

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學科

第三名

030802

終極目標－萬獸之王曲軸、連桿、後腳組合的探
討

學校名稱：臺北市立螢橋國民中學

作者：	指導老師：
國二 謝奇霖	高世良
國二 邱亞儒	翁玉玲
國三 童國毅	
國二 彭邦碩	

關鍵詞：曲軸、連桿、後腳

壹、摘要：

在這個研究當中，我們設計並製作完成一部手工機械車模型。實驗該車曲軸分別在 0.5、1、1.5、2、2.5、3 公分，連桿在 9、10、11、12、13 公分，後腳在 3、3.5、4、4.5、5 公分各種組合對速度及拉力所產生的影響。並用 GSP(The Geometer's Sketchpad) 繪圖模擬來驗證其結果之可行性。在拉力部份，原始實驗（前後腳底加日式止滑墊）由於與底面積摩擦力不足，實驗數據無法忠實呈現拉力。於是我們決定在軌道上貼砂紙並用以下四種方式來做實驗 (1)在四腳上各加一個電池 (2)在四腳上加電池，在後腳底貼上橢圓形橡膠軟墊 (3)四腳加電池，後腳做關節且加大腳底面積 (4)四腳加電池並鋸短四腳，且加大腳底面積。實驗數據顯示在曲軸、連桿、長度改變及後腳孔位置高低改變時，拉力會隨之增加或減少。本研究歸納出下列結論:曲軸越短，速度越慢，拉力越大。連桿越短，速度越快，拉力越小。後腳孔位置越高，速度越快，拉力越小。

貳、研究動機

組員中有人在國小時參加由國立師範大學舉辦的少年科技創作競賽，比賽過程首先是製作一部手工、模樣非常可愛的萬獸之王---四足步行機械，接下來是在軌道上競速與拔河。製作過程充滿挑戰，比賽過程盡是刺激。比賽雖結束，但是我們卻意猶未盡。上國中後，我們決定與志同道合的好友，一起了解它的結構及原理(包括曲軸、連桿及後腳不同的組合，對於速度及拉力的影響) 期望找出競速及拉力上的最佳組合。我們也發現生活中有很多機器也是利用相同原理製作而成，於是參考國二自然與生活科技課本中力的運用，以及數學課學到的 GSP 來做各種組合的模擬及實驗。

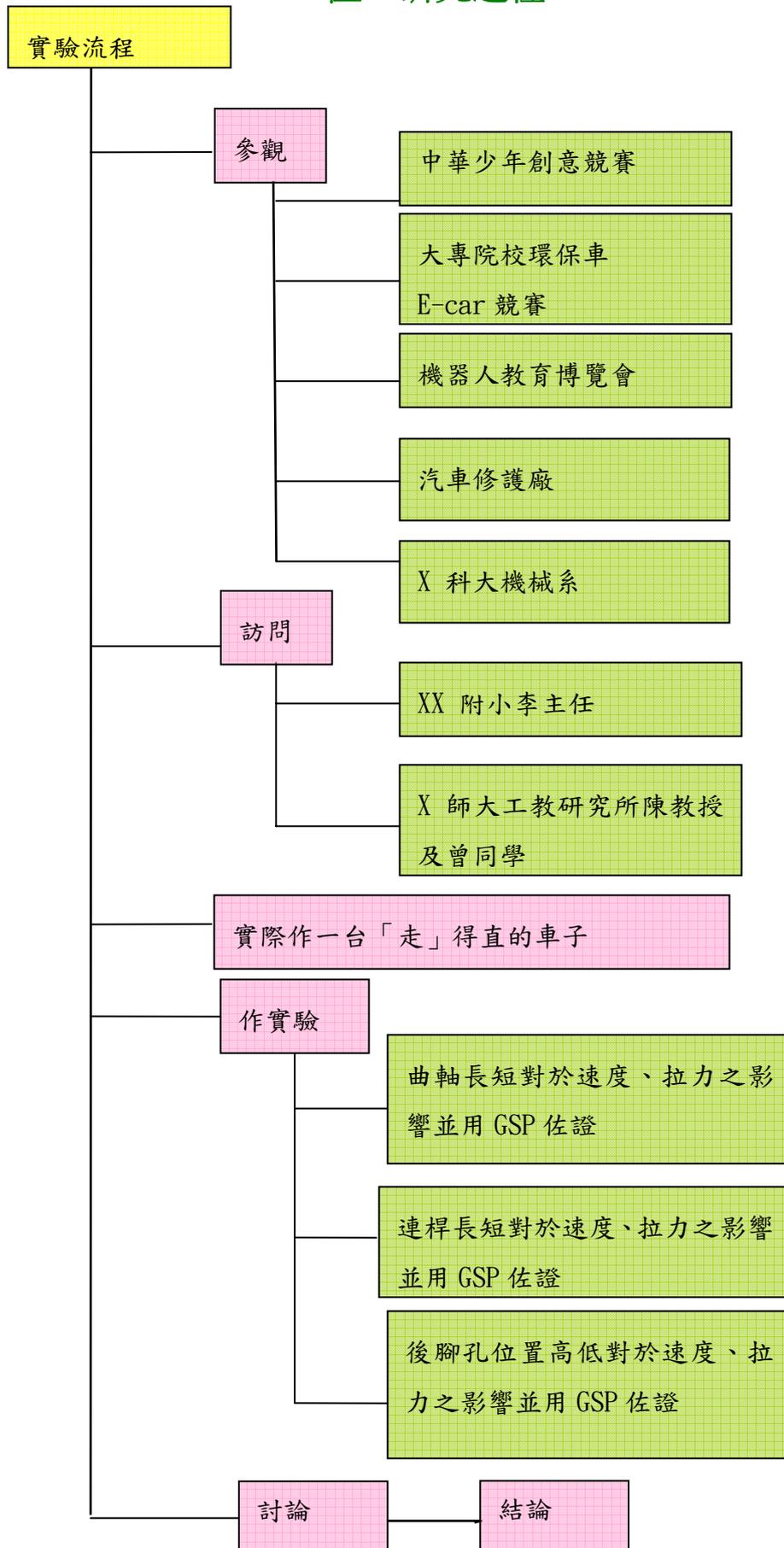
參、研究目的

1. 如何自製一部可以「走」的直的萬獸之王
2. 探討曲軸長短對於速度、拉力之影響
3. 探討連桿長短對於速度、拉力之影響
4. 探討後腳孔位置高低對於速度、拉力之影響
5. 探討後腳、曲軸及連桿長度在速度上的最佳組合
6. 探討後腳、曲軸及連桿長度在拉力上的最佳組合
7. 找出速度實驗中可測試的最佳範圍
8. 找出拉力實驗中可測試的最佳範圍

肆、研究設備及器材

木板、齒輪盒、各種齒輪、定滑輪、電池盒、充電電池、小馬達、潤滑油、砂紙、止滑墊、軌道、絕緣膠帶、砝碼盤、砝碼組、攝影器材、鐵鎚、鉗子、螺絲起子、剪刀、美工刀、直尺、三角尺、圓規、量角器、線鋸、鋸條、熱熔膠（槍）、手搖鑽

伍、研究過程：



第一部分－參觀訪問

我們去苗栗聯合科技大學參觀由黎明技術學院主辦的 E-CAR 複賽，還到台中參觀台師大主辦的少年科技創作競賽，以及機器人教育博覽會，收獲良多。



↑【圖 1】到台中參觀全國少年科技創意競賽



↑【圖 2】到苗栗參觀環保 E-car 競賽

第二部分－製作一部「走」的直的車子

(一) 車子製作

我們依據四連桿原理製作車子，也就是最短軸(曲軸)加上最長軸(後腳與身體連接點和曲軸與齒輪組驅動軸連接處連線)需小於連桿與後腳上半部長度之和(見【問題與討論一】)。

1. 依照【圖 3】製作本研究之齒輪組。
2. 切割身體各部位組件。
3. 將齒輪組對齊身體短邊中央予以黏接。
4. 將曲軸每隔 0.5cm 鑽一個洞共鑽 6 個洞；連桿每隔 1cm 鑽一個洞共鑽 4 個洞；前腳左上方往右每隔 1cm 鑽一個洞共鑽 2 個洞；後腳每隔 0.5cm 鑽一個洞共鑽 5 個洞。

5. 將齒輪組兩軸和兩個曲軸黏接。

※注意：兩個曲軸需呈 180 度。

6. 把曲軸和前腳利用螺絲螺帽連接。

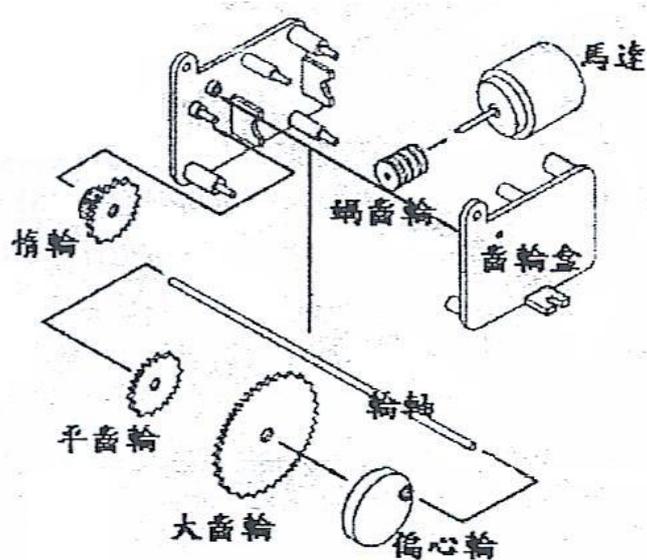
※注意：螺帽需使用兩個互鎖，不可以把螺帽鎖緊在前腳上，並用熱熔膠固定。

7. 把電池盒黏在身體上，記得同時測試齒輪組是否正常運作。

8. 先將連桿和前腳連接後再和後腳連接。

9. 進行調整，把主軸和兩個後腳連接，找到最佳位置後進行固定。

10. 試走，若可行走，將腳底板黏上車身，則整體實驗機構設計組裝完成。



↑【圖 3】齒輪組組裝方法

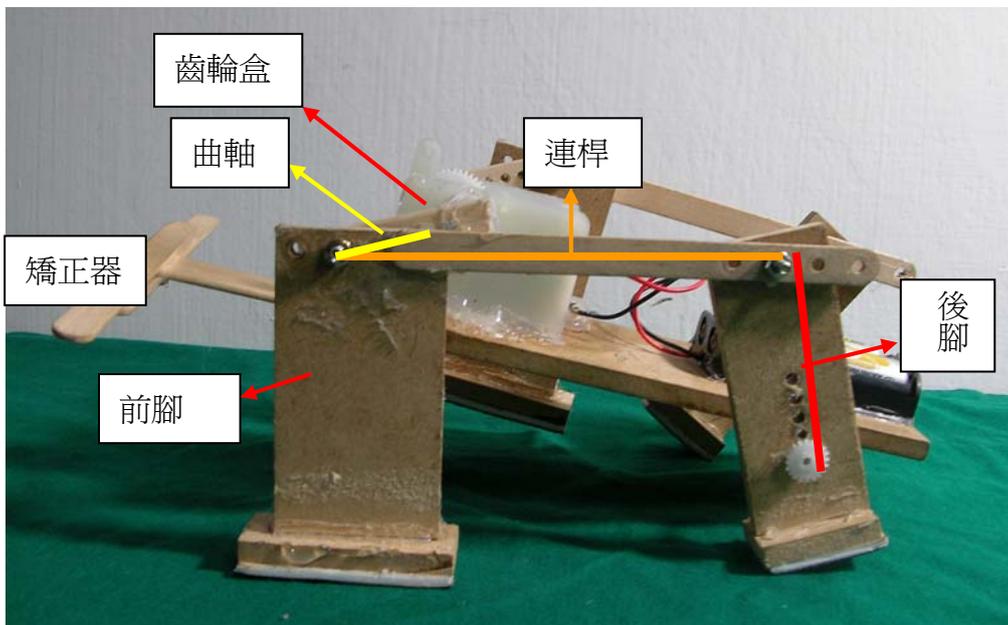
(二) 讓車可以「走」直的方法

我們試過了導線、裝上珠子、裝上導輪、裝上塑膠片等方法，但都沒有達到我們想要的效果。導線與導輪的方法雖然可以走直，但是導線與導輪給予車子的摩擦力太大讓它的速度變慢；而裝上珠子則是因為珠子旋轉無法矯正而失敗；裝上塑膠片則還是會走歪。最後，我們發現使用平齒輪固定是最有效的。平齒輪固定的方法及步驟如下：

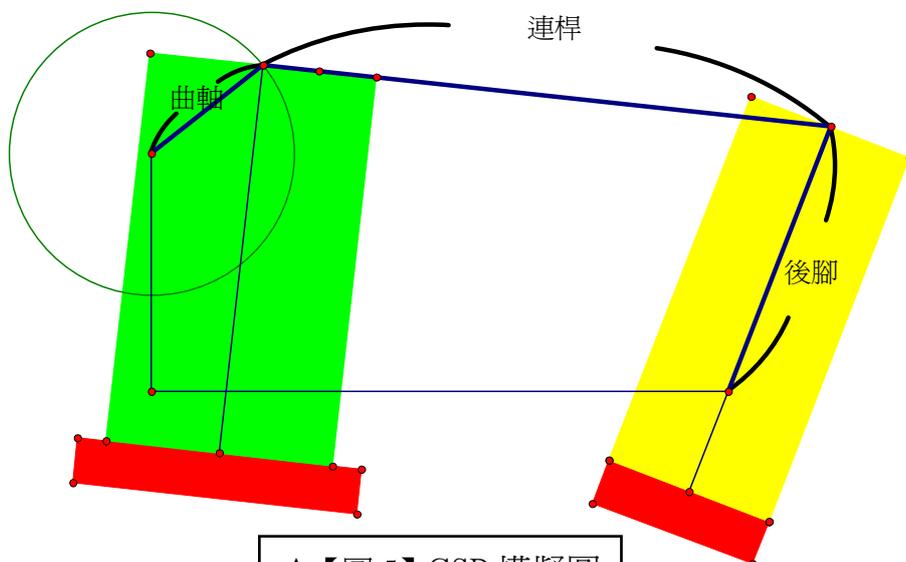
- 1.把一個平齒輪敲進後主軸內，並壓至末稍深處
- 2.把後腳嵌進主軸內
- 3.再把另一個平齒輪打進主軸固定
- 4.把兩個平齒輪夾緊

除此之外，我們還利用冰棒棍做了矯正器，矯正器的寬度比車子還要寬，形狀像是個 T 字形，突出的部分撞到軌道會反彈，可以讓車子反彈走到中央，同時也可以減少車子對軌道邊的摩擦面積，不浪費動能。

(三) 機體完成圖與 GSP 模擬圖的對照



↑ 【圖 4】機體完成圖



↑ 【圖 5】GSP 模擬圖

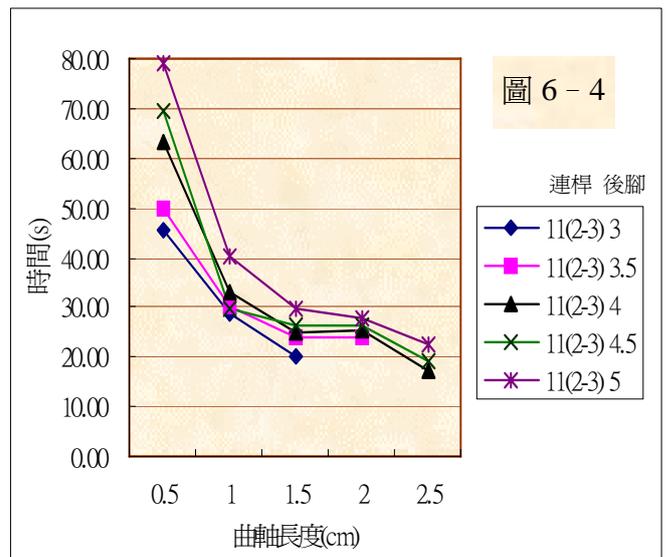
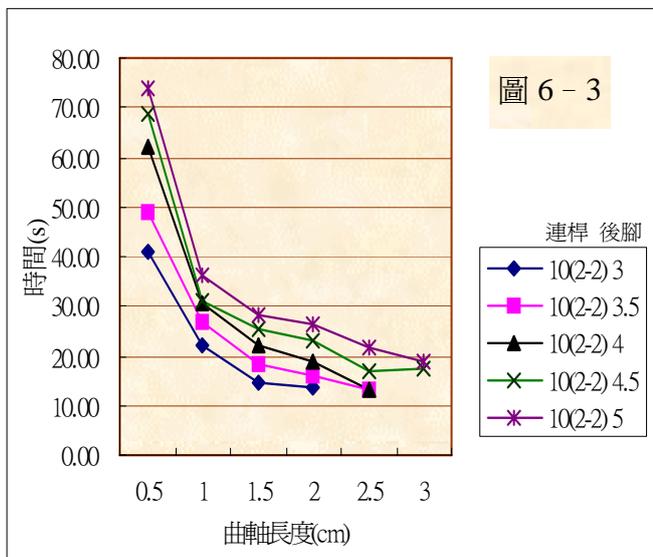
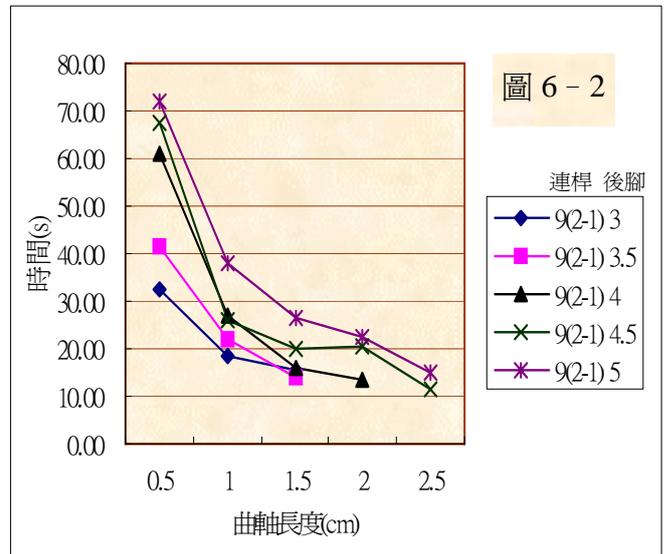
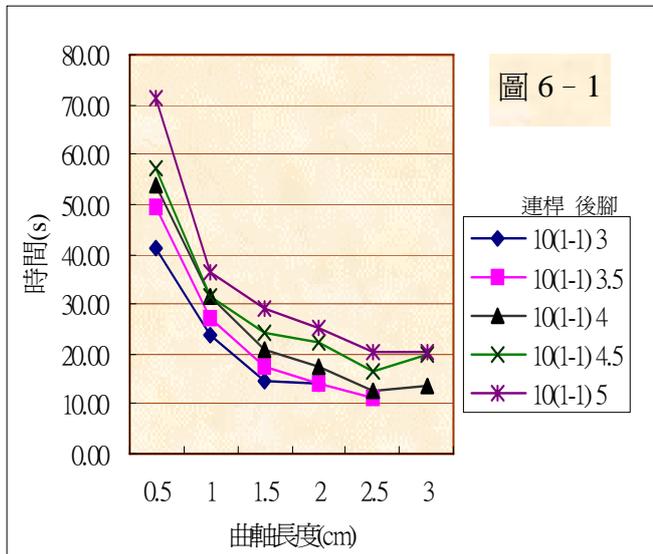
第三部分－實驗

研究一：探討曲軸長短對於速度的影響

(一) 實驗方法：

使用同一部車子（馬達齒輪等變因固定），只改變曲軸長度，不同曲軸組合在長度 180cm 軌道上測速度三次並取其平均值(以秒為單位)。

(二) 實驗結果：



↑ 【圖 6-1~圖 6-4】曲軸長短與速度的關係折線圖
※擷取於【表一】曲軸長短與速度的比較表

結論：

- 1 當其他變因固定時，各曲軸平均速度快慢依序為：3cm > 2.5cm > 2cm > 1.5cm > 1cm > 0.5cm。這是因為當曲軸越長時，跨的腳步也越大，所以速度會比較快。
2. 當曲軸長度為 3cm 時，因為後腳擺動角度較大，而造成機械運行時前腳幾乎無法著地，只有少數可進行測試。當曲軸為大於 3cm 以上時，所有的組合便無法進行實驗了。

【表一】曲軸長短與速度的比較表

※擷取於〈附件一〉實驗總表

後腳 (cm)	連桿 (CM)	曲				軸	
		平均秒數					
		0.5cm	1cm	1.5 cm	2 cm	2.5 cm	3 cm
3	10(1-1)	41.38	23.81	14.74	13.83	A	H
	11(1-2)	47.18	31.96	22.42	B	A	H
	12(1-3)	B	B	B	B	A	A
	13(1-4)	B	B	B	B	A	A
	9(2-1)	32.62	18.70	15.43	B	C	I
	10(2-2)	40.75	22.16	14.65	13.86	C	I
	11(2-3)	45.53	28.71	20.22	B	A	A
	12(2-4)	B	B	B	B	A	A
3.5	10(1-1)	49.24	27.00	17.31	13.87	11.17	H
	11(1-2)	53.33	31.37	25.35	B	B	H
	12(1-3)	B	B	B	B	A	A
	13(1-4)	B	B	B	B	A	A
	9(2-1)	41.33	22.13	13.97	B	C	I
	10(2-2)	48.90	26.91	18.18	16.20	12.97	D
	11(2-3)	49.99	30.34	24.01	23.84	D	A
	12(2-4)	58.94	37.84	B	B	A	A
4	10(1-1)	53.63	31.34	20.94	17.30	12.61	13.78
	11(1-2)	60.58	34.80	26.05	26.55	18.28	D
	12(1-3)	83.43	47.05	B	B	A	A
	13(1-4)	B	B	B	B	A	A
	9(2-1)	60.91	26.96	16.22	13.41	C	I
	10(2-2)	62.18	30.49	22.14	18.80	13.11	D
	11(2-3)	63.42	33.13	24.87	25.43	17.16	D
	12(2-4)	80.22	39.15	B	26.91	A	A
4.5	10(1-1)	57.20	31.68	24.38	22.31	16.30	20.12
	11(1-2)	58.30	31.97	26.92	25.87	20.57	D
	12(1-3)	100.73	40.89	B	B	B	D
	13(1-4)	B	B	B	B	A	A
	9(2-1)	67.52	25.98	19.95	20.31	11.70	I
	10(2-2)	68.53	31.10	25.47	23.28	17.07	17.62
	11(2-3)	69.55	29.91	26.22	26.11	19.06	D
	12(2-4)	B	41.77	34.31	B	B	A
5	10(1-1)	71.05	36.20	28.92	25.30	20.33	20.33
	11(1-2)	79.30	42.03	27.53	29.02	20.91	D
	12(1-3)	103.45	57.85	32.13	28.15	21.48	A
	13(1-4)	B	B	B	B	B	D
	9(2-1)	71.84	37.82	26.26	22.70	14.77	D
	10(2-2)	73.73	36.25	28.46	26.34	21.85	18.64
	11(2-3)	78.87	40.35	29.63	27.76	22.61	D
	12(2-4)	97.97	52.30	31.65	32.97	B	A

備註 1： A: 後腳碰到連桿 B: 前腳抬起 C: 連桿過長末端卡在後腳的平齒輪上
D: 後腳跟卡在地面上 H: 後腳碰到前腳 I: 後腳往後成水平狀
※請參見〈附件二〉實驗未能進行的各種情形

備註 2： 連桿 10(1-1)即為長度 10 cm，線絲分別鎖在前腳第 1 孔及連桿第 1 孔之位置；
連桿 9(2-1)即為長度 9 cm，線絲分別鎖在前腳第 2 孔及連桿第 1 孔之位置，餘依序類推.....
※此標示適用於本作品說明書任何表格

(三) GSP 的結論印證

在實驗過程中我們觀察到萬獸之王腳步的移動的模式似乎可以用數學課學到的繪圖軟體 GSP 來進行模擬，於是我們請教數學高老師，學習運用 GSP 繪圖並製成機械的连接圖。

▲ GSP 是一個幾何動態模擬軟體，可利用做圓、垂直、拉線、平移、追蹤軌跡等數學方法，設計出需要的圖形及動態模擬。

圖 7-1

曲軸 = 2.00 cm

連桿 = 10.00 cm

後腳 = 5.00 cm

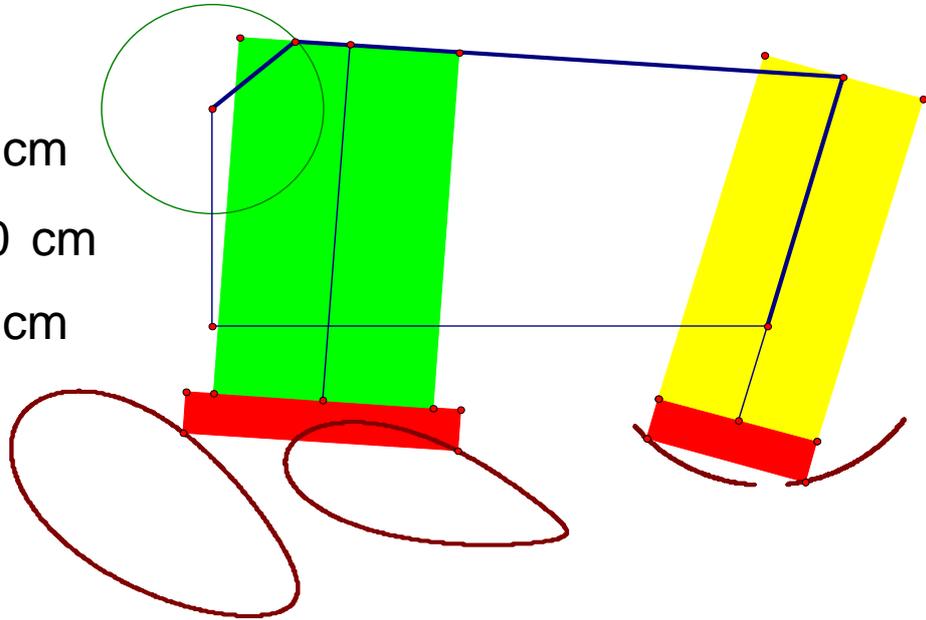
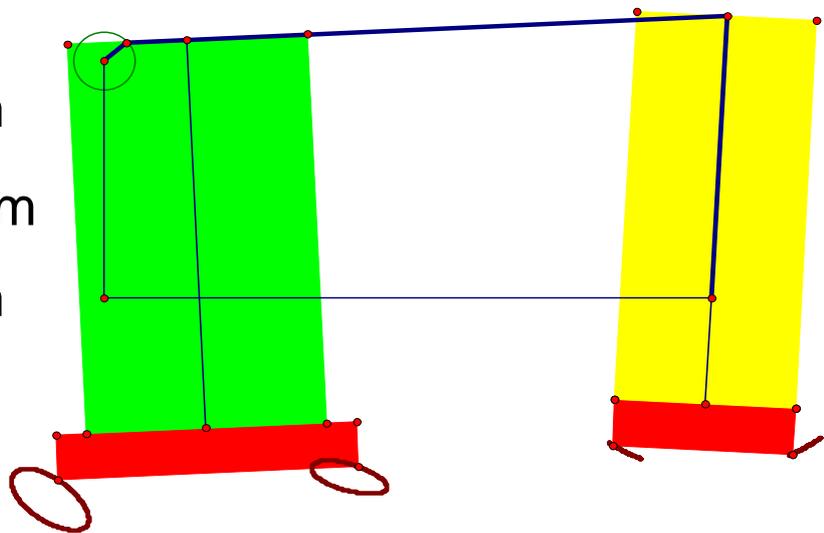


圖 7-2

曲軸 = 0.50 cm

連桿 = 10.00 cm

後腳 = 5.00 cm



↑ 【圖 7-1~圖 7-2】不同曲軸長度的 GSP 對照圖

說明：

在相同的連桿與後腳長度時，【圖 7-1】是曲軸較長的運轉圖形；【圖 7-2】是曲軸較短的的運轉圖形。圖中的棕色曲線是曲軸運轉一周時，前後腳底部兩端點的軌跡。圖片中顯示，曲軸長度 0.5cm 所繪出的圓較小，帶動前腳揮動的軌跡較小，曲軸長度 2cm 所繪出的圓較大，帶動前腳揮動的軌跡幅度較大，故步伐大，相對速度較快。

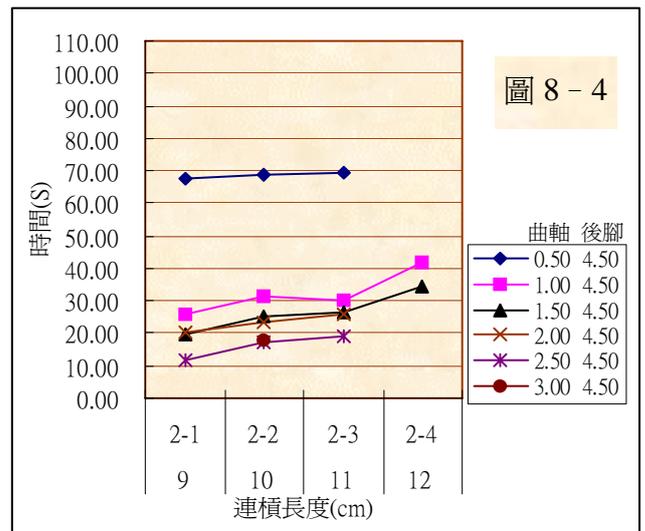
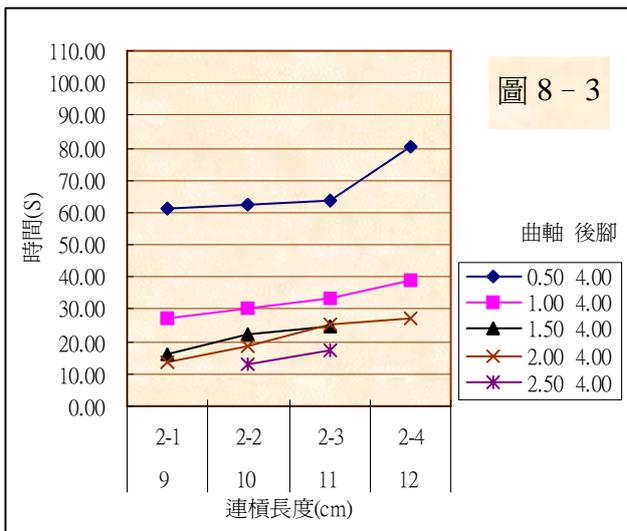
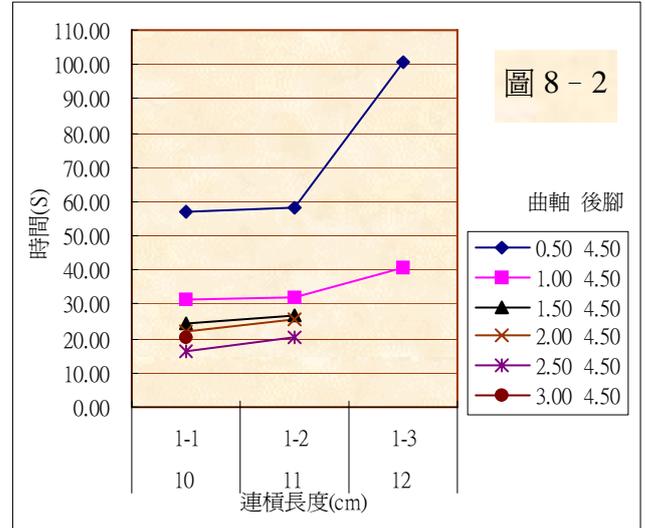
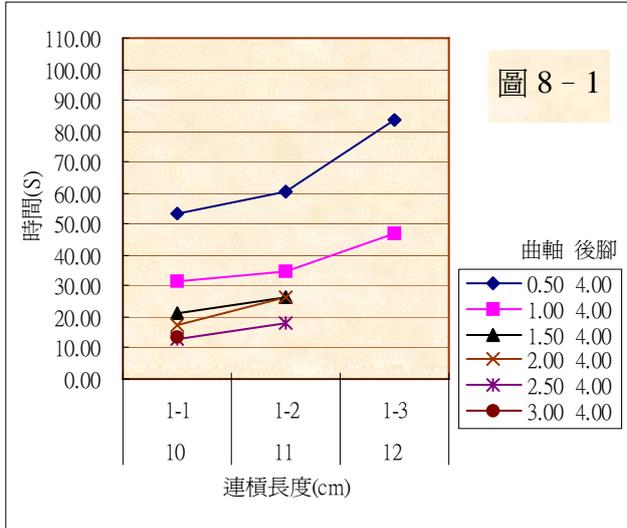
※關於步伐大小的討論，請參照〈附件三〉照片（1）~（4）。

研究二：探討連桿長短對速度的影響

(一) 實驗方法：

使用同一部車子（馬達齒輪等變因固定），只改變連桿長度，不同連桿組合在長度 180cm 軌道上測速度三次並取其平均值(以秒為單位)。

(二) 實驗結果：



↑ 【圖 8-1~圖 8-4】連桿長短與速度的關係折線圖
※擷取於【表二】連桿長短與速度的比較表

結論：

當其他變因固定時，連桿越長（在一定範圍內，不能超過四連桿長度限制），速度越慢。

【表二】連桿長短與速度的比較表

※擷取於〈附件一〉實驗總表

		連桿				連桿			
曲軸 (cm)	後腳 (cm)	平均秒數				平均秒數			
		10cm (1-1)	11 cm (1-2)	12 cm (1-3)	13cm (1-4)	9 cm (2-1)	10cm (2-2)	11cm (2-3)	12cm (2-4)
0.5	3.0	41.38	47.18	B	B	32.62	40.75	45.53	B
	3.5	49.24	84.00	B	B	41.33	48.90	49.99	58.94
	4.0	53.63	60.58	83.43	B	60.91	62.18	63.42	80.22
	4.5	57.20	58.30	100.73	B	67.52	68.53	69.55	B
	5.0	71.05	79.30	103.45	B	71.84	73.73	78.87	97.97
1.0	3.0	23.81	31.96	B	B	18.70	22.16	28.71	B
	3.5	27.00	31.37	B	B	22.13	26.91	30.34	37.84
	4.0	31.34	34.80	47.05	B	26.96	30.49	33.13	39.15
	4.5	31.68	31.97	40.89	B	25.98	31.10	29.91	41.77
	5.0	36.20	42.03	57.85	B	37.82	36.25	40.35	52.30
1.5	3.0	14.74	22.42	B	B	15.43	14.65	20.22	B
	3.5	17.31	25.35	B	B	13.97	18.18	24.01	B
	4.0	20.94	26.05	B	B	16.22	22.14	24.87	B
	4.5	24.38	26.92	B	B	19.95	25.47	26.22	34.31
	5.0	28.92	27.53	32.13	B	26.26	28.46	29.63	31.65
2.0	3.0	13.83	B	B	B	B	13.86	B	B
	3.5	13.87	B	B	B	B	16.20	23.84	B
	4.0	17.30	26.55	B	B	13.41	18.80	25.43	26.91
	4.5	22.31	25.87	B	B	20.31	23.28	26.11	B
	5.0	25.30	29.02	28.15	B	22.70	26.34	27.76	32.97
2.5	3.0	A	A	A	A	C	C	A	A
	3.5	11.17	B	A	A	C	12.97	D	A
	4.0	12.61	18.28	A	A	C	13.11	17.16	A
	4.5	16.30	20.57	B	A	11.70	17.07	19.06	B
	5.0	20.33	20.91	21.48	B	14.77	21.85	22.61	B
3.0	3.0	H	H	A	A	I	I	A	A
	3.5	H	H	A	A	I	D	A	A
	4.0	13.78	D	A	A	I	D	D	A
	4.5	20.12	D	D	A	I	17.62	D	A
	5.0	20.33	D	A	D	D	18.64	D	A

備註: A:後腳碰到連桿 B:前腳抬起 C: 連桿過長末端卡在後腳的平齒輪上
D:後腳跟卡在地面上 H:後腳碰到前腳 I: 後腳往後成水平狀
※請參見〈附件二〉實驗未能進行的各種情形

(三) GSP 的結論印證：

圖 9 - 1

曲軸 = 1.00 cm

連桿 = 9.00 cm

後腳 = 4.00 cm

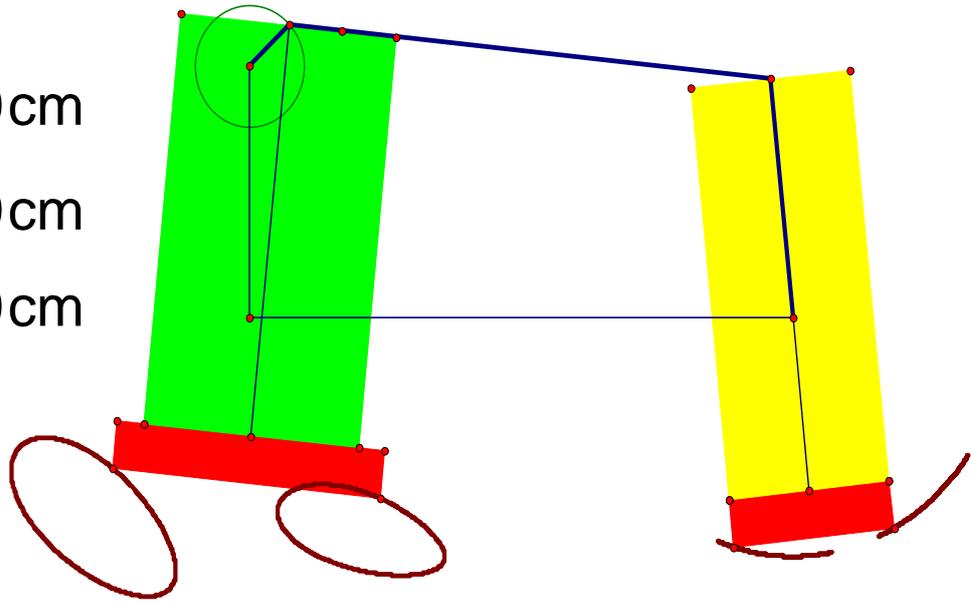
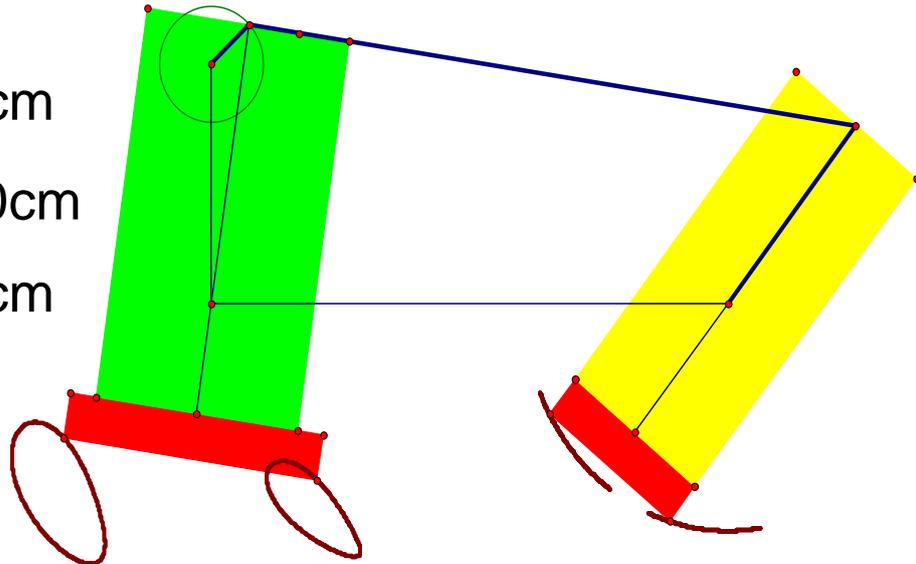


圖 9 - 2

曲軸 = 1.00 cm

連桿 = 12.00 cm

後腳 = 4.00 cm



說明：

在相同的曲軸與後腳長度時，【圖 9 - 1】是連桿較短的運轉圖形；【圖 9 - 2】圖是連桿較長的運轉圖形。圖中的棕色曲線是曲軸運轉一周時，腳底底部兩端點的軌跡。仔細觀察圖形，發現連桿較長時，牽動後腳向前揮動，步伐較小，因此速度較慢。連桿較短時，牽動後腳向後擺動，車子跨的步伐較大而前進的速度較快。

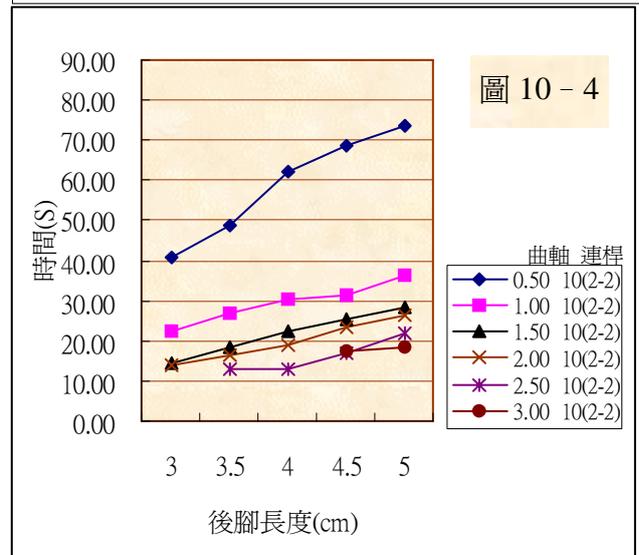
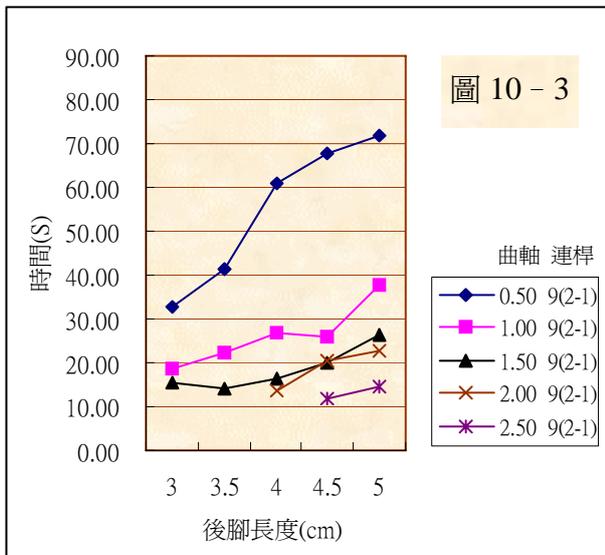
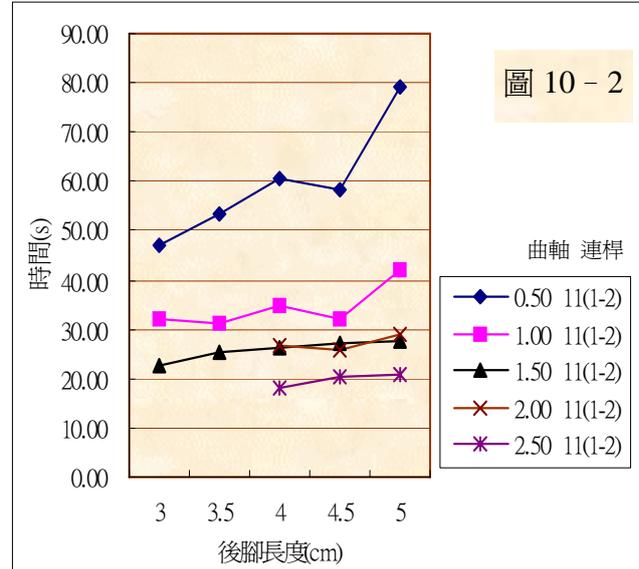
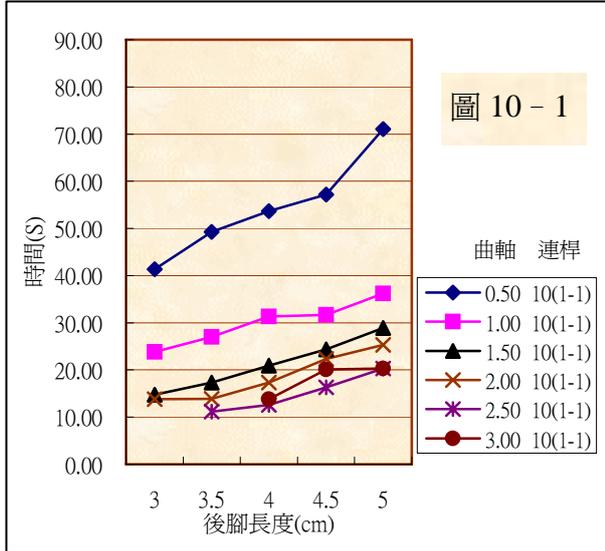
※關於步伐大小的討論，請參照〈附件三〉照片（5）~（8）

研究三：探討後腳孔位置高低對於速度的影響

(一) 實驗方法：

使用同一部車子(馬達齒輪等變因固定),只改變後腳孔位置高低。不同後腳組合在長度 180cm 軌道上測速度三次並取其平均值(以秒為單位)。

(二) 實驗結果：



↑ 【圖 10-1~圖 10-4】後腳長短與速度的關係折線圖
※擷取於【表三】後腳長短與速度的比較表

結論：

我們發現當其他變因固定時，後腳孔位置越低(在一定範圍內，不能超過四連桿長度限制)，速度越慢。

【表三】後腳長短與速度的比較表

※擷取於〈附件一〉實驗總表

曲軸 (cm)	連桿 (cm)	後腳				
		平均秒數				
		3cm	3.5 cm	4 cm	4.5 cm	5 cm
0.5	10(1-1)	41.38	49.24	53.63	57.20	71.05
	11(1-2)	47.18	53.33	60.58	58.30	79.30
	12(1-3)	B	B	83.43	100.73	103.45
	13(1-4)	B	B	B	B	B
	9(2-1)	32.62	41.33	60.91	67.52	71.84
	10(2-2)	40.75	48.90	62.18	68.53	73.73
	11(2-3)	45.53	49.99	63.42	69.55	78.87
	12(2-4)	B	58.94	80.22	B	97.97
1.0	10(1-1)	23.81	27.00	31.34	31.68	36.20
	11(1-2)	31.96	31.37	34.80	31.97	42.03
	12(1-3)	B	B	47.05	40.89	57.85
	13(1-4)	B	B	B	B	B
	9(2-1)	18.70	22.13	26.96	25.98	37.82
	10(2-2)	22.16	26.91	30.49	31.10	36.25
	11(2-3)	28.71	30.34	33.13	29.91	40.35
	12(2-4)	B	37.84	39.15	41.77	52.30
1.5	10(1-1)	14.74	17.31	20.94	24.38	28.92
	11(1-2)	22.42	25.35	26.05	26.92	27.53
	12(1-3)	B	B	B	B	32.13
	13(1-4)	B	B	B	B	B
	9(2-1)	15.43	13.97	16.22	19.95	26.26
	10(2-2)	14.65	18.18	22.14	25.47	28.46
	11(2-3)	20.22	24.01	24.87	26.22	29.63
	12(2-4)	B	B	B	34.31	31.65
2.0	10(1-1)	13.83	13.87	17.30	22.31	25.30
	11(1-2)	B	B	26.55	25.87	29.02
	12(1-3)	B	B	B	B	28.15
	13(1-4)	B	B	B	B	B
	9(2-1)	B	B	13.41	20.31	22.70
	10(2-2)	13.86	16.20	18.80	23.28	26.34
	11(2-3)	B	23.84	25.43	26.11	27.76
	12(2-4)	B	B	26.91	B	32.97
2.5	10(1-1)	A	11.17	12.61	16.30	20.33
	11(1-2)	A	B	18.28	20.57	20.91
	12(1-3)	A	A	A	B	21.48
	13(1-4)	A	A	A	A	B
	9(2-1)	C	C	C	11.70	14.77
	10(2-2)	C	12.97	13.11	17.07	21.85
	11(2-3)	A	D	17.16	19.06	22.61
	12(2-4)	A	A	A	B	B
3.0	10(1-1)	H	H	13.78	20.12	20.33
	11(1-2)	H	H	D	D	D
	12(1-3)	A	A	A	D	A
	13(1-4)	A	A	A	A	D
	9(2-1)	I	I	I	I	D
	10(2-2)	I	D	D	17.62	18.64
	11(2-3)	A	A	D	D	D
	12(2-4)	A	A	A	A	A

備註: A:後腳碰到連桿 B:前腳抬起 C: 連桿過長末端卡在後腳的平齒輪上
D:後腳跟卡在地面上 H:後腳碰到前腳 I:後腳往後成水平狀
※請參見〈附件二〉實驗未能進行的各種情形

(三) GSP 的結論印證：

圖 11 - 1

曲軸 = 1.00 cm

連桿 = 9.00 cm

後腳 = 3.00 cm

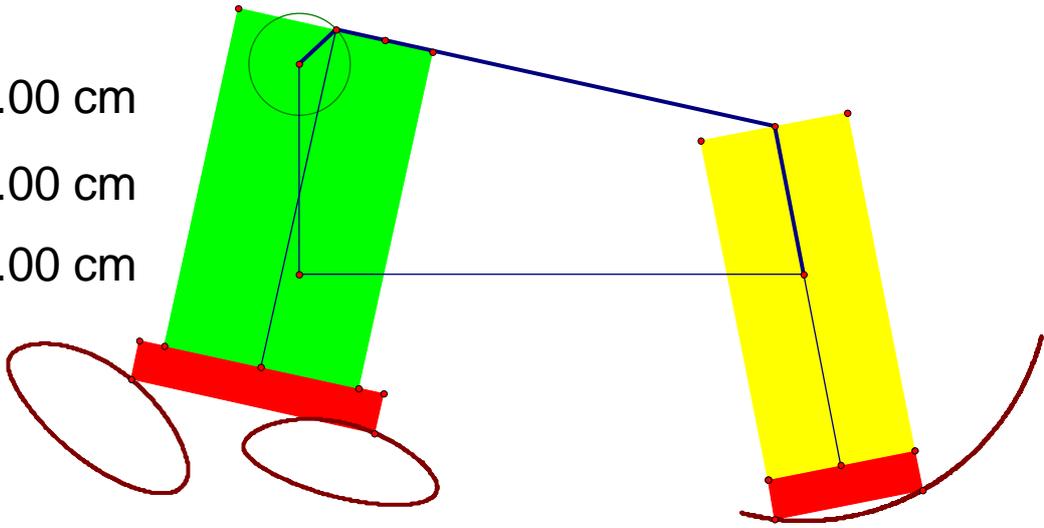
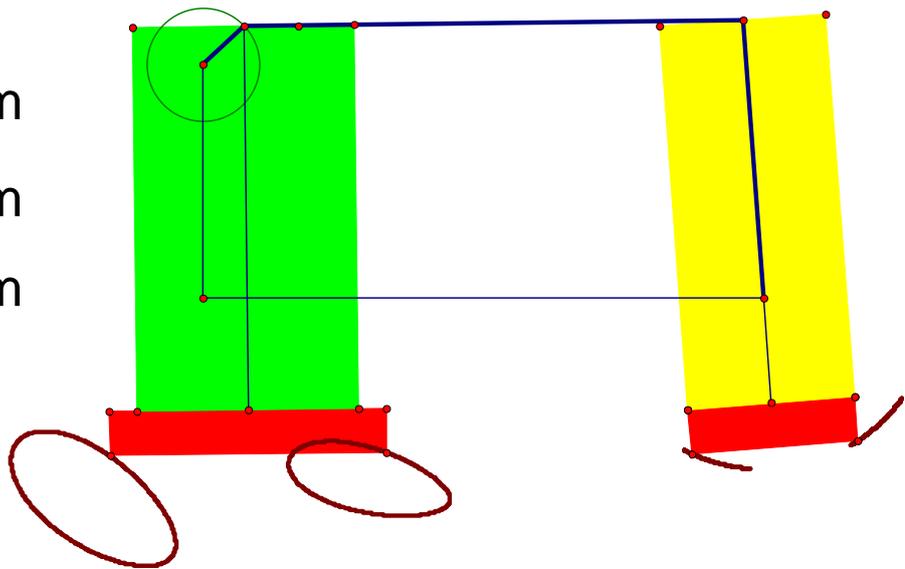


圖 11 - 2

曲軸 = 1.00 cm

連桿 = 9.00 cm

後腳 = 5.00 cm



↑ 【圖 11 - 1~圖 11 - 2】不同後腳長度的 GSP 對照圖

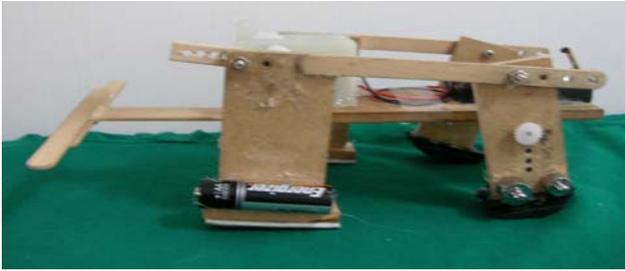
說明：

在相同的曲軸與連桿長度時，【圖 11 - 1】是後腳孔位置較高的運轉圖形；【圖 11 - 2】是後腳孔位置較低的運轉圖形。圖中的棕色曲線是曲軸運轉一周時，腳底底部兩端點的軌跡。上圖的軌跡顯示當後腳孔位置改變時，對後腳擺動幅度影響很大，當孔位置較高時，腳底的擺動幅度大。因為較大的擺動幅度，步伐就會較大，因此後腳孔位置越高，速度越快。反之亦然。

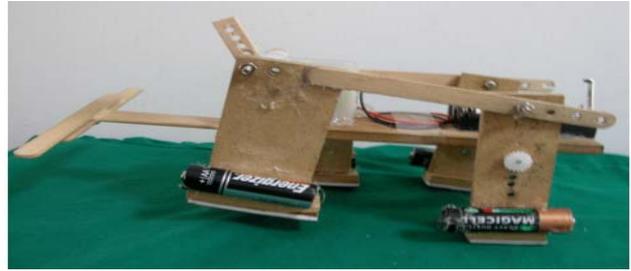
※關於步伐大小的討論，請參照〈附件三〉照片（9）~（12）。

測試拉力時針對腳底改良的情形：

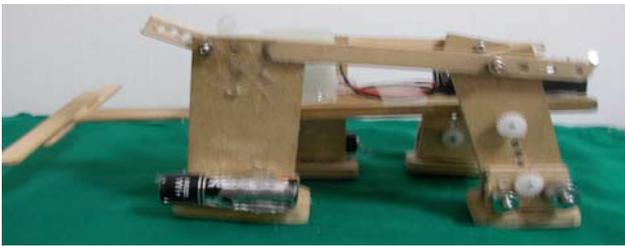
改良實驗初，我們將日式止滑墊貼在腳底，在木質地板上測試，但木質地板容易打滑，扭力不易傳達。根據摩擦力公式 $F = \mu N$ ，我們決定增加重量在腳底以增加正向力，並在軌道上加砂紙增加摩擦係數。於是，我們嘗試用以下四種方式做拉力實驗：



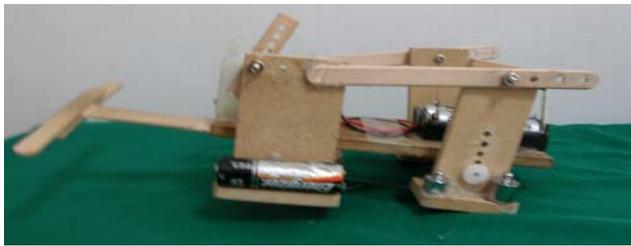
↑【圖 12】砂軌+4 顆電池



↑【圖 13】砂軌+圓弧型橡膠軟墊+4 顆電池



【圖 14】砂軌+關節+加大腳底面積+4 顆電池



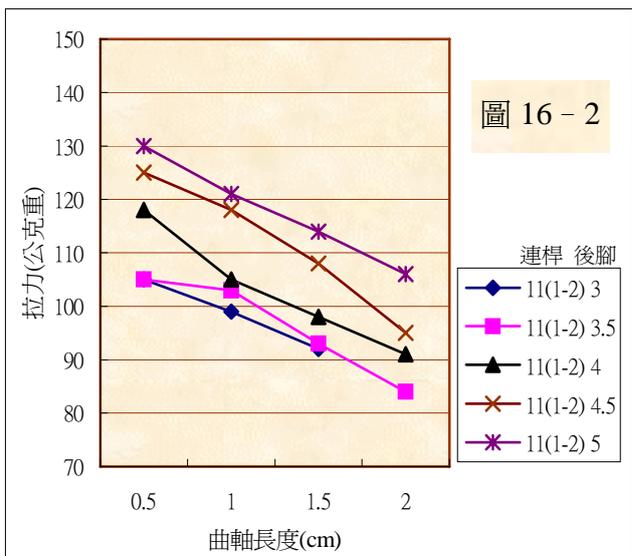
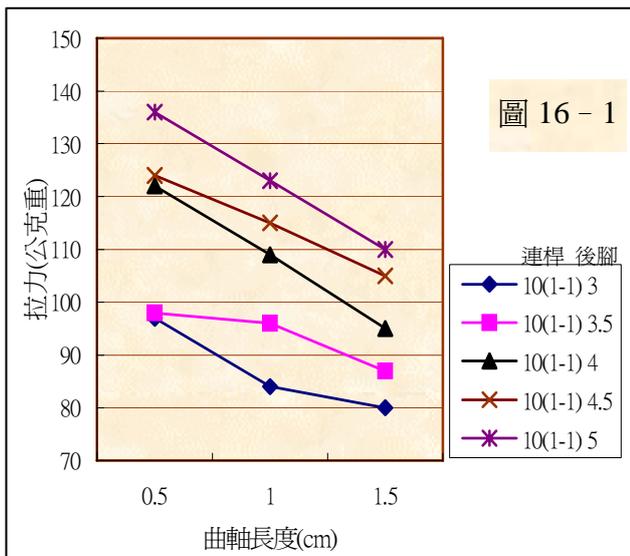
【圖 15】砂軌+腳鋸短+加大腳底面積+4 顆電池

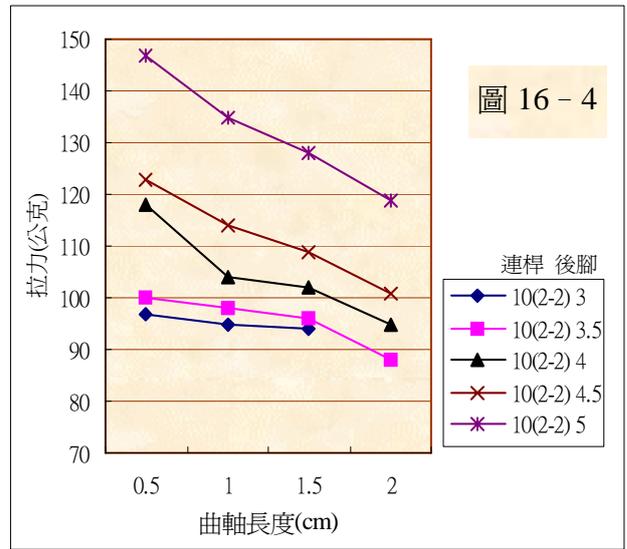
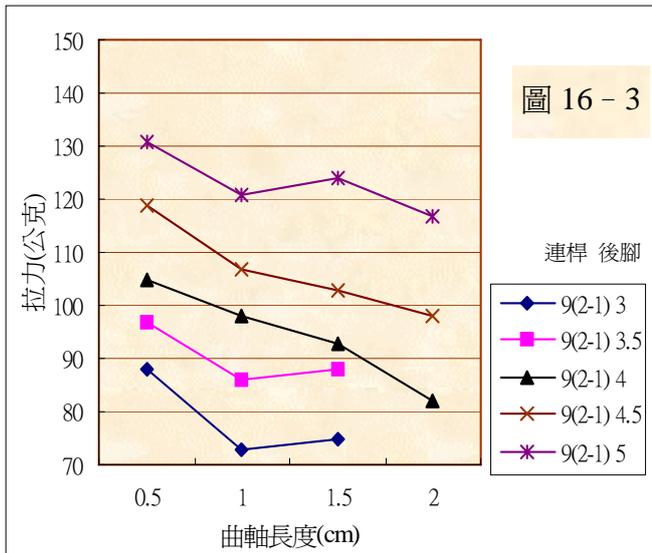
研究四：探討曲軸長短對於拉力的影響

(一) 實驗方法：

使用同一部車(馬達齒輪等變因固定)，車身後方接繩子通過定滑輪，下吊砝碼盤平放在地上，逐漸增減砝碼以測出可拉動砝碼盤離地之最大公克數為其拉力，不同曲軸組合各測一次。

(二) 實驗結果：





↑ 【圖 16 - 1~圖 16 - 4】曲軸長短與拉力的關係折線圖
 ※擷取於【表四】曲軸長短與拉力的比較表砂軌+腳鋸短+加大腳底面積+4 顆電池

攝影照片的結論印證：



↑ 【圖 17】曲軸 0.5 的攝影照



↑ 【圖 18】曲軸 2.5 的攝影照

結論：

- 根據上兩列照片顯示，曲軸長度 0.5cm 時【圖 17】，腳的擺動幅度較小（著地時間較長）；而長度 2.5cm 時【圖 18】，腳的動幅度較大（著地時間較短）。
 因此推論出曲軸越短，拉力越大。
- 曲軸輸出的扭力也是力矩與槓桿原理的應用。根據
 力矩公式：力矩（馬達輸出的力）= 力臂（曲軸長）× 作用力（帶動機構前進的動力）
 由於實驗中馬達輸出的扭力（力矩）為一定值，因此曲軸（力臂）越短，作用力（帶動機構前進的動力）就會越大。這也應證了我們的實驗結果：曲軸越短，拉力越大。

【表四】曲軸長短與拉力的比較表

※擷取於〈附件二〉實驗總表

後腳	連桿	曲軸 (cm) 拉力 (砂軌+電池)						曲軸 (cm) 拉力 (砂軌+人工關節+ 加大腳底+電池)						曲軸 (cm) 拉力 (砂軌+軟腳底+電池)						曲軸 (cm) 拉力 (砂軌+腳鋸短+ 加大腳底+電池)					
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	0.5	1	1.5	2	2.5	3	0.5	1	1.5	2	2.5	3	0.5	1	1.5	2	2.5	3
3.0	10(1-1)	80	B	B	B	A	H	67	63	64	H	C	C	67	65	B	B	A	H	97	84	80	A	C	C
	11(1-2)	83	B	B	B	A	H	65	71	B	D	H	H	73	75	B	B	A	H	105	99	92	A	A	A
	12(1-3)	B	B	B	B	A	A	D	B	B	A	A	A	B	A	B	B	A	A	112	B	D	A	A	A
	13(1-4)	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A
	9(2-1)	79	84	C	B	C	I	68	D	C	C	C	C	69	62	C	B	C	I	88	73	75	C	C	C
	10(2-2)	79	82	B	B	C	I	71	75	72	I	C	I	71	64	B	B	C	I	97	95	94	D	D	C
	11(2-3)	88	87	B	B	A	A	76	81	A	D	A	A	80	75	B	B	A	A	118	100	D	D	A	A
12(2-4)	B	B	B	B	A	A	D	D	B	A	A	A	80	B	B	B	A	A	115	A	A	A	A	A	
3.5	10(1-1)	80	B	B	B	B	H	73	75	71	66	C	C	75	74	B	B	B	H	98	96	87	A	D	C
	11(1-2)	84	B	85	B	B	H	66	78	73	D	H	H	78	B	B	B	B	H	105	103	93	84	D	H
	12(1-3)	B	B	B	B	A	A	79	D	B	A	A	A	B	A	B	B	A	A	101	97	95	90	A	A
	13(1-4)	B	B	B	B	A	A	B	A	A	A	A	A	B	A	B	B	A	A	108	A	A	A	A	A
	9(2-1)	82	77	75	B	C	I	82	76	C	C	C	C	83	81	81	B	C	I	97	86	88	C	C	C
	10(2-2)	87	86	84	B	A	D	80	71	67	60	D	I	82	80	75	B	A	D	100	98	96	88	A	I
	11(2-3)	90	92	B	B	D	A	83	82	77	C	D	A	85	83	B	B	D	A	109	112	97	A	D	A
12(2-4)	100	105	B	B	A	A	86	D	A	A	A	A	88	85	B	B	A	A	113	119	A	A	A	A	
4.0	10(1-1)	85	B	80	77	B	78	84	71	64	67	H	H	84	B	74	73	B	71	122	109	95	A	D	H
	11(1-2)	97	B	B	78	B	D	84	83	76	D	D	H	89	B	B	76	B	D	118	105	98	91	D	H
	12(1-3)	94	B	B	B	A	A	87	88	B	D	A	A	96	B	B	B	A	A	115	104	97	85	A	A
	13(1-4)	B	B	B	B	A	A	D	A	B	A	A	A	B	A	B	B	A	A	129	126	A	A	A	A
	9(2-1)	95	97	94	90	C	I	83	82	68	C	C	I	87	86	79	75	74	I	105	98	93	82	I	I
	10(2-2)	101	99	97	93	89	D	89	88	75	70	D	D	95	92	85	82	78	D	118	104	102	95	A	D
	11(2-3)	103	95	84	88	D	D	88	87	72	D	D	D	95	93	98	85	D	D	125	114	108	98	D	D
12(2-4)	100	92	B	90	A	A	95	91	80	D	A	A	102	94	B	A	A	A	118	117	A	A	A	A	
4.5	10(1-1)	96	B	95	90	92	83	86	84	76	72	B	H	86	B	83	83	78	74	124	115	105	A	D	H
	11(1-2)	103	B	103	104	102	D	92	94	81	B	D	H	99	B	94	97	85	D	125	118	108	95	D	H
	12(1-3)	117	B	B	B	B	D	103	98	87	D	D	A	104	B	B	B	B	D	128	120	109	98	D	A
	13(1-4)	B	B	B	B	A	A	D	A	B	A	A	A	B	B	B	B	A	A	133	125	A	103	A	A
	9(2-1)	101	96	98	94	94	I	83	91	71	61	D	I	90	89	87	81	83	I	119	107	103	98	A	I
	10(2-2)	114	105	105	100	95	97	92	94	79	69	D	D	106	102	103	97	96	87	123	114	109	101	A	D
	11(2-3)	123	117	105	103	D	D	95	96	79	D	D	D	100	102	94	B	D	D	132	118	112	105	D	D
12(2-4)	B	121	B	B	B	A	97	99	84	D	D	A	B	106	B	B	B	A	145	128	A	A	A	A	
5.0	10(1-1)	130	B	112	110	104	98	89	85	87	87	78	H	105	B	94	90	89	81	136	123	110	A	D	H
	11(1-2)	133	B	111	112	B	D	98	95	91	85	H	H	109	B	99	96	B	D	130	121	114	106	D	H
	12(1-3)	139	B	B	130	B	A	104	94	96	84	B	A	B	B	B	103	B	A	144	128	121	115	D	A
	13(1-4)	B	B	B	B	B	D	101	93	B	B	A	D	B	B	B	B	B	D	157	145	131	119	A	A
	9(2-1)	138	127	118	116	105	D	86	83	75	B	75	C	123	119	105	101	98	D	131	121	124	117	A	C
	10(2-2)	141	134	129	127	112	107	91	84	75	71	73	D	129	125	121	114	103	98	147	135	128	119	A	D
	11(2-3)	137	137	130	123	B	D	98	92	87	83	B	D	131	124	117	113	B	D	145	142	131	125	D	D
12(2-4)	142	130	B	125	B	A	103	97	89	80	B	A	130	121	B	115	B	A	150	147	A	A	A	A	

備註: A:後腳碰到連桿 B:前腳抬起 C: 連桿過長末端卡在後腳的平齒輪上
 D:後腳跟卡在地面上 H:後腳碰到前腳 I:後腳往後成水平狀
 ※請參見〈附件二〉實驗未能進行的各種情形

(三) GSP 的結論印證：

圖 19 - 1

曲軸=0.50cm

連桿=9.00cm

後腳=5.00cm

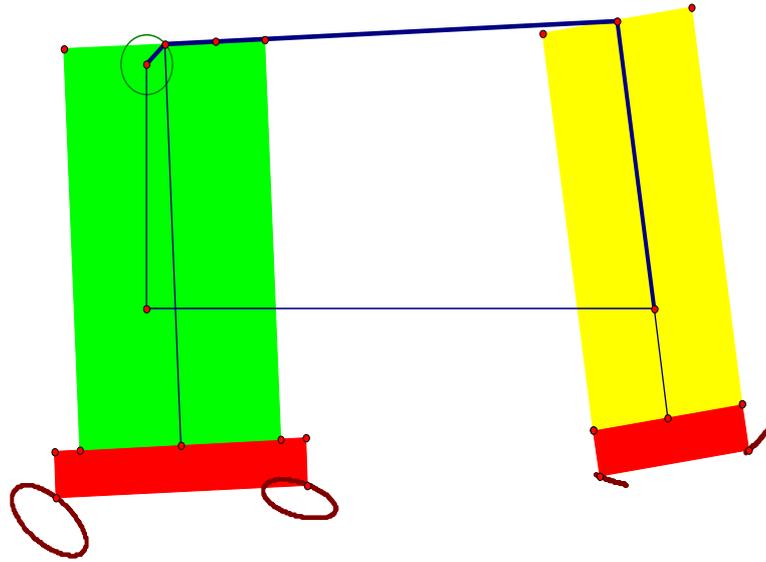
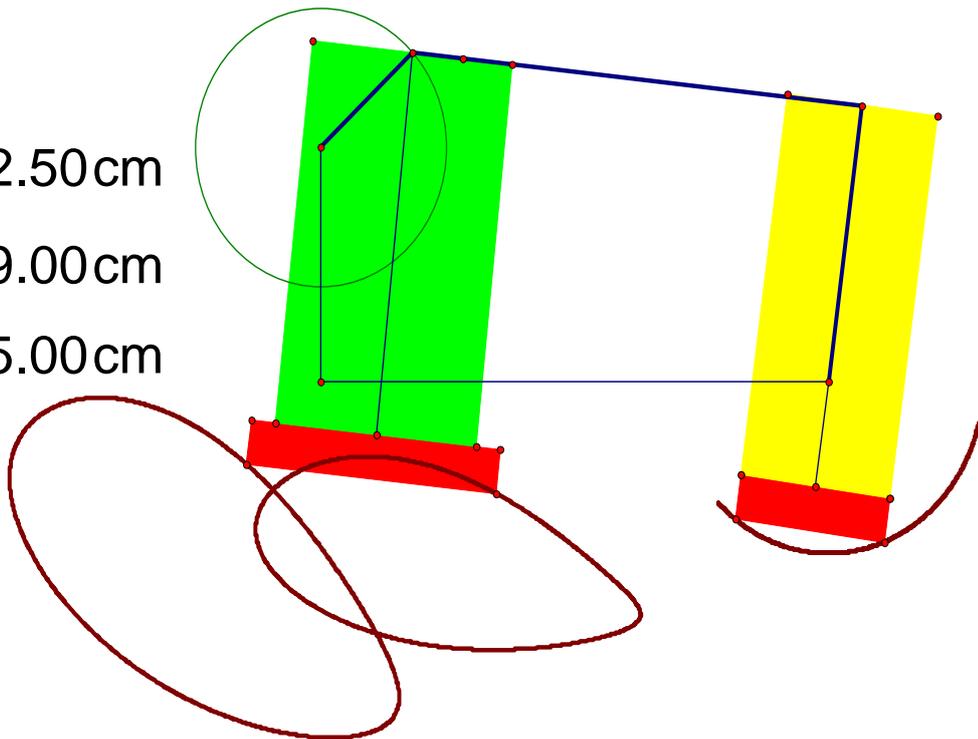


圖 19 - 2

曲軸=2.50cm

連桿=9.00cm

後腳=5.00cm



↑【圖 19 - 1~圖 19 - 2】不同曲軸長度的 GSP 對照圖

說明：

在相同的連桿與後腳長度時，【圖 19 - 1】是曲軸較小的運轉圖形；【圖 19 - 2】是曲軸較長的運轉圖形。圖中的棕色曲線是曲軸運轉一周時，前後腳底部兩端點的軌跡。圖片中清楚顯示，曲軸長度 0.5cm 時後腳底部兩端點的軌跡較小，故步伐小拉力較大；曲軸長度 2.5cm 時，後腳底部兩端點的軌跡較大，故步伐大拉力較小。

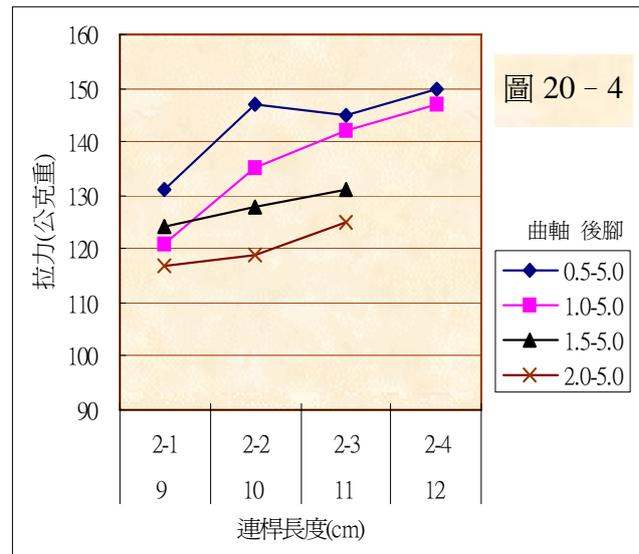
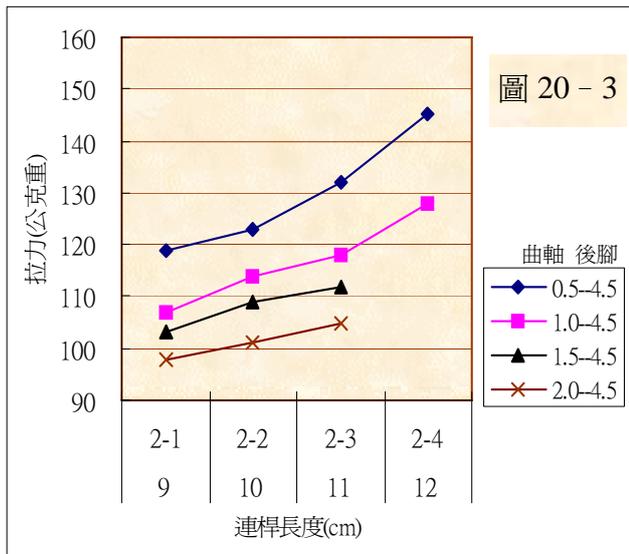
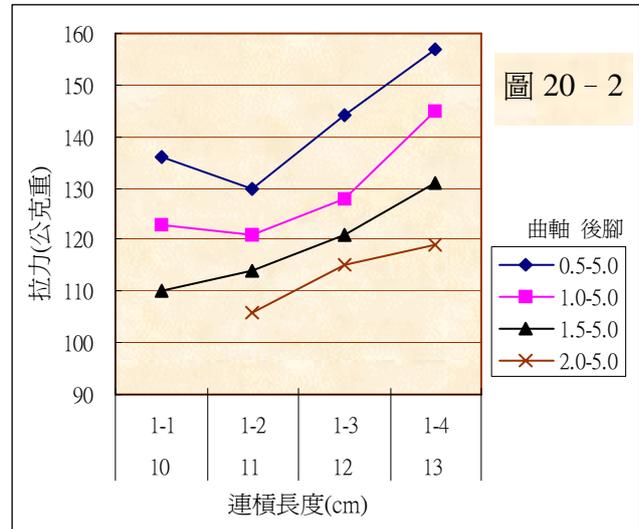
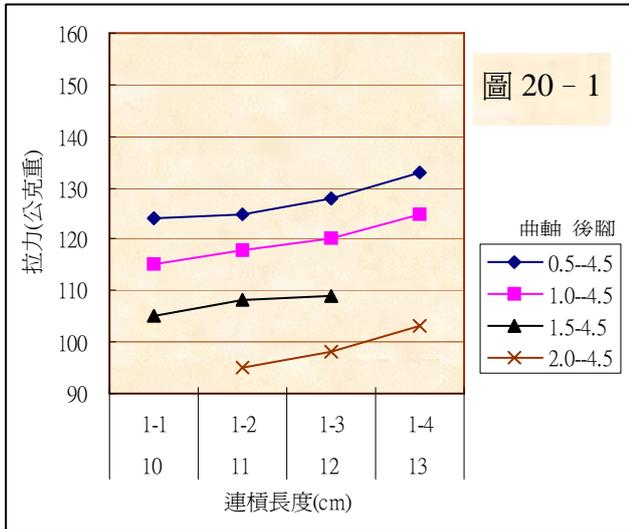
※關於步伐大小的討論，請參照〈附件三〉照片（1）~（4）。

研究五：探討連桿長短對於拉力的影響

(一) 實驗方法：

使用同一部車(馬達齒輪等變因固定)，車身後方接繩子通過定滑輪，下吊砝碼盤平放在地上，逐漸增減砝碼以測出可拉動砝碼盤離地之最大公克數為其拉力，不同連桿組合各測一次。

(二) 實驗結果：



↑ 【圖 20-1~圖 20-4】連桿長短與拉力的關係折線圖

※擷取於【表五】連桿長短與拉力的比較表砂軌+腳鋸短+加大腳底面積+4 顆電池

結論:

發現當其他變因固定時，連桿越長（在一定範圍內，不能超過四連桿長度限制），拉力越大。

【表五】連桿長短與拉力的比較表

※擷取於〈附件一〉實驗總表

連桿	曲軸	0.5cm					1 cm					1.5 cm					2 cm					2.5 cm					3 cm																															
		3	3.5	4	4.5	5	3	3.5	4	4.5	5	3	3.5	4	4.5	5	3	3.5	4	4.5	5	3	3.5	4	4.5	5	3	3.5	4	4.5	5																											
10	1-1	拉力(砂軌+電池)																									80	80	85	96	130	B	B	B	B	B	B	B	80	95	112	B	B	77	90	110	A	B	B	92	104	H	H	78	83	98		
11	1-2																										83	84	97	103	133	B	B	B	B	B	B	B	85	B	103	111	B	B	78	104	112	A	B	B	102	B	H	H	D	D	D	
12	1-3																										B	B	94	117	139	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	130	A	A	A	B	B	A	A	A	D	A
13	1-4																										B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	D	
9	2-1																										79	82	95	101	138	84	77	97	96	127	C	75	94	98	118	B	B	90	94	116	C	C	C	94	105	I	I	I	I	D		
10	2-2																										79	87	101	114	141	82	86	99	105	134	B	84	97	105	129	B	B	93	100	127	C	A	89	95	112	I	D	D	97	107		
11	2-3																										88	90	103	123	137	87	92	95	117	137	B	B	84	105	130	B	B	88	103	123	A	D	D	D	B	A	A	D	D	D		
12	2-4																										B	100	100	B	142	B	105	92	121	130	B	B	B	B	B	B	B	B	90	B	125	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	
10	1-1	拉力(砂軌+人工關節+加大腳底+電池)																									67	73	84	86	89	63	75	71	84	85	64	71	64	76	87	H	66	67	72	87	C	C	H	B	78	C	C	H	H	H		
11	1-2																										65	66	84	92	98	71	78	83	94	95	B	73	76	81	91	D	D	D	B	85	H	H	D	D	H	H	H	H	H	H		
12	1-3																										D	79	87	103	104	B	D	88	98	94	B	B	B	87	96	A	A	D	D	84	A	A	A	D	B	A	A	A	A	A		
13	1-4																										A	B	D	D	101	A	A	A	A	93	A	A	B	B	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	D	
9	2-1																										68	82	83	83	86	D	76	82	91	83	C	C	68	71	75	C	C	C	61	B	C	C	C	D	75	C	C	I	I	C		
10	2-2																										71	80	89	92	91	75	71	88	94	84	72	67	75	79	75	I	60	70	69	71	C	D	D	D	73	I	I	D	D	D		
11	2-3																										76	83	88	95	98	81	82	87	96	92	A	77	72	79	87	D	C	D	D	83	A	D	D	D	B	A	A	D	D	D		
12	2-4																										D	86	95	97	103	D	D	91	99	97	B	A	80	84	89	A	A	D	D	80	A	A	A	D	B	A	A	A	A	A		
10	1-1	拉力(砂軌+軟腳底+電池)																									67	75	84	86	105	65	74	B	B	B	B	B	B	74	83	94	B	B	73	83	90	A	B	B	78	89	H	H	71	74	81	
11	1-2																										73	78	89	99	109	75	B	B	B	B	B	B	B	94	99	B	B	76	97	96	A	B	B	85	B	H	H	D	D	D		
12	1-3																										B	B	96	104	B	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	103	A	A	A	B	B	A	A	A	D	A	
13	1-4																										B	B	B	B	B	B	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	D		
9	2-1																										69	83	87	90	123	62	81	86	89	119	C	81	79	87	105	B	B	75	81	101	C	C	74	83	98	I	I	I	I	D		
10	2-2																										71	82	95	106	129	64	80	92	102	125	B	75	85	103	121	B	B	82	97	114	C	A	78	96	103	I	D	D	87	98		
11	2-3																										80	85	95	100	131	75	83	93	102	124	B	B	98	94	117	B	B	85	B	113	A	D	D	D	B	A	A	D	D	D		
12	2-4																										80	88	102	B	130	B	85	94	106	121	B	B	B	B	B	B	B	A	B	115	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A		
10	1-1	拉力(砂軌+腳短+加大腳底+電池)																									97	98	122	124	136	84	96	109	115	123	80	87	95	105	110	A	A	A	A	A	C	D	D	D	D	C	C	H	H	H		
11	1-2																										105	105	118	125	130	99	103	105	118	121	92	93	98	108	114	A	84	91	95	106	A	D	D	D	D	A	H	H	H	H		
12	1-3																										112	101	115	128	144	B	97	104	120	128	D	95	97	109	121	A	90	85	98	115	A	A	A	D	D	A	A	A	A	A		
13	1-4																										A	108	129	133	157	A	A	126	125	145	A	A	A	A	131	A	A	A	103	119	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
9	2-1																										88	97	105	119	131	73	86	98	107	121	75	88	93	103	124	C	C	82	98	117	C	C	I	A	A	C	C	I	I	C		
10	2-2																										97	100	118	123	147	95	98	104	114	135	94	96	102	109	128	D	88	95	101	119	D	A	A	A	A	C	I	D	D	D		
11	2-3																										118	109	125	132	145	100	112	114	118	142	D	97	108	112	131	D	A	98	105	125	A	D	D	D	D	A	A	D	D	D		
12	2-4																										115	113	118	145	150	A	119	117	128	147	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	

備註： A:後腳碰到連桿 B:前腳抬起 C: 連桿過長末端卡在後腳的平齒輪上
 D:後腳跟卡在地面上 H:後腳碰到前腳 I:後腳往後成水平狀
 ※請參見〈附件二〉實驗未能進行的各種情形

(三) GSP 的結論印證：

圖 21 - 1

曲軸 = 1.00 cm
連桿 = 12.00 cm
後腳 = 3.00 cm

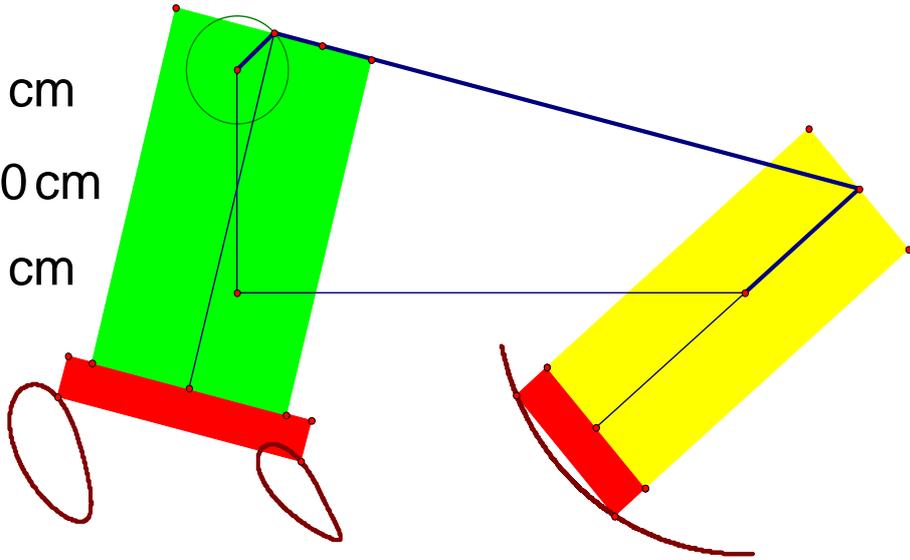
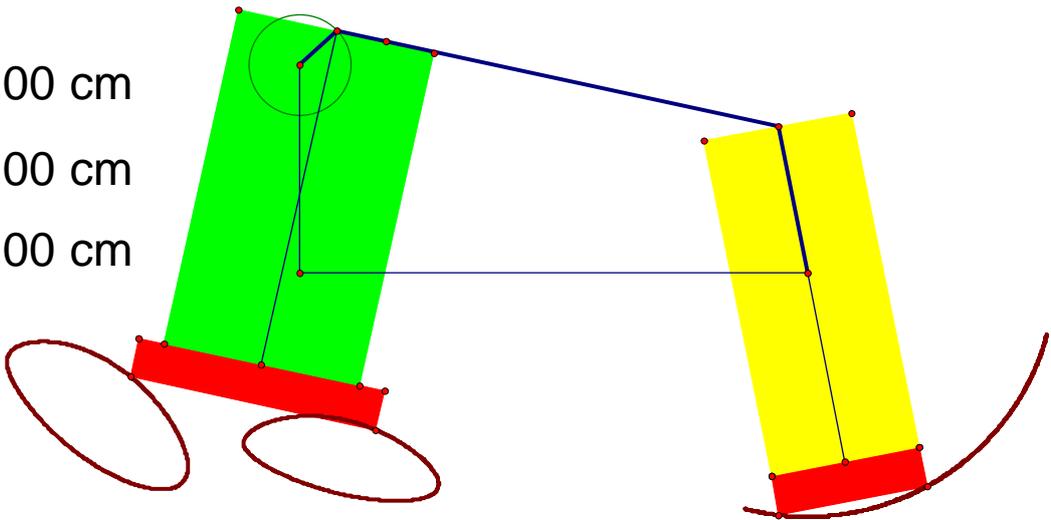


圖 21 - 2

曲軸 = 1.00 cm
連桿 = 9.00 cm
後腳 = 3.00 cm



↑【圖 21 - 1~圖 21 - 2】不同連桿長度的 GSP 對照圖

說明：

在相同的曲軸與後腳長度時，【圖 21 - 1】是連桿較長的運轉圖形；【圖 21 - 2】是連桿較短的運轉圖形。圖中的棕色曲線是曲軸運轉一周時，前後腳底部兩端點的軌跡。觀察後腳軌跡，連桿長時，帶動後腳向前揮動，步伐較小，拉力較大。反之亦然。

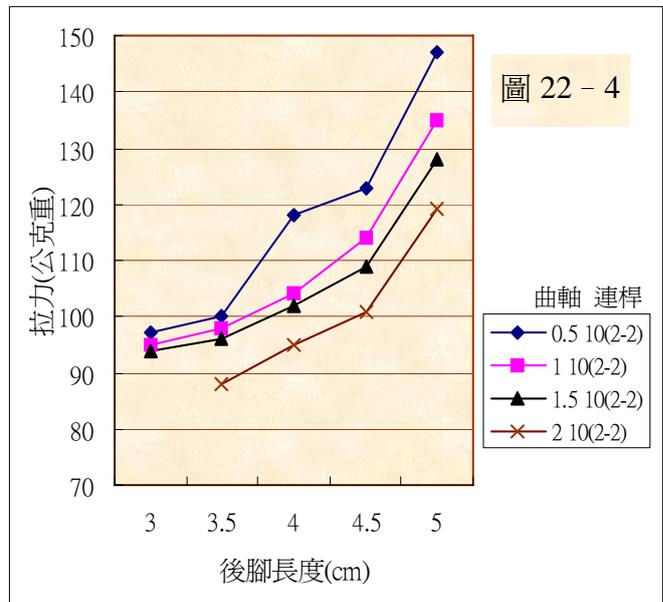
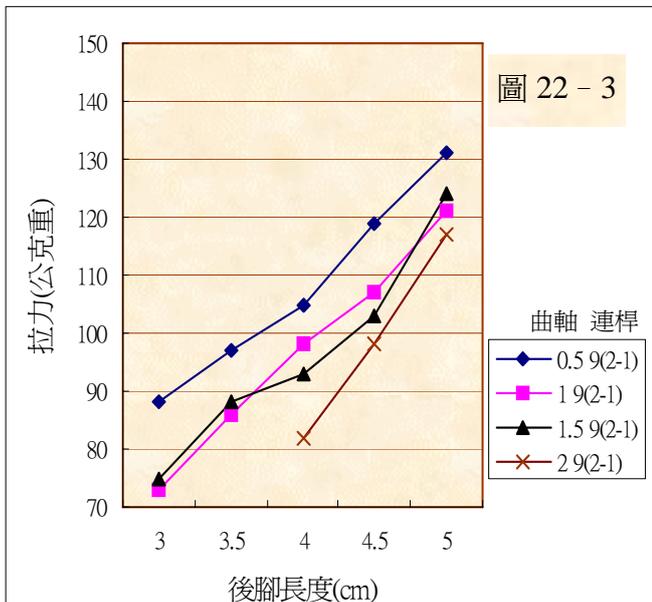
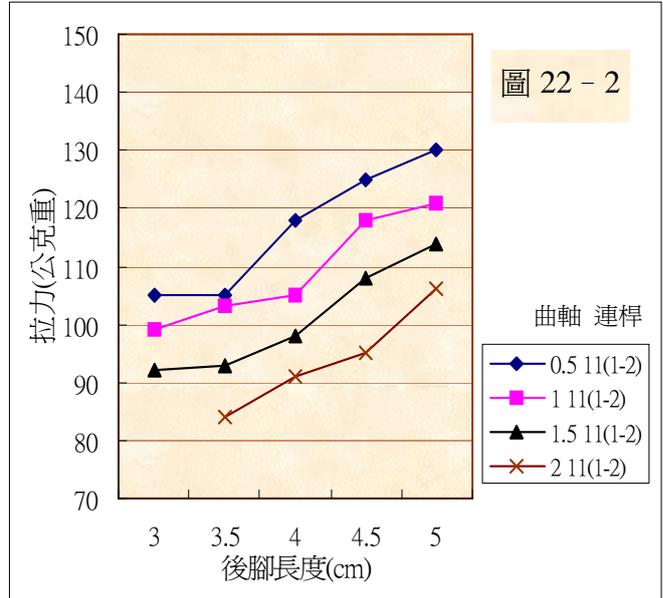
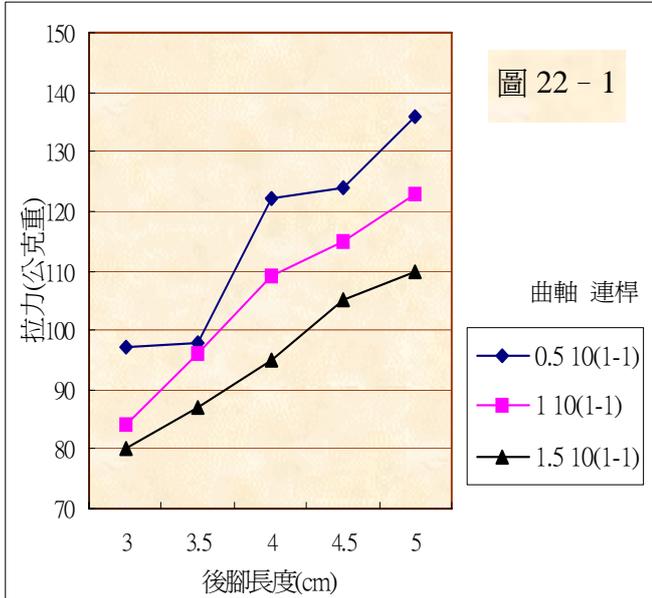
※關於步伐大小的討論，請參照〈附件三〉照片（5）~（8）。

研究六：探討後腳孔位置高低對於拉力的影響

(一) 實驗方法：

使用同一部車(馬達齒輪等變因固定)，車身後方接繩子通過定滑輪，下吊砝碼盤平放在地上，逐漸增減砝碼以測出可拉動砝碼盤離地之最大公克數為其拉力，不同後腳組合各測一次。

(二) 實驗結果：



↑ 【圖 22 - 1~圖 22 - 4】後腳長短與拉力的關係折線圖

※擷取於【表六】後腳長短與拉力的比較表砂軌+腳鋸短+加大腳底面積+4 顆電池

結論：

我們發現當其他變因固定時，後腳越長(在一定範圍內，不超過四連桿長度限制)，拉力越大。

【表六】後腳長短與拉力的比較表

※擷取於〈附件一〉實驗總表

曲軸 cm	連桿 (cm)	後腳 拉力 (砂軌+電池)					後腳 拉力 (砂軌+人工關節 +加大腳底+電池)					後腳 拉力 (砂軌+軟腳底+電池)					後腳 拉力 (砂軌+腳鋸短 +加大腳底+電池)				
		3 cm	3.5 cm	4 cm	4.5 cm	5 cm	3 cm	3.5 cm	4 cm	4.5 cm	5 cm	3 cm	3.5 cm	4 cm	4.5 cm	5 cm	3 cm	3.5 cm	4 cm	4.5 cm	5 cm
0.5	10(1-1)	80	80	85	96	130	67	73	84	86	89	67	75	84	86	105	97	98	122	124	136
0.5	11(1-2)	83	84	97	103	133	65	66	84	92	98	73	78	89	99	109	105	105	118	125	130
0.5	12(1-3)	B	B	94	117	139	D	79	87	103	104	B	B	96	104	B	112	101	115	128	144
0.5	13(1-4)	B	B	B	B	B	A	B	D	D	101	B	B	B	B	B	A	108	129	133	157
0.5	9(2-1)	79	82	95	101	138	68	82	83	83	86	69	83	87	90	123	88	97	105	119	131
0.5	10(2-2)	79	87	101	114	141	71	80	89	92	91	71	82	95	106	129	97	100	118	123	147
0.5	11(2-3)	88	90	103	123	137	76	83	88	95	98	80	85	95	100	131	118	109	125	132	145
0.5	12(2-4)	B	100	100	B	142	D	86	95	97	103	80	88	99	B	130	115	113	118	145	150
1	10(1-1)	B	B	B	B	B	63	75	71	84	85	65	74	B	B	B	84	96	109	115	123
1	11(1-2)	B	B	B	B	B	71	78	83	94	95	75	B	B	B	B	99	103	105	118	121
1	12(1-3)	B	B	B	B	B	B	D	88	98	94	A	A	B	B	B	B	97	104	120	128
1	13(1-4)	B	B	B	B	B	A	A	A	A	93	B	A	A	B	B	A	A	126	125	145
1	9(2-1)	84	77	97	96	127	D	76	82	91	83	62	81	86	89	119	73	86	98	107	121
1	10(2-2)	82	86	99	105	134	75	71	88	94	84	64	80	92	102	125	95	98	104	114	135
1	11(2-3)	87	92	95	117	137	81	82	87	96	92	75	83	93	102	124	100	112	114	118	142
1	12(2-4)	B	105	92	121	130	D	D	91	99	97	B	85	94	106	121	A	119	117	128	147
1.5	10(1-1)	B	B	80	95	112	64	71	64	76	87	B	B	74	83	94	80	87	95	105	110
1.5	11(1-2)	B	85	B	103	111	B	73	76	81	91	B	B	B	94	99	92	93	98	108	114
1.5	12(1-3)	B	B	B	B	B	B	B	B	87	96	B	B	B	B	B	D	95	97	109	121
1.5	13(1-4)	B	B	B	B	B	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	131
1.5	9(2-1)	C	75	94	98	118	C	C	68	71	75	C	81	79	87	105	75	88	93	103	124
1.5	10(2-2)	B	84	97	105	129	72	67	75	79	75	B	75	85	103	121	94	96	102	109	128
1.5	11(2-3)	B	B	84	105	130	A	77	72	79	87	B	B	98	94	117	D	97	108	112	131
1.5	12(2-4)	B	B	B	B	B	B	A	80	84	89	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A
2	10(1-1)	B	B	77	90	110	H	66	67	72	87	B	B	73	83	90	A	A	A	A	A
2	11(1-2)	B	B	78	104	112	D	D	D	B	85	B	B	76	97	96	A	84	91	95	106
2	12(1-3)	B	B	B	B	130	A	A	D	D	84	B	B	B	B	103	A	90	85	98	115
2	13(1-4)	B	B	B	B	B	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	103
2	9(2-1)	B	B	90	94	116	C	C	C	61	B	B	B	75	81	101	C	C	I	82	98
2	10(2-2)	B	B	93	100	127	I	60	70	69	71	B	B	82	97	114	D	88	95	101	119
2	11(2-3)	B	B	88	103	123	D	C	D	D	83	B	B	85	B	113	D	A	98	105	125
2	12(2-4)	B	B	90	B	125	A	A	D	D	80	B	B	B	B	115	A	A	A	A	A
2.5	10(1-1)	A	B	B	92	104	C	C	H	B	78	A	B	B	124	127	C	D	D	D	D
2.5	11(1-2)	A	A	B	102	B	H	H	D	D	H	A	B	B	85	B	A	D	D	D	D
2.5	12(1-3)	A	A	A	B	B	A	A	A	D	B	A	A	A	B	B	A	A	A	D	D
2.5	13(1-4)	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A
2.5	9(2-1)	C	C	C	94	105	C	C	C	D	75	C	C	74	83	98	C	C	I	A	A
2.5	10(2-2)	C	A	89	95	112	C	D	D	D	73	C	A	78	96	103	D	A	A	A	A
2.5	11(2-3)	A	D	D	D	B	A	D	D	D	B	A	D	D	D	B	A	D	D	D	D
2.5	12(2-4)	A	A	A	B	B	A	A	A	D	B	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A
3	10(1-1)	H	H	78	78	98	C	C	H	H	H	H	H	71	74	81	C	C	H	H	H
3	11(1-2)	H	H	D	D	D	H	H	H	H	H	H	H	D	D	D	A	H	H	H	H
3	12(1-3)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	D	A	A	A	A	A
3	13(1-4)	A	A	A	A	D	A	A	A	A	D	A	A	A	A	D	A	A	A	A	A
3	9(2-1)	I	I	I	I	D	C	C	I	I	C	I	I	I	I	D	C	C	I	I	C
3	10(2-2)	I	D	D	D	107	I	I	D	D	D	I	D	D	87	98	C	I	D	D	D
3	11(2-3)	A	A	D	D	D	A	A	D	D	D	A	A	D	D	D	A	A	D	D	D
3	12(2-4)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

備註: A:後腳碰到連桿 B:前腳抬起 C: 連桿過長末端卡在後腳的平齒輪上
D:後腳跟卡在地面上 H:後腳碰到前腳 I:後腳往後成水平狀
※請參見〈附件二〉實驗未能進行的各種情形

(三) GSP 的結論印證：

圖 23 - 1

曲軸 = 1.50 cm

連桿 = 11.00 cm

後腳 = 3.00 cm

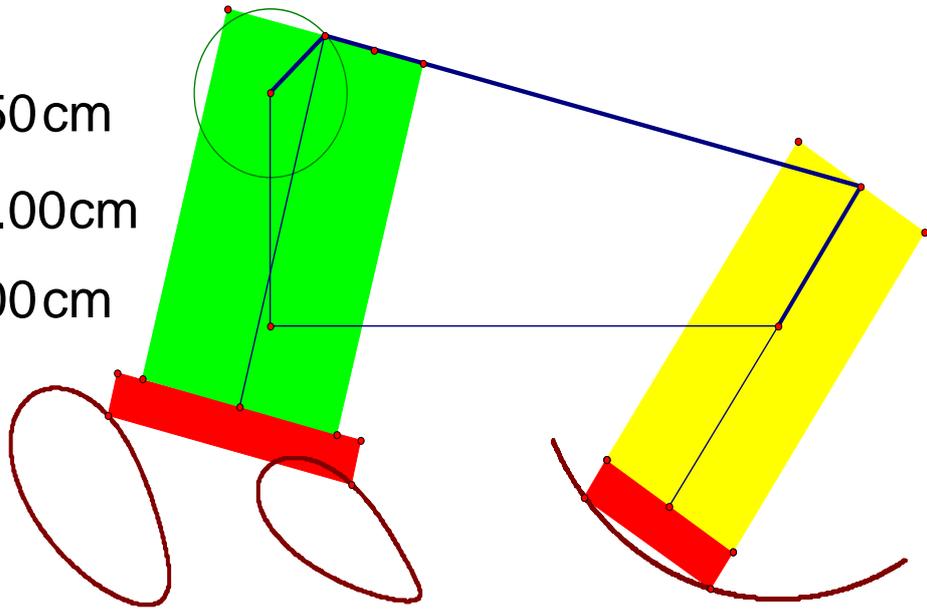
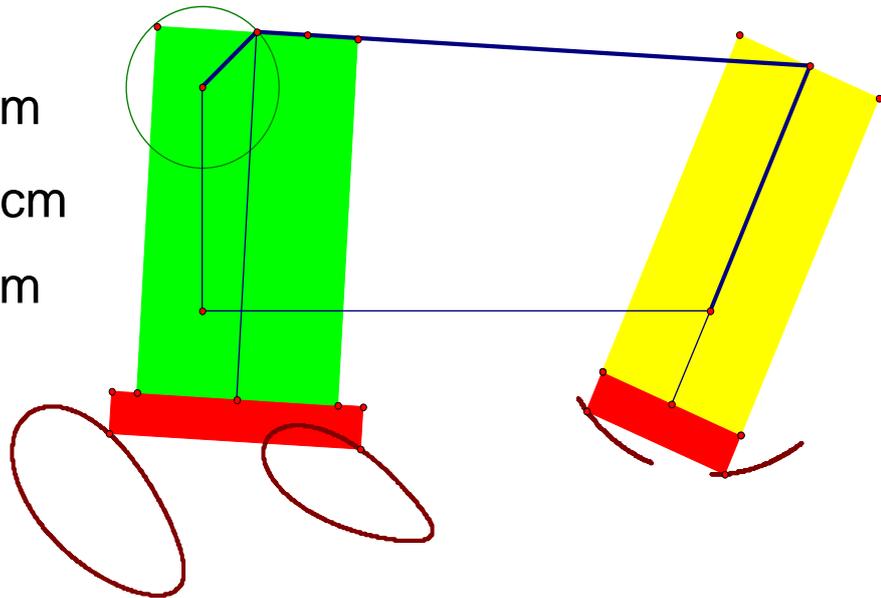


圖 23 - 2

曲軸 = 1.50 cm

連桿 = 11.00 cm

後腳 = 5.00 cm



↑ 【圖 23 - 1~圖 23 - 2】不同後腳長度的 GSP 對照圖

說明：

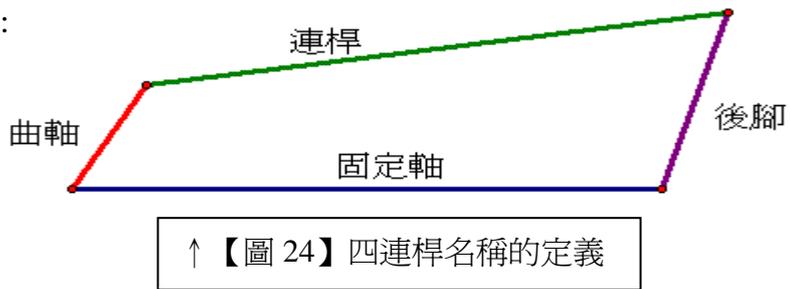
在相同的曲軸與連桿長度時，【圖 23 - 1】是後腳孔位置較高的運轉圖形；【圖 23 - 2】是後腳孔位置較低的運轉圖形。圖中的棕色曲線是曲軸運轉一周時，前後腳底部兩端點的軌跡。觀察後腳軌跡，發現後腳孔位置較高時，後腳揮動幅度較大，步伐較大，拉力較小（在一定範圍內，不能超過四連桿長度限制）。反之亦然。

※關於步伐大小的討論，請參照〈附件三〉照片（9）~（12）。

陸、問題與討論

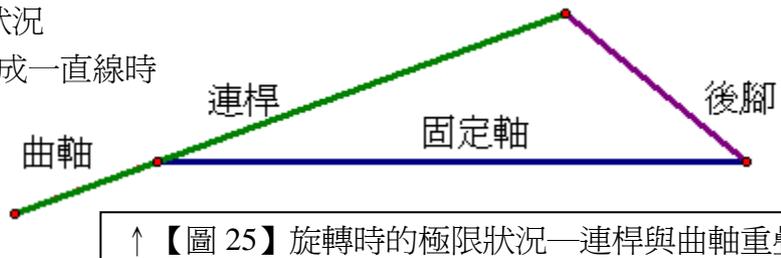
一、四連桿長度限制的討論：

(一) 定義四連桿名稱



(二) 討論旋轉時的極限狀況

1. 當曲軸與連桿重疊成一直線時



根據三角形三邊長原理：「三角形中兩邊和大於第三邊。」觀察上圖，可列出關係式： $連桿 - 曲軸 + 後腳 > 固定軸$

2. 統合關係式可列出： $連桿 + 後腳 > 固定軸 + 曲軸$

(三) 討論實驗數據結果與長度限制關係：

1. 經過我們的測量，我們車子的固定軸長度大約為 10.5cm。
2. 當曲軸為 3、連桿為 10、後腳為 3 時， $(10+3 < 10.5+3)$ 此時機械長度不符合長度限制，因此無法實驗。
3. 當曲軸為 3 連桿為 12 後腳為 4.5 ($12+4.5 > 10.5+3$) 此時雖機械長度符合長度限制，但仍不能做實驗。原因是我們所使用的長度限制公式只討論各長度為一條線的狀況。實際上車上的每一根軸都具有寬度，易跟其他軸卡住，所以部分長度組合才無法與四連桿公式結合。

二、腳底下所貼的止滑墊會因實驗多次而磨損，所以我們每隔 50 組實驗即更換止滑墊一次。

三、在做原始拉力測試時，因軌道沒有加砂紙，車子易打滑，拉力小，所以沒有將實驗結果加以討論。

四、因為固定後腳的平齒輪在經過不斷實驗後，會出現磨損。所以每發現鬆脫情形時，就更換平齒輪。

五、為了使實驗結果更精確，我們每實驗十組就更換一次充電電池，使它盡量維持固定的電壓。並維持更換電池前最後一次的數據與更換電池後第一次的數據誤差在 4% 以內。

六、在做實驗時，要常注意螺絲、螺帽鬆緊度，太鬆則力量無法傳達，太緊則容易卡住，且會影響到實驗的數據。解決的方法是我們把前腳兩個螺帽互鎖，後腳則塗上熱熔膠。

七、我們實驗從頭到尾都用同一台車，減少機件變因，以免影響實驗數據。

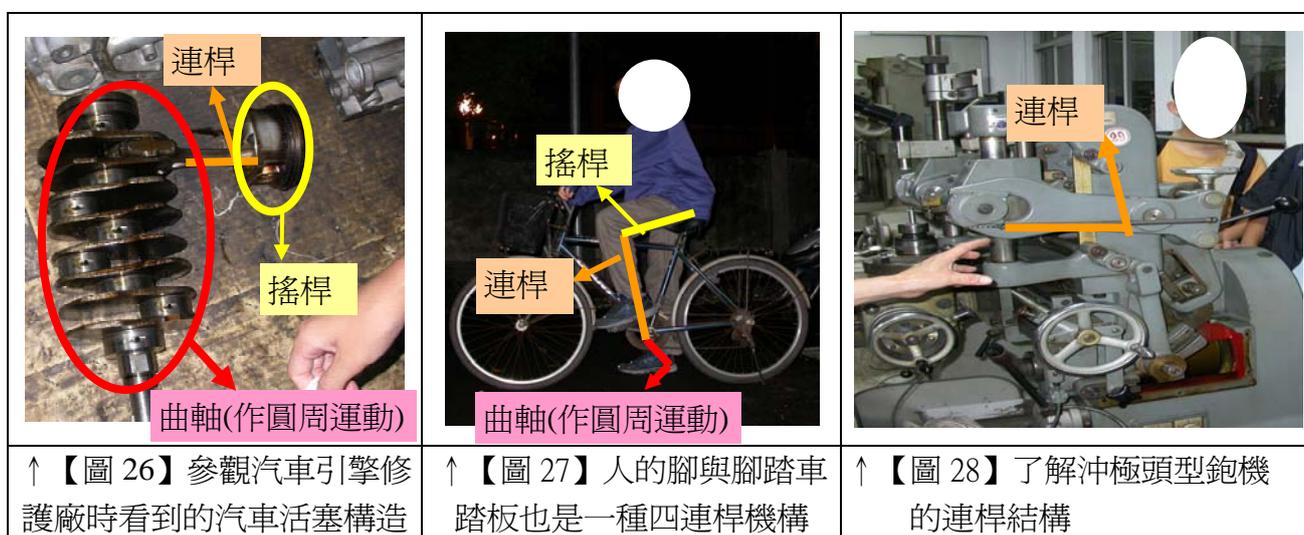
八、我們很好奇，為什麼曲軸運動方向是圓形，而卻能使車子前進？後來請教專家，得知曲軸旋轉，牽動後腳，對地面產生反作用力，可以推動車體往前進，所以不是曲軸在牽著動，而是後腳對地面產生的反作用力推動車體往前進。

九、因某些實驗無法測出數據（如代號 A.B.C 等）所以我們只挑出較具代性的組合，以折線圖來呈現。

十、我們原本想把速度與拉力的折線圖重疊，以找出兩者的交點(兩者的最佳組合)。但因拉力與速度的實驗基準點不同（如腳鋸短或加關節，加砂軌等），所以我們決定不加以討論此問題。

十一、四連桿的應用：

經過這次實驗我們對四連桿在生活上的應用興趣更為濃厚。我們實地參觀汽車引擎修護廠，瞭解活塞如何利用四連桿原理運作。也參觀台科大機械系，瞭解到很多機器的環節都是連桿原理的應用。此外如腳踏車的避震器以及雨刷等都是，連人騎腳踏車時，腿也可以扮演四連桿中的連桿喔！原來四連桿在生活上應用的如此廣泛。希望有朝一日我們能利用拉力機制來設計機械導盲犬或其它機器造福人類。



柒、結論

- 一、走直的方法可以利用平齒輪固定後腳及矯正器碰撞軌道調整。
- 二、曲軸的長短對速度、拉力的影響：曲軸越長，腳步擺動幅度大，每一步跨的距離就大，所以速度就越快。但與地面接觸的面較少，所以拉力就減低了。
- 三、連桿的長短對速度、拉力的影響：連桿越長，會將後腳向前牽動腳步就會較小，所以速度越慢，拉力則越大。以 GSP 前腳軌跡可得印證。
- 四、後腳孔位置高低對速度、拉力的影響：孔越低，後腳擺幅越小，步伐較小，速度較慢，拉力較大。孔越高，擺幅越大，步伐較大，速度較快，拉力較小。
- 五、速度的最佳組合：曲軸 2.5cm、連桿 10cm、後腳第二孔 3.5cm。依實驗結論，曲軸越長，走的越快，但曲軸在大於 3cm 時，因四連桿原理（見問題討論(一)）而無法運作。後腳孔則是越高走的越快，但最高的 3cm 在連桿最短的 9、10cm 時因四連桿原理（見問題討論(一)）而無法運作。所以後腳 3.5cm，連桿長 10cm 是速度上的最佳組合。

六、拉力的最佳組合：曲軸 0.5cm、連桿 13cm、後腳第五孔 5cm。依實驗結論，曲軸越短，拉力越大；連桿越長，拉力越大；後腳孔越低，拉力越大。所以曲軸最短的 0.5cm、後腳孔最低的 5cm、連桿最長的 13cm 是拉力上的最佳組合。

七、在測試速度時，曲軸 2 cm，連桿 9 cm 至 12 cm 且後腳 5 cm，均可進行測試，是車子測試的最佳範圍。

八、在測試拉力時，曲軸 0.5cm，後腳 4cm 至 5cm 且連桿 9cm 至 12cm 大部份均可測試，是車子測試的最佳範圍。

九、經實驗結果，我們發現改善拉力部分，不同構造的車子各有其優缺點：

(1)砂軌+4 顆電池：

優點：摩擦力比原先不加砂紙改善許多,比較不會打滑。

缺點：前後腳跟容易頂住軌道，連桿最短或最長的時候，腳底與砂軌接觸面積只有邊緣，無法使盡全力。

(2)砂軌+圓弧型橡膠軟墊+4 顆電池：

優點：圓弧造型，後腳跟比較不會頂住軌道。

缺點：橡膠軟墊紋路間距太大，與砂軌間有空隙，摩擦力不佳。

(3)砂軌+關節+加大腳底面積+4 顆電池：

優點：後腳底隨時平行接觸砂軌，摩擦力較好。

缺點：當後腳擺動到某些角度時，輸出力的方向會改變，進而抵銷前進的力，整體拉力較少。

(4)砂軌+腳鋸短+加大腳底面積+4 顆電池：

優點：車身低重心穩，加大腳底以增加正向力，鋪砂軌以增加摩擦力，所以整體拉力較大。

缺點：因腳比較短，又加大腳底面積，容易碰到車身，曲軸 2 至 3 公分就無法測試

十、實驗數據歸納：我們可以看出整體拉力趨勢為：

砂軌+腳鋸短+加大腳底面積+4 顆電池 > 砂軌+4 顆電池 > 砂軌+圓弧型橡膠軟墊+4 顆電池 > 砂軌+關節+加大腳底面積+4 顆電池 > 原軌。

捌、參考資料及其他

1. 林載爵(民 94)。誰來挑戰-少年科技創作競賽必研手冊-第四章-萬獸之王-P151~179。
台北市：聯經。
2. 蘇建中(民 95)。國中二年級南一版自然與生活科技課本-第六章-P123~P136。
台南市：南一。
3. 全國少年科際創作競賽手冊。
4. 唐淑霏(民 88)。動感機器人-P12~P14、P 23。
5. 李榮華(民 91)。機件原理 II-16 章- P170~P199。台北縣：龍騰。
6. GSP 網址：<http://www.key>

※實驗過程用 v8 拍攝，屆時現場有電腦展示說明。

<附件一> 實驗總表

總表 1																								
曲軸 0.5 公分										曲軸 1.0 公分														
後腳	連桿	連桿	競速(時間:秒)				拉力(公克)				後腳	連桿	連桿	競速(時間:秒)				拉力(公克)						
			公分	公分	位置	次數 1	次數 2	次數 3	平均	原始				砂軌 + 電池	砂軌 + 人工關節 + 加大腳底 + 電池	砂軌 + 軟底 + 電池	砂軌 + 腳鋸短 + 加大腳底 + 電池	公分	公分	位置	次數 1	次數 2	次數 3	平均
3	10	1-1	41.70	41.11	41.32	41.38	55	80	67	67	97	3	10	1-1	23.63	23.89	23.90	23.81	55	B	63	65	84	
		1-2	46.85	47.34	47.36	47.18	50	83	65	73	105			1-2	32.09	32.00	31.80	31.96	B	B	71	75	99	
		1-3	B	B	B	B	B	B	D	B	112			1-3	B	B	B	B	B	B	B	A	B	
		1-4	B	B	B	B	B	B	A	B	A			1-4	B	B	B	B	B	B	A	B	A	
	9	2-1	32.16	32.84	32.87	32.62	38	79	68	69	88	9	2-1	18.69	18.49	18.93	18.70	47	84	D	62	73		
		2-2	40.80	40.45	40.99	40.75	55	79	71	71	97	10	2-2	22.03	22.35	22.09	22.16	49	82	75	64	95		
		2-3	45.52	45.79	45.28	45.53	63	88	76	80	118	11	2-3	28.14	29.29	28.69	28.71	54	87	81	75	100		
		2-4	B	B	B	B	B	B	D	80	115	12	2-4	B	B	B	B	B	B	D	B	A		
3.5	10	1-1	49.36	48.93	49.44	49.24	61	80	73	75	98	3.5	10	1-1	27.05	26.95	26.99	27.00	60	B	75	74	96	
		1-2	53.27	53.02	53.70	53.33	65	84	66	78	105			11	1-2	31.74	31.56	30.81	31.37	68	B	78	B	103
		1-3	B	B	B	B	B	B	79	B	101			12	1-3	B	B	B	B	B	B	D	A	97
		1-4	B	B	B	B	B	B	B	B	108			13	1-4	B	B	B	B	B	B	A	A	A
	9	2-1	41.21	41.06	41.71	41.33	51	82	82	83	97	9	2-1	22.27	22.19	21.94	22.13	49	77	76	81	86		
		2-2	49.03	49.09	48.58	48.90	56	87	80	82	100	10	2-2	26.45	26.94	27.34	26.91	65	86	71	80	98		
		2-3	49.50	50.17	50.29	49.99	53	90	83	85	109	11	2-3	30.27	30.39	30.36	30.34	64	92	82	83	112		
		2-4	59.10	58.75	58.98	58.94	B	100	86	88	113	12	2-4	37.90	37.85	37.77	37.84	B	105	D	85	119		
4	10	1-1	54.28	53.80	52.81	53.63	60	85	84	84	122	4	10	1-1	31.54	31.38	31.09	31.34	B	B	71	B	109	
		1-2	60.91	60.70	60.12	60.58	65	97	84	89	118			11	1-2	34.81	34.82	34.77	34.80	B	B	83	B	105
		1-3	83.66	83.85	82.77	83.43	71	94	87	96	115			12	1-3	47.72	46.70	46.72	47.05	B	B	88	B	104
		1-4	B	B	B	B	B	B	D	B	129			13	1-4	B	B	B	B	B	B	A	A	126
	9	2-1	61.59	60.99	60.14	60.91	53	95	83	87	105	9	2-1	27.28	26.86	26.74	26.96	63	97	82	86	98		
		2-2	62.21	61.63	62.71	62.18	67	101	89	95	118	10	2-2	30.38	30.77	30.31	30.49	56	99	88	92	104		
		2-3	63.53	62.91	63.83	63.42	65	103	88	95	125	11	2-3	33.32	33.16	32.92	33.13	58	95	87	93	114		
		2-4	81.02	80.49	79.16	80.22	69	100	95	102	118	12	2-4	39.35	38.69	39.41	39.15	B	92	91	94	117		
4.5	10	1-1	55.96	57.42	58.23	57.20	57	96	86	86	124	4.5	10	1-1	31.58	31.69	31.76	31.68	B	B	84	B	115	
		1-2	58.19	58.00	58.70	58.30	73	103	92	99	125			11	1-2	31.87	32.09	31.95	31.97	B	B	94	B	118
		1-3	100.52	100.82	100.86	100.73	80	117	103	104	128			12	1-3	41.65	40.76	40.26	40.89	B	B	98	B	120
		1-4	B	B	B	B	B	B	D	B	133			13	1-4	B	B	B	B	B	B	A	B	125
	9	2-1	67.13	67.56	67.88	67.52	67	101	83	90	119	9	2-1	26.07	26.36	25.52	25.98	63	96	91	89	107		
		2-2	67.84	68.16	69.59	68.53	76	114	92	106	123	10	2-2	31.09	30.87	31.34	31.10	58	105	94	102	114		
		2-3	73.40	67.80	67.44	69.55	77	123	95	100	132	11	2-3	29.95	29.84	29.94	29.91	55	117	96	102	118		
		2-4	B	B	B	B	B	B	97	B	145	12	2-4	41.67	41.76	41.87	41.77	71	121	99	106	128		
5	10	1-1	70.59	70.94	71.62	71.05	65	130	89	105	136	5	10	1-1	35.98	36.09	36.53	36.20	B	B	85	B	123	
		1-2	81.08	78.40	78.41	79.30	75	133	98	109	130			11	1-2	41.69	41.81	42.58	42.03	B	B	95	B	121
		1-3	103.93	102.53	103.89	103.45	65	139	104	B	144			12	1-3	58.39	57.34	57.83	57.85	B	B	94	B	128
		1-4	B	B	B	B	B	B	101	B	157			13	1-4	B	B	B	B	B	B	93	B	145
	9	2-1	71.36	72.24	71.93	71.84	75	138	86	123	131	9	2-1	37.92	37.71	37.84	37.82	64	127	83	119	121		
		2-2	73.27	73.96	73.95	73.73	67	141	91	129	147	10	2-2	35.97	36.49	36.28	36.25	70	134	84	125	135		
		2-3	77.70	79.27	79.64	78.87	71	137	98	131	145	11	2-3	40.50	39.94	40.60	40.35	67	137	92	124	142		
		2-4	97.85	98.10	97.97	97.97	85	142	103	130	150	12	2-4	52.24	52.44	52.23	52.30	81	130	97	121	147		

備註: A: 後腳碰到連桿 B: 前腳抬起 C: 連桿過長末端卡在後腳的平齒輪上
 D: 後腳跟卡在地面上 H: 後腳碰到前腳 I: 後腳往後成水平狀

總表 2

曲軸 1.5 公分											曲軸 2.0 公分										
後連桿		競速(時間:秒)				拉力(公克)					後連桿		競速(時間:秒)				拉力(公克)				
公分	位置	次數 1	次數 2	次數 3	平均	原始	砂軌 + 電池	砂軌 + 人工關節 + 加大腳底 + 電池	砂軌 + 軟底 + 電池	砂軌 + 腳跟短 + 加大腳底 + 電池	公分	位置	次數 1	次數 2	次數 3	平均	原始	砂軌 + 電池	砂軌 + 人工關節 + 加大腳底 + 電池	砂軌 + 軟底 + 電池	砂軌 + 腳跟短 + 加大腳底 + 電池
3	10-1-1	14.12	15.12	14.97	14.74	B	B	64	B	80	3	10-1-1	14.08	13.63	13.77	13.83	B	B	H	B	A
	11-1-2	22.96	21.99	22.32	22.42	B	B	B	B	92		11-1-2	B	B	B	B	B	B	D	B	A
	12-1-3	B	B	B	B	B	B	B	B	D		12-1-3	B	B	B	B	B	B	A	B	A
	13-1-4	B	B	B	B	B	B	A	B	A		13-1-4	B	B	B	B	B	B	A	B	A
	9-2-1	15.26	15.31	15.73	15.43	C	C	C	C	75		9-2-1	B	B	B	B	B	B	C	B	C
	10-2-2	14.92	14.48	14.56	14.65	B	B	72	B	94		10-2-2	14.22	14.15	13.21	13.86	B	B	I	B	D
	11-2-3	20.20	20.43	20.02	20.22	B	B	A	B	D		11-2-3	B	B	B	B	B	B	D	B	D
	12-2-4	B	B	B	B	B	B	B	B	A		12-2-4	B	B	B	B	B	B	A	B	A
3.5	10-1-1	17.15	17.38	17.40	17.31	B	B	71	B	87	3.5	10-1-1	14.11	13.56	13.95	13.87	B	B	66	B	A
	11-1-2	25.46	25.65	24.95	25.35	B	85	73	B	93		11-1-2	B	B	B	B	B	B	D	B	84
	12-1-3	B	B	B	B	B	B	B	B	95		12-1-3	B	B	B	B	B	B	A	B	90
	13-1-4	B	B	B	B	B	B	A	B	A		13-1-4	B	B	B	B	B	B	A	B	A
	9-2-1	13.99	14.01	13.92	13.97	47	75	C	81	88		9-2-1	B	B	B	B	B	B	C	B	C
	10-2-2	18.71	17.92	17.90	18.18	45	84	67	75	96		10-2-2	16.83	16.00	15.78	16.20	B	B	60	B	88
	11-2-3	24.30	23.66	24.06	24.01	B	B	77	B	97		11-2-3	23.37	24.97	23.18	23.84	45	B	C	B	A
	12-2-4	B	B	B	B	B	B	A	B	A		12-2-4	B	B	B	B	B	B	A	B	A
4	10-1-1	21.03	21.44	20.34	20.94	53	80	64	74	95	4	10-1-1	16.87	17.48	17.55	17.30	53	77	67	73	A
	11-1-2	26.19	26.15	25.82	26.05	B	B	76	B	98		11-1-2	26.60	26.55	26.50	26.55	55	78	D	76	91
	12-1-3	B	B	B	B	B	B	B	B	97		12-1-3	B	B	B	B	B	B	D	B	85
	13-1-4	B	B	B	B	B	B	B	B	A		13-1-4	B	B	B	B	B	B	A	B	A
	9-2-1	16.27	16.13	16.27	16.22	57	94	68	79	93		9-2-1	13.56	13.38	13.30	13.41	62	90	C	75	82
	10-2-2	22.24	21.98	22.21	22.14	61	97	75	85	102		10-2-2	18.74	19.27	18.39	18.80	59	93	70	82	95
	11-2-3	25.21	24.60	24.79	24.87	50	84	72	98	108		11-2-3	25.39	25.20	25.70	25.43	47	88	D	85	98
	12-2-4	B	B	B	B	B	B	80	B	A		12-2-4	26.89	27.35	26.48	26.91	49	90	D	A	A
4.5	10-1-1	24.62	23.67	24.84	24.38	46	95	76	83	105	4.5	10-1-1	22.16	22.42	22.36	22.31	48	90	72	83	A
	11-1-2	26.88	27.12	26.77	26.92	54	103	81	94	108		11-1-2	25.72	25.80	26.10	25.87	B	104	B	97	95
	12-1-3	B	B	B	B	B	B	87	B	109		12-1-3	B	B	B	B	B	B	D	B	98
	13-1-4	B	B	B	B	B	B	B	B	A		13-1-4	B	B	B	B	64	B	A	B	103
	9-2-1	19.91	19.81	20.13	19.95	66	98	71	87	103		9-2-1	20.25	20.51	20.16	20.31	59	94	61	81	98
	10-2-2	25.40	25.70	25.31	25.47	58	105	79	103	109		10-2-2	23.64	23.11	23.08	23.28	55	100	69	97	101
	11-2-3	26.66	26.07	25.93	26.22	62	105	79	94	112		11-2-3	25.32	26.45	26.56	26.11	B	103	D	B	105
	12-2-4	34.59	34.52	33.81	34.31	B	B	84	B	A		12-2-4	B	B	B	B	B	B	D	B	A
5	10-1-1	29.41	28.88	28.48	28.92	62	112	87	94	110	5	10-1-1	25.77	25.37	24.77	25.30	52	110	87	90	A
	11-1-2	27.61	27.74	27.24	27.53	68	111	91	99	114		11-1-2	28.48	29.48	29.11	29.02	65	112	85	96	106
	12-1-3	32.48	32.31	31.60	32.13	B	B	96	B	121		12-1-3	27.71	27.90	28.85	28.15	60	130	84	103	115
	13-1-4	B	B	B	B	B	B	B	B	131		13-1-4	B	B	B	B	B	B	B	B	119
	9-2-1	26.46	26.06	26.25	26.26	57	118	75	105	124		9-2-1	22.41	22.45	23.25	22.70	57	116	B	101	117
	10-2-2	28.24	28.70	28.44	28.46	63	129	75	121	128		10-2-2	26.30	26.78	25.95	26.34	55	127	71	114	119
	11-2-3	29.26	29.38	30.24	29.63	64	130	87	117	131		11-2-3	27.43	27.89	27.96	27.76	59	123	83	113	125
	12-2-4	31.45	31.71	31.78	31.65	B	B	89	B	A		12-2-4	30.54	34.39	33.99	32.97	62	125	80	115	A

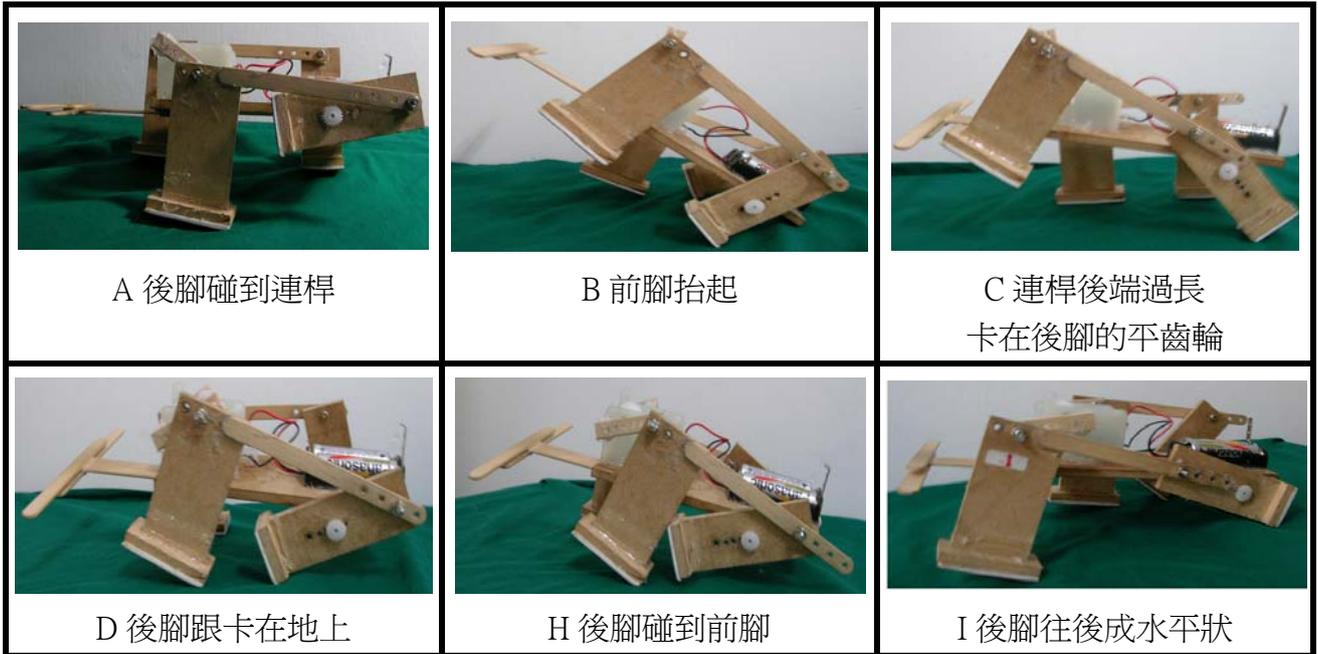
備註: A: 後腳碰到連桿 B: 前腳抬起 C: 連桿過長末端卡在後腳的平齒輪上
 D: 後腳跟卡在地面上 H: 後腳碰到前腳 I: 後腳往後成水平狀

總表 3

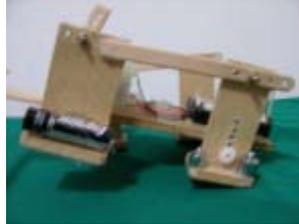
曲軸 2.5 公分											曲軸 3.0 公分												
後腳	連桿	連桿	競速(時間:秒)				拉力(公克)				後腳	連桿	連桿	競速(時間:秒)				拉力(公克)					
			公分	公分	位置	次數 1	次數 2	次數 3	平均	原始				砂軌 + 電池	砂軌 + 人工關節 + 加大腳底 + 電池-	砂軌 + 軟底 + 電池	砂軌 + 腳鋸短 + 加大腳底 + 電池	公分	公分	位置	次數 1	次數 2	次數 3
3	10	1-1	A	A	A	A	A	A	C	A	C	10	1-1	H	H	H	H	H	H	C	H	C	
	11	1-2	A	A	A	A	A	A	H	A	A	11	1-2	H	H	H	H	H	H	H	H	A	
	12	1-3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	12	1-3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	13	1-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	13	1-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	9	2-1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	9	2-1	I	I	I	I	I	I	C	I	C	
	10	2-2	C	C	C	C	C	C	C	C	D	10	2-2	I	I	I	I	I	I	I	I	C	
	11	2-3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	11	2-3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	12	2-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	12	2-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
3.5	10	1-1	11.31	11.09	11.12	11.17	D	B	C	B	D	10	1-1	H	H	H	H	H	C	H	C		
	11	1-2	B	B	B	B	B	B	H	B	D	11	1-2	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
	12	1-3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	12	1-3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	13	1-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	13	1-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	9	2-1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	9	2-1	I	I	I	I	I	I	C	I	C	
	10	2-2	13.30	12.45	13.15	12.97	A	A	D	A	A	10	2-2	D	D	D	D	D	D	I	D	I	
	11	2-3	D	D	D	D	D	D	D	D	D	11	2-3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	12	2-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	12	2-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
4	10	1-1	12.64	12.62	12.56	12.61	B	B	H	B	D	10	1-1	13.89	13.96	13.49	13.78	B	78	H	71	H	
	11	1-2	18.39	18.92	17.52	18.28	B	B	D	B	D	11	1-2	D	D	D	D	D	D	H	D	H	
	12	1-3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	12	1-3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	13	1-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	13	1-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	9	2-1	C	C	C	C	C	C	C	74	I	9	2-1	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
	10	2-2	12.64	13.28	13.42	13.11	51	89	D	78	A	10	2-2	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
	11	2-3	16.71	17.63	17.15	17.16	D	D	D	D	D	11	2-3	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
	12	2-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	12	2-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
4.5	10	1-1	16.87	16.28	15.74	16.30	D	92	B	78	D	10	1-1	20.48	19.74	20.14	20.12	D	83	H	74	H	
	11	1-2	20.67	20.63	20.42	20.57	D	102	D	85	D	11	1-2	D	D	D	D	D	D	H	D	H	
	12	1-3	B	B	B	B	B	B	D	B	D	12	1-3	D	D	D	D	D	D	A	D	A	
	13	1-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	13	1-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	9	2-1	11.79	11.87	11.45	11.70	51	94	D	83	A	9	2-1	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
	10	2-2	17.02	17.17	17.02	17.07	53	95	D	96	A	10	2-2	17.72	17.54	17.60	17.62	40	97	D	87	D	
	11	2-3	18.95	19.56	18.68	19.06	D	D	D	D	D	11	2-3	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
	12	2-4	B	B	B	B	B	B	D	B	A	12	2-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
5	10	1-1	19.65	20.93	20.41	20.33	54	104	78	89	D	10	1-1	19.65	20.93	20.41	20.33	B	98	H	81	H	
	11	1-2	21.27	21.07	20.38	20.91	B	B	H	B	D	11	1-2	D	D	D	D	D	D	H	D	H	
	12	1-3	22.03	21.95	20.46	21.48	B	B	B	B	D	12	1-3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	13	1-4	B	B	B	B	B	B	A	B	A	13	1-4	D	D	D	D	D	D	D	D	A	
	9	2-1	14.48	15.01	14.82	14.77	52	105	75	98	A	9	2-1	D	D	D	D	D	D	C	D	C	
	10	2-2	21.75	22.15	21.64	21.85	53	112	73	103	A	10	2-2	18.61	18.81	18.49	18.64	40	107	D	98	D	
	11	2-3	21.99	22.69	23.15	22.61	B	B	B	B	D	11	2-3	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
	12	2-4	B	B	B	B	B	B	B	B	A	12	2-4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	

備註: A: 後腳碰到連桿 B: 前腳抬起 C: 連桿過長末端卡在後腳的平齒輪上
 D: 後腳跟卡在地面上 H: 後腳碰到前腳 I: 後腳往後成水平狀

<附件二> 實驗未能進行的各種情形



<附件三> 後腳往前往後擺動幅度之最大極限

曲軸短 (步伐小)		曲軸長 (步伐大)	
(1) 曲軸 0.5cm 往前	(2) 曲軸 0.5cm 往後	(3) 曲軸 3.0cm 往前	(4) 曲軸 3.0cm 往後
			
連桿短 (步伐大)		連桿長 (步伐小)	
(5) 連桿 9cm 往前	(6) 連桿 9cm 往後	(7) 連桿 13cm 往前	(8) 連桿 13cm 往後
			
後腳孔位置高 (步伐大)		後腳孔位置低 (步伐小)	
(9) 後腳 3cm 往前	(10) 後腳 3cm 往後	(11) 後腳 5cm 往前	(12) 後腳 5cm 往後
			

評 語

030802 終極目標-萬獸之王曲軸、連桿、後腳組合的
探討

本作品由四足步行機械為基礎，改變各連接連桿的長度，而探討四足步行的速度，拉力的變化。本研究方法完整，表達清楚，是一件好作品。