

# 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

030105

馬尾擺盪的秘密—探討影響馬尾擺盪的因素

學校名稱：嘉義市立嘉義國民中學

作者：  國二 張寶予  國二 林翊蓓  國二 王宣之	指導老師：  曾永祥  湯惟新
---	-----------------------------

關鍵詞：馬尾、慣性、擺動

## 摘要

校園中經常看到同學綁的頭髮(俗稱：馬尾)在走路時會擺動，但是有人的馬尾卻又絲毫不動，甚麼因素影響馬尾的擺動狀況呢？

本研究主要以錄影方式紀錄受試者頭髮擺盪的情況，透過影像軟體分析數據，以頭髮條件、身體條件、身體運動速度和不同人格類型的四個面向探討與頭髮擺盪的關係。並輔助以模型模擬頭髮數量、頭髮長度和身體擺動頻率對頭髮擺動的影響。

研究結果顯示，走路所造成身體的擺動是主要影響頭髮擺動的關鍵，走路頻率、走路步長和頭髮擺動頻率、擺角都呈「正相關」；頭髮長度、厚度和頭髮擺動角度呈「正相關」；身高、體重和頭髮頻率呈「負相關」；頭髮綁低位置和內向人格類型的馬尾擺盪比率較低。

## 壹、研究動機

每天在校園中走動時，都會發現女同學綁的頭髮(俗稱：馬尾)劇烈擺動，但是我們也發現同樣都是綁著馬尾的女同學，有的人就很會擺動，有的人怎麼移動自己的身軀，馬尾都無動於衷，我們覺得很有趣。國中三上理化有講到單擺的擺動，跟馬尾擺動現象很相似，想要透過本研究的探討，了解影響馬尾是否會擺動的相關因素。

## 貳、研究目的

- 一、觀察走路向前時頭髮擺動的情況並推測其原因。
- 二、分析頭髮擺動與身體運動狀況之間的關係。
- 三、分析頭髮擺動與頭髮條件之間的關係。
- 四、分析頭髮擺動與身體條件之間的關係。
- 五、分析頭髮擺動與不同人格類型之間的關係。
- 六、製作模型探討頭髮數量對頭髮擺動的影響。
- 七、製作模型探討頭髮長度對頭髮擺動的影響。
- 八、製作模型探討身體擺動頻率對頭髮擺動的影響。

## 參、研究設備及器材

### 一、研究材料

布尺、筆電、影像處理軟體(繪聲繪影 11)、繪圖軟體(PhotoImpact X3)、賴氏人格測驗、量角器、厚紙板、黑色針線、接髮片(真髮，如圖 1)、串珠、膠帶、捲尺。

### 二、研究設備

攝影機、電子身高體重機、電腦、搖擺機(圖 2)、綜合力學實驗組(圖 3)。



圖 1 接髮片(真髮)

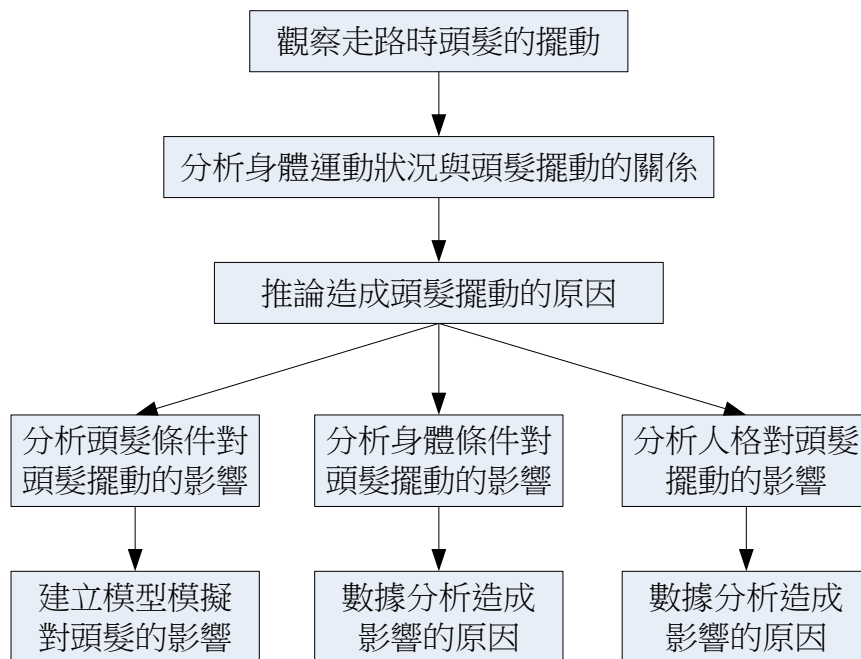


圖 2 搖擺機



圖 3 綜合力學實驗組

## 肆、研究過程或方法



一、觀察走路向前時頭髮擺動的情況並推測其原因。

我們透過攝影機錄製頭髮擺動的情況，一台錄影機拍攝背影，一台錄影機拍攝側面，紀錄頭髮在走路時左右的擺動與前後的擺動情況，並推論所發生的原因。

二、分析頭髮擺動與身體運動狀況之間的關係。

(一)身體運動與馬尾擺盪的觀察

測量出 15 公尺的走道長度，讓受試者在走道上走路，利用一台錄影機拍攝背影來紀錄馬尾的擺動，一台錄影機拍攝下半身的走路狀況，以分析受試者的走路頻率與走路步長。

(二)分析數據：將錄製的影片利用影像編輯軟體(繪聲繪影 11)分析。

- 1.走路頻率：紀錄每前進一步所需要的時間為「週期」，換算走路週期的倒數即為走路的「頻率」。計算時取五次的走路頻率，取其平均值，單位為步/秒。
- 2.走路速度：將走道的距離(15 公尺)除以從起點到終點的時間差，單位為公分/秒。
- 3.走路步長：走路速度÷走路頻率=走路步長，單位為公分/步。
- 4.馬尾擺動頻率：馬尾擺動從最左邊到最右邊，又回到最左邊時的時間差為擺動的「週期」，換算擺動週期的倒數即為擺動的「頻率」。計算時量取五次的擺動頻率，取其平均值，單位為次/秒。

5.馬尾擺動角度：利用影像編輯軟體擷取頭髮擺動的畫面，透過繪圖軟體和量角器分析頭髮的擺動角度。

### (三)研究樣本數

本研究將頭髮擺動角度 5 度以上認定為頭髮「會」擺動，擺動角度不到 5 度者認定為頭髮「不」擺動，本研究中頭髮「會」擺動和「不」擺動的樣本比例各為 50%(如表 1)。

表 1 馬尾「會」和「不會」擺動人數的人數

總人數	馬尾「會」擺動人數(百分比)	馬尾「不」擺動人數(百分比)
124 人	62 人(50%)	62 人(50%)

三、分析頭髮擺動與頭髮條件之間的關係。

1.頭髮的長度	2.頭髮的厚度
 <p>圖 4 頭髮長度的測量</p>	 <p>圖 5 頭髮厚度的測量</p>
用布尺量測髮圈下方到髮尾的長度。	用布尺量測髮圈後方頭髮一圈的周長。
3.髮圈的鬆緊	4.髮圈的高低
 <p>圖 6 髮圈鬆緊的測量</p>	 <p>圖 7 髮圈位置高低的觀察</p>
以小指可否通過髮圈為標準。小指可以通過為「鬆」，小指無法通過為「緊」。	以耳朵為界線，髮圈位置在耳朵頂線之上為「高」，耳朵頂線之下是「低」。

#### 四、分析頭髮擺動與身體條件之間的關係。

透過電子身高體重機紀錄受試者的身高與體重，以進行分析。

#### 五、分析頭髮擺動與不同人格類型之間的關係。

(一)分析方法：藉由輔導室施測的資料—「賴氏人格測驗」施測結果進行分析，研究資料都由受試者同意提供做為研究。

(二)人格類型：共分成 5 種人格類型

類型	A 類人格	B 類人格	C 類人格	D 類人格	E 類人格
特性	中向 (非內向非外向)	外向 情緒不穩定	內向 情緒穩定	外向 情緒穩定	內向 情緒不穩定 易緊張

#### 六、製作模型探討頭髮長度、身體擺動頻率、與頭髮數量頭髮擺動的影響。

(一)串珠模型：製作一長串的串珠，固定在綜合力學實驗組上，用手將串珠固定擺角

(如圖 8)，利用攝影機記錄經過兩次擺動週期後的擺角變化。

(二)黑色針線擺動模型：將黑色針線固定在厚紙板上，再將厚紙板固定在搖擺機(如圖 9)，

觀察黑色針線的擺動狀況。其中我們可以調整搖擺機的擺動段速(1 段速到 5 段速)。

(三)真髮擺動模型：將真髮(接髮片)固定在厚紙板上，再將厚紙板固定在搖擺機上

(如圖 10)，觀察真髮的擺動狀況。

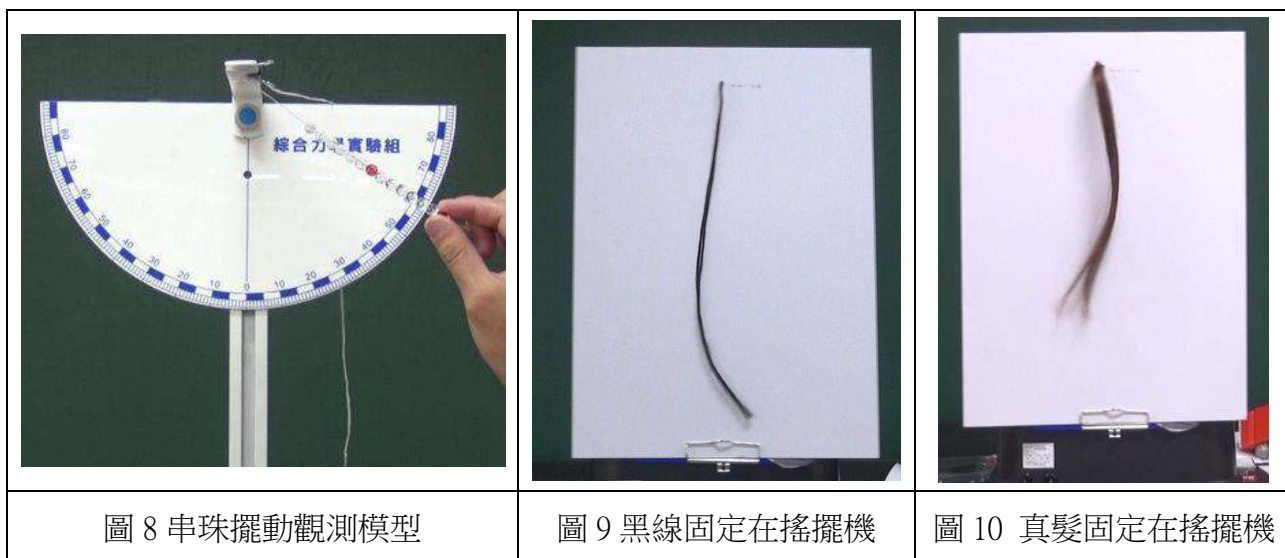


圖 8 串珠擺動觀測模型

圖 9 黑線固定在搖擺機

圖 10 真髮固定在搖擺機

## 七、研究方法

(一)相關係數的分析：用 Microsoft Excel 2010 裡的公式 CORREL 來分析相關係數。

(二)相關係數的 r 值越大，表示兩變量之間的直線相關程度越強。

(三)相關係數的強度大小與意義：(陳超塵，1991)

表 2 相關係數值與關連程度

相關係數範圍(絕對值)	變項關連程度
0.7 以上	高度相關
0.3~0.69	中度相關
0.29 以下	低度相關

當相關係數的絕對值在 0.1 以下，視為「很低度相關」，本研究不予討論。

(四)六種不同程度相關情形：

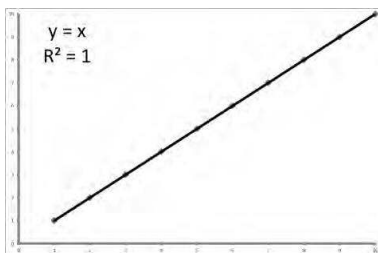


圖 11 當  $r=1$ ，完全正相關

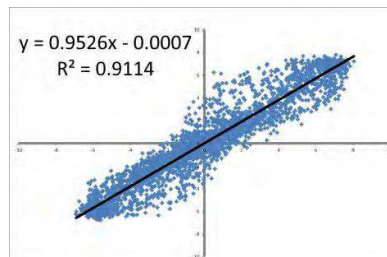


圖 12 高度正相關

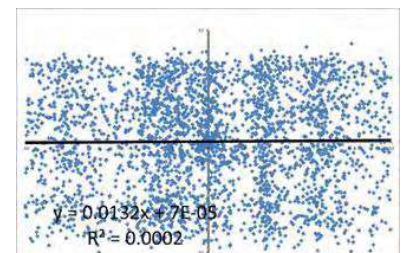


圖 13 低度正相關

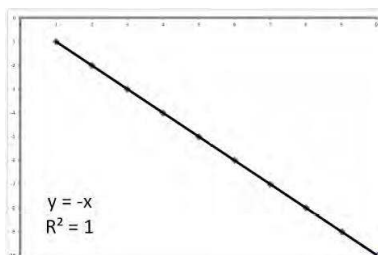


圖 14 當  $r=-1$ ，完全負相關

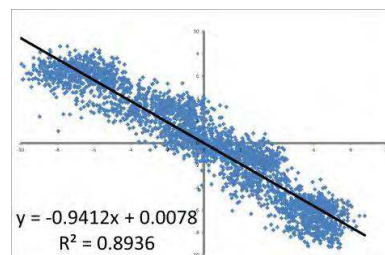


圖 15 高度負相關

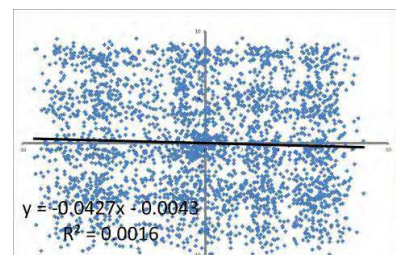






圖 16 低度負相關

## 伍、研究結果

一、觀察走路向前時頭髮擺動的情況並推測其原因。

(一)頭髮「前後」的擺動狀況





- 1.當身體靜止時，頭髮受重力往下垂，頭髮較長者頭髮會緊貼到背部(圖 17)。
- 2.開始起步向前走時，頭髮會先跑到身體後方(圖 18)。
- 3.之後繼續往前走，頭髮又開始往前移動，並產生左右方向的擺動(圖 19)。
- 4.等速往前走時，頭髮持續左右擺盪 (圖 20)。

	
圖 17 頭髮前後的擺動(畫面 1)	圖 18 頭髮前後的擺動(畫面 2)
	
圖 19 頭髮前後的擺動(畫面 3)	圖 20 頭髮前後的擺動(畫面 4)



(二)頭髮「左右」的擺動狀況

- 1.身體往左方開始跨出第一步時，馬尾先往右方移動(圖 21)。
- 2.往左方的第一步超過半步時，馬尾開始往左方擺動(圖 22)。
- 3.開始往右方跨步時，馬尾持續往左方擺動(圖 23)。
- 4.往右方的步伐超過半步時，馬尾開始往右方擺動(圖 24)。

	
<p>圖 21 頭髮左右的擺動(畫面 1)</p>	<p>圖 22 頭髮左右的擺動(畫面 2)</p>
	
<p>圖 23 頭髮左右的擺動(畫面 3)</p>	<p>圖 24 頭髮左右的擺動(畫面 4)</p>

## 二、頭髮擺動與身體運動狀況之間的關係

### (一)「走路頻率」的對頭髮擺動的影響

#### 1.「走路頻率」對馬尾「擺動頻率」的影響

表 3 「走路頻率」和頭髮「擺動頻率」相關係數

	相關係數數值	關聯程度
馬尾有擺動的樣本	0.93	高度正相關

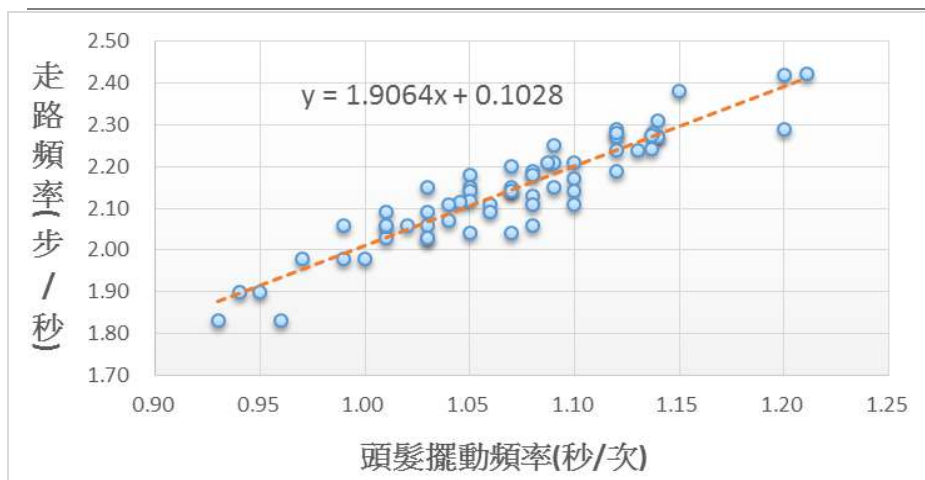


圖 25 「走路頻率」和頭髮「擺動頻率」分析散布圖

#### 2.「走路頻率」和頭髮「擺動頻率」兩者關係式為：

$$\text{走路頻率} = \text{頭髮擺動頻率} \times 1.9 + 0.1$$

#### 3.將走路「兩步」視為「一次」完整的身體擺動，分析「身體擺動」和頭髮擺動頻率的分布散布圖：

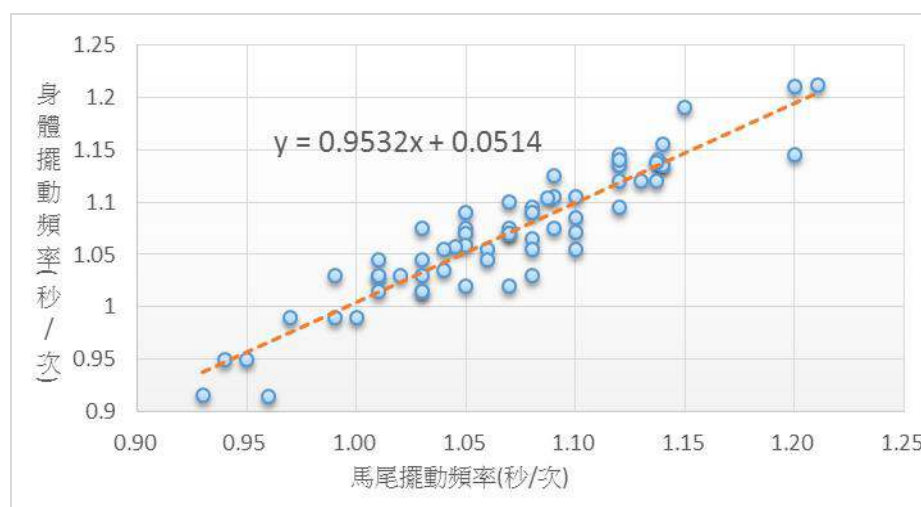


圖 26 「身體擺動頻率」和頭髮「擺動頻率」分析散布圖

4. 「走路頻率」和頭髮「擺動頻率」兩者關係式為：

$$\text{身體擺動頻率} = \text{馬尾擺盪頻率} \times 0.95 + 0.05$$

5. 「走路頻率」對頭髮「擺動角度」的影響：

表 4 「走路頻率」對頭髮「擺動角度」相關係數

	相關係數數值	關聯程度
全部的樣本	0.28	低度正相關

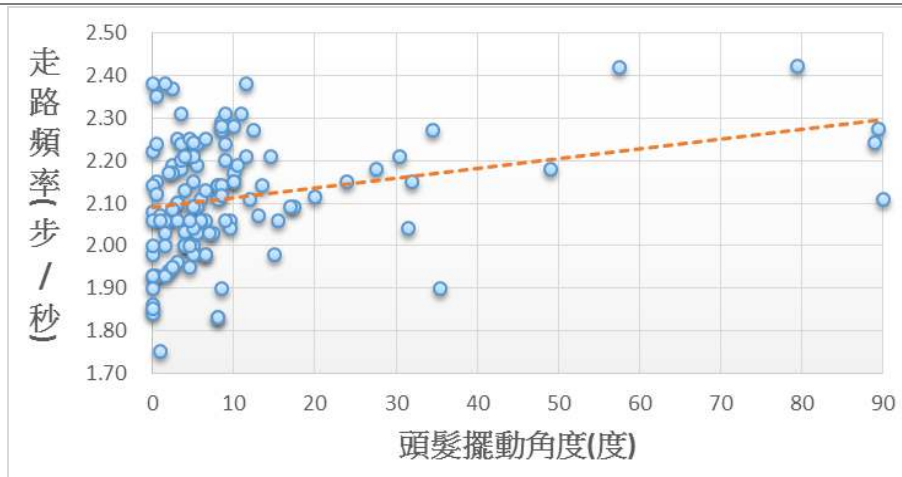


圖 27 「走路頻率」和頭髮「擺動角度」分析散布圖

6. 「走路步長」的對頭髮「擺動角度」影響

表 5 「走路步長」對頭髮「擺動角度」相關係數

	相關係數數值	關聯程度
全部的樣本	0.33	中度正相關

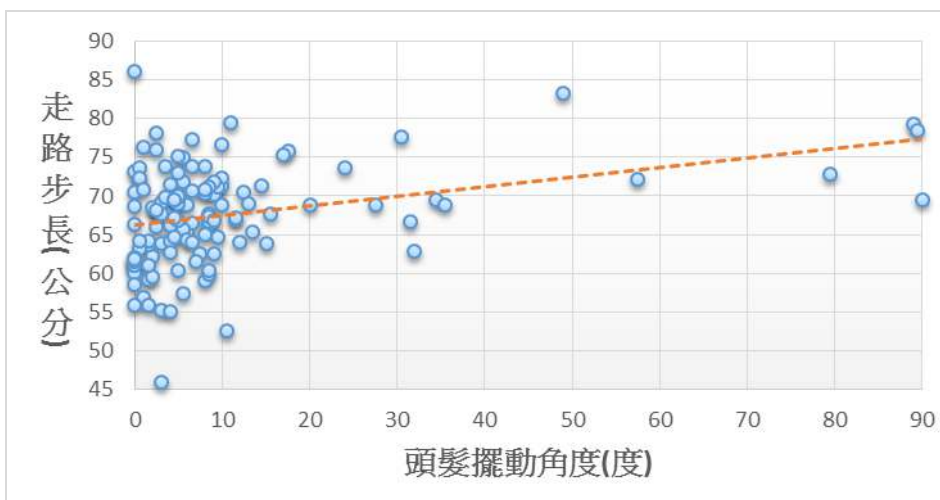


圖 28 「走路步長」和頭髮「擺動角度」的分析散布圖

三、頭髮擺動與頭髮條件之間的關係

(一)「頭髮長度」對頭髮擺動的影響

表 6 「頭髮長度」和頭髮「擺動頻率」的相關係數

	相關係數數值	關聯程度
馬尾有擺動的樣本	-0.11	低度負相關

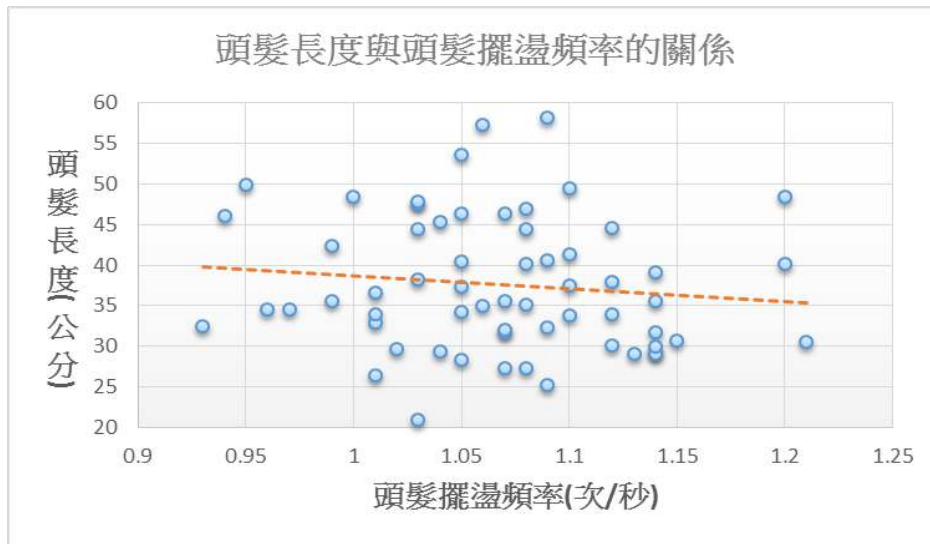


圖 29 「頭髮長度」和頭髮「擺動頻率」的分析散布圖

表 7 「頭髮長度」和頭髮「擺動角度」的相關係數：

	相關係數數值	關聯程度
馬尾有擺動的樣本	0.14	低度正相關

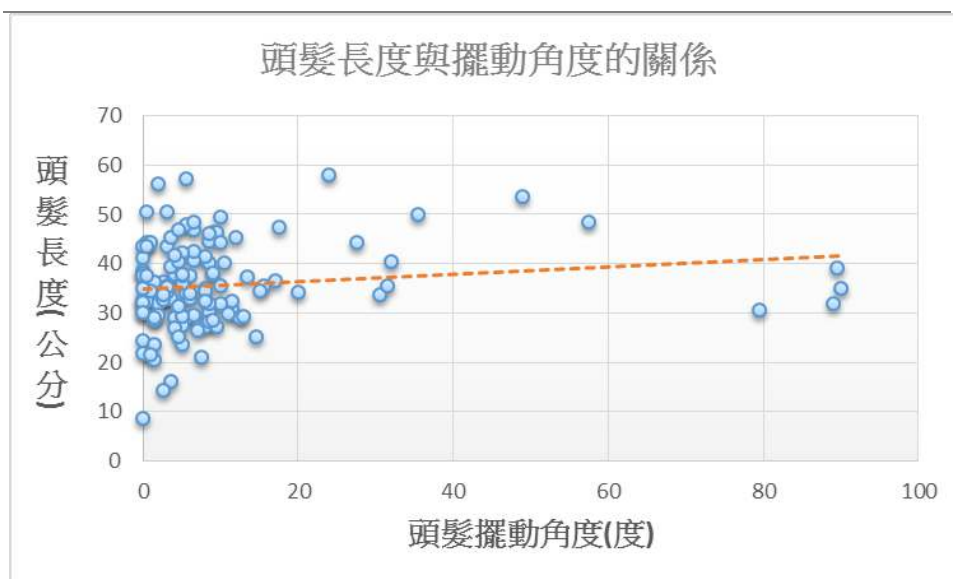


圖 30 「頭髮長度」和頭髮「擺動角度」的分析散布圖

(二)不同頭髮長度與頭髮擺角的關係：

將頭髮長度每隔 5 公分為一個族群，比較不同頭髮長度與頭髮擺動角度的關係。我們只有紀錄樣本數達 20 個以上的族群，樣本數少於 20 個的數據，因為變異性會太大，我們不進行探討。

表 8 不同頭髮長度對頭髮擺動角度的關係

頭髮長度(公分)	25.0 — 29.9	30.0 — 34.9	35.0 — 39.9	40.0 — 44.9
擺角(度)	6.82	11.71	13.28	7.59
樣本數	22	29	25	25

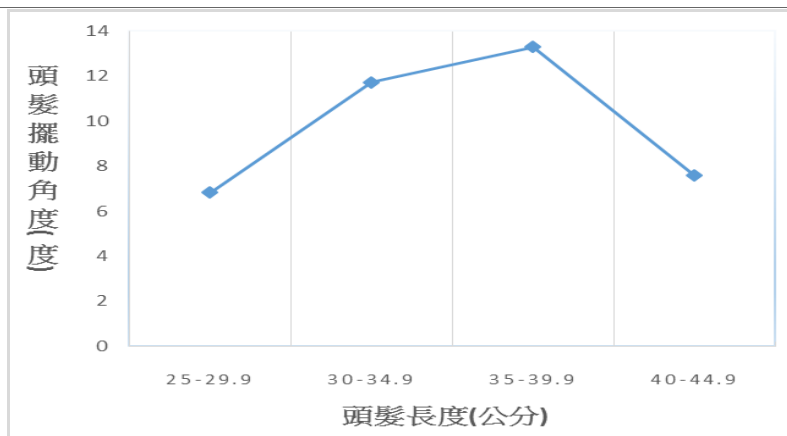


圖 31 不同頭髮長度的頭髮擺動角度大小

(三)「頭髮厚度」對頭髮擺盪的影響

表 9 「頭髮厚度」和頭髮「擺動角度」的相關係數

	相關係數數值	關聯程度
全部的樣本	0.12	低度正相關

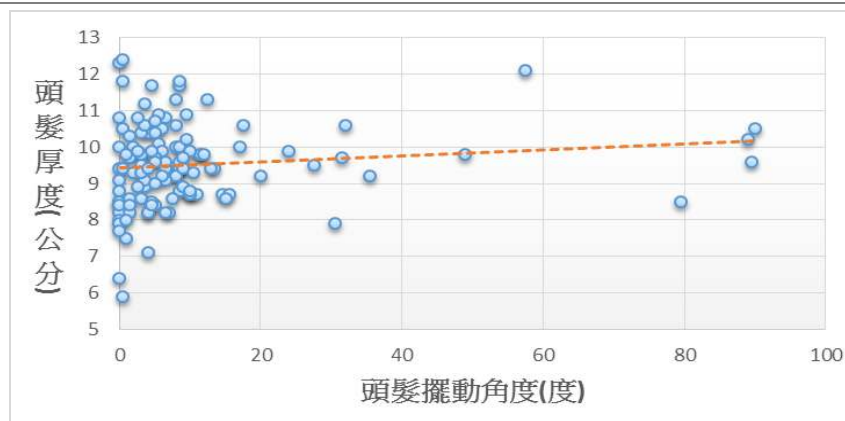


圖 32 「頭髮厚度」和頭髮「擺動角度」的分析散布圖

(四)「髮圈的鬆緊」與頭髮會不會擺動的相對比例：

表 10 髮圈綁「緊」樣本和髮圈綁「鬆」樣本的馬尾會不會擺動的比例

	髮圈綁「緊」	髮圈綁「鬆」
馬尾「會」擺動	$\frac{36人}{72人} = 50.00\%$	$\frac{24人}{47人} = 51.06\%$
馬尾「不」擺動	$\frac{36人}{72人} = 50.00\%$	$\frac{23人}{47人} = 48.94\%$

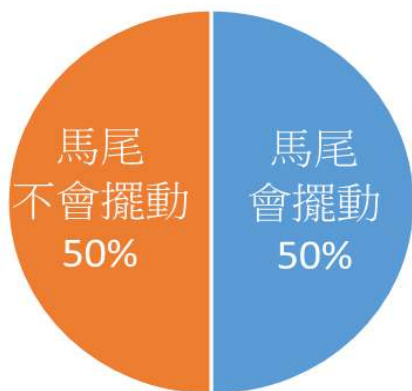


圖 33 髮圈綁「緊」的馬尾擺動狀況

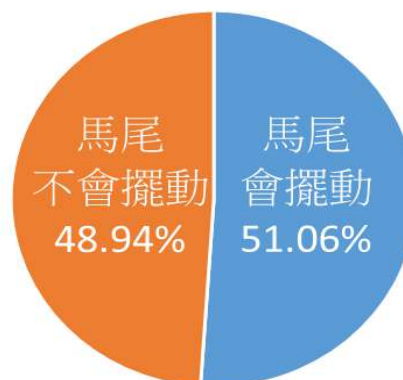


圖 34 髮圈綁「鬆」的馬尾擺動狀況

(五)「髮圈的高低」與頭髮會不會擺動的相對比例：

表 11 髮圈綁「高」樣本和髮圈綁「低」樣本的馬尾會不會擺動的比例

	髮圈「高」位置	髮圈「低」位置
馬尾「會」擺動	$\frac{55人}{101人} = 54.46\%$	$\frac{5人}{18人} = 27.78\%$
馬尾「不」擺動	$\frac{46人}{101人} = 45.54\%$	$\frac{13人}{18人} = 72.22\%$

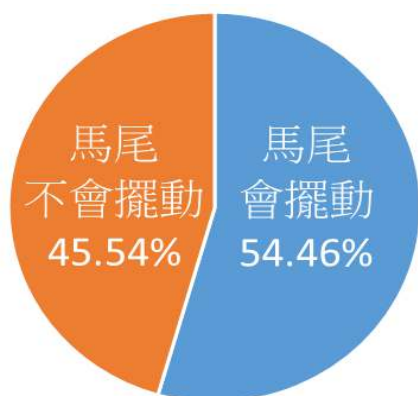


圖 35 髮圈「高」位置的馬尾擺動狀況

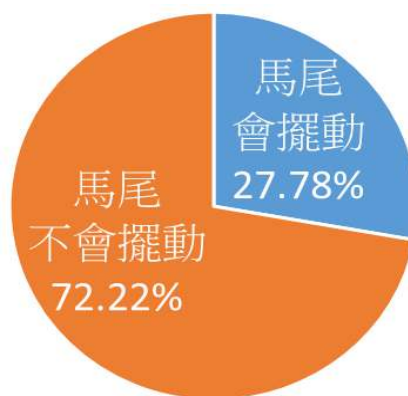


圖 36 髮圈「低」位置的馬尾擺動狀況

#### 四、頭髮擺動與身體條件之間的關係

##### (一)「身高」對頭髮「擺動頻率」的影響

表 12 「身高」和頭髮「擺動頻率」的相關係數

	相關係數數值	關聯程度
馬尾有擺動的樣本	-0.11	低度負相關

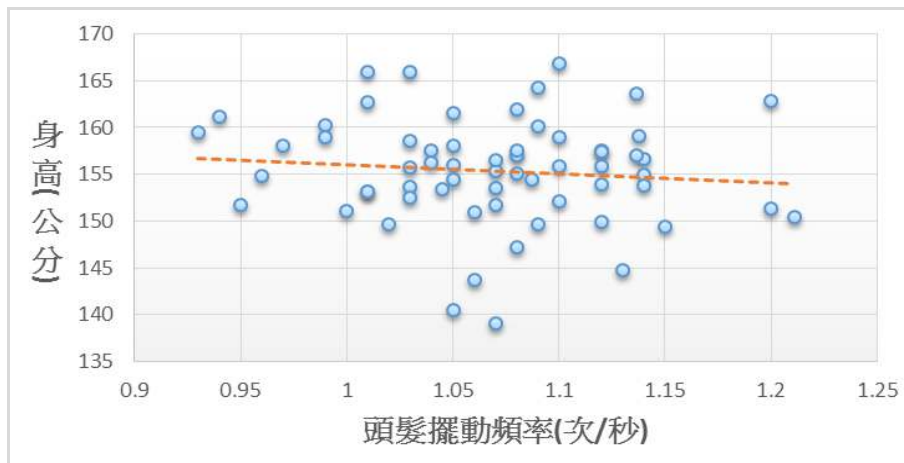


圖 37 「身高」和頭髮「擺動頻率」的分析散布圖

表 13 「身高」和走路頻率的相關係數

	相關係數數值	關聯程度
全部樣本	-0.22	低度負相關

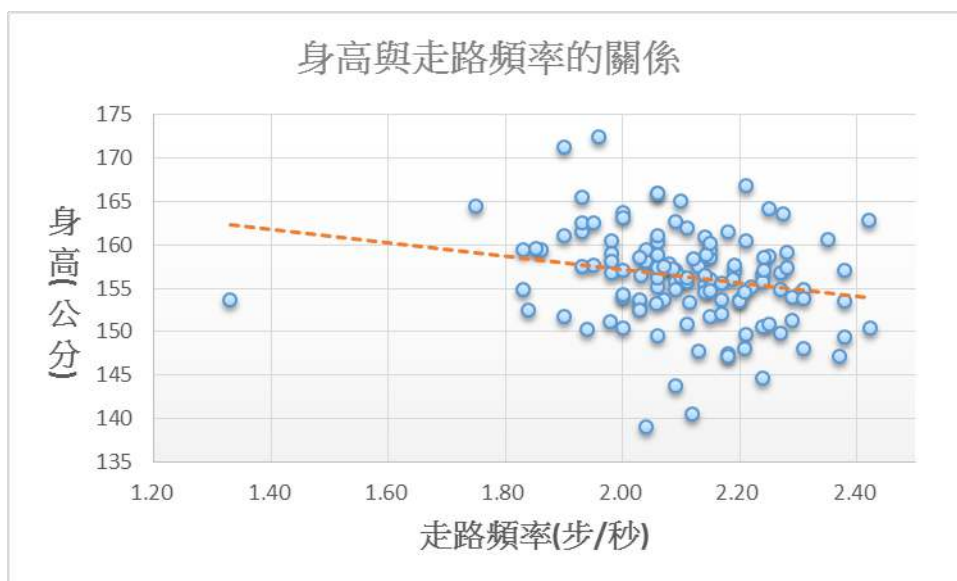


圖 38 「身高」和走路頻率的分析散布圖

(二)「體重」對頭髮「擺動頻率」的影響

表 14 「體重」和頭髮「擺動頻率」的相關係數：

	相關係數數值	關聯程度
馬尾有擺動的樣本	-0.15	低度負相關

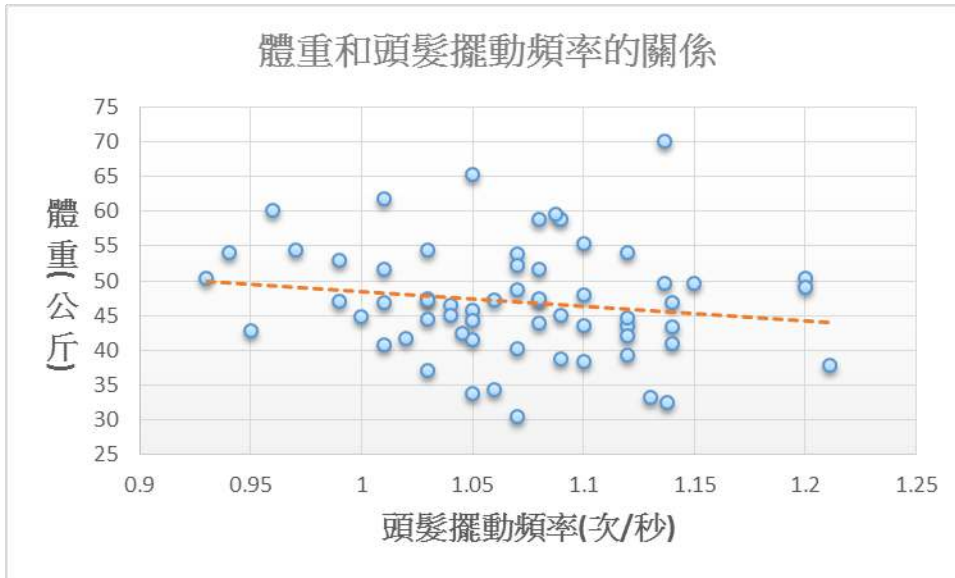


圖 39 「體重」和頭髮「擺動頻率」的分析散布圖

表 15 「體重」和「走路頻率」的相關係數：

	相關係數數值	關聯程度
全部的樣本	-0.16	低度負相關

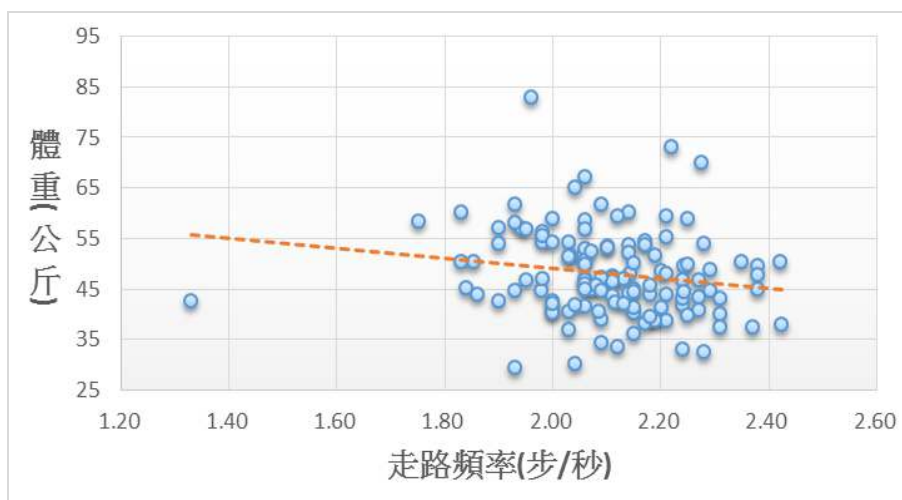


圖 40 「體重」和「走路頻率」的分析散布圖



## 五、頭髮擺動與不同人格類型之間的關係

### (一)「不同人格類型」對頭髮是否會擺動的影響

表 16 不同人格類型的頭髮是否會擺動人數比例

人格類型	A 類人格	B 類人格	C 類人格	D 類人格	E 類人格
特性	中向 (非內向非外向)	外向 情緒不穩定	內向 情緒穩定	外向 情緒穩定	內向 情緒不穩定 易緊張
總人數	14 人	14 人	25 人	24 人	13 人
頭髮會擺動 (人數比例)	8 人 (57.14%)	9 人 (64.29%)	12 人 (48.00%)	15 人 (62.50%)	4 人 (30.77%)
頭髮「不」擺動 (人數比例)	6 人 (42.86%)	5 人 (35.71%)	23 人 (52.00%)	9 人 (37.50%)	9 人 (69.23%)

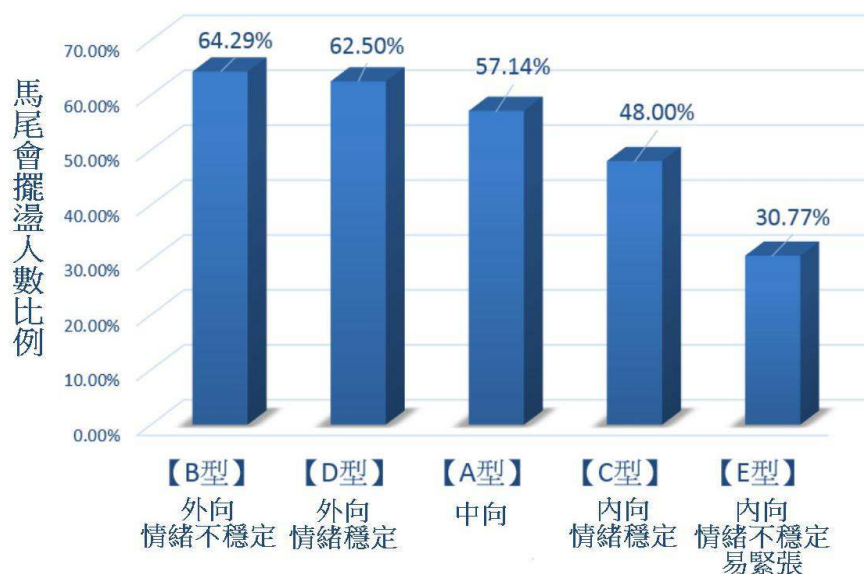


圖 41 不同人格類型的頭髮是否會擺動人數比例

### (二)「不同人格類型」的走路頻率與走路步長差異

將馬尾會擺盪比例超過 50% 的 B 型、D 型和 A 型人格類型歸類為「中、外向人格類型」，將馬尾會擺盪比例不到 50% 的 C 型和 E 型人格類型歸類為「內向人格類型」，比較兩種人格類型的受試者走路頻率與走路步長差異。

1.將「中、外向人格類型」與「內向人格類型」的走路頻率進行 t-test 檢驗，發現兩種類型的走路頻率沒有顯著差異(如表 14)。

表 17 不同類型的「走路頻率」差異分析表

類型	人數	平均數(步/秒)	標準差	t 值
中、外向人格類型	52	2.12	0.14	1.18
內向人格類型	38	2.09	0.13	

2.將「中、外向人格類型」與「內向人格類型」的走路步長進行 t-test 檢驗，發現兩種類型的走路步長有顯著差異( $p < 0.05$ ，如表 15)。

表 18 不同類型的「走路步長」差異分析表

類型	人數	平均數(公分/步)	標準差	t 值
中、外向人格類型	52	69.09	5.29	2.32*
內向人格類型	38	66.26	6.22	

\* $p < 0.05$

## 六、製作模型探討頭髮數量對頭髮擺動的影響

(一)將搖擺機擺動角度固定為 5 段速，準備不同數量的黑色針線，裝置於搖擺機搖晃，觀察不同黑色針線數量擺動角度大小的差異。並比較黑色針線不同長度的差異。

表 19 不同黑線數量與擺角的關係

擺動角度 (度) 黑線數量(條)	黑線	黑線	黑線	黑線	黑線	黑線	黑線	黑線
	10 公分	15 公分	20 公分	25 公分	30 公分	35 公分	40 公分	45 公分
黑線 50 條	37.0	23.0	17.5	14.5	14.5	12.5	10.5	9.0
黑線 100 條	48.5	23.5	16.5	20.0	17.0	15.0	12.5	9.5
黑線 150 條	58.5	29.5	17.0	15.5	16.5	14.5	13.0	11

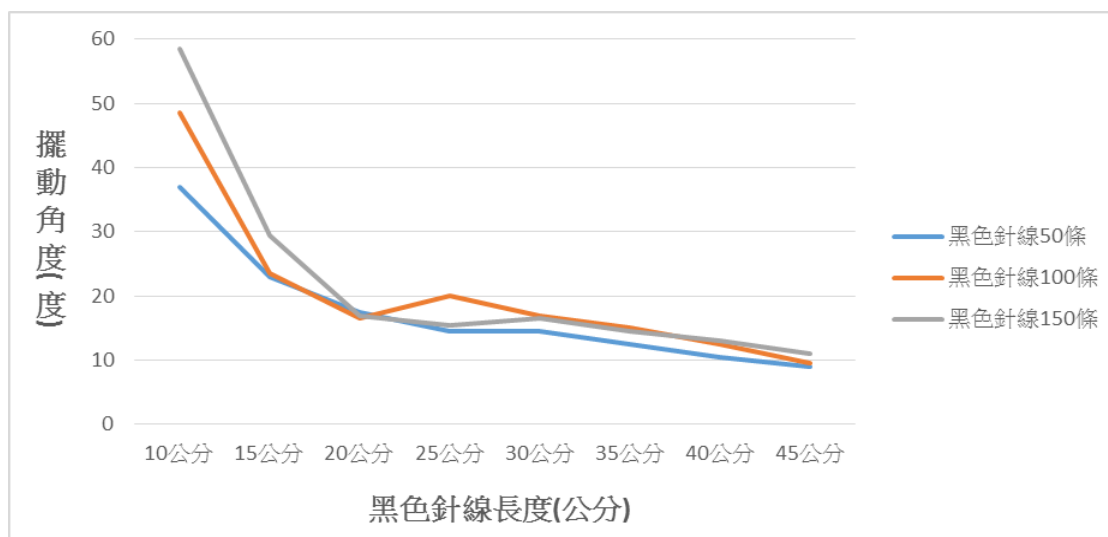


圖 42 不同黑色針線數量的擺動角度差異

(二)將搖擺機擺動角度固定為 5 段速，準備不同數量的真髮樣本，放置在搖擺機上，觀察不同真髮數量對頭髮擺動角度的影響。並比較真髮不同長度的差異。

表 20 不同真髮數量的擺動角度差異

真髮數量(條)	真髮長度(公分)					
	15公分	20公分	25公分	30公分	35公分	40公分
真髮 1500 條	31.5	26.5	14.5	9.0	8.5	8.5
真髮 3000 條	37.5	31.0	20.5	16.5	11.0	7.5
真髮 4500 條	28.5	29.5	23.5	11.5	14.5	9.5

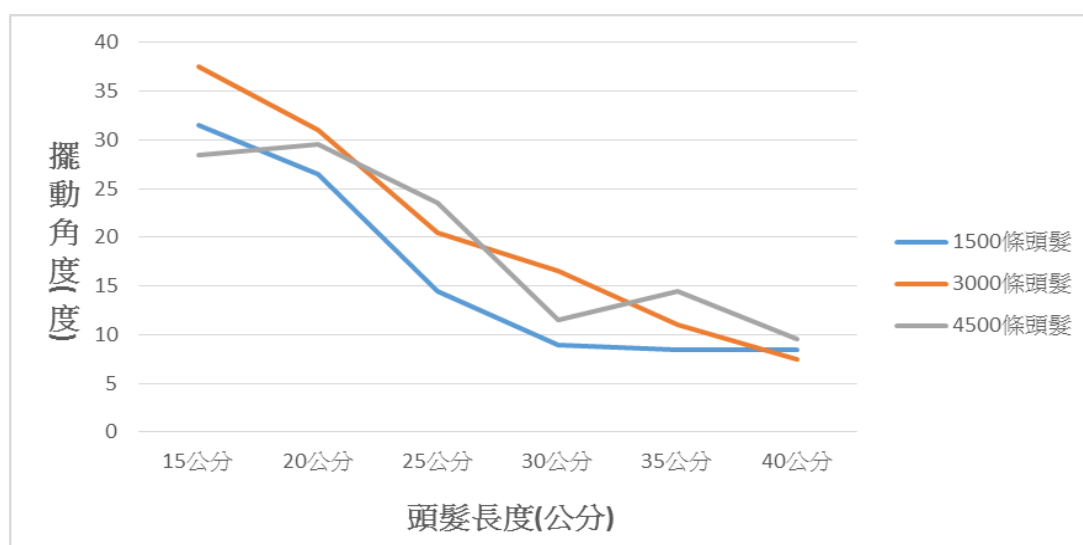


圖 43 不同真髮數量的擺動角度差異

## 七、製作模型探討頭髮長度對頭髮擺動的影響

(一)製作不同長度的串珠模擬頭髮的擺動，固定從擺角 60 度釋放，觀察經過兩次擺盪週期後，串珠擺盪角度的大小。其中每一串串珠包含七顆串珠，每一串串珠的長度為 5.5 公分。

表 21 串珠長度與擺動角度的大小

串珠數量	2 串	3 串	4 串	5 串	6 串	7 串	8 串	9 串
擺盪角度(度)	57.0	55.0	53.0	52.0	50.0	47.0	46.0	45.0

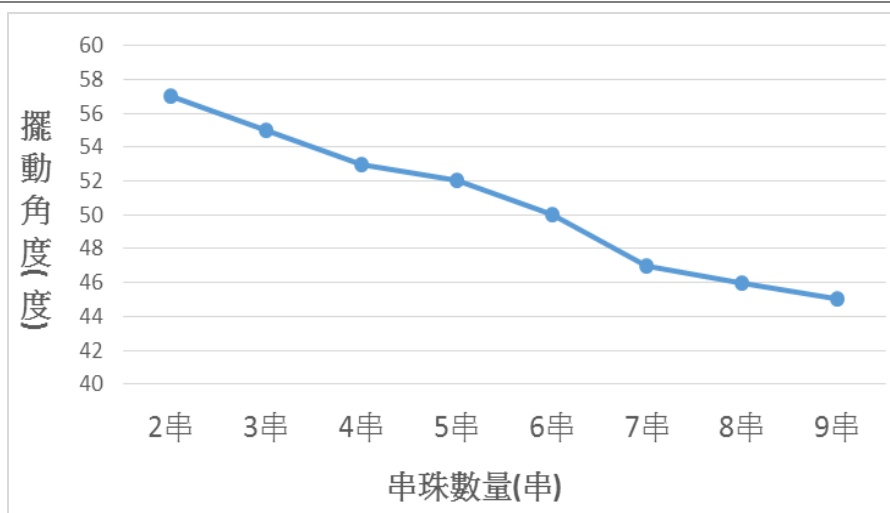


圖 44 串珠長度與擺動角度的大小

(二)將搖擺機擺動頻率固定在 3 段速，製作不同長度的黑色針線，觀察其擺動角度的大小。並比較不同黑色針線數量的擺動角度的差異。

表 22 不同黑色針線長度與擺角的關係

黑色針線擺動角度(度)	45 條	30 條	15 條
黑色針線長度(公分)	黑色針線	黑色針線	黑色針線
黑色針線 5 公分	27.5	38.0	35.0
黑色針線 10 公分	48.0	48.5	42.0
黑色針線 15 公分	22.5	25.0	27.0
黑色針線 20 公分	15.5	22.0	20.5
黑色針線 25 公分	15.5	15.5	15.5
黑色針線 30 公分	11.0	13.5	14.0

黑色針線擺動角度(度)	45 條	30 條	15 條
黑色針線長度(公分)	黑色針線	黑色針線	黑色針線
黑色針線 35 公分	9.0	6.0	7.5
黑色針線 40 公分	5.5	9.5	13.0
黑色針線 45 公分	9.5	9.5	13.0

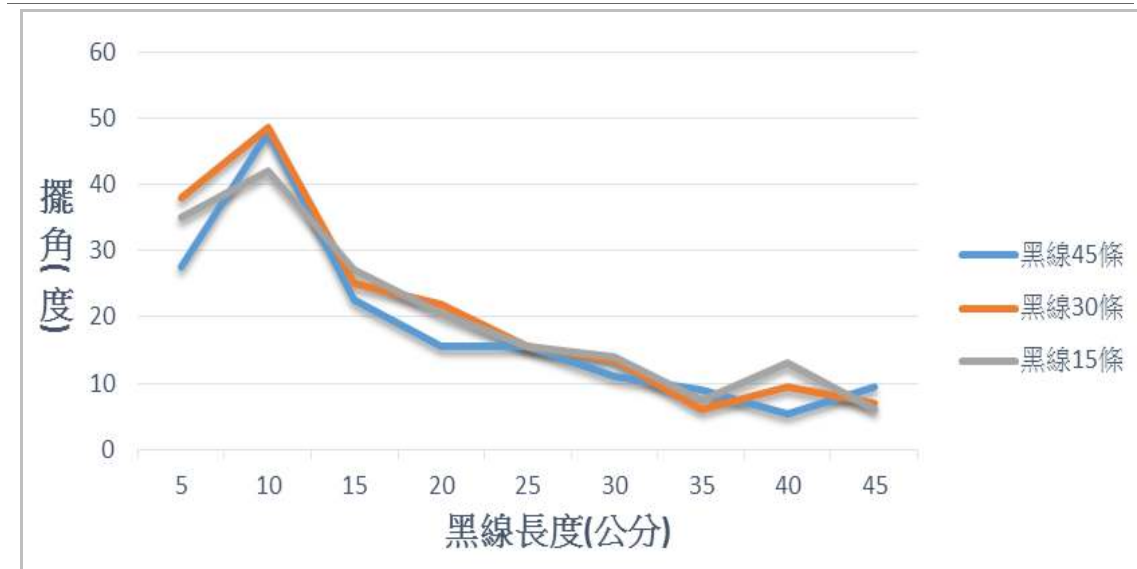


圖 45 不同黑色針線長度與擺角的關係

(三)製作樣本固定為 1500 條真髮，調整真髮到不同的長度，觀察其擺動角度的大小。並比較搖擺機的不同搖晃段速的擺動角度的差異。

表 23 不同真髮長度與擺角的關係

真髮擺動角度(度)	搖擺機	搖擺機	搖擺機	搖擺機	搖擺機
真髮長度(公分)	1 段速	2 段速	3 段速	4 段速	5 段速
真髮 15 公分	26.0	27.5	26.5	24.0	31.5
真髮 20 公分	27.5	28.5	28.0	24.0	26.5
真髮 25 公分	18.0	17.5	18.0	17.5	14.5
真髮 30 公分	15.0	17.0	16.0	12.5	9.0
真髮 35 公分	15.0	16.0	18.5	10.0	8.5
真髮 40 公分	12.5	11.0	13.5	9.5	8.5

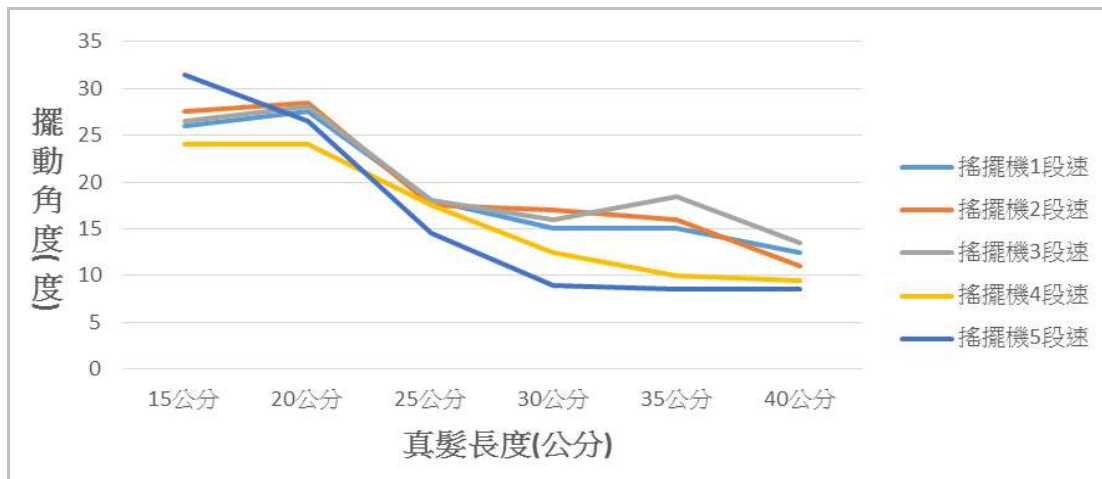


圖 46 不同真髮長度與擺角的關係

### 八、製作模型探討身體擺動頻率對頭髮擺動的影響

(一)製作黑色針線數量固定為 30 條的樣本，調整搖擺機搖晃的頻率，觀察不同搖擺機搖晃頻率對黑色針線擺動角度大小的影響。並比較不同長度的黑色針線的是否有不同差異。

表 24 不同搖擺機搖晃段速對擺角的關係

搖擺機搖晃速度	黑線擺動角度(度)				
	黑線 5 公分	黑線 15 公分	黑線 25 公分	黑線 35 公分	黑線 45 公分
搖擺機 1 段速	21.0	28.0	13.5	12.0	14.0
搖擺機 2 段速	28.0	26.5	14.5	11.0	11.0
搖擺機 3 段速	38.0	25.0	15.5	6.0	7.0
搖擺機 4 段速	53.0	22.5	15.5	5.0	6.0
搖擺機 5 段速	78.0	23.0	14.5	5.0	7.0

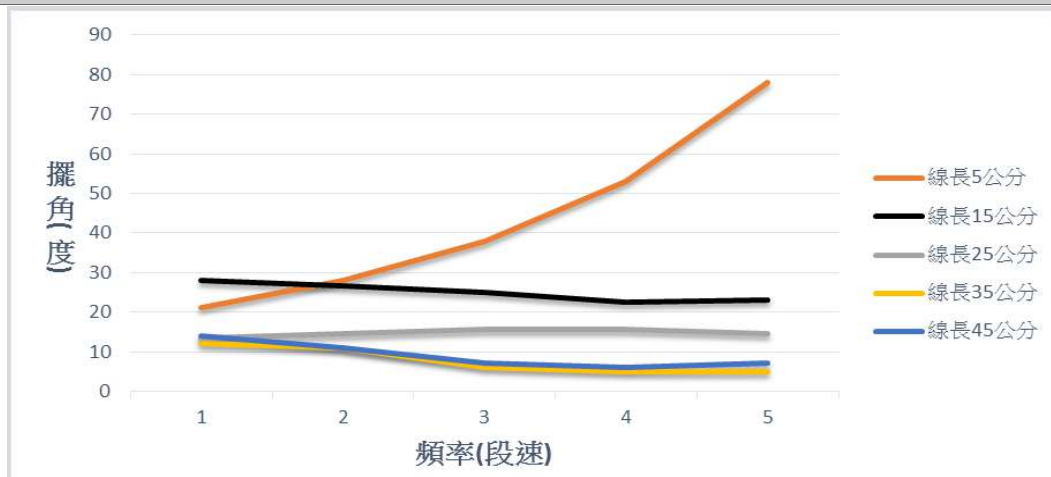


圖 47 搖擺機的擺動頻率對黑色針線擺動角度的影響

(二)製作固定 3000 條的真髮樣本，調整搖擺機搖晃的頻率，觀察不同搖擺機搖晃的頻率對真髮擺動角度大小的影響。並比較不同長度的真髮是否有不同的差異。

表 25 不同搖擺機搖晃段速對擺角的關係

擺動角度(度) 搖擺機搖晃速度	真髮	真髮	真髮	真髮	真髮
	15 公分	20 公分	25 公分	30 公分	35 公分
搖擺機 1 段速	31.5	26	22.5	21	14.5
搖擺機 2 段速	29	27.5	24	20.5	13.5
搖擺機 3 段速	33	28.5	24	19.5	13.5
搖擺機 4 段速	33	27.5	20.5	17	12.5
搖擺機 5 段速	37.5	31	20.5	16.5	11

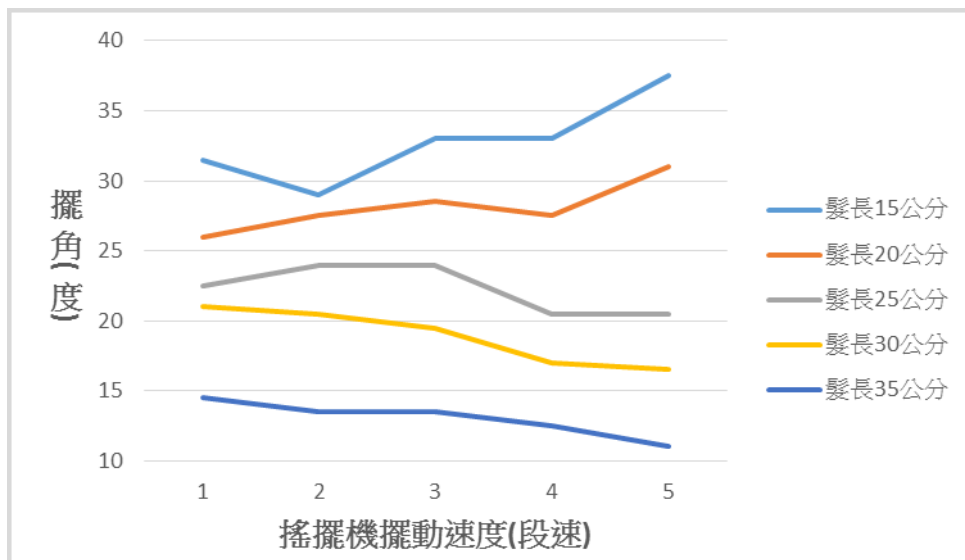


圖 48 搖擺機的擺動頻率對真髮擺動角度的影響

## 陸、討論

一、觀察走路向前時頭髮擺動的情況並推測其原因。

(一)觀察走路向前時，頭髮「前後」的擺動狀況並推測其原因。

1.開始向前走路時，原本受重力下垂的頭髮，會先跑到身體後面。因為此時身體雖然往前移動，但是因為頭髮尚未受力，所以維持慣性—「靜止的物體仍然保持靜止」，而身體此時是向前移動，因此靜止的頭髮看起來像是跑到身體後面。

2.之後頭髮往前移動，碰到身體後開始往左右擺動。因為此時頭髮開始受到身體往前的

力量拉扯，於是頭髮往前移動，並開始隨身體左右跨步移動而擺動。

(二)觀察走路向前時，頭髮「左右」的擺動狀況並推測其原因。

- 1.身體開始往左跨出第一步時，頭髮先往右移動，再往左方移動。因為此時身體雖然向左方跨出第一步，但是頭髮尚未受力，所以維持慣性—「靜止的物體仍然保持靜止」，而身體此時是向左移動，因此靜止的頭髮剛開始看起來像是往身體右方移動。之後受到身體向左移動的力量，頭髮開始向左擺動。
- 2.身體往右方剛開始跨步時，頭髮仍持續向左方移動，需要等向右跨步超過半步之後，頭髮才開始往右方擺動。因為雖然身體開始往右移動跨步，但是馬尾此時仍維持向左的慣性速度，等到身體向右移動產生的力量，讓馬尾靜止在擺動的左方最高點時，此時馬尾會開始向右擺動。

## 二、頭髮擺動與身體運動狀況之間的關係

(一)「走路頻率」和頭髮「擺動頻率」的相關係數值為 0.93，屬於「高度正相關」。進一步將走路「兩步」視為「一次」完整的身體擺動，發現身體擺動頻率與頭髮擺動頻率兩者關係式：身體擺動頻率=馬尾擺盪頻率 $\times 0.95 + 0.05$ ，也就是頭髮擺盪頻率值很接近身體擺動頻率值。於是我們推論是身體的左右擺動造成了馬尾的左右擺動。

(二)「走路頻率」和頭髮擺動「角度」的相關係數值為 0.28，屬於「低度正相關」。我們推論這是因為走路頻率越大，身體擺動的頻率與速度也越大，於是頭髮從身體擺動所獲得的動能也越大，轉換成擺動時的能量也會增加，所以頭髮的擺角也會比較大。我們後面進行模擬實驗時，也同樣看到這樣的現象，可以參考討論七。

(三)「走路步長」和頭髮擺動「角度」的相關係數值為 0.33，屬於「中度正相關」。我們推論這是因為走路步長越大，腳步所施的力量會越大(地面施給身體的反作用力也越大)，身體所產生的位移也越大，根據作功=施力 $\times$ 位移( $W=F\times S$ )的理論，因此走路步長越大，身體所作的功會越大(如圖 37)，傳遞給頭髮擺動的能量也越大，轉換成擺動時的能量也會增加，讓頭髮的擺動角度也越大。



圖 49 走路步長產生的能量



### 三、頭髮擺動與頭髮條件之間的關係

(一)頭髮的「長度」對頭髮擺動「頻率」的相關係數值為-0.11，屬於「低度負相關」。頭髮的擺動屬於複擺的擺動，經過文獻探討發現複擺的擺動週期(全中平，2012)的公式為

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2L}{3g}}$$

，其中 L 為複擺的長度。所以頭髮的長度越長，頭髮的擺盪週期會越大，

頭髮的擺動頻率會越小，頭髮的長度和頭髮擺動頻率兩者的關係為負相關。不過我們認為頭髮擺動的頻率主要還是受到走路頻率的影響(因為相關係數值較大)，頭髮長度造成的影響是些微的。

(二)頭髮的「長度」對頭髮擺動「角度」的相關係數值為 0.14，屬於「低度正相關」。根據統計的數據分析發現，當頭髮的長度在 25 公分~40 公分時，頭髮長度越長，頭髮的擺角越大，但是當頭髮長度在 40 公分以上時，頭髮擺動角度則會開始減少。我們後面進行模型模擬實驗時，也發現這個趨勢，相關原因將於討論七進行探討。

(三)頭髮的「厚度」對頭髮擺動「角度」的相關係數值為 0.12，屬於「低度正相關」。我們後面進行模型模擬實驗，也發現頭髮較多者，擺動角度會較大，相關原因的將於討論六進行探討。

(四)髮圈的鬆緊對頭髮擺動的影響：當髮圈綁「緊」時，和髮圈綁「鬆」時，頭髮會擺動和不會擺動的比例都接近 50%，也接近本實驗的樣本比例(頭髮會擺動的樣本 50%，頭髮不會擺動的樣本 50%)。所以髮圈的鬆緊對頭髮擺動並不會造成影響。

(五)當髮圈綁「高」位置時，頭髮會擺動的比例(54.46%)略高於頭髮不會擺動的比例(45.54%)，所以當髮圈綁在「高」位置時，頭髮會擺動的機率稍微高一些。另外當髮圈綁「低」位置時，馬尾會擺動的比例(27.78%)遠低於馬尾不會擺動的比例(72.22%)，所以髮圈綁低位置有很高的機率馬尾不會擺動。經由錄影分析，我們發現當髮圈綁高位置時，頭髮擺動時會懸空(如圖 50)，但是當髮圈綁低位置時，頭髮擺動時受重力影響會往下垂，直接與身體背部接觸摩擦(如圖 51)，因此摩擦力會耗損頭髮擺動的能量，使得頭髮擺動角度減少，因此馬尾會擺動的機率較低。



#### 四、頭髮擺動與身體條件的關係。

(一)「身高」和頭髮擺動「頻率」的相關係數值為-0.11，屬於「低度負相關」，進一步分析可以發現，身高和走路頻率的相關係數值為-0.22，屬於「低度負相關」。因為頭髮擺動頻率和走路頻率為高度正相關，所以我們推論身高較高的人可能因為腿也較長，所以走路的頻率較小，帶動頭髮擺動的頻率也較小。

(二)「體重」和頭髮擺動「頻率」的相關係數值為-0.15，屬於「低度負相關」，進一步分析可以發現，體重和走路頻率的相關係數值為-0.16，屬於「低度負相關」。因為頭髮擺動頻率和走路頻率為高度正相關，所以我們推論體重較重的人，因為身體重量的負荷較大，所以走路的頻率較小，帶動著頭髮擺動的頻率也較小。

#### 五、頭髮擺動與不同人格類型之間的關係。

(一)「中向」或「外向」人格的受試者頭髮會擺盪的比例高於 50%，「內向」人格的受試者頭髮會擺盪比例低於 50%，特別是內向、情緒不穩定、易緊張的 F 型人格類型受試者頭髮會擺動的比率只有 30.77%。

(二)「中、外向人格類型」和「內向人格類型」兩種類型的受試者走路頻率差異不顯著，但是兩者走路步長有顯著差異。「內向人格類型」走路步長較小，所傳遞給頭髮的能量較少，於是馬尾比較不會擺動。我們認為可能是因為「內向人格類型」的受試者在施測時會比較緊張，不敢邁開大步前進，導致馬尾擺動的機率較低。

#### 六、製作模型探討頭髮數量對頭髮擺動的影響

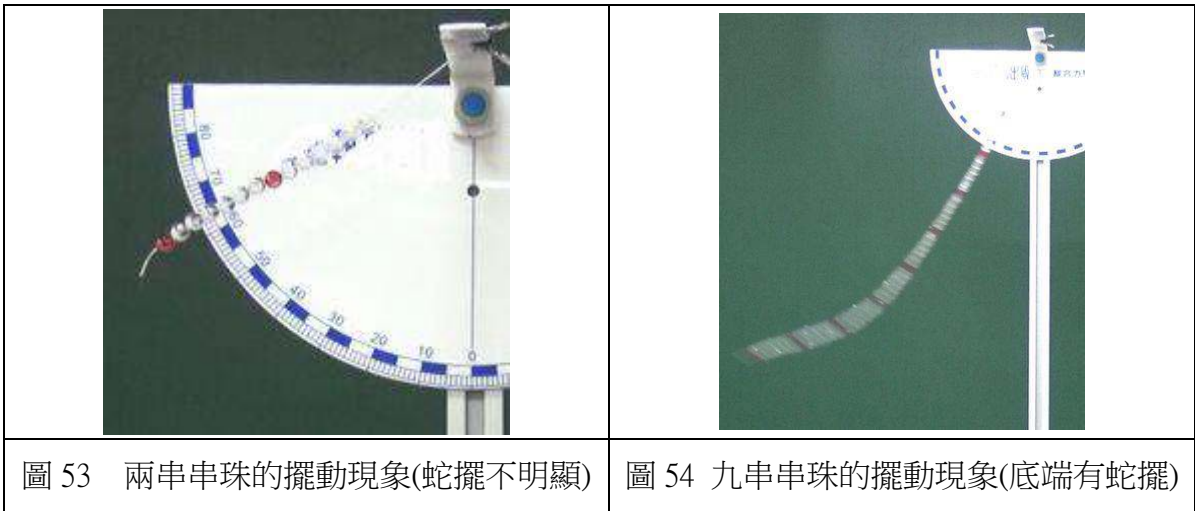
- (一)製作黑色針線數量為 50 條、100 條和 150 條的樣本，放置於搖擺機搖晃，固定搖擺機為 5 段速，比較黑色針線的擺角大小。我們發現，在黑色針線長度為 15 公分以內，黑色針線的數量越多，擺動的角度就越大。這是因為搖擺機的擺動速度帶動黑色針線擺動，所以搖擺機的擺動速度就等於黑色針線的擺動速度，而當黑色針線數量比較多的時候，黑色針線會比較重。根據動能原理( $E=1/2 \times m \times V^2$ )，在相同的擺動速度下，當黑色針線的質量增加，擺動動能也會增加，傳遞給頭髮的擺動能量增加，於是頭髮的擺角就會變大。
- (二)製作真髮數量不同的樣本，放置在搖擺機搖晃，固定搖擺機為 5 段速，比較真髮的擺角大小，我們會發現，1500 條真髮的擺動角度整體來說比 3000 條和 4500 條真髮的擺動角度來得小，和黑色針線的模擬結果相似，也呼應先前研究所發現的頭髮「厚度」(數量)和頭髮「擺動角度」為「低度正相關」的現象。

#### 七、製作模型探討頭髮長度對頭髮擺動的影響

- (一)利用串珠模擬頭髮的擺動，當不同長度的串珠都從擺角 60 度釋放時，經過兩次的擺盪週期後，發現串珠的長度越長者，擺動回來的擺角越小。文獻探討發現，對質量越大的擺錘，空氣阻力的影響越小(鄭期元、李偉綸、沈柏言、潘宗霖，2005)，因此並非空氣阻力讓串珠的擺動角度減少。文獻探討發現(黃時霖、朱慶琪，2013)，如果有數個不同擺長的單擺固定在同一支架，同時推動使其開始擺動，會產生「蛇擺」的現象(如圖 52)。而經過錄影分析，因為每一顆的串珠因為擺長不同，擺盪的周期也不同，於是產生類似「蛇擺」的效應，而同一複擺上的蛇擺拉扯會削弱彼此的擺動能量。較短的串珠會因為串珠間的彼此拉扯與擺動週期差異較少，擺動時的蛇擺效應不明顯(如圖 53)，故蛇擺減弱擺動能量較少；較長的串珠則因為每顆串珠間的擺動週期的差異較大，於是在串珠底端會產生蛇擺效應較明顯(如圖 54)，因此會削弱較多擺動能量，故擺動回來的擺角較小。

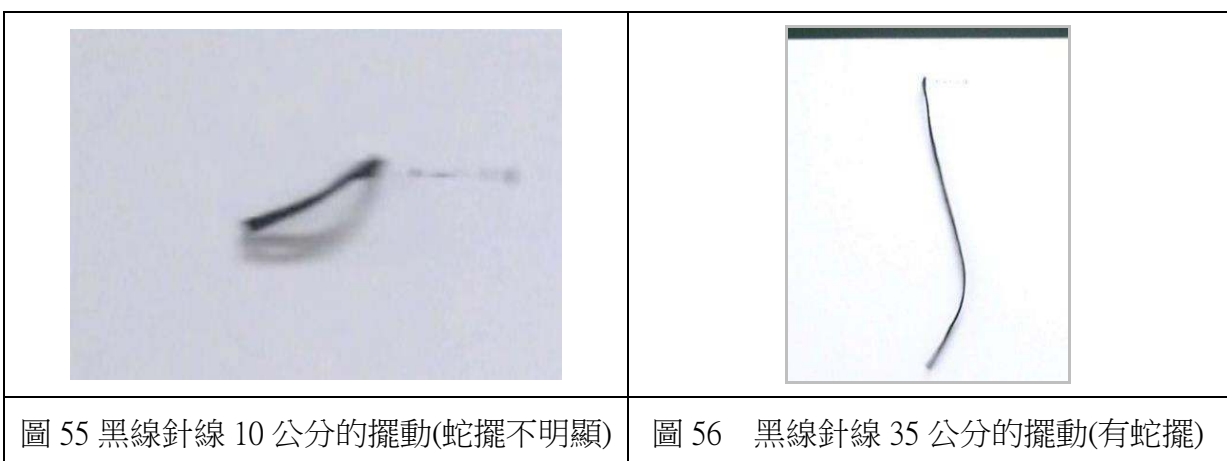


圖 52 蛇擺的效應(圖取自國立中央大學物理系物理演示實驗室)



(二)製作不同長度的「黑色針線」，裝置在相同搖擺機擺動頻率，比較黑色針線的擺角大小，我們發現有兩種趨勢：

- (1)黑色針線在 10 公分以內蛇擺不明顯(如圖 55)，此時線長越長，擺角越大，這也呼應我們先前研究所發現的頭髮長度與頭髮擺動角度為「低度正相關」。我們推論這是因為黑色針線的擺動速度是由搖擺機的擺動速度所帶動，所以黑色針線的擺動速度會和搖擺機的擺動速度完全相同，但是當黑色針線越長，黑色針線的質量就會越大，根據討論六所發現，黑線質量越大(也就是黑線越長者)，擺角也會增加。
- (2)但是黑色針線在 10 公分以上，此時線長越長，擺角則越小。我們推論是因為當黑色針線長度越長時，產生了越明顯的蛇擺現象(如圖 56)，而蛇擺的拉扯效應減弱了擺動的能量，使黑色針線的擺動角度減少。





(三)製作不同長度的「真髮」，裝置在相同搖擺機擺動頻率，比較真髮的擺角大小，我們發現也發現兩種趨勢：

- (1)真髮在 20 公分以內不產生蛇擺(如圖 57)，此時頭髮長度越長，擺角越大。這個結果

和我們用黑色針線模擬在 10 公分以內的結果相似，也和我們先前受試者樣本的統計分析資料所發現髮長在 25 公分~40 公分(如圖 58)，因蛇擺不明顯，此時髮長越長，擺角越大的結果相同。發生此現象的受試者樣本範圍(髮長 25 公分~40 公分)和真髮模擬的樣本範圍(髮長 10 公分以內)略有不同，可能是因為受試者有其他身體條件的影響。

(2)真髮超過 20 公分(如圖 59)時，頭髮的長度越長，頭髮的擺角越小。這個結果和我們用黑色針線模擬在 10 公分以上的結果相似，也和我們先前受試者樣本的統計分析資料所發現髮長在 40 公分以上(如圖 60)的結果相同。我們推論這是因為當頭髮太長時會開始產生蛇擺，損耗擺動的能量，使擺角減少。發生此現象的受試者樣本範圍(髮長 40 公分以上)和真髮模擬的樣本範圍(髮長 10 公分以上)略有不同，可能是因為受試者有其他的身體條件影響。

	
<p>圖 57 真髮長度 15 公分的擺動(蛇擺不明顯)</p>	<p>圖 58 髮長 29 公分的擺動(蛇擺不明顯)</p>
	
<p>圖 59 真髮長度 40 公分的擺動(有蛇擺)</p>	<p>圖 60 髮長 49 公分的擺動(有蛇擺)</p>

## 八、製作模型探討身體擺動頻率對頭髮擺動的影響

(一)製作黑色針線數量固定為 30 條的樣本，調整搖擺機搖晃的頻率，比較黑色針線的擺角大小。我們發現，黑色針線長度 5 公分的樣本隨著搖擺機搖晃的頻率的增加，擺動角度也跟著增加，我們推論這是因為搖擺機擺動頻率越大，搖擺機的擺動速度就越快，於是搖擺機的動能越大，傳遞給黑色針線擺動的能量就越大，擺角就越大。但是搖擺機的擺動頻率大小對於黑色針線長度在 15、25、35、45 公分的影響不顯著，我們推論這是因為較長的黑色針線產生會產生蛇擺，減弱擺動的能量。

(二)製作固定 3000 條的真髮樣本，調整搖擺機搖晃的頻率，比較真髮擺動角度的大小。我們發現，髮長 15 和 20 公分的樣本隨著搖擺機搖晃的頻率的增加，擺動角度也跟著增加，這和先前用黑色針線的模擬結果相似，也呼應了先前研究所發現的身體擺動頻率(走路頻率)越高，頭髮的擺動角度越大。但是髮長 25、30、35 公分樣本則搖擺機的擺動速度影響不明顯，結果和黑色針線在 15、25、35、45 公分的樣本結果相似，都是因為頭髮較長的樣本會產生蛇擺的干擾。

## 柒、結論

- 一、身體剛開始移動時，頭髮先維持慣性留在原地，之後開始隨著身體向左、向右跨步重心轉移產生的力量而擺動。擺動過程中會先保留原先的慣性速度，等到跨步超過半步後，頭髮才開始跟著往跨步的方向移動。
- 二、身體的左右擺動造成了頭髮的左右擺動，所以頭髮擺動頻率幾乎和身體擺動頻率一致。當走路頻率越大、走路步伐越大時，身體擺動產生的能量越大，而傳遞給頭髮擺動的能量越大，造成頭髮擺動的角度比較大。
- 三、頭髮長度會些微影響頭髮擺動的頻率，頭髮越長，頭髮擺動頻率較小。
- 四、頭髮的數量越多，頭髮擺動角度會越大。因為頭髮數量越多，頭髮重量就越重，在相同的擺動速度下，頭髮擺動獲得的動能就越多，傳遞給頭髮擺動的能量增加，於是頭髮的擺動角度就增加。
- 五、頭髮長度越長，頭髮擺動角度會越大，原理是較長的頭髮，頭髮質量也較重，產生了與討論四相同的原理。不過太長的頭髮會產生「蛇擺」效應，會減弱了擺動的能量，

會使頭髮的擺角開始減少。

六、頭髮綁「低」位置的頭髮擺動機率低，因為此時頭髮會和背部摩擦，使擺動能量減少，擺動角度也減少。

七、頭髮擺動頻率和身高、體重呈負相關，因為身高較高、體重較重的人走路頻率較低，帶動頭髮擺動頻率也較低。

八、「內向人格類型」馬尾會擺盪的機會較低，可能是因為該類型的受試者施測時較容易緊張，走路步伐較小，於是身體傳遞給頭髮的能量較小，使得頭髮擺動的角度較小。

九、歸納整頭髮(馬尾)比較容易擺盪的類型：

走路頻率	走路步伐	頭髮數量	頭髮長度
較高	較大	較多	較長
髮圈固定位置	人格類型	身高	體重
較高	中向、外向	較矮	較輕

## 捌、參考資料及其他

一、陳超塵（1991）．*統計學*．新北市：台灣商務印書館。

二、全中平（2012）．測量重力加速度的器具—單擺、複擺與凱特擺．*科學研習*，51(10)，2-5。

三、鄭期元、李偉綸、沈柏言、潘宗霖（2005）．*非理想狀態下 Newton's CRADLE(牛頓擺) 能量傳遞與單擺週期的探討*．中華民國第 45 屆中小學科展覽會作品說明書。

四、賴保禎（1997）．*賴氏人格診斷測驗指導手冊*．台北市：千華圖書出版事業有限公司。

五、黃時霖、朱慶琪（2013）．大型蛇擺．*國立中央大學物理演示實驗*．取自

<http://demo.phy.tw/experimentfinal/dynamics/large-pendulumwave/>

六、李品慧、洪連輝（2009）．轉動慣量．*科學 Online 科技部高瞻自然科學教學資源平台*．

取自 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2865>

## 【評語】 030105

很有原創性，研究的初始動機很有趣。研究的物件是同學的馬尾，所以有很多統計、分析資料，分析過程應避免非科學的因素。