

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

佳作

082929

氣動式軟型人工肌肉機器手~自製復健輔具

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學(附設國小)

作者：	指導老師：
小五 孫立揚	張 慎
小五 賈媛媛	
小五 楊上霆	
小五 奚皓予	

關鍵詞：氣動、軟型

摘要

「氣動式軟型人工肌肉機器手自製復健輔具」以氣體當作動力，且以矽橡膠作為承受載具，結合纖維增強結構設計，當矽橡膠載具空腔充氣後，造成特定應用要求方向的彎曲，模擬帶動手部肌肉重複運動狀態，達到手部的復健效果。

我們開發了柔性氣動制動器的簡單製造方法及便利的測量系統，如柔性氣動制動器加氣壓時產生力曲率半徑，扭曲，延伸軌跡和制動期間的輸出表徵。為了操作模擬柔軟的機器手套，設計人工操作氣壓控制系統，包括氣壓分流閥和閉環調控閥以調節壓力，而設計了柔軟機器手復健手套的系統雛型。

根據熱能鬆筋的生活觀察，結合遠紅外線加熱纖維布及自製多型柔性氣動彎曲制動器，製作了第一款方便可攜式柔軟並加熱的軟性機器手復健手套系統。

壹、研究動機

在今年的暑假，我跟幾個朋友一起去醫院檢查視力，無意間經過了復健科，看到裡面的中風病人正在做復健，我們請教了復健科醫生，他說台灣每年約有 2 萬人會因為腦中風導致日常生活失能，其中更有約 30-50% 會因中風後未能有效復健而殘留中度至重度的肢體機能障礙。



因為中風，造成病患四肢末端的知覺反應變慢，以手部為例，若未能在患後復健黃金時期，進行復健，患者將會肌肉萎縮，中度者能輕微抓握物品，卻無法有效伸直手指放開物品；重度者無法伸直手指，也完全無法有效施力抓握物品。

有效的復健需要借助一些「復健機器」來幫助病患做重複性抓取的簡單動作，因此復健輔具的設計對於治療進程是相當的重要。傳統的硬式機器手已經被導入這項應用，中風患者在機器手輔助下進行重複性運動時，手部運動功能會有顯著改善。但是根據我們的現場觀察，機器手復健輔助系統仍有下列幾項可以改善地方：

- 機器手的複雜剛性系統，未能有效的帶動手部外骨骼關節的自然移動。
- 機械硬體有可能在復健訓練過程中造成二次傷害。
- 通常機器手載具／病患手指相對應幾何尺寸很難調整。
- 當接觸到病患手部時，會有相當不適。
- 系統通常很昂貴。
- 通常不是便攜式的。

所以，我們決定開始自行研發「氣動式軟型人工肌肉機器手自製復健健具」，與現有設備相比，必須達到下述目標以滿足中風病人的需求：

- 廉價材料（例如織物，彈性體等）系統元件成本低。
- 病人可在家中自行使用。
- 可配合手指尺寸調整載具。
- 柔性的材料，充分保護病人不受到二次傷害。
- 開放式設計，增加使用病人的自由度和獨立性。
- 可便攜式。
- 可擴充性，保留未來機電整合控制及遠端居家看護調和的對接平台。

貳、研究目的

先探討手部的關節構造，再檢測各種復健手套的設計，找出哪種材料可以符合復健手套的需求，利用簡單方便的測試，了解復健手套是否堅固、可靠，讓我們的復健手套更實用。

一、探討手部關節構造

二、探討以不同材料製作實驗用的模擬手指

(一) 輕量黏土與熱塑土

(二) 矽橡膠：分析矽橡膠與硬化劑比例

三、設計與製作「氣動式軟型模擬手指」

(一) 製作手指模具

(二) 選擇無彈性纖維材料

(三) 選擇複合纖維材料

(四) 製作模擬手指

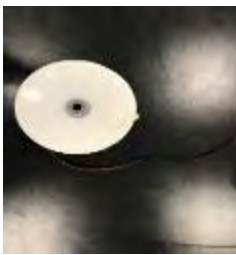
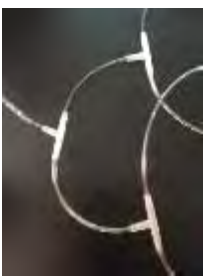
四、選擇不同的充氣方式並分析壓力對模擬手指彎曲度的影響

五、結合電熱片並做出復健手套

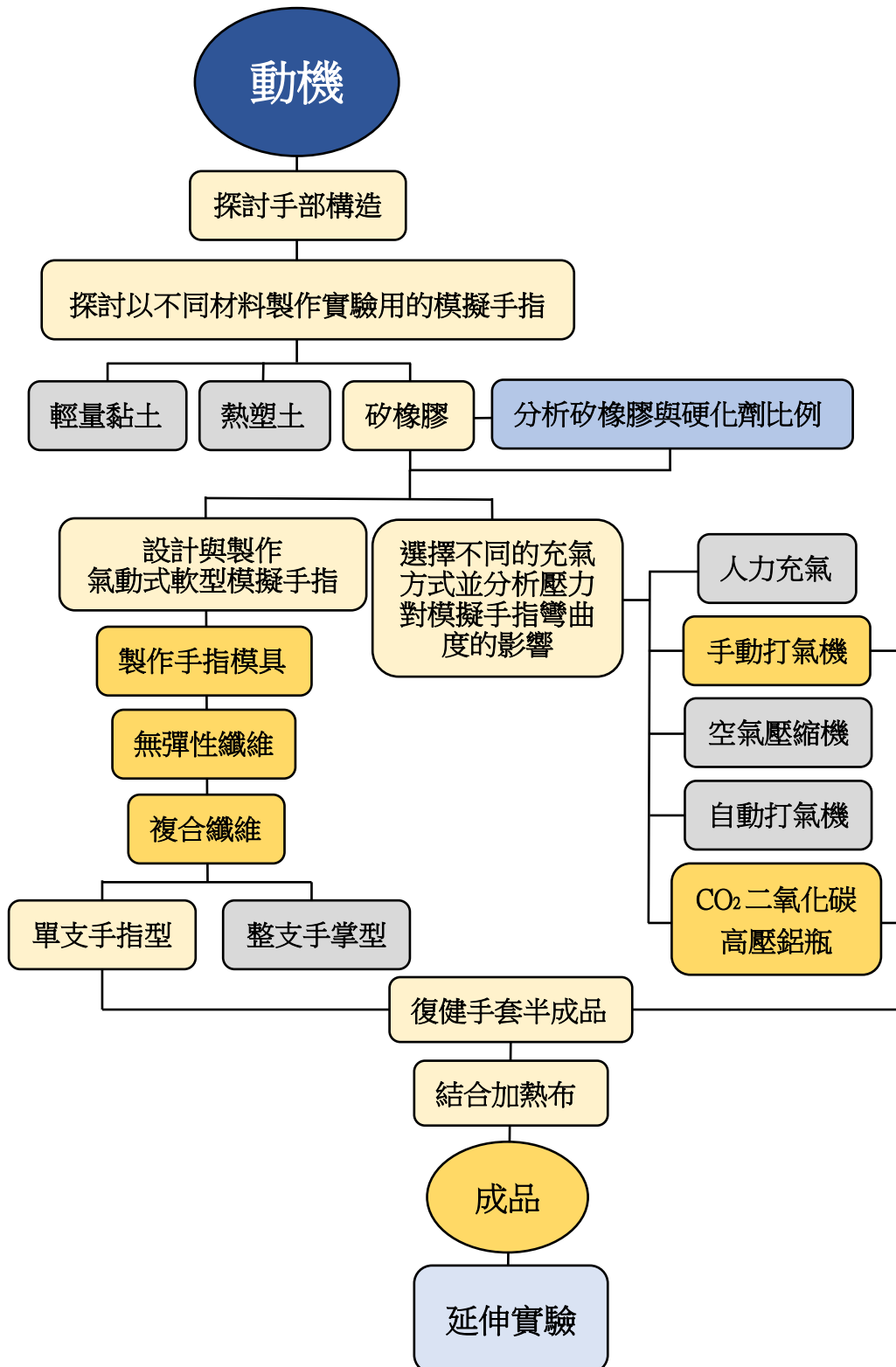
(一) 製作復健手套成品

(二) 量測電熱片的溫度變化

參、研究設備及器材

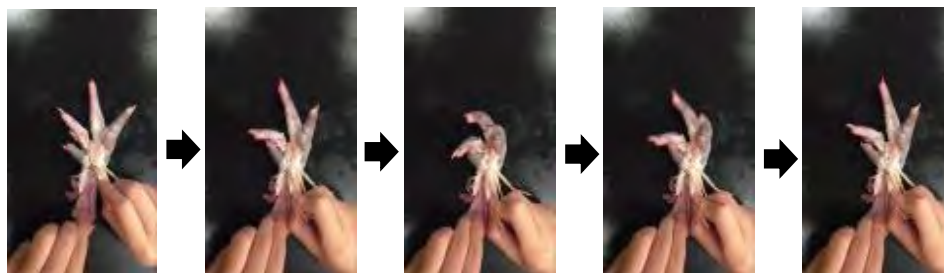
			
矽橡膠	硬化劑	微量電子秤	自製紙板模具
			
熱熔膠槍	無彈性纖維	複合纖維	塑膠軟管
			
脫模劑	腳踩打氣機	手動打氣機	電動打氣機
			
空氣壓縮機	CO ₂ 高壓鋁瓶	分流閥	三叉轉接管
			
自製節流閥	行動充電器	USB 充電線	電子溫度計

肆、研究過程及方法



一、探討手部關節構造

(一) 為了瞭解正常人手部外展與內縮的運動，我們先拿生雞爪來認識骨頭、韌帶、關節、肌肉等構造與相互關係。



(二) 人的手腕的結構是以腕骨的側面與掌骨的基底形成腕掌關節，而又以各手指的關節最為重要，手指的關節可牽引手掌形成外展伸直或握的位置，有效模擬手指關節會是我們研究的關鍵。



<http://wushu.net.tw/oldbbsattachment.php?aid=9008&k=ed70a73f22b1fa699f42d8ab6e2b50ca&t=1520392296&sid=6vL6I6>

二、探討以不同材料製作實驗用的模擬手指

(一) 以輕量黏土製作模擬手指

1. 討論之後，決定從最簡單的材料開始，我們使用了輕量黏土模擬中風病人的手掌，並用橡皮筋拉住前端模擬萎縮的現象，觀察後做出簡易型模擬手掌。



2. 但是我們發現以輕量黏土做材料，雖然方便塑型，可是太過脆弱，還沒開始使用就出現裂痕，而橡皮筋也容易鬆脫，沒辦法有效拉住手指，無法進行實驗操作。



(二) 以熱塑土製作模擬手指

1. 熱塑土，可做為固定器材，也可用於雕刻和機械用途。因為它具有堅固、可重複使用、好塑型等優點。在常溫時，熱塑土跟普通塑膠一樣堅硬，當溫度上升至攝氏 60 度時，則像黏土一樣柔軟，將可以克服輕量黏土的問題。



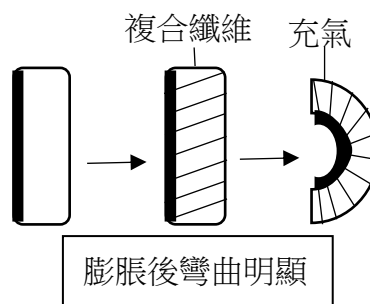
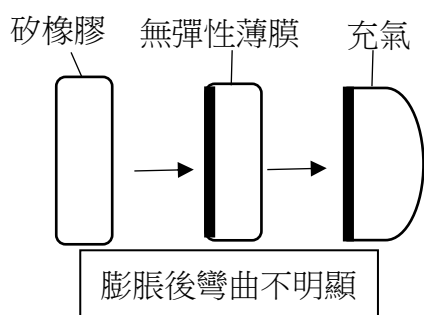
2. 我們發現，手指套上熱塑土指環，是非常的不舒服，就好像一個手上戴上 10 個戒指。而活塞也是個大問題，到底要用什麼動力來拉動活塞，整體太過笨重，不切實際，也無法進行實驗操作。

(三) 以矽橡膠製作模擬手指

1. 當氣球充氣時，其中一面黏上無彈性的薄膜，就會因為兩邊膨脹面積不等而彎曲，我們決定測試看看，並尋找適合且可用的材料，得知矽橡膠是可隨意塑型且充氣能膨脹的材料。



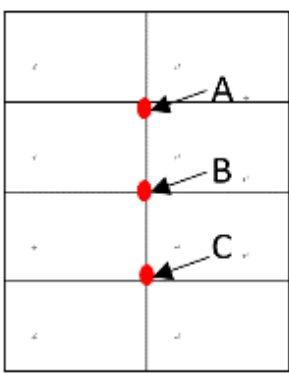
2. 我們發現因為氣球整個表面都有彈性，所以無法控制充氣後的膨脹方向。為了要讓氣球在充氣後達成往前後方向膨脹，所以要在氣球上包覆其他材料，只要控制壓力，就能隨時改變手指的彎曲度。



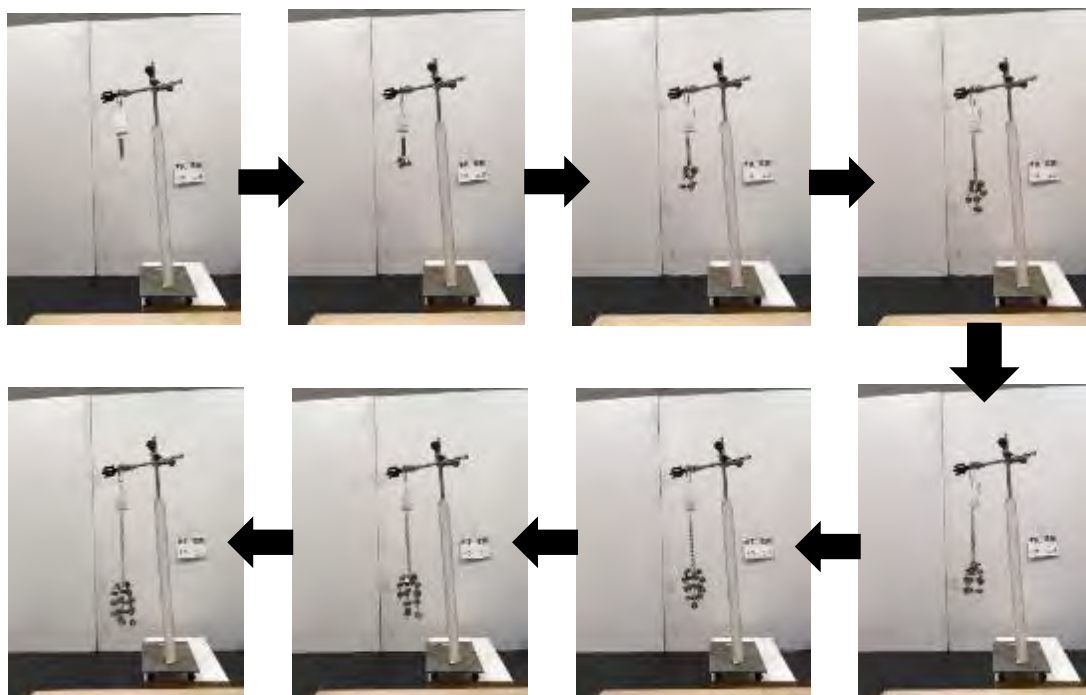
3. 矽橡膠在使用前呈液體狀態，加入硬化劑後就會開始凝固。我們採用拉力實驗來分析矽橡膠與硬化劑的混和最佳比例。

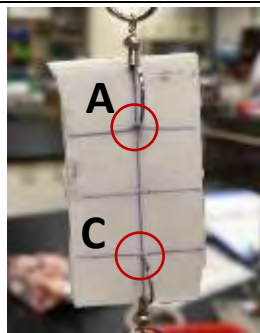
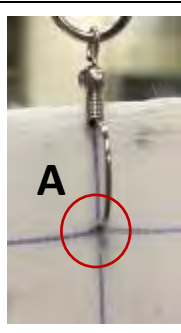
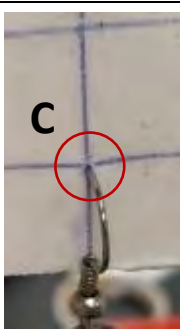
實驗方法：

			
準備 16 個底面積相同的小紙盒。	調配四種不同濃度的硬化劑/矽橡膠(1.0%、1.5%、2.0%、2.5%)，分別放入小紙盒內，厚度分別為 1cm、1.5cm、2cm、2.5cm。		

		
凝固後呈矽橡膠塊，將矽橡膠塊分成兩等分後。在每一小矽橡膠塊上用筆畫分八小格，使每塊矽橡膠塊能在同一點掛勾子與砝碼。 用迴紋針與鉤子將矽橡膠塊上 A 點掛在鐵鉤上，並在矽橡膠塊 C 點掛上彈簧與砝碼，測量每塊矽橡膠塊能夠承受的重量和彈簧伸長的長度。		

實驗過程：



			
變形前	變形後		
當 C 點的水平線開始彎曲變形，則代表此矽橡膠塊能夠承受的拉力已到達極限，紀錄彈簧的伸長量，砝碼的總重量，每一次測試都替換另一個新彈簧，以防彈簧彈力疲勞。			

實驗結果：

編號	厚度(cm)	濃度(%)	彈簧(cm)	重量(g)
1	1.0	1.0	8.5	200
2	1.0	1.5	8.5	200
3	1.0	2.0	11.5	300
4	1.0	2.5	11.5	300
5	1.5	1.0	5.5	100
6	1.5	1.5	9	260
7	1.5	2.0	14	360
8	1.5	2.5	16.5	400
9	2.0	1.0	無法凝固	
10	2.0	1.5	無法凝固	
11	2.0	2.0	部分無法凝固	
12	2.0	2.5	無法脫模	
13	2.5	1.0	14	350
14	2.5	1.5	14	350
15	2.5	2.0	12.9	300
16	2.5	2.5	6	160

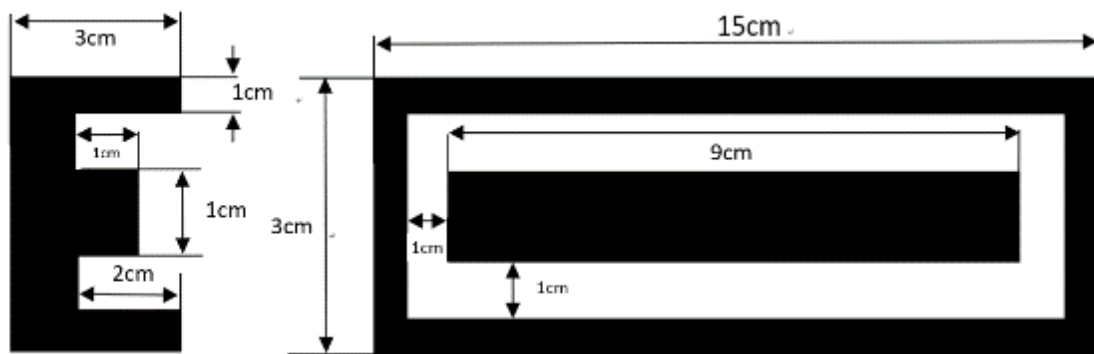
實驗討論：

- (1) 從 16 塊中發現拉力極限最大的一塊，厚度為 1.5cm，硬化劑／矽橡膠的濃度為 2.5%，所能夠承受的重量是 400g。
- (2) 我們決定以厚度 1.5cm，濃度 2.5%的數據來製作模擬手指，可以承受最大拉力，彈性與脆度也能夠最佳化，所以成為我們主要材料的混和比例。

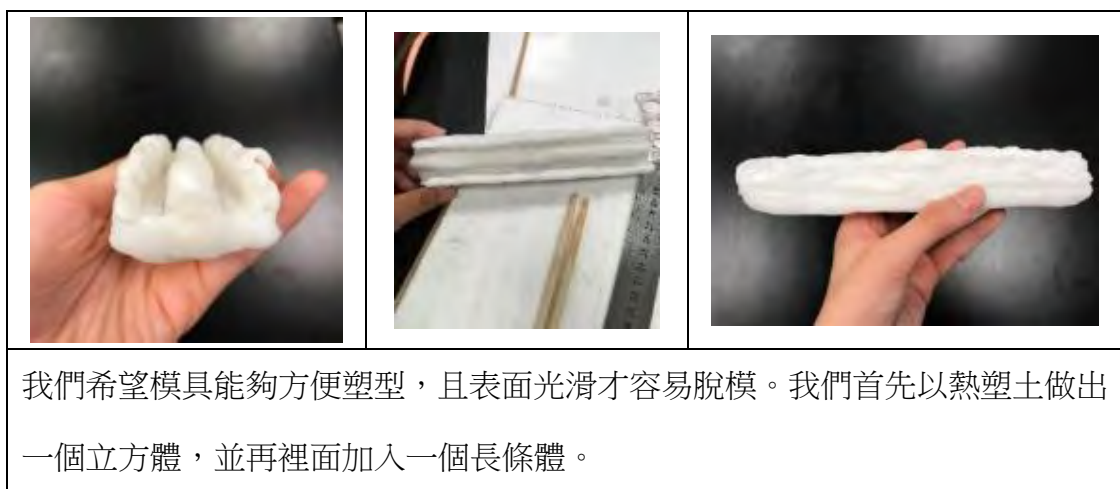
三、設計與製作「氣動式軟型模擬手指」

(一) 製作手指模具

因為矽橡膠在與硬化劑混合前，呈現液體狀態，所以，需要一個模具容器。由於我們設計的手指，裡面是中空的，側面也要嵌入無彈性纖維，所以設計了第一代熱塑土模具與第二代厚紙板模具。



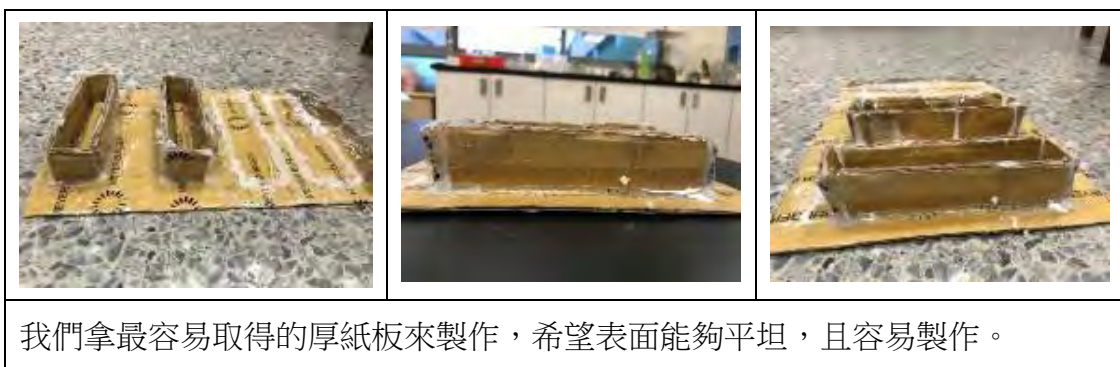
1. 熱塑土：



討論：

熱塑土模具製作過程中發現，不管是用手或尺，還是其他工具為模具塑型，都很難讓模具外表平坦，而且縫隙太多。

2. 厚紙板：

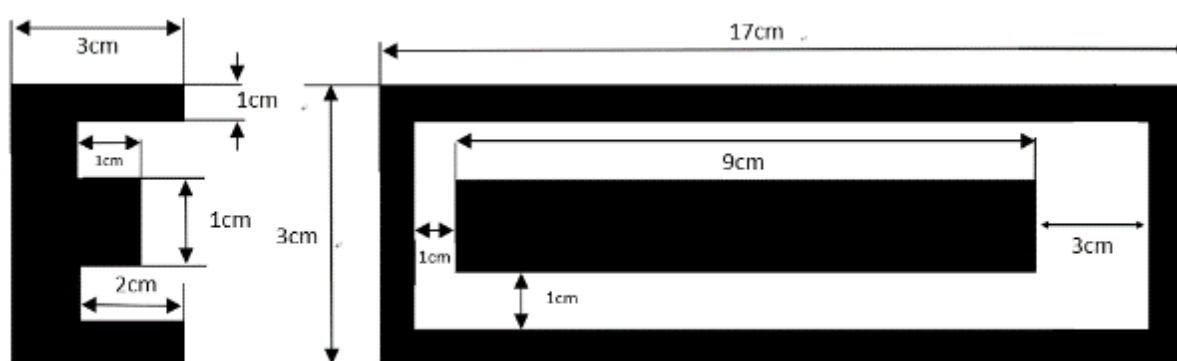


討論：

隨手可得的厚紙板，方便測量、裁剪、製作、修理，使用後還能夠再利用，且使用熱熔膠也能沒有縫隙，因此成為主要模具。

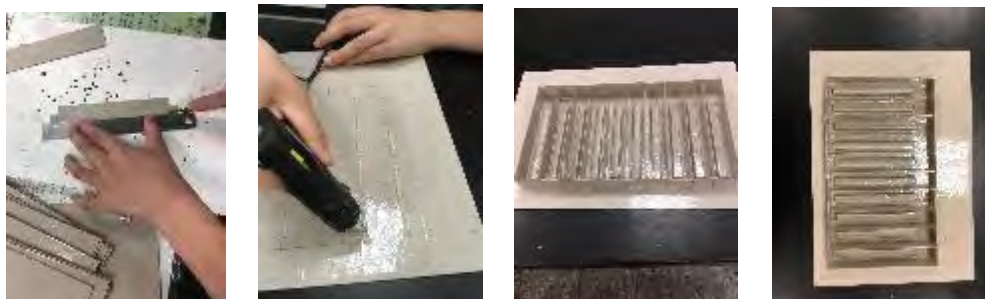
3. 改良紙板模具：

空氣灌入空腔內部，造成模擬手指彎曲，所以在尾端必須插入塑膠軟管，連接手指內部，我們發現矽橡膠表面太過光滑且彈性太好，所以塑膠軟管插入通氣後容易脫離空腔，因此我們重新畫出設計圖。



討論：

我們將尾端空腔以外部分拉長，讓塑膠軟管穿入模擬手指的部分拉長，並改用硬紙板，相對厚紙板，更方便剪裁。



(二) 無彈性纖維

能夠使模擬手指彎曲的關鍵，可加入無彈性纖維，我們決定將其嵌入模擬手指內，並開始決定無彈性纖維的材質。

實驗討論：

1. 起初我們使用影印紙，但是由於最後與矽橡膠結合時，過於脆弱，造成復健手指彎曲程度並不明顯。
2. 膠帶可能比較堅固，與矽橡膠結合時也不容易斷裂，但是因為膠帶表面太光滑，根本無法固定在模擬手指上，也就無法彎曲。
3. 餐桌墊類似編織的設計，所以上面有一些孔洞，可以完全與矽橡膠形成穿孔鎖定結合，也無彈性，所以成為我們的主要材料。

(三) 複合纖維

沒有在模擬手指外側網綁複合纖維，膨脹時就會橫向膨脹，彎曲就會不明顯，網綁後則往前後膨脹。我們選擇了幾樣材料討論哪一種能夠更符合需求。

實驗結果：

項目	說明
膠帶	黏死的情況下，使整個手指無法膨脹
橡皮筋	彈性太高，無法有效束縛手指，無法使手指彎曲
毛線	太難綁在手指上，容易脫落
緞帶	因為是平面繩索所以方便綁上手指，又無彈性，膨脹時有空隙能夠使手指彎曲

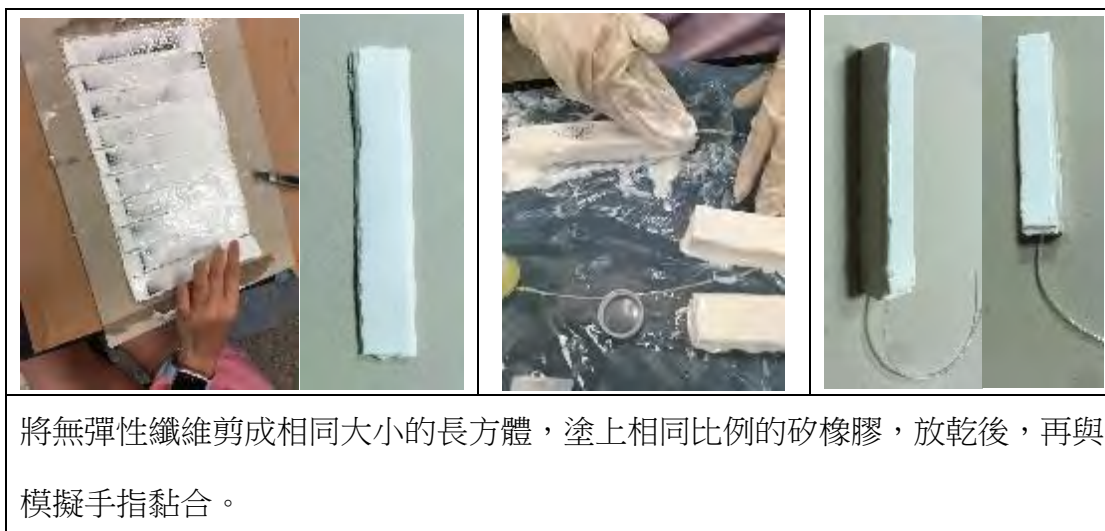
實驗討論：

緞帶能成功的使手指彎曲，成為我們的主要材料。

(四) 製作模擬手指

單支手指型：

				
以矽橡膠與硬化劑比例灌入模具內，放乾六小時，脫模。		在模擬手指尾端穿孔，並插入塑膠軟管，在軟管前端打上數個小孔，使其均勻充氣。		



A：圈數：10 圈長：8.5cm 總長 85cm	B：圈數：20 圈長：8.5cm 總長 170cm	C：圈數：30 圈長：8.5cm 總長 255cm
複合纖維網綁後能夠使模擬手指彎曲更明顯，在相同壓力下，網綁的圈數會影響彎曲的速度，中風患者的手部筋脈已經僵硬萎縮，彎曲的太快可能會造成手部受傷，於是我們討論網綁的圈數，並進行測試。		

實驗過程： 綁法 A



綁法：B



綁法：C

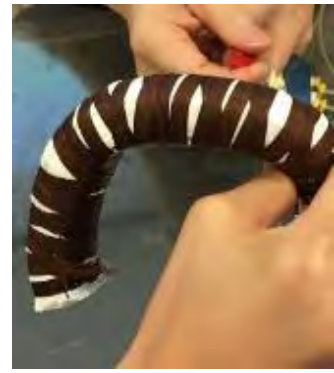


實驗結果：

項目	壓力 (PSI)	上升時間 (Sec)	下降時間 (Sec)	總時間 (Sec)	彎曲 角度
A：圈數：10 圈長：8.5cm 總長 85cm 節流閥容量：1500ml	13	12	20	32	40
	13	11	20	32	40
	13	12	22	34	40
	13	13	22	35	40
	13	12	21	33	40
B：圈數：20 圈長：8.5cm 總長 170cm 節流閥容量：1500ml	13	18	28	46	40
	13	18	27	45	40
	13	21	30	41	40
	13	19	27	46	40
	13	20	29	49	40
C：圈數：30 圈長：8.5cm 總長 255cm 節流閥容量：1500ml	13	10	34	44	40
	13	12	38	50	40
	13	12	37	49	40
	13	11	38	49	40
	13	11	35	36	40

討論：測試後得知，綁法 C（圈數：30）較符合我們的需求。

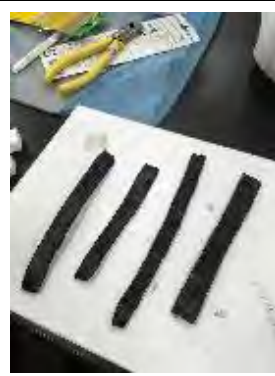
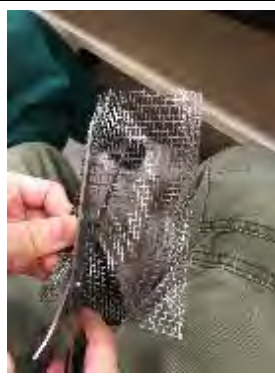
單支手指成品充氣測試



整支手掌型：



我們討論也許做成一體成形的模擬手指能夠比較容易充氣且不易損壞。



為了模擬中風病人的手，我們還在手掌外側包上鐵絲網，使手掌能彎曲。

討論：我們發現在製作模具較費時，灌模時會因有裂縫造成矽橡膠液流出。

四、選擇不同的充氣方式並分析壓力對模擬手指彎曲度的影響

完成手指後，我們討論要用甚麼充氣方式來當作動力，然後我們決定加裝一個節流閥，來保護模擬手指不會因為壓力過大而損壞，並且分析壓力對手指彎曲度影響。

(一) 選擇充氣方式

1. 使用人力腳踩充氣

		
我們使用寶特瓶連接到模擬手指上，再用腳踩寶特瓶，讓空氣灌入。		
	我們還嘗試使用腳踩打氣機，但是腳踩時不好施力，充氣力量不夠，使模擬手指彎曲不明顯。	

討論：

用腳踩寶特瓶將空氣灌入，實在有些困難，不但難以保持平衡，還要注意不能損壞節流閥，且模擬手使彎曲的效果非常不明顯。

2. 使用手動打氣機充氣

				
	0 秒~10 秒	10~秒 20 秒	20 秒~30 秒	30 秒~40 秒
總共打了 10 下打氣機，上升到 50 度				

結論：使用手動打氣機，效果良好，隨時控制充氣量。

3. 使用自動打氣機：

體型小，重量輕，必須接上電源，
針頭充氣孔，無法控制壓力大小，
必須借助節流閥來調。

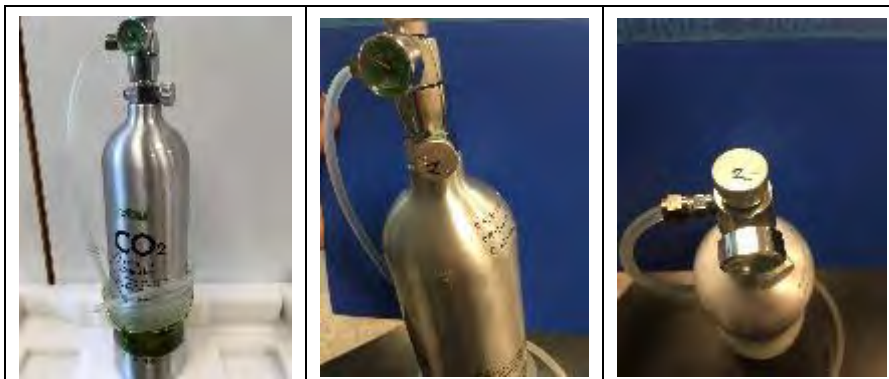


4. 空氣壓縮機：

壓力足夠，且有分流閥隨時調節氣
壓，但是太過笨重，聲音太大，且
需要接上電源，攜帶不方便。



5. 水族箱用 CO₂ 高壓鋁瓶：



體型小、重量輕、不用接電、無噪音，且鋁瓶上有流量閥，可
以調整流量大小，唯一缺點是氣體用盡時要自行填補二氧化
碳，除此之外無其他缺點。

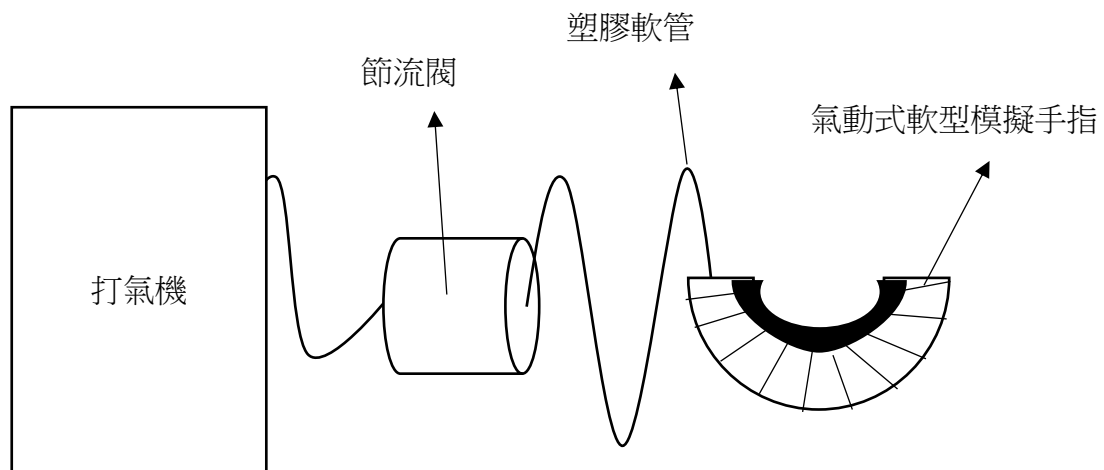
結論：

二氧化碳高壓鋁瓶雖然成為我們最後選擇的充氣方式，但是由於科展比賽
場地規定的因素，二氧化碳高壓鋁瓶被禁止使用，所以我們只好選擇使用
腳踏車手動打氣機。

(二) 壓力對模擬手指彎曲度的影響

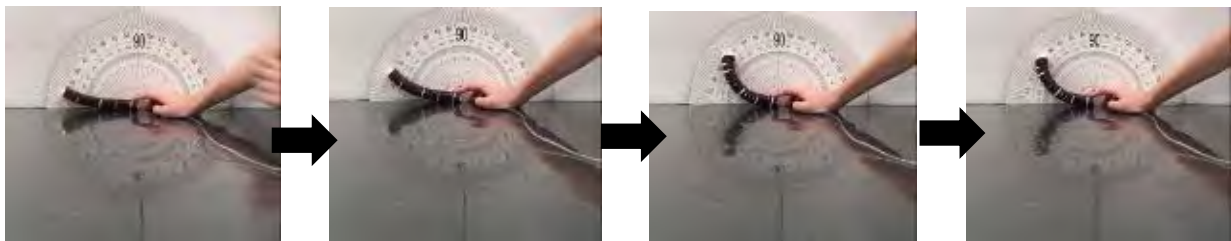
完成手指後，我們發現由於大氣機的壓力過大，且難以控制，也因此損壞了許多模擬手指，所以，決定加裝一個節流閥來控制壓力的變化。我們討論利用不同容量的空寶特瓶製作節流閥，分析壓力對手指彎曲度的影響。

實驗方法：



實驗過程：

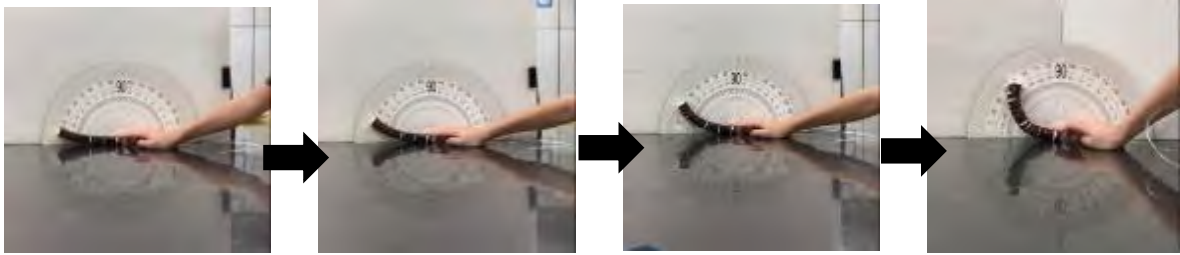
節流閥容量 1500ml 角度 40 度



節流閥容量 1000ml 角度 40 度



節流閥容量 1000ml 角度 50 度



節流閥容量 500ml 角度 40 度



實驗結果：

1500ml			1000ml			1000ml			500ml		
壓力	時間	角度	壓力	時間	角度	壓力	時間	角度	壓力	時間	角度
13	6"95	40	15	4"71	40	15	5"68	50	12	3"24	40
13	6"68	43	14	4"71	40	15	5"28	50	15	3"27	40
14	7"67	43	14	4"38	40	15	5"47	50	13	3"41	40
13	6"10	40	14	4"41	40	15	5"71	50	13	3"00	40
15	7"75	40	14	4"41	40	15	5"25	50	13	3"28	40

實驗討論：

1. 當壓力超過 15p，彎曲度大約 50 度，而且充氣速度快，矽橡膠模擬手指就會破裂。
2. 有了節流閥的幫助，我們將可以比較容易控制彎曲度與壓力。

五、結合電熱片並做出復健手套

我們討論，如果能製作出可使用的復健手套，要用哪些材料呢？某一天我們看到家裡的長輩因為工作關係，手關節疼痛，他常用熱敷墊來減緩疼痛，經過討論，設想也在復健手套裡加裝一片電熱布，並且用 USB 線接行動充電器加溫，來舒緩中風患者的手肌肉與關節。



(一) 製作復健手套

製作準備：

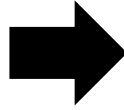
1. 我們上網查資料後，發現電熱片裡是用電阻絲，我們嘗試用不同材質測試，而我們也把手機使用的 USB 充電線拆開，連接後觀察是否加熱。



2. 經過多次測試，我們繼續查資料，原來發熱片需要特殊的線材，透過家人介紹後，終於找到我們要的電阻絲，畫出設計圖，並做出電熱片。

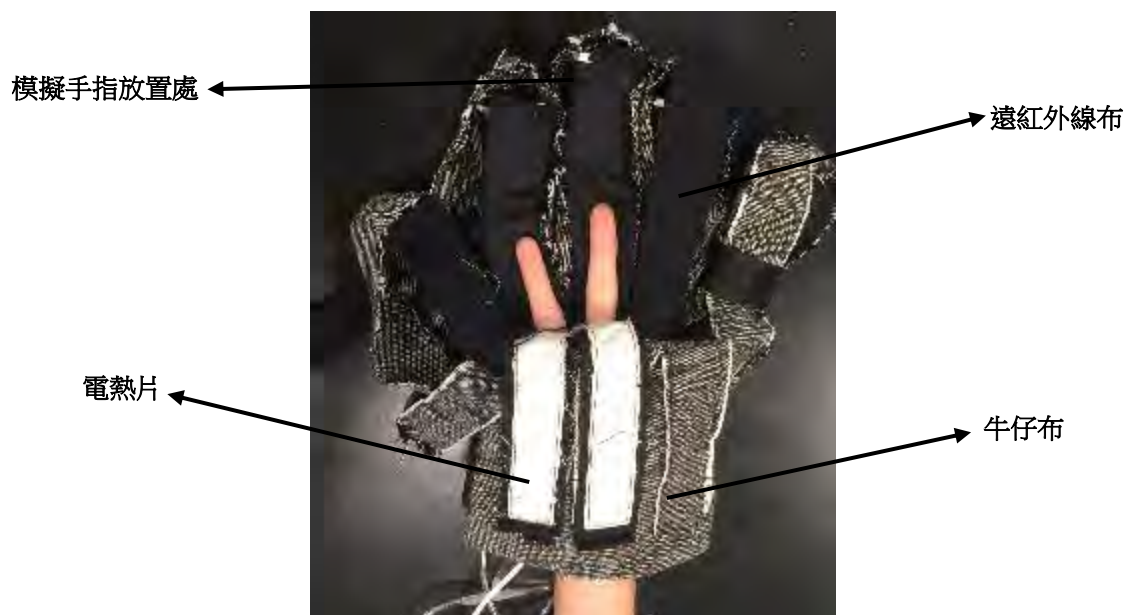
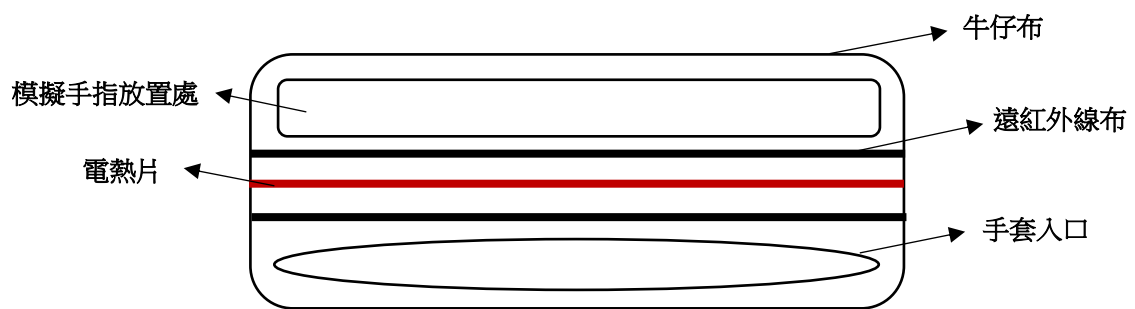


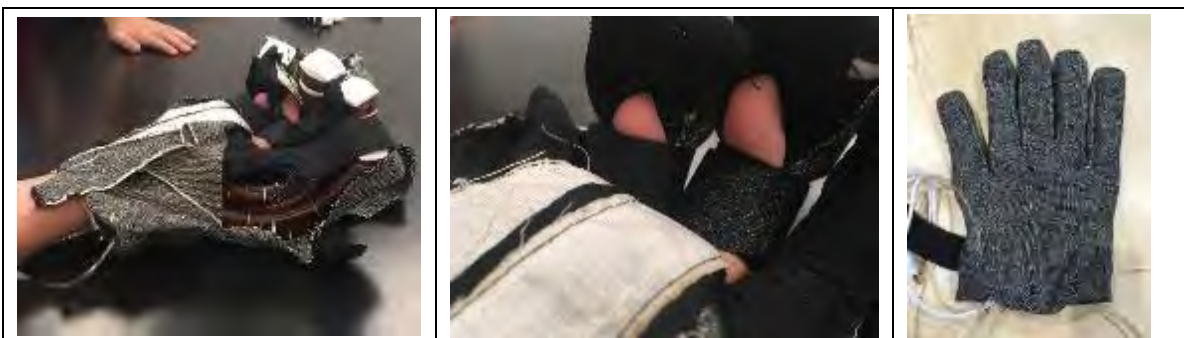
設計圖



電熱片成品

3. 做出電熱片後，我們以牛仔布將模擬手指包覆，圖如下。





成品：

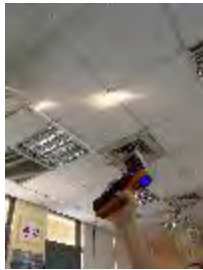
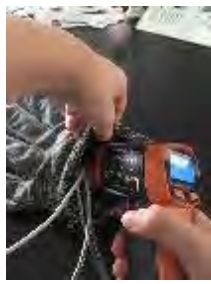
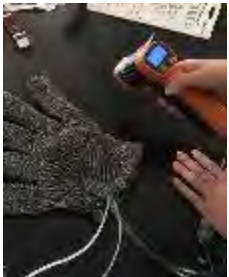
我們討論，如果患者屬於重度中風者，那患者的手會因為手部彎曲太過嚴重，使我們的復健手套無法戴上，所以我們在手套內側黏上魔鬼氈，使用時打開手套外側的牛仔布和遠紅外線布，將患者的手用魔鬼氈固定在手套裡，就能順利做復健。

(二) 量測電熱片的溫度變化

製作完成品，我們開始檢測復健手套裡的電熱布裡的加熱功能，了解溫度上升的速度。

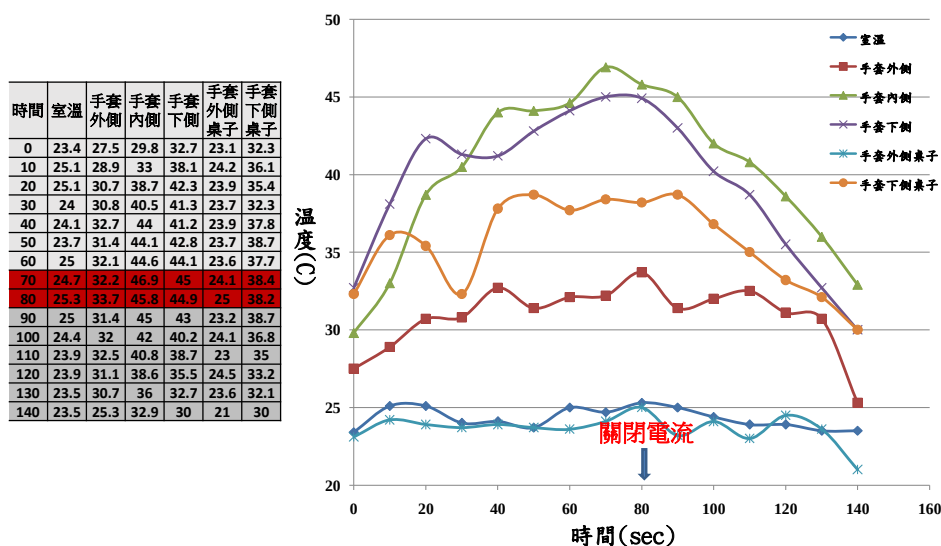
實驗方法：

使用電子溫度計，每十分鐘量測一次，當溫度超過攝氏 45 度以上，即切斷電源，並觀察降溫情況。

		
1. 室溫	2. 手套外側	3. 手套內側
		
4. 手套下側	5. 手套外側桌子	6. 手套下側桌子

實驗結果：

		時間 (min)	室溫	手套			桌子	
			1	2	3	4	5	6
13：40	0		23.4	27.5	29.8	32.7	23.1	32.3
13：50	10		25.1	28.9	33.0	38.1	24.2	36.1
14：00	20		25.1	30.7	38.7	42.3	23.9	35.4
14：10	30		24	30.8	40.5	41.3	23.7	32.3
14：20	40		24.1	32.7	44.0	41.2	23.9	37.8
14：30	50		23.7	31.4	44.1	42.8	23.7	38.7
14：40	60		25	32.1	44.6	44.1	23.6	37.7
14：50	70		24.7	32.2	46.9	45	24.1	38.4
15：00	80		25.3	33.7	45.8	44.9	25	38.2
15：10	90		25	31.4	45	43	23.2	38.7
15：20	100		24.4	32	42	40.2	24.1	36.8
15：30	110		23.9	32.5	40.8	38.7	23	35
15：40	120		23.9	31.1	38.6	35.5	24.5	33.2
15：50	130		23.5	30.7	36	32.7	23.6	32.1
16：00	140		23.5	25.3	32.9	30	21	30



實驗討論：

我們發現，復健手套持續加溫 70 分鐘後，溫度達到攝氏 46.9 度（超過設定的攝氏 45 度），切斷電源後，經 20 分鐘降至攝氏 45 度。在兩小時後因為有遠紅外線黑布的關係，保溫情況也相當良好。

伍、討論

一、探討手部關節的構造

從此次研究中了解到，與我們生活中息息相關的「手」的構造，認識骨頭、韌帶、關節、肌肉等構造與相互關係，而我們設計的復健手指也就從這裡開始研發。

二、探討不同材料製作模擬手指

我們使用熱塑土嘗試製作「指環拉動式模擬手指」，最後以矽橡膠為材料製作「氣動式軟型模擬手指」，完全符合我們的需求。

三、設計氣動式軟型復健手指

矽橡膠、無彈性纖維、複合纖維，是復健手指的主要材料。使用矽橡膠作為材料，必須還要加入硬化劑使其凝固，混合比例是復健手指彈性的關鍵。無彈性纖維與複合纖維的材質選擇決定了復健手指的彎曲度。

四、製作手指模具

因為矽橡膠凝固前呈液體狀態，我們用熱塑土及紙板製作模具，發現厚紙板搭配膠帶即可使用，不但平坦，防水，還可以重複利用。

五、製作「氣動式軟型模擬手指」

混和最佳比例的矽橡膠，灌入模具，風乾六小時，脫模後，在手指尾端穿孔，插入塑膠軟管，並在塑膠軟管前端打數個小洞，嵌入無彈性薄膜，最後綁上複複合維。

六、壓力對復健手指彎曲度的影響

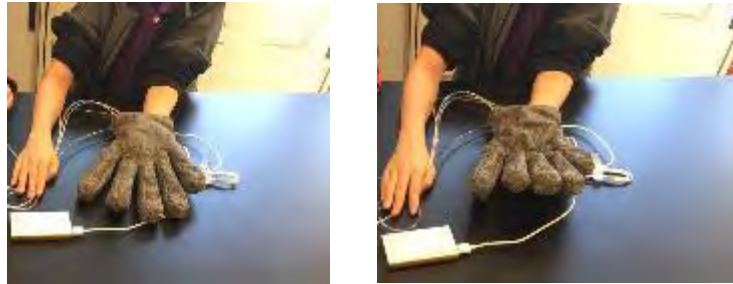
選擇使用能帶入比賽場的手動打氣機，且使用我們用自製設計的節流閥來調整壓力的大小，測試復健手指的彎曲度，彎曲的時間，與所施加的壓力之間的關係。最後得知彎曲度大約在 40 度到 50 度之間，壓力大約在 12p 到 15p，是最佳選擇。

七、結合電熱片並做出成品

在使用加熱線材進行測試時，請教老師並上網查資料，才知道要用特殊的電阻絲，組裝復健手套，檢測它的溫度，最後討論出重度中風患者因為手指太過彎曲，無法戴手套，所以做出開放式的復健手套，才完成「氣動式軟型復健手套」。

陸、結論

- 一、完成了期待已久的復健手套半成品，以矽橡膠製作模擬手指進行測試實驗；同時也將自己的小手放入復健手套半成品中，進行加溫測試。



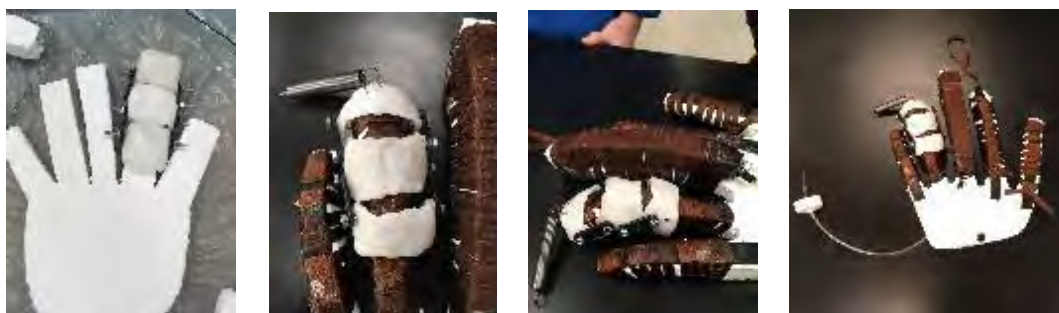
- 二、雖然比賽展示時是使用手動打氣機，但我們最後的選擇是小型水族箱使用的 CO₂ 二氧化碳高壓鋁瓶進行復健手套的充氣，再接上行動電源，將可攜帶方便，並達到加熱放鬆肌肉的目的。



- 三、完成的復健手套半成品，價格低廉，且為軟性材質，可保護患者不受二次傷害。

柒、延伸實驗

目前我們自製的「氣動式軟型模擬手指」，還只能單方面的握拳，並不能讓患者打開手掌。但是我們已經討論出將先前的「指環拉動式模擬手指」與「氣動式軟型模擬手指」結合，不管是要開掌，還是握拳，都能使用。



將兩種想法結合，需要更多的時間研發，但是成功後可以做出更精細的手部動作，比如手指可以個別做復健運動，也不會因為握力過大，而損壞要抓取的物品。當然這都還在討論中，我們也還會繼續往下研發，不會放棄我們的科學精神。



捌、參考資料

- 一、國小自然與生活科技 第六冊 第二單元「動物的生活~動物的行為」
- 二、國小自然與生活科技 第六冊 第四單元「力與運動~力的測量」

【評語】 082929

自製氣動式軟型人工肌肉機器手復健輔具，實驗題材創新，挑戰性高。若能拆解成幾個基本動作，並達成特定目標，可能更有意義，收穫更大。

摘要

「氣動式軟型人工肌肉機器手～自製復健輔具」以氣體當作動力，且以矽橡膠作為承受載具，結合纖維增強結構設計，**當矽橡膠載具空腔充氣後，造成特定應用要求方向的彎曲，模擬帶動手部肌肉重複運動狀態**達到手部的復健效果。

我們開發了柔性氣動制動器的簡單製造方法及便利的測量系統，如柔性氣動制動器加氣壓時產生力曲率半徑，扭曲，延伸軌跡和制動期間的輸出表徵。為了操作模擬柔軟的機器手套，設計人工操作氣壓控制系統，**包括氣壓分流閥和閉環調控閥以調節壓力**，而設計了柔軟機器手復健手套的系統雛型。

根據熱能鬆筋的生活觀察，結合遠紅外線加熱纖維布及自製多型柔性氣動彎曲制動器，**製作了第一款方便可攜式柔軟並加熱的軟性機器手復健手套系統**。

壹、研究動機

有效的復健需要借助一些「復健機器」來幫助病患做重複性抓取的簡單動作。傳統的硬式機器手已經被導入這項應用，中風患者在機器手輔助下進行重複性運動時，手部運動功能會有顯著改善。但是根據我們的現場觀察，機器手復健輔助系統仍有下列幾項可以改善地方：

- 機器手的複雜剛性系統，未能有效的帶動手部外骨骼關節的自然移動。
- 機械硬體有可能在復健訓練過程中造成二次傷害。
- 通常機器手載具／病患手指相對應尺寸很難調整。
- 當接觸到病患手部時，會有相當不適。
- 系統通常很昂貴。
- 通常不是便攜式的。

所以，我們決定開始自行研發「氣動式軟型人工肌肉手復健輔具」，與現有設備相比，必須達到下述目標以滿足中風病人的需求：

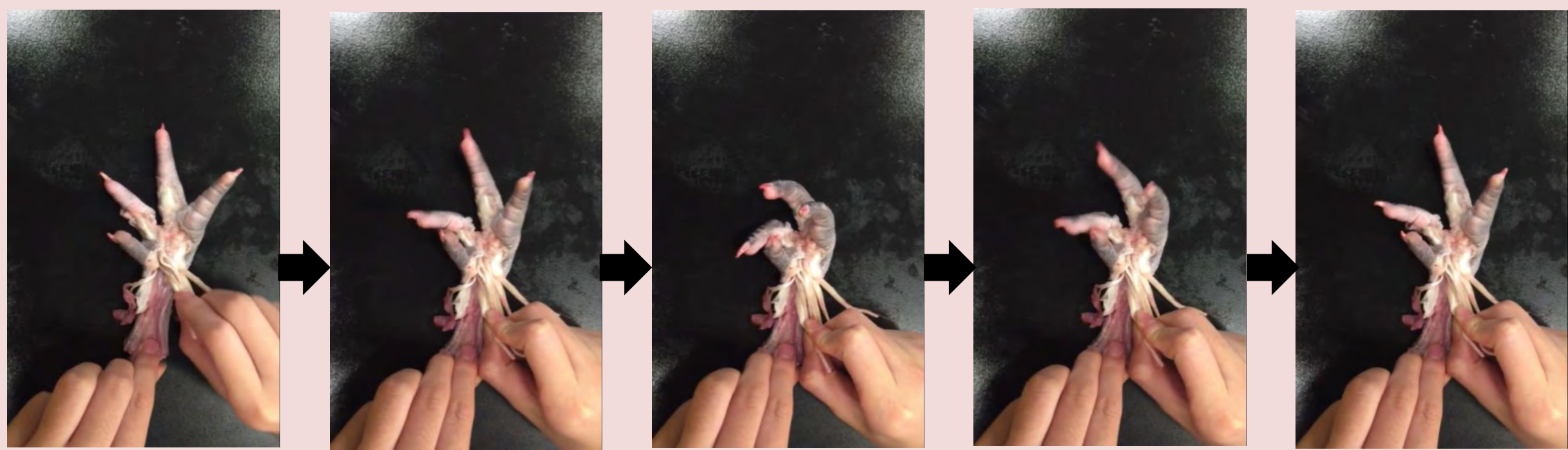
- 廉價材料（例如織物，彈性體等）成本低。**
- 病人可在家中自行使用。**
- 可配合手指尺寸調整載具。**
- 柔性的材料，充分保護病人不受到二次傷害。**
- 開放式設計，增加使用者的自由度和獨立性。**
- 方便攜帶。**
- 可擴充性，保留未來機電整合控制及遠端居家看護調和的對接平台。**

貳、研究目的

- 一、探討手部關節構造
- 二、探討以不同材料製作實驗用的模擬手指
 - （一）輕量黏土與熱塑土
 - （二）矽橡膠：分析硬化劑與矽橡膠比例
- 三、設計與製作「氣動式軟型模擬手指」
 - （一）製作手指模具
 - （二）選擇無彈性纖維材料
 - （三）選擇複合纖維材料
 - （四）製作模擬手指
- 四、選擇不同的充氣方式，並分析壓力對模擬手指彎曲度的影響
- 五、結合電熱片並做出復健手套
 - （一）製作復健手套成品
 - （二）量測電熱片的溫度變化

一、探討手部關節構造

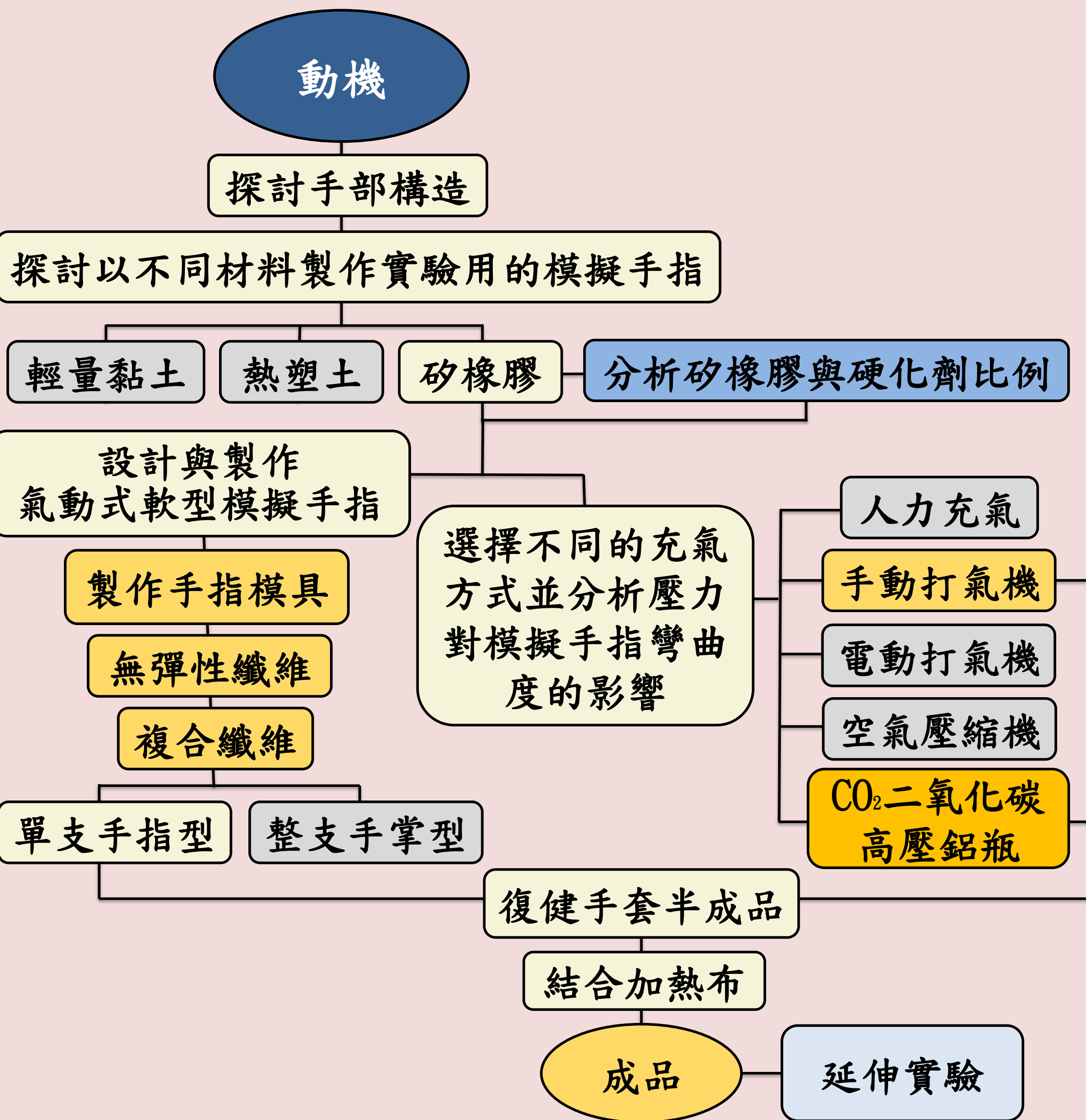
為了瞭解正常人手部外展與內縮的運動，我們先拿生雞爪來認識骨頭、韌帶、關節、肌肉等構造相互關係。



參、研究設備及器材

矽橡膠	硬化劑	脫模劑	自製紙板模具	熱熔膠槍、膠條
無彈性纖維	複合纖維	塑膠軟管	腳踩打氣機	手動打氣機
輕便打氣機	電動打氣機	空氣壓縮機	CO2高壓鋁瓶	魔鬼氈
三叉轉接管	自製節流閥	行動充電器	USB充電線	電子溫度計

肆、研究過程及方法



二、探討以不同材料製作實驗用的模擬手指

（一）以輕量黏土製作模擬手指

使用輕量黏土模擬中風病人的手用橡皮筋拉住前端模擬萎縮但是沒辦法有效拉住手指。			
--	--	--	--

（二）以熱塑土製作模擬手指

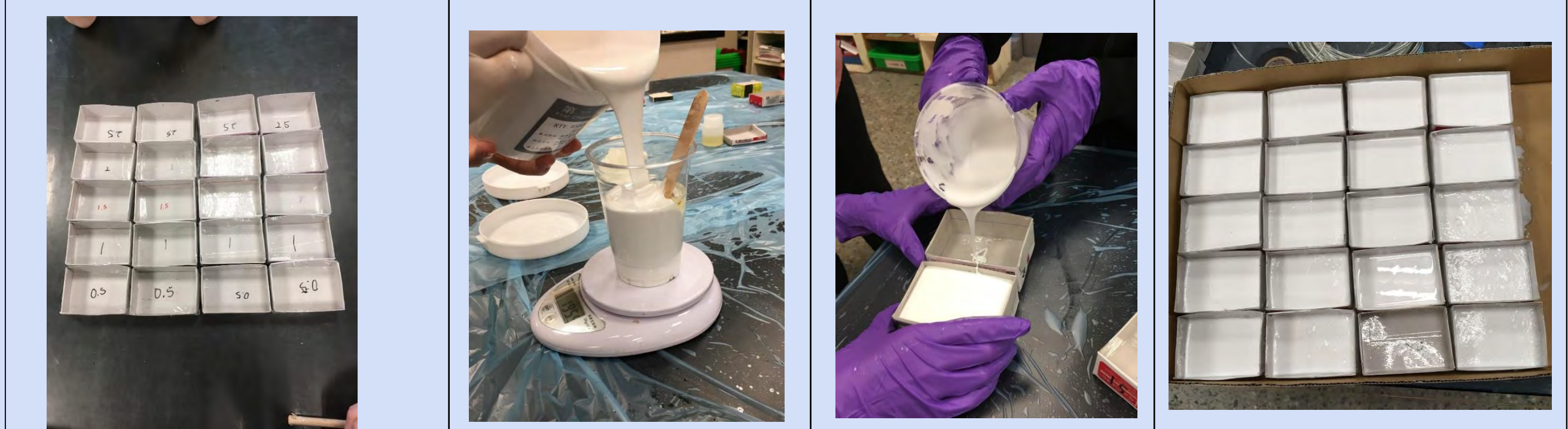
在常溫時，熱塑土和塑膠粒一樣堅硬，當溫度上升至攝氏60度時，則像黏土一樣柔軟。			
以熱塑土製作指環，套在模擬手指上，整體較笨重，不容易進行實驗操作。			

（三）以矽橡膠製作模擬手指

當氣球充氣時，其中一面黏上無彈性的薄膜，就會因為兩邊膨脹面積不等而彎曲，因為氣球整個表面都有彈性，所以無法控制充氣後的膨脹方向，所以要在氣球上包覆其他材料。

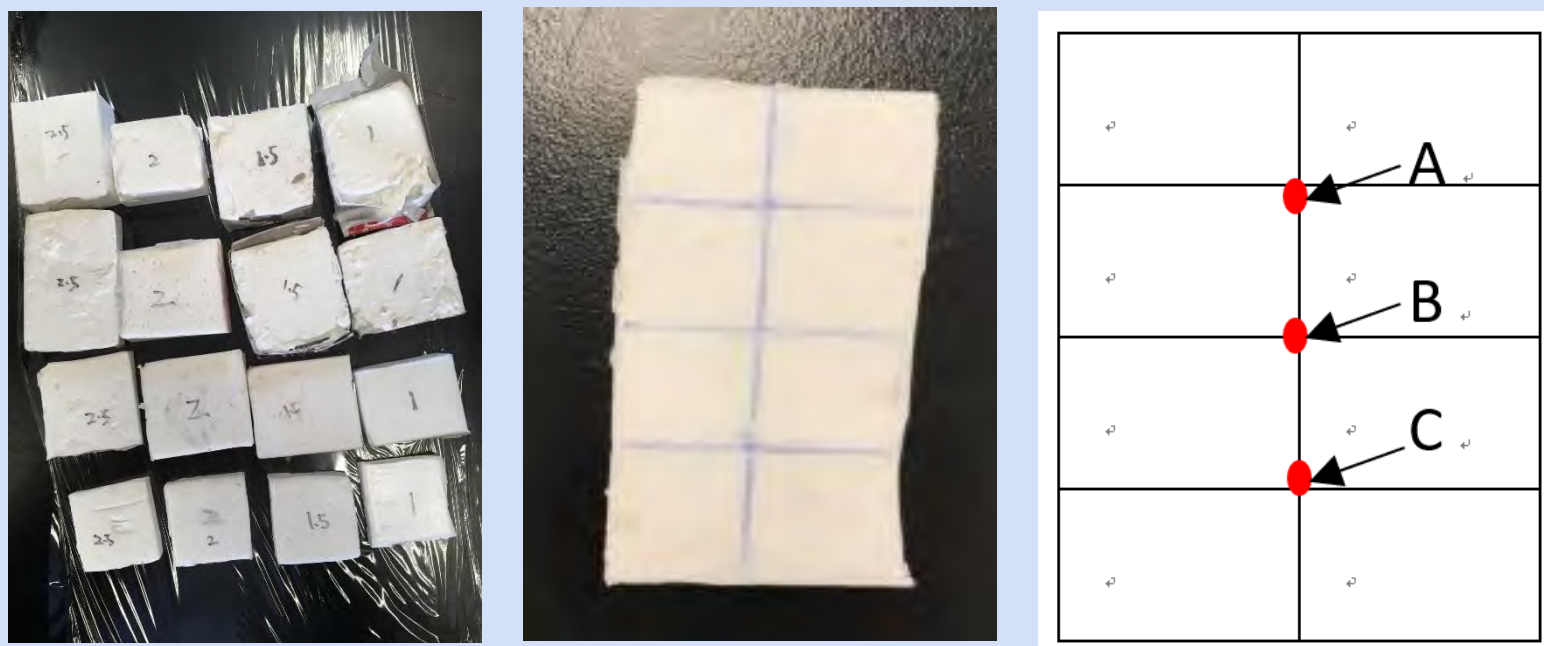
膨脹後彎曲不明顯	膨脹後彎曲明顯

矽橡膠在使用前呈液體狀態，加入硬化劑後開始凝固，我們採用拉力實驗來分析硬化劑與矽橡膠的混和最佳比例。

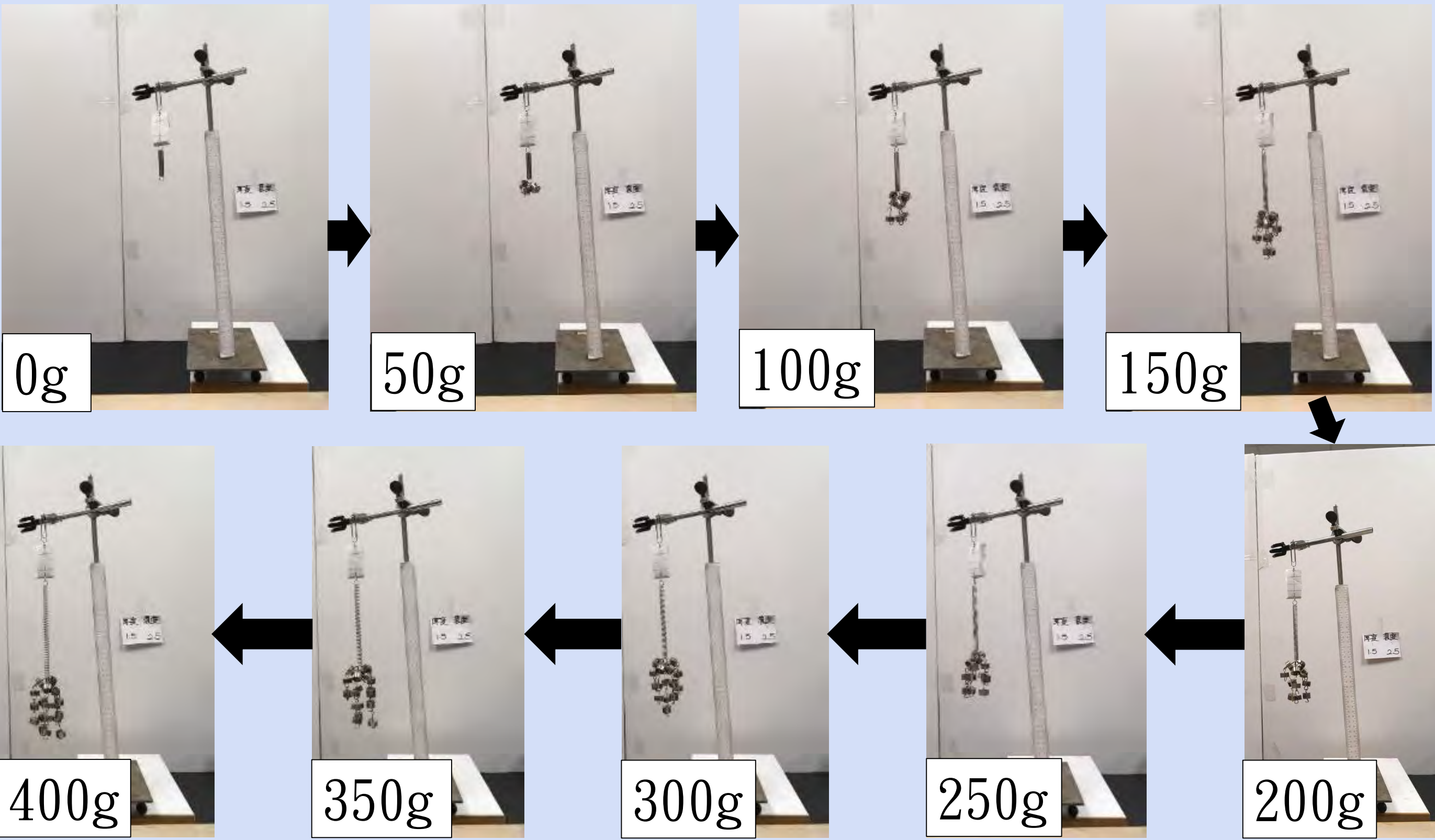


準備16個底面積相同的小紙盒。調配四種不同濃度的硬化劑/矽橡膠(1.0%、1.5%、2.0%、2.5%)，分別放入小紙盒內，厚度分別為1cm、1.5cm、2cm、2.5cm

將矽橡膠塊分成兩等分後在每一小矽橡膠塊上用筆畫分八小格。用迴紋針與鉤子將矽橡膠塊上 A點掛在鐵鉤上，並在矽橡膠塊 C點掛上彈簧與砝碼，測量每塊矽橡膠塊能夠承受的重量和彈簧伸長的長度。

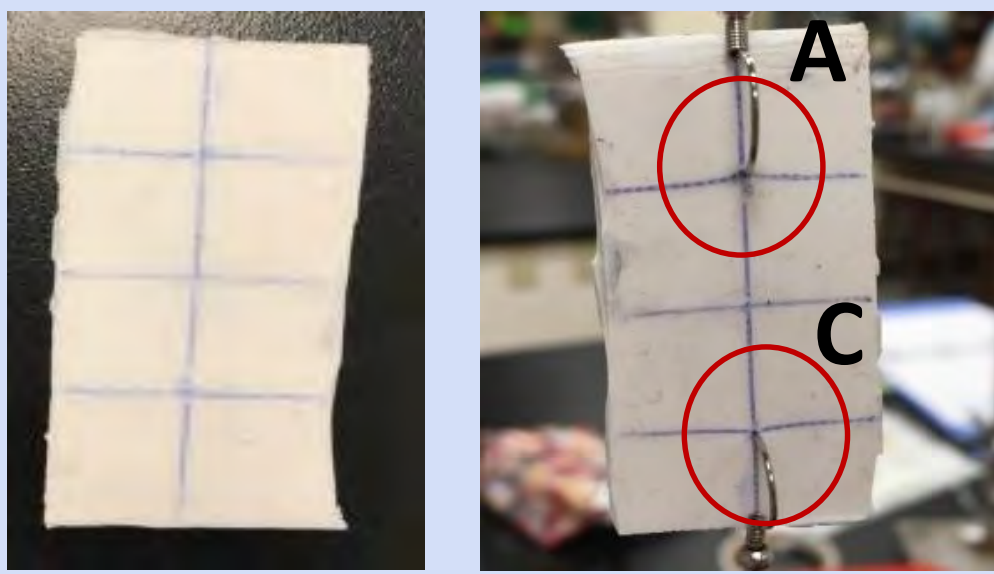


實驗過程：



當 C點的水平線開始彎曲變形，代表此矽橡膠塊承受的拉力已到達極限，紀錄彈簧的伸長量，砝碼的總重量，每次測試都替換另一個新彈簧。

編號	厚度 (cm)	濃度 (%)	彈簧 (cm)	重量 (g)
1	1.0	1.0	8.5	200
2	1.0	1.5	8.5	200
3	1.0	2.0	11.5	300
4	1.0	2.5	11.5	300
5	1.5	1.0	5.5	100
6	1.5	1.5	9	260
7	1.5	2.0	14	360
8	1.5	2.5	16.5	400
9	2.0	1.0	無法凝固	
10	2.0	1.5	無法凝固	
11	2.0	2.0	部分無法凝固	
12	2.0	2.5	無法脫模	
13	2.5	1.0	14	350
14	2.5	1.5	14	350
15	2.5	2.0	12.9	300
16	2.5	2.5	6	160

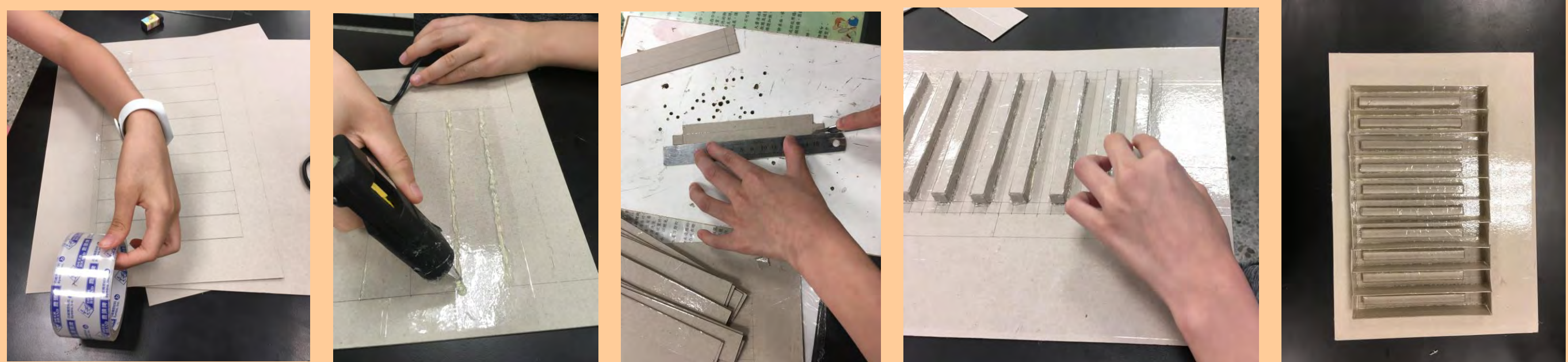
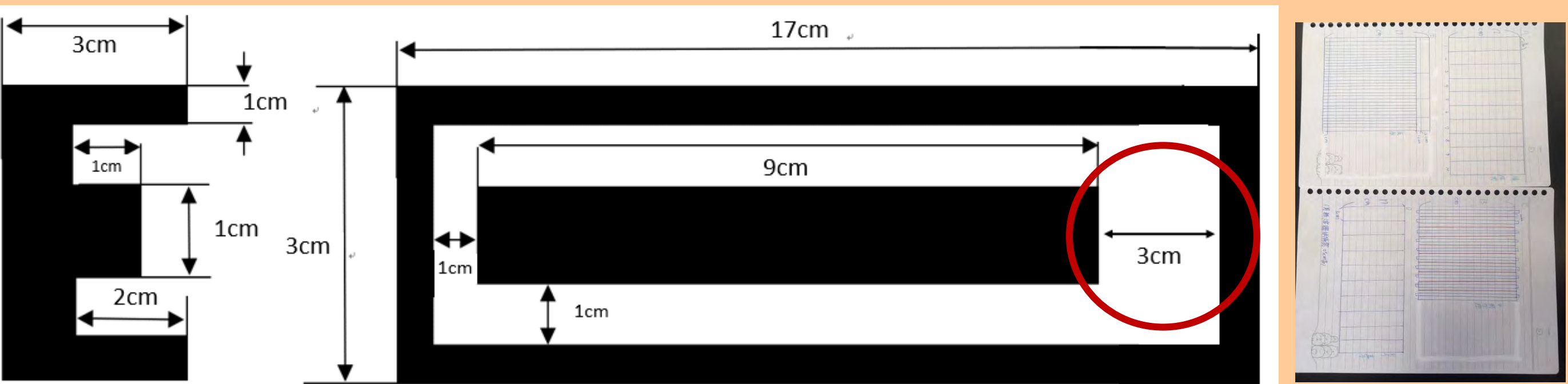


實驗討論：

拉力極限最大為厚1.5cm硬化劑／矽橡膠的濃度為2.5%，所能夠承受的重量400g，所以成為我們主要材料的比例。

三、設計與製作「氣動式軟型模擬手指」

(一) 製作手指模具



因為硬化劑在與矽橡膠混合前，呈現液體狀態，所以需要一個模具容器。由於我們設計的手指，裡面是中空的，上面也要嵌入無彈性纖維，所以設計了紙板模具。我們將尾端空腔以外部分拉長，讓塑膠軟管比較不易脫落。

(二) 無彈性纖維餐桌墊類似編織的設計，可以完全與矽橡膠形成穿孔緊密結合。

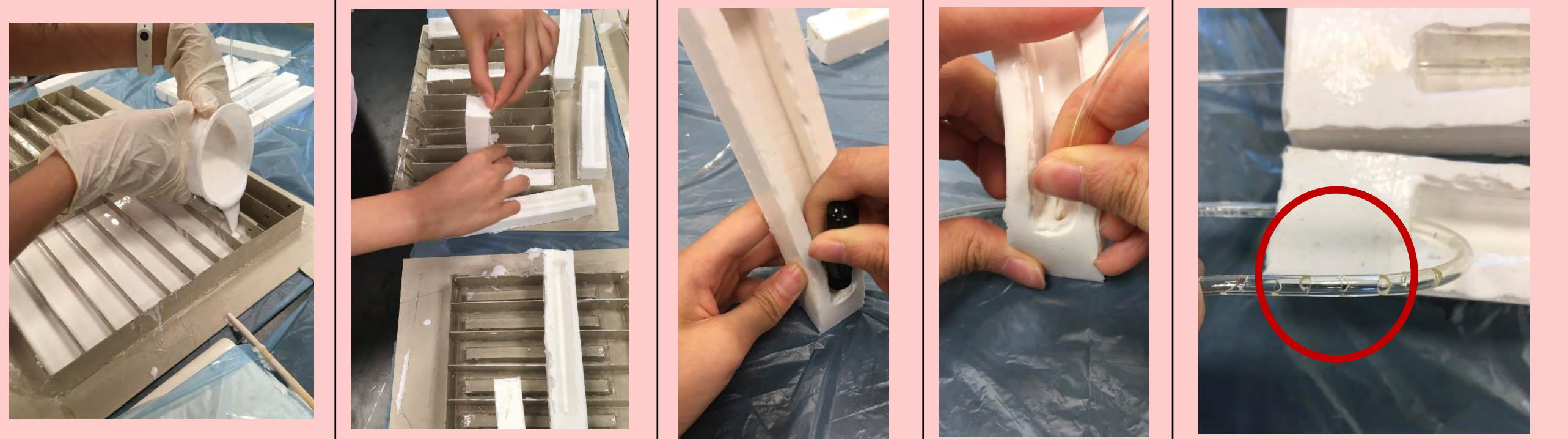


(三) 複合纖維在模擬手指外側網綁緞帶能使手指彎曲，成為主要材料之一。



(四) 製作模擬手指

單支手指型：



2.5%的硬化劑與矽橡膠比例灌入模具內，風乾6小時以上脫模

在模擬手指尾端穿孔，並插入塑膠軟管，在軟管前端打上10個小孔，使其均勻充氣



將無彈性纖維剪成相同大小的長方體，塗上相同2.5%比例的矽橡膠，放乾後，再與模擬手指黏合。

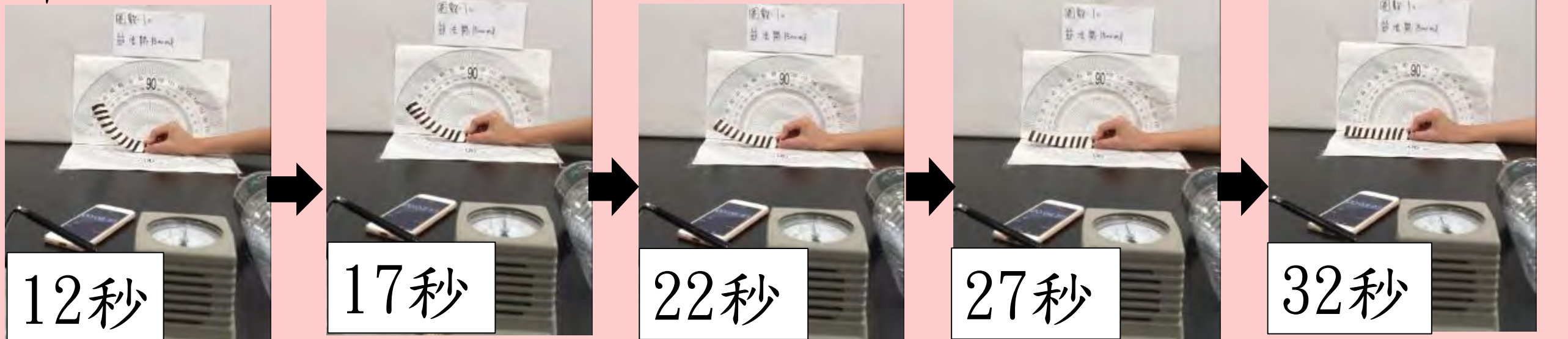
在相同壓力下，網綁的圈數會影響彎曲的速度，中風患者的手部已經僵硬萎縮，彎曲速度太快會造成手部受傷，於是我們討論網綁的圈數，並進行測試。



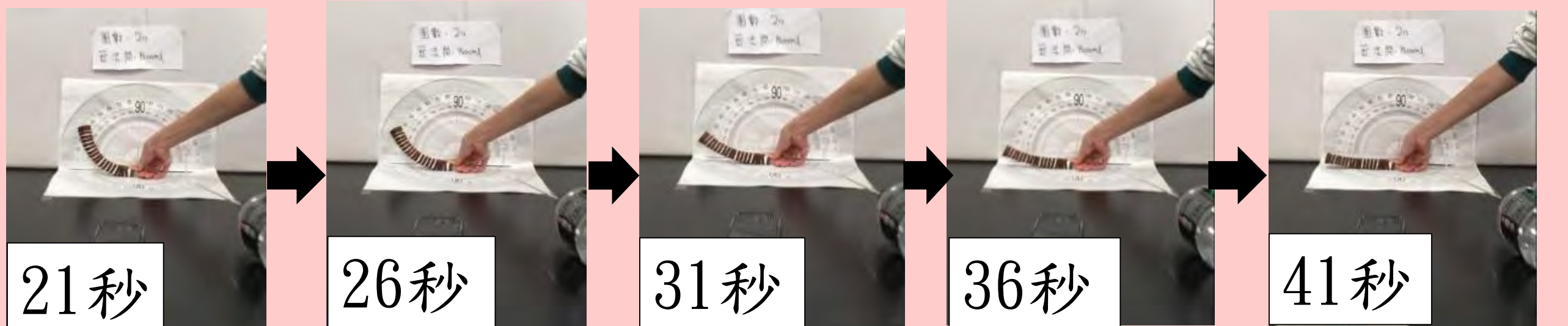
A：圈數：10
圈長：8.5cm 總長85cm
B：圈數：20
圈長：8.5cm 總長170cm
C：圈數：30
圈長：8.5cm 總長255cm

實驗過程：

綁法A



綁法B



綁法C

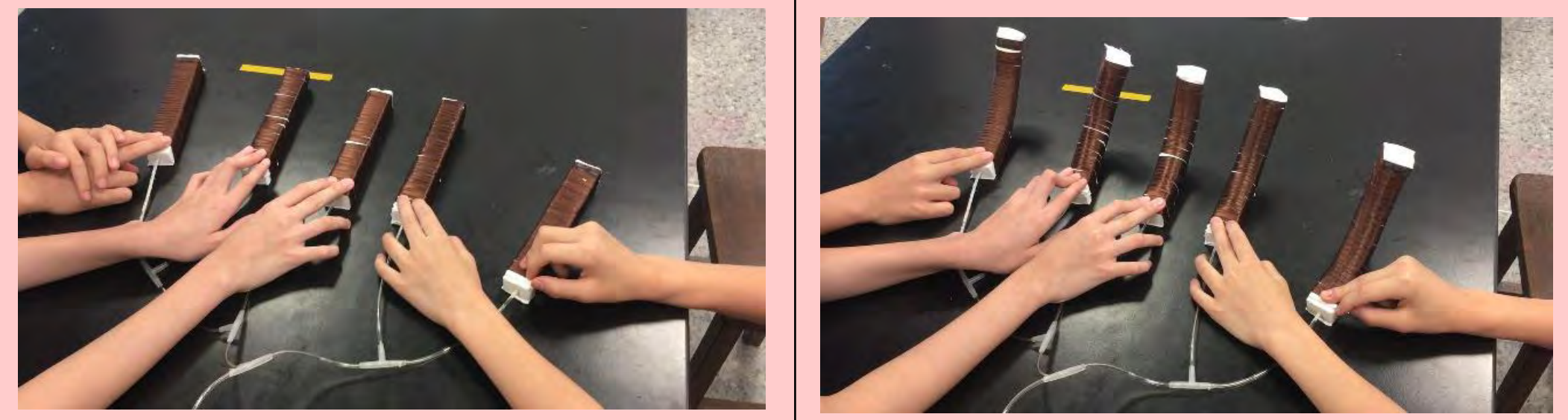


實驗結果：

項目A	壓力	上升時間	下降時間	總時間	彎曲角度	項目B	壓力	上升時間	下降時間	總時間	彎曲角度	項目C	壓力	上升時間	下降時間	總時間	彎曲角度
10圈	13	12	20	32	40	20圈	13	18	28	46	40	30圈	13	10	34	44	40
	13	11	20	32	40		13	18	27	45	40		13	12	38	50	40
	13	12	22	34	40		13	21	30	41	40		13	12	37	49	40
	13	13	22	35	40		13	19	27	46	40		13	11	38	49	40
	13	12	21	33	40		13	20	29	49	40		13	11	35	36	40

討論：測試後，綁法C（圈數：30）較符合我們的需求。

單支手指成品



整支手掌型：



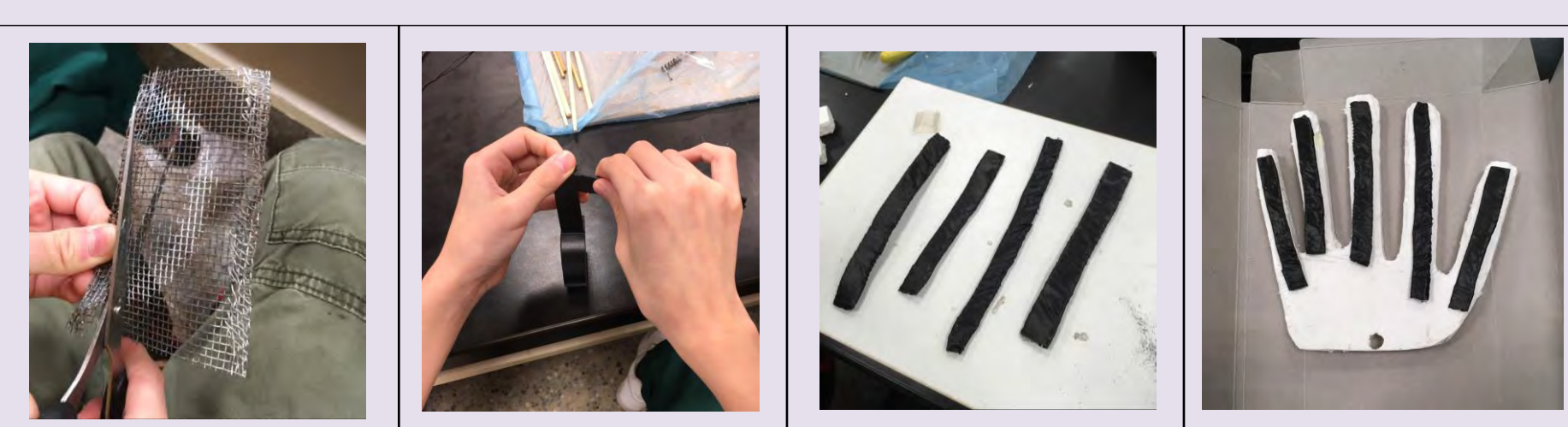
模具

灌模

風乾

脫模

我們討論也許做成一體成形的模擬手指能夠比較容易充氣且不易損壞。



為了模擬中風病人的手，我們還在手掌外側包上鐵絲網條，使手掌能彎曲。

討論：我們發現製作模具較費時，灌模時會有裂縫造成矽橡膠液流出

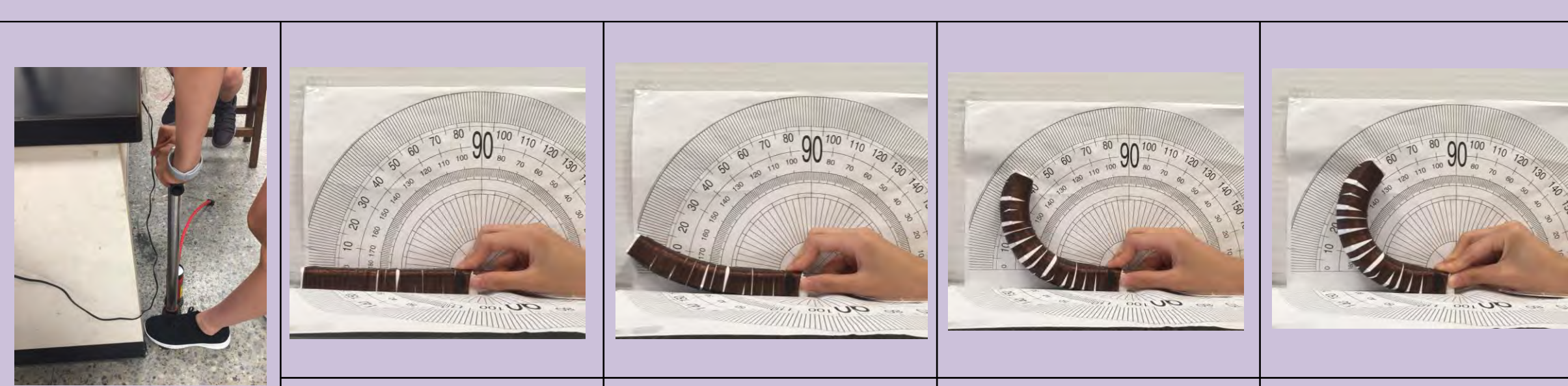
四、選擇不同的充氣方式 並分析壓力對模擬手指彎曲度的影響

(一)選擇充氣方式 1. 使用人力腳踩充氣



我們還嘗試使用腳踩打氣機，但是腳踩時不好施力，充氣力量不夠，使模擬手指彎曲不明顯。

2. 使用手動打氣機充氣



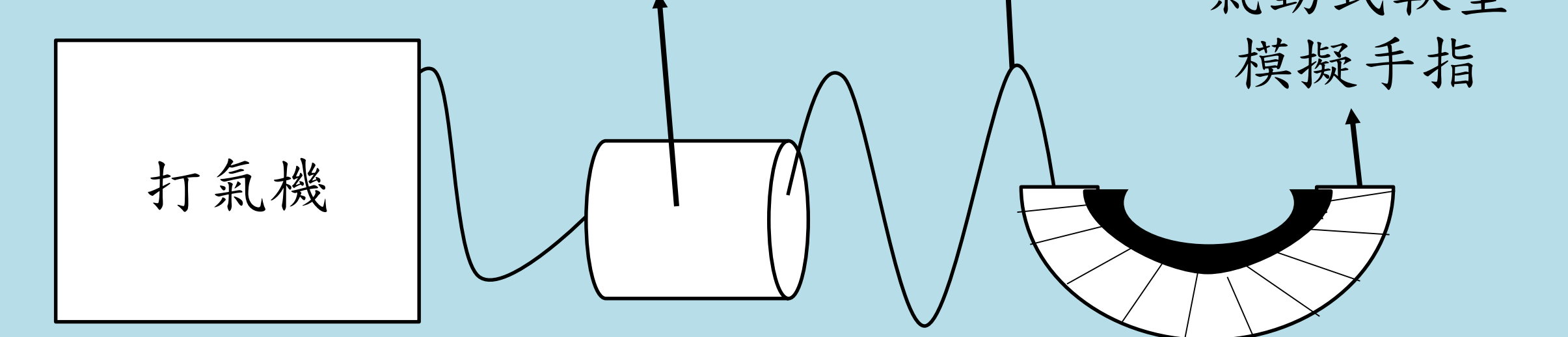
總共打了10下打氣機，上升到50度

結論：效果良好，能控制充氣量。

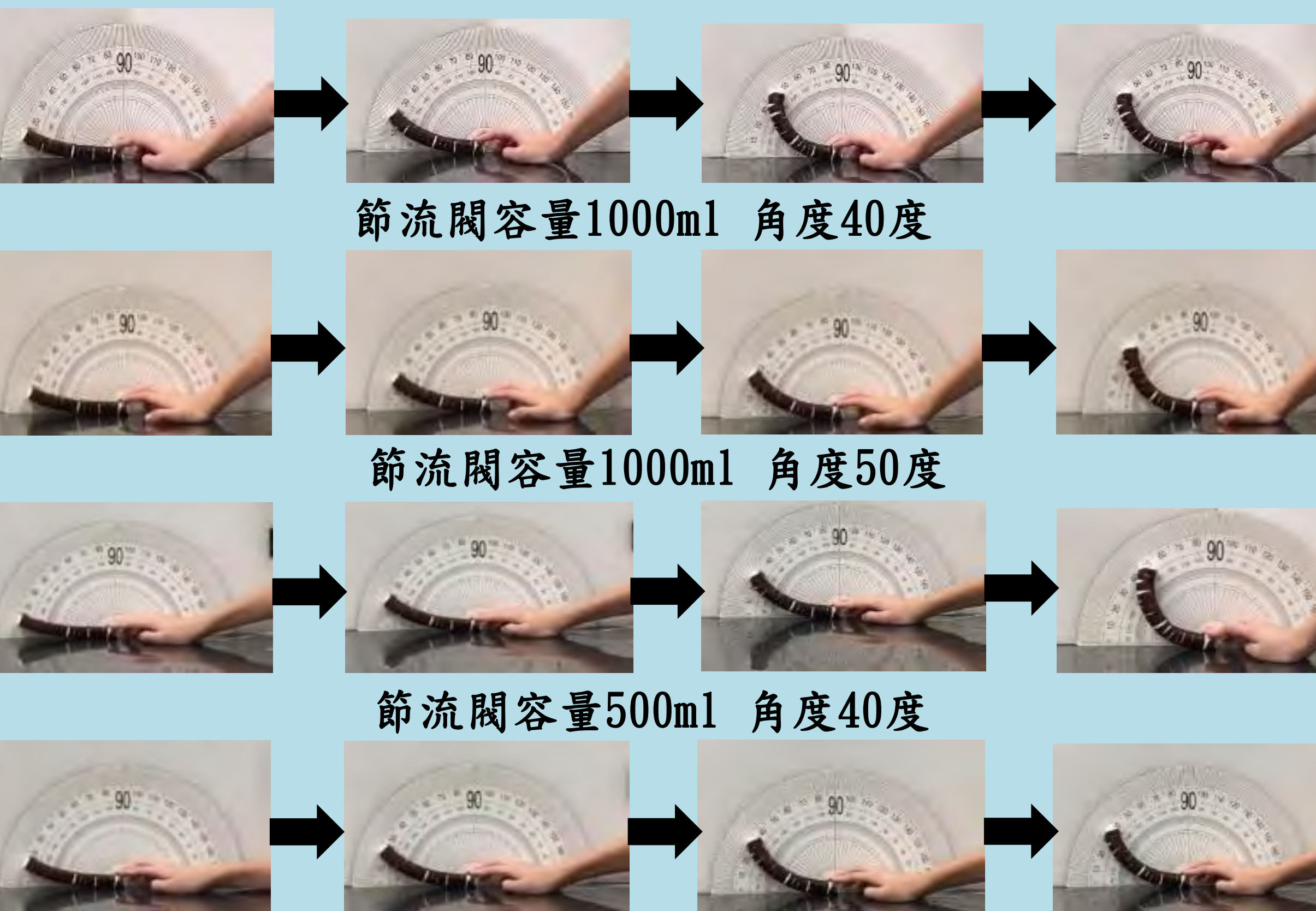
3. 自動打氣機	4. 空氣壓縮機	5. 水族箱用CO ₂ 高壓鋁瓶
須接上電源針，頭充氣孔無法控制壓力大小	太過笨重，聲音太大，需要接電源，攜帶不方便	缺點是氣體用盡時要自行填補二氧化碳，除外無其他缺點

(二) 壓力對模擬手指彎曲度的影響

實驗方法：



實驗過程：

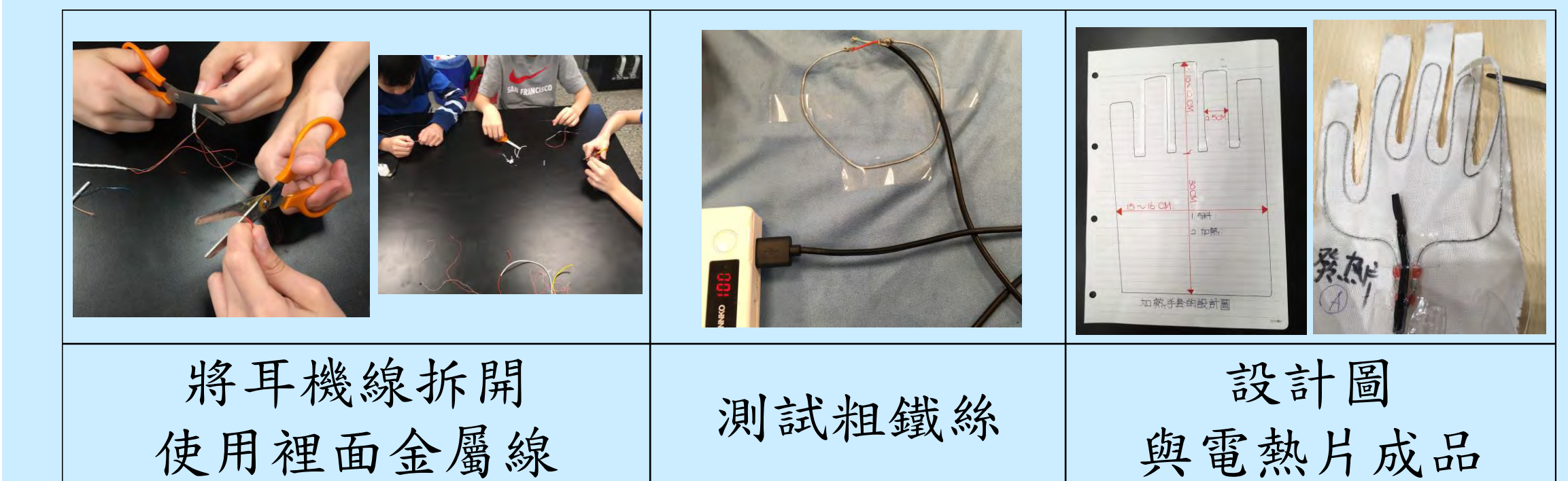


實驗結果：

1500ml			1000ml			1000ml			500ml		
壓力	時間	角度	壓力	時間	角度	壓力	時間	角度	壓力	時間	角度
13	6"	95	40	15	4"	71	40	15	5"	68	50
13	6"	68	43	14	4"	71	40	15	5"	28	50
14	7"	67	43	14	4"	38	40	15	5"	47	50
13	6"	10	40	14	4"	41	40	15	5"	71	50
15	7"	75	40	14	4"	41	40	15	5"	25	50

實驗討論：當壓力超過 15p，彎曲度大約50度，而且充氣速度太快，模擬手指就會破裂。有了節流閥的幫助，我們可以較容易控制彎曲度與壓力

五、結合電熱片並做出復健手套 製作準備：

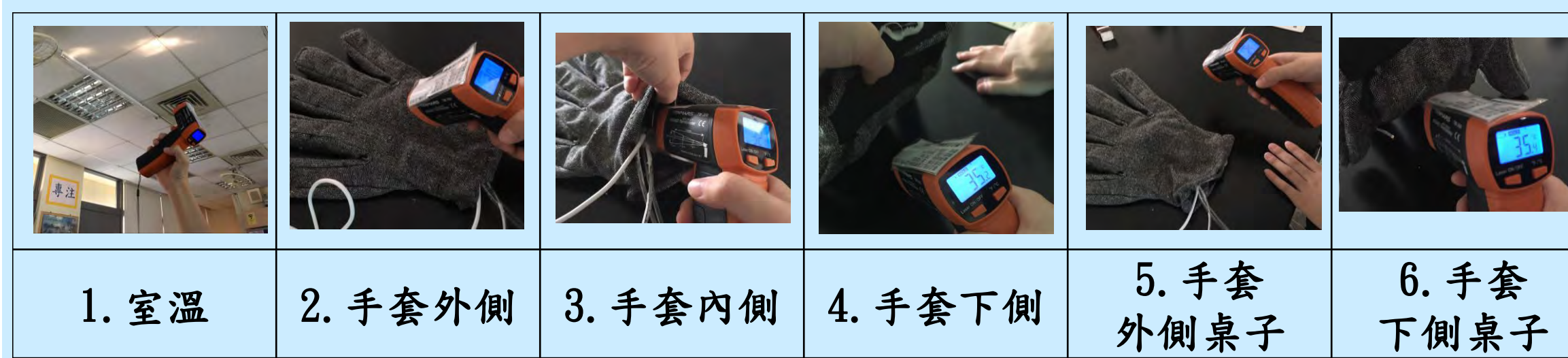


做出電熱片後，我們以牛仔布將模擬手指包覆

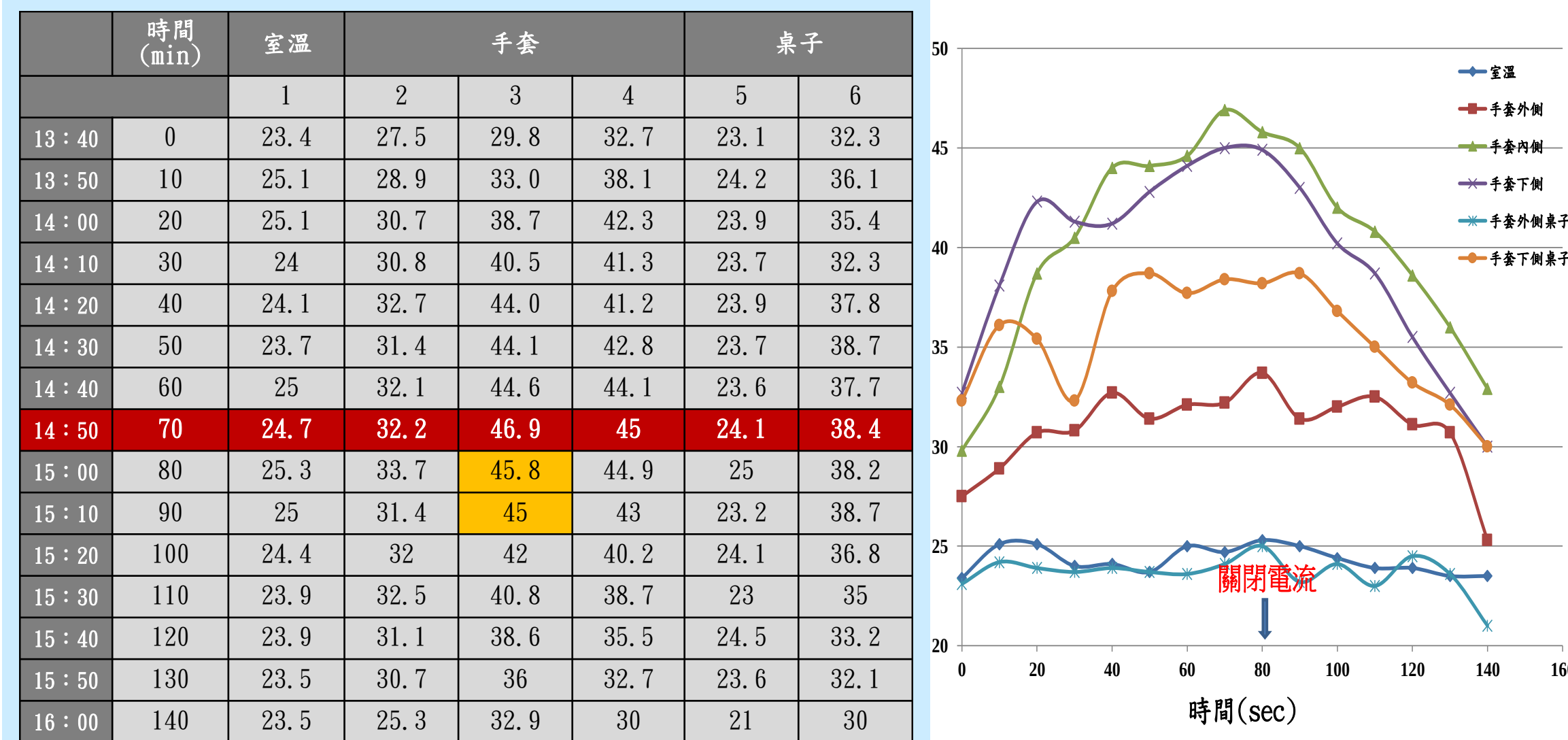


成品：我們在手套黏上魔鬼氈，使用時打開手套外側的牛仔布和遠紅外線布，將患者的手用魔鬼氈固定在手套裡，就能順利做復健。

量測電熱片的溫度變化



實驗結果：



伍、討論

我們以矽橡膠為材料製作「氣動式軟型模擬手指」，必須還要加入硬化劑使其凝固，無彈性纖維與複合纖維的材質選擇決定了復健手指的彎曲度。用紙板製作模具，不但平坦，防水，還可以重複利用。選擇使用手動打氣機，且用自製設計的節流閥來調整壓力的大小，加入電熱片並組裝復健手套，檢測它的溫度，最後討論出因重度中風患者手指彎曲太過嚴重所以做出開放式的復健手套，才完成「氣動式軟型復健手套」。

陸、結論



以CO₂二氧化碳高壓鋁瓶進行復健手套的充氣，再接上行動電源，將可攜帶方便，並達到加熱放鬆肌肉的目的。價格低廉，且為軟性材質，可保護患者不受二次傷害。

柒、延伸實驗

我們討論出將先前的「指環拉動式模擬手指」與「氣動式軟型模擬手指」結合。成功後可以做出更精細的手部動作，比如手指可以個別做復健運動，也不會因為握力過大，而損壞要抓取的物品。



捌、參考資料

一、國小自然與生活科技 第六冊 第二單元「動物的生活~動物的行為」
二、國小自然與生活科技 第六冊 第四單元「力與運動~力的測量」