

「獅子王」的秘密

摘要

針對 **Power Tech** 仿生機械獸比賽的「速度」競賽，利用科學的方法取得四足仿生獸－獅子王的結構組件進行最佳化的條件，包括：最佳前腳長度是 7cm、後腳掌弧度為曲率半徑 7cm、前腳位置貼拍皮、連桿長最佳設置為 11cm 以及最佳配重位置於前腳位置(離地 3cm，每腳各配 50g 砝碼)，實驗研究數據也指引我們注意到：獅子王「前腳」摩擦力控制已成為 **Power Tech** 的競速比賽輸贏的重要秘密關鍵。另外，針對 **Power Tech** 的「拉力」競賽，我們測出在獅子王的連桿長最佳設置為 11cm 時，也能擁有最好的拉力。最後，利用前述實驗所得的最佳條件，製作出最有 power 的獅子王機械獸。

壹、研究動機

在 **Power Tech** 比賽中既有比「快」的競速獅子王，也有比「力」的拉力獅子王，每個人都想在 **Power Tech** 競賽中獲得好成績，當然我們也是希望如此。為了讓我們的萬獸－獅子王，在比賽現場規定的規格條件下，能同時又具備「速度」與「拉力」這兩種優勢，於是設計了幾個實驗進行測試，透過「組件結構」最佳化與不斷嘗試錯誤進行修正，希望能研發出更佳的機體結構，嘗試讓我們的「獅子王」更快更穩。

貳、研究目的

- 一、「獅子王的腳」－「前腳尺寸」、「後腳掌弧度」與「速度」的關係。
- 二、「獅子王的鞋」－探討增加摩擦力而貼膠皮的「位置」與「速度」的關係。
- 三、「獅子王的身長」－「連桿長度」與「速度」的關係。
- 四、「獅子王增重」－「配重位置」與「速度」的關係。
- 五、獅子王「連桿長度」對「拉力」的影響。

參、 研究材料

研究的實驗材料包括:

- 一、材料包：馬達、電池盒、密集板(2cmx10cm, 4 塊)、軟管、冰棒棍 (11.5cm)、齒輪組等。
- 二、工具箱：線鋸、砝碼、斜口鉗、尖嘴鉗、電池等。
- 三、跑道(長度為 1 公尺)、計時器、筆記本、拉力秤、桌球拍皮以及圓規刀。

肆、 研究過程與結果

- 一、文獻探討：嘉義市第 35 屆科展作品-萬獸之王的力量從何而來，和 57 屆全國科展科展會作品-進擊的萬獸—萬獸的終極奧義。二件作品分別探討了影響拉力大小的各種變因，我們拜讀後決定進一步研究各種變因對速度的影響。

二、『獅子王』機身製作

首先，製作出一台原形萬獸—獅子王，機身構造與部位介紹如下圖示。

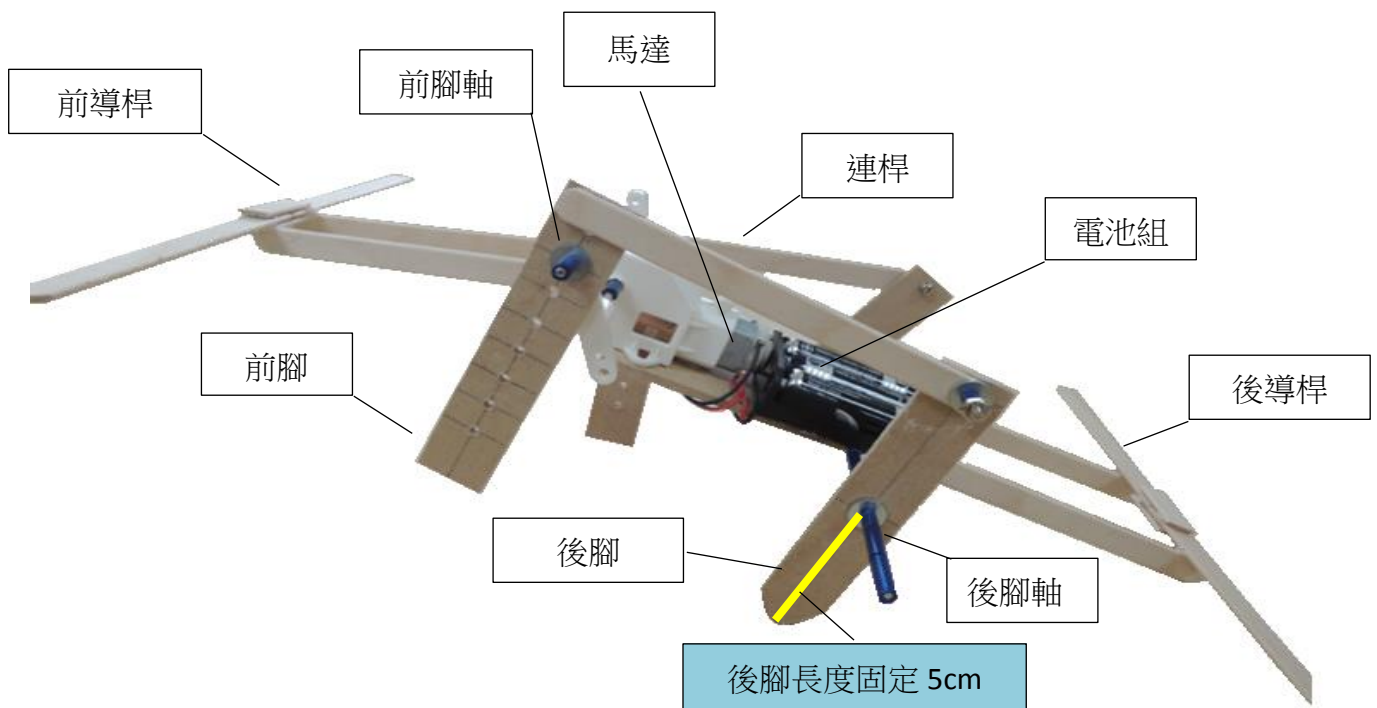


圖 1 獅子王的原形

二、研究實驗結果

研究一：獅子王的腳與速度的關係

獅子王的腳是否會影響機器前進的速度？在這個部分，分成前腳尺寸與後腳腳掌弧度分別進行實驗測試。

(一) 前腳尺寸與速度測試

1. 實驗設計

- (1) 取兩塊 2cmx10cm 的密集板，在短邊中間處畫一條垂直線，之後每隔一公分鑽一個直徑 3.2mm 的小洞，做為調整前腳長度用。

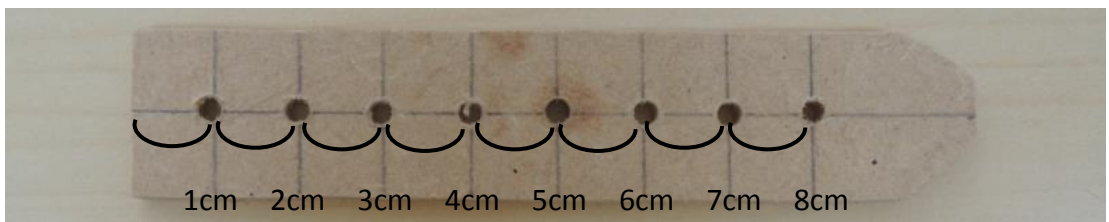


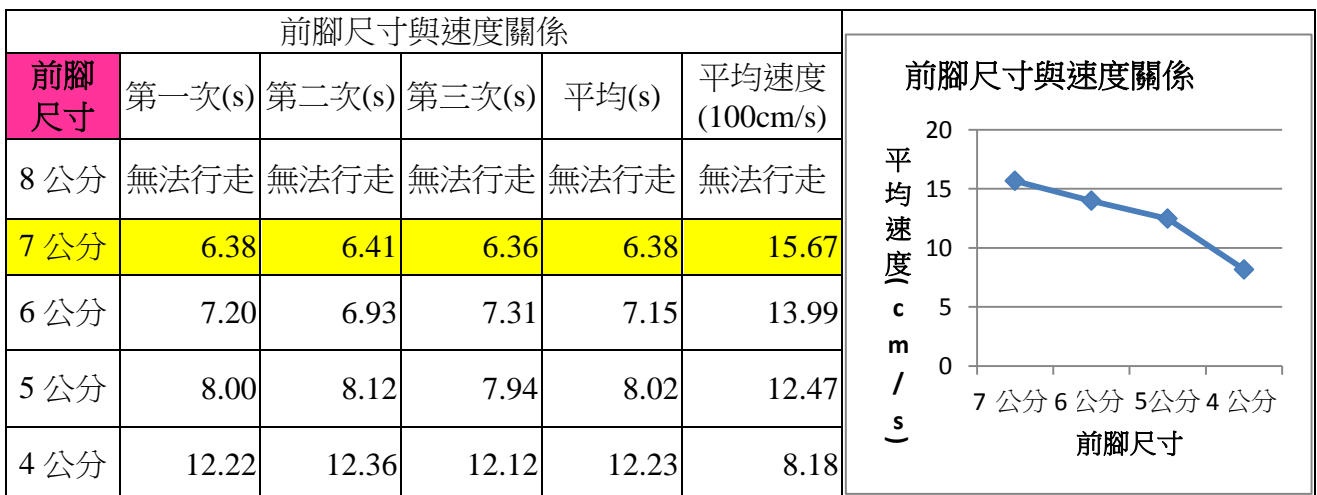
圖 2 獅子王的前腳尺寸

- (2) 以螺絲和軟管搭配調整出前腳長度分別為 8~4cm，後腳統一設為 5cm 長。
- (3) 測量獅子王機械獸不同前腳長度尺寸(8~4cm)下，用碼表反覆測量三次獅子王走完 1m 跑距離的時間，並取三次平均值，換算成速度。

2. 實驗結果

實驗所得前腳尺寸與速度的關係圖表如下表：

圖表 1 獅子王的前腳尺寸與速度關係



整理→由圖表 1 可知以下結果：

1. 獅子王前腳長設定為 8cm 時，前腳太長，機身後傾無法行走，計時失敗。
2. 獅子王前腳長設定 7cm、6cm、5cm、4cm 時，行走速度依序變慢。
3. 在後續的實驗，獅子王的前腳長度均固定為 7cm 進行實驗。

(二) 後腳掌弧度與速度測試

1. 實驗設計

- (1) 後腳掌弧度採用半徑為 3 公分、5 公分以及 7 公分，並擷取圓周角 90°的弧長，每一個腳掌弧度均分成 5 折進行弧度製作。



圖 3 獅子王的腳尺寸後腳掌弧度

- (2) 利用熱融膠分別把三種不同後腳掌弧度尺寸接上，在後腳統一設為 5cm、前腳長度均固定為 7cm 的最佳化條件下，用碼表反覆測量三次獅子王走完 1m 跑距離的時間，並取三次平均值，換算成速度。

2. 實驗結果

實驗收集到的後腳掌弧度與速度的關係圖表如下表：

圖表 2 獅子王的後腳掌弧度與速度關係

後腳掌弧度與速度關係					
後腳掌弧度 (半徑)	第一次 (s)	第二次 (s)	第三次 (s)	平均 時間(s)	平均速度 (100cm/s)
3 公分	7.16	7.45	6.69	7.10	14.08
5 公分	6.09	6.4	6.4	6.30	15.87
7 公分	6.06	5.94	6.01	6.00	16.67

整理→由圖表 2 可知以下結果：

1. 獅子王後腳掌弧度半徑設定為 3cm、5cm、7cm 時，行走速度依序變快。
2. 曲率半徑 7 公分的速度最佳，就形狀觀察，或許是因為步伐擴大的關係。
3. 在後續的實驗，加入後腳掌弧度均固定為 7cm 進行實驗。

研究二：獅子王的鞋-膠皮位置與速度的關係

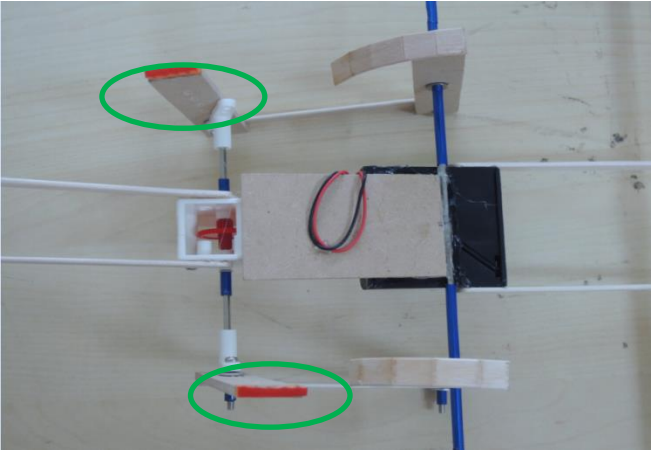
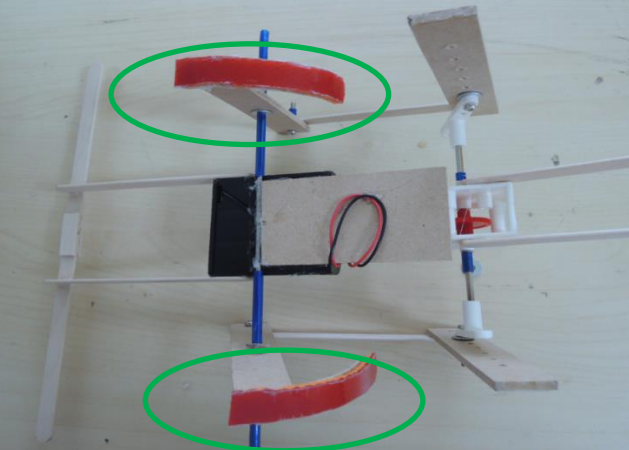
比賽的時候，許多隊伍會幫獅子王機械獸的腳上貼膠皮，到底是這些穿上貼皮的腳會提升機器前進的速度？還是保持自然不穿的原始樣貌比較快？在這個部分，我們也嘗試利用桌球拍拍皮替獅子王的腳穿鞋，進行測試。

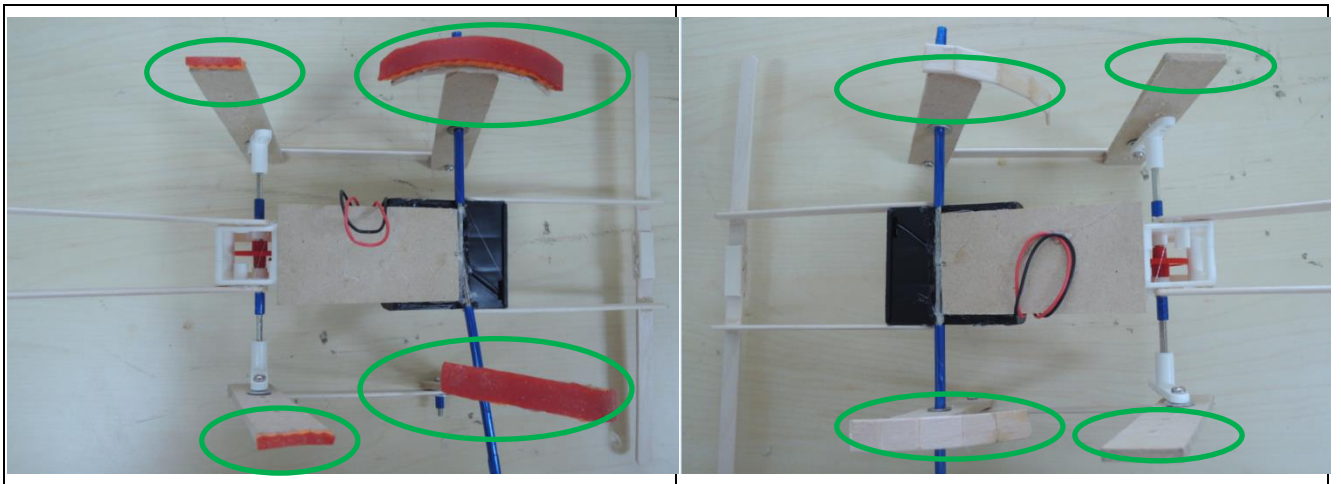
(一) 實驗設計

我們將機械獸的腳掌貼上桌球拍的膠皮（簡稱拍皮），選用的是平面膠皮，表面有較大的粘性，摩擦力強。

1. 實驗分成四組：前兩隻腳、後兩隻腳、全部四隻腳都貼和全部都不貼。
2. 本實驗在後腳統一設為 5cm、前腳長度均固定為 7cm、後腳掌弧度均固定為 7cm 的最佳化條件下，用碼表反覆測量三次獅子王穿上拍皮走完 1m 的時間，並取三次時間的平均值，換算成速度。

圖表 3 獅子王穿鞋分組圖示

A組_前腳在機械獸的前腳掌上貼上拍皮。	B組_後腳在機械獸的後腳掌上貼上拍皮。
 A photograph of a mechanical robot with a blue vertical axis and two pairs of feet. Red rubber strips are attached to the front feet. Green circles highlight the red rubber on both the front and back feet.	 A photograph of the same mechanical robot. Red rubber strips are attached to the back feet. Green circles highlight the red rubber on both the front and back feet.
C組_全膠在機械獸的每一隻腳上貼上拍皮。	D組_無膠四隻腳掌都沒有貼拍皮的狀態下。



(二) 實驗結果

實驗收集到的拍皮位置與速度的關係圖表如下表：

表 4 獅子王穿鞋_拍皮位置與速度關係圖表

拍皮位置	第一次	第二次	第三次	平均時間(s)	平均速度 (100cm/s)
前腳	6.32	6.27	6.21	6.27	15.95
後腳	7.63	6.98	7.04	7.22	13.85
全部	6.95	7.11	7.23	7.10	14.08
全無	7.42	7.81	7.81	7.68	13.02

整理→由圖表 4 可知以下結果：

1. 獅子王貼拍皮的測試，有貼確實比沒有貼好，其中又以前腳貼拍皮的速度>全部貼拍皮>後腳貼拍皮。
2. 在後續的實驗，會加入前腳貼拍皮進行測試。

研究三：獅子王的身長與速度的關係

機械獸的連桿可以控制它的身長，連桿的長短是否會影響他前進的速度，在此我們也一併進行測試，希望能找到最佳的長度。

(一) 實驗設計

1. 長 11.5cm 的連桿，在長度 11cm、10 cm、9cm 三處處鑽洞(直徑 3.2mm)，作為調整連桿長度用。

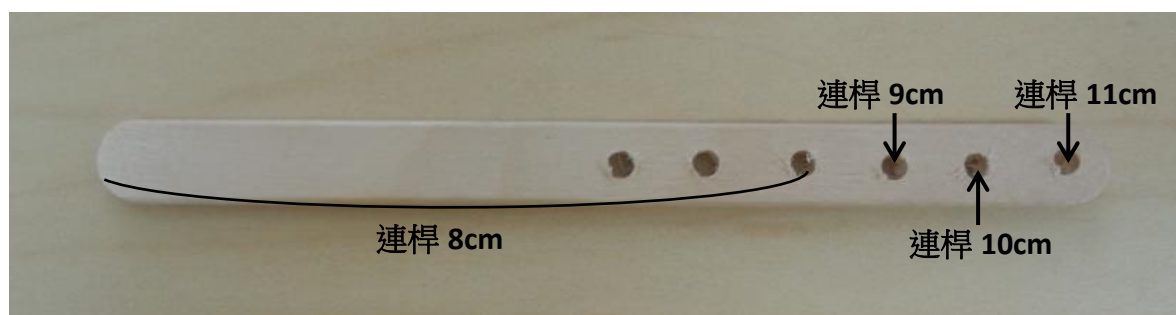


圖 4 獅子王的連桿尺寸製作

2. 以螺絲和軟管搭配製作出連桿分別為 11、10、9cm(後來發現小於 9cm 無法行走)，測量獅子王機械獸不同身長時的速度。
3. 本實驗在後腳統一設為 5cm、前腳長度均固定為 7cm、後腳掌弧度均固定為 7cm、前腳貼拍皮的最佳化條件下，用碼表反覆測量三次獅子王走完 1m 的時間，取三次時間的平均值，換算成速度。

(二)實驗結果

實驗收集到的連桿長度與速度的關係圖表如下表：

圖表 5 獅子王身長_連桿長度與速度關係圖表

連桿長度與速度關係					
連桿長度	第一次 (s)	第二次 (s)	第三次 (s)	平均時間 (s)	平均速度 (100cm/s)
11 公分	7.32	7.73	7.90	7.65	13.07
10 公分	9.47	8.74	8.79	9.00	11.11
9 公分	9.99	10.49	10.59	10.36	9.65

整理→由圖表 5 可知以下結果：

1. 獅子王連桿長度越長，速度也似乎越快。據觀察，連桿長度愈長，有類似擴大步伐的效果。
2. 比賽規格中的連桿材料僅有 11.5cm 長，因此後續無法再增加長度證明超過 11cm 時，獅子王的速度是否更優。
3. 本實驗後續，將設定獅子王的最佳連桿長為 11cm。

研究四：獅子王的配重位置與速度的關係

比賽時，每隻萬獸都少不了配重，有可能少了一點重量或不小心放太重而影響了機器獸的力與速度的競賽。

(一) 實驗設計

我們以 100 公克的砝碼，分別配在機械獸的前(前導桿)、中(電池盒與馬達盒中間)、後(後導桿)、前腳(離地 3cm，每腳各配 50g 砝碼)、後腳(離地 3cm，每腳各配 50g 砝碼)共五個位置。

本實驗在後腳統一設為 5cm、前腳長度均固定為 7cm、後腳掌弧度均固定為 7cm、前腳貼拍皮以及連桿長為 11cm 的最佳化條件下，針對五種配重位置與速度的關係，用碼表反覆測量三次獅子王走完 1m 的時間，取三次時間的平均值，換算成速度。

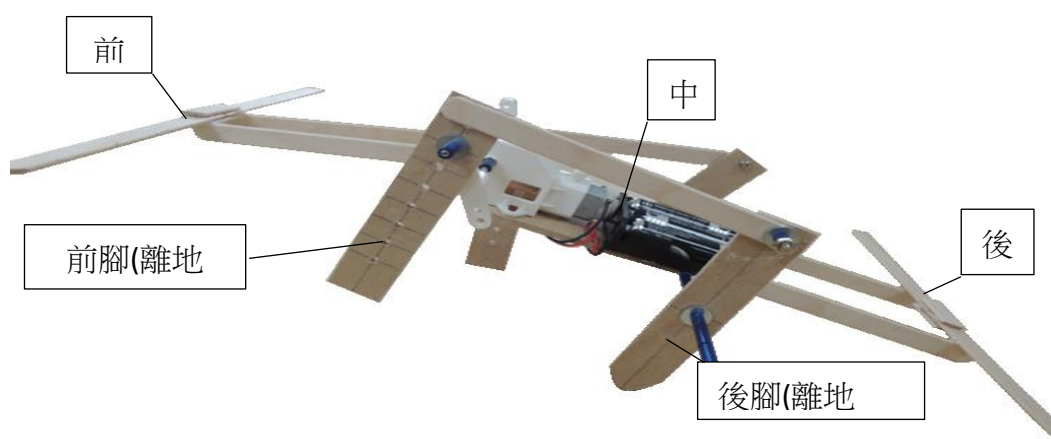


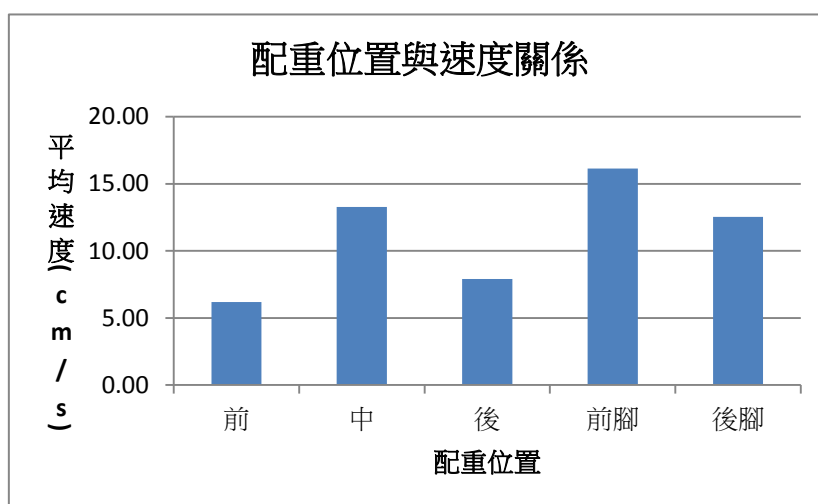
圖 5 獅子王的配重位置說明

(二) 實驗結果

獅子王的配重位置與速度實驗結果整理如表 6:

表 6 獅子王的配重位置與速度關係圖表

配重位置與速度關係					
配重位置	第一次	第二次	第三次	平均時間(s)	平均速度(100cm/s)
前導桿	16.45	15.05	16.95	16.15	6.19
中間	7.29	7.57	7.72	7.53	13.29
後導桿	10.87	12.61	14.46	12.65	7.91
前腳	6.26	6.32	6	6.19	16.15
後腳	8.06	7.99	7.88	7.98	12.54



整理→由圖表 6 可知以下結果：

1. 獅子王配重後的速度，以配重在前腳>中間>後腳，配重在前、後導桿上的速度則表現不佳。
2. 在後續的實驗，獅子王的配重位置均固定在**前腳位置**(離地 3cm，每腳各配 50g 砝碼)。

研究五：獅子王的身長與拉力的關係

在前四個研究中，針對「**速度**」競賽，我們將獅子王的結構組件進行最佳化，包括：**前腳長度均固定為 7cm、後腳掌弧度均固定為 7cm、前腳貼拍皮、連桿長為 11cm 以及配重於前腳位置(離地 3cm，每腳各配 50g 砝碼)**。在研究五中，我們則要從連桿長度，針對「**拉力**」進行最佳化的測試。

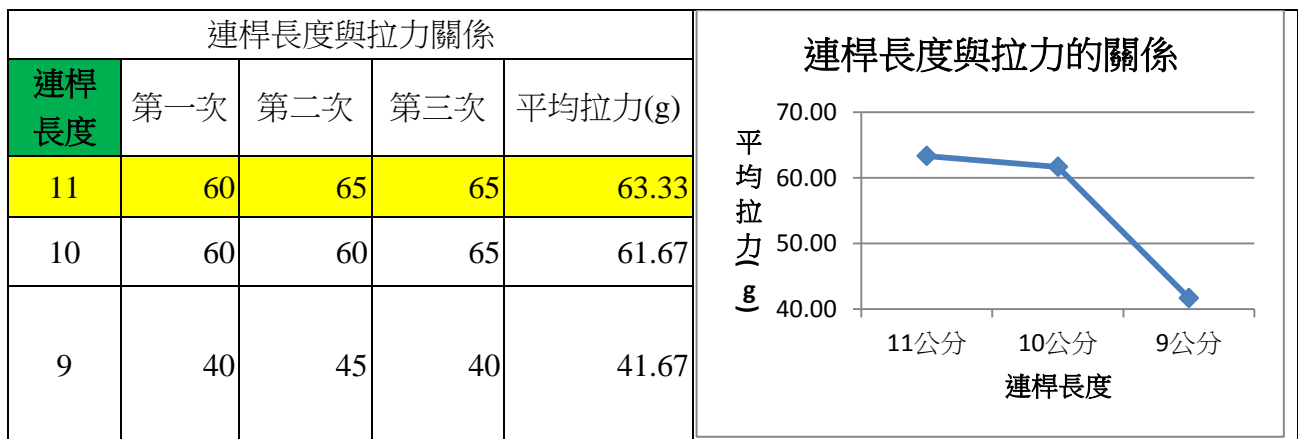
(一)實驗設計

在「**研究項目三:連桿長度與速度的關係**」中，我們利用連桿控制獅子王的身長長度在 11cm、10cm、9cm 三種不同的狀態下進行測速，在本研究中，我們同樣利用這三種狀態，以研究一~四所得的最佳化機體結構，用**拉力秤**來進行拉力試驗，反覆三次，並取其拉力的平均值。

(二)實驗結果

獅子王連桿長度與拉力關係測試如下圖表 7:

圖表 7 獅子王身長_連桿長度與拉力關係圖表



整理→由圖表 7 可知以下結果：

1. 獅子王連桿長度設定為 10cm、11cm 時，拉力明顯優於 9cm，其中以桿長度設定為 11cm 表現最佳。
2. 經過本實驗測試後，**連桿長度 11cm** 是獅子王測速與拉力獅子王機體最佳化的選擇。

三、最佳機型

結合研究一至研究五所有實驗數據，我們依照實驗所得的最佳條件，最後製作出的最佳化的獅子王如下圖。

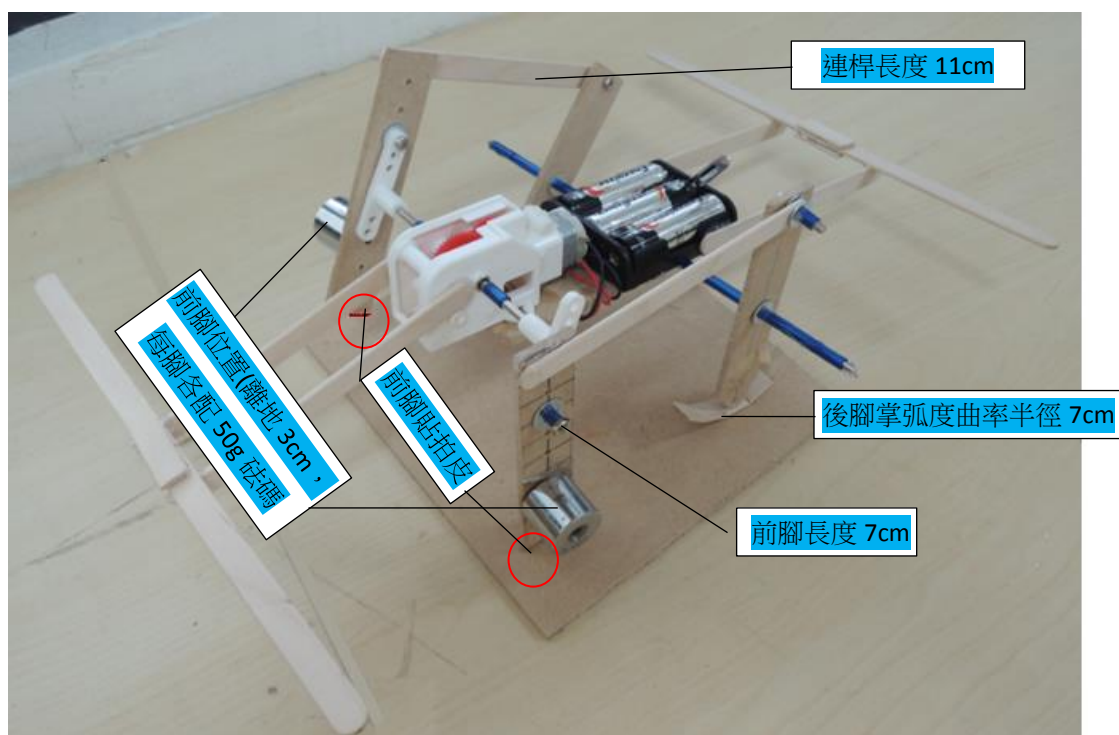


圖 6 獅子王的的最佳條件組合

伍、研究討論

一、後腳掌弧度設計

在研究二中，我們以三種曲率半徑(3cm、5cm、7cm)設計獅子王的後腳掌弧度，原定都是要將腳掌弧度以五折的方式完成弧度；初次實驗，因為曲率半徑 3cm 所得的長度很小，製作過程中折斷很多次，我們便將它摺成三折後就直接加入測速實驗(如圖 7)。

剛好這學期等差級數上課，數學老師講到高斯王子的故事，其中一段便講到他死後的墓碑原本是要刻上正十七邊形，但刻墓碑的工匠認為正十七邊形看起來就像圓形，於是幫他刻上了十七芒星……

這故事讓我們聯想到，五折會比三折更趨近完美的弧度，我們可以用數學的圓周角來解釋：五折的後腳掌弧度，每一折所代表的弧度是 18° ；而原先的三折，每一折所



▲圖 7a 曲率半徑 3cm 三折的後腳長弧度

▶圖 7b 曲率半徑 3cm 五折的後腳長弧度

代表的弧度是 30° 。這個認知讓我們意識到，有可能產生測速上的實驗誤差，因此我們重新製作另一個五折的後腳掌弧度進行重測，並將前後的數據進行比較如表 8。

表 8 後腳掌弧度曲率半徑 3cm(三折)和曲率半徑 3cm(五折)測速比較

後腳掌弧度 (半徑 3cm)	第一次時間	第二次時間	第三次時間	平均時間(s)	平均速度 (100cm/s)
三折	7.4	7.01	9.49	7.97	12.55
五折	7.16	7.45	6.69	7.10	14.08

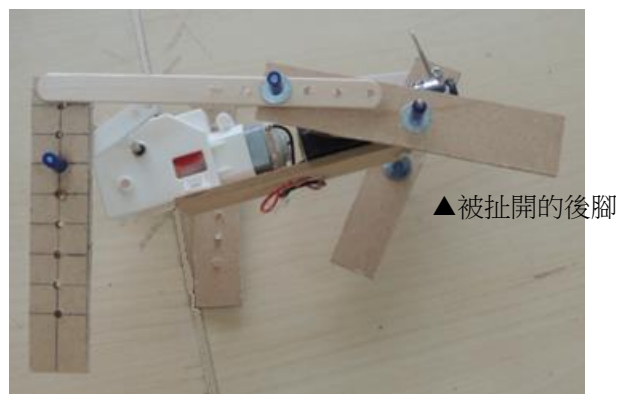
一樣是曲率半徑 3cm 的後腳掌弧度，果然在製作時如果折數不一致，結果也會不同，雖然後腳掌弧度最佳化在研究二中，已經得到曲率半徑 7cm 測速結果最好，這個發現也並不會影響到最佳結構的結果，但卻也提醒著我們實驗製作過程不可馬虎的重要性。

二、連桿長度限制

比賽規格中的連桿材料(冰棒棍)長度僅有 11.5cm，以至於連桿長度上限最多只能取到 11cm 進行測速或拉力(須預留 0.5 cm 進行鑽孔)。

另外，為何連桿長度不能取 8cm 以下的長度呢？

開始進行不同連桿長度的測速實驗時，我們確實預留 8cm 以下的鑽孔，但因為機身上載有馬達與電池盒，在組合 8cm 以下的連桿時發生困難，當取到 8cm 時，雖可以組合，但連桿卻將後腳扯開至不自然的角，以至於運作時機身會向後腳方向翻傾；獅子王的前腳尺寸和連桿長度，也決定了機身行進時的穩定性。因此在此實驗中，我們可以清楚得到獅子王的連桿長度 L ，其可測速的最佳範圍，應該是 $8\text{cm} < L \leq 11\text{cm}$ 。



▲圖 8 連桿長度 8cm 時，機身無法站穩測速

三、獅子王的黃金前腳

由研究一至研究五的數據可知，獅子王的黃金前腳，似乎握有競速與拉力決定性的關鍵。前腳的長度、貼拍皮位置與砝碼的配重位置，三者都仰賴「前腳」來控制。

其中貼拍皮位置與砝碼的配重位置，皆是為要增加競速時的「摩擦力」，之前的競速比賽經驗中，貼皮塗膠位置與配重位置皆是常見增加摩擦力的方式，在腳底上增加有摩擦力的東西，例如：滑鼠墊、實驗中所用的拍皮，又或者塗上熱熔膠等。而整個研究的數據也提醒著我們控制「前腳」摩擦力控制已成為輸贏不可或缺的重要秘密關鍵。

在日本動漫「進擊的巨人」當中就算主角艾倫的士兵團騎著馬要逃離巨人的獵殺，但始終無法逃離巨人的追殺，但是是為什麼呢？那是因為巨人的身體龐大，步伐較大所以士兵團始終無法脫離巨人，由上述例子我們可以得知，步伐較大者可以在速度上得到優勢，因此研究二後腳掌弧度實驗出來與上述例子符合，除此之外要參照比賽機體規定，不然一味增加步伐可能會使機體失去穩定性或競賽資格。

陸、結論

一、「獅子王的腳」—前腳尺寸、後腳掌弧度與速度的關係。

由研究一可得前腳長度 7cm、後腳掌弧度曲率半徑 7cm 測速最佳(參照圖表 1、2)。

二、「獅子王的鞋」—探討貼拍皮的位置與速度的關係。

由研究二可得有貼拍皮確實有助於速度的提升，其中以前腳貼拍皮測速最佳(參照表 4)

三、「獅子王的身長」—連桿長度與速度的關係。

由研究三可得有連桿長度(L)可測速範圍是 $8\text{cm} < L \leq 11\text{cm}$ ，其中以桿長 11cm 測速最佳(參照圖表 5)。

四、「獅子王增重」—配重位置與速度的關係。

在研究四中，配重位置於前腳(離地 3cm，每腳各配 50g 砝碼)時，測速最佳(參照表 6)。

五、獅子王連桿長度對拉力的影響。

研究五中，獅子王連桿長 11cm 時的拉力測試最佳(參照表 7)。

柒、參考文獻

1. 國中理化第三冊第一章「基本測量」。
2. 國中理化第五冊第二章「力與運動」。
3. 國中數學第四冊第二章「平面幾何圖形_圓」。
4. 全國科展第 57 屆中小學科展國小組生活與應用科學科第一名作品：進擊的萬獸—萬獸的終極奧義。
5. 嘉義市第 35 屆中小學科學展覽會作品說明書：萬獸之王的力量從何而來。