

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

第一名

030107

飛躍”鈴”揚

學校名稱：臺南市私立德光女子高級中學(附設國中)

| | |
|---|------------------|
| 作者： 國三 邱怡澍 國三 蘇聖涵 國三 王慧婷 國三 蔡沛穎 | 指導老師： 鄭富全 |
|---|------------------|

關鍵詞：扯鈴、跳鈴

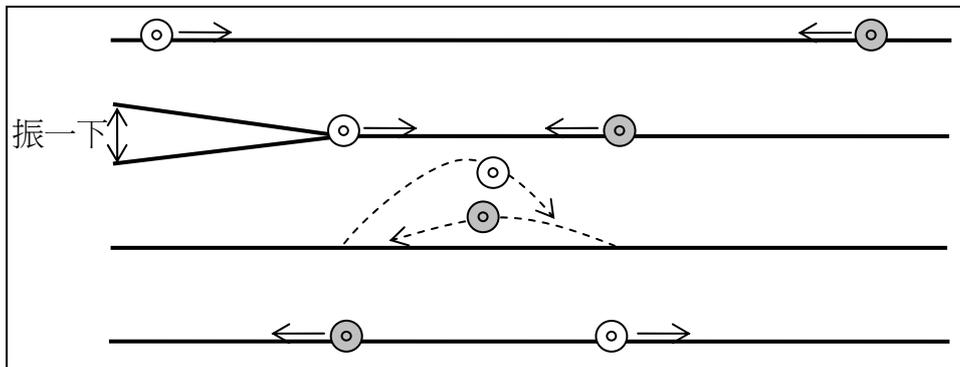
飛躍「鈴」揚

壹、摘要

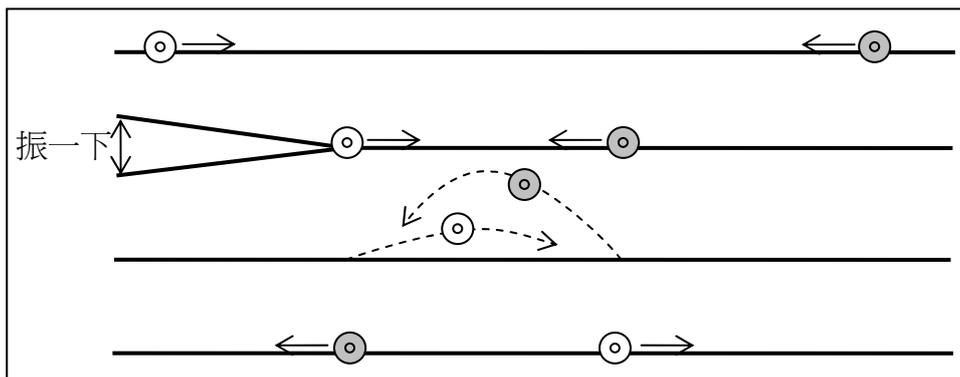
民俗技藝—扯鈴有一種稱之為「跳鈴」的團體招式，是讓同一條繩子上有兩個扯鈴作相向運動，並在表演者的手部振動下，使兩個扯鈴以不同的高度跳躍，並互相交換位置後，再回到繩子上各自繼續前進。本研究便是要提出跳鈴的假設，並設計一套模擬裝置來驗證假設，期待能找出跳鈴的秘密，並且可以運用在實際的扯鈴活動中。

貳、研究動機

我們之中有一位從國小就開始學習扯鈴的組員，擅長個人的扯鈴技巧，還在許多的扯鈴比賽中獲獎。一次在觀摩團體比賽項目時，看到一種「跳鈴」的招式讓她非常好奇——一條繩子上有兩個鈴互相接近，但只要用一股巧勁振一下繩子，兩個鈴就會以不同的高度跳起來交換位置後，落回繩子上繼續前進。最令我們感到疑惑的是，有時候看到的狀況是離振源比較近的鈴跳得比較高(如圖一)，但有的隊伍卻反而是讓離振源比較遠的鈴跳得比較高(如圖二)。



圖一 離振源較近的鈴跳得比較高



圖二 離振源較遠的鈴跳得比較高

兩種結果是不是有不同的振動技巧？或是起跳的時機不一樣？還是有其他的秘訣？一連串的疑問，我們先去詢問了學校社團的扯鈴老師，他說：「成功的關鍵全憑練習、經驗和手感。」雖然老師說的沒錯，但這不是我們想要的答案，於是轉向問自然老師，老師說：「或許是手振動的能量透過繩子對鈴做功，使鈴得到動能轉成跳高的位能，但為何能量有時這邊多？有時那邊多？我也不知道原因，但既然你們已經學過「功與能量」(翰林版第五冊第三章)，何不一起來研究看看？」因為這一句話，開始了我們的探索之旅。

參、研究目的

- 一、蒐集跳鈴的影片，觀察、歸納出跳鈴的各種招式。
- 二、使用真正的扯鈴和長繩親自體驗跳鈴的過程，並錄影分析，提出可能的假設。
- 三、研製方便操作的模擬跳鈴的實驗裝置。
- 四、控制各種變因，探討同一條繩子上，兩個受力物體在不同振動方式、不同繩子的張力以及不同相對位置的變因下，跳躍高度的結果比較。
- 五、將模擬結果與實際測試的記錄比對，判斷假設是否可以成立。

肆、研究設備與器材

一、實際測試

(一) 器材：

1. 長繩與鈴棍(繩長約900公分，比賽標準長度) 1組
2. 個人用扯鈴鈴棍 2組
3. 扯鈴(練習用) 2個

(二) 設備：相機

二、模擬實驗

(一) 器材：

1. 棉繩 1捲
2. 鐵絲、衣架 數根
3. 紙黏土 2包
4. 20g砝碼、500g砝碼、100g砝碼 各兩個
5. 力桌(當作支架) 2組

(二) 設備：相機、電腦截圖軟體、自製5毫米格子的透明板

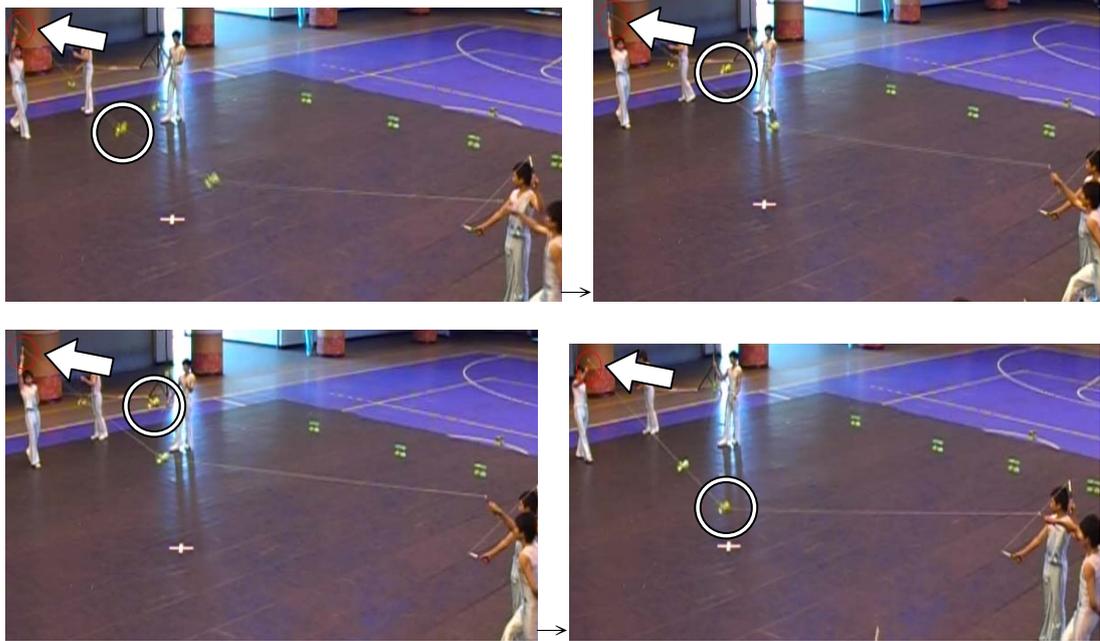
伍、研究過程或方法

一、從跳鈴的影片中歸納出跳鈴的各種招式

要找出扯鈴會跳起來的原因，我們想到的方法是先從別人的動作中學習一些基本概念。我們從網路上收集到許多扯鈴比賽的影片，將有跳鈴動作的畫面擷取下來，仔細觀察選手們的手部動作，與跳鈴的狀況。根據觀察的結果，我們歸納出三種手部的動作，爲了方便，我們根據動作特徵將這三種動作取名爲爲「挑」、「壓」、「鬆緊」。

- (一) 挑：等兩個扯鈴來到適當的位置時，其中一名選手(箭頭所指的人，後面將稱之爲「主振者」)將手上的鈴棍朝上挑高，讓其中一個扯鈴(圖中被圈起來的)跳得比較高，越過另一個扯鈴之後，交換位置再各自離去。





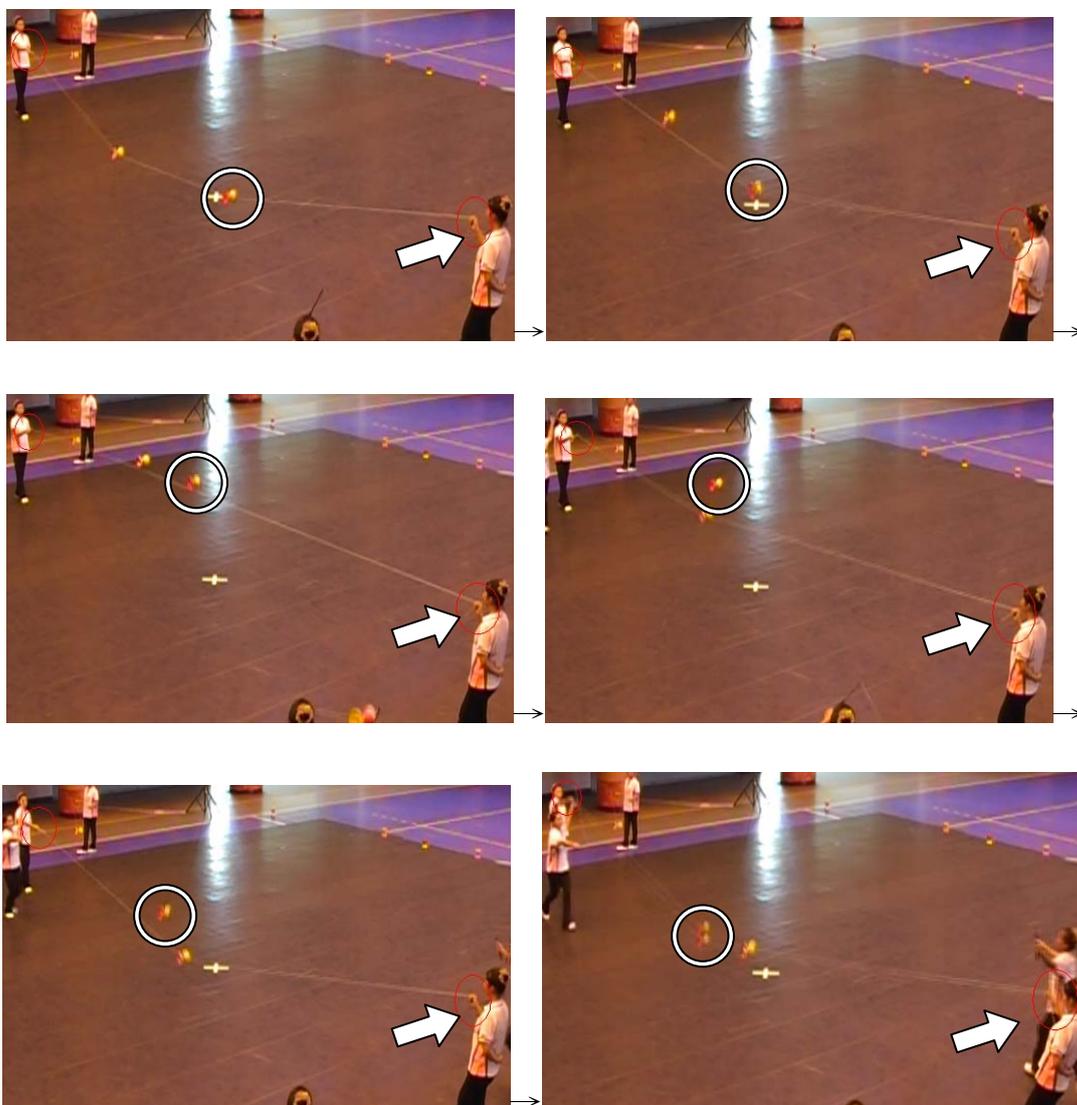
圖三 「挑」的連續動作。這個例子是靠近主振者的鈴跳得比較高

(二) 壓：等兩個扯鈴來到適當的位置時，主振者將鈴棍迅速朝下壓，讓其中一個扯鈴(圖中被圈起來的)跳得比較高，越過另一個扯鈴之後，交換位置再各自離去。



圖四 「壓」的連續動作。這個例子是離主振者較遠的鈴跳得比較高

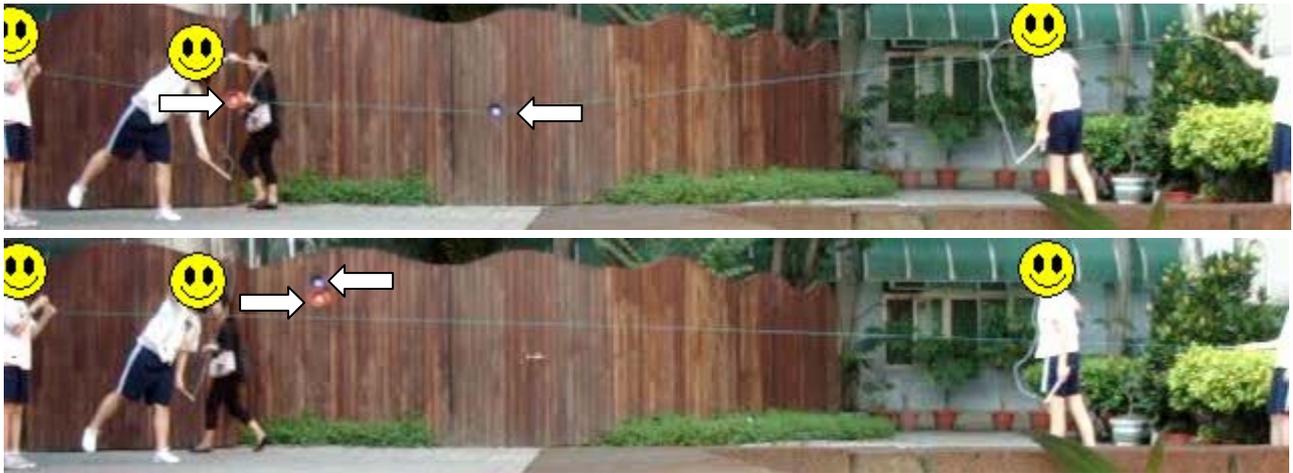
(三) 鬆緊：主振者將手上的鈴棍稍微向前伸，讓長繩先放鬆，讓扯鈴的位置降低，等兩個扯鈴來到適當的位置時，用力將繩拉緊，讓其中一個扯鈴(圖中被圈起來的)跳得比較高，越過另一個扯鈴之後，交換位置再各自離去。



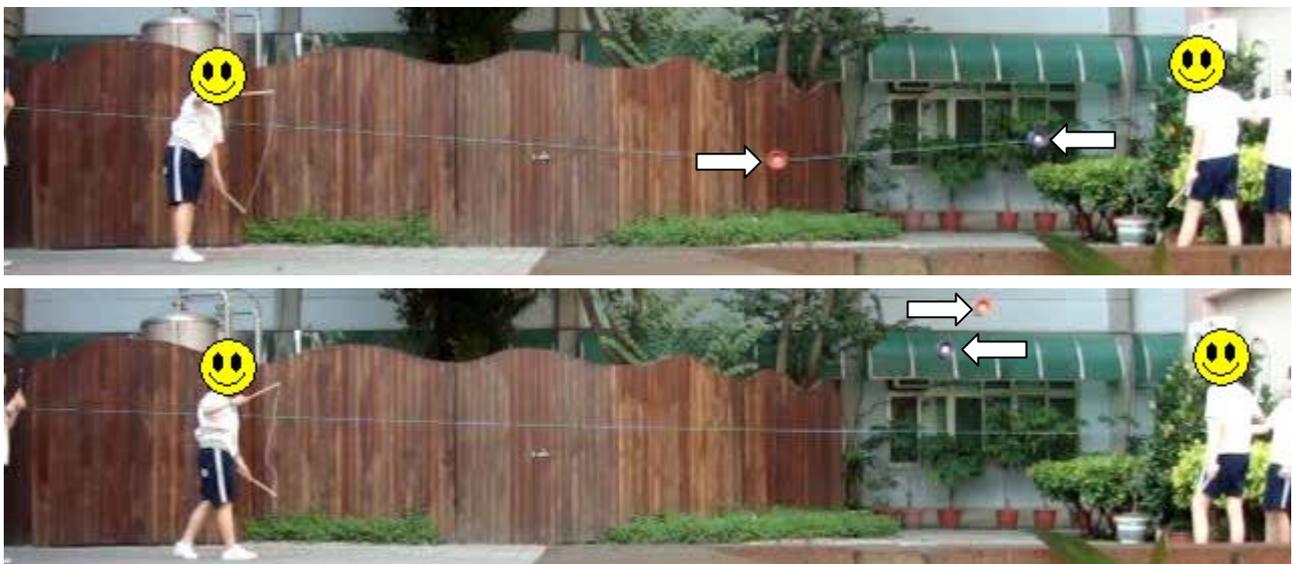
圖五「鬆緊」的連續動作。這個例子是靠近主振者的鈴跳得比較高

二、歸納跳鈴的影片的觀察以及實際測試的經驗，提出假設

研究完扯鈴影片之後，接下來就是自己動手試試看，並且將過程拍攝記錄下來。根據親自測試的經驗，我們有一個重要的發現：即使用同一種振動的手法，扯鈴在繩上不同的位置會有不同的跳高程度，而且相差的高度也不一樣。例如下圖是用「挑」的手法，在不同位置跳動的結果。



圖六 在右邊「挑」，而扯鈴比較靠左邊時，向左前進的扯鈴跳得略高一點



圖七 在右邊「挑」，而扯鈴比較靠右邊時，向右前進的扯鈴跳得高出許多

根據觀察別人的影片以及自己親自操作的經驗，我們假設：**扯鈴跳的高度至少與「振動手法」與「在繩上的位置」有關。**

除此之外，我們也考慮到其他的變因：

- (一) 扯鈴在繩上的速度：會影響扯鈴跳躍的距離。
- (二) 扯鈴的質量：會影響扯鈴跳的最大高度。
- (三) 繩的材質：有不同的彈性和摩擦係數，會影響扯鈴的速度和跳的最大高度。
- (四) 另一人的配合動作：兩人的交互作用，產生更複雜的變化。

但因為我們這次研究的目標是要找出「為何其中一個鈴會跳得比另一個高？」，重點在兩個扯鈴的相對高度，而不是實際高度和跳躍距離，所以這次先不列入這四項變因，這樣也可以避免實驗過於龐大而無法完成，或許可以當作未來進階研究的目標。所以接下來的要做的就是設計出一套可以操縱「振動手法」與「在繩上的位置」兩項因素，並控制其他變因的實驗流程。

三、模擬設計與測試

由於跳鈴的動作至少要有四個人同時配合(兩個人負責拉長繩，並掌握跳鈴動作，另外兩人負責將轉動中的扯鈴放在長繩上，並且讓扯鈴有速度可以衝出去，我們稱之為「衝鈴」)，很難控制在我們想要讓扯鈴跳的位置，爲了讓我們的研究能夠可以控制，於是我們開始構思模擬跳鈴的可能性，試圖找出可以方便控制又能接近跳鈴反應的設計。

(一) 實驗一：第一代模擬設計

1. 我們首先想到其實跳鈴的關鍵在於兩個扯鈴跳起來的高度，至於扯鈴的速度在於提供慣性，讓扯鈴可以各自越過對方，交換位置，所以如果可以讓扯鈴靜止在長繩上不同的位置，再試著用三種方式來拉動繩子，就可以紀錄扯鈴跳動的高度。但因爲扯鈴的重心在正中央，放在繩上不動就會掉下來，所以我們以鐵絲及油黏土做成與扯鈴等重的模擬器(如圖八)，目的是要把重心移到長繩下方，這樣就可以靜止在長繩上，讓我們隨意調整跳動的位置了。

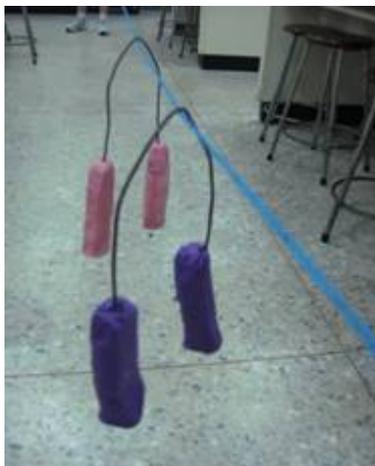


圖八 第一代模擬器

2. 結果：原先顧慮的是不要讓模擬的扯鈴掉下來，所以把下方的黏土閉合，成爲封閉環狀，結果使此模擬器的跳躍高度受到限制，所能跳的高度甚小，力道也無法準確控制，且若跳得過高，黏土會撞上長繩，不適用於當作參考數據。

(二) 實驗二：第二代模擬設計

1. 如圖九，與第一代原理雷同，但是讓下方的黏土分開，使模擬器能跳的高度不受限制。



圖九 第二代模擬器

2. 結果：相較於前一代，第二代能跳躍的高度有大幅提升，但因為無法固定在長繩上，且力道不能穩定的控制，常常會跳得太高以至於掉到地上而變形，幾次之後便會與鐵絲分離、脫落，就得中斷實驗重新修復調整模擬器，實驗效率較差。

(三) 實驗三：第三代模擬設計

1. 由於黏土的目的只是要調出與扯鈴相同的重量，所以我們想到用比較耐摔的砝碼來調整重量，而且鐵絲也改用更容易塑型的鐵絲衣架，做成第三代模擬器(如圖十)。

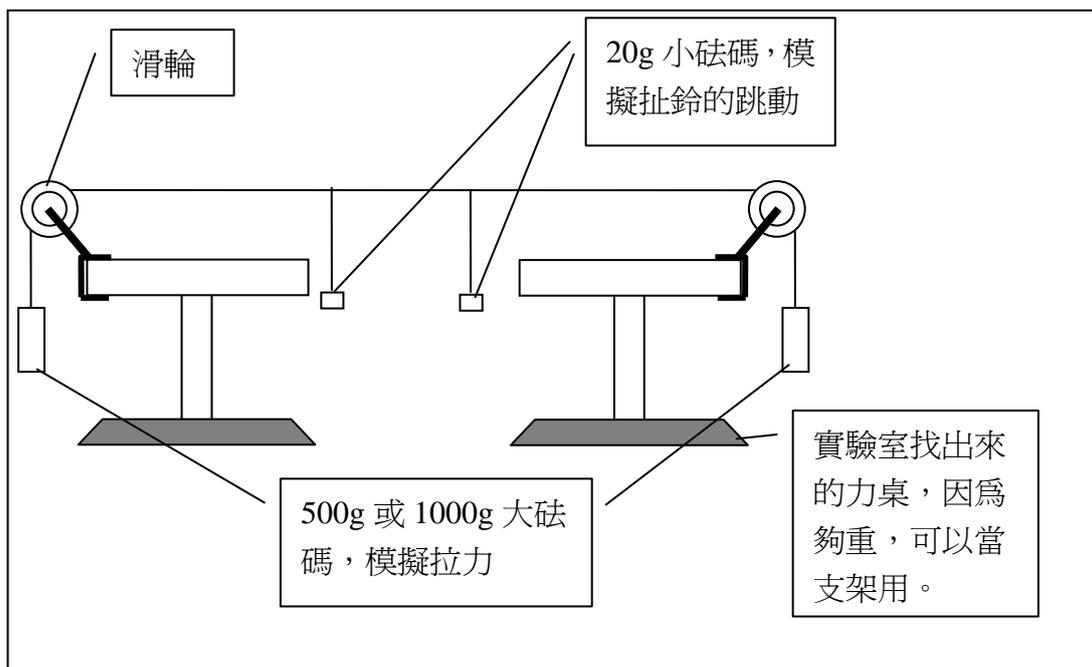


圖十 第三代模擬器

2. 結果：此裝置能改善前代容易跳得過高而掉落的缺點，也比較耐用，可以大量產生測試的數據，但也因此發現一個前幾代無法發現到的缺點—我們無法控制每次的力道大小都一樣，以至於測得的數據不容易看出規律。

(四) 實驗四：第四代模擬設計

1. 就在前一代的挫敗中，我們體會到必須跳脫原來的想法，不然將無法有突破的發展。後來想到或許重點不在模擬的東西要和原來的扯鈴一樣重、繩子也不一定要一樣長，或許只要比例對就可以了！這樣我們就可以將整個裝置縮小，再利用滑輪和砝碼來控制力道，不僅可以得到比較準確的控制變因，也因為比例縮小，實驗的效率又更高了。
2. 第四代模擬設計原理：
 - (1) 利用固定在力桌上的滑輪放上棉線，模擬實際跳鈴所用的長繩。
 - (2) 棉線兩端掛上500g或1000g的砝碼，模擬手部不同的力道。
 - (3) 棉線上掛兩個20g的小砝碼，模擬長繩上的兩個扯鈴。



圖十一 第四代模擬設計圖



圖十二 第四代模擬裝置完成照片

- (4) 手部動作—「挑」的模擬：先將棉線一端向下壓 7 cm，再突然放開，讓綿繩「跳」上來，並使兩個砝碼彈起來，模擬實際上將繩子往上挑，使扯鈴跳起來的動作。



圖十三 「挑」的模擬

- (5) 手部動作—「壓」的模擬：先將棉線一端向上拉 11 cm，再突然放開，讓綿繩「降」下來，並使兩個砝碼彈起來，模擬實際上將繩子迅速壓下，使扯鈴跳起來的動作。



圖十四 「壓」的模擬

- (6) 手部動作—「鬆緊」的模擬：先將棉線左右各拉 5mm，讓線先變鬆，再突然放開，讓綿繩「緊繃」，並使兩個砝碼彈起來，模擬實際上將繩子先鬆後緊，讓鈴跳起來的動作。



圖十五 「鬆緊」的模擬

四、正式模擬實驗

- (一) 取約150公分的棉線，將中間約120公分24等分，包括頭尾，由振動端開始依序編號1~25，數字愈大，離振源愈遠。我們取其中第5、9、13、17、21等五個位置來懸吊兩個代表扯鈴的砝碼，分別代表離振源最近、離振源稍近、中間、離振源稍遠以及離振源最遠等五個位置。這樣總共有(5,9), (5,13), (5,17), (5,21), (9,13), (9,17), (9,21), (13,17), (13,21), (17,21)等十種位置的組合，分別為實驗五~實驗十四。

表一 實驗名稱與砝碼位置對照表

| 實驗名稱 | 砝碼位置 |
|------|---------|
| 實驗五 | 5 , 9 |
| 實驗六 | 5 , 13 |
| 實驗七 | 5 , 17 |
| 實驗八 | 5 , 21 |
| 實驗九 | 9 , 13 |
| 實驗十 | 9 , 17 |
| 實驗十一 | 9 , 21 |
| 實驗十二 | 13 , 17 |
| 實驗十三 | 13 , 21 |
| 實驗十四 | 17 , 21 |

- (二) 將綿線有刻度的部分放在兩滑輪之中，兩端以500g的大砝碼懸吊，以產生500gw的拉力，將每一個實驗的位置組合，分別用「挑」、「壓」和「鬆緊」的手法各測試三次，將結果先以數位相機以固定距離和角度錄影下來，再從影片中截圖，並利用自製的5毫米格子的透明板量取砝碼的原來高度與跳起來的最大高度，求其差值並加以平均。



- (三) 為比較不同的拉力是否會影響砝碼跳的相對高度，將綿線的兩端改成1000g的大砝碼懸吊，重複步驟(二)。
- (四) 為比較不同的棉線長度是否會影響砝碼跳的相對高度，將綿線換成約兩公尺長，取其中168公分分成24等分，兩端懸掛500g的大砝碼，重複步驟(二)。
- (五) 再將綿線換成約115公分長，取其中84公分分成24等分，兩端懸掛500g的大砝碼，重複步驟(二)。
- (六) 將數據資料輸入EXCEL軟體，將數據轉換成具體的圖形，以利比較分析。

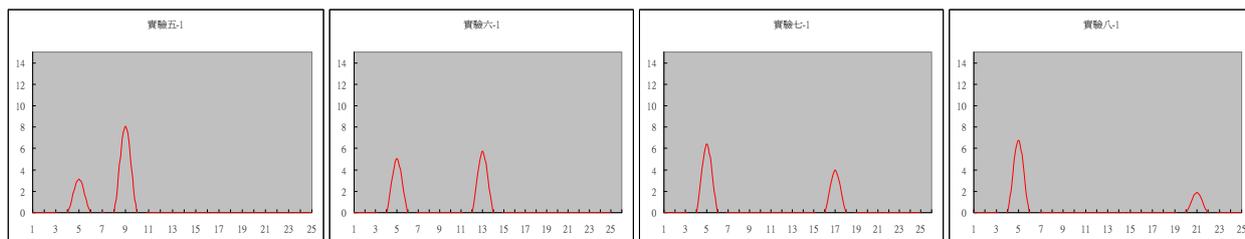
陸、研究結果

- 一、「挑」的模擬結果：120公分棉線，兩邊各以500gw的拉力，在位置1模擬「挑」的手部動作，不同位置上的小砝碼，跳動高度(最大高度-原本高度)的平均結果：

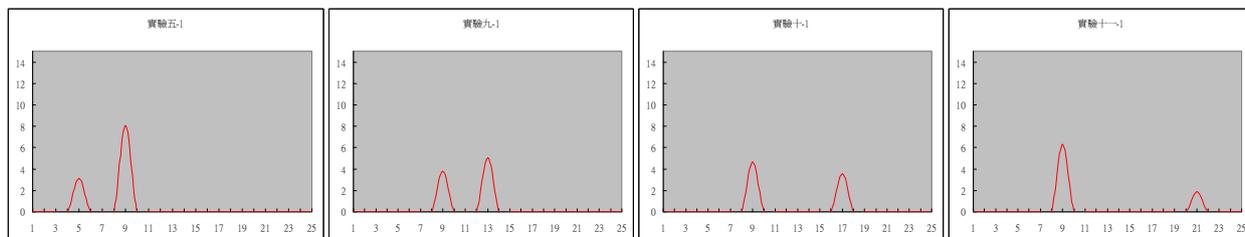
表二 線長 120 公分，500gw 拉力，「挑」的模擬結果

| 實驗名稱 | 跳動位置 | 平均跳高 | |
|--------|---------|------|-----|
| | | L | R |
| 實驗五-1 | 5 , 9 | 3.1 | 8.1 |
| 實驗六-1 | 5 , 13 | 5.1 | 5.8 |
| 實驗七-1 | 5 , 17 | 6.4 | 4.0 |
| 實驗八-1 | 5 , 21 | 6.7 | 1.9 |
| 實驗九-1 | 9 , 13 | 3.8 | 5.0 |
| 實驗十-1 | 9 , 17 | 4.7 | 3.6 |
| 實驗十一-1 | 9 , 21 | 6.3 | 1.9 |
| 實驗十二-1 | 13 , 17 | 3.3 | 2.6 |
| 實驗十三-1 | 13 , 21 | 4.8 | 1.6 |
| 實驗十四-1 | 17 , 21 | 3.5 | 1.8 |

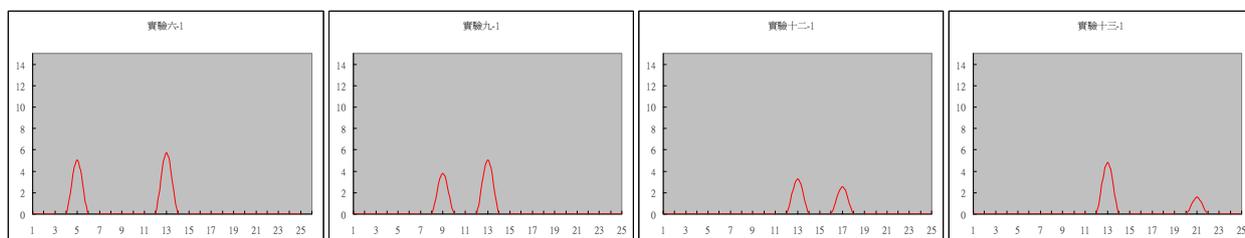
將上表以 EXCEL 做圖，並且將相關系列的圖放在一起，方便分析比較：



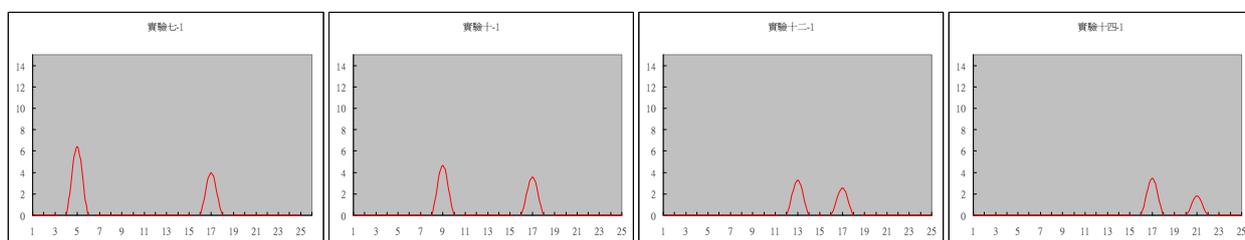
圖十六 線長 120 公分，500gw，「挑」，位置 5 與其他位置的跳動結果比較系列



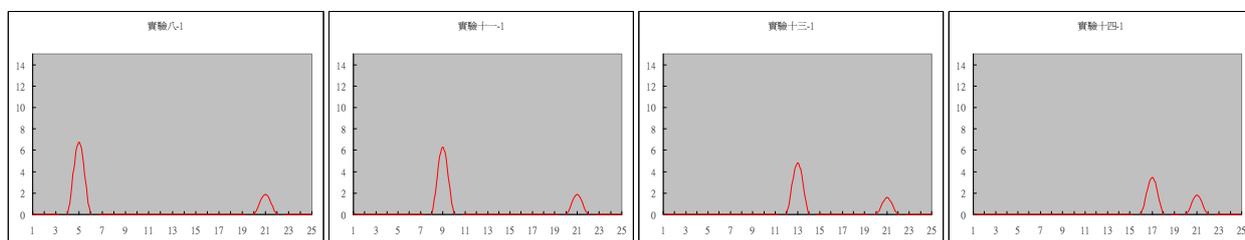
圖十七 線長 120 公分，500gw，「挑」，位置 9 與其他位置的跳動結果比較系列



圖十八 線長 120 公分，500gw，「挑」，位置 13 與其他位置的跳動結果比較系列



圖十九 線長 120 公分，500gw，「挑」，位置 17 與其他位置的跳動結果比較系列



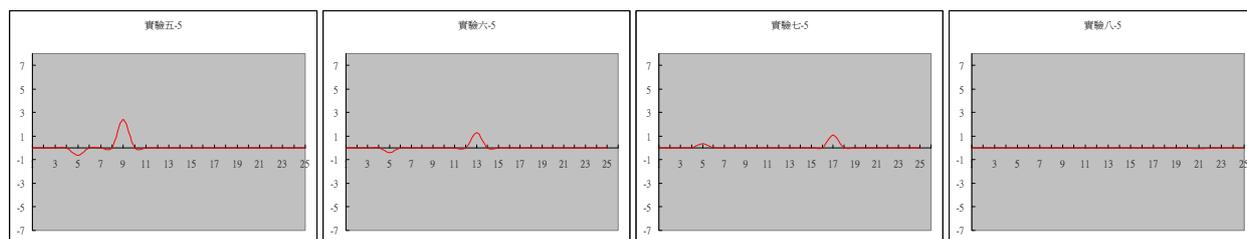
圖二十 線長 120 公分，500gw，「挑」，位置 21 與其他位置的跳動結果比較系列

二、「壓」的模擬結果：120公分棉線，兩邊各以500gw的拉力，在位置1模擬「壓」的手部動作，不同位置上的小砝碼，跳動高度(最大高度-原本高度)的平均結果：

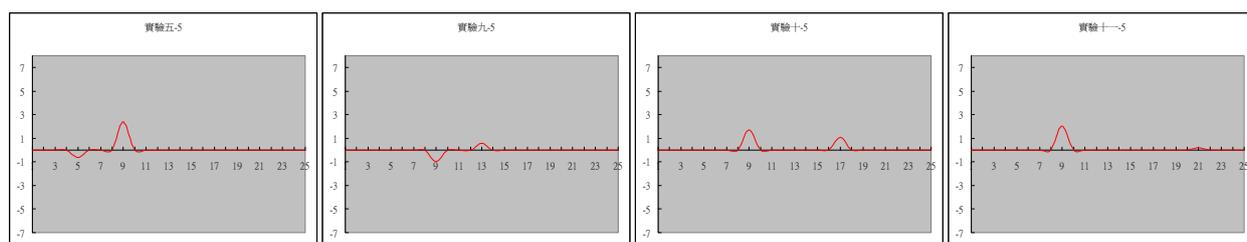
表三 線長 120 公分，500gw 拉力，「壓」的模擬結果

| 實驗名稱 | 跳動位置 | 平均跳高 | |
|--------|---------|------|-----|
| | | L | R |
| 實驗五-4 | 5 , 9 | -0.6 | 2.4 |
| 實驗六-4 | 5 , 13 | -0.4 | 1.3 |
| 實驗七-4 | 5 , 17 | 0.4 | 1.1 |
| 實驗八-4 | 5 , 21 | 0.0 | 0.0 |
| 實驗九-4 | 9 , 13 | -1.0 | 0.6 |
| 實驗十-4 | 9 , 17 | 1.7 | 1.1 |
| 實驗十一-4 | 9 , 21 | 2.0 | 0.2 |
| 實驗十二-4 | 13 , 17 | -0.4 | 0.3 |
| 實驗十三-4 | 13 , 21 | 2.0 | 0.3 |
| 實驗十四-4 | 17 , 21 | -0.5 | 0.0 |

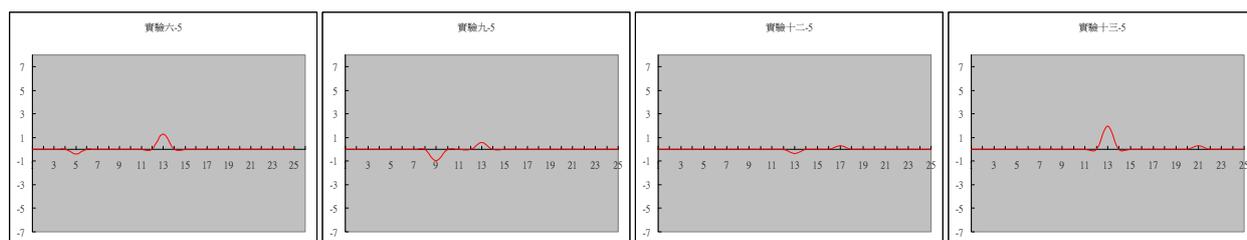
將上表以 EXCEL 做圖，並且將相關系列的圖放在一起，方便分析比較：



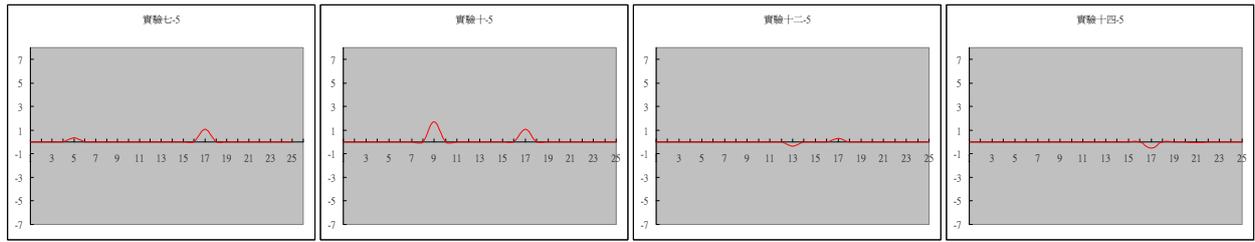
圖二十一 線長 120 公分，500gw，「壓」，位置 5 與其他位置的跳動結果比較系列



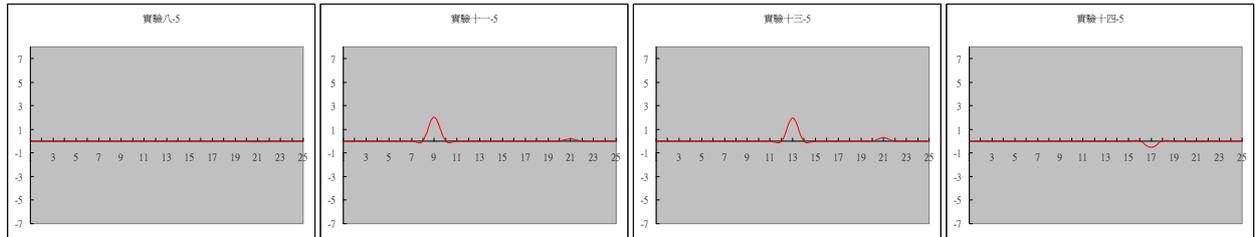
圖二十二 線長 120 公分，500gw，「壓」，位置 9 與其他位置的跳動結果比較系列



圖二十三 線長 120 公分，500gw，「壓」，位置 13 與其他位置的跳動結果比較系列



圖二十四 線長 120 公分，500gw，「壓」，位置 17 與其他位置的跳動結果比較系列



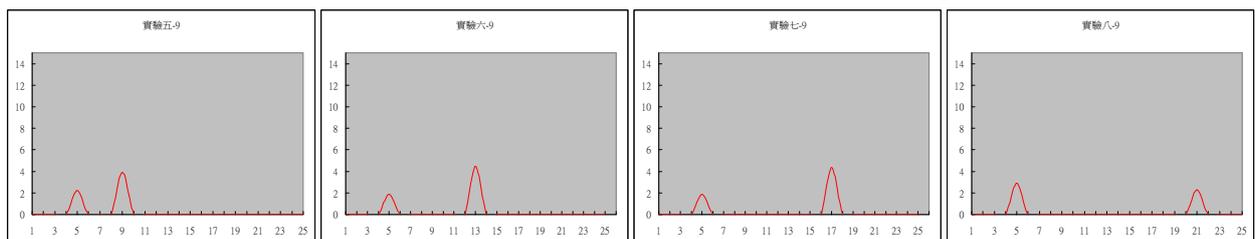
圖二十五 線長 120 公分，500gw，「壓」，位置 21 與其他位置的跳動結果比較系列

三、「鬆緊」的模擬結果：120公分棉線，兩邊各以500gw的拉力，在位置1模擬「鬆緊」的手部動作，不同位置上的小砝碼，跳動高度(最大高度-原本高度)的平均結果：

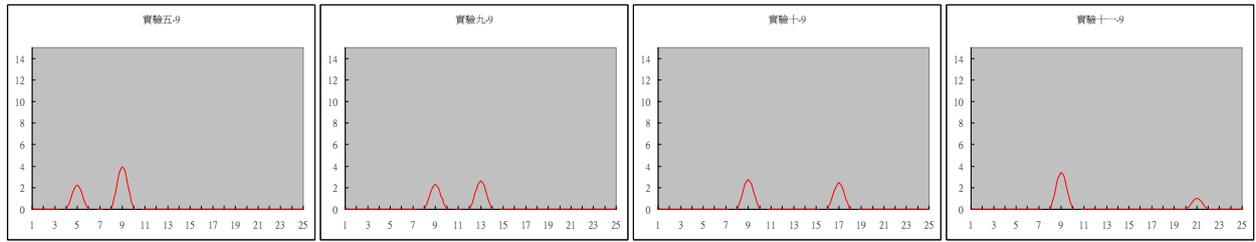
表四 線長 120 公分，500gw 拉力，「鬆緊」的模擬結果

| 實驗名稱 | 跳動位置 | 平均跳高 | |
|--------|---------|------|-----|
| | | L | R |
| 實驗五-9 | 5 , 9 | 2.2 | 3.9 |
| 實驗六-9 | 5 , 13 | 1.9 | 4.5 |
| 實驗七-9 | 5 , 17 | 1.9 | 4.4 |
| 實驗八-9 | 5 , 21 | 2.9 | 2.3 |
| 實驗九-9 | 9 , 13 | 2.3 | 2.6 |
| 實驗十-9 | 9 , 17 | 2.8 | 2.5 |
| 實驗十一-9 | 9 , 21 | 3.4 | 1.0 |
| 實驗十二-9 | 13 , 17 | 3.7 | 3.1 |
| 實驗十三-9 | 13 , 21 | 4.3 | 1.3 |
| 實驗十四-9 | 17 , 21 | 3.5 | 1.7 |

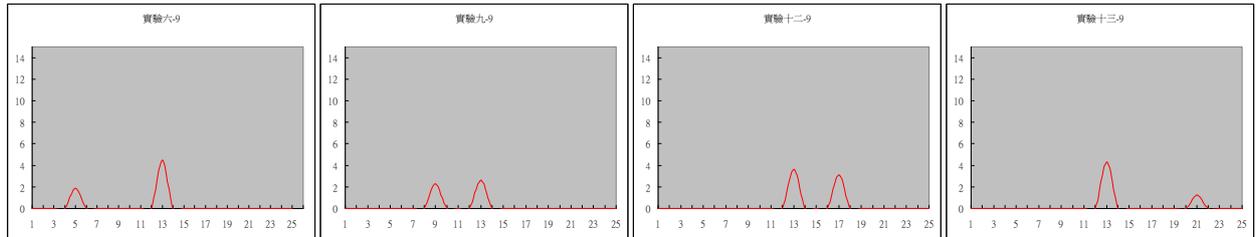
將上表以 EXCEL 做圖，並且將相關系列的圖放在一起，方便分析比較：



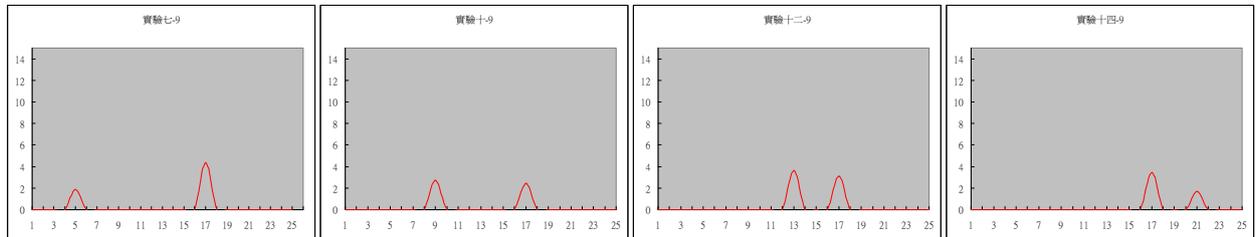
圖二十六 線長 120 公分，500gw，「鬆緊」，位置 5 與其他位置的跳動結果比較系列



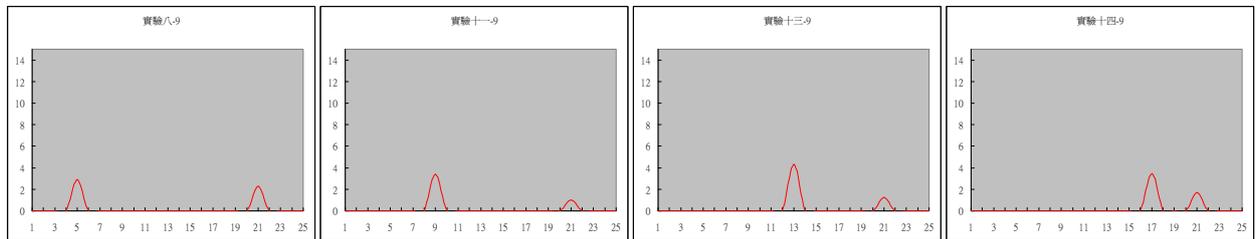
圖二十七 線長 120 公分，500gw，「鬆緊」，位置 9 與其他位置的跳動結果比較系列



圖二十八 線長 120 公分，500gw，「鬆緊」，位置 13 與其他位置的跳動結果比較系列

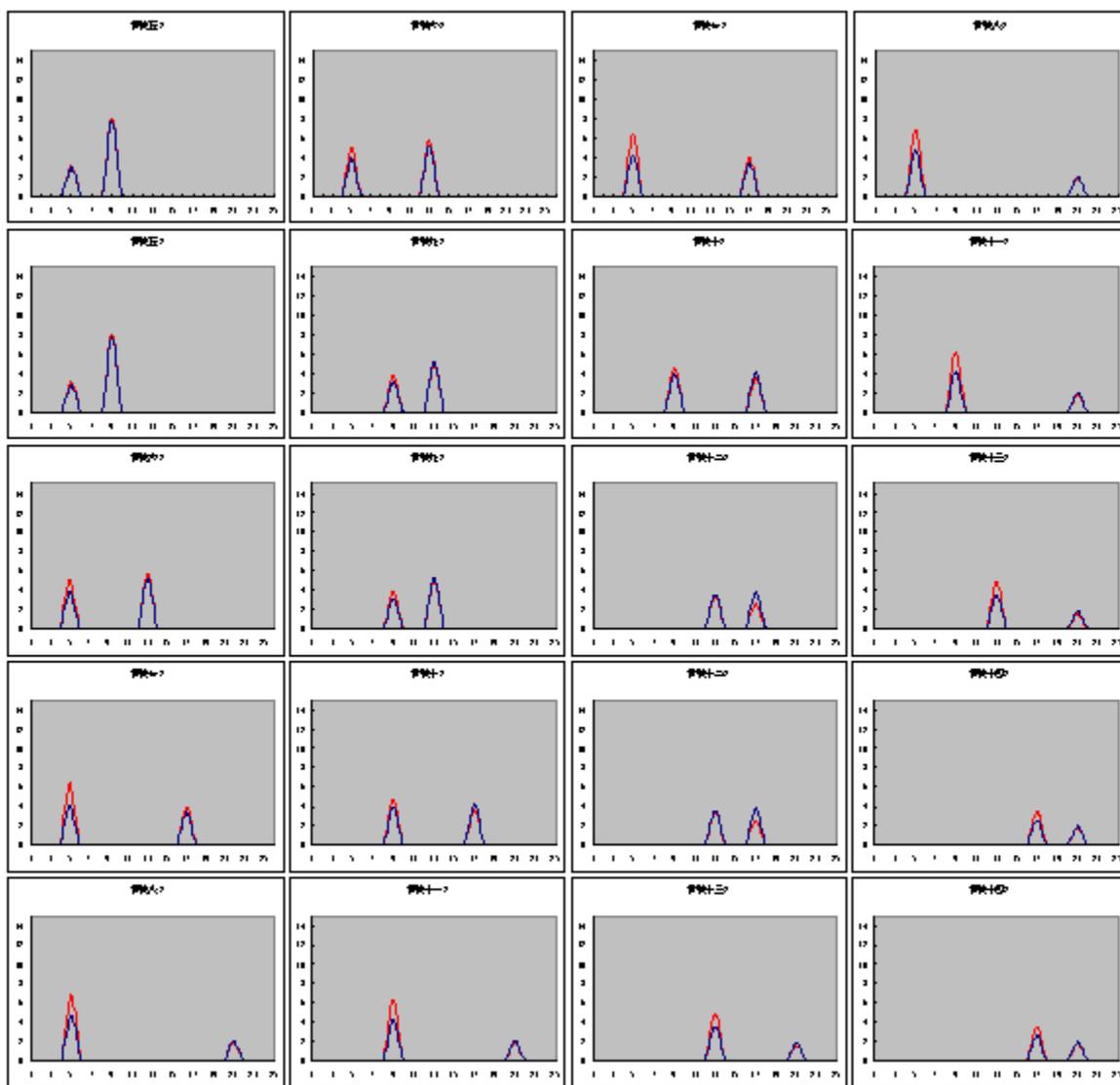


圖二十九 線長 120 公分，500gw，「鬆緊」，位置 17 與其他位置的跳動結果比較系列



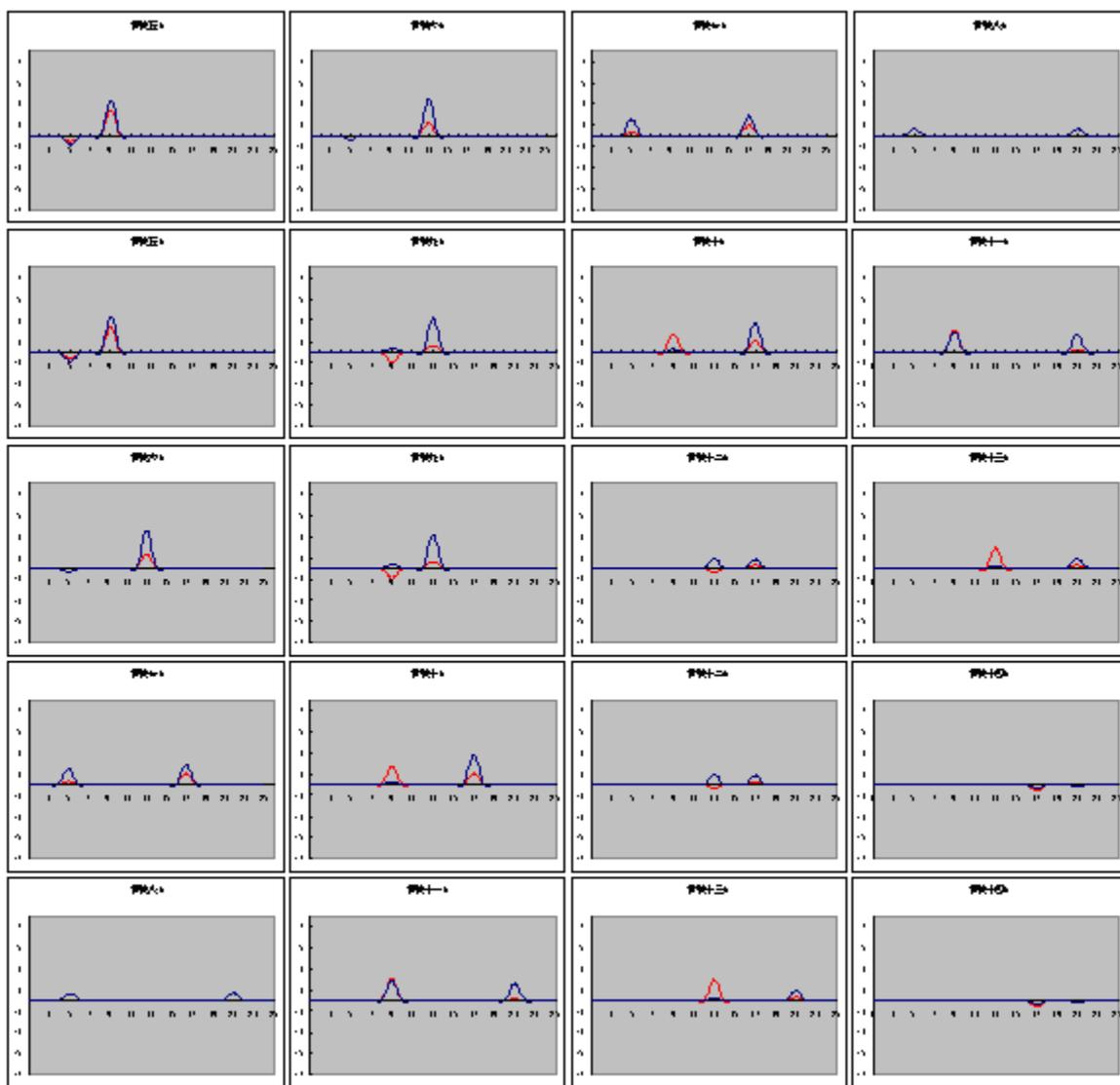
圖三十 線長 120 公分，500gw，「鬆緊」，位置 21 與其他位置的跳動結果比較系列

四、不同拉力對「挑」的影響：120公分棉線，兩邊各以1000gw的拉力，在位置1模擬「挑」的手部動作，不同位置上的小砝碼，跳動高度(最大高度-原本高度)的平均結果，以EXCEL做圖，並且與「120公分，500gw拉力，挑」的圖套在一起(紅色的是500gw的圖，藍色的是1000gw的圖)，方便對照比較：



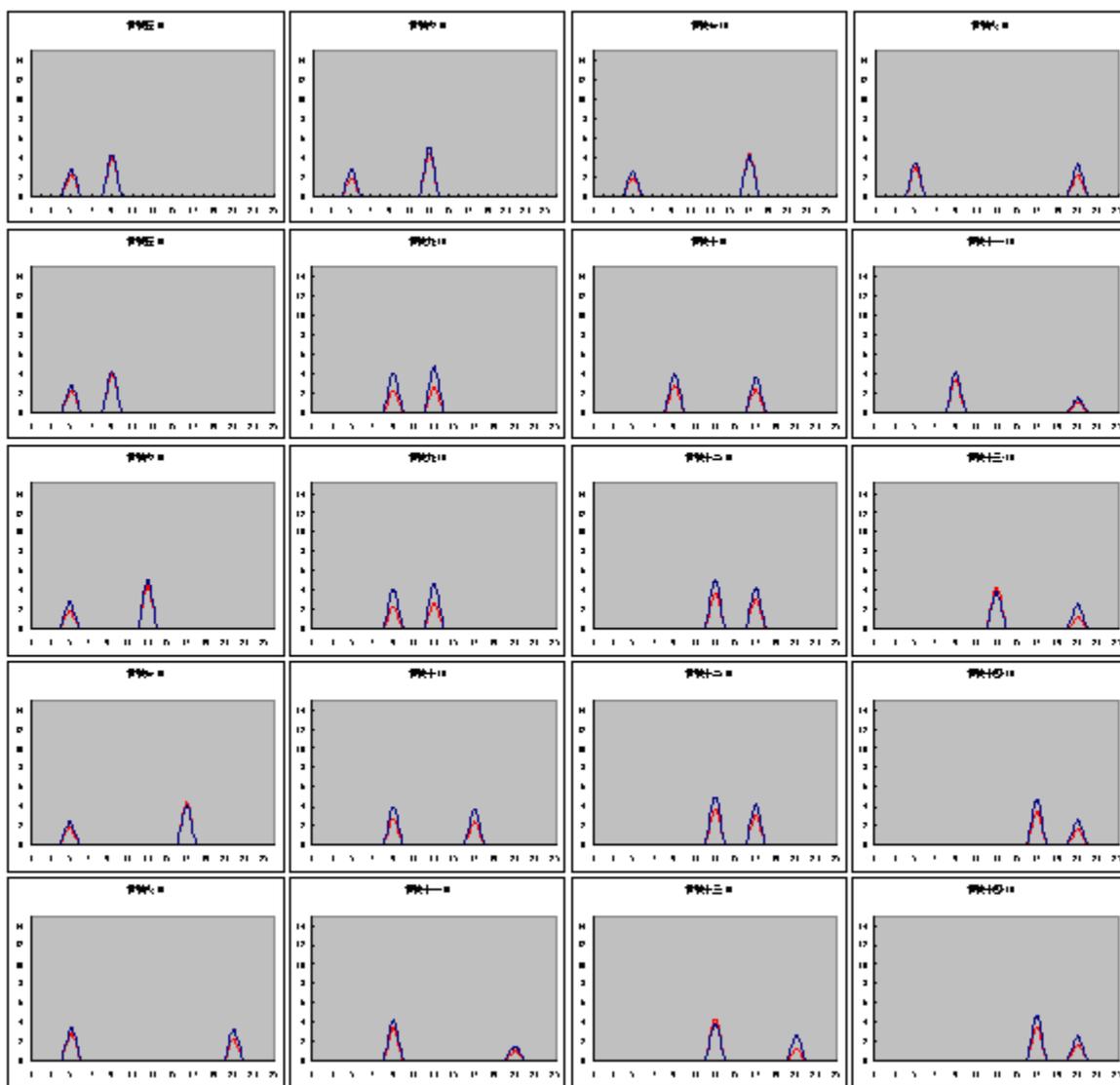
圖三十一 線長 120 公分，「挑」，500gw 與 1000gw 兩種不同拉力的跳動比對結果

五、不同拉力對「壓」的影響：120公分棉線，兩邊各以1000gw的拉力，在位置1模擬「壓」的手部動作，不同位置上的小砝碼，跳動高度(最大高度-原本高度)的平均結果，以EXCEL做圖，並且與「120公分，500gw拉力，壓」的圖套在一起(紅色的是500gw的圖，藍色的是1000gw的圖)，方便對照比較：



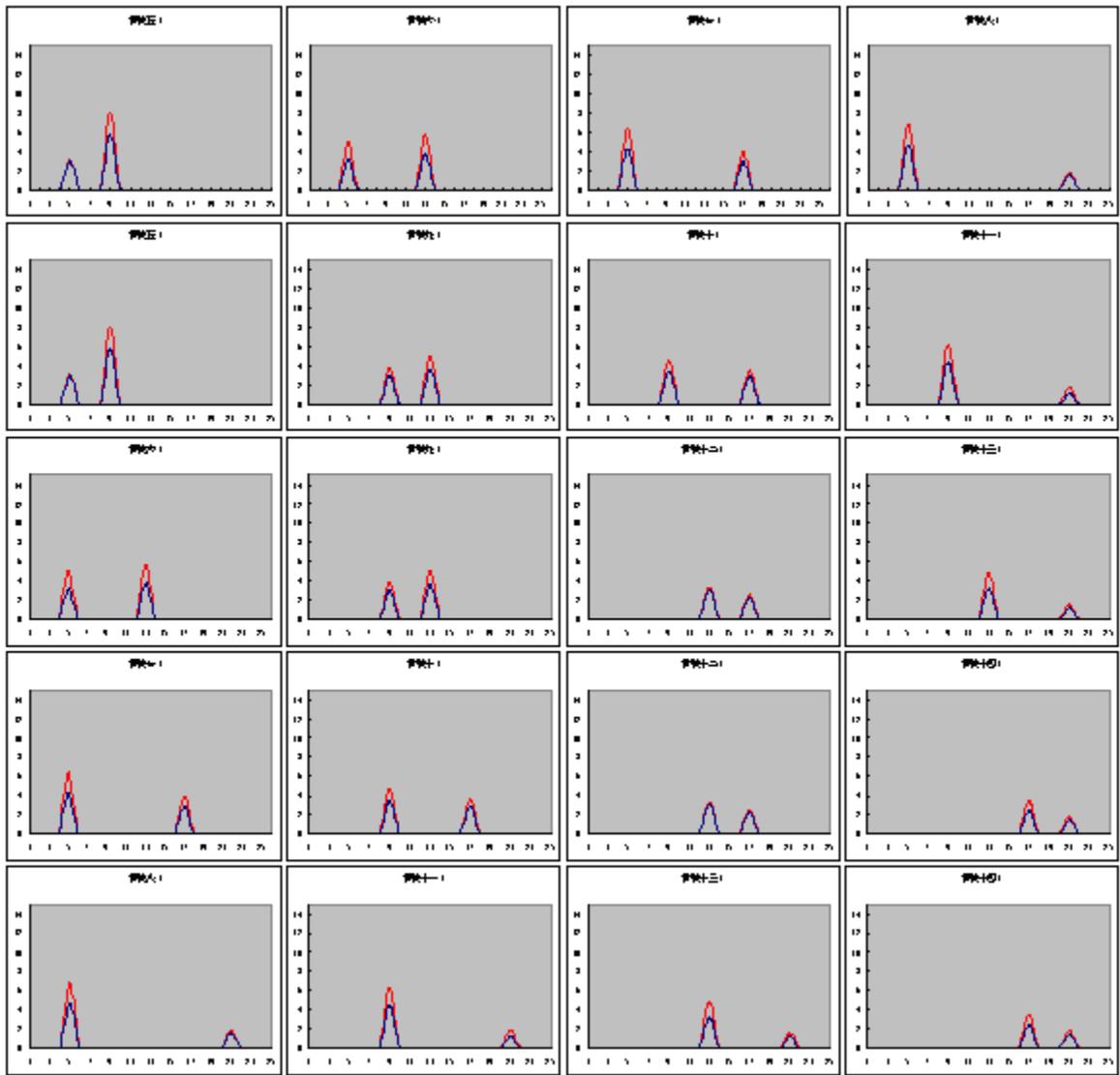
圖三十二 線長 120 公分，「壓」，500gw 與 1000gw 兩種不同拉力的跳動比對結果

六、不同拉力對「鬆緊」的影響：120公分棉線，兩邊各以1000gw的拉力，在位置1模擬「鬆緊」的手部動作，不同位置上的小砝碼，跳動高度(最大高度-原本高度)的平均結果，以EXCEL做圖，並且與「120公分，500gw拉力，鬆緊」的圖套在一起(紅色的是500gw的圖，藍色的是1000gw的圖)，方便對照比較：



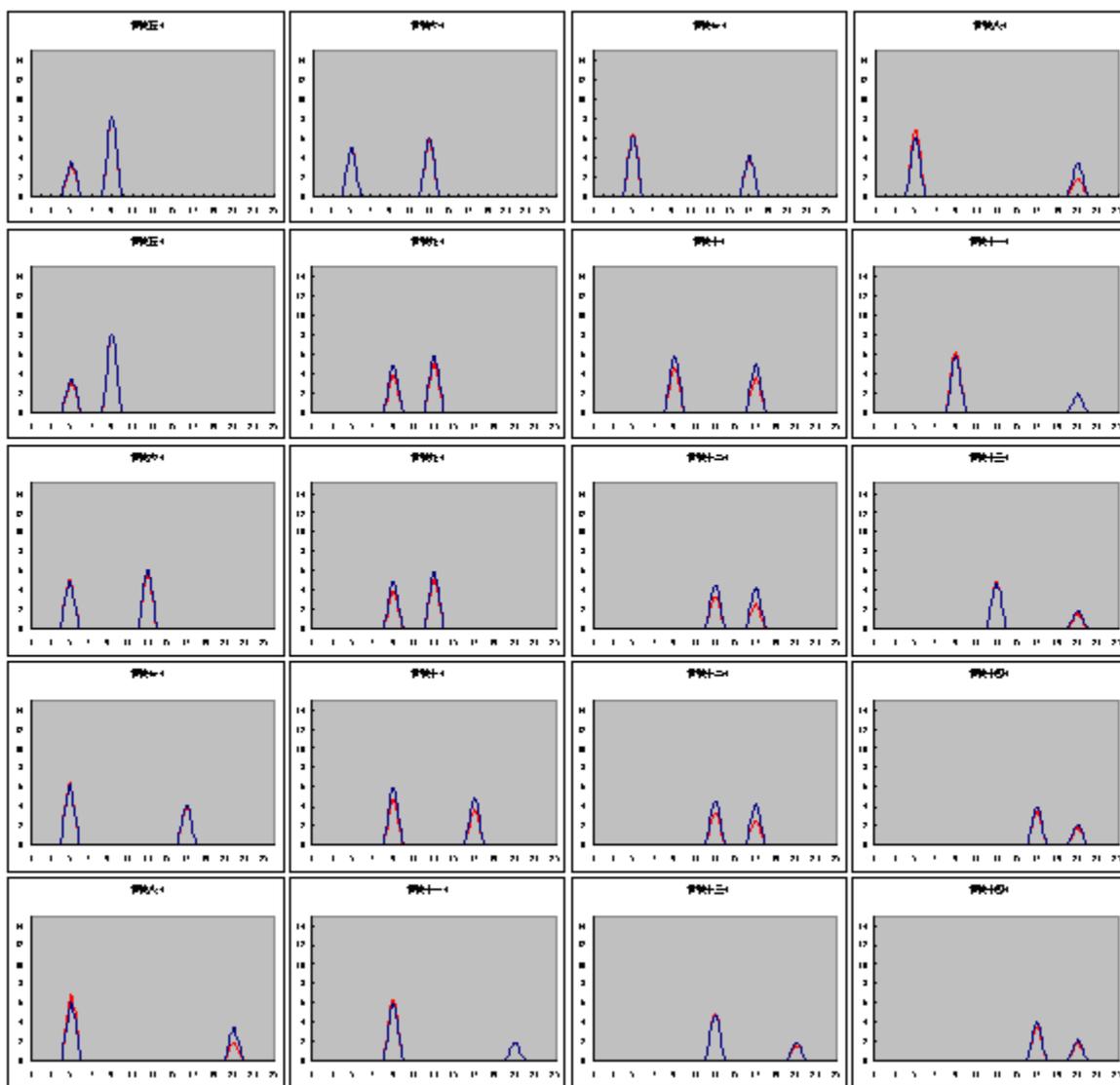
圖三十三 線長 120 公分，「鬆緊」，500gw 與 1000gw 兩種不同拉力的跳動比對結果

七、不同線長(比原長多約三分之一長度)對「挑」的影響：168公分棉線，兩邊各以500gw的拉力，在位置1模擬「挑」的手部動作，不同位置上的小砝碼，跳動高度(最大高度-原本高度)的平均結果，以EXCEL做圖，並且與「120公分，500gw拉力，挑」的圖套在一起(紅色的是120公分的圖，藍色的是168公分的圖)，方便對照比較：



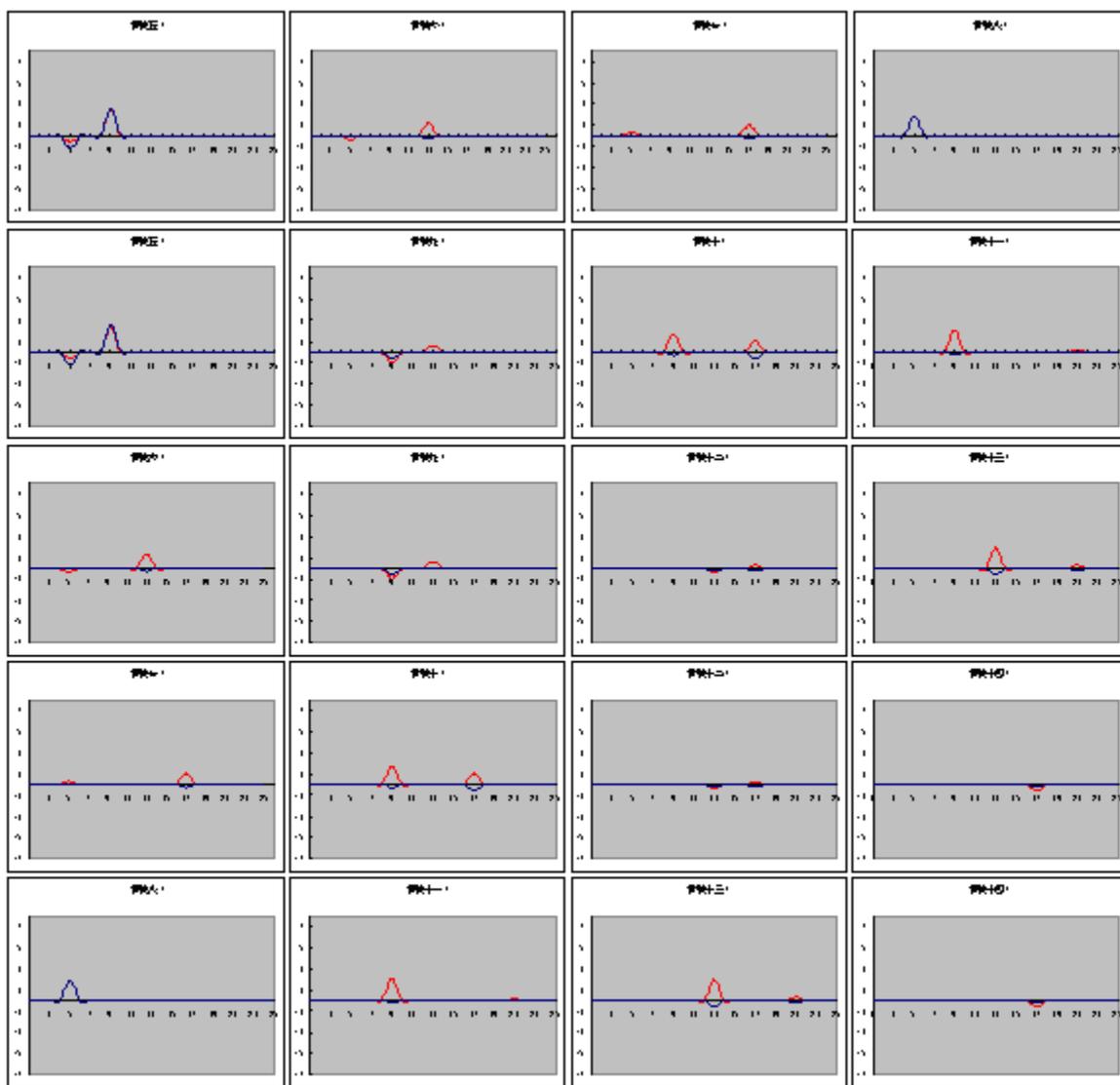
圖三十四 500gw，「挑」，168公分與120公分兩種不同線長的跳動比對結果

八、不同線長(比原長少約三分之一長度)對「挑」的影響：84公分棉線，兩邊各以500gw的拉力，在位置1模擬「挑」的手部動作，不同位置上的小砝碼，跳動高度(最大高度-原本高度)的平均結果，以EXCEL做圖，並且與「120公分，500gw拉力，挑」的圖套在一起(紅色的是120公分的圖，藍色的是84公分的圖)，方便對照比較：



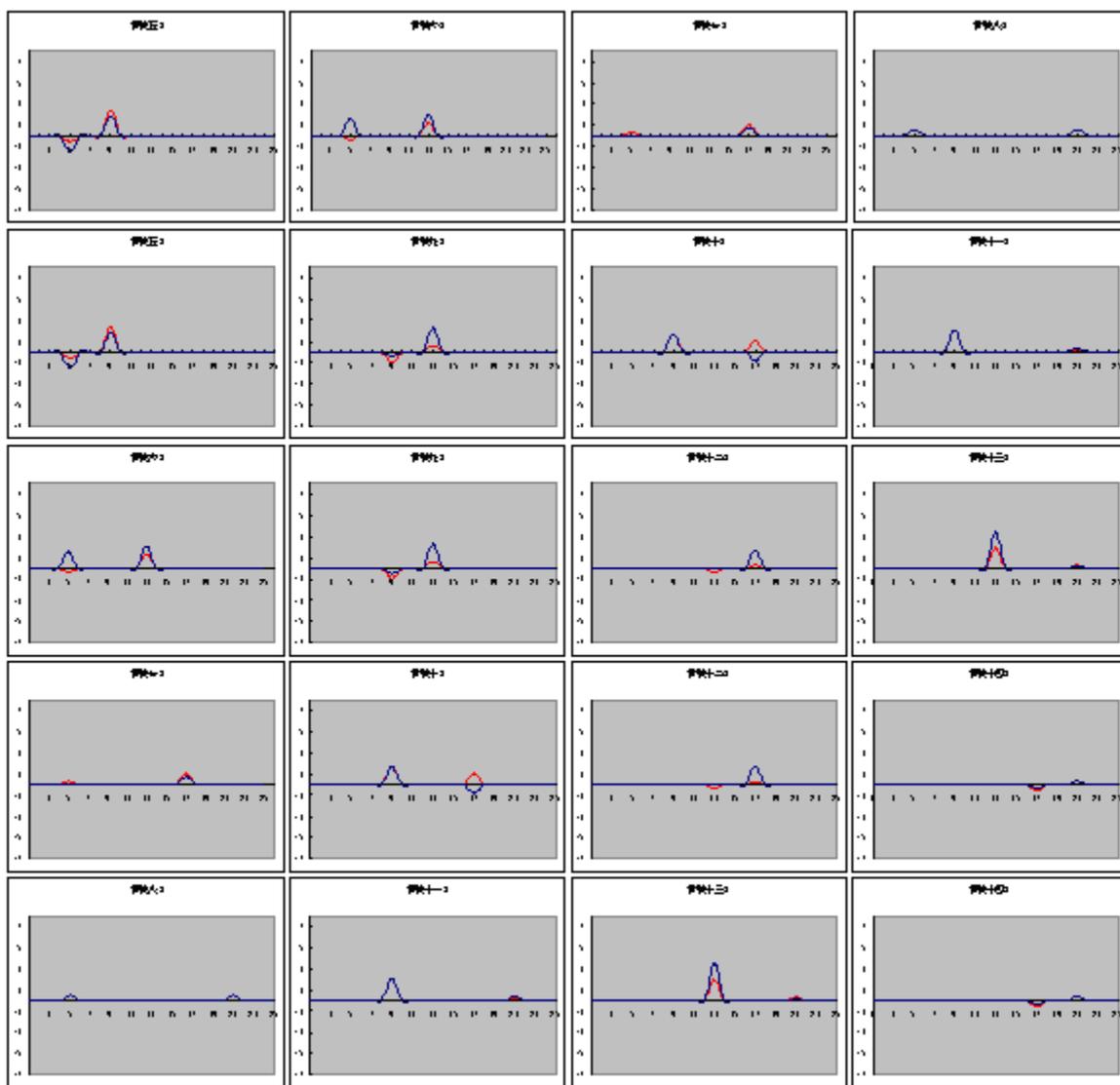
圖三十五 500gw，「挑」，84公分與120公分兩種不同線長的跳動比對結果

九、不同線長(比原長多約三分之一長度)對「壓」的影響：168公分棉線，兩邊各以500gw的拉力，在位置1模擬「壓」的手部動作，不同位置上的小砝碼，跳動高度(最大高度-原本高度)的平均結果，以EXCEL做圖，並且與「120公分，500gw拉力，壓」的圖套在一起(紅色的是120公分的圖，藍色的是168公分的圖)，方便對照比較：



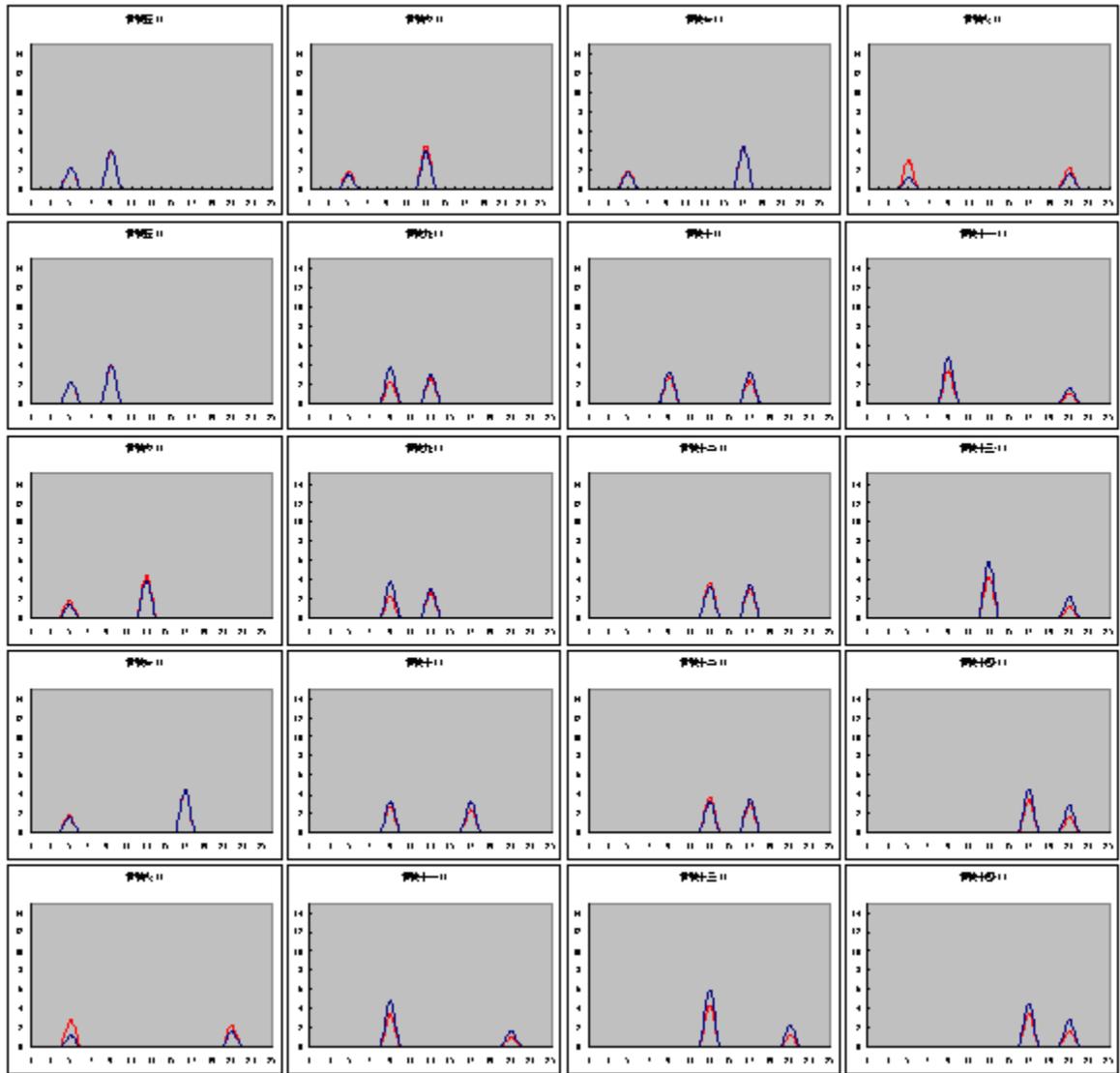
圖三十六 500gw，「壓」，168公分與120公分兩種不同線長的跳動比對結果

一〇、 不同線長(比原長少約三分之一長度)對「壓」的影響:84公分棉線,兩邊各以500gw的拉力,在位置1模擬「壓」的手部動作,不同位置上的小砝碼,跳動高度(最大高度-原本高度)的平均結果,以EXCEL做圖,並且與「120公分,500gw拉力,壓」的圖套在一起(紅色的是120公分的圖,藍色的是84公分的圖),方便對照比較:



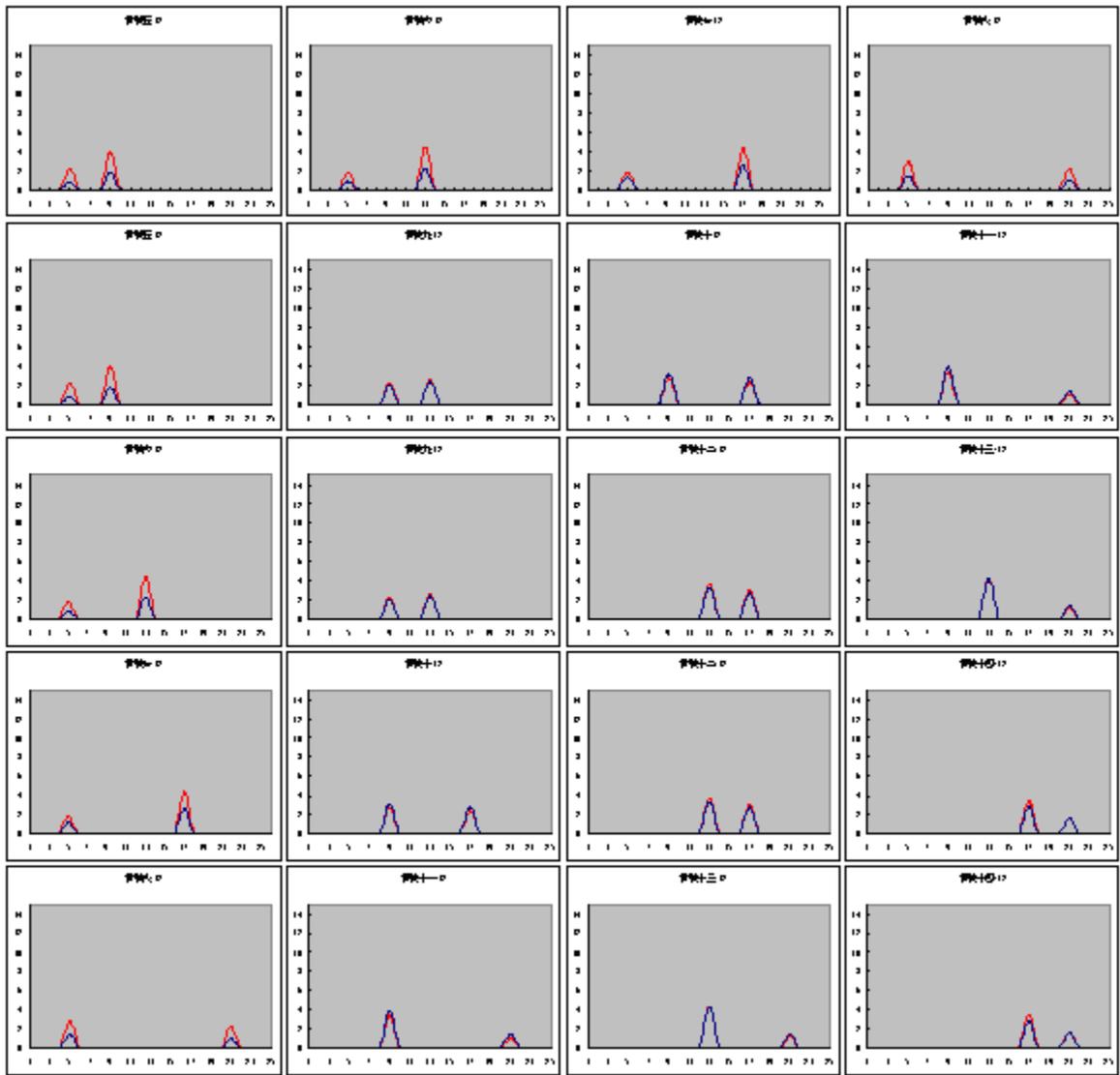
圖三十七 500gw,「壓」,84公分與120公分兩種不同線長的跳動比對結果

一一、 不同線長(比原長多約三分之一長度)對「鬆緊」的影響：168公分棉線，兩邊各以500gw的拉力，在位置1模擬「鬆緊」的手部動作，不同位置上的小砝碼，跳動高度(最大高度-原本高度)的平均結果，以EXCEL做圖，並且與「120公分，500gw拉力，鬆緊」的圖套在一起(紅色的是120公分的圖，藍色的是168公分的圖)，方便對照比較：



圖三十八 500gw，「鬆緊」，168公分與120公分兩種不同線長的跳動比對結果

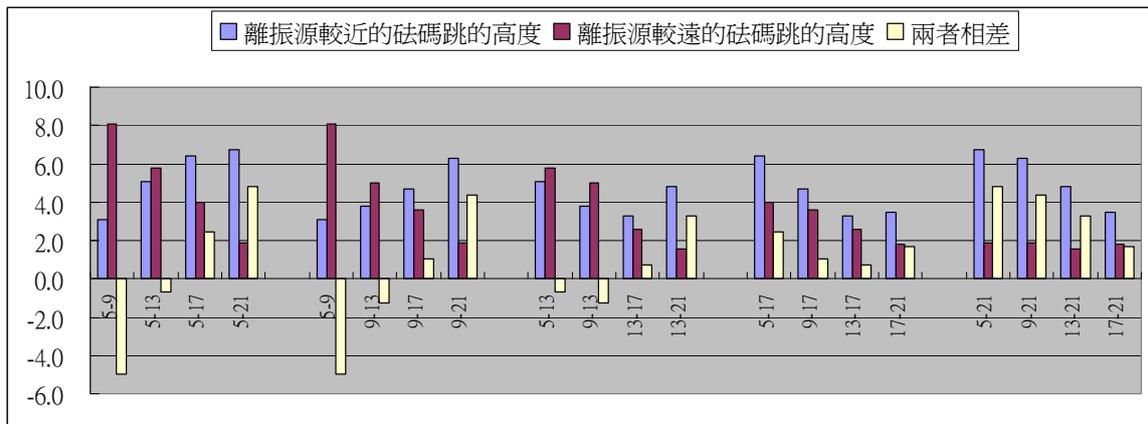
一二、 不同線長(比原長少約三分之一長度)對「鬆緊」的影響：84公分棉線，兩邊各以500gw的拉力，在位置1模擬「鬆緊」的手部動作，不同位置上的小砝碼，跳動高度(最大高度-原本高度)的平均結果，以EXCEL做圖，並且與「120公分，500gw拉力，鬆緊」的圖套在一起(紅色的是120公分的圖，藍色的是84公分的圖)，方便對照比較：



圖三十九 500gw，「鬆緊」，84公分與120公分兩種不同線長的跳動比對結果

柒、討論

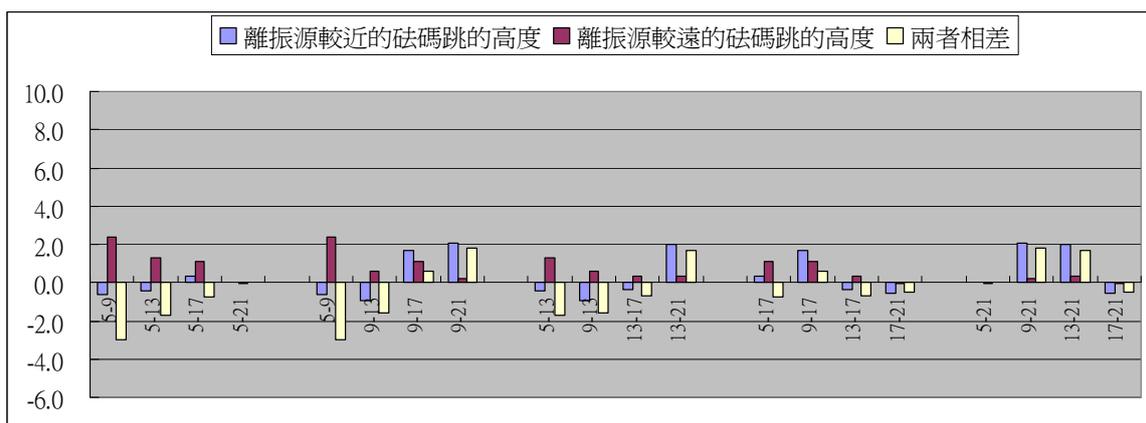
一、歸納圖十六~圖二十的結果，可以得到圖四十：



圖四十 120公分，500gw，「挑」的跳動比較

- (一) 由圖四十可知，如果是用「挑」的手法，當兩個砝碼都在接近振源附近的位置時，如位置(5-9)，是離振源較遠的砝碼跳得比較高。若是一個砝碼在振源附近，另一個在振源的另一端，如位置(5-21)，則反而是離振源較近的砝碼跳得比較高。要是兩個砝碼都在振源的另一端附近，如位置(17-21)，或是都在中間附近，如位置(9-13)，(13-17)，則兩個都跳不高。
- (二) 所以我們推測，若以「挑」的手法來跳鈴，比較適合讓鈴接近自己的時候讓對面的鈴跳過來。若要讓自己這邊的鈴跳過對面的，則要讓對面的鈴盡量離自己遠一點。

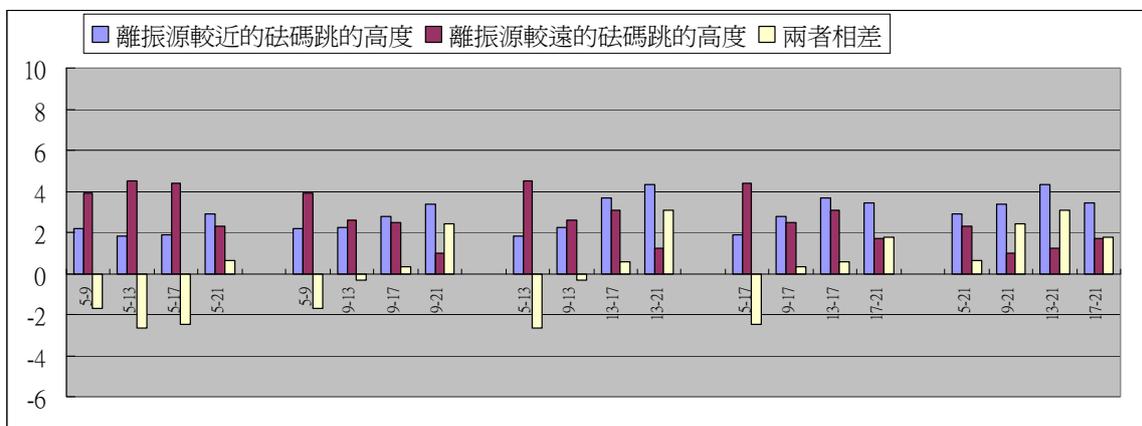
二、歸納圖二十一~圖二十五的結果，可以得到圖四十一：



圖四十一 120公分，500gw，「壓」的跳動比較

- (一) 由圖四十一可知，如果是用「壓」的手法，在比較靠近振源這邊的時候，離振源較近的砝碼會隨著繩子壓下去而跟著往下掉，但離振源較遠的砝碼反而會跳高起來，如位置(5-9)。
- (二) 但是「壓」的手法在離振源較遠的時候，卻又會讓離振源較近的砝碼跳得比離振源較遠的砝碼還要高，如位置(9-21)，(13-21)。
- (三) 觀察圖的變化趨勢，發現當其中一個砝碼離振源愈近，高度變化愈有規律，如第一群位置(5-9)~(5-21)，但如果其中一個砝碼都離振源愈遠，高度變化愈看不出規律，如第四群位置(5-17)~(5-21)及第五群位置(5-21)~(17-21)。猜測可能「壓」的方式是利用離振源較近的砝碼下降後，撞擊繩子，將震波傳到另一個砝碼，使其反彈上來，兩者距離愈近，能量傳遞效果愈好。但這次的實驗無法證實這個猜測，有待以後再深入探討。

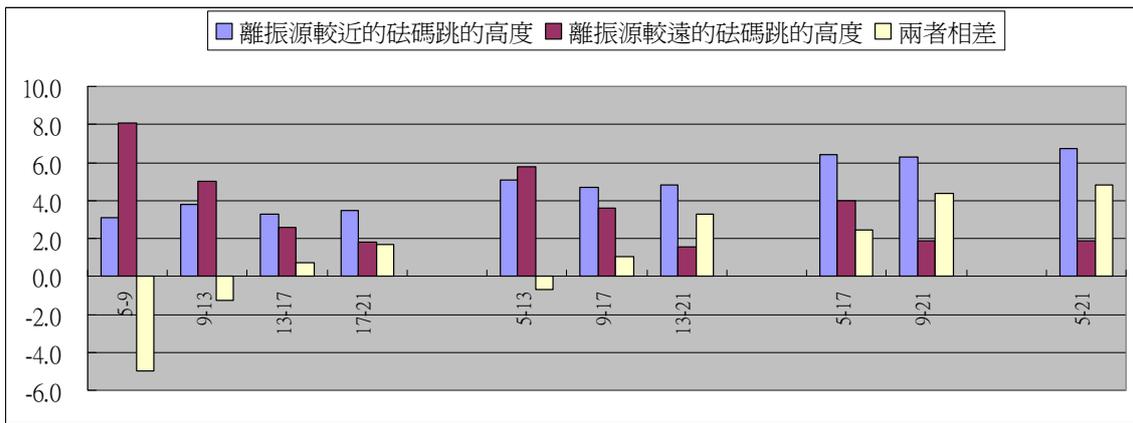
三、圖二十六~圖三十的結果，可以得到圖四十二：



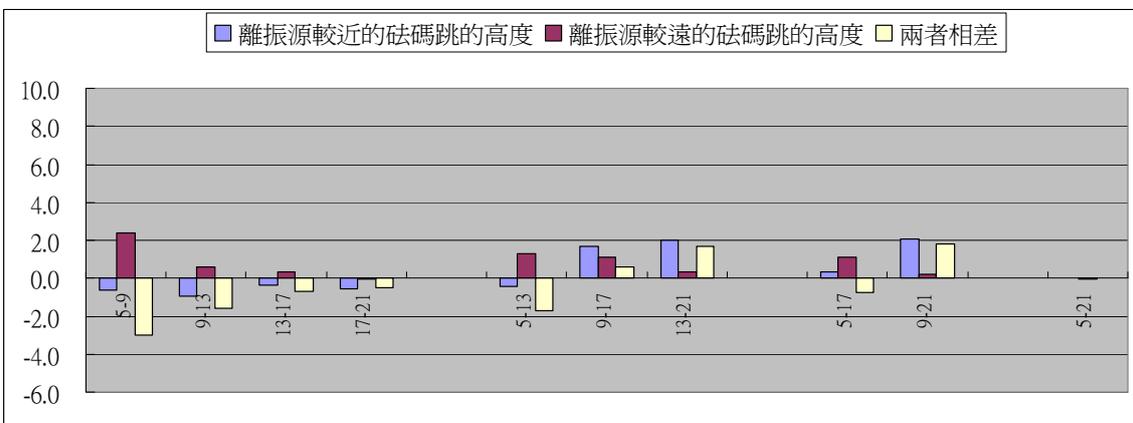
圖四十二 120公分，500gw，「鬆緊」的跳動比較

- (一) 若是用「鬆緊」的手法，會有比較不一樣的模式。原則上當一個砝碼愈靠近中央而另一個在端點時，中央的砝碼會跳得比較高，如位置(5-13)，(13-21)，所以如果想讓自己這邊的鈴跳過去，就讓自己這邊的鈴到中間的時候跳；若想讓對面的鈴跳過來，就讓對面的鈴到中間的時候跳。
- (二) 但是如果兩個砝碼都很接近中間的時候，反而兩個砝碼都跳不高，或是跳的高度很接近，不容易錯開，如位置(9-13)，(13-17)，(9-17)。

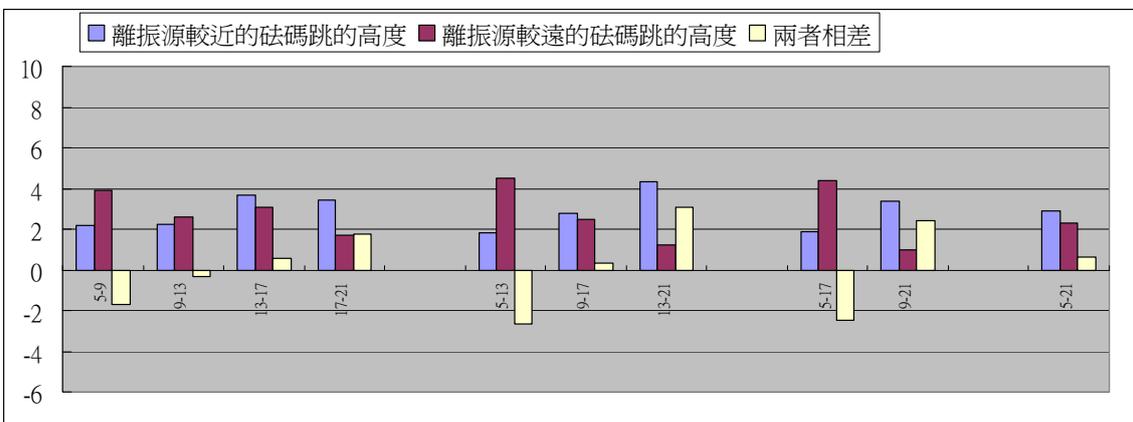
四、我們再將表二、表三和表四的數據，另外以兩個砝碼的距離排序，可以得到圖四十三~圖四十五：



圖四十三 120公分，500gw，「挑」依砝碼距離排序



圖四十四 120公分，500gw，「壓」依砝碼距離排序



圖四十五 120公分，500gw，「鬆緊」依砝碼距離排序

- (一) 綜合比較發現「挑」是三種振動手法中跳最高的，表示「挑」的手法在實際跳鈴的時候應該比較容易成功，而「壓」則是跳的高度最不明顯的，表示「壓」的手法在實際跳鈴應該最難成功。這個結論與我們親身體驗符合，我們最先成功的就是「挑」的手法，但是「壓」到目前還學不會。
- (二) 如果兩個砝碼在最接近的時候(三個圖裡面最左邊的一群)，這是比較接近實際跳鈴時的狀況，此時又有三種情形：
 1. 接近的位置在比較靠近振源的這一端：此時無論用哪一種手法，都會是離振源遠的砝碼跳得比較高。

2. 接近的位置在振源的另一端：這時除了「壓」是兩個都跳不高之外，其他兩種手法都是離振源近的砝碼跳得比較高。
 3. 接近的位置在比較中間的地方：「挑」和「鬆緊」兩種手法會讓兩個砝碼跳的高度很接近。而「壓」的方式雖然兩個砝碼的高度變化也不大，但因爲一個下降，另一個上升，所以會讓離振源較遠的砝碼相對地跳比較高。
- 五、根據圖三十一~圖三十三，不同拉力的結果比對，發現除了「壓」的結果有一部份比對不合之外，其他絕大部分的結果都相當吻合，甚至顯示出1000gw的拉力所造成的跳動結果不見得會比500gw的拉力還高。所以我們推論拉力愈大，扯鈴跳的高度不一定愈高，重要的是要掌握那一股「巧勁」，也就是扯鈴教練所說的「手感」。
- 六、根據圖三十四~圖三十九，不同線長的結果比對，發現一樣除了「壓」的結果有一部份比對不合之外，其他絕大部分的結果都相當吻合。所以我們推論繩的長度對跳鈴的結果影響不大，應該是「在繩上的相對位置」才是決定扯鈴跳的高度的重要因素。
- 七、爲了驗證上面的推測，我們拿實際跳鈴的數據來比對。可惜實際比賽的影片是以斜角拍攝，無法量取正確的繩長位置，所以我們以自己測試的影片擷圖來比對，雖然自己的技術尙未成熟，但數據應該比較準確。資料的取得過程如下：
- (一) 在影片剛開始，先直接用尺量出繩子的長度。
 - (二) 繼續播放影片，在扯鈴跳起之際按暫停。
 - (三) 用尺直接在螢幕上量出兩個鈴距離振源端的繩長。
 - (四) 繼續逐格播放，找出兩個鈴達到最高時的畫面，用尺量出與起跳時的高度差。
 - (五) 待全部都記錄在紙上後，將振源到扯鈴的距離爲分子，線的總長度爲分母，乘上24再加上1(因爲我們把棉線24等分，包括頭尾共25個刻度)，就可以換算出相當於砝碼在棉線上的位置。
 - (六) 根據振動的手法，與扯鈴起跳位置的比例，在表二、表三或表四找到位置最接近的實驗，比對模擬判斷跳得較高的砝碼，看兩者是否符合。

八、比對結果

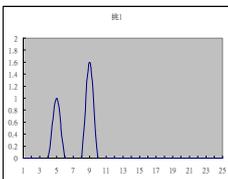
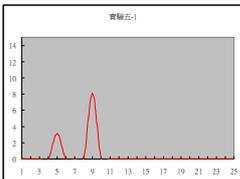
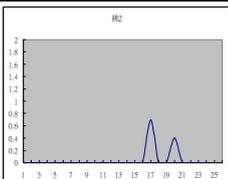
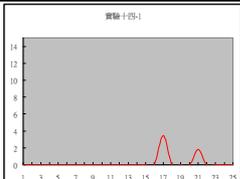
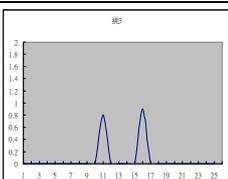
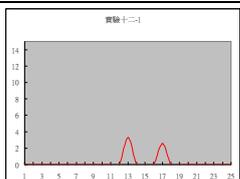
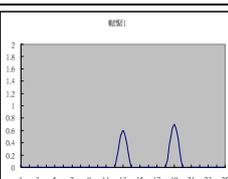
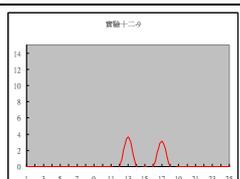
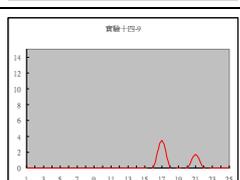
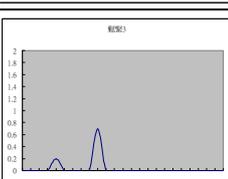
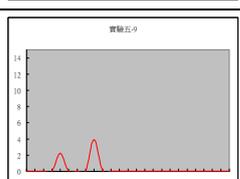
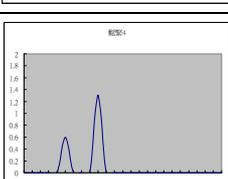
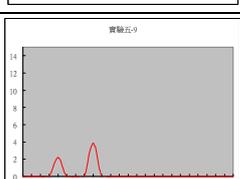
- (一) 根據我們實際測試的影片，經過截圖、測量與換算後，得到的結果如表五。

表五 實際測試與換算結果

| | 全長 | 起跳位置 | | 換算位置 | | 跳的高度差 | |
|------|------|------|------|------|----|-------|------|
| | | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 |
| 挑 1 | 17.7 | 3 | 5.8 | 5 | 9 | 1 | 1.6 |
| 挑 2 | 17 | 11.4 | 13.7 | 17 | 20 | 0.7 | 0.4 |
| 挑 3 | 17.4 | 7.5 | 10.6 | 11 | 16 | 0.8 | 0.9 |
| 鬆緊 1 | 17.1 | 8.5 | 12.5 | 13 | 19 | 0.6 | 0.7 |
| 鬆緊 2 | 17 | 11.1 | 14.1 | 17 | 21 | 1.15 | 0.65 |
| 鬆緊 3 | 17.3 | 3 | 6.8 | 5 | 10 | 0.2 | 0.7 |
| 鬆緊 4 | 16.9 | 3.4 | 6 | 6 | 10 | 0.6 | 1.3 |

(二) 將上表的結果轉換成圖，並根據相對位置找出最接近的模擬結果，將兩張圖放在一起，比對的結果如表六。

表六 實際測試與模擬結果的比對

| 手法 | 實測結果 | 最接近的模擬結果 | 比對情況 |
|----|---|--|------|
| 挑 |  |  | 符合 |
| 挑 |  |  | 符合 |
| 挑 |  |  | 不符合 |
| 鬆緊 |  |  | 不符合 |
| 鬆緊 |  |  | 符合 |
| 鬆緊 |  |  | 符合 |
| 鬆緊 |  |  | 符合 |

捌、結論

- 一、跳鈴的結果與手部振動的方式以及兩個鈴在繩上的相對位置有關，只要位置安排適當，可以選擇讓自己這邊的鈴或是對面的鈴跳過去。
- 二、無論哪一種振動方法，只要兩個鈴靠近振源這邊，都容易讓對面的鈴跳過來。
- 三、若在離振源比較遠的一端，用「挑」或「鬆緊」的手法可以讓自己這邊的鈴跳過去。
- 四、若是要讓鈴在繩子中間的地方跳起來，讓繩子先放鬆再拉緊的「鬆緊」手法，可以跳得比較高。

- 五、跳鈴的結果與繩子的拉力大小以及繩子的長短無關。
- 六、模擬與實際測試比對的結果大致上符合，但未能符合的例子都發生在兩個鈴接近中間的時候，兩個鈴的高度相差不多，這在模擬時就發現「挑」和「鬆緊」在靠近中間時，兩者的高度會很接近，因此我們的模擬的結果應該有參考價值。
- 七、實際測試的資料中，沒有「壓」的結果，是因為「壓」的手法最不容易讓鈴跳得高，我們短時間練習的結果也一直學不起來，所以無法得到數據來比對。希望我們可以再多花時間充分練習後，學會「壓」的技巧。
- 八、目前我們的模擬設計無法模擬出手部的細膩動作以及對面的人可以做配合的調整，這是我們將來可以再進一步研究的目標。

玖、參考資料及其他

- 一、國中自然與生活科技第五冊第二章，力與運動，翰林出版社。
- 二、國中自然與生活科技第五冊第三章，能量，翰林出版社。
- 三、扯鈴之家：運鈴的原理。取自<http://yoyo168.myweb.hinet.net/style.htm>
- 四、台灣傳統童玩-扯鈴：花式玩法。取自
<http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2002/C0228100235/index.htm>
- 五、昭明國小：扯鈴招式。取自<http://k.zmp.ks.edu.tw/pullbell/news.html>
- 六、躍動的精靈：動作教學。取自<http://www2.jcps.cyc.edu.tw/information/ring/index.html>

【評語】 030107

1. 主題由生活中有趣的現象觀察出發是一件生活科學之優良作品。
2. 在未知的現象中發展出具創意的觀測及分析模式。
3. 建議可再由繩子各點的張力及振幅觀測方向進行驗證。