

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

佳作

080109

翻滾吧！花式彈跳板的跳躍軌跡探討

學校名稱： 新北市新莊區丹鳳國民小學

作者：	指導老師：
小六 邱浥愷	谷冰
小六 劉禮呈	羅嘉宜
小六 高城宥	

關鍵詞： 彈跳運動軌跡、彈跳力學、翻轉

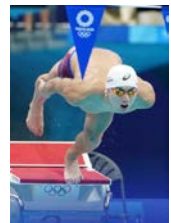
摘要

有趣彈跳板能像游泳選手在起跳台用力一蹬，產生不一樣彈飛運動。本研究發現：自製 20 度斜坡擺在高度 10 公分彈跳蹬台，彈跳板對折後把頭部放置與稜線距離 3 公分，起跳瞬間用高速攝影分析起跳角度接近 45 度，而且後側板對斜面及拉緊橡皮筋撞擊稜線都會產生下壓作用力，獲得斜向反作用合力，出現對稱彈跳軌跡，彈飛水平距離最遠 203.2 公分。當彈跳板鉛直向上，姿態如芭蕾舞者，呈現連續左右水平圓周方向快速旋轉，軌跡最直不傾斜！令人驚豔是彈跳板黏貼小小墊片竟能彈飛精采多樣的舞姿，當彈跳板斜向拋物，會逆時針連續後滾翻；當增加配重，翻轉變超快，落點更集中；當墊片黏腳部重心降低，有頭上腳下垂直圓周方向連續快速翻轉現象，非常有趣！

壹、前言

一、研究動機

奧運會我們看到游泳選手在起跳台上，腳尖和雙手緊扣住蹬台前緣，身體前傾準備起跳，接著手腳往蹬台方向用力蹬，然後身體在空中以最小的阻力騰空、入水，動作一氣呵成。這個運動方式讓我們聯想到：一個簡單又有趣的小玩具「彈跳板」。彈跳板如果擺在加蹬台的斜坡板上，是不是也可以像游泳選手一樣，藉由蹬台給予彈跳板一臂之力，讓它更有往前飛的動力？彈跳板除了彈跳、飛高、飛遠，還可以展現什麼樣的姿態呢？像芭蕾舞者翩翩起舞、姿態萬千，抑或是像跳水選手那樣騰空翻轉再俐落而下？這一連串的動作，究竟隱藏多少有趣的科學原理？我們決定深入研究彈跳板的奧秘。



游泳起跳台
(參考資料
圖片來源 1)

二、研究目的

- (一) 研究彈跳板的製作和測量方法與科學原理。
- (二) 探討不同角度的斜坡，對彈跳板彈飛的水平距離影響。
- (三) 探討彈跳板頭部與稜線的不同距離，對彈跳板彈飛的水平距離影響。
- (四) 探討不同高度的彈跳蹬台，對彈跳板彈飛的水平距離影響。
- (五) 探討彈跳板起跳瞬間的運動力學與彈跳運動軌跡分析。
- (六) 探討改變彈跳板重心位置，對彈飛最高高度、水平距離、彈跳運動軌跡、旋翻轉姿態及落點分布的影響。

三、文獻回顧

表 1 相關科展研究與科學活動的資料

資料主題	與本研究的相關結果
我要比你跳更高 (新北市 109 學年度)	改變製作的材料，找出彈跳高度的影響變因。彈跳百次的彈跳板，高度依舊具有穩定性。
花式體操運動員 (新北市 112 學年度)	調整製作方法，研究製作出落點穩定的彈跳板，彈跳後，掉落在桌面上的落點能在限定的範圍。
跳跳板最佳化設置 (第 59 屆國展)	橡皮筋包覆不同長寬的板子與彈跳板彈跳高度的關係做比較，長方形的面積能使彈跳板彈跳較高。
彈跳玩具 (中教大科學實驗室)	製作方式與原理，橡皮筋拉長的彈性位能被儲存後，鬆開手會恢復原狀，同時釋放能量，轉換為彈跳所需的動能。
跳跳板的趣味競賽 (遠哲科學趣味競賽)	競賽方式是用瓦楞板及膠帶製作斜面裝置，不可壓到預備線，以最前端的落點計分，彈跳最遠的距離為勝利。

綜上所述，改變不同材料、彈跳板結構與製作方式，做出彈跳最佳的彈跳板。綜合結果為瓦楞板以長方形最佳，彈跳百次依舊有穩定的高度，落點在限定範圍作為穩定的彈跳板。

本研究的方向，依據文獻資料進行多次試做實驗，選定合適的彈跳板材料及製作方式，自製斜坡裝置和彈跳蹬台，實驗以彈跳板擺放在不同角度的斜坡、與稜線不同距離、增加配重，觀察彈跳板的彈飛運動情形，為了收集更細微的實驗數據，使用高速攝影每秒 240 幀數，錄製特寫鏡頭、整體側面和正面鏡頭，匯入電腦軟體分析，最後統整分析並歸納。

貳、研究設備及器材

器材：瓦楞板、絕緣膠帶、橡皮筋、砝碼、電子秤、夾鏈袋、直尺、支架、長尾夾、拉力計、方格紙、測距儀、木板、蝴蝶夾、強力雙面膠、量角器、棉線、迴紋針、壓力克方形盒、墊片、水平儀、高速攝影機、攝影支架、碼表、電腦分析軟體、筆、筆記本。

參、研究方法、過程及結果

*本研究照片及統計圖表，均為作者與指導老師拍攝和繪製。

一、彈跳板的製作和測量方法與科學原理

(一) **製作彈跳板的過程**：依據文獻資料選定最合適的彈跳板材料及製作方式

1. 彈跳板的材料

選用同批同家的材料，瓦楞板、絕緣膠帶黏性延展佳、橡皮筋合格條件①尺寸對折長 4.3cm，寬 0.1cm，厚 0.1cm②彈跳板攤平橡皮筋長 15 公分達到拉力 390gw。

2. 製作彈跳板

- (1) 瓦楞板厚度 0.3cm，裁切長度 8cm、寬度 3.4cm，共兩塊（長邊需順著瓦楞板的紋路，若相反會造成彈跳板易凹折）。
- (2) 瓦楞板的一端量出切口位置，用美工刀切出兩道，切割深度 0.8cm。
- (3) 瓦楞板未切口的一端，對齊並間隔 0.4cm，用絕緣膠帶黏貼 4 圈。
- (4) 切口處套入橡皮筋 1 條，就製作完成！

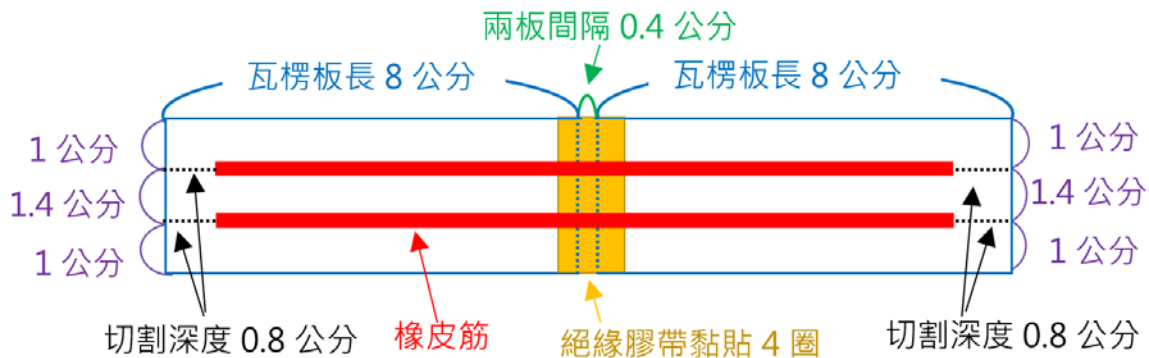


圖 1 彈跳板的尺寸

3. 提升製作方法成為公版彈跳板

- (1) 最初製作彈跳板，落點不穩定（落點：彈跳板落下與桌面的第一撞擊點）。
- (2) 提升更精準的製作方式、提升操作彈跳板實驗技巧等。
- (3) 以「圓形範圍」當作落點精準的判斷依據（圓形範圍：將彈跳板拉開後，整個攤平的長度 16 公分為直徑畫一個圓）。
- (4) 當落點在圓形範圍內，稱為「公版跳跳板」。

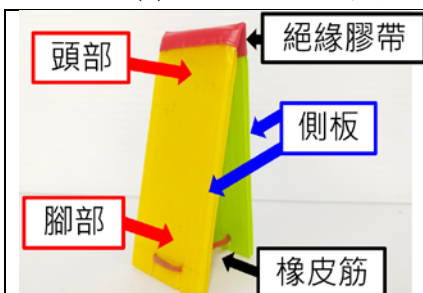


圖 2 彈跳板的各部位名稱



圖 3 圓形範圍當作落點依據



圖 4 公版彈跳板

4. 彈跳板的配重設計

如果在彈跳板上增加配重，導致重心位置變化，對彈跳板的彈飛運動會有什麼影響，實驗六會有詳細的深入研究。

(二) 設計實驗裝置：自製斜坡裝置和彈跳蹬台

1. 自製可調角度的斜坡裝置：看到門上蝴蝶夾為發想，兩片木板以蝴蝶夾當作轉軸。
2. 製作斜坡角度器：研究月亮高度角觀測器的角度意義，將量角器的原點打洞，棉線綁上迴紋針後穿過去固定，再將斜坡角度器黏貼在木板邊緣。
3. 製作彈跳高台：使用統一尺寸且穩固的壓克力方形盒。
4. 組裝：將自製斜坡裝置對齊擺放在彈跳蹬台上方。
5. 自製固定斜坡裝置：為了深入細微研究彈跳板的起跳瞬間差異。
6. 稜線：斜坡前緣與彈跳蹬台的交接處，稱為稜線。

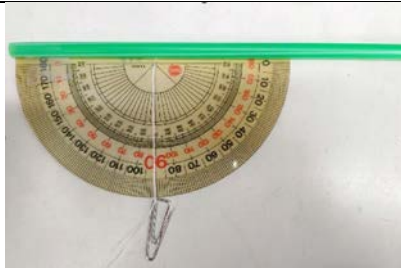


圖 5 研究高度角觀測器

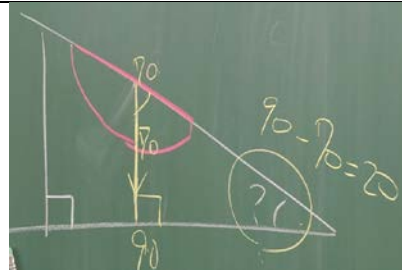


圖 6 研究角度意義



圖 7 製作斜坡角度器

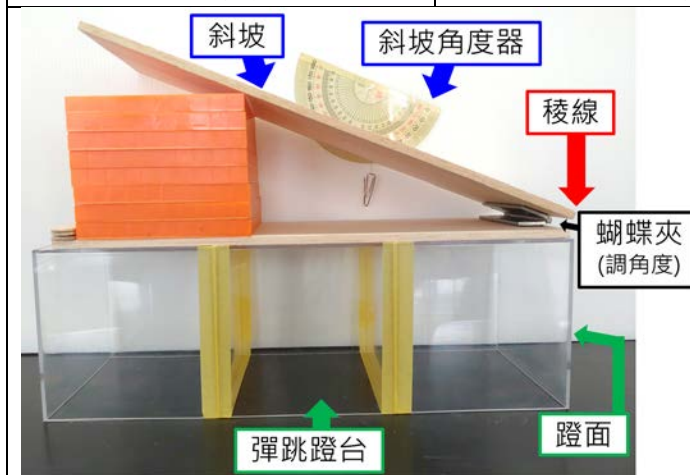


圖 8 自製可調角度斜坡和彈跳蹬台

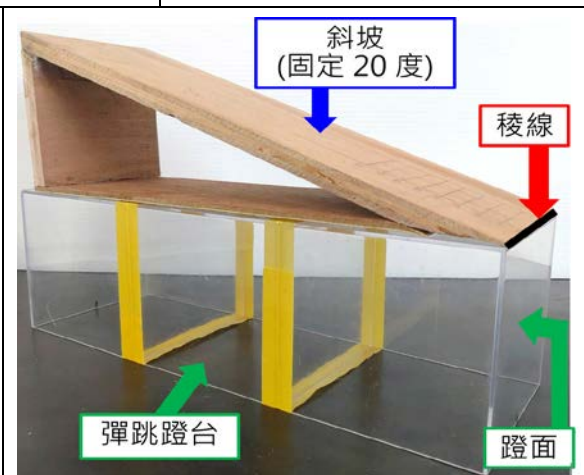


圖 9 自製固定斜坡和彈跳蹬台

(三) 彈跳板實驗的操作流程

1. 翻折：將兩片側板平穩地用手拉開攤平，再對折。
2. 就位：將彈跳板的頭部放置與稜線的指定距離，手按壓中心點 5 秒後離開。
3. 起跳瞬間：觀察並記錄側板收縮合併的撞擊點、起跳角度。
4. 彈飛運動：觀察並記錄彈飛最高高度、水平距離、彈跳運動軌跡、旋翻轉姿態。
5. 落點：觀察並記錄落下時與桌面的第一撞擊點。



圖 10 就位

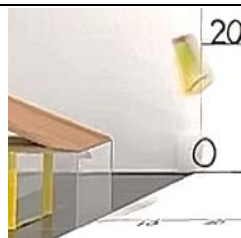


圖 11 起跳瞬間

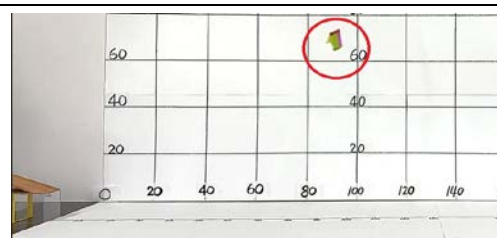


圖 12 彈飛運動

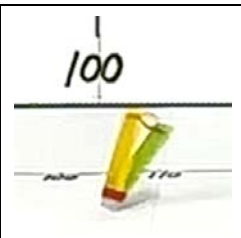
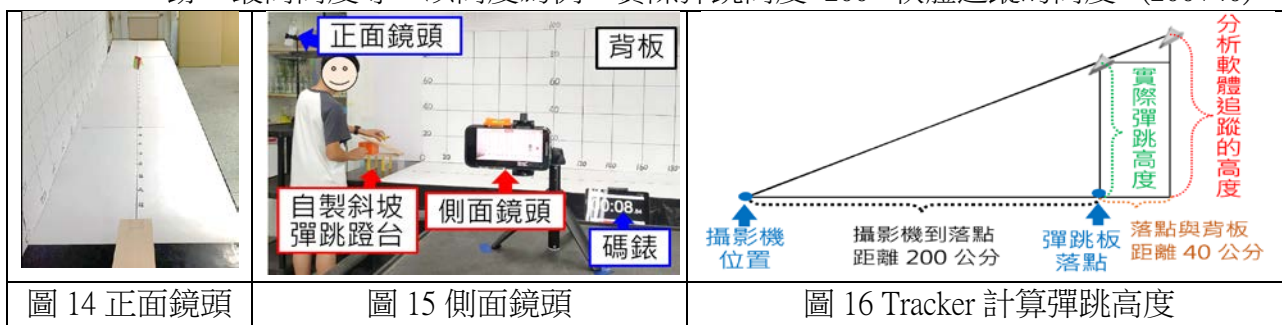


圖 13 落點測量

(四) 實驗測量與紀錄方法

1. 使用高速攝影每秒 240 幀數，錄製特寫鏡頭、整體側面鏡頭和正面鏡頭。
2. 將測距儀擺放在起跳點，紀錄彈跳板的落點，開啟測距儀測量水平距離。
3. 電腦分析軟體
 - (1) Excel 製作統計圖，分析高度、水平距離、運動時間、速率、旋翻轉轉速。
 - (2) GeoGebra 計算落點分布圍成面積。
 - (3) Potplayer 截圖、Photoshop 合併圖和 PhotoImpact 作圖，製作旋翻轉姿態圖。
 - (4) Tracker 設定座標軸和校正桿，追蹤彈跳板的彈飛運動情形，分析起跳角度、軌跡、最高高度等。以高度為例，實際彈跳高度=200×軟體追蹤的高度÷(200+40)



(五) 彈跳板的彈跳過程結合科學原理

表 2 彈跳板的科學原理相關資料

項目	資料重點
位能	1. 物體的能量隨著高度差而變化的能量形式。依據受力的形式分兩種。 2. 彈性能：物體受彈力作用時所具有的位能。因形變而儲存位能。 3. 重力位能：物體受重力作用時所具有的位能。
動能	物體在運動中所具有的能量。速率越快、動能越大，速率越慢、動能越小
能量守恆	能量的總值維持不變。以一種形式轉換成其他形式。
作用力與反作用力	1. 兩個物體互相產生力的交互作用。 2. 甲施力於乙，乙同時施反作用力於甲，兩力大小相等、方向相反。
夾角	斜向拋物時，和水平面夾角 45 度，水平射程最大，超過 45 度水平射程減小。
重心	物體重量的集中點。
附壁效應	流體偏離原本流動方向，傾向於貼著物體表面流動的現象，又稱康達效應。
轉動慣量	1. 物體在旋轉運動的慣性大小，即物體改變其旋轉運動所產生的阻力。 2. 當轉動慣量越大，物體越不易轉動或轉動速率越慢。 3. 物體內所有質量離軸心越遠，產生的轉動慣量越大；離軸心越近，產生的轉動慣量越小，因此轉動慣量與物體的質量和旋轉半徑有關。
角動量	1. 物體定軸轉動的運動物理量。 2. 遵循右手螺旋法則：右手四指為旋轉方向，大拇指為角動量方向。

1. 兩片側板平穩地用手拉開攤平，再對折，此時，橡皮筋被拉長具彈性能。
2. 彈跳板放到斜坡上，手按壓中心點 5 秒後離開，側板會因橡皮筋的力量緩慢地掀開後，兩片側板會受到橡皮筋的力量迅速收縮合併，此時，儲存的彈性能被釋放。
3. 此能量傳到斜面，使彈跳板對斜面施加作用力，而斜面也給予同大小和反方向的反作用力，再轉換為動能使彈跳板斜向拋物彈飛到空中，當彈跳到最高高度時，速度為零，動能耗盡為零，轉變重力位能，最後落到桌面，符合力學能守恆。
4. 彈跳板增加配重，使重心位置改變，影響轉動慣量和角動量，有旋翻轉姿態差異。

二、探討不同角度的斜坡，對彈跳板彈飛的水平距離影響。










(一) 構想：游泳起跳台的檯面上有個坡度，若彈跳板也放在斜面上呢？設計不同角度的斜坡（0 度、5 度、10 度、15 度、20 度、25 度、30 度、35 度、40 度）。

(二) 步驟

1. 確認斜坡角度、測距儀位置、彈跳板頭部與稜線距離 10 公分。
2. 彈跳板的操作過程：翻折→就位→起跳瞬間→彈飛運動→落點。
3. 實驗重複七次，刪除最大和最小極端值，並紀錄水平距離。

(三) 結果

表 3 不同角度的斜坡對彈跳板彈飛水平距離的紀錄表

斜坡的角度	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度	25 度	30 度	35 度	40 度
照片									
平均水平距離(公分)	11.5	23.4	40.5	83.5	104.5	緩慢下滑 無法定位			
文字描述	圓形範圍內	正常彈跳							

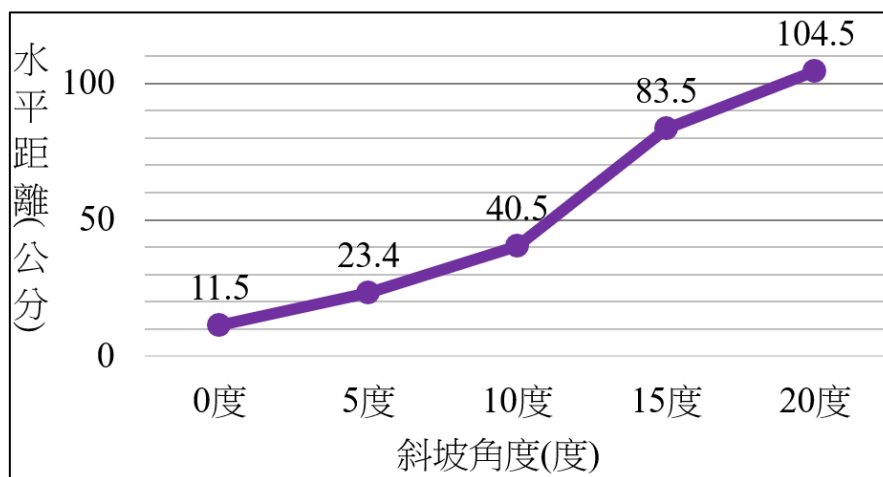


圖 17 不同角度的斜坡對彈跳板彈飛水平距離的統計圖

(四) 討論：

1. 當彈跳板放置斜坡 20 度，彈飛的水平距離最遠。
2. 當彈跳板放置斜坡 25 度以上，會緩慢下滑無法定位或快速下滑到桌面，造成彈跳的起始位置改變，彈跳明顯偏移和歪斜。
3. 依據表 2，當斜向拋物的夾角 45 度會有最大水平距離，我們好奇彈跳板彈跳是什麼時機點才能有 45 度，後續我們繼續研究。
4. 綜合以上，彈跳板放置斜坡 20 度，彈飛的水平距離最遠達 104.5 公分，故選用斜坡 20 度作為後續實驗。

三、探討彈跳板頭部與稜線的不同距離，對彈跳板彈飛的水平距離影響。

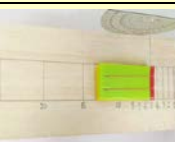

(一) 構想：若彈跳板放置斜坡上的不同位置，設計彈跳板頭部與稜線的距離（0 公分、5 公分、10 公分、15 公分、20 公分、25 公分）

(二) 步驟

1. 確認彈跳板頭部與稜線距離、測距儀位置、斜坡 20 度
2. 彈跳板的操作過程：翻折→就位→起跳瞬間→彈飛運動→落點。
3. 實驗重複七次，刪除最大和最小極端值，並紀錄水平距離。

(三) 結果

表 4 彈跳板頭部與稜線的不同距離對彈跳板彈飛的水平距離紀錄表

頭部與稜線的距離	0 公分	5 公分	10 公分	15 公分	20 公分
照片					
平均水平距離(公分)		136.0	89.9	90.6	91.3
文字描述	卡到桌面	正常彈跳			

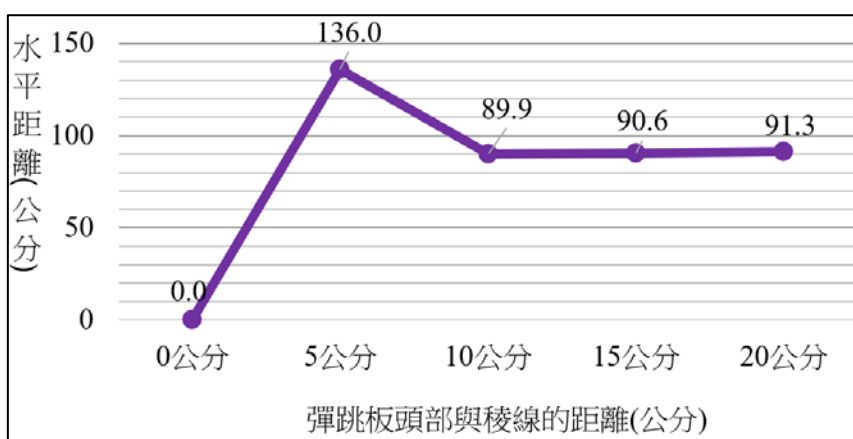


圖 18 彈跳板頭部與稜線距離對彈跳板彈飛水平距離的統計圖

(四) 討論：

1. 跳最遠的是彈跳板放置距離稜線 5 公分，彈飛水平距離達 136 公分
 - (1) 側板長度 8 公分，先掀開的前側板有 5 公分會在斜面上，另外 3 公分超出稜線（如圖 19），以及橡皮筋也會壓在稜線上。
 - (2) 推測除了側板打到斜面的作用力與反作用力以外，側板和橡皮筋壓在稜線上的力量是另一個作用力與反作用力，增加彈跳板轉換成動能，因此能跳更遠。
2. 當彈跳板放置距離稜線 10 公分、15 公分和 20 公分，因彈跳板攤開後完全攤平在斜坡整個平面上，才彈跳出去。推測彈跳板放置相同角度的斜坡，產生的能量相同的，因此彈飛的水平距離較相近。
3. 綜合以上，使用斜坡 20 度，彈跳板頭部放置與稜線距離 5 公分，彈飛的水平距離最遠達 136 公分，故將彈跳板頭部放置與稜線距離 5 公分作為後續實驗。



圖 19 超出稜線

四、探討不同高度的彈跳蹬台，對彈跳板彈飛的水平距離影響。





(一) 構想：我們好奇把斜坡架高，讓彈跳板有蹬出去的空間，是否跟游泳起跳台的蹬面一樣呢？設計不同高度的彈跳蹬台（0 公分、10 公分、20 公分、30 公分）。

(二) 步驟

1. 確認彈跳蹬台高度、彈跳板頭部與稜線距離 5 公分、測距儀位置、斜坡 20 度。
2. 彈跳板的操作過程：翻折→就位→起跳瞬間→彈飛運動→落點。
3. 實驗重複七次，刪除最大和最小極端值，並紀錄水平距離。

(三) 結果

表 5 不同高度的彈跳蹬台對彈跳板彈飛的水平距離紀錄表

彈跳蹬台的高度	0 公分	10 公分	20 公分	30 公分
照片				
平均水平距離(公分)	130.2	176.3	178.6	180.3

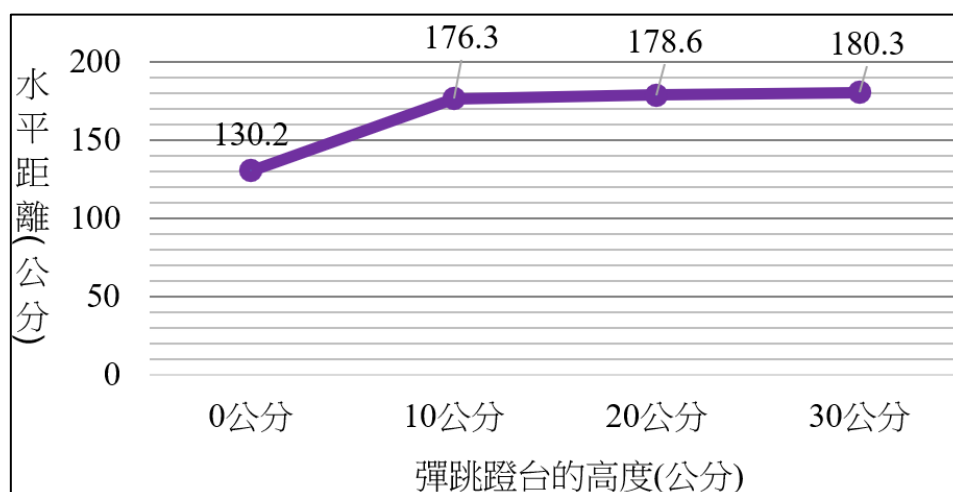


圖 20 彈跳蹬台的高度對彈跳板彈飛水平距離的統計圖

(四) 討論：

1. 彈跳蹬台架設越高，彈飛的水平距離雖有變遠但差異極小。推測產生的能量相同，彈跳的拋物線軌跡相近，但是蹬台架設越高，彈飛水平距離變遠為拋物線的延伸。
2. 綜合以上，斜坡 20 度擺在高度 10 公分的彈跳蹬台，把彈跳板頭部放置與稜線距離 5 公分，彈飛水平距離 176.3 公分，故選用高度 10 公分彈跳蹬台作為後續實驗。

五、探討彈跳板起跳瞬間的運動力學與彈跳運動軌跡分析

(一) 構想：彈跳板彈飛速度超快，肉眼無法觀察，如果錄製彈飛過程，應該可以分析細微彈跳差異。設計彈跳板頭部與稜線距離（0 公分、1 公分、3 公分、5 公分、7 公分）。

(二) 步驟

1. 確認與稜線距離、彈跳蹬台高度 10 公分、斜坡 20 度、測距儀位置、架設攝影機。
2. 彈跳板的操作過程：翻折→就位→起跳瞬間→彈飛運動→落點。
3. 實驗重複七次，刪除最大和最小極端值。
4. 觀察並紀錄水平距離，用電腦軟體分析最高高度、彈跳運動軌跡、起跳瞬間撞擊點
5. 用奇異筆撐起彈跳板，平衡時測量平衡中心，而找出重心。使用 Tracker 量角器，將彈跳板的重心與稜線中點連線，再與水平面取得夾角，測量起跳角度。

(三) 結果：

表 6 與稜線不同距離的起跳瞬間與彈跳運動軌跡紀錄表

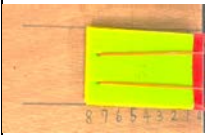

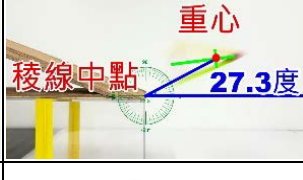
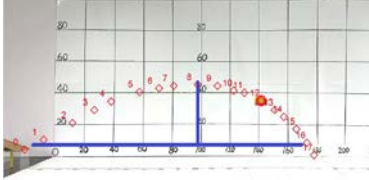
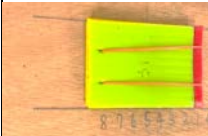

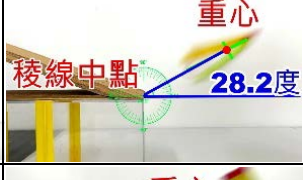
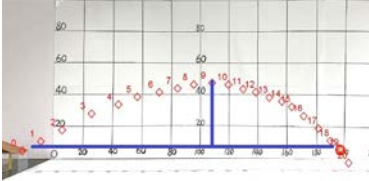


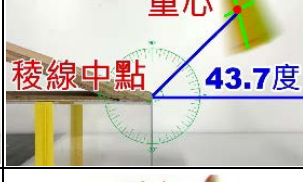
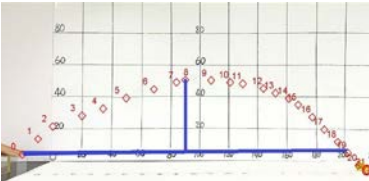
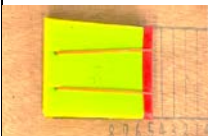

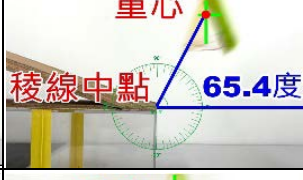
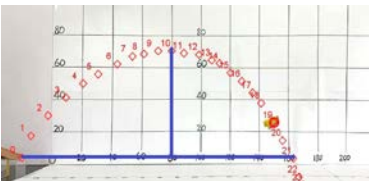


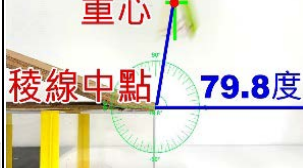

實驗結果截圖				
彈跳板頭部與稜線距離	側板攤開時的位置	側板收縮合併時的撞擊點	重心與水平夾角（起跳角度）	彈跳運動軌跡
0 公分				
1 公分				
3 公分				
5 公分				
7 公分				

表 6-1 與稜線不同距離的起跳瞬間與彈跳運動軌跡紀錄統整表

文字紀錄				
彈跳板頭部與稜線距離	前側板攤開的位置	側板收合時的撞擊點	起跳角度	彈跳運動軌跡
0 公分	完全超出稜線	1.橡皮筋壓稜線 2.側板拍打蹬面	小於 45 度	軌跡不對稱 （起跳到最高的水平距離大於最高到落點的水平距離）
1 公分				
3 公分	部分超出稜線	橡皮筋壓稜線	接近 45 度	軌跡對稱
5 公分			大於 45 度	軌跡不對稱 （和 0cm、1cm 相同）
7 公分		橡皮筋沒壓稜線，只壓在斜面上		
實驗數據紀錄				
彈跳板頭部與稜線距離	平均彈跳最高高度 (公分)	平均水平距離 (公分)		起跳角度(度)
0 公分	44.8	179.6		27.3
1 公分	48.5	193.4		28.2
3 公分	53.8	203.2		43.7
5 公分	72	161.1		65.4
7 公分	96.8	100.4		79.8

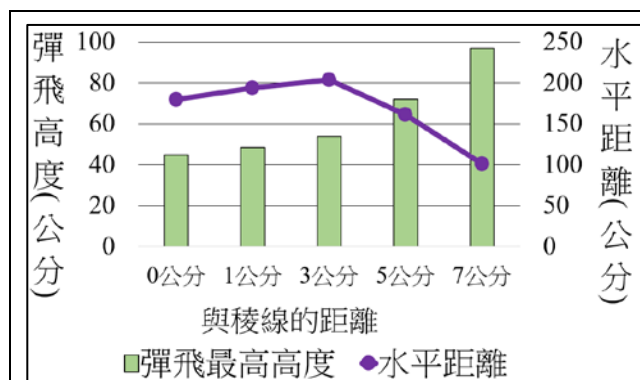


圖 21 彈跳板頭部與稜線不同距離，比較彈飛最高高度和水平距離的統計圖

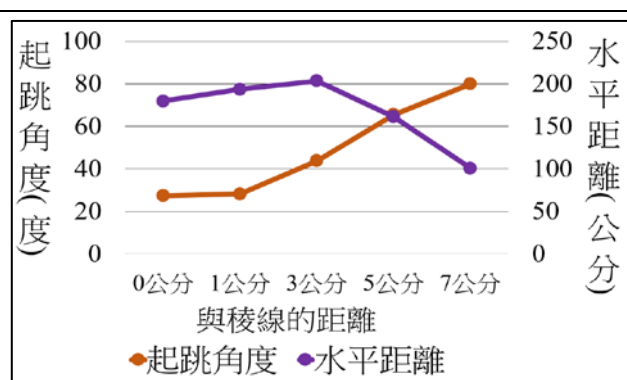


圖 22 彈跳板頭部與稜線不同距離，比較起跳角度和水平距離的統計圖

表 7 觀察彈跳板在桌面**鉛直向上**的彈跳與**斜面斜向拋物**彈跳之力學比較分析

就定位	前側板向上掀開	前後側板攤平	兩側板收合下壓	起跳
<p>1. 彈跳板在桌面就定位後，因橡皮筋拉回的彈力使前側板向上掀開後攤平，兩側板向內收縮合併產生對桌面的下壓作用力，因此彈跳板獲得向上反作用合力，順勢往上彈跳（如圖 23）。</p> <p>2. 以放在斜面距稜線 3 公分，有最佳斜向拋物的彈跳板為例，兩側板向內收縮合併時，後側板對斜面加上拉開的橡皮筋下壓稜線的下壓作用力，使彈跳板獲得較大斜上反作用合力，順勢斜向彈飛的水平距離最遠（如圖 24）。</p>		<p>鉛直向上彈跳</p> <p>圖 23 桌面鉛直向上彈跳</p>		<p>斜面斜向彈跳</p> <p>圖 24 斜面斜向拋物彈跳</p>

（四）討論：

- 根據表 2 能量守恆定律，彈跳板彈跳的總能量是固定，當彈跳板放置距稜線 3、5、7 公分時，**彈跳板跳越高就跳不遠，反之跳越遠就跳不高**。
- 綜合比較：彈飛最高高度、水平距離、起跳角度。
 - 彈跳板放置距稜線 3 公分，**起跳角度最接近 45 度，水平距離最遠，與表 3 原理相符**。
 - 放置距稜線越近（0、1 公分），起跳約 28 度（小於 45 度），彈飛高度變低，水平距離變近。
 - 放置距稜線越遠（5、7 公分），起跳 65~80 度（大於 45 度），彈飛高度變高，水平距離最近。
- 側板收合時的撞擊點：
 - 放置距稜線 0 公分，除了橡皮筋會壓在稜線上，還有前側板會拍打到底面。
 - 放置距稜線 1、3、5 公分，橡皮筋會壓在稜線上。
 - 放置距稜線 7 公分，橡皮筋只壓在斜面上。
- 綜上所述，**斜坡 20 度擺在高度 10 公分的彈跳蹬台，彈跳板放置距稜線 3 公分，起跳角度最接近 45 度，能給與彈跳板最大力量，彈飛的水平距離達 203.2 公分，有對稱的彈跳運動軌跡**。


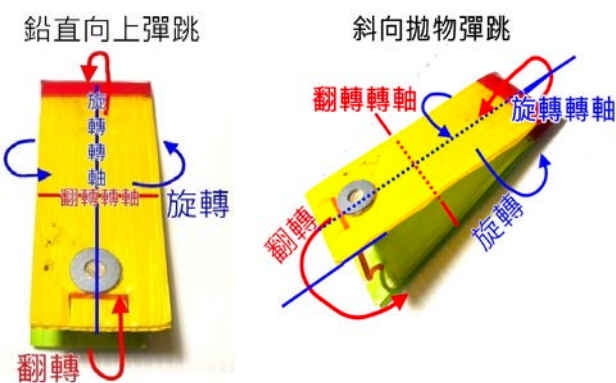
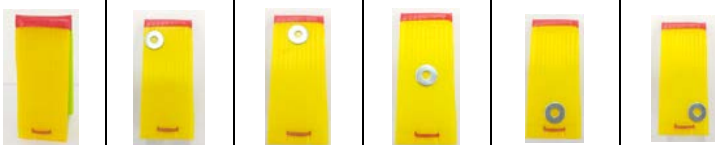

六、探討改變彈跳板重心位置，對彈飛最高高度、水平距離、彈跳運動軌跡、旋翻轉姿態及落點分布的影響。

(一) 構想：我們好奇在彈跳板上增加配重，而改變彈跳板的重心後，彈跳板在斜面或桌面上，彈飛過程會有什麼新奇的發現呢？

(二) 步驟

1. 選定合適的重物當作配重，彈跳板黏貼墊片以九宮格的位置為基準。
2. 確認墊片、距稜線 3 公分、蹬台高 10 公分、斜坡 20 度、測距儀、架攝影機。
3. 確認起跳點是斜面（斜面跳遠之斜向拋物）或桌面（鉛直向上彈跳）。
4. 彈跳板的操作過程：翻折→就位→起跳瞬間→彈飛運動→落點。
5. 實驗重複七次，刪除最大和最小極端值。
6. 紀錄水平距離，用電腦軟體分析彈飛高度、軌跡、運動時間、運動速率、落點面積
7. 用筆蓋撐起黏貼墊片的彈跳板，找出重心，Tracker 量角器測量起跳角度。
8. 高速攝影慢速分析並繪製旋翻轉姿態圖，計算旋翻轉圈數和轉速。

表 8 說明黏貼墊片方法及旋翻轉姿態紀錄方式

說明側板與墊片的位置						說明旋翻轉姿態			
 <p>1.黃色側板： 雙面膠黏貼墊片，以九宮格為基準，取其中五個位置做研究。</p> <p>2.綠色側板： 貼上紅紫色晶晶膠帶，能更清楚在高速攝影下，觀察彈跳板的旋翻轉姿態。</p>						 <p>1.旋轉：以旋轉轉軸為中軸線，兩側板左右水平圓周方向旋轉。</p> <p>2.翻轉：以翻轉轉軸為中軸線，頭腳交互上下垂直圓周方向翻轉。</p>			
墊片位置						墊片數量			
對照組	頭部(近膠帶)		中心	腳部(近橡皮筋)		晶晶膠帶 + 彈跳板共 3gw			
	1 號位	2 號位	5 號位	8 號位	9 號位	0 片 0gw	1 片 0.78gw	2 片 1.56gw	3 片 2.34gw
									

(三) 結果與討論：彈跳板斜面跳遠之斜向拋物運動

表 9 彈跳板斜面跳遠之斜向拋物運動軌跡姿態紀錄比較表

彈跳板條件	運動軌跡姿態	附註
0 墊片 對照組		<p>全程連續逆時針後滾翻向前拋飛的斜向拋物運動，水平距離最遠，無旋扭轉。</p>
1 墊片 1 號位		<p>彈飛中姿態較紊亂，以逆時針後滾翻的姿態，同時又伴隨由偏墊片重心方向所帶動的側板左右方向的旋扭轉，連續旋翻滾向前。</p>
1 墊片 2 號位		<p>全程連續逆時針後滾翻向前拋飛作斜向拋物運動，無旋扭轉。</p>

表 9 彈跳板斜向跳遠之斜向拋物運動軌跡姿態紀錄比較表（續）

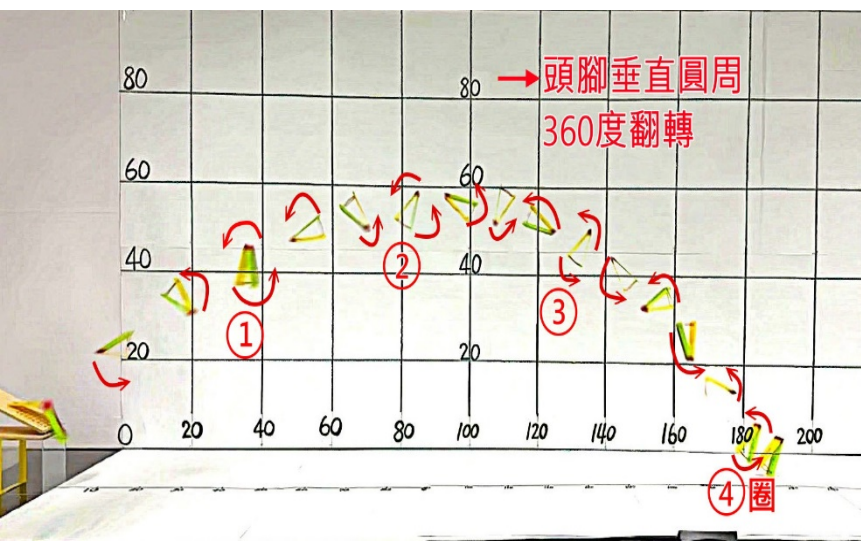
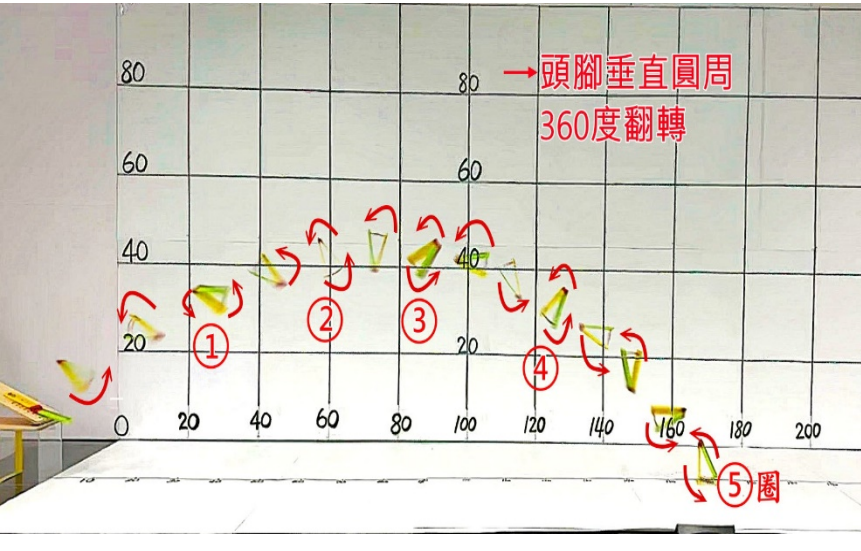
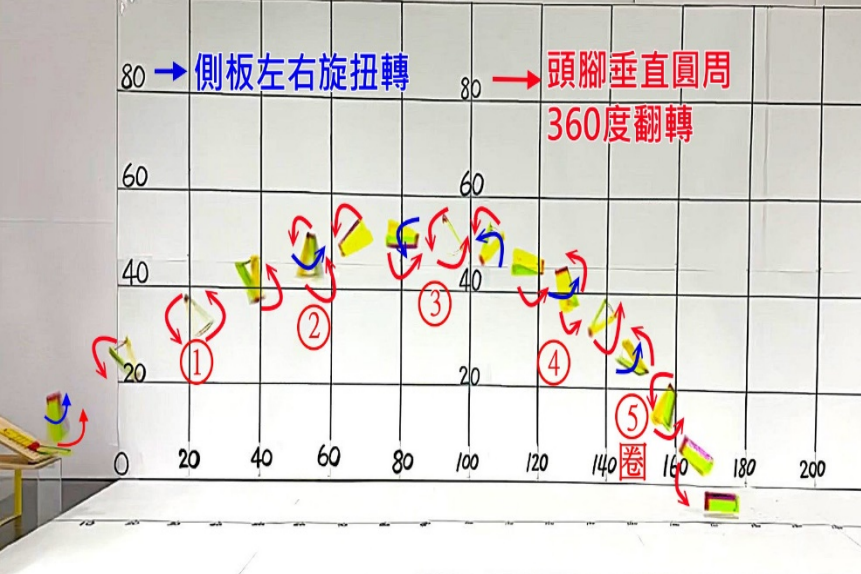
<p>1 墊片 5 號位</p>		<p>全程連續後滾翻向前拋飛作斜向拋物運動，翻轉速度快，無旋扭轉。</p>
<p>1 墊片 8 號位</p>		<p>全程連續逆時針後滾翻向前拋飛作斜向拋物運動，無旋扭轉。 翻轉速度更快。</p>
<p>1 墊片 9 號位</p>		<p>彈飛中姿態較紊亂，與 1 號位的運動姿態相似，側板有左右方向旋扭轉，翻轉速度比 8 號位更快速翻轉。</p>

表 9-1 彈跳板斜面跳遠之斜向拋物運動軌跡姿態實驗數據紀錄統整表

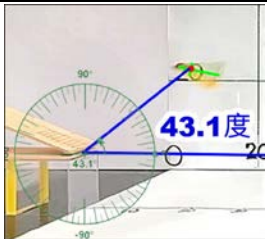
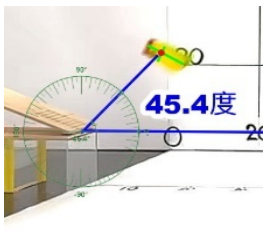
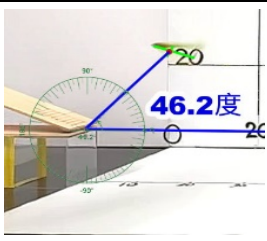
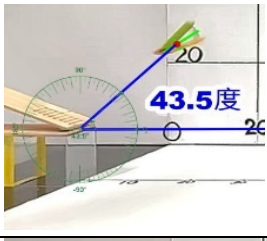
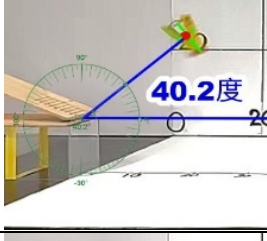
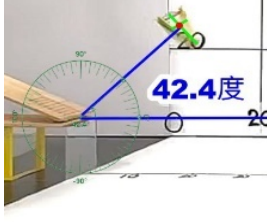
彈跳板條件	重心與水平夾角 (起跳斜向拋物)	運動時間(s) 起跳~落地	平均水平距離 (cm)	平均彈飛最高高度(cm)	旋翻轉圈數	旋翻轉轉速 (圈/s)
0 墊片 對照組		0.65	203.2	53.8	旋轉 0 圈 翻轉 2.5 圈	旋轉速 0 翻轉速 3.85
1 墊片 1 號位		0.69	179.3	57.8	旋轉 2.5 圈 翻轉 2.5 圈	旋轉速 3.62 翻轉速 3.62
1 墊片 2 號位		0.68	182.0	58.8	旋轉 0 圈 翻轉 3 圈	旋轉速 0 翻轉速 4.41
1 墊片 5 號位		0.64	175.6	55.2	旋轉 0 圈 翻轉 4 圈	旋轉速 0 翻轉速 6.25
1 墊片 8 號位		0.60	155.8	43.8	旋轉 0 圈 翻轉 5 圈	旋轉速 0 翻轉速 8.33
1 墊片 9 號位		0.61	158.7	50.2	旋轉 2 圈 翻轉 5.25 圈	旋轉速 3.28 翻轉速 8.61

表 9-2 彈跳板斜面跳遠之斜向拋物運動軌跡落點分布紀錄比較表

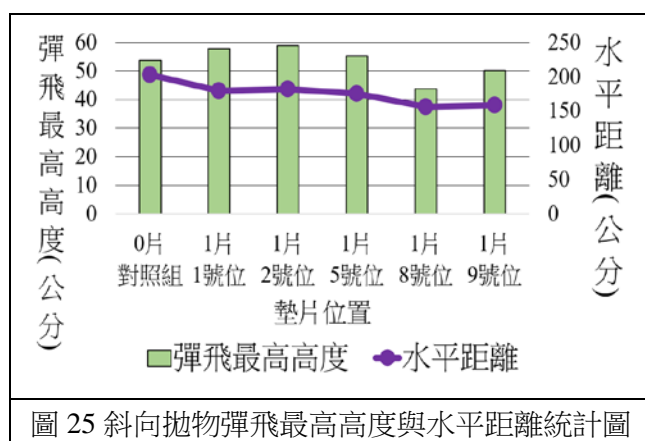
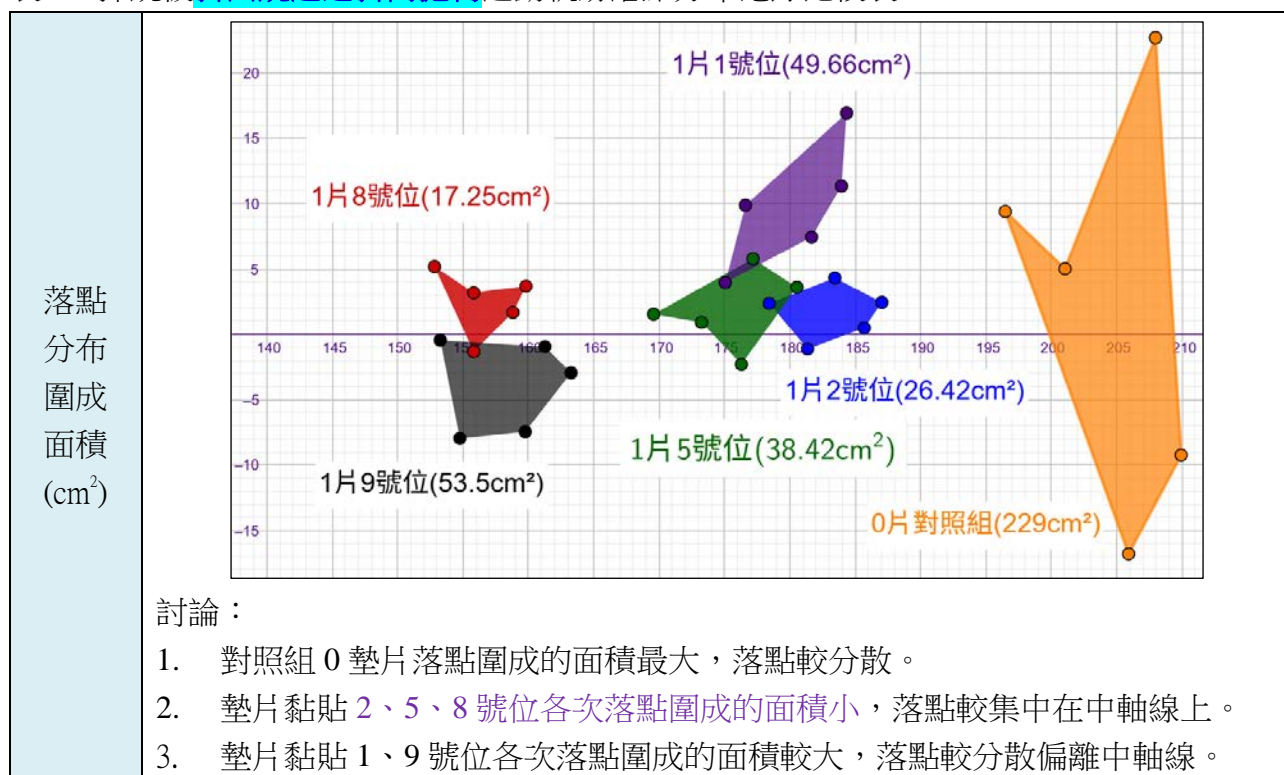


圖 25 斜向拋物彈飛最高高度與水平距離統計圖

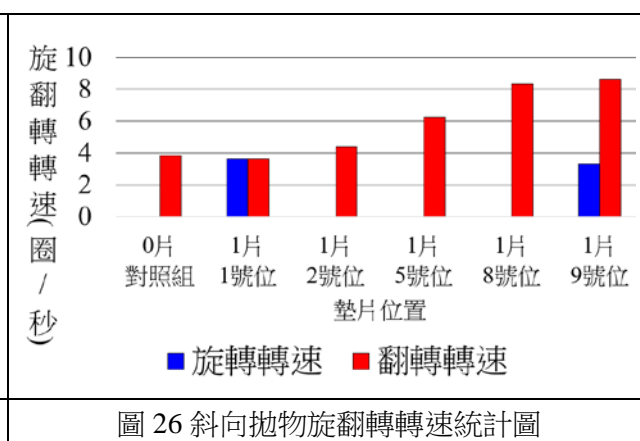


圖 26 斜向拋物旋轉轉速統計圖

討論：斜面跳遠之斜向拋物運動

1. 不論有無配重或墊片在任意號位，斜面起跳後，都是全程以彈跳板重心為轉軸中心作連續逆時針後滾翻向前拋飛的斜向拋物運動。
2. 彈飛運動的過程中，僅墊片黏貼 1、9 號位的不對稱彈跳板有左右方向旋扭轉的運動姿態。
3. 對照組 0 墊片的彈跳板重量較輕，斜向拋物後的彈飛水平距離最遠。
4. 因墊片黏貼頭部 1、2 號位，斜向拋物時重心與水平線的夾角比對照組大一些，彈飛高度最高，水平距離次之。
5. 因墊片黏貼腳部 8、9 號位，斜向拋物時重心與水平線的夾角最小，彈飛高度較低，水平距離也較近。

(四) 結果與討論：彈跳板鉛直向上彈跳運動

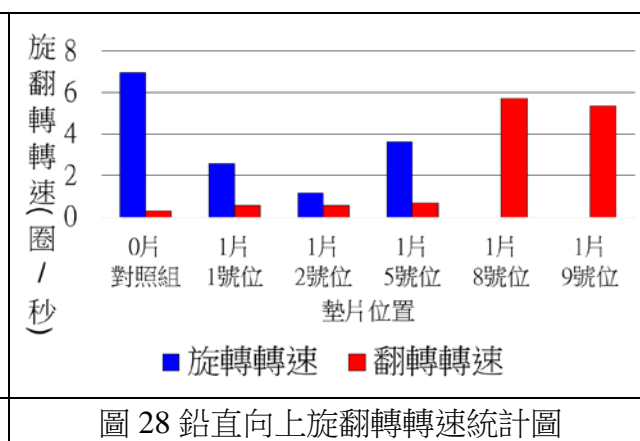
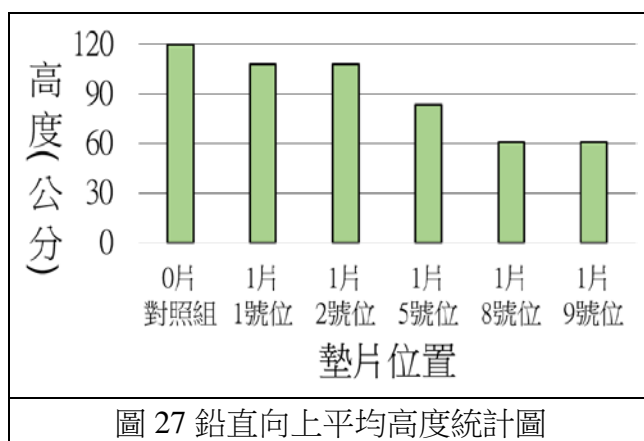
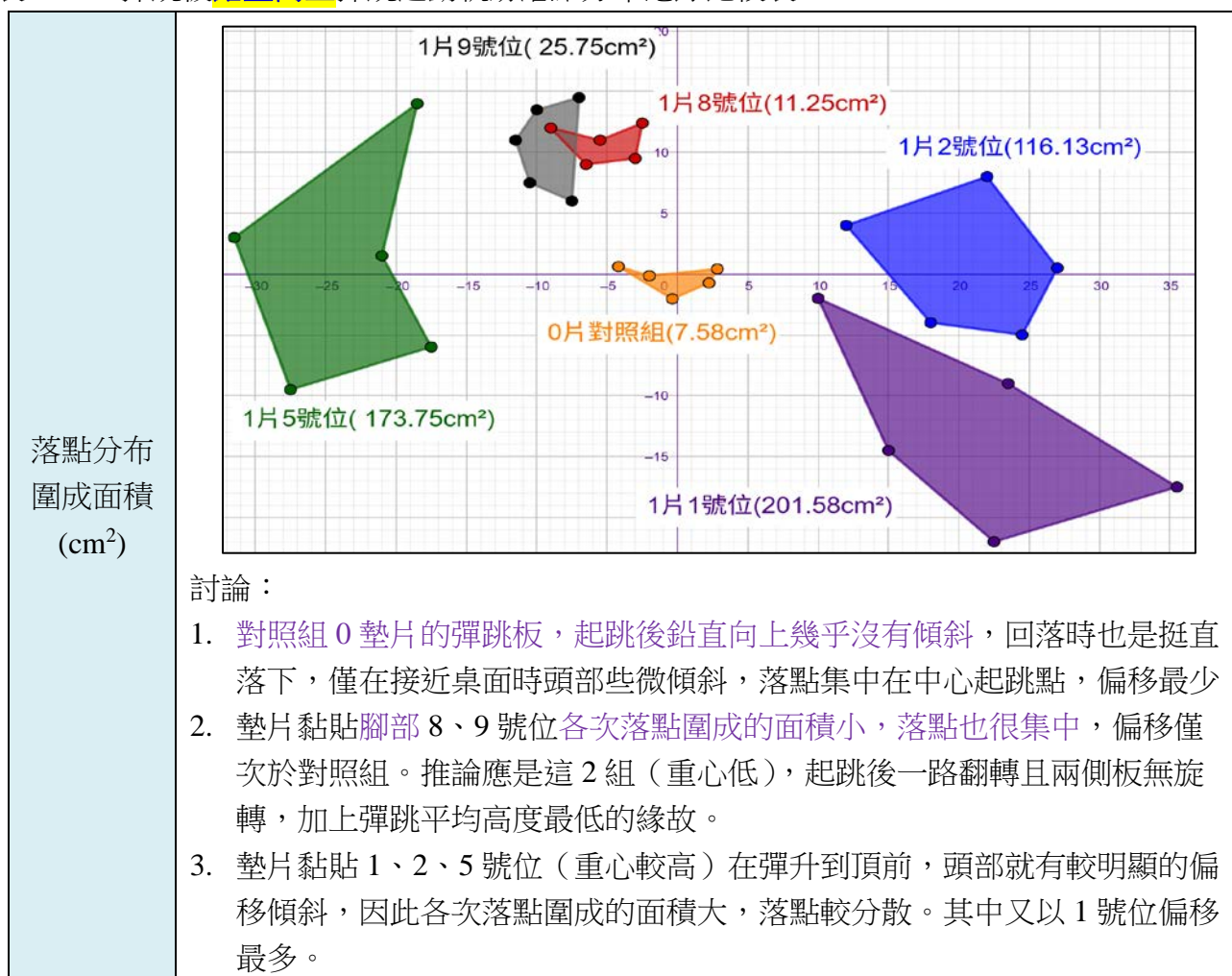
表 10：彈跳板鉛直向上彈跳運動軌跡姿態紀錄比較表

彈跳板條件	0 墊片(對照組)	1 墊片 1 號位	1 墊片 2 號位
運動軌跡姿態			
平均高度 (cm)	119.8	107.8	108
運動時間(s) 起跳~落地	0.97	0.87	0.88
旋翻轉圈數	旋轉 6.75 圈 翻轉 0.25 圈	旋轉 2.25 圈 翻轉 0.5 圈	旋轉 1 圈 翻轉 0.5 圈
旋翻轉轉速 (圈/s)	旋轉速 6.96 翻轉速 0.26	旋轉速 2.59 翻轉速 0.57	旋轉速 1.14 翻轉速 0.57
運動平均 速率(cm/s)	247.01	247.82	245.45

表 10：彈跳板鉛直向上彈跳運動軌跡姿態紀錄比較表（續）

彈跳板條件	1 墊片 5 號位	1 墊片 8 號位	1 墊片 9 號位
運動軌跡姿態			
平均高度 (cm)	83.6	60.8	61
運動時間(s) 起跳~落地	0.76	0.70	0.70
旋翻轉圈數	旋轉 2.75 圈 翻轉 0.5 圈	旋轉 0 圈 翻轉 4 圈	旋轉 0 圈 翻轉 3.75 圈
旋翻轉轉速 (圈/s)	旋轉速 3.62 翻轉速 0.66	旋轉速 0 翻轉速 5.71	旋轉速 0 翻轉速 5.36
運動平均 速率(cm/s)	220.0	173.71	174.29

表 10-1：彈跳板鉛直向上彈跳運動軌跡落點分布紀錄比較表



討論：鉛直向上彈跳運動

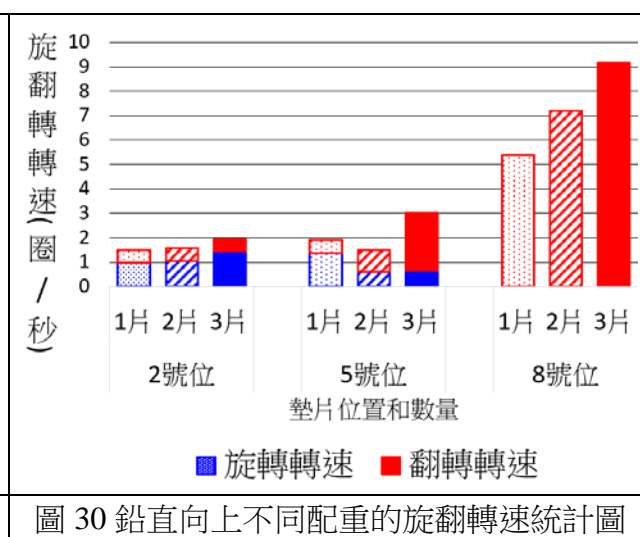
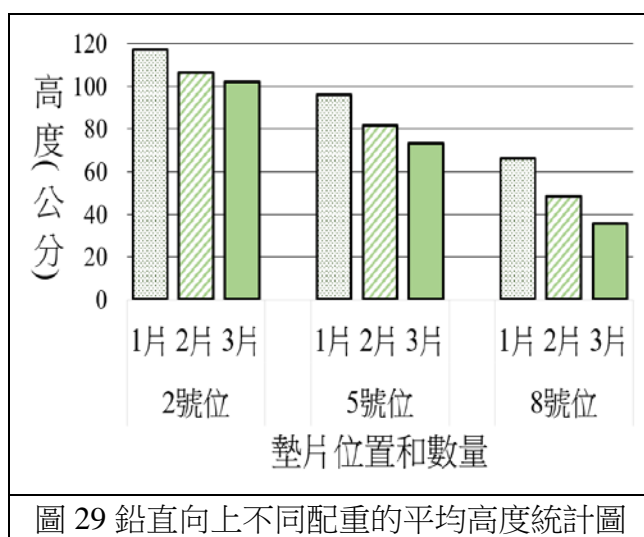
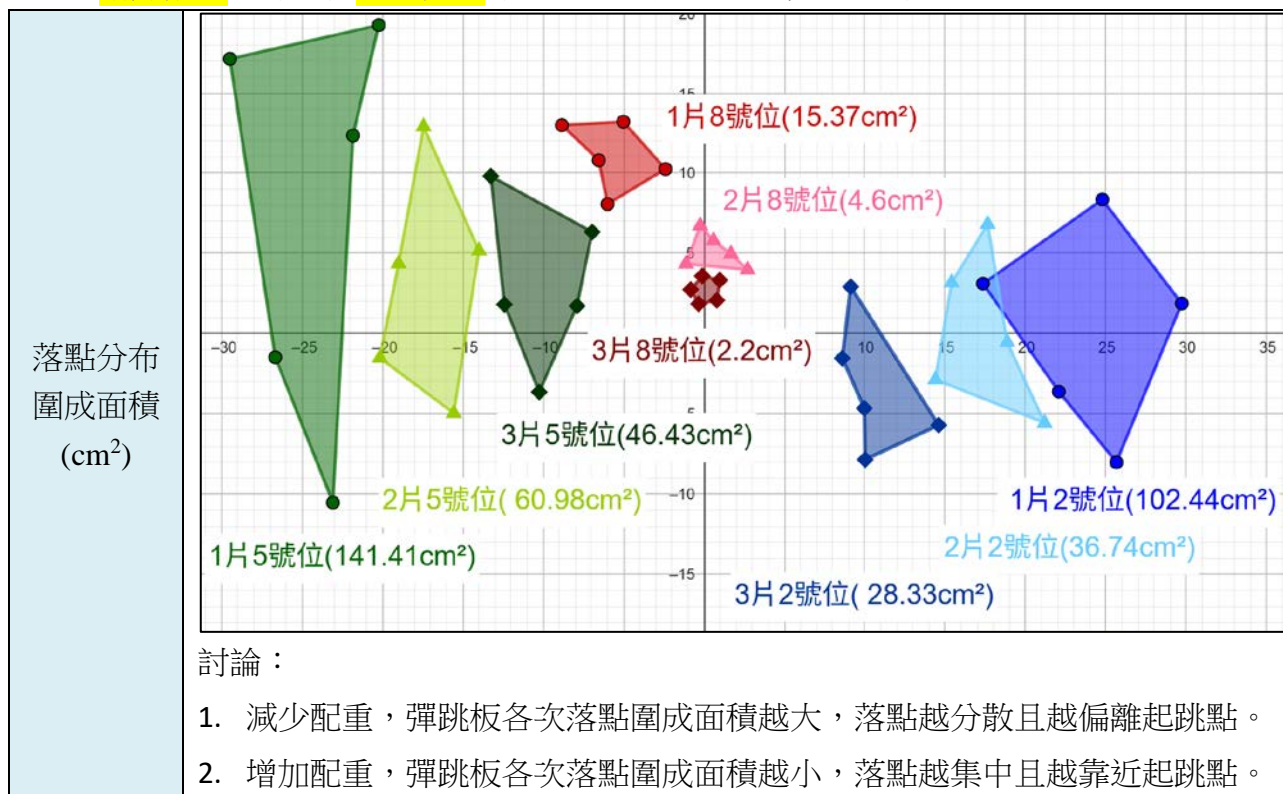
1. 對照組 0 墊片的彈跳板最輕，彈跳高度最高，起跳後兩側板以左右 360 度圓周方向快速旋轉。黏貼墊片增加重量不利於彈跳板鉛直向上時的旋轉運動與彈跳高度。
2. 墊片黏貼 1、2、5 號位的重心會提高，彈跳板仍表現兩側板左右圓周方向旋轉的運動姿態，只是轉速較對照組 0 墊片的慢。
3. 墊片黏貼腳部 8、9 號位，彈跳板的運動姿態大不同了，呈現連續快速的頭腳交互上下的垂直圓周翻轉運動，且無側板左右圓周的旋轉現象，非常有趣。

(五) 結果與討論：增加配重的彈跳板鉛直向上彈跳運動

表 11 增加配重的彈跳板鉛直向上彈跳運動軌跡姿態紀錄比較表

彈跳板條件	2 墊片 2 號位	2 墊片 5 號位	2 墊片 8 號位
運動軌跡姿態			
平均高度 (cm)	106.4	81.8	48.6
運動時間(s) 起跳~落地	0.95	0.84	0.62
旋翻轉圈數	旋轉 1 圈 翻轉 0.5 圈	旋轉 0.75 圈 翻轉 0.75 圈	旋轉 0 圈 翻轉 4.75 圈
旋翻轉轉速 (圈/s)	旋轉速 1.05 翻轉速 0.53	旋轉速 0.89 翻轉速 0.89	旋轉速 0 翻轉速 7.66
運動平均速率(cm/s)	224	194.76	156.77
彈跳板條件	3 墊片 2 號位	3 墊片 5 號位	3 墊片 8 號位
平均高度 (cm)	102.2	73.4	35.8
運動時間(s) 起跳~落地	1.03	0.75	0.55
旋翻轉圈數	旋轉 1.5 圈 翻轉 0.5 圈	旋轉 0.5 圈 翻轉 1.75 圈	旋轉 0 圈 翻轉 5 圈
旋翻轉轉速 (圈/s)	旋轉速 1.46 翻轉速 0.49	旋轉速 0.67 翻轉速 2.33	旋轉速 0 翻轉速 9.09
運動平均速率(cm/s)	198.45	195.73	130.18

表 11-1 增加配重的彈跳板鉛直向上彈跳運動軌跡落點分布紀錄比較表



討論：增加配重（墊片 1、2、3 片）的彈跳板鉛直向上彈跳運動

1. 減少配重，彈跳高度高（仍低於不加墊片對照組）；增加配重，彈跳高度降低。
2. 配重黏貼越靠近頭部的彈跳高度較高，頭部 2 號位>中心 5 號位>腳部 8 號位。
3. 改變配重黏貼 2、5 號位對旋翻轉的姿態、轉速和運動平均速率影響不明顯，只對彈跳高度和落點分布有影響。
4. 改變配重黏貼腳部 8 號位，增加配重數量，翻轉轉速越快，運動姿態只有翻轉（無旋轉）。連續的翻轉使彈跳的高度與平均移動速率明顯降低。

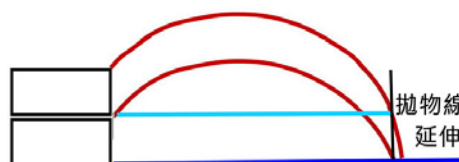
肆、討論

一、選用斜坡 20 度能使彈跳板有穩定彈飛最遠的分析：

1. 當斜坡較緩低於 15 度時，側板下壓斜面的反作用合力方向，與水平線夾角過大偏向鉛垂線，斜向飛遠的能量較小，彈飛水平距離較近。
2. 彈跳板放在斜坡太陡峭 25 度以上的斜面，會往下滑動無法穩定定位甚至滑落到桌面，導致彈跳起飛有歪斜非常不穩定情形。
3. 放在斜坡 20 度時，是本實驗（未架設蹬台）達到穩定不下滑的最大角度，使彈跳板斜向拋物彈飛最遠。

二、選用高度 10 公分彈跳蹬台的分析：

1. 當彈跳板在相同斜坡角度的情形下，所產生的彈跳能量是相同的，因此不管彈跳蹬台的起始高度有多高，彈飛的拋物線軌跡幾乎相同。
2. 但是當彈跳蹬台架設越高，彈跳板從起跳到落點的整體飛行時間越長，彈飛的水平距離只會稍微增加，產生拋物線向下向遠的延伸。



三、彈跳板頭部與稜線不同距離的起跳瞬間之分析：

表 12 起跳瞬間與彈跳運動軌跡總整理

位置	0 公分	1 公分	3 公分	5 公分	7 公分
彈飛最高高度	低	低	中	高	最高
彈飛水平距離	中	中	最遠	近	最近
起跳角度(度)	小於 45	小於 45	接近 45	大於 45	大於 45
前側板攤開時，超出稜線	完全	完全	部分	部分	部分
側板收合時，側板拍打蹬面	O	X	X	X	X
側板收合時，橡皮筋壓在稜線	O	O	O	O	X
彈跳運動軌跡有對稱	X	X	O	X	X

1. 當側板收合下壓時撞擊點不同，會影響前側板是否打到彈跳蹬面，以及橡皮筋在稜線上的施力位置，進而造成作用力產生的起跳角度及力量的大小有所差異，因此影響彈跳板的彈飛最高高度、水平距離。
2. 當把斜坡 20 度擺在高度 10 公分的彈跳蹬台，彈跳板拉開攤平對折，橡皮筋具有被拉伸的彈性能，當彈跳板放置距稜線 3 公分，橡皮筋會釋放彈性能使前側板掀開，兩片側板會受到橡皮筋的恢復拉力迅速向內收縮合併，起跳瞬間後側板會對斜面產生下壓作用力，再加上拉開的橡皮筋也會下壓稜線產生下壓作用力，使彈跳板獲得斜向反作用合力，再轉換為動能使彈跳板斜向拋物彈飛到空中，起跳角度接近 45 度，當彈飛到最高高度時，速度為零且動能耗盡，轉變為重力位能，而掉落到桌面，整體斜向彈飛的水平距離達最遠，有對稱的彈跳運動軌跡。

四、改變彈跳板重心位置，對彈跳運動軌跡、旋翻轉姿態等有顯著的變化，非常有趣。

(一) 用奇異筆筆蓋端撐起彈跳板，平衡時測量平衡中心與側板兩端距離。

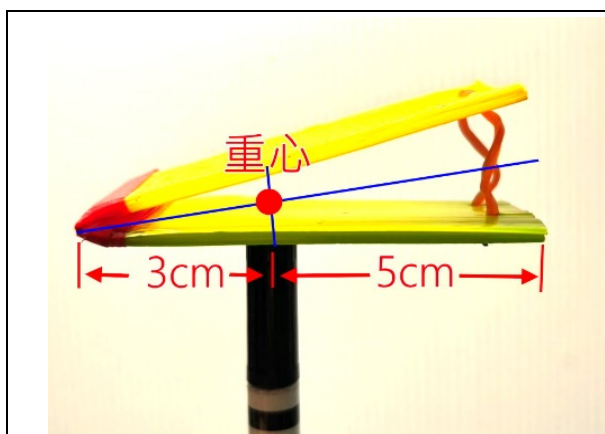


圖 31 對照組彈跳板重心偏頭部



圖 32 貼 1 墊片 8 號位重心偏腳部

(二) 彈跳板作斜向跳遠之斜向拋物運動時，為何都是逆時針連續後滾翻的姿態呢？

我們推論彈跳板在斜面收合直立斜向起跳時，頭部迎風後仰，墊片後側板隨反作用力順勢斜上推動翻轉，於是彈跳板便以重心為轉軸中心，頭腳交互上下逆時針連續後滾翻的轉動姿態作拋體運動，其中拋物軌跡就是彈跳板重心的連線。

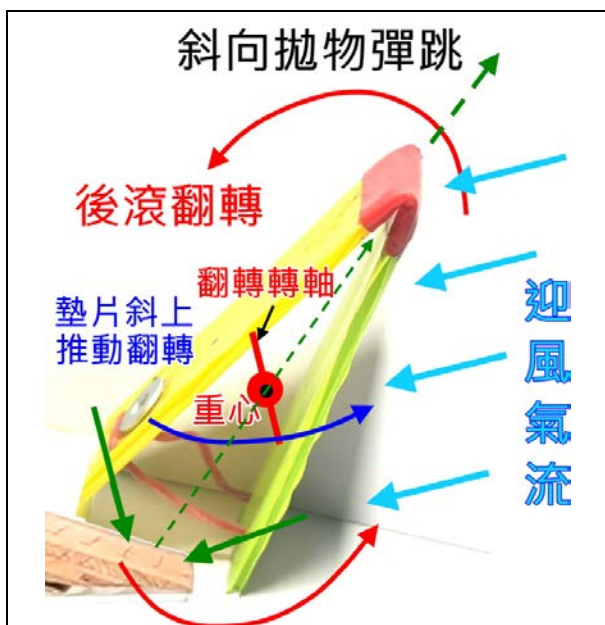


圖 33 斜向拋物運動向後翻轉的力圖分析

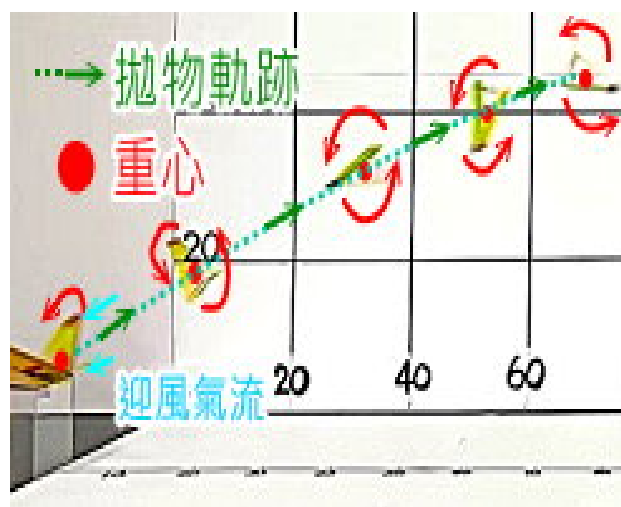
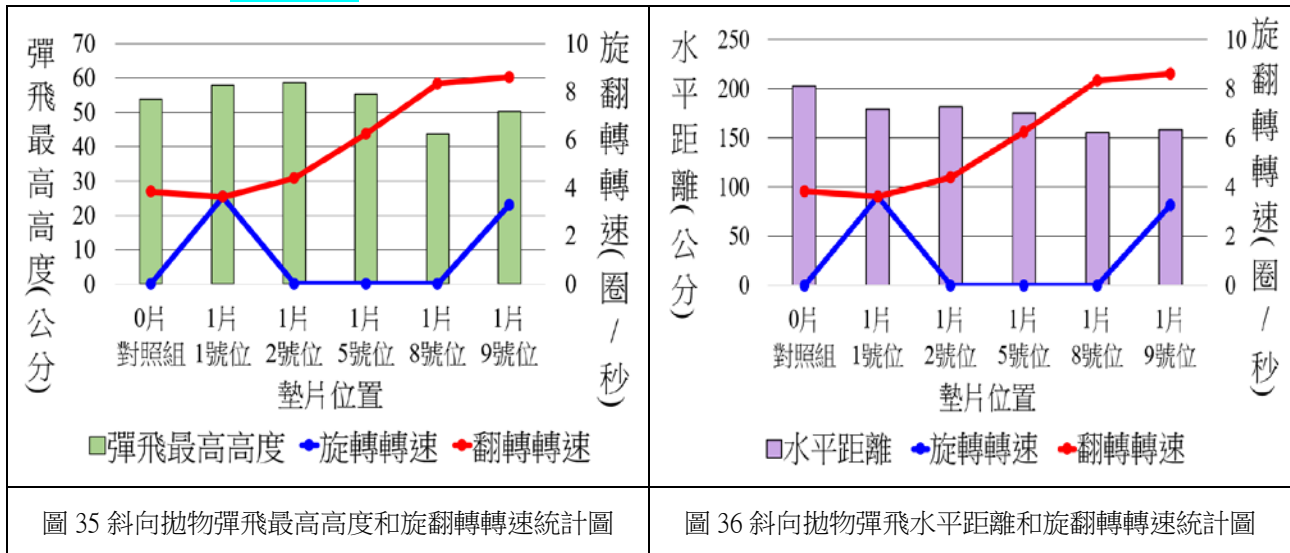
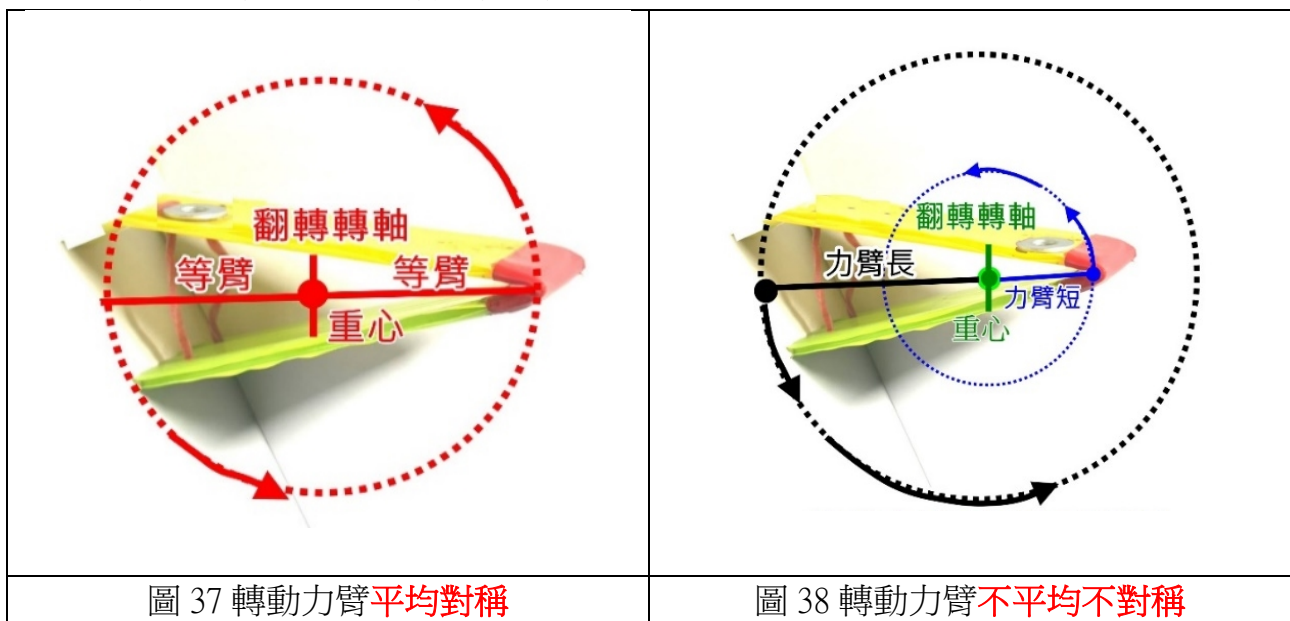


圖 34 拋物軌跡即是彈跳板重心的連線

(三) 將彈跳板斜向拋物運動的實驗數據整合如下的統計圖進行分析比對：



1. 墊片在腳部 8、9 號位時雖然轉速最快，但重心降低，使得彈飛的水平距離最近，軌跡高度也最低。斜向拋物移動的能量轉移給了轉動的動能，轉動動能變大，重心移動的動能就變小了。
2. 斜向拋物運動時只有墊片在 1、9 號位才會出現左右旋轉的運動姿態，落點也會偏移不集中。反之，穩定翻轉的彈跳板落點較集中不偏斜。
3. 對照組 0 墊片最輕，彈飛的水平距離最遠；墊片黏貼 1 和 2 號位會拉高重心，有利於拉高彈飛的拋物高度，但彈高就飛不遠了（彈飛距離小於 0 墊片的對照組）。
4. 墊片在腳部 8、9 號位時翻轉的轉速最快，是因彈跳板原來靠近頭部膠帶處的重心降低了，下移至接近中間的位置如討論四（一）圖 32，使得以重心為轉軸中心的兩端側板較平均，轉動力臂更對稱較有利持續翻轉（如下左圖 37），轉動慣量較小。反之，對照組和拉高重心的 1 和 2 號位，因轉動力臂不對稱，翻轉轉速明顯較慢（如下右圖 38），轉動慣量較大。



五、改變彈跳板重心位置，對鉛直向上彈跳的運動軌跡、姿態的影響，將實驗數據整合如下的統計圖進行分析比對：

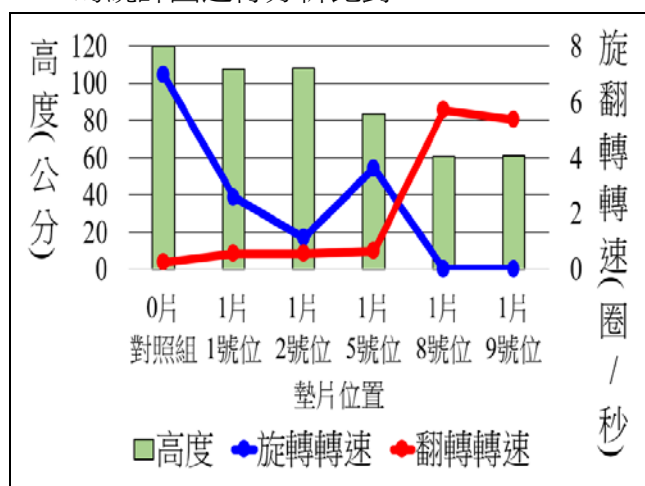


圖 39 鉛直向上運動平均高度和旋翻轉轉速統計圖

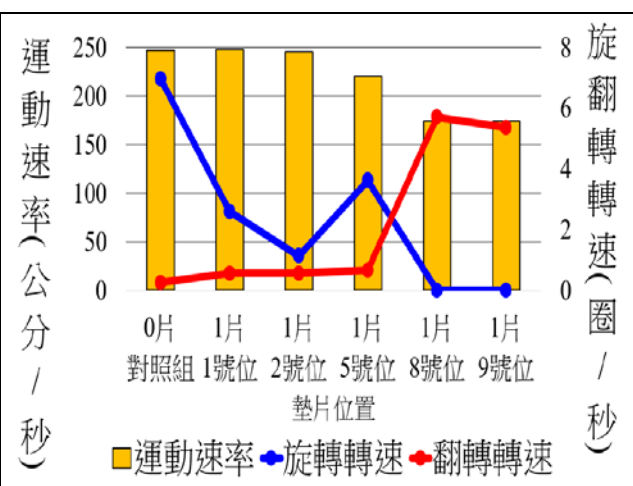


圖 40 鉛直向上運動平均速率和旋翻轉轉速統計圖

（一）對照組 0 墊片進行鉛直向上彈跳時的軌跡最直不偏斜，落點最接近起跳點，也因為最輕，所以彈跳平均高度最高，平均運動速率又快。最有趣的是它可以連續快速左右水平圓周方向旋轉，姿態有如一位騰空躍起的芭蕾舞者。

對照組的彈跳板它可以連續快速左右水平圓周方向旋轉的理由如右圖示分析：

1. 兩側板向內收縮合併產生對桌面的下壓作用力，彈跳板獲得向上反作用合力，順勢快速往上彈跳，由於兩側板外斜，彈升過程中氣流因附壁(康達)效應沿側板外緣往下快速流動。
2. 側板兩側流速快壓力較小（V 快 P 小），外圍遠端壓力較大的氣流向內擠壓（兩側瞬間的壓力差），向內壓縮的氣流推動彈跳板快速旋轉，角動量維持固定的鉛直方向，所以軌跡最直不偏斜。

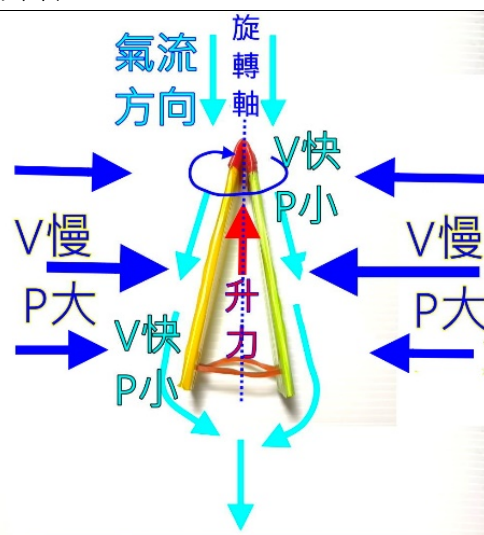


圖 41 對照組快速旋轉力學分析圖

- （二）在彈跳板其中一側黏貼墊片後，奇特的是兩側板左右方向快速旋轉的姿態消失了，重心較高的黏貼位置（1、2、5 號位）還可出現緩慢旋轉，但重心較低的 8、9 號位就都無旋轉現象。
- （三）重心較低的 8、9 號位雖無旋轉姿態，彈升過程卻出現頭上腳下垂直圓周方向的連續快速翻轉姿態。雖然翻轉速很快，但增加了墊片重量，彈跳高度卻最低。就能量分配的觀點來說和斜向拋物彈跳相同，彈跳板鉛直向上移動和左右旋轉的能量轉移給了頭腳上下翻轉轉動的動能，翻轉動能變大，重心移動的動能就變小了，因此移動的高度和速率都偏低。

重心較低 8、9 號位，頭上腳下垂直圓周方向連續快速翻轉力學分析：

1. 我們推論彈跳板在桌面側板收合直立向上起跳時，黏貼腳部的墊片，降低了原本偏頭部較高的重心，起跳瞬間由墊片斜上推往相反的方向推動翻轉，頭部向下翻倒，於是彈跳板便以重心為轉軸中心，頭下腳上垂直圓周方向連續快速翻轉。
2. 其中重心的連線就是彈跳板的移動軌跡。
3. 翻轉的方向由墊片黏貼的方向位置決定，墊片在右，則由右向左推動順時針翻轉（如圖 42）；墊片在左，則由左向右推動逆時針翻轉（如圖 43）。

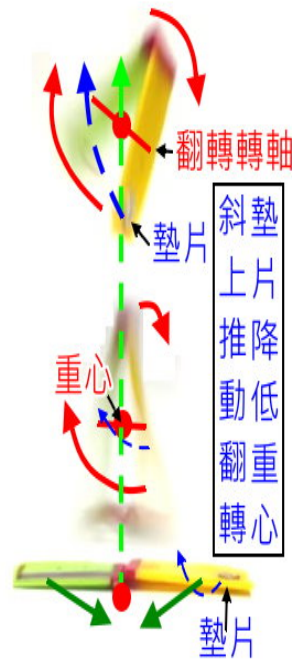


圖 42 順時針翻轉

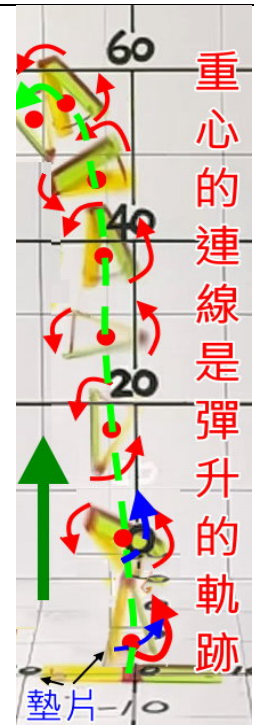


圖 43 逆時針翻轉

- (四) 墊片在底部 8、9 號位時翻轉的轉速最快，是因彈跳板原來靠近頭部膠帶處的重心降低了，下移至接近中間的位置如討論四（一）圖 32，使得以重心為翻轉轉軸中心的兩端側板較平均，轉動力臂更平均更對稱較有利持續翻轉，同討論四（三）圖 37。

- (五) 增加配重的彈跳板鉛直向上彈跳運動軌跡姿態統整分析：

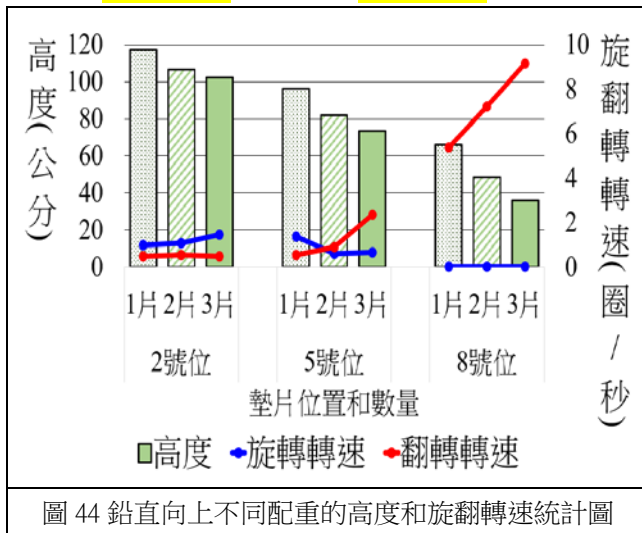


圖 44 鉛直向上不同配重的高度和旋翻轉速統計圖

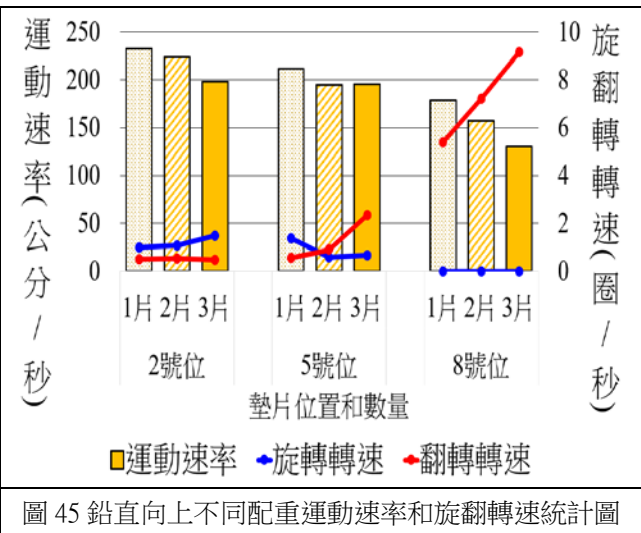


圖 45 鉛直向上不同配重運動速率和旋翻轉速統計圖

1. 增加黏貼墊片數量（增加配重），且貼的位置越遠離膠帶頭部的彈跳高度越低，彈跳板移動的平均速率也變慢了。
2. 配重數量增加到 2~3 片時，只有黏貼 8 號位腳部的彈跳板，翻轉轉速明顯變超快；8 號位連續的超快速翻轉，使移動的高度與上下移動平均速率明顯降低更多，應也是和前述能量轉移相關。
3. 增加配重，彈跳板各次落點圍成的面積更小，落點越集中且越不偏斜。

伍、結論

- 一、彈跳板黏貼一塊小小的墊片竟能彈出這麼精采多樣的舞姿，實在令人驚豔。即使整個彈飛運動的系統複雜度很高，經過我們長期的深入探究，終於對它的彈跳運動軌跡、旋翻轉姿態等有更清楚的理解。
- 二、最佳斜面跳遠彈跳板：自製 20 度斜面架在高度 10 公分的彈跳蹬台，彈跳板頭部放置與稜線距離 3 公分，起跳瞬間橡皮筋釋放彈性能，起跳角度最接近 45 度。後側板對斜面以及前側板拉緊橡皮筋撞擊稜線的下壓作用力，使彈跳板獲得斜向反作用合力，再轉換為動能使彈跳板斜向拋物的水平距離達最遠 203.2 公分，出現圓滑漂亮的對稱彈跳運動軌跡。
- 三、無墊片的彈跳板在鉛直向上運動時，彈升過程中氣流因附壁（康達）效應造成兩側板產生瞬間壓力差，推動彈跳板快速旋轉；連續左右水平圓周方向的快速旋轉，使角動量維持固定的鉛直方向，軌跡最直不傾斜。
- 四、當增加配重（增加黏貼墊片數量）於彈跳板腳部時，在鉛直向上運動呈現頭腳交互上下垂直圓周方向的連續快速翻轉姿態，落點更集中且不偏斜。
- 五、一塊只有 0.78 克重的小墊片，黏貼在彈跳板靠近腳（底）部位置，不論作鉛直向上或斜向拋物運動，都能有最完美的翻轉表現。主因是小墊片起跳瞬間推動翻轉的推力，更重要是平衡了頭部膠帶的重量，讓轉動重心兩端力臂更平均更對稱，使整體轉動系統的轉動慣量更小更容易翻轉；而持續快速的翻轉也使得轉動的角動量更穩定維持固定的方向，能一路翻轉有穩定不偏斜的落點，翻滾彈出漂亮舞姿。

陸、參考文獻資料

一、科展作品

1. 我要比你跳更高。新北市 109 學年度中小學科學展覽會
2. 跳跳板的最佳化設置。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品。
3. 翻轉吧！花式體操運動員。新北市 112 學年度中小學科學展覽會。

二、網路資料

1. 研究動機圖片來源(1)引自中華民國游泳協會
https://ctsa.utk.com.tw/CTSA_web/public/photo.aspx?albumid=11
2. 南一書局國民中學自然科學三上(2023)。
3. 南一書局國民高級中學物理(2023)。
4. 彈跳玩具。中教大科學遊戲實驗室。取自 <http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-057.html>
5. 跳跳板。第 20 屆遠哲科學趣味競賽。取自
<http://www.ytlee.org.tw/ScienceContestFiles.aspx>
6. 尋找神秘平衡點。生活裡的科學。取自
<https://www.youtube.com/watch?v=4d-9EcwyrVg>

7. 穩如泰山的重心。生活裡的科學。取自
<https://www.youtube.com/watch?v=vtBuYaQ3fwU>
8. 重心與質心。均一教育平台。取自
<https://www.youtube.com/watch?v=WWXlJXNs7ko&list=PLp2Y5q36tB-My48bMajEE3xI2Rl2gOnuj&index=11>
9. 重心與平衡。均一教育平台。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=LO4rrGqVwzg>
10. 拋體運動的軌跡。中教大學物理演示。取自
https://www.youtube.com/watch?v=9f4t_WjjS5o
11. 動能與位能。均一教育平台。取自 https://www.youtube.com/watch?v=JspDv_7noLQ
12. 力學能守恆。均一教育平台。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=U4T7IGq71Ec>
13. 作用力與反作用力。均一教育平台。取自
<https://www.youtube.com/watch?v=SVYgDBYysjo>
14. 維持轉動平衡的角動量。生活裡的科學。取自
<https://youtu.be/EzTzQDJeAUo?si=7M6uWZup36p-zbyl>
15. 一轉動未條的角動量、指尖陀螺、轉動慣量。TRY 科學。取自
<https://youtu.be/FCKWGaHBUTQ?si=4PfwvLsXFGhJKbM>
16. 角動量。維基百科。取自
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%A7%92%E5%8A%A8%E9%87%8F>
17. 轉動慣量(慣性矩)的介紹。佑來認真教。取自
<https://www.youtube.com/watch?v=Y8WEDmse63Y>
18. 轉動慣量。維基百科。取自
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%BD%89%E5%8B%95%E6%85%A3%E9%87%8F>
19. 白努力定律。維基百科。取自
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%BC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B>
20. 貼壁走的附壁(康達)效應。TRY 科學。取自
<https://www.youtube.com/watch?v=PmjnE0mfod8>
21. 附壁(康達)效應。維基百科。取自
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%BA%B7%E9%81%94%E6%95%88%E6%87%89>
22. 附壁(康達)效應-阿駿日常。澳門科學館。取自
<https://www.youtube.com/watch?v=zz8GG34-d7E>

【評語】 080109

雖然此主題已有很多文獻探討，但是本研究仍然能夠做出許多與前人不同的地方，展現出自己的獨創性。在過程中彈跳板的設計或是重心的改變，設計得非常精密嚴謹，並且探討了許多變因的影響。尤其在最後還能讓彈跳板產生旋轉和翻轉的現象，更是本研究的一大亮點。整體來說，整個作品兼具科學深度和巧思創意，對相關研究或教學示範具有不錯的參考價值。

作品海報

翻

滾

吧！

花式彈跳板的
跳躍軌跡探討



摘要

有趣彈跳板能像游泳選手在起跳台用力一蹬，產生不一樣彈飛運動。本研究發現：自製20度斜坡擺在高度10公分彈跳蹬台，彈跳板對折後把頭部放置與稜線距離3公分，起跳瞬間用高速攝影分析起跳角度接近45度，而且後側板對斜面及拉緊橡皮筋撞擊稜線都會產生下壓作用力，獲得斜向反作用合力，出現對稱彈跳軌跡，彈飛水平距離最遠203.2公分。當彈跳板鉛直向上，姿態如芭蕾舞者，呈現連續左右水平圓周方向快速旋轉，軌跡最直不傾斜！令人驚豔是彈跳板黏貼小小墊片竟能彈飛精采多樣的舞姿，當彈跳板斜向拋物，會逆時針連續後滾翻；當增加配重，翻轉變超快，落點更集中；當墊片黏腳部重心降低，有頭上腳下垂直圓周方向連續快速翻轉現象，非常有趣！

壹、研究動機

游泳選手在起跳台上，腳尖和雙手緊扣住蹬台前緣，身體前傾重心轉移準備起跳，接著手腳往蹬台方向用力蹬，身體在空中以最小的阻力騰空、入水。讓我們聯想到一個簡單又有趣的小玩具「彈跳板」，如果加上小小物品改變重心，藉由蹬台給予一臂之力，是否能讓彈跳板有不一樣往前飛行的姿態呢？這一連串的動作隱藏多少有趣的科學原理？決定研究彈跳板奧秘。



游泳起跳台
(參考圖片來源1)

貳、研究目的

- 一、研究彈跳板的製作和測量方法與科學原理。
- 二、探討不同角度的斜坡，對彈跳板彈飛的水平距離影響。
- 三、探討彈跳板頭部與稜線的不同距離，對彈跳板彈飛的水平距離影響。
- 四、探討不同高度的彈跳蹬台，對彈跳板彈飛的水平距離影響。
- 五、探討彈跳板起跳瞬間的運動力學與彈跳運動軌跡分析。
- 六、探討改變彈跳板重心位置，對彈飛最高高度、水平距離、彈跳運動軌跡、旋翻轉姿態及落點分布的影響。

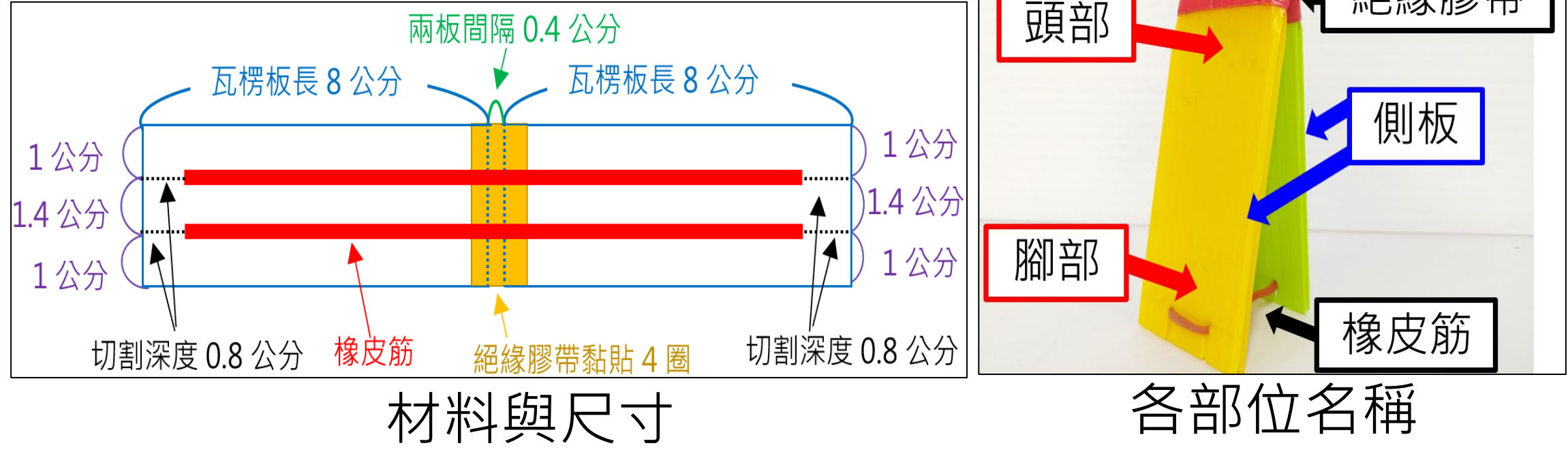
參、研究設備及器材

瓦楞板、絕緣膠帶、橡皮筋、測距儀、木板、蝴蝶夾、量角器、棉線、迴紋針、壓力克方形盒、墊片、水平儀、高速攝影機、碼表、電腦分析軟體、筆、筆記本。

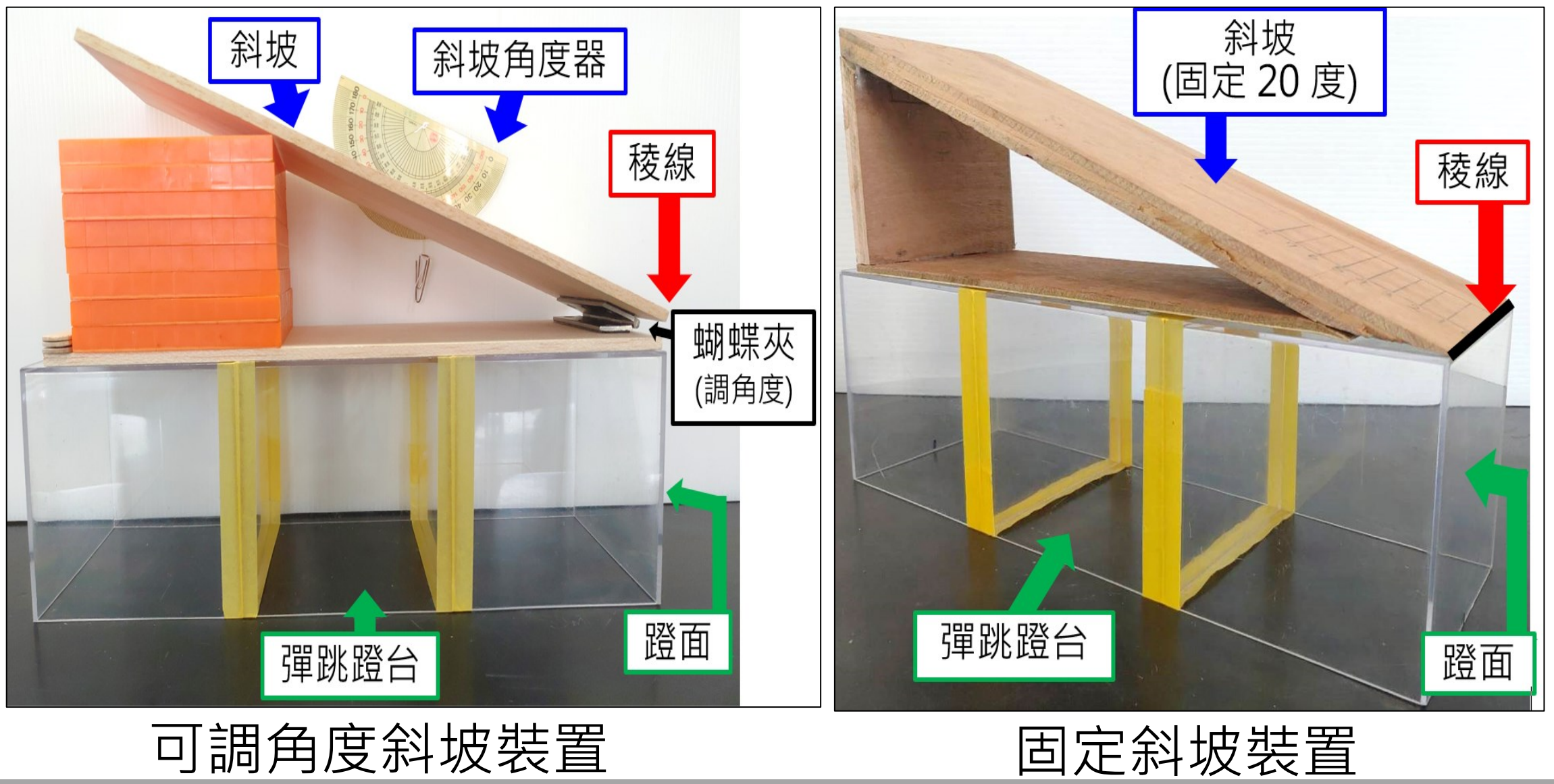
肆、研究方法、過程及結果

一、研究彈跳板的製作和測量方法與科學原理。

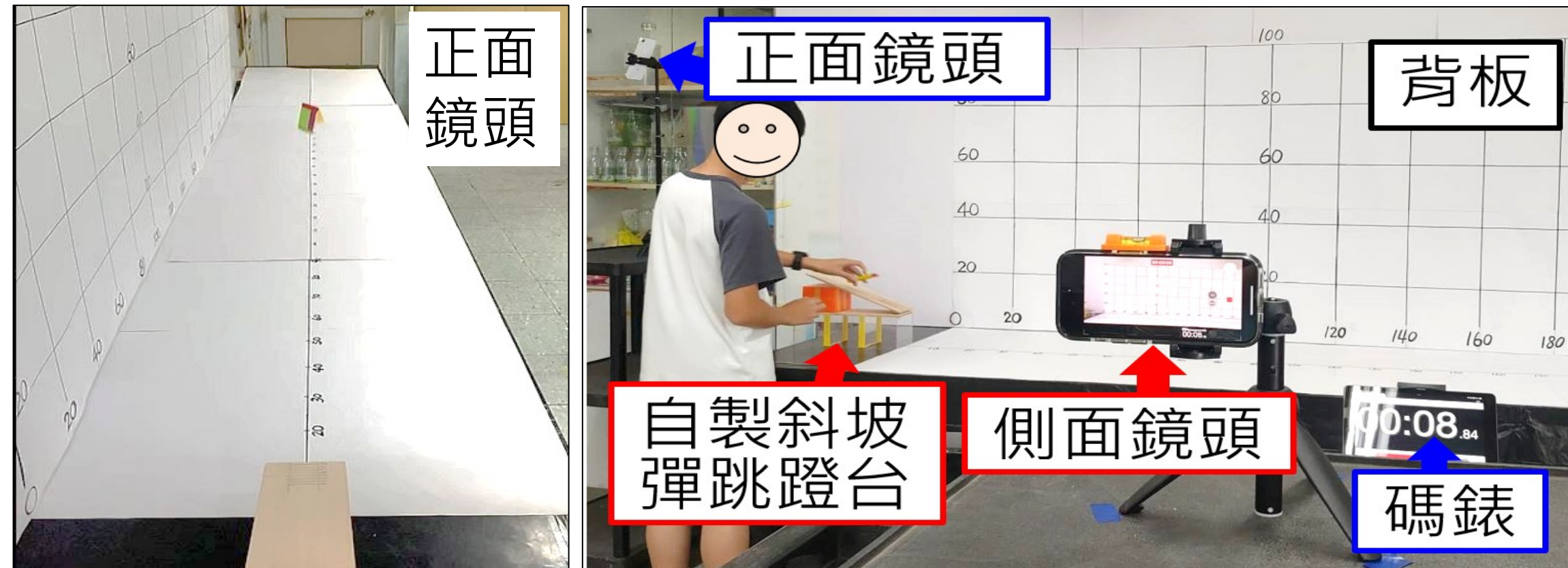
一、彈跳板的介紹



二、自製斜坡裝置和彈跳蹬台

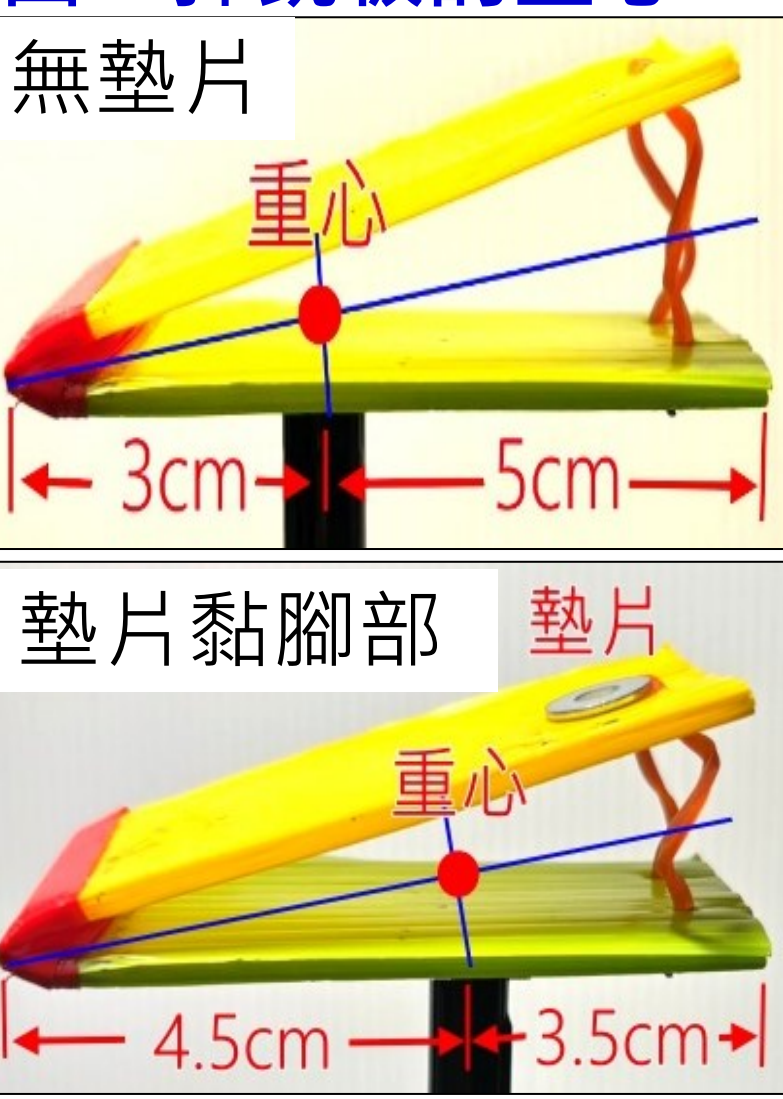


三、實驗操作與紀錄

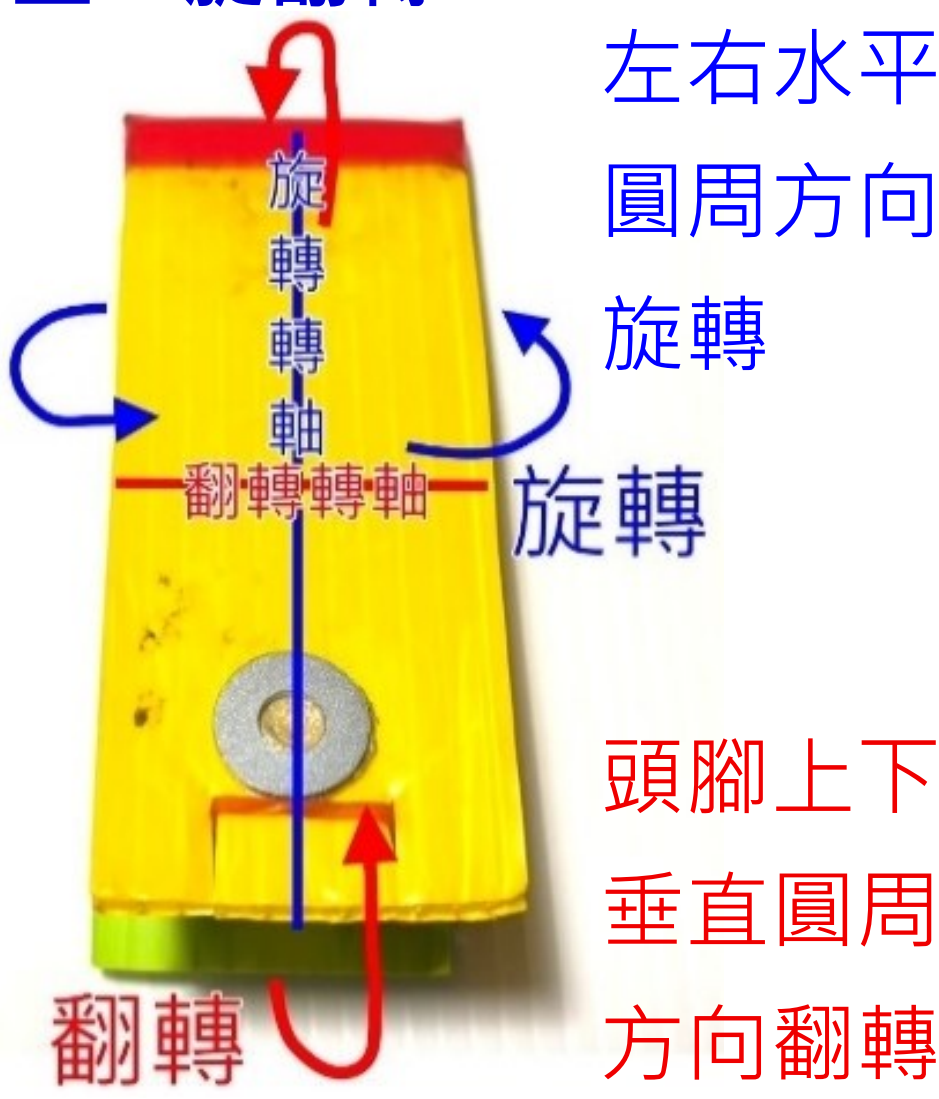


1. 操作彈跳板：翻折→就位→起跳瞬間→彈飛運動→落點
2. 使用高速攝影每秒240幀數，錄製特寫鏡頭、整體側面和正面鏡頭，匯入電腦軟體分析，最後統整分析並歸納。

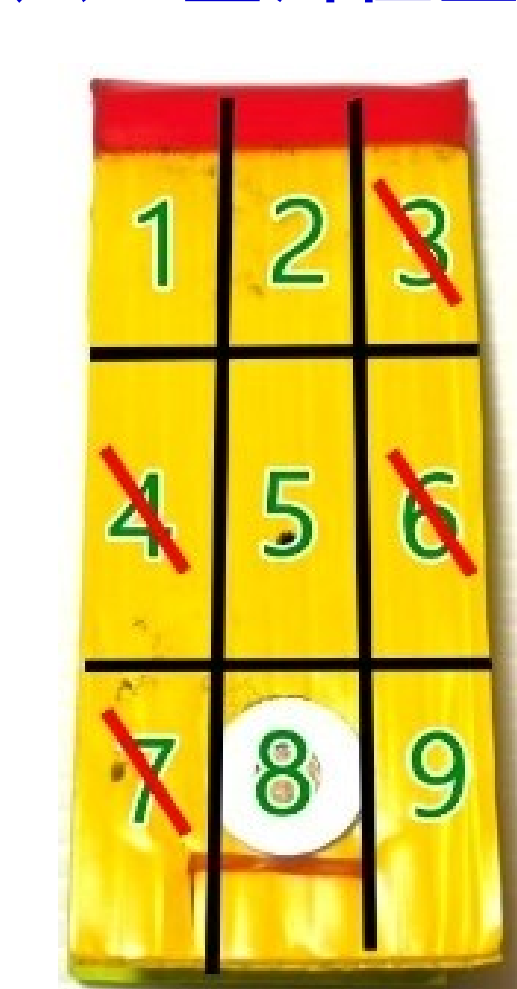
四、彈跳板的重心



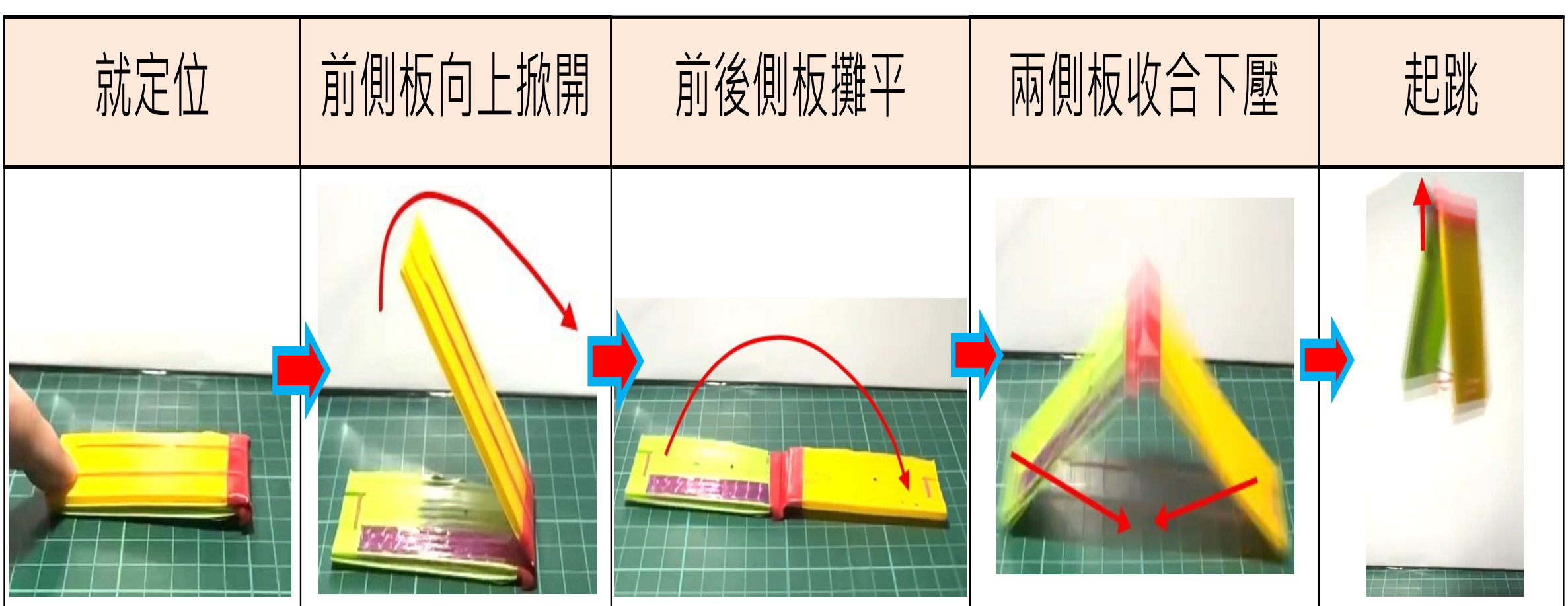
五、旋翻轉



六、墊片位置

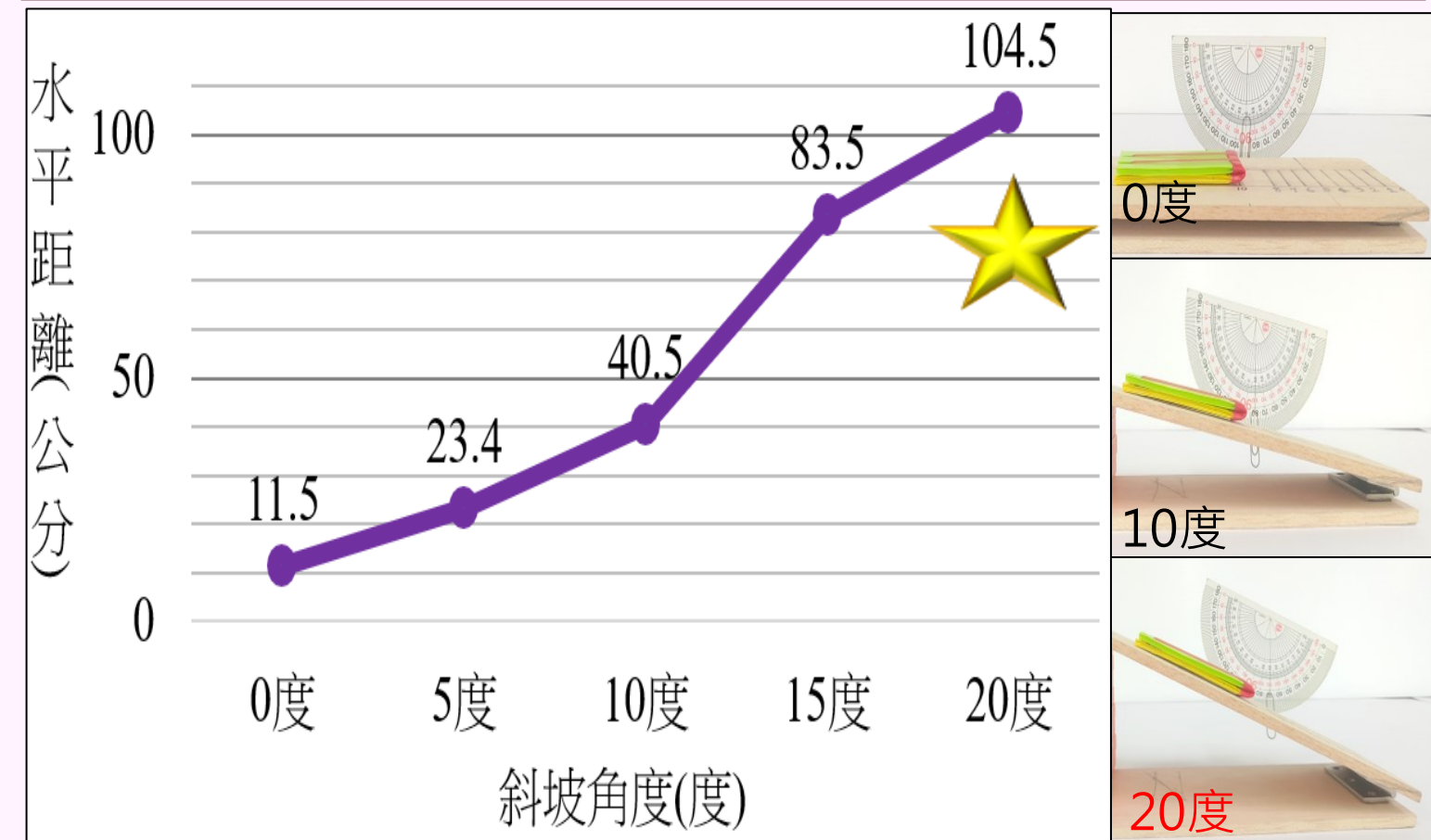


七、彈跳板的彈跳過程結合科學原理



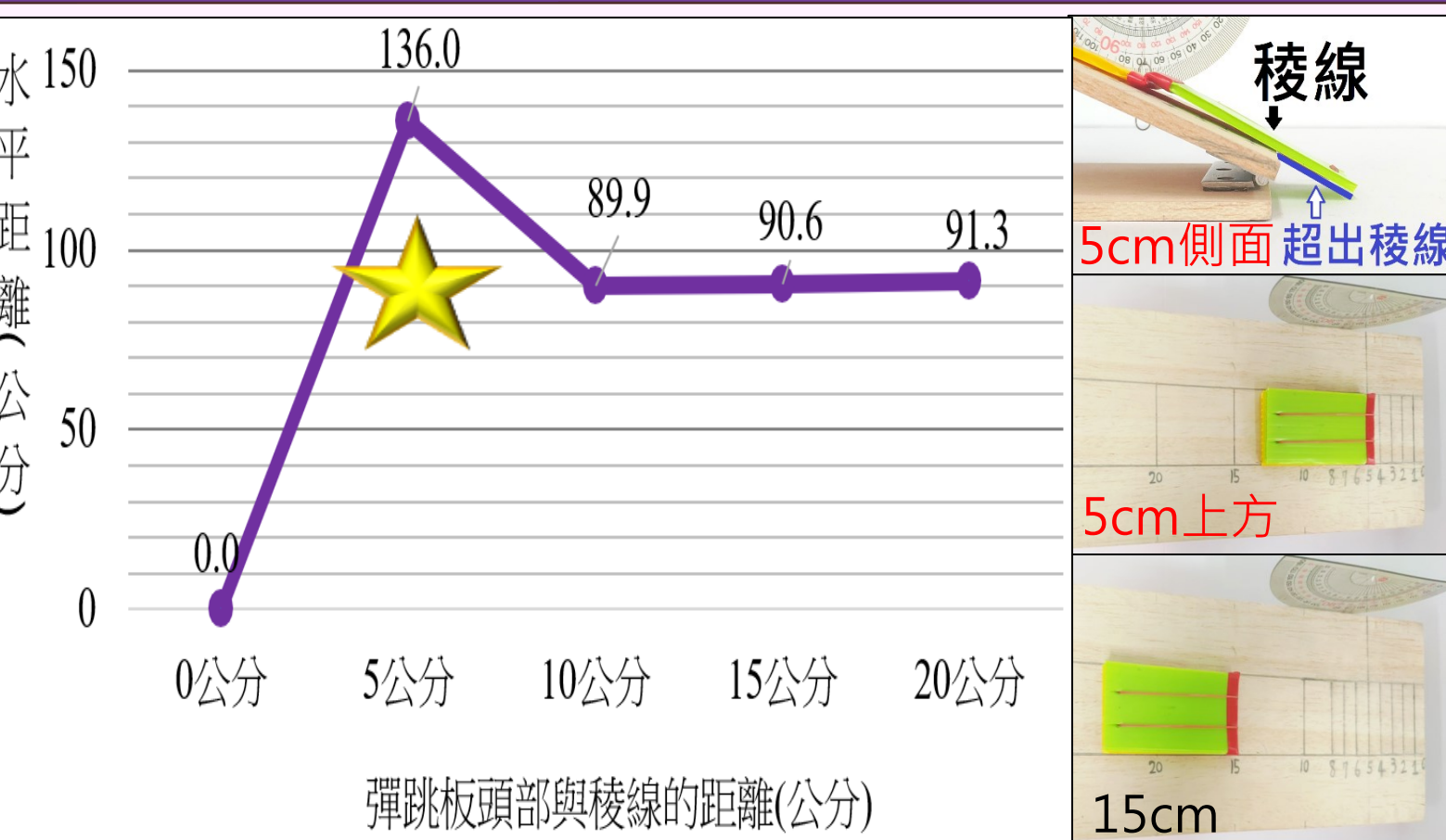
- 1.兩側板平穩拉開攤平再對折，橡皮筋被拉長具彈性能。
- 2.彈跳板放到斜坡，手按壓中心點離開後，側板因橡皮筋的力緩慢掀開，再受橡皮筋的力迅速收縮合併，彈性能被釋放。
- 3.此能量傳到斜面，使彈跳板對斜面施加作用力，而斜面也給予同大小和反方向的反作用力，轉換為動能斜向拋物彈飛。
- 4.當彈飛到最高高度時，速度為零，動能耗盡為零，轉變重力位能，最後落到桌面，符合力學能守恆。
- 5.增加彈跳板配重，使重心位置改變，有旋翻轉姿態的差異。

二、不同角度的斜坡，對彈飛水平距離影響



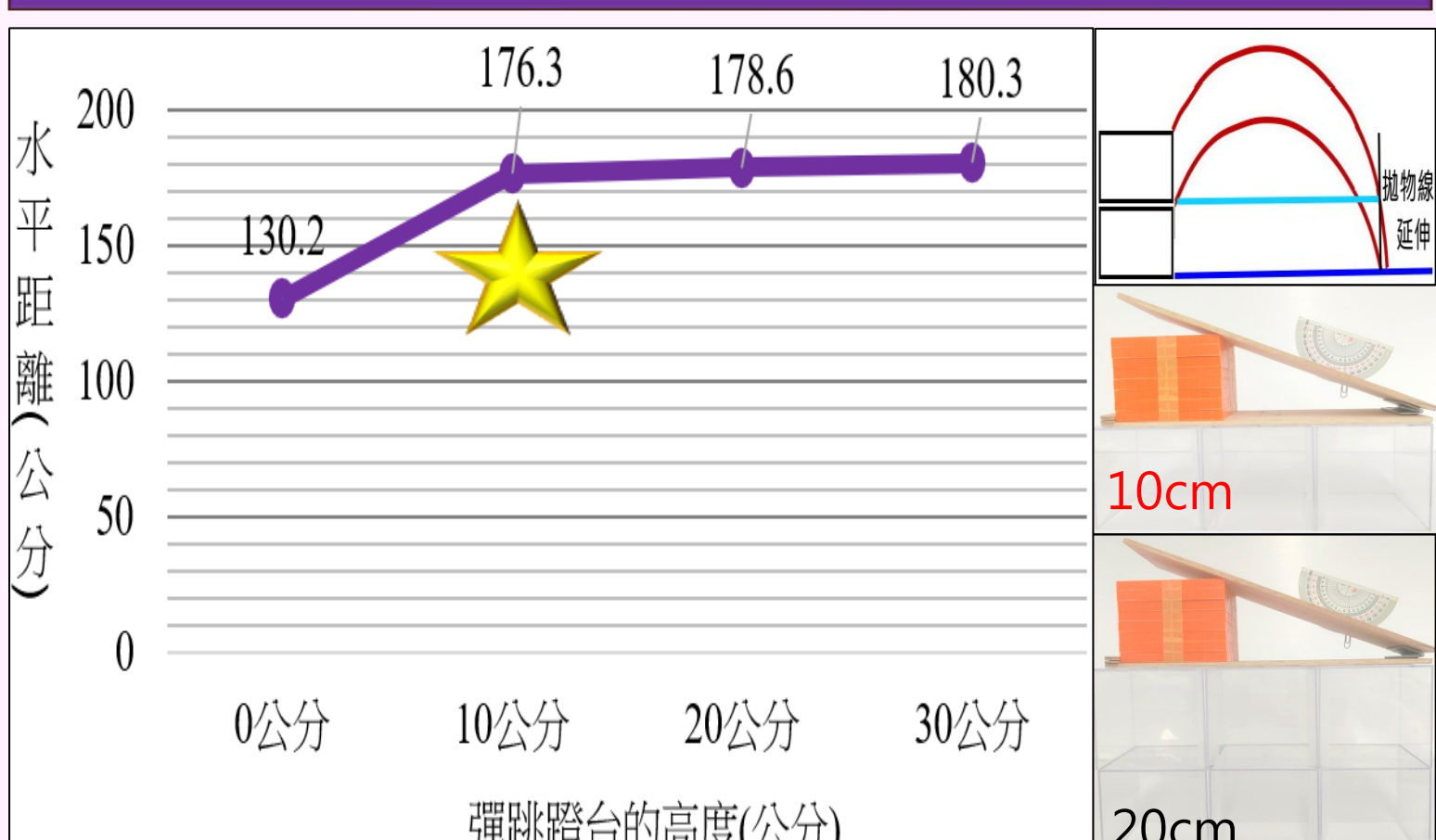
- 1.斜坡20度達到穩定不下滑的最大角度，彈飛距離達最遠104.5公分。
- 2.斜坡較緩低於15度，斜向飛遠的能量較小，彈飛水平距離較近。
- 3.斜坡25度以上，會往下滑動無法定位甚至滑落桌面，導致彈跳歪斜偏移。

三、彈跳板頭部距離稜線，對彈飛水平距離影響



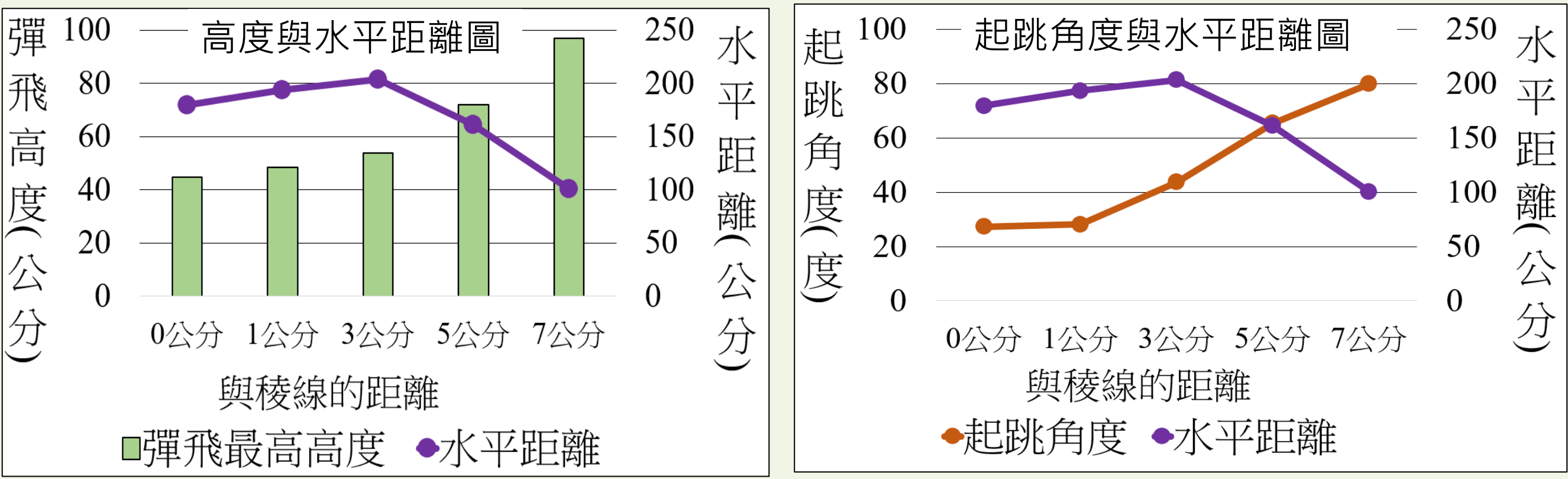
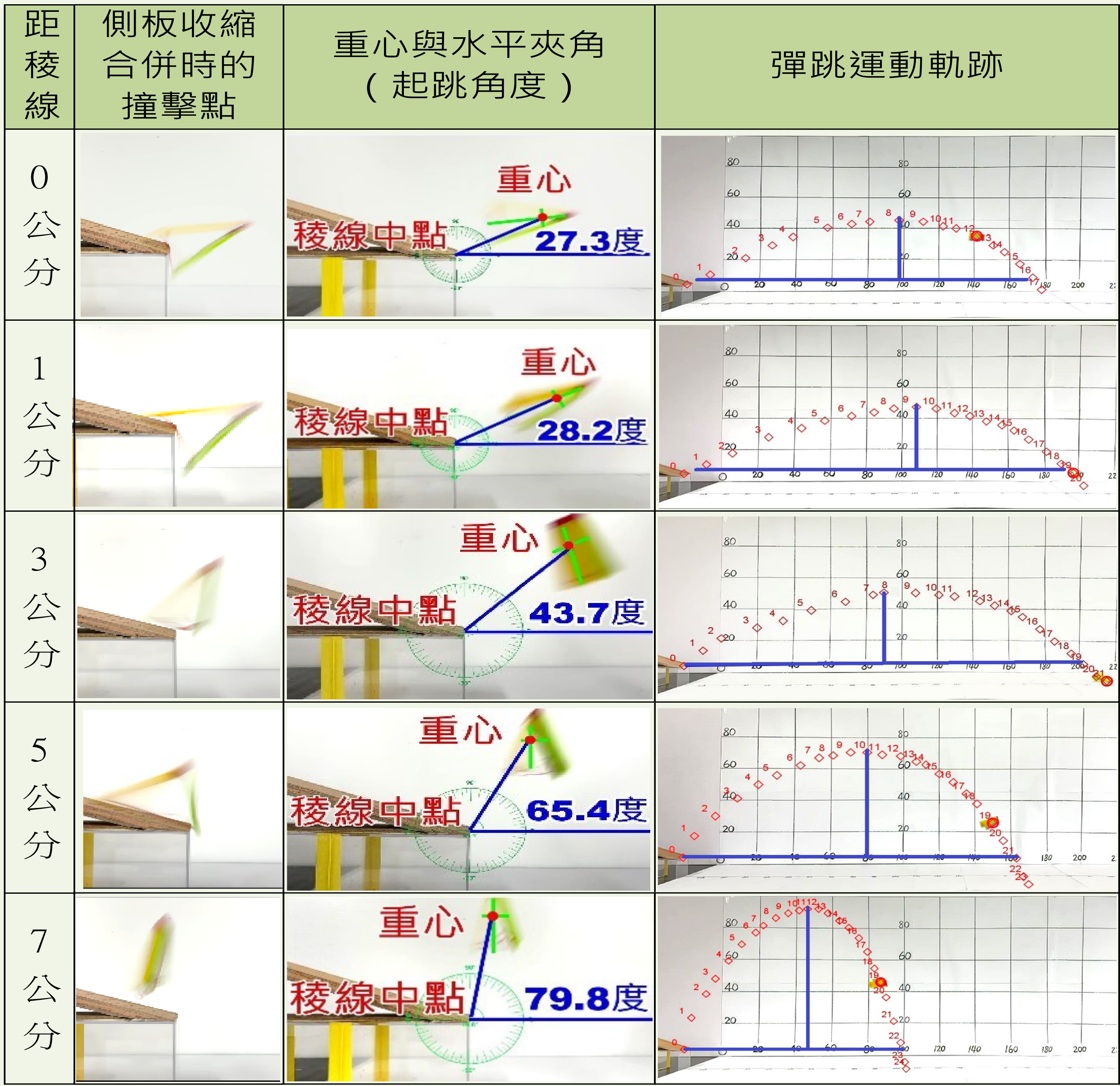
- 1.斜坡20度，放置與稜線距離5公分，彈飛距離最遠136公分，因部分側板超出稜線，增加橡皮筋壓稜線的力。
- 2.彈跳板完全攤平斜面，因同角度的斜坡，彈飛能量相同，彈飛的距離相近。

四、不同高度彈跳蹬台，對彈飛水平距離影響



- 1.斜坡20度擺在高度10公分的彈跳蹬台，把彈跳板頭部放置與稜線距離5公分，彈飛距離176.3公分。
- 2.在相同斜坡角度，彈飛能量相同，拋物線幾乎相同，彈飛距離稍微增加，產生拋物線向下向遠的延伸。

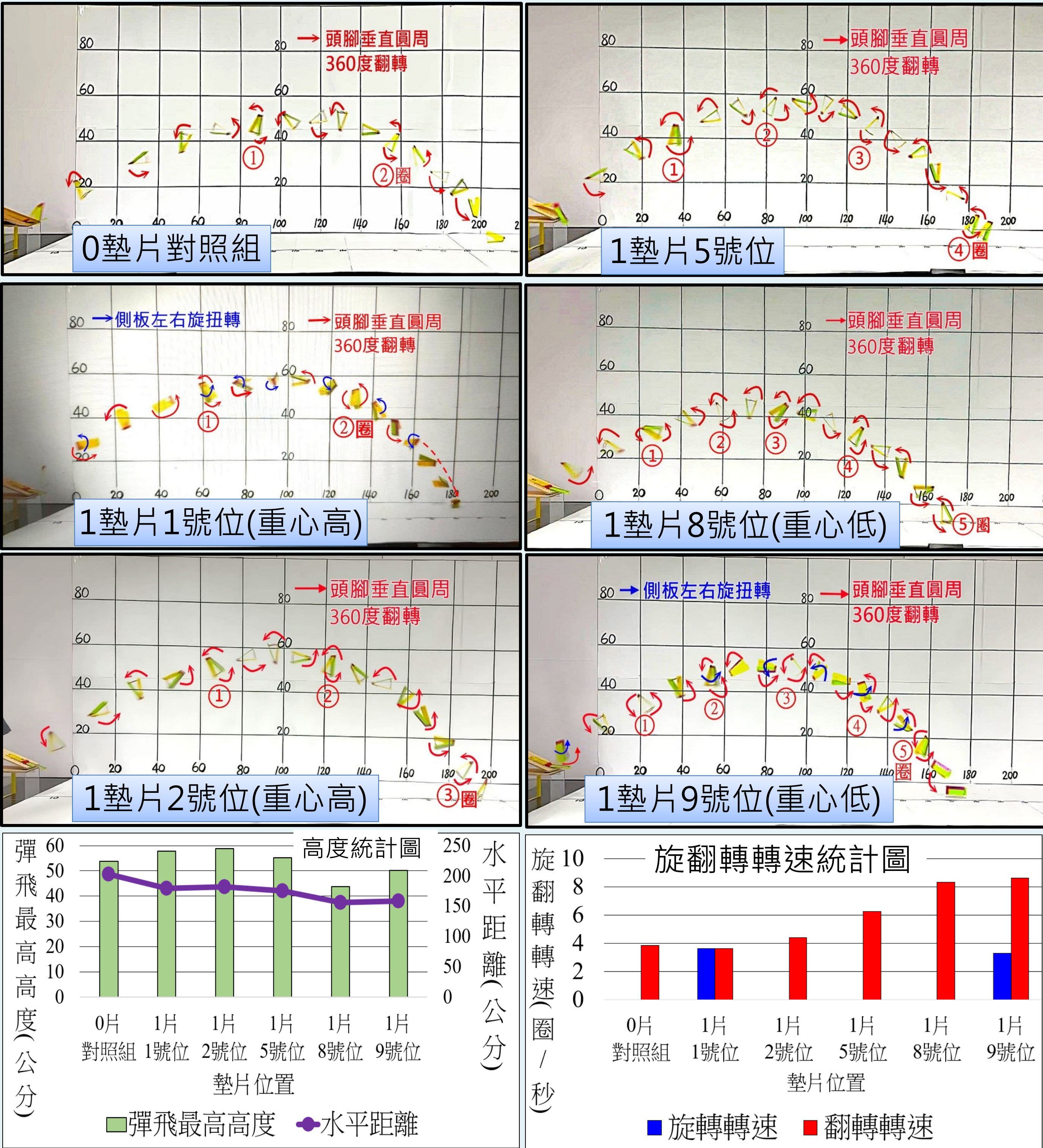
五、起跳瞬間的運動力學與彈跳軌跡分析



1. 撞擊點：距稜線0公分，橡皮筋壓稜線，以及前側板拍蹬面；距稜線1、3、5公分，橡皮筋會壓稜線；距稜線7公分，橡皮筋只壓斜面。
2. 距稜線3、5、7公分，跳越高就跳不遠，跳越遠就跳不高。
3. 斜坡20度擺在高度10公分的彈跳蹬台，彈跳板放置距稜線3公分，起跳角度最接近45度，能給與彈跳板最大力量，彈飛的水平距離達203.2公分，有對稱的彈跳軌跡。

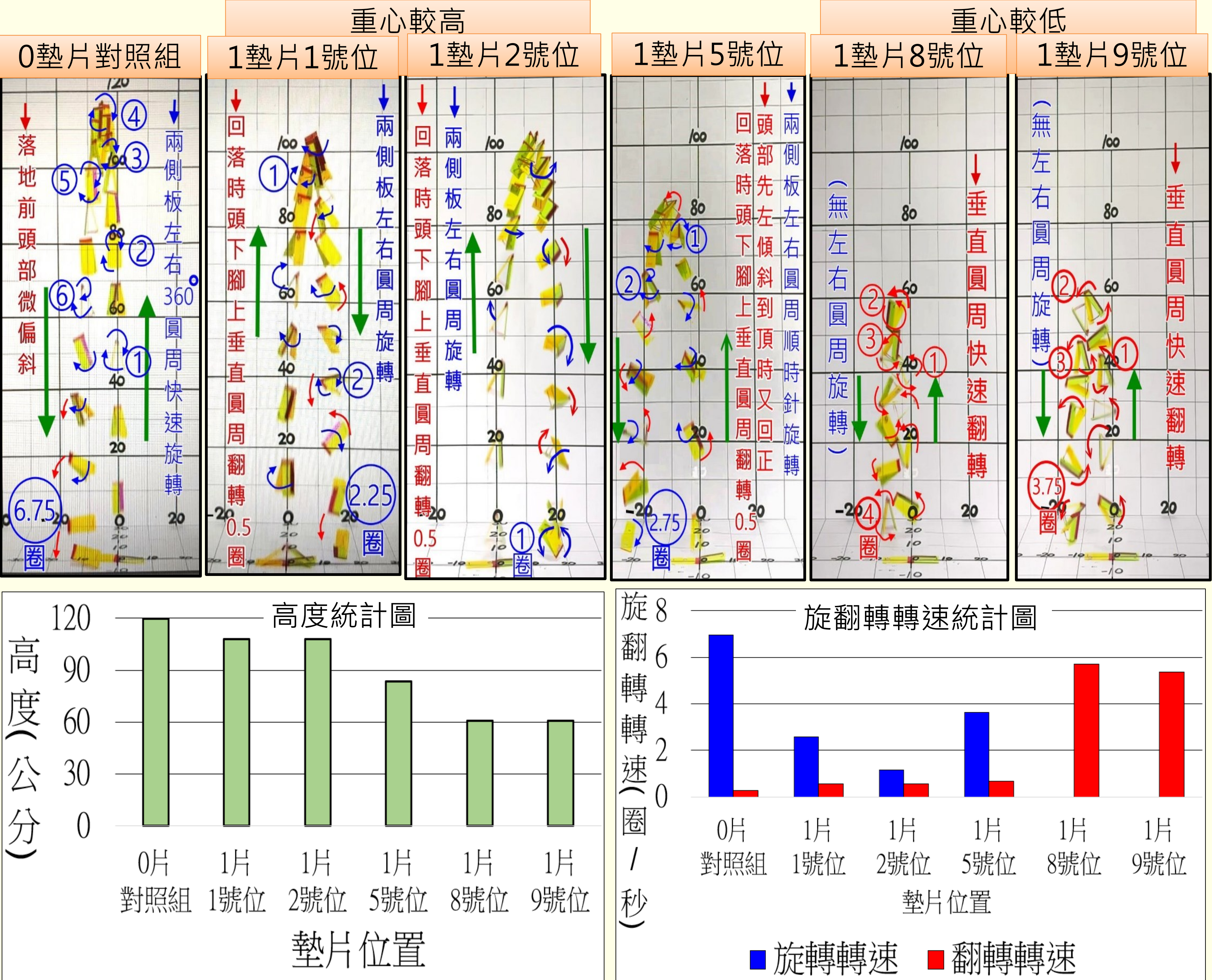
六、改變彈跳板重心，對彈飛最高高度、水平距離、軌跡、旋翻轉姿態及落點分布

六-1彈跳板斜面跳遠之斜向拋物運動



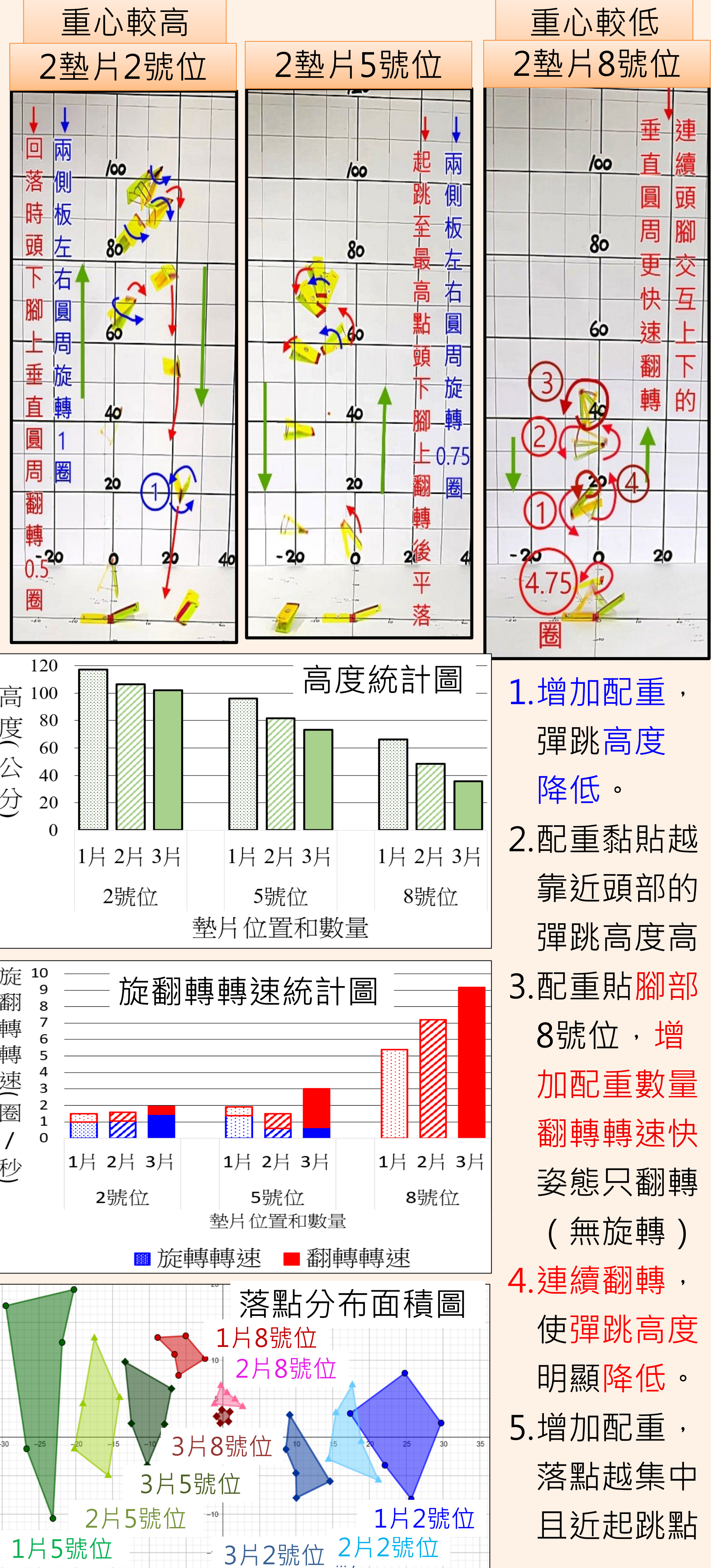
- 落點分布面積圖
-
- 1片1號位
- 1片8號位
- 1片2號位
- 1片5號位
- 0片對照組
1. 全程以彈跳板重心為轉軸中心作連續逆時針後滾翻向前拋飛。
 2. 僅墊片黏貼1、9號位的不對稱彈跳板有左右方向旋扭轉的運動姿態。
 3. 對照組0墊片，重量較輕，彈飛距離最遠。
 4. 墊片黏腳部8、9號位，彈飛高度較低，水平距離也較近。
 5. 墊片黏貼2、5、8號位落點集中在中軸線。

六-2彈跳板鉛直向上彈跳運動



- 落點分布面積圖
-
- 1片9號位
- 1片8號位
- 1片2號位
- 0片對照組
- 1片5號位
- 1片1號位
1. 對照組0墊片，落點集中在起跳點，偏移最少
 2. 墊片黏貼腳部8、9號位落點也很集中，墊片黏貼1、2、5號位，落點較分散。
 3. 對照組0墊片的彈跳板重量最輕，彈跳最高，起跳後鉛直向上幾乎沒有傾斜，回落也是挺直落下，兩側板以左右360度圓周方向快速旋轉。
 4. 墊片黏貼1、2、5號位的重心會提高，仍表現兩側板左右圓周方向旋轉的運動姿態，只是轉速較對照組0墊片的慢。
 5. 墊片黏貼腳部8、9號位，彈跳姿態大不同，呈現連續快速的頭腳交互上下的垂直圓周翻轉運動，且無側板左右圓周的旋轉現象。

六-3增加2、3片配重鉛直向上



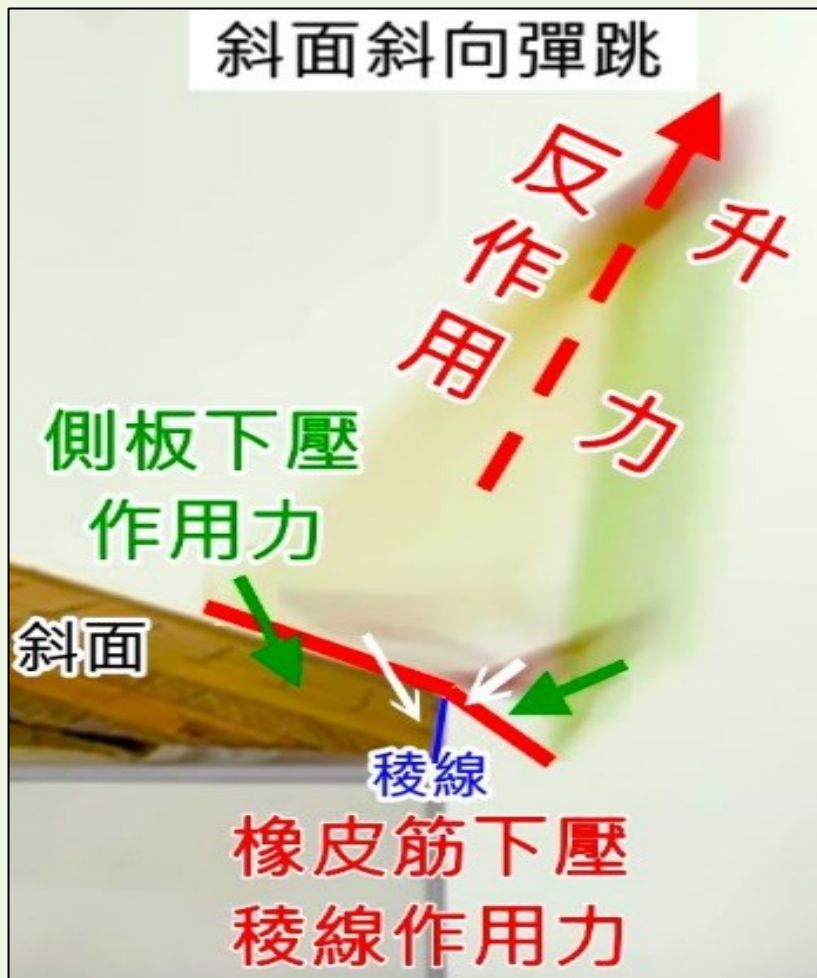
伍、討論

起跳瞬間

一、彈跳板的起跳瞬間分析

距稜線位置	0公分	1公分	3公分	5公分	7公分
彈飛最高高度	低	低	中	高	最高
彈飛水平距離	中	中	最遠	近	最近
起跳角度(度)	小於45	小於45	接近45	大於45	大於45
前側板超出稜線	完全	完全	部分	部分	部分
側板收合打蹬面	○	X	X	X	X
側板收合時，橡皮筋壓在稜線	○	○	○	○	X
彈跳軌跡有對稱	X	X	○	X	X

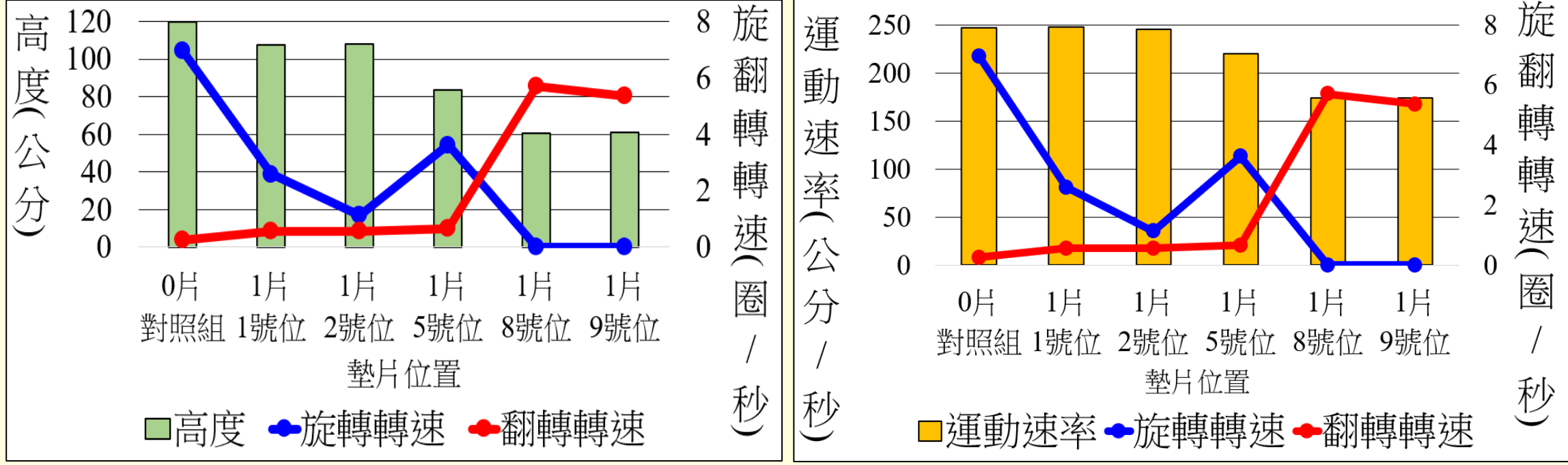
二、彈跳板的彈跳力學分析



- 最佳斜向拋物的彈跳板為例，橡皮筋會釋放彈性能使前側板掀開，兩側板向內收合時，後側板對斜面，再加上拉開的橡皮筋下壓稜線的下壓作用力，使彈跳板獲得較大斜上反作用合力，再轉換為動能使彈跳板斜向拋物彈飛到空中，起跳角度接近45度，順勢彈飛距離達最遠，有對稱的彈跳運動軌跡。
- 在桌面就定位，兩側板向內收合併產生對桌面的下壓作用力，彈跳板獲得向上反作用合力，順勢往上彈跳。

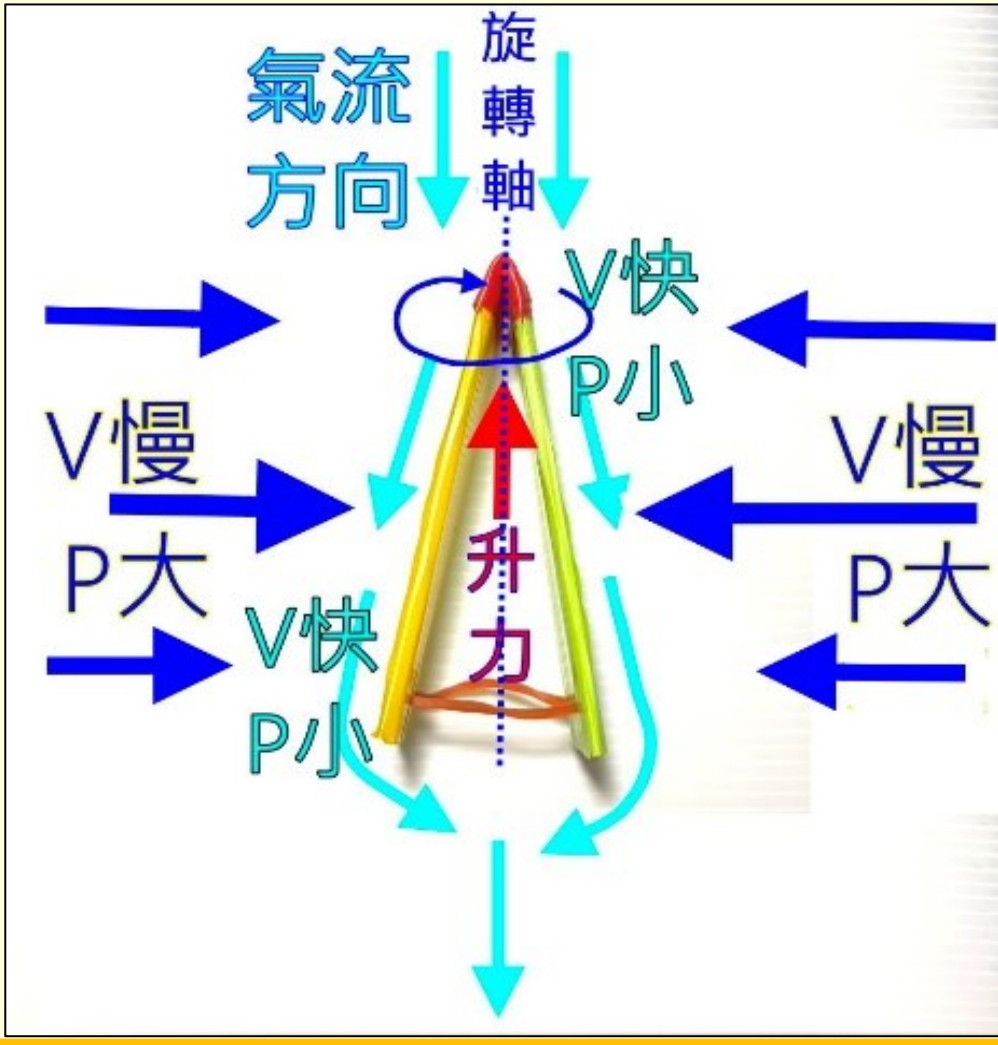
鉛直向上彈跳運動

六、鉛直向上運動的整合分析



墊片在腳部重心低，垂直圓周快速翻轉，能量分配鉛直向上移動和左右旋轉的能量轉移給頭腳上下翻轉轉動的動能，翻轉動能變大，重心移動的動能變小，移動高度和速率都偏低。

七、為何對照組0墊片有連續快速左右水平圓周方向旋轉？



兩側板外斜，彈升時氣流因附壁(康達)效應沿側板外緣往下快速流動，兩側流速快壓力小，外圍壓力大氣流向內擠壓，推動快速旋轉，角動量維持固定鉛直方向，軌跡最直，姿態如芭蕾舞者。

陸、結論

- 彈跳板黏貼一塊小小的墊片竟能彈出這麼精采多樣的舞姿，實在令人驚豔。
- 最佳斜向跳遠彈跳板：自製20度斜面架在高度10公分的彈跳蹬台，彈跳板頭部放置與稜線距離3公分，起跳瞬間橡皮筋釋放彈性能，起跳角度最接近45度。後側板對斜面以及前側板拉緊橡皮筋撞擊稜線的下壓作用力，使彈跳板獲得斜向反作用合力，再轉換為動能使彈跳板斜向拋物的水平距離達最遠203.2公分，出現圓滑漂亮的對稱彈跳運動軌跡。
- 無墊片的彈跳板在鉛直向上運動時，彈升過程中氣流因附壁(康達)效應造成兩側板產生瞬間壓力差，推動彈跳板快速旋轉；連續左右水平圓周方向的快速旋轉，使角動量維持固定的鉛直方向，軌跡最直不傾斜。
- 當增加配重(增加黏貼墊片數量)於彈跳板腳部時，在鉛直向上運動呈現頭腳交互上下垂直圓周方向的連續快速翻轉姿態，落點更集中且不偏斜。
- 一塊只有0.78克重的小墊片，黏貼在彈跳板腳(底部)，不論作鉛直向上或斜向拋物運動，都能有最完美的翻轉表現。主因是小墊片起跳瞬間推動翻轉的推力，更重要是平衡了頭部膠帶的重量，讓轉動重心兩端力臂更平均更對稱，使整體轉動系統的轉動慣量更小更容易翻轉；而持續快速的翻轉也使得轉動的角動量更穩定維持固定的方向，能一路翻轉穩定不偏斜的落點，翻滾彈出漂亮舞姿。

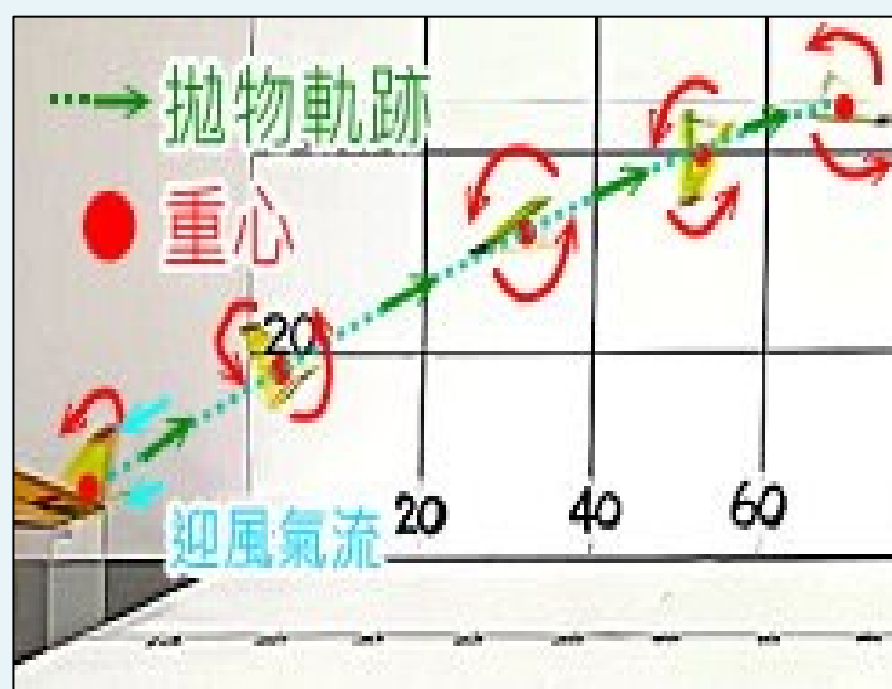
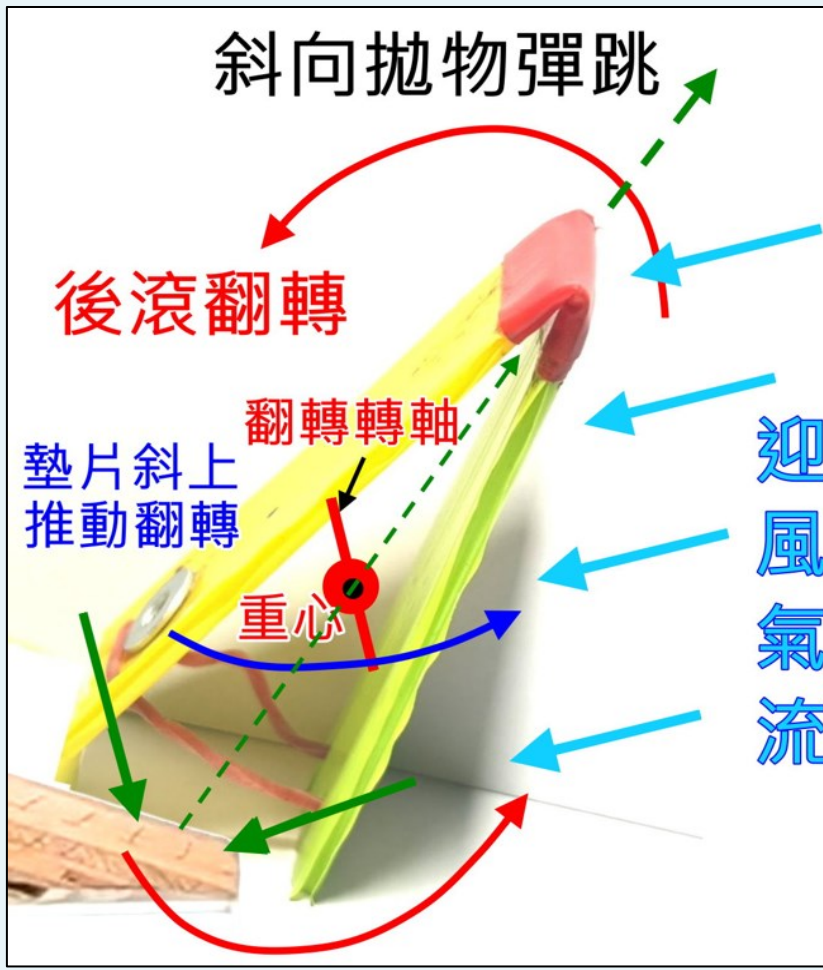
柒、參考文獻資料

- 我要比你跳更高。新北市109學年度中小學科學展覽會
- 跳跳板的最佳化設置。中華民國第59屆中小學科學展覽會作品
- 翻轉吧！花式體操運動員。新北市112學年度中小學科學展覽會
- 南一書局國民中學自然科學三上(2023)。
- 南一書局國民高級中學物理(2023)。
- 研究動機圖片來源(1)引自中華民國游泳協會https://ctsa.utk.com.tw/CTSA_web/public/photo.aspx?albumid=11
- 跳跳板。第20屆遠哲科學趣味競賽。取自<http://www.ytlee.org.tw/ScienceContestFiles.aspx>

*本研究照片及統計圖表，均為作者與指導老師拍攝和繪製。

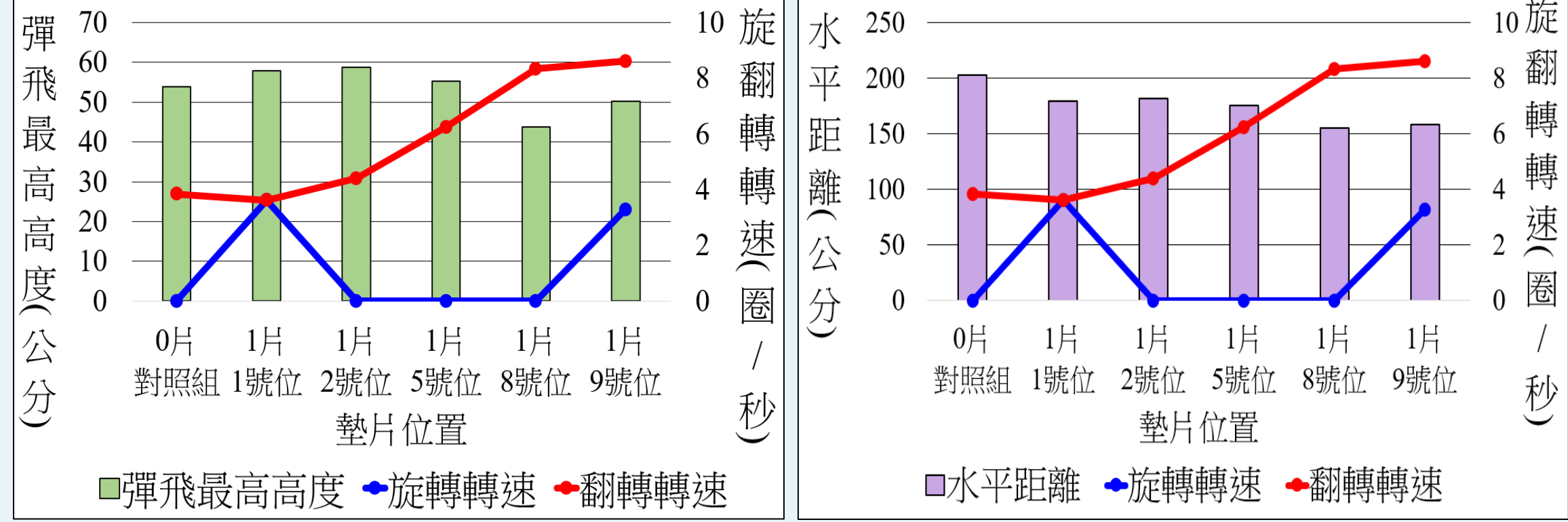
斜面跳遠之斜向拋物運動

三、為何都是逆時針連續後滾翻的姿態？



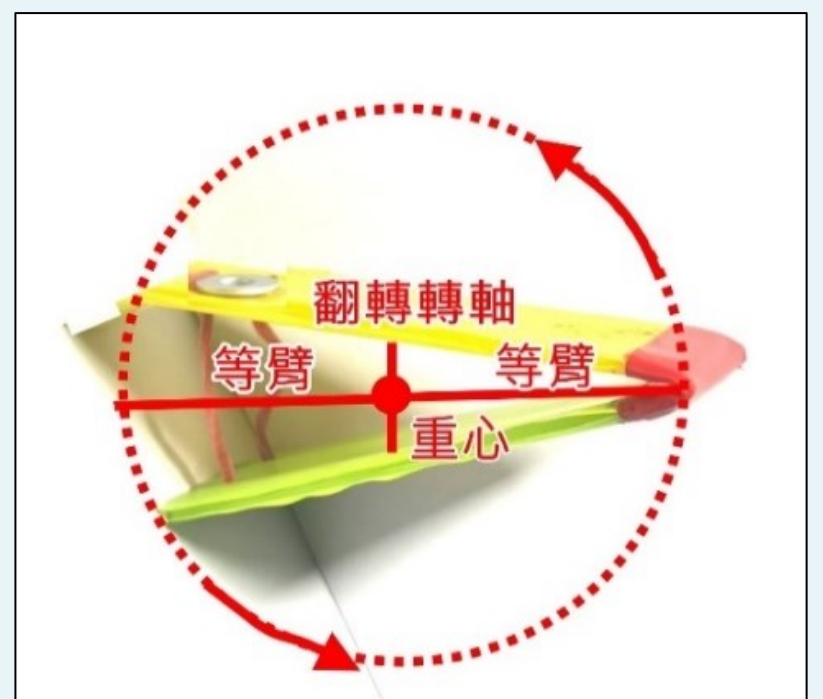
頭部迎風後仰，墊片後側板隨反作用力順勢斜上推動翻轉，其中拋物軌跡就是重心連線。

四、斜向拋物運動的整合分析

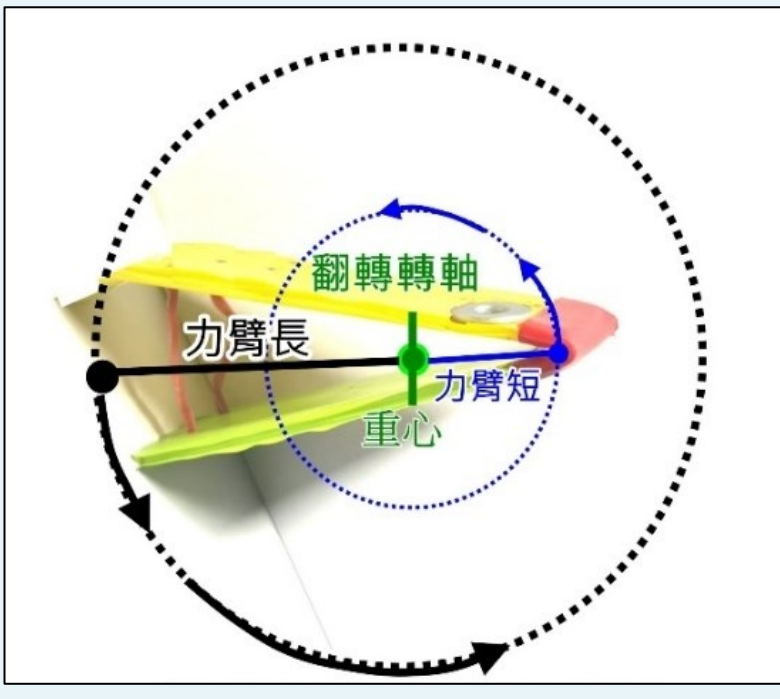


- 墊片在腳部重心低，雖轉速快，使彈飛距離近，高度也低。移動能量轉移給轉動動能，轉動動能變大，移動動能變小。
- 對照組最輕，彈飛最遠；墊片頭部拉高重心，拉高彈飛高度

五、為何墊片黏腳部轉速最快？



轉動力臂對稱

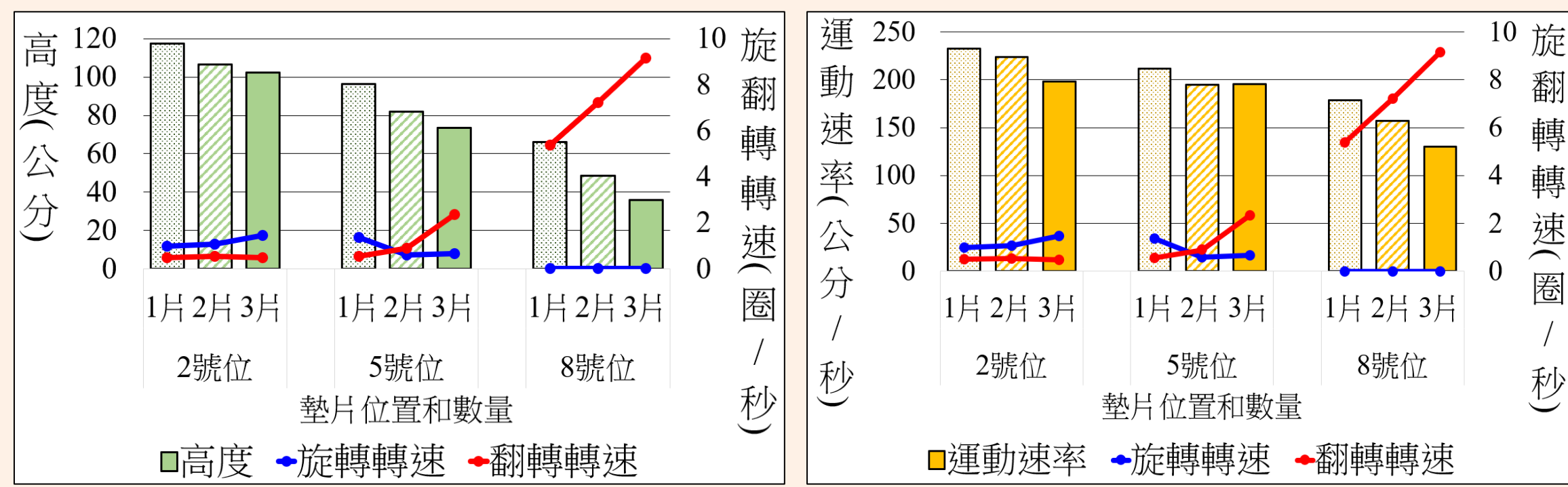


轉動力臂不對稱

重心下移近中間，以重心為轉軸中心的兩端側板較平均，轉動力臂更對稱有利持續翻轉，轉動慣量較小。

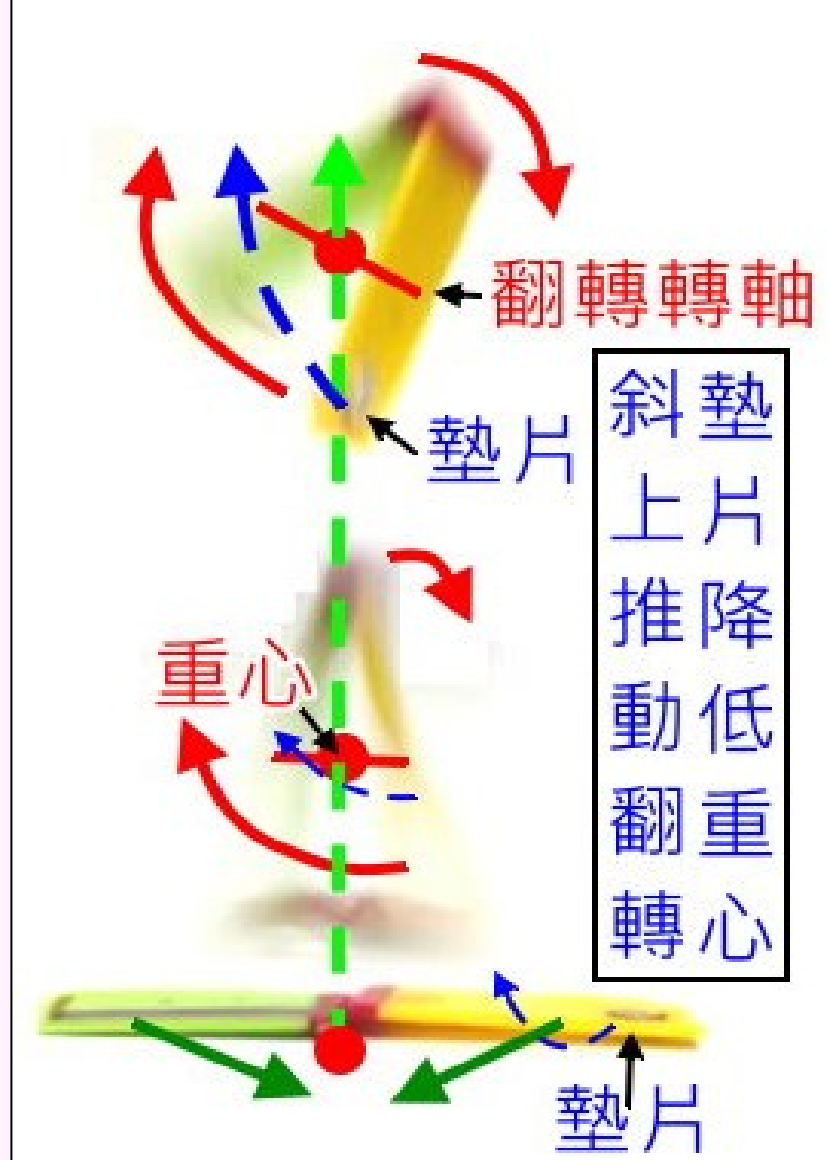
增加2、3片配重鉛直向上

八、增加配重鉛直向上運動的整合分析



墊片增加到2~3片只黏腳部8號位，翻轉轉速明顯變超快，使移動的高度與上下移動平均速率明顯降低，和能量轉移有關。

九、為何墊片黏腳部會有不同方向的翻轉？



順時針翻轉



逆時針翻轉

- 翻轉方向由墊片貼的位置決定。
- 墊片在右，則由右向左推動順時針翻轉。
- 墊片在左，則由左向右推動逆時針翻轉。