

嘉義市第 38 屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：簡易的仿生運動——關節、能量與結構

關 鍵 詞：仿生運動、能量傳遞、穩定性

編 號：

摘要

利用簡易的線軸動力車模仿肌肉與關節來運動，減少變因的干擾，用來探討力學能的產生與轉換、能量與力量的傳遞、運動體結構對運動的影響。車子所使用的橡皮筋長短最好與車軸等長、橡皮筋扭轉圈數要恰當、橡皮筋並聯條數要搭配車軸軸徑、橡皮筋固定點靠近支撐轉臂前端適當位置時與地面夾角越小越好、車輪選擇大且重、(輪直徑/軸長)比值大、輪中心與軸中心要盡量重疊運動的穩定性才會高較不容易出界動能與運動作用力的釋放較順暢，若是只考慮運動速率的快慢就需另外選擇結構組合。

壹、 研究動機

一年級自然與生活科技及健康與體育課本提到「動物借助骨骼形成流暢的運動支架並利用肌肉與關節來運動」，這個問題深深吸引著我們，讓我們團隊朝向有沒有簡單且容易取得的材料就能體驗到運動體運動所需注意的各項變因，而且能夠找出最適合的運動條件來進行本次科展研究。

貳、 研究目的

一、力學能的產生與轉換

- (一) 橡皮筋長度的影響
- (二) 橡皮筋旋轉圈數的影響
- (三) 橡皮筋條數的影響
- (四) 橡皮筋串接的影響

二、運動過程中關節對能量傳遞的影響

- (一) 關節固定方式對運動的影響
- (二) 關節對運動體能量傳遞的改變
- (三) 支撐轉臂與地面夾角對運動的影響

三、運動體結構對運動的影響

- (一) 輪直徑對運動穩定度的影響
- (二) 輪重對運動穩定度的影響
- (三) 軸半徑對運動穩定度的影響
- (四) (輪直徑/軸長)值對運動穩定度的影響
- (五) 輪中心與軸中心是否重疊對運動穩定度的影響

參、 研究器材

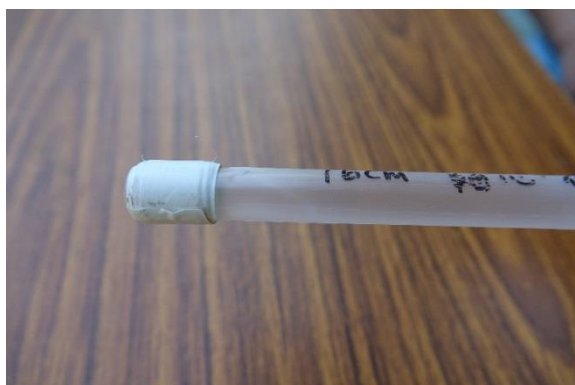
CD片(8.0cm、12.0cm)、竹筷子、礦泉水瓶蓋、橡皮筋(貼平長9.5cm)、珍珠奶茶透明粗吸管(內徑1.05cm)、PC塑膠管(內徑1.57cm)、小國旗塑膠旗桿(內徑0.73cm)、電工膠帶、熱熔膠槍、熱熔膠、尺、游標尺、簽字筆、細鐵絲、捲尺、空拍機、綠光雷射筆、剪刀、電烙鐵

肆、 研究步驟

一、改良式線軸車基本製作方法

- (一) 取一支的珍珠奶茶吸管尖端剪平，貼齊吸管截口捲貼電工膠帶(見照片1-1)，直到兩端恰好可以塞入CD片中心圓孔(見照片1-2)，紀錄所纏繞的電工膠帶圈數，再分別以熱熔膠固定CD片完成主要滾動的運動體。
- (二) 然後取兩個瓶蓋，瓶蓋中央利用電烙鐵加熱穿洞(見照片1-3)，在車輪的一側先固定一個瓶蓋，中心孔與CD片中心圓孔盡量對齊(見照片1-4)，瓶蓋的平面處朝外，作為帶動滾輪的關節。
- (三) 取1隻竹筷子作為轉動支撐軸，由較鈍端每2.0 cm、4.0 cm、6.0 cm、8.0 cm處個黏貼0.5 cm長竹塊作為橡皮筋打結的卡榫(見照片1-5)。依序編號0-2.0 cm為A端、2.0-4.0 cm為B端、4.0-6.0 cm為C端、6.0-8.0 cm為D端、8.0 cm以上為E端。
- (四) 取1條橡皮筋剪斷成條狀，量取所需要的長度(見照片1-6)，一端固定在轉動支

撐軸的卡榫間，另一端則以鐵絲當引針，將橡皮筋先穿過剩下的穿孔瓶蓋，再穿過固定的瓶蓋(見照片1-7)，2個瓶蓋平面可以相對摩擦，作為可轉動關節(見照片1-8)。然後再穿過輪子固定在一小段8.0 cm的竹筷上作為固定軸，取2小塊竹塊以熱熔膠固定在固定軸兩側的CD片，方便換取橡皮筋，這樣就完成改良式線軸車，紀錄所製作的每輛車重量。



照片1-1：珍珠奶茶吸管尖端剪平，貼齊吸管截口捲貼電工膠帶



照片1-2：直到兩端恰好可以塞入CD片中心圓孔



照片1-3：瓶蓋中央利用電烙鐵加熱穿洞



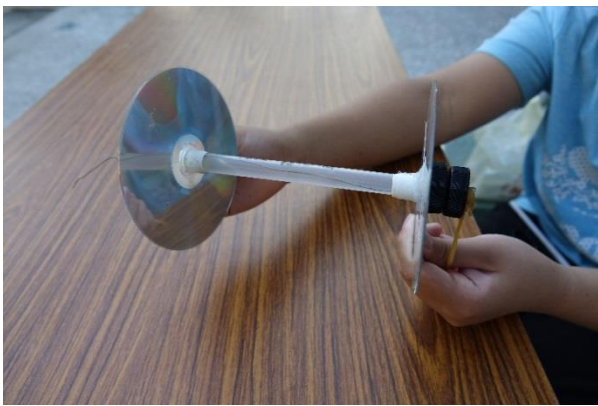
照片1-4：在車輪的一側先固定一個瓶蓋，中心孔與CD片中心圓孔盡量對齊



照片1-5：黏貼0.5 cm長竹塊作為橡皮筋打結的卡榫



照片1-6：橡皮筋剪斷成條狀，量取所需要的長度



照片1-7：以鐵絲當引針，將橡皮筋先穿過剩下的穿孔瓶蓋，再穿過固定的瓶蓋



照片1-8：2個瓶蓋平面可以相對摩擦，作為可轉動關節

二、不同變因的改良式線軸車製作

(一) 結構相同橡皮筋不同的線軸車

1. 橡皮筋條數相同長短不同(見照片2-1)

製作3個輪直徑12.0 cm、軸長16.0 cm、軸直徑1.05 cm的線軸車，分別穿入單條長14.0 cm、16.0 cm及18.0 cm的橡皮筋，一端固定在轉動支撐軸B端卡榫；3輛車為了方便記錄依序編號為0.1.2車。

2. 橡皮筋長短相同條數不同(見照片2-2)

再製作2個輪直徑12.0 cm、軸長16.0 cm、軸直徑1.05 cm的線軸車，分別穿入2條及3條長16.0 cm的橡皮筋，一端固定在轉動支撐軸B端卡榫；依序編號為6.7車。

3. 雙條橡皮筋連接方式不同(見照片2-3)

製作1個輪直徑12.0 cm、軸長16.0 cm、軸直徑1.05 cm的線軸車，穿入1條粗橡皮筋並串接1條一般橡皮筋總長度為16.0 cm，一端固定在轉動支撐軸B端卡榫；編號為16車。

(二) 不同軸長的線軸車的線軸車(見照片2-4)

1. 製作1個輪直徑12.0 cm、軸直徑1.05 cm的線軸車，分別穿入1條長12.0 cm的橡皮筋、軸長12.0 cm，一端固定在轉動支撐軸B端卡榫；編號為19車。
2. 製作1個輪直徑12.0 cm、軸長8.0 cm、軸直徑1.05 cm的線軸車，穿入單條長8.0 cm的橡皮筋，一端固定在轉動支撐軸B端卡榫；編號為20車。

(三) 不同軸徑的線軸車(見照片2-5)

1. 製作3個輪直徑12.0 cm、軸長分別為16.0 cm、12.0 cm、8.0 cm、軸直徑0.73 cm的線軸車，分別穿入單條長16.0 cm、12.0 cm及8.0 cm的橡皮筋，一端固定在轉動支撐軸B端卡榫；3輛車依序編號為10.11.12車。
2. 製作3個輪直徑12.0 cm、軸長16.0 cm、12.0 cm、8.0 cm、軸直徑1.57 cm的線軸車，分別穿入單條長16.0 cm、12.0 cm及8.0 cm的橡皮筋，一端固定在轉動支撐軸B端卡榫；3輛車記錄依序編號為13.14.15車。

(四) 軸心與輪心重疊與否的線軸車(見照片2-6)

製作1個輪直徑12.0 cm、軸長16.0 cm、軸直徑1.05 cm、電工膠帶只黏著軸的一側半原始軸心偏移的線軸車，分別穿入單條長16.0 cm的橡皮筋，一端固定在轉動支撐軸B端卡榫；編號為5車。

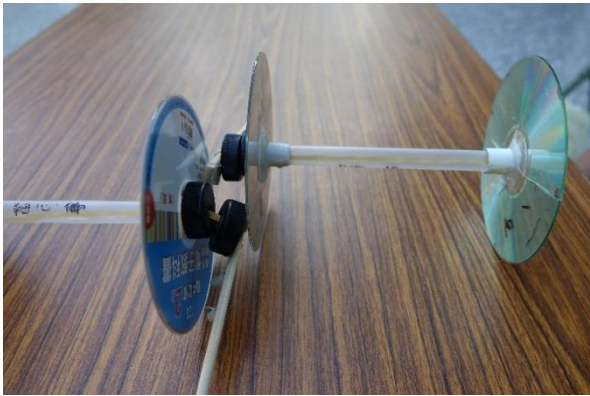
(五) 輪徑不同的線軸車(見照片2-7)

製作3個輪直徑8.0 cm、軸長12.0 cm、8.0 cm、軸直徑1.05 cm的線軸車，分別穿入單條長12.0 cm及8.0 cm的橡皮筋，一端固定在轉動支撐軸B端卡榫；2輛車依序編號為17.18車。

(六) 輪重不同的線軸車(見照片2-8)

製作2個輪直徑12.0 cm、軸長16.0 cm、軸直徑1.05 cm、兩側輪子個增加為2片

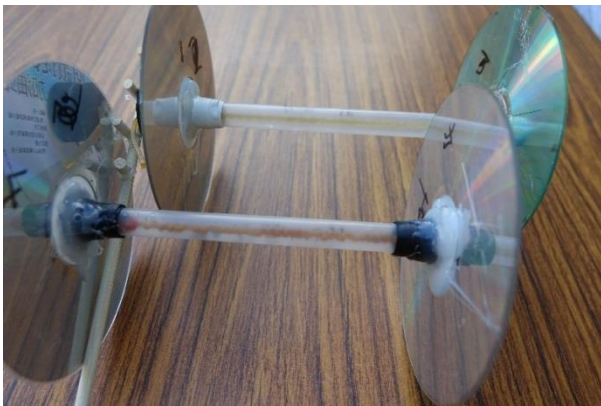
CD及3片CD的線軸車，分別穿入單條長16.0 cm的橡皮筋，一端固定在轉動支撐軸B端卡榫；2輛車為了方便記錄依序編號為8.9車



照片2-1：橡皮筋條數相同長短不同(左邊比軸長還長)



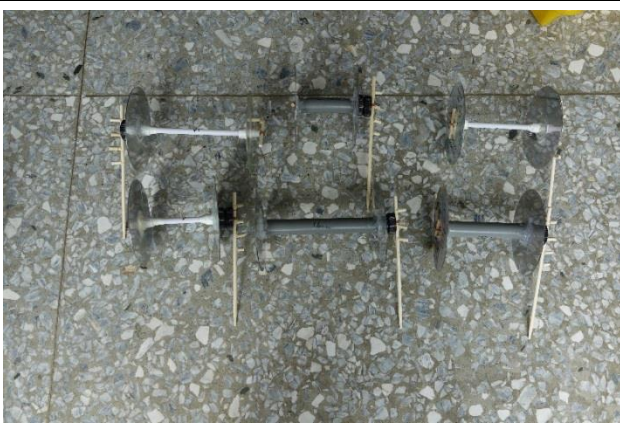
照片2-2：橡皮筋長短相同條數不同(左邊1條橡皮筋，右邊並聯2條橡皮筋)



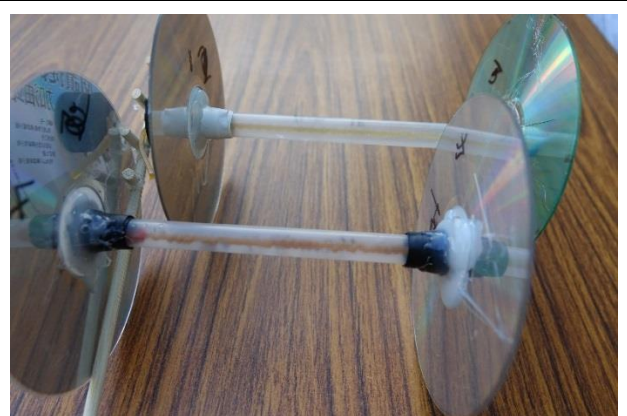
照片2-3：雙條橡皮筋連接方式(前面串聯2條橡皮筋；後面並聯2條橡皮筋)



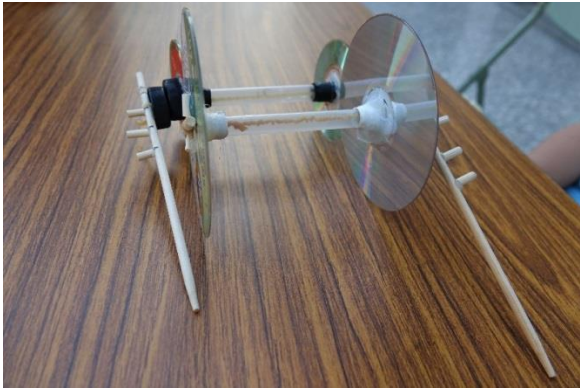
照片2-4：不同軸長的線軸車的線軸車



照片2-5：不同軸徑的線軸車



照片2-6：軸心與輪心重疊與否的線軸車(前面軸心與輪心不重疊；後面軸心與輪心重疊)



照片2-7：輪徑不同的線軸車(前面輪徑12公分；後面輪徑8公分)



照片2-8：輪重不同的線軸車



照片2-9：橡皮筋一端固定在轉動支撐軸的卡榫位置不同

(七) 線軸車橡皮筋一端固定在轉動支撐軸的卡榫位置不同(見照片2-9)

製作2個輪直徑12.0 cm、軸長16.0 cm、軸直徑1.05 cm的線軸車，分別穿入單條長16.0 cm的橡皮筋，一端依序固定在轉動支撐軸的C、D端卡榫；2輛車依序編號為3.4車。

表1：實驗所需製作的改良式線軸車編號及各項變因

編號	輪子直徑 (cm)	車軸長 (cm)	軸內徑長 (cm)	纏繞的電工膠帶 圈數	橡皮筋長度 (cm)	橡皮筋固 定區域	車子重量 (gw)
0	12.0	16.0	1.05	12.0 圈	14.0*1	B	48.0.5
1	12.0	16.0	1.05	12.0 圈	16.0*1	B	49.0

2	12.0	16.0	1.05	12.0 圈	18.0*1	B	49.1
3	12.0	16.0	1.05	12.0 圈	16.0*1	C	49.0
4	12.0	16.0	1.05	12.0 圈	16.0*1	D	49.2
5	12.0	16.0	1.05	24.0 個同邊半 圈	16.0*1	B	49.2
6	12.0	16.0	1.05	12.0 圈	16.0*2	B	51.2
7	12.0	16.0	1.05	12.0 圈	16.0*3	B	52.6
8	12.0	16.0	1.05	12.0 圈	16.0*1	B	84.2
9	12.0	16.0	1.05	12.0 圈	16.0*1	B	114.5
10	12.0	16.0	0.73	21 圈	16.0*1	B	50.0
11	12.0	12.0	0.73	21 圈	12.0*1	B	49.2
12	12.0	8.0	0.73	21 圈	8.0*1	B	48.8
13	12.0	16.0	1.57	0	16.0*1	B	74.5
14	12.0	12.0	1.57	0	12.0*1	B	73.1
15	12.0	8.0	1.57	0	8.0*1	B	71.8
16	12.0	16.0	1.05	12.0 圈	(10.5+5.5)*2	B	53.1
17	8.0	12.0	1.05	12.0 圈	12.0*1	B	31.5
18	8.0	8.0	1.05	12.0 圈	8.0*1	B	30.2
19	12.0	12.0	1.05	12.0 圈	12.0*1	B	47.6
20	12.0	8.0	1.05	12.0 圈	8.0*1	B	46.9

三、改良式線軸車能量輸入與釋放比率

- (一) 依序將每輛改良式線軸車的轉動支撐軸旋轉100圈後固定住(見照片3-2)，在支撐軸較尖一端貼上反光片，另一位同學持轉動計數器紅光對準反光片，再一位同學持碼表負責記錄轉動時間(見照片3-3)，喊開始後，握住輪子讓轉動支

撐軸在上方旋轉，分別記錄平均轉速及轉動時間，利用公式計算出轉動平均圈數；(轉動平均圈數)=(平均轉速)x(轉動時間)。

(二) 再利用公式 (能量釋放比率)=(轉動平均圈數)/(轉動支撐軸旋轉圈數)x100% 換算出所釋放的能量比率。

(三) 將未釋放能量捲曲的橡皮筋反向旋轉轉動支撐軸直到橡皮筋呈一直線時，再依次將轉動支撐軸旋轉200圈及300圈號重覆步驟(一)和(二)。

(四) 將未釋放能量捲曲的橡皮筋反向旋轉轉動支撐軸直到橡皮筋呈一直線時，再依次將轉動支撐軸旋轉200圈，然後於CD輪子最上面朝上處貼上反光片，另一位同學持轉動計數器紅光對準反光片，再一位同學持碼表負責記錄轉動時間，喊開始後，握住上方轉動支撐軸讓輪子在下方旋轉，分別記錄平均轉速及轉動時間，利用公式計算(轉動平均圈數)=(平均轉速)x(轉動時間)。再將(轉動平均圈數)x(CD輪子的圓周長)=(改良式線軸車可前進最遠距離)。



照片3-1：車子秤重





照片3-2：將每輛改良式線軸車的轉動支撐軸旋轉後固定住



<p>照片3-3：在支撐軸較尖一端貼上反光片，另一位同學持轉動計數器紅光對準反光片，再一位同學持碼表負責記錄轉動時間</p>	<p>照片3-4：測量轉動支撐軸與地面夾角</p>
--	---------------------------

四、改良式線軸車運動狀態與速率變化

- (一) 利用綠光雷射筆光直進原理照射禮堂地面形成一條綠光直線，將捲尺沿光直線拉長固定在地面上(見照片4-1)，形成一條寬30.0 cm寬的跑道。
- (二) 距離出發點5.0 m及10.0 m處各站立一位同學手持碼錶，記錄改良式線軸車離開軌道的距離及時間(見照片4-2)。
- (三) 利用公式換算每一個記錄點的平均速率；(平均速率)=(距離)/(時間)； $(v=s/t)$ 。
- (四) 利用公式換算整個運動過程的平均加速度；(距離)=(初速度)x(時間)+ $1/2$ (平均加速度)x(時間)²；初速度=0； $(v_0=0, s=1/2at^2)$ 。
- (五) 利用平均速率的變化情形和平均加速度代入公式牛頓第二運動定律(作用力)=(車子質量)x(加速度)及(能量)= $1/2$ (車子質量)x(平均速率)²； $(F=ma \ \& \ E=1/2mv^2)$ ，比較不同結構改良式線軸車運動狀態其力量釋放大小與能量變化。

	
<p>照片4-1：將捲尺沿光直線拉長固定在地面上</p>	<p>照片4-2：距離出發點5.0 m及10.0 m處各站立一位同學手持碼錶記錄</p>

伍、 研究結果與討論

一、力學能的產生與轉換

表 2：結構相同使用的橡皮筋長短不同的能量釋放

實驗次數 編號	筷子旋轉圈數		尚未釋放的圈數		釋放的能量比		輪子旋轉圈數	
	1	2	1	2	1	2	1	2
0	0	0	200	200	0	0	0	0
1	136.56	146.32	63.44	53.68	68.28	73.16	42.46	101.64
2	4.68	24.81	195.32	175.19	2.34	12.41	3.16	10.23

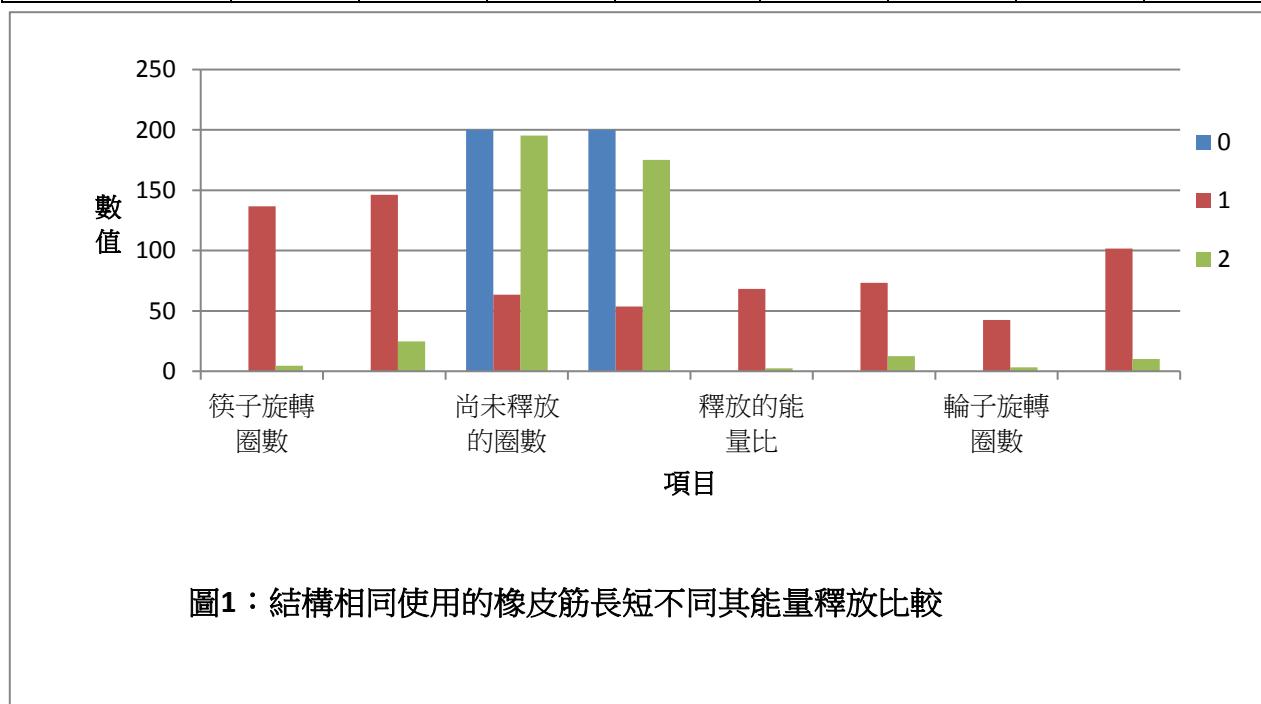


圖1：結構相同使用的橡皮筋長短不同其能量釋放比較

(一) 橡皮筋長度的影響(車子編號 0.1.2)

1. 由圖 1 可見筷子旋轉圈數編號 1 車>編號 2 車>編號 0 車；所釋放的能量比例和輪子旋轉的圈數也都是編號 1 車>編號 2 車>編號 0 車。

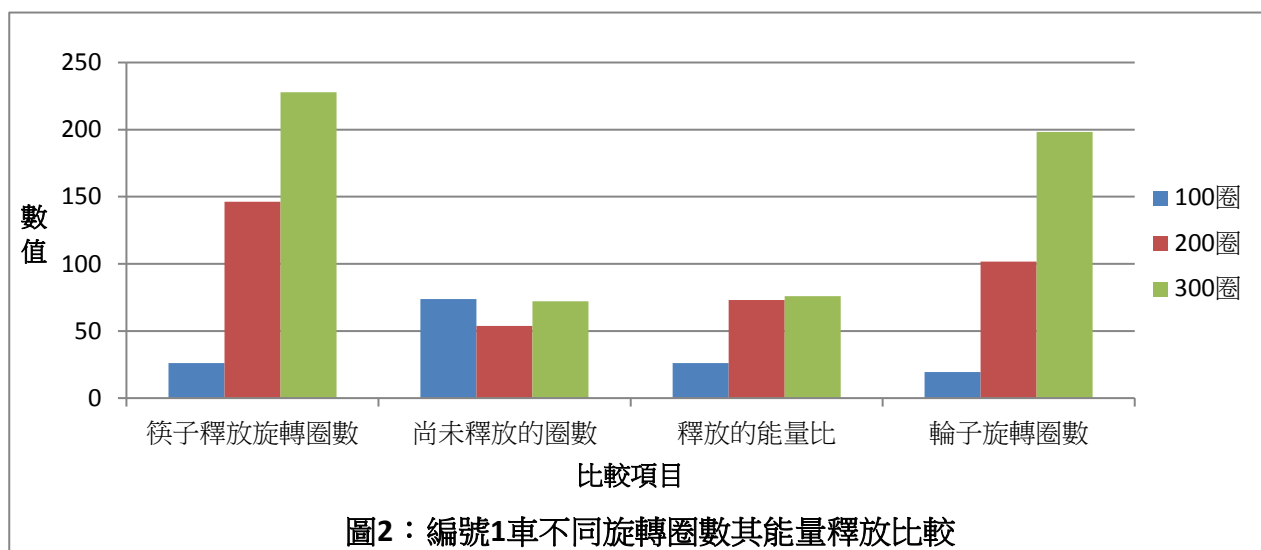
2. 用來作為動力的橡皮筋長度須配合車軸的長度，太長或太短都不適合。橡皮筋長度剛好等於車軸長時如編號 1 車，扭轉貯存的橡皮筋能量能夠順利釋放，但是無法 100%釋放只能平均釋放 70.72%；所以筷子旋轉圈數和輪子旋轉圈數都較順暢。

3. 橡皮筋長度短於車軸的長度時如編號 0 車，活動關節存在著摩擦力，透過相互摩擦帶動運動，然而橡皮筋因為拉長所產生的彈性恢復力而將活動關節鎖死無法順利轉動。

4. 橡皮筋長度長於車軸的長度時如編號 2 車，旋轉後橡皮筋因活動關節無法貼合顯得鬆散，導致旋轉過程關節扭轉卡住，只能釋放少量能量。

5. 圖 1 中也顯示的 2 次橡皮筋旋轉後釋放能量的比例第 2 次測試都大於第 1 次，因為橡皮筋本身扭轉存在著摩擦力剛開始時會較緊澀，再測試時因重複摩擦後表面摩擦力會下降，有利能量釋放。

(二) 橡皮筋旋轉圈數的影響(車子編號 1)



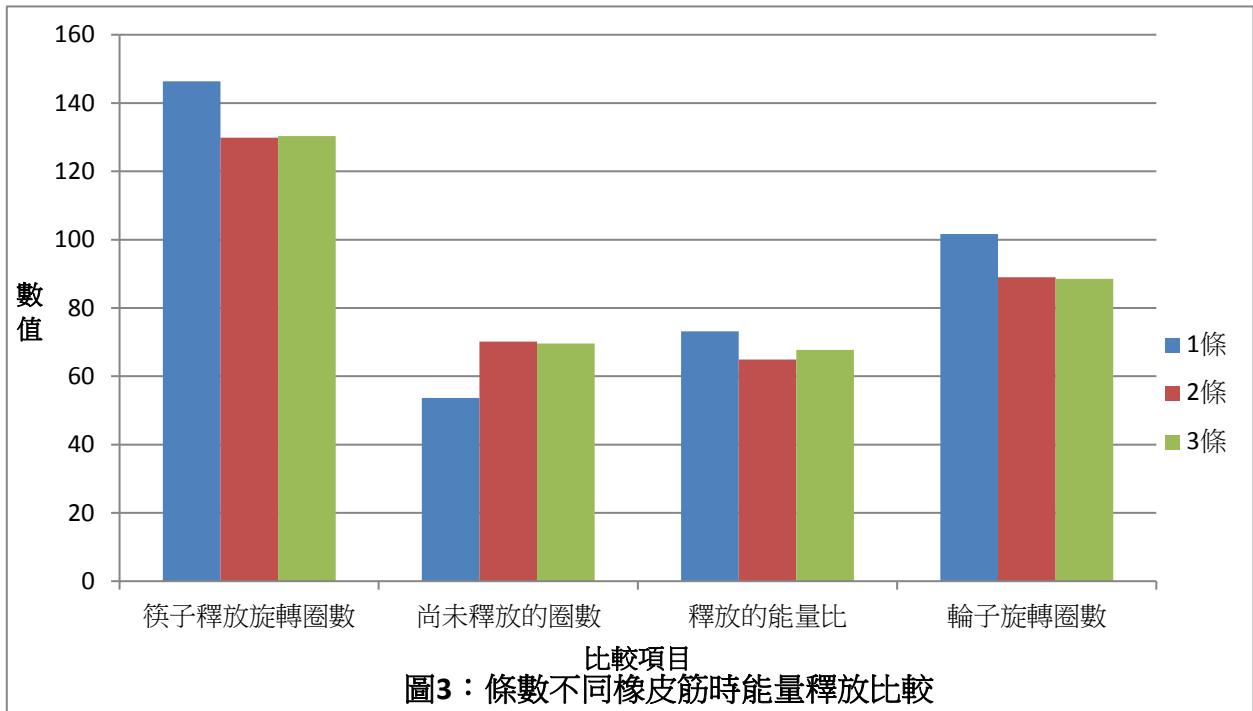
1. 由圖 2 可以發現橡皮筋旋轉圈數越多，筷子和輪子旋轉圈數也比較多，所釋放的能量比也較大。在釋放的能量比項目旋轉 200 圈明顯優於旋轉 100 圈，但是旋轉 300 圈時並沒明顯優於 200 圈。後續的研究都以旋轉 200 圈為主。
2. 旋轉 100 圈時旋轉關節未貼合加上橡皮筋扭轉的摩擦力所以能量釋放較差，旋轉 300 圈時橡皮筋扭轉緊繃，在測試過程橡皮筋斷裂 3 次成功 2 次。

(三) 橡皮筋條數的影響(車子編號 1.6.7)

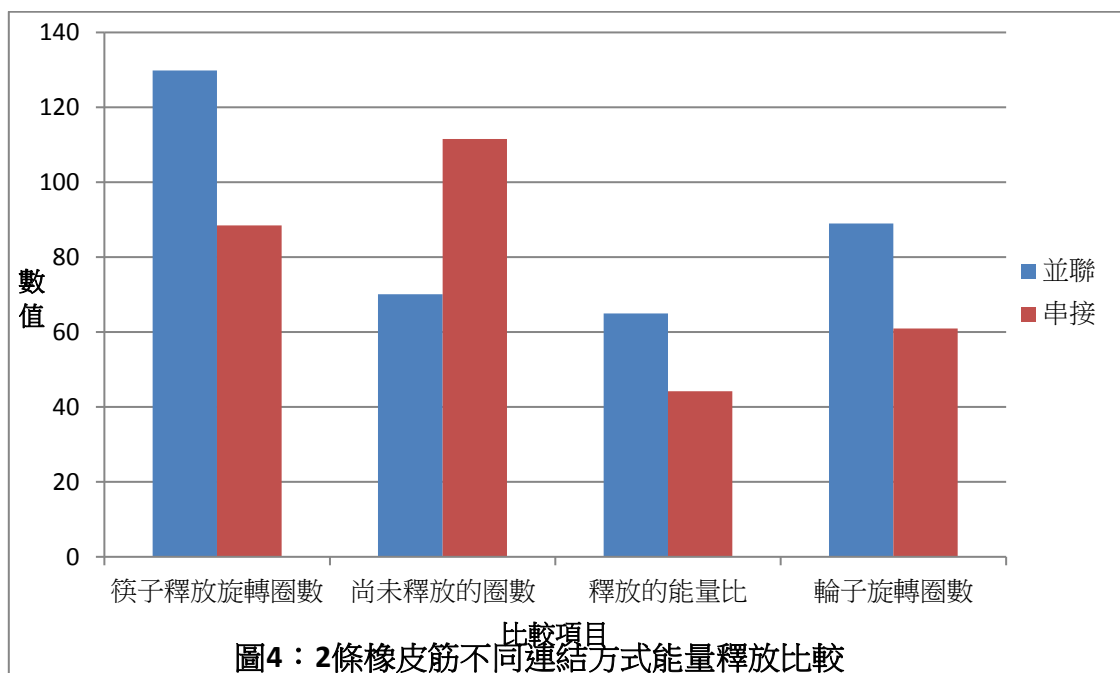
1. 由圖 3 結果發現：原本假設「橡皮筋越多條所產生的彈力越強，旋轉圈數會越多。」並不正確，2 條和 3 條橡皮筋測試結果差異不大，轉動及能量釋放效果

比 1 條橡皮筋差。

2. 我們推測車軸管徑小橡皮筋扭轉時容易卡在管中，加上橡皮筋並聯時會有空隙，旋轉時橡皮筋會交叉扭轉所需空間大導致無法順利釋放能量。
3. 為了讓實驗變因較單純且容易控制分析，實驗都採用 1 條橡皮筋為動力，但是單條橡皮筋扭轉恢復力較小，動力車的速度和前進距離會比較小，而且轉動圈數多時常會導致橡皮筋扭轉斷裂。



(四) 橡皮筋串接的影響(車子編號 6.16)



1. 利用 2 條橡皮筋連結成與車軸等長的動力系統其方式有並聯與串接 2 種方式，並聯則需剪斷橡皮筋才夠長，串接則 1 條不用剪斷 1 條剪斷，圖 4 顯示並聯的能量釋放及轉動效果均較串接時佳。
2. 利用 2 條橡皮筋連結的好處是橡皮筋相互扭轉不是單條自行扭轉所以斷裂情形較少。
3. 我們推測串接處須打結，所以橡皮筋扭轉會從打結處兩側扭轉，能量釋放時較不順暢較容易產生耗損的摩擦力。

二、運動過程中關節對能量傳遞的影響

(一) 關節固定方式對運動的影響

關節固定方式有 3 種：2 個關節都沒固定可移動、1 個關節固定在輪上另 1 個為活動關節、2 個關節固定鎖死。由表 3 的紀錄可知 2 個關節都沒固定可移動時，會產生有時動有時動不了的情形，若是 2 個關節都鎖死時車子一接觸地面支撐轉臂就會在地面靜止不動無法釋放能量，所以才採用 1 個關節固定在輪上另 1 個為活動關節車子才能順利前進。

表 3：不同關節固定方式運動方式記錄

關節固定方式	車子運動情形
2 個關節都沒固定可移動	關節處開始運動時會產生晃動摩擦然後卡住不動
1 個關節固定在輪上 另 1 個為活動關節	關節相互摩擦，支撐轉臂碰觸地面時轉成固定關節帶動摩擦力較小的輪子轉動前進
2 個關節固定鎖死	車子一接觸地面時支撐轉臂就在地面靜止不動無法釋放能量

(二) 關節對運動體能量傳遞的改變

1. 能量輸入：支撐轉臂旋轉時帶動橡皮筋扭轉，此時作用力轉換成橡皮筋扭轉的彈性恢復力貯存，就如同我們的肌肉能夠貯存能量和釋放能量。
2. 能量輸出：扭轉的橡皮筋開始釋放能量時

- (1) 握住輪子時，能量就傳往支撐轉臂形成反方向轉動。
- (2) 改握住支撐轉臂時，傳往支撐轉臂的能量就透過活動關節摩擦固定關節帶動輪子轉動。
- (3) 車子放到地面時，支撐轉臂轉動碰觸地面阻擋，地面阻止支撐轉臂繼續轉動的阻力大於輪子與地面的摩擦力，促使與支撐轉臂接觸的活動關節摩擦固定關節因此帶動輪子轉動使車往前進。

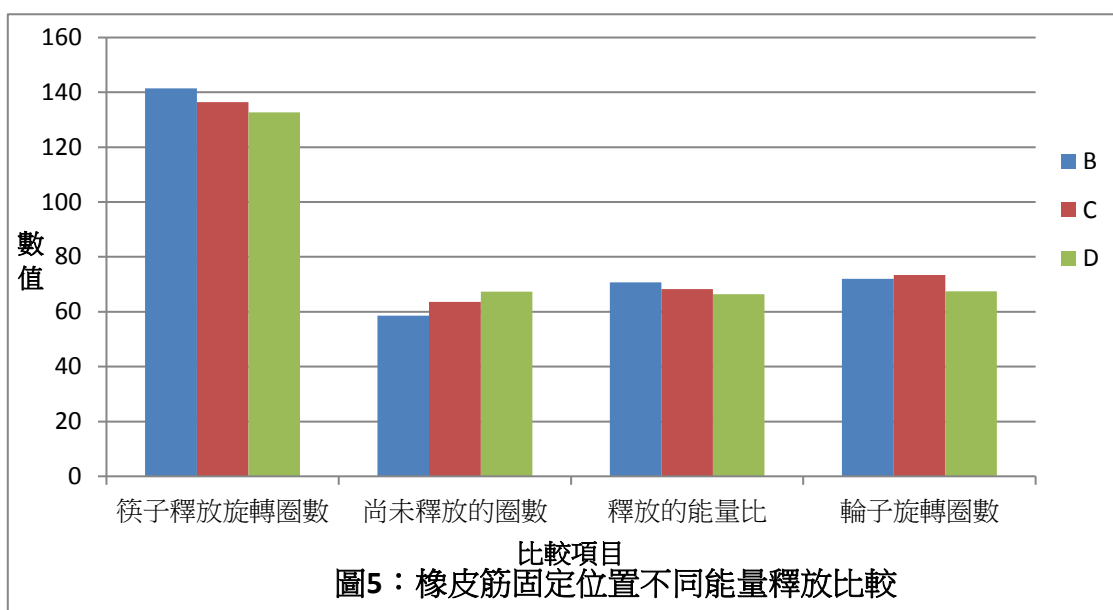
(三) 支撐轉臂與地面夾角對運動的影響(車子編號 1.3.4)

1. 由表 4 可以發現橡皮筋固定在支撐轉臂不同的位置，與地面接觸的夾角會不同，越靠近 A 區與地面的夾角就越小，靠近 D 區與地面的夾角就越大，光碟片直徑越小離地高度較小橡皮筋固定在支撐轉臂的位置與地面的夾角就越小。
2. 礙於筷子長度只能劃分成 4 個固定區，超過 4 個區域就會造成反轉現象，橡皮筋若固定在 A 區時，運動過程中支撐轉臂最前端會滑落至可動關節的瓶蓋溝槽中影響到車子的運動，後續研究橡皮筋就不採用固定在 A 區。

表 4：橡皮筋固定在支撐轉臂不同的位置時與地面接觸的夾角

固定位置	A	B	C	D
與前端距離	0~2 cm	2~4 cm	4~6 cm	6~8 cm
直徑 12cmCD	17.5°	20.1°	28.6°	32.9°
直徑 8cmCD	15.7°	16.8°	18.6°	20.5°

3. 由圖 5 結果顯示筷子固定位置不同能量釋放比為 B>C>D，但是輪子轉動次數卻是 B> D >C；由於差距不大我們認為是實驗過程所產生的誤差。



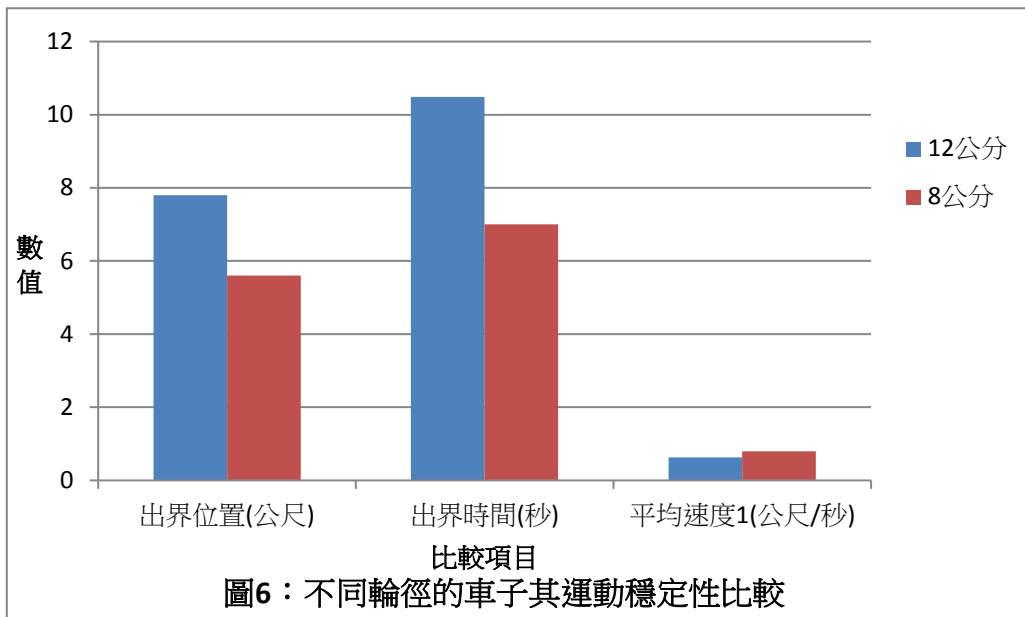
三、運動體結構對運動的影響

(一) 輪直徑對運動穩定度的影響(車子編號 1.17)

1. 由圖 6 結果發現輪徑小的車子 5 公尺內平均速度較快，但是很快就出界，穩定性較輪徑大的車子差。
2. 由表 5 的換算結果可知輪徑小的車子質量較小，5 公尺內的運動加速度較快，出界前所獲得的運動作用力和釋放的動能均較輪徑大的車子優。這是因為車子重量較大與地面的摩擦力較大，橡皮筋扭轉產生的恢復力當作相同時，力量抵消後車子質量較小所獲得的作用力較大。
3. 輪徑大的車子出界時的動能就較輪徑小的車子出界時的動能大，表 5 也顯示動能再出界前仍持續增加，也可證明結構的穩定性較佳。

表 5：不同輪徑大小的車子運動過程力量及能量釋放換算結果

輪子直徑	車子質量 (公斤)	平均加速度 (公尺/秒 ²)	作用力(牛 頓)	記錄點 1 動能 (焦耳)	記錄點 2 動能 (焦耳)
12 公分	0.049	0.1418	0.0069	0.0096	0.0136
8 公分	0.032	0.2286	0.0073	0.0102	出界



(二) 輪重對運動穩定度的影響(車子編號 1.8.9)

1. 由圖 7 結果發現：行駛距離和出界時間都是 3 片輪子>2 片輪子>1 片輪子，也證實輪子越重穩定性越高，因為重量重輪子所產生的摩擦力大，支撐轉臂與地面所造成的摩擦力無法立即對車子的運動產生影響導致立即偏轉。
2. 由表 6 的換算結果可知：1 片輪子所釋放的運動力量較大，因為重量小摩擦力小相抵銷後剩餘的作用力大，至於 3 片輪子的作用力>2 輪子的作用力，我們推測是輪子可能沒有和車軸呈 90 度角所造成的能量差異。至於能量變化 0-5 公尺的動能與 5-10 公尺的動能都是逐漸增加，所以穩定度高才能逐漸釋放能量，而且 3 片輪子的動能>2 片輪子的動能>1 片輪子的動能，也可證實輪子多穩定性較高。

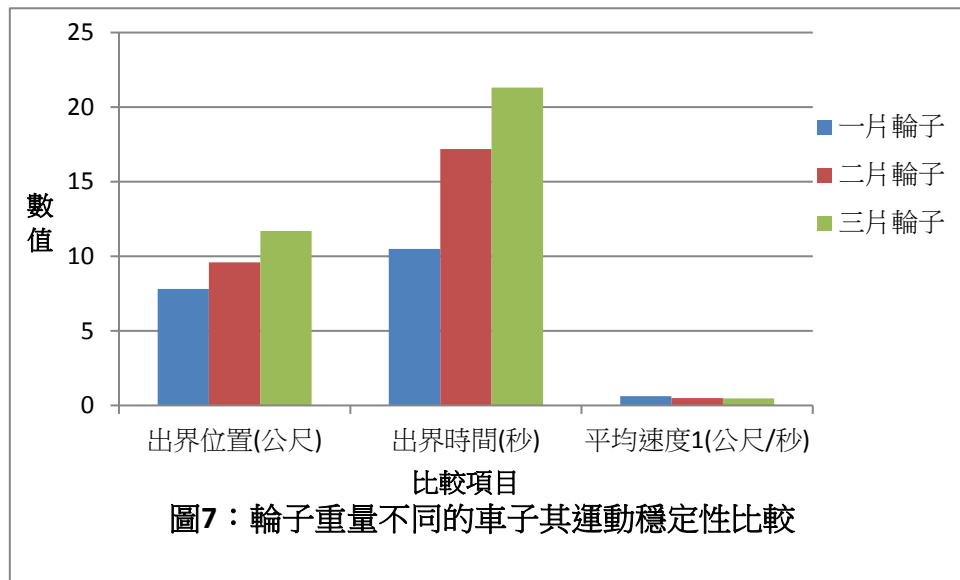


表 6：不同輪重大小的車子運動過程力量及能量釋放換算結果

輪子數	車子質量 (公斤)	平均加速度 (公尺/秒 ²)	作用力 (牛頓)	記錄點 1 動能(焦耳)	記錄點 2 動能(焦耳)	記錄點 3 動能(焦耳)
一片輪子	0.049	0.1418	0.0069	0.0096	0.0136	出界
二片輪子	0.084	0.0649	0.0055	0.0102	0.0131	出界
三片輪子	0.115	0.0516	0.0059	0.0127	0.0183	0.0173

(三) 軸半徑對運動穩定度的影響(車子編號 1.10.13)

1. 由圖 8 結果發現：車軸直徑越小穩定性高，維持在範圍內的距離和時間就大。
2. 由表 7 的換算結果可知運動的作用力是車軸的管徑大釋放的運動力量越大，抵達觀察點的動能也較大，抵達觀察點 2 時動能是增加的，但是車軸管徑最小的車子通過第 1 個觀察點後動能就減少。因為橡皮筋扭轉後彈性恢復力作用時需有解放空間，管徑小反扭轉空間就會受阻，所以運動力量無法快速釋放導致動能及運動力較小，相對力量釋放時間較久，穩定性較佳。

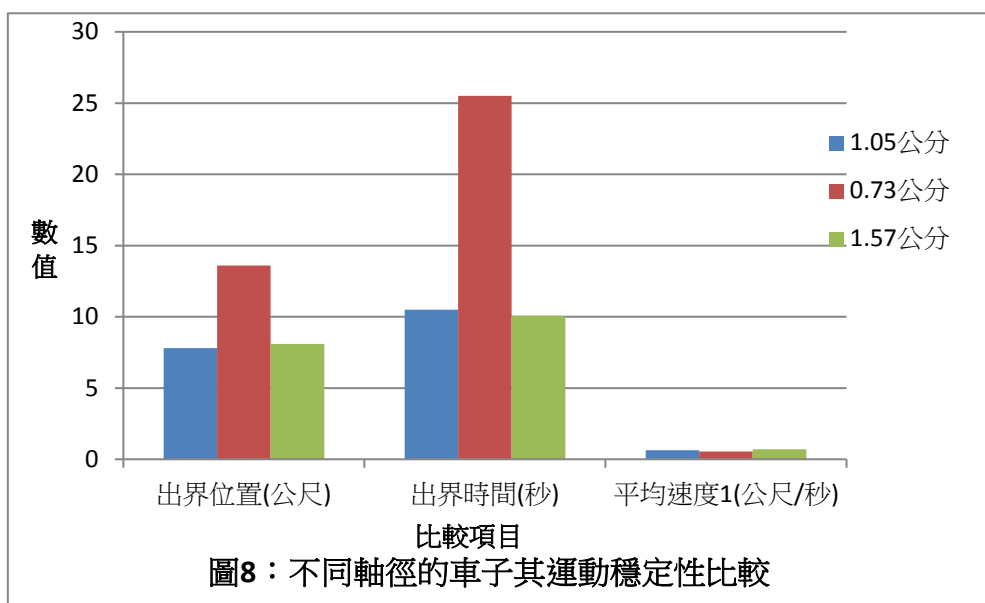


表 7：不同軸徑大小的車子運動過程力量及能量釋放換算結果

軸半徑	車子質量 (公斤)	平均加速度 (公尺/秒 ²)	作用力 (牛頓)	記錄點 1 動能(焦耳)	記錄點 2 動能(焦耳)	記錄點 3 動能(焦耳)
1.05 公分	0.049	0.1418	0.0069	0.0096	0.0136	出界
0.73 公分	0.05	0.0418	0.0021	0.0071	0.0059	0.0067
1.57 公分	0.075	0.1598	0.012	0.0185	0.0242	出界

(四) (輪直徑/軸長)值對運動穩定度的影響(車子編號 1.19.20)

1. 由圖 9 結果發現：(輪直徑/軸長)比值代表車子寬度與高度的對稱性，(輪直徑/軸長)比值小的車子較寬，運動時出界距離和時間都比較久，因為底面較寬的車子其重心運動過程較容易落在車體範圍內，所以穩定性較好。
2. 由表 8 的換算結果可知(輪直徑/軸長)比值越大其車身較高寬度較窄，運動較快，釋放的運動力和動能也較大但是容易出界。

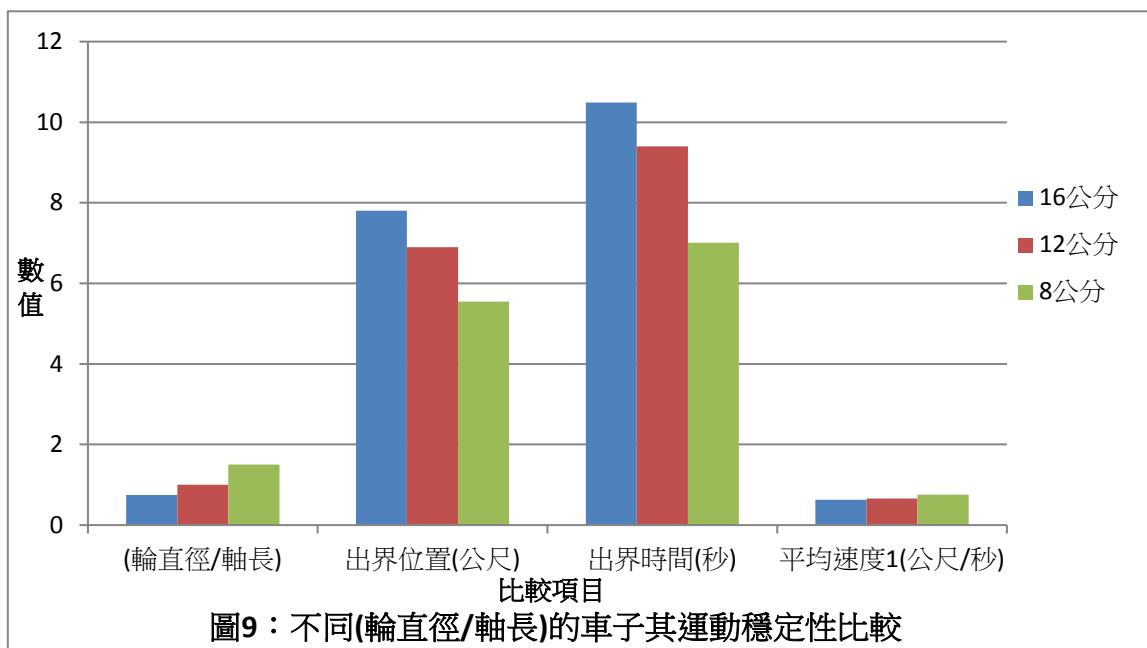


表 8：不同(輪直徑/軸長)值的車子運動過程力量及能量釋放換算結果

軸長	(輪直徑/軸長)	車子質量 (公斤)	平均加速度 (公尺/秒 ²)	作用力 (牛頓)	記錄點 1 動能(焦耳)	記錄點 2 動能(焦耳)
16 公分	0.75	0.049	0.1418	0.0069	0.0096	0.0136
12 公分	1	0.048	0.1562	0.0075	0.0105	0.0152
8 公分	1.5	0.047	0.2259	0.0106	0.0138	0.0151

(五) 輪中心與軸中心是否重疊對運動穩定度的影響(車子編號 1.5)

1. 由圖 10 結果發現：輪中心與軸中心重疊的車子出界的距離較遠所以穩定性較輪中心與軸中心未重疊的車子來的高，輪中心與軸中心未重疊的車子運動時輪子會有上下跳動難以順利向前運動，所以出界的距離短花費的時間長，由平均運動速度也可發現此種現象。
2. 由於輪子是以回收的 CD 片所製作，中心區與有一個直徑 2.187 公分的中心圓孔遠大於軸的直徑，所以利用電工膠帶以同心圓方式向外擴展直到恰好可與輪子中心圓孔密合，此時車子的輪中心與軸中心點就可重疊順利滾動前進。

3. 由表 9 的換算結果可知輪中心與軸中心重疊的車子其所釋放運動的作用力和抵達各觀察點的動能均較輪中心與軸中心未重疊的車子高，足見穩定運動的車子釋放能量較順暢。

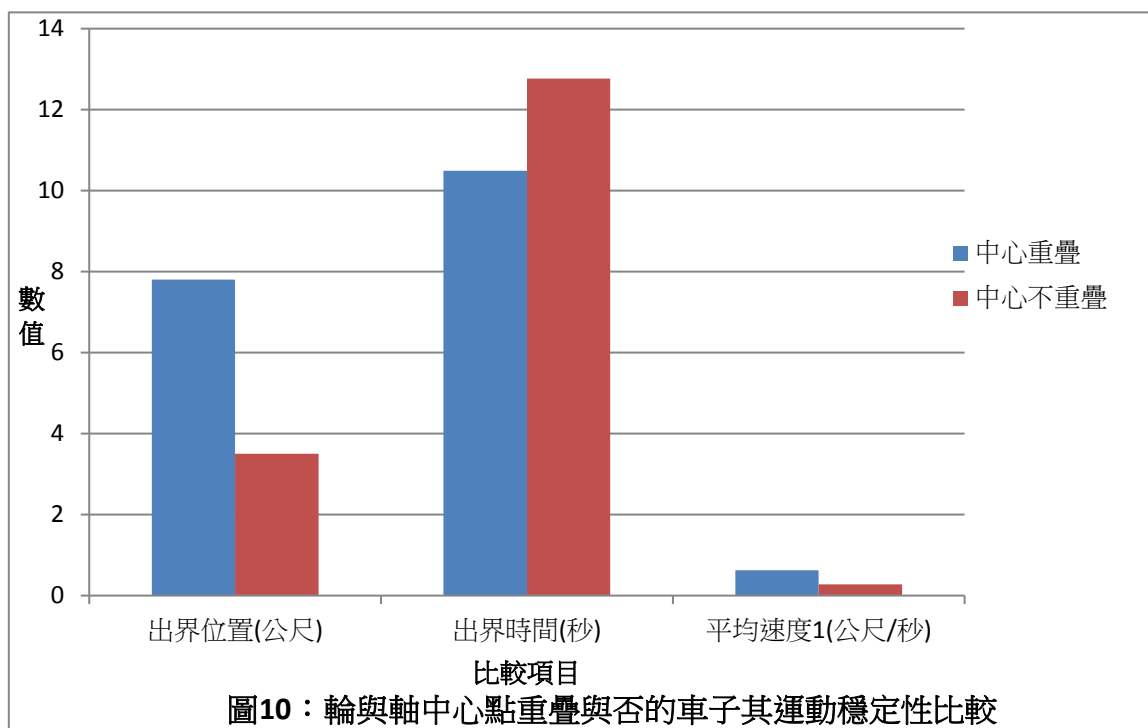


表 9：輪中心與軸中心是否重疊的車子運動過程力量及能量釋放換算結果

	車子質量 (公斤)	平均加速度 (公尺/秒 ²)	作用力 (牛頓)	記錄點 1 動能(焦耳)	記錄點 2 動能(焦耳)
中心重疊	0.049	0.1418	0.0069	0.0096	0.0136
中心不重疊	0.049	0.0492	0.0021	0.0018	出界

陸、 結論

一、動物運動能力取決於肌肉作為動力來源、關節作為力量轉換的傳動、穩定的結構體讓能量和作用力能夠順暢的釋放；簡易的線軸動力車以橡皮筋扭轉貯存能量，扭轉恢復力作為動力，1 個瓶蓋作為與輪子固定的關節另一個瓶蓋與支撐轉臂形成可動

關節作為力量的轉換與控制運動方向。

- 二、製作的車子其運動力量來源所使用的橡皮筋長短最好與車軸等長，太長易使關節鬆脫如同關節脫臼轉動不穩定，太短會鎖死關節無法轉動。橡皮筋扭轉圈數要恰當，因為運動過程有阻力與摩擦力的存在，旋轉圈數太少能量無法釋放，旋轉圈數過多橡皮筋會斷裂，橡皮筋串接和並聯會影響轉動能量，串接打結會影響能量釋放。並聯的橡皮筋條數扭轉時需有足夠空間釋放力量，所以軸徑的選擇要搭配。
- 三、橡皮筋固定在支撐轉臂上的位置會造成支撐轉臂與地面形成的夾角不同，橡皮筋固定點靠近前端適當位置時與地面夾角越小，釋放轉動的能量越順暢。
- 四、由於車子結構簡單穩定性的變因較少；車子輪子小重量輕車速快但是容易出界、輪子重穩定性高、軸半徑的選擇要搭配橡皮筋力量的釋放空間、(輪直徑/軸長)比值大車身較寬運動穩定性高但平均速度較慢、輪中心與軸中心要盡量重疊運動才會順暢穩定性高。

柒、 參考文獻

- 一、大衛.伯尼著。1995。生物學習百科。貓頭鷹出版社。出版地：台北市
- 二、張潤青編著。1994。趣味物理。建宏出版社。出版地：台北市
- 三、主政友譯。2005。愛上物理實驗課(上)。世茂出版有限公司。出版地：台北市
- 四、翰林出版社。2018。自然與生活科技第三冊。翰林出版社。出版地：台南市