

不同紙材的紙弓射擊距離與準度比較

研究者：馬翊軒、王渤韜、黃柏睿

指導老師：柯宜初老師

壹、研究動機

我們在討論獨研主題時發現我們三個人對於射擊類的機械裝置有興趣，加上我們都喜歡動手 DIY 製作東西，且討論時，渤韜提到之前在家曾經自己用竹筷子做出一把可以成功射擊的弓，這個分享引起我們三個人非常大的興趣，因此我們便決定收集弓的相關資料，了解弓的做法，並挑戰以身邊容易取得的材料-紙，來進行「紙」弓的 DIY 製作與射擊距離和準度的測試比較。

貳、研究目的

本研究之目的如下，依據研究目的繪製研究流程圖，如圖 1。

一、研究目的

- (一)了解弓的歷史、構造和科學原理。
- (二)動手 DIY 以三種不同的紙材做出可以成功射擊的紙弓。
- (三)測試三種不同的紙材做出的紙弓之射擊距離、準度。
- (四)分享紙弓製作方式並以圖文方式呈現給對紙弓實作、射擊有興趣的同學。

二、研究流程圖

我們研究的構想是挑戰以身邊容易取得的材料-紙，來進行「紙」弓的 DIY 製作。我們預計以銅版紙、白報紙、牛皮紙這三種紙材製作紙弓，並設計實驗測試三種紙材所做成的紙弓，了解它們的射擊距離與射擊準度的表現情形。

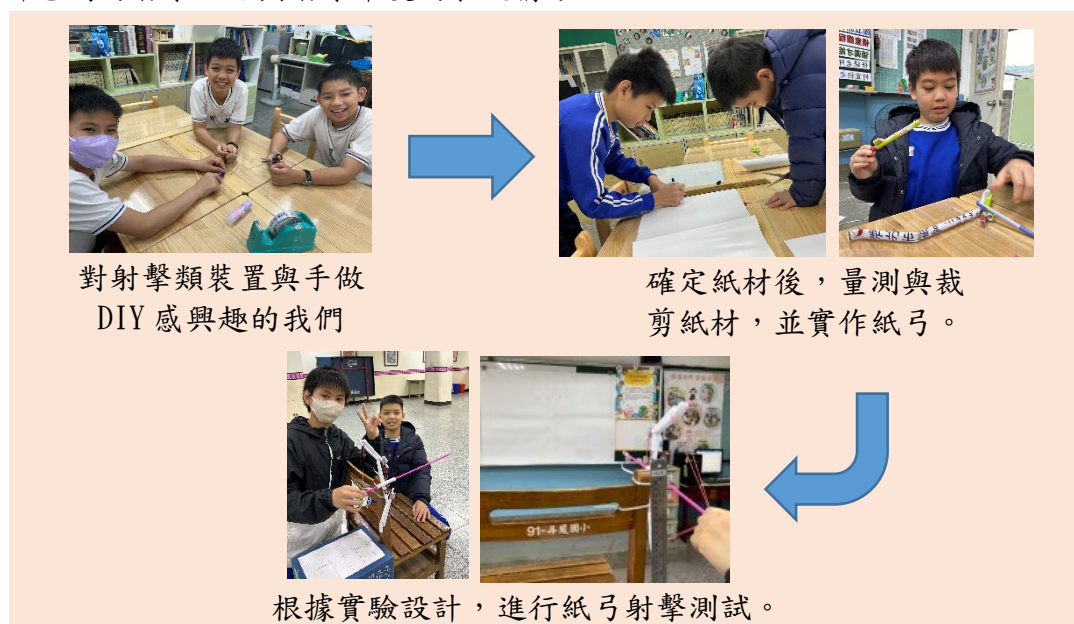


圖 1 研究流程圖

參、研究設備與器材

一、主要研究設備與器材

(一)「紙弓」製作材料：

1. 紙的尺寸：共用到 3 種尺寸，有 35.5cm*35.5cm(2 張)、42cm*30cm(3 張)、2cm*20cm(書面紙，2 張)。
2. 工具：紙材(牛皮紙、銅板紙、白報紙、書面紙)、直尺、美工刀、剪刀、膠水、橡皮筋(直徑 2.5cm)、熱熔膠槍、熱熔膠條

(二)實驗器材與實驗記錄設備：

1. 器材：紙弓、箭矢(汽球棒 38.5cm)直尺、捲尺、射擊架(包含學生椅、束帶、A4 紙箱)、標靶紙、紅藍綠墨水
2. 紀錄設備：直尺、捲尺、麥克筆、實驗結果紀錄紙

(四)主要實驗場地：

至善廳、資優班 426 教室

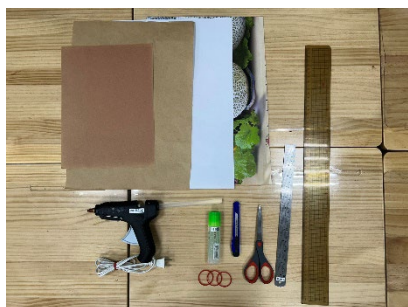


圖 2 紙弓製作材料



圖 3 實驗器材與紀錄設備

二、「射擊架」與「標靶」實驗裝置介紹

為了讓每把紙弓發射時的力道與角度都一致，讓控制變因更加穩定，因此我們決定設計一個射擊架，架設紙弓。我們嘗試從教室中隨手可得的物品發想設計，並討論製作出射擊架。

(一)射擊架

以學生椅(規格編號 140 145 150)為主體並用束帶固定紙弓，為了使每次紙弓固定位置一致，我們在椅背上標記記號，減少固定時的誤差。我們在椅背後方加設紙箱並標記刻度(15cm)，使弓發射時的力道能控制相同。



圖 4 紙弓射擊架

不同紙材的紙弓射擊距離與準度比較 5-2

(二)標靶

1. 標靶紙

以兩張全開的紙拼出一張(109cm*156cm)的標靶紙，在正中心標出靶心位置，作為標靶紙使用。

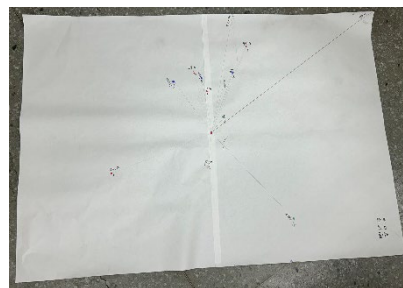


圖 5 紙弓射擊標靶紙

肆、研究過程與方法

一、弓的探究

(一)弓的歷史與發展

弓箭的歷史可以追溯至石器時代。當時的弓箭主要是利用簡單的木製弓，加上經過研磨的石鏃組合而成，主要用作狩獵使用。但每當出現主動爭奪或保護既有土地或水源的情況時，弓箭就會以武器的形式為人所運用。這時人們為了加強弓箭的威力，都會改良弓的製作方式，尤其是開始注重弓身的製作。



圖 6 使用弓箭狩獵

(二)弓的種類

弓箭簡易的分類可分為：傳統弓與現代弓。傳統弓就是以該國家、地區或該民族的傳統工藝所製成的特色弓種；而現代弓是經過現代的科技改良而成的產物，可能在材料與製成的方式都有加入新興科技的應用，例如：現代小朋友所玩的玩具弓、奧運競賽用的競技弓都是現代弓的一種。

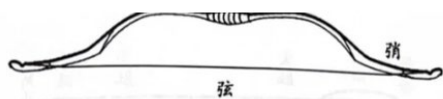


圖 7 傳統弓



圖 8 現代弓

(三)弓的科學原理

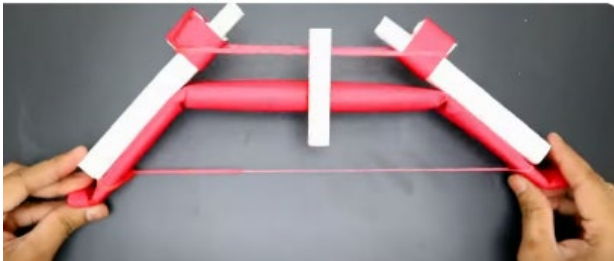


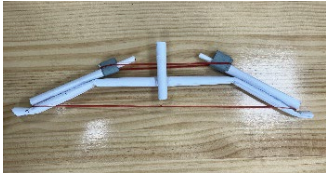
圖 9 弓的部位說明

弓可分為弓身及弓弦兩部分，弓身利用有彈性的材料提供彈性能。射手拉弓時，弓臂彎曲儲存能量。射手釋弦時，將位能變成動能，把箭“彈”射出去。弓箭的射擊原理，是透過人力拉緊弓弦，使弓臂彎曲同時儲存彈力，然後鬆開弓弦，弓臂馬上恢復原狀，並迅速釋放能量，把扣在弦上的箭大力的彈射出去，也就是說弓箭的彈性能=箭的動能+弓的震盪能量。

二、紙弓實作與紀錄

用紙製作紙弓，首先要將平面的紙捲成紙捲增加紙的堅固度，才能開始紙弓的製作。我們在網路瀏覽了數種紙弓做法，歸納類型、做法後選擇一種，作為我們這次實作的紙弓製作的依據。以下為紙弓的結構樣式圖、做法網址實作歷程彙整表：

紙弓樣式		
結構樣式圖		
弓長	約 40 公分	
做法網址	https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=yaYGPEBnM_M	
實作歷程紀錄		
歷程記錄		
	確定紙張大小並依所需規格裁剪。	弓身內層紙捲製作。

歷程記錄			
	紙弓部件量測、裁剪與製作。		紙弓的部件。
			
	紙弓的組裝與黏貼。		
實作成品圖			

三、實驗

(一)實驗一：不同紙材的紙弓射擊距離比較

1. 實驗步驟：

- (1)將紙弓固定於射擊架上。
- (2)定位弓身位置。
- (3)裝上箭矢，並試射 3 次。
- (4)實驗射擊，量測並記錄箭矢距離發射位置的最近距離。

2. 實驗記錄

操縱變因	不同紙材的紙弓(銅版紙、白報紙、牛皮紙)		
控制變因	場地(至善廳)、射擊架、箭矢、弦的材質與數量(橡皮筋)、施力大小(拉弓的距離 15 公分)		
實驗器材	紙弓、箭矢、麥克筆(標記用)、捲尺、射擊架		
不同紙材 紙弓射擊 距離紀錄	銅版紙	白報紙	牛皮紙
第一次	749 公分	600 公分	559 公分
第二次	553 公分	930 公分	657 公分
第三次	496 公分	500 公分	396 公分
第四次	508 公分	656 公分	689 公分
第五次	619 公分	90 公分	615 公分
紙弓射擊的平均距離	560 公分	585 公分	610 公分

3. 實驗數據計算方式：

我們設定每把紙弓射擊五次，射擊後就立即測量箭矢第一落地位置即測量此位置與發射起點的垂直距離，並紀錄於紀錄紙上，數據紀錄中我們刪除最高與最低的數據後，再計算紙弓射擊的平均距離。

(二)實驗二：不同紙材的紙弓射擊準度比較

1. 實驗步驟：

- (1)將紙弓固定於射擊架上。
- (2)定位弓身位置。
- (3)裝上箭矢，並試射 3 次。
- (4)實驗射擊，量測並記錄箭矢標記於標靶紙上的印記與靶心的直線距離。標靶上的標記距離靶心越短表示射擊準度越好。

2. 實驗記錄：

操作變因	不同紙材的紙弓(銅版紙、白報紙、牛皮紙)		
控制變因	射擊架、箭矢、場地(資優班 426 教室)、標靶、弓箭與標靶的距離		
實驗器材	紙弓、箭矢、標靶紙		
不同紙材 標記的紙弓 距靶心的 距離	銅版紙	白報紙	牛皮紙
第一次	95公分 (射擊失敗)	43 公分	95公分 (射擊失敗)
第二次	29 公分	15公分	25 公分
第三次	28 公分	19 公分	9公分
第四次	95公分 (射擊失敗)	28 公分	49 公分
第五次	26公分	45公分	56 公分
距靶心的 平均距離	29 公分	30 公分	43 公分

3. 實驗數據計算方式：

我們設定每把紙弓射擊五次(紅印記-白報紙；藍印記-銅板紙；綠印記-牛皮紙)，射擊後確認箭矢標記於標靶紙上的印記並寫上發射次序，等到準度測試結束，就測量各印記與靶心的直距離，並紀錄於紀錄紙上，數據紀錄中我們將最高與最低的數據刪除，再計算距靶心的平均距離。

註：若射擊失敗或印記超出標靶把紙外，該次距離則以靶心至標靶紙的最遠距離(95cm)計算。

伍、研究結果與討論

一、實驗一：不同紙材的紙弓射擊距離比較

(一)研究結果

本次實驗中，從紙弓平均射擊距離來看，以牛皮紙製成的紙弓表現最佳，平均射擊距離最遠，有 610 公分；白報紙製作的紙弓第二，平均射擊距離 585 公分，銅板紙製作的紙弓第三，平均射擊距離為 560 公分。

若以單次射擊距離來看，白報紙製成的紙弓在第二次射擊時達到 930 公分的最遠距離，但也在第五次射擊時，出現僅 90 公分的最近射擊距離，這表示白報紙製作的紙弓射擊表現不穩定性較大。

不同紙材 紙弓射擊 距離紀錄	銅版紙	白報紙	牛皮紙
第一次	749 公分	600 公分	559 公分
第二次	553 公分	930 公分	657 公分
第三次	496 公分	500 公分	396 公分
第四次	508 公分	656 公分	689 公分
第五次	619 公分	90 公分	615 公分
紙弓射擊的平均距離	560 公分	585 公分	610 公分

(二)研究討論

原先我們認為牛皮紙由於吸水性強、容易破損製作時較不易捲製，紙材在多次重覆操作(捲紙)後，應該會導致紙弓射擊表現較差，且牛皮紙製紙弓成品樣子最不美觀、不協調，但實驗結果卻顯示牛皮紙的射擊平均距離最好。我們推測，牛皮紙捲製後的紙捲強度與韌性可能有助於儲存與釋放更多能量。

另一方面，雖然白報紙在製作和捲紙時非常容易成功，是三種紙材中，成品成果最佳，但射擊時的差異卻最大，我們認為這可能與每一次拉弓弦放箭矢時的操作有關，因此未來若可以運用科技在射擊架改良上，以自動拉弓射擊的裝置進行射擊，穩定每一次拉弓射擊的情形，並提升實驗的準確性與穩定度。

二、實驗二：不同紙材的紙弓射擊準度比較

(一)研究結果

在射擊準度的測試中，銅版紙紙弓雖有兩次射擊失敗(超出標靶範圍)，但其整體平均距離仍最接近靶心，為 29 公分；白報紙紙弓平均距離為 30 公分，與銅版紙相近；牛皮紙紙弓的平均距離則為 43 公分，準度較差。

不同紙材 標記的紙弓 距靶心的 距離	銅版紙	白報紙	牛皮紙
第一次	95公分 (射擊失敗)	43 公分	95公分 (射擊失敗)
第二次	29 公分	15公分	25 公分
第三次	28 公分	19 公分	9公分
第四次	95公分 (射擊失敗)	28 公分	49 公分
第五次	26公分	45公分	56 公分
距靶心的 平均距離	29 公分	30 公分	43 公分

(二)研究討論

在射擊準度實驗中，我們觀察到銅版紙紙弓在擊中靶心的穩定性較好，即便有失誤情形，整體表現仍是最佳。我們推測銅版紙在製作完成後的弓體結構較穩定，能有效降低射擊時的震動與偏移，因而提升射擊的準確性。而牛皮紙雖然射擊距離最遠，但射擊準度最差，我們推測可能與它的弓體結構不平衡，以及與每一次拉弓弦放箭矢時的操作有關。

陸、結論與建議

一、研究結論

1. 在射擊距離方面，牛皮紙製的紙弓平均射擊距離最遠，白報紙第二，銅版紙第三。
2. 在射擊準度方面，銅版紙製作的紙弓射擊準度表現最佳，距離靶心的平近距離最近，白報紙第二，牛皮紙第三。
3. 就製作過程來說，白報紙最容易操作製作，成品的外觀最美觀，但射擊距離與射擊準度，都不如其他兩種紙表現優異。
4. 在射擊實驗中，未來可以設計自動射擊裝置，減少人為誤差，提升實驗的準確性。

二、研究建議

1. 在製作前要先確認好紙材尺寸與裁切的規格，才不會浪費時間在重新製作與實驗。
2. 我們在實際操作後發現捲紙時從紙的對角開始捲，較容易捲出又緊實又細的紙捲。
3. 使用熱熔膠時要注意操作技巧與安全性，掌握膠黏著的時間並避免燙傷。
4. 為維持紙弓發射的穩定性，未來可設計自動化的射擊裝置。

柒、參考資料

一、箭術之書-弓道歷史。

<https://archery.fandom.com/zh/wiki/%E5%BC%93%E9%81%93%E6%AD%B7%E5%8F%B2>

二、香港傳統弓術團。

<https://whitefletch.com/blogs/%E5%82%B3%E7%B5%B1%E5%BC%93%E7%9A%84%E6%A7%8B%E9%80%A0>

三、弓箭理論。取自：<https://album.udn.com/Gabriel33/photo/4571893?o=odr>

四、Mad Times。Paper Bow and Arrow | How to Make a Paper Bow。

https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=yaYGPEBnM_M

五、科學小玩意-弓的科學。

<https://n.sfs.tw/content/index/12014>