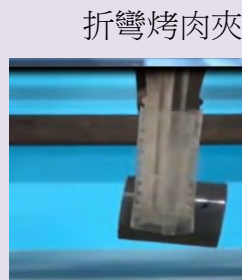


鐵片折成菱形

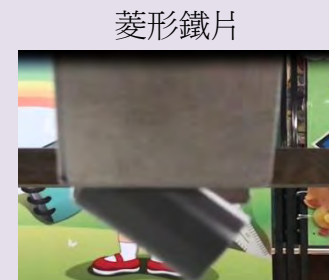


鐵製麵包夾

三種夾子



折彎烤肉夾  
傾斜落下



菱形鐵片  
傾斜落下



鐵製麵包夾  
水平落下

三種夾子圓管落下瞬間

**研究發現：**麵包夾跨放在木條上剛好可以卡住、夾子的底部面積大，能固定管身，按壓時只要輕壓輕放即可操作。透過慢速攝影發現只要調整好圓管夾的位置，圓管可以水平落下，因此**鐵製麵包夾**的效果最好，所以選擇「鐵製麵包夾」作為後續實驗的器材。

選擇 5 種圓管進行裁切測試，結果如右圖。

#### 圓管

**研究發現：**

PVC 管因切割後的切口較平整，硬度高耐摔，管徑大小麵包夾可以夾住，效果最好。

保鮮膜圓管



太軟易磨損

羽球筒



管徑太大，夾不住

衛生紙圓管



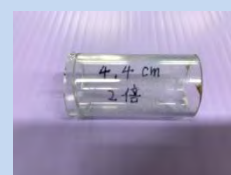
管徑太大，夾不住

PVC 管



硬度高，切口平整

透明塑膠管



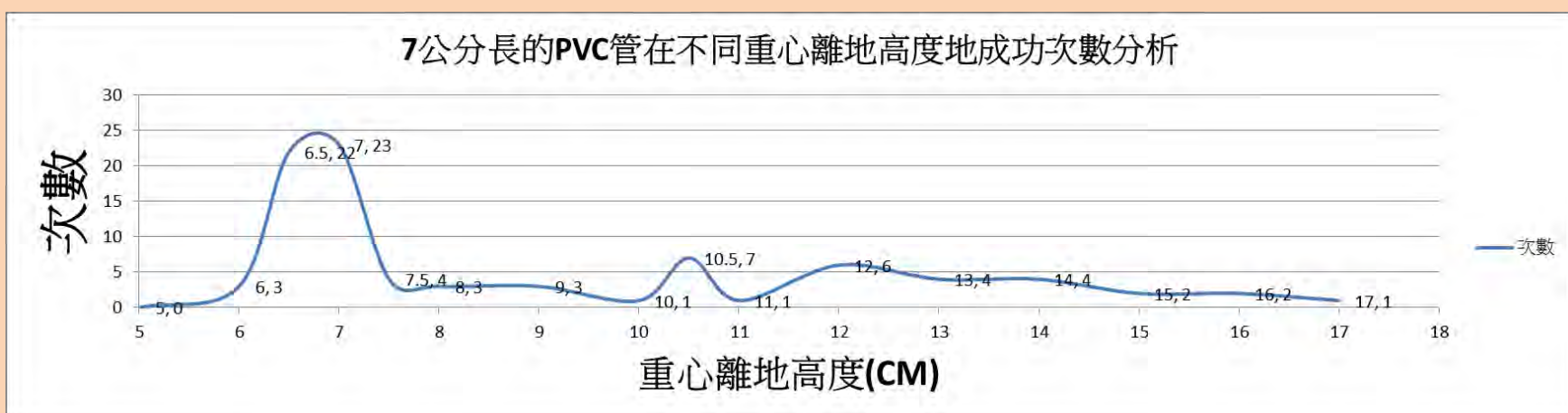
較軟，切割後碎裂

### 研究二：探討不同「重心離地高度」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果。

本次實驗選擇 7 公分長的 PVC 管，設定重心離地高度從 5 公分開始，每次增加 1 公分。並加做重心離地高度為管長的 1.5 倍、2 倍，以了解是否有倍數關係。



2 倍管徑的 PVC 圓管(管徑：3.5 公分)



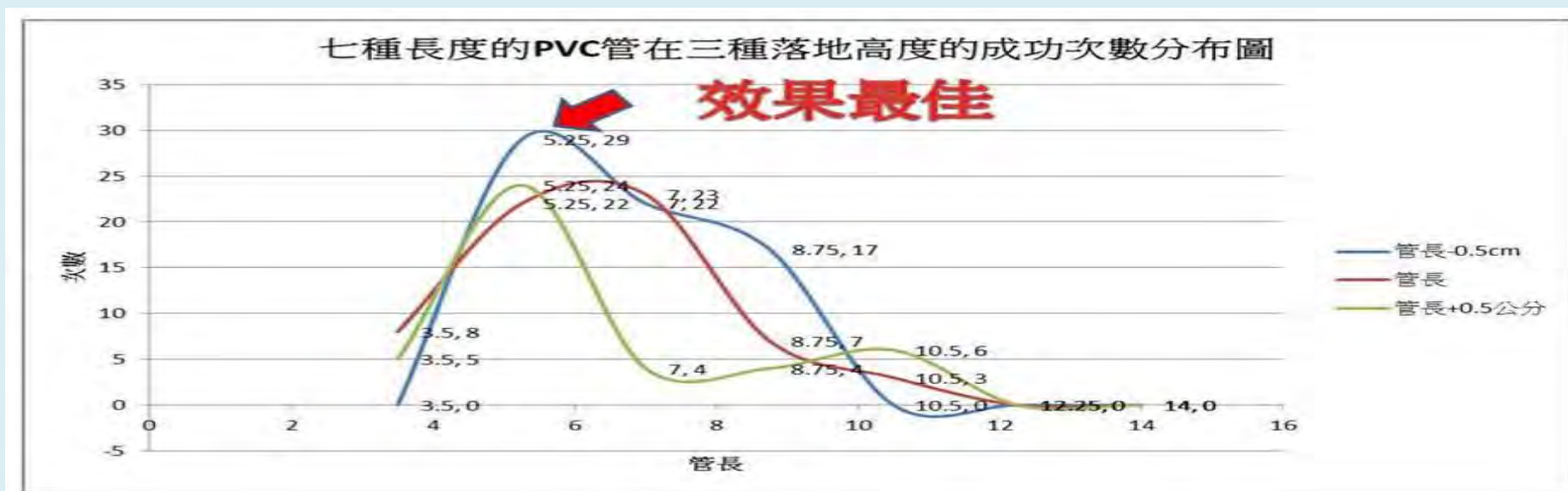
**研究發現：**效果最佳的重心離地高度是管徑的 2 倍，也就是 7 公分，所以接下來將以 2 倍的管徑長及加減 0.5 公分作為實驗操作值。

### 研究三：探討不同「圓管長度」對 PVC 圓管掉落後再反彈直立站起的效果。

本次研究選擇 7 種不同的管長來進行實驗，分別是 PVC 圓管直徑的 1 倍、1.5 倍、2 倍、2.5 倍、3 倍、3.5 倍、4 倍，每種圓管設定的重心離地高度都是該圓管管徑長的 2 倍高、加減 0.5 公分等 3 種高度設定。



7 種長度的 PVC 圓管



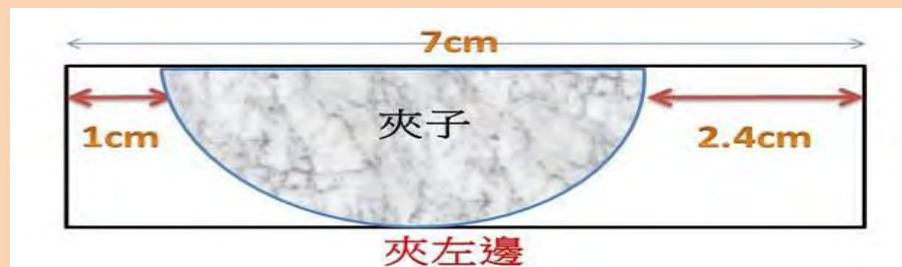
**研究發現：**

1.5 倍管徑長的 PVC 圓管在離地重心高度 4.75 公分時，成功次數高達 29 次，成功率將近 100%，效果極佳。

◎接著將針對第二名的圓管(管長 7cm，2 倍管徑長)做不同變項的實驗，已得知如何可以增加更多成功次數。

### 研究四：探討當夾子夾在 PVC 圓管「不同位置」掉落後再反彈直立的情況。

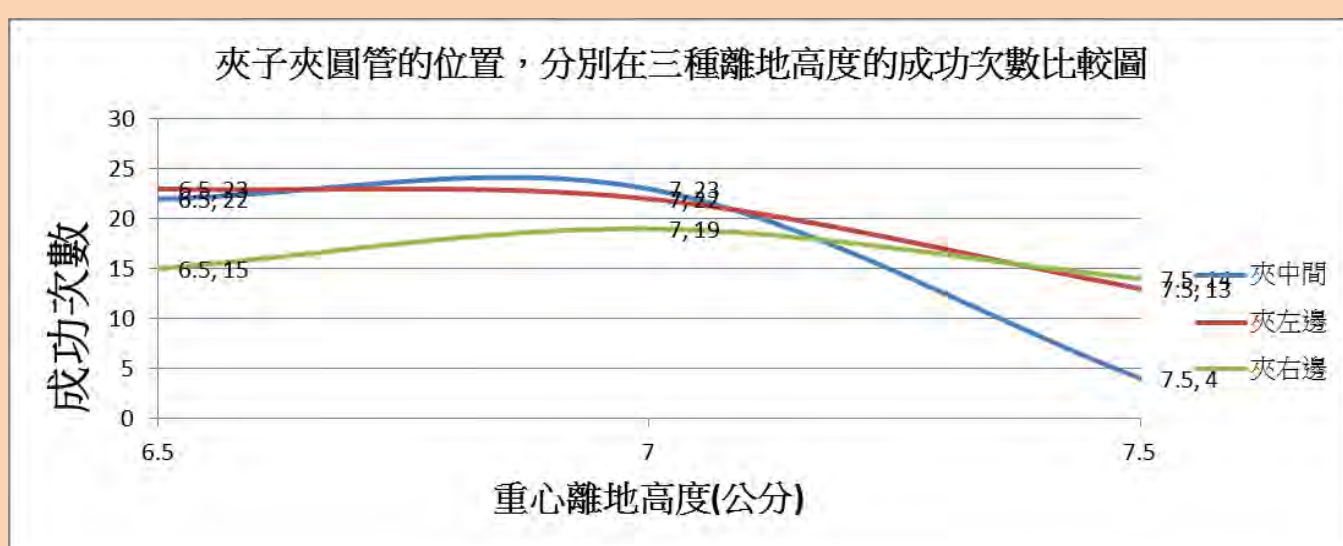
本次實驗選擇管徑 2 倍的圓管(7 公分)進行實驗，要看看當夾子分別夾在圓管的左邊、中間、右邊有何差別，對圓管掉落再反彈直立的效果如何。



夾左邊



夾右邊



**研究發現：**

掉落時重心的因素影響圓管掉落再反彈直立的效果在夾右邊時比較顯著，是會降低成功次數的。而在夾中間和夾左邊的效果並沒有顯著差異。另外，因為重心離地高度 7.5 公分的效果都不佳，因此接下來的實驗只做 6.5 公分以及 7 公分兩種重心離地高度。



## 研究五：探討不同「傾斜角度」對 PVC 管掉落後再反彈直立站起的效果。

本次研究同樣選擇 2 倍管徑長的 PVC 圓管(7 公分)來進行實驗，要看看改變傾斜角度對圓管掉落再反彈直立的效果如何。



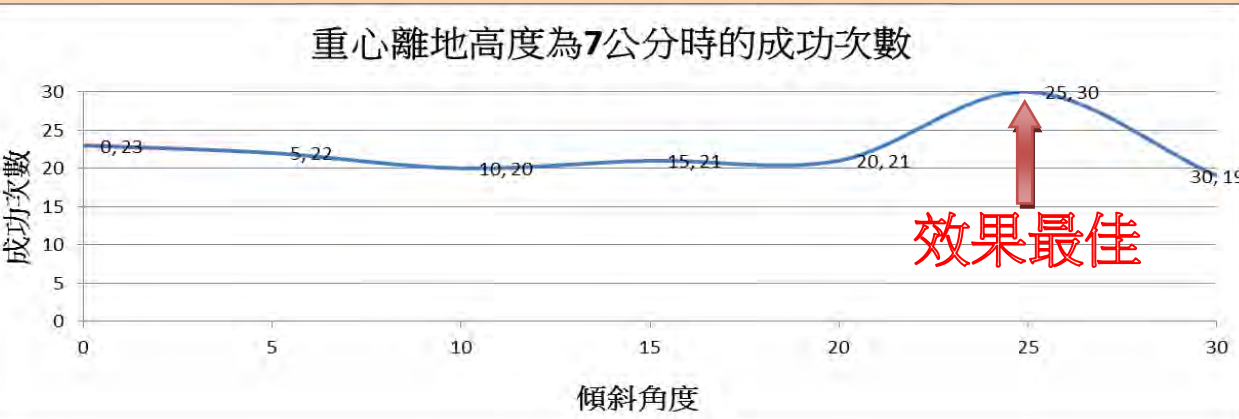
1.設定傾斜角度



2.固定於裝置上



3.操作實況



### 研究發現：

以「採用 2 倍管徑長的 PVC 圓管(管長 7 公分)、重心離地 7 公分時、傾斜角度是 25 度」的成功次數最高，成功率為 100%，是效果最好的一組。分析其掉落狀況，幾乎是一掉落就站起。



1.預備落下

2.掉落瞬間

3.站立

## 研究六：探討不同「包覆材質」對 PVC 管掉落後再反彈直立站起的效果。

本次實驗選擇以上一次實驗裡效果略差(成功次數 21 次)的「採用 2 倍管徑長的 PVC 圓管(管長 7 公分)、重心離地 7 公分時、傾斜角度是 20 度」的這一組，來進行不同包覆材質的實驗，看看是否能提高成功效果。



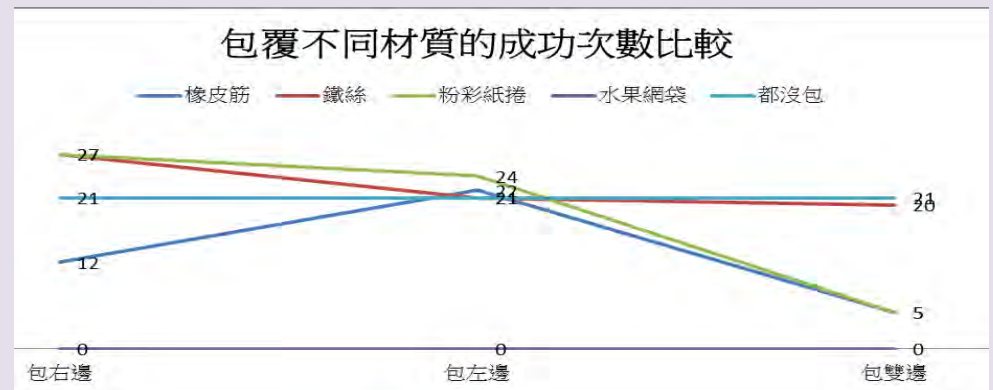
橡皮筋

細鐵絲

粉彩紙條

水果網袋

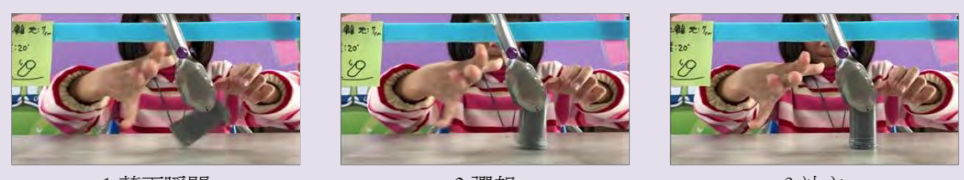
4 種包覆圓管的材料



1.落下瞬間

2.極輕微的彈起

3.掉落後不再彈起



1.落下瞬間

2.彈起

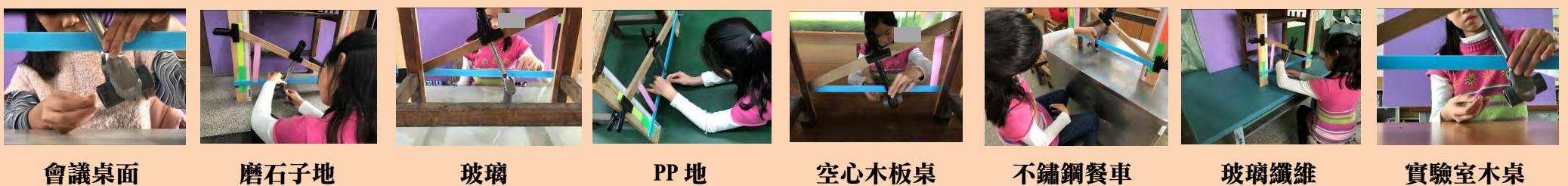
3.站立

### 研究發現：

當包覆材質越能吸附反作用力(如：水果網袋)，掉落後再反彈直立的效果越差。彈性越佳的材質(如細鐵絲)，掉落後再反彈直立的效果越佳，成功次數從 21 次提高到 27 次。

## 研究七：探討不同「接觸面」對 PVC 管掉落後再反彈直立站起的效果。

本次實驗想要探討當圓管在 8 種不同接觸面時的效果會有何差異，因此我們選擇在前幾個實驗中效果最佳的組合，來進行測試。



會議桌面

磨石子地

玻璃

PP 地

空心木板桌

不鏽鋼餐車

玻璃纖維

實驗室木桌

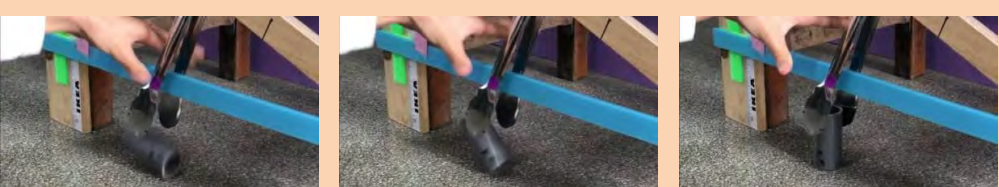


1.掉落瞬間

2.桌面震動、圓管略反彈

3.再次掉落不再反彈

圖 44 接觸面為玻璃纖維空心桌面時的掉落情形

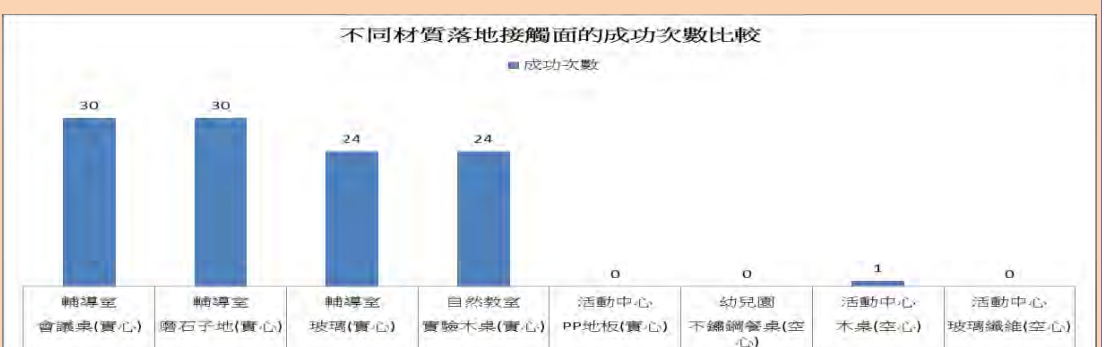


1.掉落瞬間

2.反彈

3.站立

接觸面為磨石子地板時的掉落情形



### 研究發現：

- 實心的接觸面成功次數顯著高於空心接觸面，效果依序是會議桌(實心)=磨石子地(實心)>玻璃(實心)=實驗木桌(實心)，但 PP 地板除外。
- 空心材質的接觸面，效果很差，幾乎都沒有成功站立。

## 伍、研究結論

- 適合夾放圓管的工具是「鐵製麵包夾」，圓管材質則以「PVC 圓管」最適合。
- 對 7 公分長的 PVC 圓管而言，最佳重心離地高度等於 2 倍管徑長。
- 5.25 公分(1.5 倍管徑)長的圓管效果佳，成功次數達 22~29 次。
- 夾子夾圓管右邊時，顯著降低效果；夾子夾在中間及左邊時無顯著差異。
- 圓管傾斜角度 25 度時，「2 倍管徑長的 PVC 圓管(7 公分)、重心離地高度也為 2 倍管徑長(7 公分)」的成功率為 100%。
- 四種包覆材質中，效果依序為「細鐵絲>粉彩紙捲>橡皮筋>水果網袋」，效果最好的是細鐵絲，成功次數從 21 次提升到 27 次。
- 接觸面材質效果依序是「會議桌=磨石子地>玻璃=實驗木桌>空心木桌>PP 地板>不鏽鋼餐桌>玻璃纖維桌」。

## 陸、未來研究方向

- 發展完全自動化裝置：本次研究雖然設計了「抓放圓管掉落器」來進行圓管的抓放，但因為還是須用人力按壓麵包夾，仍然有人為的誤差，因此可朝向完全自動化的方向來思考，設計一種可以按鈕就讓夾子抓放的裝置。
- 探討不同變因對圓管的影響：本次研究是以 PVC 圓管作為主要研究對象，尚未探討到其他材質的圓管的效果，未來可以嘗試探討不同材質、不同管徑等為變因繼續深入探討。

## 柒、參考資料

- 國小自然與生活科技第五冊第4單元(2015)·力與運動·臺北市：康軒文教事業股份有限公司。
- 自動站立的筒子(2016年9月2日)·NTCU科學遊戲實驗室·取自<http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-045.html>