

2023 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100012

參展科別 工程學

作品名稱 以仿生袋鼠進行跳躍研究並應用於外骨骼

得獎獎項

就讀學校 新北市立新北高級中學

指導教師 謝進生

作者姓名 童綺琮

關鍵詞 仿生袋鼠、跳躍動態分析、外骨骼

作者簡介



大家好，我是新北市新北高級中學普通科的學生，在升高中的暑假，為了培養興趣，開始學習機器人的製作、組裝、繪圖以及程式方面的知識。於去年六月份時在參加創意競賽時想到現在參展作品的靈感，並為了將其實現開始製作，在製作的過程中非常感謝老師們以及學長的幫助，同時相當榮幸的能通過初審參加最後的複審。

摘要

此研究選擇以袋鼠為仿生對象，希望應用袋鼠高速移動的特點，製作仿生動物，並觀測其跳躍動作，提升動作的流暢度。

首先對澳洲袋鼠在跳躍時的動作，進行動態分析，取得跳躍時其最佳腿部彎曲動作。經歷二次的外觀與整體結構更改，以及數十次的細微尺寸與外觀修飾的調整，完成了此次使用的仿生袋鼠。

此仿生袋鼠使用 18 公分長的小腿為基準，設計跳躍動作影響便因。首先更改個部位的馬達扭力進行跳躍距離和高度的紀錄，測驗出距離最遠，高度最高的數據，並依同樣的變因條件，進行腿部長度的變更，同樣求得最佳數據再進行下一實驗，以此求得在各變因下最佳的條件。

本研究包含生物觀察、機械繪圖、動作分析，而希望此實驗數據在未來能應用於跳躍型的外骨骼。

Abstract

This study was designed to choose kangaroos as bionic objects, hoping to use the characteristics of high-speed movement of kangaroos to make bionic animals, and to observe their jumping movements to improve its fluency.

First, the dynamic analysis of the Australian kangaroos movements during jumping was carried out, and the optimal leg bending movements during jumping were obtained. After undergoing two alterations of its appearance and overall structure, as well as dozens of adjustments in fine size and appearance modification, the bionic kangaroo used this time was completed.

This bionic kangaroo was implemented with 18-cm calves as the benchmark, and the design of the jumping action will affect the angle recorded. First, the researcher changed the motor torque of each part to record the jump distance and

height, tested the data with the farthest distance and the highest height, and changed the length of the leg according to the same variable conditions, obtaining the best conditions before proceeding the experiment. An experiment was carried out to obtain the optimal conditions under each variable.

This study included biological observation and mechanical drawing, and the researcher anticipated that this experimental data can be applied to the investigation of jumping exoskeletons in the future.

壹、研究動機

人類研究各種動物，從中獲得各種發明的啟發，例如；在海獺皮毛身上得到靈感的保暖材質、按照老鷹翅膀設計的飛機機翼等。

袋鼠作為兩腳移動的哺乳類，速度排行是世界第一，時速高達每小時七十公里，尤其袋鼠的腿類似於人，希望此實驗能用於新型外骨骼移動裝置。

貳、研究目的

- 一、 設計仿生機器人來模擬袋鼠跳躍動作
- 二、 藉由不同實驗變因來提升跳躍距離
- 三、 藉由不同實驗變因來提升跳躍高度
- 四、 探討實際值與理論值距離差別之原因

參、研究設備與器材

(一) 軟體：

編號	軟體	數量	研究用途
1	MotorAdj(Java)	1	編輯袋鼠動作
2	Arduino IDE	1	撰寫程式使動作連貫
3	Solidworks	1	繪製零件和外觀
4	CAS_Servo_Management	1	編輯馬達編號
5	Cura	1	將 STL 傳為 gcode 檔

(二) 硬體：

編號	器材	數量	研究用途
1	PCB-mini 控制板	1 片	控制整台仿生袋鼠
2	CAS 伺服馬達	15 顆	48kg-cm 伺服馬達
3	CAS 伺服馬達	4 顆	65kg-cm 伺服馬達
4	2.4Ghz 搖桿	1 組	初始啟動仿生袋鼠

5	PLA 線材	五捲	結構件材質
6	游標卡尺	1 支	測量機構使用
7	捲尺	1 只	測量跳躍距離和高度
8	杜邦線	14 條	串連馬達
9	Desire Power V8 11.1V 1300mAh 35C-70C 3S	2 顆	提供機器所需電力
10	AI 伺服馬達修改器	1 個	編輯馬達編號
11	碳纖維零件	9 片	袋鼠尾巴材質
12	anycubic 3d 列印機	1 台	列印零件
13	雷射水平儀	1 台	確保手機與量測設備平行

肆、研究方法和過程

一、仿生機械結構搜尋

- (一)查詢袋鼠的影片，以慢動作播放，觀察其動作。
- (二)搜尋相關仿生文獻，參考其結構設計，再另作更改。

二、設計仿生袋鼠結構

- (一) 整合在第一步驟所收集的資料，設計關節配置。
- (二) 利用 Solidworks 繪製外觀結構。
- (三) 3D 列印外觀和零件，將其組裝測試，並決定是否需進行調整。

三、編寫仿生袋鼠動作

- (一)探討動作編寫
 1. 利用 MotorAdj 編輯馬達偏移量。
 2. 利用 MotorAdj 編輯動作。
 3. Arduino 編輯動作順序以及所需的時間。

四、跳躍動作變因研究

- (一)變更馬達扭力以及小腿長度進行跳躍實驗。
 1. 使用 48kg-cm 和 65kg-cm 馬達交錯使用在膝蓋以及腳踝。
 2. 小腿以 18cm 為基準再 ± 1.5 、 ± 3.0 cm。
- (二)架設研究場地。
 1. 準備 50cm 和 30cm 長的尺並固定。
 2. 使用雷射水平儀確認手機、仿生袋鼠與尺的位置成平行。
- (三)跳躍動作的數據收集。
 1. 以手機慢動作功能攝影拍攝
 2. 將拍攝數據輸入進 Excel，匯出圖表。

伍、結果與討論

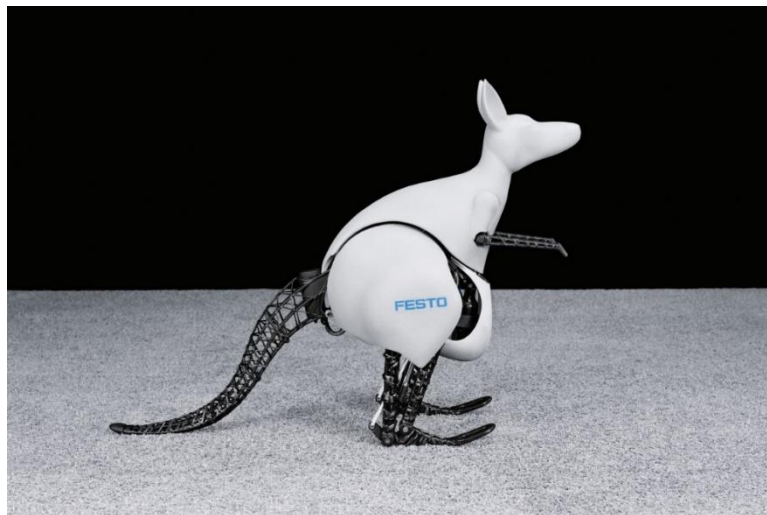
一、詳細研究過程結果：

(一) 搜尋網路文獻

一開始我先觀看 National Geographic Magazine 於 YouTube 發佈之影片，觀察袋鼠身體比例、外型以及跳躍動作。動作的觀察則將影片以 0.25 倍速撥放，了解其各部位在跳躍時所需執行的動作，並於網路查詢袋鼠跳躍的相關文獻，確認收集之資料的準確性。

(二) 袋鼠仿生結構資料收集

德國科技公司 Festo 所製造的 BionicKangaroo 使用其公司所研究氣動肌腱一種全新氣動驅動器由中空的人造橡膠缸筒構成，內部嵌有尼龍纖維。當內部充滿空氣時，其直徑增加，長度縮短，形成一種流暢的彈性運動。它使運動序列在動作、速度和強度以及靈活性各方面更接近人體的運動。我們則使用伺服馬達代替做研究。



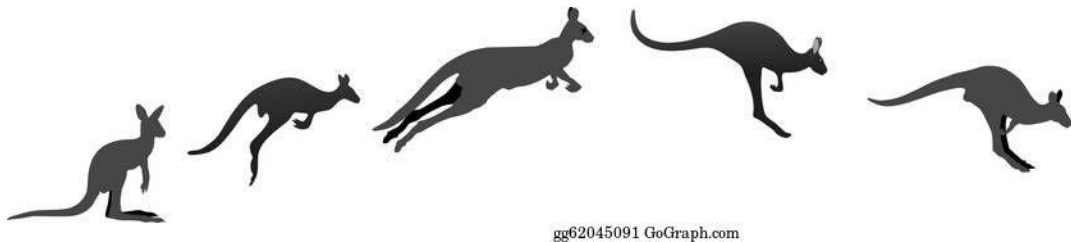
Festo BionicKangaroo 結構

(三) 仿生袋鼠外觀繪製

再來先繪製草圖手稿，確認袋鼠的初步外觀，並在標記詳細尺寸後，使用 solidworks 排列馬達放置部位和方向，再繪製各部位外觀。使用程式內建量測工具測量尺寸。接著將圖檔轉換成 STL 再使用 Cura 程式轉檔為 gcode 檔後，anycubic 3D 列印機將所有零件列印，並確認尺寸是否無誤，遇到因材質所造成的誤差，將其圖檔尺寸更改並再次執行列印直至完成。馬達從一代 17 顆伺服馬達調整為 15 顆，腿部八顆、尾部三顆、身體四顆。連桿結構變為直驅以便仿生袋鼠進行跳躍。

(四) 跳躍動作設計

於網路查詢袋鼠跳躍動作圖和親自在動物園觀察真實袋鼠的跳躍動作，再使用軟體 MotorAdj 編輯仿生袋鼠的動作，調整個動作的活動角度以及執行動作所需的時長後，利用 Arduino 編輯整體動作完成 MotorAdj 和 Arduino 執行動作秒數差異。



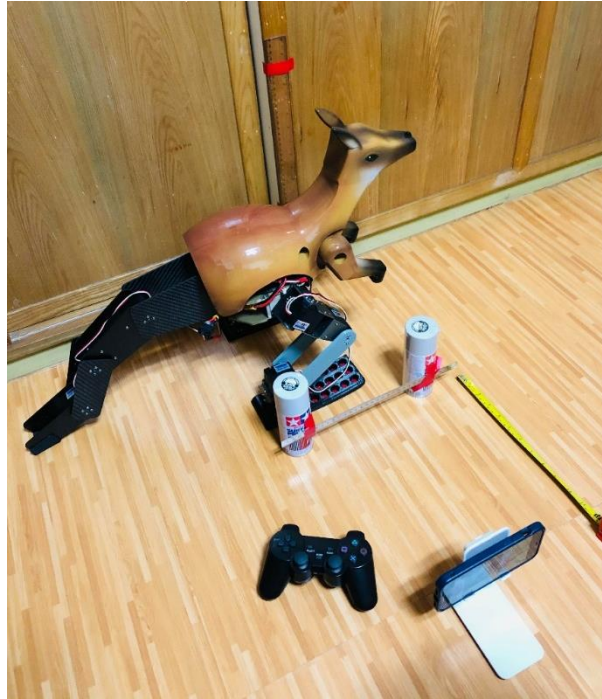
袋鼠跳躍動作循環圖

(五) 在各部位施力的差異對跳躍高度和距離的影響

將袋鼠腳踝以及膝蓋部分的馬達，使用 48kg-cm 和 65kg-cm 型號的伺服馬達交錯使用，研究其對跳躍的影響。在此會使用到游標卡尺、手機的慢動作攝影，手機慢動作撥放跳躍動作，標記其落點位置，並將收集到的資料輸入於 Excel 進行數據分析，匯出圖表，檢驗數據資料並統整結果。

(六) 架設實驗場地

場地我選擇在家中布置，先將長 45 公分的尺固定於牆上，以便於測量跳躍的高度，將長 30cm 的長尺懸空固定測量跳躍距離。在距離 30cm 的長尺 10cm 外使用腳架固定手機拍攝跳躍距離，45cm 的 30cm 外同樣固定手機拍攝跳躍高度。



家中所布置的場地

(七) 套用公式

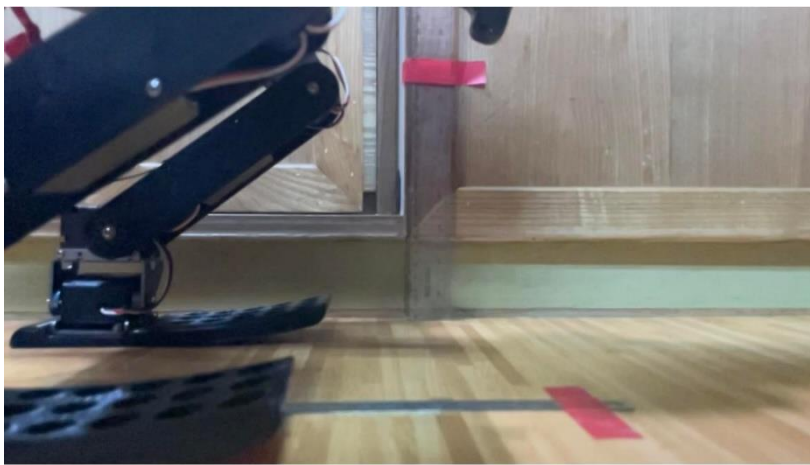
透過實驗所得之數據，帶入拋物線公式，以求得初速度和理論高度，觀察各變因所帶來的影響。

$$R = \frac{2v_0^2 \sin \theta \cos \theta}{g}$$
$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

實驗測出的平均跳躍距離帶入距離(R)，地心引力(g)以 980cm/s^2 帶入公式，高度(h)為實驗平均高度，初始速度(v_0)則利用求出的數值帶入得知。

二、研究數據探討

本研究主要探討在不同部位施力大小對跳躍的影響，因此袋鼠的跳躍動作是一大重點，所以我利用慢動作和網路文獻分析其動作。為了分析施力的影響，我在設計膝蓋(48kg-cm, 65 kg-cm, 48kg-cm, 65 kg-cm)腳踝(48 kg-cm, 48 kg-cm, 65 kg-cm, 65 kg-cm)、腿部長(15cm, 16.5cm, 18cm, 19.5cm, 21cm)、腳底板的彎曲與否，共 9 種組合去進行實驗。並且為了實驗準確，電池在每組實驗完成後會更換一次。



18cm 馬達實驗照片

(一) 膝蓋 48kg-cm 腳踝 48 kg-cm 馬達實驗組 A

此實驗數據我使用膝蓋 48kg-cm 腳踝 48 kg-cm 腿部長度 18cm 腳底板彎曲進行研究，測得結果如下表，各項數值均落在 14.0cm 之間，平均值為 14.17cm，高度達到數值落在 3cm 之間，平均值為 3.02cm， θ 約等於 30°。

表 1-1 膝蓋 48kg-cm 腳踝 48kg-cm 跳躍距離數據圖

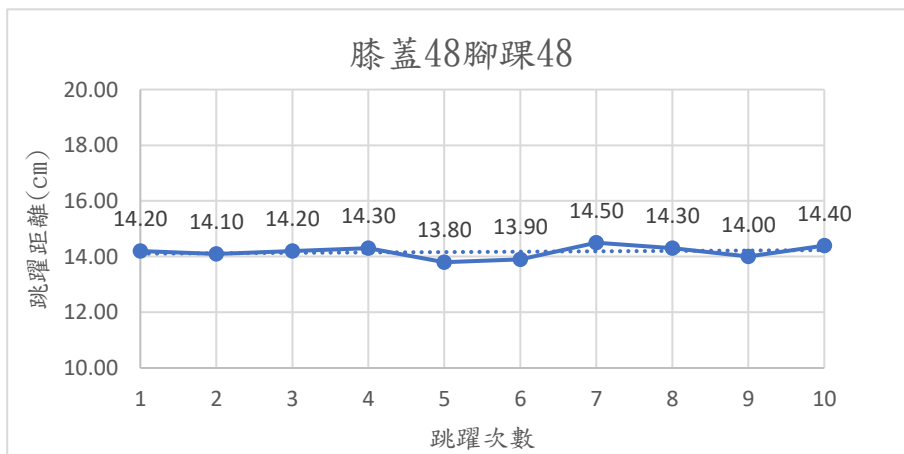
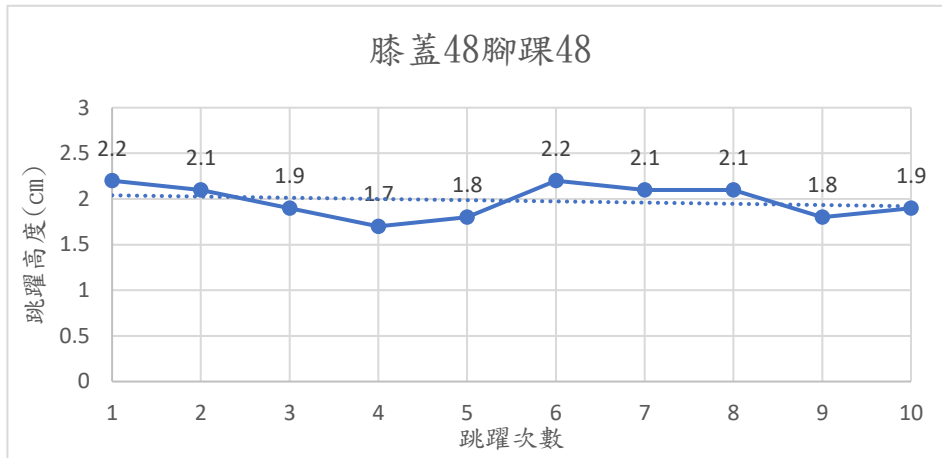


表 1-2 膝蓋 48kg-cm 腳踝 48kg-cm 跳躍高度數據圖



(二) 膝蓋 65kg-cm 腳踝 48 kg-cm 馬達實驗組 B

將膝蓋部位的馬達更換為 65kg-cm 後，跳躍距離減少了 1.00cm，而點的趨勢也與第一次的實驗相似，高度減少了 1.0cm 平均數是 12.09cm，跳躍的角度約為 20°。

表 2-1 膝蓋 65kg-cm 腳踝 48kg-cm 跳躍距離數據圖

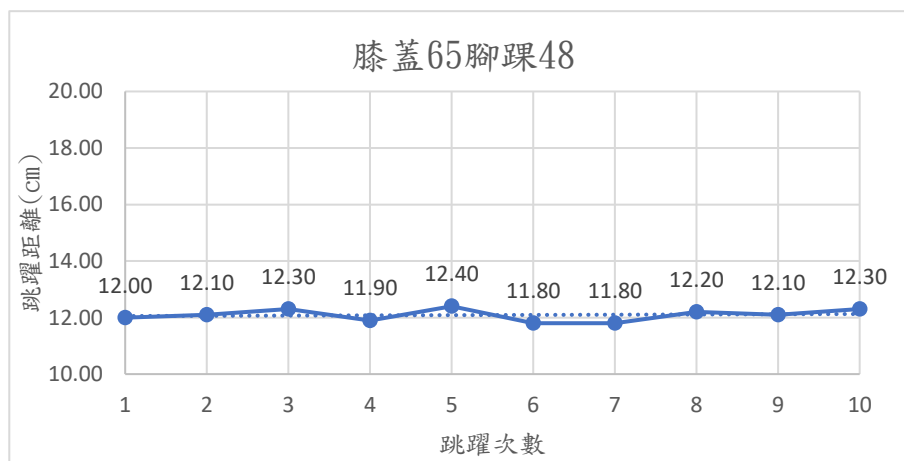
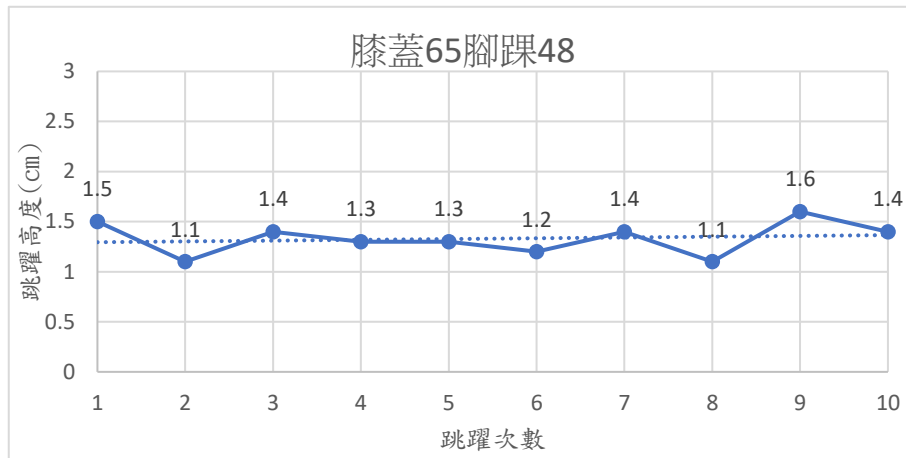


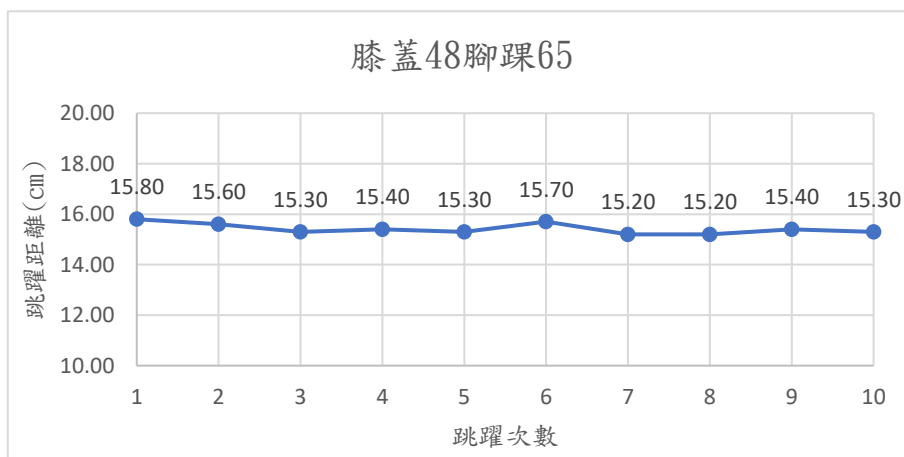
表 2-2 膝蓋 65kg-cm 腳踝 48kg-cm 跳躍高度數據圖

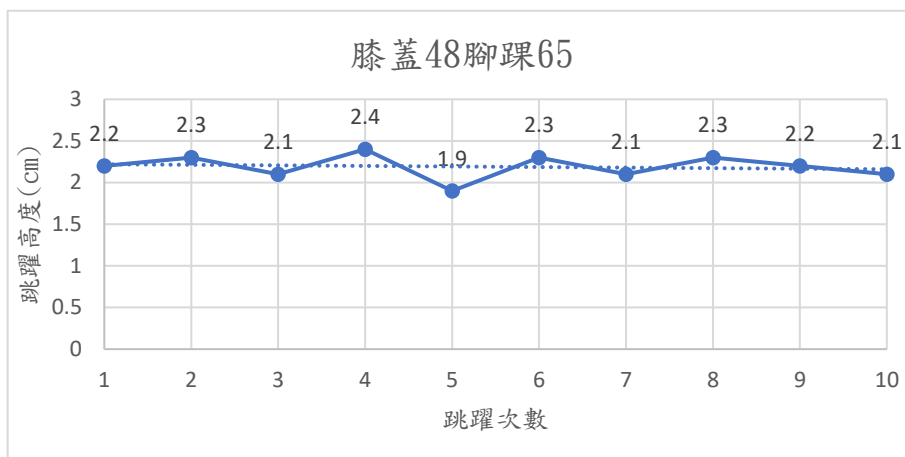


(三) 膝蓋 48kg-cm 腳踝 65 kg-cm 馬達實驗組 C

調整了膝蓋以及腳踝的馬達後，跳躍距離相差了約 3cm，而因為馬達施力大小的改變，跳躍距離比起馬達實驗組 A 增加了 1cm，跳躍角度約為 30°與馬達實驗組 A 的差距不大。我推測馬達實驗組 C 比馬達實驗組 D 的高度多 1cm，原因是 48kg 的轉速比 65kg 的馬達快，所以能夠讓仿生袋鼠收腿速度能夠更快，增加了跳躍的高度和距離。

表 3-1 膝蓋 48kg-cm 腳踝 65kg-cm 跳躍距離數據圖





(四) 膝蓋 65kg-cm 腳踝 65 kg-cm 馬達實驗組 D

在將膝蓋以及腳踝都改為 65kg 的伺服馬達後，跳躍距離、高度以及跳躍角度 θ 都有明顯的下降約為 10° 。我認為是馬達轉速的原因，馬達改為 65kg 後增加齒輪的齒數，而我並沒有更改馬達的轉速，雖然變得更有力量，但動作的速度也因此變慢，使仿生袋鼠在收腿以及跳躍時的跨步的動作時間都變長，進而降低跳躍的高度和距離。

表 4-1 膝蓋 65kg-cm 腳踝 65kg-cm 跳躍距離數據圖

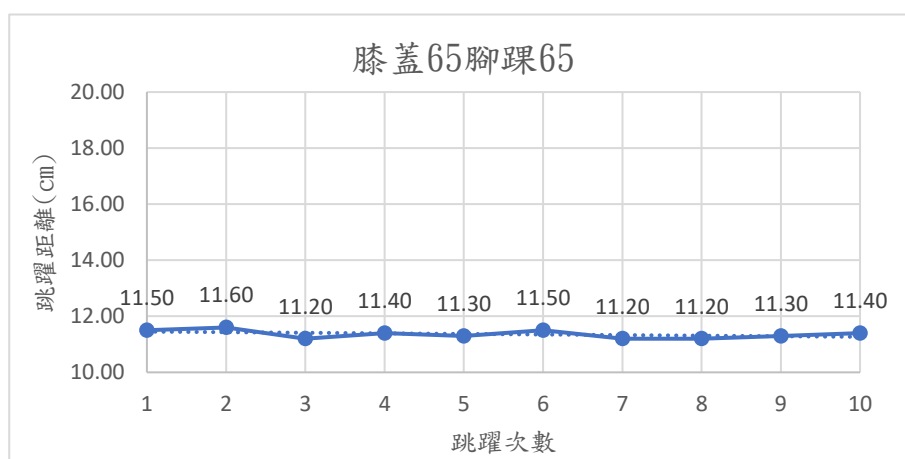
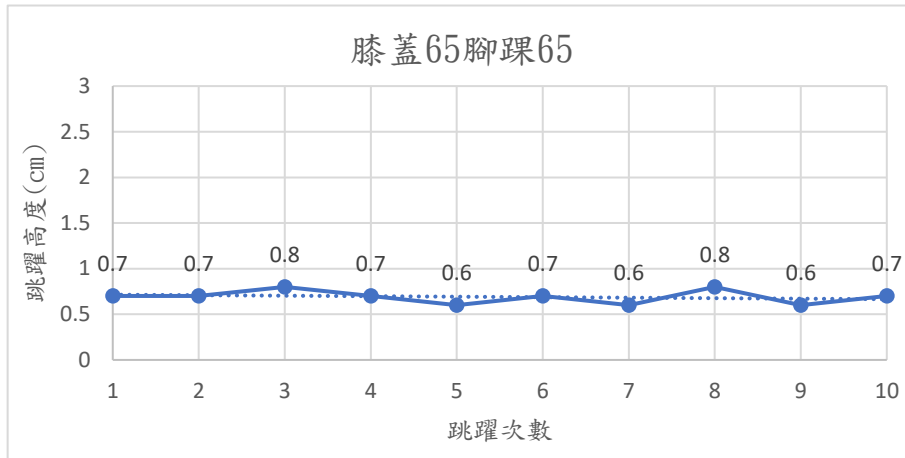
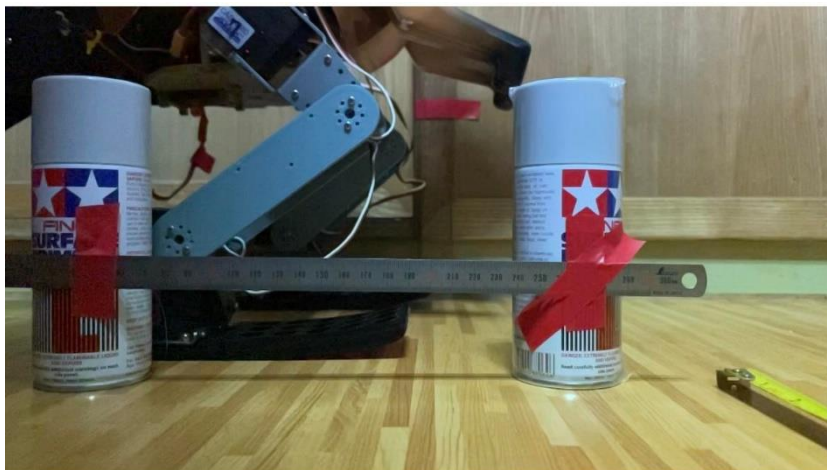


表 4-2 膝蓋 65kg-cm 腳踝 65kg-cm 跳躍高度數據圖



(五) 小腿長度 15cm

由上的實驗我們得知在馬達實驗組 C 時跳躍擁有最高的高度和最遠的距離，所以下一研究我希望測試小腿長度的變化對距離的影響，所以第一步先選用 15cm 做實驗，而 18cm 作為上一實驗的基準，我沿用數據進行比對。15cm 時距離平均值從 15.42cm 變成 12.01cm，跳躍角度為 10° ，從跳躍角度以及距離可知腿部長度的變化也會對距離和初速度有所影響。



15cm 實驗照片

表 5-1 小腿 15cm 跳躍距離數據圖

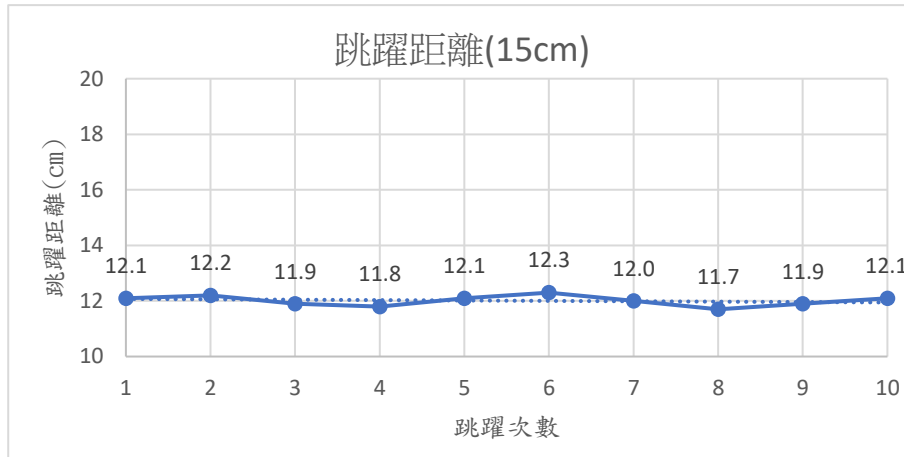
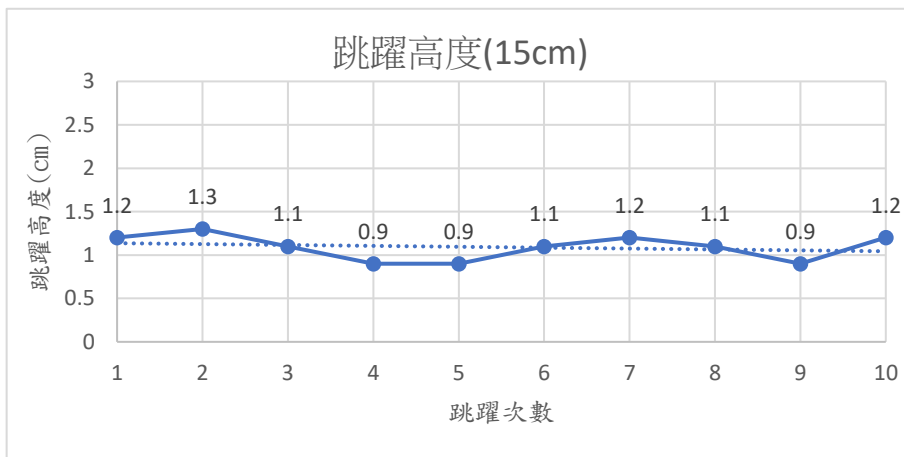


表 5-2 小腿 15cm 跳躍高度數據圖



(六) 小腿長度 16.5cm

在這尺寸，因為在跳躍時，仿生袋鼠的尾部末端觸地所以使其跳躍距離只有 10cm，但是跳躍高度有 3.0cm，而在更改動作，將尾巴上移後，使仿生袋鼠不會在跳躍時碰觸到地，跳躍的距離變為 14.1cm，高度還是維持 3.0cm，跳躍角度約為 45°。



16cm 實驗照片

表 6-1 小腿 16.5cm 跳躍距離數據圖

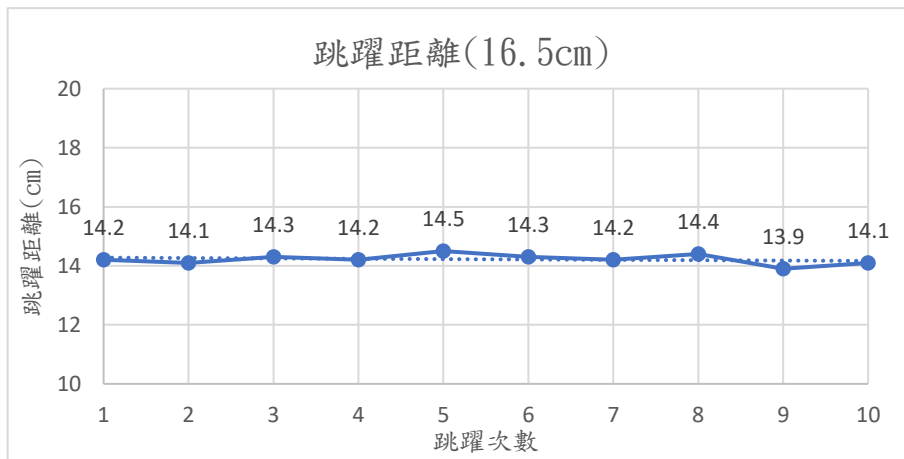
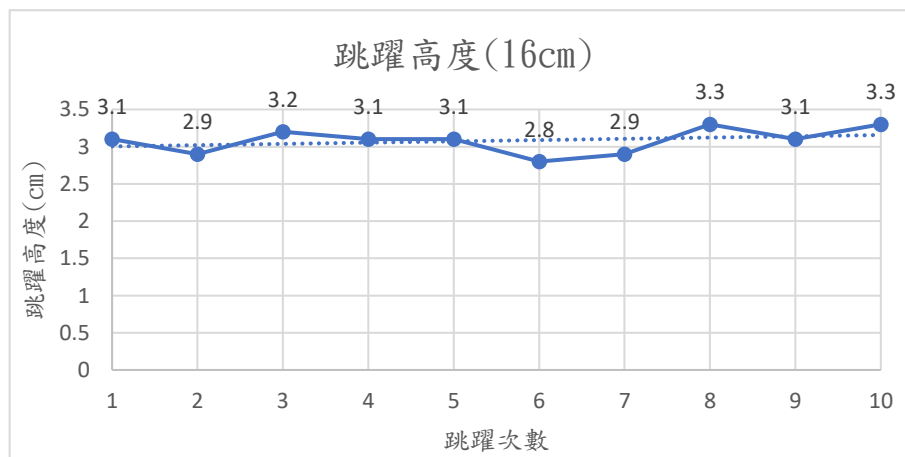


表 6-2 小腿 16.5cm 跳躍高度數據圖



(七) 小腿長度 19.5cm

在長度改為 19.5cm 後，得出了最遠的跳躍距離，比起基準的 18cm 的小腿，距離多了 3cm，跳躍角度約為 30° ，平均跳躍距離值為 18.6cm。



19.5cm 實驗照片

表 7-1 小腿 19.5cm 跳躍距離數據圖

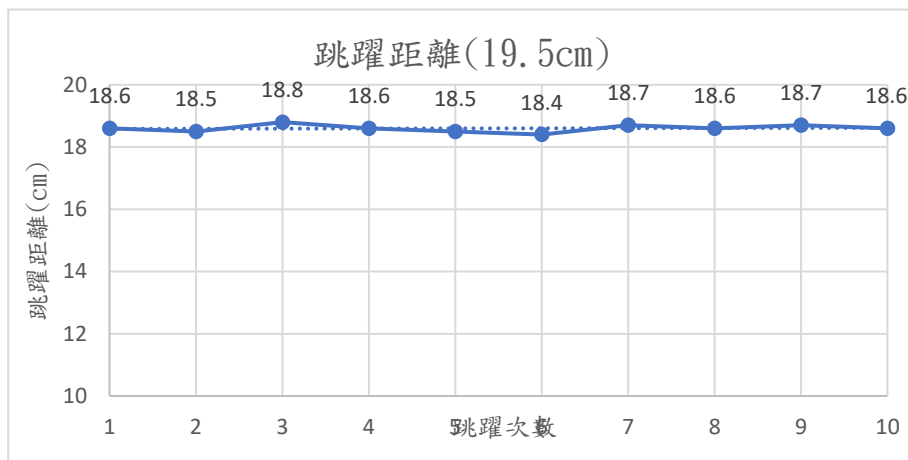
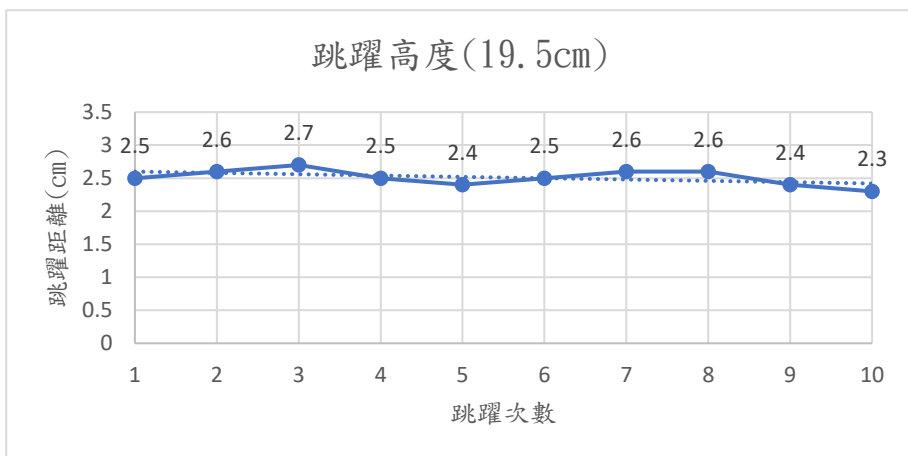
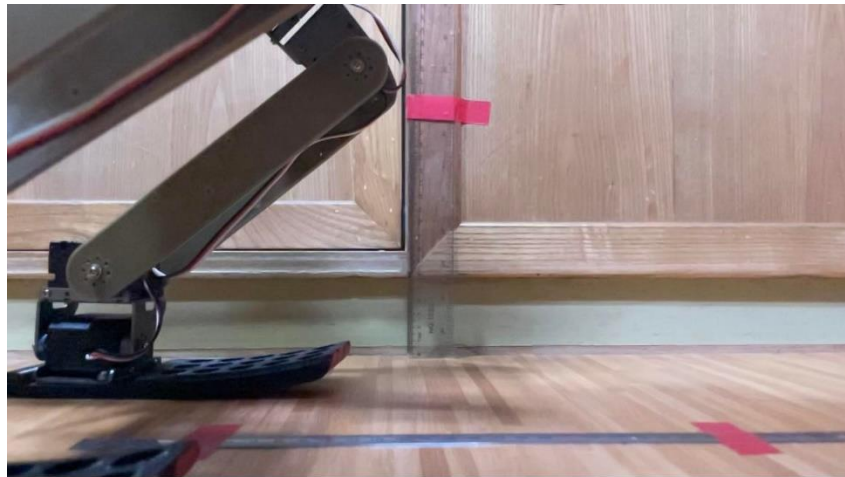


表 7-2 小腿 19.5cm 跳躍高度數據圖



(八) 小腿長度 21cm

在這次實驗中我發現比起 18cm 的小腿，21cm 的小腿使平均跳躍長度增加 0.43cm，跳躍角度約為 30° ，我認為腿長影響在收腿動作的跨越距離，進而增加了距離。同樣增加了長度，但是跳距離卻比 19.5cm 短，在慢動作播放下，增長的小腿都是後腳先落地，可能的原因是跳躍時的高度，不足以讓仿生袋鼠執行完整的跨腿動作。



21cm 實驗照片

表 8-2 小腿 21cm 跳躍距離數據圖

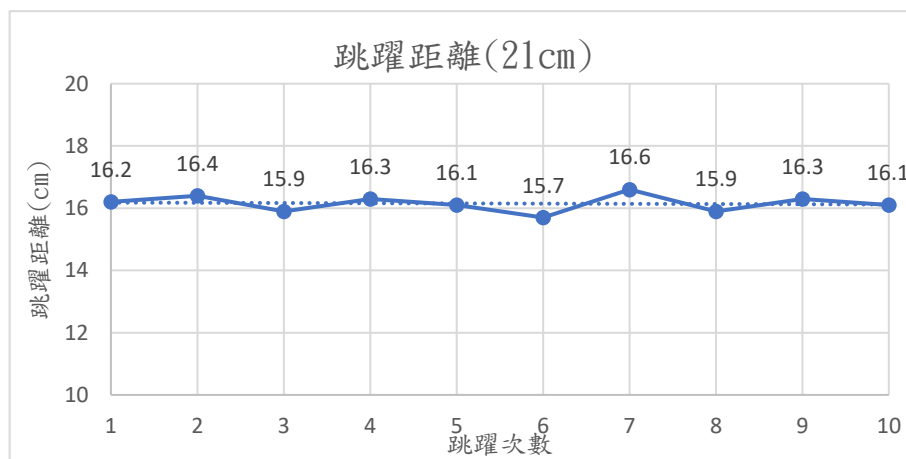
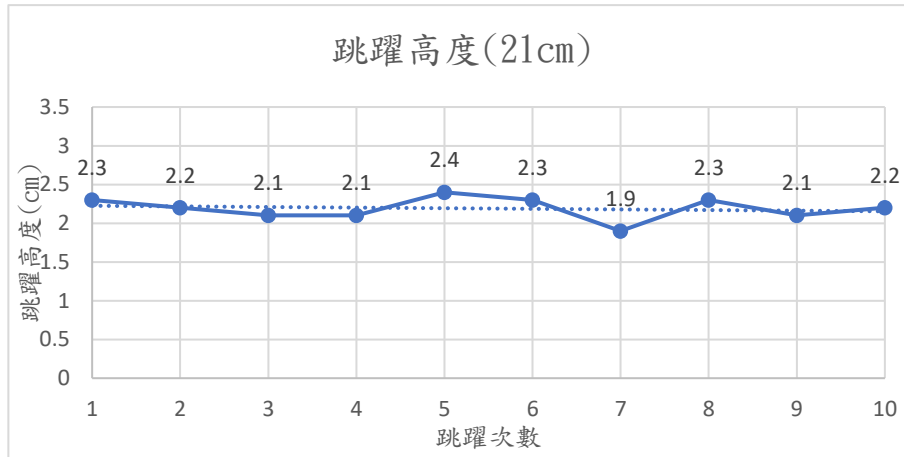


表 8-2 小腿 21cm 跳躍高度數據圖



(九) 平面腳底板

在前面的實驗我們在各個不同變因中，求得跳躍距離和跳躍高中最遠以及最高的條件，並進而做其他的更改，之前的實驗所使用的腳底板，結構是彎曲型的，所以決定研究腳底板對跳躍之影響，此實驗沿用前面所得之最佳數據做為基準。發現平面的腳底雖然長度有達到 18cm，但是比起彎曲型的短了約 1cm，跳躍角度約為 20°。



平面腳底板 實驗照片

表 9-1 平面腳底板 跳躍距離數據圖

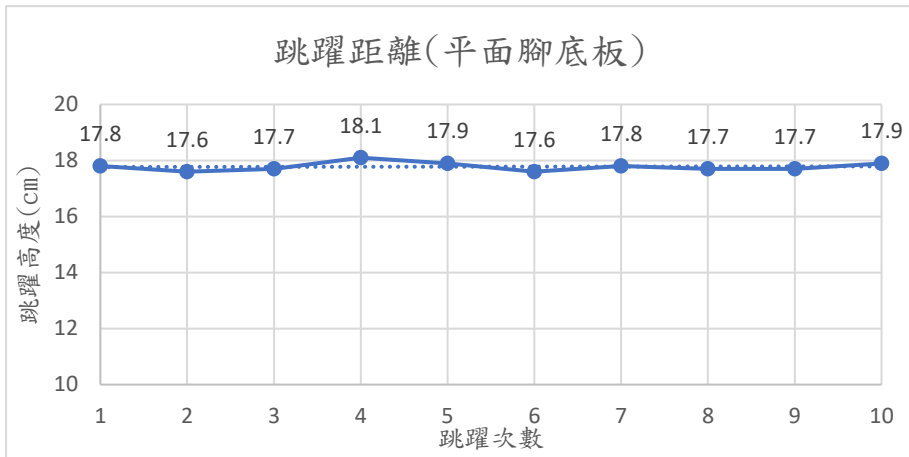
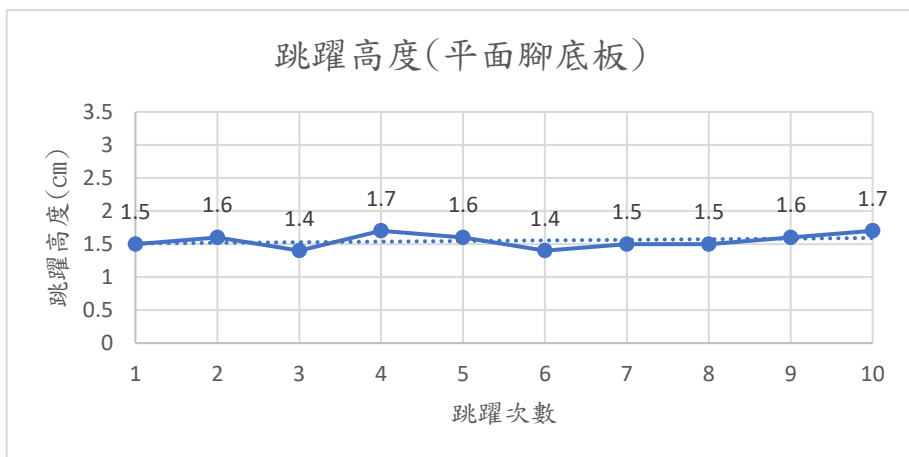


表 9-2 平面腳底板 跳躍高度數據圖



陸、結論

實驗組	膝蓋馬達/腳踝馬達	平均跳躍高度(cm)	平均跳躍距離(cm)	跳躍角度 θ	小腿長/腳底板
A	48 kg-cm/48 kg-cm	1.98	14.17	30°	18.0cm/彎曲
B	65 kg-cm/48 kg-cm	1.33	12.09	20°	18.0cm/彎曲
C	48 kg-cm/65 kg-cm	2.19	15.42	30°	18.0cm/彎曲
D	65 kg-cm/65 kg-cm	0.69	11.36	10°	18.0cm/彎曲
E	48 kg-cm/65 kg-cm	1.09	12.01	10°	15.0cm/彎曲
F	48 kg-cm/65 kg-cm	3.08	14.22	45°	16.5cm/彎曲
G	48 kg-cm/65 kg-cm	2.19	15.42	30°	18.0cm/彎曲
H	48 kg-cm/65 kg-cm	2.51	18.60	30°	19.5cm/彎曲
I	48 kg-cm/65 kg-cm	2.19	16.15	30°	21.0cm/彎曲
J	48 kg-cm/65 kg-cm	1.55	17.78	20°	19.5cm/平面

整理所得數值，在馬達扭力的部分，馬達實驗組 A 的數值 $R=14.17cm$, $\theta=30^\circ$,
 $v_0 = 126.63cm/s$, $H_i=2.04cm$, 馬達實驗組 B 的數值 $R=12.09cm$, $\theta=20^\circ$, $v_0 =$
 $135.74m/s$, $H_i=1.01cm$, 馬達實驗組 C 的數值 $R=15.42cm$, $\theta=30^\circ$, $v_0 =$
 $132.1cm/s$, $H_i=2.23cm$, 馬達實驗組 D 的數值 $R=11.36cm$, $\theta=10^\circ$, $v_0 =$
 $180.73cm/s$, $H_i=0.5cm$, 由這些數據可得知馬達扭力的變化會影響跳躍的角度，
 進而影響跳躍的初速度、高度距離，而從實驗數據得知馬達實驗組 D 的跳躍距
 離最短，但是它具有最大的初速度，所以最後得出結論，跳躍距離越遠不代表
 速度越大，要有相對的角度加強。

腿部長度的部分，由實驗得知，19.5cm 和 16.5cm 的腿長分別有最遠的跳躍距
 離和最高的跳躍高度 19.5cm $R=18.6cm$, $g=980cm/s^2$ $\theta=30^\circ$
 16.5cm 為 $R=14.22cm$, $g=980cm/s^2$ $\theta=45^\circ$ 。帶入拋物線公式和高度公式，得出
 $v_{0,19.5cm}=145.08cm/s$, $v_{0,16.5cm}= 118.06cm/s$, $H_{19.5cm}=2.68cm$, $H_{16.5cm}=3.55cm$, 由結果
 顯示腿部長度的變化同樣會影響跳躍的角度。

使用平面腳底和 19.5cm 的腿長進行實驗發現，雖然跳躍角度差距不大，但其餘各項數值 $v_0 = 164.64\text{cm/s}$, $H = 1.62\text{cm}$ ，相比於 19.5cm 的小腿的跳躍高度少 1.06cm，而速度多了 19.56cm/s，仍能確定彎曲型的腳底有最遠的跳躍距離跟最高的高度。

這些數據的跳躍高度，都與實際測量的數值不同，因為所帶入的公式忽略空氣阻力，但可以觀察到數值的差異不大，大約在 -0.3 到 -0.1 之間。

$$R = \frac{2v_0^2 \sin \theta \cos \theta}{g}$$
$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

從這些實驗數據我們得出當馬達配置為膝蓋 65 kg-cm, 腳踝 65 kg-cm 時會有最快的跳躍初速度 $v_0 = 180.73\text{cm/s}$ ，而當小腿長度分別為 16.5cm 和 19.5cm 時，仿生袋鼠會擁有最高的跳躍高度以及最遠的跳躍距離。

柒、未來展望

袋鼠在澳洲經歷數十萬年的演變，從三萬年前因為行動緩慢只會行走而滅絕的巨型袋鼠，到現在陸地最快的二足哺乳類，移動類型的改變是最大的原因，並且因為這些改變，使袋鼠在跳躍時所需消耗的能量，只相當同質量的四足動物 1/3，其中的結構非常值得我們學習，應用於外骨骼會是一大突破。這次的實驗和實驗結果，我希望能應用於外骨骼。目前外骨骼還沒有跳躍類型的，希望研究的數據能夠有相關的幫助。另外這台仿生袋鼠的跳躍是一次循環，未來我希望能製造出連跳型，或是研發相似結構的跳躍型外骨骼。

捌、參考資料

1. Standing Long Jump - Brunel University London

<https://www.google.com/search?q=Standing+long+jump+leg+force+influence+formula&aq=s&aq=chrome.2.69i57j69i5913j69i6014.5168j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

2. Festo BionicKangaroo

[BionicKangaroo | Festo USA](#)

3. National Geographic Magazine

<https://www.youtube.com/watch?v=vmLbbCRJjfQ>

4. ALEXANDER R M, VERNON A · The mechanics of hopping by kangaroos(Macropodidae)[J]. Journal of Zoology in London, 1975, 177 : 265-303.

5. ALEXANDER R M, VERNON A · The mechanics of hopping by kangaroos(Macropodidae)[J]. Journal of Zoology in London, 1975, 177 : 265-303

6. 葛文傑;沈允文;楊方. 仿袋鼠機器人跳躍運動步態的運動學[J]. , 2006, 42(5): 22-26.

【評語】 100012

1. 本研究以袋鼠為仿生對象，應用其高速移動的特點，製作仿生動物，並觀測其跳躍動作，以提升動作的流暢度。研究包含生物觀察、機械繪圖、動作分析，希望此數據在未來能應用於跳躍型的外骨骼。
2. 袋鼠移動類型的改變，使袋鼠在跳躍時所需消耗的能量，只相當同質量的四足動物之 $1/3$ ，其中的結構非常值得學習，應用於外骨骼會是一大突破。目前外骨骼還沒有跳躍類型的，希望研究的數據能夠有相關的幫助。另外仿生袋鼠的跳躍未來希望能製造出連跳型，且研發出相似結構的跳躍型外骨骼。
3. 如何調整參數以善用所提距離與高度公式？實驗數據是否相符？是否可以進一步推導出修正之量？本研究相對較為複雜，15 個自由度宜採用系統性的實驗步驟，較為完備。